



Robototexnika asoslari fanida Arduino platformasi asosida amaliy mashg'ulotlarni tashkil etish: tizimli adabiyotlar sharhi

Yavqochdiyev Davlat Davronovich –

Buxoro davlat universiteti tayanch doktranti

E-mail: davlatyavqoshdiyev@g.mail.com

ORCID:<https://orcid.org/0009-0008-3278-7959>

Annotatsiya. So'nggi yillarda robototexnika, sun'iy intellekt va avtomatlashtirish texnologiyalarining jadal rivojlanishi muhandislik ta'limining mazmunini yangilash zaruratini yuzaga keltirdi. Zamonaviy ishlab chiqarish korxonalari nazariy bilim bilan cheklanmaydigan, balki elektron qurilmalarni loyihalash, dasturlash va boshqarish ko'nikmalariga ega mutaxassislarini talab qilmoqda. Shu nuqtai nazardan, oliy ta'lim muassasalarida "Robototexnika asoslari" fanini amaliy yo'naltirilgan holda o'qitish dolzarb masalalardan biri hisoblanadi. Arduino platformasi ochiq apparat va dasturiy ta'minotga ega bo'lgan, iqtisodiy jihatdan arzon hamda foydalanish qulayligi bilan ajralib turadigan mikrokontroller platformasi sifatida robototexnika ta'limida keng qo'llanilmoqda. Mazkur maqolada Arduino platformasi asosida robototexnika fanida amaliy mashg'ulotlarni tashkil etish bo'yicha chop etilgan ilmiy tadqiqotlar tizimli ravishda tahlil qilindi. Tadqiqot davomida Scopus, Web of Science, IEEE Xplore, ScienceDirect va SpringerLink bazalarida indekslangan ilmiy maqolalar o'rganildi. Adabiyotlar tahlili Arduino platformasi loyiha asosida o'qitish, STEAM yondashuvi va muammoli ta'lim metodlari bilan uyg'unlashtirilganda talabalar kompetensiyalarini rivojlantirishda yuqori samaradorlikka ega ekanligini ko'rsatdi. Xususan, algoritmik tafakkur, dasturlash ko'nikmalari, elektron sxemalarni loyihalash, muammolarni hal qilish va jamoada ishlash kompetensiyalarining shakllanishiga ijobiy ta'sir ko'rsatishi aniqlandi.

Kalit so'zlar: robototexnika, Arduino, mikrokontroller, amaliy mashg'ulot, loyiha asosida o'qitish, STEAM, robototexnika ta'limi, kompetensiya.

Организация практических занятий по дисциплине «Основы робототехники» на основе платформы Arduino: систематический обзор литературы

Аннотация. В последние годы стремительное развитие робототехники, искусственного интеллекта и технологий автоматизации обусловило необходимость обновления содержания инженерного образования. Современные промышленные предприятия нуждаются в специалистах, обладающих не только теоретическими знаниями, но и практическими навыками проектирования,

программирования и управления электронными устройствами. В этой связи практико-ориентированное преподавание дисциплины «Основы робототехники» в высших учебных заведениях становится одной из актуальных задач. Платформа Arduino, представляющая собой микроконтроллерную платформу с открытым аппаратным и программным обеспечением, широко используется в образовательном процессе благодаря своей доступности, экономичности и простоте применения. В данной статье проведён систематический анализ опубликованных научных исследований, посвящённых организации практических занятий по робототехнике на основе платформы Arduino. В ходе исследования были изучены научные статьи, индексируемые в базах данных Scopus, Web of Science, IEEE Xplore, ScienceDirect и SpringerLink. Анализ литературы показал, что интеграция платформы Arduino с проектно-ориентированным обучением, STEAM-подходом и методами проблемного обучения обеспечивает высокую эффективность в развитии профессиональных компетенций студентов. В частности, установлено положительное влияние на формирование алгоритмического мышления, навыков программирования, проектирования электронных схем, решения инженерных задач и командной работы.

Ключевые слова: робототехника, Arduino, микроконтроллер, практические занятия, проектно-ориентированное обучение, STEAM, образование в области робототехники, компетенция.

