

Sh.Zh. Ramankulov¹, N.N. Zhaksylyk^{1*}, B.A. Kurbanbekov¹

¹ Khoja Ahmet Yassawi International Kazakh-Turkish University, Turkestan, Kazakhstan.

* e-mail: nurkozha.zhaksylyk@ayu.edu.kz

ASSESSING THE IMPACT OF STEM EDUCATION ON STUDENTS' ACADEMIC PERFORMANCE IN SOLAR ENERGY STUDIES

Abstract

Integrating STEM (Science, Technology, Engineering, and Mathematics) Education into Solar Energy Curricula as a Key Strategy for Enhancing Students' Interaction and Understanding of Solar Energy Technologies. STEM education can be considered a key strategy for integrating solar energy studies into academic curricula to enhance students' interaction and comprehension of solar energy technologies. This approach not only fosters critical thinking and problem-solving skills but also prepares students for future careers in sustainable energy. The objective of this study is to evaluate the effectiveness of implementing STEM methods in solar energy education. The efficiency of STEM education in solar energy can be assessed through various criteria, including curriculum development, pedagogical strategies, and environmental awareness. As part of this study, scientific research related to this topic and STEM projects based on alternative energy sources were analyzed. A pedagogical experiment was conducted within the physics education curriculum for the course "Alternative Energy Sources." A total of 51 students participated in the experiment. The learning process utilized an educational-scientific stand designed to study the physical characteristics of solar energy converters, Vernier sensors for data collection, and the Vernier Graphical Analysis program to analyze the relationship between solar panel performance and light intensity. Quantitative data were analyzed using mathematical-statistical methods in the JASP software to observe the correlation between the frequency of STEM product usage and exam scores. The Pearson correlation coefficient was found to be $r = 0.575$, indicating a positive correlation, with $p < 0.001$, confirming statistical significance. Linear regression analysis yielded a value of $R^2 = 0.331$, suggesting that the use of STEM products explains approximately 33% of the variation in exam scores. The study results confirm that the use of STEM-based educational tools focused on solar energy positively impacts students' academic performance. The findings highlight the significance of incorporating STEM approaches into solar energy education programs, contributing to the training of highly qualified specialists in the field of renewable energy. This research can serve as a foundation for the implementation of innovative technologies in the education system.

Keywords: STEM education, solar panel, Vernier, solar energy, alternative energy sources, academic performance.

Ш.Ж. Раманкулов¹, Н.Н. Жақсылық¹, Б.А. Курбанбеков¹

¹ Қ.А.Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік Университеті, Түркістан қ., Қазақстан.

КҮН ЭНЕРГЕТИКАСЫН ОҚУДАҒЫ STEM БІЛІМ БЕРУДІҢ БІЛІМ АЛУШЫЛАРДЫҢ АКАДЕМИЯЛЫҚ ҮЛГЕРІМІНЕ ӘСЕРІН БАҒАЛАУ

Аңдатпа

STEM (Ғылым, Технология, Инженерия және Математика) білімін күн энергиясы бойынша оқу бағдарламаларына интеграциялау студенттердің Күн энергиясы технологиялары бойынша өзара әрекеттесуі мен түсінігін арттырудың негізгі стратегиясы ретінде қарастырсақ болады. Бұл тәсіл сыни тұрғыдан ойлау мен проблемаларды шешу дағдыларын дамытып қана қоймайды, сонымен қатар студенттерді тұрақты энергетика саласындағы болашақ мансапқа дайындайды. Бұл зерттеудің мақсаты Күн энергетикасын оқытуда STEM әдістерін енгізу тиімділігін анықтау болып табылады. Күн энергиясындағы STEM білімінің тиімділігін әртүрлі өлшемдер бойынша бағалауға болады, атап айтсақ оқу бағдарламаларын әзірлеу, педагогикалық стратегиялар және экологиялық сананы дамыту. Зерттеу аясында осы тақырып төңірегіндегі ғылыми еңбектерге, баламалы энергия көздеріне негізделген STEM жобаларға талдау жасалды. Физика білім беру бағдарламасындағы «Баламалы энергия көздері» курсы оқытуда педагогикалық эксперимент ұйымдастырылды. Педагогикалық экспериментке 51 білім алушы

катысты. Оқу барысына «Күн энергиясын электр энергиясына түрлендіргіштердің физикалық сипаттамаларын зерттеуге арналған оқу-ғылыми стенді», нәтижелерді алу үшін Vernier датчиктері және Vernier Graphical Analysis бағдарламасы қолданылып, Күн панелінің өнімділігі мен жарықтылық арасындағы байланыс зерттелді. Сандық деректер STEM өнімдерін қолдану жиілігі мен осы пәннің емтихан бағаларының арасындағы байланысты бақылап, JASP бағдарламасы көмегімен математикалық-статистикалық талдау жасалды. Пирсон корреляциясының мәні $r=0,575$, яғни оң корреляция, және $p<0,001$ Корреляция статистикалық тұрғыдан маңызды екенін көрсетеді. Сызықты регрессиялық талдау мәні $R^2 = 0.331$, яғни STEM өнімдерін қолдану емтихан бағасының өзгерісінің шамамен 33%-ын түсіндіреді. Зерттеу нәтижесінде Күн энергетикасына бағытталған STEM өнімдерді білім беруде қолдану студенттердің білім деңгейлеріне оң әсер ететіне көз жеткіздік. Зерттеу нәтижелері STEM тәсілдерін Күн энергетикасы бойынша білім беру бағдарламаларына енгізудің маңыздылығын айқындады. Бұл оқыту әдістері жаңартылатын энергия саласында жоғары білікті мамандар даярлауға көмектеседі. Осы зерттеу білім беру жүйесінде инновациялық технологияларды қолдануға негіз бола алады.

Түйін сөздер: STEM білім, күн панелі, Vernier, күн энергетикасы, баламалы энергия көздері, академиялық үлгерім.

Ш.Ж. Раманкулов¹, Н.Н. Жаксылық¹, Ж.М. Битибаева², Б.А. Курбанбеков¹

¹Международный казахско-турецкий Университет имени Х.А.Ясави, г.Туркестан, Казахстан

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ STEM-ОБРАЗОВАНИЯ НА АКАДЕМИЧЕСКУЮ УСПЕВАЕМОСТЬ ОБУЧАЮЩИХСЯ В ИЗУЧЕНИИ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Аннотация

Интеграция STEM-образования (Наука, Технологии, Инженерия и Математика) в учебные программы по солнечной энергии как ключевая стратегия повышения взаимодействия и понимания технологий солнечной энергии среди студентов. STEM-образование можно рассматривать как ключевую стратегию интеграции изучения солнечной энергии в учебные программы с целью улучшения взаимодействия студентов с технологиями солнечной энергии и их понимания. Такой подход не только развивает критическое мышление и навыки решения проблем, но и подготавливает студентов к будущей карьере в области устойчивой энергетики. Целью данного исследования является оценка эффективности внедрения STEM-методов в преподавание солнечной энергетики. Эффективность STEM-образования в данной области можно оценивать по различным критериям, таким как разработка учебных программ, педагогические стратегии и развитие экологического сознания. В рамках исследования был проведен анализ научных работ по данной теме и STEM-проектов, основанных на альтернативных источниках энергии. Педагогический эксперимент был организован в рамках курса «Альтернативные источники энергии» образовательной программы по физике. В эксперименте приняли участие 51 студент. В учебном процессе использовался учебно-научный стенд для исследования физических характеристик преобразователей солнечной энергии, датчики Vernier для сбора данных и программа Vernier Graphical Analysis для анализа связи между производительностью солнечной панели и интенсивностью освещения. Количественные данные анализировались методами математико-статистического анализа в программе JASP, чтобы определить взаимосвязь между частотой использования STEM-продуктов и экзаменационными оценками. Коэффициент корреляции Пирсона составил $r = 0.575$, что указывает на положительную корреляцию, а $p < 0.001$, что подтверждает статистическую значимость. Линейный регрессионный анализ показал значение $R^2 = 0.331$, то есть использование STEM-продуктов объясняет примерно 33% изменения экзаменационных оценок. Результаты исследования подтверждают, что использование STEM-продуктов, ориентированных на солнечную энергетику, положительно влияет на академическую успеваемость студентов. Выводы подчеркивают важность внедрения STEM-подходов в образовательные программы по солнечной энергетике, что способствует подготовке высококвалифицированных специалистов в области возобновляемых источников энергии. Данное исследование может стать основой для внедрения инновационных технологий в систему образования.

