YANGI O‘ZBEKISTON, YANGI TADQIQOTLAR JURNALI
Volume 5 Issue 6 Oktabr 2026
https://phoenixpublication.net/ Online ISSN: 3030-3494

ROBOT-MANIPULYATORLARDA OB’YEKTLARNI ANIQLASH JARAYONLARINI TADQIQ ETISH VA MODELLASHTIRISH

Alimardon Mustafoqulov
“Toshkent irrigatsiya va qishloq xo‘jaligini mexanizatsiyalash muhandislari instituti” Milliy Tadqiqot Universiteti assistenti.

Annotatsiya. *Maqolada qishloq xo‘jaligi robot-manipulyatorlarida meva-sabzavotlarni, xususan pomidor mahsulotini aniqlash, pishganlik darajasini baholash va manipulyator harakatini boshqarish masalalari ko‘rib chiqiladi. Robotning ko‘rish tizimida YOLOv5, SSD va RGB rang kanallariga asoslangan tasvirni qayta ishlash yondashuvlari yoritilgan. Pomidor tasvirini segmentatsiyalash, pishganlik ulushini hisoblash hamda algoritm natijalarini tajriba ma’lumotlari asosida baholash ifodalari keltirilgan.*

Kalit so‘zlar: *robot-manipulyator, pomidor, kompyuter ko‘rishi, YOLOv5, SSD, RGB, tasvirni qayta ishlash, pishganlik darajasi, kinematika.*

1. KIRISH

So‘nggi yillarda qishloq xo‘jaligi mahsulotlarini yig‘ish jarayonlarini avtomatlashtirishda robot-manipulyatorlardan foydalanish kengaymoqda. Shirin qalampir, qulupnay, olma, kivi va pomidor kabi mahsulotlarni yig‘ishga mo‘ljallangan robotlashtirilgan qurilmalar ishlab chiqilmoqda. Bunday tizimlarning asosiy vazifasi mahsulotning joylashuvini aniqlash, pishganlik holatini baholash, mevani shikastlamasdan ushlash va belgilangan joyga ko‘chirishdan iborat [1-4].

Pomidor yig‘ish tizimlarini umumiy holda ikki yondashuvga ajratish mumkin: o‘simlikni yoki uning shoxlarini silkitish orqali hosilni ajratish hamda har bir mevani alohida aniqlab, ushlash va uzish. Ikkinchi yondashuv mahsulotga mexanik ta’sirni kamaytirishi va sifatini saqlash imkonini berishi bilan ahamiyatlidir. Biroq bunda tasvir orqali obyektni ishonchli aniqlash, pishganlik darajasini baholash va manipulyator harakatini sinxron boshqarish talab etiladi.

Robot-manipulyator samaradorligi faqat ko‘rish algoritmining aniqligiga emas, balki koordinatalarni hisoblash, bo‘g‘imlarning burchak holatini belgilash va ijro organining kerakli trayektoriya bo‘yicha harakatlanishiga ham bog‘liq. Shu sababli tasvirni qayta ishlash va manipulyator kinematikasini yagona boshqaruv zanjirida ko‘rib chiqish muhimdir [5, 6].

2. ROBOT-MANIPULYATORNING TUZILISHI VA KINEMATIKASI

Qishloq xo‘jaligi robot-manipulyatori odatda harakatlanuvchi platforma, robot qo‘li, ushlash qurilmasi (end-effector), joylashuvni aniqlash vositalari, tasvirni qayta ishlash moduli

va boshqaruv blokidan tashkil topadi. Boshqaruv algoritmi obyekt koordinatalarini aniqlaydi, manipulyatorning kerakli holatini hisoblaydi va ijro mexanizmlariga boshqaruv signallarini uzatadi [3, 4].

Manipulyator bo‘g‘imlarining burchaklari, bo‘g‘im uzunliklari va siljishlari orasidagi bog‘lanishni ifodalashda Denavit–Hartenberg (D–H) parametrlari qo‘llaniladi. Har bir bo‘g‘im uchun geometrik parametrlar aniqlanib, ketma-ket koordinata almashtirish matritsalari hosil qilinadi. Umumiy o‘zgartirish matritsasi quyidagi ko‘rinishda yoziladi:

$$T_0^n = A_1(\theta_1) \cdot A_2(\theta_2) \cdot \ldots \cdot A_n(\theta_n) \quad (1)$$

Bu yerda A_i — i-bo‘g‘imga tegishli koordinata almashtirish matritsasi, θ_i — bo‘g‘imning burilish burchagi. Manipulyatorning oxirgi nuqtasi koordinatalari umumiy matritsaning translatsion tashkil etuvchilaridan olinadi. Manbada keltirilgan besh bo‘g‘imli mexanizm uchun bo‘g‘im burchaklari quyidagi chegaralarda berilgan: $-105° < \theta_1 < 105°$, $0° < \theta_2 < 125°$, $-130° < \theta_3 < -10°$, $-105° < \theta_4 < 0°$ va $0° < \theta_5 < 360°$.

