

TOSHKENT AXBOROT TEXNOLOGIYALARI UNIVERSITETI
HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR BERUVCHI
DSc.09/2025.27.12. T.01.03 RAQAMLI ILMIY KENGASH

MUHAMMAD AL-XORAZMIY NOMIDAGI TOSHKENT AXBOROT
TEXNOLOGIYALARI UNIVERSITETI

MURAYEVA HODISAXON MO‘SINJON QIZI

TASVIR KO‘RINISHIDA BERILGAN O‘SIMLIK BARGLARINING
KASALLIKLARINI TASHXISLASHDA INFORMATIV BELGILARNI
TANLASH ALGORITMLARI

05.01.03 — Informatikaning nazariy asoslari

TEXNIKA FANLARI BO‘YICHA FALSAFA DOKTORI (PhD)
DISSERTATSIYASI AVTOREFERATI

Toshkent – 2026

**Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi
avtoreferati mundarijasi**

**Оглавление автореферата диссертации доктора философии (PhD) по
техническим наукам**

**Contents of dissertation abstract of doctor of philosophy (PhD)
on technical sciences**

Murayeva Hodisaxon Mo'sinjon qizi

Tasvir ko'rinishida berilgan o'simlik barglarining kasalliklarini
tashxislashda informativ belgilarni tanlash algoritmlari..... 3

Мураева Ходисахон Мусинжон кызы

Алгоритмы выбора информативных признаков для диагностики
заболеваний листьев растений, представленных в виде
изображений..... 21

Murayeva Hodisakhon Musinjon qizi

Feature selection algorithms for the diagnosis of plant leaf diseases
from image data. 41

E'lon qilingan ishlar ro'yxati

Список опубликованных работ
List of published works..... 45

TOSHKENT AXBOROT TEXNOLOGIYALARI UNIVERSITETI
HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR BERUVCHI
DSc.09/2025.27.12. T.01.03 RAQAMLI ILMIY KENGASH

MUHAMMAD AL-XORAZMIY NOMIDAGI TOSHKENT AXBOROT
TEXNOLOGIYALARI UNIVERSITETI

MURAYEVA HODISAXON MO‘SINJON QIZI

TASVIR KO‘RINISHIDA BERILGAN O‘SIMLIK BARGLARINING
KASALLIKLARINI TASHXISLASHDA INFORMATIV BELGILARNI
TANLASH ALGORITMLARI

05.01.03 — Informatikaning nazariy asoslari

TEXNIKA FANLARI BO‘YICHA FALSAFA DOKTORI (PHD)
DISSERTATSIYASI AVTOREFERATI

Toshkent – 2026

Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi mavzusi O'zbekiston Respublikasi Oliy ta'lim, fan va innovatsiyalar vazirligi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasida B2025.3.PhD/T5804 raqam bilan ro'yxatga olingan.

Dissertatsiya Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universitetida bajarilgan.

Dissertatsiya avtoreferati uch tilda (o'zbek, rus, ingliz (rezyume)) Ilmiy kengashning veb sahifasida (www.tuit.uz) va "Ziyonet" Axborot ta'lim portalida (www.ziyonet.uz) joylashtirilgan.

Ilmiy rahbar:

Xudayberdiyev Mirzaakbar Xaqqulmirzayevich
texnika fanlari doktori, katta ilmiy xodim

Rasmiy opponentlar:

Primova Xolida Anorboyevna
texnika fanlari doktori, professor

Temerbekova Barno Maratovna
texnika fanlari doktori, dotsent

Yetakchi tashkilot:

Zahiriddin Muhammad Bobur nomidagi Andijon davlat universiteti

Dissertatsiya himoyasi Toshkent axborot texnologiyalari universiteti huzuridagi DSc.09/2025.27.12.T.01.03 raqamli Ilmiy kengashning 2026-yil "9"-sentabr soat 16⁰⁰ dagi majlisida bo'lib o'tadi. (Manzil: 100084, Toshkent shahri, Amir Temur ko'chasi, 108-uy. Tel.: (99871) 207-59-42, e-mail: ilmiy_kengash@tuit.uz.)

Dissertatsiya bilan Toshkent axborot texnologiyalari universiteti Axborot-resurs markazida tanishish mumkin (446 raqam bilan ro'yxatga olingan). (Manzil: 100084, Toshkent shahri, Amir Temur ko'chasi, 108-uy. Tel.: (99871) 238-64-15.)

Dissertatsiya avtoreferati 2026-yil "28" -avgust kuni tarqatildi.
(2026-yil "28" -avgustdagi 25-raqamli reestr bayonnomasi).



M.M. Kamilov

Ilmiy darajalar beruvchi ilmiy
kengash raisi, texnika fanlari doktori,
professor, O'zFA akademigi

N.A. Egamberdiyev

Ilmiy darajalar beruvchi
ilmiy kengash ilmiy kotibi,
texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori

N.O. Raximov

Ilmiy darajalar beruvchi
Ilmiy kengash qoshidagi ilmiy seminar raisi,
texnika fanlari doktori, dotsent

KIRISH (falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi annotatsiyasi)

Dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zarurati. Jahonda xalq xo'jaligining barcha sohalarini raqamlashtirish yordamida oziq-ovqat ta'minotini monitoring qilish va o'z vaqtida zarar keltiruvchi omillarni aniqlash dolzarb masalalardan biridir. Aholi sonining keskin ortib borishi, iqlim o'zgarishi, tuproq degradatsiyasi va suv resurslarining cheklanishi qishloq xo'jaligi mahsulotlarini ko'paytirishni talab qilmoqda. Biroq o'simliklarga kelayotgan turli kasalliklar ushbu jarayonga jiddiy to'sqinlik qilmoqda. Xalqaro tadqiqotlarga ko'ra, har yili dunyo bo'yicha o'simlik kasalliklari qishloq xo'jaligi ekinlarining hosildorligini o'rtacha 20–40 foizgacha kamaytiradi. Ayrim hollarda esa ushbu yo'qotishlar 50 foiz va undan ortiq darajaga yetishi mumkin. Masalan, Birlashgan millatlar tashkilotining oziq-ovqat va qishloq xo'jaligi tashkiloti (FAO) ma'lumotlariga ko'ra, o'simliklarni zararlovchi kasallik va zararkunandalar har yili dunyo bo'yicha bir qancha iqtisodiy zarar keltirmoqda. Mazkur sharoit dunyo miqyosida o'simlik kasalliklarini erta bosqichda aniqlash va oldini olishga qaratilgan ilmiy izlanishlar qishloq xo'jaligi barqarorligini ta'minlash, yuqori hosildorlikka erishish hamda oziq-ovqat xavfsizligini mustahkamlash va amaliyotga joriy etishni taqozo qilmoqda. Shu jihatdan, o'simlik kasalliklarini tashxislashda tasvirli ma'lumotlarga raqamli ishlov berish texnologiyalari va ma'lumotlarga dastlabki ishlov berish usullari asosida tasvir sifatini oshirish, obyektни tavsiflovchi xususiyatlarni ajratish, ulardan eng optimallarini tanlashning maxsus algoritmlari majmuasini ishlab chiqish nazariyasi va amaliyotidan foydalanish muhim ahamiyatga ega hisoblanadi.

Jahonda raqamli texnologiya va ma'lumotlarni intellektual tahlil qilish orqali yuqoridagi masalalarni hal qilishga yo'naltirilgan ilmiy-tadqiqot ishlari olib borilmoqda. Barg tasvirlarini raqamli shaklga o'tkazish orqali ularning rang, shakl va tekstura xususiyatlarini aniq raqamli ko'rsatkichlarga aylantirish mumkin. Ushbu ko'rsatkichlar asosida mashinali o'qitish va chuqur o'qitish algoritmlari yordamida kasallik belgilari avtomatik tarzda ajratib olinadi va yuqori aniqlikda tashxis qo'yiladi. Ayniqsa, barg ranglaridagi o'zgarishlar ko'plab kasalliklarning dastlabki belgilaridan biri bo'lgani sababli, rang bo'yicha intellektual tahlil o'simlik kasalliklarini erta aniqlashda eng istiqbolli yondashuvlardan hisoblanadi. Bu borada, barg tasvirlaridagi ranglar asosida o'simlik kasalliklarini intellektual usullar yordamida aniqlash algoritmlarini ishlab chiqishga alohida e'tibor berilmoqda.

Respublikamizda ham qishloq xo'jaligi sohasida zamonaviy axborot-kommunikatsiya texnologiyalarini joriy etish, ma'lumotlarni intellektual tahlil qilish hamda diagnostika jarayonlarini raqamlashtirishga qaratilgan samarali algoritm va usullarni yaratish yuzasidan keng qamrovli chora-tadbirlar amalga oshirilib, muayyan natijalarga erishilmoqda. Shuningdek, O'zbekiston Respublikasi Ochiq ma'lumotlar portali doirasida sun'iy intellekt asosidagi dasturiy ta'minotdan foydalanish uchun davlat organlari ma'lumotlari va boshqa ma'lumotlar to'plamlarini olish imkoniyatini taqdim etuvchi raqamli ma'lumotlar platformasi (data.egov.uz) ishga tushirildi. Bu holat mamlakatimizda bir qator sohalarning rivojiga hissa qo'shishi mumkin. Ma'lumotlarga ochiq kirish ilmiy tadqiqotlar, innovatsion loyihalar yaratish imkoniyatini yaratadi.

O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2018-yil 19-fevralda "Axborot texnologiyalari va kommunikatsiya sohasini yanada takomillashtirish chora tadbirlari to'g'risida"gi PF-5349-sonli, 2022-yil 28-yanvarda "2022-2026-yillarga mo'ljallangan yangi O'zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to'g'risida"gi PF-60-sonli, O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2021-yil 17-fevralda qabul qilingan "Sun'iy intellekt texnologiyalarini jadal joriy etish uchun shart-sharoitlar yaratish chora-tadbirlari to'g'risida" PQ-4996-sonli, 2024-yil 14-oktabrda qabul qilingan "Sun'iy intellekt texnologiyalarini 2030-yilga qadar rivojlantirish strategiyasini tasdiqlash to'g'risida" PQ-358-sonli, O'zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasining 2020-yil 17-dekabrda "Agrosanoat majmui va qishloq xo'jaligida raqamlashtirish tizimini rivojlantirish chora-tadbirlari to'g'risida"gi 794-sonli qarorlari hamda mazkur faoliyatga tegishli boshqa me'yoriy-huquqiy hujjatlarda belgilangan vazifalarni amalga oshirishga ushbu dissertatsiya ishi muayyan darajada xizmat qiladi.

Tadqiqotning respublika fan va texnologiyalari rivojlanishining ustuvor yo'nalishlariga mosligi. Mazkur tadqiqot respublika fan va texnologiyalar rivojlanishining IV. "Axborotlashtirish va axborot-kommunikatsiya texnologiyalarini rivojlantirish" ustuvor yo'nalishi doirasida bajarilgan.

Muammoning o'rganilganlik darajasi. Odatda, tadqiqotning samarali olib borilishida, mazkur tadqiqot bilan bog'liq usul hamda algoritmlarni takomillashtirishda adabiyotlarning o'rganilganlik darajasi katta ahamiyat kasb etadi. Xususan, hozirgi kungacha timsollarni tanib olishda xususiyatlarni ajratish hamda tanlash sohasida bir qator ilmiy izlanishlar olib borilgan. Jumladan F.Rosenblatt Perceptron modelini yaratgan, u kiruvchi belgilarni neyron tarmoqqa berish orqali timsollarni avtomatik tasniflashning dastlabki konsepsiyasini ishlab chiqqan. M.A. Aizerman, E.M. Braverman, L.I. Rozonoerlar "Potensial funksiyalar usuli" orqali timsollarni tanib olishda obyektlarni xususiyatlar fazosida ifodalashga asoslangan metodlarni ishlab chiqqan. V.N. Vapnik va A.Ya. Chervonenkis statistika asosidagi o'rganish nazariyasi va SVM metodlarini ishlab chiqib, timsollarni belgilar to'plami orqali tasniflashni ilmiy tomondan asoslagan. N.G.Zagoruyko timsollarni tanib olishda "yaqinlik funksiyasi" va xususiyatlarning informativligini tahlil qilish orqali belgilarga asoslangan qaror qabul qilish algoritmlarini ishlab chiqqan. Bundan tashqari, timsollarni tanib olishda eng katta iz qoldirgan olimlardan biri Yu.I.Juravlyev "Baholarni hisoblash algoritmi" nazariyasini ishlab chiqqan.

Timsollarni aniqlashning ushbu yo'nalishdagi usul va algoritmlarini rivojlantirish ustida ilmiy tadqiqot ishlarini olib borayotgan mamlakatimiz olimlaridan M.M. Kamilov, Sh.X. Fozilov, A.X. Nishanov, E.M.Aliev, N.Mirzayev, D.T.Muhamadiyeva, N.S.Mamatov, M.X.Xudayberdiyev, A.Sh.Hamroyev va boshqalar salmoqli hissa qo'shganlar.

Mazkur tadqiqot yo'nalishida ko'plab ilmiy ishlar olib borilganligiga qaramasdan, barg tasvirlari asosida o'simliklar kasalliklarini tasniflash masalalarida obyektning mohiyatini to'liq aks ettiruvchi xususiyatlarni aniqlash va optimallarini

tanlab olish, sinflar hamda belgilarning qism to'plamlari o'rtasidagi bog'liqlik munosabatlari to'liq yechilmagan va yetarli darajada mustahkamlanmagan.

Tadqiqotning dissertasiya bajarilgan oliy ta'lim muassasasining ilmiy tadqiqot ishlari rejalari bilan bog'liqligi. Mazkur dissertatsiya ishi Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universiteti ilmiy-tadqiqot ishlari rejasining № FL-8824063405 "Sun'iy intellekt usullari asosida biotibbiyot signallar va tibbiy tasvirlarga raqamli ishlov berish nazariyasi va algoritmlarini rivojlantirish" (2025-2027) mavzusidagi tadqiqot loyihalari doirasida bajarilgan.

Tadqiqotning maqsadi. O'simliklarning barg tasvirlari haqidagi ma'lumotlar bilan ishlash orqali kasalliklarni tashxislashga xizmat qiladigan informativ belgilar fazosini shakllantiruvchi algoritmlarni takomillashtirish va amaliyotga joriy qilish.

Tadqiqotning vazifalari:

o'simlik potologiyasini aks ettiruvchi turli sifatda bo'lgan barg tasvirlaridan iborat ma'lumotlar to'plamini yig'ish va dastlabki ishlov berish algoritmlarini tizimli tahlil qilish;

o'simlik bargi tasvirlaridan obyektning tavsiflovchi xususiyatlarni ajratuvchi algoritmlarini maqbullarini tanlash va takomillashtirish;

obyektning tavsiflovchi belgilar to'plamidan informativ belgilarni tanlash algoritmlarini takomillashtirish;

obyektning tavsiflovchi belgilarining tayanch qism to'plamlari bilan sinflar o'rtasidagi bog'liqlik munosabat darajasini baholovchi yondashuvni ishlab chiqish;

taklif qilinayotgan yondashuv va algoritmlar majmuasini amaliyotga yaroqliligini aniqlash uchun tajribaviy sinovlarni o'tkazish.

