



Article

Janubiy mintaqalarning qurg'oqchil sharoitida Evapotranspiratsiya va NDVI o'rtasida makon-zamon bog'liqliklar tahlili.

N.O. Olimjonov ¹ , N.J. Madiboev ¹ , F.G'. Abdullaev ² , M.X. Soipova ³ , H.Sh. G'afforov ^{1*}

- ¹ Suv xo'jaligida zamonaviy axborot texnologiyalari va suv resurslarini boshqarish laboratoriyasi, Irrigatsiya va suv muammolari ilmiy-tadqiqot instituti, Toshkent, 100000, O'zbekiston
- ² Yashil o'sish va iqlim o'zgarishi bolimi, Atrof-muhit va tabiatni muhofaza qilish texnologiyalari ilmiy-tadqiqot instituti, Toshkent 100000, O'zbekiston
- ³ Ilmiy bo'lim, "TIQXMMI" Milliy tadqiqot universiteti, Toshkent 100000, O'zbekiston
 olimjonovnodir1@gmail.com (N.O.), nodirbek1063@mail.ru (N.M.), abdullaevfarkhod87@gmail.com (F.A.), mukhlisoipova132@gmail.com (M.S.), khusen.uz@gmail.com (H.G'.)
- * Correspondence: khusen.uz@gmail.com; Tel.: +99897 117-42-22 (H.G'.)

Annotatsiya: Masofadan zondlash ma'lumotlari asosida o'simlik qoplamini baholashda keng qo'llaniladigan NDVI indeksi va evapotranspiratsiya (ET) ko'rsatkichlari o'rtasidagi o'zaro bog'liqlik, o'simliklarning fiziologiyasi, xlorofill miqdori, biomassa va stress darajasini baholashda samarali indikator hisoblanib, ET tuproq va o'simliklar orqali suv sarfini aks ettiradi. Tadqiqotda Google Earth Engine (GEE) platformasi yordamida Qashqadaryo viloyati uchun 2016-2025 yillardagi NDVI va ET ko'rsatkichlarining zamon va makon (fazo-vaqt) dinamikasi tahlil qilindi. Olingan natijalar asosida mazkur ko'rsatkichlar o'rtasidagi korrelyatsion bog'liqlik baholandi hamda ularning qurg'oqchil iqlim sharoitidagi o'ziga xos xususiyatlari aniqlandi. Tadqiqot natijalari mintaqada suv resurslarini boshqarish va qishloq xo'jaligi samaradorligini oshirish uchun ilmiy asos yaratadi.

Kalit so'zlar: Evapotranspiratsiya, Google Earth Engine, FAO-56 PM, MOD13Q1, NDVI.

Assessment of the spatiotemporal relationship between Evapotranspiration and NDVI in arid environments of southern regions.

Nodir O.Olimjonov ¹ , Nodirbek J.Madiboev ¹ , Farkhod G'.Abdullaev ^{2*} , Mukhlisa Kh.Soipova ³ , Khusen Sh.Gafforov ¹

- ¹ Laboratory of Modern information technologies in the water sector and water resources management, Scientific-Research Institute of Irrigation and Water Problems, Tashkent, 100000, Uzbekistan
- ² Department of Green Growth and Climate Change, Scientific Research Institute of Environmental and Nature Conservation Technologies, Tashkent, 100000, Uzbekistan
- ³ Scientific Department, TIAME National Research University, Tashkent, 100000, Uzbekistan
 olimjonovnodir1@gmail.com(N.O.), nodirbek1063@mail.ru(N.M.),
 abdullaevfarkhod87@gmail.com(F.A.), mukhlisoipova132@gmail.com(M.S.),
 khusen.uz@gmail.com(Kh.G'.)

Abstract: The relationship between the NDVI index and evapotranspiration (ET), widely used in assessing vegetation cover based on remote sensing data, is considered an effective indicator for evaluating plant physiology, chlorophyll content, biomass, and stress levels, while ET reflects water consumption by the soil and plants. As part of this study, using the Google Earth Engine (GEE) platform, the spatiotemporal dynamics of NDVI and ET indicators in the Kashkadarya Region from 2016 to 2025 were analyzed. Based on the results obtained, the correlation between these indicators was assessed, and their specific characteristics under arid climate conditions were identified. The study's findings provide a scientific basis for improving water resource management and enhancing agricultural efficiency in the region.

Keywords: Evapotranspiratsiya, Google Earth Engine, FAO-56 PM, MOD13Q1, NDVI

Iqtibos: N.O. Olimjonov, N.J. Madiboev, F.G'. Abdullaev, M.X. Soipova, H.Sh. G'afforov. Irrigatsiya va melioratsiya. 2026, 12, 2, 5.
<https://doi.org/10.35938/IM-2026-12-00005>

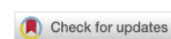
Olingan: 17.04.2026

Tuzatilgan: 21.05.2026

Qabul qilingan: 25.06.2026

Nashr qilingan: 06.07.2026

Copyright:



