

А.Е. Калиева^{1*}, **П.Қ. Салибекова²**,
Г.К. Андабаева¹, **Т.М. Балтабай¹**

¹ Өл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан

² Almaty Management University, Алматы, Қазақстан

*e-mail: Assem.Kalieveva@kaznu.edu.kz

ЭКОНОМИКАЛЫҚ ТИІМДІЛІК ЖӘНЕ ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТТІ АУЫЛ ШАРУАШЫЛЫҒЫНДА ҚОЛДАНУ ӘЛЕУЕТІ: ЖАҒАҢДЫҚ ҮРДІСТЕР МЕН ҚАЗАҚСТАН ҮШІН МҮМКІНДІКТЕР

Демографиялық қысымның, климаттың өзгеруінің, ресурстардың сарқылуының және азық-түлік қауіпсіздігіне төнетін қауіптердің өсіп келе жатқан жағдайында ауыл шаруашылығы тұрақты дамудың негізгі буынына айнауда. Бұл мақалада халықаралық трендтер мен қазақстандық контекстке баса назар аударып, аграрлық салада жасанды интеллект (AI) технологияларын қолданудың экономикалық тиімділігі мен әлеуетін бағалауға арналған. Өнімділікті арттыру, шығындарды оңтайландыру, климаттық тәуекелдерді болжау, логистиканы жақсарту және өсімдіктер мен жануарлар ауруларын ерте анықтау үшін AI мүмкіндіктері талданды. Шетелдік кейстер мен отандық бастамаларды талдау негізінде өсімдік шаруашылығында, мал шаруашылығында және агромониторингте жасанды интеллект енгізу тәжірибелері қарастырылды.

Мақалада 2009–2023 жылдар кезеңінде Қазақстанның агросекторының цифрлық жетілуінің макроэкономикалық, инновациялық және институционалдық индикаторларына салыстырмалы және корреляциялық талдау жүргізілді. Сонымен қатар ауыл шаруашылығында жасанды интеллекті ауқымды енгізу үшін стратегиялық бағыттарды ұсынады: мемлекеттік қолдауды күшейту, инновациялық инфрақұрылымды дамыту, кадрлық даярлық және агростатистиканы цифрландыру.

Осылайша, жасанды интеллект Қазақстанның ауыл шаруашылығының тиімділігін, тұрақтылығын және технологиялық егемендігін арттырудың көпсалалы драйвері ретінде қарастырылады. Алынған нәтижелер АӨК цифрлық трансформациясының кешенді моделін қалыптастыру үшін аналитикалық база ретінде қызмет етеді.

Түйін сөздер: жасанды интеллект, ауыл шаруашылығы, цифрландыру, азық-түлік қауіпсіздігі, ауыл шаруашылығындағы инновациялар.

A.Ye. Kaliyeva^{1*}, P.Q. Salibekova², G.K. Andabayeva¹, T.M. Baltabay¹

¹ Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

² Almaty Management University, Almaty, Kazakhstan

*e-mail: assem.kalieveva@kaznu.edu.kz

Economic efficiency and prospects for the application of artificial intelligence in agriculture: global trends and opportunities for Kazakhstan

In the context of increasing global challenges of demographic pressure, climate change, resource depletion and threats to food security, agriculture is becoming a key element of sustainable development. This article is devoted to assessing the economic efficiency and potential of using artificial intelligence (AI) technologies in the agricultural sector, with an emphasis on international trends and the Kazakh context. The possibilities of AI for increasing yields, optimizing costs, predicting climate risks, improving logistics, and early detection of plant and animal diseases are analyzed. Based on the analysis of foreign cases and domestic initiatives, the practices of introducing AI in crop production, animal husbandry and agromonitoring are considered.

The study provides a comparative and correlation analysis of macroeconomic, innovative and institutional indicators of the digital maturity of the agricultural sector in Kazakhstan for the period 2009–2023. Key barriers have been identified: low investment in R&D, fragmented scientific infrastructure, and limited institutional support. The article suggests strategic directions for the large-scale implementation of AI in agriculture: strengthening government support, developing innovative infrastructure, personnel training and digitalization of agricultural statistics.

