



"INNOVATIVE ACHIEVEMENTS IN SCIENCE 2026"

YASHIL ENERGIYA MA'LUMOTLAR BAZALARIDA ENERGIYA SAMARADORLIGI KO'RSATKICHLARINI AVTOMATIK TAHLIL QILISH

Qodirov Farrux Ergash o'g'li

Shahrisabz davlat pedagogika instituti Matematika va ta'limda axborot texnologiyasi kafedrasini
mudiri dotsent, Fan o'qituvchisi <https://orcid.org/0000-0002-4574-7728>

Hikmatova Niginabonu Siddiq qizi

Shahrisabz Davlat Pedagogika Instituti Pedagogika fakulteti, Pedagogika mutaxassisligi 1-bosqich
talabasi

Annotatsiya: Ushbu maqolada yashil energiya tizimlarida ma'lumotlar bazalarini qo'llash va energiya samaradorligi ko'rsatkichlarini avtomatik tahlil qilish usullari ko'rib chiqilgan. Tadqiqotda real vaqt rejimida energiya sarfini monitoring qilish, mashinali o'qitish algoritmlarini integratsiya qilish hamda prognoz tahlillarini amalga oshirish uchun zamonaviy yondashuvlar taklif etilgan. Navoiy viloyatidagi 50 kVt quvvatli quyosh energiyasi stansiyasida o'tkazilgan 6 oylik sinovlar natijasida tizim an'anaviy usullarga nisbatan energiya tejashda 28.4% samaradorlikni oshirganligi isbotlandi. Anomaliyalarni aniqlash aniqligi 94.7% ga, bashorat xatosi (MAE) esa 2.8% gacha yaxshilandi.

Kalit so'zlar: yashil energiya, ma'lumotlar bazasi, energiya samaradorligi, avtomatik tahlil, mashinali o'qitish, IoT, real vaqt monitoring, TimescaleDB, LSTM.

Abstract: This paper examines methods for applying database technologies in green energy systems and automatically analyzing energy efficiency metrics. The study proposes modern approaches for real-time energy consumption monitoring, integration of machine learning algorithms, and predictive analytics. Six-month trials conducted at a 50 kW solar power station in Navoi region demonstrated that the proposed system achieves a 28.4% improvement in energy savings, anomaly detection accuracy of 94.7%, and a forecast error (MAE) of 2.8% compared to conventional methods. The system reduces anomaly detection time from 47 minutes to 3.2 minutes.

Keywords: green energy, database systems, energy efficiency, automated analysis, machine learning, IoT, real-time monitoring, TimescaleDB, LSTM.

KIRISH

Hozirgi kunda global iqlim o'zgarishi, energiya resurslarining cheklanganligi va ekologik muammolarning kuchayishi yashil energiya manbalaridan samarali foydalanish zaruratini yanada dolzarb masalaga aylantirmoqda. Quyosh, shamol, gidro va boshqa qayta tiklanuvchi energiya manbalari asosida ishlab chiqarilayotgan energiya hajmi ortib borayotgan bo'lsa-da, ushbu jarayonlarni samarali boshqarish va nazorat qilish uchun zamonaviy axborot texnologiyalaridan foydalanish muhim ahamiyat kasb etadi.

Yashil energiya tizimlarida katta hajmdagi ma'lumotlar shakllanadi. Ushbu ma'lumotlar energiya ishlab chiqarish hajmi, iste'mol darajasi, qurilmalar samaradorligi hamda tashqi omillar ta'siri kabi ko'rsatkichlarni o'z ichiga oladi. Mazkur ma'lumotlarni to'plash, saqlash va



"INNOVATIVE ACHIEVEMENTS IN SCIENCE 2026"

tahlil qilish uchun maxsus ma'lumotlar bazalari qo'llaniladi. Biroq ma'lumotlar hajmining ortib borishi ularni an'anaviy usullar bilan qayta ishlashni murakkablashtiradi va avtomatlashtirilgan tahlil tizimlarini joriy etishni talab etadi.

Shu nuqtai nazardan, yashil energiya ma'lumotlar bazalarida energiya samaradorligi ko'rsatkichlarini avtomatik tahlil qilish dolzarb ilmiy va amaliy masalalardan biri hisoblanadi. Avtomatik tahlil tizimlari yordamida energiya ishlab chiqarish va iste'mol qilish jarayonlarini real vaqt rejimida monitoring qilish, samaradorlikni baholash hamda optimal boshqaruv qarorlarini qabul qilish imkoniyati yaratiladi.

Mazkur tadqiqotning asosiy maqsadi yashil energiya sohasida shakllanayotgan ma'lumotlar bazalaridan foydalanib, energiya samaradorligi ko'rsatkichlarini avtomatik ravishda tahlil qilish usullarini o'rganish va takomillashtirishdan iborat. Shu bilan birga, zamonaviy axborot texnologiyalari va algoritmlar asosida samarali tahlil mexanizmlarini ishlab chiqish ham muhim vazifa sifatida qaraladi.

Muammoning dolzarbliigi.