Tadqiqotning obyekti sifatida tasvirlarga raqamli ishlov berish orqali o'quv va nazorat tanlanmalarini shakllantiruvchi usul hamda algoritmlari qaralgan.

Tadqiqotning predmeti. Barg tasvirlari yordamida o'simlik kasalliklarini tashxislashda, tasvirlarga raqamli ishlov berish usullari, diskret matematika, matematik dasturlash, timsollarni aniqlash hamda ma'lumotlarni intellektual tahlil qilish usul va algoritmlari olindi.

Tadqiqotning usullari. Tadqiqot jarayonida ma'lumotlarni intellektual tahlil qilish, timsollarni aniqlash usullaridan foydalanilgan.

Tadqiqotning ilmiy yangiligi:

o'simlik bargi tasvirlaridan obyektning tavsiflovchi xususiyatlarni ajratishda turli toifali belgilarni ajratuvchi algoritmlar ansambili ishlab chiqilgan;

obyektning xususiyatlarni tavsiflash jarayonida tanib olishga ijobiy hissa qo'shadigan informativ belgilarni tanlash algoritmlari takomillashtirilgan;

qisman pretsedentlik tamoyili asosida belgilarning tayanch qism to'plamlari bilan sinflar orasidagi bog'liqlik munosabatini baholovchi mezon ishlab chiqilgan;

obyektlarning etalonga muvofiqligini baholash uchun bo'sag'aviy qiymatlarni aniqlash yondashuvi ishlab chiqilgan.

Tadqiqotning amaliy natijalari quyidagilardan iborat:

informativ belgilarni tanlash algoritmlari va yondashuvlari asosida "Pomidor kasalliklarini aniqlash" dasturiy majmuasi ishlab chiqildi. Mazkur dasturiy ta'minot

o'simlik barg tasvirlari orqali ulardagi turli xil patologiyalarni informativ belgilarni aniqlash orqali identifikatsiyalash va tashxislashga mo'ljallangan;

mazkur dasturiy majmua an'anaviy usullarga nisbatan ko'proq moslashuvchan va aniqroq tasniflash imkonini beradi. Shuningdek, chuqur o'qitish algoritmi bilan tanlangan informativ belgilarni birlashtirish orqali tasniflash dasturiy majmuaning samaradorligini ta'minlagan.

Tadqiqot natijalarining ishonchliligi. Tadqiqot natijalarining ishonchliligi uslubiy jihatdan masalaning matematik qo'yilishi va uni yechish uchun qo'llanilgan tanib olish usul va algoritmlarining qat'iyligi, yechilgan masalalarning nazariy va amaliy natijalarining muvofiqligi orqali izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati. Tadqiqot natijalarining ilmiy ahamiyati obyektning tavsiflovchi xususiyatlarni ajratib olish algoritmlari majmuasini tashkil qilish, ulardan eng informativlarini tanlab olish algoritmini ishlab chiqish, shuningdek qismani pretsedentlik tamoyillari asosida belgilarning tayanch qism to'plamlarini sinflar bilan munosabatini baholovchi mezonni belgilash bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining amaliy ahamiyati ishlab chiqilgan algoritmi va dasturiy majmuani qishloq xo'jaligi sohasida qo'llash mumkinligidan iborat. Shuningdek, yuqorida aytilgan qismani pretsedentlik tamoyillari asosida belgilarning tayanch qism to'plamlarini tashkil qilish ma'lumotlar yetarli bo'lmagan sharoitda ham tanib olish imkonini berish bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining joriy qilinishi. Tasvir ko'rinishida berilgan o'simlik barglarining kasalliklarini tashxislashda informativ belgilarni tanlash algoritmlari va dasturiy majmua asosida:

Tasvir ko'rinishida berilgan o'simlik barglarining kasalliklarini tashxislashda informativ belgilarni tanlash algoritmlari asosida yaratilgan dasturiy majmua O'zbekiston Respublikasi Qishloq xo'jaligi vazirligi O'simlik karantini va himoyasi agentligining Sirdaryo viloyati boshqarmasida barg tasvirlaridan o'quv tanlanma shakllantirish, tanlangan informativ belgilar asosida o'simlik barglariga tushadigan kasalliklarni tashxislash aniqligini oshirish vositasi sifatida qo'llanilmoqda (Qishloq xo'jaligi vazirligining 2025-yil 5-sentabrdagi 05/06-04-527-son ma'lumotnomasi). Mazkur dasturiy majmua qishloq xo'jaligi xodimlarining tashxislash samaradorligini oshiradi.

O'zbekiston Respublikasi Farg'ona viloyati Buvayda tumani qishloq xo'jaligi bo'limida barg tasvirlari ma'lumotlarini qayta ishlash, informativ belgilar asosida tashxislash aniqligini oshirish vositasi sifatida amaliy foydalanishga topshirildi (Qishloq xo'jaligi vazirligining 2025-yil 5-sentabrdagi 05/06-04-527-son ma'lumotnomasi). Pirovardida, tadqiqot natijalari yanada aniqroq tahlil qilina boshlandi, mavjud an'anaviy yondashuvlarga qaraganda sezilarli afzalliklar kuzatildi.

Dasturiy majmua Sirdaryo viloyati Xovos tumani "Zamon teks klaster" MChJ da barg tasvirlari ma'lumotlarini qayta ishlash, informativ belgilar asosida tashxislash aniqligini oshirish vositasi sifatida joriy qilingan (Qishloq xo'jaligi vazirligining 2025-yil 5-sentabrdagi 05/06-04-527-son ma'lumotnomasi). Dasturiy

majmuadan barg tasvirlari ma'lumotlari asosida olingan ko'rsatkichlarga tayanib, tashxis qilish samaradorligini oshirish maqsadida foydalanish yo'lga qo'yildi. Mazkur dasturiy majmua o'simlik kasalliklariga tashxis qo'yish samaradorligini 10% ga oshirish imkonini berdi.

Dasturiy majmua O'zbekiston Respublikasi Qishloq xo'jaligi vazirligi O'simliklar karantini va himoyasi agentligining Jizzax viloyati boshqarmasida mazkur dasturiy mahsulot sinovdan o'tkazilgan va bir qator samaradorliklar qo'lga kiritilgan (Qishloq xo'jaligi vazirligining 2025-yil 5-sentabrdagi 05/06-04-527-son ma'lumotnomasi). Natijada o'simlik barglaridagi kasalliklarni aniqlash vaqti mavjud usullarga nisbatan 15% ga qisqardi hamda aniqlashdagi xatoliklar kamaydi.

Tadqiqot natijalarining aprobatsiyasi. Tadqiqot natijalari 2 ta xalqaro va 5 ta respublika ilmiy-amaliy anjumanlarida muhokama qilingan.

Tadqiqot natijalarining e'lon qilinganligi. Tadqiqot mavzusi bo'yicha jami 19 ta ilmiy ish chop etilgan bo'lib, shulardan O'zbekiston Respublikasi Oliy attestatsiya komissiyasining doktorlik dissertatsiyalari asosiy natijalarini chop etishga tavsiya etilgan ilmiy nashrlarda 8 ta maqola, jumladan ikkita xorijiy va 6 tasi respublika jurnallarida e'lon qilingan. Shuningdek, 2 ta EHM dasturlari va ma'lumotlar bazalarini qayd etish bo'yicha guvohnomalar olingan.

Dissertatsiyaning tuzilishi va hajmi. Dissertatsiya kirish qismi, to'rtta bob, xulosa, foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati, shartli belgilar va atamalar ro'yxati hamda ilovalardan iborat. Dissertatsiya hajmi 100 betni tashkil etadi.

DISSERTATSIYANING ASOSIY MAZMUNI

Kirish qismida dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zaruriyati asoslangan, tadqiqotning O'zbekiston Respublikasi fan va texnologiyalar taraqqiyotining ustuvor yo'nalishlariga mosligi ko'rsatilgan, tadqiqotning maqsad va vazifalari belgilab olingan hamda tadqiqot obyekti va predmeti aniqlangan, olingan natijalarning ishonchliligi asoslab berilgan, ularning nazariy va amaliy ahamiyati, tadqiqot natijalarini amalda joriy qilish holati, nashr etilgan ishlar va dissertatsiya tuzilishi bo'yicha ma'lumotlar keltirilgan.

Dissertatsiyaning **“O'simlik kasalliklarini barg tasvirlari orqali tahlil qilish yondashuvlarining hozirgi holati”** deb nomlangan birinchi bobida tasvirlarning turli sharoitlarda olinishi, tasvirlash turlari, tasvirlarga dastlabki ishlov berish usul va texnikalari, o'simliklarning kasallanish sabablari hamda tasvirlarni tanib olishda qo'llaniladigan usul va algoritmlar haqida batafsil ma'lumot keltirilgan.

Mazkur bobning 1.1-bo'limida o'simlik kasalliklarini identifikatsiya qilishda barg tasvirlarining qanday sharoitlarda olinishi tadqiq qilindi. Jumladan, tasvirlarning olinishida kerak bo'ladigan omillar o'rganildi. Xususan, kameralarning ahamiyati hamda turlarining kasalliklarni tashxislashdagi o'rni tahlil qilindi.

Ushbu bobni 1.2-bo'limida tasvirlarga dastlabki ishlov berish usul va algoritmlari hamda obyektни tavsiflovchi xususiyatlarni ajratishda ushbu usul va algoritmlarining ahamiyati haqida so'z boradi. Tasvirlarga dastlabki ishlov berish jarayoni obyektни tavsiflovchi xususiyatlarni aniqlashda asosiy metodologik

bosqichlardan biri bo‘lib, keyingi tahlil jarayonlarining ishonchliligi va aniqligini bevosita belgilaydi. Ushbu bosqichda amalga oshiriladigan filtratsiya, kontrastni yaxshilash, fonni ajratish, normallashtirish kabi transformatsiyalar tasvirdagi shovqinlarni kamaytirish, struktura va tekstura elementlarini aniqlashtirish hamda rang parametrlarini barqarorlashtirish imkonini beradi. Bu esa nafaqat obyektning aniqligini oshirish, noto‘g‘ri baholashlar ehtimolini kamaytirish va modelning umumlashma qobiliyatini yaxshilashga xizmat qiladi.

Mazkur bobning 1.3-bo‘limida o‘simliklardagi turli kasalliklarni aniqlashda ahamiyat kasb etadigan tasvir turlari tahlil qilindi. Dastlab an‘anaviy usullar (RGB) so‘ngra ilg‘or tasvirlash texnologiyalari (Giperspektral, termal va h.k) ko‘rib chiqildi. Hamda mazkur texnologiyalarning kasalliklarni aniqlashdagi o‘rni ko‘rsatib berildi.

Dissertatsiyaning **“O‘simlik tasvirlaridan rang deskriptorlarni ajratish va tayanch xususiyatlarni tanlash algoritmlari”** deb nomlangan ikkinchi bobida obyektning tavsiflovchi xususiyatlarini ajratib olish va belgilar fazosini tashkil qiluvchi algoritmlar taqdim etildi. Shuningdek, model aniqligi va tezkorligini hisobga olishda asl xususiyatlardan faqat informativlarini tanlab olish muhim hisoblanganligi uchun informativ belgilarni tanlab olish usullari o‘rganildi va tahlil qilindi. Xususiyatlarni tanlash bosqichida bir nechta statistik va selektiv yondashuvlar bayon qilindi. Mazkur bobning 2.1-bo‘limida obyektning tavsiflovchi xususiyatlarni ajratuvchi mavjud algoritmlar keltirilgan. Ilmiy tadqiqot ishida o‘simlik barg tasvirlaridagi rang, tekstura, shakl va statistik xususiyatlarni ajratib olishda har bir toifadagi xususiyatlarni belgilab olish uchun algoritmlar majmuasi tashkil qilindi.

Statistik xususiyatlarni ajratish algoritmlari obyektning tavsiflovchi sonli ko‘rsatkichlarni statistik qonuniyatlar asosida hisoblab olish usullari hisoblanadi. U tasvirdagi piksel qiymatlarining taqsimoti, tarqalishi va bog‘liqligini ifodalaydi. Mazkur xususiyatlarni ajratish algoritmlari quyidagi ifodalarda keltirilgan:

1. *O‘rtacha*. Tasvirdagi o‘rtacha rang qiymatini ifodalaydi.

$$M_t = \sum_{u=1}^N \frac{1}{N} I_{t,u}, \quad (1)$$

bu yerda I_{tu} - t -rangli kanalning u -chi pikselining intensivlik qiymati, N piksel soni

2. *Standart og‘ish*. Rang taqsimoti dispersiyasining kvadrat ildizini ifodalaydi:

$$SD_t = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{u=1}^N (I_{t,u} - M_t)^2}. \quad (2)$$

3. *Simmetriya*. Rang taqsimotidagi assimetriya darajasini ifodalaydi:

$$SK_t = \sqrt[3]{\frac{1}{N} \sum_{u=1}^N (I_{t,u} - M_t)^3}. \quad (3)$$

4. *Cho‘qqilik*. Rang taqsimoti shaklini ifodalaydi:

$$K_t = \sqrt[4]{\frac{1}{N} \sum_{u=1}^N (I_{t,u} - M_t)^4}. \quad (4)$$

5. *Yashil rangning ortiqcha indeksi (ExG)*. Yashil rang ustunligini aniqlash uchun ishlatiladigan indeks:

$$ExG = \frac{1}{N} \sum_{u=1}^N (2I_{G,u} - I_{R,u} - I_{B,u}), \quad (5)$$

bu yerda: ExG_j – j -obyekt (tasvir) uchun ortiqcha yashil indeks qiymati, N — j -obyektdagi piksel soni, $I_{G,u}; I_{R,u}; I_{B,u}$ — lar mos ravishda yashil, qizil, ko‘k kanallardagi u -piksel intensivlik qiymatlari.

6. *Qizil rangning ortiqcha indeksi (ExR)*. Qizil rang ustunligini aniqlash uchun ishlatiladigan indeks:

$$ExR = \frac{1}{N} \sum_{u=1}^N \frac{1.4I_{R,u} - I_{G,u}}{I_{G,u} + I_{R,u} + I_{B,u}}. \quad (6)$$

7. *Yashillik indeksi (GLI)*. Barg tasvirlaridagi yashillik indeksi

$$GLI = \frac{1}{N} \sum_{u=1}^N \frac{(2I_{G,u} - I_{R,u} - I_{B,u})}{(2I_{G,u} + I_{R,u} + I_{B,u})}. \quad (7)$$

8. *Qizil-Yashil nisbat, Ko ‘k-Yashil nisbat, Qizil-Ko ‘k nisbat*. Barg tasvirlaridagi rang nisbatlari

$$RGR = \frac{1}{N} \sum_{u=1}^N \frac{I_{R,u}}{I_{G,u} + \varepsilon}, \quad (8)$$

$$BGR = \frac{1}{N} \sum_{u=1}^N \frac{I_{B,u}}{I_{G,u} + \varepsilon}, \quad (9)$$

$$RBR = \frac{1}{N} \sum_{u=1}^N \frac{I_{R,u}}{I_{B,u} + \varepsilon}, \quad (10)$$

bu yerda ε — nolga bo‘lishdan saqlanish uchun kichik qiymat ($\varepsilon = 10^{-8}$).