Kinematik hisoblashlar manipulyatorning obyektga yaqinlashishi, uni ushlashi va konteynerga joylashtirishida zarur. Bunda harakatni minimal tebranish bilan bajarish hamda bo‘g‘imlar burchaklarini o‘lchash aniqligini ta’minlash talab qilinadi. 1-jadvalda Manipulyator bo‘g‘imlarining kinematic parametrlari (manbadagi qiymatlar asosida).

Bo‘g‘im	Burilish burchagi	Bo‘g‘im uzunligi	Aylanma siljish	Burchak chegarasi
1	θ_1	L_1	0	−105°…105°
2	θ_2	L_2	0	0°…125°
3	θ_3	L_3	−90°	−130°…−10°
4	θ_4	L_4	0	−105°…0°
5	θ_5	L_5	0	0°…360°

3. OBYEKTLARNI ANIQLASH ALGORITMLARI

Qishloq xo‘jaligi mahsulotlarini avtomatik yig‘ishda kompyuter ko‘rishi tizimi obyektning koordinatalari va xususiyatlarini aniqlaydi. Adabiyotlarda YOLOv5 va SSD kabi chuqur o‘rganishga asoslangan detektorlar qo‘llanadi. YOLOv5 pomidor va uning bandini bir kadrda aniqlash uchun ishlatilgan; manbada bitta kadrni qayta ishlash vaqti 104 ms deb keltirilgan. SSD ham obyektlarni real vaqt rejimida aniqlashga mo‘ljallangan, biroq ko‘rib chiqilgan tajribada pomidor bandini aniqlash samarasi yetarli bo‘lmagan.

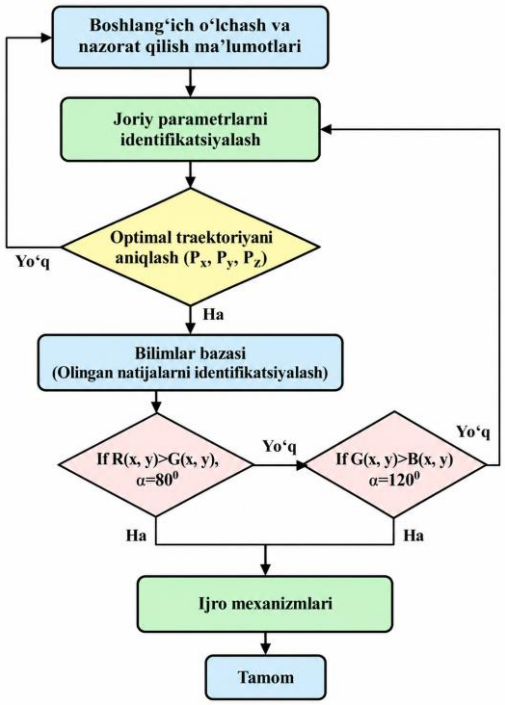


1-rasm. YOLOv5 va SSD modellari yordamida pomidor va uning bandini aniqlash namunasi

Detektor chiqishida aniqlangan obyekt chegaralovchi to‘rtburchak koordinatalari 900inemat identifikatori bilan ifodalanadi. Obyekt tavsifi quyidagi 900inema ko‘rinishida yozilishi mumkin:

