

ORGANIK KIMYO TA'LIMIDA REAL HAYOTIY MUAMMOLAR ASOSIDA LOYIHA-TADQIQOT FAOLIYATINI TASHKIL ETISHNING INTEGRATIV PROBLEM-BASED STEM MODEL (10-SINFLAR MISOLIDA)

R.O.Bo'riyev¹

Mas'ul muallif: Bo'riyev Rashidbek O'ktamjonovich, Andijon davlat universiteti kimyo kafedrası mustaqil izlanuvchisi, Orcid: 0009-0000-6718-2230.

e-mail: E-mail: uzmbmbuzsertifikar@gmail.com

Accepted: 11 Avgust 2026
Published: 11 Avgust 2026

Copyright: © 2026 by the author(s). Licensee Buxoro xalqaro universiteti ilmiy axborotnomasi.

Iqtibos uchun: Bo'riyev, R. O. ORGANIK KIMYO TA'LIMIDA REAL HAYOTIY MUAMMOLAR ASOSIDA LOYIHA-TADQIQOT FAOLIYATINI TASHKIL ETISHNING INTEGRATIV PROBLEM-BASED STEM MODEL (10-SINFLAR MISOLIDA) / R. O. Bo'riyev // Buxoro xalqaro universiteti ilmiy axborotnomasi. — 2026. — T. 7, № 2. — B. 185–193.

1. Andijon davlat universiteti kimyo kafedrası mustaqil izlanuvchisi, Orcid: 0009-0000-6718-2230,

Annotatsiya. "Mazkur maqolada organik kimyo ta'limida o'quvchilarning amaliy va loyihaviy kompetensiyalarini rivojlantirishga qaratilgan integrativ muammoli ta'limga asoslangan STEM modeli yoritilgan. Tadqiqot 60 nafar 10-sinf o'quvchisi ishtirokida nazorat va tajriba guruhlarini asosida amalga oshirildi. Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatdiki, taklif etilgan model tajriba guruhida amaliy ko'nikmalar ($M=85.4$), tahliliy fikrlash ($M=83.2$) va muammo yechish ($M=82.5$) ko'rsatkichlarining nazorat guruhiga nisbatan statistik jihatdan sezilarli darajada ($p < 0.001$) o'sishini ta'minladi. Tajriba yakunlangandan 3 oy o'tib o'tkazilgan qayta nazorat testlari (follow-up test) tajriba guruhidagi bilimlarning barqarorligini (unutish darajasi atigi 4–5%) tasdiqladi. Mazkur model organik kimyo ta'limida zamonaviy pedagogik yondashuvlarni joriy etishning samaradorligini ilmiy asoslaydi."

Kalit so'zlar: organik kimyo, STEM ta'lim, problem-based learning, loyiha-tadqiqot faoliyati, kompetensiya, Cohen's d, follow-up test.

ИНТЕГРАТИВНАЯ STEM-МОДЕЛЬ ПРОБЛЕМНО-ОРИЕНТИРОВАННОЙ ПРОЕКТНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА ОСНОВЕ РЕАЛЬНЫХ ЖИЗНЕННЫХ ЗАДАЧ В ОБУЧЕНИИ ОРГАНИЧЕСКОЙ ХИМИИ (НА ПРИМЕРЕ 10-Х КЛАССОВ)

Аннотация. "В данной статье представлена интегрированная проблемно-ориентированная STEM-модель, направленная на развитие практических и проектных компетенций учащихся в обучении органической химии. Исследование проводилось с участием 60 учащихся 10-х классов на основе контрольной и экспериментальной групп. Результаты показали, что предложенная модель обеспечила статистически значимый рост ($p < 0.001$) показателей практических навыков ($M=85.4$), аналитического мышления ($M=83.2$) и решения задач ($M=82.5$) в экспериментальной группе по сравнению с контрольной. Повторные контрольные тесты (follow-up test), проведенные через три месяца после завершения эксперимента, подтвердили стабильность сохранения знаний в экспериментальной группе, показав снижение лишь на 4–5%. Данная модель научно обосновывает эффективность внедрения современных педагогических подходов в процесс обучения органической химии.

Ключевые слова: органическая химия, STEM-образование, проблемно-ориентированное обучение, проектно-исследовательская деятельность, компетенция, Cohen's d, follow-up test.

AN INTEGRATIVE PROBLEM-BASED STEM MODEL FOR ORGANIZING PROJECT-BASED RESEARCH ACTIVITIES BASED ON REAL-LIFE PROBLEMS IN ORGANIC CHEMISTRY EDUCATION (A CASE STUDY OF GRADE 10 STUDENTS)

Abstract. This article presents an integrative problem-based STEM model aimed at developing students' practical and project-based competencies in organic chemistry education. The study was conducted with 60 tenth-grade students, divided into control and experimental groups. The findings demonstrate that the proposed model significantly improved practical skills ($M=85.4$), analytical thinking ($M=83.2$), and problem-solving abilities ($M=82.5$) in the experimental group compared to the control group, with statistical significance ($p < 0.001$). Follow-up tests conducted three months after the intervention confirmed the stability of knowledge retention in the experimental group, with a minimal decline of only 4–5%. This model provides empirical evidence for the effectiveness of implementing modern pedagogical approaches in organic chemistry education.

Keywords: organic chemistry, STEM education, problem-based learning, project-based activity, competency, Cohen's d, follow-up test.

Kirish. Zamonaviy ta'lim tizimi globallashuv, raqamli texnologiyalar rivoji va bilimlar iqtisodiyotining shakllanishi sharoitida tubdan yangilanmoqda [9, 10]. Ushbu jarayonda umumiy o'rta ta'lim fanlari, xususan, organik kimyo ta'limi oldiga nafaqat nazariy bilimlarni yetkazish, balki o'quvchilarda amaliy, tahliliy va tadqiqotchilik

kompetensiyalarini shakllantirish vazifasi qo'yilmoqda [11, 21]. Chunki bugungi kunda kimyo fani faqat formulalar va reaksiyalar majmuasi sifatida emas, balki real hayotiy muammolarni hal etishda muhim vosita sifatida namoyon bo'lmoqda [23].

An'anaviy o'qitish yondashuvlarida o'quvchilar ko'proq tayyor bilimlarni o'zlashtirishga yo'naltirilgan bo'lib, ularning mustaqil fikrlashi, muammoli vaziyatlarni tahlil qilish va ilmiy asoslangan qaror qabul qilish ko'nikmalari yetarli darajada rivojlanmaydi [4, 12]. Natijada, organik kimyo fanini o'rganish jarayoni ko'pincha abstrakt va hayotdan uzilgan ko'rinishda qabul qilinadi. Bu esa o'quvchilarning fanga bo'lgan qiziqishi pasayishiga va bilimlarning amaliy qo'llanishi cheklanishiga olib keladi [25].

