



O‘zbekiston hududida quyosh radiatsiyasi bo‘yicha xalqaro ma’lumotlardan foydalanish imkoniyatlari: energetika va ilmiy tadqiqotlar uchun yondashuvlar

Ergashali Yu. Raximov¹, Bahrom Yu. Omonov^{1,a)}, Abdumannop A. Imyaminov^{1,b)}

¹. PhD, O‘zbekiston Respublikasi Energetika vazirligi huzuridagi Qayta tiklanuvchi energiya manbalari milliy ilmiy tadqiqot instituti, Toshkent, 100084, O‘zbekiston; eyurakhimov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7128-4598>.

^{1.a)} Kichik ilmiy xodim, O‘zbekiston Respublikasi Energetika vazirligi huzuridagi Qayta tiklanuvchi energiya manbalari milliy ilmiy tadqiqot instituti, Toshkent, 100084, O‘zbekiston; bahromomonov0627@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0000-7866-8180>

^{1.b)} Kichik ilmiy xodim, O‘zbekiston Respublikasi Energetika vazirligi huzuridagi Qayta tiklanuvchi energiya manbalari milliy ilmiy tadqiqot instituti, Toshkent, 100084, O‘zbekiston; abdumannop7445@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0005-2955-8512>

Dolzarbli: Quyosh fotoelektrik stansiyalarida (FES) ishlab chiqariladigan energiyaning barqarorligi va samaradorligi, avvalo, quyosh radiatsiyasi ma’lumotlarining aniqligiga bevosita bog‘liqdir. O‘zbekistonda uzoq muddatli va yuqori aniqlikdagi yerusti kuzatuv ma’lumotlarining yetarli emasligi sababli xalqaro sun‘iy yo‘ldosh va reanaliz modellaridan keng foydalanishga ehtiyoj ortib bormoqda. Shu bilan birga, bunday ma’lumotlarning aniqligi bulutlilik, atmosfera sharoiti hamda hududiy xususiyatlarga qarab keskin farq qilishi ma’lum. Shunday sharoitda xalqaro ma’lumotlarni mahalliy meteostansiya kuzatuvlari bilan verifikatsiya qilish dolzarb ilmiy va amaliy vazifaga aylanadi. Bunday yondashuv FES ishlab chiqarish quvvatini bashorat qilishdagi aniqlikni oshiradi, elektr energiyasi ta’minotining barqarorligini mustahkamlaydi va investitsion xavflarni kamaytiradi.

Maqsad: Tadqiqotning asosiy maqsadi – O‘zbekiston hududida qayd etilgan yerusti meteostansiya kuzatuvlari ma’lumotlarini xalqaro ma’lumotlar bazalari (NASA POWER, ERA5, DWD Global, DWD ICON) bilan solishtirish va verifikatsiya qilish orqali quyosh radiatsiyasini bashorat qilishda aniqlikni oshirishdir. Shu asosda FES ishlab chiqarish bashoratlarining ishonchligini ta’minlanishi, rejalashtirish va ekspluatatsiya jarayonlarida xavfsiz qarorlar qabul qilish imkoniyati yaratiladi.

Usullar: Tadqiqotda O‘zbekiston Respublikasi Gidrometeorologiya xizmati agentligi tomonidan qayd etilgan 22 ta quyosh meteostansiya ma’lumotlari (2022–2024 yillar oralig‘ida) asos qilib olindi. Ma’lumotlar har 10 daqiqalik qadamlarda yig‘ilgan bo‘lib, soatlik va kunlik qiymatlar alohida ajratib olindi. Xalqaro ma’lumotlar NASA POWER, ERA5, DWD Global va DWD ICON bazalaridan yuklab olindi. Verifikatsiya jarayonida MAE, RMSE, MAPE va R² kabi statistik ko‘rsatkichlar qo‘llanildi. Kunlik ob-havo sharoitlari to‘rt toifaga ajratildi: ochiq osmon, tumanli, qisman bulutli va to‘liq bulutli.

Natijalar: O‘tkazilgan tahlillar shuni ko‘rsatdiki, soatlik verifikatsiyada eng past xatolik ERA5 ma’lumotlarida kuzatildi (MAE ≈ 74,8; RMSE ≈ 95,0) va u eng ishonchli xalqaro manba sifatida ajralib chiqdi. Eng yuqori xatolik esa DWD Global bazasida qayd etildi (MAE ≈ 106,4; RMSE ≈ 133,7). Kunlik yig‘indi qiymatlarda ham ERA5 ma’lumotlari nisbatan yuqori aniqlikni ta’minladi (MAE ≈ 298,3; RMSE ≈ 371,8). Shu bilan birga, bulutli kunlarda barcha xalqaro bazalarda xatoliklar keskin ortdi, bu esa bulutlilikning bashorat aniqligiga ta’sirini tasdiqladi. Olingan natijalar O‘zbekiston sharoitida xalqaro ma’lumotlarni yerusti kuzatuvlari bilan verifikatsiya qilish orqali bashoratlarining ishonchligini sezilarli darajada oshirish mumkinligini ilmiy asosda ko‘rsatdi.

Kalit so‘zlar: Quyosh radiatsiyasi, bashoratlash, fotoelektrik stansiya, bulutlilik, verifikatsiya, ERA5, NASA POWER, DWD Global, DWD ICON, MAE, RMSE, MAPE, R², atmosfera ravshanlik indeksi, meteostansiya.

Citation: E.Yu. Raximov, B.Yu. Omonov, A.A. Imyaminov, Possibilities of using international solar radiation data in Uzbekistan: approaches for energy and scientific research. Scientific and technical journal of Problems of Energy and Sources Saving, 2025, no. 4, pp. 139-153. <https://doi.org/10.5281/zenodo.18525941>

Received: 02.04.2025
Revised: 16.04.2025
Accepted: 08.07.2025
Published: 27.12.2025

Copyright: Ergashali Yu. Raximov, Bahromjon Yu. Omonov, Abdumannop A. Imyaminov. 2025. Submitted to Problems of Energy and Sources Saving for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>):

Возможности использования международных данных по солнечной радиации на территории Узбекистана: подходы для энергетики и научных исследований

Эргашали Ю. Рахимов¹, Бахромжон Ю. Омонов^{1,a)}, Абдumannop А. Имяминов^{1,b)}

¹ PhD, Национальный научно-исследовательский институт возобновляемых источников энергии при Министерстве энергетики Республики Узбекистан, Ташкент, 100084, Узбекистан; eyurakhimov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7128-4598>.

^{1.a)} Младший научный сотрудник, Национальный научно-исследовательский институт возобновляемых источников энергии при Министерстве энергетики Республики Узбекистан, Ташкент, 100084, Узбекистан; bahromomonov0627@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0000-7866-8180>

^{1.b)} Младший научный сотрудник, Национальный научно-исследовательский институт возобновляемых источников энергии при Министерстве энергетики Республики Узбекистан, Ташкент, 100084, Узбекистан; abdumannop7445@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0005-2955-8512>



Актуальность: Стабильность и эффективность работы солнечных фотоэлектрических станций (ФЭС) в значительной степени зависят от точности данных о солнечной радиации. В условиях недостатка долгосрочных и высокоточных наземных наблюдений в Узбекистане возрастает необходимость использования международных спутниковых и реанализных моделей. Однако точность таких данных существенно варьируется в зависимости от облачности, атмосферных условий и региональных особенностей. В этой связи верификация международных данных на основе наблюдений местных метеостанций является актуальной научной и практической задачей. Такой подход позволяет повысить точность прогнозирования выработки ФЭС, укрепить надежность энергоснабжения и снизить инвестиционные риски.

Цель: Основная цель исследования заключается в повышении точности прогнозирования солнечной радиации путем сравнения и верификации данных наземных метеостанций Узбекистана с международными базами данных (NASA POWER, ERA5, DWD Global, DWD ICON). На этой основе предполагается обеспечить достоверность прогнозов выработки энергии для фотоэлектрических станций, что создаст условия для принятия более обоснованных решений при планировании и эксплуатации.

Методы: В качестве объекта исследования использовались данные 22 солнечных метеостанций Агентства гидрометеорологической службы Республики Узбекистан за период 2022–2024 гг. Измерения проводились с временным шагом 10 минут, после чего формировались отдельные часовые и суточные значения. Международные данные были загружены из баз NASA POWER, ERA5, DWD Global и DWD ICON. Для оценки точности применялись статистические показатели MAE, RMSE, MAPE и R^2 . Кроме того, суточные погодные условия были классифицированы на четыре группы: ясное небо, полная дымка, переменная облачность и сплошная облачность. Такая классификация позволила учесть влияние состояния атмосферы на результаты сравнения.

Результаты: Проведенный анализ показал, что при почасовой верификации наименьшие ошибки наблюдались в базе ERA5 (MAE \approx 74,8; RMSE \approx 95,0), что позволяет рассматривать её как наиболее надежный источник данных. Наибольшие ошибки зафиксированы в базе DWD Global (MAE \approx 106,4; RMSE \approx 133,7). При суточных суммарных значениях ERA5 также продемонстрировала наилучшую точность (MAE \approx 298,3; RMSE \approx 371,8). В дни с облачной погодой ошибки всех международных баз данных резко возрастали, что подтверждает существенное влияние облачности на точность прогнозов солнечной радиации. Полученные результаты показывают, что в условиях Узбекистана верификация международных данных на основе наземных наблюдений позволяет существенно повысить надежность прогнозов.

Ключевые слова: Солнечная радиация, прогнозирование, фотоэлектрическая станция, облачность, верификация, ERA5, NASA POWER, DWD Global, DWD ICON, MAE, RMSE, MAPE, R^2 , индекс прозрачности атмосферы, метеостанция.

Possibilities of using international solar radiation data in Uzbekistan: approaches for energy and scientific research

Ergashali Yu. Rakhimov¹, Bahromjon Yu. Omonov^{1,a)}, Abdumannop A. Imyaminov^{1,b)}

¹ PhD, National Research Institute of Renewable Energy Sources under the Ministry of Energy of the Republic of Uzbekistan, Tashkent, 100084, Uzbekistan; eyurakhimov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7128-4598>.