Thus, AI is considered as a multidisciplinary driver for improving the efficiency, sustainability and technological sovereignty of agriculture in Kazakhstan. The obtained results serve as an analytical basis for the formation of a comprehensive model of the digital transformation of agriculture.

Keywords: artificial intelligence, agriculture, food security, digital transformation, innovation in agriculture.

А.Е. Калиева^{1*}, П.К. Салибекова², Г.К. Андабаева¹, Т.М. Балтабай¹

¹ Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан

² Almaty Management University, Алматы, Казахстан

*e-mail: assem.kalieva@kaznu.edu.kz

Экономическая эффективность и перспективы применения искусственного интеллекта в сельском хозяйстве: мировые тенденции и возможности для Казахстана

В условиях нарастающих глобальных вызовов демографического давления, климатических изменений, истощения ресурсов и угроз продовольственной безопасности сельское хозяйство становится ключевым звеном устойчивого развития. Настоящая статья посвящена оценке экономической эффективности и потенциала применения технологий искусственного интеллекта (ИИ) в аграрной отрасли с акцентом на международные тренды и казахстанский контекст. Проанализированы возможности ИИ для повышения урожайности, оптимизации затрат, прогнозирования климатических рисков, улучшения логистики и раннего выявления болезней растений и животных. На основе анализа зарубежных кейсов и отечественных инициатив рассмотрены практики внедрения ИИ в растениеводстве, животноводстве и агромониторинге.

В исследовании проведен сравнительный и корреляционный анализ макроэкономических, инновационных и институциональных индикаторов цифровой зрелости агросектора Казахстана за период 2009–2023 гг. Выявлены ключевые барьеры: низкий уровень инвестиций в НИОКР, фрагментарность научной инфраструктуры и ограниченная институциональная поддержка. Статья предлагает стратегические направления для масштабного внедрения ИИ в сельском хозяйстве: усиление государственной поддержки, развитие инновационной инфраструктуры, кадровая подготовка и цифровизация агростатистики.

Таким образом, ИИ рассматривается как мультидисциплинарный драйвер повышения эффективности, устойчивости и технологического суверенитета сельского хозяйства Казахстана. Полученные результаты служат аналитической базой для формирования комплексной модели цифровой трансформации АПК.

Ключевые слова: искусственный интеллект, цифровизация агросектора, продовольственная безопасность, инновации, инновации в сельском хозяйстве.

Кіріспе

Соңғы онжылдықтарда жасанды интеллект (AI) экономиканың негізгі секторларында, соның ішінде өнеркәсіп, энергетика, қаржы, қызмет көрсету, медицина, туризм және логистикада берік орнықты. Оны пайдалану процестерді оңтайландыруға, болжау дәлдігін жақсартуға, тәуекелдерді басқаруды жақсартуға және шығындарды азайтуға мүмкіндік береді. Дегенмен, айтарлықтай технологиялық прогреске қарамастан, ауыл шаруашылығы цифрландырудың ең баяу салаларының бірі болып қалуда. Бұл ретте халық санының өсуі, климаттың өзгеруі және табиғи ресурстардың деградациясы жағдайында ауыл шаруашылығының және жалпы агроөнеркәсіптік кешеннің азық-түлік қауіпсіздігін қамтамасыз етудегі рөлі және маңыздылығы арта түсуде.