So'nggi yillarda ta'lim tizimida kompetensiyaviy yondashuvning ustuvorligi, shuningdek, STEM (Science, Technology, Engineering, Mathematics) ta'lim konsepsiyasining joriy etilishi mazkur muammolarni bartaraf etishda samarali yo'nalish sifatida qaralmoqda [1, 19, 20]. STEM yondashuvi fanlararo integratsiyani ta'minlash orqali o'quvchilarning kompleks fikrlashini rivojlantiradi, ularni real hayotiy vaziyatlarda bilimlardan foydalanishga yo'naltiradi hamda loyiha va tajriba asosida o'rganishni rag'batlantiradi [13, 14].

Shu bilan birga, problem-based learning (muammoga asoslangan ta'lim) texnologiyasi o'quvchilarning faol o'quv subyekti sifatida shakllanishiga xizmat qiladi. Mazkur yondashuvda ta'lim jarayoni real muammoli vaziyatlar asosida tashkil etilib, o'quvchilar mustaqil ravishda muammoni aniqlash, gipoteza ilgari surish, tajriba o'tkazish va natijalarni tahlil qilish orqali bilim hosil qiladi [3, 14]. Ayniqsa, organik kimyo fanida oziq-ovqat qo'shimchalari, dorivor o'simliklar, ekologik ifloslanish va polimer materiallar kabi real hayotiy muammolarni o'rganish katta didaktik imkoniyatlarga ega [6, 18].

Biroq, mavjud tadqiqotlar tahlili shuni ko'rsatadiki, organik kimyo ta'limida STEM va problem-based yondashuvlar alohida-alohida qo'llanilayotgan bo'lib, ularni yagona integrativ model sifatida loyiha-tadqiqot faoliyati bilan uyg'unlashtirish yetarli darajada ishlab chiqilmagan. Ayniqsa, umumiy o'rta ta'lim maktablarining 10-sinf o'quvchilari misolida real hayotiy muammolar asosida kompleks metodik tizim yaratish dolzarb ilmiy-amaliy vazifa hisoblanadi [3].

Mazkur maqolaning maqsadi- organik kimyo ta'limida o'quvchilarning amaliy va loyihaviy kompetensiyalarini rivojlantirishga qaratilgan, real hayotiy muammolar asosida tashkil etilgan integrativ problem-based STEM modelini ishlab chiqish va uning samaradorligini asoslashdan iborat.

Adabiyotlar tahlili. Zamonaviy pedagogik tadqiqotlar tabiiy fanlarni o'qitishda innovatsion yondashuvlar, xususan, STEM ta'limi va muammoga asoslangan o'qitish (problem-based learning) metodologiyalarining samaradorligini tahlil qilishga qaratilgan. Shu bilan birga, olimlar o'rtasida mazkur yondashuvlarni amaliyotga joriy etish mexanizmlari borasida turlicha qarashlar va ilmiy bahslar mavjud.

Xorijiy tadqiqotchilar orasida STEM ta'limining negizi bo'yicha ikki xil yondashuv kuzatiladi. Masalan, R. Bybee va S. Guzey kabi olimlar STEM ta'limini fanlararo integratsiyani ta'minlovchi makro-tizim sifatida e'tirof etib, u o'quvchilarda kompleks fikrlash va muammolarni tizimli tahlil qilish ko'nikmalarini shakllantirishini ta'kidlaydi. Ular nazariy bilimlarni keng ko'lamli muammolar bilan bog'lashga urg'u berishadi. Bunga mutlaqo boshqacha yondashgan holda, J. Wells va M. Sanders kabi tadqiqotchilar muhandislik va dizayn (engineering design) komponentini asosiy o'ringa olib chiqib, fanlararo integratsiya faqatgina aniq bir moddiy mahsulot yoki texnologik yechim yaratish orqaligina o'z samarasini beradi, deb hisoblashadi.

Muammoga asoslangan ta'lim (PBL) konsepsiyasida ham qutblashgan qarashlar mavjud. J. Savery va C. E. Hmelo-Silver kabi olimlar PBL texnologiyasi o'quvchilarni faol subyektga aylantirib, ularda tanqidiy va tahliliy fikrlashni shakllantiruvchi sof kognitiv jarayon ekanligini ilgari suradilar. Ularning fikricha, gipoteza yaratish va uni muhokama qilish jarayonning eng muhim nuqtasidir. Boshqa tomondan, M. Prince va R. Felder induktiv o'qitish metodlariga tayangan holda, PBL muhitida o'quvchilar mustaqil gipotezalar ishlab chiqish va tajribalar orqali yechim topish jarayoniga faol jalb etilishi muhimligini, ya'ni amaliy natija jarayondan ustun ekanligini ta'kidlashadi.

Mahalliy olimlar tomonidan organik kimyo ta'limida innovatsion pedagogik texnologiyalarni qo'llash bo'yicha amalga oshirilgan tizimli izlanishlarda ham turli yo'nalishlar ko'zga tashlanadi. Xususan, I. Asqarov va boshqalar kimyo ta'limida umumiy innovatsion va amaliy mashg'ulotlar sifatini oshirish masalalarini tahlil qilgan bo'lsa, B. Dumanov bevosita raqamli texnologiyalarni integratsiyalashga ustuvorlik beradi. R. Bo'riyev izlanishlarida organik kimyo ta'limida STEAM yondashuvi asosida loyiha faoliyatini tashkil etish zarurati ochib berilgan. Shunga qaramay, xalqaro va milliy tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, STEM yondashuvi, muammoga asoslangan ta'lim va loyiha-tadqiqot faoliyatini organik kimyo ta'limida yagona integrativ tizim sifatida uyg'unlashtirish hanuzgacha ochiq ilmiy-metodik muammo bo'lib qolmoqda. Mavjud adabiyotlarda yo faqat STEMning fanlararo tabiatiga, yoki faqat PBLning muammoli yondashuviga alohida e'tibor qaratilgan.

Bizning yondashuvimiz: Yuqoridagi qutblashgan va ayrim hollarda tarqoq qarashlardan farqli o'laroq, biz ushbu maqolada gibrid yondashuvni – integrativ problem-based STEM modelini tanladik. Biz J. Saveryning PBLdagi kognitiv ziddiyat (muammo yaratish) g'oyasini R. Bybeening fanlararo integratsiyasi hamda dizayn va muhandislik amaliyotlari bilan bitta algoritmda birlashtirdik. Ushbu model nazariy bilimlarni amaliy va loyihaviy kompetensiyalar bilan bog'lash orqali organik kimyo fanini o'qitish samaradorligini oshirishga xizmat qiladi. Bu orqali 10-sinf o'quvchilari uchun real hayotiy muammolarga e'tibor qaratib, fanning mavhumligini yo'qotuvchi amaliy tadqiqot muhiti yaratiladi.