Kirish

Iqlimiy o'zgarishlar noaniqligi va suv tanqisligi ortib borayotgan holatlarda [1], ayniqsa qurg'oqchil mintaqalarda o'simlik holatini va ularning suvga bo'lgan talabini baholash muhim ahamiyatga ega [2]. O'zbekistonning janubiy hududlari, jumladan, Qashqadaryo viloyatida [3] yuqori harorat, yog'ingarchilik intensivligidagi o'zgarishlar [4] va uning notekstligi ekinlarni sug'orishdagi sezilarli darajada bog'liqligi bilan ajralib turadi. Bunday sharoitda suv resurslarini samarali boshqarish masofaviy zondlash ma'lumotlariga asoslangan zamonaviy monitoring usullaridan foydalanishni talab qiladi. O'simliklarning fiziologiyasi, xlorofill miqdori, biomassa va stress darajasini baholashda uchun eng keng qo'llaniladigan indeks bu Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) hisoblanib [5], evapotranspiratsiya (ET) bug'lanish va transpiratsiya orqali umumiy suv yo'qotilishini aks ettiruvchi suv balansining asosiy parametri hisoblanadi [6]. NDVI va ET o'rtasidagi bog'liqlik tahlili o'simlik fiziologiyasi va suv balansini baholashda eng samarali, tezkor va masofaviy vosita hisoblanib agroekotizimlarni monitoring qilish, hosildorlikni bashorat qilish va stress omillarini erta aniqlash, hamda suv resurslaridan foydalanishni optimallashtirish uchun juda muhimdir. NDVI indeksi asoslari o'tgan asrning 70 - yillarida NASA olimlari tomonidan ishlab chiqilgan bo'lib, ilk tadqiqotlar Earth Resources Technology Satellite-1 (ERTS-1) sun'iy yo'ldoshi doirasida amalga oshirilgan va keyinchalik ushbu yo'nalish Landsat dasturi orqali rivojlantirilgan. NDVI formulasi va ishlash prinsiplari ko'plab olimlarning izlanishlari natijasida shakllangan bo'lib, jumladan J.W.Rouse, R.H.Haas, J.A.Well va D.W.Deeringlar [7] tomonidan NDVI indeksi ilk bor "Tekisliklardagi o'simliklar tizimini ERTS yordamida monitoring qilish" mavzusidagi ilmiy maqolasida ta'riflash. Ushbu tadqiqot o'simlik qoplamining spektral xususiyatlari tahlil qilinib, NDVI formulani (2) asoslab berilgan [8]. Google Earth Engine kabi bulutga asoslangan geoaxborot platformalarning rivojlanishi sun'iy yo'ldosh ma'lumotlarini tahlil qilish imkoniyatlarini sezilarli darajada kengaytirdi. Bu uzoq muddatli NDVI va ET vaqt seriyalariga kirish imkonini berdi va mintaqaviy darajada zamon va makon (fazoviy-vaqt) korrelyatsiya tahlilini o'tkazish imkonini berdi. Bu, ayniqsa, Markaziy Osiyo kabi kuzatuv tarmoqlari cheklangan mintaqalar uchun muhimdir [9]. Bir nechta tadqiqotlar shuni ko'rsatdiki, NDVI yer qoplamining ishonchli ko'rsatkichi bo'lib, yerlardan foydalanishni tasniflash, unumdorlikni baholash va qurg'oqchilikni monitoring qilish uchun keng qo'llaniladi. NDVI va ET o'rtasidagi ijobiy bog'liqlikni tasdiqlaydi, bu o'simlik barglari rivojlanishi transpiratsiyaning kuchayishiga va natijada umumiy ET oshishiga olib kelishi bilan bog'liqligi isbotlangan [10]. Shuningdek, bu bog'liqlik murakkab va ko'pincha chiziqli emasligi bilan etiborni tortadi. Ya'ni, suv ta'minoti yetarli bo'lgan sharoitlarda NDVI va ET o'rtasida yuqori korrelyatsiya kuzatiladi, qurg'oqchil mintaqalarda esa namlikning cheklovchi ta'siri tufayli bog'liqlik zaiflashishi mumkin [11]. Shunday qilib, uzoq muddatli sun'iy yo'ldosh ma'lumotlari asosida NDVI va ET o'rtasidagi bog'liqlikni tahlil qilish uchun ilmiy va amaliy ehtiyoj mavjud. Ushbu tadqiqot zamonaviy geoaxborot texnologiyalaridan foydalangan holda 2016-2025 yillar oralig'ida Qashqadaryo viloyatida NDVI va ET ko'rsatkichlarining o'zgarish dinamikasini zamon va makon (fazoviy-vaqt) bog'liqliklarni GEE yordamida tahlil qilish hamda ular o'rtasidagi korrelyatsion bog'liqlikni aniqlashdan iborat. Olingan natijalar iqlim o'zgarishi noaniqligi va suv tanqisligi sharoitlarida suv resurslarini optimal taqsimlash va operativ boshqarishni takomillashtirish, sug'oriladigan maydonlarda agroekologik samaradorligini oshirish va qishloq xo'jaligini iqlim o'zgarishiga moslashtirish chora-tadbirlari uchun muhim ahamiyat kasb etadi.

Materiallar va usullar

Tadqiqot obyekti. Qashqadaryo viloyati O'zbekistonning janubiy qismi, Pomir-Oloy tog' tizmalarining g'arbiy yon bag'rida, Qashqadaryo daryosi havzasida joylashgan (Rasm.1). Viloyatning umumiy maydoni 2856,8 ming gektarni tashkil etib, hududning taxminan 24 % ekin maydonlari, 4 % o'rmonlar va 50 % dan ortig'i yaylovlardan iborat [12]. Iqlimi keskin kontinental. Qishi nisbatan yumshoq, yozi uzoq (155-160 kun), issiq va quruq. Yanvar oyida o'rtacha harorat 0.2-1.9 °C, iyulda 28-29.5 °C, maksimal harorat 45°C, minimal – 20 °C ga yetadi. Yillik yog'in miqdori tekisliklarda 290-300 mm, adirlarda 520-550 mm, tog'larda 550-650 mm ni tashkil etadi. Yog'in asosan qish va bahor fasllariga to'g'ri kelib, yozda garmisel shamollari kuzatiladi. Bunday qurg'oqchil sharoitlarda NDVI o'simlik qoplamini holatini, ET esa suv sarfini ifodalaydi. Qashqadaryo viloyati tuproqlari asosan cho'l-qumli, taqirsimon va bo'z-qo'ng'ir turlarga mansub [13]. Sug'orish va yer osti suvlari ta'sirida

sug'oriladigan hududlarda o'tloq-cho'l va cho'l-o'tloq tuproqlar ustunlik qiladi. Tuproq turlari tarkibi hamda sug'orish ta'siri NDVI va ET o'rtasidagi bog'liqlikni belgilaydi.

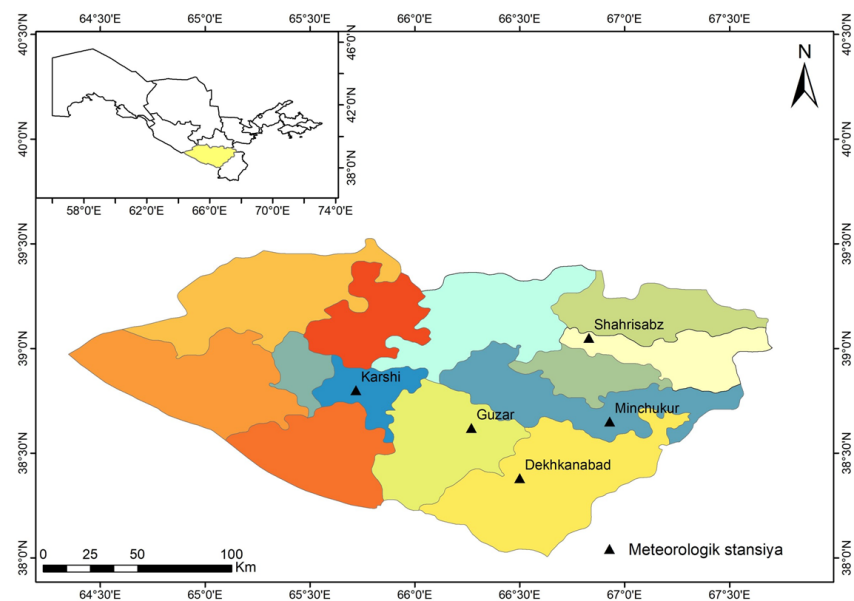


Figure 1. Study area.

Rasm 1. Tadqiqot obyekti.

Ma'lumotlar to'plami. Qashqadaryo viloyatida joylashgan 5 ta meteorologik stansiya bo'yicha havo harorati malumotlari butun kuzatuv davri uchun kuzatuv stansiyalari tarmog'idan jamlandi (Jadval 1)

Table 1. Data from the observation station network

Jadval 1. Kuzatuv stansiyalari tarmog'i ma'lumotlari

№	Stansiya kodi	Stansiya nomi	Shimoliy kenglik	Sharqiy uzoqlik	Dengiz sathidan balandligi, m
1	38812	Qarshi	38.8°N	65.72°E	376
2	38699	Shahrisabz	39.05°N	66.83°E	622
3	38816	Mingchuqur	38.65°N	66.93°E	2121
4	38815	G'uzor	38.62°N	66.27°E	524
5	38819	Dehqonobod	38.38°N	66.5°E	841

