WORLD FORUM ON ACADEMIC INNOVATION AND DIGITAL LITERACY

EKIN KASALLIKLARINI ERTA ANIQLASHDA BIR MODALLI VA MULTIMODAL CHUQUR O‘RGANISH USULLARINING QIYOSIY TAHLILI

Sindarov O.M.

Sharof Rashidov nomidagi Samarqand davlat universiteti

Annotatsiya. Tezisda ekin kasalliklarini erta aniqlash uchun qo‘llanilayotgan bir modalli (faqat tasviriy) va multimodal (tasvir, spektral, sensor, meteorologik ma’lumotlarga asoslangan) chuqur o‘rganish usullari qiyosiy tahlil qilingan. Har ikki yo‘nalishning afzalliklari va cheklovlari mezonlar bo‘yicha tizimlashtirilgan, multimodal yondashuvning dala sharoitidagi ustunligi asoslangan.

Kalit so‘zlar: *sun’iy intellekt, chuqur o‘rganish, konvolyutsion neyron tarmoq, multimodal ma’lumotlar, ekin kasalliklari, erta diagnostika, ma’lumotlarni birlashtirish.*

Abstract. The thesis presents a comparative analysis of unimodal (image-only) and multimodal (image, spectral, sensor, and meteorological data based) deep learning approaches for the early detection of crop diseases. The advantages and limitations of both directions are systematized by criteria, and the superiority of the multimodal approach under field conditions is substantiated.

Keywords: *artificial intelligence, deep learning, convolutional neural network, multimodal data, crop diseases, early diagnosis, data fusion.*

Kirish

Qishloq xo‘jaligi ekinlarining kasalliklarga chalinishi jahon miqyosida hosildorlikning sezilarli darajada pasayishiga va oziq-ovqat xavfsizligiga tahdid solishga sabab bo‘lmoqda. Kasallikning erta bosqichda aniqlanishi kimyoviy vositalardan oqilona foydalanish, hosil yo‘qotilishining oldini olish va agrotexnik qarorlarni o‘z vaqtida qabul qilish imkonini beradi. So‘nggi o‘n yillikda sun’iy



intellekt, xususan chuqur o‘rganish algoritmlari ekin kasalliklarini avtomatik aniqlash vazifasida keng qo‘llanila boshlandi, biroq qo‘llanilayotgan usullar bir-biridan tub farq qiladigan ikki yo‘nalishga bo‘linadi: faqat tasviriy ma’lumotga tayanuvchi bir modalli usullar va tasvirni boshqa ma’lumot turlari bilan birlashtiruvchi multimodal usullar.

Ushbu tezisning maqsadi — har ikki yo‘nalishning ishlash tamoyillarini, qo‘llanilish sohalarini, afzallik va cheklovlarini aniq mezonlar asosida qiyosiy tahlil qilish hamda multimodal yondashuvning real dala sharoitida nima uchun ustuvor bo‘lishi mumkinligini asoslashdan iborat.

Bir modalli (faqat tasviriy) usullarning tahlili

Ekin kasalliklarini aniqlashning eng keng tarqalgan yo‘li — konvolyutsion neyron tarmoqlar (CNN) yordamida barg yoki poya tasvirini kasallik turiga qarab tasniflashdir. ResNet, EfficientNet, MobileNet kabi arxitekturalar nazorat ostidagi, bir xil yorug‘lik va fon sharoitida yig‘ilgan ma’lumotlar to‘plamlarida (masalan, PlantVillage kabi laboratoriya sharoitidagi to‘plamlar) yuqori aniqlikka erishadi [1; 7]. Bunday natijalar model arxitekturasining vizual belgilarni ajratish qobiliyati yuqori ekanligini ko‘rsatadi, biroq bu aniqlik ko‘pincha real dala sharoitiga to‘g‘ridan-to‘g‘ri ko‘chirilmaydi.

YOLO oilasidagi obyektni aniqlash modellari kadr ichida kasal hududni real vaqt rejimida lokalizatsiya qilish imkonini beradi, bu esa amaliy monitoring tizimlari uchun muhim xususiyat hisoblanadi. Biroq bu modellar ham, xuddi tasniflovchi CNNlar singari, faqat vizual belgiga — rang, shakl, teksturaning o‘zgarishiga — tayanadi. Natijada yorug‘lik intensivligi, kamera burchagi, fon murakkabligi o‘zgarganda aniqlik keskin pasayadi [3]. Bundan tashqari, kasallikning tashqi ko‘rinishga hali ta’sir qilmagan, ya’ni fiziologik darajada boshlangan, ammo vizual jihatdan sezilmaydigan bosqichini bunday modellar umuman payqamaydi, chunki ularning kirish ma’lumoti faqat tasvirdan iborat.