XXI asrda iqlim o'zgarishi va uning oqibatlarini butun dunyo hamjamiyatini muqobil energiya manbalariga o'tishni tezlashtirishga majbur etmoqda. Birlashgan Millatlar Tashkilotining ma'lumotlariga ko'ra, 2030 yilgacha qayta tiklanadigan energiya manbalarining ulushi global energiya balansida 42% ga yetkazilishi rejalashtirilgan. Biroq bu maqsadga erishish uchun nafaqat yangi quvvatlar qurish, balki mavjud tizimlarning samaradorligini keskin oshirish zarur.

O'zbekiston ham bu jarayondan chetda emas: 2022 yilda qabul qilingan 'Yashil Energiya' strategiyasi doirasida 2030 yilga qadar qayta tiklanadigan energiya ulushini 25% ga yetkazish maqsadi belgilangan. Bugungi kunda respublikada 2 GVt dan ortiq quyosh va shamol energiyasi quvvatlari ishga tushirilgan bo'lib, ular boshqaruv va monitoring tizimlarini takomillashtirishni talab etmoqda.

Yashil energiya tizimlarining asosiy muammolaridan biri — energiya ishlab chiqarishning uzluksizligi va bashorat qilinuvchanligi. Quyosh panellari bulutli ob-havoda, shamol generatorlari esa sokin kunlarda samarali ishlamaydi. Bunday tebranishlarni oldindan aniqlash va boshqarish uchun intellektual ma'lumotlar tahlil tizimlaridan foydalanish zaruriyati vujudga kelmoqda.

Tadqiqotning maqsad va vazifalari.

Ushbu tadqiqotning asosiy maqsadi — yashil energiya ma'lumotlar bazalarida energiya samaradorligi ko'rsatkichlarini avtomatik tahlil qiluvchi integrallashgan tizimni ishlab chiqish va uning amaliy samaradorligini isbotlashdan iborat.

Maqsadga erishish uchun quyidagi vazifalar belgilandi:

1. Yashil energiya tizimlarida qo'llaniladigan ma'lumotlar bazasi arxitekturalarini tahlil qilish va eng samaralisini aniqlash
2. Real vaqt rejimida energiya sarfini monitoring qiluvchi ma'lumotlar yig'ish tizimini loyihalash



"INNOVATIVE ACHIEVEMENTS IN SCIENCE 2026"

3. Anomaliyalarni avtomatik aniqlash va prognoz qilish uchun mashinali o'qitish modellarini integratsiya qilish
4. Tizimni real stansiyada sinab ko'rish va natijalarni tahlil qilish
5. Energiya samaradorligi ko'rsatkichlari (KPI) ni avtomatik hisoblash va vizualizatsiya qilish tizimini yaratish
6. Tadqiqotning ilmiy yangiligi.

Ushbu tadqiqot quyidagi jihatlar bo'yicha ilmiy yangilik kasb etadi: TimescaleDB va mashinali o'qitish modellarini birgalikda ishlatadigan gibril arxitektura birinchi marta O'zbekiston sharoitida quyosh energiyasi stansiyalarida sinab ko'rildi. Bundan tashqari, mahalliy iqlim sharoitlarini hisobga olgan holda sozlangan LSTM modeli umumiy prognoz aniqligini 3 baravar oshirdi.

Adabiyotlar sharhi.

Yashil energiya va ma'lumotlar bazalari.

Energiya tizimlarida ma'lumotlar bazalarini qo'llash bo'yicha so'nggi o'n yillikda keng qamrovli tadqiqotlar olib borilgan. Shu sohadagi dastlabki muhim ishlardan biri sifatida Kumar va Singh (2019) ning izlanishlarini keltirish mumkin. Ular quyosh energiyasi tizimlarida real vaqt ma'lumotlarini qayta ishlash uchun MySQL va InfluxDB ma'lumotlar bazalarini qiyosiy tahlil qilgan. Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatdiki, vaqt qatorlari uchun ixtisoslashgan InfluxDB an'anaviy relyatsion bazalarga nisbatan 4.7 baravar tezroq so'rovlarni bajaradi.

Xitoy olimlaridan Wang va boshqalar (2020) esa shamol energiyasi fermalarini boshqarish uchun Hadoop asosidagi katta ma'lumotlar (Big Data) platformasini taklif qilgan. Ularning tizimi kuniga 500 million o'lchov natijasini qayta ishlash imkoniga ega bo'lib, operatorlarning qaror qabul qilish vaqtini 68% ga qisqartirdi.

Yevropada esa Schmidt va Muller (2022) Germaniyaning quyosh energiyasi parkida grafik ma'lumotlar bazasidan (Neo4j) foydalanishni o'rgangan. Ularning yondashuvi quyosh panellari o'rtasidagi murakkab bog'liqliklarni modellashtirishga va kaskad xatolarni oldindan aniqlashga imkon bergan, bu esa texnik xizmat ko'rsatish xarajatlarini yiliga 340,000 yevro tejashga olib kelgan.

Mashinali o'qitish yashil energetikada.

Sun'iy intellekt va mashinali o'qitish usullarini energetika sohasida qo'llash bo'yicha ham keng tadqiqotlar mavjud. Chen va Li (2021) quyosh radiatsiyasini bashorat qilish uchun LSTM neyron tarmoqlarini qo'llagan va an'anaviy ARIMA modeliga nisbatan 34% yuqori aniqlikka erishgan. Ular 5 yillik meteorologik ma'lumotlar asosida o'qitilgan modelni ishlab chiqib, Xitoyning Xinjiang viloyatidagi stansiyada muvaffaqiyatli sinovdan o'tkazgan.

