

УДК 37.016:54

ХИМИЯНЫ ОҚЫТУДА ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ ПЕН ВИРТУАЛДЫ ЗЕРТХАНАЛАРДЫ ҚОЛДАНУДЫҢ ТИІМДІЛІГІ

Жиенбаева Гүлнұр Мұратқызы, Калиманова Данагул Жаскайратовна
Х.Досмұхамедов атындағы Атырау университеті, Атырау, Қазақстан
gulnur.zhienbaeva.03@mail.ru

Аңдатпа. Мақалада химия пәнін оқытуда жасанды интеллект құралдары мен виртуалды зертханалық ресурстарды кешенді қолданудың педагогикалық тиімділігі қарастырылады. Зерттеудің мақсаты – виртуалды зертханалар мен жасанды интеллект құралдарын қолдану арқылы студенттер мен оқушылардың химия пәнін түсіну сапасын және оқу белсенділігін арттыру жолдарын анықтау. Зерттеу барысында университет студенттерімен «Атом құрылысы және элементтердің периодтылығы» тақырыбын оқыту кезінде педагогикалық тәжірибе жүргізілді. Сондай-ақ, онлайн ҰБТ дайындық курсына жалпы химия тақырыптарын түсіндіру барысында виртуалды зертханалар қолданылды. Оқыту процесінде PhET, Nobook және Ptable платформалары арқылы атомның электрондық құрылысы, экрандалу эффектісі, тиімді ядролық заряд және басқа химиялық ұғымдар визуалды түрде көрсетіліп, түсіндірілуіне мүмкіндік жасалды. Сонымен қатар оқу материалдарын құрылымдау, тапсырмаларды дайындау және білім алушыларға жедел кері байланыс ұйымдастыруда жасанды интеллект құралдары пайдаланылды. Зерттеу нәтижелері виртуалды зертханалар мен жасанды интеллект құралдарын үйлестіріп қолдану білім алушылардың күрделі микродеңгейдегі ұғымдарды меңгеруін жеңілдететінін және пәнге қызығушылығын арттыратынын көрсетті. Ұсынылған тәсіл химияны цифрлық форматта оқытудың тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді және жоғары білім беру мен дайындық курстары тәжірибесінде қолдануға ұсынылады.

Кілт сөздер: химияны оқыту, жасанды интеллект, виртуалды зертханалар, цифрлық білім беру

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА И ВИРТУАЛЬНЫХ ЛАБОРАТОРИЙ В ПРЕПОДАВАНИИ ХИМИИ

Д.Ж.Калиманова, Г.М.Жиенбаева

Атырауского университета имени Х. Досмұхамедова, Атырау, Казахстан
gulnur.zhienbaeva.03@mail.ru

Аннотация. В статье рассматривается педагогическая эффективность комплексного использования инструментов искусственного интеллекта и виртуальных лабораторных ресурсов при преподавании химии. Цель исследования — определить пути повышения качества понимания химического материала и учебной активности студентов и школьников через применение виртуальных лабораторий и инструментов искусственного интеллекта.

В ходе исследования был проведен педагогический эксперимент с университетскими студентами при изучении темы «Строение атома и периодичность элементов». Также виртуальные лаборатории использовались при объяснении тем общей химии в онлайн-курсе подготовки к ЕНТ. В процессе обучения с помощью платформ PhET, Nobook и Ptable визуально демонстрировались и объяснялись такие химические понятия, как электронная структура атома, эффект экранирования, эффективный ядерный заряд и другие.

Кроме того, инструменты искусственного интеллекта применялись для структурирования учебных материалов, подготовки заданий и организации оперативной обратной связи для учащихся. Результаты исследования показали, что совместное использование виртуальных лабораторий и инструментов искусственного интеллекта облегчает усвоение сложных микроуровневых понятий и повышает интерес к предмету.

Предложенный подход позволяет повысить эффективность цифрового обучения химии и рекомендуется к применению в практике высшего образования и подготовительных курсов.

