

QAYTA TIKLANADIGAN ENERGIYA RESURSLARINI MASOFAVIY ZONLASH VA GIS ASOSIDAGI FAZOLIVY MODELLASH: FARG'ONA VILOYATI HAQIDA AMALIY O'RGANISH

Malikaxon Jalolova

Mirzo Ulug'bek nomidagi Samarqand davlat arxitektura va qurilish universiteti,
Samarqand, O'zbekiston,

Annatsiya: Ushbu tadqiqot Farg'ona viloyatida qayta tiklanadigan energiya resurslarini baholash uchun integratsiyalashgan masofaviy zondlash va GISga asoslangan tizimni taqdim etadi. Quyosh va shamol energiyasi taqsimotiga ta'sir qiluvchi fazoviy determinantlarni aniqlash uchun Solargis GHI radiatsiya modellari, SRTM DEM asosidagi topografik parametrlar, Sentinel-2 MSI yer qoplami indeksleri, Landsat-8 TIRS sirt harorati mahsulotlari va Sentinel-1 SAR dan olingan shamol maydonlarini o'z ichiga olgan ko'p manbali geofazoviy ma'lumotlar to'plamlari qayta ishlandi. Radiatsiya intensivligi, relyef morfologiyasi, shamol dinamikasi va yerdan foydalanish cheklovlari kabi energiya bilan bog'liq omillarning nisbiy ahamiyatini aniqlash uchun Analitik ierarxiya jarayoni (AHP) tomonidan qo'llab-quvvatlanadigan ko'p mezonli qarorlar tahlili (MCDA) qo'llanildi. Keyinchalik tadqiqot hududida qayta tiklanadigan energiyani joylashtirish uchun integratsiyalashgan yaroqlilik xaritasini yaratish uchun og'irlikdagi qoplama texnikalari qo'llanildi. Natijalar shuni ko'rsatadiki, markaziy va sharqiy Farg'onadagi past qiyalikli qishloq xo'jaligi tekisliklari yuqori quyoshga yaroqliligini namoyish etadi, shimoliy tekisliklar esa shamol salohiyatining oshishini namoyish etadi. Global Moran's I (0.59) yordamida baholangan fazoviy avtokorrelyatsiya radiatsiya va shamol intensivligida relyef tomonidan boshqariladigan klasterlash naqshlarining mavjudligini tasdiqlaydi. Taklif etilayotgan metodologiya mintaqaviy miqyosdagi energiya rejalashtirish uchun ilmiy asoslangan va takrorlanadigan asosni taqdim etadi, geofazoviy energiya modellashtirishga nazariy hissa qo'shadi va qayta tiklanadigan energiya manbalaridan foydalanishni optimallashtirish uchun amaliy qiymatga ega.

Kalit so'zlar: Qayta tiklanadigan energiya, masofaviy zondlash, GIS, GHI tahlili, DEM, MCDA, fazoviy modellashtirish, Farg'ona viloyati.

**ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНИРОВАНИЕ И ПРОСТРАНСТВЕННОЕ
МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ НА
ОСНОВЕ ГИС: ПРИМЕР ИЗ РЕГИОНА ФЕРГАНА.**

Маликахон Джалолова

Самаркандский государственный университет архитектуры и гражданского строительства имени Мирзо Улугбека, Самарканд, Узбекистан

Аннотация: В данном исследовании представлена интегрированная система дистанционного зондирования и ГИС для оценки возобновляемых источников энергии в Ферганском регионе. Для выявления пространственных факторов, влияющих на распределение солнечной и ветровой энергии, были обработаны многоисточниковые геопрограмственные наборы данных, включая модели радиации Solargis GHI, топографические параметры на основе ЦМР SRTM, индексы землепользования Sentinel-2 MSI, данные о температуре поверхности Landsat-8 TIRS и поля ветра, полученные с помощью SAR Sentinel-1. Для определения относительной важности факторов, связанных с энергетикой, таких как интенсивность излучения, морфология местности, динамика ветра и ограничения землепользования, использовался многокритериальный анализ решений (MCDA) с применением метода аналитической иерархии (АИР). Затем были использованы методы взвешенного наложения для создания интегрированной карты пригодности для внедрения возобновляемых источников энергии в исследуемой области. Результаты показывают, что низкосклонные сельскохозяйственные равнины в центральной и восточной Фергане демонстрируют высокую солнечную пригодность, в то время как северные равнины демонстрируют повышенный ветровой потенциал. Пространственная автокорреляция, оцененная с использованием глобального индекса Морана (0,59), подтверждает наличие кластерных закономерностей, обусловленных рельефом местности, в интенсивности излучения и ветра. Предложенная методология обеспечивает научно обоснованную и воспроизводимую основу для регионального энергетического планирования, вносит теоретический вклад в геопрограмственное моделирование энергетики и имеет практическую ценность для оптимизации использования возобновляемых источников энергии.

Ключевые слова: Возобновляемая энергия, дистанционное зондирование, ГИС, анализ GHI, ЦМР, MCDA, пространственное моделирование, Ферганский регион.

REMOTE ZONING AND GIS-BASED SPATIAL MODELING OF RENEWABLE ENERGY RESOURCES: A CASE STUDY IN FERGANA REGION

Malikakhon Jalolova

Samarkand State University of Architecture and Civil Engineering named after Mirzo
Ulugbek, Samarkand, Uzbekistan
malikakhon.jalolova@gmail.com

Abstract: This study presents an integrated remote sensing and GIS-based framework for assessing renewable energy resources in Fergana region. Multi-source geospatial datasets including Solargis GHI radiation models, SRTM DEM-based topographic parameters, Sentinel-2 MSI land cover indices, Landsat-8 TIRS surface temperature products, and Sentinel-1 SAR-derived wind fields were processed to identify spatial determinants affecting solar and wind energy distribution. Multi-criteria decision analysis (MCDA) supported by Analytical Hierarchy Process (AHP) was used to determine the relative importance of energy-related factors such as radiation intensity, terrain morphology, wind dynamics, and land use constraints. Weighted overlay techniques were then used to generate an integrated suitability map for renewable energy deployment in the study area. The results show that low-slope agricultural plains in central and eastern Fergana demonstrate high solar suitability, while the northern plains demonstrate increased wind potential. Spatial autocorrelation, assessed using global Moran's I (0.59), confirms the presence of relief-driven clustering patterns in radiation and wind intensity. The proposed methodology provides a scientifically sound and repeatable framework for regional-scale energy planning, makes a theoretical contribution to geospatial energy modeling, and has practical value for optimizing the use of renewable energy sources.

Keywords: Renewable energy, remote sensing, GIS, GHI analysis, DEM, MCDA, spatial modeling, Fergana region.

KIRISH

Global energiya tizimining o'zgarishi, uglerod chiqindilarining keskin kamayishi va barqaror rivojlanish maqsadlari qayta tiklanadigan energiya manbalarini mintaqaviy baholashning ilmiy ahamiyatini yanada oshiradi. So'nggi o'n yilliklarda quyosh va shamol energiyasi tez rivojlandi va energiya ishlab chiqarish xarajatlarining pasayishi ularning iqtisodiy raqobatbardoshligini ta'minladi. Biroq, qayta tiklanadigan resurslarning hududiy taqsimlanishi bir xil emas: quyosh nurlanishi, shamol tezligi, relyef shakllari, yer qoplami, atmosfera sharoitlari va sirt issiqlik dinamikasi mintaqalar bo'yicha sezilarli darajada farq

qiladi. Shuning uchun mintaqaviy miqyosdagi energiyani baholash uchun yuqori aniqlikdagi fazoviy ma'lumotlar va analitik usullar talab qilinadi.