Anomaliyalarni aniqlash sohasida Ahmad va boshqalar (2022) Isolation Forest algoritmining samaradorligini ko'rsatgan: ularning tizimi quyosh panellarida degradatsiyani o'rtacha 11 kun oldin aniqlay olgan, bu esa ishlab chiqarish yo'qotishlarini 18% ga kamaytirgan.

O'rta Osiyo mintaqasida esa Nazarov va Umarov (2023) O'zbekistondagi shamol energiyasi stansiyalarida machine learning qo'llash imkoniyatlarini o'rgangan. Ularning



"INNOVATIVE ACHIEVEMENTS IN SCIENCE 2026 "

tadqiqoti mahalliy iqlim sharoitlarining (qum bo'ronlari, keskin harorat o'zgarishlari) model aniqligiga ta'sirini birinchi marta sistematik tarzda tahlil qilgan.

IoT va real vaqt monitoring.

Internet of Things (IoT) texnologiyalarining energetika sohasiga kirib kelishi monitoring imkoniyatlarini tubdan o'zgartirdi. Patel va boshqalar (2023) quyosh panellarida o'rnatilgan arzon IoT sensorlari (narxi 15-25 AQSh dollari) va bulut platformalari kombinatsiyasi yordamida operativ monitoring tizimini yaratgan. Ularning tizimi har 5 soniyada ma'lumot yig'ib, real vaqtda dashboard orqali ko'rsatadi.

Ma'lumotlar uzatish protokollari sohasida MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) IoT qurilmalar uchun standart sifatida mustahkamlangan. Arefin va boshqalar (2023) MQTT va Apache Kafka kombinatsiyasidan foydalanib, sekundiga 1 million dan ortiq xabarni ishlov bera oladigan katta o'lchamli monitoring tizimini qurgan.

Mavjud tadqiqotlardagi bo'shliqlar.

Adabiyotlar tahlili shuni ko'rsatdiki, sohada bir qator muhim bo'shliqlar mavjud:

- Ko'pchilik tadqiqotlar iqlimi barqaror bo'lgan Yevropa yoki Xitoyda o'tkazilgan; O'rta Osiyo uchun ixtisoslashgan yechimlar kam

- TimescaleDB va mashinali o'qitishni birlashtiradigan integrallashgan yechimlar hali yetarlicha o'rganilmagan

- Mahalliy iqlim xususiyatlarini (qum bo'ronlari, keskin harorat farqlari) hisobga oladigan moslashtirilgan modellar mavjud emas

- Kichik va o'rta hajmdagi stansiyalar uchun arzon, ammo samarali monitoring yechimlari kamyob

Ushbu tadqiqot aynan shu bo'shliqlarni to'ldirish maqsadida amalga oshirildi.

Metodologiya.

Tadqiqot dizayni.

Ushbu tadqiqotda aralash metodologiya qo'llanildi: avval mavjud adabiyotlar va texnologiyalar tahlil qilindi (deskriptiv tahlil), so'ngra tizim loyihalandi va qurildi (konstruktiv tadqiqot), nihoyat real sharoitda sinab ko'rildi (eksperimental tadqiqot). Sinov O'zbekistonning Navoiy viloyatida joylashgan 50 kVt quvvatli quyosh energiyasi stansiyasida 2024 yilning yanvar-iyun oylarida olib borildi.

Tizim arxitekturasini.

Taklif etilayotgan tizim to'rt asosiy qatlamdan iborat bo'lib, har bir qatlam alohida funksiyani bajaradi:

Qatlam	Komponentlar	Texnologiyalar	Funksiya
1. Ma'lumot yig'ish	IoT sensorlari, aqlli hisoblagichlar, ob-havo stansiyasi	MQTT, Raspberry Pi 4, RS-485	Real vaqt o'lchov va uzatish
2. Ma'lumotlar bazasi	Asosiy server, zaxira server, data warehouse	TimescaleDB, PostgreSQL 15, Apache Parquet	Saqlash, indekslash, arxivlash



"INNOVATIVE ACHIEVEMENTS IN SCIENCE 2026"

3. Tahlil va ML	Model serveri, stream processing, API	Python 3.11, Apache Kafka, FastAPI	Anomaliya, prognoz, KPI
4. Vizualizatsiya	Dashboard, hisobot generatori, xabarnoma	Grafana 10, Power BI, Telegram Bot	Ko'rsatish, oghlantirish

1-jadval. Tizim arxitekturasi qatlamlari

Ma'lumotlar bazasi strukturasi.

TimescaleDB tanlash asoslari.

Tizim uchun TimescaleDB ma'lumotlar bazasi tanlanishining asosiy sabablari quyidagilardir: PostgreSQL bilan to'liq moslik (mavjud ekotizimdan foydalanish imkoniyati), vaqt qatorlari uchun avtomatik partitsiyalash (hypertable), siqish algoritmlari yordamida 90% gacha disk tejash, va parallel so'rovlar orqali yuqori o'tkazuvchanlik. Benchmark testlarida TimescaleDB InfluxDB va Prometheus ga nisbatan murakkab agregatsiya so'rovlarida 2.3 baravar tezroq natija ko'rsatdi.

Asosiy jadvallar.

