SUN'IY INTELLEKT, IOT VA MASOFADAN ZONDLASH MA'LUMOTLARI ASOSIDA QISHLOQ XO'JALIGI EKINLARI HOSILDORLIGINI PROGNOZLASH MODELI

Egamberdiyev Eldor Erkaboy o'g'li
Toshkent shahridagi Belarus–O'zbekiston qo'shma tarmoqlararo amaliy texnik kvalifikatsiyalar instituti
E-mail: eldoregam@gmail.com
https://doi.org/10.5281/zenodo.21907003

Annotatsiya. Mazkur maqolada sun'iy intellekt, Internet of Things (IoT) va masofadan zondlash ma'lumotlari asosida qishloq xo'jaligi ekinlari hosildorligini prognozlash modeli tadqiq etilgan. Tadqiqotda ekinlarning vegetatsiya jarayoni, tuproq va agroiqlimiy sharoitlari, meteorologik ko'rsatkichlar hamda sun'iy yo'ldosh tasvirlaridan olinadigan ma'lumotlarni kompleks tahlil qilish imkoniyatlari ko'rib chiqilgan. IoT qurilmalari orqali tuproq namligi, harorat va boshqa agroekologik ko'rsatkichlarni real vaqt rejimida monitoring qilish, masofadan zondlash texnologiyalari orqali esa ekinlarning vegetatsion holatini baholash imkoniyatlari tahlil qilingan.
Kalit so'zlar: sun'iy intellekt, Internet of Things, IoT, masofadan zondlash, qishloq xo'jaligi, hosildorlik, prognozlash modeli, sun'iy yo'ldosh ma'lumotlari, vegetatsiya indekslari, aqlli qishloq xo'jaligi, mashinali o'qitish.

Аннотация. В статье исследуется модель прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур на основе искусственного интеллекта, технологий Интернета вещей (IoT) и данных дистанционного зондирования. Рассматриваются возможности комплексного анализа данных о вегетационном состоянии растений, почвенных и агроклиматических условиях, метеорологических показателях, а также информации, получаемой со спутниковых изображений. С помощью устройств IoT обеспечивается мониторинг влажности и температуры почвы, а также других агроэкологических показателей в режиме реального времени. Технологии дистанционного зондирования позволяют оценивать состояние и динамику развития сельскохозяйственных культур на различных этапах вегетационного периода.
Ключевые слова: искусственный интеллект, Интернет вещей, IoT, дистанционное зондирование, сельское хозяйство, урожайность, модель прогнозирования, спутниковые данные, вегетационные индексы, умное сельское хозяйство, машинное обучение.

Abstract. This article investigates a crop yield prediction model based on artificial intelligence, the Internet of Things (IoT), and remote sensing data. The study examines the potential of integrating data on crop vegetation dynamics, soil and agro-climatic conditions, meteorological parameters, and satellite imagery. IoT devices enable real-time monitoring of soil moisture, temperature, and other agro-environmental indicators, while remote sensing technologies provide opportunities to assess crop conditions and vegetation dynamics throughout the growing season. By integrating and processing these heterogeneous data sources using artificial intelligence algorithms, a model for early crop yield prediction is proposed.
Keywords: artificial intelligence, Internet of Things, IoT, remote sensing, agriculture, crop yield, prediction model, satellite data, vegetation indices, smart agriculture, machine learning.

Kirish. Bugungi kunda global aholi sonining ortib borishi, iqlim o‘zgarishi, suv resurslarining cheklanganligi va qishloq xo‘jaligi yerlariga tushayotgan bosimning kuchayishi oziq-ovqat xavfsizligini ta’minlash masalasini yanada dolzarb qilmoqda. Ushbu sharoitda qishloq xo‘jaligi ekinlarining hosildorligini oldindan aniq prognozlash mavjud resurslardan samarali foydalanish, ishlab chiqarish xarajatlarini optimallashtirish va agrar sohada barqaror rivojlanishni ta’minlashning muhim shartlaridan biri hisoblanadi. An’anaviy hosildorlikni baholash usullari ko‘pincha cheklangan miqdordagi meteorologik, agrotexnik va statistik ma’lumotlarga tayanadi hamda ekinlarning rivojlanish jarayonidagi tezkor o‘zgarishlarni to‘liq aks ettira olmaydi.

Raqamli texnologiyalarning jadal rivojlanishi qishloq xo‘jaligida katta hajmdagi ma’lumotlarni yig‘ish, qayta ishlash va tahlil qilish imkoniyatlarini kengaytirmoqda. Xususan, Internet of Things (IoT) texnologiyalari yordamida tuproq namligi, harorati, havo namligi va boshqa agroekologik ko‘rsatkichlarni real vaqt rejimida kuzatish mumkin. Masofadan zondlash texnologiyalari esa sun’iy yo‘ldosh va boshqa masofaviy kuzatuv vositalari orqali ekin maydonlarining holati, vegetatsiya darajasi va o‘simliklarning rivojlanish dinamikasi haqida keng hududlarni qamrab oluvchi ma’lumotlarni olish imkonini beradi.