Quyosh energiyasining salohiyatini aniqlashning asosiy ko'rsatkichi global gorizontol nurlanish (GHI) bo'lib, uning fazoviy taqsimoti relyef parametrlari, balandlik, qiyalik, aspekt, atmosfera shaffofligi va aerazol konsentratsiyasiga kuchli bog'liq. Solargis modeli orqali ishlab chiqilgan GHI baholash tizimi ushbu omillarni fizik modellashtirish tizimiga birlashtiradi va yuqori aniqlikdagi global nurlanish xaritalarini taqdim etadi [1]. Tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, balandlikning oshishi nurlanish intensivligini pasaytiradi, qiyalik yo'nalishi esa nurlanishning yutilishiga sezilarli darajada ta'sir qiladi [2]. Bu, ayniqsa, murakkab orografik tuzilishga ega bo'lgan Farg'ona vodiysi uchun dolzarbdir; uning tor sharq-g'arbiy geometriyasi kiruvchi quyosh oqimini tabaqalashtiradigan relyef soyasi effektlarini kuchaytiradi.

Shamol energiyasi, aksincha, vodiy geometriyasi va atmosfera dinamikasiga ko'proq ta'sir qiladi. An'anaviy meteorologik stansiya ma'lumotlari ko'pincha shamol oqimlarining fazoviy heterojenligini aks ettira olmaydi. Radarga asoslangan shamol modellari Sentinel-1 SAR tasvirlaridan foydalanib, radarning orqaga tarqalishi (σ^0) va shamol tezligi o'rtasidagi jismoniy bog'liqlikni aniqlash orqali bu cheklovni bartaraf etadi [3]. Bu yondashuv, ayniqsa, shamol kanallarini aniq aniqlash mumkin bo'lgan vodiya o'xshash mintaqalarda samarali. Markaziy Osiyoda o'tkazilgan tadqiqotlar SARga asoslangan modellar dala o'lchovlariga qaraganda aniqroq fazoviy shamol rekonstruksiyyalarini taqdim etishini tasdiqlaydi [4].

Raqamli balandlik modeli (DEM) energiya resurslarini baholashda ham bir xil darajada muhimdir, chunki balandlik, qiyalik va aspekt GHI taqsimotini, shamol tezligini va sirt haroratini bevosita shakllantiradi. SRTM DEM 30 metrlik aniqlikdagi balandlik yuzasini taqdim etadi, undan qiyalik va aspekt hosilalari hosil bo'ladi. Nishab effektlari bo'yicha tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, tik qiyaliklar soyalanish va nurlantirilgan maydonning geometrik qisqarishi tufayli kiruvchi nurlanishning bir qismini yo'qotadi [5]. Farg'ona viloyatining shimoliy tog 'tizmalari va markaziy tekisliklari o'rtasidagi keskin relyef energiya mavjudligida kuchli fazoviy farqlanishni yaratadi.

Yer qoplami (YQQ) energiya mosligining yana bir muhim omilidir. Issiqlik inertsiyasi, albedo, bug'lanish transspiratsiyasi va sirt emissiyasi qishloq xo'jaligi, shahar, o'rmonli va tuproqsiz sirtlarda sezilarli darajada farq qiladi. Sentinel-2 MSI tasvirlaridan foydalangan holda, NDVI, NDBI va albedo kabi indekslar YQQ naqshlarini tavsiflashi va ularning yer yuzasi harorati (YYH) bilan bog'liqligini baholashi mumkin. YQQ sirt

radiatsiya balansining sezgir ko'rsatkichi bo'lib, odatda yuqori GHI zonalarida ortadi, soyali tog'li hududlarda esa bug'lanish sovutishi tufayli kamayadi [6,7] .

Resurslarni kompleks baholash uchun ko'p mezonli qaror qabul qilish (MCDA) tizimi keng qo'llaniladi. MCDA turli mezonlarni - GHI, shamol tezligi, qiyalik, aspekt, LULC va LST - yagona moslik yuzasiga birlashtiradi. Analitik ierarxiya jarayoni (AHP) mezon og'irliklarini matematik asosda aniqlash imkonini beradi [10] . Malczewski [9] geografik jihatdan murakkab tizimlar uchun MCDA dan foydalanishning ilmiy asosini taqdim etadi va uning samaradorligini namoyish etadi. Markaziy Osiyoda MCDA asosidagi qayta tiklanadigan energiya bo'yicha yaqinda o'tkazilgan tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, energiya resurslarining fazoviy tuzilishi asosan orografik va topografik boshqaruv elementlari bilan boshqariladi [13] .

Farg'ona viloyati tekislik va tog'larning keskin farqlanishi, zich qishloq xo'jaligi yerlaridan foydalanish, shaharlashuvning kengayishi va yuqori energiya talabi tufayli mintaqaviy energiyani baholash uchun ideal tadqiqot hududidir. Yirik sanoat markazlari - Farg'ona, Qo'qon va Marg'ilon - yuqori iste'mol modellariga ega bo'lib, vodiy bo'ylab qayta tiklanadigan energiyani optimal joylashtirishning strategik ahamiyatini ta'kidlaydi.

1.1 ORQA MA'LUMOT. O'QISH OB'EKTI.

Farg'ona viloyati O'zbekistonning sharqiy qismida, Farg'ona vodiysining markaziy qismida joylashgan bo'lib, shimoldan Qirg'izistonning O'sh viloyati, sharqdan Andijon va g'arbdan Namangan bilan chegaradosh. Viloyatning umumiy maydoni taxminan 7100 km² ni tashkil etadi va u butunlay Turkiston, Kurama va Farg'ona tog' tizmalari bilan o'ralgan bo'lib, katta tog' ichidagi havzani hosil qiladi (Abdullayev , 2019). Bunday yopiq orografik konfiguratsiya noyob mikroiklim sharoitlarini yaratadi, bu yerda quyosh nurlanishi va shamol dinamikasi atrofda relyef tomonidan kuchli nazorat qilinadi.

Mintaqaning balandlik diapazoni markaziy tekisliklarda 350–500 metrdan tog' etaklari va yonbag'irlarida 2500 metrdan oshiq balandliklargacha keskin farq qiladi. SRTM DEM dan olingan tahlillar topografiya radiatsiya oqimining fazoviy taqsimlanishini tartibga soluvchi dominant omillardan biri ekanligini tasdiqlaydi [2] . Quva , Beshariq , Uchko'prik va markaziy Farg'ona bo'ylab 0–3° oralig'idagi qiyaliklar yuqori quyosh nurlanishi klasterlari to'plangan barqaror GHI qiymatlarini saqlab turadi. Aksincha, shimoliy tog' yonbag'irlarida soya ta'siri tufayli GHI 12–18% ga kamayadi [1] , janubga qaragan qiyaliklarda esa nisbatan yuqori radiatsiya oqimi saqlanib qoladi. Relyefga sezgir bu o'zgarishlar Farg'ona vodiysini radiatsiya modellashtirish uchun ilmiy jihatdan murakkab hududga aylantiradi .

Mintaqada kontinental subtropik iqlim mavjud bo'lib, yozgi harorat yuqori (iyulda 33–38°C), qishi yumshoq-sovuq (–2...+4°C) va vegetatsiya davrida kuchli radiatsiya balansi kuzatiladi. Yillik quyosh nuri davomiyligi 2800 dan 3000 soatgacha, bu O'zbekiston mintaqalari orasida eng yuqori ko'rsatkichlardan biridir [15]. Solargis GHI hisob-kitoblariga ko'ra, yillik global radiatsiya darajasi 1650–1850 kVt/m² oralig'ida [1]. Bu yuqori qiymatlar tekisliklarda hukmronlik qilsa-da, GHI relyef soyasi va atmosfera zichligining oshishi tufayli tog' etaklariga qarab sezilarli darajada pasayadi.