Ushbu tadqiqotda Qashqadaryo viloyati bo'yicha nuqtaviy agrometeorologik ma'lumotlarni fazoviy uzluksiz fenologik ko'rsatkichlarga transformatsiya qilish maqsadida o'simlik holati va zichligini baholashda keng qo'llaniladigan NDVI indeksi qo'llanildi. NDVI vaqt qatorlarini ajratib olish va qayta ishlash jarayoni Terra Satellite sun'iy yo'ldoshidagi MODIS sensori mahsulotlarining rasmiy algoritmlariga asoslandi [14,15]. Fazoviy tahlil uchun MOD13Q1 6.1 [16] Google Earth Engine bulutli hisoblash muhitida MOD13Q1 ning to'liq qayta ishlangan versiyasidan foydalanildi. MOD13Q1 250 metrlik fazoviy aniqlikdagi o'simlik indekslarining uzluksiz massivlarini taqdim etadi. U suv, bulutlar va aerozollardan sochilishni filtrlaydigan atmosfera tuzatishlariga asoslangan [17]. Takomillashtirilgan MOD13Q1 V6.1 qayta ishlash jarayoni oldingi versiyalarga nisbatan muhim kalibrlash yaxshilanganligi, skanerlash burchagiga nisbatan sezgirlik konfiguratsiyasini yangilash, infraqizil diapazonlardagi optik xatoliklarni tuzatish va aks ettiruvchi quyosh diapazonlariga qutblanish tuzatishlarini qo'llashni o'z ichiga oladi [18]. Tadqiqot metodi. NDVI indeksidan foydalanish masofaviy zondlash dasturlarini amalga oshirishni osonlashtiradi, chunki u o'simliklarning keng xususiyatlarini aks ettiradi va murakkab ma'lumotlarni tahlil qilishni soddalashtiradi [19]. Masofaviy zondlash sohasidagi so'nggi yutuqlar NDVI tadqiqotlarini kengaytirish imkonini beruvchi arzon va erkin foydalaniladigan sun'iy yo'ldosh tasvirlari tasvir malumotlari resurslarini shakllantirdi. Masofaviy zondlash texnologiyalari o'simlik qoplamini monitoring qilish, baholash va boshqarish yondashuvlarini tubdan o'zgartirdi. NDVI o'simlik

indekslari orasida yetakchi ko'rsatkich bo'lib qolmoqda va undan samarali foydalanish to'g'ridan-to'g'ri ko'p spektrli ma'lumotlar sifati va ularni to'g'ri talqin qilishga bog'liqdir. Iqlim o'zgarishi noaniqliklari, jumladan havo haroratining ko'tarilishi, yog'ingarchilik miqdorining o'zgarishi va antropogen omillar NDVI qiymatlarining zamon va makon (fazoviy-vaqt) o'garishiga sezilarli ta'sir ko'rsatadi [20]. Ushbu o'zgarishlar o'simlik qoplami holati bilan bir qatorda suv almashinuv jarayonlariga ham ta'sir etib, ET ko'rsatkichlarida namoyon bo'ladi. Shu munosabat bilan tanlangan 5 ta kuzatuv stansiya bo'yicha ET aniqlashda Richard G. Allen va boshqalar[21] tomonidan ishlab chiqilgan "Birlashgan millatlar tashkilotining oziq-ovqat va qishloq xo'jaligi tashkiloti" FAOning FAO-56 PM Penman-Monteith usuli qat'iy ravishda qabul qilindi. Mazkur usul termodinamik energiya balansi va aerodinamik massa almashinuvini asoslangan fizik yondashuv bo'lgani uchun ET_{ref} ni hisoblashda jahon miqyosidagi standart model sifatida qabul qilingan [22]. Kunlik ET_{ref} hisoblash (1) tenglama orqali amalga oshiriladi.

$$ET_{ref} = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma\left(\frac{900}{T+273}\right)u_2(e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad (1)$$

FAO-56 Penman-Monteith usuli yordamida hisob-kitoblarni amalga oshirish uchun termodinamik va aerodinamik parametrlar kunlik meteorologik kuzatuvlardan olinadi. Qashqadaryo viloyatidagi kuzatuv stansiyalari tarmog'i uchun quyidagi dastlabki ma'lumotlardan foydalanilgan bo'lib, bu yerda: T_{max} va T_{min} — balandlikda o'lchangan kunlik maksimal va minimal havo harorati. Ular o'rtacha kunlik havo harorati (T) va to'yingan bug' bosimini (e_s) hisoblash uchun ishlatiladi. RH_{max} va RH_{min} — kunlik maksimal va minimal nisbiy namlik bo'lib, haqiqiy bug' bosimi (e_a) va natijaviy bug' bosimi tanqisligini ($e_s - e_a$) hisoblashda qo'llaniladi. u_2 — standart 2 metr balandlikda o'lchangan o'rtacha kunlik shamol tezligi ($m s^{-1}$). R_s yoki n — quyosh radiatsiyasi yoki quyosh nuri tushishining haqiqiy davomiyligi. Agar R_s to'g'ridan-to'g'ri o'lchanmagan bo'lsa, u Angstrom-PreScott formulasi yordamida quyosh nuri tushishi (n) ma'lumotlaridan hisoblanadi va natijada ekin yuzasidagi radiatsiya (R_n) aniqlanadi. z — meteorologik stansiyaning dengiz sathidan balandligi bo'lib, standart atmosfera bosimi va psixrometrik konstantani (γ) hisoblash uchun zarur. Δ — to'yingan bug' bosimi egri chizig'ining qiyaligi.

Ilmiy tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, yog'ingarchilik o'simliklarning o'sishiga ta'sir qiluvchi asosiy omillardan biri bo'lib, NDVI bilan kuchli ijobiy korrelyatsiyaga ega (masalan, $R \approx 0.7$ gacha). Demak, yog'ingarchilik miqdori ortishi bilan o'simlik qoplamining zichligi oshadi va aksincha, qurg'oqchilik sharoitlarida tuproq namligi pasayadi, o'simliklar holati yomonlashadi va NDVI qiymatlari kamayadi. Ushbu o'zgarishlarni aniqlash uchun NDVI quyidagi formula (2) yordamida hisoblanadi:

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red} \quad (2)$$

Bu yerda: NIR (Near Infrared) - yaqin infragizil diapazondagi aks ettirish (o'simlik barglari tomonidan kuchli qaytariladi), Red esa qizil spektral diapazondagi aks ettirish (xlorofill tomonidan kuchli yutiladi). Spektral diapazonlar sensor turiga (masalan, MODIS va Landsat) qarab farq qilgani [23] sababli NDVI qiymatlari ham ma'lum darajada o'zgaruvchan bo'lishi mumkin [24]. Shunga qaramasdan, NDVI qiymatlari odatda quyidagicha interpretatsiya qilinadi. Jadval 2 da NDVI qiymatlarining interpretatsiyasi keltirilgan.