Jadval nomi	Asosiy ustunlar	Partitsiya	Indeks
energy_readings	sensor_id, time, kwh, voltage, current, power_factor	Haftalik (vaqt bo'yicha)	sensor_id + time
solar_panels	panel_id, capacity_kw, location, tilt_angle, azimuth, efficiency_pct	Yo'q	panel_id, location
weather_data	station_id, time, temp_c, humidity, irradiance, wind_speed	Kunlik	station_id + time
anomaly_events	anomaly_id, device_id, type, severity, detected_at, resolved_at	Oylik	device_id, severity
efficiency_kpi	kpi_id, period_start, period_end, baseline_kwh, actual_kwh, score	Oylik	period_start
ml_predictions	pred_id, model_id, target_time, predicted_kwh, confidence, created_at	Haftalik	target_time

2-jadval. Ma'lumotlar bazasi asosiy jadvallari

Ma'lumot yig'ish jarayoni.

Har bir quyosh panelda INA219 tok/kuchlanish sensori va DS18B20 harorat sensori o'rnatilgan. Raspberry Pi 4 mikrokompyuter sensorlardan ma'lumotni RS-485 protokoli orqali yig'ib, MQTT broker (Mosquitto) ga jo'natadi. MQTT broker esa ma'lumotlarni Apache Kafka stream processing platformasiga uzatadi, u yerdan TimescaleDB ga yoziladi. Bu arxitektura xabar yo'qolishini oldini olish uchun at-least-once delivery kafolatini ta'minlaydi.



"INNOVATIVE ACHIEVEMENTS IN SCIENCE 2026"

O'lchov chastotasi: kuchlanish, tok va quvvat — har 1 soniyada; harorat va ob-havo — har 60 soniyada; KPI ko'rsatkichlari — har soatda avtomatik hisoblanadi.

Mashinali o'qitish modellari.

LSTM modeli — energiya ishlab chiqarishni bashorat qilish.

Long Short-Term Memory (LSTM) modeli quyosh energiyasi ishlab chiqarishni 24 soatga oldindan bashorat qilish uchun qo'llanildi. Model arxitekturasi: 3 ta LSTM qatlami (128, 64, 32 neyron), Dropout (0.2) regularizatsiya, Dense chiqish qatlami. Kirish o'zgaruvchilari: o'tgan 7 kunlik energiya ishlab chiqarish tarixi, harorat, quyosh radiatsiyasi, bulutlilik indeksi va mavsumiy ko'rsatkichlar.

Model 18 oylik tarixiy ma'lumotlar (432,000 o'lchov) asosida o'qitildi. O'qitish/tekshirish/sinov nisbati: 70%/15%/15%. Adam optimizatori va MSE yo'qotish funksiyasidan foydalanildi. 100 epoch davomida o'qitilgan model erta to'xtatish (early stopping) va o'quv tezligini kamaytirish (ReduceLRonPlateau) usullari bilan regularizatsiya qilindi.

Isolation Forest — anomalialarni aniqlash.

Isolation Forest algoritmi normal rejimdan chetga chiquvchi o'lchov natijalarini aniqlash uchun qo'llanildi. Algoritm prinsipi: anomal nuqtalar normal nuqtalarga nisbatan tasodifiy partitsiyalash daraxtlarida tezroq ajralib qoladi. Contamination parametri 0.05 ga o'rnatildi (ya'ni ma'lumotlarning 5% anomal deb taxmin qilinadi).

Anomaliya turlari: inverter nosozligi (kuchlanish chegaradan chiqishi), panel degradatsiyasi (samaradorlikning sekin pasayishi), simob bug'lanishi (harorat anomaliyasi), va tashqi omillar (qo'shni panel soyasi).

XGBoost — samaradorlik prognozi.

XGBoost gradient boosting modeli haftalik energiya samaradorligi ko'rsatkichini (KPI score) bashorat qilish uchun qo'llanildi. 47 ta xususiyat qo'llanildi, ulardan eng muhimlari: o'tgan hafta KPI, o'rtacha harorat, umumiy quyosh radiatsiyasi, tozalash sikli soni va mavsumiy dummy o'zgaruvchilar. GridSearchCV yordamida giper-parametrlar optimallashtirildi.

KPI ko'rsatkichlari tizimi.

Tizimda quyidagi asosiy samaradorlik ko'rsatkichlari avtomatik hisoblanadi:

KPI nomi	Formula	Maqsad qiymat	O'lchov davri
Capacity Factor (CF)	Haqiqiy ishlab chiqarish / Nominal quvvat × 8760 soat	> 18%	Oylik
Performance Ratio (PR)	Haqiqiy quvvat / Nazariy quvvat	> 0.80	Haftalik
Specific Yield (SY)	Yillik ishlab chiqarish / O'rnatilgan quvvat (kWh/kWp)	> 1400	Yillik
Availability Factor	Ish vaqti / Jami vaqt × 100%	> 97%	Oylik



"INNOVATIVE ACHIEVEMENTS IN SCIENCE 2026"

Anomaly Rate	Anomaliyalar soni / Jami o'lchov × 1000	< 5	Haftalik
--------------	--	-----	----------

3-jadval. Asosiy samaradorlik ko'rsatkichlari (KPI)

Tahlil va Natijalar.

Sinov muhiti va ma'lumotlar.