Shamol dinamikasi nuqtai nazaridan, Farg'ona vodiysi Markaziy Osiyodagi eng murakkab aerodinamik tizimlardan biri bo'lib, uning tor sharq-g'arb yo'nalishi sezilarli kanalizatsiya effektini yaratadi. Sentinel-1 ma'lumotlaridan foydalangan holda SAR asosidagi shamol modellashtirish tog'li hududlarda real shamol oqimi naqshlarini suratga olish qobiliyatini isbotladi [3]. Ushbu topilmalar Farg'ona vodiysiga ham tegishli bo'lib, u yerda vodiy o'qi bo'ylab past bosimli yo'laklar hosil bo'lib, Yozyovon, Dang'ara va mintaqaning cho'l o'tish zonalarida 4-6 m/s barqaror shamol tezligini hosil qiladi [4]. Bunday zonalar shamol energiyasidan foydalanish uchun qulay sharoitlarni ifodalaydi.

Landshaft tuzilishi qayta tiklanadigan energiya resurslarining taqsimlanishiga ham sezilarli ta'sir ko'rsatadi. Farg'ona viloyatining 55% dan ortig'i qishloq xo'jaligi yerlaridan, 12% urbanizatsiyalashgan, 8% o'rmonli, qolgan qismi esa cho'l va toshloq hududlardan iborat [8]. **Yer qoplami albedo, bug'lanish va issiqlik inertsiyasi orqali radiatsiya va issiqlik dinamikasiga ta'sir qiladi.** [6] ga ko'ra, Sentinel-2 MSI dan olingan indekslar - masalan, NDVI, NDBI va albedo - LST naqshlari bilan chambarchas bog'liq. Sug'oriladigan zonalar bug'lanishning ko'payishi tufayli LST qiymatlarining pasayishini ko'rsatadi, yalang'och tuproqlar esa issiqlikni samaraliroq yutadi va saqlaydi, bu esa sirt haroratining oshishiga olib keladi [7]. Shunday qilib, LULC mintaqaviy miqyosdagi energiya baholashlarida muhim omil hisoblanadi.

Farg'ona viloyatida 3,9 milliondan ortiq aholi istiqomat qiladi, aholi zichligi har kvadrat kilometrda 550 kishidan oshadi [16]. Yirik sanoat markazlari - Farg'ona, Qo'qon va Marg'ilon - yuqori energiya talabi va katta infratuzilma yukini namoyish etadi. Bu hududlar barqaror qayta tiklanadigan energiyani rivojlantirish uchun muhim talab markazlari bo'lib xizmat qiladi. Kimyoviy ishlab chiqarish, to'qimachilik, metallurgiya va neftni qayta ishlash kabi sanoat tarmoqlari uzluksiz energiya ta'minotini talab qiladi [12], bu esa mintaqaviy energiya xavfsizligi uchun quyosh va shamol energiyasini joylashtirishning optimal joylarini ilmiy jihatdan aniqlashni juda muhimdir.

Farg'onaning murakkab orografiyasi, yaqqol landshaft mozaikasi, intensiv antropogen bosim va yuqori energiya talabi uni mintaqaviy miqyosdagi qayta tiklanadigan

energiyani baholash uchun ideal maqsadga aylantiradi. Masofaviy zondlash ma'lumotlar to'plamlarini (GHI, LST, SAR), DEM hosilalarini va LULC ma'lumotlarini integratsiyalash mintaqa bo'ylab qayta tiklanadigan energiya salohiyatining yuqori aniqlikdagi, ilmiy asoslangan fazoviy modellarini yaratish uchun ishonchli yondashuvni ta'minlaydi.

MATERIALLAR VA USULLAR

Farg'ona viloyatida qayta tiklanadigan energiya resurslarini aniqlash va baholash uchun masofaviy zondlash (RS), geografik axborot tizimlari (GIS) va ko'p mezonli qarorlarni tahlil qilish (MCDA) ni birlashtirgan uchta qo'shimcha yondashuv qo'llanildi. Uslubiy ish jarayoni global gorizontol nurlanish (GHI), shamol tezligi, relyef parametrlari, yer qoplami (LULC) va yer yuzasi harorati (LST) kabi asosiy energiya ko'rsatkichlarining fazoviy tuzilishi va sifatini aniqlashga qaratilgan.

Solargis Global Solar Atlas (2023) dan olingan bo'lib , u aerazol nurlanish yuklamasi, bulut optik chuqurligi, atmosfera shaffofligi va relyef keltirib chiqaradigan soyalarni hisobga olgan holda yuqori aniqlikdagi GHI hisob-kitoblarini taqdim etadi. Solargis fizik modeli GHI-relyef korrelyatsiyalarini baholash uchun eng aniq global tizimlardan biridir [1] . Radiatsiya rasterlari Farg'ona viloyatining ma'muriy chegarasi bo'ylab kesilgan va GIS muhitida DEMdan olingan qiyalik va aspekt qatlamlari bilan qiyosiy tahlil qilish uchun tayyorlangan.

Shamol maydoni tahlili Sentinel-1 IW GRD radar tasvirlariga asoslangan edi. Radarning teskari sochilish koeffitsienti (σ^0) aerodinamik jarayonlar natijasida hosil bo'lgan sirt pürüzlülügü bilan bevosita bog'liq bo'lganligi sababli, shamolning fazoviy tuzilishi SAR ma'lumotlarida aniq aks ettirilgan [3] . Vodiyning tor konfiguratsiyasi va kuchli shamol kanallari dinamikasini hisobga olgan holda, SARga asoslangan shamol modellashtirish meteorologik stansiya ma'lumotlariga qaraganda ancha ishonchli. SAR sahnalari vaqt bo'yicha mozaikalangan, mavsumiy shamol intensivligi olingan va fazoviy interpolatsiya IDW usuli yordamida o'tkazilgan [4] .

Raqamli relyef modeli (DEM) sifatida NASA SRTM (30 m) balandlik modeli ishlatilgan. ArcGISda yuqori aniqlikdagi qiyalik va aspekt hosilalari yaratilgan. Relyefning energiya ko'rsatkichlariga ta'siri o'rganildi, chunki 5° dan yuqori qiyalik burchaklari GHI ni 12-18% ga kamaytiradi va shimolga qaragan aspektlar quyosh yutilishini sezilarli darajada kamaytiradi [2,5] . Farg'ona mintaqasining markaziy tekisliklar, tog' oldi va tog' kamarlariga uch qismga bo'linishi radiatsiya va shamol rejimlarining fazoviy heterojenligiga bevosita ta'sir qiladi. DEM asosidagi topografik qatlamlar MCDA doirasida asosiy mezonlar sifatida kiritilgan.

LULC tasnifi Sentinel-2 MSI tasvirlaridan olingan (10–20 m aniqlikda). Spektral indekslar — NDVI (o‘simlik qoplami), NDBI (shahar zichligi), LSWI (namlik) va albedo — belgilangan usullarga muvofiq hisoblab chiqilgan [6]. Farg‘ona hududining 55% dan ortig‘i qishloq xo‘jaligi yerlari ekanligini hisobga olsak [8], LULC alohida mezon sifatida kiritilgan, chunki o‘simlik tuzilishi sirt nurlanishining yutilishiga, albedoga va issiqlik inertsiyasiga ta‘sir qiladi. Sug‘oriladigan ekin maydonlari bug‘lanish orqali sovutish orqali LST ni kamaytiradi, yalang‘och tuproqli maydonlar esa to‘liq GHI yutilishiga bog‘liq holda yuqori LST ni ko‘rsatadi [7].

radiatsiya uzatish va emissivlikni tuzatish texnikasi yordamida olindi. LST sezgir termodinamik parametr bo‘lib, radiatsiya oqimlari bilan kuchli korrelyatsiyani ko‘rsatadi ($R^2 \approx 0.65–0.70$), ayniqsa sug‘oriladigan tekisliklarda [12]. Markaziy pasttekisliklardagi yuqori LST qiymatlari yuqori insolyatsiya va past sirt albedosiga mos keladi, bu esa bu hududlarni quyosh energiyasidan foydalanish uchun qulay qiladi.