Table 2. Interpretation of NDVI values

Jadval 2. NDVI qiymatlarining interpretatsiyasi

NDVI diapazoni	Yer qoplami / o'simlik holati
-1 - 0	suv, qor yoki o'simliksiz (quruq) yer yuzasi
0 - 0.2	quruq tuproq yoki juda kam o'simlik qoplami
0.2 - 0.5	o'rta zichlikdagi o'simlik qoplami
0.5 - 1.0	zich va sog'lom yashil o'simliklar

Terra satellite suniy yo'ldoshi kunlik orbital o'tishlarni amalga oshirishi tufayli, 16 kunlik davr mobaynida har bir piksel koordinatasi bo'yicha ko'p sonli kuzatuvlar jamlanadi [25]. Atmosfera shovqinlarini va orbital tasvirlar sifatini pasaytiruvchi omillarni filtrlash uchun MOD13Q1 mahsuloti

CV-MVC algoritmi yordamida 16 kunlik kompozit davrda eng yaxshi piksel tanlash orqali yuqori sifatli tasvirni hosil qiladi [26]. CV-MVC algoritmi an'anaviy MVC usulining takomillashtirilgan shakli bo'lib, u skatteringning oldingi yo'nalishidagi kuzatuv burchaklari tasirida yuzaga keladigan xato tasirlarni hisobga oladi [27]. Malumki, o'simlik qoplamasining anizotrop xususiyatlari sababli bunday burchaklar NDVI qiymatlarini sun'iy ravishda oshirib ko'rsatishi mumkin. Ushbu og'ishni kamaytirish uchun algorit dastlab eng yuqori NDVI qiymatiga ega kuzatuvlarni ajratadi, so'ngra ular orasidan ko'rish burchagi eng kichik bo'lgan variantni tanlab, 16 kunlik piksel uchun optimal qiymatni shakllantiradi.

Natijalar

Haroratning ko'tarilishi ET oshiradi [17], bu esa arid mintaqalarda suv tanqisligiga va NDVI qiymatlarining pasayishiga olib kelishi mumkin. Shu bilan birga, ayrim mintaqalarda haroratning oshishi vegetatsiya jarayonlarini faollashtirib, o'simlik o'sishini faollashtiradi. Natijada NDVI va ET o'rtasidagi o'zaro bog'liqlik hududlar kesimida turlicha namoyon bo'ladi. Shuningdek, inson faoliyati (urbanizatsiya, irrigatsiya, o'rmonlar kesilishi) NDVI dinamikasiga sezilarli ta'sir etib, ba'zi hududlarda vegetatsiyani kuchaytirsa, boshqalarida degradatsiyaga olib kelishi mumkin. Shu sababli NDVI o'zgarishi iqlim omillari va antropogen ta'sirlarning kompleks natijasi sifatida qaraladi [27]. Ushbu tasvir (Rasm.2) Qashqadaryo viloyatida 2000-2025 yillar davomida NDVI ko'rsatkichlarining vaqt bo'yicha o'zgarishini ifodalaydi. Tahlil natijalari shuni ko'rsatadiki, NDVI qiymatlari yil davomida aniq mavsumiylikka ega bo'lib, bahor-yoz oylarida oshib, kuz-qish davrida pasayadi. O'rtacha holatda NDVI 0.15-0.30 oralig'ida o'zgarib, bu janubiy mintaqalarda o'rtacha zichlikdagi o'simlik qoplami ustunligini ko'rsatadi. Ayrim yillarda (masalan, 2008, 2011 va 2021) keskin pasayishlar kuzatilib, bu holatlar ehtimoliy qurg'oqchilik yoki suv tanqisligi bilan izohlanishi mumkin. Shuningdek, 2019-2020 yillarda yuqori qiymatlar qayd etilgan bo'lib, bu qulay agroiklim sharoitlari yoki qishloq xo'jaligi ekinlarini sug'orish ta'siri natijasi bo'lishi ehtimol yuqori. Umuman olganda, uzoq muddatli va aniq o'sish yoki pasayish trendi kuzatilmaydi, ammo NDVI dinamikasi yuqori darajada o'zgaruvchan bo'lib, u asosan iqlim omillari va suv ta'minotiga bog'liq holda shakllanadi.

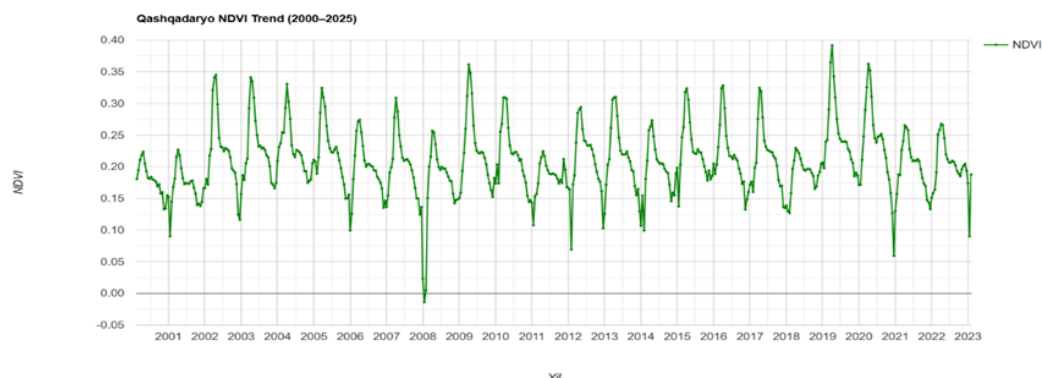


Figure 2. Temporal Dynamics of NDVI in the Kashkadarya Region (2000–2025)

Rasm 2. Qashqadaryo viloyati bo'yicha 2000–2025 yillarda NDVI ko'rsatkichlarining o'zgarish dinamikasi.

Qashqadaryo viloyatidagi kuzatuv stansiyalari (Rasm.3) kesimida 2000-2025 yillar uchun NDVI ko'rsatkichlarining yillik o'zgarishi hududlar bo'yicha sezilarli farqlanishni namoyon qiladi. Qarshi va Chimqo'rg'on stansiyalarida NDVI qiymatlari nisbatan yuqori (0.30-0.38) bo'lib, bu hududlarda o'simlik qoplamining zichroq va barqaror ekanligini ko'rsatadi. Minchuqor va G'uzor kuzatuv stansiyalarida o'rtacha qiymatlar kuzatilib, NDVI asosan 0.22-0.28 oralig'ida o'zgarib turadi. Dehqonobod kuzatuv stansiyasida esa NDVI nisbatan past (0.15-0.22) bo'lib, bu yerda qurg'oqchilik yoki suv ta'minoti cheklanganligini ko'rsatishi mumkin. Barcha stansiyalarda mavsumiy va yillaro o'zgaruvchanlik saqlanib, ayrim yillarda keskin pasayishlar va o'sishlar qayd etilgan. Umuman olganda, NDVIning hududiy farqlanishi asosan iqlim sharoiti, relyef, tuproq xususiyatlari va qishloq xo'jaligi ekinlarini sug'orish darajasi bilan bog'liq bo'lib, bu holat o'simlik qoplamining makon va

zamon (fazoviy-vaqt) dinamikasini belgilab beradi. ET va NDVI o'rtasidagi statistik bog'liqlik yuqori natijalarga olib keladi. Vegetatsiya faollashgan davrlarda NDVI qiymatlarining oshishi transpiratsiya jarayonlarini kuchaytirib, ET ning ortishiga olib keladi. Shu sababli ushbu ko'rsatkichlar o'rtasida o'rtacha hamda yuqori darajadagi musbat korrelyatsiya kuzatiladi.