Organizing practical training in the course “fundamentals of robotics” based on the Arduino platform: a systematic literature review

Annotation. In recent years, the rapid development of robotics, artificial intelligence, and automation technologies has created a need to modernize the content of engineering education. Modern industrial enterprises require specialists who possess not only theoretical knowledge but also practical skills in designing, programming, and controlling electronic devices. From this perspective, practice-oriented teaching of the course "Fundamentals of Robotics" has become one of the key priorities in higher education institutions. The Arduino platform, an open-source hardware and software microcontroller platform, is widely used in robotics education due to its affordability, cost-effectiveness, and ease of use. This article presents a systematic review of published scientific studies on organizing practical robotics training based on the Arduino platform. The study examined research articles indexed in Scopus, Web of Science, IEEE Xplore, ScienceDirect, and SpringerLink databases. The literature review demonstrates that integrating the Arduino platform with project-based learning, the STEAM approach, and problem-based learning methods significantly enhances students' competencies. In particular, it contributes positively to the development of algorithmic thinking, programming skills, electronic circuit design, problem-solving abilities, and teamwork competencies.

Keywords: robotics, Arduino, microcontroller, practical training, project-based learning, STEAM, robotics education, competency.

KIRISH

Axborot-kommunikatsiya texnologiyalarining jadal rivojlanishi va sanoatni raqamlashtirish jarayonlari ta'lim tizimiga yangi talablarni qo'yimoqda. Bugungi kunda

robototexnika, sun'iy intellekt, Internet of Things (IoT), avtomatlashtirilgan boshqaruv tizimlari va kiber-fizik tizimlar ishlab chiqarishning ajralmas qismiga aylanmoqda. Jahon iqtisodiyotida yuz berayotgan ushbu o'zgarishlar oliy ta'lim muassasalaridan zamonaviy texnologiyalarni loyihalash va boshqarishga qodir mutaxassislarni tayyorlashni talab etadi. Shu sababli muhandislik ta'limining mazmunini yangilash, nazariy bilimlarni amaliy mashg'ulotlar bilan uyg'unlashtirish hamda talabalarni real muhandislik muammolarini hal etishga tayyorlash bugungi kunning muhim vazifalaridan biridir. Robototexnika asoslari fani elektronika, dasturlash, mexanika va avtomatlashtirish yo'nalishlarini birlashtiruvchi fan sifatida muhandislik ta'limida alohida o'rin egallaydi. Mazkur fan orqali talabalar mikrokontrollerlar, sensorlar, aktuatorlar va robot tizimlarining ishlash tamoyillari bilan tanishadi hamda ularni amaliy loyihalarda qo'llash ko'nikmalarini egallaydi. Biroq ushbu kompetensiyalarni faqat ma'ruza mashg'ulotlari orqali shakllantirish yetarli emas. Shu bois robototexnika fanini o'qitishda amaliy mashg'ulotlar markaziy o'rinni egallaydi. Amaliy mashg'ulotlarning samaradorligi ko'p jihatdan tanlangan texnik platformaga bog'liq. So'nggi o'n yillikda Arduino platformasi ta'lim jarayonida eng ko'p qo'llanilayotgan mikrokontroller platformalaridan biriga aylandi. Uning ommalashishiga ochiq kodli dasturiy muhiti, arzonligi, foydalanish qulayligi va turli xil sensor hamda modullar bilan mosligi sabab bo'ldi. Arduino IDE dasturiy muhiti boshlang'ich foydalanuvchilar uchun sodda bo'lsa-da, murakkab robototexnika loyihalarini ham ishlab chiqish imkonini beradi.