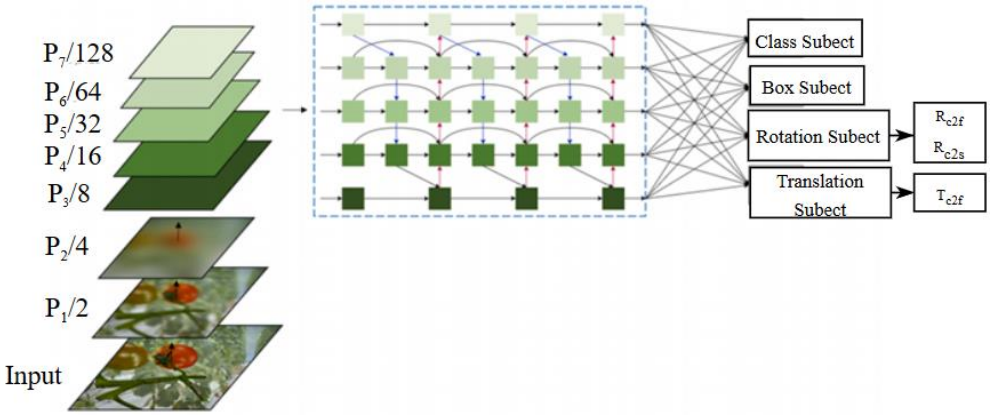
B = (x, y, w, h, objid, prob) (2)

Bu yerda x va y — chegaralovchi to‘rtburchakning boshlang‘ich koordinatalari; w va h — uning eni 900inem‘yi; objid — obyekt sinfi (masalan, pomidor yoki meva bandi); prob — aniqlash ishonchliligi. Olingan koordinatalar manipulyator koordinata tizimiga o‘tkazilib, 900inema 900inematic hisoblash uchun ishlatiladi [5-8].



2-rasm. Pomidor yig‘ish robotining obyektni aniqlash va harakatni bajarish algoritmi

Taklif etilgan boshqaruv ketma-ketligida avval boshlang‘ich o‘lchash va nazorat ma’lumotlari olinadi, obyektning joylashuvi aniqlanadi va optimal trayektoriya tanlanadi. Keyin pomidorning rang xususiyatlari bo‘yicha pishganlik holati baholanadi. Aniqlangan holatga muvofiq ushlash va yig‘ish amali bajariladi. Burchak siljishi datchigi manipulyator bo‘g‘imlarining belgilangan holatga kelishini nazorat qilishda qo‘llanadi.



3-rasm. Tasvirni ko‘p masshtabli matritsalarga ajratish va obyekt belgilarini shakllantirish sxemasi

4. RGB RANG MODELI ASOSIDA POMIDORNING PISHGANLIK DARAJASINI ANIQLASH

Pomidor pishganligini baholashda tasvirning RGB rang modeli bo‘yicha qayta ishlanishi qo‘llanadi. Raqamli tasvir M×N o‘lchamli piksel matritsasi sifatida qaraladi. Har bir piksel qizil, yashil va ko‘k kanallar qiymatlari bilan ifodalanadi: R(x,y), G(x,y), B(x,y). Pishgan pomidorning qizil rang komponenti belgilangan chegaraviy qiymatdan yuqori bo‘lishi sharti bilan ajratiladi.

$$\text{Mask}(x, y)=\begin{cases}\text{If } R(x,y) > G(x,y) \text{ and } R(x,y) > B(x,y) \text{ and } R(x,y) > T, 1 \\ \text{otherwise}, 0\end{cases} \quad (3)$$

Bu yerda T — qizil rang kanalining chegaraviy qiymati. Mantiqiy maska yordamida pishgan pomidorga mos piksellar ajratiladi. Dastlabki tasvir va maskaning elementma-element ko‘paytmasi segmentlangan tasvirni beradi:

$$\text{Result}(x, y)=\text{Tasvir}(x, y)\cdot\text{Mask}(x, y), \quad (4)$$

Pishganlik ulushi qizil rangga mansub piksellar sonining tasvirdagi jami piksellar soniga nisbati orqali aniqlanadi:

$$P_{\%} = \frac{P_{Pish}}{P_{Umumiy}} \cdot 100\%, \quad (5)$$

Bu yerda N_{pish} — pishgan deb tasniflangan piksellar soni, N_{umumiy} — pomidor tasviridagi jami piksellar soni. Tasvir o‘lchami M×N bo‘lsa, umumiy piksel soni $N_{umumiy}=M\cdot N$ ga teng [9].