Ключевые слова: STEM-образование, солнечная панель, Vernier, солнечная энергетика, альтернативные источники энергии, академическая успеваемость.

Негізгі ережелер

Зерттеу студенттердің теориялық және практикалық құзыреттілігін арттыру үшін STEM әдістерін күн энергиясын оқытуға біріктірудің маңыздылығын көрсетеді. Vernier датчиктерімен және Vernier Graphical Analysis бағдарламалық жасақтамасымен бірге күн энергиясын электр энергиясына түрлендірудің физикалық сипаттамаларын зерттеуге арналған оқу стендін қолдана отырып, студенттер ғылыми ізденістермен белсенді айналысады. Бұл тәсіл фотоэлектрлік принциптерді тереңірек түсінуге ықпал етеді, практикалық мәселелерді шешуге ықпал етеді және нақты уақыттағы деректерді жинауға және талдауға мүмкіндік береді, осылайша технологияға негізделген тергеу процестерінің өзектілігін арттырады.

Сонымен қатар, STEM өнімін қолдану жиілігі мен емтихан нәтижелері арасындағы күшті корреляция ($r=0.575$) мұндай интеграцияның нақты академиялық артықшылықтарын көрсетеді. Студенттер жаңартылатын энергия көздері туралы түсініктерін жетілдіріп қана қоймай, сонымен қатар маңызды аналитикалық және инженерлік дағдыларды дамытады. Осылайша, зерттеу STEM-ге негізделген педагогикалық стратегиялардың болашақ мамандарды тұрақты дамуға бағытталған дамып келе жатқан энергетика секторында өркендеу үшін қажетті құзыреттіліктермен қалай тиімді қамтамасыз ететінін көрсетеді.

Кіріспе

Ғылым, Технология, Инженерия және Математика (STEM) білімін күн энергиясын оқытуға біріктіру, әсіресе оның оқушылардың үлгеріміне әсерін бағалауда зерттеудің негізгі бағыты ретінде пайда болды. Жаңартылатын энергия көздеріне жаһандық екпін күшейген сайын, білім беру мекемелері студенттерді осы саладағы болашақ мансаптары үшін қажетті дағдылар мен білімдермен қамтамасыз ету үшін күн энергиясы бойынша оқу бағдарламаларын көбірек қабылдауда. STEM білімінің көп қырлы сипаты, әсіресе күн энергиясын оқытумен үйлескенде, студенттердің ғылыми принциптер туралы түсінігін арттырып қана қоймайды, сонымен қатар қазіргі жұмыс күшінде табысқа жету үшін қажетті сыни ойлау мен мәселелерді шешу дағдыларын дамытады [1-3].

Зерттеулер көрсеткендей, STEM білімінің негізгі құрамдас бөлігі болып табылатын жобалық оқыту оқушылардың күн энергиясы тақырыптарына деген қызығушылығы мен қызығушылығын айтарлықтай арттырады. Мысалы, Suryadi et al, күн батареяларын жобалау және сынау сияқты практикалық жобаларға қатысатын студенттер мотивацияның жоғарылауын және фотоэлектрлік принциптерді тереңірек түсінуді көрсететінін атап көрсетеді [4]. Бұл тәжірибелік оқыту тәсілі студенттерге теориялық білімдерін практикалық жағдайда қолдануға мүмкіндік береді, осылайша олардың оқу үлгерімін нығайтады. Сонымен қатар, зерттеулер виртуалды шындықты пайдалану және интерактивті модельдеу сияқты оқытудың инновациялық әдістерін енгізу студенттерге күн энергиясы тұжырымдамаларын зерттеуге қызықты орта беру арқылы оқу тәжірибесін одан әрі жақсарту алатынын көрсетеді [5-6].

Күн энергиясын оқытудағы STEM білімінің тиімділігі саланың қажеттіліктеріне сәйкес келетін құзыреттіліктерді дамытуда да көрінеді. Kuo & Chang түлектердің жұмыс берушілер іздейтін қажетті дағдыларға ие болуын қамтамасыз ету үшін инженерлік білімге, әсіресе күн энергиясы контекстінде жұмысқа қабілеттілік көрсеткіштерін біріктірудің маңыздылығын атап көрсетеді [7-8]. Бұл сәйкестік студенттерді дереу жұмысқа орналасуға дайындап қана қоймайды, сонымен қатар қарқынды дамып келе жатқан энергетикалық сала бойынша ұзақ мерзімді мансаптық табысқа ықпал етеді. Сонымен қатар, STEM білім беруде қолданылатын белсенді оқыту стратегиялары студенттердің аз қамтылған топтары арасындағы үлгерімдегі олқылықтарды азайтатыны, осылайша осы саладағы инклюзивтілік пен әртүрлілікке ықпал ететіні дәлелденді [9-10].

STEM интеграциясын және оқу-стендтерін қолдану студенттердің зерттеу дағдыларына, қызығушылығына, білім алу мотивациясына, үлгеріміне оң әсерін тигізгенімен, оқу процесіне

қосу үшін технологиялық, әдістемелік мәселелерді шешу қажет. Сонымен қатар, білім беру саласындағы зерттеу жұмыстарында мынадай жеткіліксіздіктер бар:

-Баламалы энергияны оқытуда STEM білім беруді қолдану бойынша ғылыми зерттеулердің, әдістемелік құралдардың жеткіліксіздігі.

-Материалдық-техникалық базаның жеткіліксіз болғанынан туатын студенттердің күн энергетикасы саласындағы нақты ақпараттармен қамтамасыз етілмеуі.

Бұл зерттеу осы қайшылықтардан өтуге бағытталған жұмыстарды жоспарлауға көмектесіп, білім беру сапасы мен процесіне айтарлықтай оң өзгерістер беруі мүмкін. Оқу үлгерімін арттырумен қатар, STEM білім беру жүйесіндегі күн энергиясын оқыту студенттердің қоршаған ортаны қорғау мотивациясын арттырады. Жаңартылатын энергия технологияларымен өзара әрекеттесу арқылы студенттер тұрақтылық мәселелері және климаттың өзгеруі сияқты жаһандық мәселелерді шешудегі күн энергиясының рөлі туралы көбірек хабардар болады [11]. Бұл хабардарлық өте маңызды, өйткені студенттер ақпараттандырылған азаматтар мен энергетика саласындағы болашақ көшбасшылар рөліне ауысады.