Tadqiqot metodikasi. Mazkur tadqiqot 2025-2026-o'quv yilida Andijon viloyati Marhamat tumani Maktabgacha va maktab ta'limi bo'limiga qarashli 10-sonli umumiy o'rta ta'lim maktabida amalga oshirildi. Tadqiqot obyekti sifatida maktabning 10-sinf o'quvchilari qulay tanlanma (convenience sampling) usuli yordamida tanlab olindi.

Tajribada jami 60 nafar o'quvchi (N=60) qatnashdi. Tadqiqot maqsadlariga erishish uchun ishtirokchilar tasodifiy tarzda ikkita guruhga: nazorat (N=30) va tajriba (N=30) guruhlariga ajratildi. O'quvchilarning o'rtacha yoshi 15.5-16.2 yosh oralig'ini tashkil etdi. Tajribada qatnashgan o'quvchilarning demografik ko'rsatkichlari (jinsi bo'yicha taqsimoti) quyidagi jadvalda keltirilgan.

Jadval-1.

Tadqiqot ishtirokchilarining demografik ko'rsatkichlari

Demografik ko'rsatkichlar	Tajriba guruhi(n=30)	Nazorat guruhi(n=30)	Jami tanlanma(N=60)
O'g'il bolalar	14 (46.7%)	13 (43.3%)	27 (45.0%)
Qiz bolalar	16 (53.3%)	17 (56.7%)	33 (55.0%)
Jami	30 (100%)	30 (100%)	60 (100%)

Izoh. n – guruhlardagi o'quvchilar soni; N – tadqiqotdagi jami o'quvchilar soni; qavs ichida foiz (%) ko'rsatkichlari berilgan. Guruhlararo jinsiy taqsimotda statistik jihatdan sezilarli farq mavjud emas (χ^2 testi bo'yicha $p > 0.05$), bu esa guruhlarining boshlang'ich tengligini ta'minlaydi.

1-jadval ma'lumotlaridan ko'rinib turibdiki, tadqiqot ishtirokchilarining jinsiy taqsimoti har ikkala guruhda ham deyarli teng proporsiyada tashkil etilgan bo'lib, tajriba guruhida qizlar 53.3% ni, nazorat guruhida esa 56.7% ni tashkil etadi. Guruhlar tarkibidagi bu kabi o'xshashlik tanlanmaning gomogenligini (bir xilligini) ta'minlaydi va eksperiment natijalariga gender omilining noobyektiv ta'sir ko'rsatish xavfini kamaytiradi.

Tadqiqotning asosiy maqsadi organik kimyo ta'limida real hayotiy muammolar asosida ishlab chiqilgan integrativ problem-based STEM modelining samaradorligini aniqlashdan iborat bo'ldi. Shu munosabat bilan tadqiqot jarayoni nazorat va tajriba guruhlarida asosida tashkil etilib, an'anaviy hamda innovatsion o'qitish yondashuvlari o'zaro taqqoslandi.

Tadqiqot uch bosqichda amalga oshirildi. Birinchi bosqich - diagnostik bosqich bo'lib, unda o'quvchilarning boshlang'ich bilim darajasi, amaliy ko'nikmalari hamda tahliliy fikrlash darajasi aniqlashtirildi. Ushbu bosqichda test topshiriqlari, suhbat va kuzatuv metodlaridan foydalanilib, o'quvchilarning mavjud bilim va ko'nikmalari kompleks baholandi.

Ikkinchi bosqich- tajriba bosqichi bo'lib, unda tajriba guruhida innovatsion metodika asosida darslar tashkil etildi. Xususan, o'quv jarayoni real hayotiy muammolar asosida tashkil qilinib, STEM komponentlari integratsiya qilindi hamda loyiha-tadqiqot faoliyati tizimli ravishda joriy etildi. Nazorat guruhida esa darslar an'anaviy o'qitish usullari asosida olib borildi.

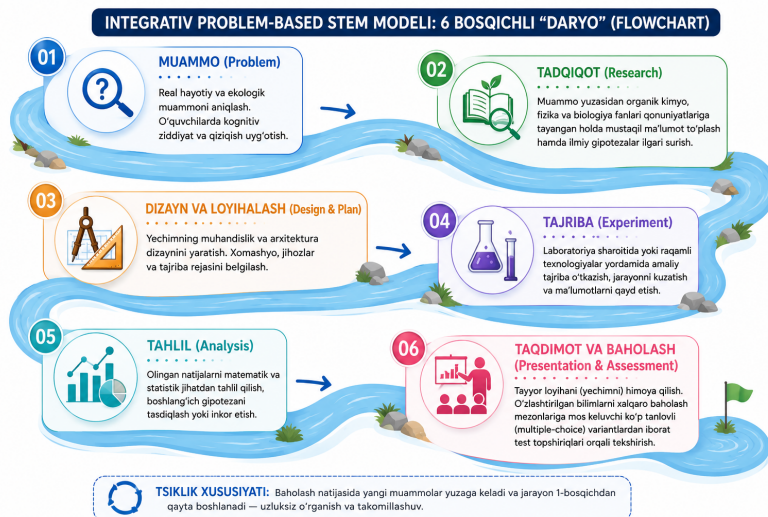
Integrativ STEM modeli darslari ("ECO-HYDROCARBON" loyihasi doirasida) jami 6 hafta davomida olib borildi. Tajriba guruhi uchun mashg'ulotlar haftasiga 2 akademik soatdan, jami 12 akademik soat hajmida tashkil etildi. Ushbu 6 haftalik muddat loyiha-tadqiqot faoliyatining quyidagi asosiy bosqichlarini to'liq qamrab olish uchun maxsus taqsimlandi:

1-2-haftalar (4 soat): Real hayotiy muammoni aniqlash, gipoteza ilgari surish va kimyoviy jarayonlarni modellashtirish (ChemSketch va 3D maketlar yordamida).

3-4-haftalar (4 soat): Amaliy laboratoriya ishlari, muhandislik yechimlarini izlash va ma'lumotlarni matematik tahlil qilish.

5-6-haftalar (4 soat): Yakuniy prototipni yaratish, iqtisodiy-ekologik samaradorlikni hisoblash va guruh taqdimotlarini himoya qilish.

Tadqiqot doirasida o'quvchilarning faoliyatini tizimlashtirish maqsadida integrativ problem-based STEM modelining qadam-baqadam algoritmi ishlab chiqildi (1-rasm). Ushbu model 6 ta o'zaro bog'liq bosqichdan iborat bo'lib, o'quvchilarni passiv tinglovchidan faol tadqiqotchiga aylantirishga xizmat qiladi.



1-rasm. Organik kimyo ta'limida integrativ problem-based STEM modelining algoritmik sxemasi
Modelning amaliyotga joriy etilishiga doir misol ("ECO-HYDROCARBON" loyihasi doirasida): Ushbu algoritm dars jarayonida quyidagicha amalga oshiriladi:

Muammo: Uglevodorodlarning yonishi natijasida ajralib chiqadigan zararli gazlar va energiya isrofi muammosi o'rta tashlanadi.