Tekstura xususiyatlarini hisoblash - bu tasvirda piksel intensivliklarining fazoviy joylashuvi, takrorlanishi va tuzilmasini tavsiflovchi belgilar bo‘lib, obyekt sirtining silliqqligi, dag‘alligi, donadorligi, tartiblilik kabi xossalarni ifodalaydi.

GLCM xususiyatlari (tekstura). s_j - j -tasvir obyekti bo‘lsa, u holda uning i-xususiyatlari (kontrast, energiya va h.k) GLCM matritsasi $P_j(I_{t,u}, I_{t,v})$ orqali hisoblanadi, bu yerda $I_{t,u}$ va $I_{t,v}$ lar qo‘shni piksellar intensivliklari.

Kontrasti. Tasvirdagi turli piksellar yorqinligi (intensivligi) qanchalik farq qilish darajasini ifodalovchi o‘lchovdir. Agar kontrast yuqori bo‘lsa, bu piksellar intensivligida katta farqlar borligini anglatadi, aksincha, kontrast past bo‘lsa, piksellar intensivligi kam farq qiladi. U quyidagi formula yordamida aniqlanadi:

$$f_i = \frac{1}{3} \sum_{t=1}^3 \sum_{I_{t,u}=0}^{L-1} \sum_{I_{t,v}=0}^{L-1} (I_{t,u} - I_{t,v})^2 P_{j,t}^\theta(I_{t,u}, I_{t,v}). \quad (11)$$

Korrelyatsiyasi. Ikki piksel o‘rtasidagi bog‘liqlik darajasini ifodalovchi o‘lchovdir. Agar korrelyatsiya yuqori bo‘lsa, bu ikki piksel o‘rtasida kuchli bog‘liqlik mavjudligini anglatadi. U quyidagi formula yordamida aniqlanadi:

$$f_i = \frac{1}{3} \sum_{t=1}^3 \frac{\sum_{I_{t,u}=0}^{L-1} \sum_{I_{t,v}=0}^{L-1} (I_{t,u} - \mu_{t,u})(I_{t,v} - \mu_{t,v}) P_{j,t}(I_{t,u}, I_{t,v})}{\sigma_{t,u} \sigma_{t,v}}, \quad (12)$$

bu yerda: $\mu_{t,u}, \mu_{t,v}$ — t -kanal bo‘yicha o‘rtacha intensivlik qiymatlari, $\sigma_{t,u}, \sigma_{t,v}$ — dispersiyalar.

Energiyasi. GLCM (Kulrang darajalar hamkorlik matritsasi) elementlarining bir xillik darajasini ifodalaydigan o'lchovdir. U quyidagi formula yordamida aniqlanadi:

$$f_i = \frac{1}{3} \sum_{t=1}^3 \sqrt{\sum_{I_{t,u}=0}^{L-1} \sum_{I_{t,v}=0}^{L-1} P_{j,t}(I_{t,u}, I_{t,v})^2}. \quad (13)$$

Gomogenlik. GLCM matritsasidagi elementlar diagonalni atrofida qanchalik yaqin joylashganligini ifodalovchi o'lchovdir. Agar yuqori qiymatga ega elementlar diagonalga yaqin joylashgan bo'lsa, homogenlik qiymati ham yuqori bo'ladi. U quyidagi formula yordamida o'lchanadi:

$$f_i = \frac{1}{3} \sum_{t=1}^3 \sum_{I_{t,u}=0}^{L-1} \sum_{I_{t,v}=0}^{L-1} \frac{P_{j,t}(I_{t,u}, I_{t,v})}{1 + (I_{t,u} - I_{t,v})^2}. \quad (14)$$

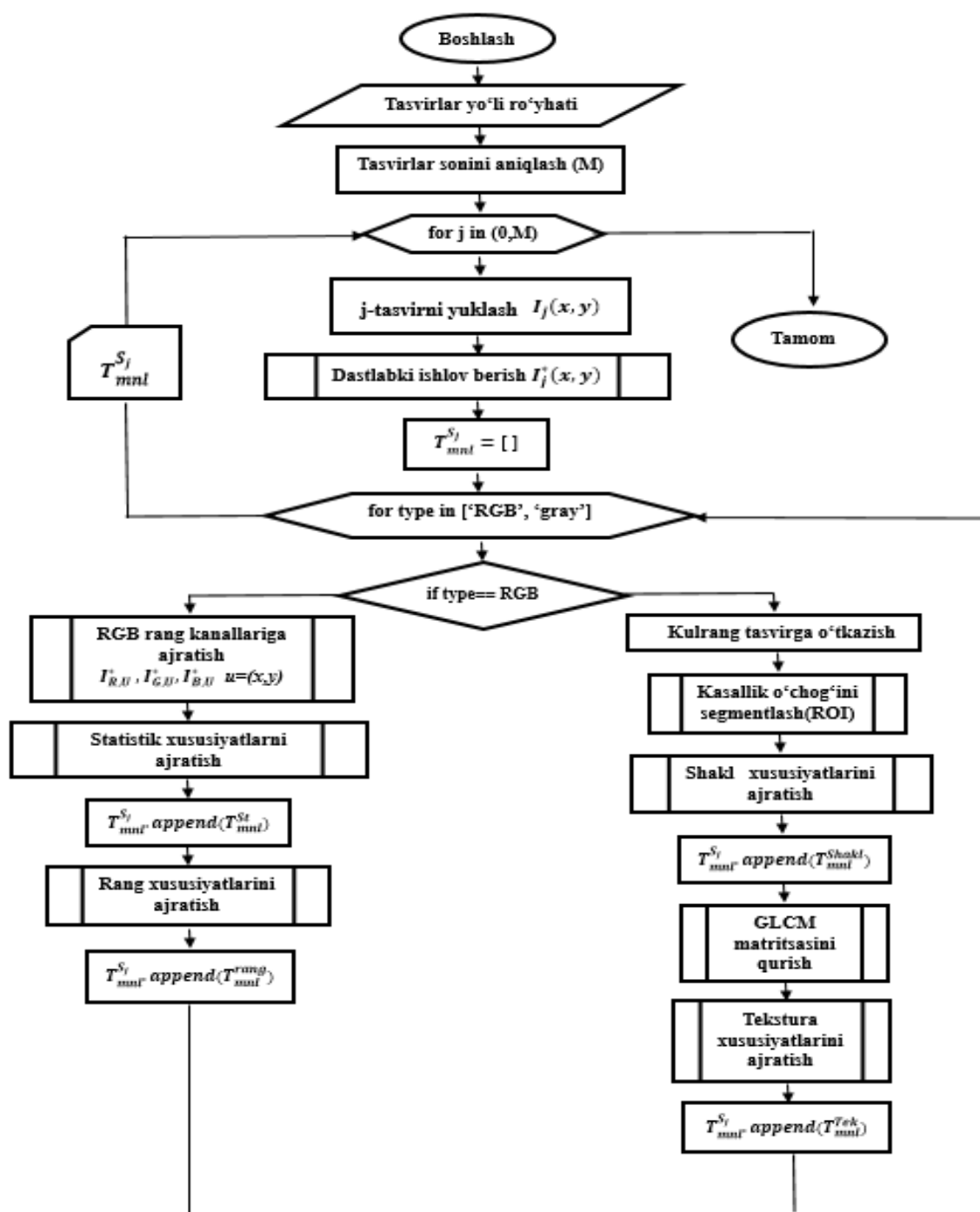
Mazkur bobning 2.2-bo'limida belgilarning muhimligi va ularni informativ sifatida tanlovchi usullar bayon etilgan. Jumladan, Chi-kvadrat testi va ANOVA yordamida belgilar bilan klasslar o'rtasidagi statistik bog'liqlik tahlil qilindi. Bundan tashqari, LASSO regressiyasi asosida penalizatsiya orqali kam informativ belgilar chetga chiqarib yuboriladi. Shuningdek, ketma-ket belgi tanlash (SFS) algoritmi orqali turli xususiyat kombinatsiyalari baholanib, optimal to'plam tanlab olindi. 2.3-bo'limda esa mashinali o'qitish hamda chuqur o'qitish algoritmlari tahlil qilindi. Xususan, tayanch vektor mashina (SVM) va k-eng yaqin qo'shnilar (kNN) usullari samarali vosita sifatida keng qo'llaniladi. SVM modeli o'quv tanlanmani optimal tarzda ajratadigan gipertekislikni topish orqali chiziqli va chiziqli bo'lmagan ajratuvchi sirtlarni qurishga imkon beradi. Bu usul kichik va o'rta hajmdagi ma'lumotlar uchun yuqori aniqlik ko'rsatadi. Biroq katta hajmli tanlanmalar uchun o'qitish jarayoni sekinlashadi. Shu bilan birga nafaqat mashinali o'qitish, balki chuqur o'qitish algoritmlaridan foydalanish ham tasvirdagi murakkab timsollarni tanib olishdagi ahamiyati keltirildi.

Dissertatsiyaning uchinchi bobi **“Obyektni tavsiflovchi xususiyatlarni ajratish va informativ belgilarni tanlash”** deb nomlanib, unda obyekt belgilarini ajratish va tanlash masalalari ko'rib chiqilgan. Bunda belgilarni aniqlash asosan ansambl algoritmlaridan foydalanish asosida amalga oshiriladi. Dastlab, yuqorida keltirilgan matematik modellar asosida belgilarning sonli qiymatlari hisoblab chiqiladi. Buning uchun turli toifadagi belgilarni ajratib olish algoritmlaridan tashkil topgan ansambl shakllantiriladi. Ushbu jarayon 1-rasmda tasvirlangan. Mazkur bosqichda xususiyatlarni ajratish algoritmlaridan foydalanib obyekt belgilarini ajratib olish jarayonining ketma-ket bosqichlari keltirilgan. Keyingi bosqichda ajratib olingan xususiyatlar asosida optimal belgilarni tanlashning takomillashtirilgan algoritmlari bayon etiladi. Shuningdek, tasniflash jarayonida turli mashinali o'qitish algoritmlarini qo'llash natijalari jadval ko'rinishida keltirilgan.

Barg tasvirlaridan obyekt belgilarini ajratib olish. Obyekt belgilarini ajratib olish bir nechta mustaqil parametrlarni aniqlashni o'z ichiga oladi. Har bir belgi alohida matematik yoki statistik amallar majmuasini talab qiladi. Agar belgilar obyektning mohiyatini to'liq aks ettirsa, tasniflash jarayoni ishonchli amalga oshiriladi. Tasvirga olish jarayonida turli kamera sozlamalari va yoritilish

darajalarining belgilar qiymatlariga ta'sirini hisobga olgan holda, belgilarni ajratib olish uchun turli toifadagi belgilarni ajratuvchi algoritmlar ansambli ishlab chiqilgan. Mazkur algoritmning blok-sxemasini 1-rasmda keltirilgan.

Yuqorida tavsiflangan muammoni hal qilish maqsadida algoritmlar ansambli obyektning rang, statistik, tekstura va shakl xususiyatlarini yagona vektor fazosiga birlashtiradi. GLCM va shakl deskriptorlaridan foydalanish esa modelning tashqi shovqinlar hamda yoritilish sharoitlarining o'zgarishiga sezgirlikni kamaytirish imkonini beradi. Natijada o'simlik barglarining zararlanishlarini keyingi tasniflash jarayonida yuqori aniqlik va barqarorlikni ta'minlovchi informativ belgilar to'plami shakllantiriladi.



1-rasm. Raqamli tasvirlardan o'quv tanlanmani shakllantirish jarayoni

Obyektni tavsiflovchi xususiyatlardan informativ belgilarni tanlash masalasining qo'yilishi.

Informativ belgilarni tanlash masalasini qo'yilishida quyidagilar berilgan bo'lsin :

obyektlar: $S = \{s_1, s_2, \dots, m\}$ m ta obyekt va har bir obyekt uchun n ta xususiyat mavjud;

har bir obyektning barcha xususiyatlari: $s_j = \{x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{nj}\}$;

obyektlarning sinflari: $y_j \in K = \{K_1, K_2, \dots, K_l\}$;

o'quv tanlanma: $T_{mnl} = \{(s_j, y_j)\}_{j=1}^m$;

tanlanadigan belgilar to'plami: $X^* \subseteq X, |X^*| = m \ll n$.

Informativ belgilarni tanlash quyidagi mezonlar asosida bajariladi:

1. Har bir x_i belgining K sinfga bog'liqlik darajasi bo'yicha informativ belgilarni tanlash.

2. Modelning tanib olish aniqligi bo'yicha informativ belgilarni tanlash.

$$X^* = \{x_i^* : U(x_i^*) \geq \delta \cup \arg \max_{X^* \subseteq X} F1(M)\}, \quad (15)$$

bu yerda U –statistik informativlik mezon, δ – informativlik chegarasi,

$F1(M)$ – modellash asosidagi mezon, X^* – yakuniy informativ belgilar to'plami.

Informativ belgilarni aniqlash uchun taklif qilingan takomillashgan yondashuv

1. Takomillashtirilgan Chi-kvadrat testi algoritmi

1-qadam . Gipotezani belgilash:

H_0 nol gipoteza, sinflar va belgilar o'rtasida bog'liqlik yo'q;

H_1 - muqobil gipoteza, sinflar va belgilar o'rtasida bog'liqlik mavjud .

2-qadam. Kontingensiya jadvalini tuzish: sinflar va belgilarning chastotalar sonini ko'rsatuvchi jadval tuzish hamda har bir (i, j) katak uchun O_{ij} - kuzatilganlar sonini kiritish.

3-Qadam. Har bir (i, j) katak uchun quyidagicha E_{ij} -baholanganlar sonini hisoblash:

$$E_{ij} = \frac{\sum_{i=1}^N O_{ij} \times \sum_{j=1}^M O_{ij}}{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M O_{ij}}, \quad (16)$$

bu yerda N -satrlar soni, M -ustunlar soni.

4-qadam. φ statistikasini hisoblash:

$$\varphi = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \frac{(O_{ij} - E_{ij})^2}{E_{ij}}. \quad (17)$$

5-qadam. Bog'liqlik darajasini hisoblash:

$$\delta = \sqrt{\frac{\varphi}{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M O \times \min(N-1, M-1)}}. \quad (18)$$

6-qadam. Tanqidiy qiymatni aniqlash:

$$df = (N - 1) \times (M - 1), \quad (19)$$

$\varphi_{kr} = \varphi$ jadvalidan olingan tanqidiy qiymat (α, df) uchun

7-qadam. φ statistikani tanqidiy qiymat bilan solishtirish:

Agar- $\varphi > \varphi_{kr}$ bo'lsa:

H_0 rad etiladi (sinflar va belgilar bog'liq)

Aks holda:

H_0 rad etilmaydi (sinflar va belgilar mustaqil)

8- qadam. Natijalarni talqin qilish (Bog‘liqlik darajasi bilan):

Agar H_0 rad etilgan bo‘lsa:

- $0.0 < \delta \leq 0.1$: Ahamiyatsiz bog‘liqlik,
- $0.1 < \delta \leq 0.35$: Kuchsiz bog‘liqlik,
- $0.35 < \delta \leq 0.5$: O‘rta darajada kuchli bog‘liqlik,
- $\delta > 0.5$: Juda kuchli bog‘liqlik.