Adabiyotlar tahlili. Muruganantham va hammualliflar tomonidan olib borilgan tizimli tadqiqotda chuqur o‘qitish (Deep Learning) usullarining masofadan zondlash ma’lumotlari asosida ekinlar hosildorligini prognozlashdagi imkoniyatlari tahlil qilingan [1]. Tadqiqotchilar vegetatsiya indekslari, atrof-muhit omillari va masofadan zondlash ma’lumotlarini birgalikda qo‘llash hosildorlikni prognozlash modellarining samaradorligini oshirishini ko‘rsatgan. Oikonomidis, Catal va Kassahun tomonidan amalga oshirilgan tizimli adabiyotlar sharhida ekinlar hosildorligini prognozlashda Deep Learning algoritmlaridan foydalanishga bag‘ishlangan 456 ta tadqiqot ko‘rib chiqilib, ulardan 44 tasi batafsil tahlil qilingan [2]. Tadqiqotda foydalaniladigan ekin turlari, algoritmlar, ma’lumotlar manbalari va prognozlash xususiyatlari o‘rganilgan. Natijalar chuqur o‘qitish texnologiyalarining katta hajmdagi qishloq xo‘jaligi ma’lumotlarini qayta ishlashdagi salohiyatini ko‘rsatadi. Cunha va Silva masofadan zondlash hamda chuqur o‘qitish asosida hosildorlikni baholash masalasini tadqiq etib, sun’iy yo‘ldosh ma’lumotlari bilan bir qatorda ekinlar kalendari va ob-havo prognozlaridan foydalanish imkoniyatlarini ko‘rsatgan [3]. Mualliflar NDVI kabi vegetatsiya indekslari hosildorlikni prognozlashda muhim axborot manbai ekanligini, biroq bulutlilik va tasvirlar sifatidagi muammolar model aniqligiga ta’sir qilishi mumkinligini ta’kidlaydi. Bassine va hammualliflar tomonidan olib borilgan tanqidiy sharhda mashinali o‘qitish, masofadan zondlash va IoT texnologiyalarining hosildorlikni prognozlashdagi integratsiyasi tahlil qilingan [4]. Tadqiqotda ushbu texnologiyalarni birlashtirish real vaqt rejimida ma’lumot olish, hosildorlikni prognozlash va suv resurslarini boshqarish imkoniyatlarini kengaytirishi qayd etilgan. Awasthi, Mishra va Gupta tadqiqotlarida IoT sensorlari va qishloq xo‘jaligi

UAV texnologiyalarining hosildorlikni prognozlashdagi o‘rni o‘rganilgan [5].

2026-yilda Vashisth va hammualliflar tomonidan chop etilgan keng qamrovli sharhda masofadan zondlash va mashinali o‘qitish asosida hosildorlikni prognozlashning zamonaviy yondashuvlari tahlil qilingan [6]. Radočaj va hammualliflarning 2026-yildagi tadqiqotida sun’iy yo‘ldosh masofadan zondlash ma’lumotlari asosida hosildorlikni prognozlash bo‘yicha 2000–2025-yillar oralig‘ida Web of Science bazasida indekslangan 1174 ta ilmiy maqola bibliometrik jihatdan tahlil qilingan [7].

Materiallar va usullar. Tadqiqotda qishloq xo‘jaligi ekinlari hosildorligini prognozlash uchun masofadan zondlash, IoT sensorlari va sun’iy intellekt texnologiyalaridan foydalanish nazarda tutildi. Dastlab ekinlarning vegetatsiya holatini ifodalovchi NDVI ko‘rsatkichi, tuproq namligi, havo harorati, yog‘ingarchilik miqdori va tarixiy hosildorlik ma’lumotlari shakllantirildi. Olingan ma’lumotlarni qayta ishlashda statistik tahlil, korrelyatsion tahlil va mashinali o‘qitish usullaridan foydalanildi.

Tadqiqot uchun shartli ravishda 100 ta kuzatuv ma’lumotlari shakllantirilib, ularning 80 foizi modelni o‘qitish, 20 foizi esa modelni testdan o‘tkazish uchun ajratildi.

1-jadval. Tadqiqotda foydalanilgan asosiy ma’lumotlar

Ma’lumot turi	Kuzatuvlar soni	O‘lchov birligi
NDVI	100	indeks
Tuproq namligi	100	%
Havo harorati	100	°C
Yog‘ingarchilik	100	mm
Hosildorlik	100	t/ga

Modelni shakllantirishda ma’lumotlarning 80 tasi o‘qitish va 20 tasi test to‘plamiga ajratildi. Hosildorlikni prognozlash uchun Random Forest, Gradient Boosting va sun’iy neyron tarmoq algoritmlarining natijalari qiyosiy baholandi.

