



O'zbekistonda shamol energiyasining yalpi salohiyatini baholash

Ergashali Yu. Raximov¹, Nilufar R. Avezova², Fozil Z. Jamoldinov³

¹PhD, 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>

²DSc, Farg'ona politexnika instituti, 150107, Farg'ona, 150107, O'zbekiston; avezovanr@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-4298-1041>

³Assistent, Toshkent davlat texnika universiteti, Tashkent, 100095, O'zbekiston; jamoldinovfozilbek@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0009-5140-2783>

Dolzarbli: zamonaviy energiya talablarini qondirish va global iqlim o'zgarishlariga moslashish uchun qayta tiklanadigan energiya manbalaridan foydalanishni optimallashtirish dolzarb masalalardan biridir. O'zbekiston hududida shamol energetik potensialini aniqlash va baholash, mahalliy iqlim sharoitlari va shamol rejimlarini hisobga olgan holda, mamlakatning "yashil energetika"ga o'tishini tezlashtirish va energetik xavfsizlikni oshirish imkoniyatlarini beradi. Ushbu tadqiqot shamol energetikasini rivojlantirish bo'yicha ilmiy asoslangan strategiyalar ishlab chiqishda muhim ahamiyatga ega.

Maqsad: O'zbekiston hududida shamol tezligi, quvvat zichligi va energiyasi uchun Veybull taqsimoti parametrlarini hisoblash hamda shamol energetikasi loyihalarini rejalashtirish uchun shamol energiyasining yalpi salohiyatini baholash.

Usullari: tadqiqotda 2000–2022 yillar oralig'ida O'zbekistonning 77 ta meteorologik stansiyasidan har 3 soatda to'plangan ma'lumotlar tahlil qilindi. Shamol tezligining o'rtacha qiymatlari, shamol yo'nalishi va energetik salohiyatini baholanishi uchun Veybull taqsimoti funksiyasi ishlatildi. Shuningdek, shamolning yillik tezligi va quvvati zichligi taqsimot xaritalari tuzildi.

Natijalar: tadqiqot davomida shamolning eng yuqori ko'p yillik o'rtacha tezligi Qoraqalpog'iston Respublikasi, Navoiy va Buxoro viloyatlari, Qashqadaryo viloyatining Dehqonobod tumani hamda Toshkent viloyatining Bekobod shahrida qayd etildi. Eng yuqori shamol energiyasi potentsiali ega hududlar sifatida Qoraqalpog'iston Respublikasining Jasliq tumani (202,01 W/m²), Navoiy shahri (94,05 W/m²) va Qashqadaryo viloyatining Dehqonobod tumani (85,33 W/m²) aniqlandi.

Kalit so'zlar: shamol salohiyati, shamol quvvat zichligi, shamol salohiyati xaritalari, Veybull parametrlari, shamol guli, shamol tezligi, shamol energiyasi.

Оценка валового потенциала ветровой энергии Узбекистана

Эргашали Ю. Рахимов¹, Нилуфар Р. Аvezова², Фозил З. Жамолдинов³

For citation: Rahimov E.Yu.,

Avezova N.R., Jamoldinov F.Z.,

Evaluation of the gross wind energy

potential of Uzbekistan. Scientific and

technical journal of Problems of

Energy and Sources Saving, 2025, no.

1, pp. 68-89.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.15095174>

Received: 14.01.2025

Revised: 7.02.2025

Accepted: 18.03.2025

Published: 25.03.2025

Copyright: © Ergashali Yu.

Rakhimov, Nilufar R. Avezova,

Fozil Z. Jamoldinov, 2025. Submitted

to Problems of Energy and Sources

Saving for possible open access publi-

cation under the terms and conditions

of the Creative Commons Attri-

bution (CC BY) license ([https://](https://creativecommons.org/licenses/by/)

creativecommons.org/licenses/by/)

¹PhD, 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>

²DSc, Ферганский политехнический институт, Фергана, 150107, Узбекистан; avezovanr@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4298-1041>

³Ассистент, Ташкентский государственный технический университет, Ташкент, 100095, Узбекистан; jamoldinovfozilbek@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0009-5140-2783>

Актуальность: для удовлетворения современных энергетических потребностей и адаптации к глобальным изменениям климата одной из актуальных задач является оптимизация использования возобновляемых источников энергии. Оценка и анализ ветрового потенциала на территории Узбекистана с учетом местных климатических условий и режимов ветра предоставляют возможности для ускорения перехода страны к «зеленой энергетике» и повышения ее энергетической безопасности. Данное исследование имеет важное значение для разработки научно обоснованных стратегий развития ветроэнергетики.

Цель: расчет параметров распределения Вейбулла для скорости ветра, плотности мощности и энергии на территории Узбекистана, а также оценка валового потенциала ветроэнергии для планирования проектов в области ветроэнергетики.

Методы: в исследовании проанализированы данные, собранные с 77 метеорологических станций Узбекистана с 2000 по 2022 годы, с интервалом 3 часа. Средние значения скорости ветра, направления ветра и энергетического потенциала были рассчитаны с использованием функции распределения Вейбулла. Кроме того, были построены карты распределения годовой скорости ветра и плотности мощности ветра.

Результаты: в ходе исследования установлено, что наибольшая многолетняя средняя скорость ветра зарегистрирована в Республике Каракалпакстан, Навоийской и Бухарской областях, Дехканабадском районе Кашкадарьинской области и городе Бекабад Ташкентской области. Максимальный ветровой энергетический потенциал был выявлен в районе поселка Жаслык Республики Каракалпакстан (202,01 Вт/м²), городе Навои (94,05 Вт/м²) и Дехканабадском районе (85,33 Вт/м²).

Ключевые слова: ветровой потенциал, плотность мощности ветра, карты ветрового потенциала, параметры Вейбулла, роза ветров, скорость ветра, энергия ветра.



Evaluation of the Gross Wind Energy Potential of Uzbekistan

Ergashali Yu. Rakhimov¹, Nilufar R. Avezova², Fozil Z. Jamoldinov³

¹PhD, National Scientific 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>

²DSc, Fergana Polytechnic Institute, Fergana, 150107, Uzbekistan; avezovanr@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4298-1041>

³Assistant, Tashkent State Technical University, Tashkent, 100095, Uzbekistan; jamoldinovfozilbek@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0009-5140-2783>

Relevance: optimizing the use of renewable energy sources is one of the pressing challenges for meeting modern energy demands and adapting to global climate change. The assessment and analysis of wind energy potential in Uzbekistan, considering local climatic conditions and wind regimes, provide opportunities to accelerate the country's transition to "green energy" and enhance its energy security. This study is crucial for developing scientifically grounded strategies for wind energy development.

Aim: to calculate Weibull distribution parameters for wind speed, power density, and energy in Uzbekistan and assess the gross wind energy potential for planning wind energy projects.

Methods: the study analyzed data collected from 77 meteorological stations across Uzbekistan from 2000 to 2022, with measurements taken every 3 hours. Average wind speed values, wind direction, and energy potential were assessed using the Weibull distribution function. Additionally, maps of annual wind speed and wind power density distributions were developed.

Results: the study revealed that the highest multi-year average wind speeds were recorded in the Republic of Karakalpakstan, Navoi and Bukhara regions, Dekhkanabad district of Kashkadarya region, and Bekabad city in Tashkent region. The areas with the highest wind energy potential were identified as Jaslyk district, the Republic of Karakalpakstan (202.01 W/m²), Navoi city (94.05 W/m²), and Dekhkanabad district (85.33 W/m²).

Key words: wind potential, wind power density, wind potential maps, Weibull parameters, wind rose, wind speed, wind energy.

1. Kirish (Introduction)

So'nggi yillarda barqaror energetika tizimlarini yaratish global miqyosda dolzarb ahamiyat kasb etdi. Shu munosabat bilan dunyo davlatlari energiya sohasida iqlim o'zgarishlariga bardoshli, ishonchli va ekologik jihatdan toza energetika tizimlarini shakllantirishga intilgan holda, alternativ yo'llarni faol ravishda o'rganmoqda va ishlab chiqmoqda.

Ma'lumki, qayta tiklanuvchi energiya manbalariga (QTEM) asoslangan "yashil energetika"ning global energetika tizimidagi ulushi deyarli 30% ga yetdi, Yevropaning ayrim davlatlarida esa bu ko'rsatkich 80-90% dan oshib ketdi [1]. Bu esa turli davlatlar energetika siyosatining strategik yo'nalishlari 2030 yil va undan keyingi davrda QTEM ulushini yanada oshirishga qaratilganini ko'rsatadi.

Qayta tiklanuvchi energiya manbalari orasida shamol energiyasi dunyo bo'yicha eng tez rivojlanayotgan energetik texnologiyalar segmentlaridan biri hisoblanadi. U zamonaviy jamiyatning energiyaga bo'lgan ehtiyojlarini qondirish, ko'mir va dizel yoqilg'isiga bog'liqlikni kamaytirish hamda issiqxona gazlari chiqindilarini qisqartirish uchun potensial manba sifatida ko'rib chiqilmoqda. Shamol energiyasi ko'plab afzalliklarga ega, jumladan, arzon ekspluatatsiya xarajatlari, tez o'rnatilish imkoniyati va loyihalarni kichik qishloq qurilmalaridan tortib, yirik dengiz shamol parklarigacha kengaytirishdagi moslashuvchanlik [2,3].

Xalqaro energetika agentligining (IEA) 2023-yilgi tadqiqotlariga ko'ra, shamol energiyasi 2040-yilga kelib dunyo bo'yicha elektr energiyasiga bo'lgan talabning 25 foizigacha qismini qondira oladi. Yevropada shamol energetikasi 2050-yilga qadar uglerod neytralligiga erishish strategiyasining asosiy elementlaridan biri bo'lib qolmoqda. 2023-yilda Yevropada shamol energiyasining umumiy elektr energiya ishlab chiqarishdagi ulushi 16 foizga yetdi [4].

Rivojlangan davlatlarda, jumladan, Xitoy va Hindistonda, shamol energetikasi energetik xavfsizlikni yaxshilash va qazilma yoqilg'iga bo'lgan qaramlikni kamaytirishda muhim rol o'ynamoqda. Global Shamol Energetikasi Kengashi (GWEC) ma'lumotlariga ko'ra, 2023-yilda yangi shamol quvvatlari o'rnatilishi bo'yicha yangi rekord o'rnatilib, 117 GW dan ortiq quvvat ishga tushirilgan, bu esa oldingi yilga nisbatan 50 foizga ko'pdur [4,5].

Bundan tashqari, Global Shamol Energetikasi Kengashining (GWEC) 2024-yilgi hisobotida Afrikada va Lotin Amerikasida shamol energetikasi rivojlanishida sezilarli yutuqlarga erishilgani ko'rsatilgan. Ushbu hududlarda 10 GW dan ortiq yangi quvvatlar ishga tushirilgani qayd etildi, bu esa rivojlanayotgan hududlarda qayta tiklanadigan energiya manbalariga qiziqish ortib borayotganini tasdiqlaydi. Dunyoning boshqa hududlarida esa quruqlikda joylashgan shamol energetikasining o'sishi kutilmoqda, xususan, Yaponiyada va Janubi-Sharqiy hamda Markaziy Osiyoning rivojlanayotgan bozorlarida. GWEC Market Intelligence ma'lumotlariga ko'ra, Filippin, Qozog'iston

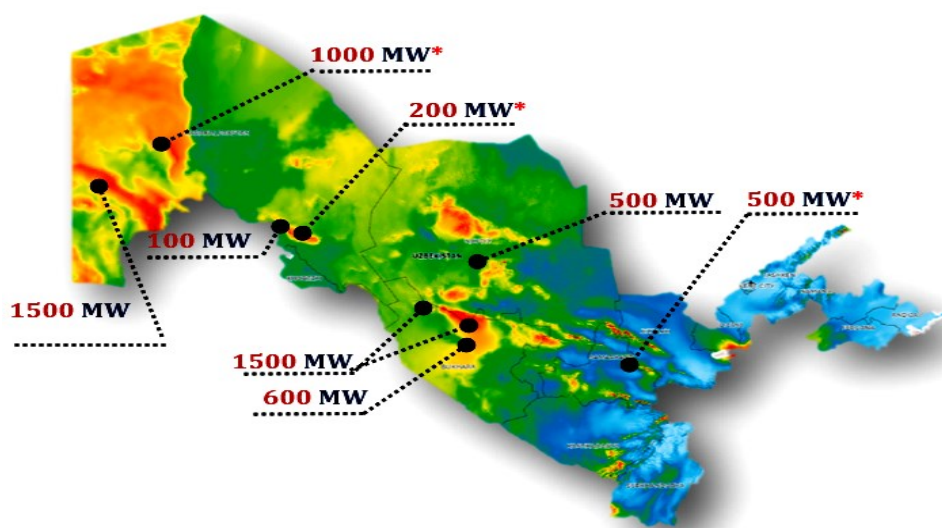
va O'zbekiston ushbu jarayonning muhim ishtirokchilariga aylanishi kutilmoqda. 2024–2028-yillar oralig'ida ushbu mintaqada rejalashtirilgan yangi quvvatlarning 17% ni aynan ushbu davlatlar ta'minlaydi. Faol investitsiyalar va qulay siyosiy sharoitlar tufayli ushbu mamlakatlar o'z energetik quvvatlarini sezilarli darajada oshirishi mumkin, bu esa ularning Osiyoda shamol energetikasi sohasidagi yetakchilardan biriga aylanish imkoniyatini ta'kidlaydi [5].

O'zbekiston Respublikasi milliy strategiyalar doirasida qayta tiklanuvchi energiya manbalarini (QTEM) faol rivojlantirmoqda. Prezidentning 2022-yil 8-yanvarda qabul qilingan PF-60-sonli Farmoniga ko'ra, 2022–2026-yillar strategiyasida, QTEM ulushini 25% ga yetkazish orqali tabiiy gaz iste'molini 3 milliard m³ ga qisqartirish nazarda tutilgan. Ushbu maqsadga erishish uchun 8 GW quvvatga ega quyosh va shamol elektr stansiyalarini o'rnatish, shuningdek, QTEMdan foydalanayotgan fuqarolar va tadbirkorlarni qo'llab-quvvatlash rejalashtirilgan [6].

Bundan tashqari, 2023-yil 16-fevralda qabul qilingan Prezidentning PQ-57-sonli Qaroriga asosan, O'zbekistonda umumiy quvvati 1,6 GW bo'lgan shamol elektr stansiyalari qurilishi ko'zda tutilgan.

O'tgan 5 yilda energetika sohasiga qariyb 20 milliard dollar xorijiy investitsiyalar jalb qilindi va 9,6 GW zamonaviy energiya quvvatlari ishga tushirildi. Jumladan, 3,5 GW 14 ta quyosh va shamol elektr stansiyalari hamda 2 ta 300 MW saqlash tizimlari ishga tushirildi [7].

Kelgusi 5 yil ichida (2030-yil yakuniga qadar) respublikamizda generatsiya quvvatlarini oshirish maqsadida xalqaro kompaniyalar bilan umumiy qiymati qariyb 5,5 mlrd AQSh dollarga teng, umumiy quvvati 4,4 GW bo'lgan 10 ta shamol elektr stansiyasini qurish bo'yicha elektr energiyasini sotib olish shartnomalari va investitsiya bitimlari imzolangan [8].