9-qadam. Natijaviy informativ X^* belgilar to‘plami:

$$X^* = \{x_1^*, x_2^*, \dots, x_{10}^*\}. \quad (20)$$

Taklif etilgan belgilarni ketma-ket tanlash algoritmi bilan takomillashgan

Chi-kvadrat testi algoritmini birlashtirish algoritmi

1-qadam. Takomillashgan chi-kvadrat testi orqali olingan saralangan xususiyatlar to‘plamini tayyorlash.

$$X^* = \{x_1^*, x_2^*, \dots, x_{10}^*\}. \quad (21)$$

2- qadam. Ketma-ket belgi tanlash algoritmi.

a) Boshlang‘ich holatni aniqlash:

$$X_0 = \emptyset. \quad (22)$$

$$k = 0. \quad (23)$$

Algoritm bo‘sh to‘plamdan boshlanadi, ya’ni $k = 0$ ga teng, hech qanday xususiyat yo‘q.

b) Eng yaxshi belgini tanlab qo‘shish:

$$X^+ = \operatorname{argmax} J(X_k + x), \quad (24)$$

bu yerda $x \in Y - X_k$, $J()$ - baholash funksiyasi, X_k -hozirgacha tanlangan xususiyatlar, $Y - X_k$ - hali tanlanmagan xususiyatlar.

$$\begin{aligned} X_{k+1} &= X_k + X^+. \\ k &= k + 1. \end{aligned} \quad (25)$$

Ushbu bosqichda mavjud xususiyatlar to‘plamiga (X_k) yana bir qo‘shimcha xususiyat(X^+) qo‘shiladi.

X^+ – bu tanlov mezonini (criterion function) eng yuqori qiymatga olib keladigan xususiyat, ya’ni X_k to‘plamiga qo‘shilganida klassifikatorning ishlashini eng yaxshilaydigan xususiyat.

Ushbu jarayon to‘xtatish sharti bajarilguncha takrorlanadi.

To‘xtatish sharti: $k = p$

3-qadam. Tanlangan belgilar to‘plami X_k ni qaytarish

4-qadam. Kategoriyalar o‘rtasidagi bog‘liqlik bilan ketma-ket belgi tanlash dan olingan xususiyatlarni birlashtirish

$$\tilde{X} = X^* \cup X. \quad (26)$$

5-qadam. Yakuniy $\tilde{X}$ to‘plam.

Obyektlarning etalonga muvofiqligini baholash uchun chegaraviy qiymatlarni aniqlash yondashuvi

Dissertatsiya ishida birinchi marta o‘simlik barglarining kasalliklarini tashxislashda informativ belgilarni tanlash uchun epsilon parametrining matematik formulasi ishlab chiqildi. Taklif etilgan formula eng kichik kvadratlar usuli, dispersiya tahlili va sinflar orasidagi masofani hisobga oluvchi kompleks matematik yondashuvga asoslanadi.

Epsilon parametrining matematik ifodasi quyidagi to‘liq formulada berilgan:

1-qadam. Har bir sinf uchun dispersiya va masofa parametrlari hisoblanadi:

σ_K - K -sinf dispersiyasi.

$\frac{1}{D_K}$ - K -sinfnig boshqa sinflarga o‘rtacha masofasi.

$F_K = maqsad_K = 1 - F1_K$.

2-qadam. Gipertekislik(model) ifodasi quriladi:

$$\overline{F_K} = \alpha \times \sigma_K + \frac{\beta}{D_K}. \quad (27)$$

3-qadam. Xatolarni aniqlash. Residual xatolik hisoblanadi:

$$e_K = (1 - F1_K) - \overline{F_K} = (1 - F1_K) - \left(\alpha \times \sigma_K + \frac{\beta}{D_K} \right). \quad (28)$$

4-qadam. Kvadrat xatolar yig‘indisi topiladi:

$$J(\alpha, \beta) = \sum_{K=1}^{10} \left((1 - F1_K) - \left(\alpha \times \sigma_K + \frac{\beta}{D_K} \right) \right)^2. \quad (29)$$

5-qadam Minimallashtirish bajariladi. α va β shunday topilsinki $J(\alpha, \beta)$ minimal bo‘lsin:

$$J(\alpha, \beta) = \sum_{K=1}^{10} \left((1 - F1_K) - \left(\alpha \times \sigma_K + \frac{\beta}{D_K} \right) \right)^2 \rightarrow \min, \quad (30)$$

$$\begin{cases} \alpha \sum_{K=1}^{10} \sigma_K^2 + \beta \sum_{K=1}^{10} \frac{\sigma_K}{D_K} = \sum_{K=1}^{10} (1 - F_K) \sigma_K \\ \alpha \sum_{K=1}^{10} \frac{\sigma_K}{D_K} + \beta \sum_{K=1}^{10} \frac{1}{D_K^2} = \sum_{K=1}^{10} \frac{1 - F_K}{D_K}. \end{cases} \quad (31)$$

Tenglamalar sistemasi hosil qilinadi va α va β lar topiladi.

6-qadam. Topilgan α va β yordamida har bir sinf uchun epsilon qiymat hisoblaniladi. Natijalar 5-jadvalda berib o‘tilgan.

$$\varepsilon_K = \alpha \times \sigma_K + \frac{\beta}{D_K}. \quad (32)$$

Dissertatsiyaning “**Modelni o‘qitish, sinovdan o‘tkazish va baholash**” deb nomlangan to‘rtinchi bobi amaliy tajribaga asoslangan bo‘lib, bir qator ilmiy natijalar tahlil qilingan. Mazkur bobda avvalgi bo‘limlarda taklif etilgan algoritmlarga asoslanib tanlangan informativ belgilarning boshqa mavjud algoritmlar bilan qiyosiy tahlillari o‘tkazilgan bo‘lib, bundan tashqari qisman pretsedentlikka asoslangan tayanch qism to‘plamlarning berilgan sinflarga munosabat darajalari ham jadval ko‘rinishida keltirib o‘tilgan. Turli xil usullar hamda taklif qilingan takomillashtirilgan algoritmlar yordamida tanlangan informativ

belgilar asosida ularni baholash amalga oshirilgan. Mazkur baholash1-jadvalda ko'rsatilgan:

1-jadval.

Informativ belgilarni tanlash algoritmlarini baholash

№	Baholash	Belgilarning umumiy soni	Informativ belgilar soni	Tanib olish aniqligini baholash	Redundantlikni baholashning oʻrtacha koʻrsatkichi
	Metodlar				
1	Chi-kvadrat testi	29	16	85%	0.8
2	Takomillashgan Chi-kvadrat testi	29	10	85%	0.6
3	Mutual information	29	14	83%	0.7
4	ANOVA	29	9	76%	0.6
5	LASSO	29	12	85%	0.8
6	Taklif etilgan algoritm	29	15	88%	0.5

Qismaniy pretseidentlik tamoyili asosida tanlangan informativ belgilarning tayanch qism to'plamlari hosil qilindi. Hosil qilingan qism to'plamlarning sinflarga bo'lgan munosabatini baholovchi mezon ishlab chiqildi. Mazkur natijalar 2-jadvalda keltirilgan.

1. Optimal belgilar sonini aniqlash.

Barcha tayanch qism to'plamlar uchun maksimal sifat ko'rsatkichini hisoblash:

$$MF_1 = \max_{\tilde{\omega} \in \Omega} F_1(\tilde{\omega}), \tilde{\omega} \in \Omega, \quad (33)$$

bu yerda, $F_1(\tilde{\omega})$ –har bir kombinatsiya uchun sifat ko'rsatkichi.

Optimal belgilar kombinatsiyasini hisoblash:

$$\tilde{\omega}^* = \underset{\tilde{\omega} \in \Omega}{\operatorname{argmin}} |k|, \text{ agar } F_1(\tilde{\omega}) \geq \lambda \times MF_1. \quad (34)$$

2-jadval.

Informativ belgilarning tayanch qism to'plamlarining berilgan sinflarga munosabatini baholovchi mezonlar(minimal xususiyatlar soni)

№	Sinflar	MF1	$\Omega_K > \lambda$	$\tilde{\omega}_\theta$	Belgilarning qism to'plamlari
1	Tomato Leaf Mold	85.9%	81.7	6	'Skew_B', 'R/G', 'ExG_mean', 'ExG_std', 'ExR_mean', 'ExR_std'
2	Tomato Bacterial Spot	85.1%	80.8	5	'ExG_mean', 'ExG_std', 'ExR_mean', 'ExR_std', 'Std_R'
3	Tomato_target_spot	74.2%	70.5	6	Std_G', 'GLI', 'R/G', 'ExG_std', 'ExR_mean', 'ExR_std'
4	Tomato-Sept_Leaf_Spot	84.9%	80.6	6	'Mean_R', 'Std_G', 'ExG_mean', 'ExG_std', 'ExR_mean', 'ExR_std'

5	Tomato_healthy	93.6%	88.9	3	'Std_R', 'ExR_std', 'GLCM_contrast1'
6	Tomato_Yellow_Leaf_Curl_Virus	84.8%	80.5	5	'Mean_R', 'Mean_B', 'Std_B', 'R/G', 'G/B'
7	Tomato_Two-spotted_spider_mite	74.7%	70.9	6	'Mean_R', 'Skew_B', 'R/G', 'ExG_mean', 'ExR_mean', 'ExR_std'
8	Tomato_Early_Blight	72.5%	68.9	6	'Mean_R', 'ExG_mean', 'ExG_std', 'ExR_mean', 'ExR_std', 'Std_R'
9	Tomato_Mosaic_Virus	96.9%	92.1	3	'GLI', 'ExG_mean', 'ExG_std'
10	Tomato_Late_blight	74.9%	71.2		'ExG_mean', 'ExG_std', 'ExR_mean', 'ExR_std', 'Std_R'

Har bir sinfda maksimal $F1$ ko'rsatkichga erishish uchun kerakli minimal belgilar soni aniqlandi. Tahlil natijalariga ko'ra, barcha sinflarda turlicha belgilar kombinatsiyalar orqali $F1 \geq \lambda \times MF1$ natijaga erishildi.

2. Belgilarning sinflar kesimida muhimlik darajasi.

$$Im(K, \tilde{\omega}_{x_i}) = \frac{\sum_{\tilde{\omega}_{x_i} \in \Omega_K} F1(\Omega_K)}{|\Omega|} \quad (35)$$

bu yerda: K -sinf, $\tilde{\omega}_{x_i}$ – qism to'plam ichidagi belgi, Ω - belgini o'z ichiga olgan barcha kombinatsiyalar to'plami.

3-jadval.

Belgilarning $\tilde{\omega}$ sinflar kesimida muhimlik darajasi

№	Sinflar Belgilar	Tomato Leaf Mold	Tomato Bact erial Spot	Tomato Target Spot	Tomato Septor ia Leaf Spot	Tomato Healthy
1	Mean_R	0.37	-	0.17	0.41	-
2	Mean_B	0.17	-	0.17	0.19	-
3	Std_R	0.20	0.60	-	-	0.92
4	Std_G	-	0.21	0.51	0.21	-
5	Std_B	-	-	-	-	-
6	Kurt_R	-	-	-	-	0.23
7	Skew_B	0.40	0.21	-	-	-
8	GLI	0.19	0.60	0.19	-	-
9	Red_Green_Ratio	0.21	-	0.19	-	0.69
10	Green_Blue_Ratio	-	-	0.32	-	-
11	GLCM_Contrast1	-	-	-	-	0.69
12	ExR_Mean	0.61	0.62	0.34	0.41	-
13	ExR_Std	0.61	0.42	0.51	0.60	0.69
14	ExG_Mean	0.21	0.21	-	0.77	0.23
15	ExG_Std	0.42	0.81	0.19	0.77	0.47

4-jadval.

Belgilarning $\tilde{\omega}$ sinflar kesimida muhimlik darajasi(davomi)

№	Sinflar Belgilar	Tomato_ Yellow_Leaf_ Curl_Virus	Tomato_Two- spotted_spider_ mite	Tomato_Early_ Blight	Tomato_ Mosaic Virus	Tomato_Late_ blight
1	Mean_R	0.61	0.36	0.18	-	0.35
2	Mean_B	0.20	-	-	-	-
3	Std_R	-	-	0.34	-	0.68
4	Std_G	-	-	0.14	0.48	-
5	Std_B	0.20	0.17	0.16	-	-
6	Kurt_R	-	-	-	0.72	-
7	Skew_B	-	0.35	-	-	-
8	GLI	0.59	0.16	0.16	0.72	-
9	Red_Green_Ratio	0.79	0.67	0.31	-	0.19
10	Green_Blue_Ratio	0.20	0.17	-	0.24	-
11	GLCM_Contrast1	-	-	-	-	-
12	ExR_Mean	0.41	0.49	0.35	-	0.68
13	ExR_Std	-	0.19	0.35	-	0.37
14	ExG_Mean	0.21	0.19	0.35	0.96	0.18
15	ExG_Std	0.21	0.17	0.51	0.96	0.53

5-jadval.

Obyektlarning etalonga muvofiqligini baholash uchun chegaraviy qiymatlarni aniqlash

№	Sinflar	ε -qiymatlar (har bir sinf uchun)	Yagona ε qiymat
1	Tomato___Bacterial_spot	0.05	0.05
2	Tomato___Early_blight	0.05	
3	Tomato___Late_blight	0.06	
4	Tomato___Leaf_Mold	0.06	
5	Tomato___Septoria_leaf_spot	0.07	
6	Tomato___Spider_mites Two-spotted_spider_mite	0.06	
7	Tomato___Target_Spot	0.07	
8	Tomato___Tomato_Yellow_Leaf_Curl_Virus	0.04	
9	Tomato___Tomato_mosaic_virus	0.04	
10	Tomato___healthy	0.04	

XULOSA

“Tasvir ko‘rinishida berilgan o‘simlik barglarining kasalliklarini tashxislashda informativ belgilarni tanlash algoritmlari” mavzusidagi dissertatsiya ishi asosida amalga oshirilgan tadqiqotlar doirasida quyidagicha xulosalar qilindi:

1. Tadqiqot mobaynida dastlab, tasvirlarga raqamli ishlov berishning usul hamda algoritmlari tahlil qilindi. Jumladan, barg tasvirlaridagi patologik holatlarning namoyon bo‘lishida muhim ahamiyat kasb etadigan algoritmlar tanlab olindi. Chunki tasvirlarga dastlabki ishlov berish jarayoni tasniflash masalalarida katta ahamiyat kasb etadi. Yaxshi ishlov berilgan tasvirlardan xususiyatlarni ajratib olish jarayoni barqarorlashadi hamda foydalanilayotgan modelning aniqlik ko‘rsatkichlariga sezilarli ta’sir ko‘rsatadi.