So‘nggi tadqiqotlarda diqqat mexanizmiga asoslangan arxitekturalar — jumladan Vision Transformer — CNNga muqobil sifatida ko‘rib chiqilmoqda. Ular tasvirning global kontekstini yaxshiroq egallaydi, biroq katta hajmdagi belgilangan ma’lumot va yuqori hisoblash resursini talab qiladi. Yangi ekin navi yoki boshqa geografik hududga model umumlashtirilganda aniqlikning pasayishi (generalizatsiya muammosi) barcha bir modalli usullar uchun umumiy kamchilik sifatida qayd etilgan [3; 7].

Multimodal usullarning tahlili

Multimodal yondashuvlar tasvir ma’lumotini boshqa manbalar — spektral tasvirlar, IoT sensorlaridan olinadigan harorat, namlik va tuproq ko‘rsatkichlari, shuningdek meteorologik ma’lumotlar — bilan birgalikda tahlil qiladi. Bunday gibrid modellar bir modalli yondashuvlarga nisbatan yuqori barqarorlik ko‘rsatadi, chunki ular kasallikning nafaqat tashqi (vizual) belgisiga, balki uni keltirib chiqaruvchi yoki tezlashtiruvchi muhit omillariga ham tayanadi [2; 4].

Ma’lumotlarni birlashtirish (fusion) darajasiga ko‘ra uchta strategiya farqlanadi: erta birlashtirish (early fusion) — xom ma’lumotlar darajasida birlashtirish; kech birlashtirish (late fusion) — har bir modallik alohida tasniflangandan so‘ng natijalarni birlashtirish; oraliq birlashtirish (intermediate fusion) — har bir modallik o‘z kodlovchisi orqali belgilar vektoriga aylantirilgandan so‘ng, shu vektorlar darajasida birlashtirish. Qiyosiy tadqiqotlar shuni ko‘rsatadiki, oraliq (intermediate) birlashtirish odatda eng yuqori aniqlikni ta’minlaydi, chunki u modalliklar orasidagi o‘zaro bog‘liqlikni chuqurroq egallash imkonini beradi [4].

Amaliy yo‘naltirilgan tadqiqotlarda kasallikni aniqlash vazifasi davolashni tavsiya etish va hatto bozor narxini bashorat qilish bilan birlashtirilgan gibrid freymvorklar ham taklif etilgan — bunday tizimlar fermer uchun yaxlit qaror qabul qilish vositasiga aylanadi [5]. Shu bilan birga, aniq dehqonchilik sohasida oldindan katta hajmdagi ma’lumotlar asosida o‘qitilgan asos modellari (foundation models)

multimodal chuqur o‘rganish bilan uyg‘unlashtirilgan holda istiqbolli yo‘nalish sifatida ko‘rilmoqda: ular kam belgilangan ma’lumot bilan ham yuqori umumlashtirish qobiliyatini namoyon etadi, biroq hisoblash talabi yuqoriligi sababli ularni resurslari cheklangan (edge) qurilmalarda qo‘llash murakkablashadi [4; 6].

Usullarning qiyosiy tahlili

Ko‘rib chiqilgan ikki yo‘nalishning asosiy farqlarini yaqqol ko‘rsatish uchun quyida qiyosiy jadval keltirilgan (1-jadval). Jadvalda har bir yondashuv turi ma’lumot manbasi, asosiy afzalligi va asosiy cheklovi bo‘yicha taqqoslangan.

Mezon	**Bir modalli (tasvir)**	**Multimodal**	**Izoh / manba**
Ma’lumot manbasi	Faqat RGB/spektral tasvir	Tasvir + sensor + meteorologik	[1; 2; 4]
Erta bosqichni aniqlash	Cheklangan — faqat vizual belgi bo‘lgach	Kengroq — fiziologik omillar hisobga olinadi	[2; 4]
Dala sharoitiga barqarorlik	Past — yorug‘lik/fon ta’sirida pasayadi	Yuqori — bir necha manba xatoni qoplaydi	[2; 3; 4]
Hisoblash murakkabligi	Nisbatan past	Yuqori — bir necha kodlovchi kerak	[4; 6]
Edge-qurilmalarga moslik	Yaxshi (kichik modellar mavjud)	Qo‘shimcha optimallashtirish talab etadi	[6; 7]
Amaliy tayyorlik	Yuqori —	O‘rta — asosan	[3; 5]



darajasi	ko‘plab tayyor yechim mavjud	tadqiqot bosqichida	

1-jadval. Bir modalli va multimodal yondashuvlarning qiyosiy tahlili

Muhokama

Keltirilgan tahlil shuni ko‘rsatadiki, bir modalli usullar hisoblash jihatdan sodda va amalga oshirish uchun yetarlicha tayyor bo‘lsa-da, ularning asosiy zaifligi — barqarorlikning muhit sharoitiga bog‘liqligi va kasallikning erta, vizual jihatdan sezilmaydigan bosqichini aniqlay olmasligidir. Multimodal usullar aynan shu ikki cheklovni bartaraf etishga qaratilgan: sensor va meteorologik ma’lumotlar o‘simlik fiziologiyasiga bilvosita ta’sir qiluvchi omillarni aks ettirib, kasallik hali tashqi belgi bermagan bosqichda ham xavf signalini beradi.