Ключевые слова: преподавание химии, искусственный интеллект, виртуальные лаборатории, цифровое образование

THE EFFECTIVENESS OF USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND VIRTUAL LABORATORIES IN CHEMISTRY EDUCATION

D. Zh. Kalimanova, G.M.Zhiyenbayeva

Atyrau University named after H. Dosmukhamedov, Atyrau, Kazakhstan

gulnur.zhienbaeva.03@mail.ru

Abstract. The article examines the pedagogical effectiveness of the integrated use of artificial intelligence tools and virtual laboratory resources in teaching chemistry. The aim of the study is to identify ways to improve students' and pupils' understanding of chemistry concepts and their learning engagement through the use of virtual laboratories and AI tools.

During the study, a pedagogical experiment was conducted with university students while teaching the topic "Atomic Structure and Periodicity of Elements." Virtual laboratories were also used to explain general chemistry topics in an online national exam preparation course. Using platforms such as PhET, Nobook, and Ptable, chemical concepts such as atomic electronic structure, shielding effect, effective nuclear charge, and others were visually demonstrated and explained.

In addition, AI tools were utilized for structuring learning materials, preparing tasks, and providing rapid feedback to learners. The results showed that the combined use of virtual laboratories and AI tools facilitates the mastery of complex micro-level concepts and increases students' interest in the subject. The proposed approach enhances the effectiveness of digital chemistry education and is recommended for use in higher education and preparatory courses.

Keywords: chemistry education, artificial intelligence, virtual laboratories, digital education

Кіріспе

Химия пәні студенттер мен оқушылар үшін абстрактілі және күрделі тақырыптарға толы, сондықтан оны тиімді түсіндіру педагогикалық тұрғыдан маңызды мәселе болып саналады. Әсіресе атом құрылысын түсіну, электрондық конфигурация, экрандалу эффектісі және периодтық заңдылықтар сияқты микродеңгей ұғымдар көптеген білім алушыларға қиындық тудырады. Дәстүрлі оқыту әдістері бұл мәселені толық шеше алмай отыр, себебі атом құрылысын қарапайым плакаттармен немесе презентациялармен визуалдау мүмкін емес. Цифрлық технологиялар мен виртуалды зертханалық ресурстар білім беру үдерісін жаңаша ұйымдастыруға мүмкіндік береді. Соңғы жылдары PhET, Nobook және Ptable сияқты платформалар химиялық процестер мен атом құрылысын визуалды түрде көрсету арқылы студенттердің түсінуін жақсартуда тиімді құрал ретінде қарастырылып отыр. Сонымен қатар, жасанды интеллект құралдарын оқу материалдарын құрастыру, тапсырмаларды саралау және білім алушыларға жедел кері байланыс ұсыну мақсатында қолдану тәжірибесі де кеңейіп келеді.

Осы тұста виртуалды зертханалар мен жасанды интеллект (ЖИ) технологияларын интеграциялау оқыту парадигмасын түбегейлі өзгертуге мүмкіндік береді. Виртуалды зертханалар(мысалы, PhET немесе NoBook) білім алушыға атомды өз қолымен құрастыруға, электрондардың қозғалысын бақылауға және микроәлемді тікелей сезінуге жағдай жасайды.

Алайда, тек виртуалды ортаның болуы жеткілікті емес. Көп жағдайда студенттер мен ҰБТ-ға дайындалушы оқушылар виртуалды зертхана ішіндегі деректерді өз бетінше талдай алмай жатады. Мұнда жасанды интеллект (Gemini) интерактивті тьютор рөлін атқарады. ЖИ оқушының сұрақтарына нақты уақыт режимінде жауап беріп, Ptable сияқты интерактивті

платформалардағы деректерді қарапайым тілмен жеткізуге көмектеседі. Мысалы, экрандалу әсерін түсіндіруде ЖИ теориялық негізді ұсынса, PhET симуляциясы сол әсерді визуалды түрде дәлелдейді.

Осы зерттеудің өзектілігі – жоғары оқу орнындағы лекциялық сабақтар мен онлайн курстардағы практикалық дайындықты ұштастыра отырып, химияны оқытудың кешенді цифрлық моделін жасау болып табылады. Бұл тәсіл білім алушының тек теориялық білімін ғана емес, сонымен қатар заманауи цифрлық құралдармен жұмыс істеу дағдыларын дамытуға бағытталған.