Зерттеудің өзектілігі өсіп келе жатқан халық саны, табиғи ресурстардың сарқылуы, климаттық өзгерістер мен сыртқы ортаның құбылмалылығы жағдайында азық-түлік қауіпсіздігін қамтамасыз ету шешімдерін табу қажеттілігінде. Инновациялық технологиялар, соның ішінде жасанды интеллект (AI) және үлкен деректердің аналитикасы ауыл шаруашылығы өндірісін оңтайландыруда және азық-түлік шығындарын азайтуда маңызды рөл атқара алады. Азық-түлік қауіпсіздігінің 11-ші жаһандық индексіне (Economist Impact, 2024) сәйкес әлемдік азық-түлік жағдайы үшінші жыл қатарынан нашарлауда. Бұл үрдіс бірқатар аймақтарда аштық деңгейінің өсуімен, азық-түліктің қолжетімділігінің төмендеуімен және әлеуметтік-экономикалық тұрақтылықтың нашарлауымен қатар жүреді. Дүниежүзілік халықтар жөніндегі неміс қорының (2024) мәліметтері бойынша жер шарын-

дағы халық саны 8,16 миллиард адамға жетті, бұл азық-түлік жүйесіне қысымды күшейтуде. Алайда, азық-түлік қауіпсіздігін қамтамасыз ету үшін қажетті ресурстар бұл өсімге төтеп бере алмауда. 2050 жылға қарай дүние жүзіндегі адам саны 9,7 млрд-қа дейін ұлғаяды (United Nations, 2024), өз кезегінде азық-түлікке деген қажеттілік 70%-ға артады (ФАО, 2024) деп болжамдалады. Сонымен бірге, парадоксалды жағдай – өндірілген азық-түліктің шамамен үштен бірі жыл сайын жоғалады немесе ысырап болады (Iraní et al., 2018).

Бұл тұрғыда ауыл шаруашылығын цифрландыру, оның ішінде жасанды интеллект (AI) және үлкен деректер технологияларын өндіріс барысына кіріктіру азық-түлік жүйелерінің тұрақтылығын арттырудың негізгі факторына айналуы мүмкін. Қазіргі заманғы технологиялық шешімдердің өзі ауылшаруашылық процестерін оңтайландыруға, дәл (нүктелік) егіншілік арқылы егін өнімділігін арттыруға, азық-түлік шығындарын азайтуға, сыртқы ортаның құбылмалылығымен, климаттың өзгеруімен және жабдықтаудың үзілуімен байланысты тәуекелдерді болжауды жақсартуға мүмкіндік береді.

Ауыл шаруашылығы өндірісіне жасанды интеллект құралдарын енгізу үлкен территорияға ие және климаттық шарттары түрлі болып келетін Қазақстан үшін өзекті болып отыр. Айта кететін жайт, Қазақстанның кең ауқымды жер ресурстарына ие болуы (272,5 млн. га) оны дүниежүзілік азық-түлік жүйесіндегі негізгі ойыншылардың біріне айналдырады. 2022 жылы ел азық-түлік қауіпсіздігінің жаһандық индексіне алдыңғы жылмен салыстырғанда 5 сатыға позициясын жақсартып, 113 елдің ішінде 32-ші орынға ие болды. Дегенмен, ауыл шаруашылығы саласының әлеуеті әлі де толық іске асырылмай отыр. Бұл тұрғыда, жасанды интеллект әлеуетін егіншілікке, топырақ жағдайы мен дақылдардың жай-күйін бақылауға, суаруды автоматтандыруға, егін өнімділігін болжауға және өсімдіктер мен жануарлар ауруларының алдын алуға пайдалануға болады.

ҚР Стратегиялық жоспарлау және реформалар агенттігінің Ұлттық статистикалық бюросының (2024 ж.) мәліметтері бойынша ауыл шаруашылығының елдің жалпы ішкі өніміндегі үлесі 3,9 пайызды құрайды. Салыстыру үшін, дамыған елдерде (АҚШ, Германия, Франция) бұл көрсеткіш 1%-дан 3%-ға дейін ауытқиды, бұл автоматтандыру мен цифрлық шешімдердің арқасында сектордың жоғары өнімділігіне бай-

ланысты. Дамушы елдерде (Үндістан, Бразилия) ауыл шаруашылығының ЖІӨ-дегі үлесі жоғары (10–30%), бірақ технологиялық деңгей жиі төмен болып қалады (TheGlobalEconomy.com, 2024)

Осылайша, ауыл шаруашылығында жасанды интеллект құралдарын белсенді қолдану, оларды әзірлеу заманауи технологиялық үрдіс бола отырып, азық-түлік қауіпсіздігін арттыру, ауыл шаруашылығы жүйелерінің тұрақтылығын және жалпы ұлттық экономиканы жаңғыртудың стратегиялық маңызды бағытына айналуға.