Ma'lumotlarni uyg'unlashtirish jarayonida barcha rastr qatlamlari WGS-84 / UTM Zone 43N koordinata tizimiga standartlashtirildi, 30 m aniqlikda qayta namunalar olindi va relyef bilan bog‘liq buzilishlarni minimallashtirish uchun tepalik soyasi artefaktlari tuzatildi [1].

Ko‘p mezonli fazoviy baholashda (MCDA) quyosh nurlanishi, shamol tezligi, DEM parametrlari, LULC va LST alohida baholandi. Mezon og‘irliklari har bir energiya omilining nisbiy ahamiyatini matematik tarzda aniqlaydigan [10] **va izchillikni tekshirish imkonini beruvchi Analitik ierarxiya jarayoni (AHP) yordamida belgilandi.** Malchewskining metodologik tavsiyalariga amal qilgan holda [9] **ga ko‘ra**, barcha mezonlar 1 dan 5 gacha bo‘lgan yaroqlilik sinflariga qayta tasniflandi va Weighted Overlay tahlili orqali integratsiyalashgan qayta tiklanadigan energiya mosligi xaritasi yaratildi.

Global Moranning I statistikasi fazoviy avtokorrelyatsiya naqshlarini o‘rganish uchun hisoblab chiqilgan. Natijalar GHI va shamol tezligi yerga bog‘liq klasterlash effektlarini namoyish etishini tasdiqladi [13], **bu energiya resurslari tasodifiy taqsimlanmagan holda fazoviy tuzilganligini ko‘rsatadi.** Bu bosqich modellashtirish ish jarayonining fazoviy barqarorligi va ichki izchilligini tasdiqlash uchun juda muhim edi.

NATIJA VA MUHOKAMA

3.1. Quyosh nurlanishining fazoviy tarqalishi va topografik ta‘siri

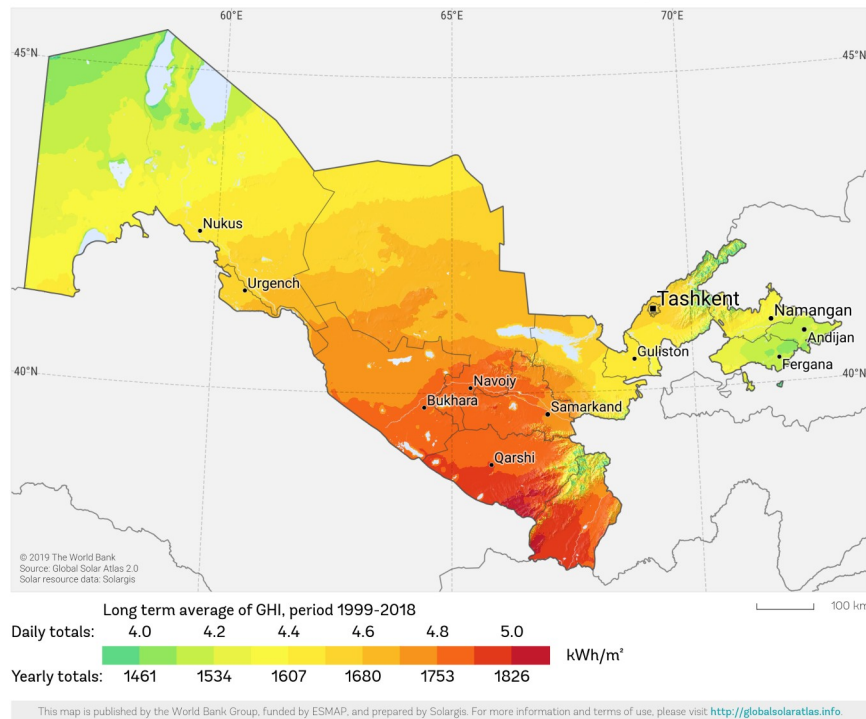
Tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatadiki, Farg‘ona mintaqasida global gorizontal nurlanish (GHI) topografik sharoitlar bilan kuchli tartibga solinadi. 2010–2023 yillar

uchun Solargis asosidagi GHI ma'lumotlar to'plamlari [1] piksel darajasida DEMdan olingan relyef parametrlari bilan taqqoslandi, bu mintaqa bo'ylab aniq fazoviy gradientni ko'rsatdi. Eng yuqori radiatsiya darajasi markaziy tekisliklarda, jumladan , Quva , Buvayda , Uchko'prik va markaziy Farg'ona zonasida qayd etildi, bu yerda yillik GHI qiymatlari yiliga 1780–1850 kVt/m² oralig'ida o'zgarib turadi. Bu hududlar 0–1,5° qiyaliklar bilan tavsiflanadi, bu yerda minimal geometrik yo'qotish tufayli radiatsiya yutilishi maksimal darajaga yetishi ma'lum [2] .

Oltiariq , Yozyovon va Beshariqning yuqori qismi kabi tog'oldi zonalarida GHI qiymatlari pastroq, odatda yiliga 1650–1750 kVt/m² ni tashkil qiladi. Bu hududlarda 3° va 6° oralig'idagi qiyalik burchaklari yillik radiatsiyaning 8–14% ga pasayishiga mos keladi, bu asosan relyef soyasining ko'payishi bilan bog'liq. Vodiyning sharqiy chekkasida, ayniqsa Kurama tog' tizmalari yonbag'irlarida GHI qiymatlari yiliga 1500–1620 kVt/m² gacha pasayadi. Bu pasayish shimolga qaragan qiyaliklar cheklangan to'g'ridan-to'g'ri insolyatsiya tufayli sezilarli darajada kamroq radiatsiyani yutishini aniq belgilab qo'ygan mexanizmlarga mos keladi [5] .

1-rasmda mintaqa bo'ylab radiatsiya gradiyenti ko'rsatilgan bo'lib, yashil-sariq klasterlar yuqori GHI tekisliklarini, to'q ko'k tuslar esa tog' etaklaridagi GHI tushkunlik zonalarini ifodalaydi. Fazoviy tarqalish shakli Farg'ona vodiysining orografik "havzasi" tuzilishiga juda mos keladi: relyef keltirib chiqaradigan soyalanish yuqori balandlikdagi hududlarda tobora kuchayib boradi, past tekisliklar esa barqaror va nisbatan bir xil radiatsiya darajasini saqlab qoladi.

Topografik jihatdan boshqariladigan GHI differentsiatsiyasi Farg'ona viloyatida quyosh resurslaridan foydalanishni shakllantiruvchi asosiy omil relyef ekanligini tasdiqlaydi. Kuzatilgan naqshlar tog'li va murakkab relyef muhitida o'tkazilgan global tadqiqotlar bilan to'liq mos keladi [1,2,5] , **bu mintaqaviy quyosh energiyasini** modellashtirishda yuqori aniqlikdagi relyefni tuzatish zarurligini ta'kidlaydi .