1-rasm. O'zbekiston Respublikasida 2022-2030-yillarda qurilishi rejalashtirilgan shamol elektrostansiyalari haqida ma'lumot [8]

Fig. 1. Information about wind power plants planned to be built in the Republic of Uzbekistan in 2022-2030 [8]

2024-yilda Navoiy viloyatining Tomdi tumanida Birlashgan Arab Amirliklarining "Masdar" kompaniyasi tomonidan quvvati 500 MW bo'lgan shamol elektr stansiyasi foydalanishga topshiriladi. Ushbu loyiha doirasida "Goldwind" kompaniyasining (Xitoy) quvvati 4,7 MW bo'lgan jami 111 ta turbina o'rnatilgan. Loyihaning umumiy qiymati 600 million AQSh dollari bo'lib, to'liq "Masdar" kompaniyasi investitsiyasi asosida amalga oshiriladi.

2025-yilda Buxoro viloyatining Peshku va G'ijduvon tumanlarida umumiy quvvati 1000 MW bo'lgan 2 ta shamol elektr stansiyasi ishga tushiriladi. Xozirda G'ijduvon tumanida quvvati 300 MW bo'lgan shamol elektr stansiyalarini qurmoqda. 2023-yilning iyul oyida "Envision" kompaniyasining (Xitoy) quvvati 6,5 MW bo'lgan ilk turbinalari o'rnatildi. Loyihaning yakunida 158 ta turbina o'rnatilishi rejalashtirilgan. Stansiyalar 2025-yilda ishga tushirilgach, yiliga 3,5 milliard kWh elektr energiyasi ishlab chiqarilib, 1,061 milliard kubometr tabiiy gaz tejashga xizmat qiladi.

2025-yilda Qoraqalpog'iston Respublikasining Qorao'zak tumanida quvvati 100 MW bo'lgan shamol elektr stansiyasi ishga tushiriladi. Shuningdek, Qo'ng'iro'tumanida Saudiya Arabistonining "ACWA Power" kompaniyasi tomonidan har birining quvvati 500 MW bo'lgan 3 ta shamol elektr stansiyasi qurilishi 2027 - yil so'ngigacha qadar rejalashtirilgan.



Samarqand viloyatining Bulung'ur, Jomboy va Payariq tumanlarida jami quvvati 500 MW bo'lgan shamol elektr stansiyasi qurilishi rejalashtirilgan.

Shamol energetikasini muvaffaqiyatli rivojlantirish va ShES loyihalarining iqtisodiy samaradorligini ta'minlash uchun rejalashtirish bosqichida shamol resurslari potensialini baholash nihoyatda muhim ahamiyatga ega. Shamol xususiyatlarini aniqlash va uning potensialini aniq baholash loyihalarining texnik-iqtisodiy asoslanishi, elektr energiyasi ishlab chiqarish qiymati hamda umumiy iqtisodiy foyda ko'rsatkichlariga bevosita ta'sir ko'rsatadi [9,10]. Muhim jihat faqat dastlabki baholash bilan cheklanmasdan, uzoq muddatli shamol sharoitlarini monitoring qilish hisoblanadi. Doimiy kuzatuvlar, ma'lumotlarning muntazam yangilanishi va SCADA tizimi orqali yig'ilgan ko'p yillik o'lchovlar tahlili ShES ish faoliyatining ishonchligini ta'minlash va mumkin bo'lgan nosozliklarni o'z vaqtida aniqlashga yordam beradi. Shamol tezligi va yo'nalishining uzoq muddatli bashorotlari texnik xizmat ko'rsatish rejalari optimallashtirilishida asosiy rol o'ynaydi. Bu nafaqat xarajatlarni kamaytirishga, balki kelgusida uskunalarning samaradorligiga sezilarli ta'sir ko'rsatishi mumkin bo'lgan joyning mahalliy iqlim sharoitlarini hisobga olishga imkon beradi [11, 12].

So'nggi o'n yilliklarda Yerdagi iqlim o'zgarishlari ko'plab tabiiy jarayonlarga, jumladan, shamol tartibi va ularning xususiyatlariga ham sezilarli ta'sir ko'rsatdi. Avvalgi yillarda o'tkazilgan hisob-kitoblarga asoslangan shamol energetik salohiyati ko'rsatkichlari, global isish tufayli yuz bergan iqlim o'zgarishlari sababli, hozirgi kunda sezilarli farq qilishi mumkin. Xususan, O'zbekistonda shamolning tezligi va yo'nalishlaridagi o'zgarishlar kuzatilmoqda, bu esa shamol energiyasidan samarali foydalanish imkoniyatlariga hamda prognozlarning aniqligiga ta'sir qilishi mumkin.

Tadqiqotlar shuni ko'rsatmoqdaki, iqlim sharoitlaridagi o'zgarishlar, masalan, haroratning ko'tarilishi va yog'ingarchilik rejimlarining o'zgarishi, shamol rejimlariga bevosita ta'sir ko'rsatadi. Masalan, tadqiqotlarda qayd etilishicha, global harorat rejimlarining o'zgarishi havo massalarining qayta taqsimlanishiga va o'z navbatida shamol tarqalishi qonuniyatini o'zgarishiga olib keladi [12, 13]. Bu jarayon turli hududlarda shamol oqimlarining mustahkamlanishi yoki susayishiga sabab bo'lishi mumkin, natijada shamol resurslarining energiya ishlab chiqarish uchun mavjudligi o'zgaradi.

Qator tadqiqotlar shuni ko'rsatmoqdaki, iqlim o'zgarishlari tufayli atmosferadagi havo aylanishi rejimlarining o'zgarishi kelajakda shamol energiyasi salohiyatiga sezilarli ta'sir ko'rsatishi mumkin [15], boshqa tadqiqotlarda esa kelajakdagi shamol stansiyalarini rejalashtirishda iqlim o'zgarishlarini hisobga olish muhimligi alohida ta'kidlanadi [16]. Shunday qilib, iqlim sharoitlarining o'zgarishi shamol resurslarining mavjudligiga va natijada shamoldan energiya ishlab chiqarish samaradorligiga bevosita ta'sir qilishi mumkin.

Shamol energetikasini rivojlantirish uchun katta salohiyatga ega bo'lgan O'zbekiston uchun bu omil ayniqsa muhimdir. Global iqlim modellarining dinamik kichraytirish va moslashtirish usuliga asoslangan tadqiqotlar natijalariga ko'ra, Markaziy Osiyoda shamolning o'rtacha tezligi va yo'nalishi mavsum va yilga qarab sezilarli darajada o'zgarishi mumkin. Bu esa shamol salohiyatini baholash usullarini qayta ko'rib chiqishni talab qiladi [17-20].

Shunday qilib, shamol salohiyatini baholashda zamonaviy iqlim o'zgarishlarini hisobga olish aniq prognozlari va O'zbekistonda shamol energetik resurslaridan samarali foydalanishni ta'minlash uchun zaruriy qadamdir. Ma'lumotlarning aktuallashtirilishi eng katta shamol energetik salohiyatiga ega hududlarni yuqori darajada aniqlashga imkon beradi, bu esa mamlakatda yashil energetikani strategik rejalashtirish va rivojlantirish uchun asosiy omildir.

2. O'zbekistonda shamol salohiyatini baholash bo'yicha mavjud ilmiy tadqiqotlar tahlili

O'zbekiston hududida shamol energetikasi salohiyatini o'rganish bo'yicha dastlabki muhim tadqiqotlar R.A. Zoxidov va uning jamoasi, jumladan, U.A. Tojiev, E.I. Kiseleva, M.U. Tojiev va boshqa olimlar tomonidan amalga oshirilgan. Ularning ishlari shamol energiyasini o'rganish va undan foydalanishning turli jihatlarini qamrab olgan. Quyida ularning tadqiqotlari bo'yicha qisqacha tahlil keltirilgan.

Tadqiqotlarda O'zbekiston hududida joylashgan 88 ta meteorologik stansiyadan olingan shamol tezligi ma'lumotlariga asoslanib, turli quvvatga ega gorizonta shamol qurilmalarining (10, 30, 60, 100, 250, 500 kW) yillik elektr energiyasi ishlab chiqarish ko'rsatkichlari hisoblab chiqilgan [21]. Bundan tashqari, Navoiy va Qoraqalpog'iston viloyatlarida joylashgan Tomdi va Jasliq meteorologik stansiyalari ma'lumotlaridan foydalangan holda, turli balandliklardagi shamol energetikasi potentsiali baholangan. Ushbu ma'lumotlar yer sathiga yaqin atmosferaning ta'sir xususiyatlariga asoslanib, turli quvvatdagi shamol qurilmalarining texnik-iqtisodiy xususiyatlarini aniqlash imkonini berdi [22].

Bundan tashqari, olimlar shamol energiyasi qurilmalarini integratsiya qilish orqali Andijon gidroelektrostansiyasi samaradorligini oshirish maqsadida 1983 yildan 1993 yilgacha bo'lgan davrda shamol tezligining yillik o'zgarishlarini miqdoriy tahlil qildilar, bunda xalqaro ma'lumotlar

bazalaridan olingan ma'lumotlardan foydalanildi [23]. Qoraqalpog'iston Respublikasi va boshqa O'zbekiston hududlarida shamol tezligining yillik o'zgaruvchanligi aerokosmik kuzatuvlar ma'lumotlariga asoslanib o'rganildi. Tadqiqot davomida shamol tezligining yillik o'zgarishi va o'zgarishlar intensivligi bo'yicha bir-biriga yaqin bo'lgan hududlar aniqlandi: Qoraqalpog'iston Respublikasi, Andijon, Namangan, Farg'ona va Toshkent viloyatlari, shuningdek, Buxoro, Samarqand, Navoiy, Xorazm, Jizzax, Qashqadaryo, Surxondaryo va Sirdaryo viloyatlari [24].

Akademik R.A. Zoxidov va uning jamoasi rahbarligida shamol oqimlarining kelib chiqishi, ularning xususiyatlari, mintaqaning geografik parametrlari hamda atmosferadagi sinoptik jarayonlarning shamol oqimlariga ta'sirini o'rganishga qaratilgan tadqiqotlar ham olib borildi. Buning uchun O'zbekistonning barcha hududlarini qamrab oluvchi xalqaro ma'lumotlar bazalaridan foydalanilgan holda, 10 dan 80 metrgacha bo'lgan balandliklarda shamolning o'rtacha tezligi va nisbiy quvvati tahlil qilindi [25].

Tadqiqot natijalariga ko'ra, Buxoro viloyati uchun turli balandliklarda (10 m, 40 m va 80 m) shamol tezligi va shamol oqimining quvvat zichligi aniqlangan. Shamolning o'rtacha yillik tezligi 10 metr balandlikda 3,15 m/s dan 3,57 m/s gacha o'zgarib, shamol quvvat zichligi 19 dan 28 W/m² gacha bo'lgan ko'rsatkichlarni tashkil etadi.

O'zbekiston hududida shamol energiyasi salohiyatini baholash va shamol energetikasi xaritasini yaratish maqsadida 2015-yilda nemis kompaniyalari "Intec-Copa" va "GEONET" hamda "O'zbekenergo" AJ bilan hamkorlikda tadqiqotlar o'tkazildi [26]. Tadqiqot doirasida 80 metr balandlikda shamol oqimlari xaritasi yaratish uchun 3D modellashtrish usullari ishlatildi. Ushbu xarita asosida shamol energetikasi parklarini rivojlantirish uchun eng istiqbolli hududlar, jumladan, Qoraqalpog'iston va Navoiy viloyati hududlari aniqlandi. Tanlangan hududlarda shamol tezligi va yo'nalishini ikki yil davomida yig'ib boradigan meteorologik ustunlar o'rnatildi. Ushbu ma'lumotlar keyingi tahlillar va shamol energetikasi qurilmalarini qurish bo'yicha texnik-iqtisodiy asos yaratish uchun asos bo'ldi. Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatdiki, O'zbekistonning ayrim hududlarida 80 metr balandlikda shamol tezligi 6 m/s dan oshadi, bu esa ushbu hududlarda shamol energiyasidan foydalanish uchun yuqori salohiyat mavjudligini ko'rsatadi.

O'z tadqiqotlarida [21-26] olimlar guruhi NASA Surface Meteorology and Solar Energy (1983 yildan 2005 yilgacha bo'lgan davr uchun shamol haqidagi ma'lumotlarni taqdim etadi) bazasidan olingan ma'lumotlardan foydalangan [27], shuningdek, ular shamol tezligining o'rtacha oylik ko'rsatkichlarini o'z ichiga olgan ma'lumotnomalardan (1983 yilgacha bo'lgan davrga tegishli) ham foydalanganlar. Ushbu ma'lumotlar turli balandliklarda shamol tezligidagi o'zgarishlarni batafsil tahlil qilish, uning o'rtacha yillik qiymatlarini baholash va shu asosda O'zbekistonning turli hududlarida shamol energiyasi quvvati zichligi va yillik energetik salohiyatini aniqlash imkonini berdi. Bunday yondashuv shamol tezligining vertikal profilini va shamol oqimining quvvatini aniqroq hisoblashga yordam berdi.

Ariyan Baxrami va uning hamkasblari O'zbekistonda shamol energiyasi salohiyatini baholash uchun shamol tezligining soatlik ma'lumotlaridan foydalandilar. Ushbu ma'lumotlar tipik meteorologik yil (TMY) davomida 10 metr balandlikda joylashgan 17 ta turli nuqtada yig'ilgan. Olingan ma'lumotlar keng tarqalgan ikki parametrlil Veybull taqsimoti funksiyasiga moslashtirildi. Shamol qurilmalarining texnik hayotiyiligi shamol quvvati zichligi, yillik energiya zichligi va quvvatdan foydalanish koeffitsienti asosida baholandi. Iqtisodiy baholashda elektr energiyasining keltirilgan qiymati (LCOE) hisoblab chiqildi. Tadqiqotda, shuningdek, 15 ta shamol turbina modeli o'rtasida solishtirma tahlil o'tkazildi. Tadqiqot natijalariga ko'ra, o'rtacha yillik shamol tezligi tahlil qilingan nuqtalarda 0,61 dan 3,98 m/s gacha, shamol quvvati zichligi esa 1,74 dan 88,55 W/m² gacha o'zgaradi. Yillik energiya zichligi 10 metr balandlikda 15,27 dan 775,72 kWh/m² gacha yetadi. Masalan, Buxoro meteorologik stansiyasi hududi uchun o'rtacha yillik shamol tezligi 3,67 m/s, shamol quvvati zichligi esa 74,82 W/m² ni tashkil etadi. Tadqiqot mualliflari Nukus, Qo'ng'iro't, Ak-Baytal va Buxoro tumanlaridagi nuqtalarni O'zbekistonda shamol energetikasini rivojlantirish uchun eng istiqbolli hududlar deb aniqladilar [28].