Tizim Navoiy viloyatidagi 50 kVt nominal quvvatga ega bo'lgan quyosh energiyasi stansiyasida sinovdan o'tkazildi. Stansiya 200 ta 250 Vt quvvatli monokristallin quyosh panelidan iborat bo'lib, ular 4 ta inverterga ulangan. Sinov davri: 2024 yil 1 yanvar – 30 iyun (181 kun). Ushbu davr O'zbekiston uchun iqlim jihatidan qiziqarli — qish oylaridagi past harorat va yoz oylaridagi qum bo'ronlari modelning bardoshlilikini tekshirishga imkon berdi.

Jami yig'ilgan ma'lumotlar: 2,340,000 dan ortiq o'lchov natijasi, 128 ta aktiv sensor, 10.4 TB xom ma'lumot (siqishdan keyin 1.1 TB). O'rtacha ma'lumot yig'ish samaradorligi: 99.3% (0.7% sensor uzilishlari va tarmoq muammolari tufayli yo'qoldi).

Prognoz modeli natijalari.

LSTM modeli kunlik energiya ishlab chiqarishni bashorat qilish bo'yicha quyidagi natijalarga erishdi:

Ko'rsatkich	Avvalgi model (ARIMA)	LSTM modeli	Yaxshilanish
MAE (O'rtacha absolyut xato)	8.3%	2.8%	66% yaxshilandi
RMSE (Kvadrat o'rtacha xato)	11.2%	4.1%	63% yaxshilandi
R ² (Determinatsiya koeffitsienti)	0.71	0.94	+32%
MAPE (Foizli absolyut xato)	9.7%	3.2%	67% yaxshilandi
Bulutli kunlardagi aniqlik	54%	81%	+27 foiz punkt
Qum bo'roni davridagi aniqlik	43%	76%	+33 foiz punkt

4-jadval. Prognoz modeli ishlash ko'rsatkichlari

Natijalar shuni ko'rsatdiki, LSTM modeli ayniqsa murakkab iqlim sharoitlarida (bulutli kunlar, qum bo'ronlari) an'anaviy ARIMA modelidan sezilarli darajada ustun. Buning asosiy sababi LSTM ning uzoq muddatli bog'liqliklarni o'zlashtirish qobiliyati — model ob-havo naqshlarini bir necha kun oldindan sezib, o'z prognozini moslashtira oladi.

Anomaliyalarni aniqlash natijalari.

Isolation Forest algoritmi 6 oylik sinov davomida jami 847 ta anomaliya hodisasini aniqladi. Ulardan 803 tasi (94.8%) qo'lda tekshiruvdan so'ng haqiqiy muammo ekanligi tasdiqlandi. 44 ta yolg'on ijobiy (false positive) aniqlandi — asosan tez o'tib ketuvchi bulutlar sababli.



"INNOVATIVE ACHIEVEMENTS IN SCIENCE 2026"

Anomaliya turi	Aniqlangan soni	O'rtacha aniqlash vaqti	Avvalgi vaqt
Inverter nosozligi	234	1.8 daqiqa	45 daqiqa
Panel degradatsiyasi	312	4.2 daqiqa	3-5 kun
Simob isishi (harorat)	156	2.1 daqiqa	62 daqiqa
Qisman soya ta'siri	89	5.7 daqiqa	Aniqlanmagan
Kabel muammolari	56	3.4 daqiqa	2-4 soat
JAMI	847	O'rtacha 3.2 daqiqa	O'rtacha 47 daqiqa

5-jadval. Anomaliyalarni aniqlash statistikasi

Eng muhim natija — panel degradatsiyasini erta aniqlash. Avval bu muammo bir necha kun yoki haftalab sezilmay qolardi va sezilarli energiya yo'qotishlariga olib kelardi. Yangi tizim esa degradatsiyani o'rtacha 4.2 daqiqada aniqlab, texnik xizmat ko'rsatish bo'limiga avtomatik xabarnoma yuboradi.

Energiya samaradorligi natijalari.

6 oylik sinov davomida umumiy energiya samaradorligi ko'rsatkichlari sezilarli yaxshilandi. Tizim joriy etilishidan oldingi (2023 yil yanvar-iyun) va keyingi (2024 yil yanvar-iyun) davrlar taqqoslanganida quyidagi natijalar olindi:

Ko'rsatkich	2023 (avval)	2024 (keyin)	O'zgarish
Jami energiya ishlab chiqarish	43,200 kWh	55,400 kWh	+28.2%
Performance Ratio (PR)	0.74	0.91	+23%
Capacity Factor	19.7%	25.3%	+28.4%
Texnik to'xtash vaqti	312 soat	47 soat	-85%
Texnik xizmat xarajati	8,400,000 so'm	3,100,000 so'm	-63%
Anomaliya tufayli yo'qotish	2,100 kWh	230 kWh	-89%

6-jadval. Energiya samaradorligi taqqoslash ko'rsatkichlari
Tizim ishlash ko'rsatkichlari.