^{1.a)} Junior Researcher, National Research Institute of Renewable Energy Sources under the Ministry of Energy of the Republic of Uzbekistan, Tashkent, 100084, Uzbekistan; bahromomonov0627@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0000-7866-8180>

^{1.b)} Junior Researcher, National Research Institute of Renewable Energy Sources under the Ministry of Energy of the Republic of Uzbekistan, Tashkent, 100084, Uzbekistan; abdumannop7445@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0005-2955-8512>

Relevance: The stability and efficiency of solar photovoltaic power plants (PV) largely depend on the accuracy of solar radiation data. In Uzbekistan, the lack of long-term and high-precision ground-based observations increases the necessity of employing international satellite- and reanalysis-based models. However, the accuracy of such datasets varies significantly depending on cloudiness, atmospheric conditions, and regional characteristics. Therefore, the verification of international datasets against local meteorological station observations is an urgent scientific and practical task. This approach enhances the accuracy of PV generation forecasting, strengthens the reliability of electricity supply, and reduces investment risks.

Aim: The main objective of this study is to improve the accuracy of solar radiation forecasting by comparing and verifying ground-based meteorological station data in Uzbekistan with international datasets (NASA POWER, ERA5, DWD Global, and DWD ICON). On this basis, the reliability of electricity generation forecasts for photovoltaic plants can be ensured, thereby supporting more informed decision-making in planning and operation.

Methods: The study utilized data from 22 solar meteorological stations of the Agency of Hydrometeorological Service of the Republic of Uzbekistan for the period 2022–2024. Measurements were carried out at 10-minute intervals, from which hourly and daily values were derived. International data were retrieved from the NASA POWER, ERA5, DWD Global, and DWD ICON databases. To assess accuracy, statistical indicators such as MAE, RMSE, MAPE, and R^2 were employed. In addition, daily weather conditions were classified into four categories:



clear sky, full haze, partly cloudy, and overcast. This classification allowed accounting for atmospheric conditions when evaluating the datasets.

Results: The analysis showed that, in hourly verification, the ERA5 dataset demonstrated the lowest error values (MAE \approx 74.8; RMSE \approx 95.0), identifying it as the most reliable source. The highest errors were observed in the DWD Global dataset (MAE \approx 106.4; RMSE \approx 133.7). For daily cumulative values, ERA5 also produced the highest accuracy (MAE \approx 298.3; RMSE \approx 371.8). In cloudy conditions, errors increased sharply across all datasets, indicating the strong impact of cloud cover on forecast accuracy. The results demonstrate that, under Uzbekistan's conditions, the verification of international datasets with ground-based observations significantly improves the reliability of solar radiation forecasts.

Keywords: Solar radiation, forecasting, photovoltaic power plant, cloudiness, verification, ERA5, NASA POWER, DWD Global, DWD ICON, MAE, RMSE, MAPE, R^2 , atmospheric clarity index, meteorological station.

1. Kirish (Introduction)

Quyosh radiatsiyasi quyosh fotoelektrik stansiyalarining (FES) samaradorligiga, xususan, fotoelektrik panellarning foydali ish koeffitsiyentiga ta'sir etuvchi asosiy omillardan biri hisoblanadi. Quyosh radiatsiyasining qisqa vaqt diapazonida (soatlik yoki kunlik) o'zgarishini aniqlash FES ishlash rejimini samarali boshqarish, monitoring qilish va kelgusida energiya ishlab chiqarishni prognozlash imkonini beradi. Samarali energiya konversiyalash uchun quyosh stansiyasi yuzasiga yetib keladigan radiatsiya ma'lumotlarining aniqligi hal qiluvchi ahamiyat kasb etadi. Ushbu ma'lumotlar odatda uzoq muddatli yerusti kuzatuvlari yoki global quyosh radiatsiyasi modellari orqali olinadi va ularning aniqligi tizimlarning umumiy samaradorligini belgilovchi muhim omil bo'lib xizmat qiladi [1,2]. Ayniqsa, quyosh radiatsiyasining to'g'ri modellashtirilishi fotoelektrik (PV) va PV/T tizimlarining samaradorligini oshirishda katta rol o'ynaydi, bu esa energetik tizimlar uchun strategik yechimlarni ishlab chiqishda muhim ahamiyatga ega [3].

Hozirgi kunda quyosh radiatsiyasi ma'lumotlarini global miqyosda yig'ish va tahlil qilishda muhim manbalar sifatida bir qator xalqaro ma'lumotlar bazalari xizmat qiladi. Shu jumladan, **WRDC (World Radiation Data Center)** va **The Baseline Surface Radiation Network (BSRN)** kabi resurslar quyosh radiatsiyasini kuzatish bo'yicha eng yirik ma'lumotlar to'plamlariga ega. Ammo, O'zbekiston uchun ushbu resurslardan foydalanishda sezilarli cheklovlar mavjud.

Masalan, **WRDC** ma'lumotlar bazasiga O'zbekiston hududidan faqat Toshkent meteostansiyasi kiritilgan. Ammo ushbu meteostansiya uchun ham kuzatish ma'lumotlari yetarli darajada emas yoki mavjud emas. Bu, albatta, O'zbekistonda quyosh radiatsiyasi bo'yicha ishonchli va doimiy ma'lumotlar yetishmasligiga olib keladi, bu esa energetika sohasi uchun zarur bo'lgan quyosh radiatsiyasi prognozlarini ishlab chiqishda qiyinchilik tug'diradi [4].

BSRN (Baseline Surface Radiation Network) esa yuqori aniqlikdagi va global miqyosda quyosh radiatsiyasi ma'lumotlarini to'plashga mo'ljallangan, ammo O'zbekiston bo'yicha hech qanday meteostansiya bu tarmoqqa kiritilmagan. Bu holat ham O'zbekiston sharoitida quyosh energiyasidan foydalanish samaradorligini baholash uchun zarur bo'lgan ilmiy va amaliy ma'lumotlarning yetishmasligidan dalolat beradi [5].

Shu bilan birga, **WMO (World Meteorological Organization)** tarmog'i orqali quyosh radiatsiyasi ma'lumotlarini qisqa vaqtli interval bilan (soatlik yoki kunlik) kuzatish O'zbekiston bo'yicha amalga oshirilmaydi, ya'ni quyosh radiatsiyasi o'lchovlariga bag'ishlangan meteostansiyalar tarmoqqa kiritilmagan. Bu esa xalqaro tarmoqlardan to'liq va aniq ma'lumotlar olish imkoniyatini cheklaydi va mamlakatda quyosh energiyasini yanada samarali rivojlantirish uchun zarur bo'lgan aniqlikni pasaytiradi [6].

Mazkur yerusti kuzatuv ma'lumotlarining yetishmasligi xalqaro investorlar uchun katta muammo tug'dirmoqda. O'zbekistonda quyosh energiyasidan foydalanishga oid yirik investitsion loyihalarni amalga oshirishda investorlar ishonchli va uzoq muddatli yerusti kuzatuv ma'lumotlarining yetarli emasligi sababli ko'pincha xalqaro ma'lumotlar bazalariga murojaat qilishga majbur bo'lishmoqda. Biroq, bu ma'lumotlar O'zbekiston hududida yetarli aniqlikka ega emasligi sababli, ularni bevosita qo'llash qiyin kechadi. Investorlar uchun loyihalarni to'g'ri rejalashtirish va energiya ishlab chiqarish samaradorligini baholash uchun aniq va uzoq muddatli kuzatuv ma'lumotlari zarur. Xalqaro ma'lumotlar bazalariga O'zbekiston meteostansiyalarini qo'shish va mavjud stansiyalar faoliyatini kengaytirish ushbu muammoni hal qilishda muhim ahamiyatga ega bo'ladi.

Quyosh energiyasi salohiyatini baholashda eng ishonchli usul uzoq muddatli yerusti o'lchovlariga asoslanishdir, chunki bu ma'lumotlar to'g'ridan-to'g'ri va aniqdir [7]. Ammo yerusti kuzatuvlari yetarli bo'lmaganda yoki ularning muddati qisqa bo'lganda, xalqaro modellar va sun'iy yo'ldosh ma'lumotlaridan foydalanish samarali yechim hisoblanadi. Xalqaro modellar va sun'iy yo'ldosh ma'lumotlari orqali uzoq muddatli quyosh radiatsiyasini baholash mumkin, ammo bu ma'lumotlarning ishonchligi asosiy masala bo'lib qoladi [8].



Tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, qisqa muddatli yerusti kuzatuvlari va sun'iy yo'ldosh ma'lumotlarini birlashtirib ishlatish orqali aniqlikni sezilarli darajada oshirish mumkin [9,10]. Bu usul, ayniqsa, yerusti kuzatuvlar mavjud bo'lmagan yoki yetarli bo'lmagan hududlarda hal qiluvchi ahamiyat kasb etadi.

Natijada, quyosh energiyasini konversiyalash tizimlarini samarali rejalashtirish va optimallashtirishda ishonchli quyosh radiatsiyasi ma'lumotlariga ega bo'lish hal qiluvchi ahamiyatga ega. Uzoq muddatli yerusti kuzatuvlari eng ishonchli manba bo'lsa-da, xalqaro modellar va sun'iy yo'ldosh ma'lumotlari sifatli alternativ hisoblanadi, ayniqsa, ularning ishonchligi oshirilganda [11].

Bulutlilik Yer sirtiga yetib keladigan quyosh radiatsiyasi miqdorini belgilovchi eng muhim meteorologik omillardan biri hisoblanadi. Qalin past qatlamli bulutlar quyosh nurlanishining intensivligini 80-90 % gacha kamaytirishi mumkin, ayni vaqtda ba'zi sharoitlarda baland konvektiv bulutlar esa bulutsiz ob-havoga nisbatan quyosh radiatsiyasini 10-15 % gacha oshirishi mumkin [12]. Adabiyotlarda bulutlilikning quyosh radiatsiyasiga ta'siri ko'pincha bulut qoplamining darajasi nuqtayi nazaridan tahlil qilinadi. Oddiy o'lchovlar va kuzatishlar shuni ko'rsatadiki, yuqori qatlamli Sirrostratus kabi bulutlar bilan osmon qoplanganida ham quyosh radiatsiyasi Yer yuzasiga to'sqinliksiz yetib boradi. Shu bilan birga, past va o'rta qatlamli bulutlar, masalan, Nimbostratus, to'g'ridan-to'g'ri nurlanishga jiddiy to'sqinlik qiladi. Har ikkala holatda ham bulut qoplamasi darajasi bir xil bo'lib, osmon to'liq bulutli (8/8) hisoblanadi, ammo o'lchangan quyosh radiatsiyasi intensivligi o'rtasidagi farq 700 W/m² gacha bo'lishi mumkin [13].