Материал мен әдістер

Зерттеу педагогикалық тәжірибе әдісі негізінде жүргізілді. Педагогикалық тәжірибе екі контексте жүзеге асырылды: Х. Досмұхамедов атындағы университеттің Химия ІР 1-курс студенттері – «Атом құрылысы және элементтердің периодтылығы» пәні бойынша сабақтар өткізілді. Онлайн ҰБТ дайындық курсының 10–11 сынып оқушылары – химиялық тақырыптарды меңгеру деңгейін бағалау үшін виртуалды зертханалар мен жасанды интеллект негізіндегі оқу материалдары қолданылды.

Бұл тәсіл студенттер мен оқушылардың оқу жетістігін салыстыруға, виртуалды зертханалар мен цифрлық құралдардың педагогикалық тиімділігін анықтауға мүмкіндік берді.

Университет тәжірибесі

Университет студенттерімен жүргізілген тәжірибе барысында PhET, Javalab және Ptable виртуалды зертханалық платформалары қолданылды. Сабақ барысында атомның электрондық құрылысы, экрандалу эффектісі, тиімді ядролық заряд және периодтық заңдылықтар визуалды түрде көрсетілді. Студенттерге атом құрылысын түсіндіру үшін виртуалды модельдер көрсетіліп, олармен белсенді жұмыс жасауға мүмкіндік берілді.

Онлайн ҰБТ курсы

Онлайн ҰБТ дайындық курсына химиялық реакция жылдамдығы, химиялық тепе-теңдік және сутектік көрсеткіш тақырыптарын оқыту барысында салыстырмалы педагогикалық тәжірибе жүргізілді. Зерттеуге қатысқан оқушылар екі топқа бөлінді.

Эксперименттік топта (1-топ) оқу процесінде PhET, Labster және Nobook виртуалды зертханалары қолданылып, химиялық құбылыстар интерактивті модельдер арқылы түсіндірілді. Бақылау тобында (2-топ) аталған тақырыптар дәстүрлі түсіндіру әдістері негізінде оқытылды.

Оқыту аяқталғаннан кейін екі топтың білім деңгейін бағалау мақсатында бірдей мазмұндағы қорытынды бақылау жұмысы алынды. Бағалау құралдары 30 теориялық сұрақтан және 30 есептік тапсырмадан тұрды. Тапсырмалар зерттелген тақырыптардың мазмұнын толық қамтитындай етіп құрастырылды. Оқушылардың оқу нәтижелері топтар бойынша салыстырмалы талдау әдісі арқылы өңделді.

Жасанды интеллект қолдану

Зерттеу барысында жасанды интеллект құралдары, соның ішінде Gemini оқу-әдістемелік материалдарды әзірлеу, тапсырмаларды құрастыру және білім алушыларға жедел кері байланыс ұсыну мақсатында пайдаланылды. Сонымен қатар «Катиондар мен аниондарға сапалық реагенттер» тақырыбын түсіндіруде жасанды интеллект Gemini арқылы әзірленген оқу комикстері қолданылды. Комикстік форматтағы материалдар білім алушылардың назарын шоғырландыруға, күрделі мазмұнды визуалды түрде қабылдауына және тақырыпты қызығушылықпен меңгеруіне бағытталды. Бұл құралдар оқу үдерісін жеке қажеттіліктерге бейімдеуге және студенттердің түсіну деңгейін арттыруға мүмкіндік берді.



1-сурет. Жасанды интеллект көмегімен жасалған «Химиялық ізкесу» оқу комиксінің үлгісі

Бағалау және бақылау

Білім алушылардың оқу жетістіктерін бағалау мақсатында қорытынды бақылау жұмысы ұйымдастырылды. Университет студенттерінің тақырыпты меңгеру деңгейі сабақ барысында жүргізілген ағымдық бақылау негізінде анықталды. Онлайн ҰБТ курсына эксперименттік және бақылау топтарының нәтижелерін салыстыру үшін бірдей мазмұндағы тест тапсырмалары мен есептер қолданылды.