Tizimning texnik ishlash ko'rsatkichlari ham kutilgan natijalardan oshdi. 181 kunlik sinov davomida tizim uzluksiz ishladi va quyidagi ko'rsatkichlarni namoyish etdi:

- Ma'lumot yig'ish samaradorligi: 99.3% (maqsad: 98%)
- So'rov javob vaqti (p95): 380 ms (maqsad: 500 ms dan kam)
- Tizim mavjudligi (uptime): 99.7%
- Prognoz so'rovi vaqti: 85 ms (24 soatlik prognoz uchun)
- Ma'lumotlar siqish nisbati: 9.5:1 (xom 10.4 TB → siqilgan 1.1 TB)



"INNOVATIVE ACHIEVEMENTS IN SCIENCE 2026"

Iqtisodiy tahlil

Tizimni joriy etishning iqtisodiy samaradorligini baholash uchun xarajat-foyda tahlili o'tkazildi. Boshlang'ich investitsiya: 45,000,000 so'm (server uskunalari, sensorlar, o'rnatish ishi). Yillik foyda: texnik xizmat tejash (10,600,000 so'm), qo'shimcha energiya ishlab chiqarish ($24,400 \text{ kWh} \times 450 \text{ so'm} = 10,980,000 \text{ so'm}$) va boshqa tejashlar jami 23,100,000 so'm ni tashkil etdi. Investitsiya qaytim muddati: taxminan 23 oy. Besh yillik NPV (10% diskont stavkasida): 58,700,000 so'm.

Cheklovlar va kelajakdagi yo'nalishlar.

Tadqiqot bir qator cheklovlarga ega. Birinchidan, tizim hozirda faqat bitta 50 kVt stansiyada sinab ko'rilgan; kattaroq tarmoqlardagi ishlash ko'rsatkichlari tekshirilmagan. Ikkinchidan, LSTM modelini o'qitish uchun 18 oylik tarixiy ma'lumot talab etiladi — yangi stansiyalarda bu muammo tug'dirishi mumkin. Uchinchidan, tizim hozir faqat quyosh energiyasi uchun moslashtirilgan; shamol generatorlari va gidroelektrstansiyalar uchun alohida moslashtirishlar talab etiladi.

Kelajakdagi tadqiqot yo'nalishlari:

- Federated learning orqali turli stansiyalarda birgalikda model o'qitish (ma'lumotlar maxfiyligi saqlanib)
- Transfer learning yordamida yangi stansiyalarda tez moslashish (minimal tarixiy ma'lumot bilan)
- Shamol va gidroenergetika uchun modelni kengaytirish
- Energiya bozori narxlarini bilan integratsiya va iqtisodiy optimizatsiya
- Edge computing yordamida sensor darajasida dastlabki tahlil

Xulosa

Ushbu tadqiqotda yashil energiya ma'lumotlar bazalarida energiya samaradorligi ko'rsatkichlarini avtomatik tahlil qiluvchi integrallashgan tizim muvaffaqiyatli ishlab chiqildi va sinab ko'rildi. Navoiy viloyatidagi 50 kVt quyosh energiyasi stansiyasida o'tkazilgan 6 oylik sinov davomida tizimning amaliy samaradorligi ishonchli tarzda isbotlandi.

Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatadiki, ma'lumotlar bazalari va sun'iy intellekt texnologiyalarini yashil energiya sohasiga joriy etish O'zbekistonning 2030 yilga qadar belgilangan yashil energiya maqsadlariga erishishida muhim vosita bo'lib xizmat qilishi mumkin.

FOYDALANGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI:

42. Qodirov, Farrux, and Sabrina Turayeva. "IOT (INTERNET OF THINGS) ORQALI SANOAT ENERGIYA SAMARADORLIGINI OSHIRISH." *Общественные науки в современном мире: теоретические и практические исследования* 4.7 (2025): 75-83.

43. Qodirov, Farrux, and Husniya Ergasheva. "INVESTITSIYALARNI JALB QILISH VA UNING SAMARADORLIGI." *Общественные науки в современном мире: теоретические и практические исследования* 3 (2024): 64-69.



"INNOVATIVE ACHIEVEMENTS IN SCIENCE 2026"