Күн энергетикасы бойынша STEM өнімді қолдану арқылы студенттер күн панельдерінің өнімділігі мен жарықтылықтың арасындағы байланысы мысалында жүзеге асады. Жұмыс оқу стенді, Vernier энергия датчигі (GoDirect Energy) және Vernier Graphical Analysis бағдарламасы көмегімен жүзеге асыды. Бұл жұмыс олардың күн энергетикасы туралы білімдерін арттырып, бұл саладағы қызығушылығын арттырады. Сонымен қатар, бұл жұмыста студенттер ғылыми зерттеу дағдыларын қалыптастырады.

Әдебиеттік шолу

Күн энергетикасындағы STEM білімінің маңызды аспектілерінің бірі – оның пәнаралық сипаты, бұл студенттерге әртүрлі ғылыми салалар арасындағы ұғымдарды байланыстыруға мүмкіндік береді. Нігде зерттеуі жаңартылатын энергия көздеріне негізделген дизайнға бағытталған STEM білімінің студенттердің экологиялық мәселелер жөніндегі сыни ойлауын және ғылыми мансапқа деген қызығушылығын айтарлықтай арттыратынын көрсетеді [12]. Бұл пәнаралық тәсілді Indahwati одан әрі қолдайды, ол STEAM (Ғылым, Технология, Инженерия, Өнер және Математика) шеңберінде дербес оқыту мен физикадағы инновацияларды біріктірудің маңыздылығын атап өтеді. Бұл әсіресе Тұрақты даму мақсаттарына (SDGs) қол жеткізу контекстінде сыни ойлау дағдыларын дамытуға ықпал етеді [13]. Мұндай интеграция оқу үдерісін байытып қана қоймай, білім беру нәтижелерін жаһандық тұрақтылық мақсаттарымен сәйкестендіреді.

Сонымен қатар, педагогтердің көзқарастары мен ұстанымдары тиімді STEM оқу бағдарламаларын жүзеге асыруда шешуші рөл атқарады. Güven және Çakır зерттеуі жаңартылатын энергияға деген мұғалімдердің оң көзқарасы мен олардың сыни ойлау бейімділігі арасында өзара байланыс бар екенін анықтады. Бұл жаңартылатын энергия білімін жоғары бағалайтын педагогтердің өз студенттерінде де осыған ұқсас көзқарастар қалыптастыру ықтималдығы жоғары екенін көрсетеді [14]. Бұл мұғалімдерді даярлау бағдарламалары жаңартылатын энергияның маңыздылығына ерекше мән беруі қажет екенін көрсетеді, өйткені бұл қолайлы оқу ортасын қалыптастыруға ықпал етеді. Сонымен қатар, Genç зерттеуі жаңартылатын энергия тақырыптарын орта мектеп бағдарламасына енгізудің қажеттілігін атап көрсетеді, бұл студенттердің осы технологиялар туралы түсінігін тереңдетіп, олардың қабылдауын жақсартуға мүмкіндік береді [15].

Күн энергетикасындағы тиімді STEM білімінің тағы бір маңызды құрамдас бөлігі – практикалық, жобалық негіздегі оқу тәжірибесін дамыту. Muliyati зерттеуі STEM-ге негізделген жобалық оқыту (PjBL) аясында студенттердің жаңартылатын энергияға байланысты нақты мәселелерді шешуіне мүмкіндік беретін жұмыс парақтарын әзірлеудің маңыздылығын ерекше атап көрсетеді [16]. Бұл практикалық тәсіл студенттердің оқу үдерісіне белсенді қатысуын қамтамасыз етіп қана қоймай, теориялық білімдерін нақты жағдайларда қолдануға көмектеседі, осылайша күн энергетикасы ұғымдарын тереңірек меңгеруге ықпал

етеді. Сол сияқты, Okonkwo зерттеуі орта мектептегі STEM оқу бағдарламаларына тұрақты даму білімін енгізуді қарастырады. Ол жаңартылатын энергия технологиялары мен жасыл химияға назар аудара отырып, студенттердің тұрақты даму тәжірибелерін жақсырақ түсінуіне мүмкіндік береді [17].

Инновациялық оқыту әдістерінің, соның ішінде симуляциялар мен виртуалды зертханалардың рөлін жоққа шығаруға болмайды. Мысалы, Guo және әріптестері сипаттаған микроторлық жүйелерге арналған виртуалды зертхананы дамыту студенттердің жаңартылатын энергия технологиялары, соның ішінде күн энергетикасы туралы білімін және түсінігін едәуір арттырғанын көрсетті [18]. Мұндай интерактивті оқу ортасы студенттерге күрделі энергетикалық жүйелермен басқарылатын жағдайда тәжірибе жасауға және жұмыс істеуге мүмкіндік береді, осылайша олардың оқу нәтижелерін жақсартады.

Сонымен қатар, STEM білімінде шығармашылық элементтерді енгізу студенттердің қызығушылығы мен түсінігін арттыра алады. Renny және әріптестері өнер мен ғылымды біріктіру арқылы, мысалы, люминесцентті күн шоғырландырғыштарын бейнелеу жобалары арқылы, студенттердің креативті ойлауын дамытып, оларды күн энергетикасы туралы біліммен қамтамасыз етуге болатынын көрсетеді [19]. Бұл тәсіл оқыту үдерісін қызықты етіп қана қоймай, сонымен қатар студенттерді жаңартылатын энергия шешімдеріне шығармашылық тұрғыдан қарауға ынталандырады.

STEM білімінің студенттердің жаңартылатын энергияға деген көзқарасына ықпалы Sulaiman зерттеуінде де айқын көрінеді. Ол күн фотоэлектрлік жүйелерін оқытуда Minecraft Education сияқты интерактивті құралдарды пайдаланудың тиімділігін зерттей отырып, олардың білім алушылардың қызығушылығы мен түсінігін арттырудағы рөлін көрсетеді [20]. Мұндай инновациялық білім беру құралдары күрделі ғылыми ұғымдарды студенттерге қолжетімді әрі түсінікті етіп жеткізуге көмектеседі, осылайша олардың жаңартылатын энергия технологияларына деген қызығушылығын арттырады.

Білім мен дағдыларды жетілдірумен қатар, күн энергетикасындағы STEM білім беру экологиялық сауаттылықты қалыптастыруда да маңызды рөл атқарады. Mustain және Herlina зерттеуі STEM білімінің студенттерге ақпаратты сыни тұрғыдан талдауға және энергияны пайдалану мен үнемдеуге қатысты саналы шешімдер қабылдауға мүмкіндік беретінін көрсетеді [21]. Бұл әсіресе климаттың өзгеруі сияқты жаһандық мәселелер аясында аса маңызды, өйткені тұрақты даму тәжірибелерін ілгерілету үшін білімді азаматтар қажет.

Сонымен қатар, күн энергетикасындағы STEM білімінің тиімділігі жаңартылатын энергия тұтынуын арттырудағы білімнің рөлін атап көрсететін зерттеулермен де расталады. Мысалы, Jamshid және әріптестері білім деңгейінің жоғары болуы жаңартылатын энергияны көбірек тұтынумен өзара байланысты екенін анықтады. Бұл білімнің энергетикалық ауысуды жеделдетудегі негізгі қозғаушы күш екенін көрсетеді [22]. Бұл жаңартылатын энергия тақырыптарын оқу бағдарламаларына енгізудің қажеттілігін айқындайды, өйткені бұл болашақ ұрпақты тұрақты энергетикалық тәжірибелерге дайындауға мүмкіндік береді.