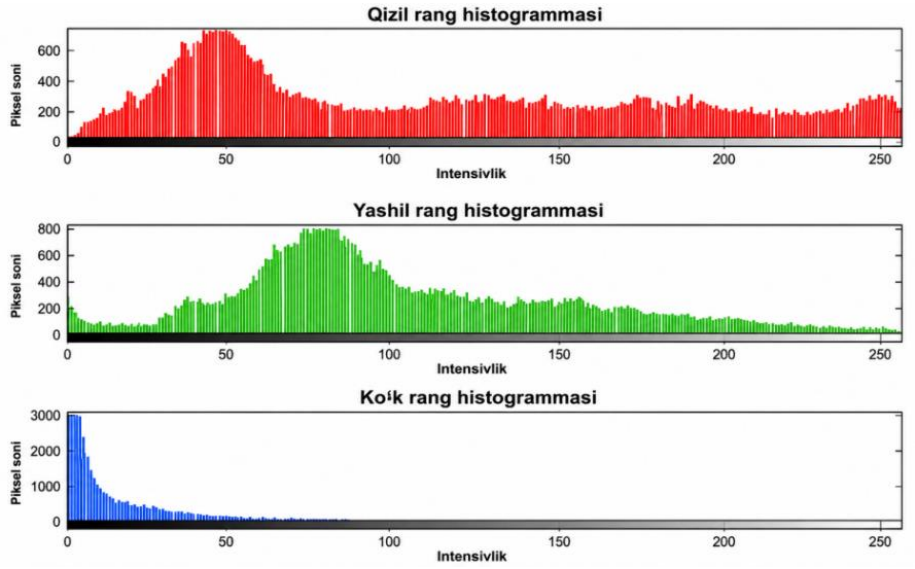
4-rasm. Issiqxona sharoitida olingan pomidor tasvirining boshlang‘ich ko‘rinishi



5-rasm. RGB rang belgilariga ko‘ra pomidor tasvirlarini segmentatsiyalash natijalari

5. TAJRIBA NATIJALARI VA ALGORITM ANIQLIGINI BAHOLASH

Algoritmning ishlashini baholash uchun issiqxona sharoitida olingan pomidor tasvirlari MATLAB muhitida qayta ishlangan. Tasvirlar RGB kanallariga ajratilib, rang intensivligi bo‘yicha gistogrammalar qurilgan. Manbada qizil kanal uchun 50, yashil kanal uchun 70 intensivlik atrofida piksel to‘planishi qayd etilgan; ko‘k kanal taqsimoti esa past intensivliklar sohasida yuqori qiymatga ega.



6-rasm. Pomidor tasvirining qizil, yashil va ko‘k RGB kanallari bo‘yicha gistogrammalari

Algoritm “Teachable Machine” vizual muhiti yordamida ham sinovdan o‘tkazilgan. Ma’lumotlar bazasida pishgan, xom va zararlangan pomidor tasvirlari alohida sinflarga

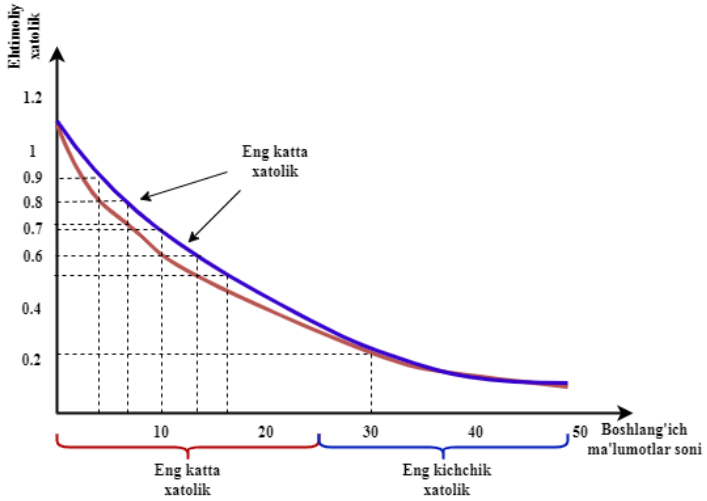
ajratilgan. Har bir sinf bo‘yicha 50 tadan tasvir tekshirilgan. Olingan tasniflash natijalari 2-jadvalda keltirilgan [10].

Haqiqiy sinf	Pishgan deb topildi	Xom deb topildi	Zararlangan deb topildi
Pishgan (50)	49	0	1
Xom (50)	0	48	2
Zararlangan (50)	2	1	47

2-jadval. Pomidor tasvirlarini uchta sinf bo‘yicha tasniflash natijalari

Jadvaldan ko‘rinadiki, 50 ta pishgan pomidor tasviridan 49 tasi to‘g‘ri, 50 ta xom pomidor tasviridan 48 tasi to‘g‘ri, 50 ta zararlangan pomidor tasviridan esa 47 tasi to‘g‘ri tasniflangan. Uch sinf bo‘yicha jami 150 ta namunadan 144 tasi to‘g‘ri aniqlangan. Ushbu jadval bo‘yicha umumiy to‘g‘ri tasniflash ulushi 96 % ni tashkil etadi. Bu qiymat jadvaldagi sonlardan hisoblandi.