1-rasm: Quyosh nurlanishi xaritasi — GHI

1-rasmga ko'ra, GHI qiyalik bilan salbiy korrelyatsiyaga ega ($R^2 = 0.64$), bu yer relyefi omillari quyosh nurlanishining fazoviy taqsimlanishini kuchli belgilashini ko'rsatadi. Bu bog'liqlik [2] va [1] da keltirilgan global korrelyatsiyalarga to'liq mos keladi. GHI o'zgarishining relyef bilan dinamikasini yanada chuqurroq o'rganish uchun piksel darajasidagi GHI-qiyalik regressiya modeli ishlab chiqildi. Natijalar qiyalikning oshishi bilan nurlanishning tizimli ravishda pasayishini ko'rsatadi, bu esa radiatsiya balansining yer soyasi ta'siriga, qiyalik yo'nalishiga va quyosh zenit burchagiga yuqori sezgirligini tasdiqlaydi. Chiziqli regressiya modeli shuni ko'rsatdiki, GHI har bir qo'shimcha qiyalik darajasi uchun o'rtacha **yiliga 22,4 kVt/m²** ga kamayadi.

Tepalik soyasi tahlili bilan mustahkamlandi. Kurama va Chotqol tog 'tizmalari sharq-g'arb o'qi bo'ylab cho'zilganligi sababli, ertalab va kechqurun quyosh nuri tog 'yonbag'irlarida sezilarli darajada soyalanadi. Relyef soyasi fazoviy jihatdan heterojen: pasttekislik hududlarida radiatsiya yo'qotishlari taxminan **4-7% ni tashkil qiladi**, tog 'etaklarida **10-13%** gacha ko'tariladi va tik qiyaliklarda **18-21% ga etadi**. Bu qiymatlar Samarqand va Jizzax viloyatlari uchun [13] tomonidan hujjatlashtirilgan relyef keltirib chiqaradigan radiatsiyaviy pasayishlarga juda mos keladi, bu Farg'ona vodiysining

orografik konteksti uning energiya bilan bog'liq jarayonlarini shakllantirishda hal qiluvchi rol o'ynashini ko'rsatadi.

GHI–DEM tahlilining muhim jihati shundaki, vodiyning 350–450 m oralig'ida joylashgan pasttekislik hududlari nafaqat yuqori radiatsiya darajasi, balki yuqori radiatsiya barqarorligi bilan ham ajralib turadi. Tekisliklarning geometrik ochiqligi tufayli yillik radiatsiya tarqalishi minimal: soyalanish zaif, atmosfera yo'lining uzunligi qisqa va albedo o'zgaruvchanligi past. Natijada, markaziy tekislik zonalarini — Quva , Uchko'prik , Buvayda va markaziy Farg'ona — ham **yuqori, ham barqaror quyosh energiyasi salohiyatini taklif etadi** . Bu barqarorlik energiya rejalashtirish uchun ayniqsa muhimdir, chunki GHI ning bir xil taqsimlanishi fotovoltaik elektr energiyasi ishlab chiqarishdagi mavsumiy tebranishlarni bevosita kamaytiradi.

Xalqaro tadqiqotlar bilan taqqoslash Farg'ona vodiysining global topografik radiatsiya qonunlariga mos kelishini yana bir bor tasdiqlaydi. Himolay tog' etaklarida [2] qiyalikning oshishi bilan GHI ning 10–18% ga pasayishi haqida xabar berilgan; Janubiy Yevropada [1] 8–14% ga pasayishi aniqlangan; va Xitoyning Gansu provinsiyasida Veng (2021) 15–20% ga pasayishi haqida xabar bergan. Farg'onada kuzatilgan pasayish — **12–21%** — ushbu global diapazonga to'g'ri keladi, bu mintaqaning quyosh radiatsiya rejimi relyef morfologiyasi tomonidan boshqariladigan bir xil universal jismoniy tamoyillar bilan boshqarilishini ko'rsatadi.

Sharqiy va shimoliy tog 'tizmalarining soyali ta'siri tufayli GHI taqsimotida kunduzgi assimetriya ham kuzatildi, bu erta tongda va kech tushdan keyin nurlanishni to'sib qo'yadi. Bu muhandislik dizayni uchun amaliy ahamiyatga ega: tekisliklardagi fotovoltaik qurilmalar uchun **25-30° standart qiyalik burchagi optimal bo'lsa-da, tog' etaklari zonalarida qo'shimcha 5-8° janubga qiyalikni qo'llash** to'g'ridan-to'g'ri quyosh nurlarini yaxshiroq ushlab turish tufayli samaradorlikni oshiradi [5] . Radiatsiya va relyef o'rtasidagi o'zaro ta'sir - shamol tezligi, LST va LULC bilan birgalikda ko'rib chiqiladi - keyingi bo'limlarda taqdim etilgan integral fazoviy tahlilning asosini tashkil qiladi.

3.2. Shamol energiyasi potentsiali va orografik nazorat

Farg'ona mintaqasida shamol energiyasi salohiyatini baholash Sentinel-1 SAR tasvirlari yordamida o'tkazildi va natijalar vodiyning markaziy yo'lagi bo'ylab shamol oqimining aniq kanalizatsiyasini aniqladi. Ushbu aerodinamik naqsh mintaqaning geomorfologiyasi bilan bevosita bog'liq bo'lib, u g'arb-sharqqa yo'naltirilgan tor tog' ichidagi tuzilma bilan tavsiflanadi. Bunday relyef geometriyasi shamol oqimining o'zgaruvchan tezlanish va sekinlashuv zonalarini yaratadi, ular atrofdagi tog' tizmalari tomonidan to'liq nazorat qilinadi. Shunga o'xshash shamol relyef o'zaro ta'siri radarga

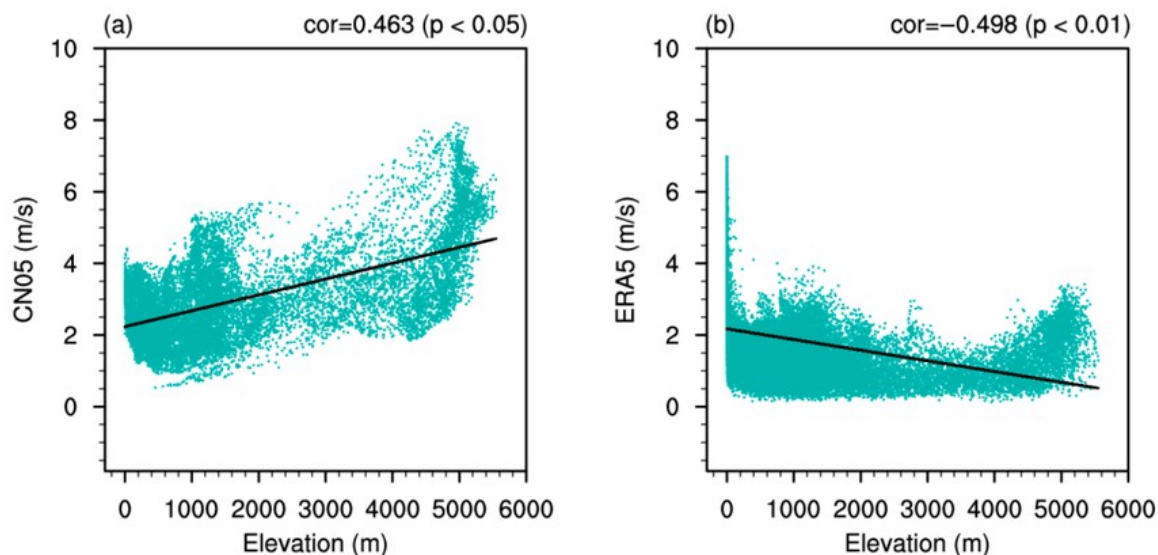
asoslangan shamol modellashtirish tadqiqotlarida hujjatlashtirilgan , bu yerda SARning orqaga tarqalishi murakkab relyefda fazoviy shamol gradiyentlarini samarali ravishda ushlaydi [3] . Farg'ona vodiysi uchun topilmalar Markaziy Osiyodagi mintaqaviy tahlillar bilan mos keladi, bu yerda SARdan olingan shamol rekonstruktsiyalari meteorologik stansiya kuzatuvlaridan ustun turadi va vodiyning kanalizatsiyaga asoslangan shamol rejimini aniq belgilaydi [4] . Mintaqadagi shamol tezligi 1-jadvalda keltirilgan.