Жоғары оқу орындарының жаңартылатын энергия туралы түсінікті қалыптастырудағы рөлі де ерекше маңызды. Pantchenko және әріптестері атап өткендей, жаңартылатын энергия курстарындағы практикалық зертханалық тәжірибелер студенттердің бұл технологияларға деген қызығушылығы мен түсінігін едәуір арттыра алады [23]. Мұндай тәжірибелік оқыту мүмкіндіктері теориялық білім мен практикалық қолдану арасындағы алшақтықты жою үшін өте маңызды, осылайша студенттерді жаңартылатын энергия көздері саласындағы мансапқа дайындайды.

STEM жобаларындағы Vernier датчиктерін және Vernier Graphical Analysis қолдану бойынша жасалған жұмыстарға талдау жасайық. Себебі, Vernier графикалық анализін білім беруде, әсіресе физика және STEM білім беру контекстінде қолдану оқушылардың көрнекі бейнелеу және деректерді талдау арқылы күрделі ұғымдарды түсінуін жақсарту қабілетінің арқасында қарқын алды. Бұл әдіс теориялық білім мен практикалық қолдану арасындағы

тереңірек байланысты жеңілдету үшін технологияны пайдаланады, осылайша оқушылардың белсенділігі мен оқу нәтижелерін жақсартады.

Vernier графикалық талдау құралдарын пайдаланудың маңызды артықшылықтарының бірі – студенттердің кинематикалық графиктерді интерпретациялау дағдыларын жақсартуға тиімді ықпал етуі. Martin және әріптестері атап өткендей, Vernier ұсынған бейне талдау құралдары студенттерге қозғалысты визуализациялауға және оны физикалық әрі математикалық модельдермен байланыстыруға мүмкіндік береді. Бұл өзара байланыс кинематика мен динамиканы тереңірек түсінуге ықпал етеді, өйткені студенттер теориялық білімдерінің нақты уақыттағы көрінісін тікелей бақылай алады [24]. Мұндай құралдарды оқу бағдарламасына енгізу тек түсінікті жақсартып қана қоймай, сонымен қатар студенттерді ғылыми зерттеу мен тәжірибелік жұмысқа тартуға ықпал етеді.

Сонымен қатар, білім беру материалдарында графикалық көрнекіліктерді қолдану оқыту тиімділігін арттыратыны белгілі. Khine және Liu ғылыми оқулықтардағы графикалық көрнекіліктерді сипаттамалық талдау арқылы визуалды құралдардың күрделі ғылыми ұғымдарды түсіну мен есте сақтауға көмектесетінін атап көрсетеді [25]. Бұл Vernier графикалық талдауының принциптерімен сәйкес келеді, өйткені ол деректерді қарапайым әрі түсінікті ету үшін графикалық көрнекіліктерді пайдаланады, осылайша студенттер үшін ақпараттың қолжетімділігін арттырады.

Графикалық талдау құралдарының тиімділігіне қатысты зерттеулер интерактивті және динамикалық визуалды құралдардың оқу нәтижелерін жақсартуға ықпал ететінін растайды. Wang және әріптестері интерактивті графикалық ұйымдастырушыларды қолдану когнитивті белсенділікті арттырып, оқу тәжірибесін тереңдете түсетінін анықтады [26]. Бұл Vernier графикалық талдау құралдарын, әсіресе интерактивті мүмкіндіктері бар функцияларын оқу үдерісіне енгізу студенттердің қызығушылығын арттырып, оқыту ортасын анағұрлым тартымды ете алатынын көрсетеді.

Сонымен қатар, білім беруде графикалық талдауды қолдану жоғары деңгейлі ойлау дағдыларын дамытуға ықпал етеді. Zulfarina және әріптестері қозғалыс графикасы мен визуалды симуляцияларды пайдалану студенттердің сыни ойлау және проблемаларды шешу қабілеттерін жақсарта алатынын анықтады. Бұл STEM саласында деректерді талдау мен күрделі құбылыстарды түсінуді қажет ететін дағдыларды қалыптастыруда маңызды рөл атқарады [27]. Графикалық деректермен өзара әрекеттесу арқылы студенттерге академиялық және нақты контексте маңызды дағдылар болып табылатын ақпаратты талдау, синтездеу және бағалау ұсынылады.

Сонымен Vernier графикалық талдауын білім беруде қолдану студенттердің STEM пәндері бойынша оқуын арттырудың қуатты құралы ретінде қызмет етеді. Көрнекі бейнелеу және интерактивті деректерді талдау арқылы күрделі ұғымдарды тереңірек түсінуге ықпал ете отырып, бұл құралдар түсінуді жақсартып қана қоймайды, сонымен қатар оқушылардың сыни ойлауы мен белсенділігін арттырады. Мұндай әдістемелерді оқу практикасына енгізу студенттерді заманауи ғылыми-техникалық ландшафттардың сын-қатерлеріне дайындау үшін өте маңызды.

Зерттеу әдіснамасы

«Күн энергиясын электр энергиясына түрлендіргіштердің физикалық сипаттамаларын зерттеуге арналған оқу-ғылыми стендті» қолдану арқылы анықталды. Педагогикалық экспериментке физика білім беру бағдарламасындағы «Баламалы энергия көздері» курсынан 51 білім алушы қатысты. Зерттеу барысында күн панелінің өнімділігін жарықтылық деңгейімен салыстыру үшін арнайы оқу-ғылыми стенд және Vernier Graphical Analysis бағдарламасы пайдаланылды.

«Баламалы энергия көздері» курсына студенттер STEM өнім арқылы күн панельдерінің жұмысымен таныты. Сонымен қатар, күн панельдерінің өнімділігіне жарықтылық деңгейінің қалай әсер ететін зерттеді.

Зерттеу алдында мынадай ғылыми гипотезалар әзірленді:

H0: STEM интеграциясы студенттердің академиялық үлгеріміне және күн энергетикасы туралы түсінігіне айтарлықтай әсер етпейді.

H1: STEM интеграциясы студенттердің академиялық үлгеріміне және күн энергетикасы туралы түсінігіне айтарлықтай әсер етеді.

Зерттеу құралдары

Зерттеу барысында келесі құралдар қолданылды:

Күн панельдерін зерттеу үшін «Күн энергиясын электр энергиясына түрлендіргіштердің физикалық сипаттамаларын зерттеуге арналған оқу-ғылыми стендті» қолданылды. Токты, кернеуді өлшейтін электронды вольтамперметр, онымен қоса GoDirect Energy датчигі (нақты мәндерді компьютерлік талдау жасау үшін), жарықтың спектрлік таралуын өлшеуге арналған (көп сенсорлы деректер) құрылғы GlobiLab құрылғысы қолданылды. Алынған нәтижелерді компьютерге ендіру және вольт-амперлік сипаттамасын алу үшін Vernier Graphical Analysis қосымшасын және GlobiLab қосымшасын қолданамыз. Бұл зерттеу жүйесі күн панельдерімен әр түрлі эксперименттер жүргізуге арналған. Орнату арқылы келесі сынақ түрлерін орындауға болады:

- Күн панельдерінің ашық тізбек кернеуін анықтау, яғни жүктеме болмаған кезде панель бере алатын максималды кернеу.

- Күн панельдерінің қысқа тұйықталу тогын өлшеу, бұл панель оның электродтары жүктемесіз тұйықталған кезде шығара алатын максималды ток.

- Күн батареяларының Вольт-Ампер сипаттамаларын алу, бұл әртүрлі жарық жағдайларында элементтегі токтың кернеуге тәуелділігін талдауға мүмкіндік береді.