Demak, yuqoridagi mavjud muammolarni hal etish yo'llaridan biri bu –mavjud xalqaro meteoma'lumotlardan olingan quyosh radiatsiyasi ma'lumotlarini O'zbekiston hududiga moslashtirish maqsadida ularni yerusti kuzatuvlari bilan verifikatsiya qilishdir. Bu yondashuvda xalqaro ma'lumotlar va yerusti kuzatuvlari asosida olingan ma'lumotlar osmon holatiga ko'ra soatlik va kunlik GHI qiymatlari solishtiriladi. Ushbu verifikatsiya jarayoni xalqaro ma'lumotlarning aniqligini sezilarli darajada oshiradi, bu esa O'zbekiston sharoitida quyosh radiatsiyasini baholash va prognozlashda ishonchli manba bo'lishi mumkin.

Shu tariqa, yerusti kuzatuvlari mavjud bo'lmagan yoki ularning kuzatuv davrlari qisqa bo'lgan hollarda xalqaro ma'lumotlardan samarali foydalanish, quyosh fotoelektrik stansiyalarining energetik samaradorligini oshirishga yordam beradi. Bu usul stansiyalarni optimal rejalashtirish va ularning barqaror ishlashini ta'minlashda hal qiluvchi ahamiyat kasb etadi.

2. Mavjud tadqiqotlar tahlili (Analysis of existing studies)

Quyosh radiatsiyasining yer sirtiga tushishini osmon holatiga qarab bir nechta mezonlar asosida guruhlariga ajratib o'rganish bo'yicha tadqiqotlar avvalgi yillarda dunyoning turli davlatlarida joylashgan yerusti meteostansiyalarida ko'plab olimlar tomonidan amalga oshirilgan. 1-jadvalda shu kungacha amalga oshirilgan tadqiqotlar, ularning mualliflari, qo'llanilgan metodlar va hisoblangan xatoliklar keltirilgan. Ushbu tadqiqotlarga asoslanib, to'rtta ma'lumot manbasi - ERA5, NASA POWER, DWD Global va DWD ICON [15-17] - tomonidan ochiq osmon (clear-sky), o'rtacha osmon (intermediate-sky) va bulutli osmon (cloudy-sky) sharoitlarida taqdim etilgan natijalar tahlil qilindi.

1-jadval. Bulutlilik darajasining quyosh radiatsiyasiga ta'siri bo'yicha bajarilgan xalqaro (global) tadqiqotlar va ularning tahlili

Table 1. International (global) studies on the impact of cloudiness on solar radiation and their analysis

Manba	Osmon holati	Tadqiqot xulosasi	Xatolik ko'rsatkichlari	Tadqiqotlar
ERA5	Ochiq osmon	Ochiq osmon sharoitida yaxshi natijalar va past xatolarni ko'rsatadi.	rMBE: -3–2 %	[17-19]
	O'rta osmon holati	Ochiq osmondagiga qaraganda biroz yuqori xatolar bilan o'rtacha natijalar.	MBE: 6–17 %	[12, 20]
	Bulutli osmon	Bulutli sharoitlarda samaradorlik sezilarli darajada pasayadi va yuqori xatolar yuzaga keladi.	MBE: 134–170 %	[10, 21]
NASA POWER	Ochiq osmon	Umuman olganda, nisbatan past xatolar bilan yaxshi natijalar ko'rsatadi.	MRE: ~4 %	[22, 23]
	O'rta osmon holati	Biroz yuqori xatolar bilan o'rtacha natijalar.	Not specified	[18, 24]
	Bulutli	Bulutli sharoitlarni aniq ushlab	MAE: 0.63	[18, 25]



	osmon	qiyinligi tufayli yuqori xatolar.	RMSE: 0.48	
DWD Global	Ochiq osmon	Nisbatan past xatolar bilan yaxshi natijalar ko'rsatadi.	Bias: -6% to +7%, RMSE: 11% to 21%	[19, 20]
	O'rta osmon holati	Ochiq osmondagiga qaraganda biroz yuqori xatolar bilan o'rtacha natijalar.	Bias: -6% to +7%, RMSE: 11% to 21%	[26, 27]
	Bulutli osmon	Bulutli sharoitlar tufayli yuqori xatolar.	Bias: -6% to +7%, RMSE: 11% to 21%	[28, 29]
DWD ICON	Ochiq osmon	Nisbatan past xatolar bilan yaxshi natijalar.	Bias: -2.5% to +10%, RMSE: 10% to 20%	[15, 24]
	O'rta osmon holati	Biroz yuqori xatolar bilan o'rtacha natijalar.	Bias: -2.5% to +10%, RMSE: 10% to 20%	[15, 24]
	Bulutli osmon	Bulutli sharoitlarni ushlashdagi qiyinchiliklar tufayli yuqori xatolar.	Bias: -2.5% to +10%, RMSE: 10% to 20%	[15, 24]

1-jadvalda turli manbalar asosida bulutlilik darajasi va quyosh radiatsiyasining o'zaro ta'siri bo'yicha global tadqiqotlar natijalari tahlil qilingan. Har xil osmon holatlariga (ochiq, o'rta va bulutli) qarab quyosh radiatsiyasini o'lchashda turli xatoliklar kuzatiladi.

Ochiq osmon sharoitida barcha manbalarda radiatsiya o'lchovlari nisbatan yuqori aniqlikda amalga oshirilgan. Xatolik ko'rsatkichlari minimal bo'lib, ko'plab tadqiqotlar -3% dan +7% gacha bo'lgan xatolik diapazonini ko'rsatadi. Ushbu sharoitda quyosh radiatsiyasining to'g'ri prognoz qilish imkoniyati yuqori bo'ladi.

O'rta bulutlilik holatida xatolik ko'rsatkichlari oshadi. Tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, bulutli yoki o'rta bulutli sharoitlarda quyosh radiatsiyasini prognoz qilish qiyinlashadi, xatolar esa 6% dan 17% gacha o'zgarib turadi. Bu sharoitda aniqlik pasayadi, lekin hali ham qabul qilinarli diapazonda qoladi.

Bulutli osmon holatida quyosh radiatsiyasi o'lchovlari eng katta xatoliklarni ko'rsatadi. Bu sharoitda xatolar juda yuqori bo'lib, ba'zi tadqiqotlarda xatoliklar 134% dan 170% gacha yetadi. Bu bulutli sharoitlarni aniq prognoz qilishning qiyinligi va bulutlarning quyosh radiatsiyasiga katta ta'siri bilan izohlanadi.

Ochiq osmon sharoitida quyosh radiatsiyasini prognoz qilish yuqori aniqlikda amalga oshirilsa, bulutli sharoitlarda prognozlarning ishonchiligi sezilarli darajada pasayadi. O'rta bulutlilik sharoitlari ochiq osmondan ko'ra yuqori xatoliklarga olib keladi, lekin ularning ta'siri bulutli osmon holatlariga nisbatan ancha past. Shu bois, bulutli sharoitlarda quyosh radiatsiyasini aniq prognoz qilish yanada murakkab va xatoliklar darajasi yuqori bo'lishi tabiiy.

O'zbekiston hududida quyosh energiyasi salohiyatini tahlil qilish va baholash natijasida [30,31] mualliflar tomonidan O'zbekiston hududini quyosh nurlanishi tushishiga ko'ra 5 ta iqlim sohalariga ajratish bo'yicha dastlabki tadqiqotlar o'tkazishga erishildi. Shuningdek, NASA SSE ma'lumotlarini Rossiya va Markaziy Osiyo Respublikalari uchun yer usti aktinometrik kuzatuvlar bo'yicha verifikatsiyalash natijalari [32,33] adabiyotlarda keltirilgan. Ushbu tadqiqotlarda yer usti kuzatuvlari sifatida uzoq yillik statistik ma'lumotlardan foydalanilgan [34-36].

Quyosh energiyasidan foydalanish va iqlimiy ma'lumotlarni kichik vaqt qadamlari bilan kuzatib borish bo'yicha dastlabki qadamlar sifatida O'zbekistonda Osiyo Taraqqiyot Banki ko'magida UZBTA 8008 "O'zbekistonda quyosh energiyasidan foydalanishni rivojlantirish" loyihasi [37] doirasida 2013-yil fevral oyidan Dahbed (Samarqand viloyati), Karmana (Navoiy viloyati), G'uzor (Qashqadaryo viloyati), Sherobod (Surxondaryo viloyati), Pop (Namangan viloyati) va Parkent (Toshkent) tumanlarida 6 ta zamonaviy avtomatlashtirilgan quyoshdan keluvchi to'g'ri, tarqoq va umumiy radiatsiyasini o'lchashga mo'ljallangan meteostansiyalari ishga tushirildi (2018 yili mazkur kuzatuvlar ma'lum sabablarga ko'ra to'xtab qolgan). Mazkur stansiyalar ma'lumotlari bilan xalqaro ma'lumotlar bazalari bo'yicha birinchi verifikatsiya ishlari Avezova va boshqalar tomonidan olib borilgan [38, 39]. Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatadiki, oylik umumiy quyosh radiatsiyasi qiymatlari bo'yicha xalqaro ma'lumotlar bazalari va yerusti o'lchovlari o'rtasidagi nisbiy farqlar 8-12% bo'lib, bu quyosh energiyasidan foydalanish samaradorligini baholashda muhandislik hisoblari uchun yetarli aniqlikni ta'minlaydi. NASA POWER, ERA5 va SARAHI1E bazalarining gorizontaal yuzaga tushuvchi umumiy quyosh radiatsiyasi bo'yicha ko'rsatkichlari o'zaro yaqin bo'lib, oylik sistematik xatolik va standart og'ish ko'rsatkichlari mos ravishda NASA POWER - 0,14 va 0,25 kW/m², ERA5 - 0,2 va 0,26 kW/m² va SARAHI1E - 0,13 va 0,27 kW/m² tashkil qilgan. Biroq, ushbu izlanishlar faqat oylik ma'lumotlar asosida olib borilgan bo'lib, soatlik yoki kunlik darajadagi tahlillar amalga oshirilmagan.