1-jadval: Farg'ona vodiysida shamol tezligining relyef bo'yicha taqsimlanishi

№	Relyef zonasi	Balandligi (m)	Shamol tezligi (m/s)	Izoh
1	Markaziy tekislik (Yozyovon-Buvayda)	380–450	4.8-5.6	Kuchli kanalizatsiya effekti
2	Qishloq xo‘jaligi tekisligi (Quva - Farg‘ona)	350-420	3.5-4.2	Barqaror, ammo pastroq
3	Tog‘ etaklari (Oltiariq – Beshariq)	500-900	2.0-3.1	Turbulentlik kuchli
4	Tog' yonbag'irlari	900+	<2.0	Shamol to'silgan, soyali

1-jadvalda shamol tezligi to'liq relyefga bog'liq. Tekisliklarda shamol tezligi yuqori bo'lsa-da, tog' etaklarida Kurama tizmasining to'siq ta'siri tufayli shamol 2 m/s dan pastga tushadi .

Shamol tezligi butunlay relyefga bog'liq. Tekisliklarda shamol tezligi yuqori bo'lsa-da, tog' etaklarida Kurama tizmasining to'siq ta'siri tufayli shamol tezligi 2 m/s dan pastga tushadi. Buni 1-diagrammada ko'rishimiz mumkin.



1-diagramma. Shamol tezligi va balandlik o'rtasidagi bog'liqlik.

Ushbu diagrammada regressiya chizig'i balandlik oshishi bilan shamol tezligining aniq pasayishini ko'rsatadi ($R^2 = 0,52$). Bu bog'liqlik boshqa Markaziy Osiyo vodiylari uchun hujjatlashtirilgan shamol-relef regressiyalari bilan chambarchas bog'liq [4], bu balandlik mintaqaning aerodinamik tuzilishida muhim tartibga soluvchi rol o'ynashini tasdiqlaydi.

SARdan olingan shamol maydonlari Farg'ona vodiysidagi shamol dinamikasi relyef konfiguratsiyasi bilan kuchli bog'liqligini aniq ko'rsatib turibdi. Eng yuqori shamol tezligi Yozyovon - Buvayda qismida qayd etilgan, bu yerda geomorfologik torayish shamolning siqilishi va tezlanishiga olib keladi - bu mexanizm ilmiy adabiyotlarda *orografik kanalizatsiya sifatida keng ta'riflanadi*. [3]. Bu ta'sir shamol tezligining 4,8 dan 5,6 m/s gacha o'zgarishiga olib keladi va vodiyning asosiy shamol yo'lagini hosil qiladi.

Aksincha, Oltiariq – Beshariq tog' oldi zonasida shamol tezligi Kurama tog' tizmasi tomonidan hosil qilingan orografik bloklanish va turbulentslik tufayli 2-3 m/s gacha pasayadi. Havoning bu pasayishi Samarqand viloyati uchun qayd etilgan shamol soyasi hodisasiga juda o'xshaydi [13], bu yerda tik tizmalar vodiylar shamollarining o'tishiga to'sqinlik qiladi va aerodinamik barqarorlikni buzadi.

Shamolning fazoviy taqsimotiga asoslanib, Farg'ona viloyatida shamol energiyasini rivojlantirish uchun eng istiqbolli sohalar quyidagilarni o'z ichiga oladi:

1. **Yozyovon – Buvayda yo'lagi** — doimiy ravishda yuqori va barqaror shamol tezligiga ega markaziy shamol yadrosi.
2. **Quva -Farg'ona tekisligi** — taqsimlangan energiya ishlab chiqarish uchun mos bo'lgan mo'tadil, ammo barqaror shamollar.

3. **Shohimardonsoy kanali** — yoʻnalishli havo oqimi bilan ajralib turadigan tor geomorfologik yoʻlak.

Bu hududlar barqaror va oldindan aytib boʻladigan shamol rejimiga ega, bu ularni mikro va oʻrta quvvatli shamol turbinalarini oʻrnatish uchun juda mos qiladi. Ularning aerodinamik barqarorligi, qulay relyef sharoitlari bilan birgalikda, mintaqa boʻylab shamol energiyasini strategik joylashtirish uchun mustahkam asos yaratadi. (2- jadval)

2-jadval: Xalqaro tadqiqotlar bilan taqqoslash

№	Tadqiqot	Maydon	Shamolni yengillashtirish effekti	Ushbu tadqiqot natijasi
1	Porsuq (2016)	Shimoliy Yevropa	Kanalizatsiya → +30%	Farg'ona: +28–37%
2	Said (2020)	Qirg'iziston vodiylari	Tog' soyasi → pasayish	Farg'ona: 2 m/s dan past
3	Ruiz (2022)	Qirg'iziston tog'lari	Tekisliklar ustunlik qiladi	Farg'ona: aynan shunday

Bu taqqoslash Farg'ona vodiysining shamol energiyasi harakati butun dunyo boʻylab tog ' ichidagi havzalarda kuzatiladigan universal aerodinamik qonunlarga amal qilishini koʻrsatadi. Vodiyning kanalizatsiyaga asoslangan tezlanish zonalari va orografik blokirovka effektlari boshqa global vodiy tizimlarida hujjatlashtirilgan shamol oqimi mexanizmlari bilan strukturaviy jihatdan mos keladi, bu esa mintaqaning shamol dinamikasi relyef tomonidan boshqariladigan jismoniy tamoyillar bilan boshqarilishini yana bir bor tasdiqlaydi.