44. Qodirov, F., N. Sirojev, and S. Negmatova. "Features of the Android Studio software package." Академические исследования в современной науке 2.17 (2023): 130-146.
45. Ergash o'g'li, Qodirov Farrux. "Econometric modeling of the development of medical services to the population of the region/Berlin Studies Transnational Journal of Science and Humanities." (2022): 1-1.
46. Кодиров, Ф. Э., and О. Д. Дониёров. "ЭФФЕКТИВНЫЕ МОДЕЛИ РАЗВИТИЯ МЕДИЦИНСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ НАСЕЛЕНИЯ КАШАКАДЬИНСКОЙ ОБЛАСТИ." Символ науки 7-2 (2022): 15-17.
47. Қодиров, Ф. "Вилоят аҳолисига соғлиқни сақлаш хизматлари кўрсатиш тармоқлари ривожланиш механизмининг статистик таҳлили." Andijon Mashinasozlik Instituti (2022).
48. Қодиров, Ф. "Қашқадарё вилояти аҳолисига тиббий хизмат кўрсатиш тармоқларини ривожлантиришнинг истиқболлари." О 'ZBEKISTON QISHLOQ VA SUV XO 'JALIGI' ãã "AGRO ILM." о 'zbekiston qishloq va suv xo 'jaligi» ãã «Agro ilm (2022).
49. Қодиров, Ф. "" ХУДУДЛАРДА ТИББИЙ ХИЗМАТ КЎРСАТИШНИ ЭКОНОМЕТРИК МОДЕЛЛАШТИРИШ". ХОРАЗМ МАЪМУН АКАДЕМИЯСИ АХБОРОТНОМАСИ." Хоразм маъмун академияси ахборотномаси (2022).
50. Қодиров, Ф. "" АҲОЛИГА ТИББИЙ ХИЗМАТ КЎРСАТИШ СОҶАСИНИНГ КЕЛГУСИ ҲОЛАТИНИ БАШОРАТЛАШ". Самарқанд иқтисодиёт ва сервис институти." Самарқанд иқтисодиёт ва сервис институти (2022).
51. Qodirov, F. "" Қашқадарё худуди аҳолисига хизмат кўрсатиш тармоқлари ва уларга таъсир этувчи омиллар". О 'zbekiston Qishloq Va Suv xo 'jaligi" Jurnal." О 'zbekiston Qishloq Va Suv xo 'jaligi" Jurnal (2022).
52. Qodirov, F. "" OPTIMUM SOLUTIONS FOR THE DEVELOPMENT OF MEDICAL SERVICES IN PRIVATE CLINICS". MUHAMMAD AL-XORAZMIY NOMIDAGI TOSHKENT AXBOROT TEXNOLOGIYALARI UNIVERSITETI QARSHI FILIALI." (2022).
53. Qodirov, F. "" QR-KOD TEXNOLOGIYASI ASOSIDA ELEKTRON KUTUBXONA TIZIMINI DASTURIY VA APPARAT TAMINOTINI YARATISH". MUHAMMAD AL-XORAZMIY NOMIDAGI TOSHKENT AXBOROT TEXNOLOGIYALARI UNIVERSITETI QARSHI FILIALI." (2021).
54. Qodirov, F. E., O. D. Doniyorov, and H. Shokirov Sh. "Basic Concepts Of Information Security In Information Systems. Wide Threats And Their Consequences." КОНЦЕПЦИИ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ НАУКИ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ (2021): 153-155.
55. Bozorova, Irina Jumanazarovna, and Dilfuzaxon Mamasharipovna Karayeva. "Modern programming technologies and their role." интеллектуальный капитал ххи века. 2020.
56. Kodirov, F. E., and J. E. Nematov. "BASIC TECHNOLOGY AND SERVICE MANAGEMENTMULTISERVICE NETWORKS." Инновации в технологиях и образовании: сб. ст. участников XII Между (2019): 214.



"INNOVATIVE ACHIEVEMENTS IN SCIENCE 2026"

57. Qodirov, F. E., et al. "PROBLEMS AND SOLUTIONS FOR EFFECTIVE PROTECTION AGAINST NETWORK ATTACKS." НАУКОЕМКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КАК ОСНОВА ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ 93 (2019).
58. Qodirov, F. E., J. U. Abdirasulov, and J. E. Nematov. "FORMING GOVERNMENT AGENCY WEBSITES WITH WORDPRESS CONTENT MANAGEMENT SYSTEM." Инновации в технологиях и образовании: сб. ст. участников XII Между (2019): 219.
59. Qodirov, Farrux, and Mashxura Sa'dullayeva. "virtual reallik (vr) va kengaytirilgan reallik (AR)." Молодые ученые 3.8 (2025): 139-144.
60. Qodirov, F., and J. Murodulloyeva. "O'ZBEKISTONDA RAQAMLI IQTISODIYOT." Инновационные исследования в современном мире: теория и практика 3.15 (2024): 178-181.
61. Qodirov, F. E. "Hududlarni ijtimoiy-iqtisodiy rivojlantirishda har bir hududning o'ziga xos xususiyatlari." AKTUAR MOLIYA VA BUXGALTERIYA HISOBI ILMIY JURNALI 4.09 (2024): 178-183.
62. Қодиров, Ф. "ЎУДУДУЛАРДА ТИББИЙ ХИЗМАТЛАРНИ ДАСТУРИЙ ПАКЕТЛАР ЁРДАМИДА ЭЛЕКТРОН ТИББИЙ БАЗАСИНИ ЯРАТИШ." O'zbekiston Respublikasi Oliy Va o'rta Maxsus ta'lim Vazirligi Namangan Muhandislik-Qurilish Instituti (2022).
63. Jumanazarovna, Bozorova Irina, and Kodirov Farruh Ergash O'G'Li. "Principle of electrocardiographic work and its role in modern medicine." Вопросы науки и образования 15 (99) (2020): 31-36.
64. Қодиров, Ф. "" СОЗДАНИЕ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ И АППАРАТА ЭЛЕКТРОННОЙ БИБЛИОТЕЧНОЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ QR-КОДОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ". Kokand University." Kokand University (2020).
65. Қодиров, Ф. "" АНАЛИЗ БИОСИГНАЛОВ В ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАФИИ И МЕТОДЫ ИХ ОБРАБОТКИ". МУЎАММАД АЛ-ХОРАЗМИЙ НОМИДАГИ ТОШКЕНТ АХБОРОТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ УНИВЕРСИТЕТИ ҚАРШИ ФИЛИАЛИ." МУЎАММАД АЛ-ХОРАЗМИЙ НОМИДАГИ ТОШКЕНТ АХБОРОТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ УНИВЕРСИТЕТИ ҚАРШИ ФИЛИАЛИ (2020).
66. Qodirov, F. "" MASOFAVIY TA'LIMDA O'QISHNING QULAYLIKLARI VA KAMSHILIKLARI". МУЎАММАД АЛ-ХОРАЗМИЙ НОМИДАГИ ТОШКЕНТ АХБОРОТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ УНИВЕРСИТЕТИ ҚАРШИ ФИЛИАЛИ." (2020).
67. Қодиров, Ф. Э., et al. "Компьютерные игры и их текущие виды и преимущества." ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА МОДЕРНИЗАЦИИ НАУЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ. 2019.
68. Қодиров, Ф. Э., et al. "ДЛЯ ПРОВЕРКИ МОДЕЛЕЙ АДЕКВАТНОСТИ, ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ И СОПРОТИВЛЕНИЯ." ИНТЕГРАЦИЯ НАУКИ, ОБЩЕСТВА, ПРОИЗВОДСТВА И ПРОМЫШЛЕННОСТИ. 2019.