Bu oylik qiymatlar muhandislik hisob-kitoblari uchun yetarli bo'lsa-da, soatlik yoki kunlik aniqlik talab qilinadigan yanada chuqur tahlillar uchun yetarli emas.

Yuqoridagi ilmiy tadqiqotlardan farqli o'laroq, ushbu tadqiqot ishida soatlik va kunlik GHI ma'lumotlari xalqaro NASA POWER, ERA5 reanaliz hamda DWD Global va DWD ICON ma'lumotlari bilan verifikatsiya qilingan. Verifikatsiya jarayoni yanada chuqurlashtirilgan holda kunlar osmon holatiga qarab, quyosh radiatsiyasining yer sirtiga tushishiga bulutlilik darajasining ta'sirini inobatga olgan holda to'rt guruhga ajratilgan: ochiq kun – ko'k osmon, to'liq tumanli, tumanli va qisman bulutli hamda to'liq bulutli osmon. Ushbu guruhlar asosida ma'lumotlarni solishtirish orqali xalqaro ma'lumotlarning aniqligi va ishonchligini baholash imkoniyati yaratilgan.

NASA POWER (Prediction Of Worldwide Energy Resources) ma'lumotlar bazasi iqlim, quyosh energiyasi, qishloq xo'jaligi va boshqa sohalar uchun ma'lumotlar taqdim etadi. U sun'iy yo'ldosh kuzatuvlari va reanaliz modellariga asoslangan bo'lib, global miqyosda turli xil quyosh radiatsiyasi komponentlari, jumladan, GHI (Global Horizontal Irradiance), DNI (Direct Normal Irradiance), va DHI (Diffuse Horizontal Irradiance) kabi ma'lumotlar taqdim etiladi. Tadqiqotda aynan All Sky Surface Shortwave Downward Irradiance ma'lumotlari tanlab olindi, ya'ni yer sirtiga tushuvchi qisqa to'lqinli quyosh radiatsiyasi (ham bulutli, ham bulutsiz sharoitlar uchun). NASA POWER ma'lumotlari 1981-yildan hozirgi kungacha uzluksiz ravishda taqdim etilib, har yili yangilanadi. Geografik aniqligi $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ bo'lib, global qamrovda soatlik, kunlik va oylik vaqt qatorlarida mavjud. Ma'lumotlar bepul va ochiq tarzda NASA POWER platformasida foydalanish uchun taqdim etiladi.

ERA5 reanaliz modeli, ECMWF tomonidan ishlab chiqilgan bo'lib, sun'iy yo'ldosh va yerusti kuzatuvlarini birlashtiradi. Bu model global miqyosda quyosh radiatsiyasi komponentlari, jumladan GHI, DNI, va DHI ma'lumotlarini taqdim etadi. Tadqiqotda esa All Sky Surface Shortwave Downward Irradiance – ya'ni yer sirtiga tushuvchi qisqa to'lqinli quyosh radiatsiyasi (bulutli va bulutsiz holatlar uchun) ma'lumotlari ishlatildi. ERA5 ma'lumotlari 1979-yildan hozirgi kungacha mavjud bo'lib, har yili yangilanadi va global qamrovda $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ aniqlikda soatlik va oylik vaqt qatorlarida taqdim etiladi. Ma'lumotlar ERA5 platformasida ochiq va bepul tarzda mavjud.

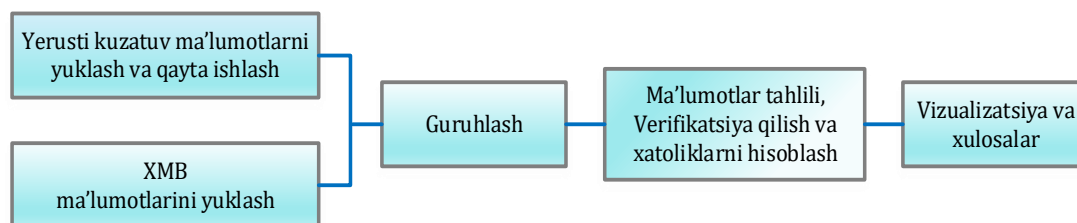
DWD Global ma'lumotlar bazasi Germaniya Meteorologiya Xizmati tomonidan taqdim etilgan bo'lib, sun'iy yo'ldosh va yerusti kuzatuvlariga asoslangan. Tadqiqotda All Sky Surface Shortwave Downward Irradiance (yer sirtiga tushuvchi qisqa to'lqinli quyosh radiatsiyasi) ma'lumotlari tanlab olindi. Ushbu ma'lumotlar 1991-yildan hozirgi kungacha bo'lib, har yili yangilanadi va $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ geografik aniqlikda global qamrovni ta'minlaydi. DWD Global ma'lumotlari Open-Meteo sayti orqali API yordamida yuklab olingan. Soatlik va kunlik vaqt qatorlari taqdim etilgan Open-Meteo saytidan API yordamida ma'lumotlar olish imkoniyati mavjud.

DWD ICON modeli Germaniya Meteorologiya Xizmati tomonidan ishlab chiqilgan bo'lib, yuqori aniqlikdagi quyosh radiatsiyasi ma'lumotlarini beradi. Tadqiqotda All Sky Surface

Shortwave Downward Irradiance ma'lumotlari tanlab olindi. ICON modeli ma'lumotlari 2015-yildan hozirgi kungacha taqdim etiladi va har yili yangilanadi. Ma'lumotlar 13 km geografik aniqlikda taqdim etiladi va DWD ICON ma'lumotlari ham Open-Meteo sayti orqali API yordamida yuklab olingan. Soatlik va oylik vaqt qatorlari mavjud bo'lib, Open-Meteo sayti orqali ochiq tarzda foydalanish mumkin.

1. Materiallar va usullar (Methods and materials)

Ushbu tadqiqot ishi bir necha bosqichli hisoblashlardan iborat. Ushbu bosqichlar haqida 1-rasmda qisqacha bayon etilgan.

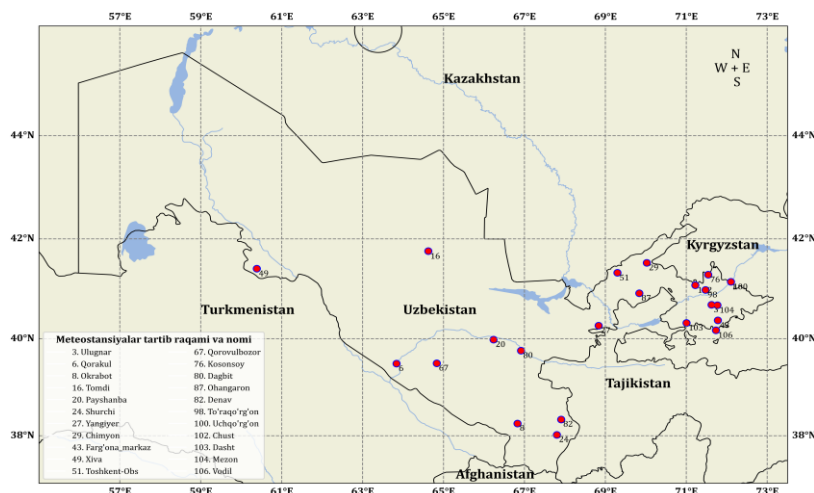


1-rasm. Tadqiqot ishining qisqacha infografikasi.

Fig. 1. Overview infographic of the research methodology.

Ma'lumotlarni to'plash. Hidrometeorologiya Xizmati agentligi ma'lumotlariga ko'ra, shu kunga kelib respublika hududida turli maqsadlarga mo'ljallangan 100 dan ortiq zamonaviy avtomatlashtirilgan (kuzatuv qadami 10 min) meteostansiyalar mavjud bo'lib, ularda mamlakatning barcha hududlaridagi iqlim ma'lumotlari qayd etib boriladi. Ammo, 2022 yildan buyon ushbu meteostansiyalar orasida 22

tasida iqlim ma'lumotlariga qo'shimcha ravishda GHI qiymatlari qayd etib boriladi (2-rasm). Maqolada tadqiqot obyekti sifatida aynan shu, O'zbekiston Respublikasi Gidrometeorologiya xizmati agentligining Gidrometeorologiya fondida qayd etiladigan meteostansiyalar 01.08.2022-31.07.2024-yillari oralig'idagi ma'lumotlari tahlil qilindi [40].



2-rasm. O'zbekiston Respublikasi hududidagi 22 ta quyosh meteostansiyalarining xaritada joylashishi.
Fig. 2. Distribution of 22 solar meteorological stations in Uzbekistan.

Gidrometeorologiya fondi ma'lumotlari har 10 daqiqada o'lchab borilgan ma'lumotlardan iborat. Soatlik ma'lumotlarni verifikatsiya qilish uchun har soatda to'liq o'lchangan qiymatlarni alohida ajratib olindi. Kunlik qiymatlarda esa bir kun davomida har bir soatlik qiymatlari mavjud kunlarni ajratib olindi.

Ma'lumotlarni guruhlash. Kunlik ob-havo sharoitlarini tasniflash odatda ma'lum bir iqlim sharoitlari uchun quyosh nuri soatlari (N) va kunlik diffuz radiatsiya H_d ning gorizonttal sirtga tushuvchi kunlik umumiy (global) radiatsiya H ga nisbati bo'yicha aniqlanadi. Ushbu omilni inobatga olgan holda tadqiqot ishida kunlik ob-havo sharoiti mezoni bo'yicha a , b , c va d guruhlarga bo'lindi [41]:

(a) Clear day (Blue sky): Ochiq kunlar uchun $H_d / H \leq 0.25$;

(b) Hazy day (fully): Tumanli kunlar uchun $0.25 \leq H_d / H \leq 0.5$

(c) Hazy and Cloudy day: Tumanli va bulutli kunlar $0.5 \leq H_d / H \leq 0.75$.

(d) Cloudy day (fully): Bulutli kunlar uchun $H_d / H \geq 0.75$.