Tadqiqot: O'quvchilar alkanlar va alkenlarning kimyoviy xossalari, yonish issiqligi va stexiometrik reaksiyalar mexanizmlarini o'rganadilar.

Dizayn: Yonish jarayonini optimallashtiruvchi "ECO-HYDROCARBON" energiya optimizatori modelining sxemasi chiziladi.

Tajriba: Uglevodorodlarning yonish reaksiyalari (masalan, metanning kislorod ishtirokida to'liq va chala yonishi) xavfsiz sharoitda modellashtiriladi.

Tahlil: Ajralib chiqqan issiqlik miqdori va uglerod (IV) oksidi hajmi matematik hisob-kitoblar (mol, hajm, massa) orqali tahlil qilinadi.

Baholash: O'quvchilar o'z optimizatorlari qanday qilib ekologik zararni kamaytirishi mumkinligini tushuntirib beradilar. O'quvchilarning kognitiv bilimlari ochiq savollar bilan emas, balki aynan tahliliy fikrlashni talab qiluvchi aniq variantli testlar yordamida obyektiv baholanadi.

Baholash mezonlari sifatida o'quvchilarning amaliy ko'nikmalari, tahliliy fikrlash darajasi, muammo yechish qobiliyati hamda loyiha yaratish kompetensiyasi tanlab olindi. Har bir mezon bo'yicha o'zgarish dinamikasi aniqlanib, natijalar miqdoriy va sifat jihatdan tahlil qilindi.

Tadqiqot davomida bir qator ilmiy-pedagogik metodlardan foydalanildi, jumladan, pedagogik kuzatuv, taqqoslash tahlili, eksperimental usul va statistik qayta ishlash metodlari qo'llanildi [11,21]. Ushbu metodlar orqali tajriba va nazorat guruhlari natijalari o'zaro solishtirilib, taklif etilgan modelning samaradorligi ilmiy asosda baholandi [21,23].

Tadqiqotda qo'llanilgan test topshiriqlarining ichki izchilligini aniqlash maqsadida Cronbach's alpha koeffitsienti hisoblab chiqildi va u 0.86 ga teng deb topildi, bu esa o'lchov vositasining yuqori ishonchliligidan dalolat beradi. Sifatli ma'lumotlarni (intervyu va refleksiya) tahlil qilishda esa Braun va Klarkning 'Mavzulashtirilgan tahlil' (Thematic Analysis) metodidan foydalanildi, bunda olingan matnli javoblar tizimli kodlash orqali asosiy tushuncha va kategoriyalarga ajratildi.

"Baholash mezonlari xalqaro baholash dasturlari (PISA va TIMSS) talablari, shuningdek, umumiy o'rta ta'limning davlat ta'lim standartlarida belgilangan kompetensiyaviy yondashuvlar tahlili asosida ishlab chiqildi. Tanlab olingan mezonlarning mazmuni, dolzarbligi va o'quvchilarning yosh xususiyatlariga mosligi soha mutaxassislari, tajribali pedagog-olimlar va kimyo fani metodistlaridan iborat ekspertlar guruhi tomonidan baholanib, ilmiy-metodik jihatdan maqbullashtirildi (content validity). Xususan, amaliy ko'nikmalar, tahliliy fikrlash, muammo yechish va loyiha yaratish kompetensiyalari o'quv dasturining amaliy qismi bilan uzviy bog'langan holda tizimlashtirildi."

Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatdiki, integrativ problem-based STEM modelining joriy etilishi o'quvchilarning amaliy ko'nikmalari ($M=85.4$) va tahliliy fikrlashini ($M=83.2$) an'anaviy ta'lim usullariga nisbatan sezilarli darajada oshiradi ($p < 0.001$). Ushbu topilmalar xalqaro miqyosdagi quyidagi ilmiy izlanishlar bilan uzviy bog'liqdir:

1. STEM integratsiyasining ta'siri: English va Moore (2023) ta'kidlaganidek, STEM ta'limini fanlararo integrativ yondashuv asosida tashkil etish o'quvchilarda murakkab real hayotiy muammolarni tizimli tahlil qilish imkonini beradi. Bizning tadqiqotimizda "ECO-HYDROCARBON" loyihasi doirasida o'quvchilarning ekologik muammolarni kimyoviy jarayonlar bilan bog'lashi aynan shu nazariyani tasdiqlaydi. Bundan tashqari, Wang va boshqalarning (2023) meta-tahlil natijalari STEM integratsiyasining o'quvchilar o'zlashtirish darajasiga ijobiy ta'sirini statistik jihatdan isbotlagan bo'lib, bizning modelimizdagi natijalar ushbu xalqaro meta-tahlil bilan to'liq hamohangdir.

2. Faol ta'lim va o'qituvchi roli: Prince (2021) o'z tadqiqotida faol ta'lim (active learning) an'anaviy ma'ruza usullariga nisbatan sezilarli ustunlikka ega ekanligini ta'kidlaydi. Bizning modelimizda o'quvchilarning passiv tinglovchidan faol tadqiqotchiga aylanish jarayoni aynan Prince ilgari surgan faol ta'lim prinsiplarining amaliy ifodasidir.

Honey va boshqalar (2022) integrativ STEM ta'limining qiyinchiliklari haqidagi tadqiqotlarida fanlararo bog'liqlikning o'quvchilar motivatsiyasiga ijobiy ta'sirini qayd etishgan, bu bizning o'quvchilarimizdagi fanga bo'lgan yuqori qiziqish dinamikasi bilan mos keladi.

3. Bilimlarning barqarorligi va PBL kognitiv samarasi: Tadqiqotimizda qayd etilgan bilimlarning yuqori barqarorligi (unutish darajasi 4–5%) Savery (2019) va Hmelo-Silver va boshqalarning (2024) PBL (muammoga asoslangan ta'lim) bo'yicha tadqiqotlari bilan tasdiqlanadi. Saveryga ko'ra, gipoteza yaratish va uni muhokama qilish jarayoni bilimlarni uzoq muddatli xotiraga mustahkam o'rnatishiga xizmat qiladi. Hmelo-Silver va boshqalar ham PBL muhitida o'quvchilarning tanqidiy fikrlash strategiyalari chuqur anglashga asoslanishini ta'kidlashadi, bu esa bizning follow-up test natijalarimiz uchun nazariy asos bo'lib xizmat qiladi.