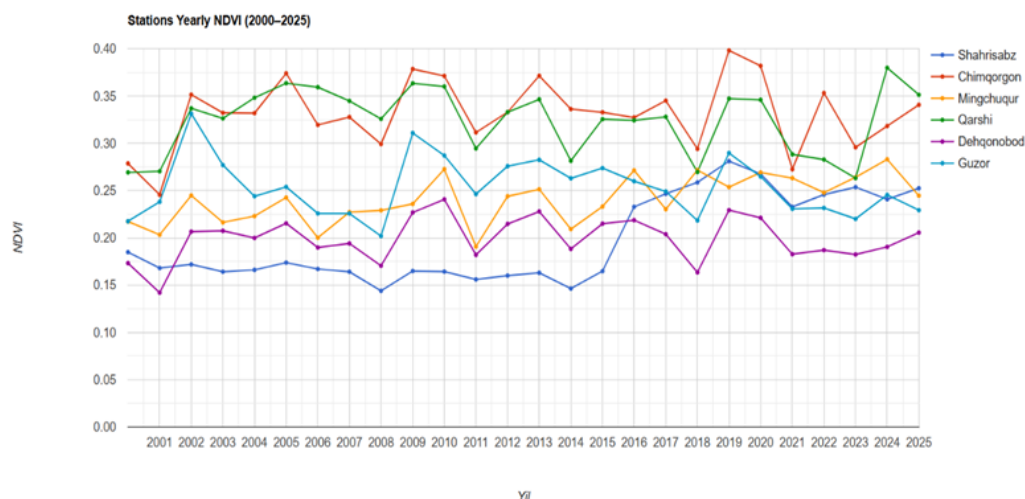


Figure 3. Temporal Dynamics of NDVI Across Meteorological Stations in the Kashkadarya Region (2000–2025)

Rasm 3. Qashqadaryo viloyatidagi meteorologik stansiyalar kesimida 2000-2025 yillar uchun NDVI ko'rsatkichlarining o'zgarish dinamikasi.

Quyidagi Rasm.4 grafiklar Qashqadaryo viloyatining meteorologik stansiyalarida (Dehqonobod, G'uzor, Minchuqur, Qarshi va Shahrisabz) 2016-2025 yillar oralig'idagi o'rtacha kunlik evapotranspiratsiya (ET) va yog'ingarchilik miqdorlarining dinamikasi aks ettirilgan. Tahlilda ikki xil metodika, FAO56 Penman-Monteith (PM) va Priestley-Taylor (PT) natijalari o'zaro taqqoslangan. Natijalarga ko'ra, FAO56 PM bo'yicha hisoblangan ET qiymatlar PT ko'rsatkichlaridan yuqori bo'lib, bu Qashqadaryo viloyatining arid iqlim sharoitida shamol tezligi va havo namligini hisobga oluvchi FAO-56 PM modeli nisbatan aniqroq ekanligini isbotlaydi. Shuningdek, may oyidan sentyabr oyigacha bo'lgan davrda barcha kuzatuv stansiyalarida ET qiymatlari yog'ingarchilikdan 10-20 baravar yuqori ekanligi kuzatildi. Bu holat mazkur davrda o'simliklarning suvga bo'lgan ehtiyoji tabiiy yog'ingarchilik hisobiga qoplanmasligini va sug'orish orqali taminlanishini talab qilishini anglatadi.

Dehqonobod kuzatuv stansiyasida 2016-2025 yillardagi ma'lumotlar tahlili (Rasm.4) shuni ko'rsatadiki, maksimal ET iyul oyining boshida kuzatiladi va 10 mm dan oshadi. Bu mintaqada haroratning juda yuqori darajasini ekanligini anglatadi. FAO56 PM va PT usullari o'rtasidagi farq sezilarli bo'lib, yoz oylarida 4 mm ni tashkil qiladi, bu esa shamol tezligi va past namlikning evapotranspiratsiyaga kuchli ta'siridan dalolat. G'uzar kuzatuv stansiyalarida maksimal evapotranspiratsiya qiymati taxminan 8 mm ni tashkil etadi, bu Dehqonobod kuzatuv stansiyasida qaraganda pastroq, fevral va mart oylarida esa nisbatan yuqori o'sish kuzatiladi. Korrelyatsiya koeffitsiyentining vaqt bo'yicha o'zgarishi mavsumiy xususiyatga ega. Vegetatsiya davrida NDVI va ET o'rtasidagi bog'liqlik yuqori darajada namoyon bo'lsa, qish oylarida u sezilarli darajada pasayadi, chunki bu davrda ET asosan fizik evapotranspiratsiya hisobiga shakllanadi va o'simlik transpiratsiyasining hissi kamayadi. Hududiy kesimda esa sug'oriladigan maydonlarda korrelyatsiya nisbatan yuqori, tog'li hududlarda esa pastroq qiymatlar kuzatiladi. Bu farqlanishlar asosan suv taminoti darajasi, tuproq xususiyatlari, havo harorati hamda antropogen sug'orish tasiri bilan izohlanadi.

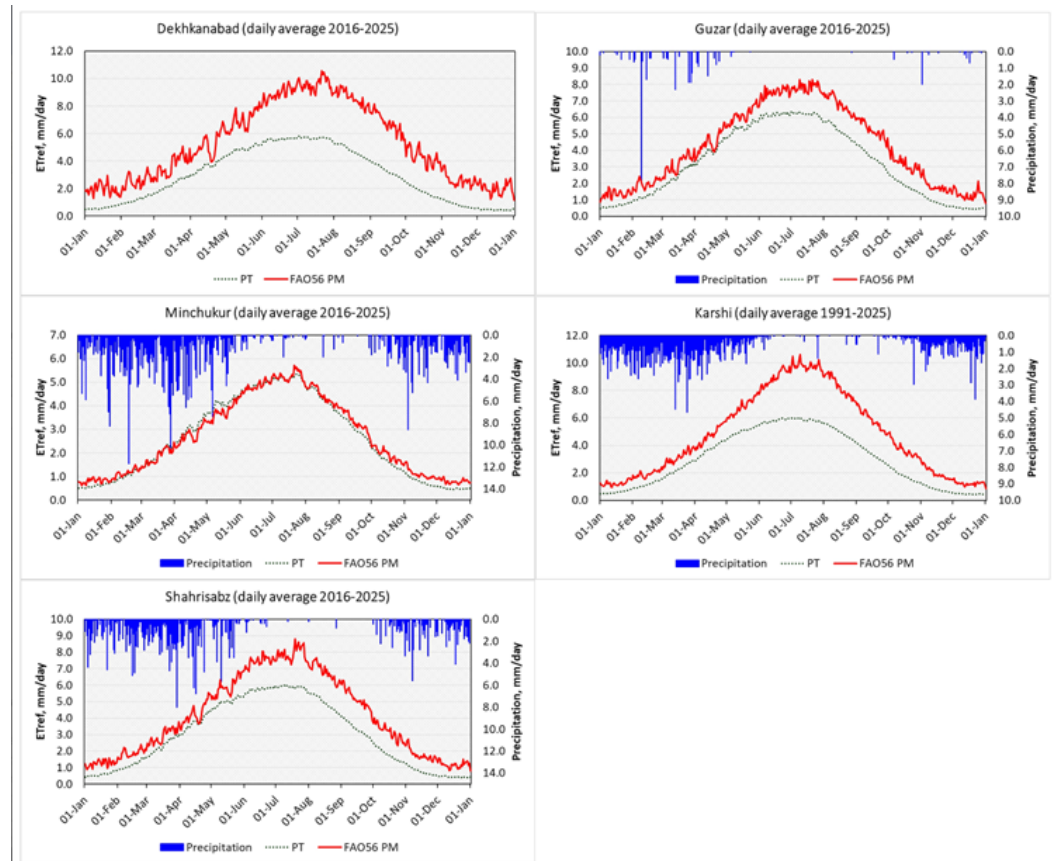


Figure 4. Temporal Dynamics of Average Daily Evapotranspiration (ET) During 2016–2025.