N.N. Sadullayeva, A.B. Safarova va ularning hamkasblari tomonidan 2019–2020-yillarda Buxoro viloyatidagi shamol salohiyati, 2018-yilda [29] (va 2019-yilda [30, 31]) 10 metr balandlikda yig'ilgan shamol tezligi va yo'nalishi haqidagi ma'lumotlardan foydalangan holda statistik tahlil qilindi. Shamol tezligi haqidagi ma'lumotlar 30 daqiqalik intervalda amalga oshiriluvchi Buxoro xalqaro aeroporti meteorologik stansiyasida olingan. Keyinchalik tadqiqotchilar ushbu ma'lumotlardan kunlik o'rtacha shamol tezligini hisoblash va keyingi tahlillar uchun foydalanishdi. Ular, xususan, shamolning o'rtacha tezligi, uning standart og'ish darajasi, shamol quvvati zichligi va shamol energiyasi zichligini aniqladilar. Ushbu ma'lumotlar tadqiqotchilarga yanada batafsil tahlil o'tkazish imkonini berdi. Mazkur ma'lumotlar yordamida ikki parametrlil Veybull taqsimoti funksiyasi qo'llanilib, o'rtacha yillik shamol tezligi, shamol quvvati zichligi va shamol energiyasi zichligi turli

balandliklarda baholandi. Tahlil natijalariga ko'ra, Buxoro viloyatida 10 metr balandlikda shamolning o'rtacha yillik tezligi 3,404 m/s, shamol quvvati zichligi esa 40,98 W/m² ga teng. Oylik shamol tezligi o'zgarishlari qayd etilgan bo'lib, eng yuqori ko'rsatkichlar iyun oyida kuzatilgan. Shamol energiyasi zichligi ko'rsatkichlari ham aniqlanib, 10 metr balandlikda iyun oyida eng yuqori qiymat 67,09 kWh/m² ga yetgani qayd etilgan. Shamol quvvati zichligining hisoblangan qiymati 100 m balandlikda 164,79 W/m², shamol energiyasi zichligi esa 1443,59 kWh/m² ni tashkil etgan [29-31].

Rahimov E.Yu. tadqiqotlarida 2023-yilda Buxoro viloyatidagi (Oyog'itma) va Jizzax viloyatidagi (Yangiqishloq) yer usti meteorologik stansiyalaridan olingan, 10 metr balandlikda o'Ichangan shamol tezligi va yo'nalishi bo'yicha ma'lumotlarni yil va mavsumlar kesimida tahlil qildi [32]. Tadqiqotda 2005 yildan 2022 yilgacha bo'lgan davr ma'lumotlaridan foydalanilgan hamda 10 metr balandlikda shamolning o'rtacha yillik tezligi, shamol quvvati zichligi va shamol energiyasi zichligini baholash imkoniyatini beruvchi ikki parametrlil Veybull taqsimoti funksiyasi qo'llanildi.

Shamol tezligi ehtimollik taqsimoti funksiyasi shamol energetikasi tizimlarining samaradorligini baholashda asosiy rol o'ynaydi. Ushbu tizimlarning energetik xususiyatlari katta darajada, taqsimot funksiyasining ma'lum bir hududdagi shamol tezligi o'zgarishlariga qanchalik aniqlik bilan mos kelishiga bog'liq. Shamol tezligi taqsimotini aniq bilish shamol energetikasidan foydalanishning texnik va iqtisodiy maqsadga muvofiqligini har tomonlama tahlil qilish imkonini beradi, bu esa shamol energetikasi loyihalarini rivojlantirish bo'yicha asosli qarorlar qabul qilish uchun muhim asos hisoblanadi [33-35].

Hozirgi vaqtda ikki parametrlil Veybull taqsimoti funksiyasi shamol tezligining taqsimotini tavsiflash uchun keng qo'llaniladigan va tan olingan usul hisoblanadi. Ushbu funksiyadan foydalanish shamol xususiyatlarini modellashtirishda yuqori aniqlikka erishish imkonini beradi. Shamol tezligiga oid empirik ma'lumotlar asosida Veybull taqsimoti parametrlarini aniqlash orqali mintaqaning shamol energetikasi salohiyatini baholash, shu jumladan, shamol quvvat zichligi va energiya zichligini hisoblash mumkin. Bu esa mintaqada shamol energiyasi ishlab chiqarish salohiyatini va shamol energetikasi qurilmalarining iqtisodiy samaradorligini aniqlash imkonini beradi [25, 26-29, 33].

Shamolning yanvar va iyul oylaridagi o'rtacha va maksimal tezligi hamda shamol yo'nalishlarining takrorlanishi haqidagi ma'lumotlarni taqdim qiluvchi NPG 2.01.01-22 "Loyihalash uchun iqlim va fizik-geologik ma'lumotlar" ma'lumotlariga asoslanib to'g'ridan-to'g'ri shamol energiyasi salohiyatini baholash imkonsiz. Ushbu ma'lumotlar energiya samaradorligini emas, balki asosan qurilish va loyihalash maqsadlarini ko'zda tutadi [37].

Oldingi NASA Surface Meteorology and Solar Energy ma'lumotlari (1983-2005 yillar) va tipik meteorologik yillar (TMY) ma'lumotlariga asoslangan shamol energetikasi salohiyatini baholash tadqiqotlarida cheklovlar mavjud. NASA ma'lumotlarining asosiy kamchiligi ularning yangilanmaganligi bo'lib, bu zamonaviy iqlim o'zgarishlarini hisobga olmaydi. Natijada, shamol salohiyatining aniq baholashning pasayishi va prognozlar hamda boshqaruv qarorlarining aniqligi susayishi mumkin [38]. TMY ma'lumotlari shamol sharoitlaridagi tabiiy tebranishlarni silliqashtirib, ekstremal ob-havo hodisalarini hisobga olmaydi, bu esa shamol qurilmalarining ishonchligini pasaytirishi mumkin [39, 40]. Ba'zi tadqiqotlarda har 30 minutda to'plangan ma'lumotlar kunlik o'rtacha qiymatlarga keltirilgan, bu esa shamol tezligining qisqa muddatli o'zgarishlarini silliqashtirib, shamol resurslarini baholashda aniqlikni pasaytirishi mumkin.

Shunday qilib, NASA va TMY ma'lumotlari uzoq muddatli iqlimiy baholashlar uchun ko'proq mos keladi, biroq ular qisqa muddatli prognozlar va batafsil tahlillar uchun kamroq aniqlik beradi, chunki ular ekstremal ob-havo sharoitlari va zamonaviy iqlim o'zgarishlarini hisobga olmaydi. Bu esa shamol energetikasi qurilmalarini loyihalashda shamol salohiyatini baholashda kamroq aniq natijalarga olib kelishi mumkin [40].

Ushbu tadqiqotda 2000 yildan 2022 yilgacha bo'lgan davrda O'zbekistonning 77 ta meteorologik stansiyasida har 3 soatda to'plangan ma'lumotlar tahlil qilindi. Bunday yondashuv zamonaviy iqlim o'zgarishlari va mahalliy xususiyatlarni hisobga olgan holda, qisqa muddatli prognozlar va joriy shamol salohiyatini baholashda aniqroq ma'lumotlarni ta'minlaydi. Shamol tezligining o'rtacha qiymatlari, shamol yo'nalishi va shamol energetikasi salohiyati baholandi. Veybull taqsimoti funksiyasi shamol tezligi, quvvat zichligi va energiyasini 10 metr balandlikda baholash uchun ishlatildi. Bundan tashqari, shamol energetikasi loyihalarini rejalashtirishda qo'llanilishi mumkin bo'lgan O'zbekiston bo'ylab o'rtacha shamol tezligi va quvvatining taqsimot xaritalari tuzildi.

Shunday qilib, ushbu tadqiqot zamonaviy iqlim o'zgarishlarini hisobga olgan holda O'zbekistonda shamol energetikasini rejalashtirish va rivojlantirish uchun shamol salohiyatini aniqroq baholash imkonini beradi. Bu esa mamlakatda "yashil" energetikani rivojlantirish va energetik xavfsizlikni oshirishga hissa qo'shadi.

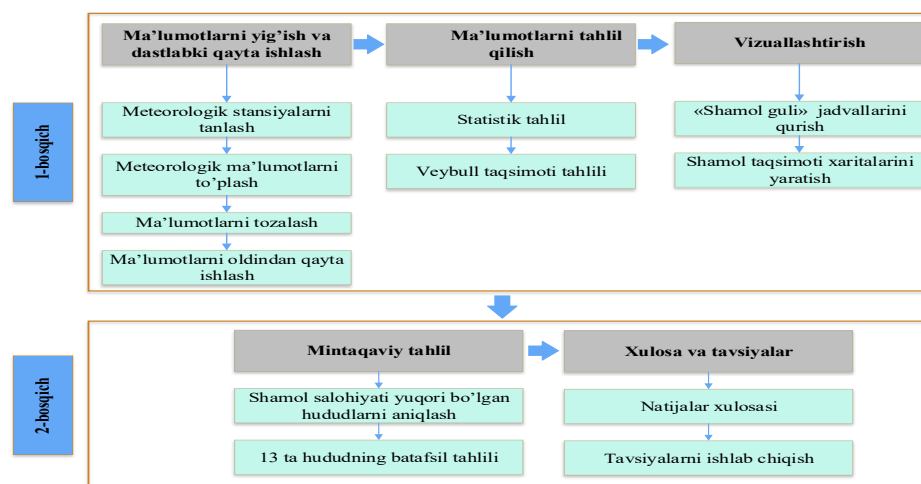
3. Uslub va ma'lumotlar (Methods and materials)

Ushbu tadqiqotda O'zbekiston Respublikasining turli hududlaridagi shamol salohiyatini baholash uchun ko'p bosqichli ish tartibi qo'llanildi, bunda meteorologik ma'lumotlarni yig'ish va tahlil qilish, statistik qayta ishlash, vizuallashtirish va mintaqaviy tahlil ishlari amalga oshirildi. Mazkur tadqiqotda qo'llanilgan ish tartibi ikki bosqichda bayon etilgan (2-rasm).

3.1.-bosqich: Ma'lumotlarni yig'ish va ularni qayta ishlash

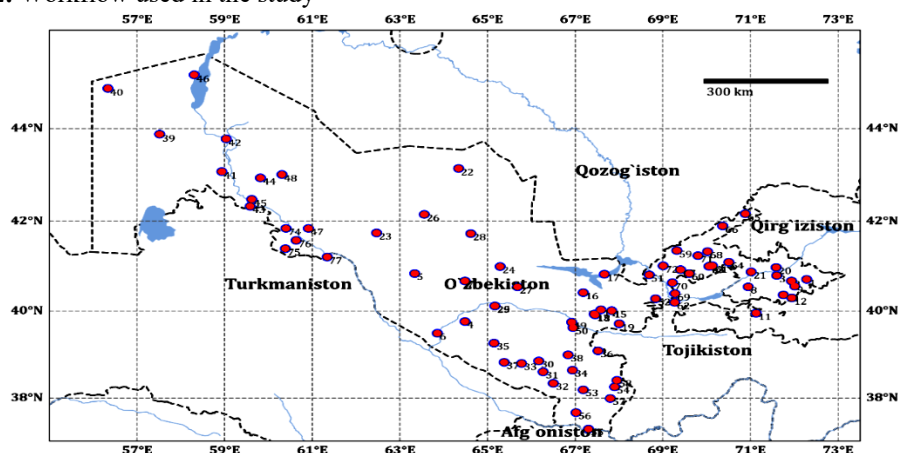
3.1.1. Ma'lumotlarni yig'ish va dastlabki qayta ishlash

Tadqiqotda 2000 yildan 2022 yilgacha bo'lgan davr uchun, 77 ta yer usti meteorologik stansiyasida 10 metr balandlikda har 3 soatda o'lchangan, O'zbekiston Respublikasi Ekologiya, atrof-muhitni muhofaza qilish va iqlim o'zgarishi vazirligi qoshidagi Gidrometeorologiya xizmati agentligi arxivida saqlanuvchi shamol tezliklari qiymatlari ishlatildi. Ushbu meteorologik stansiyalarning joylashuvi 3- rasmda, shuningdek nomlari, kenglik, uzunlik va balandlik kabi fizik ma'lumotlari mualliflarining [41, 42] ishlarida batafsil keltirilgan.



2-rasm. Tadqiqotda qo'llanilgan ish tartibi

Fig. 2. Workflow used in the study



3-rasm. O'zbekiston hududidagi yer usti meteorologik stansiyalarning joylashuv xaritasi

Fig. 3. Map of the locations of ground meteorological stations in Uzbekistan

Boshlang'ich ma'lumotlar tahlilining aniqligini ta'minlash uchun chetlashishlar va bo'sh ma'lumotlardan tozalanib, o'rtacha shamol tezligi qiymatlarini oy va yil bo'yicha hisoblashga tayyorlandi.

3.1.2. Ma'lumotlarni tahlil qilish

To'plangan ma'lumotlar asosida 10 metr balandlikdagi shamol tezligining o'rtacha oylik va o'rtacha yillik qiymatlari uchun hisoblab chiqildi. Shuningdek, turli hududlarda shamolning ustuvor yo'nalishlarini aniqlash uchun shamol yo'nalishlari tahlil qilindi.



Statistik tahlil shamol salohiyatini aniqroq baholash uchun zarurdir, chunki shamol tezligining o'rtacha qiymatlari tanlangan joydagi shamol salohiyatini to'liq baholash uchun yetarli emas [43].

Tadqiqot hududidagi ustuvor shamol tezligining vaqt bo'yicha ulushi ehtimollik zichligi orqali tavsiflanadi.

Shamol tezligini baholash uchun ushbu tadqiqotda ikki parametrlı Veybull taqsimoti funksiyasi qo'llanilib, bu yordamida 10 metr balandlikda shamolning o'rtacha yillik tezligi, quvvat zichligi va energiya zichligi quyidagi tarzda baholandi [28-32, 36, 44]:

$$f_W(v) = \frac{k}{c} \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} \cdot \exp\left(-\left(\frac{v}{c}\right)^k\right); \quad (1)$$

bu yerda $f_W(v)$ — shamol tezligining ehtimollik taqsimoti funksiyasi, v — shamol tezligi, k — shakl parametri (o'lchamsiz), c — shamolning o'rtacha tezligini aniqlovchi masshtab parametri (m/s). Ushbu parametrlar orasidagi bog'liqlik quyidagicha ifodalanadi:

$$\begin{aligned} k &= \left(\frac{\sigma}{\bar{v}}\right)^{-1.086}, \\ c &= \frac{\bar{v}}{\Gamma(1+1/k)}, \\ \bar{v} &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_i, \end{aligned} \quad (2)$$

$$\sigma = \left[\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (v_i - \bar{v})^2 \right]^{0.5};$$

bu yerda $\bar{v}$ — shamolning o'rtacha tezligi, σ — shamol tezligining standart og'ishi.

Veybull taqsimoti parametri shamolning o'rtacha tezligiga yaqin bo'ladi, bu esa Veybull taqsimotini ma'lumotlarni tahlil qilish uchun qulay qiladi [28-32, 36, 44, 45].

Shamol energiyasining yuza birligiga (W/m^2) nisbatan quvvati – quvvat zichligini quyidagi formula orqali hisoblash mumkin [28-32, 36, 44, 45]:

$$\frac{P}{A} = \frac{1}{2} \rho v^3; \quad (3)$$

bu yerda ρ — havo zichligi, A esa shamol tezligining yo'nalishiga perpendikulyar yuzani ifodalaydi.