Pedagogik nuqtai nazardan Arduino platformasi talabalarni passiv tinglovchidan faol loyiha ishlab chiquvchiga aylantirish imkoniyatini yaratadi. Talabalar nazariy bilimlarni bevosita amaliyotga tatbiq etib, elektron sxemalarni yig'ish, dastur kodlarini ishlab chiqish, qurilmalarni sinovdan o'tkazish va xatolarni bartaraf etish jarayonida muhandislik tafakkurini rivojlantiradi. Ayniqsa, loyiha asosida o'qitish (Project-Based Learning) va STEAM yondashuvi bilan uyg'unlashtirilgan Arduino laboratoriyalari talabalarining ijodkorligi, muloqot madaniyati va jamoada ishlash kompetensiyalarini rivojlantirishda yuqori samaradorlikni namoyon etmoqda. So'nggi yillarda Arduino platformasidan foydalanish bo'yicha ko'plab ilmiy tadqiqotlar amalga oshirildi. El-Abd Arduino platformasining muhandislik ta'limidagi o'rni va afzalliklarini tahlil qilib, uning laboratoriya mashg'ulotlarini tashkil etishdagi samaradorligini asoslab bergan. Benitti va Eguchi ta'limiy robototexnikaning o'quv motivatsiyasi hamda texnik kompetensiyalarni rivojlantirishdagi rolini ko'rsatgan. García-Tudela va hammualliflari Arduino platformasi bo'yicha tizimli adabiyotlar sharhini amalga oshirib, uning hisoblash tafakkurini rivojlantirishdagi ahamiyatini ta'kidlagan. Marín-Marín va hammualliflari esa Arduino asosidagi dasturlash mashg'ulotlari talabalarining algoritmik fikrlashi va muammolarni hal qilish qobiliyatini sezilarli darajada yaxshilashini aniqlagan. Birinchidan, Arduino platformasiga bag'ishlangan tadqiqotlarning katta qismi maktab ta'limiga yo'naltirilgan bo'lib, oliy ta'lim muassasalarida "Robototexnika asoslari" fanini o'qitish metodikasini kompleks tahlil qiluvchi ishlar soni nisbatan kam. Ikkinchidan, laboratoriya mashg'ulotlarini tashkil etishning yagona metodik modeli ishlab chiqilmagan. Uchinchidan, kompetensiyalarni baholash mezonlari, sun'iy intellekt vositalari bilan integratsiya va masofaviy laboratoriyalarni tashkil etish kabi masalalar yetarli darajada yoritilmagan.

ADABIYOTLAR TAHLILI VA METODLAR

Mazkur tadqiqot robototexnika asoslari fanida Arduino platformasi asosida amaliy mashg'ulotlarni tashkil etishga bag'ishlangan ilmiy adabiyotlarni tizimli ravishda tahlil qilish maqsadida **Systematic Literature Review (SLR)** metodologiyasi asosida amalga oshirildi. Ushbu metodologiya mavjud ilmiy tadqiqotlarni oldindan belgilangan mezonlar asosida tanlash, ularni tanqidiy tahlil qilish hamda umumiy xulosalar chiqarishga imkon beradi. Tizimli adabiyotlar sharhi ilmiy dalillarning ishonchliligini oshirish, turli tadqiqotlar natijalarini qiyoslash va kelgusidagi ilmiy izlanishlar uchun mavjud bo'shliqlarni aniqlashda

samarali usullardan biri hisoblanadi [11], [12]. Tadqiqotni tashkil etishda **PRISMA 2020 (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses)** tavsiyalaridan foydalanildi. PRISMA metodologiyasi maqolalarni aniqlash (Identification), saralash (Screening), mosligini baholash (Eligibility) va yakuniy tanlash (Included) bosqichlarini tizimli ravishda amalga oshirish imkonini beradi [13]. Ushbu yondashuv review maqolalarning shaffofligi va takrorlanuvchanligini ta'minlaydi. Adabiyotlarni qidirish Scopus, Web of Science Core Collection, IEEE Xplore Digital Library, ScienceDirect va SpringerLink xalqaro ilmiy ma'lumotlar bazalarida amalga oshirildi. Mazkur bazalar robototexnika, muhandislik ta'limi va STEM ta'limi bo'yicha yuqori reytingli ilmiy jurnallarni qamrab olgani sababli asosiy axborot manbasi sifatida tanlandi. Qidiruv 2018–2025-yillar oralig'ida ingliz tilida chop etilgan maqolalar bilan cheklab olindi. Bunday vaqt oralig'i Arduino platformasi asosida robototexnika ta'limining zamonaviy rivojlanish tendensiyalarini qamrab olish imkonini berdi.