Гипотезаларды тексеру және математикалық-статистикалық талдаулар жүргізу үшін JASP бағдарламасы қолданылды. Зерттеу нәтижесі курс соңындағы студенттердің қортынды емтихан бағаларымен алынды.

Деректерді жинау және талдау

«Баламалы энергия көздері» курсы бойынша күн панелдерінің жұмыс принциптерін түсінуде студенттердің STEM өнімдерін қолдану жиілігі мен академиялық үлгерімінің байланысын анықталды. JASP бағдарламасы арқылы STEM өнімдерді қолдану жиілігі (X) мен емтихан нәтижелері (Y) арасындағы байланысы, TEM оқытудың студенттердің үлгеріміне ықпалын тексерілді. Сонымен қатар, STEM оқыту әдістерінің академиялық үлгерімге қаншалықты әсер ететінін сандық түрде өлшеу арқылы регрессиялық талдау жасалды

Зерттеу нәтижелері

Студенттерге әртүрлі параметрлердің, соның ішінде жарықтылықтың, күн панелдерінің өнімділігіне әсерін зерттеу тапсырылды. Осы кезеңде олар энергияның түрлену процесін және күн энергиясы жүйелерінің жалпы жұмыс істеу принциптерін меңгерді.

Студенттер күн панелінің өнімділігін оңтайландыру үшін түсу бұрышын өзгерте отырып модельдер құруға бағытталды. Бұл кезеңде олар Vernier Graphical Analysis бағдарламасын қолданып, нақты уақыт режимінде деректер жинау мүмкіндігіне ие болды. Деректерін талдау арқылы платформа қуат өндіру деңгейін, тиімділігін және күн панелінің жалпы өнімділігін бақылауға көмектесті.

Студенттер панельдің өнімділігі мен жарықтылық арасындағы байланыс туралы ақпараттар жинап, олардың байланыс графиктерін салды. Математикалық тәуелділіктерін есептеді.

Vernier Graphical Analysis бағдарламасы арқылы күн панельдерінің вольтамперлік сипаттамасын бақылау – студенттердің күн энергетикасындағы негізгі заңдылықтарды тікелей зерттеуіне мүмкіндік беретін тәжірибелік әдіс. Бұл бағдарлама ток пен кернеудің өзгерістерін нақты уақыт режимінде тіркеп, графиктер түрінде ұсынады. Нәтижесінде студенттер күн батареясының жұмыс істеу қағидаларын терең түсініп, әртүрлі жарықтандыру немесе жүктеме жағдайында алынатын қуат пен тиімділіктің көрсеткіштерін тікелей талдай алады. Бұл тәсіл

теория мен практиканы байланыстыратын, ғылыми-зерттеу дағдыларын дамытатын маңызды оқу құралы болып табылады.

STEM жобаларды қолдану арқылы білім алушылар күн панельдерінің жұмыс істеу принципін, энергия түрлендіру процестерін және тиімділік көрсеткіштерін тәжірибе жүзінде зерттеп, нақты есептеулер жүргізе алады (1-сурет).



Сурет 1. STEM жобаларды күн энергетикасын оқытуды іске асыру

Vernier Graphical Analysis бағдарламасы мен STEM жобаларын интеграциялау студенттердің зерттеушілік және практикалық дағдыларын жетілдіруге айтарлықтай ықпал етеді. Студенттер энергетикалық параметрлерді өлшеу, оларды талдау және нәтижелерді теориялық болжамдармен салыстырып, салыстырмалы талдау жүргізуге үйренеді. Олар алынған көрсеткіштерді зертханалық жағдайлармен салыстыра отырып, пайда болған айырмашылықтардың себептерін анықтайды және өз ұсыныстарын әзірлейді. Осылайша, білім алушылар нақты ғылыми мәселелерді шешуге бағытталған дербес зерттеу дағдыларын игеріп, энергия тиімділігін арттыруға қатысты жаңа идеялар ұсына алады.

Күн панелінің шығыс қуаты мен жарық интенсивтілігі арасындағы байланысты зерттеу жұмысының сипаттамасы

IV қисықтары күн батареясы бере алатын максималды токты, максималды кернеуді және максималды қуатты көрсетеді. Графиктің вертикаль осьі ашық тізбек кернеуінен ($V_{ат}$), горизонтальді осьі қысқа тұйықталу тоғынан ($I_{қт}$) құрылған тіктөртбұрыш графиктің үлкенірек аймағына созылады. Кіші тіктөртбұрыш график осьтерімен және максималды шығыс қуатындағы максималды ток және кернеумен (I_{max} және V_{max}) анықталады. Толтыру коэффициенті - кіші тіктөртбұрыштың ауданы үлкен тіктөртбұрыштың ауданына тең:

$$FF = \frac{I_{max}V_{max}}{I_{қт}V_{ат}} \quad (1)$$

Ашық тізбек кернеуі $V_{ат}$ - кедергі шексіз болған кезде (яғни тізбек тұйықталмаған кезде) тізбекте ток болмайды. $I_{қт}$ қысқа тұйықталу тоғы кедергі шамамен 0 Ом және кернеу 0 В болған кездегі ток шамасы. Бұл жағдай тізбекті жүктеменің орнына қарапайым сыммен тұйықтау арқылы өлшенеді.

Жұмыстың мақсаты.

- Токты, кернеуді және қуатты анықтау үшін энергия датчигін пайдалану.

- Күн батареялары өндіретін электр энергиясы мен түсетін жарықтың арасындағы байланысты зерттеу

- Күн панелі үшін вольтамперлік сипаттамасын алу.

Құралдар

- Графикалық талдау қолданбасы. (Vernier Graphical Analysis, GlobePHIS)

- Энергиядатчигі (Go Direct Energy)

- Vernier ауыспалы жүктемесі
- Оқу стенді
- Жарықтылықты анықтайтын детектор (Люксометр)

Эксперименттік зерттеу барысында жарықтылықтың өзгеруіне байланысты фотоэлектрлік панельдің кернеу және ток мәндеріне әсері төмендегі 1-кестеде берілген.

Кесте 1. Экспериментті орындау барысында алынған нәтижелер

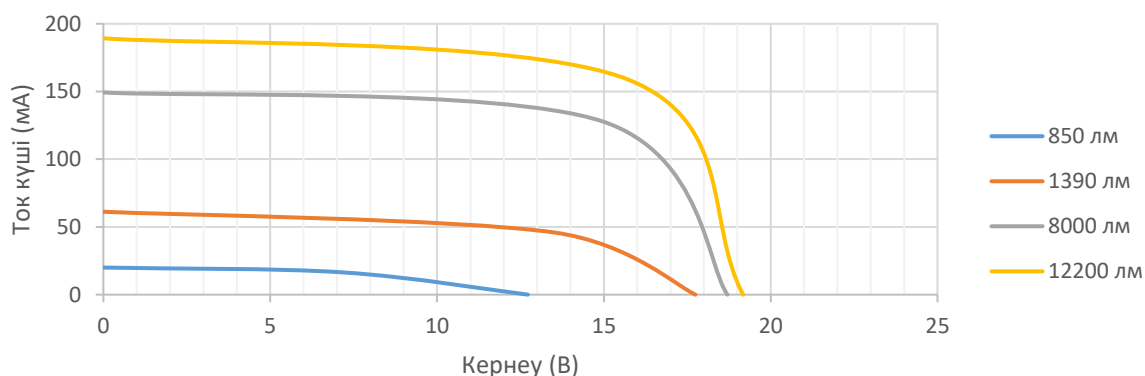
Жарықтылық, (Лм)	$V_{ат}$ (В)	$I_{қт}$ (мА)	V_{max} (В)	I_{max} (мА)
850	12,721	20,013	7,16	16,469
1390	17,745	61,221	13,508	45,928
8000	18,705	149,277	14,931	128,144
12200	19,173	189,304	15,741	158,677

Алынған нәтижелерді пайдаланып әр түрлі жарықтылықтағы максимал қуат шамасын есептеуге болады. Ол мына формуламен анықталынады:

$$P_{max} = I_{max}V_{max} \quad (2)$$

Алынған нәтижелерді қолдана отырып күн батареясының вольт-амперлік сипаттамасын (IV қисығы) сыздық (2-сурет).

