MULTIMODAL MA'LUMOTLAR ASOSIDA EKIN KASALLIKLARINI ERTA ANIQLASHNING INTELLEKTUAL ALGORITMLARI TAHLILI VA KONTSEPTUAL YONDASHUVI

[1]Nazarov F.M, [2]Sindarov O.M

[1]Sharof Rashidov nomidagi Samarqand davlat universiteti, DSc, dotsent

[2]Sharof Rashidov nomidagi Samarqand davlat universiteti magistri

Annotatsiya: Maqolada ekin kasalliklarini erta aniqlashga qaratilgan zamonaviy sun'iy intellekt yondashuvlari, xususan multimodal (tasviriy, spektral, sensor, meteorologik) ma'lumotlarga asoslangan usullar tahlil qilingan. Bir modalli modellarning cheklovlari ko'rsatilib, ma'lumotlarni birlashtirish (fusion) orqali aniqlik va barqarorlikni oshirish yo'llari tizimlashtirilgan. Maqola so'ngida tasviriy va sensor ma'lumotlarni birgalikda qayta ishlovchi kontseptual arxitektura, unga mos matematik ifoda, ma'lumotlar to'plami tuzilishi va baholash mezonlari taklif etilgan.

Kalit so'zlar: *sun'iy intellekt, chuqur o'rganish, multimodal ma'lumotlar, ekin kasalliklari, erta diagnostika, aniq dehqonchilik, ma'lumotlarni birlashtirish.*

Abstract: This article analyzes modern artificial intelligence approaches to the early detection of crop diseases, focusing on methods based on multimodal data — image, spectral, sensor, and meteorological. The limitations of unimodal deep learning models are outlined, and fusion-based approaches that combine heterogeneous sources to improve accuracy and robustness are systematized. A conceptual architecture for joint image–sensor processing is proposed, together with its mathematical formulation, dataset structure, and evaluation criteria.

Keywords: *artificial intelligence, deep learning, multimodal data, crop diseases, early diagnosis, precision agriculture, data fusion.*

I. Kirish

Ekin kasalliklari oziq-ovqat xavfsizligiga tahdid soluvchi eng jiddiy omillardan biridir. Kasallik erta aniqlanmasa, uning tarqalishi kengayadi, hosildorlik

pasayadi, kimyoviy vositalar asossiz ko‘p ishlatiladi. Dala mutaxassislarining vizual kuzatuviga asoslangan an’anaviy tashxis vaqt talab qiladi va subyektiv xatolarga moyil. Chuqur o‘rganish algoritmlari bu jarayonni avtomatlashtirdi, biroq ko‘pchilik mavjud yechimlar faqat barg tasviriga tayanadi, shu sababli yorug‘lik, fon va kasallikning boshlang‘ich bosqichi kabi omillar ta’sirida aniqlik pasayadi.

Shu bilan bir qatorda IoT sensorlari harorat, namlik, tuproq holati kabi ko‘rsatkichlarni real vaqtda yig‘ish imkonini bermoqda — bu o‘simlik holatiga bilvosita ta’sir qiluvchi muhim omillar, biroq ular hozircha tasviriy tahlildan alohida qo‘llaniladi. Shu sababli tasvir va sensor ma’lumotlarini yagona tizimda birlashtiruvchi multimodal yondashuv yangi ilmiy yo‘nalish sifatida shakllanmoqda. Maqolaning maqsadi ushbu yo‘nalishdagi tadqiqotlarni tahlil qilish va shu asosda kontseptual yechim taklif etishdan iborat: II bo‘limda adabiyotlar tahlili, III bo‘limda taklif etilayotgan metodologiya, IV bo‘limda amaliy qiyinchiliklar ko‘rib chiqiladi.

II. Mavzuga oid adabiyotlar tahlili

2.1. Bir modalli (faqat tasviriy) usullar

Ekin kasalliklarini aniqlashning eng keng tarqalgan yo‘li — konvolyutsion neyron tarmoqlar (CNN) yordamida barg tasvirini tasniflash. Bunday modellar nazorat ostidagi sharoitda yuqori aniqlikka erishadi [1; 7], biroq real dala sharoitida — yorug‘lik, fon, kamera burchagi o‘zgarganda — aniqligi keskin pasayadi, chunki faqat vizual belgiga tayanadi va kasallikning tashqi ko‘rinishga hali ta’sir qilmagan bosqichini payqamaydi [3]. Yangi ekin navi yoki hududga moslasha olmasligi (generalizatsiya muammosi) ham asosiy kamchilik sifatida qayd etiladi [3; 7].

2.2. Multimodal birlashtirishga asoslangan usullar

So‘nggi tadqiqotlar tasvir va sensor ma’lumotlarini birlashtirishga qaratilgan. Gibrid modellar bir modalli yondashuvlarga nisbatan yuqori barqarorlik ko‘rsatadi [2; 4]. Birlashtirish chuqurligi (early, late, intermediate) qiyoslanganda, intermediate fusion odatda eng yuqori aniqlikni beradi [4]. Kasallikni aniqlash, davolashni

tavsiya etish va narxni bashorat qilishni birlashtirgan gibrid freymvorklar ham taklif etilgan — bu fermer uchun yaxlit yechim yaratadi [5].