Kunlik diffuz radiatsiyaning kunlik umumiy quyosh radiatsiyasiga nisbati H_d/H Kollares-Pereyra va Rable [42] tomonidan taklif etilgan usulga ko'ra K_T ga bog'liq holatda quyidagicha hisoblanadi:

$$\left. \begin{aligned} H_d / H &= 0.99 && \text{agar } K_T \leq 0.17 \\ H_d / H &= 1.19 - 2.7K_T + 9.47K_T^2 - 21.87K_T^3 + 1465K_T^4 && \text{agar } 0.17 \leq K_T \leq 0.75 \\ H_d / H &= -0.5K_T + 0.632 && \text{agar } 0.75 \leq K_T \leq 0.80 \\ H_d / H &= 0.2 && \text{agar } K_T \geq 0.80 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Bu yerda K_T -kunlik atmosfera ravshanlik indeksi bo'lib, u yer sirtida gorizonttal yuzaga tushuvchi kunlik umumiy quyosh radiatsiyasi H ning o'sha kun uchun atmosferaorti radiatsiyasi H_0 ga nisbati bilan aniqlanadi [41,43]:

$$K_T = \frac{H}{H_0}. \quad (2)$$

O'z navbatida atmosfera orti quyosh radiatsiyasi H_0 ni quyidagicha hisoblash mumkin [29, 30].

$$H_0 = \frac{24 \times 3600}{\pi} I_{sc} \left[1.0 + 0.033 \cos \left(\frac{360n}{365} \right) \right] \left(\cos \varphi \cos \delta \sin \omega_s + \frac{2\pi \omega_s}{360} \sin \delta \sin \varphi \right), \quad (3)$$

bu yerda I_{sc} - quyosh doimiysi (1357 W/m^2), n - kunning tartibi, φ - hududning geografik kengligi, δ va ω_s - yilning n - kuniga nisbatan quyoshning og'ish burchagi. Bu bo'yicha qilingan ilmiy ishlar va hisoblashlar haqida to'liq ma'lumotlar [41,43] adabiyotlarda keltirilgan.

XMB ma'lumotlarini yuklash. Tadqiqot ishida foydalanuvchilari uchun ochiq va ishonchli bo'lgan



manbalar to'rtta XMB (NASA POWER, ERA5, DWD Global va DWD ICON) larining quyosh radiatsiyasining gorizontal sirtga tushuvchi soatlik yig'indi qiymatlaridan foydalanildi. Ushbu ma'lumotlarni yerusti meteostansiya ma'lumotlari bilan taqqoslash uchun kunlik yig'indi qiymatlarga keltirildi.

Ma'lumotlar tahlili. Yerusti meteostansiyalari ma'lumotlari hamda XMB ma'lumotlarini verifikatsiya qilish soatlik va kunlik qiymatlardan foydalanildi. Olingan natijalar har bir kun iqlim shaoriti bo'yicha filtrlandi. Tadqiqot ishida soatlik va kunlik (summa) qiymatlarini verifikatsiyalash natijalarini xatoliklarini baholashda 2-jadvalda keltirilgan xatoliklar usullaridan foydalanildi.

2-jadval. Turli xil xatoliklarni hisoblash usullari

Table 2. Calculation methods for various error metrics

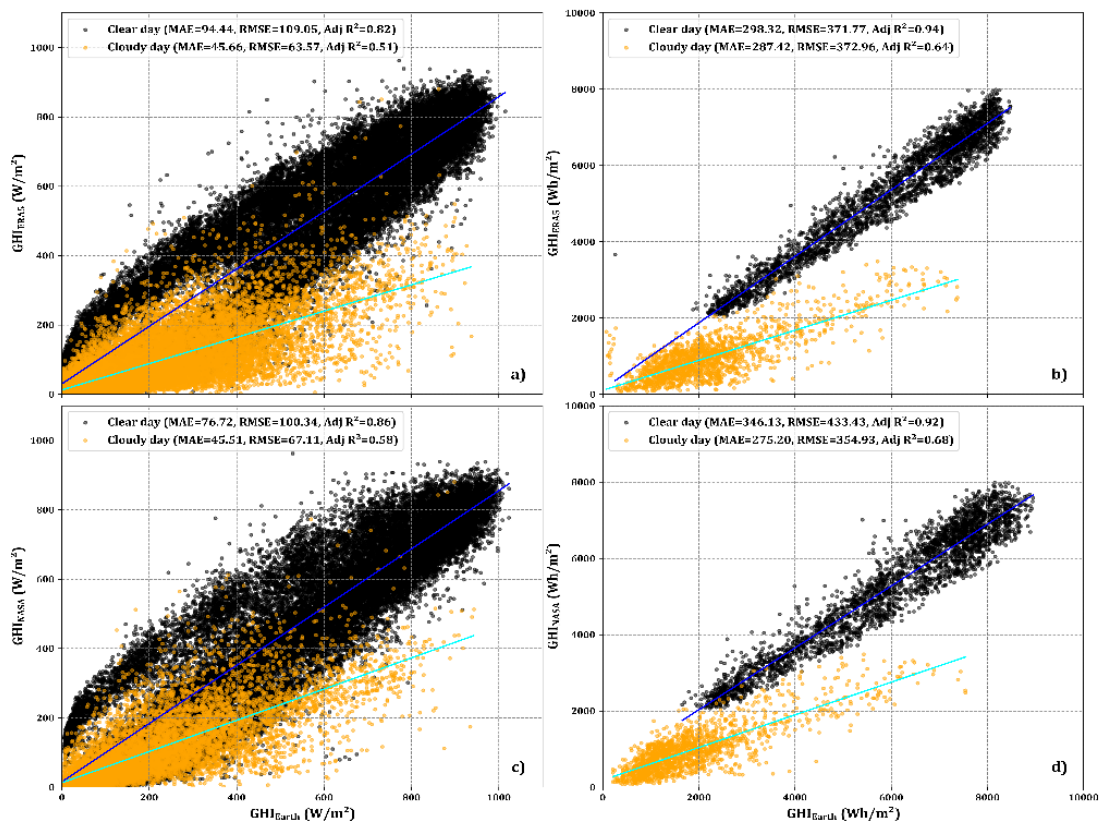
	Xatoliklar nomi	Tenglama	Diapazon (%)
<u>1</u>	O'rtacha absolut foiz	$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left \frac{y_i - x_i}{x_i} \right \times 100$	5.9-67.3
<u>2</u>	O'rtacha kvadratik	$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n y_i - x_i ^2}{n}}$	94.5-892.7
<u>3</u>	O'rtacha absolut	$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i - x_i $	72.8-826.9
<u>4</u>	Regression xatoliklar	$R_{adj}^2 = 1 - \frac{(1 - R^2)(n - 1)}{n - \rho - 1}$	0.388-0.948

Natijalarni vizuallashtirish va xulosalar berish. XMB ma'lumotlarini Yer usti ma'lumotlari bilan soatlik va kunlik quyosh radiatsiyasining verifikatsiyasini vizuallashtirishda tarqalish diagrammalari chizildi va ulardan kelib chiqilgan natijalarga asosan yakuniy xulosalar berildi.

3. Natijalar (Results)

Soatlik verifikatsiya natijalariga ko'ra, eng past xatolik ERA5 ma'lumotlar bazasida qayd etildi (MAE = 75; RMSE = 95), bu esa ushbu manbaning yuqori aniqligini ko'rsatadi. Aksincha, eng yuqori xatolik DWD Global modelida kuzatildi (MAE = 106; RMSE = 134), bu uning boshqa manbalarga nisbatan ishonchliligi pastroq ekanligini anglatadi (3-rasm).

Kunlik verifikatsiya natijalariga ko'ra, eng past xatolik ERA5 ma'lumotlar bazasida aniqlangan (MAE = 298; RMSE = 372), bu uni eng ishonchli manba sifatida ajratib turadi. Eng yuqori xatolik esa NASA POWER bazasida kuzatildi (MAE = 647; RMSE = 893), bu esa uning kunlik prognozlarda nisbatan past aniqlikka ega ekanligini ko'rsatadi(3-rasm).



3-rasm. Soatlik va kunlik quyosh radiatsiyasi ma’lumotlarini ochiq va bulutli kunlar uchun tarqalish diagrammasi: a)Yer-Era5 o’zaro soatlik; b)Yer-ERA5 POWER o’zaro kunlik; c) Yer-NASA POWER o’zaro soatlik; d) Yer-NASA POWER o’zaro kunlik.

Fig. 3. Scatter plots of hourly and daily solar radiation data for clear and cloudy days. a) Ground-ERA5 hourly comparison; b) Ground-ERA5 daily comparison; c) Ground-NASA POWER hourly comparison; d) Ground-NASA POWER daily comparison.

Har bir XMB ma’lumotlari uchun va turli ob-havo sharoitlari bo’yicha natijalar jadval ko’rinishiga olib kelindi (3-jadval).