Әдеби шолу

Жасанды интеллект қазіргі заманғы процестердің ажырамас элементіне айналуға және экономикалық модельдер мен өндіріс жүйелерін өзгертудегі оның маңыздылығы артуда. Соның ішінде, заманауи жасанды интеллект технологиялары ауылшаруашылық процестерін оңтайландыруға, дәл егіншілікті жүзеге асыруға, дақылдардың мониторингін жақсартуға және дақылдардың ауруларын диагностикалауға мүмкіндік береді (Pandey & Mishra, 2024:72-84). Бұл инновациялар ресурстардың тиімділігін арттырады және өндіріс тәуекелдерін азайтады (Azizi, 2024).

Бүгінгі таңда жасанды интеллект құралдарын ауыл шаруашылығы секторына белсенді енгізу деңгейі дамыған елдерде жоғарырық (Conesa-Muñoz et al. 2016) және жұмыс орындарын жоғалту ықтималдығы туралы аландаушылыққа қарамастан, бұл технология дамушы елдер үшін маңызды перспективалар ұсынады (Lor, 2018). Ғалымдардың зерттеулері AI әлеуеті егін өнімділігін арттыруды ғана емес, сонымен қатар тыңайтқыштар мен суаруды басқаруды жақсартуды, оңтайландырылған егін жинауды және егін жинаудан кейінгі процестерді тиімдірек басқаруды қамтитын көрсетті (Dharmaraj and Vijayanand, 2018; Eli-Chukwu, 2019; Lioutas et al., 2021; Shen et al., 2021).

Ауыл шаруашылығында цифрлық теңсіздіктің болуына қарамастан (Rotz et al., 2019; Lioutas et al., 2021), одан әрі дамыту, озық технологияларды енгізу үшін айтарлықтай мүмкіндіктер бар. AI қолдану, сонымен қатар, азық-түлік қауіпсіздігінің барлық төрт аспектісіне (азық-түлік қолжетімділігі (availability), экономикалық және физикалық қолжетімділік (accessibility), азық-түлікті тиімді пайдалану (utilization), тұрақтылық (stability)) әсер етеді (Chamara et al., 2020).

Сондай-ақ AI тамақ қалдықтарын азайту, азық-түлік сақтауды басқаруды жақсарту және жеткізу тізбегін оңтайландыру сияқты байланысты процестерде маңызды рөл атқарады (Pandey & Mishra, 2024; Azizi, 2024). AgriTech drone swarm intelligence технологиялары сияқты жаңа тәсілдер шалғай және қол жетімді емес аймақтарда ауыл шаруашылығы өнімділігін арттыруға мүмкіндік береді (Spanaki және т.б., 2021:1498-1516).

Экономикасы дамыған елдерде жасанды интеллект құралдарын енгізу процестерін, көп жағдайда, ғылыми зерттеулер мен инженерлік инновацияларға жауапты мемлекеттік органдар үйлестіреді. Бастапқыда бұл («Жасанды интеллект технологиялары» немесе «AI құралдары») технологиялар әскери және ғарыштық салаларда қолданылып, кейін ауыл шаруашылығында қолданыла бастады (Arakpogun et al., 2021:380). AI көмегімен ауылшаруашылық кәсіпорындары жерді өңдеу, дақылдарды өсіру үшін оңтайлы алаңдарды анықтай алады, су ресурстарын тиімді басқара алады, өсімдік және мал шаруашылығы шалдығыуы мүмкін ауруларды ерте кезеңде анықтай алады және тыңайтқыштарды пайдалануды оңтайландырады, соның нәтижесінде едәуір шығындар мен қателіктердің деңгейін азайтады (Dharmaraj and Vijayanand, 2018).