2. Tadqiqot natijasida o‘simlik bargi tasvirlaridan obyektning turli toifali xususiyatlarini ajratishga mo‘ljallangan algoritmlar asosida maxsus yondashuv ishlab chiqildi. Ushbu yondashuv tasvirlarga dastlabki ishlov berish, tasvirlarning rang, tekstura, shakl hamda statistik xususiyatlarini aniqlovchi algoritmlar ansamblini qo‘llash orqali xususiyatlarni sonli ko‘rinishda olish imkonini beradi. Mazkur jarayon o‘qitish vaqtining ancha kamayishiga sabab bo‘ladi. Xususiyatlarni ajratish natijasida hosil qilingan o‘quv tanlanma keyingi tasniflash bosqichlarida aniqlikni oshirishga xizmat qiladi.

3. Obyektni tavsiflovchi xususiyatlar to‘plamidan eng informativlarini aniqlash algoritmlari takomillashtirildi. Taklif etilgan algoritmlar statistik tahlil, kombinatsion baholash va optimallashtirish usullarini birlashtirib, belgilar sonini qisqartiradi va shu orqali modelning hisoblash murakkabligini kamaytiradi. Bu esa real vaqtda ishlovchi tizimlar uchun sezilarli samaradorlik beradi.

4. Sinflar orasidagi farqlanish darajasini baholash uchun belgilarni tayanch qism to‘plamlar bilan bog‘liqligini o‘lchovchi maxsus mezon taklif qilindi. Ushbu mezon belgining ma’lum bir sinf kombinatsiyalari doirasida qanchalik barqaror va farqlovchi ekanligini aniqlaydi. Natijada, tanlangan belgilar tasniflash jarayonida yuqori diskriminativ qobiliyatga ega bo‘lishi ta’minlanadi.

5. O‘quv tanlanmadagi obyektlarning etalonga qanchalik mos kelishini aniqlash uchun chegaraviy qiymatga asoslangan identifikatsiya yondashuvi ishlab chiqildi. Ushbu metod obyektning tanlangan xususiyatlari bo‘yicha etalon namunaga yaqinlik darajasini miqdoriy baholash imkonini beradi.

6. Tadqiqot paytida bajarilgan barcha ishlar barg tasvirlaridan olingan o‘quv tanlanmadagi qiymatlarni aniq hisoblashga, bu orqali informativ belgilarni samarali tanlashga, tanlangan informativ belgilardan qism to‘plamlar yaratish orqali xususiyatlar yetarli bo‘lmagan sharoitida ham tanib olish imkonini berishga xizmat qiladigan bosqichlar ketma-ketligi samarali tashkil qilingan. Amaliyotda foydalanish uchun olingan usul va algoritmlar ham yuqoridagi bosqichlardan olingan o‘quv tanlanmalarda barqaror ishlashga zamin yaratildi.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSC.13/05.05.2023.T.07.03 ПО
ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ ТАШКЕНТСКОМ
УНИВЕРСИТЕТЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

**ТАШКЕНТСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ ИМЕНИ МУХАММАДА АЛ-ХОРАЗМИЙ**

МУРАЕВА ХОДИСАХОН МУСИНЖОН КЫЗЫ

**АЛГОРИТМЫ ВЫБОРА ИНФОРМАТИВНЫХ ПРИЗНАКОВ ДЛЯ
ДИАГНОСТИКИ ЗАБОЛЕВАНИЙ ЛИСТЬЕВ РАСТЕНИЙ,
ПРЕДСТАВЛЕННЫХ В ВИДЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ**

05.01.03 – Теоретические основы информатики

**АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ
ДОКТОРА ФИЛОСОФИИ (PhD) ПО ТЕХНИЧЕСКИМ НАУКАМ**

Ташкент-2026

Тема диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Министерстве высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан под номером B2025.3.PhD/T5804

Диссертация выполнена в Ташкентском университете информационных технологий имени Мухаммада ал-Хоразмий.

Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице научного совета (www.tuit.uz) и на Информационно-образовательном портале «ZiyoNet» (www.ziynet.uz).

Научный руководитель:

Худайбердиев Мирзаакбар Хаккулмирзаевич
доктор технических наук, старший научный сотрудник

Официальные оппоненты:

Примова Холида Анорбоевна
доктор технических наук, профессор

Темербекова Барно Маратовна
доктор технических наук, доцент

Ведущая организация:

Андижанский государственный университет имени Захириддина Мухаммада Бабура

Защита диссертации состоится « 9 » сентября 2026 г. в 16⁰⁰ часов на заседании научного совета DSc.09/2025.27.12.T.01.03 при Ташкентском университете информационных технологий. (Адрес: 100084, г. Ташкент, ул. Амира Темура, 108. Тел.: (99871) 207-59-42; e-mail: ilmiy_kengash@tuit.uz.)

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ташкентского университета информационных технологий (регистрационный № 446). (Адрес: 100084, г. Ташкент, ул. Амира Темура, 108. Тел.: (99871) 238-64-15.)

Автореферат диссертации разослан « 28 » августа 2026 года.
(реестр протокола рассылки № 25 от « 28 » августа 2026 г.).



М.М.Камилов

Председатель научного совета по присуждению ученых степеней, доктор технических наук, академик АН РУз

Н.А.Эгамбердиев

Ученый секретарь научного совета по присуждению ученых степеней, доктор философии по техническим наукам

Н.О.Рахимов

Председатель научного семинара при научном совете по присуждению ученых степеней, доктор технических наук, доцент

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и востребованность темы диссертации. В современном мире одной из актуальных задач является мониторинг продовольственного обеспечения посредством цифровизации всех отраслей народного хозяйства и своевременное выявление факторов, наносящих ущерб. Стремительный рост численности населения, изменение климата, деградация почв и ограниченность водных ресурсов обуславливают необходимость увеличения объемов сельскохозяйственного производства. Однако различные заболевания растений существенно препятствуют достижению данной цели. Согласно международным исследованиям, ежегодно заболевания растений в среднем снижают урожайность сельскохозяйственных культур в мире на 20–40 %. В отдельных случаях эти потери могут достигать 50 % и более. Например, по данным Продовольственной и сельскохозяйственной организации Объединённых Наций (ФАО), заболевания и вредители растений ежегодно наносят значительный экономический ущерб мировому сельскому хозяйству. В этих условиях научные исследования, направленные на раннее выявление и предупреждение заболеваний растений, имеют важное значение для обеспечения устойчивости сельского хозяйства, повышения урожайности, укрепления продовольственной безопасности и внедрения полученных результатов в практику. В связи с этим особую значимость приобретает использование теоретических и практических подходов к разработке комплекса специальных алгоритмов выбора информативных признаков при диагностике заболеваний растений, основанных на технологиях цифровой обработки изображений и методах предварительной обработки данных, позволяющих повысить качество изображений, выделить признаки, характеризующие объект, и выбрать из них наиболее оптимальные.

Во всем мире проводятся научно-исследовательские работы, направленные на решение вышеуказанных задач посредством цифровых технологий и интеллектуального анализа данных. Путём преобразования изображений листьев в цифровую форму можно преобразовать их цветовые, пространственные и текстурные характеристики в точные числовые показатели. На основе этих показателей с использованием алгоритмов машинного и глубокого обучения признаки заболеваний автоматически выделяются, что позволяет осуществлять диагностику с высокой точностью. Поскольку изменения цвета листьев являются одним из ранних признаков многих заболеваний, интеллектуальный анализ цветовых характеристик рассматривается как один из наиболее перспективных подходов к раннему выявлению заболеваний растений. В связи с этим особое внимание уделяется разработке алгоритмов интеллектуального выявления заболеваний растений на основе цветовых характеристик изображений листьев.

В Республике Узбекистан также реализуется широкий комплекс мер, направленных на внедрение современных информационно-коммуникационных технологий в сельское хозяйство, разработку эффективных алгоритмов и методов интеллектуального анализа данных, а

также цифровизацию процессов диагностики, в результате чего достигнуты определённые результаты. Кроме того, в рамках Портала открытых данных Республики Узбекистан была запущена цифровая платформа данных (data.egov.uz), предоставляющая возможность получения наборов данных государственных органов и других информационных ресурсов для использования программного обеспечения на основе искусственного интеллекта. Данная платформа может способствовать развитию ряда отраслей страны. Открытый доступ к данным создает возможности для проведения научных исследований и разработки инновационных проектов.

Указанный диссертационный труд в определённой степени служит реализации задач, определённых Указом Президента Республики Узбекистан от 19 февраля 2018 года № УП-5349 “О дальнейшем совершенствовании сферы информационных технологий и коммуникаций”, Указом Президента Республики Узбекистан от 28 января 2022 года № УП-60 “О Стратегии развития Нового Узбекистана на 2022–2026 годы”, Постановлением Президента Республики Узбекистан от 17 февраля 2021 года № ПП-4996 “О мерах по созданию условий для ускоренного внедрения технологий искусственного интеллекта”, Постановлением Президента Республики Узбекистан от 14 октября 2024 года № ПП-358 “Об утверждении Стратегии развития искусственного интеллекта до 2030 года”, Постановлением Кабинета Министров Республики Узбекистан от 17 декабря 2020 года № 794 “О мерах по развитию системы цифровизации агропромышленного комплекса и сельского хозяйства”, а также другими нормативно-правовыми документами, относящимися к данной сфере деятельности.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики. Данное исследование выполнено в рамках IV приоритетного направления развития науки и технологий Республики — “Информатизация и развитие информационно-коммуникационных технологий”.

Степень изученности проблемы. Как известно, при эффективном проведении научного исследования, а также при совершенствовании методов и алгоритмов, связанных с данным исследованием, важное значение имеет степень изученности научной литературы по рассматриваемой проблеме. В частности, до настоящего времени в области извлечения и отбора признаков при распознавании образов выполнен ряд научных исследований.

Так, Ф. Розенблатт разработал модель перцептрона, в которой была предложена первоначальная концепция автоматической классификации образов путем подачи входных признаков (features) на нейронную сеть. М.А. Айзерман, Е.М. Браверман и Л.И. Розоноэр, разработав метод потенциалов, предложили методы распознавания образов, основанные на представлении объектов в пространстве признаков (feature space). В.Н. Вапник и А.Я. Червоненкис, разработав теорию обучения на основе статистических принципов и методы опорных векторов (SVM), научно обосновали классификацию образов на основе векторов признаков. Н.Г. Загоруйко внёс

значительный вклад в развитие алгоритмов принятия решений на основе признаков путем анализа информативности признаков и функции близости в задачах распознавания образов. Кроме того, Ю. И. Журавлев, один из крупнейших ученых в области распознавания образов, разработал теорию “Алгоритмов вычисления оценок”.

Существенный вклад в развитие методов и алгоритмов данного направления распознавания образов внесли также ученые нашей страны — М.М. Камиллов, Ш.Х. Фозилов, Н. Мирзаев, А.Х. Нишанов, Э.М. Алиев, Д.Т. Мухаммадиева, Н.С. Маматов, М.Х. Худойбердиев, А.Ш. Хамроев и другие.

Несмотря на то, что в данном направлении выполнено значительное количество научных исследований, в задачах классификации заболеваний растений на основе изображений листьев до настоящего времени остаются нерешенными вопросы определения таких признаков, которые в полной мере отражают сущность объекта, их оптимального отбора, а также установления взаимосвязей между классами и подмножествами признаков — эти аспекты изучены недостаточно полно.

Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ научно-исследовательского учреждения, где выполнена диссертация. Данная диссертационная работа выполнена в рамках научно-исследовательских проектов по теме № FL-8824063405 “Развитие теории и алгоритмов цифровой обработки биомедицинских сигналов и медицинских изображений на основе методов искусственного интеллекта” (2025–2027), включённой в план научно-исследовательских работ Ташкентского университета информационных технологий имени Мухаммада ал-Хоразмий.

Цель исследования. Совершенствование и внедрение в практику алгоритмов формирования пространства информативных признаков на основе обработки данных об изображениях листьев растений для диагностики заболеваний.

Задачи исследования:

сбор и анализ алгоритмов предварительной обработки набора данных, состоящего из изображений листьев растений различного качества, отражающих патологические признаки;

выбор наиболее рациональных алгоритмов выделения признаков, характеризующих объект, из изображений листьев растений и, их совершенствование;

совершенствование алгоритмов отбора информативных признаков из совокупности характеристик, описывающих объект;

разработка критерия оценки взаимосвязей между классами и опорными подмножествами признаков, характеризующих объект;

проведение экспериментальных испытаний для определения практической применимости предлагаемого подхода и комплекса алгоритмов.

Объектом исследования рассмотрены методы и алгоритмы формирования обучающих и контрольных выборок на основе цифровой обработки изображений.

Предмет исследования. При диагностике заболеваний растений на основе изображений листьев были использованы методы цифровой обработки изображений, дискретной математики, математического программирования, распознавания образов, а также методы и алгоритмы интеллектуального анализа данных.

Методы исследования. В процессе исследования были использованы методы интеллектуального анализа данных и распознавания образов.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

разработан ансамбль алгоритмов выявления различных категорий признаков, характеризующих объект, на основе изображений листьев растений;

усовершенствованы алгоритмы отбора информативных признаков, используемых в процессе описания свойств объекта для целей распознавания;

на основе принципа частичной прецедентности разработан критерий оценки взаимосвязи между классами и опорными подмножествами признаков;

разработан подход к определению пороговых значений для оценки соответствия объектов эталону.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

На основе алгоритмов и подходов отбора информативных признаков был разработан программный комплекс “Определение заболеваний томатов”. Данное программное обеспечение предназначено для идентификации и диагностики различных патологий на основе изображений листьев растений посредством выявления информативных признаков.

Программный комплекс обеспечивает более гибкую и точную классификацию по сравнению с традиционными методами. Кроме того, объединение отобранных информативных признаков с алгоритмом глубокого обучения повысило эффективность работы программного комплекса.

Достоверность результатов исследования. Достоверность результатов исследования методологически объясняется строгой математической постановкой задачи и применением точных методов и алгоритмов распознавания, а также соответствием теоретических и практических результатов решенных задач.

Научная и практическая значимость результатов исследования. Научная значимость результатов исследования объясняется формированием комплекса алгоритмов выделения признаков, характеризующих объект, разработкой алгоритма отбора наиболее информативных признаков, а также определением критерия оценки взаимосвязи между опорными подмножествами признаков и классами на основе принципов частичной прецедентности.

Практическая значимость результатов исследования заключается в возможности применения разработанных алгоритмов и программного

комплекса в сельском хозяйстве. Кроме того, организация опорных подмножеств признаков на основе вышеупомянутых принципов частичной прецедентности обеспечивает возможность распознавания даже в условиях недостаточности данных.

Внедрение результатов исследования. На основе алгоритмов отбора информативных признаков и программного комплекса для диагностики заболеваний листьев растений на основе изображений:

Программный комплекс, разработанный на основе алгоритмов выбора информативных признаков при диагностике заболеваний листьев растений, представленных в виде изображений, используется в Сырдарьинском областном управлении Агентства по карантину и защите растений Министерства сельского хозяйства Республики Узбекистан в качестве средства формирования обучающей выборки на основе изображений листьев и повышения точности диагностики заболеваний растений на основе выбранных информативных признаков (справка Министерства сельского хозяйства № 05/06-04-527 от 5 сентября 2025 года). Данный программный комплекс способствует повышению эффективности диагностики, осуществляемой специалистами сельского хозяйства.