Rasm 4. 2016-2025 yillar davomida oʻrtacha kunlik evapotranspiratsiya (ET) dinamikasi.

Hisoblangan Pirson korrelyatsiya koeffitsientlari (r) Qashqadaryo viloyatining turli balandlik mintaqalarida iqlimiy va geografik omillar taʼsirida sezilarli darajada farqlanadi. Quydagi jadvalda (Jadval 3) kuzatuv stansiyalari kesimida olingan natijalar keltirilgan. Ushbu tahlil (Jadval 3) Qarshi meteostansiyasi joylashgan tekislik hududlarida vegetatsiya rivojlanishi bevosita termik resurslarga bogʻliq ekanligini tasdiqlaydi. Dehqonobod hududida kuzatilgan past korrelyatsiya esa oʻsimliklar dinamikasiga atmosferaning suvga boʻlgan talabi ET dan tashqari tuproq namligi va relyef xususiyatlari kuchliroq taʼsir koʻrsatishini anglatadi.

Table 3. Correlation between NDVI and ET Across meteorological stations

Jadval 3. Kuzatuv stansiyalari kesimida NDVI va ET oʻrtasida korrelyatsion bogʻliqlik

Stansiya	Korrelyatsiya r	Izoh
Qarshi	0.63	Eng yuqori musbat bogʻliqlik. Tekislik hududlarida vegetatsiya davrining boshlanishi toʻgʻridan-toʻgʻri issiqlik yigʻilishi (ET) bilan bogʻliq.
Shahrisabz	0.61	Kuchli musbat bogʻliqlik. Togʻ oldi hududlarida namlik va issiqlik balansi vegetatsiya dinamikasini belgilaydi.
Mingchuqur	0.61	Yuqori togʻli hudud boʻlishiga qaramay, vegetatsiya davri qisqa va harorat koʻtarilishi (ET) bilan qatʼiy cheklangan.
Gʻuzor	0.48	Oʻrtacha bogʻliqlik. Bu hududda landshaftning murakkabligi va antropogen omillar taʼsiri sezilarli.
Dehqonobod	0.21	Eng past bogʻliqlik. Bu hududda NDVI dinamikasi faqat ET bilan emas, balki boshqa omillar bilan ham bogʻlangan.

Munozara

Tadqiqot natijalari Qashqadaryo viloyatining turli tabiiy-geografik sharoitlarida NDVI va evapotranspiratsiya (ET) oʻrtasidagi bogʻliqlik bir xil emasligini koʻrsatdi. Hisoblangan Pirson korrelyatsiya koeffitsiyentlari 0.21 dan 0.63 gacha oʻzgarib, vegetatsiya qoplami holati va atmosfera tomonidan suvga boʻlgan talab oʻrtasidagi munosabat hududning iqlimiy, orografik va gidrologik xususiyatlariga bogʻliqligini tasdiqlaydi.

Qarshi ($r=0.63$) va Shahrisabz ($r=0.61$) meteorologik stansiyalarida aniqlangan yuqori musbat bog'liqlik vegetatsiya rivojlanishi va evapotranspiratsiya jarayonlari o'rtasidagi sinxronlikni ko'rsatadi. Ushbu hududlarda haroratning oshishi va vegetatsiya davrining faollashuvi o'simliklarning transpiratsiya intensivligini kuchaytirib, NDVI va ET qiymatlarining birgalikda ortishiga olib keladi. Bunday natijalar qurg'oqchil va yarim qurg'oqchil hududlarda NDVI hamda ET o'rtasida musbat bog'liqlik mavjudligini qayd etgan boshqa tadqiqotlar natijalari bilan ham mos keladi.

Mingchuqur stansiyasida ham nisbatan yuqori korrelyatsiya ($r=0.61$) kuzatilgan bo'lsa-da, bu hududning baland tog'li sharoiti sababli vegetatsiya davri qisqaroq hisoblanadi. Shu sababli o'simliklarning rivojlanishi asosan harorat omili bilan cheklanadi va ET ning mavsumiy o'zgarishi NDVI dinamikasida aniq namoyon bo'ladi. Bu holat tog'li hududlarda vegetatsiya jarayonlarining termik resurslarga yuqori darajada bog'liqligini ko'rsatadi.

G'uzor stansiyasida aniqlangan o'rtacha bog'liqlik ($r=0.48$) hududning murakkab landshaft tuzilishi va antropogen omillar ta'siri bilan izohlanadi. Sug'oriladigan va tabiiy yaylov maydonlarining birgalikda uchrashi NDVI hamda ET o'rtasidagi munosabatning barqarorligini pasaytirishi mumkin. Natijada vegetatsiya qoplami holati nafaqat evapotranspiratsiya, balki yer foydalanish turi va suv xo'jaligi faoliyati bilan ham belgilanadi.

Dehqonobod stansiyasida qayd etilgan eng past korrelyatsiya koeffitsiyenti ($r=0.21$) NDVI dinamikasi faqat evapotranspiratsiya bilan izohlanmasligini ko'rsatadi. Ushbu hududda relyefning murakkabligi, tuproq namligi, yog'ingarchilikning notekis taqsimlanishi hamda tabiiy o'simlik qoplamining fenologik xususiyatlari muhim rol o'ynaydi. Natijada ET ning ortishi har doim ham vegetatsiya indeksining oshishiga olib kelmaydi va ko'rsatkichlar o'rtasidagi bog'liqlik zaiflashadi.

Tadqiqot davomida NDVI ko'rsatkichlarining mavsumiy o'zgaruvchanligi ham yaqqol namoyon bo'ldi. Bahor va yoz oylarida vegetatsiya faollashishi natijasida NDVI va ET qiymatlari bir vaqtda ortgan bo'lsa, kuz va qish davrlarida har ikkala ko'rsatkich pasaygan. Bu holat o'simliklarning fiziologik faolligi hamda suv almashinuvi jarayonlari o'rtasidagi uzviy bog'liqlikni tasdiqlaydi.

Umuman olganda, olingan natijalar NDVI va ET ko'rsatkichlaridan birgalikda foydalanish qurg'oqchil hududlarda vegetatsiya holatini baholash, suv resurslariga bo'lgan talabni aniqlash va qurg'oqchilik xavfini monitoring qilishda samarali yondashuv ekanligini ko'rsatdi. Ayniqsa, Google Earth Engine platformasi asosida uzoq muddatli fazoviy-vaqt qatorlarini tahlil qilish suv resurslarini boshqarish va qishloq xo'jaligi monitoringi uchun muhim ilmiy-amaliy ahamiyatga ega.

Xulosa

Evapotranspiratsiya (ET) atmosferaning suvga bo'lgan fizik talabini ifodalasa, NDVI esa o'simlik qoplamining ushbu talabga nisbatan haqiqiy biofizik holati va biomassasini aks ettiradi. Ushbu ikki ko'rsatkich o'rtasidagi o'zaro bog'liqlikni shartli ravishda bir nechta termodinamik bosqichlarga ajratish mumkin. Xususan, bahorgi vegetatsiya davrida (mart-may oylari) havo harorati va quyosh radiatsiyasining izchil oshishi atmosferaning suvga bo'lgan ehtiyoji ortib, ET qiymatlari o'sadi. Bu jarayon bilan bir vaqtda o'simliklar faol o'sish bosqichiga o'tib NDVI ko'rsatkichlari ham o'sish tendensiyasini namoyon etadi. Tuproqda namligi yetarli bo'lgan sharoitda o'simliklar issiqlik energiyasidan samarali foydalanib, NDVI ko'rsatkichlari jadal sur'atlarda ortib boradi, bu esa ET va NDVI o'rtasida kuchli musbat korrelyatsiyani ta'minlaydi. Iyun-avgust oylarida kuzatiladigan yozgi issiqlik stress davrida evapotranspiratsiya yillik maksimal qiymatlarga yetadi, biroq ET talabining ortishi va suv resurslarining kamayishi natijasida o'simliklarda stomata qarshiligi oshadi, natijada NDVI qiymatlari pasaya boshlaydi va ET bilan o'zaro bog'liqlik zaiflashib ajralish (decoupling) hodisasi kuzatiladi. Sentyabr-noyabr oylarini qamrab olgan kuzgi pasayish bosqichida esa quyosh radiatsiyasi oqimining kamayishi tufayli har ikkala ko'rsatkich ham sinxron ravishda pasayadi.