Жасанды интеллектті енгізудің экономикалық пайдасы да әсерлі. Мысалы, AI Ұлыбританияның ЖІӨ-н болжам бойынша 10,3%-ға арттырады, бұл 232 млрд фунт стерлингке (шамамен 317 млрд АҚШ долл.) баламалы (PWC, 2017). Дүниежүзілік экономикалық форумның мәліметі бойынша, 2019 жылдан 2020 жылға дейін AI-ға инвестиция 40%-ға өсіп, 67,9 млрд АҚШ долл. жетті.

Бұндай тенденциялар жаһандық деңгейде жасанды интеллекттің артып келе жатқан маңызды экономикалық әлеуетін көрсетеді, дегенмен, оның жүзеге асырылу дәрежесі жекелеген елдердің цифрлық трансформацияға дайындығына тікелей байланысты болып келеді. Қазақстан үшін цифрлық ілгерілеу, цифрлық теңсіздікті жою және ауыл шаруашылығына жасанды интеллектті енгізудің кешенді стратегиясын әзірлеу маңызды. Бұл БҰҰ Тұрақты даму мақсаттарына (UNSDGs), атап айтқанда, «аштықтың нөлдік» деңгейіне жету, «жауапты тұтыну және өндіріс» мақсаттарына қол жеткізу және азық-түлік қауіпсіздігін жақсарту мақсатына жету үшін өзекті болып табылады.

Әдістеме

Зерттеу жұмысының әдістемесі ауыл шаруашылығы секторында жасанды интеллект пен үлкен деректер (Big Data) технологияларын енгізудің экономикалық тиімділігін кешенді бағалауға бағытталған. Әдістемелік негіз ретінде сапалық және сандық талдау тәсілдері үйлесімді түрде қолданылды.

Бірінші кезеңде теориялық-әдіснамалық база қалыптастырылды. Бұл мақсатта халықаралық және отандық ғылыми әдебиеттерге жүйелі шолу жүргізіліп, ауыл шаруашылығын цифрландыруға арналған стратегиялық және бағдарламалық құжаттар, халықаралық ұйымдардың (FAO, БҰҰ, ЮНЕСКО) есептері контент-талдау әдісі арқылы зерттелді.

Екінші кезеңде аграрлық секторда AI және Big Data технологияларын енгізудің халықаралық және қазақстандық тәжірибелеріне салыстырмалы талдау жүргізілді. Бұл ретте шетелдік және отандық агроинновациялық модельдер кейс-стади әдісі аясында қарастырылып, олардың тиімділік параметрлері мен қолдану ерекшеліктері сарапталды.

Үшінші кезеңде ауыл шаруашылығы мен инновациялық даму көрсеткіштері арасындағы өзара байланыс деңгейін сандық тұрғыдан бағалау үшін Пирсон корреляция коэффициенті қолданылды. Бұл әдіс үздіксіз айнымалылар арасында сызықтық байланысты анықтауға бағытталған және зерттеудің макроэкономикалық деректер базасына сәйкес келеді. Корреляциялық талдау 2009–2023 жылдар аралығындағы ҚР Ұлттық статистика бюросының ресми деректерін пайдалану арқылы жүргізілді. Есептеулер Python бағдарламалық қамтамасыз ету тілінің көмегімен жүзеге асырылды. Әдістердің мұндай үйлесімі жасанды интеллекттің агросекторға ықпалын әр қырынан талдауға, зерттеу нәтижелерінің сенімділігі мен ғылыми жаңалығын қамтамасыз етуге мүмкіндік береді.