Күн батареясының әр түрлі жарықтылықтағы вольт-амперлік сипаттамасы



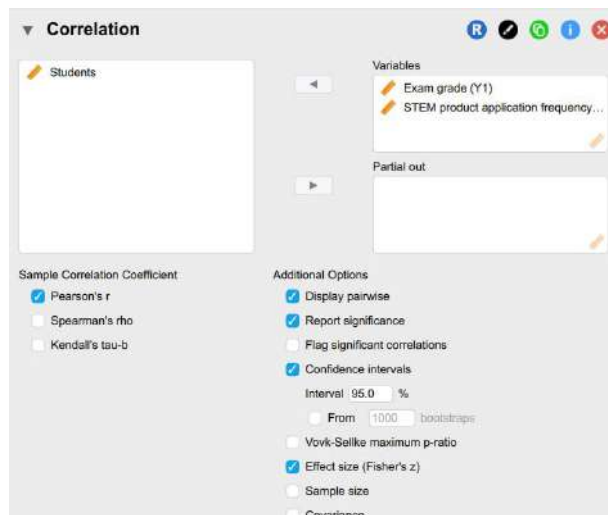
Сурет 2. Алынған нәтижелерді қолдана отырып күн батареясының әр түрлі жарықтылықтағы вольт-амперлік сипаттамасы (IV қисығы)

Бұл экспериментті қортындылай келе, күн батареяларының шығыс қуаты жарықтылыққа тікелей тәуелді екенін байқай аламыз. 4 түрлі жарықтылықтағы IV қисығы бұл тәуелділікті анық көрсетеді.

STEM білім беруге негізделген педагогикалық эксперимент нәтижелері. Пирсон корреляциясы.

Баламалы энергия көздері курсы аясында ұйымдастырылған педагогикалық экспериментке 51 студент қатысты. Эксперимент барысында «Күн энергетикасы» тақырыбы бойынша STEM өнімдер қолданылып, студенттердің тәжірибелік және зертханалық жұмыстарға белсенді қатысу деңгейі бақыланды. Оқу үрдісінде түрлі зерттеу-ізденіс тапсырмалары беріліп, студенттер күн панелдерінің қуат шығару ерекшеліктерін, жарықтандыру жағдайына байланысты өзгерістерін, сондай-ақ энергетикалық тиімділікті арттыру тәсілдерін талдауға мүмкіндік алды.

JASP бағдарламасында Пирсон корреляция коэффициентін есептеу үшін алдымен деректерді енгізіп немесе импорттап, "Regression" → "Correlation Matrix" мәзіріне өту қажет. Бұл бөлімде талдау жасауға қажетті айнымалылар таңдалады. Бағдарлама таңдалған айнымалылар арасындағы байланыс күшін анықтап, Пирсонның r коэффициентін автоматты түрде есептейді және оның статистикалық мәнділігін (p -мәнін) көрсетеді (3-сурет).



Correlation

Pearson's Correlations		Pearson's r	p	Lower 95% CI	Upper 95% CI	Effect size (Fisher's z)	SE Effect size
Exam grade (Y1)	STEM product application frequency (number of hours) (X1)	0.575	< .001	0.370	0.727	0.656	0.136

Сурет 3. JAPS бағдарламасында Пирсон корреляцияны есептеу

r – Пирсон корреляциясы, p - маңыздылық деңгейі, CI – сенімділік интервалы (жоғары және төменгі), z – Фишер түрлендіруі, SE – әсер мөлшері.

Бұл талдау емтихан бағасы (Y1) мен STEM өнімді қолдану жиілігі (X1) арасында $r = 0.575$ шамасында оң әрі статистикалық тұрғыдан маңызды корреляция бар екенін көрсетеді ($p < 0.001$). Сенімділік аралығы $[0.370; 0.727]$ мәндері толығымен оң аймақта орналасқан, бұл байланыстың оң бағытта екенін тағы да растайды. Fisher's z мәні 0.656 және оның стандартты қатесі 0.136 – алынған корреляцияның орташа-жоғары деңгейде екендігін және нәтижелердің салыстырмалы түрде сенімді екенін білдіреді. Демек, STEM өнімдерін көп қолданған студенттердің емтихан бағасы, әдетте, жоғары болады деген қорытынды жасауға болады (4-сурет).

Model Summary - Exam grade (Y1)

Model	R	R ²	Adjusted R ²	RMSE
M ₀	0.000	0.000	0.000	25.686
M ₁	0.575	0.331	0.319	21.199

Note. M₁ includes STEM product application frequency (number of hours) (X1)

Сурет 4. Сызықты регрессиялық талдау нәтижесі

Бұл кестеде сызықтық регрессияның екі моделі көрсетілген:

* M₀ (Intercept моделі): Тек константаны қамтиды, тәуелді айнымалының орташа мәнін ғана болжайды.

- R = 0.000, R² = 0.000: Модель ештеңені түсіндірмейді, тек константаға сүйенеді.

- RMSE = 25.686: Модель қателігінің орташа мәні жоғары.

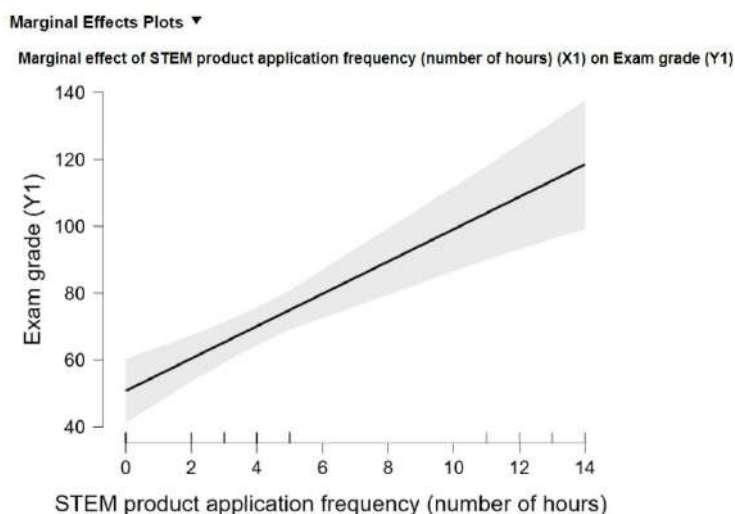
* M₁ (STEM өнімдерін қолдану жиілігін қамтитын модель):

- $R = 0.575$: STEM өнімдерін қолдану жиілігі (X1) мен емтихан бағалары (Y1) арасында орташа- жоғары деңгейде оң байланыс бар.

- $R^2 = 0.331$, Adjusted $R^2 = 0.319$: STEM өнімдерін қолдану емтихан бағасының өзгерісінің шамамен 33%-ын түсіндіреді.