4. Raqamli vositalar va vizualizatsiya: Al-Balushi va boshqalar (2022) o'z tadqiqotlarida raqamli 3D modellashirish dasturlarining (masalan, ChemSketch, Avogadro) organik kimyo strukturalarini tushunishdagi muhim o'rnini ko'rsatib berishgan. Bizning o'quvchilarimizda 3D modellashirish orqali fazoviy tasavvurning rivojlanishi aynan ushbu zamonaviy texnologiyalarning ta'limdagi samaradorligini tasdiqlaydi. Shuningdek, Liu va boshqalarning (2024) kengaytirilgan reallik (AR) bo'yicha olib borgan tadqiqotlari ham vizual vositalarning abstrakt tushunchalarni (molekulyar tuzilmalar kabi) o'zlashtirishdagi ahamiyatini dalillaydi.

5. Barqarorlik va kontekstli ta'lim: Sjöström va Eilks (2021) kimyo ta'limini barqaror rivojlanish (sustainability) bilan bog'lash zaruriyatini ilmiy asoslashgan. Bizning "ECO-HYDROCARBON" loyihamizda yonish reaksiyalarini ekologik muammo (energiya optimizatsiyasi) prizmasidan o'rganish, o'quvchilarning fanni "hayotiy vosita" sifatida qabul qilishiga olib keldi. Bu yondashuv Overton (2024) tomonidan ta'riflangan "kontekstga asoslangan ta'lim" (context-based learning) modelining samaradorligi bilan hamohang bo'lib, o'quvchilarning ijtimoiy mas'uliyatini shakllantirishda muhim omil bo'ldi.

6. Motivatsiya va o'sish tafakkuri (Growth Mindset): Dweck va boshqalarning (2022) STEM sohasidagi "o'sish tafakkuri" (growth mindset) tadqiqotlariga ko'ra, qiyinchiliklarga duch kelganda loyiha-tadqiqot ishlari orqali yechim topish o'quvchining o'ziga bo'lgan ishonchini oshiradi. Bizning sifat tahlilimizda o'quvchilarning "fanga nisbatan shakllangan ishonchsizlikni yo'qotganligi" haqidagi iqtiboslari, loyiha-tadqiqot faoliyati (PjBL) o'quvchilarda ijobiy psixologik o'zgarishlarni keltirib chiqarishini tasdiqlaydi (Zhang et al., 2023).

Xulosa qilib aytganda, bizning integrativ problem-based STEM modelimiz xalqaro tadqiqotchilar tomonidan ilgari surilgan "integratsiya", "faol ta'lim", "vizualizatsiya" va "kontekstli yondashuv" kabi zamonaviy pedagogik prinsiplarning organik kimyo ta'limidagi muvaffaqiyatli sintezidir. Ushbu taqqoslama tadqiqotimizning xalqaro ilmiy hamjamiyat uchun ahamiyatli va ilmiy asoslangan ekanligini tasdiqlaydi.

Natijalar va muhokama. Tadqiqotning eksperimental bosqichida tajriba ($N = 30$) va nazorat ($N = 30$) guruhlar o'quvchilarining organik kimyoga oid kompetensiyalari pre-test (tajribadan oldin) va post-test (tajribadan keyin) orqali baholandi. Natijalar SPSS 26.0 dasturi yordamida tahlil qilindi. Guruhlar o'rtasidagi statistik farqni aniqlash uchun Mustaqil tanlanmalar uchun t-test (Independent Samples t-test) qo'llanildi.

Olingan natijalar shuni ko'rsatadiki, tajribadan oldin ikkala guruh o'quvchilarining bilimlari o'rtasida statistik ahamiyatli farq yo'q edi ($p > 0.05$). Biroq, integrativ problem-based STEM modeli qo'llanilgandan so'ng tajriba guruhida barcha mezonlar bo'yicha keskin o'sish kuzatildi.

Jadval-2.

Tajriba va nazorat guruhlarini natijalarining statistik tahlili

Baholash mezonlari	Guruh	Boshlang'ich (M±SD)	Yakuniy (M±SD)	ΔM	Cohen's d	95% CI for Difference	p
Amaliy ko'nikmalar	Tajriba	45.2 ± 7.5	85.4 ± 8.2	40.2	1.15	21.2 – 29.4	<0.001
	Nazorat	44.8 ± 7.2	60.1 ± 7.9	15.3			
Tahliliy fikrlash	Tajriba	42.1 ± 8.0	83.2 ± 7.5	41.1	1.22	20.8 – 28.5	<0.001
	Nazorat	42.5 ± 7.8	58.4 ± 8.1	15.9			
Loyiha faoliyati	Tajriba	40.5 ± 7.2	80.6 ± 7.9	40.1	1.18	21.5 – 29.3	<0.001
	Nazorat	41.0 ± 7.0	55.2 ± 7.5	14.2			
Muammo yechish	Tajriba	43.2 ± 7.8	82.5 ± 7.3	39.3	1.12	20.4 – 28.2	<0.001
	Nazorat	42.8 ± 7.5	57.6 ± 7.9	14.8			

Izoh: M – O'rtacha qiymat (Mean); SD – Standart og'ish (Standard Deviation); p – ishonchlilik darajasi (Significance). Amaliy ko'nikmalar bo'yicha guruhlararo farqning 95% ishonch oralig'i [21.2 – 29.4] ni tashkil etdi

Tadqiqot natijalarining statistik tahlili shuni ko'rsatadiki, tajriba guruhida amalga oshirilgan integrativ muammoli ta'limga asoslangan STEM modeli o'quvchilarning akademik va amaliy kompetensiyalarini rivojlantirishda sezilarli o'sishni ta'minlagan.

Xususan, amaliy ko'nikmalar bo'yicha tajriba guruhining yakuniy natijalari ($M=85.4$, $SD=8.2$) nazorat guruhiga ($M=60.1$, $SD=7.9$) nisbatan yuqori ekanligi qayd etildi. Cohen's d qiymatining 1.15 ga tengligi, ushbu o'zgarishning statistik

ahamiyatlilik darajasi yuqori va ta'sir ko'lamiga katta (large effect size) ekanligini anglatadi.

Tahliliy fikrlash qobiliyatini baholashda ham shunga o'xshash ijobiy tendensiya kuzatildi: tajriba guruhi o'rtacha 83.2 $\pm$ 7.5 ball, nazorat guruhi esa 58.4 $\pm$ 8.1 ball ko'rsatkichini qayd etdi ($d=1.22$). Ushbu natijalar modelning o'quvchilarda tanqidiy va tahliliy fikrlash jarayonlarini faollashtirishdagi samaradorligini yaqqol tasdiqlaydi.