Shu bilan birga, multimodal yondashuvning amaliy joriy etilishi ma’lum qiyinchiliklar bilan bog‘liq: tasvir va sensor ma’lumotini birgalikda o‘z ichiga olgan ochiq ma’lumotlar to‘plamining yetishmasligi, IoT infratuzilmasini joylashtirish xarajati va modelni resurslari cheklangan qurilmalarda ishga tushirish uchun siqish zarurati. Ushbu muammolarni hal etish keyingi tadqiqot bosqichlarining predmetini tashkil etadi.

Ekin turlari va kasallik guruhlari bo‘yicha xususiyatlar

Bir modalli va multimodal usullarning samaradorligi ekin turi va kasallik guruhiga qarab ham farqlanadi. Zamburug‘ kelib chiqishi (fitoftoroz, kul rang chirish, kuyish kabi) kasalliklar odatda barg yuzasida nisbatan erta va yaqqol vizual belgi (dog‘, rang o‘zgarishi) beradi, shu sababli bunday holatlarda bir modalli CNN modellari ham qoniqarli natija ko‘rsatishi mumkin. Biroq viruslar va bakterial kelib chiqishi kasalliklar, shuningdek o‘simlikning suv va ozuqa yetishmasligidan kelib chiqadigan abiotik stress holatlari ko‘pincha vizual belgi bermasdan, o‘simlikning fiziologik ko‘rsatkichlari — masalan, barg harorati, transpiratsiya intensivligi — orqali

dastlab namoyon bo‘ladi. Aynan shunday holatlarda sensor ma’lumotlarini tasvir bilan birlashtirish hal qiluvchi ahamiyat kasb etadi, chunki faqat tasviriy tahlil bunday kasalliklarni kech bosqichgacha aniqlay olmaydi.

Shu nuqtai nazardan, multimodal yondashuvning afzalligi barcha kasallik turlari uchun bir xil darajada emas, balki kasallikning biologik tabiatiga bog‘liq holda o‘zgaradi. Bu xulosa taklif etilayotgan tadqiqotda ma’lumotlar to‘plamini shakllantirishda turli kelib chiqishga ega kasalliklarni alohida-alohida qamrab olish zarurligini ko‘rsatadi, chunki faqat shu tarzda model barcha kasallik guruhlari bo‘yicha ishonchli natija bera oladi.

Amaliy tavsiyalar va keyingi tadqiqot yo‘nalishi

O‘tkazilgan tahlil asosida amaliy tavsiya sifatida quyidagilar shakllantirilishi mumkin: yangi diagnostika tizimlarini ishlab chiqishda faqat bitta modallikka tayanish o‘rniga, hech bo‘lmaganda tasvir va bitta qo‘shimcha sensor ko‘rsatkichini (masalan, barg harorati yoki namlik) birlashtirgan minimal multimodal sxemadan boshlash maqsadga muvofiq, chunki bu hisoblash yukini ortiqcha oshirmasdan aniqlikni sezilarli darajada yaxshilaydi. Shundan so‘ng, mavjud resurs va ma’lumot imkoniyatlariga qarab, qo‘shimcha modalliklar (meteorologik ma’lumotlar, tuproq tahlili) bosqichma-bosqich qo‘shilishi mumkin.

Keyingi tadqiqot bosqichi ushbu tezisda keltirilgan nazariy tahlilni eksperimental tekshiruv bilan boyitishni nazarda tutadi: real dala sharoitida tasvir va sensor ma’lumotlarini birgalikda yig‘ish, taklif etilayotgan fusion arxitekturasini o‘qitish hamda uni mavjud bir modalli bazaviy modellar bilan miqdoriy taqqoslash. Bunday eksperimental natijalar ushbu tezisda keltirilgan nazariy xulosalarning amaliy tasdig‘ini ta’minlaydi va tadqiqotning ilmiy yangiligini mustahkamlaydi.

Xulosa

O‘tkazilgan qiyosiy tahlil ekin kasalliklarini erta aniqlashda multimodal chuqur o‘rganish usullarining bir modalli usullarga nisbatan nazariy ustunligini tasdiqlaydi,

ayniqsa dala sharoitidagi barqarorlik va erta diagnostika mezonlari bo‘yicha. Shu bilan birga, multimodal yechimlarning amaliy tayyorlik darajasi hozircha bir modalli yechimlardan past bo‘lib, bu holat aynan shu yo‘nalishda yangi arxitektura va ma’lumotlar to‘plamlari ishlab chiqishni dolzarb ilmiy-amaliy vazifaga aylantiradi.

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.