Нәтижелер

Жүргізілген педагогикалық тәжірибе виртуалды зертханалар мен дәстүрлі оқыту тәсілдерінің тиімділігін салыстыруға мүмкіндік берді. Алынған деректер білім алушылардың оқу жетістігінде айқын айырмашылық бар екенін көрсетті. Жасанды интеллект құралдарының оқу процесінде оқушылардың қызығушылығын арттыруда маңызы бар екені анықталды.

Университет студенттері бойынша нәтижелер

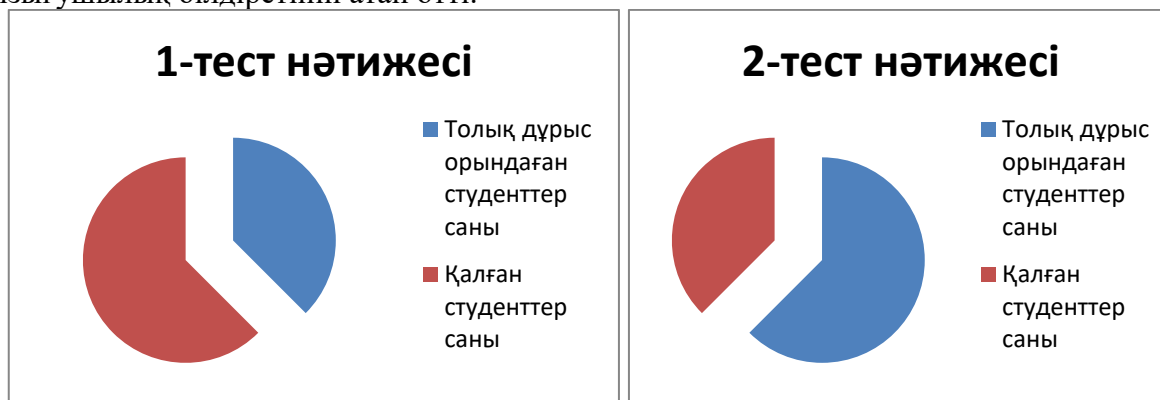
Алғашқы кезеңде «Атом құрылысы» тақырыбы дәстүрлі форматта түсіндірілді. Сабақтан кейін 20 теориялық сұрақ пен 15 есептен тұратын бақылау жұмысы алынды. Нәтижесінде 8 студенттің тек 3-уі тапсырмаларды толық дұрыс орындады, ал қалған 5 студент теориялық бөлімде 5–6 сұрақтан қате жіберді.

Келесі сабақта квант сандарын түсіндіру барысында PhET виртуалды зертханасы қолданылды. Виртуалды зертхана негізінде өткізілген сабақтан кейін дәл сондай құрылымдағы (20 теориялық сұрақ, 15 есеп) бақылау жұмысы жүргізілді. Бұл жолы 8 студенттің 5-еуі барлық тапсырмаларды толық дұрыс орындады, ал қалған 3 студент тек 2–3 сұрақтан қате жіберді.

Көпэлектронды атомдар, атом құрылысы бойынша элементтердің периодтылығы тақырыптарын түсіндіру кезінде PhET және периодтық кесте Ptable виртуалды зертханалары сәтті қолданылды. Студенттер электрондардың атомда қалай орналасатынын, элементтердің период бойынша қасиеттерінің қалай артатынын бақылады. Виртуалды зертханаларды қолдану көпэлектронды атомдар және атом құрылысы тұрғысынан периодтылық тақырыптарын меңгеру сапасына оң әсер етті. Бақылау нәтижелері бойынша студенттердің білім деңгейі бастапқы көрсеткішпен салыстырғанда шамамен 8–9%-ға артқаны байқалды.

Сауалнама нәтижелері студенттердің виртуалды зертханаларды атом құрылысы сияқты абстрактілі тақырыптарды түсінуде өте пайдалы деп бағалағанын көрсетті. Сонымен қатар студенттер кейбір тақырыптарда, әсіресе нәруыздардың түсті реакциялары

сияқты тәжірибелік жұмыстарда, нақты зертханалық тәжірибені қолмен орындауға қызығушылық білдіретінін атап өтті.