Maqolalarni qidirishda Boolean operatorlari ("AND", "OR") yordamida bir nechta kalit iboralardan foydalanildi. Jumladan, **“Arduino AND Robotics Education”, “Arduino AND Engineering Education”, “Educational Robotics”, “Arduino Laboratory”, “Arduino Project-Based Learning”, “Arduino in Higher Education”, “STEM Education AND Arduino”** hamda **“Robotics Fundamentals”** iborolari qidiruv strategiyasining asosini tashkil etdi. Turli bazalarda olingan natijalar Zotero bibliografik menejeri yordamida birlashtirildi va takrorlangan yozuvlar avtomatik hamda qo'lda tekshirish orqali chiqarib tashlandi.

Tadqiqotga faqat belgilangan mezonlarga javob beruvchi ilmiy maqolalar kiritildi. Jumladan, Scopus yoki Web of Science bazalarida indekslangan, robototexnika yoki muhandislik ta'limida Arduino platformasidan foydalanishga bag'ishlangan, to'liq matni mavjud hamda eksperimental yoki tizimli sharh natijalarini o'z ichiga olgan maqolalar tanlab olindi. Konferensiya tezislari, bakalavr va magistrlik ishlari, texnik hisobotlar, blog materiallari hamda ta'lim bilan bog'liq bo'lmagan Arduino loyihalari tahlildan chiqarildi. Adabiyotlarni tanlash jarayoni bir necha bosqichda amalga oshirildi. Dastlab ma'lumotlar bazalarida mavzuga oid barcha maqolalar aniqlanib, bibliografik ma'lumotlar bazasiga eksport qilindi. Keyingi bosqichda takrorlangan yozuvlar chiqarib tashlandi. So'ngra maqolalarning sarlavhasi va annotatsiyasi tahlil qilinib, tadqiqot mavzusiga mos kelmaydigan ishlar chiqarildi. Yakuniy bosqichda to'liq matnlar o'rganilib, kiritish va chiqarish mezonlariga javob bergan maqolalar tizimli tahlil uchun tanlab olindi. Adabiyotlarni tanlash jarayonining umumiy sxemasi 1-rasmda keltirilgan. Tanlab olingan ilmiy maqolalar sifat tahlili (Qualitative Synthesis) va qiyosiy tahlil (Comparative Analysis) metodlari asosida o'rganildi. Har bir maqola tadqiqot maqsadi, ishtirokchilar guruhi, qo'llanilgan Arduino platformasi, pedagogik yondashuv, eksperimental dizayn, olingan natijalar, aniqlangan afzalliklar va mavjud cheklovlar bo'yicha tahlil qilindi. Shuningdek, tadqiqotlarda qo'llanilgan o'qitish metodlari, shakllantirilgan kompetensiyalar va baholash mezonlari o'zaro taqqoslandi. Olingan ma'lumotlar umumlashtirilib, Arduino platformasining robototexnika fanida amaliy mashg'ulotlarni tashkil etishdagi pedagogik imkoniyatlari, mavjud muammolari va istiqbolli rivojlanish yo'nalishlari aniqlandi. Tahlil natijalarining ishonchliligini ta'minlash maqsadida maqolalar tanlash va baholash jarayonida bir xil mezonlardan foydalanildi. Mazmuniy tahlil davomida mualliflarning asosiy xulosalari, qo'llanilgan metodlar va amaliy tavsiyalar o'zaro qiyoslanib, umumlashtirildi.

NATIJALAR VA MUHOKAMA

Tanlab olingan ilmiy maqolalar tahlili Arduino platformasi robototexnika ta'limida eng ko'p qo'llaniladigan ochiq apparat platformalaridan biri ekanligini ko'rsatdi. Tadqiqotlarning aksariyati Arduino platformasidan foydalanish talabalarning nazariy bilimlarini amaliy faoliyat bilan bog'lash, dasturlash ko'nikmalarini rivojlantirish hamda muhandislik tafakkurini shakllantirishda samarali vosita ekanligini tasdiqlaydi [6], [7]. Ayniqsa, loyiha

asosida o'qitish (Project-Based Learning) va STEAM yondashuvi bilan birgalikda qo'llanilganda Arduino platformasining ta'lim samaradorligi yanada ortishi kuzatilgan [8], [9]. Adabiyotlar tahlili natijasida Arduino platformasidan foydalanishning asosiy yo'nalishlari aniqlandi. Ular mobil robotlar yaratish, robot manipulyatorlarini boshqarish, aqlli uy tizimlari, IoT qurilmalari, avtomatlashtirilgan boshqaruv tizimlari hamda sensorli monitoring tizimlarini ishlab chiqishni o'z ichiga oladi. Ushbu loyihalar orqali talabalar elektron sxemalarni yig'ish, mikrokontrollerlarni dasturlash, sensorlardan ma'lumot olish va qurilmalarni boshqarish bo'yicha amaliy tajriba orttiradilar.