Algoritm xatoligining namunalar soniga bog‘liqligi manbada ehtimoliy xatolik grafigi orqali ko‘rsatilgan. Keltirilgan natijada dastlabki 25 ta tasvirda xatolik yuqoriroq bo‘lib, maksimal qiymat 9,09 % ga yetgan; namunalar soni 50 taga yaqinlashganda xatolik nolga intilgan.

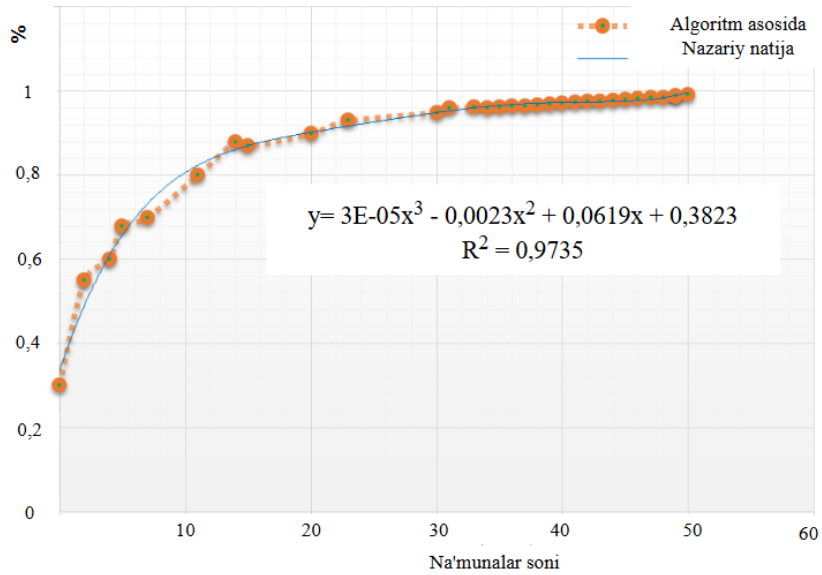


7-rasm. Ishlab chiqilgan algoritmning ehtimoliy xatoligini baholash grafigi

Keltirilgan xatolik quyidagi nisbat orqali ifodalanadi:

$$\gamma = \frac{\Delta y}{y_{max}} \cdot 100\% , \qquad (6)$$

Bu yerda Δy — mutlaq xatolik, y_{max} — baholanayotgan kattalikning maksimal qiymati. Manbada eng katta mutlaq xatolik 0,1 deb olingan: $\Delta y_{max}=0,9-0,8=0,1$. $y_{max}=1,1$ bo‘lganda keltirilgan xatolik 9,09 % ni tashkil qiladi.



8-rasm. “Teachable Machine” muhitida algoritm aniqligining namunalar soniga bog‘liqligi

Oxirgi grafikda algoritm asosida olingan natijalar va nazariy natijalar taqqoslangan. Grafikdagi approksimatsiya tenglamasi $y=3\cdot10^{-5}x^3-0{,}0023x^2+0{,}0619x+0{,}3823$, determinatsiya koeffitsiyenti esa $R^2=0{,}9735$ sifatida ko‘rsatilgan. Manba izohiga ko‘ra, tasvirlar soni 25 taga yetgandan keyin aniqlik 1 ga yaqinlashadi.

6. MUHOKAMA

Olingan materiallar robot-manipulyatorlarda obyektni aniqlash, pishganlikni baholash va mexanik harakatni boshqarish jarayonlarini o‘zaro bog‘lash zarurligini ko‘rsatadi. YOLOv5 va SSD kabi detektorlar obyektning joylashuvini aniqlashga xizmat qiladi, RGB rang modeli esa pomidorning pishganlik darajasini baholash uchun qo‘shimcha belgi beradi. Shu tariqa obyekt koordinatalari va uning holati haqidagi ma’lumotlar manipulyator harakatini rejalashtirishga uzatiladi.