2-сурет. Студенттердің 1-тест және 2-тест нәтижелерінің салыстырмалы көрсеткіштері

Онлайн ҰБТ курсы бойынша нәтижелер

Онлайн курста оқушылар екі топқа бөлініп оқытылды, Әр топта 15 оқушыдан болды. Эксперименттік топта PhET және Nobook виртуалды зертханалары қолданылса, бақылау тобында дәстүрлі түсіндіру әдісі пайдаланылды.

Теориялық тест нәтижелері

Эксперименттік топта 10 оқушы барлық сұрақтарға толық дұрыс жауап берді, 3 оқушы 26 сұраққа дұрыс жауап берді, ал 2 оқушы 24 сұраққа дұрыс жауап көрсетті.

Бақылау тобында тек 6 оқушы 25 сұраққа дұрыс жауап бере алды, ал қалған оқушылардың нәтижелері 12–20 дұрыс жауап аралығында болды.

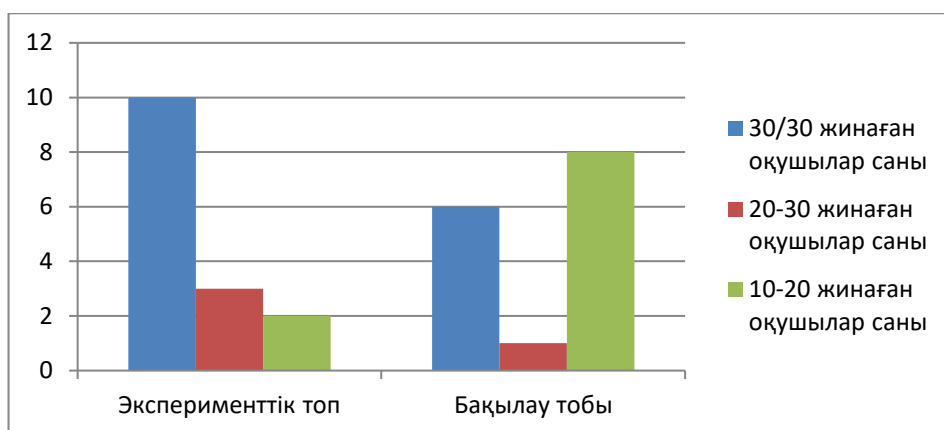
Есептік тапсырма нәтижелері

Эксперименттік топта 11 оқушы есептерді толық дұрыс шығарды, ал қалған 4 оқушыда 4–5 есептен қате байқалды.

Бақылау тобында 8 оқушы ғана есептерді толық орындады, ал қалған оқушыларда шамамен 8–9 есептен қате кеткені тіркелді.

Салыстырмалы талдау нәтижесінде эксперименттік топтың теориялық тапсырмалар бойынша жоғары нәтижесі бақылау тобымен салыстырғанда шамамен 26–27%-ға, ал есептік тапсырмалар бойынша 20%-ға жоғары екені анықталды. Бұл виртуалды зертханалар мен жасанды интеллект негізіндегі оқу материалдарын мақсатты қолдану химия пәнін меңгеру сапасын арттыруға елеулі оң әсер ететінін көрсетеді.

Топ	Оқушылар саны	Толық дұрыс жауап (теория)	26-27 дұрыс жауап	24-25 дұрыс жауап	Есептерді толық орындаған	4-5 немесе 8-9 қате
Эксперименттік	15	10 (66,7%)	3 (20%)	2 (13,3%)	11 (73,3%)	4 (26,7%)
Бақылау	15	6 (40%)	1	8 (60%)	8 (53,3%)	7 (46,7%)



3-сурет. Эксперименттік және бақылау топтарының оқу жетістіктерін салыстыру нәтижелері

«Катиондар мен аниондарға сапалық реагенттер» тақырыбын түсіндіру үшін жасанды интеллект құралдары арқылы жасалған комикстер (1-сурет) оқушыларға ұнады. 30 оқушының ішінде 28 оқушы (93,3%) комикстерге оң баға берді және олар тақырыпты визуалды түрде түсінуге көмектескенін атап өтті.