3-jadval. To’rtta xalqaro ma’lumot bazalarining soatlik(o’rtacha) va kunlik (yig’indi) verifikatsiya xatoliklari

Table 3. Verification errors of hourly (average) and daily (cumulative) data from four international databases

Iqlim holati (soatlik)	Statistika	Yer-NASA POWER	Yer-ERA5	Yer-DWD Global model=best matches	Yer-DWD ICON
Umumiy	MAE	100,4	91,6	106,4	81,6
	RMSE	134,5	119,5	133,7	100,9
	MAPE	35,6	64,8	39,1	46,3
	R square	0,78	0,83	0,75	0,68
Ochiq kun (ko’k osmon)	MAE	86,8	94,4	102,2	84,1
	RMSE	112,6	109,1	118,0	98,4
	MAPE	29,4	61,1	37,1	42,2
	R square	0,85	0,88	0,8	0,759
Tumanli kun (to’liq)	MAE	89,7	86,53	100,2	80,5
	RMSE	120,7	105,0	122,1	97,0
	MAPE	32,5	62,9	36,6	42,3
	R square	0,8	0,81	0,773	0,720
	MAE	138,4	73,9	121,9	84,7
	RMSE	171,4	96,0	151,8	104,4



Tumanli va bulutli kun (qisman)	MAPE	42,1	67,3	41,0	45,7
	R square	0,6	0,7	0,7	0,6
Bulutli kun (to'liq)	MAE	87,3	45,7	89,5	73,1
	RMSE	118,5	63,6	116,9	94,5
	MAPE	51,0	77,9	52,3	52,7
	R square	0,6	0,5	0,5	0,5
Iqlim holati (kunlik)	Statistics	Yer-NASA POWER	Yer-ERA5	Yer-DWD Global, model=best matches	Yer-DWD ICON
Umumiy	MAE	646,6	630,8	614,5	380,9
	RMSE	892,7	858,5	843,8	496,1
	MAPE	17,9	17,1	17,4	17,7
	R square	0,90	0,91	0,85	0,73
Ochiq kun (ko'k osmon)	MAE	413,4	298,32	321,7	207,8
	RMSE	514,0	371,77	394,8	264,1
	MAPE	7,3	5,9	5,9	6,2
	R square	0,90	0,94	0,9	0,848
Tumanli kun (to'liq)	MAE	432,5	271,2	315,8	280,2
	RMSE	585,2	373,1	449,1	382,8
	MAPE	9,6	7,9	7,5	9,8
	R square	0,90	0,91	0,90	0,72
Tumanli va bulutli kun(qisman)	MAE	826,9	339,0	680,3	396,5
	RMSE	1081,3	455,0	867,9	510,5
	MAPE	20,2	16,1	16,7	15,8
	R square	0,8	0,81	0,8	0,5
Bulutli kun (to'liq)	MAE	524,2	287,4	542,2	446,1
	RMSE	684,3	373,0	695,7	556,3
	MAPE	31,0	28,7	29,6	27,9
	R square	0,7	0,7	0,7	0,4

3-jadval tahlili shuni ko'rsatadiki, soatlik verifikatsiyada eng past xatoliklar ERA5 va DWD ICON bazalarida kuzatilgan ($MAE \approx 74-85$ oralig'ida, $R^2 \approx 0.70-0.82$), bu ularning qisqa vaqt qadami bo'yicha nisbatan yuqori aniqlik berishini ko'rsatadi. Aksincha, NASA POWER va DWD Global modellari soatlik aniqlikda ko'proq chetlashishlarni qayd etib, RMSE qiymatlari 130 W/m^2 dan yuqori bo'lgan. Shu sababli, qisqa muddatli boshqaruv va monitoring vazifalarida ERA5 ma'lumotlari ustunlik qiladi.

Kunlik yig'indi qiymatlar bo'yicha esa umumiy xatoliklarning pasayishi kuzatiladi. Bunda barcha modellar bo'yicha MAE $300-650 \text{ W/m}^2$ diapazonida qayd etilgan bo'lsa-da, eng past qiymatlar yana ERA5 ($MAE \approx 298$; $RMSE \approx 372$) hamda DWD ICON ($MAE \approx 380$; $RMSE \approx 496$) ma'lumotlarida kuzatildi. NASA POWER esa kunlik hisobda ham yuqori chetlashishlar ko'rsatib ($MAE \approx 647$; $RMSE \approx 893$), bulutli sharoitlarda sezilarli aniqlik pasayishini namoyon etgan.

Ob-havo sharoitlari bo'yicha tahlil shuni ko'rsatadiki, ochiq osmon sharoitida barcha bazalar nisbatan yaxshi natija bergan ($R^2 \approx 0.82-0.94$), ammo bulutli kunlarda xatoliklar keskin oshgan. Ayniqsa, to'liq bulutli kunlarda MAE va RMSE qiymatlari deyarli ikki baravar ortib, R^2 ko'rsatkichlari 0.5 dan pastga tushgan. Bu esa bulutlarning turli qatlamlari va dinamikasini hisobga olishda xalqaro modellarning sezilarli cheklolarga ega ekanini tasdiqlaydi.

Umuman olganda, 3-jadval natijalari ERA5 bazasining O'zbekiston sharoitida eng barqaror va ishonchli manba ekanini ko'rsatmoqda. NASA POWER, DWD Global va DWD ICON esa ayrim vaziyatlarda foydali bo'lishi mumkin, biroq bulutli sharoitlarda ularning aniqligi keskin pasayadi. Shu bois, FES quvvatini bashorat qilishda ERA5 ma'lumotlari asosiy manba sifatida tavsiya qilinishi mumkin.

4. Xulosa (Conclusion)

O'zbekiston hududida xalqaro ma'lumotlar bazalarining (NASA POWER, ERA5, DWD Global, DWD ICON) quyosh radiatsiyasi bo'yicha aniqligi 22 ta meteostansiya kuzatuvlari asosida baholandi. Soatlik verifikatsiya natijalariga ko'ra, ERA5 eng yuqori aniqlikni ta'minladi ($MAE \approx 73,9 \text{ W/m}^2$; $RMSE \approx 96,0 \text{ W/m}^2$; $R^2 \approx 0,70$) va shu sababli PV ishlab chiqarishini qisqa muddatli bashoratlash uchun



eng maqbul manba sifatida tavsiya qilinadi. DWD ICON ham soatlik qiymatlar bo'yicha nisbatan yaxshi natijalar ko'rsatdi ($MAE \approx 81,6 \text{ W/m}^2$; $RMSE \approx 100,9 \text{ W/m}^2$). Aksincha, DWD Global va NASA POWER soatlik bosqichda yuqori xatolikka ega bo'lib, real vaqtli boshqaruvda ishonchliligi pastroq bo'lishi mumkin.

Kunlik yig'indi qiymatlarda esa DWD ICON bazasi eng past xatolikni qayd etdi ($MAE \approx 380,9 \text{ W/m}^2$; $RMSE \approx 496,1 \text{ W/m}^2$). ERA5 va DWD Global o'rtacha darajadagi natija bergan bo'lsa, NASA POWER eng yuqori xatoliklar bilan ajralib chiqdi ($MAE \approx 646,6 \text{ W/m}^2$; $RMSE \approx 892,7 \text{ W/m}^2$).

Osmon holatlari bo'yicha tahlil shuni ko'rsatdiki, ochiq kunlarda barcha modellarning aniqligi yuqori (kunlik $R^2 \approx 0,90-0,94$), biroq bulutli sharoitlarda R^2 qiymatlari keskin pasayib, 0,5 atrofida bo'ldi. Ayniqsa, qisman bulutli va to'liq bulutli kunlarda barcha bazalarda MAE va RMSE qiymatlarining deyarli ikki baravar oshishi bulutlilikning prognozlashdagi hal qiluvchi omil ekanini ko'rsatadi.

Umuman olganda, olingan natijalar O'zbekiston sharoitida xalqaro ma'lumotlarni yerusti kuzatuvlari bilan verifikatsiya qilish orqali soatlik bashoratlarning aniqligini sezilarli darajada oshirish mumkinligini ko'rsatdi. Bu esa FESlar ishlab chiqarishini boshqarishda, qisqa muddatli energiya balansini rejalashtirishda va elektr ta'minoti xavfsizligini mustahkamlashda amaliy ahamiyat kasb etadi.

ADABIYOT

1. Avezov N.R , Frid S.E., Lisitskaya N.V., Rakhimov E.Yu. Resource Indicators of Solar Photovoltaic Plants in the Republic of Uzbekistan. Part 2 // Applied Solar Energy, 2019, Vol. 55, No. 5, PP. 347–354. DOI: [10.3103/S0003701X19050037](https://doi.org/10.3103/S0003701X19050037).
2. Manju S., Mavi S. Prediction and performance assessment of global solar radiation in Indian cities: A comparison of satellite and surface measured data. Journal of Cleaner Production, Volume 230, 2019, Pages 116–128. ISSN 0959-6526. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.108> (accessed 05 September 2025).
3. Sun J., Shi M.H. Numerical study on optical and electric-thermal performance for solar concentrating PV/T air system. Science in China Series E: Technological Sciences, Volume 52, Issue 12, 2009, Pages 3514–3520. ISSN 1862-281X. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11431-009-0242-x> (accessed 05 September 2025).
4. Global radiation. Daily sums, monthly sums and means (Asia). http://wrdc.mgo.rssi.ru/wwwroot/data_list/t2/uzbekistan/tashkent /tashkent .html (accessed 05 September 2025)
5. PANGAEA. Data Publisher for Earth & Environmental Science. <https://dataportal.pangaea.de/bsrn/stations>
6. Centre of Hydrometeorological Service of the Republic of Uzbekistan (Uzhydromet) at the Cabinet of Ministers <https://worldweather.wmo.int/en/country.html?countryCode=32>
7. Polo J., Fernández-Peruchena C., Salamalikis V., Mazorra-Aguilar L., Turpin M., Martín-Pomares L., Kazantzidis A., Blanc P., Remund J. Benchmarking on improvement and site-adaptation techniques for modeled solar radiation datasets. Solar Energy, Volume 201, 2020, Pages 469–479. ISSN 0038-092X. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.03.040> (accessed 05 September 2025).
8. Gueymard C.A., Wilcox S.M. Assessment of spatial and temporal variability in the US solar resource from radiometric measurements and predictions from models using ground-based or satellite data. Solar Energy, Volume 85, Issue 5, 2011, Pages 1068–1084. ISSN 0038-092X. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2011.02.030> (accessed 05 September 2025).
9. Polo J., Wilbert S., Ruiz-Arias J.A., Meyer R., Gueymard C., Súrri M., Martín L., Mieslinger T., Blanc P., Grant L., Boland J., Ineichen P., Remund J., Escobar R., Troccoli A., Sengupta M., Nielsen K.P., Renne D., Geuder N., Cebecauer T. Preliminary survey on site-adaptation techniques for satellite-derived and reanalysis solar radiation datasets. Solar Energy, Volume 132, 2016, Pages 25–37. ISSN 0038-092X. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2016.03.001> (accessed 05 September 2025).
10. Yagli G.M., Yang D., Gandhi O., Srinivasan D. Can we justify producing univariate machine-learning forecasts with satellite-derived solar irradiance? Applied Energy, Volume 259, 2020, 114122. ISSN 0306-2619. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.114122> (accessed 05 September 2025).
11. Escobar R.A., Cortés C., Pino A., Salgado M., Bueno Pereira E., Ramos Martins F., Boland J., Cardemil J.M. Estimating the potential for solar energy utilization in Chile by satellite-derived data and ground station measurements. Solar Energy, Volume 121, 2015, Pages 139–151. ISSN 0038-092X. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2015.08.034> (accessed 05 September 2025).