Shamol energiyasining quvvat zichligini Veybull ehtimollik funksiyasi asosida quyidagicha ifodalash mumkin [28-32, 36, 44-46]:

$$\frac{P}{A} = \frac{1}{2} \rho \int_0^\infty v^3 f(v) dv = \frac{1}{2} \rho c^3 \Gamma\left(1 + \frac{3}{k}\right). \quad (4)$$

3.1.3. Vizuallashtirish

Mavjud shamol tezligi ma'lumotlaridan foydalanib, har bir tanlangan hudud uchun qurb diagrammalari shaklida shamol guli yaratildi. Bu holatda shamol yo'nalishi 16 sektorga bo'lingan bo'lib, har biri $22,5^\circ$ ga teng. Shuningdek, O'zbekistonning turli hududlari uchun yillik o'rtacha shamol tezligi va yillik o'rtacha shamol quvvati taqsimoti xaritalari tuzildi. Shamol guli diagrammalari shamol tezligining yo'nalishlar bo'yicha taqsimotini ko'rsatadi va eng ko'p takrorlanadigan yo'nalishni aniqlashga yordam beradi. Xaritalarni tuzishda Python dasturlash tilining Cartopy kutubxonasidan foydalanildi.

3.2-bosqich: Mintaqaviy tahlil va tavsiyalar

3.2.1. Mintaqaviy tahlil

Shamolning o'rtacha tezligi va shamol quvvati zichligi eng yuqori bo'lgan hududlar aniqlanib, shamol energiyasi salohiyati yuqori bo'lgan 13 ta hududning batafsil tahlil qilindi.

3.2.2. Xulosa va tavsiyalar

Tadqiqotning asosiy natijalari umumlashtirildi va xulosa shaklida taqdim etildi. Olingan ma'lumotlar asosida O'zbekistonda shamol energetikasini rivojlantirish bo'yicha tavsiyalar taklif etildi. Ushbu ko'p bosqichli usul O'zbekistonning shamol salohiyati haqida to'liq tasavvurga ega bo'lish va mamlakatning turli hududlarida shamol energiyasidan maqbul foydalanish bo'yicha asosli tavsiyalar berish imkonini berdi.

4. Natijalar (Results)

4.1. O'rtacha shamol tezligi taqsimoti

O'zbekiston Respublikasining turli hududlaridagi 77 ta yer usti meteorologik stansiyalardan olingan o'rtacha oylik va yillik shamol tezliklari qiymatlarini o'rganish, mamlakat hududi bo'ylab shamol salohiyatining sezilarli farq qilishini ko'rsatdi.

Yuqori shamol salohiyati quyidagi hududlarda kuzatilgan. Qashqadaryo viloyatining Dehqonobod meteorologik stansiyasi fevral, may va iyun oylarida yuqori o'rtacha oylik shamol tezligini (4,0 m/s)

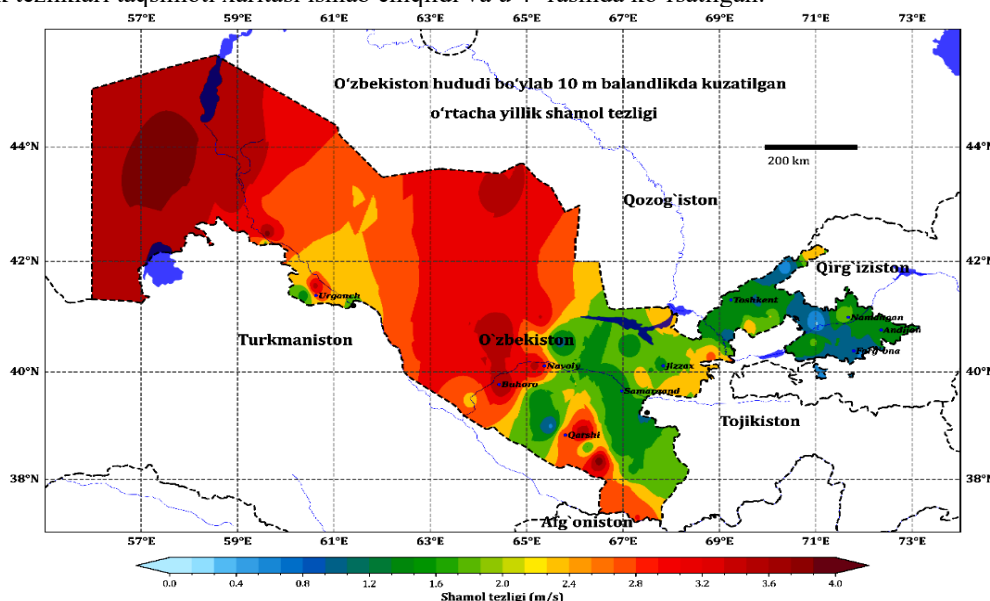
ko'rsatdi, bu esa yillik o'rtacha shamol tezligining 3,75 m/s ga yetishiga olib keldi. Jasliqda (Qoraqalpog'iston Respublikasi) eng yuqori o'rtacha oylik shamol tezligi mart (4,9 m/s), aprel (4,7 m/s), fevral va may oylarida (4,5 m/s) kuzatildi, yillik o'rtacha tezlik esa 3,9 m/s ni tashkil etdi. Shuningdek, Nukusda (Qoraqalpog'iston Respublikasi) ham yuqori shamol tezliklari asosan mart (4,4 m/s) va aprel oylarida (4,3 m/s) qayd etilib, yillik o'rtacha shamol tezligi 3,8 m/s ga teng bo'ldi.

Buxoroda (Buxoro viloyati) o'rtacha shamol salohiyati kuzatilib, oylik o'rtacha shamol tezligi 2,6 m/s dan 4,4 m/s gacha o'zgaradi, yillik o'rtacha tezlik esa 3,54 m/s ni tashkil qiladi. Navoiyda (Navoiy viloyati) fevral (3,8 m/s), mart (4,1 m/s) va aprel oylarida (3,8 m/s) yuqori tezliklar qayd etilgan. Yillik o'rtacha tezlik bu yerda 3,3 m/s ga teng. Termizda (Surxondaryo viloyati) esa oylik o'rtacha shamol tezligi 2,3 m/s dan 3,6 m/s gacha o'zgarib, yillik o'rtacha tezlik 2,8 m/s ni tashkil qiladi.

Farg'ona viloyati Sarikanda meteostansiyasida eng past shamol salohiyati kuzatilib, oylik o'rtacha shamol tezligi 0,5 m/s dan 0,7 m/s gacha o'zgarib, yillik o'rtacha tezlik 0,6 m/s ni tashkil etdi. Yubileyiy meteostansiyasida oylik o'rtacha shamol tezligi 0,8 m/s dan 1,4 m/s gacha bo'lib, yillik o'rtacha tezlik 1,0 m/s ga teng. Pop tumani ham past shamol salohiyatini ko'rsatdi, bu yerda oylik o'rtacha tezlik 0,2 m/s dan 0,6 m/s gacha bo'lib, yillik o'rtacha tezlik 0,4 m/s ni tashkil qildi.

Shamol tezligining vaqt bo'yicha o'zgarishlari shuni ko'rsatdiki, aksariyat hududlarda shamol tezligi bahorda (mart-aprel) sezilarli darajada oshadi va yozda pasayadi. Shamolning maksimal tezliklari odatda qish va bahor oylarida qayd etiladi. Hududiy farqlar ham kuzatildi: markaziy va g'arbiy hududlar (masalan, Buxoro va Navoiy) o'rtacha oylik va yillik shamol tezligi bo'yicha sharqiy va janubiy hududlarga nisbatan yuqoriroq ko'rsatkichlarga ega. Shimoliy hududlar, jumladan, Qoraqalpog'iston, butun yil davomida yuqori shamol salohiyatini namoyon etadi.

Olingan natijalar tahlili asosida O'zbekiston hududida 10 metr balandlikda shamolning o'rtacha yillik tezliklari taqsimoti xaritasi ishlab chiqildi va u 4- rasmda ko'rsatilgan.



4-rasm. O'zbekiston hududida 10 metr balandlikda kuzatilgan o'rtacha yillik shamol tezligining taqsimoti xaritasi

Fig. 4. Map of the distribution of average annual wind speed at a height of 10 meters in the territory of Uzbekistan

Eng yuqori o'rtacha shamol tezligi (3 m/s va undan yuqori) mamlakatning g'arbiy va shimoli-g'arbiy hududlarida, xususan, Qoraqalpog'iston Respublikasining Jasliq (3,9 m/s) va Nukus (3,8 m/s) hududlarida kuzatiladi. Markaziy hududlar, jumladan, Navoiy (3,3 m/s) va Buxoro (3,5 m/s) ham yuqori ko'rsatkichlarni namoyish etadi.

Sharqiy hududlarda, jumladan, Toshkent viloyati va Farg'ona vodiysida o'rtacha shamol tezligi 1,0 dan 2,5 m/s gacha o'zgaradi, masalan, Toshkentda (2,5 m/s) va Farg'onada (1,68 m/s). Eng past qiymatlar Namangan viloyatining Pop (0,4 m/s) tumanida va Sarikanda shaxrida (0,6 m/s) qayd etilgan.

Ushbu ma'lumotlar O'zbekistonning turli hududlarida shamol salohiyati sezilarli farq qilishini tasdiqlaydi, bu shamol energetikasi loyihalarini rejalashtirishda e'tiborga olish uchun muhimdir.



4.2. Veybull taqsimoti va quvvat zichligi

Ma'lumotlar hajmining kengligini inobatga olgan holda, har bir hudud uchun yuqori salohiyatga ega bir istiqbolli joy tanlandi va ushbu hududlarda olib borilgan tadqiqot natijalari keltirildi. Veybull taqsimoti funksiyasining 13 ta hudud bo'yicha aniqlangan parametrlari 1-jadvalda keltirilgan.

1-jadvaldan ko'rinib turibdiki, Veybull taqsimot funksiyasi parametrlarining qiymatlari mintaqaga qarab sezilarli darajada farq qiladi, bu esa O'zbekiston hududi bo'ylab shamol potensialidagi tafovutlarni ko'rsatadi. Shamol tezligining o'rtacha qiymati atrofida jamlanishini ifodalovchi shakl parametri k 0,74 dan (Toshkent viloyatida (Bekobod)) 1,97 gacha (Buxoro va Qashqadaryo viloyatlarida (Ayako'gitma va Dehqonobod)) o'zgaradi. Bu Toshkent viloyatida shamol tezligining nisbatan barqarorroq sharoitlar mavjud bo'lgan Buxoro va Qashqadaryo viloyatlariga nisbatan ko'proq o'zgaruvchanligini ko'rsatadi.

Shamolning o'rtacha tezligini aniqlovchi o'lchov parametri c ham Qashqadaryo viloyatida 1,65 m/s dan (Dehqonobod) 4,47 m/s gacha o'zgaradi. O'lchov parametrining eng katta qiymatlari shamol potentsiali yuqori bo'lgan hududlarda, masalan, Qoraqalpog'iston Respublikasi (Jasliq) va Navoiy viloyatida kuzatiladi.

Shamol quvvat zichligi P/A (W/m^2) ham mintaqalar orasida sezilarli darajada farq qiladi, bu shamol energiyasining mavjud hajmidagi katta tafovutlarni aks ettiradi. Masalan, eng katta quvvat zichligi ($202,01 W/m^2$) Jasliqda (Qoraqalpog'iston Respublikasi) kuzatilib, bu hududni shamol energetikasini rivojlantirish uchun eng istiqbolli mintaqalardan biriga aylantiradi. Shu bilan birga, eng kichik quvvat zichligi ($6,35 W/m^2$) Samarqand viloyatida qayd etilgan bo'lib, bu mintaqaning pastroq shamol potensialiga ega ekanligini ko'rsatadi.

1-jadval. Hududlar kesimida Veybull taqsimoti funksiyasi parametrlari

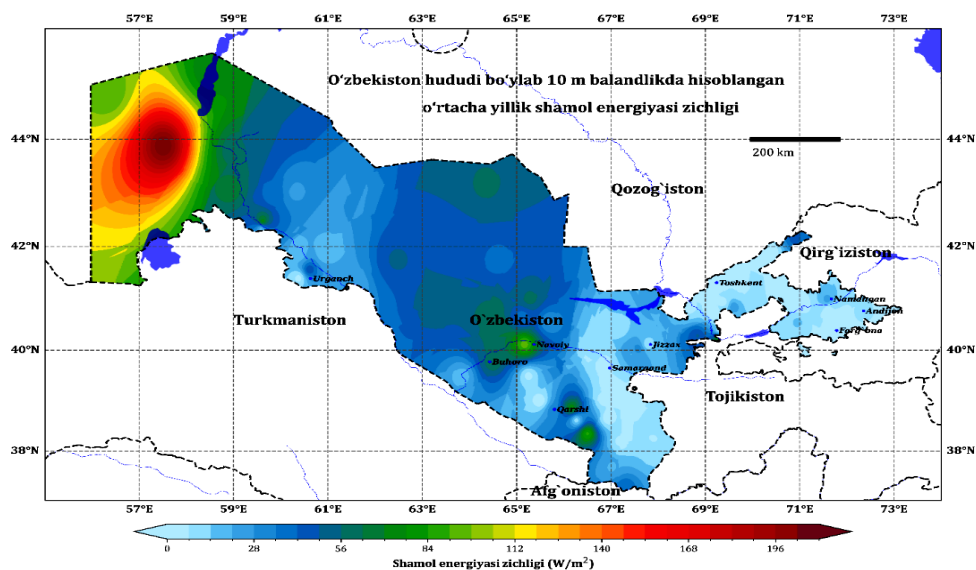
Tab. 1. Parameters of the Weibull distribution function by region

№	Meteorologik stansiyalarning joylashuvi va nomi	k	c (m/s)	Veybull parametrlari P/A (W/m^2)
1	Andijon viloyati, Andijon	1,69	2,15	10,00
2	Buxoro viloyati, Oyog'itma	1,97	4,20	61,13
3	Farg'ona viloyati, Qo'qon	1,16	1,90	15,49
4	Jizzax viloyati, Lalmikor	1,35	2,83	34,77
5	Namangan viloyati, Namangan	1,48	2,69	24,32
6	Navoiy viloyati, Navoiy	1,26	3,76	94,50
7	Qashqadaryo viloyati, Dehqonobod	1,97	4,47	85,33
8	Qoraqalpog'iston Respublikasi, Jasliq	1,08	4,17	202,01
9	Samarqand viloyati, Samarqand	1,85	1,93	6,35
10	Sirdaryo viloyati, Yangiyer	1,16	2,81	39,35
11	Surxondaryo viloyati, Termiz	1,55	3,29	41,60
12	Toshkent viloyati, Bekobod	0,74	1,65	71,702
13	Xorazm viloyati, Urganch	1,93	3,82	47,04

Veybull taqsimoti parametrlari asosida (4-rasm), o'rtacha yuqori shamol tezligiga ega hududlar sifatida quyidagi hududlarni ajratish mumkin: Qoraqalpog'iston Respublikasi, Qashqadaryo, Navoiy, Buxoro viloyatlari hamda Xorazm viloyatining Urganch tumani. Qashqadaryo va Buxoro viloyatlari yuqori o'rtacha shamol tezligi va shamol tezligining o'rtacha qiymat atrofida yaxshi jamlanishi bilan ajralib turadi. Olingan ma'lumotlarga ko'ra, yuqori shamol potentsialiga ega hududlar quyidagilar: Qoraqalpog'iston Respublikasining Jasliq tumani – $202,1 W/m^2$, Navoiy viloyatining Navoiy shahri – $94,50 W/m^2$, Qashqadaryo viloyatining Dehqonobod tumani – $85,33 W/m^2$.