Программный комплекс внедрён в практическую деятельность отдела сельского хозяйства Бувайдинского района Ферганской области Республики Узбекистан в качестве средства обработки данных изображений листьев и повышения точности диагностики на основе информативных признаков (справка Министерства сельского хозяйства № 05/06-04-527 от 5 сентября 2025 года). В результате полученные результаты исследований стали подвергаться более точному анализу, при этом были выявлены существенные преимущества по сравнению с существующими традиционными подходами.

Программный комплекс внедрён в ООО «Zamon teks klaster» Хавасского района Сырдарьинской области в качестве средства обработки данных изображений листьев и повышения точности диагностики на основе информативных признаков (справка Министерства сельского хозяйства № 05/06-04-527 от 5 сентября 2025 года). Использование программного комплекса на основе показателей, полученных из данных изображений листьев, позволило повысить эффективность диагностирования. Применение данного программного комплекса обеспечило возможность повышения эффективности диагностики заболеваний растений на 10 %.

Программный комплекс был апробирован в Джизакском областном управлении Агентства по карантину и защите растений Министерства сельского хозяйства Республики Узбекистан, где были получены определённые положительные результаты (справка Министерства сельского хозяйства № 05/06-04-527 от 5 сентября 2025 года). В результате время выявления заболеваний на листьях растений по сравнению с существующими методами сократилось на 15 %, а количество ошибок при их выявлении уменьшилось.

Апробация результатов исследования. Результаты исследования обсуждались на 2 международных и 5 республиканских научно-практических конференциях.

Публикация результатов исследования. По теме исследования опубликовано всего 19 научных работ, из которых 8 статей рекомендованы Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных результатов диссертаций на соискание ученой степени доктора, включая одну статью в зарубежном и шесть статей в республиканских журналах. Кроме того, получены 2 свидетельства на программные продукты ЭВМ и базы данных.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Объем диссертации составляет 100 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснована актуальность и необходимость темы диссертации, показано соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики Узбекистан, определены цели и задачи исследования, обозначены объект и предмет исследования, обоснована достоверность полученных результатов, их теоретическая и практическая значимость, рассмотрено внедрение результатов исследования на практике, приведены сведения о публикациях и структуре диссертации.

В первой главе диссертации: **“Современное состояние подходов к анализу заболеваний растений по их изображениям”** приведена подробная информация о получении изображений в различных условиях, типах визуализации, методах и техниках предварительной обработки изображений, причинах заболеваний растений, а также методах и алгоритмах, применяемых при распознавании изображений.

В разделе 1.1 данной главы исследовано, в каких условиях получают изображения листьев растений для идентификации заболеваний. Рассмотрены факторы, необходимые для получения изображений, проанализирована роль камер и их видов в диагностике заболеваний.

В разделе 1.2 рассматриваются методы и алгоритмы предварительной обработки изображений, а также их значение при выделении признаков, характеризующих объект. Процесс предварительной обработки изображений является одним из основных методологических этапов при определении признаков объекта и напрямую влияет на достоверность и точность последующих этапов анализа. Трансформации, выполняемые на этом этапе, такие как фильтрация, улучшение контраста, выделение фона, нормализация, позволяют уменьшить шум на изображении, уточнить элементы структуры и текстуры, а также стабилизировать цветовые параметры. Это способствует не только точной идентификации объекта, но и повышает точность классификации в сложных системах визуального анализа, снижает вероятность ошибок и улучшает обобщающую способность модели.

В разделе 1.3 данной главы проведён анализ типов изображений, важных для выявления различных заболеваний растений. Рассмотрены традиционные методы визуализации (RGB), а затем современные технологии визуализации (гиперспектральная, тепловая и др.) и их роль в диагностике заболеваний.

Во второй главе диссертации: **“Метод выделения RGB-дескрипторов из изображений растений и отбора опорных признаков”** представлены алгоритмы выделения признаков, характеризующих объект, и формирования пространства признаков. Также исследованы и проанализированы методы отбора информативных признаков, так как при учёте точности и скорости модели важно выбирать только наиболее информативные исходные признаки. На этапе отбора признаков рассмотрены несколько статистических и селективных подходов.

В разделе 2.1 данной главы приведены существующие алгоритмы выделения признаков, характеризующих объект. В рамках научного исследования для выделения цветовых, текстурных, формовых и статистических признаков из изображений листьев растений сформирован комплекс алгоритмов для каждой категории признаков.

Алгоритмы выделения статистических признаков представляют собой методы вычисления количественных показателей, характеризующих объект, на основе статистических закономерностей. Они отражают распределение, рассеяние и взаимосвязь значений пикселей на изображении. Эти алгоритмы выделения признаков представлены следующими выражениями:

1. *Среднее значение.* Характеризует среднее значение цветовой интенсивности изображения.

$$M_t = \sum_{u=1}^N \frac{1}{N} I_{t,u}, \quad (1)$$

здесь I_{tu} — значение интенсивности u — го пикселя t — цветового канала, N — количество пикселей.

2. *Стандартное отклонение.* Отражает квадратный корень дисперсии распределения цвета.

$$SD_t = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{u=1}^N (I_{t,u} - M_t)^2}. \quad (2)$$

3. *Симметрия.* Отражает степень асимметрии распределения цвета:

$$SK_t = \sqrt[3]{\frac{1}{N} \sum_{u=1}^N (I_{t,u} - M_t)^3}. \quad (3)$$

4. *Экссесс.* Отражает форму распределения цветовых значений.:

$$K_t = \sqrt[4]{\frac{1}{N} \sum_{u=1}^N (I_{t,u} - M_t)^4}. \quad (4)$$

5. *Избыточный индекс зелёного цвета (ExG).* Индекс, используемый для оценки преобладания зелёной цветовой компоненты.

$$ExG = \frac{1}{N} \sum_{u=1}^N (2I_{G,u} - I_{R,u} - I_{B,u}), \quad (5)$$

здесь: ExG_j — значение индекса избыточной зелёной компоненты для j -го объекта (изображения), N — количество пикселей в j -м объекте, $I_{G,u}$; $I_{R,u}$; $I_{B,u}$ — соответственно значения интенсивности u -го пикселя в зелёном, красном и синем каналах.

6. *Индекс избыточной красной компоненты (ExR).* Индекс, используемый для определения доминирования красного цвета.

$$ExR = \frac{1}{N} \sum_{u=1}^N \frac{1.4I_{R,u} - I_{G,u}}{I_{G,u} + I_{R,u} + I_{B,u}}. \quad (6)$$

7. *Индекс зелёности (GLI).* Индекс зелёности на изображениях листьев.

$$GLI = \frac{1}{N} \sum_{u=1}^N \frac{(2I_{G,u} - I_{R,u} - I_{B,u})}{(2I_{G,u} + I_{R,u} + I_{B,u})}. \quad (7)$$

8. *Красно-Зелёное соотношение, Синие-Зелёное соотношение, Красно-Синее соотношение.* Цветовые соотношения на изображениях листьев.

$$RGR = \frac{1}{N} \sum_{u=1}^N \frac{I_{R,u}}{I_{G,u} + \varepsilon}, \quad (8)$$

$$BGR = \frac{1}{N} \sum_{u=1}^N \frac{I_{B,u}}{I_{G,u} + \varepsilon}, \quad (9)$$

$$RBR = \frac{1}{N} \sum_{u=1}^N \frac{I_{R,u}}{I_{B,u} + \varepsilon}, \quad (10)$$

здесь: ε — малое значение ($\varepsilon = 10^{-8}$), используемое для предотвращения деления на ноль.

Вычисление текстурных признаков — это определение характеристик, описывающих пространственное расположение, повторяемость и структуру интенсивностей пикселей на изображении, отражающих свойства поверхности объекта, такие как гладкость, шероховатость, зернистость и упорядоченность.

Свойства GLCM (текстура). Пусть s_j - j -й объект изображения, тогда его i -й признак (контраст, энергия и т.д.) вычисляется через матрицу GLCM $P_j(I_{t,u}, I_{t,v})$ где $I_{t,u}$ и $I_{t,v}$ интенсивности соседних пикселей.

Контраст. Это мера, характеризующая степень различия яркости (интенсивности) различных пикселей на изображении. Высокий контраст означает большие различия в интенсивностях пикселей, тогда как низкий контраст указывает на малые различия. Контраст вычисляется с помощью следующей формулы:

$$f_i = \frac{1}{3} \sum_{t=1}^3 \sum_{I_{t,u}=0}^{L-1} \sum_{I_{t,v}=0}^{L-1} (I_{t,u} - I_{t,v})^2 P_{j,t}(I_{t,u}, I_{t,v}). \quad (11)$$

Корреляция. Это мера, характеризующая степень взаимосвязи между двумя пикселями. Высокая корреляция означает наличие сильной взаимосвязи между двумя пикселями. Рассчитывается с помощью следующей формулы:

$$f_i = \frac{1}{3} \sum_{t=1}^3 \frac{\sum_{I_{t,u}=0}^{L-1} \sum_{I_{t,v}=0}^{L-1} (I_{t,u} - \mu_{t,u})(I_{t,v} - \mu_{t,v}) P_{j,t}(I_{t,u}, I_{t,v})}{\sigma_{t,u} \sigma_{t,v}}, \quad (12)$$

здесь: $\mu_{t,u}$, $\mu_{t,v}$ — средние значения интенсивности по t -каналу, $\sigma_{t,u}$, $\sigma_{t,v}$ — дисперсии.

Энергия. Это мера, характеризующая степень однородности элементов GLCM (матрицы совместной встречаемости уровней серого). Рассчитывается с помощью следующей формулы:

$$f_i = \frac{1}{3} \sum_{t=1}^3 \sqrt{\sum_{I_{t,u}=0}^{L-1} \sum_{I_{t,v}=0}^{L-1} P_{j,t}(I_{t,u}, I_{t,v})^2}. \quad (13)$$

Однородность. Это мера, характеризующая, насколько элементы матрицы GLCM расположены близко к диагонали. Если элементы с высокими значениями расположены близко к диагонали, значение однородности также будет высоким. Рассчитывается с помощью следующей формулы:

$$f_i = \frac{1}{3} \sum_{t=1}^3 \sum_{I_{t,u}=0}^{L-1} \sum_{I_{t,v}=0}^{L-1} \frac{P_{j,t}(I_{t,u}, I_{t,v})}{1 + (I_{t,u} - I_{t,v})^2}. \quad (14)$$

В разделе 2.2 данной главы изложены методы оценки значимости признаков и их отбора в качестве информативных. В частности, с помощью теста χ^2 и ANOVA проанализирована статистическая связь между признаками и классами. Кроме того, на основе регрессии LASSO посредством

штрафования отбрасываются малоинформативные признаки. Также с помощью алгоритма последовательного отбора признаков (SFS) оцениваются различные комбинации признаков и выбирается оптимальный набор.

В разделе 2.3 проанализированы алгоритмы машинного обучения и глубокого обучения. В частности, методы опорных векторов (SVM) и k-ближайших соседей (kNN) широко применяются как эффективные средства. Модель SVM позволяет строить линейные и нелинейные разделяющие поверхности, находя гиперплоскость, оптимально разделяющую обучающую выборку. Этот метод показывает высокую точность для малых и средних выборок, однако для больших объёмов данных процесс обучения замедляется. Помимо машинного обучения, рассмотрена также значимость применения алгоритмов глубокого обучения для распознавания сложных шаблонов на изображениях.

В диссертации третья глава **«Выделение признаков, характеризующих объект, и отбор информативных признаков»** посвящена вопросам выделения и отбора признаков объектов. При этом определение признаков в основном осуществляется на основе использования ансамбля алгоритмов. На первом этапе на основе приведённых выше математических моделей рассчитываются численные значения признаков. Для этого формируется ансамбль алгоритмов выделения признаков различных категорий. Данный процесс представлен на рисунке 1. На этом этапе приведены последовательные этапы выделения признаков объектов с использованием алгоритмов выделения признаков. На следующем этапе описываются усовершенствованные алгоритмы отбора оптимальных признаков на основе выделенных характеристик. Кроме того, результаты применения различных алгоритмов машинного обучения в процессе классификации представлены в табличной форме.

Выделение признаков объектов из изображений листьев. Выделение признаков объектов включает определение нескольких независимых параметров. Каждый признак требует выполнения отдельного набора математических или статистических операций. Если признаки полностью отражают сущность объекта, процесс классификации осуществляется с высокой надёжностью. С учётом влияния различных настроек камер и уровней освещённости на значения признаков в процессе получения изображений разработан ансамбль алгоритмов выделения признаков различных категорий. Блок-схема данного алгоритма представлена на рисунке 1. Для решения вышеописанной проблемы ансамбль алгоритмов объединяет цветовые, статистические, текстурные и геометрические характеристики объекта в единое векторное пространство. Использование GLCM и дескрипторов формы позволяет снизить чувствительность модели к внешним шумам и изменениям условий освещения. В результате формируется информативный набор признаков, обеспечивающий высокую точность и устойчивость последующей классификации поражений листьев растений.