1-jadval.

Arduino platformasining robototexnika ta'limidagi qo'llanilish yo'nalishlari

Qo'llanilish sohasi	O'quv faoliyati	Shakllanadigan kompetensiya
Mobil robotlar	Robotni dasturlash va boshqarish	Algoritmik tafakkur
Robot manipulyatorlari	Servo motorlarni boshqarish	Muhandislik loyihalash
Sensorli tizimlar	Ultratovush, harorat va yorug'lik sensorlari bilan ishlash	Elektronika ko'nikmalari
IoT qurilmalari	Internet orqali boshqarish	Raqamli kompetensiya
STEAM loyihalari	Fanlararo amaliy loyiha	Kreativ fikrlash
Avtomatlashtirish	Aqlli boshqaruv tizimlari	Muammolarni hal qilish

Tahlil qilingan maqolalarning ko'pchiligida loyiha asosida o'qitish (Project-Based Learning) eng samarali pedagogik yondashuv sifatida e'tirof etilgan. Ushbu metod talabalarga nazariy bilimlarni amaliy loyihalar orqali mustahkamlash imkonini beradi. Masalan, avtomatik sug'orish tizimi, aqlli svetofofor, chiziqli bo'ylab harakatlanuvchi robot yoki Bluetooth orqali boshqariladigan mobil robotni yaratish jarayonida talabalar bir vaqtning o'zida elektronika, dasturlash va mexanika bo'yicha olgan bilimlarini qo'llaydilar [9], [10]. Arduino platformasining yana bir muhim afzalligi uning ochiq kodli ekotizimga egaligidir. Ochiq kutubxonalar va dasturiy modullar mavjudligi sababli talabalar murakkab qurilmalarni qisqa vaqt ichida ishlab chiqish imkoniyatiga ega bo'lalilar. Bundan tashqari, platformaning arzonligi universitet laboratoriyalarini zamonaviy jihozlar bilan ta'minlash xarajatlarini kamaytiradi. Shu sababli rivojlanayotgan mamlakatlar oliy ta'lim muassasalarida Arduino platformasi keng qo'llanilmoqda [6]. Shunga qaramay, mavjud tadqiqotlarda ayrim cheklavlar ham aniqlandi. Ko'plab maqolalarda eksperimentlar kichik guruhlar ishtirokida o'tkazilgan bo'lib, natijalarni umumlashtirish imkoniyati cheklangan. Ayrim tadqiqotlarda esa o'quv natijalarini baholash mezonlari aniq ko'rsatilmagan. Bundan tashqari, uzoq muddatli pedagogik samaradorlikni baholashga bag'ishlangan ilmiy ishlar soni kamligi kuzatildi [7], [10].

2-jadval.