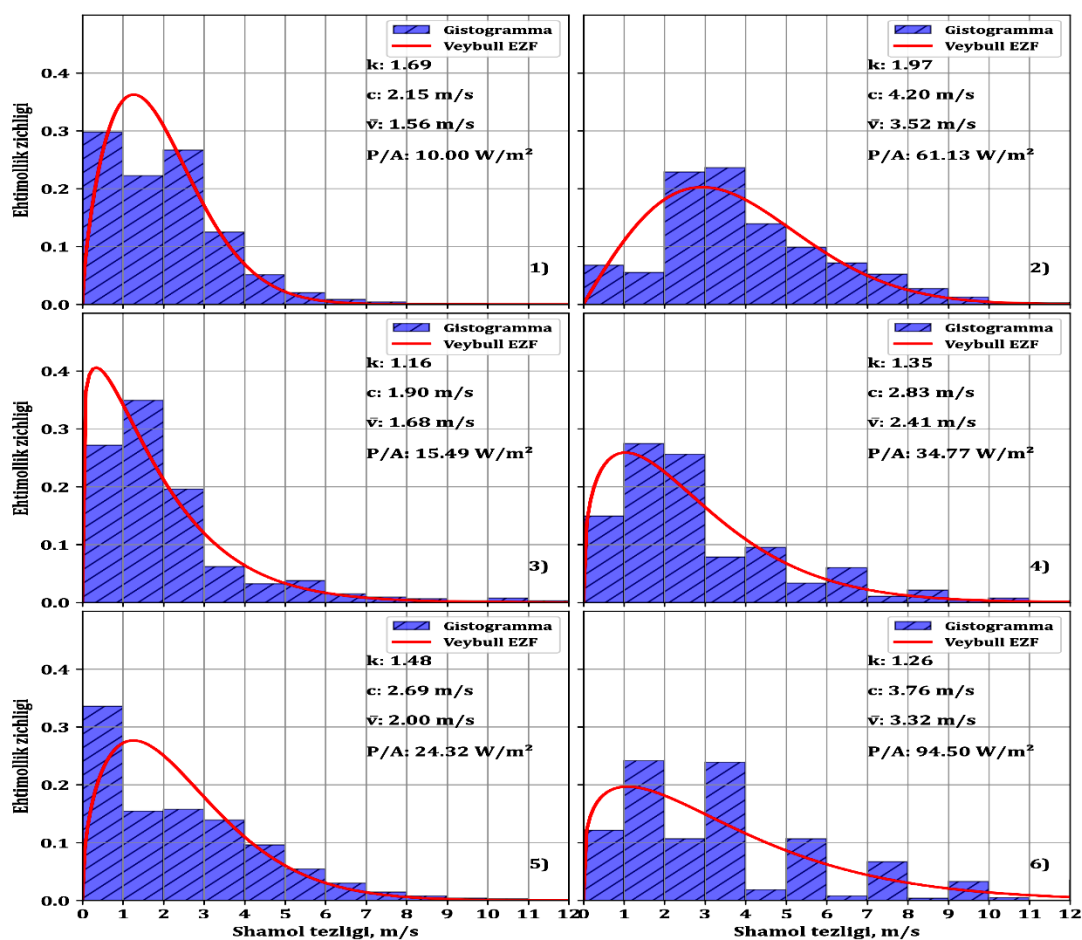
Umumlashtirilgan holda, shamolning yalpi potentsialini aniqlash uchun (77 ta yer usti meteorologiya stansiyasidan olingan ma'lumotlar asosida) O'zbekiston hududida 10 m balandlikda hisoblangan o'rtacha yillik shamol quvvat zichligini ko'rsatuvchi xarita 5-rasmda keltirilgan.

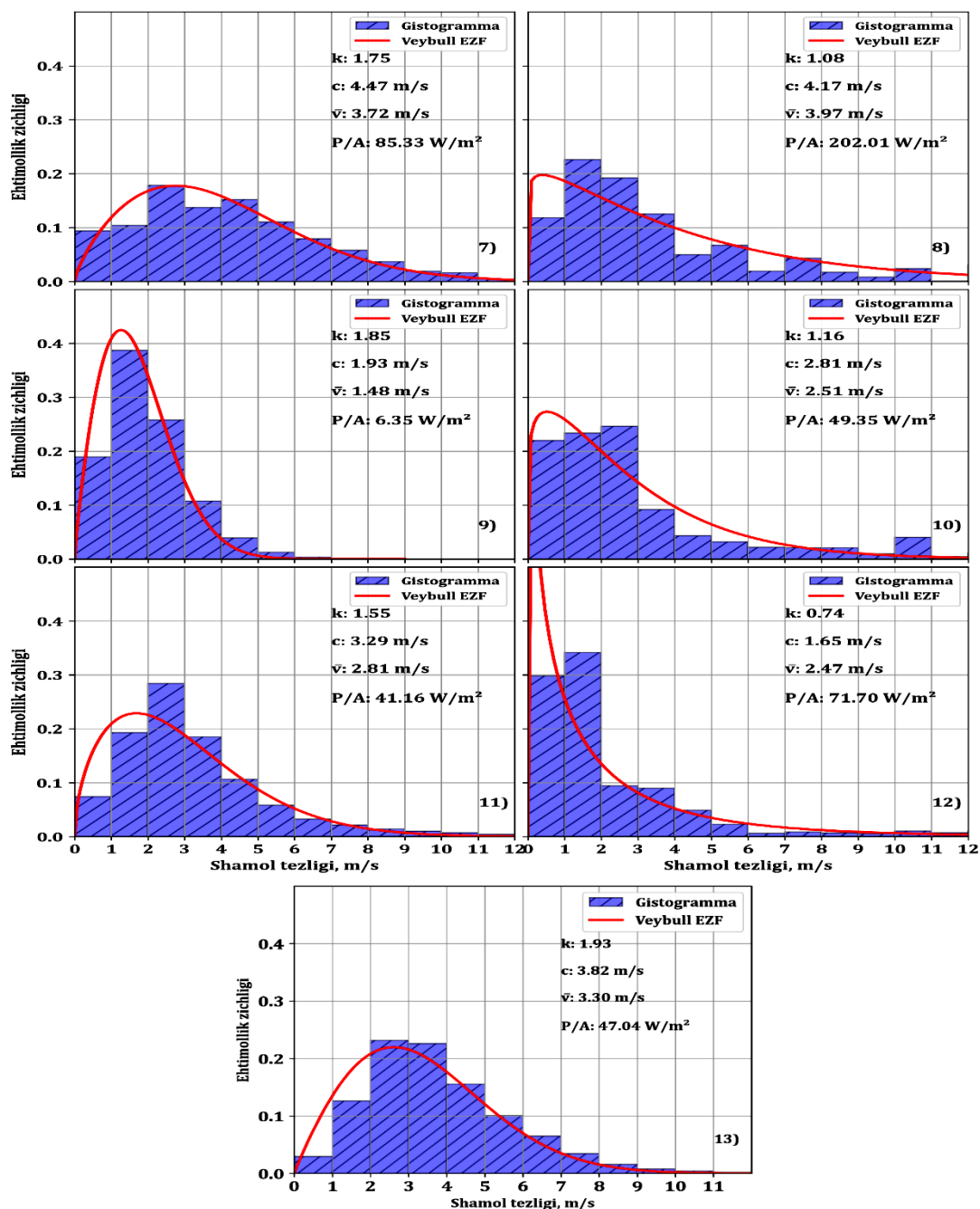
Shuningdek, 6-rasmda tanlangan hududlar uchun shamol tezligining Veybull taqsimot grafiklari keltirilgan.



5-rasm. O'zbekiston hududida 10 metr balandlikda hisoblangan o'rtacha yillik shamol quvvat zichligi taqsimoti xaritasi

Fig. 5. Map of the distribution of the average annual wind power density calculated at a height of 10 meters on the territory of Uzbekistan





6-rasm. Tanlangan hududlar uchun shamol tezligining Veybull taqsimoti grafiklari: 1) Andijon viloyati, 2) Buxoro viloyati, 3) Farg'ona viloyati, 4) Jizzax viloyati, 5) Namangan viloyati, 6) Navoi viloyati, 7) Qashqadaryo viloyati, 8) Qoraqalpog'iston Respublikasi, 9) Samarqand viloyati, 10) Sirdaryo viloyati, 11) Surxondaryo viloyati, 12) Toshkent viloyati 13) Xorazm viloyati

Fig. 6. Weibull distribution graphs of wind speed for selected regions: 1) Andijan region, 2) Bukhara region, 3) Fergana region, 4) Jizzakh region, 5) Namangan region, 6) Navoi region, 7) Kashkadarya region, 8) Republic of Karakalpakstan, 9) Samarkand region, 10) Syrdarya region, 11) Surkhandarya region, 12) Tashkent region, and 13) Khorezm region

4.3. Shamol yo'nalishi

Shamol tezligi yo'nalishini aniqlash shamol energiyasidan optimal foydalanish uchun muhim jihatga ega. Shamol guli (roza vetrov) shamol tezligi va yo'nalishining muayyan hududda qanday taqsimlanganini aks ettiradi.

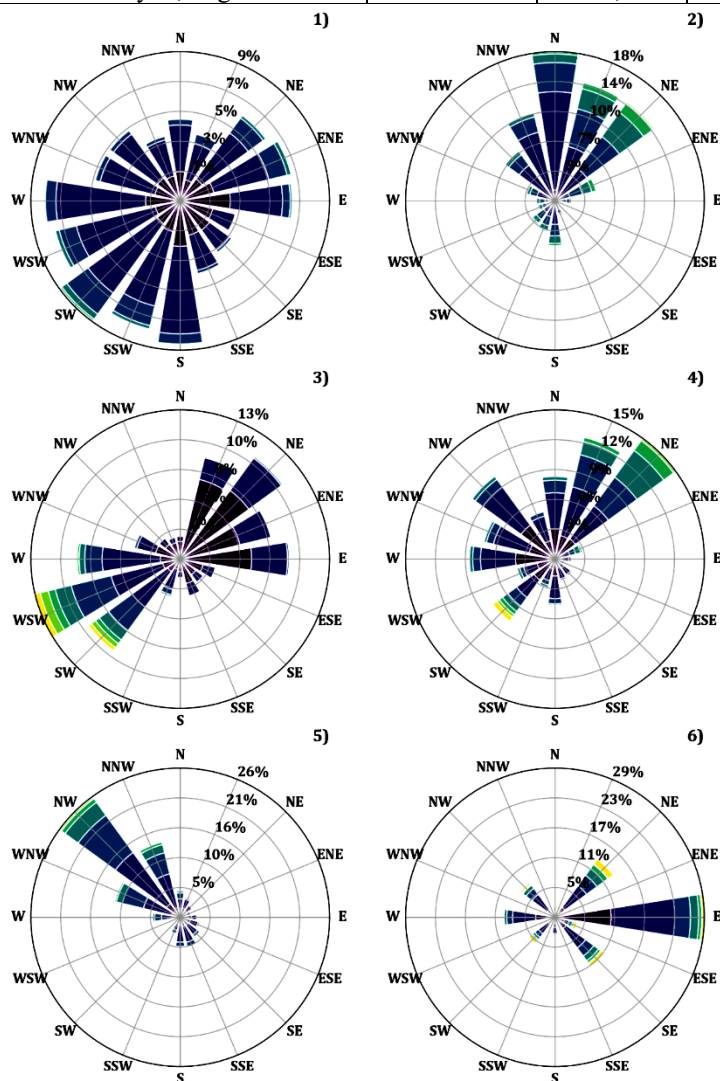
Shamol guli (roza vetrov) ma'lum bir joyga o'rnatiladigan shamol generatori turini tanlash hamda uni shamol oqimiga nisbatan yo'naltirish uchun muhim ahamiyatga ega [47].

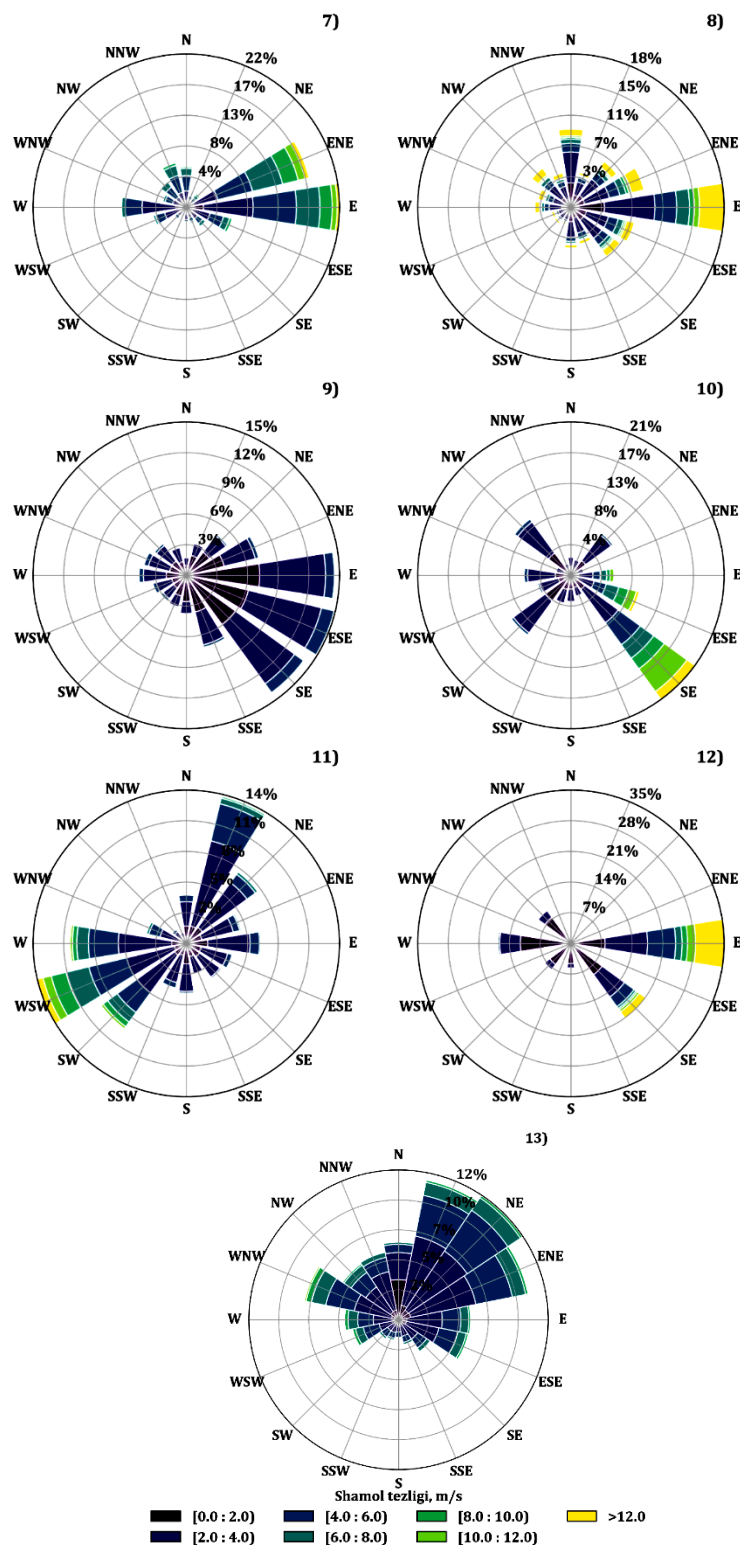
Tahlilni osonlashtirish uchun mintaqalardagi ustuvor shamol yo'nalishlarini foiz nisbatda aks ettiruvchi jadval tuzilgan (2-jadval). Tanlangan 13 hudud uchun ma'lumotlarga asoslangan shamol yo'nalishlari diagrammalari 7-rasmda keltirilgan. Diagrammaning balandligi va soyasi turli yo'nalishlarda shamol tezligining chastotasini aks ettiradi.