12. Matuszko D. Influence of cloudiness on sunshine duration. *International Journal of Climatology*, Volume 32, Issue 10, 2012, Pages 1527–1536. Available at: <https://doi.org/10.1002/joc.2370> (accessed 05 September 2025).
13. Ladislav Kómar, Alesh Nechas, Effect of cloud micro-physics on zenith brightness in urban environment, *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, Volume 302, 2023, 108563, ISSN 0022-4073. <https://doi.org/10.1016/j.jqsrt.2023.108563>
14. NASA Prediction Of Worldwide Energy Resources URL: <https://power.larc.nasa.gov/>.
15. Welcome to the Climate Data Store URL: <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/home/>.
16. Weather Forecast API URL: <https://open-meteo.com/en/docs>.
17. Tahir Z.U.R., Amjad M., Asim M., Azhar M., Farooq M., Junaid Ali M., Ahmad S.U., Amjad G.M., Hussain A. Improving the accuracy of solar radiation estimation from reanalysis datasets using surface measurements. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, Volume 47, 2021, 101485. ISSN 2213-1388. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101485> (accessed 05 September 2025).
18. Babar B., Graverson R., Boström T. Solar radiation estimation at high latitudes: Assessment of the CMSAF databases, ASR and ERA5. *Solar Energy*, Volume 182, 2019, Pages 397–411. ISSN 0038-092X. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.02.058> (accessed 05 September 2025).
19. He Y., Wang K., Feng F. Improvement of ERA5 over ERA-Interim in Simulating Surface Incident Solar Radiation throughout China. *Journal of Climate*, Volume 34, Issue 10, 2021, Pages 3853–3867. Available at: <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-20-0300.1> (accessed 05 September 2025).
20. Psiloglou B.E., Kambezidis H.D., Kaskaoutis D.G., Karagiannis D., Polo J.M. Comparison between MRM simulations, CAMS and PVGIS databases with measured solar radiation components at the Methoni station, Greece. *Renewable Energy*, Volume 146, 2020, Pages 1372–1391. ISSN 0960-1481. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.07.064> (accessed 05 September 2025).
21. H. Jiang, Y. Yang, Y. Bai and H. Wang, "Evaluation of the Total, Direct, and Diffuse Solar Radiations From the ERA5 Reanalysis Data in China," in *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, vol. 17, no. 1, pp. 47-51, Jan. 2020, <https://doi.org/10.1109/LGRS.2019.2916410>
22. Aksoy B. Solar radiation over Turkey and its analysis. *International Journal of Remote Sensing*, Volume 32, Issue 21, 2011, Pages 6261–6272. Available at: <https://doi.org/10.1080/01431161.2010.508056> (accessed 05 September 2025).
23. F. Orte, A. Lusi, F. Carmona, R. D'Elia, A. Faramiñán and E. Wolfram, "Comparison of NASA-POWER solar radiation data with ground-based measurements in the south of South America," 2021 XIX Workshop on Information Processing and Control (RPIC), SAN JUAN, Argentina, 2021, pp. 1-4, <https://doi.org/10.1109/RPIC53795.2021.9648428>
24. Boyo, A., & Adeyemi, K. (2012). Analysis of Solar Radiation data From Satellite and Nigeria Meteorological Station. *International Journal of Renewable Energy Research*, 1, 314-322. <https://doi.org/10.20508/IJRER.29218>
25. Mitrush D., Berberi P., Bërdufi I., Muda V., Topçiu D., Buzra U. A comparative study of satellite estimation for solar insolation in Albania with ground measurements. *AIP Conference Proceedings*, Volume 1722, Issue 1, 2016, 280006. ISSN 0094-243X. Available at: <https://doi.org/10.1063/1.4944285> (accessed 05 September 2025).
26. Marchand M., Saint-Drenan Y.-M., Saboret L., Wey E., Wald L. Performance of CAMS Radiation Service and HelioClim-3 databases of solar radiation at surface: evaluating the spatial variation in Germany. *Advances in Science and Research*, Volume 17, 2020, Pages 143–152. Available at: <https://doi.org/10.5194/asr-17-143-2020> (accessed 05 September 2025).
27. Brinckmann, S., Klameth, A., and Trentmann, J.: Merging of satellite and ground measurements of hourly surface solar radiation variables in Germany, EMS Annual Meeting 2021, online, 6–10 Sep 2021, EMS2021-128, <https://doi.org/10.5194/ems2021-128>, 2021.
28. Amillo A.G., Huld T., Müller R. A New Database of Global and Direct Solar Radiation Using the Eastern Meteosat Satellite, Models and Validation. *Remote Sensing*, Volume 6, Number 9, 2014, Pages 8165–8189. ISSN 2072-4292. Available at: <https://doi.org/10.3390/rs6098165> (accessed 05 September 2025).
29. Vindel J.M., Polo J., Antonanzas-Torres F. Improving daily output of global to direct solar irradiance models with ground measurements. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, Volume 5, Number 6, 2013, 063123. ISSN 1941-7012. Available at: <https://doi.org/10.1063/1.4850515> (accessed 05 September 2025).
30. Avezov R.R., Avezova N.R., Matchanov N.A., Suleimanov Sh.I., Abdukadirova R.D. History and state of solar engineering in Uzbekistan. *Applied Solar Energy*, Volume 48, Issue 1, 2012, Pages 14–19. ISSN 1934-9424. Available at: <https://doi.org/10.3103/S0003701X12010033> (accessed 05 September 2025).



31. Abdullaev D.A., Isaev R.I., Resources of Solar Radiation and Wind Energies in Uzbekistan and System of Their Combined Utilization // ISESCO Science and Technology Vision, vol. 1, pp. 76-82, 2005.
32. Попель О.С., Фрид С.Е., Киселева С.В., и др. Климатические данные для возобновляемой энергетики России (База климатических данных): Учебное пособие. -М.:Изд-во МФТИ, 2010. 56 с.
33. Гридасов М.В., Киселева С.В., Нефедова Л.В, и др., “Разработка геоинформационной системы. Возобновляемые источники энергии России”, Теплоэнергетика, № 11, стр. 38-45, 2011., www.gis-vie.ru.
34. Справочник по климату СССР, Вып. 19, часть I, “Солнечная радиация, радиационный баланс и солнечное сияние”, -Л.: Гидрометеиздат, 1966.
35. Справочник по климату СССР, Вып. 19, Узбекская ССР, Часть II, “Температура воздуха и почвы”, -Л.: Гидрометеиздат, 1965.
36. Научно-прикладной справочник по климату СССР, Серия 3, Многолетние данные, 4, 1-6, Вып. 19. Узбекская ССР Кн.1,-Л.: Гидрометеиздат, 1989.
37. UZBTA 8008 ABR “Solar Energy Utilization in Uzbekistan: Development Trends”, pp. 109–121, 2013–2017.
38. Avezova N.R., Frid S.E., Lisitskaya N.V., Rakhimov E.Yu. Resource Indicators of Solar Photovoltaic Plants in the Republic of Uzbekistan. Part 2. Verifying Satellite Actinometric and Reanalysis Data for Conditions in Uzbekistan. *Applied Solar Energy*, Volume 55, Issue 5, 2019, Pages 347–354. ISSN 1934-9424. Available at: <https://doi.org/10.3103/S0003701X19050037> (accessed 15 September 2023).
39. Frid S.E., Rakhimov E.Yu., Boliev B.B. Actinometric Data for Flat Receivers Solar Energy Units Performance Estimation. *Applied Solar Energy*, Volume 55, Issue 1, 2019, Pages 78–82. ISSN 1934-9424. Available at: <https://doi.org/10.3103/S0003701X19010079> (accessed 15 September 2023).
40. Gidrometeorologiya agentligi rasmiy web sayti URL:<https://data.meteo.uz/>.
41. Tiwari, G. N, Tiwari, A., & Shyam, S., Handbook of Solar Energy: Theory, Analysis and Applications. 1st ed. 2016.
42. Manuel Collares-Pereira, Ari Rabl ”The average distribution of solar radiation-correlations between diffuse and hemispherical and between daily and hourly insolation values”, *Solar Energy*, Volume 22, Issue 2,1979,Pages 155-164,ISSN 0038-092. [https://doi.org/10.1016/0038-092X\(79\)90100-2](https://doi.org/10.1016/0038-092X(79)90100-2)
43. Duffie, J.A., Beckman, W.A., Solar Engineering of Thermal Processes, New Jersey, 2013.

REFERENCES

1. Avezov N.R , Frid S.E., Lisitskaya N.V., Rakhimov E.Yu. Resource Indicators of Solar Photovoltaic Plants in the Republic of Uzbekistan. Part 2 // *Applied Solar Energy*, 2019, Vol. 55, No. 5, PP. 347–354. DOI: [10.3103/S0003701X19050037](https://doi.org/10.3103/S0003701X19050037).
2. Manju S., Mavi S. Prediction and performance assessment of global solar radiation in Indian cities: A comparison of satellite and surface measured data. *Journal of Cleaner Production*, Volume 230, 2019, Pages 116–128. ISSN 0959-6526. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.108> (accessed 05 September 2025).
3. Sun J., Shi M.H. Numerical study on optical and electric-thermal performance for solar concentrating PV/T air system. *Science in China Series E: Technological Sciences*, Volume 52, Issue 12, 2009, Pages 3514–3520. ISSN 1862-281X. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11431-009-0242-x> (accessed 05 September 2025).
4. Global radiation. Daily sums, monthly sums and means (Asia). http://wrdc.mgo.rssi.ru/wwwroot/data_list/t2/uzbekistan/tashkent /tashkent .html(accessed 05 September 2025)
5. PANGAEA. Data Publisher for Earth & Environmental Science. <https://dataportal.pangaea.de/bsrn/stations>
6. Centre of Hydrometeorological Service of the Republic of Uzbekistan (Uzhydromet) at the Cabinet of Ministers <https://worldweather.wmo.int/en/country.html?countryCode=32>
7. Polo J., Fernández-Peruchena C., Salamalikis V., Mazorra-Aguiar L., Turpin M., Martín-Pomares L., Kazantzidis A., Blanc P., Remund J. Benchmarking on improvement and site-adaptation techniques for modeled solar radiation datasets. *Solar Energy*, Volume 201, 2020, Pages 469–479. ISSN 0038-092X. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.03.040> (accessed 05 September 2025).
8. Gueymard C.A., Wilcox S.M. Assessment of spatial and temporal variability in the US solar resource from radiometric measurements and predictions from models using ground-based or satellite



data. *Solar Energy*, Volume 85, Issue 5, 2011, Pages 1068–1084. ISSN 0038-092X. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2011.02.030> (accessed 05 September 2025).