Arduino platformasining pedagogik afzalliklari va mavjud cheklavlari

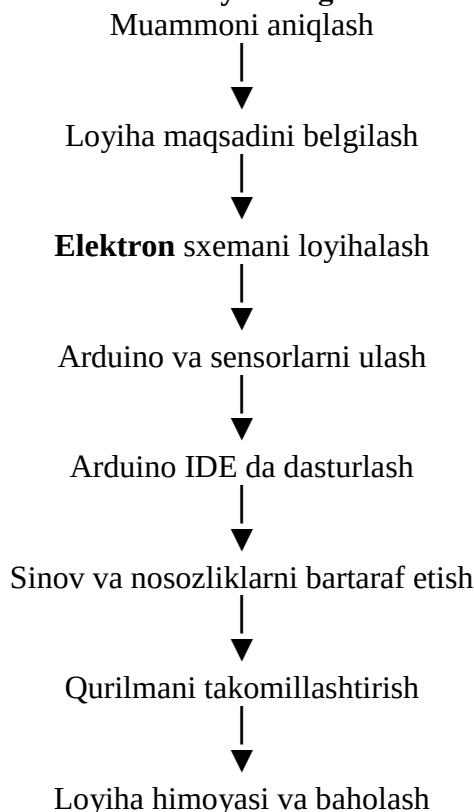
Afzalliklari	Cheklavlari
Ochiq kodli dasturiy ta'minot	Murakkab sanoat robotlari uchun imkoniyatlar cheklangan
Foydalanish qulay	Boshlang'ich elektronika bilimini talab qiladi
Arzon narx	Laboratoriya jihozlarini muntazam yangilash zarur
Sensor va modullar ko'pligi	Amaliy mashg'ulotlarga ko'proq vaqt talab etiladi
Loyiha asosida o'qitishga mos	Katta guruhlarda individual baholash qiyin

Tanqidiy tahlil shuni ko'rsatdiki, tadqiqotlarning aksariyati Arduino platformasining texnik imkoniyatlarini tavsiflash bilan cheklanadi. Pedagogik jihatdan esa laboratoriya mashg'ulotlarini rejalashtirish, kompetensiyalarni baholash va o'qitish metodikasini takomillashtirish masalalariga yetarli e'tibor qaratilmagan. Xususan, oliy ta'lim muassasalari

uchun Arduino platformasi asosida ishlab chiqilgan yagona metodik model mavjud emas. So'nggi yillarda sun'iy intellekt va IoT texnologiyalarining rivojlanishi Arduino platformasining imkoniyatlarini yanada kengaytirmoqda. Ayrim tadqiqotlarda Arduino Raspberry Pi, ESP32 hamda Robot Operating System (ROS) bilan integratsiyalashgan bo'lsa-da, bunday ishlanmalar hali keng tarqalmagan. Shu sababli Arduino platformasini sun'iy intellekt, raqamli egizak (Digital Twin) va bulutli laboratoriyalar bilan uyg'unlashtirish istiqbolli ilmiy yo'nalish sifatida qaralishi mumkin [1], [8].

Adabiyotlarni umumlashtirish asosida robototexnika fanida Arduino platformasi yordamida amaliy mashg'ulotlarni tashkil etishning konseptual modeli ishlab chiqildi (1-rasm). Mazkur modelda o'quv jarayoni muammoni aniqlashdan boshlab loyiha taqdimotigacha bo'lgan barcha bosqichlarni qamrab oladi.

Arduino platformasi asosida amaliy mashg'ulotlarni tashkil etish modeli



Taklif etilgan modelning muhim jihati shundaki, u nazariy bilimlarni bosqichma-bosqich amaliy faoliyat bilan bog'laydi. Har bir bosqich talabalarni mustaqil qaror qabul qilish, texnik muammolarni hal qilish va jamoaviy ishlashga yo'naltiradi. Mazkur yondashuv robototexnika fanini o'qitishda kompetensiyaviy ta'lim tamoyillarini samarali amalga oshirish imkonini beradi. Adabiyotlar tahlili asosida aniqlangan yana bir muhim jihat shundan iboratki, O'zbekiston oliy ta'lim muassasalari uchun Arduino platformasiga asoslangan laboratoriya mashg'ulotlarining metodik tavsiflari va baholash mezonlari yetarli darajada ishlab chiqilmagan. Shu sababli milliy ta'lim tizimining o'ziga xos xususiyatlarini hisobga olgan holda metodik tavsiyalar ishlab chiqish va ularni eksperimental sinovdan o'tkazish kelgusidagi tadqiqotlarning ustuvor yo'nalishlaridan biri bo'lishi mumkin.