2-jadval. Hududlar bo'yicha ustuvor shamol yo'nalishlari

Tab.2. Priority wind directions by region

№	Viloyat	Burchak (°)	Sektor	Chastota (%)
1.	Andijon viloyati, Andijon	315	SW	8,6
2.	Buxoro viloyati, Oyog'itma	0	N	18
3.	Farg'ona viloyati, Qo'qon	235	WSW	13
4.	Jizzax viloyati, Lalmikor	45	NE	15
5.	Namangan viloyati, Namangan	315	NW	26
6.	Navoiy viloyati, Navoiy	90	E	29
7.	Qashqadaryo viloyati, Dehqonobod	90	E	22
8.	Qoraqalpog'iston Respublikasi, Jasliq	90	E	18
9.	Samarqand viloyati, Samarqand	135	SE	15
10.	Sirdaryo viloyati, Yangiyer	135	SE	21
11.	Surxondaryo viloyati, Termiz	22,5; 157,5	NNE, WSW	14
12.	Toshkent viloyati, Bekobod	90	E	35
13.	Xorazm viloyati, Urganch	45	NNE, NE	12,6





7-rasm. Quydagi hududlar uchun shamol gullari: 1) Andijon viloyati, 2) Buxoro viloyati, 3) Farg'ona viloyati, 4) Jizzax viloyati, 5) Namangan viloyati, 6) Navoiy viloyati, 7) Qashqadaryo viloyati, 8) Qoraqalpog'iston Respublikasi, 9) Samarqand viloyati, 10) Sirdaryo viloyati, 11) Surxondaryo viloyati, 12) Toshkent viloyati va 13) Xorazm viloyati

Fig. 7. Wind roses for the selected regions: 1) Andijan region, 2) Bukhara region, 3) Fergana region, 4) Jizzakh region, 5) Namangan region, 6) Navoi region, 7) Kashkadarya region, 8) Republic of Karakalpakstan, 9) Samarkand region, 10) Syrdarya region, 11) Surkhandarya region, 12) Tashkent region, and 13) Khorezm region

Grafiklardan keltirilgan ko'rinib turibdiki (6-rasm), O'zbekistonning aksariyat hududlarida aniq



ifodalangan ustuvor shamol yo'nalishlari mavjud bo'lib, bu ushbu hududlarning shamol energetik potensialiga sezilarli ta'sir ko'rsatadi. Ko'plab hududlarda yuqori takrorlanish foiziga ega bir yoki ikki asosiy shamol yo'nalishi ustunlik qiladi.

Batafsil qaralganda, Andijon viloyatida shamol asosan g'arbdan (W) va g'arbiy-shimoliy-g'arbdan (WNW) esib, taxminan 9% ni tashkil etadi. Buxoro viloyatida shimoliy (N) va shimoliy-sharqiy (NE) shamollar ustunlik qiladi, ularning chastotasi mos ravishda 18% va 14% ni tashkil etib, shimoliy havo oqimlarining ustuvorligini ko'rsatadi. Farg'ona viloyatida asosiy yo'nalish shimoliy-sharq (NE) bo'lib, chastotasi 13% ni tashkil etadi; shuningdek, g'arbdan (W) va g'arbiy-shimoliy-g'arbdan (WNW) shamollar ham kuzatiladi. Jizzax viloyatida shimoliy (N) shamollar 15% va shimoliy-sharqiy (NE) shamollar 12% chastota bilan ustunlik qiladi. Namangan viloyatida esa shamolning eng yuqori chastotasi shimoldan (N) (26%) qayd etilgan, shuningdek, shimoliy-sharq (NE) va g'arbiy-shimoliy-g'arbdan (WNW) shamollar ham mavjud.

Navoiy viloyatida shamol asosan shimoliy-sharqdan (NE) (29%) va sharqdan (E) (23%) esadi. Qashqadaryo viloyatida esa sharqiy (E) shamollar (22%) va shimoliy-sharqiy (NE) shamollar (17%) ustunlik qiladi, shimoliy-shimoliy-g'arbiy (NNW) shamollar ham sezilarli darajada kuzatiladi. Qoraqalpog'iston Respublikasida asosiy yo'nalishlar shimoliy (N) shamollar (18%) va shimoliy-sharqiy (NE) shamollar (15%) bo'lib, sharqiy (E) shamollarning ta'siri ham seziladi. Samarqand viloyatida shimoliy (N) shamollar (15%) va shimoliy-sharqiy (NE) shamollar (12%) ustunlik qiladi, shuningdek, sharqiy (E) shamollarning ta'siri ham sezilarli. Sirdaryo viloyatida esa ko'pincha shimoliy (N) (21%) va shimoliy-sharqiy (NE) (17%) shamollar esadi, shimoliy-shimoliy-g'arbiy (NNW) shamollar ham kuzatiladi.

Surxondaryo viloyatida asosan g'arbiy (W) shamollar (14%) va shimoliy-g'arbiy (NW) shamollar (11%) ustunlik qiladi, janubiy-g'arbiy (SW) shamollar ham sezilarli darajada mavjud. Toshkent viloyatida shamollar asosan shimoldan (N) (35%) va shimoliy-sharqdan (NE) (28%) esadi, shuningdek, sharqiy (E) shamollar (21%) ham sezilarli. Xorazm viloyatida esa shamol asosan shimoliy-sharqdan (NE) esib, chastotasi 13% ni tashkil etadi; shuningdek, shimoliy (N) (10%) va sharqiy-shimoliy-sharq (ENE) (7%) yo'nalishlaridagi shamollar ham kuzatiladi, g'arb (W) va g'arbiy-shimoliy-g'arb (WNW) yo'nalishlarida ham shamollar mavjud bo'lsa-da, ularning chastotasi pastroq.

Ushbu kuzatuvlar shamol yo'nalishi va taqsimoti har bir mintaqaning o'ziga xos geografik va iqlim sharoitlariga bog'liqligini ko'rsatadi. Bu ma'lumotlar mintaqalar orasidagi shamol rejimlarida sezilarli farqlar mavjudligini ta'kidlaydi, bu esa shamol energetik qurilmalarini rejalashtirish va loyihalashda inobatga olinishi lozim. Ma'lum bir yo'nalishda yuqori chastotada esuvchi shamollar ushbu hududlarda shamol qurilmalarining samaradorligini sezilarli darajada oshirishi mumkin.

5. Muhokama (Discussion)

O'tkazilgan tadqiqotlarning ishonchligini baholash va olingan natijalar aniqligini tasdiqlash maqsadida O'zbekistonning turli hududlaridagi shamol potensialini baholash bo'yicha turli tadqiqotlarda keltirilgan ma'lumotlarning taqqoslash tahlili o'tkazildi. Taqqoslash natijalari 3-jadvalda keltirilgan bo'lib, unda ushbu tadqiqotda olingan ma'lumotlar (2000–2022 yillar, yer usti kuzatuvlari asosida), shuningdek, R.A. Zoxidov va uning hamkorlari (2005 yilgacha xalqaro ma'lumotlar asosida), Ariyana Baxromi va uning hamkasblari (tipik meteorologik yil - TMY asosida) hamda N.N. Sadullayeva va ularning hamkorlari (2018–2019 yillardagi yer usti kuzatuvlari asosida) tomonidan keltirilgan natijalar berilgan. Tadqiqotlar umumiy yo'nalishda shamol potensialini baholashga qaratilgan bo'lsa-da, olingan natijalar sezilarli farqlarni ko'rsatadi, bu esa bunday og'ishlarning sabablarini qo'shimcha ravishda izlashni talab qiladi.

Natijalar farqining sabablari:

1. Vaqt chegaralari va ma'lumotlar manbalari: Natijalar farqiga ta'sir ko'rsatuvchi asosiy omil vaqt oralig'i va ma'lumotlar manbalaridir. R.A. Zoxidov va uning jamoasining tadqiqotida NASA Surface Meteorology and Solar Energy xalqaro bazalaridan 2005 yilgacha bo'lgan uzoq yillik shamol tezligi ma'lumotlari ishlatilgan. Ushbu ma'lumotlar uzoq vaqt davrini qamrab oladi, ammo yaqinda yuz bergan iqlim o'zgarishlarini o'z ichiga olmaydi. N.N. Sadullayeva ma'lumotlari esa 2018–2019 yillarda 30 daqiqalik intervalda olingan kuzatuvlarga asoslanib, qisqa muddatli o'zgarishlarni batafsil tahlil qilish imkonini beradi, biroq vaqt qamrovini bir yil bilan cheklaydi. Bundan farqli ravishda ushbu tadqiqot 2000 yildan 2022 yilgacha bo'lgan va 3 soatlik intervalda olingan ma'lumotlardan foydalanadi, bu esa shamol sharoitlarining uzoq muddatli tendensiyalarini zamonaviy iqlim o'zgarishlarini hisobga olgan holda yanada to'liqroq aks ettirish imkonini beradi. Bu ayrim shamol tezligi va quvvat zichligi o'rtacha qiymatlarining ushbu tadqiqotda R.A. Zoxidov va N.N. Sadullayeva ishlarida keltirilgan qiymatlardan farq qilishini tushuntirishi mumkin.



3-jadaval. Turli tadqiqotlar ma'lumotlariga asoslangan holda O'zbekistonning turli hududlaridagi o'rtacha shamol tezligi ($\bar{v}$) va shamol quvvat zichligini (P/A) taqqoslash

Tab. 3. Comparison of average wind speed ($\bar{v}$) and wind power density (P/A) in various regions of Uzbekistan based on data from different studies

Meteostansiya-lar nomi	Ushbu tadqiqotning ma'lumotlari (2000-2022)		R.A. Zoxidov va boshqalarning ishlari bo'yicha (2005 yilgacha bo'lgan xalqaro ma'lumotlar asosida) [21-26]		Ariyan Baxromi va boshqalarning ishi bo'yicha (TMY asosida) [28]		N.N. Sadullayev va boshqalarning ishi bo'yicha (2018-2019 yillardagi yer usti kuzatuvlari asosida) [29-31]	
	$\bar{v}$ (m/s)	P/A (W/m ²)	$\bar{v}$ (m/s)	P/A (W/m ²)	$\bar{v}$ (m/s)	P/A (W/m ²)	$\bar{v}$ (m/s)	P/A (W/m ²)
Farg'ona	0,96	2,05	2,92-4,34	15-50	0,97	3,54		
Namangan	2,3	24,32	3,63-4,79	24-68	1,95	28,59		
Toshkent	1,23	2,39	4,26-4,79	48-68	2,31	34,70		
Qarshi	2,75	31,30	2,38-3,31	22-45	2,72	43,99		
Buxoro	3,45	59,28	3,15-3,57	19-28	3,67	73,73	3,4	39,62
Samarqand	1,48	6,36	2,28-3,26	8-21	2,94	47,73		
Oqbaytal	3,23	57,16	3,3-4,18	22-45	3,32	58,64		
Buzuboy	2,77	50,31			2,79	43,94		
Nukus	3,76	72,28	3,92-4,76	37-66	3,98	89,98		
Qo'ng'iro't	3,26	68,35			3,65	73,97		
Urganch	3,29	47,04	3,21-3,95	21-38	2,94	47,63		
Termiz	2,81	41,16	2,47-3,32	9-23				

2. Metodologik yondashuvlar va tahlil modellari: Har bir tadqiqotchi shamol potensialini baholash uchun turli metodologik yondashuvlardan foydalangan. Masalan, R.A. Zoxidov ishlarida butun viloyatlarni qamrab oluvchi mintaqaviy tahlilga urg'u berilgan bo'lib, ayrim meteorologik stansiyalar uchun aniq ma'lumotlar ko'rib chiqilmagan. Bu viloyat bo'yicha umumlashtirilgan qiymatlarni olishga olib kelgan bo'lib, bu qiymatlar mahalliy shamol sharoitlarini aks ettirmasligi mumkin. N.N. Sadullayeva ishida 30 daqiqalik intervalda to'plangan ma'lumotlar qo'llangan, ammo keyinchalik kundalik o'rtacha qiymatlarga o'tkazilgan, bu esa shamol tezligining qisqa muddatli o'zgarishlarini tekislashi mumkin. Ushbu tadqiqotda esa 3 soatlik intervaldagi ma'lumotlarni tahlil qilish uchun ikki parametrlilik Veybull taqsimoti funksiyasi qo'llanilgan bo'lib, bu shamol sharoitlarining o'zgaruvchanligi va energetik potensialini aniqroq baholash imkonini beradi.

3. Geografik qamrov va kuzatuv joylarini tanlash: Natijalardagi farqlar geografik qamrov va kuzatuv joylarini tanlashdagi tafovutlar bilan ham bog'liq bo'lishi mumkin. Masalan, Ariyan Baxromi va uning hamkasblari ishida 17 ta maydondan olingan ma'lumotlar ko'rib chiqilgan bo'lsa, ushbu tadqiqotda 77 ta meteorologik stansiyadan olingan ma'lumotlar ishlatilgan, bu esa kengroq qamrovni ta'minlab, O'zbekistonning turli qismlaridagi shamol sharoitlarini xilma-xilligini hisobga olish imkonini beradi. Geografik qamrovdagi bu farqlar bir xil hududlar uchun ayniqsa, Buxoro va boshqa viloyatlar misolida shamol tezligi va quvvat zichligi qiymatlaridagi tafovutlarni, izohlashga yordam beradi.

4. Iqlim o'zgarishlari va ularni tadqiqotlarda hisobga olish: nihoyat, muhim omillardan biri zamonaviy iqlim o'zgarishlarini hisobga olishdir. 2000 yildan 2022 yilgacha bo'lgan davrni qamrab olgan ushbu tadqiqot yaqin yillardagi iqlim o'zgarishlarini hisobga oladi, bu esa 2005 yilgacha yoki 2018-2019 yillardagi ma'lumotlardan foydalanilgan tadqiqotlardan farqli natijalar ko'rsatishi mumkin. Masalan, Baxromi tadqiqotidagi natijalar ayrim hududlarda shamol quvvat zichligining yuqoriroq qiymatlarini ko'rsatadi, bu uzoq yillik davr uchun o'rtacha iqlim sharoitlarini aks ettiruvchi va yaqinda yuz bergan iqlimiy tendensiyalarni hisobga olmaydigan TMY ma'lumotlari asosida olinganligi bilan bog'liq bo'lishi mumkin.