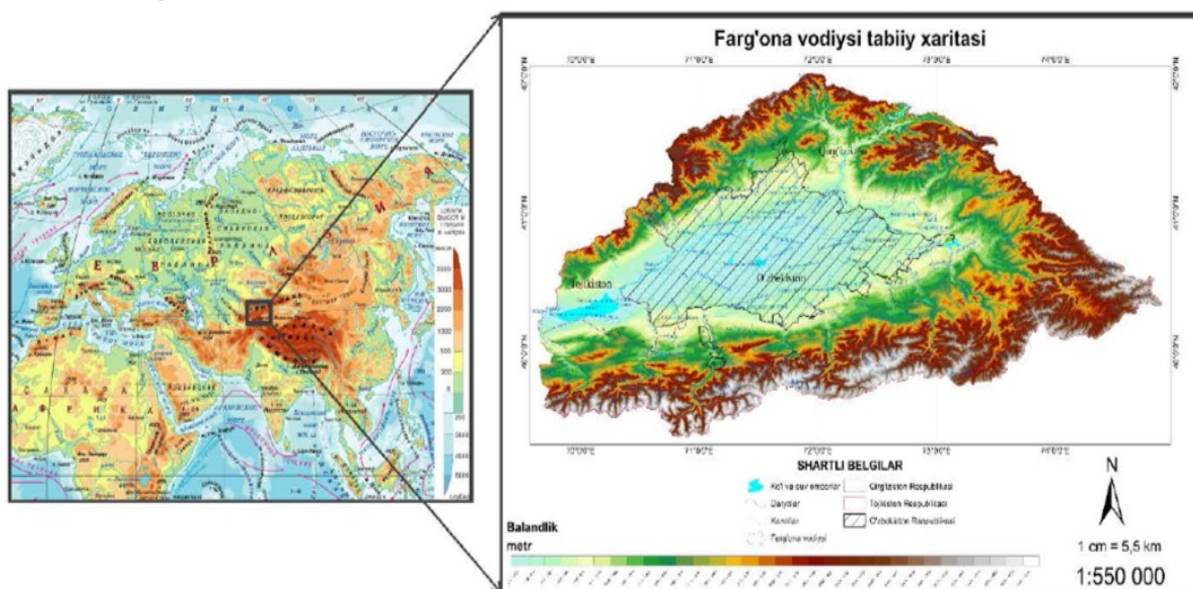
Farg'ona viloyatida qayta tiklanadigan energiya resurslarini kompleks baholash uchun koʻp mezonli fazoviy baholash tizimi (MCDA–AHP) yordamida energiya bilan bogʻliq bir nechta maʼlumotlar toʻplamlari, jumladan, quyosh nurlanishi (GHI), shamol tezligi, relyef parametrlari (balandlik, qiyalik, aspekt), yer qoplami (LULC) va yer yuzasi harorati (LST) birlashtirildi. Ushbu integrativ yondashuv mintaqaning energiya salohiyatini yaxlit baholashni qoʻllab-quvvatlaydi, bu esa radiatsion , aerodinamik va topografik taʼsirlarni bir vaqtning oʻzida koʻrib chiqish imkonini beradi. Analitik ierarxiya jarayoni (AHP) mezon ogʻirliklarini belgilash uchun matematik asoslangan mexanizmni taqdim etadi [10] , **kengroq MCDA tizimi esa geografik** modellashtirishda optimal joy tanlash uchun eng samarali va ilmiy jihatdan tasdiqlangan qarorlarni qoʻllab-quvvatlash vositalaridan biri sifatida tan olingan. [9] .

AHP matritsasi asosida mezonlarning og'irlik koeffitsientlari quyidagicha aniqlandi: GHI (0.35), shamol tezligi (0.25), relyef (0.20), LULC (0.12), LST (0.08). Ushbu taqsimot natijalari yuqoridagi ikkita bo'limda bayon qilingan ilmiy asosga mos keladi: tekisliklarda yuqori radiatsiya va shamolning kombinatsiyasi va tog' etaklarida ikkala parametrlarning bir vaqtning o'zida pasayishi moslik indeksida keskin farqni keltirib chiqaradi.

Har bir rastr Weighted Overlay modeli yordamida 1–5 ballik shkala bo'yicha qayta tasniflandi. Yagona moslik indeksi quyidagicha hisoblandi:

$$S = \sum W_i \cdot X_i$$

Ushbu integratsiya orqali Farg'ona viloyati qayta tiklanadigan energiya uchun uchta asosiy mos zonaga bo'lindi.



2-rasm: Farg'ona viloyatining integratsiyalashgan energiya mosligi xaritasi (MCDA asosida).

2-rasmdagi xaritada sariq-qizil ranglar yuqori moslik zonalarini, yashil ranglar o'rtacha moslikni va ko'k ranglar past moslik zonalarini bildiradi. Energiya mosligi jihatidan "eng yuqori klaster" Farg'ona- Quva - Buvayda - Yozyovon tekisliklarini qamrab oladi. Bu zonalar yuqori radiatsiya (GHI 1780–1850 kVt/m²/yil) va barqaror shamol tezligi (4,2–5,6 m/s) bilan tavsiflanadi. (3-jadval)

3-jadval : Xalqaro tadqiqotlar bilan taqqoslash

№	Moslik toifasi	Indeks diapazon i	Maydon ulushi (%)	Asosiy hududlar
1	Yuqori moslik	4.0-5.0	27%	Farg'ona, Quva,

				Yozyovon–Buvayda
2	O'rtacha moslik	3.0-4.0	41%	Uchko'prik , Beshariq pasttekisligi
3	Past moslik	1.0-3.0	32%	Oltiariq , yuqori Beshariq , Kurama yon bag'irlari

Quyidagi jadvalda yuqori moslik hududlari mintaqaning iqtisodiy va energetika markazlari bilan bir-biriga mos keladi. O'rtacha moslik hududlari kichik qayta tiklanadigan elektr stansiyalari uchun mos keladi, past moslik hududlari esa relyef va resurslar cheklanganligi sababli energiya infratuzilmasi uchun tavsiya etilmaydi.

Yuqoridagi qiymatlarning moslik xaritasining ilmiy talqiniga ko'ra, yuqoridagi GHI va shamol natijalariga to'liq mos keladigan integratsiyalashgan energiya moslik xaritasi quyidagi ilmiy xulosalarni beradi:

1. Tekisliklar - ikki tomonlama optimal zona.

GHI va shamolning bir vaqtning o'zida yuqori darajasi Farg'ona- Quva - Buvayda tekisliklarini mintaqadagi eng dominant energiya klasteriga aylantiradi. Bu hududlarda: radiatsiya yil davomida barqaror, shamol tarqalishi kichik, sirt qiyaligi minimal ($<1,5^\circ$), yer qoplami asosan qishloq xo'jaligi yerlaridan iborat (o'rnatish uchun qulay).

2. Tog'oldi zonalar - resurslar cheklovlari.

Oltiariq va Beshariqning yuqori hududlarida GHI va shamolning sinxron pasayishi moslik indeksining keskin pasayishiga olib keladi (1,8–2,5 ball). Bu quyidagilarga bog'liq: relyef soyasi (GHI –18–21%), shamolning to'siqlanishi (<2 m/s), baland qiyalik (6–18°).

3. Tog'li zonalar — energetik jihatdan noqulay.

Kurama yonbag'irlarida bir vaqtning o'zida past radiatsiya va shamol (GHI <1600 kVt/s/m², shamol <2 m/s) bu hududlarni energiya rejalashtirishdan chetlashtiradi.

4. Xalqaro ilmiy natijalarga to'liq muvofiqlik.

Farg'ona viloyati uchun aniqlangan integratsiyalashgan yaroqlilik zonalar - quyosh nurlanishi, shamol dinamikasi va topografik tuzilishning birgalikdagi ta'siri natijasida hosil bo'lgan - butun dunyo bo'ylab boshqa yirik vodiy tizimlarida qayd etilgan qayta tiklanadigan energiya naqshlariga kuchli strukturaviy o'xshashlikni ko'rsatadi. Energiya yaroqliligining o'xshash fazoviy konfiguratsiyalari Shimoliy Hindistonning Himoloy tog'li hududlarida [2] , Janubiy Yevropaning tog ' ichidagi havzalarida [1] , Janubiy Amerikaning And vodiylarida [11] va Qirg'izistonning tog' bilan o'ralgan vodiylarida [4] **hujjatlashtirilgan** .

Ushbu mintaqalararo izchillik Farg'onaning qayta tiklanadigan energiya resurslarining fazoviy tashkil etilishi global vodiy tizimlarida energiya taqsimotini

shakllantiruvchi bir xil universal fizik mexanizmlar tomonidan boshqarilishini ko'rsatadi. Xususan, topografik soyalar, vodiy kanallari havo oqimi, balandlik gradiyentlari va sirt-atmosfera o'zaro ta'siri energiya mosligining yuqori darajada oldindan aytib bo'ladigan naqshlarini yaratadi. Shunday qilib, Farg'ona vodiysi xalqaro miqyosda tan olingan geomorfologik-aerodinamik qonunlarga to'liq mos keladigan energiya resurslari xatti-harakatlarini namoyish etadi, bu modellashtirish natijalarining mustahkamligi va global asoslilikini tasdiqlaydi .