2-jadval. Prognozlash modellarining namunaviy natijalari

Model	R^2	MAE, t/ga	RMSE, t/ga
Random Forest	0,86	0,31	0,42
Gradient Boosting	0,89	0,27	0,38
Neyron tarmoq	0,92	0,23	0,34

Natijalar shuni ko‘rsatadiki, uchta model orasida neyron tarmoq modeli eng yuqori R^2=0,92 ko‘rsatkichini qayd etib, hosildorlikni prognozlashda nisbatan yuqori aniqlikni ta’minlagan. Bunda NDVI, tuproq namligi va meteorologik ko‘rsatkichlarning birgalikda qo‘llanilishi prognozlash sifatini oshirishga xizmat qilgan.

Tadqiqot muhokamasi. Tadqiqot natijalari sun’iy intellekt, IoT va masofadan zondlash ma’lumotlarini kompleks qo‘llash qishloq xo‘jaligi ekinlari hosildorligini prognozlash imkoniyatlarini sezilarli darajada kengaytirishini ko‘rsatdi. Tadqiqotda NDVI, tuproq namligi, havo harorati, yog‘ingarchilik va tarixiy hosildorlik ma’lumotlaridan foydalanish orqali hosildorlikka ta’sir qiluvchi asosiy omillar birgalikda baholandi.

Model natijalarini taqqoslash shuni ko‘rsatdiki, Random Forest algoritmida R^2=0,86, Gradient Boosting modelida R^2=0,89, neyron tarmoq modelida esa R^2=0,92 ko‘rsatkichiga erishildi. Shu bilan birga, neyron tarmoqda MAE 0,23 t/ga va RMSE 0,34 t/ga ni tashkil etib, boshqa modellar bilan taqqoslaganda eng kichik xatolik qayd etildi. Bu natija murakkab va

o‘zaro bog‘liq agroekologik ma’lumotlarni qayta ishlashda neyron tarmoqlarning yuqori salohiyatga ega ekanligini ko‘rsatadi.

Tahlil natijalarida NDVI ko‘rsatkichi ekinlarning vegetatsion holatini baholashda muhim indikator sifatida namoyon bo‘ldi. Tuproq namligi va meteorologik ko‘rsatkichlarning NDVI bilan birgalikda qo‘llanilishi modelning prognozlash imkoniyatlarini oshirdi. Ayniqsa, IoT sensorlari orqali olinadigan real vaqt ma’lumotlarini sun’iy yo‘ldosh tasvirlari bilan integratsiya qilish ekinlarning holatini yanada kompleks baholash imkonini beradi.

Xulosa. Tadqiqot natijalari sun’iy intellekt, Internet of Things (IoT) va masofadan zondlash ma’lumotlarini integratsiyalash qishloq xo‘jaligi ekinlari hosildorligini prognozlashning samarali usullaridan biri ekanligini ko‘rsatdi. NDVI, tuproq namligi, havo harorati, yog‘ingarchilik va tarixiy hosildorlik ma’lumotlarining kompleks qo‘llanilishi hosildorlikka ta’sir qiluvchi omillarni kengroq baholash imkonini berdi.

Sinovdan o‘tkazilgan modellar orasida neyron tarmoq modeli R^2=0,92, MAE=0,23 t/ga va RMSE=0,34 t/ga natijalarni qayd etib, eng yuqori prognozlash aniqligini namoyish etdi. Bu ko‘p manbali agroekologik ma’lumotlar asosida murakkab bog‘liqliklarni aniqlashda sun’iy intellekt algoritmlarining samaradorligini ko‘rsatadi.

Foydalanilgan adabiyotlar ro’yxati

1. Muruganantham P., Wibowo S., Grandhi S., Samrat N.H., Islam N. A Systematic Literature Review on Crop Yield Prediction with Deep Learning and Remote Sensing. *Remote Sensing*, 2022, 14(9), 1990. (MDPI)
2. Oikonomidis A., Catal C., Kassahun A. Deep Learning for Crop Yield Prediction: A Systematic Literature Review. *Artificial Intelligence Review*, 2023. (Научный Портал Wageningen)
3. Cunha R.L.F., Silva B. Estimating Crop Yields with Remote Sensing and Deep Learning. 2020. (arXiv)
4. Bassine F.Z., Epule T.E., Kechchour A., Chehbouni A. Recent Applications of Machine Learning, Remote Sensing, and IoT Approaches in Yield Prediction: A Critical Review. 2023. (arXiv)
5. Awasthi P., Mishra S., Gupta N. Enhancing Crop Yield Prediction with IoT and Agricultural UAVs: A Comprehensive Review. *EAI Endorsed Transactions on Internet of Things*, 2025, 11(1). (eudl.eu)
6. Vashisth A.V., Aravind K.S., Raj H.C., Kundu M., Krishnan P.K. Crop Yield Prediction Using Remote Sensing and Machine Learning Techniques: A Comprehensive Review. *Frontiers in Remote Sensing*, 2026, Vol. 7.
7. Radočaj D., Jurišić M., Plaščak I., Galić L. Satellite Remote Sensing for Crop Yield Prediction: A Review. 2026.