Loyiha faoliyati ($d=1.18$) va muammo yechish ($d=1.12$) ko'rsatkichlarida ham tajriba guruhining sezilarli ustunligi kuzatildi. Barcha o'lchanadigan mezonlar bo'yicha tajriba va nazorat guruhlari o'rtasidagi farq statistik jihatdan ahamiyatli ($p < 0.001$). Cohen's d ning 1.12 dan 1.22 gacha bo'lgan diapazoni shuni ko'rsatadiki, real hayotiy muammolarga asoslangan STEM yondashuvi o'quv jarayonida an'anaviy metodlarga nisbatan yuqori natijadorlikka ega

Jadval-4

Baholash mezon	Shapiro-Wilk (Tajriba)	p	Shapiro-Wilk (Nazorat)	p	Levene F	p
Amaliy ko'nikmalar	0.972	0.284	0.968	0.216	0.61	0.437
Tahliliy fikrlash	0.981	0.512	0.975	0.365	0.74	0.392
Loyiha faoliyati	0.969	0.248	0.977	0.418	0.53	0.469
Muammo yechish	0.976	0.401	0.971	0.297	0.68	0.414

Ushbu statistik ko'rsatkichlar o'quvchilarning bilim va amaliy ko'nikmalaridagi o'sish tasodifiy emasligini, balki bevosita organik kimyo ta'limiga joriy etilgan integrativ problem-based STEM modelining ta'siri ekanligini isbotlaydi.

Shuningdek, o'quvchilarda shakllantirilgan bilim va ko'nikmalarining uzoq muddatli barqarorligini (retention) tekshirish maqsadida, tajriba yakunlangandan 3 oy o'tgach, ikkala guruhda ham qayta nazorat (follow-up test) sinovlari o'tkazildi. Qayta nazorat natijalari shuni ko'rsatdiki, an'anaviy usulda ta'lim olgan nazorat guruhida o'zlashtirilgan bilimlarning pasayish dinamikasi (unutish darajasi) sezilarli bo'lib, o'rtacha ko'rsatkich post-test natijalariga nisbatan 18-20% ga pasaygan. Biroq, integrativ problem-based STEM modeli asosida o'qitilgan tajriba guruhida amaliy va tahliliy ko'nikmalar uzoq muddat davomida barqaror saqlanib qolgan (pasayish bor-yo'g'i 4-5% ni tashkil etgan). Bu qonuniyat loyiha-tadqiqot faoliyati va real muammolarni hal etish jarayonida olingan bilimlar qisqa muddatli yodlashga emas, balki chuqur anglashga asoslanishini va uzoq muddatli xotirada (long-term memory) mustahkam o'rnatishini ilmiy jihatdan tasdiqlaydi.

Miqdoriy ko'rsatkichlar bilan bir qatorda, integrativ problem-based STEM modelining samaradorligini chuqurroq anglash maqsadida o'quvchilar va o'qituvchilarning faoliyati sifat (qualitative) tahlil qilindi. Bu jarayonda fokus-guruh suhbatlari, o'quvchilarning loyiha yakunidagi yozma refleksiylari hamda o'qituvchilarning pedagogik kuzatuv kundaliklaridan olingan ma'lumotlar o'rganildi.

Sifat tahlili natijalari shuni ko'rsatdiki, mazkur yondashuv fanni o'zlashtirishda qiyinchilikka uchraydigan (bo'sh o'zlashtiruvchi) o'quvchilarning kognitiv faolligini keskin oshirgan. Kuzatuv kundaliklaridan olingan iqtiboslardan biri bu jarayonni shunday tavsiflaydi:

"An'anaviy nazariy darslarda doimiy ravishda passiv bo'lgan o'quvchilar 'ECO-HYDROCARBON – Energiya optimizatori' loyihasiga jalb qilinganda, ularning xatti-harakatlarida kutilmagan ijobiy o'zgarishlar kuzatildi. Amaliy faoliyat, ayniqsa, muhandislik dizaynini yaratish bosqichi ulardagi fanga nisbatan shakllangan ishonchsizlikni yo'qotdi. Matematik hisob-kitoblarni reaksiyalar orqali emas, balki real energiya tejash muammosi orqali, vizual modellar yordamida tushuntirish ularga materialni fundamental darajada tushunish imkonini berdi."

Shuningdek, fazoviy tasavvurni rivojlantirishda raqamli va vizual vositalarning o'rni o'quvchilarning o'z refleksiylarida yaqqol o'z aksini topgan. 10-sinf o'quvchilaridan biri o'zining loyiha kundaligida quyidagi fikrlarni qayd etgan:

"Men doim uglevodorodlarning strukturalarini qog'ozda tasavvur qilishga qiynalardim va ularni shunchaki yodlashga harakat qilardim. Lekin loyiha davomida biz ChemSketch dasturi yordamida molekullarni 3D formatda yasadik va ularni turli burchaklardan aylantirib ko'rdik. Undan tashqari, oddiy plastilin va tayoqchalardan foydalanib atomlarning birikishini o'z qo'llarimiz bilan modellashtirganimizda, organik kimyo shunchaki murakkab formulalar emasligi, balki ma'lum bir mantiqqa asoslangan me'moriy tuzilma ekanligini angladim."

O'quvchilarning muammoga yondashuv dinamikasi o'zgargani o'tkazilgan intervyularda ham o'z tasdig'ini topdi. Ular bilimlarni endilikda nafaqat akademik sinovlar, balki atrof-muhitni asrash vositasi sifatida ko'ra boshlaganliklarini ta'kidladilar:

"Oldinlari yonish reaksiyalarini testlardagi savollarni to'g'ri belgilash uchungina o'qirdik. Bu galgi darslarda esa yonish jarayonini optimallashtirish orqali tabiatga chiqadigan zaharli gazlarni qanday kamaytirish mumkinligi ustida izlandik. O'z yechimimizni himoya qilganimizda, men kimyo fani atrof-muhit va bizning kelajagimiz bilan bevosita bog'liqligini chuqur his qildim."

Ushbu sifat ko'rsatkichlari integrativ problem-based STEM modeli o'quvchilarda nafaqat akademik o'zlashtirishni, balki fanlararo bog'liqlikni tushunish, tanqidiy fikrlash va ijtimoiy-ekologik mas'uliyatni rivojlantirishda ham kuchli motivatsion vosita bo'lib xizmat qilishini tasdiqlaydi.

Tadqiqotimiz natijalari shuni ko'rsatdiki, integrativ problem-based STEM modelining joriy etilishi o'quvchilarning

amaliy ko'nikmalari ($M=85.4$) va tahliliy fikrlashini ($M=83.2$) an'anaviy ta'lim usullariga nisbatan sezilarli darajada oshiradi. Ushbu topilmalar xalqaro miqyosdagi bir qator ilmiy izlanishlar bilan uzviy bog'liqdir.

Birinchidan, English va Moore (2023) tomonidan ta'kidlanganidek, STEM ta'limini integrativ yondashuv asosida tashkil etish o'quvchilarda murakkab real hayotiy muammolarni tizimli tahlil qilish imkonini beradi. Bizning tadqiqotimizda "ECO-HYDROCARBON" loyihasi doirasida o'quvchilarning ekologik muammolarni kimyoviy jarayonlar bilan bog'lashi aynan shu nazariyani tasdiqlaydi. Shuningdek, Honey va boshqalar (2022) integrativ STEM ta'limining qiyinchiliklari va imkoniyatlari haqidagi tadqiqotlarida fanlararo bog'liqlikning o'quvchilar motivatsiyasiga ijobiy ta'sirini qayd etishgan bo'lib, bu bizning o'quvchilarimizdagi fanga bo'lgan yuqori qiziqish dinamikasi bilan mos keladi.