Студенттер мен оқушылар виртуалды зертханаларды қолданудың артықшылықтарын атап өтті. Атом құрылысы сияқты көзбен көрінуі мүмкін емес ұғымдарды визуализациялау кезінде виртуалды модельдердің тиімділігі жоғары екені айтылды. Сонымен қатар, химиялық реакция жылдамдығы, химиялық тепе-теңдік және сутектік көрсеткіш тақырыптарында да виртуалды зертханалар білім алушылардың түсінуін айтарлықтай жеңілдеткені байқалды.

Алайда оқушылар кейбір шынайы тәжірибелік аспектілердің жетіспейтінін де атап өтті. Олар түсті реакциялар мен сапалық реакцияларды қолмен орындауды өздері көргісі келеді немесе мұғалімнің демонстрациялық түрде көрсетуін қалайды. Бұл пікірлер виртуалды зертханалардың тиімділігін төмендетпейді, бірақ білім беру үдерісінде нақты тәжірибелік тәжірибенің орнын толықтыра алмайтынын көрсетті.

Жалпы, кері байланыс виртуалды зертханалардың оқу процесінде маңызды құрал екенін растайды, алайда дәстүрлі тәжірибелік жұмыстармен үйлестірілген кезде ғана максималды педагогикалық тиімділікке қол жеткізуге болатынын көрсетеді.

Талқылау

Зерттеу нәтижелері виртуалды зертханалар мен жасанды интеллект негізіндегі оқу материалдарын қолдану химия пәнін оқытуда білім алушылардың көрсеткіштерін арттыруға ықпал ететінін көрсетті. Бұл қорытындылар PhET сияқты виртуалды зертханалардың нақты педагогикалық әсері туралы халықаралық зерттеулермен толық үйлеседі. Мысалы, PhET симуляцияларын қолданған зерттеуде виртуалды зертхананың қышқыл-негіз ұғымын түсінуге оң әсері табылғаны анықталды, бұған эксперименттік топтың көрсеткіштерінің бақылау тобынан айтарлықтай жоғары болуы дәлел бола алады. [1]

Ғылыми әдебиеттер виртуалды зертханаларды қолданудың абстрактілі химиялық концепцияларды визуалды түрде көрсетуге мүмкіндік беретінін айтады, бұл студенттердің түсінуін жақсартады. Мәселен, систематикалық зерттеу PhET-тің химиядағы түрлі ұғымдарды, соның ішінде тепе-теңдік, теңдеулер және құбылыстарды меңгеруге әсерін оң бағалаған.[2] Сонымен қатар, виртуалды лабораториялар оқу материалын интерактивті ету арқылы білім алушылардың белсенділігін арттыруға да мүмкіндік береді. Бұл біздің зерттеуіміздегі оқушылардың виртуалды зертханаларды тиімді деп бағалағанына сай келеді.

Виртуалды зертханаларды педагогикалық қолдану туралы Қазақстандағы зерттеулер де олардың оқытудың қауіпсіздігі мен қолжетімділігіне оң баға беретіні туралы айтады. Мәселен, виртуалды модельдер нақты зертханалық құралдардың жетіспеушілігінен туындайтын қиындықтарды төмендететінін көрсетеді.[3] Бұл біздің студенттердің

эксперименттік тапсырмаларда жоғары нәтиже көрсеткенімен, нақты зертханалық тәжірибе қажеттілігін де айтып өткен пікірлерін түсіндіреді.

Ал виртуалды құралдардың шектеулері туралы басқа зерттеулер виртуалды симуляциялар нақты практикалық дағдыларды әсіресе түсті реакциялар немесе нақты демонстрациялық жұмыстар сияқты физикалық тәжірибелерде толық алмастыра алмайтынын көрсетеді. Бұл біздің жұмысымыздағы студенттердің қолмен жасауды қалайтыны туралы пікірлерімен толық байланысты және виртуалды зертханаларды дәстүрлі практикалық жұмыстармен үйлестіру қажеттігін растайды.[4]

Жалпы, әдебиеттер мен біздің нәтижелер арасындағы сәйкесдік виртуалды зертханалар мен цифрлық технологиялардың химияны оқытуда тиімді екенін көрсетуімен маңыздылығы жоғары. Алайда қолмен орындалатын нақты тәжірибелерді толық алмастырмайтындығын ескерту маңызды, бұл педагогикалық тәжірибені жоспарлау кезінде ескерілуі тиіс.