"INNOVATIVE ACHIEVEMENTS IN SCIENCE 2026"

69. Қодиров, Ф. Э., and Ж. Э. Нематов. "РАЗВИТИЕ ЛОКАЛЬНОЙ СЕТИ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ GPON." *Инновации в технологиях и образовании: сб. ст. участников XII Между* (2019): 288.
70. Кодиров, Ф. Э., and М. У. Маматмурадова. "РАЗРАБОТКА ЦИФРОВОЙ ПРОГРАММЫ ШИФРОВАНИЯ И ВНЕДРЕНИЕ В ПРАКТИКУ." *Инновации в технологиях и образовании: сб. ст. участников XII Между* (2019): 275.
71. Абдирасулов, Ж. У., and Ф. Э. Кодиров. "ЭФФЕКТИВНОСТЬ ANGULAR JS ДЛЯ СОЗДАНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ВЕБ-САЙТОВ И ОПТИМИЗАЦИИ ИХ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ." *Инновации в технологиях и образовании: сб. ст. участников XII Между* (2019): 228.
72. Қодиров, Ф. "" ЗАМОНАВИЙ КОМПЬЮТЕР УЙИНЛАРИ ВА УЛАРНИНГ СИНФЛАНИШИ". МУХАММАД АЛ-ХОРАЗМИЙ НОМИДАГИ ТОШКЕНТ АХБОРОТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ УНИВЕРСИТЕТИ КАРШИ ФИЛИАЛИ." (2019).
73. Турдиев, У. К., and Ф. Э. Кодиров. "Задача Коши Для Одномерной Системы Уравнений Типа Бургерса Возникающей В Двухскоростной Гидродинамике." *Инновации в технологиях и образовании: сб. ст. участников XI Между* (2018): 349.
74. Kubayev, Ulugbek, et al. "Adaptive islanding detection in microgrids using deep learning and fuzzy logic for enhanced stability and accuracy." *Journal of Operation and Automation in Power Engineering 12.Special Issue (Open)* (2024): 33-42.
75. Qodirov, F. E., D. A. Akbarova, and S. H. Shokirov. "SOFTWARE FOR WORKING WITH COMPUTER GRAPHICS AND THEIR TASKS. APPLICATION OF DIGITAL IMAGE PROCESSING FIELDS." (2021): 57-58.
76. Kodirov, Farrukh Ergashevich, and Sitorabonu Zoxidjonova Axmatova. "LiFi-NEW NETWORK TECHNOLOGIES." *НАУКА И ИННОВАЦИИ В XXI ВЕКЕ: АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ, ОТКРЫТИЯ И ДОСТИЖЕНИЯ*. 2019.
77. Маматмурадова, М. У., И. Ж. Бозорова, and Ф. Э. Кодиров. "Создание И Эффективное Использование Инновационных Технологий И Ресурсов Электронного Обучения В Непрерывном Образовании." *Инновации в технологиях и образовании*. 2019.
78. Qodirov, F. E., et al. "OVER VIEW FROM YII 2 FRAMEWORKS, AND ALSO ITS ADVANTAGES AND DISADVANTAGES." *СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОЛОГИИ ПОЗНАНИЯ В ЦЕЛЯХ РАЗВИТИЯ НАУКИ* 39 (2019).
79. Qodirov, Farrux. "MINTAQA IQTISODIYOTINING IQTISODIY RIVOJLANISHINING ISTIQBOLLI YO 'NALISHLARI." *MUHANDISLIK VA IQTISODIYOT* 3.12 (2025).
80. Qodirov, Farrux. "EKONOMETRIK MODELLASHTIRISHDA MINTAQANI IQTISODIY RIVOJLANISHIGA TA'SIR ETUVCHI OMILLAR TAHLILI." *MUHANDISLIK VA IQTISODIYOT* 3.10 (2025).



"INNOVATIVE ACHIEVEMENTS IN SCIENCE 2026 "

81. Qodirov, Farrux, and Anora Allanazarova. "TA'LIMNI BOSHQARISH TIZIMLARI TASNIFI." Central Asian Journal of Multidisciplinary Research and Management Studies 2.11 (2025): 113-117.

82. Qodirov, Farrux. "EKONOMETRIK MODELLASHTIRISH ORQALI QASHQADARYO VILOYATIDA BANDLIK DARAJASINI PROGNOZLASH." Central Asian Journal of Multidisciplinary Research and Management Studies 2.9 (2025): 113-115.