- $RMSE = 21.199$: Модельдің қателігі константа моделіне қарағанда төмен, бұл STEM әдістерін қолдану жиілігі негізінде бағаларға дәлдеу болжам жасауға болатынын көрсетеді.

Қорытындысында M_1 моделі M_0 -ге қарағанда едәуір тиімді, STEM өнімдерін қолдану жиілігі емтихан бағаларын елеулі дәрежеде болжайтынын дәлелдейді. JASP бағдарламасында STEM өнімді қолдану жиілігі мен студенттердің үлгерімі арасындағы байланысты визуализациялау үшін Marginal Effects Plots қолданылады. Бұл графикалық құрал регрессиялық модель негізінде тәуелсіз айнымалының әсерін анық және көрнекі түрде көрсетеді (5-сурет).



Сурет 5. JASP бағдарламасынан алынған STEM өнімді қолдану жиілігі мен үлгерім арасындағы байланысы (Marginal Effects plots)

Marginal Effects графигі STEM өнімдерін қолдану жиілігі (X1) артқан сайын емтихан бағасының (Y1) біртіндеп жоғарлайтынын көрсетеді. Орталық сызық – регрессиялық модельдің болжамы, ал сұр аймақ – сенімділік аралығы (қате шамасы). Графиктегі айқын оң еңкіш сызық STEM әдістерінің жиі қолданылуы студенттердің оқу үлгерімін едәуір жақсартатынын айғақтайды.

Дискуссия

Осы зерттеу нәтижелері күн энергетикасын оқытудағы STEM тәсілінің білім алушылардың үлгеріміне және мотивациясына оң ықпал ететінін растайды. Алынған деректер ($r=0.936$, $p<0.001$) студенттердің STEM өнімдерін жүйелі қолдануы емтихан нәтижелерінің едәуір жақсаруымен байланыстылығын көрсетті. Практикалық жоба жұмысы теориялық білім мен оның нақты өмірдегі қолданылуы арасындағы байланысты қамтамасыз етеді. Миппа-ның зерттеуі инновациялық және интерактивті оқыту әдістерінің, соның ішінде жобалық оқытудың, жоғары білім беру деңгейіндегі студенттердің STEM дағдыларын айтарлықтай жақсартатынын көрсетеді [28]. Сонымен қатар, Vernier энергия датчигінің (GoDirect Energy) және Vernier Graphical Analysis бағдарламасының қолданылуы зертханалық жұмысты оңтайландырып, студенттерге нақты уақыт режимінде өлшеу жүргізу арқылы теориялық білімді тәжірибемен ұштастыруға мүмкіндік берді. Бұл тәсіл студенттердің зерттеушілік дағдыларын дамытуға ықпал етіп, жаңартылатын энергия көздерінің инженерлік қырларын терең түсінуіне себепкер болды.

Зерттеуге қатысқан 51 студенттің нәтижелері STEM оқыту стратегияларының қысқа мерзімді жетістіктерін ғана емес, болашақта тұрақты энергетика саласындағы кәсіби

даярлыққа да айтарлықтай үлес қосатынын байқатты. Қатысушылар күн панелінің өнімділігі мен жарықтылықтың өзара байланысын талдау арқылы жаңартылатын энергия көздерінің жұмыс істеу механизмі жөнінде нақты түсінік алды. Бұдан бөлек, студенттердің деректермен жұмыс істеу, оларды талдау және ғылыми қорытынды шығару дағдылары жетілді. Дегенмен, материалдық-техникалық базаның жеткіліксіздігі және оқытушылардың әдістемелік дайындығы сияқты шектеулер STEM әдістерін толыққанды енгізуге кедергі келтіруі мүмкін. Күн энергетикасын оқытуға қажетті техникалық база көбінесе жеткіліксіз болып табылады. Мысалы, Marquez және оның әріптестері күн батареяларын оқытуда озық бейнелеу технологияларын қолданудың маңыздылығын атап өтеді, бұл студенттердің күн энергетикасы технологияларын тереңірек түсінуіне ықпал ете алады. Алайда, көптеген білім беру мекемелерінде мұндай ресурстардың қолжетімділігі шектеулі, бұл оқытушыларға тиімді білім беру үшін маңызды болып табылатын тәжірибелік сабақтарды ұйымдастыруды қиындатады [28]. Бұл мәселе жоғары оқу орындары мен колледждерде арнайы оқу стендтерін көбейту, педагогтарға арналған біліктілікті арттыру курстарын ұйымдастыру секілді шараларды талап етеді.

Зерттеу барысында анықталған тағы бір маңызды тұжырым – экологиялық сана мен қоршаған ортаға жауапкершілікпен қарау деңгейінің артуы. Күн энергиясы тақырыптарын STEM негізінде оқыту барысында студенттер тұрақты энергия көзі ретінде күн энергиясының рөлін ұғынып, жаһандық климат өзгерістері мен ресурстарды ұтымды пайдалану мәселелеріне тереңірек үнілді. Мұндай экологиялық ойлау қабілеті жастардың болашақта жауапты азамат әрі салалық маман ретінде қалыптасуына ықпал жасайды.

Қорытынды

Зерттеу нәтижелері күн энергетикасын оқытуда STEM әдістерін қолдану студенттердің академиялық үлгерімін және пәнге деген қызығушылығын арттыратынын көрсетті. Vernier энергия датчиктері және Vernier Graphical Analysis бағдарламасы арқылы жүргізілген практикалық жұмыстар студенттердің күн панелі өнімділігі мен жарықтылық арасындағы байланысты жан-жақты зерттеуге мүмкіндік берді. Пирсон корреляциясының жоғары мәні ($r=0.575$, $p<0.001$) STEM тәсілдерінің тиімділігін айқындаса, регрессиялық талдаулар ($R^2=0.331$) бұл тәсілдің емтихан нәтижелеріне елеулі әсер ететінін нақтылап берді. Marginal effect plot графигінен STEM өнімдерді қолдану жиілігі мен студенттердің үлгерімі арасында оң сызықты байланыс бар екенін байқауға болады.

Сонымен қатар, педагогикалық эксперимент студенттердің зерттеушілік және аналитикалық дағдыларын дамытуда STEM әдістерінің маңызды екенін растады. Мұндай тәсіл жаңартылатын энергия саласында жоғары білікті мамандарды даярлауға ғана емес, экологиялық сананы арттыруға да ықпал етеді. Алдағы уақытта оқу орындарында STEM білім беру мен технологиялық құралдарды кеңінен пайдалану, материалдық-техникалық базаны нығайту, оқытушылардың әдістемелік шеберлігін дамыту жұмыстары жалғаса берсе, күн энергетикасын оқыту сапасы мен студенттердің оқу жетістігі жаңа белестерге көтеріледі. Бұл зерттеу Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитеті тарапынан қаржыландырылған (*грант №AP23488947*).

Алғыс

Бұл зерттеу Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитеті тарапынан қаржыландырылған (*грант №AP23488947*).