Қорытынды

Жүргізілген зерттеу виртуалды зертханалар мен жасанды интеллект құралдарын химия пәнін оқытуда қолданудың тиімділігін дәлелдеді. Нәтижелер көрсеткендей виртуалды зертханалар абстрактілі ұғымдарды, әсіресе атом құрылысын, квант сандарын және периодтық заңдылықтарды визуалды түрде көрсету арқылы студенттер мен оқушылардың түсіну деңгейін арттыруға мүмкіндік береді. Университет студенттері мен онлайн ҰБТ оқушыларының тест және есеп нәтижелері дәстүрлі оқыту әдістерімен салыстырғанда жоғары болды. Жасанды интеллект негізіндегі комикстер оқушылардың қызығушылығын арттырып, күрделі тақырыптарды меңгеру процесін жеңілдетті. 30 оқушының 28-і комикстерді оң бағалап, бұл құралдың оқу мотивациясына және материалды есте сақтауға оң әсерін растады. Виртуалды зертханалардың шектеулері бар екенін атап өту маңызды. Олар нақты тәжірибелік дағдыларды толық алмастырмайды, мысалы түсті реакциялар немесе сапалық тәжірибелерді қолмен орындау мүмкіндігін. Сондықтан виртуалды құралдар мен дәстүрлі тәжірибелерді біріктіру ең тиімді педагогикалық тәсіл болып табылады.

Жалпы, зерттеу виртуалды зертханалар мен жасанды интеллект құралдарының химияны оқытудың тиімділігін арттыруда сенімді әрі перспективалы құралдар екенін көрсетті. Бұл әдістерді сабақтарға интеграциялау оқушылардың танымдық белсенділігін көтеруге, абстрактілі ұғымдарды жеңіл меңгеруге және оқу мотивациясын күшейтуге мүмкіндік береді

Пайдаланылған әдебиеттер

1. Ulhaq, D., Hanum, L., & Habibati, H. (2023). THE EFFECT OF USING PhET SIMULATION VIRTUAL LAB ON THE UNDERSTANDING OF THE ACID-BASE CONCEPT (A Case Study at Chemistry Education Department, Syiah Kuala University). *Chimica Didactica Acta*, 11(1), 8–14. <https://doi.org/10.24815/jcd.v11i1.28257>
2. Aliyu, H., Abdullahi, A., & Garba, A. (2024). ROLE OF PHET INTERACTIVE SIMULATION AS VIRTUAL TECHNOLOGY THAT FACILITATES LEARNING OF CHEMISTRY: A SYSTEMATIC REVIEW OF CHEMICAL CONCEPTS, LEARNING THEORIES, INSTRUCTIONAL MODES AND STRATEGIES. *Rima International Journal of Education (RIJE)*, 3(2), 2756–6749. Retrieved from <https://orcid.org/0000-0003-4929-3126>
3. Мамырханова Сымбат Әмірханқызы, & Галымова Нуржанар Гайсатқызы. (2025). ХИМИЯНЫ ҚАШЫҚТЫҚТАН ОҚЫТУДА ВИРТУАЛДЫ ЗЕРТХАНАЛАРДЫҢ РӨЛІ МЕН ТИІМДІЛІГІ. *Interdisciplinary Science Studies*, (11). Retrieved from <https://ojs.scipub.de/index.php/ISS/article/view/7310>

4. Asabere, N. Y., Gbagbe, G. E., Tawia, E. A., Amegashie, J. E., & Ayin, D. A. (2022). Pedagogically-Improved Blended Learning of a Chemistry Course Through a Computerized Virtual Laboratory. *International Journal of Online Pedagogy and Course Design (IJOPCD)*, 12(1), 1-21. <https://doi.org/10.4018/IJOPCD.302086>