9. Polo J., Wilbert S., Ruiz-Arias J.A., Meyer R., Gueymard C., Sári M., Martín L., Mieslinger T., Blanc P., Grant I., Boland J., Ineichen P., Remund J., Escobar R., Troccoli A., Sengupta M., Nielsen K.P., Renne D., Geuder N., Cebecauer T. Preliminary survey on site-adaptation techniques for satellite-derived and reanalysis solar radiation datasets. *Solar Energy*, Volume 132, 2016, Pages 25–37. ISSN 0038-092X. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2016.03.001> (accessed 05 September 2025).

10. Yagli G.M., Yang D., Gandhi O., Srinivasan D. Can we justify producing univariate machine-learning forecasts with satellite-derived solar irradiance? *Applied Energy*, Volume 259, 2020, 114122. ISSN 0306-2619. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.114122> (accessed 05 September 2025).

11. Escobar R.A., Cortés C., Pino A., Salgado M., Bueno Pereira E., Ramos Martins F., Boland J., Cardemil J.M. Estimating the potential for solar energy utilization in Chile by satellite-derived data and ground station measurements. *Solar Energy*, Volume 121, 2015, Pages 139–151. ISSN 0038-092X. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2015.08.034> (accessed 05 September 2025).

12. Matuszko D. Influence of cloudiness on sunshine duration. *International Journal of Climatology*, Volume 32, Issue 10, 2012, Pages 1527–1536. Available at: <https://doi.org/10.1002/joc.2370> (accessed 05 September 2025).

13. Ladislav Kómar, Alesh Nechas, Effect of cloud micro-physics on zenith brightness in urban environment, *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, Volume 302, 2023, 108563, ISSN 0022-4073. <https://doi.org/10.1016/j.jqsrt.2023.108563>

14. NASA Prediction Of Worldwide Energy Resources URL: <https://power.larc.nasa.gov/>.

15. Welcome to the Climate Data Store URL: <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/home/>.

16. Weather Forecast API URL: <https://open-meteo.com/en/docs>.

17. Tahir Z.U.R., Amjad M., Asim M., Azhar M., Farooq M., Junaid Ali M., Ahmad S.U., Amjad G.M., Hussain A. Improving the accuracy of solar radiation estimation from reanalysis datasets using surface measurements. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, Volume 47, 2021, 101485. ISSN 2213-1388. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101485> (accessed 05 September 2025).

18. Babar B., Graversen R., Boström T. Solar radiation estimation at high latitudes: Assessment of the CMSAF databases, ASR and ERA5. *Solar Energy*, Volume 182, 2019, Pages 397–411. ISSN 0038-092X. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.02.058> (accessed 05 September 2025).

19. He Y., Wang K., Feng F. Improvement of ERA5 over ERA-Interim in Simulating Surface Incident Solar Radiation throughout China. *Journal of Climate*, Volume 34, Issue 10, 2021, Pages 3853–3867. Available at: <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-20-0300.1> (accessed 05 September 2025).

20. Psiloglou B.E., Kambezidis H.D., Kaskaoutis D.G., Karagiannis D., Polo J.M. Comparison between MRM simulations, CAMS and PVGIS databases with measured solar radiation components at the Methoni station, Greece. *Renewable Energy*, Volume 146, 2020, Pages 1372–1391. ISSN 0960-1481. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.07.064> (accessed 05 September 2025).

21. H. Jiang, Y. Yang, Y. Bai and H. Wang, "Evaluation of the Total, Direct, and Diffuse Solar Radiations From the ERA5 Reanalysis Data in China," in *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, vol. 17, no. 1, pp. 47-51, Jan. 2020, <https://doi.org/10.1109/LGRS.2019.2916410>

22. Aksoy B. Solar radiation over Turkey and its analysis. *International Journal of Remote Sensing*, Volume 32, Issue 21, 2011, Pages 6261–6272. Available at: <https://doi.org/10.1080/01431161.2010.508056> (accessed 05 September 2025).

23. F. Orte, A. Lusi, F. Carmona, R. D'Elia, A. Faramiñán and E. Wolfram, "Comparison of NASA-POWER solar radiation data with ground-based measurements in the south of South America," 2021 XIX Workshop on Information Processing and Control (RPIC), SAN JUAN, Argentina, 2021, pp. 1-4, <https://doi.org/10.1109/RPIC53795.2021.9648428>

24. Boyo, A., & Adeyemi, K. (2012). Analysis of Solar Radiation data From Satellite and Nigeria Meteorological Station. *International Journal of Renewable Energy Research*, 1, 314-322. <https://doi.org/10.20508/IJRER.29218>

25. Mitrushki D., Berberi P., Bërdufi I., Muda V., Topçiu D., Buzra U. A comparative study of satellite estimation for solar insolation in Albania with ground measurements. *AIP Conference Proceedings*, Volume 1722, Issue 1, 2016, 280006. ISSN 0094-243X. Available at: <https://doi.org/10.1063/1.4944285> (accessed 05 September 2025).

26. Marchand M., Saint-Drenan Y.-M., Saboret L., Wey E., Wald L. Performance of CAMS Radiation Service and HelioClim-3 databases of solar radiation at surface: evaluating the spatial variation in Germany. *Advances in Science and Research*, Volume 17, 2020, Pages 143–152. Available at: <https://doi.org/10.5194/asr-17-143-2020> (accessed 05 September 2025).



27. Brinckmann, S., Klameth, A., and Trentmann, J.: Merging of satellite and ground measurements of hourly surface solar radiation variables in Germany, *EMS Annual Meeting 2021*, online, 6–10 Sep 2021, EMS2021-128, <https://doi.org/10.5194/ems2021-128>, 2021.
28. Amillo A.G., Huld T., Müller R. A New Database of Global and Direct Solar Radiation Using the Eastern Meteosat Satellite, *Models and Validation. Remote Sensing*, Volume 6, Number 9, 2014, Pages 8165–8189. ISSN 2072-4292. Available at: <https://doi.org/10.3390/rs6098165> (accessed 05 September 2025).
29. Vindel J.M., Polo J., Antonanzas-Torres F. Improving daily output of global to direct solar irradiance models with ground measurements. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, Volume 5, Number 6, 2013, 063123. ISSN 1941-7012. Available at: <https://doi.org/10.1063/1.4850515> (accessed 05 September 2025).
30. Avezov R.R., Avezova N.R., Matchanov N.A., Suleimanov Sh.I., Abdulkadirova R.D. History and state of solar engineering in Uzbekistan. *Applied Solar Energy*, Volume 48, Issue 1, 2012, Pages 14–19. ISSN 1934-9424. Available at: <https://doi.org/10.3103/S0003701X12010033> (accessed 05 September 2025).
31. Abdullaev D.A., Isaev R.I., Resources of Solar Radiation and Wind Energies in Uzbekistan and System of Their Combined Utilization // *ISESCO Science and Technology Vision*, vol. 1, pp. 76–82, 2005.
32. Popel O.S., Frid S.E., Kiseleva S.V., et al. Climate data for renewable energy in Russia (Climate database): Study guide. - M.: *Publishing house of Moscow Institute of Physics and Technology*, 2010. 56 p. (In Russ)
33. Gridasov M.V., Kiseleva S.V., Nefedova L.V., et al., “Development of a geographic information system. Renewable energy sources in Russia”, *Thermal Energy*, No. 11, pp. 38-45, 2011., www.gis-vie.ru. (In Russ)
34. *Handbook of the USSR Climate*, Issue 19, Part I, “Solar Radiation, Radiation Balance and Sunshine”, L.: Gidrometeoizdat, 1966. (In Russ)
35. *Handbook of the climate of the USSR*, Issue 19, Uzbek SSR, Part II, “Air and soil temperature”, -L.: Gidrometeoizdat, 1965. (In Russ)
36. Scientific and applied reference book on the climate of the USSR, Series 3, Long-term data, 4, 1-6, Issue 19. Uzbek SSR Book 1, -L.: Hydrometeoizdat, 1989. (In Russ)
37. UZBTA 8008 ABR “Solar Energy Utilization in Uzbekistan: Development Trends”, pp. 109–121, 2013–2017.
38. Avezova N.R., Frid S.E., Lisitskaya N.V., Rakhimov E.Yu. Resource Indicators of Solar Photovoltaic Plants in the Republic of Uzbekistan. Part 2. Verifying Satellite Actinometric and Reanalysis Data for Conditions in Uzbekistan. *Applied Solar Energy*, Volume 55, Issue 5, 2019, Pages 347–354. ISSN 1934-9424. Available at: <https://doi.org/10.3103/S0003701X19050037> (accessed 15 September 2025).
39. Frid S.E., Rakhimov E.Yu., Boliev B.B. Actinometric Data for Flat Receivers Solar Energy Units Performance Estimation. *Applied Solar Energy*, Volume 55, Issue 1, 2019, Pages 78–82. ISSN 1934-9424. Available at: <https://doi.org/10.3103/S0003701X19010079> (accessed 05 September 2025).
40. Gidrometeorologiya agentligi rasmiy web sayti URL: <https://data.meteo.uz/>.
41. Tiwari, G. N, Tiwari, A., & Shyam, S., *Handbook of Solar Energy: Theory, Analysis and Applications*. 1st ed. 2016.
42. Manuel Collares-Pereira, Ari Rabl ”The average distribution of solar radiation-correlations between diffuse and hemispherical and between daily and hourly insolation values”, *Solar Energy*, Volume 22, Issue 2, 1979, Pages 155-164, ISSN 0038-092. [https://doi.org/10.1016/0038-092X\(79\)90100-2](https://doi.org/10.1016/0038-092X(79)90100-2) (accessed 05 September 2025).
43. Duffie, J.A., Beckman, W.A., *Solar Engineering of Thermal Processes*, New Jersey, 2013.