2.3. Asos modellari va edge-hisoblash

Aniq dehqonchilikda oldindan o‘qitilgan asos modellari (foundation models) multimodal chuqur o‘rganish bilan birga istiqbolli yo‘nalish sanaladi [4; 6]: kam belgilangan ma’lumot bilan ham yuqori umumlashtirish beradi, biroq hisoblash talabi yuqori bo‘lgani uchun edge-qurilmalarda qo‘llash murakkablashadi [6]. So‘nggi sharhlarda diagnostika tizimi nafaqat aniqlik, balki tezlik va energiya sarfi bo‘yicha ham baholanishi kerakligi ta’kidlanadi [7]. Ko‘rib chiqilgan ishlarning qisqacha taqqoslamasi 1-jadvalda keltirilgan.

1-jadval. Ko‘rib chiqilgan yondashuvlarning qiyosiy tahlili

№	Yondashuv turi	Ma'lumot turi	Asosiy afzalligi	Asosiy cheklovi
1	CNN asosidagi tasvir tasniflash [1; 7]	Faqat tasviriy	Nazorat ostidagi sharoitda yuqori aniqlik	Dala sharoitida generalizatsiya past
2	Gibrid multimodal model [2]	Tasvir + sensor	Yuqori barqarorlik	Hisoblash murakkabligi ortadi
3	Fusion chuqurligi tahlili [4]	Tasvir + sensor (early/late/intermediate)	Intermediate fusion eng yuqori aniqlik beradi	Optimal strategiyani tanlash murakkab
4	Kasallik + davolash +	Tasvir + sensor + bozor ma'lumotlari	Yaxlit amaliy yechim	Real joriy etish resurstalab

	narx bashorati [5]			
5	Sharh (review) ishlari [3; 6]	Turli modalliklar (umumiy tahlil)	Yo‘nalishni tizimlashtiradi	Yangi eksperimental natija bermaydi
6	Asos modellari (foundation models) [4; 6]	Katta hajmda oldindan o‘qitilgan	Kam belgilangan ma’lumot bilan yuqori umumlashtirish	Yuqori hisoblash resursi talabi

III. Taklif etilayotgan metodologiya

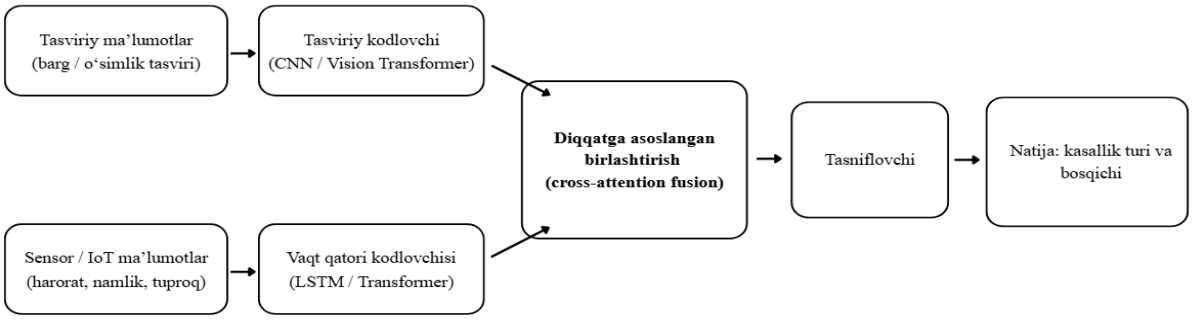
3.1. Ma’lumotlar to‘plami va oldindan qayta ishlash

Ikki manba qo‘llaniladi: dala sharoitida olingan raqamli/spektral tasvirlar va o‘simlik atrofidagi IoT sensorlaridan olinadigan harorat, namlik, yorug‘lik ko‘rsatkichlari (vaqt qatori). Tasvirlar normallashtiriladi va augmentatsiya qilinadi, sensor ma’lumotlari vaqt oynasi bo‘yicha guruhlanib me’yorlashtiriladi; ikkala modallik bir xil vaqt/joy belgisi (timestamp, geolokatsiya) bo‘yicha sinxronlashtiriladi.

3.2. Taklif etilayotgan multimodal arxitektura

1-rasmda ko‘rsatilganidek, ikki tarmoqli (dual-branch) arxitektura taklif etiladi: tasvir CNN/Vision Transformer orqali, sensor ma’lumoti esa LSTM/Transformer orqali qayta ishlanadi. Ikki modallikning belgilari diqqat mexanizmiga asoslangan qatlamda (cross-attention fusion) birlashtiriladi va yakuniy tasniflovchi kasallik turi hamda bosqichini aniqlaydi. Ushbu yondashuv faqat vizual belgiga emas, balki o‘simlikning fiziologik holatiga bilvosita ta’sir qiluvchi muhit omiliga ham tayanadi — bu kasallikni tashqi belgisi hali yaqqol bo‘lmagan bosqichda ham sezish imkonini beradi.