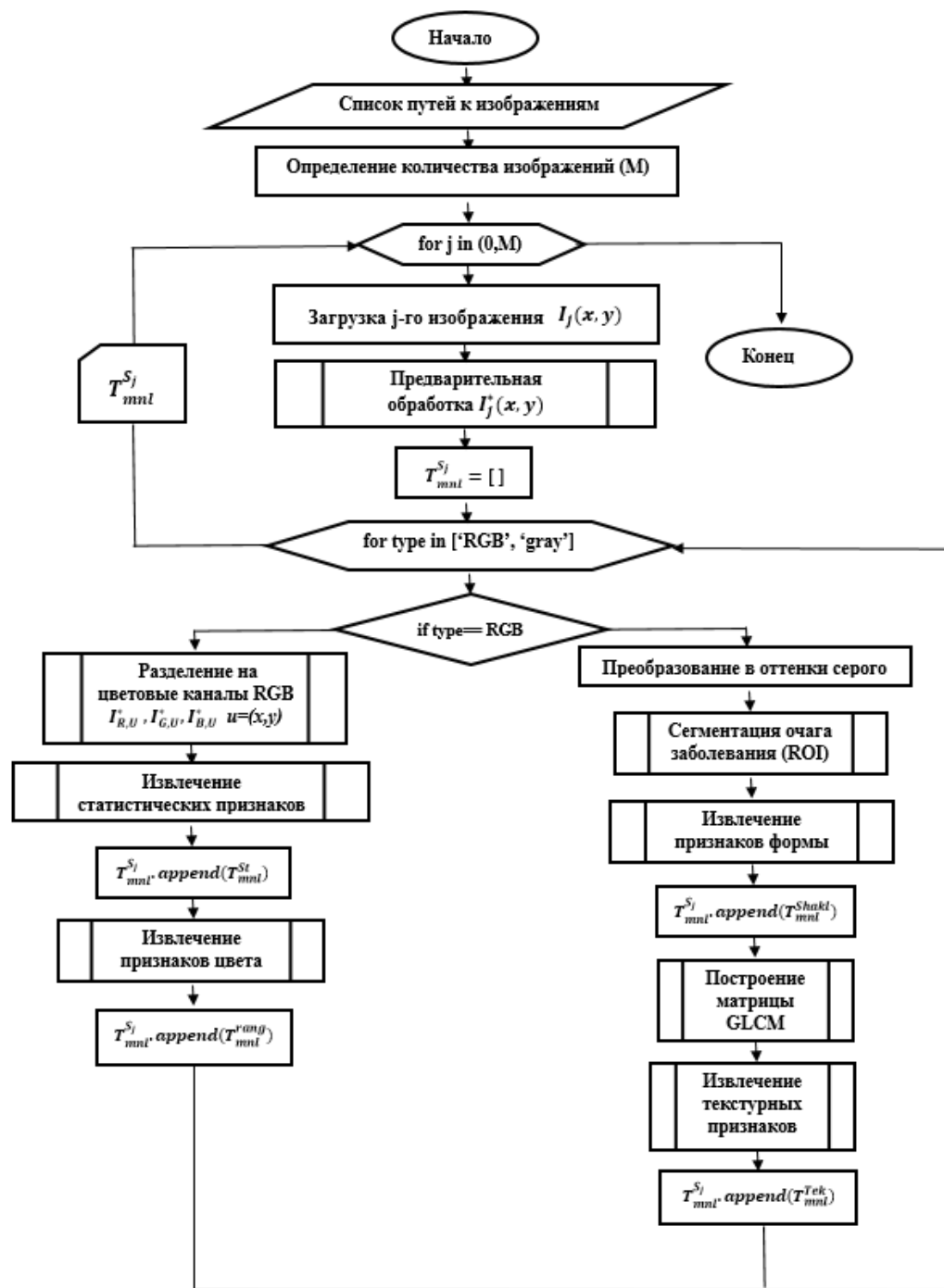


Рисунок 1. Процесс формирования обучающей выборки из цифровых изображений

Постановка задачи отбора информативных признаков из признаков, характеризующих объекты

Пусть при постановке задачи отбора информативных признаков заданы следующие элементы:

объекты: $S = \{s_1, s_2, \dots, s_m\}$ m объектов, для каждого объекта имеется n признаков;

все признаки каждого объекта: $s_j = \{x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{nj}\}$;

классы объектов: $y_j \in K = \{K_1, K_2, \dots, K_l\}$;

обучающая выборка: $T_{mnl} = \{(s_j, y_j)\}_{j=1}^m$;

множество выбираемых признаков: $X^* \subseteq X, |X^*| = m \ll n$.

Отбор информативных признаков осуществляется на основе следующих критериев:

1. Выбор информативных признаков по степени связи каждого признака x_i с K классами;
2. Выбор информативных признаков по точности распознавания модели.

$$X^* = \{x_i^* : U(x_i^*) \geq \delta \cup \arg \max_{X^* \subseteq X} F1(M)\}, \quad (15)$$

где: U — критерий информативности на основе статистики, δ — порог информативности, $F1(M)$ — критерий на основе моделирования, X^* — окончательное множество информативных признаков.

Предложенный усовершенствованный подход к определению информативных признаков

Алгоритм усовершенствованного χ -квадрат теста

Шаг 1. Формулировка гипотез:

H_0 — нулевая гипотеза, между классами и признаками зависимости нет;

H_1 — альтернативная гипотеза: между классами и признаками существует зависимость.

Шаг 2. Построение таблицы сопряженности:

формируется таблица частот классов и признаков, для каждой ячейки (i, j) указываются наблюдаемые значения O_{ij} .

Шаг 3. Вычисление ожидаемых значений E_{ij} для каждой ячейки:

$$E_{ij} = \frac{\sum_{i=1}^N O_{ij} \times \sum_{j=1}^M O_{ij}}{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M O_{ij}}, \quad (16)$$

где N — число строк, M — число столбцов

Шаг 4. Вычисление статистики φ :

$$\varphi = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \frac{(O_{ij} - E_{ij})^2}{E_{ij}}. \quad (17)$$

Шаг 5. Оценка степени зависимости:

$$\delta = \sqrt{\frac{\varphi}{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M O \times \min(N-1, M-1)}}. \quad (18)$$

Шаг 6. Определение критического значения:

$$df = (N - 1) \times (M - 1), \quad (19)$$

$\varphi_{kr} = \varphi$ критическое значение, взятое из χ -квадрат таблицы для (α, df)

Шаг 7. Сравнение статистики с критическим значением:

если $\varphi > \varphi_{kr}$:

H_0 отвергается (признаки и классы взаимосвязаны);

иначе

H_0 не отвергается (признаки независимы от классов).

Шаг 8. Интерпретация связи по величине δ

- $0.0 < \delta \leq 0.1$: Незначительная,
- $0.1 < \delta \leq 0.35$: Слабая,
- $0.35 < \delta \leq 0.5$: Сильная,
- $\delta > 0.5$: Очень сильная.

Шаг 9. Формирование результирующего множества информативных признаков:

$$X^* = \{x_1^*, x_2^*, \dots, x_{10}^*\}. \quad (20)$$

Алгоритм объединения усовершенствованного χ -квадрат теста и метода последовательного отбора признаков

Шаг 1. Формирование множества признаков, отобранных χ -квадрат тестом:

$$X^* = \{x_1^*, x_2^*, \dots, x_{10}^*\}. \quad (21)$$

Шаг 2. Алгоритм последовательного отбора признаков (SFS) Начальное состояние:

$$\begin{aligned} X_0 &= \emptyset. \\ k &= 0. \end{aligned} \quad (22)$$

Алгоритм начинается с пустого множества признаков.

Выбор лучшего признака:

$$X^+ = \operatorname{argmax} J(X_k + x), \quad (23)$$

где $x \in Y - X_k$, $J(\cdot)$ - функция оценки, X_k -текущий набор признаков, $Y - X_k$ - ещё не выбранные признаки.

$$\begin{aligned} X_{k+1} &= X_k + X^+. \\ k &= k + 1. \end{aligned} \quad (24)$$

На каждом шаге добавляется признак, который наиболее улучшает работу классификатора.

Процесс повторяется до выполнения условия останова $k = p$

Шаг 3. Возврат итогового набора признаков X_k .

Шаг 4. Объединение признаков, полученных χ -квадрат тестом и SFS:

$$\tilde{X} = X^* \cup X. \quad (25)$$

Шаг 5. Получение итогового множества признаков $\tilde{X}$.

Определение пороговых значений для оценки соответствия объектов эталону

В диссертационной работе впервые разработана математическая модель параметра ϵ (epsilon), предназначенного для отбора информативных признаков при визуальной диагностике заболеваний листьев растений. Предлагаемый подход основывается на методе наименьших квадратов, дисперсионном анализе и учёте межклассовых расстояний, что обеспечивает комплексную математическую оценку признаков.

Общее математическое выражение параметра ε формируется по следующим этапам:

Этап 1. Определение статистических параметров для каждого класса

Dis_k – дисперсия K -го класса.

$\frac{1}{D_k}$ – обратная величина среднего расстояния до других классов.

$F_k = maqsad_k = 1 - F1_k$. функция ошибки модели.

Этап 2. Модель гиперплоскости. Зависимость параметров описывается линейной моделью:

$$\overline{F}_k = \alpha \times Dis_k + \frac{\beta}{D_k}. \quad (26)$$

Этап 3. Вычисление ошибок (остатков)

$$e_k = (1 - F1_k) - \overline{F}_k = (1 - F1_k) - \left(\alpha \times Dis_k + \frac{\beta}{D_k} \right). \quad (27)$$

Этап 4. Функция суммы квадратов ошибок:

$$J(\alpha, \beta) = \sum_{k=1}^{10} \left((1 - F1_k) - \left(\alpha \times Dis_k + \frac{\beta}{D_k} \right) \right)^2 \quad (28)$$

Этап 5. Минимизация по методу наименьших квадратов

$$J(\alpha, \beta) = \sum_{k=1}^{10} \left((1 - F1_k) - \left(\alpha \times Dis_k + \frac{\beta}{D_k} \right) \right)^2 \rightarrow \min, \quad (29)$$

В результате получена система нормальных уравнений:

$$\begin{cases} \alpha \sum_{k=1}^{10} Dis_k^2 + \beta \sum_{k=1}^{10} \frac{Dis_k}{D_k} = \sum_{k=1}^{10} (1 - F_k) Dis_k \\ \alpha \sum_{k=1}^{10} \frac{Dis_k}{D_k} + \beta \sum_{k=1}^{10} \frac{1}{D_k^2} = \sum_{k=1}^{10} \frac{1 - F_k}{D_k}. \end{cases} \quad (30)$$

Из данной системы вычисляются значения α и β .

Этап 6. Расчёт значения ε для каждого класса. Полученные значения ε приведены в таблице 5.

$$\varepsilon_k = \alpha \times Dis_k + \frac{\beta}{D_k}. \quad (31)$$

Четвёртая глава диссертационной работы: “**Обучение модели, тестирование и оценка**”, носит прикладной характер и основана на результатах экспериментальных исследований. В данной главе на основе алгоритмов, предложенных в предыдущих разделах, проведён сравнительный анализ выбранных информативных признаков с другими существующими алгоритмами. Кроме того, в виде таблицы представлены степени принадлежности опорных подмножеств к заданным классам на основе частичной прецедентности.

На основе информативных признаков, отобранных с применением различных методов, а также предложенного усовершенствованного алгоритма, была проведена их оценка. Результаты оценки представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Оценка алгоритмов отбора информативных признаков

№	Оценка Методы	Общее количество признаков	Количество информатив ных признаков	Оценка точности распознавания	Средний показатель оценки избыточности
1	Критерий Хи-квадрат	29	16	85%	0.8
2	Усовершенствованный критерий хи-квадрат	29	10	85%	0.6
3	Mutual information	29	14	83%	0.7
4	ANOVA	29	9	76%	0.6
5	LASSO	29	12	85%	0.8
6	Предлагаемый алгоритм	29	15	88%	0.5

На основе принципа частичной прецедентности были сформированы опорные подмножества информативных признаков. Разработан критерий, оценивающий взаимосвязь полученных подмножеств с классами. Данные результаты приведены в таблице 2.

2. Определение оптимального количества признаков.

$$\widetilde{\omega}_{\theta} = \min(xususiyatlar_soni) \text{ agar } F1 \geq \lambda \times MF1. \quad (32)$$

Таблица 2.

Оценка взаимосвязи опорных подмножеств информативных признаков с заданными классами.

№	Классы	MF1	$\Omega_K > \lambda$	$\widetilde{\omega}_{\theta}$	Подмножества признаков
1	Tomato Leaf Mold	85.9%	81.7	6	'Skew_B', 'R/G', 'ExG_mean', 'ExG_std', 'ExR_mean', 'ExR_std'
2	Tomato Bacterial Spot	85.1%	80.8	5	'ExG_mean', 'ExG_std', 'ExR_mean', 'ExR_std', 'Std_R'
3	Tomato_target_spot	74.2%	70.5	6	'Std_G', 'GLI', 'R/G', 'ExG_std', 'ExR_mean', 'ExR_std'
4	Tomato-Sept_Leaf_Spot	84.9%	80.6	6	'Mean_R', 'Std_G', 'ExG_mean', 'ExG_std', 'ExR_mean', 'ExR_std'
5	Tomato_healthy	93.6%	88.9	3	'Std_R', 'ExR_std', 'GLCM_contrast1'
6	Tomato_Yellow_Leaf_Curl_Virus	84.8%	80.5	5	'Mean_R', 'Mean_B', 'Std_B', 'R/G', 'G/B'
7	Tomato_Two-spotted_spider_mite	74.7%	70.9	6	'Mean_R', 'Skew_B', 'R/G', 'ExG_mean', 'ExR_mean', 'ExR_std'
8	Tomato_Early_Blight	72.5%	68.9	6	'Mean_R', 'ExG_mean', 'ExG_std', 'ExR_mean', 'ExR_std', 'Std_R'

9	Tomato_Mosaic_Virus	96.9%	92.1	3	'GLI', 'ExG_mean', 'ExG_std'
10	Tomato_Late_blight	74.9%	71.2	5	'ExG_mean', 'ExG_std', 'ExR_mean', 'ExR_std', 'Std_R'

Для каждого класса было определено минимальное количество признаков, необходимое для достижения максимального значения показателя $F1$. Согласно результатам анализа, для всех классов при использовании комбинации из разное число признаков было достигнуто значение $F1 \geq \lambda \times MF1$.

3. Степень значимости признаков в разрезе классов.

$$Im(K, \tilde{\omega}_{x_i}) = \frac{\sum_{\tilde{\omega}_{x_i} \in \Omega_K} F1(\Omega_K)}{|\Omega|} \quad (33)$$

где: K - класс, $\tilde{\omega}_{x_i}$ – признак внутри подмножества, Ω - множество всех комбинаций, включающих данный признак.

Таблица 3. Степени значимости признаков $\tilde{\omega}$ в разрезе классов

№	Классы Признаков	Tomato Leaf Mold	Tomato Ba cterial Spot	Tomato Target Spot	Tomato Septoria Leaf Spot	Tomato Healt hy
1	Mean_R	0.37	-	0.17	0.41	-
2	Mean_B	0.17	-	0.17	0.19	-
3	Std_R	0.20	0.60	-	-	0.92
4	Std_G	-	0.21	0.51	0.21	-
5	Std_B	-	-	-	-	-
6	Kurt_R	-	-	-	-	0.23
7	Skew_B	0.40	0.21	-	-	-
8	GLI	0.19	0.60	0.19	-	-
9	Red_Green_Ratio	0.21	-	0.19	-	0.69
10	Green_Blue_Ratio	-	-	0.32	-	-
11	GLCM_Contrast1	-	-	-	-	0.69
12	ExR_Mean	0.61	0.62	0.34	0.41	-
13	ExR_Std	0.61	0.42	0.51	0.60	0.69
14	ExG_Mean	0.21	0.21	-	0.77	0.23
15	ExG_Std	0.42	0.81	0.19	0.77	0.47

Таблица 4.

Степени значимости признаков $\tilde{\omega}$ в разрезе классов

№	Классы Признаков	Tomato_ Yellow_Leaf_C url_Virus	Tomato_T wo- spotted_sp ider_mite	Tomato_Early_B light	Tomato_Mo saic Virus	Tomato_Lat e_ blight
1	Mean_R	0.61	0.36	0.18	-	0.35
2	Mean_B	0.20	-	-	-	-

3	Std_R	-	-	0.34	-	0.68
4	Std_G	-	-	0.14	0.48	-
5	Std_B	0.20	0.17	0.16	-	-
6	Kurt_R	-	-	-	0.72	-
7	Skew_B	-	0.35	-	-	-
8	GLI	0.59	0.16	0.16	0.72	-
9	Red_Green_Ratio	0.79	0.67	0.31	-	0.19
10	Green_Blue_Ratio	0.20	0.17	-	0.24	-
11	GLCM_Contrast1	-	-	-	-	-
12	ExR_Mean	0.41	0.49	0.35	-	0.68
13	ExR_Std	-	0.19	0.35	-	0.37
14	ExG_Mean	0.21	0.19	0.35	0.96	0.18
15	ExG_Std	0.21	0.17	0.51	0.96	0.53

Таблица 5.