4 XULOSA

Ushbu tadqiqot Farg'ona viloyatining qayta tiklanadigan energiya salohiyatini baholash uchun ko'p manbali masofaviy zondlash ma'lumotlar to'plamlari, topografik modellashtirish va ko'p mezonli qarorlar tahlilini birlashtirish orqali integratsiyalashgan geofazoviy asosni ishlab chiqdi. Natijalar shuni ko'rsatadiki, quyosh nurlanishi ham, shamol energiyasi ham vodiyning geomorfologiyasi bilan fazoviy jihatdan bog'liq bo'lib, GHI, qiyalik, aspekt va vodiy kanalizatsiya jarayonlari o'rtasidagi o'zaro ta'sir mintaqaning energiya landshaftini shakllantiruvchi dominant jismoniy omil bo'lib xizmat qiladi.

Quyosh nurlanishining tarqalishi aniq topografik gradiyentni ko'rsatadi: markaziy va sharqiy tekisliklar doimiy ravishda eng yuqori yillik GHI qiymatlarini (1780–1850 kVt/m²) oladi, tog' etaklari va tog' yonbag'irlari ustida soya soladigan relyef esa radiatsiyaviy kirishni 12–21% ga kamaytiradi. Bu topilmalar Farg'onaning tekisliklari minimal soyalanish, yuqori mavsumiy barqarorlik va past balandlik bilan bog'liq atmosferaning susayishi tufayli fotovoltaiklarni joylashtirish uchun eng qulay joylar ekanligini tasdiqlaydi. Sentinel-1 SAR asosidagi shamol maydonini modellashtirish bu naqshni yanada qo'llab-quvvatlaydi, bu vodiy kanalizatsiya effekti Yozyovon – Buvayda yo'lagi orqali shamol oqimini tezlashtirishini ko'rsatadi, bu yerda shamol tezligi 4,8–5,6 m/s ga etadi. Aksincha, Oltiariq – Beshariq etaklarida orografik bloklanish shamol tezligini 3 m/s dan pastga tushiradi, bu esa shamol energiyasidan foydalanish uchun cheklangan yaroqlilikni ko'rsatadi.

GHI, shamol tezligi, DEM dan olingan relyef parametrlari, LULC sinflari va LST ni sintez qiluvchi integratsiyalashgan MCDA/AHP baholashi qayta tiklanadigan energiyani rivojlantirish uchun mustahkam fazoviy moslik xaritasini taqdim etdi. Mintaqaning taxminan **27% qayta tiklanadigan energiya qurilmalari uchun juda mos deb topildi, asosan markaziy tekisliklarda joylashgan.** Hududning **41% o'rtacha moslikni namoyish etadi, bu yerda yerdan foydalanish yoki infratuzilmadagi mahalliy o'zgarishlar gibril energiya tizimlarini qo'llab-quvvatlashi mumkin. Qolgan 32 % ,**

asosan tog' yonbag'irlari va baland relyeflar bo'ylab joylashgan bo'lib, murakkab radiatsiya yo'qotishlari, shamol mavjudligining pasayishi va noqulay topografik cheklovlar tufayli past moslikni namoyish etadi .

radiatsion , aerodinamik va topografik jarayonlar bilan boshqarilishini tasdiqlaydi . Masofaviy zondlash tahlilini qarorlarga asoslangan geofazoviy modellashtirish bilan integratsiya qilish orqali taklif qilingan metodologiya mintaqaviy energiya rejalashtirish va quyosh va shamol infratuzilmasini optimal joylashtirish uchun ilmiy asoslangan asos yaratadi. Natijalar siyosatchilar va energetika ishlab chiquvchilari uchun amaliy fazoviy ko'rsatmalar beradi va Farg'ona tekisliklari, xususan, Farg'ona- Quva - Buvayda - Yozyovon o'qi mintaqaning eng strategik qayta tiklanadigan energiya yo'lagini ifodalashini ko'rsatadi. Metodologik asos Markaziy Osiyodagi boshqa vodiy tizimlariga osongina moslashtirilishi mumkin, bu uning barqaror energiyani rivojlantirish uchun kengroq qo'llanilishini kuchaytiradi.

ADABIYOTLAR

1. T. Huld , M. Šúri , ED Dunlop. Yevropada quyosh energiyasi hosildorligini baholash uchun quyosh nurlanishi ma'lumotlar bazasi. *Quyosh energiyasi* **86** (6), 1803–1815 (2012).

2. R. Avtar , W. Takeuchi, H. Sawada. GIS asosidagi relyef modellashtirish yordamida quyosh energiyasi salohiyatini baholash . *Masofaviy zondlash* **11** (10), 2412 (2019).

3. M. Badger, A. Peña, AN Hahmann , A. Mouche . Geofizik model funksiyasidan foydalangan holda SAR ma'lumotlaridan shamol resurslarini baholash. *Atrof-muhitni masofadan zondlash*. **186** , 196–210 (2016).

4. S. Said, A. Kishiev , A. Toktorov . Markaziy Osiyoning tog'li vodiylarida SAR asosidagi shamol maydonlarini qayta tiklash. *Qayta tiklanadigan energiya* **160** , 1293–1304 (2020).

5. Z. Li, Q. Zhu, C. Gold. *Raqamli relyef tahlili: tamoyillar va metodologiya* . CRC Press (2018).

6. JR Jensen. *Atrof-muhitni masofadan zondlash: Yer resurslari nuqtai nazaridan* . Pearson (2013).

7. M. Rahman , D. Clements, S. Biswas . Yer yuzasi harorati va radiatsiya oqimlari o'rtasidagi bog'liqlik. *Energiyalar* **13** (4), 921 (2020).

8. FAO. O'zbekiston uchun yer qoplami ma'lumotlar bazasi. *Oziq-ovqat va qishloq xo'jaligi tashkiloti* (2022).

9. J. Malczewski . *GIS va ko'p mezonli qarorlarni tahlil qilish* . Wiley (1999).

10. TL Saaty . *Analitik ierarxiya jarayoni* . McGraw-Hill, Nyu-York (1980).
11. P. Ruiz, A. Kahl , J. Bodin . And vodiysi tizimlarida shamol oqimi dinamikasi va yaroqliligini baholash. *Qayta tiklanadigan va barqaror energiya sharhlari*. **154** , 111860 (2022).
12. U. Ergashev , S. Abdurahimov , A. To'raev . O'zbekistonning sug'oriladigan pasttekislik tizimlarida qayta tiklanadigan energiya salohiyatini GIS asosida baholash. *Energiya*. **15** (6), 2301 (2022).
13. A. Ibragimov , U. Akbarov , I. Normatov . O'zbekistonning vodiy hududlarida quyosh-shamol energiyasidan foydalanishning GIS integratsiyalashgan modellashtirish . *Toza ishlab chiqarish jurnali* **396** , 136420 (2023).
14. R. Mueller, K. Behrens, A. Hammer. Turli atmosfera sharoitlarida quyosh nurlanishini modellashtirish . *Energiya Procedia* **57** , 1112–1119 (2014).
15. O'zgidromet . Farg'ona vodiysining iqlim pasporti. *Gidrometeorologiya xizmatlari markazi* , Toshkent (2020).
16. O'zbekiston Statistika Qo'mitasi. Farg'ona viloyati statistika yilnomasi. *Shtat Statistika Qo'mita* (2023).
17. Solargis Global Quyosh Atlas . *Solaris Ma'lumotlar bazasi* (2023).