Dehqonobod hududida kuzatilgan past korrelyatsiya esa o'simliklar dinamikasiga atmosferaning suvga bo'lgan talabi ET dan tashqari tuproq namligi va relyef xususiyatlari kuchliroq ta'sir ko'rsatishini anglatadi. Qashqadaryo viloyatida NDVI va ET o'rtasidagi o'zaro bog'liqlik kuzatuv stansiyalari kesimida kompleks tahlil qilinib, ularning zamon va makon (fazoviy-vaqt) bo'yicha o'zgarish qonuniyatlari aniqlandi. Shu bilan birga, korrelyatsiya koeffitsiyentining mavsumiy va hududiy farqlanishiga ta'sir etuvchi asosiy omillar ilmiy izohlandi.

Olingan natijalar iqlimiy noaniqliklar va suv tanqisligi sharoitlarida atrof-muhitni barqaror boshqarish, sug'oriladigan yerlar suvga bo'lgan talabini baholash, agroekotizimlar holatini monitoring

qilish, qurg'oqchilik xavfini erta aniqlash va suv resurslaridan oqilona foydalanishni ta'minlashda muhim vosita bo'lib xizmat qiladi.

Mualliflarning hissalari

O.N.: original matnni yozish; metodologiya. A.F.: fazoviy ma'lumotlar tahlili; tadqiqot. N.M.: resurslar; ma'lumotlarni jamlash. S.M.: vizualizatsiya; tahlil. G'.H.: konseptualizatsiya; metodologiya; matnni tahrirlash va ko'rib chiqish; ilmiy rahbarlik va yakuniy tasdiqlash. Barcha mualliflar nashr qilingan qo'lyozma versiyasi bilan tanish va u bilan rozi."

Authors' contribution

O.N.: Writing – original draft; Methodology. A.F.: Spatial data analysis; Investigation. N.M.: Resources; Data curation. S.M.: Visualization; Analysis. G'.Kh.: Conceptualization; Methodology; Writing – review editing; Supervision; Final approval. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Moliyalashtirish

Mualliflar barcha ma'lumot manbalari va veb-saytlarga samimiy minnatdorchilik bildiradilar. Ushbu tadqiqot Innovatsion rivojlanish agentligi (AL-47-21101711), shuningdek Irrigatsiya va suv muammolari instituti hamda Xitoy Fanlar Akademiyasi Shinjon Ekologiya va Geografiya instituti bilan hamkorlikdagi xalqaro loyihalar (N1/2025Z) va (01/2025-X) tomonidan birgalikda moliyalashtirildi.

Funding source

The authors sincerely thank all data sources and websites for their support. This research was jointly funded by the Innovation Development Agency (AL-47-21101711), as well as the international collaborative projects between the Research Institute of Irrigation and Water Problems and the Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences (N1/2025Z and 01/2025-X)

Etika tamoyillariga muvofiqlik

Qo'llanilmaydi. Ushbu tadqiqotda odamlar yoki hayvonlar ishtirok etmagan.

Ethics approval

Not applicable. This study did not involve humans or animals

Ma'lumotlar mavjudligi to'g'risidagi bayonot

Ushbu tadqiqot natijalarini tasdiqlovchi ma'lumotlarni tegishli muallifdan asosli so'rov bo'yicha olish mumkin. Tadqiqotda Google Earth dasturi orqali olingan NDVI ko'rsatkichlarining o'zgarish dinamikasi, Dehqonobod, G'uzor, Minchuqur, Qarshi va Shahrisabz meteorologik stansiyalarining 2016-2025 yillar oralig'idagi o'rtacha kunlik, havo harorati va yog'ingarchilik miqdori ma'lumotlari, FAO56 Penman-Monteith (PM) va Priestley-Taylor (PT) usullaridan foydalanildi.

Data Availability Statement

Data confirming the results of this study can be obtained from the relevant author upon a reasonable request. The study used the dynamics of changes in NDVI indices obtained through the Google Earth program, the average daily temperature and precipitation data from 2016 to 2025 of the Dehqonobod, G'uzor, Minchuqur, Qarshi, and Shahrisabz meteorological stations, and employed the FAO56 Penman-Monteith (PM) and Priestley-Taylor (PT) methods.

Rahmatnomalar

Mualliflar ushbu maqolani tayyorlash jarayonida ko'rsatgan yaqin hamkorligi va qimmatli yordami uchun Irrigatsiya va suv muammolari ilmiy-tadqiqot instituti hamda Google Earth Engine platformasiga o'z minnatdorchiligini bildiradi.

Acknowledgments

The authors would like to express their gratitude to the Scientific Research Institute of Irrigation and Water Problems for their close collaboration and valuable support during the preparation of this manuscript, as well as to the Google Earth Engine platform.

Manfaatlar to'qnashuvi

Mualliflar manfaatlar to'qnashuvi yo'qligini e'lon qiladilar.

Conflict of interest

The authors declare no conflicts of interest.

Qisqartmalar

ET Evapotranspiratsiya
NDVI Normalized Difference Vegetation Index
GEE Google Earth Engine