Определение пороговых значений для оценки соответствия объектов эталону

№	Классы	ε — значения (для каждого класса)	единое значение ε
1	Tomato___Bacterial_spot	0.05	0.05
2	Tomato___Early_blight	0.05	
3	Tomato___Late_blight	0.06	
4	Tomato___Leaf_Mold	0.06	
5	Tomato___Septoria_leaf_spot	0.07	
6	Tomato___Spider_mites Two-spotted_spider_mite	0.06	
7	Tomato___Target_Spot	0.07	
8	Tomato___Tomato_Yellow_Leaf_Curl_Virus	0.04	
9	Tomato___Tomato_mosaic_virus	0.04	
10	Tomato___healthy	0.04	

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках диссертационного исследования на тему “Алгоритмы выбора информативных признаков при диагностике заболеваний листьев растений по изображению” были сделаны следующие выводы:

1. В ходе исследования был проведён анализ методов и алгоритмов цифровой обработки изображений. В частности, были выбраны алгоритмы, имеющие ключевое значение для выявления патологических состояний на изображениях листьев. Поскольку этап предварительной обработки изображений играет важную роль в задачах классификации, качественно обработанные изображения обеспечивают стабильное извлечение признаков и существенно влияют на показатели точности используемой модели.

2. В результате исследования был разработан специальный подход для выделения различных типов признаков объектов на изображениях листьев. Данный подход позволяет получать количественные характеристики признаков за счёт применения ансамбля алгоритмов для предварительной обработки изображений, а также для выявления цветовых, текстурных, формальных и статистических признаков. Этот процесс значительно сокращает время обучения моделей. Извлечение признаков обеспечивает повышение точности на последующих этапах классификации.

3. Алгоритмы выбора наиболее информативных признаков из набора характеристик объектов были усовершенствованы. Предложенный алгоритм объединяет статистический анализ, комбинаторную оценку и методы оптимизации, сокращая число признаков и, соответственно, снижая вычислительную сложность модели. Это обеспечивает значительную эффективность для систем, работающих в реальном времени.

4. Для оценки степени различимости между классами был предложен специальный критерий, измеряющий связь признаков с опорными подмножествами. Данный критерий позволяет определить, насколько признак стабилен и различителен в пределах определённых комбинаций классов. В результате выбранные признаки обеспечивают высокую дискриминационную способность при классификации.

5. Для количественной оценки соответствия объектов эталонным образцам в обучающей выборке был разработан метод идентификации на основе пороговых значений. Данный метод позволяет оценивать степень близости объекта к эталонному образцу по выбранным признакам.

6. В ходе исследования была эффективно организована последовательность этапов, включающая точное вычисление значений в обучающей выборке, эффективный выбор информативных признаков, а также создание опорных подмножеств из выбранных признаков, что обеспечивает возможность распознавания объектов даже при недостаточности характеристик. Разработанные методы и алгоритмы показали стабильную работу на практических обучающих выборках, что подтверждает их применимость в реальных условиях.

**SCIENTIFIC COUNCIL AWARDING SCIENTIFIC DEGREES
DSc.09/2025.27.12. T.01.03 AT TASHKENT UNIVERSITY OF
INFORMATION TECHNOLOGIES**

**TASHKENT UNIVERSITY OF INFORMATION TECHNOLOGIES
NAMED AFTER MUHAMMAD AL-KHWARIZMI**

MURAYEVA KHODISAKHON MUSINJON QIZI

**FEATURE SELECTION ALGORITHMS FOR THE DIAGNOSIS OF
PLANT LEAF DISEASES FROM IMAGE DATA**

05.01.03 – Theoretical basis of computer science

**ABSTRACT OF THE DISSERTATION OF DOCTOR
OF PHILOSOPHY (PhD) IN TECHNICAL SCIENCES**

Tashkent-2026

The theme of Doctor of Philosophy (PhD) dissertation in technical sciences was registered at the Supreme Attestation Commission at the Ministry of Higher Education, Science and Innovations of the Republic of Uzbekistan under number B2025.3.PhD/T5804.

The dissertation has been prepared at Tashkent University of Information Technologies.

The abstract of the dissertation is posted in three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) on the website www.tuit.uz and on the website of «ZiyoNet» Information and Educational portal www.ziynet.uz.

Scientific adviser:

Khudaiberdiev Mirzaakbar Khakkulmirzaevich
Doctor of Technical Sciences, senior researcher

Official opponents:

Kholida Anorboevna Primova
Doctor of Technical Sciences, Professor

Temerbekova Barno Maratovna
Doctor of Technical Sciences, Associate Professor

Leading organization:

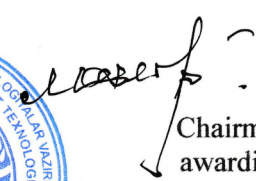
Andijan State University named after Zahiriddin Muhammad Babur

The defense of the dissertation will be held “9” september 2026 at 4^{pm} at the meeting of Scientific council No. DSc.09/2025.27.12.T.01.03 at Tashkent University of Information Technologies (Address: 100084, Tashkent city, Amir Temur street, 108. Ph.: (+99871) 207-59-42, e-mail: ilmiy_kengash@tuit.uz.)

The dissertation can be found at the Information Resource Centre of Tashkent University of Information Technologies (is registered under No. 446). (Address: 100084, Tashkent city, Amir Temur street, 108. Ph.: (+99871) 238-64-15.)

The abstract of dissertation was sent out on “28” august 2026 y.
(mailing protocol No 25 on “28” august 2026 y.).




M.M.Kamilov
Chairman of the Scientific Council for
awarding scientific degrees, Doctor of
Technical Sciences, Academician of the ASU


N.A.Egamberdiev
Scientific Secretary of the Scientific
Council for awarding scientific degrees,
Doctor of Philosophy in Technical Sciences


N.O.Rakhimov
Chairman of the scientific seminar under the
Scientific Council for awarding scientific degrees,
Doctor of Technical Sciences, Docent.

INTRODUCTION (abstract of PhD dissertation)

The aim of the research work is to improve and implement algorithms for forming an informative feature space for diagnosing plant diseases based on leaf images.

The object of the research work is methods and algorithms for forming training and test samples through digital image processing.

The scientific novelty is as follows:

an ensemble of algorithms for detecting various categories of features has been developed for extracting characteristic attributes of objects from plant leaf images;

algorithms for identifying informative features that contribute to object recognition within the feature characterization process have been improved;

a criterion has been developed to evaluate the relationship between classes and the reference subsets of features based on the principle of partial precedent;

an approach for determining threshold values to assess the conformity of objects to the reference standard has been developed.

Implementation of the research results. Based on the software package “Algorithms for Selecting Informative Features in Diagnosing Plant Leaf Diseases from Images”:

At the Jizzakh Regional Department of the Plant Quarantine and Protection Agency of the Ministry of Agriculture of the Republic of Uzbekistan, the software product was tested and demonstrated significant efficiency. As a result, the time required to detect diseases on plant leaves increased by 15% compared to existing methods, and the error rate was reduced to a certain extent.

At the Agriculture Department of Buvayda District, Fergana Region, Republic of Uzbekistan, the software product “Algorithms for Selecting Informative Features in Diagnosing Plant Leaf Diseases from Images” was introduced into practical use. As a result, the research outcomes began to be analyzed with higher precision, showing noticeable advantages compared to traditional approaches.

At the Syrdarya Regional Department of the Plant Quarantine and Protection Agency of the Ministry of Agriculture of the Republic of Uzbekistan, the software product “Algorithms for Selecting Informative Features in Diagnosing Plant Leaf Diseases from Images” was tested. During the trial operations, the software demonstrated its full effectiveness. As a result, even in conditions where features were insufficient, high-accuracy identification was achieved; the detection time improved by 14% compared to existing methods, the error rate decreased significantly, and labor productivity increased by 16%.

Publication of the research results. A total of 19 scientific works have been published on the research topic, including 8 articles in scientific journals recommended by the Higher Attestation Commission of the Republic of Uzbekistan for publishing the main results of doctoral dissertations—of which one was published in an international journal and six in national journals. In addition, 3 certificates have been obtained for the registration of computer programs and databases

Structure and volume of the dissertation. The dissertation consists of an

introduction, four chapters, a conclusion, a list of references and appendices. The volume of the dissertation is 100 pages.

E'LON QILINGAN ISHLAR RO'YXATI
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I bo'lim (I часть; I part)

1. Мадрахимов А.Х., Мураева Х., Катъиймас тўплам алгоритм ва моделларидан фойдаланиб тасвир сифатини такомиллаштириш, “МУҲАММАД АЛ-ХОРАЗМИЙ АВЛОДЛАР” Илмий-амалий ва ахборот-таҳлилий журнал, 2(8)/2019. –В. 87-89. (05.00.00; № 10).
2. Xudayberdiyev M.X., Murayeva H.M., Sun'iy yo'ldoshdan olingan tasvirlarni segmentatsiyalashda timsollarni aniqlash masalalari, “TATU xabarlari” Ilmiy-texnika va axborot-tahliliy jurnal, 1 (65)/2023. –В. 92-99. (05.00.00; № 31).
3. Xudayberdiyev M.X., Murayeva H.M., A review for crop pest recognition based on different convolutional neural network models, “TATU xabarlari” Ilmiy-texnika va axborot-tahliliy jurnal, 2 (66)/2023. –В. 2-8. (05.00.00; № 31).
4. M.Kh. Khudayberdiyev., A.Sh. Khamroev., Kh.M.Muraeva, A review for different approaches of tomato leaf disease detection, “Digital transformation and artificial intelligence: problems, innovations and trends” 1st international scientific - practical conference, Tashkent-2025. – P.274-277. (05.00.00; 30.07.2024 № 358/3-son OAK rayosatining qarori).
5. Khudaiberdiyev M.Kh., Madрахимов A.Kh., Muraeva Kh.M, A synergistic feature selection framework integrating statistical tests and sequential selection for improved plant disease diagnosis, Advanced Computing: An International Journal (ACIJ), Vol.16, No.5, 2025. –P. 1-10. (05.00.00; № 1, URL: <https://aircconline.com/acij/V16N5/16525acij01.pdf>).
6. M.Kh. Khudayberdiyev., Kh.M.Muraeva., A.Sh. Khamroev, Applying to the algorithm of calculating estimates for clustering problems, “Кимёвий технология. Назорат ва бошқарув” Халқаро илмий - техникавий журнал, 6(108)/2022. –В. 16-22. (05.00.00; № 12).
7. Murayeva H.M., O'simlik kasalliklarini identifikatsiya qilishda informativ belgilarni saralab olish usullari tahlili, “Raqamli Transformatsiya va Sun'iy Intellect” ilmiy jurnali, VOLUME 3, ISSUE 2, April-2025. – P.109-112. (05.00.00; 04.07.2023 № 340/5-son OAK rayosatining qarori).
8. Khudaiberdiyev M.Kh., Madрахимов A.Kh., Muraeva Kh.M, Hybrid feature extraction framework based on stability analysis and bagging ensemble learning for plant disease detection, “TATU xabarlari” Ilmiy-texnika va axborot-tahliliy jurnal, 1 (77)/2026. –В. 125-135. (05.00.00; № 31).

II bo'lim (II часть; II part)

9. Fazliddin Makhmudov, Kudratjon Zohirov, Jura Kuvandikov, Zavqiddin Temirov, Akmalbek Abdusalomov Bobomirzayevich, Mukhriddin Mukhiddinov, Khodisakhon Muraeva, Jasur Sevinov and Furkat Bolikulov,

YOLOv9-based detection of diseases in poplar trees using histogram equalization and computer vision, Sensors-2026, –P.1-21.
DOI: <https://doi.org/10.3390/s26113320>

10. Мадрахимов А., Мураева Х., Soft computing in medical image processing, “ФАННИНГ ДОЛЗАРБ МАСАЛАЛАРИ” илмий-амалий анжумани Фарғона – 2018., Б. 59-60.

11. Мураева Х., Султанова М.Т., Гайназаров М.А., Advanced techniques for image preprocessing in biological processes, Международной научно-практической онлайн – конференции “Интеллектуальные технологии в образовании” Ташкент-2021., –С. 227-230.

12. Khamroev A.Sh., Kh.M.Muraeva, Sultanova M.T., Theoretical approaches for the development of insect identification system, “Iqtisodiyot tarmoqlarining innovatsion rivojlanishida axborot kommunikatsiya texnologiyalarining ahamiyati” ilmiy-texnik anjumani, Toshkent-2022. – B. 82-85.

13. Xudoyberdiyev M.X., Murayeva H.M., O‘simliklarning patologik holatlarini aniqlashda chuqur o‘qitishga asoslangan xususiyatlarni optimallashtirish yondashuvi., “Raqamli transformatsiya sharoitida sun’iy intellektni rivojlantirish va zamonaviy matematikani o‘qitish muammolari va yechimlari” ilmiy-amaliy anjumani, Qarshi-2025. – B. 455-461.

14. Murayeva H.M., Image pre-processing techniques for crop pest detection, “Kompyuter ilmlari va muhandislik texnologiyalari” xalqaro ilmiy-texnik anjumani, Jizzax-2023. – B. 19-22.

15. Murayeva H.M., Image analysis for biological objects, “Sun’iy intellekt nazariyasi va amaliyoti: tajribalar, muammolar va istiqbollar” respublika ilmiy-amaliy anjumani, Toshkent-2024. – B. 433-436.

16. Xudoiberdiyev M.Kh., Kh.M.Muraeva., A deep learning-based approach for optimizing feature selection in detecting pathological conditions of plants, Proceedings of the 8th International Scientific and Practical Conference “Experimental and theoretical research in modern science”, Canada-2025. – P.574-581.

17. Madrakhimov A.Kh., Kh.M.Muraeva, A feature integration method for plant disease detection, Proceedings of the 6th International Scientific and Practical Conference “Science in the environment of rapid changes”, Belgium-2025. – P.257-265.

18. Axmedova Z.Y., Xolmatov B.R., Yahyoyev J.N., Sobirov S.K., Nazarov Sh.N., Murayeva H.M., Alimov A.A., Yuldashev Sh.I. Urug‘ mevali bog‘larning asosiy zararkunandalari informatsion-analitik tizimi // O‘zbekiston Respublikasi Adliya vazirligi. Ma’lumotlar ba’zasining rasmiy ro‘yxatdan o‘tkazilganligi to‘g‘risidagi guvohnoma № BGU 471. 12.11.2021

19. Axmedova Z.Y., Yahyoyev J.N., Kimyonazarov S.Q., Ganiyeva Z.A., Murayeva H.M., Axmedov V.N., Xamidov B.A., Yuldashev O.A. Danak mevali bog‘larning asosiy zararkunandalari // O‘zbekiston Respublikasi Adliya vazirligi.

Elektron hisoblash mashinalari uchun yaratilgan dasturning rasmiy ro'yxatdan o'tkazilganligi to'g'risidagi guvohnoma № DGU 31719. 12.12.2023.

Avtoreferat “Al-Xorazmiy avlodlari” O‘zbekiston ilmiy jurnali tahririyatida tahrirdan o‘tkazildi hamda o‘zbek, rus va ingliz tillaridagi matnlari mosligi tekshirildi.