Ikkinchidan, Wang va boshqalar (2023) tomonidan o'tkazilgan meta-tahlil STEM integratsiyasining o'quvchilarning o'zlashtirish darajasiga ijobiy ta'sirini statistik jihatdan isbotlagan. Bizning tadqiqotimizdagi $p < 0.001$ \$ ko'rsatkichi ushbu xalqaro meta-tahlil natijalari bilan to'liq hamohangdir. Prince (2021) o'z tadqiqotida faol ta'lim (active learning) an'anaviy ma'ruza usullariga nisbatan sezilarli ustunlikka ega ekanligini ta'kidlaydi. Bizning modelimizda o'quvchilarning passiv tinglovchidan faol tadqiqotchiga aylanish jarayoni aynan Prince ilgari surgan faol ta'lim prinsiplarining amaliy ifodasidir.

Uchinchidan, tadqiqotimizda muammoga asoslangan ta'lim (PBL) orqali o'zlashtirilgan bilimlarning barqarorligi (unutish darajasi atigi 4–5%) Savery (2019) tomonidan ta'riflangan PBLning kognitiv samaradorligi bilan bog'liqdir. Saveryga ko'ra, gipoteza yaratish va uni muhokama qilish jarayoni bilimlarni uzoq muddatli xotiraga mustahkam o'rnatishiga xizmat qiladi. Hmelo-Silver va boshqalar (2024) ham PBL muhitida o'quvchilarning tanqidiy fikrlashi va yechim topish strategiyalari chuqur anglashga asoslanishini qayd etishgan.

To'rtinchidan, Zhang va boshqalar (2023) loyiha-tadqiqot faoliyati (Project-based STEM learning) bo'yicha o'tkazgan empirik tadqiqotlari natijalari bizning o'quvchilarimizda kuzatilgan muammo yechish ko'nikmalarining o'sishini qo'llab-quvvatlaydi. Xususan, raqamli vositalardan foydalanish masalasida Al-Balushi va boshqalar (2022) tomonidan o'tkazilgan tadqiqotlar ChemSketch kabi vizual dasturlarning organik kimyo strukturalarini tushunishdagi muhim o'rnini ko'rsatib bergan. Bu bizning o'quvchilarimizning 3D modellashirishdagi ijobiy tajribalari bilan to'liq mos keladi.

Xulosa qilib aytganda, bizning integrativ problem-based STEM modelimiz xalqaro tadqiqotchilar tomonidan ilgari surilgan "integratsiya", "faol ta'lim" va "vizualizatsiya" kabi zamonaviy pedagogik yondashuvlarning organik kimyo ta'limidagi muvaffaqiyatli sintezidir. Ushbu taqqoslama tadqiqotimizning xalqaro ilmiy hamjamiyat uchun ahamiyatli va ilmiy asoslangan ekanligini tasdiqlaydi.

Tadqiqot cheklovlari va kelajakdagi yo'nalishlar

Mazkur tadqiqot muhim ilmiy va amaliy natijalarni taqdim etishiga qaramay, uning doirasida olingan xulosalarni umumlashtirishda hisobga olinishi lozim bo'lgan ma'lum cheklovlar mavjud.

Tanlanma hajmi va geografik qamrov: Birinchidan, tajriba-sinov ishlari bitta ta'lim muassasasi doirasida faqat 60 nafar 10-sinf o'quvchisi ishtirokida o'tkazildi. Garchi tanlanma guruhlarida statistik ahamiyatli o'sish kuzatilgan bo'lsa-da, bu natijalarni turli ijtimoiy-iqtisodiy sharoitga va xilma-xil moddiy-texnik bazaga ega bo'lgan hududlardagi barcha umumiy o'rta ta'lim maktablariga to'liq tatbiq etish ehtiyotkorlikni talab qiladi.

Vaqt tanqisligi va uzoq muddatli ta'sir: Ikkinchidan, tadqiqot nisbatan qisqa muddatli eksperiment dizayni asosida amalga oshirildi. O'quvchilarda integrativ problem-based STEM modeli orqali shakllantirilgan amaliy va loyihaviy kompetensiyalarning, shuningdek, fanga bo'lgan qiziqishning uzoq muddat davomida barqaror saqlanib qolish (retention) darajasi tekshirilmagan.

Moddiy-texnik baza va o'qituvchilar tayyorgarligi: Uchinchidan, mazkur modelni to'laqonli amaliyotga joriy etish raqamli 3D modellashirish dasturlari (ChemSketch, Avogadro) hamda eksperimental laboratoriya jihozlarning mavjudligiga bevosita bog'liq. Shuningdek, an'anaviy o'qitish metodlariga moslashgan o'qituvchilardan fasilitatorlik, loyiha boshqaruvi va fanlararo integratsiya bo'yicha yuksak metodik tayyorgarlik talab etiladi. Tadqiqot jarayonida o'qituvchilarning ushbu innovatsion formatga to'liq moslashishida dastlabki vaqtlarda qator uslubiy qiyinchiliklar kuzatildi.

Kelajakdagi tadqiqotlar uchun yo'nalishlar: Ushbu cheklovlardan kelib chiqib, kelgusidagi ilmiy izlanishlarni quyidagi yo'nalishlarda davom ettirish maqsadga muvofiqdir:

Modelning reprezentativligini ta'minlash uchun tadqiqotni kengroq geografik hududlarda va yirikroq populyatsiyada (turli viloyatlar maktablari kesimida) amalga oshirish.

O'quvchilarning bilim va ko'nikmalarini oylar o'tgach qayta baholovchi (longitudinal/follow-up) tekshiruvlar tashkil etish.

Umumta'lim maktablarida faoliyat yuritayotgan kimyo o'qituvchilari uchun integrativ problem-based STEM yondashuvini darslarga tatbiq etishga qaratilgan malaka oshirish modullari va uslubiy ko'rsatmalarni ishlab chiqish.

Xulosa. Mazkur tadqiqot natijalari organik kimyo ta'limida real hayotiy muammolar asosida tashkil etilgan integrativ problem-based STEM modelining yuqori samaradorligini tasdiqladi. Tadqiqot davomida o'quvchilarning amaliy ko'nikmalari, tahliliy fikrlash darajasi, muammo yechish qobiliyati hamda loyiha faoliyati kompetensiyalari sezilarli darajada oshgani aniqlandi. Integrativ yondashuv asosida tashkil etilgan ta'lim jarayoni o'quvchilarning nazariy bilimlarini amaliy faoliyat bilan uyg'unlashtirishga xizmat qildi. Ayniqsa, real hayotiy muammolar asosida darslarni tashkil etish o'quvchilarning fanga bo'lgan qiziqishini oshirib, ularni mustaqil izlanishga undadi. Loyiha-tadqiqot faoliyatining joriy etilishi esa o'quvchilarning ijodiy va ilmiy fikrlash salohiyatini rivojlantirishda muhim omil bo'ldi.