XULOSA

Mazkur tizimli adabiyotlar sharhi robototexnika asoslari fanida Arduino platformasi asosida amaliy mashg'ulotlarni tashkil etishga bag'ishlangan ilmiy tadqiqotlarni tahlil qilishga qaratildi. O'rganilgan adabiyotlar shuni ko'rsatdiki, Arduino platformasi robototexnika

ta'limida amaliy faoliyatni tashkil etish uchun qulay, moslashuvchan va iqtisodiy jihatdan samarali vosita hisoblanadi. Platformaning ochiq apparat va dasturiy ta'minotga asoslanganligi uni nafaqat ta'lim jarayonida, balki ilmiy loyihalar va innovatsion ishlanmalarni ishlab chiqishda ham keng qo'llash imkonini beradi. Tahlil natijalari Arduino platformasi yordamida tashkil etilgan amaliy mashg'ulotlar talabalar kompetensiyalarini rivojlantirishda muhim rol o'ynashini ko'rsatdi. Ayniqsa, algoritmik tafakkur, dasturlash ko'nikmalari, elektron sxemalarni loyihalash, muammolarni hal qilish, tanqidiy fikrlash va jamoada ishlash kompetensiyalarining shakllanishida Arduino platformasining samaradorligi ko'plab ilmiy tadqiqotlarda tasdiqlangan. Loyiha asosida o'qitish (Project-Based Learning) va STEAM yondashuvlari bilan uyg'unlashtirilgan amaliy mashg'ulotlar o'quv jarayonining sifatini oshirish bilan bir qatorda talabalarni real muhandislik muammolarini hal qilishga tayyorlaydi. Taklif etilgan model nazariy bilimlarni amaliy faoliyat bilan uzviy bog'lash, talabalar faolligini oshirish hamda kompetensiyaga asoslangan ta'limni samarali tashkil etishga xizmat qilishi mumkin.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI

1. M.El-Abd, "A Review of Embedded Systems Education in the Arduino Age: Lessons Learned and Future Directions," *International Journal of Engineering Pedagogy (iJEP)*, vol. 7, no. 2, pp. 79–93, 2017.
2. F.V.Benitti, "Exploring the Educational Potential of Robotics in Schools: A Systematic Review," *Computers & Education*, vol. 58, no. 3, pp. 978–988, 2012, doi: 10.1016/j.compedu.2011.10.006.
3. A.Eguchi, "Educational Robotics for Promoting 21st Century Skills," *Journal of Automation, Mobile Robotics & Intelligent Systems*, vol. 8, no. 1, pp. 5–11, 2014.
4. D.Alimisis, "Educational Robotics: Open Questions and New Challenges," *Themes in Science and Technology Education*, vol. 6, no. 1, pp. 63–71, 2013.
5. P.A.García-Tudela and J.-A. Marín-Marín, "Use of Arduino in Primary Education: A Systematic Review," *Education Sciences*, vol. 13, no. 2, Art. no. 134, 2023, doi: 10.3390/educsci13020134.
6. J.A.Marín-Marín, P.A.García-Tudela, and P. Duo-Terrón, "Computational thinking and programming with Arduino in education: A systematic review for secondary education," *Heliyon*, vol. 10, no. 8, Art. no. e29177, 2024.
7. G.Kandlhofer and M.Steinbauer, "Evaluating the Impact of Educational Robotics on Pupils' Technical- and Social-Skills and Science Related Attitudes," *Robotics and Autonomous Systems*, vol. 75, pp. 679–685, 2016.
8. D.Khairi, R.A.Abougalala, M. F. Areed, S. M. Atawy, S. Alkhalaf, and M. A. Amasha, "Educational Robotics Based on Artificial Intelligence and Context-Awareness Technology: A Framework," *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, vol. 98, no. 13, pp. 2227–2241, Jul. 2020.
9. T.R.Kelley and J.G.Knowles, "A Conceptual Framework for Integrated STEM Education," *International Journal of STEM Education*, vol. 3, no. 11, 2016.
10. M.Prince, "Does Active Learning Work? A Review of the Research," *Journal of Engineering Education*, vol. 93, no. 3, pp. 223–231, 2004.
11. J. Larmer, J. Mergendoller, and S. Boss, *Setting the Standard for Project Based Learning*. Alexandria, VA, USA: ASCD, 2015.
12. J.W.Creswell and J. D. Creswell, *Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches*, 5th ed. Thousand Oaks, CA, USA: Sage Publications, 2018.
13. D.Moher, A. Liberati, J. Tetzlaff, and D. G. Altman, "Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement," *PLoS Medicine*, vol. 6, no. 7, e1000097, 2009.