Пайдаланылған дереккөздер тізімі

[1] Sulaiman, M. K. A., Halim, L., Mohamad Arsad, N., & Mohamad Yasin, R. (2023). Exploring challenges for integrating solar pv technology in secondary schools' education. *Proceedings of the 2nd International*

Conference on Social Sciences, ICONESS 2023, 22-23 July 2023, Purwokerto, Central Java, In. <https://doi.org/10.4108/eai.22-7-2023.2335096>

[2]Senthil, R. (2022). Recent innovations in solar energy education and research towards sustainable energy development. *Acta Innovations*, (42), 27-49. <https://doi.org/10.32933/actainnovations.42.3>

[3]Supian, F. L., Tho, S. W., Wong, Y. Y., Mohd Azmi, M. S., Hosman, N. J., Ratnawulan, R., ... & Al Naim, A. F. (2023). The evaluation of a technology-embedded solar energy stem (sestem) module: a pilot implementation of modern teaching tool for diploma science students. *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia*, 12(4), 590-597. <https://doi.org/10.15294/jpii.v12i4.43994>

[4]Suryadi, A., Lidya, N., Habibah, H., & Suwarna, I. P. (2024). Study on the development and implementation of an interdisciplinary solar panel project to enhance students' interest in stem. *Research and Development in Education (RaDEn)*, 4(1), 415-427. <https://doi.org/10.22219/raden.v4i1.32881>

[5]AlQallaf, N., AlQallaf, A., & Ghannam, R. (2024). Solar energy systems design using immersive virtual reality: a multi-modal evaluation approach. *Solar*, 4(2), 329-350. <https://doi.org/10.3390/solar4020015>

[6]Alqallaf, N. and Ghannam, R. (2024). Immersive learning in photovoltaic energy education: a comprehensive review of virtual reality applications. *Solar*, 4(1), 136-161. <https://doi.org/10.3390/solar4010006>

[7]Kuo, C., Chang, C., & Huang, C. (2014). Constructing employability indicators for enhancing the effectiveness of engineering education for the solar industry. *International Journal of Photoenergy*, 2014, 1-11. <https://doi.org/10.1155/2014/491353>

[8]Kuo, C. and Chang, C. (2014). Building professional competencies indices in the solar energy industry for the engineering education curriculum. *International Journal of Photoenergy*, 2014, 1-6. <https://doi.org/10.1155/2014/963291>

[9]Theobald, E. J., Hill, M. J., Tran, E. T., Agrawal, S., Arroyo, E. N., Behling, S., ... & Freeman, S. (2020). Active learning narrows achievement gaps for underrepresented students in undergraduate science, technology, engineering, and math. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(12), 6476-6483. <https://doi.org/10.1073/pnas.1916903117>

[10]Freeman, S., Eddy, S. L., McDonough, M. J., Smith, M. K., Okoroafor, N., Jordt, H., ... & Wenderoth, M. P. (2014). Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(23), 8410-8415. <https://doi.org/10.1073/pnas.1319030111>

[11]Oluwaseun Augustine Lottu, Vincent Ebhohime Ehiaguina, Sodrudeen Abolore Ayodeji, Tina Chinyere Ndiwe, & Uchenna Izuka (2023). Global review of solar power in education: initiatives, challenges, and benefits. *Engineering Science & Technology Journal*, 4(4), 209-221. <https://doi.org/10.51594/estj.v4i4.583>

[12]Hiğde, E. (2022). An interdisciplinary renewable energy education: investigating the influence of stem activities on perception, attitude, and behavior. *Journal of Science Learning*, 5(2), 373-385. <https://doi.org/10.17509/jsl.v5i2.41864>

[13]Indahwati, S. D., Rachmadiarti, F., Hariyono, E., Prahani, B. K., Wibowo, F. C., Bunyamin, M. A. H., ... & Satriawan, M. (2023). Integration of independent learning and physics innovation in steam-based renewable energy education to improve critical thinking skills in the era of society 5.0 for sustainable development goals (sdgs) 2030. *E3S Web of Conferences*, 450, 01010. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202345001010>

[14]Güven, G. and Çakır, N. K. (2019). The relation between teachers' attitudes towards renewable energy sources and critical thinking dispositions. *Journal of Baltic Science Education*, 18(5), 717-731. <https://doi.org/10.33225/jbse/19.18.717>

[15]Genç, M. and Durak, B. (2023). Pre-service teachers' perception of renewable energy sources: a case study of düzce university. *Mimbar Sekolah Dasar*, 10(3), 561-577. <https://doi.org/10.53400/mimbar-sd.v10i3.55005>

[16]Mulyati, D., Prastiawan, F., & Mutoharoh, M. (2023). Development of stem project-based learning student worksheet for physics learning on renewable energy topic. *Journal of Physics: Conference Series*, 2596(1), 012078. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2596/1/012078>

[17]Chioma Angela Okonkwo, Adenike Omonijo Toromade, & Oluwatosin Omotola Ajayi (2024). Stem education for sustainability: teaching high school students about renewable energy and green chemistry. *International Journal of Applied Research in Social Sciences*, 6(10), 2533-2545. <https://doi.org/10.51594/ijarss.v6i10.1664>

[18]Guo, L., Vengalil, M., Abdul, N. M. M., & Wang, K. (2021). Design and implementation of virtual laboratory for a microgrid with renewable energy sources. *Computer Applications in Engineering Education*, 30(2), 349-361. <https://doi.org/10.1002/cae.22459>

[19]Renny, A., Yang, C., Anthony, R., & Lunt, R. R. (2018). Luminescent solar concentrator paintings: connecting art and energy. *Journal of Chemical Education*, 95(7), 1161-1166. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.7b00742>

[20]Muhamad Kamarul Azman Sulaiman, M. K. A. S. (2024). Empowering the next generation: using minecraft education to teach solar photovoltaic concepts in secondary school. *International Journal of Information and Education Technology*, 14(7), 976-987. <https://doi.org/10.18178/ijiet.2024.14.7.2125>

[21]Mustain, I. and Herlina, Y. (2019). Stem for establishing energy literacy in maritime vocational education. *Scientiae Educatia*, 8(2), 131. <https://doi.org/10.24235/sc.educatia.v8i2.5520>

[22]Jamshid, J., Villanthenkodath, M. A., & Velan, N. (2022). Can educational attainment promote renewable energy consumption? evidence from heterogeneous panel models. *International Journal of Energy Sector Management*, 16(6), 1017-1036. <https://doi.org/10.1108/ijesm-06-2021-0015>

[23]Pantchenko, O., Shahab, S., Tate, D. J., Matteini, P., Isaacson, M., & Shakouri, A. (2011). Work in progress — enhancing students learning through instructional videos during hands-on laboratories on renewable energy sources. 2011 *Frontiers in Education Conference (FIE)*. <https://doi.org/10.1109/fie.2011.6142717>

[24]Martin, T. A., Frisch, K. E., & Zwart, J. (2020). Systematic errors in video analysis. *The Physics Teacher*, 58(3), 195-197. <https://doi.org/10.1119/1.5145415>

[25]Khine, M. S. and Liu, Y. (2017). Descriptive analysis of the graphic representations of science textbooks. *European Journal of STEM Education*, 2(3). <https://doi.org/10.20897/ejsteme/81285>

[26]Wang, X., Mayer, R. E., Pu, Z., & Lin, L. (2021). Benefits of interactive graphic organizers in online learning: evidence for generative learning theory.. *Journal of Educational Psychology*, 113(5), 1024-1037. <https://doi.org/10.1037/edu0000606>

[27]Zulfarina, Z., Agustin, M. W., Nursal, N., & Yustina, Y. (2022). Motion graphic: design for biology learning coordination system to improve high order thinking skills (hots). *Jurnal Pendidikan Sains Indonesia*, 10(1), 151-160. <https://doi.org/10.24815/jpsi.v10i1.23340>

[28]Marquez, S., Varra, T., Christensen, C., Rajasekharan, O., Dojan, C., Hobbs, J., ... & Sambur, J. B. (2023). Lbic imaging of solar cells: an introduction to scanning probe-based imaging techniques. *Journal of Chemical Education*, 100(2), 1011-1016. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.2c00623>