Tajriba jadvalidagi natijalar uchta sinf bo‘yicha 96 % umumiy to‘g‘ri tasniflash ulushini ko‘rsatadi. Biroq bu natija faqat keltirilgan 150 ta tasvir namunasi doirasida talqin qilinishi kerak. Yorug‘lik sharoiti, barg va shoxlarning fon hosil qilishi, kamera holati hamda pomidor yuzasidagi rang farqlari algoritm natijasiga ta’sir qilishi mumkin. Kengroq amaliy baholash uchun turli yoritilish va ko‘rish burchaklarida qo‘shimcha sinovlar talab etiladi.

7. XULOSALAR

1. Qishloq xo‘jaligi robot-manipulyatorlarida mahsulotni shikastlamasdan yig‘ish uchun obyektning joylashuvi va pishganlik darajasini birgalikda aniqlash zarurligi ko‘rsatildi.

2. Robot qo‘lining bo‘g‘im burchaklari va koordinatalarini hisoblashda Denavit–Hartenberg parametrlari asosidagi kinematik yondashuvdan foydalanish mumkinligi bayon etildi.

3. Pomidor va uning bandini aniqlashda YOLOv5 hamda SSD algoritmlari qo‘llanishi ko‘rib chiqildi. Manbada YOLOv5 uchun bitta kadrni qayta ishlash vaqti 104 ms deb keltirilgan; SSD modeli pomidor bandini aniqlashda yetarli natija bermagani qayd etilgan.

4. RGB kanallari asosidagi maskalash va gistogramma usuli yordamida pomidor tasviridan pishganlikka mos hududlarni ajratish hamda pishganlik ulushini piksel nisbatidan hisoblash ifodalari keltirildi.

5. 150 ta tasvir bo‘yicha o‘tkazilgan tasniflash natijasida 144 ta namuna to‘g‘ri aniqlangan, bu tanlangan namunalar to‘plamida 96 % to‘g‘ri tasniflash ulushiga mos keladi. Algoritmning turli sharoitlardagi barqarorligini aniqlash uchun qo‘shimcha tajribalar o‘tkazish lozim.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Baratov R and Mustafoqulov A. Model of field robot manipulators and sensor for measuring angular displacement of its rotating parts. E3S Web of Conferences 401, 04006 (2023). CONMECHYDRO – 2023. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202340104006.

2. Baratov R.J., Mustafoqulov A., Sabirov E. Potensiometrik burchak siljishini o‘lchovchi datchikning dasturiy ta’minoti. Guvohnoma № DGU 41054. 14.06.2024 y.

3. John G. Webster, Halit Eren. Measurement, Instrumentation, and Sensors Handbook. CRC Press, Cornell University, Ithaca, NY 2014. –pages 53-60.

4. Karl J. Åström, Björn Wittenmark. Adaptive Control. Dover Publications, Columbia University 2008. –pages 468-478.

5. Baratov R., Mustafoqulov A. Smart angular displacement sensor for agricultural field robot manipulators. E3S Web of Conferences Conference Paper. Open Access 2023. DOI: 10.1051/e3sconf/202338603008

6. Mustafoqulov, A., Baratov, R., Radjapov, Z., Kadirov, S., Urinov, B. Angular displacement measurement and control sensors of agricultural robotmanipulators. BIO Web of Conferences, 2024, 105, 03003.

7. Mustafoqulov A., Abdullayev M., Usnatdinov B., Makhkamov N. Dependence of Angular Displacement of Rotating Parts of Agricultural Robots on Product Color. International Journal of AdvancedResearch in Science, Engineering and Technology Vol. 11, Issue 1, January 2024. http://www.ijarset.com/

8. Mustafoqulov A., Baratov R.J., Maxkamov N.A. Pomidor mahsulotini rangiga qarab ajratish tizimining dasturiy ta'minoti. O‘zbekiston Respublikasi intellektual mulk agentligi. Elektron hisoblash mashinalari uchun yaratilgan dastur. Guvohnoma № DGU 26449. 14.06.2023 y.

9. Baratov R, Sunnatillayeva H, and Mustafoqulov A. “SMART SYSTEM FOR WHEAT DISEASES EARLY DETECTION,” Chem. Technol. Control Manag., vol. 2023, no. 6, pp. 38–43, Dec. 2023, doi: 10.59048/2181-1105.1509.

10. Baratov R.J., Mustafoqulov A., Sabirov E. Potensiometrik burchak siljishini o‘lchovchi datchikning dasturiy ta’minoti. O‘zbekiston Respublikasi intellektual mulk agentligi. Elektron hisoblash mashinalari uchun yaratilgan dastur. Guvohnoma № DGU 41054. 14.06.2024 y.