Adabiyot

- [1] Kh.Sh.Gafforov., Sh.D.Tursunboev "Assessment of the impact of climate change on hydrological processes in the chirchik river basin, №1(23).2021 Journal "Irrigatsiya va melioratsiya" (Russian)
- [2] Sun, K., Yang, P., Xia, J., Huang, H., Chen, Y., Wang, C., ... Lu, X. (2025). Multitemporal Drought-Vegetation Adaptation: Lag-Cumulative Effects and Resilience Dynamics in Central Asia. *Ecohydrology*, 18(7), e70145.
- [3] Olimjonov, N. (2025). ASSESSMENT OF THE LONG-TERM DYNAMICS OF AIR TEMPERATURE CHANGE IN THE KASHKADARYA REGION AND ITS IMPACT ON WATER RESOURCES. In *INTERNATIONAL CONFERENCE ON SCIENCE, EDUCATION LAW* (Vol. 1, Numbers 3,part 2, pp. 35–40). Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.17936358>
- [4] Gafforov, K. S., Bao, A., Rakhimov, S., Liu, T., Abdullaev, F., Jiang, L., ... Mukanov, Y. (2020). The assessment of climate change on rainfall-runoff erosivity in the Chirchik–Akhangaran Basin, Uzbekistan. *Sustainability*, 12(8), 3369. <https://doi.org/10.3390/su12083369>
- [5] Wang, J., Chen, C., Wang, J., Yao, Z., Wang, Y., Zhao, Y., ... Liu, T. (2024). NDVI estimation throughout the whole growth period of multi-crops using RGB images and deep learning. *Agronomy*, 15(1), 63. <https://doi.org/10.3390/agronomy15010063>
- [6] Bao, Y., Liu, T., Duan, L., Zhang, W., Liu, H., Singh, V. P. (2025). Evapotranspiration components and its driving mechanism in a sandy shrubland. *Ecological Indicators*, 180, 114322. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2025.114322>
- [7] Rouse Jr, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., Deering, D. W. (1973, December). Paper a 20. In *Third earth resources technology satellite-1 symposium: The proceedings of a symposium held by Goddard space flight center at Washington, DC on* (Vol. 351, p. 309).
- [8] Abbasi, N., Nouri, H., Didan, K., Barreto-Muñoz, A., Chavoshi Borujeni, S., Salemi, H., Opp, C., Siebert, S., Nagler, P. (2021). Estimating Actual Evapotranspiration over Croplands Using Vegetation Index Methods and Dynamic Harvested Area. *Remote Sensing*, 13(24), 5167. <https://doi.org/10.3390/rs13245167>
- [9] Xu, M., Kang, S., Wu, H., Yuan, X. (2018). Detection of spatio-temporal variability of air temperature and precipitation based on long-term meteorological station observations over Tianshan Mountains, Central Asia. *Atmospheric research*, 203, 141-163. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2017.12.007>
- [10] Kudoyarova, G. R., Xolodova, V. P., Veselov, D. S. (2013). Sovremennoe sostoyanie problemi vodnogo balansa rasteniy pri defitsite vodi. *Fiziologiya rasteniy*, 60(2), 155-155.(Russian)
- [11] Wen, R., Jiang, P., Qin, M., Jia, Q., Cong, N., Wang, X., ... Chen, N. (2023). Regulation of NDVI and ET negative responses to increased atmospheric vapor pressure deficit by water availability in global drylands. *Frontiers in Forests and Global Change*, 6, 1164347. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2023.1164347>
- [12] Karnieli, A., Ohana-Levi, N., Silver, M., Paz-Kagan, T., Panov, N., Varghese, D., Chrysoulakis, N., Provenzale, A. (2019). Spatial and Seasonal Patterns in Vegetation Growth-Limiting Factors over Europe. *Remote Sensing*, 11(20), 2406. <https://doi.org/10.3390/rs11202406>
- [13] Liu, L., Zhang, S., Zhou, Y., He, Q., Ruishen, L., Han, Y., Fang, K., Luo, M. (2024). The lag response time of reference evapotranspiration to VPD and air temperature is influenced by both climate and vegetation: Evidence from Inner Mongolia, China. *Wiley*. <https://doi.org/10.22541/au.173168289.90455938/v1>
- [14] Brown, M. E., Pinzon, J. E., Didan, K., Morisette, J. T., Tucker, C. J. (2006). Evaluation of the consistency of long-term NDVI time series derived from AVHRR, SPOT-vegetation, SeaWiFS, MODIS, and Landsat ETM+ sensors. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 44(7), 1787–1793. <https://doi.org/10.1109/tgrs.2005.860205>
- [15] Jasso, A., Muñoz, I., Pinto, D., Ramírez, J. M. (2026). Atmospheric Correction for Multispectral Satellite Imagery: An introductory review. *Geofísica Internacional*, 65(2), 2187-2221. <https://doi.org/10.22201/igeof.2954436xe.2026.65.2.1901>

- [16] Letu, H., Shang, H., Ma, R., Shi, C., Nakajima, T. Y., Ishimoto, H., ... Shi, G. (2026). CARE: A next-generation high resolution cloud and radiation remote sensing product and its Earth system applications. *Science Bulletin*. <https://doi.org/10.1016/j.scib.2026.02.046>
- [17] Almalki, R., Khaki, M., Saco, P. M., Rodriguez, J. F. (2022). Monitoring and mapping vegetation cover changes in arid and semi-arid areas using remote sensing technology: A review. *Remote Sensing*, 14(20), 5143. <https://doi.org/10.3390/rs14205143>
- [18] Xu, Y., Dai, Q. Y., Lu, Y. G., Zhao, C., Huang, W. T., Xu, M., Feng, Y. X. (2024). Identification of ecologically sensitive zones affected by climate change and anthropogenic activities in Southwest China through a NDVI-based spatial-temporal model. *Ecological Indicators*, 158, 111482. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.111482>
- [19] Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage paper 56. In *Irrigation and Drainage*. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2010.12.001>
- [20] Makhmudova, U., Khasanov, S., Karimov, A., Abdurakhmonov, S. (2023). Evaluation of perennial reference evapotranspiration (ET_o) over a typical dryland using satellite images: A case study from Uzbekistan. *Ecohydrology Hydrobiology*, 23(3), 484-497. <https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2023.03.006>Get rights and content
- [21] Gao, F., Hilker, T., Zhu, X., Anderson, M., Masek, J., Wang, P., Yang, Y. (2015). Fusing Landsat and MODIS data for vegetation monitoring. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine*, 3(3), 47-60. 10.1109/MGRS.2015.2434351
- [22] Robinson, N. P., Allred, B. W., Jones, M. O., Moreno, A., Kimball, J. S., Naugle, D. E., Erickson, T. A., Richardson, A. D. (2017). A Dynamic Landsat Derived Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) Product for the Conterminous United States. *Remote Sensing*, 9(8), 863. <https://doi.org/10.3390/rs9080863>
- [23] Ustin, S. L., Middleton, E. M. (2024). Current and Near-Term Earth-Observing Environmental Satellites, Their Missions, Characteristics, Instruments, and Applications. *Sensors*, 24(11), 3488. <https://doi.org/10.3390/s24113488>
- [24] Adugna, T., Xu, W., Fan, J., Luo, X., Jia, H. (2024). Multi-Temporal Pixel-Based Compositing for Cloud Removal Based on Cloud Masks Developed Using Classification Techniques. *Remote Sensing*, 16(19), 3665. <https://doi.org/10.3390/rs16193665>
- [25] Tittebrand, A., Spank, U., Bernhofer, C. H. (2009). Comparison of satellite-and ground-based NDVI above different land-use types. *Theoretical and Applied Climatology*, 98(1), 171-186. <https://doi.org/10.1007/s00704-009-0103-3>
- [26] Zeng, Z., Liu, X. (2025). Modelled Sensitivity of Evapotranspiration to Vegetation Change: Reconciling Observations and Earth System Models. <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu25-7853>
- [27] Gusev, A. P. (2022). Prostranstvenno-vremennaya dinamika NDVI polesskix landshaftov kak reaksiya na klimaticheskie izmeneniya. (Russian).

Nashriyot javobgar emas/ eslatmasi: Barcha nashrlarda keltirilgan bayonotlar, fikrlar va ma'lumotlar faqat mualliflar va ishtirokchilarga tegishlidir, na Jurnal va na muharrirlar. Jurnal va muharrirlar, mazkur kontentda keltirilgan har qanday g'oyalar, usullar, ko'rsatmalar yoki mahsulotlar natijasida insonlar yoki mulkka yetkazilgan har qanday zarar uchun javobgar emas.

Disclaimer of liability/Publisher's Note: The statements, opinions and data contained in all publications belong exclusively to individuals. The authors and participants, and the Journal and the editors. The journal and the editors are not responsible for any damage caused to people or property resulting from any ideas, methods, instructions or products mentioned in the content.