1-rasm. Taklif etilayotgan multimodal arxitekturaning umumlashgan sxemasi



1-rasm. Taklif etilayotgan multimodal arxitekturaning umumlashgan sxemasi

Yuqoridagi jarayon (2)-formulalarda ifodalangan: dastlab har bir modallik o‘z kodlovchisi orqali alohida belgilar vektoriga aylantiriladi, so‘ng diqqat mexanizmi (α) yordamida ikki modallik o‘zaro bog‘lanadi va birlashgan vektor (f_fusion) hosil qilinadi, yakunda esa softmax orqali kasallik sinfi bashorat qilinadi:

, (1)

, (2)

(3)

(1)–(3) formulalar. Kodlash, diqqatga asoslangan birlashtirish va yakuniy tasniflash bosqichlari

3.3. Baholash mezonlari

Model aniqlik (accuracy), F1-ko‘rsatkich va presizion-retsall egri chizig‘i bo‘yicha baholanadi. Yangi ekin navi yoki hududga barqarorligi kesma-tekshiruv (cross-domain validation) orqali, edge-qurilmalarda qo‘llanilishi esa xulosa chiqarish vaqti va xotira sarfi orqali tekshiriladi — bu modelning nafaqat laboratoriya, balki real ishlab chiqarish sharoitiga yaroqliligini asoslaydi.

IV. Amaliy joriy etishdagi qiyinchiliklar

Birinchidan, tasvir va sensor ma’lumotini birga o‘z ichiga olgan ochiq ma’lumotlar to‘plami yetishmaydi; buni ochiq tasviriy to‘plamlarni o‘zi yig‘ilgan sensor ma’lumoti bilan boyitib bartaraf etish mumkin. Ikkinchidan, IoT sensorlarini

dala sharoitida joylashtirish qo‘shimcha xarajat talab qiladi. Uchinchidan, modelni edge-qurilmalarda ishlatish uchun uni siqish va optimallashtirish zarur — bu aniqlik va tezlik o‘rtasidagi muvozanatni talab etadi. To‘rtinchidan, turli iqlim va tuproq sharoitiga moslashish uchun ko‘p hududli ma’lumot bilan qo‘shimcha o‘qitish kerak bo‘ladi. Ushbu vazifalar doktorlik dissertatsiyasining amaliy qismida bosqichma-bosqich hal etilishi rejalashtirilgan.

Xulosa

Tahlil ko‘rsatadiki, multimodal yondashuvlar ekin kasalliklarini erta aniqlashda bir modalli usullardan ustun, biroq ularni resurslari cheklangan dala sharoitida qo‘llash va turli hududga moslashtirish yetarli o‘rganilmagan. Maqolada taklif etilgan arxitektura, matematik ifoda, ma’lumotlar tuzilishi va baholash mezonlari ushbu bo‘shliqni to‘ldirishga qaratilgan; amaliy natijalar keyingi tadqiqotlar doirasida real ma’lumotlar asosida taqdim etiladi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Dolatabadian A. [va boshq.]. Image-based crop disease detection using machine learning // Plant Pathology. – 2025. – DOI: 10.1111/ppa.14006.
2. Hamid [va boshq.]. Enhancing Agricultural Disease Detection: A Multi-Model Deep Learning Novel Approach // Engineering Reports. – 2025. – DOI: 10.1002/eng2.13113.
3. Deep learning and computer vision in plant disease detection: a comprehensive review of techniques, models, and trends in precision agriculture // Artificial Intelligence Review. – 2024. – DOI: 10.1007/s10462-024-11100-x.
4. Multimodal Deep Learning and Foundation Models for Early Detection and Forecasting of Plant Diseases // Plants. – 2026. – Vol. 15, № 17. – Art. 2564. – DOI: 10.3390/plants15172564.
5. Sable N.P., Shukla V., Khedkar V., Ujalambkar D.M. Hybrid multimodal learning framework for crop disease detection, adaptive treatment, and price

forecasting // Frontiers in Computer Science. – 2026. – DOI: 10.3389/fcomp.2026.1855851.

6. Artificial Intelligence-Driven Plant Disease Detection and Diagnosis: A Comprehensive Review of Deep Learning Approaches, Multimodal Sensing Technologies, and Future Perspectives in Precision Agriculture // The Plant Pathology Journal. – 2026. – DOI: 10.5423/PPJ.RW.01.2026.0004.
7. A Review on the Detection of Plant Disease Using Machine Learning and Deep Learning Approaches // Journal of Imaging. – 2025. – DOI: 10.3390/jimaging11100326.