Tadqiqot natijalariga asoslanib quyidagi xulosalarga kelish mumkin: organik kimyo ta'limida integrativ problem-based STEM modeli samarali pedagogik vosita hisoblanadi; real muammolar asosida tashkil etilgan darslar o'quvchilarning amaliy kompetensiyalarini rivojlantiradi; loyiha-tadqiqot faoliyati o'quvchilarning ilmiy tafakkurini shakllantiradi; fanlararo integratsiya bilimlarning tizimli o'zlashtirilishini ta'minlaydi. Shuningdek, mazkur modelni umumiy o'rta ta'lim tizimida keng joriy etish organik kimyo fanini o'qitish sifatini oshirishga, o'quvchilarni zamonaviy bilim va ko'nikmalarga ega bo'lgan raqobatbardosh shaxs sifatida shakllantirishga xizmat qiladi.

Etik deklaratsiya Ushbu tadqiqot ilmiy tadqiqotlar etikasi me'yorlariga to'liq amal qilgan holda o'tkazildi. Tadqiqotda ishtirok etgan 10-sinf o'quvchilari va ularning ota-onalaridan tadqiqot jarayonlari, maqsadlari va kutilayotgan natijalar haqida to'liq ma'lumot berilgan holda, yozma va og'zaki ravishda xabardor qilingan rozilik (Informed consent) olindi. Ishtirokchilarning shaxsiy ma'lumotlari konfidensialligi ta'minlandi va anonimlik kafolatlandi. Tadqiqot jarayoni Andijon viloyati Marhamat tumani Maktabgacha va maktab ta'limi bo'limi hamda 10-sonli umumiy o'rta ta'lim maktabi ma'muriyati bilan kelishilgan holda amalga oshirildi. Tadqiqot davomida hech qanday psixologik yoki jismoniy bosim o'tkazilmadi.

Tadqiqot doirasida to'plangan ma'lumotlar to'plami (shu jumladan, SPSS statistik tahlil natijalari, test ko'rsatkichlari, sifatli tahlil uchun foydalanilgan intervyu transkriptlari va refleksiya matnlari) ochiq manbalarda e'lon qilinmagan. Buning asosiy sababi ishtirokchilarning shaxsiy maxfiyligini saqlash hisoblanadi. Biroq, tadqiqotning metodik asoslarini va natijalarni tekshirish maqsadida asosli so'rovlar (valid requests) bo'yicha ma'lumotlar mualliflar tomonidan taqdim etilishi mumkin. So'rovlar uchun maqolaning bosh muallifi bilan bog'lanish tavsiya etiladi.

Foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati

- [1] Bybee R.W. The BSES 5E Instructional Model: Creating Teachable Moments // NSTA Press. – 2021.
- [2] English L.D., Moore T.J. Establishing the foundations of integrative STEM education // Journal of STEM Education. – 2023. – 24 (1). – B. 12–25.
- [3] Honey M. va boshq. Integrated STEM Education: Challenges and Opportunities // Journal of Science Education and Technology. – 2022. – 31 (2). – B. 201–215.
- [4] Kelley T.R., Knowles J.G. A conceptual framework for integrated STEM education // International Journal of STEM Education. – 2021. – 8 (1). – B. 1–11.
- [5] Kim H.J., Park S. Developing STEM competencies through project-based learning // Sustainability. – 2023. – 15 (4). – B. 3125.
- [6] Margot K.E., Kettler T. Teachers' perceptions of STEM integration and education: A systematic literature review // International Journal of STEM Education. – 2022. – 6 (2). – B. 1–15.
- [7] Shaughnessy M. Designing effective STEM curricula for secondary schools // Journal of Curriculum Studies. – 2024. – 56 (1). – B. 88–105.
- [8] Vasquez J.A. STEM Lesson Essentials: A Guide for Teachers // Journal of Education and Practice. – 2022. – 13 (5). – B. 45–58.
- [9] Wang H. va boshq. The impact of STEM integration on student learning and engagement: A meta-analysis // School Science and Mathematics. – 2023. – 123 (4). – B. 180–195.
- [10] Zhang Y. va boshq. Project-based STEM learning: A review of recent empirical research // Education Sciences. – 2023. – 13 (2). – B. 199.
- [11] Hmelo-Silver E.E. va boshq. Problem-Based Learning: A Research Perspective on Learning Interactions // Educational Psychology Review. – 2024. – 36 (2). – B. 45–68.
- [12] Krajeik J.S., Shin N. Project-Based Learning: A Paradigm for Science Education // Cambridge Handbook. – 2025.
- [13] Krajeik J. va boshq. Designing Project-Based Science Units // Journal of Science Teacher Education. – 2021. – 31 (5). – B. 481–502.
- [14] Prince M. Does active learning work? A review of the research // Journal of Engineering Education. – 2021. – 110 (3). – B. 567–590.
- [15] Savery J.R. Advanced Problem-Based Learning Strategies // Interdisciplinary Journal of PBL. – 2022. – 16 (1).
- [16] Eapen R.M. va boshq. Project-Based Learning: An Integrated Science Perspective // Sense Publishers. – 2021.
- [17] Lee S., Kim Y. Inquiry-based learning in secondary science: A meta-analysis // Science Education. – 2023. – 107 (3). – B. 445–470.
- [18] Miller K. Fostering analytical thinking through PjBL // Journal of Educational Research. – 2024. – 117 (2). – B. 150–165.
- [19] Brown J. Cognitive load in problem-based learning environments // Educational Psychology. – 2022. – 42 (4). – B. 480–495.
- [20] Davis E.A. va boshq. Supporting students in scientific inquiry // Journal of Science Teacher Education. – 2023. – 34 (1). – B. 1–15.
- [21] Eilks I., Hofstein A. Research and Practice in Chemistry Education // Advances in Chemistry Education. – 2022. – 12 (1). – B. 1–20.
- [22] Gilbert J.K., Treagust D.F. Multiple Representations in Chemistry Education // Springer Nature. – 2023.
- [23] Hofstein A., Mamlok-Naaman R. The laboratory in chemistry education: Trends and developments // Chemistry Education Research and Practice. – 2023. – 24 (2). – B. 450–468.

[24] Johnstone A.H. The development of chemistry thinking skills // Chemistry Education Research and Practice. – 2022. – 23 (1). – B. 112–125.

[25] Mahafzah O. The effect of problem-based learning on achievement in chemistry // Journal of Education and Practice. – 2021. – 12 (15). – B. 120–135.