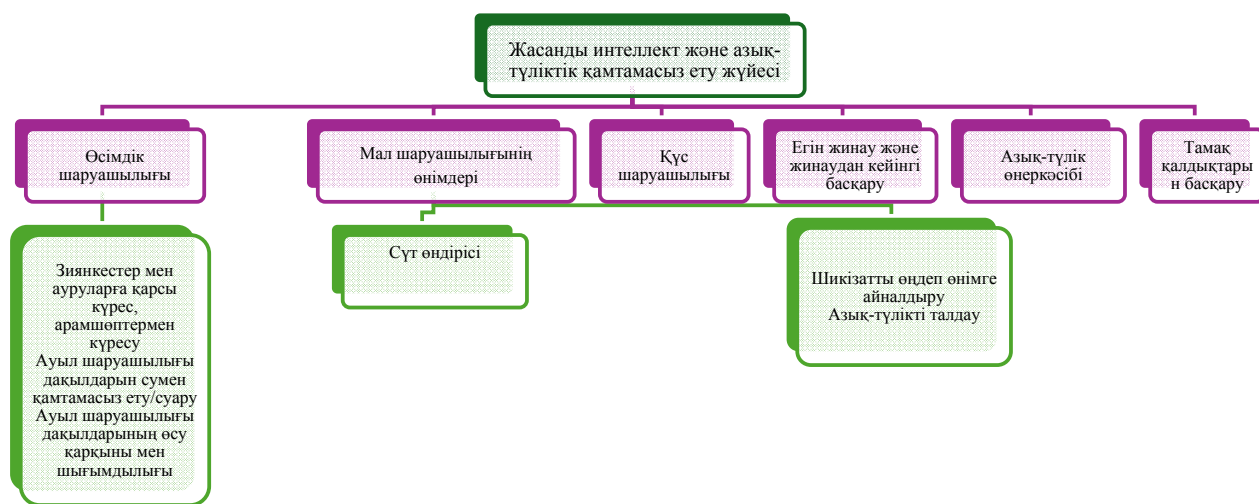
Нәтижелер мен талқылау

Мақалада ауыл шаруашылығы секторында жасанды интеллектті қолданудағы жаһандық үрдістерге баса назар аударатырып, ауыл шаруашылығының негізгі секторларына талдау жасалады. Ауыл шаруашылығы өндірісінің тиімділігін арттыру, логистиканы оңтайландыру, ауылшаруашылық дақылдардың өнімділігін болжау және азық-түлік жүйелерінің тұрақты-

лығын арттыру үшін жасанды интеллект технологияларын қолданудың әлемдік тәжірибесін егжей-тегжейлі сараптау жүргізіледі. Талдау барысында процесті автоматтандыру, дақылдардың денсаулығын бақылау үшін машиналық оқытуды пайдалану және тәуекелдерді болжау және басқару үшін үлкен деректер аналитикасын пайдалануды қоса алғанда, бірнеше аспектілер қарастырылады.

Сонымен бірге, Қазақстандағы жағдайды салыстырмалы талдауға ерекше назар аударылады. Елдің аграрлық секторында жасанды интеллектті енгізудің қазіргі деңгейіне баға беріліп, одан әрі дамудың кедергілері мен мүмкіндіктері анықталады деп күтілуде. Ауыл шаруашылығын цифрландыруға бағытталған

қолданыстағы ұлттық бастамаларды талдау және инновациялық технологияларды енгізуді ынталандыратын мемлекеттік бағдарламалар мен стратегияларды зерделеу маңызды. Алынған деректер негізінде халықаралық тәжірибе мен жергілікті ерекшеліктерді ескере отырып, Қазақстанның ауыл шаруашылығында жасанды интеллект құралдарын тиімді пайдалану тұжырымдамасы ұсынылатын болады. *MDPI Sustainability* (2021) және *MDPI Agronomy* (2023) секілді рецензияланатын журналдарда жарияланған мақалалардың материалдарына жүйелі шолу жүргізе отырып, әлемдегі ауыл шаруашылығы секторында жасанды интеллектті қолданудың бірнеше негізгі бағыттарын анықтауға болады:



1-сурет – Жасанды интеллект және азық-түліктік қамтамасыз ету жүйесі

Ескерту – (Pandey & Mishra, 2024), (Dhal & Kar, 2024) мәліметтері негізінде авторлар құрастырған

Жоғарыдағы ұсынылған шолу (1-сурет) негізінде ауыл шаруашылығы саласындағы түрлі бағыттар бойынша жасанды интеллект технологияларын қолданудың заманауи тәсілдерін қарастырайық.