6. Xulosa va tavsiyalar (Conclusion and recommendations)

6.1. Natijalarni umumlashtirish (Xulosa)

Ushbu tadqiqotda O'zbekistonning turli hududlarida, yer sathidan 10 metr balandlikda, shamol energiyasi potensialining har tomonlama tahlili o'tkazildi, bu esa mamlakatda qayta tiklanuvchi energiya manbalarini rivojlantirish uchun muhim bosqich hisoblanadi. Tadqiqot O'zbekiston bo'ylab joylashgan 77 meteorologik stansiyadan yig'ilgan ma'lumotlarga asoslanadi, bu esa natijalarni ishonchli va keng qamrovli qilish imkonini beradi. Tadqiqotning asosiy xulosalari quyidagicha:

Eng yuqori o'rtacha shamol tezligi qiymatlari O'zbekistonning g'arbiy va shimoliy-g'arbiy hududlarida, jumladan, Qoraqalpog'iston Respublikasi, Navoiy, Qashqadaryo va Buxoro viloyatlarida qayd etildi. Ushbu hududlarda shamolning o'rtacha tezligi 6,5 dan 7,5 m/s gacha bo'lib, bu shamol generatorlarining samarali ishlashi uchun zarur bo'lgan minimal darajadan yuqoridir. Bu hududlar shamolning barqaror va yuqori tezligi sababli shamol energiyasidan foydalanish uchun katta potensialga ega, bu esa ularni shamol energetika loyihalariga investitsiyalar uchun jozibador qiladi;

Ma'lumotlar tahlili shuni ko'rsatdiki, shamol energiyasining eng yuqori quvvat zichligi Qoraqalpog'istonning Jasliq tumani ($202,01 \text{ W/m}^2$), Navoiy shahri ($94,5 \text{ W/m}^2$) va Qashqadaryoning Dehqonobod tumani ($85,33 \text{ W/m}^2$) kabi joylarda kuzatiladi. Ushbu ko'rsatkichlar shamoldan iqtisodiy jihatdan samarali elektr energiyasi ishlab chiqarish uchun zarur bo'lgan minimal qiymatlardan ancha yuqori bo'lib, bu hududlarning shamol energetikasini rivojlantirish uchun ahamiyatini ta'kidlaydi;

Chizilgan shamol gullari O'zbekistonning turli hududlaridagi ustuvor shamol yo'nalishlarini aniqladi. Masalan, g'arbiy hududlarda shamol asosan g'arbiy va shimoliy-g'arbiy yo'nalishlardan, janubiy va markaziy hududlarda esa janubiy-g'arbiy va janubiy yo'nalishlardan esadi. Ushbu ma'lumotlar shamol generatorlarini optimal joylashtirish uchun muhim ahamiyatga ega, chunki turbinalarni to'g'ri yo'nalishda o'rnatish ularning samaradorligi va xizmat muddatini sezilarli darajada oshirishi, uskuna eskirishini kamaytirishi va texnik xizmat ko'rsatish xarajatlarini qisqartirishi mumkin;

O'zbekiston hududi bo'yicha o'rtacha yillik shamol tezligi va o'rtacha yillik shamol quvvat zichligi taqsimoti xaritalari ishlab chiqildi. Ushbu xaritalar turli hududlarning shamol potensialini vizual ravishda namoyish etib, shamol energetikasi loyihalarini rejalashtirish va amalga oshirish, shuningdek, investitsiyalarni jalb qilish uchun muhim vosita hisoblanadi.

6.2. Tavsiyalar

O'tkazilgan tahlil asosida shamol resurslaridan foydalanishni optimallashtirish uchun quyidagi qadamlarni amalga oshirish tavsiya etiladi:

Ma'lumotlar yig'ishni optimallashtirish uchun yuqori chastotali o'lchovlardan (masalan, har 10 daqiqada) foydalanish kerak, bu shamol tezligining qisqa muddatli o'zgarishlarini aniqroq baholash va shamol potensialini aniqroq modellashtirish imkonini beradi. Ushbu yondashuv shamol energetikasi qurilmalarini bashorat qilish va boshqarishni sezilarli darajada yaxshilaydi;

Shamol resurslari haqida to'liq va aniqroq tasavvur shakllantirish uchun meteorologik stansiyalar, sun'iy yo'ldosh kuzatuvlari va raqamli modellar kabi turli ma'lumot manbalarini integratsiya qilish muhimdir. Bu shamol energetikasi loyihalarini samarali rejalashtirish uchun juda muhim bo'lgan mahalliy xususiyatlar va mikroiklim sharoitlarini hisobga olishga yordam beradi;

Shamol energiyasining mahalliy potensialini aniq aniqlash uchun meteorologik stansiyalar darajasida batafsil mintaqaviy tadqiqotlar o'tkazish zarur. Bu mavjud resurslardan maksimal darajada samarali foydalanishga yordam beradi va shamol energetikasiga qilingan investitsiyalarning iqtisodiy samaradorligini oshiradi;

Shamol potentsiali xaritalarini yangilashda global haroratning ko'tarilishi va yog'ingarchilik rejimidagi o'zgarishlar kabi zamonaviy iqlim o'zgarishlarini hisobga olish muhimdir. Bu O'zbekiston energetika tizimining uzoq muddatli barqarorligi va moslashuvchanligini ta'minlashga yordam beradi hamda kelajakda shamol rejimlarida yuz berishi mumkin bo'lgan o'zgarishlarni hisobga oladi.

Olingan tadqiqot natijalari O'zbekistonda shamol energiyasidan foydalanish uchun sezilarli potensial mavjudligini ko'rsatadi. Ushbu potentsialni to'liq amalga oshirish uchun quyidagi choralarni ko'rish tavsiya etiladi:

Shamol tezligi va yo'nalishi haqidagi ma'lumotlarni muntazam yangilab borish va tuzatish. Bu shamol rejimidagi o'zgarishlarni hisobga olish va yangi sharoitlarga tezda moslashish uchun zarur, ayniqsa o'zgaruvchan iqlim sharoitida dolzarb hisoblanadi. Ushbu yondashuv prognozlarining aniqligini oshirish va shamol energetikasi loyihalarini rejalashtirishning ishonchligini kuchaytirishga yordam beradi;

Shamol energetikasi loyihalarining iqtisodiy samaradorligini chuqur tahlil qilish. Loyihalarning rentabelligi va o'zini oqlash muddatini aniqlash uchun mahalliy sharoitlar va joriy bozor tendensiyalarini hisobga olgan holda kompleks iqtisodiy tahlil o'tkazish muhimdir. Bu iqtisodiy xavf-xatar va foydalarni aniqroq baholashga hamda shamol energetikasiga investitsiya kiritish uchun eng istiqbolli obyektlarni tanlashga yordam beradi;

Shamol energiyasidan samarali foydalanish uchun mahalliy strategiyalar ishlab chiqish va joriy etish. Shamol energetikasini rivojlantirishga qaratilgan, mintaqaviy sharoitlarga moslashtirilgan strategiyalar va qo'llab-quvvatlash dasturlarini ishlab chiqish zarur, ayniqsa, Qoraqalpog'iston, Navoiy, Qashqadaryo va Buxoro viloyatlarida yuqori potensialga ega hududlarda. Ushbu chora-tadbirlar barqaror energetik infratuzilma yaratishga va mamlakatning energetik xavfsizligini oshirishga xizmat qiladi.



Ushbu tadqiqot O'zbekistonda shamol energetikasini rivojlantirish uchun yangi imkoniyatlar ochib beradi, bu esa mamlakatning energetik xavfsizligini oshirishga, an'anaviy energiya manbalariga bog'liqlikni kamaytirishga va uglerod izini kamaytirishga xizmat qiladi.

ADABIYOT

1. Qayta tiklanuvchi energiya manbalarini kengaytirish bo'yicha ko'rsatmalar berildi. URL:<https://president.uz/oz/lists/view/5964>. (kirish sanasi 22.01.2025).
2. Jaber S. Environmental Impacts of Wind Energy // Journal of Clean Energy Technologies, - 2014, 251-254. URL:<https://doi.org/10.7763/JOCET.2013.V1.57>.
3. Kaygusuz K. Wind Power for a Clean and Sustainable Energy Future // Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy. -2009, - №4, -P. 122 - 133. <https://doi.org/10.1080/15567240701620390>.
4. International Energy Agency (IEA). (2023). World Energy Outlook 2023. URL:[%C2 %A0](https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2023/executive-summary%C2). (kirish sanasi 22.01.2025).
5. Global Wind Energy Council (GWEC). (2024). Global Wind Report 2024. URL:<https://gwec.net/global-wind-report-2024/>. (kirish sanasi 22.01.2025).
6. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 28.01.2022 yildagi "Yangi O'zbekistonni 2022-2026-yillarda rivojlantirish strategiyasi to'g'risida"gi PF-60-son Farmoni. URL: <https://lex.uz/uz/docs/-5841063>. (kirish sanasi 22.01.2025).
7. O'zbekiston Respublikasi Prezidenti Shavkat Mirziyoyevning "Abu-Dabi Barqaror rivojlanish haftaligi" sammitidagi nutqi, 14.01.2025. <https://president.uz/uz/lists/view/7814>. (kirish sanasi 22.01.2025).
8. Energetika vazirligi: 2027-yil yakuniga qadar yurtimizda qadar yurtimizda umumiy quvvati 4 400 MW bo'lgan 10 ta shamol elektr stansiyasi ishga tushiriladi, 17.11.2023, URL: <https://minenergy.uz/uz/news/view/3383>. (kirish sanasi 22.01.2025).
9. Uzbekistan Wind Power Market Outlook 2021÷2030 - Single User. URL: <https://renewablemarketwatch.com/country-reports/cis/uzbekistan/uzbekistan-wind-power-market-outlook-2021-2030-single-user-detail>. (kirish sanasi 22.01.2025).
10. Mauritzen, J. Will the Locals Benefit // Energy Policy. - 2020, -№ 142. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111489>.
11. Qian, P., Ma, X., & Zhang, D. Estimating Health Condition of the Wind Turbine Drivetrain System// Energies. -2017, 10, 1583. <https://doi.org/10.3390/EN10101583>.
12. Pandit, R., Astolfi, D., Tang, A., & Infield, D. Sequential Data-Driven Long-Term Weather Forecasting Models' Performance Comparison for Improving Offshore Operation and Maintenance Operations // Energies. -2022. <https://doi.org/10.3390/en15197233>.
13. McInnes K., Erwin T., & Bathols J. Global Climate Model projected changes in 10 m wind speed and direction due to anthropogenic climate change// Atmospheric Science Letters. -2020, - No 12. <https://doi.org/10.1002/asl.341>.
14. Miu L. The Impact of Climate Change on Wind Power Production in Scotland // WIT Transactions on Ecology and the Environment. - 2015, - № 206, - P. 239-250. <https://doi.org/10.2495/ESS140211>.
15. Pryor, S., Barthelmie, R., Bukovsky, M., Leung, L., & Sakaguchi, K. Climate change impacts on wind power generation // Nature Reviews Earth & Environment, - 2020, - 1, - P. 627 - 643. <https://doi.org/10.1038/s43017-020-0101-7>.
16. Tobin, I., Jerez, S., Vautard, R., Thais, F., Meijgaard, E., Prein, A., Déqué, M., Kotlarski, S., Maule, C., Nikulin, G., Noël, T., & Teichmann, C. Climate change impacts on the power generation potential of a European mid-century wind farms scenario // Environmental Research Letters. - 2016, 11. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/11/3/034013>.
17. Allaev K.R. Symbiosis of renewable and nuclear energy resources – the future of the world energy // Problems of energy and sources saving. – 2023, – № 2, – P. 5-23.
18. Yuldoshev I.A., Gasanov M.Yu. va boshqalar. Markov zanjiri, ya'ni o'tish matritalari yordamida shamol tezligini bashorat qilish usuli orqali hosil qilingan shamol tezligining shamol generatorining quvvat ko'rsatkichlariga ta'siri // Energiya va resurs tejash muammolari. – 2022, – №4, 211-218 6.
19. Реймов К.М. Оценка развития ветроэнергетического потенциала Республики Узбекистан // Проблемы энерго- и ресурсосбережения. – 2023, – № 1, – С. 211-218.



20. ZHA, J.-L., et al., Projected near-surface wind speed and wind energy over Central Asia using dynamical downscaling with biascorrected global climate models // *Advances in Climate Change Research*. <https://doi.org/10.1016/j.accre.2024.07.007>.
21. Захидов, Р.А., Киселева Е.И., Орлова Н.И., Таджиев У.А. О прогнозной стоимости электроэнергии, вырабатываемой горизонтально-осевыми ветроэлектростанциями в некоторых районах Узбекистана // *Гелеотехника*. – 2001. – № 1. – С. 76-81.
22. Таджиев У.А., Киселева Е.И., Таджиев М.У., Захидов Р.А. Прогнозные технико-экономические показатели ветроэлектрических установок, преобразующих энергию ветраприземных слоёв атмосферы равнинных территорий Узбекистана // *Гелеотехника*. – 2012, – № 4. – С. 60-68.
23. Tadzhiyev, U.A., Kiseleva, E.I., Tadzhiyev, M.U. et al. Potential of improving energy efficiency of the Andijan HEPP making use of wind farms. Part I. // *Appl. Sol. Energy*. – 2013, - Vol 49, – P. 98–104. <https://doi.org/10.3103/S0003701X13020126>.
24. Tadzhiyev, U.A., Kiseleva, E.I., Tadzhiyev, M.U. et al. Features of the formation of the wind flow over the territory of Uzbekistan and opportunities for its use for electric power: Part 2 // *Appl. Sol. Energy*. – 2014, -Vol 50,– P. 265–272 . <https://doi.org/10.3103/S0003701X14040161>.
25. Tadjiev U.A., Kiseleva E.I., Tadjiev M.U. and Zakhidov R.A. Features of the Formation of the Wind Flow over the Territory of Uzbekistan and Its Possible Use for Electric Power: Part 1 // *Applied Solar Energy*. – 2015, Vol. 51, – № 1, – P. 62–68.
26. Zakhidov R.A., Kremkov M.V. The wind power potential of Uzbekistan // *Applied Solar Energy*. – 2015, -Vol. 51, – P. 336–337.
27. NASA Surface meteorology and Solar Energy – Location. URL:<http://eosweb.larc.nasa.gov>. (kirish sanasi 22.01.2025).
28. Arian Bahrami, Amir Teimourian, Chiemeka Onyeka Okoye, Hamidreza Shiri. Technical and economic analysis of wind energy potential in Uzbekistan // *Journal of Cleaner Production*. – 2019, – 223, P. 801-814. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652619308315?via%3Dihub>.
29. Sadullaev N.N., Safarov A.B., Nematov Sh.N., Mamedov R.A. Statistical Analysis of Wind Energy Potential in Uzbekistan's Bukhara Region Using Weibull Distribution // *Applied Solar Energy*. – 2019, Vol. 55, Issue 2, – P. 126–132.
30. Sadullaev N.N., Safarov A.B., Mamedov R.A., Qodirov D. Assessment of wind and hydropower potential of Bukhara region // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* – 2020, - 614 (1), 012036.
31. Sadullayev, N. N., Safarov, A. B., Nematov, Sh. N., Mamedov, R. A., Abdujabarov, A. B. Opportunities and Prospects for the Using Renewable Energy Sources in Bukhara Region // *Applied Solar Energy*. – 2020, 56(4), – P. 291–300. doi:10.3103/S0003701X20040106.
32. Raximov E.Yu. Shamol energiyasi salohiyatini baholashda shamol tezliklarinig yillik va fasliy tahlili (Buxoro va Jizzax viloyatlari misolida) // *Informatika va energetika muammolari*. – 2023, – № 3, – С. 22-31.
33. Kollu, R., Rayapudi, S., Narasimham, S., & Pakkurthi, K. Mixture probability distribution functions to model wind speed distributions // *International Journal of Energy and Environmental Engineering*. – 2012, 3, 1-10. <https://doi.org/10.1186/2251-6832-3-27>.
34. Celik, A. On the distributional parameters used in assessment of the suitability of wind speed probability density functions // *Energy Conversion and Management*. – 2004, 45, – P. 1735-1747. <https://doi.org/10.1016/J.ENCONMAN.2003.09.027>.
35. Mohammadi, K., Alavi, O., & McGowan, J. Use of Birnbaum-Saunders distribution for estimating wind speed and wind power probability distributions: A review // *Energy Conversion and Management*. – 2017, - 143, – P. 109-122. <https://doi.org/10.1016/J.ENCONMAN.2017.03.083>.
36. Levent Bilir, Mehmet İmir, Yılser Devrim, Ayhan Albostan. An investigation on wind energy potential and small scale wind turbine performance at İncek region – Ankara, Turkey // *Energy Conversion and Management*. – 2015, - Vol 103, – P. 910-923, <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2015.07.017>.
37. Нормы и правила градостроительства Республики Узбекистан (НПГ) 2.01.01-22 “Климатические и физико-геологические данные для проектирования”. URL: <https://mc.uz/oz/documents/shaharsozlik-normalari-va-qoidalari>. (дата обращения 22.01.2025).
38. Staffell, I., & Pfenninger, S. Using bias-corrected reanalysis to simulate current and future wind power output // *Energy*. – 2016, - 114, – P. 1224-1239. <https://doi.org/10.1016/J.ENERGY.2016.08.068>.



39. Al-Azri, N., & Al-Saadi, S. Variant Developments of Typical Meteorological Years (TMYs) for Seeb, Oman and their Impact on Energy Simulation of Residential Buildings // The Journal of Engineering Research [TJER]. – 2018. <https://doi.org/10.24200/TJER.VOL15ISS2PP129-141>.
40. Chan, A., Chow, T., Fong, S., & Lin, J. Generation of a typical meteorological year for Hong Kong // Energy Conversion and Management. – 2006, 47, – P. 87-96. <https://doi.org/10.1016/J.ENCONMAN.2005.02.010>.
41. Raximov E.Yu., Omonov B.Yu., Xolmatjanov B.M., Abdikulov F.I., Begmatov S.U., Maxmudov I.M. O'zbekistonda NASA POWER va ERA5 bazalari havo harorati ma'lumotlaridan foydalanish imkoniyatlari // "Gidrometeorologiya va atrof-muhit monitoringi" ilmiy jurnali. – 2023, – № 3, 8-20 b.
42. Avezova N.R. *et al* 2021 *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 939 012017 DOI 10.1088/1755-1315/939/1/012017.
43. Siti M.R.S., Norizah M. and Syafrudin M. The evaluation of wind energy potential in Peninsular Malaysia // International Journal of Chemical and Environmental Engineering. – 2011, - Vol. 2 (4).
44. Baseer, M.A., Meyer, J.P., Alam, M.M., Rehman, S. Wind speed and power characteristics for Jubail industrial city, Saudi Arabia // Renew. Sustain. Energy. – 2015, - Rev. 52, – P. 1193-1204. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2015.07.109>.
45. Athraa Ali Kadhemi, Noor Izzri Abdul Wahab and Ahmed N. Abdalla. Wind Energy Generation Assessment at Specific Sites in a Peninsula in Malaysia // Based on Reliability Indices Processes. – 2019, - 7, 399; <https://doi.org/10.3390/pr7070399>.
46. Mostafaeipour A., Jadidi M., Mohammadi K., et al. An analysis of wind energy potential and economic evaluation in Zahedan, Iran // Renew Sustain Energy Rev 2014; 30, – P. 641–650.
47. Kamau J.N., Kinyua R., Gathua J.K., 6 years of wind data for Marsabit, Kenya average over 14 m/s at 100 m hub height; An analysis of the wind energy potential // Renewable Energy. – 2010, - Vol 35, Issue 6, – P. 1298-1302, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2009.10.008>.

REFERENCES

1. The president instructs on the expansion of renewable energies. [Online]. Available: <https://president.uz/en/lists/view/5964>. (accessed 22.01.2025).
2. Jaber S., Environmental Impacts of Wind Energy. Journal of Clean Energy Technologies, 2014, pp. 251-254, doi: 10.7763/JOCET.2013.V1.57.
3. Kaygusuz K. Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy. Wind Power for a Clean and Sustainable Energy Future, 2009 vol. 4, pp. 122-133, doi: 10.1080/15567240701620390.
4. International Energy Agency (IEA), "World Energy Outlook 2023," 2023. Available at: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2023/executive-summary>. (accessed 22.01.2025).
5. Global Wind Energy Council (GWEC), "Global Wind Report 2024," 2024. Available at: <https://gwec.net/global-wind-report-2024/>. (accessed 22.01.2025).
6. Decree of the President of the Republic of Uzbekistan, No. DP-60, "On the Development Strategy of New Uzbekistan for 2022–2026," Jan. 28, 2022. Available at: <https://lex.uz/uz/docs/-5841063>. (accessed 22.01.2025).
7. Speech of the President of the Republic of Uzbekistan Shavkat Mirziyoyev at the "Abu Dhabi Sustainable Development Week" summit, 14.01.2025. Available at: <https://president.uz/uz/lists/view/7814>. (accessed 22.01.2025).
8. Ministry of Energy: 10 wind power plants with a total capacity of 4,400 MW will be put into operation in our country by the end of 2027, 17.11.2023, Available at: <https://minenergy.uz/uz/news/view/3383>. (accessed 22.01.2025).
9. Uzbekistan Wind Power Market Outlook 2021–2030 - Single User. Available at: <https://renewablemarketwatch.com/country-reports/cis/uzbekistan/uzbekistan-wind-power-market-outlook-2021-2030-single-user-detail>. (accessed 22.01.2025).
10. Mauritzen J. Will the Locals Benefit. Energy Policy, 2020, vol.142. doi: 10.1016/j.enpol.2020.111489.
11. Qian P., Ma X., and Zhang D., Estimating Health Condition of the Wind Turbine Drivetrain System. Energies, 2017, vol. 10, p. 1583, doi: 10.3390/EN10101583.
12. Pandit R., Astolfi D., Tang A., and Infield D. Sequential Data-Driven Long-Term Weather Forecasting Models' Performance Comparison for Improving Offshore Operation and Maintenance Operations. Energies, 2022, doi: 10.3390/en15197233.

13. McInnes K., Erwin T., and Bathols J. Global Climate Model projected changes in 10 m wind speed and direction due to anthropogenic climate change. *Atmospheric Science Letters*, 2011, vol. 12, doi: 10.1002/asl.341.
14. Miu L. The Impact of Climate Change on Wind Power Production in Scotland. In *Energy and Sustainability*, 2015, vol. 206, pp. 239-250, doi:10.2495/ESS140211.
15. Pryor S., Barthelmie R., Bukovsky M., Leung L. and Sakaguchi K. Climate change impacts on wind power generation. *Nature Reviews Earth & Environment*, 2020, vol. 1, pp. 627-643, doi: 10.1038/s43017-020-0101-7.
16. Tobin I., Jerez S. et al. Climate change impacts on the power generation potential of a European mid-century wind farms scenario. *Environmental Research Letters*, 2016, vol. 11, doi: 10.1088/1748-9326/11/3/034013.
17. Allaev K.R. Symbiosis of renewable and nuclear energy resources – the future of the world energy. *Problems of energy and sources saving*, 2023, No2, pp 5-23.
18. Yuldoshev I.A., Hasanov M.Y. and all. Influence on the power indicators of the wind speed generator formed according to the wind speed forecast using transition matrices of the markov chain. *Problems of energy and sources saving*, 2022, №4, pp 211-218 (in Uzbek).
19. Reymov K.M. The Assessment of Wind Power Potential Development of the Republic of Uzbekistan. *Problems of energy and sources saving*, 2023, №1, pp 176-182 (in Russ).
20. Zha J.-L. et al., Projected near-surface wind speed and wind energy over Central Asia using dynamical downscaling with bias-corrected global climate models. *Advances in Climate Change Research*, 2024, doi: 10.1016/j.accr.2024.07.007.
21. Zakhidov R.A., Kiseleva E. I., Orlova N. I. and Tajiev U. A. On the forecasted cost of electricity produced by horizontal-axis wind turbines in certain areas of Uzbekistan. *Geliotekhnika*, no. 1, pp. 76-81, 2001 (in Russ).
22. Tajiev U. A., Kiseleva E.I., Tajiev M.U. and Zakhidov R. A. Forecasted technical and economic indicators of wind power plants converting the energy of near-ground atmospheric layers in plain territories of Uzbekistan. *Geliotekhnika*, 2012, no. 4, pp. 60-68 (in Russ).
23. Tadzhiyev U. A., Kiseleva E. I., Tadzhiyev M. U. et al. Potential of improving energy efficiency of the Andijan HEPP making use of wind farms. Part I. *Appl. Sol. Energy*, 2013, vol. 49, pp. 98-104, doi: 10.3103/S0003701X13020126.
24. Tadzhiyev U. A., Kiseleva E. I., Tadzhiyev M.U. et al. Features of the formation of the wind flow over the territory of Uzbekistan and opportunities for its use for electric power: Part 2. *Appl. Sol. Energy*, 2014, vol. 50, pp. 265–272, doi: 10.3103/S0003701X14040161.
25. Tadjiev U.A., Kiseleva E.I., Tadjiev M.U. and Zakhidov R.A. Features of the Formation of the Wind Flow over the Territory of Uzbekistan and Its Possible Use for Electric Power: Part 1. *Appl. Sol. Energy*, 2015, vol. 51, no. 1, pp. 62–68, doi: 10.3103/S0003701X15010120.
26. Zakhidov R.A. and Kremkov M.V. The wind power potential of Uzbekistan. *Appl. Sol. Energy*, 2015, vol. 51, pp. 336–337, doi: 10.3103/S0003701X15040210.
27. NASA Surface Meteorology and Solar Energy – Location. Available at: <http://eosweb.larc.nasa.gov>. (accessed 22.01.2025).
28. Bahrami A., Teimourian A., Okoye C.O. and Shiri H. Technical and economic analysis of wind energy potential in Uzbekistan. *J. Cleaner Prod.*, 2019, vol. 223, pp. 801–814, doi: 10.1016/j.jclepro.2019.03.149.
29. Sadullaev N.N., Safarov A.B., Nematov Sh.N. and Mamedov R.A. Statistical analysis of wind energy potential in Uzbekistan's Bukhara Region using Weibull distribution. *Appl. Sol. Energy*, 2019, vol. 55, no. 2, pp. 126–132, doi: 10.3103/S0003701X19020105.
30. Sadullaev N.N., Safarov A.B., Mamedov R.A. and Qodirov D. Assessment of wind and hydropower potential of Bukhara region. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 2020, vol. 614, no. 1, , doi: 10.1088/1755-1315/614/1/012036.
31. Sadullayev N.N., Safarov A.B., Nematov Sh.N., Mamedov R.A. and Abdujabbarov A.B. Opportunities and prospects for using renewable energy sources in Bukhara region. *Appl. Sol. Energy*, 2020, vol. 56, no. 4, pp. 291–300, doi: 10.3103/S0003701X20040106.
32. Rakhimov E.Yu. Annual and seasonal analysis of wind speeds in assessing wind energy potential: A case study of Bukhara and Jizzakh regions. *Problems of Informatics and Energy*, 2023, no. 3, pp. 22-31.
33. Kollu R., Rayapudi S., Narasimham S. and Pakkurthi K. Mixture probability distribution functions to model wind speed distributions. *Int. J. Energy Environ. Eng.*, 2012, vol. 3, pp. 1-10, doi: 10.1186/2251-6832-3-27.

34. Celik A. On the distributional parameters used in assessment of the suitability of wind speed probability density functions. *Energy Convers, 2004, Manage.*, vol. 45, pp. 1735-1747, doi: 10.1016/J.ENCONMAN.2003.09.027.
35. Mohammadi K., Alavi O. and McGowan J. Use of Birnbaum-Saunders distribution for estimating wind speed and wind power probability distributions: A review. *Energy Convers, 2017, Manage.*, vol. 143, pp. 109-122, doi: 10.1016/J.ENCONMAN.2017.03.083.
36. Bilir L., İmir M., Devrim Y. and Albostan A. An investigation on wind energy potential and small scale wind turbine performance at İncek region – Ankara, Turkey. *Energy Convers, 2015, Manage.*, vol. 103, pp. 910-923, doi: 10.1016/j.enconman.2015.07.017.
37. Norms and rules of urban development of the Republic of Uzbekistan (NPG) 2.01.01 - 22, Climatic and physical-geological data for design. Available at: <https://mc.uz/oz/documents/shaharsozlik-normalari-va-qoidalari>. (accessed 22.01.2025).
38. Staffell I. and Pfenninger S. Using bias-corrected reanalysis to simulate current and future wind power output. *Energy*, 2016, vol. 114, pp. 1224-1239, doi: 10.1016/J.ENERGY.2016.08.068.
39. Al-Azri N. and S. Al-Saadi Variant Developments of Typical Meteorological Years (TMYs) for Seeb, Oman and their Impact on Energy Simulation of Residential Buildings. *The Journal of Engineering Research [TJER]*, 2018, doi: 10.24200/TJER.VOL15ISS2PP129-141.
40. Chan A., Chow T., Fong S. and Lin J. Generation of a typical meteorological year for Hong Kong. *Energy Convers, 2006, Manage.*, vol. 47, pp. 87-96, doi: 10.1016/J.ENCONMAN.2005.02.010.
41. Avezova N. R. et al. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.*, vol. 939, p. 012017, 2021, doi: 10.1088/1755-1315/939/1/012017.
42. Rakhimov E.Yu., Omonov B.Yu., Kholmatjonov B.M. and Abdykulov F.I. Possibilities of using air temperature data from NASA POWER and ERA5 databases in Uzbekistan. *Hydrometeorology and environmental monitoring*, 2023, no. 3, pp. 8-20, (in Uzb).
43. Siti M.R.S., Norizah M. and Syafrudin M. The evaluation of wind energy potential in Peninsular Malaysia. *Int. J. Chem. Environ*, 2011, vol. 2, no. 4.
44. Baseer M.A., Meyer J. P., Alam M.M. and Rehman S. Wind speed and power characteristics for Jubail industrial city, Saudi Arabia. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 2015, vol. 52, pp. 1193-1204, doi: 10.1016/J.RSER.2015.07.109.
45. Ali Kadhem, A., Abdul Wahab, N. I., & N. Abdalla, A. (2019). Wind Energy Generation Assessment at Specific Sites in a Peninsula in Malaysia Based on Reliability Indices. *Processes*, 7(7), 399. <https://doi.org/10.3390/pr7070399>.
46. Mostafaeipour A., Jadidi M., Mohammadi K. et al. An analysis of wind energy potential and economic evaluation in Zahedan, Iran. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2014, vol. 30, pp. 641-650, doi: 10.1016/j.rser.2013.11.016.
47. Kamau J.N., Kinyua R. and Gathua J.K. 6 years of wind data for Marsabit, Kenya average over 14 m/s at 100 m hub height; An analysis of the wind energy potential. *Renew. Energy*, 2010, vol. 35, no. 6, pp. 1298-1302, doi: 10.1016/j.renene.2009.10.008.