Ауылшаруашылық дақылдарының өнімділігін арттыру және тұрақты өнім алуда негізгі кедергілерді бірі – бұл өсімдіктердің аурулары мен зиянкестері. Ауыл шаруашылығы саласы өсімдік ауруларына байланысты жыл сайын миллиардтаған доллар шығынға ұшырайды (Ahmad et al., 2023:27-32) және өсімдік шаруашылығында зиянкестермен, аурулармен, арамшөптермен күресу, сонымен қатар ауыл шаруашылығы дақылдарының өнімділігі мен өсу қарқынын арттыру негізгі өзекті мәселе-

лер болып табылады. Мәселені шешудің тиімді жолдарының бірі – ауыл шаруашылығы дақылдарының ауруларын ерте анықтау. Осы бағытта жүргізілген зерттеулер жапырақ кескіндері негізінде ауруларды диагностикалау үшін жасанды интеллектті пайдалану нәтижесінде 75% дәлдікке қол жеткізуге болатынын көрсетті, бұл дәстүрлі диагностикалық әдістерден айтарлықтай жоғарырақ көрсеткіш.

Өсімдік шаруашылығындағы бұрыш ауруының таралу дәрежесін бағалау үшін *Pseudomonas lini* (PCA17) бактерияларының бұрыштың кеш күйікке қарсы биологиялық белсенділігін талдайтын PhytAi жүйесі қолданылды. Визуалды бағалау жасанды интеллект құралдарын қолдану арқылы салыстыру жүйенің жоғары дәлдігін

көрсетті. Күріш дақылдарындағы зиянкестерді ерте кезеңде анықтау үшін зиянкестердің суреттерін Imagga бұлттық платформасына жіберетін пилотсыз ұшатын аппараттарды (дрондарды) қолданатын әдіс әзірленді. Бұлтты жүйе зиянкестерді анықтайды және ақпарат фермерге әрі қарай әрекет ету үшін беріледі. Өз кезегінде, өсімдіктердің әртүрлі бөліктеріндегі күзгі күрттардың инвазиясын анықтау үшін терең үйірткілді нейрондық желіні қолдану арқылы жүгеріні өсіру барысындағы зиянкестермен күресте 87% дәлдікке қол жеткізілді.

Ұқсас мәселелерді жасанды интеллект құралдары көмегімен шешу үшін, мысалы, Пәкістанда бидай ауруларын диагностикалауға арналған Android операциялық жүйесіндегі құрылғыларда жұмыс істейтін мобильді қосымша әзірленді. Бұл қолданба анық емес интерференция жүйесін пайдаланады және ауыл шаруашылығы 100 нақты дақылдарының ауруы жағдайында сыналып, 99% дәлдікті көрсетті (Toseef, & Khan, 2018:49-58).

Бидай мен күріш дақылдарының зиянкестерімен күресу үшін «Agpest» атты ауыл шаруашылығына арналған сараптамалық жүйе құрылған. Бұл жүйе жасанды нейрондық желілерді (ANN), генетикалық алгоритмдерді (GA) және компьютерлік көру технологияларын пайдаланады (Ballea және т.б., 2014:262-268). Өсімдіктердің ауруларын анықтауда үйірткілді нейрондық желілерді (CNN) пайдалану 25 түрлі өсімдіктердегі ауруларды диагностикалау үшін 99,53% әсерлі дәлдікті көрсетті (Ferentinos, 2018:311-318). Жүйе өсімдіктердің фотосуреттерін талдайды, аурудың тән белгілерін немесе зиянкестердің болуын анықтайды, бұл агрономдарға өсімдіктерді қорғау бойынша шараларды жылдам қабылдауға мүмкіндік береді. Бұл әдіс диагностиканың дәлдігін айтарлықтай жақсартады және ауыл шаруашылығының тұрақты дамуын қамтамасыз ете отырып, химиялық заттарды қолдануды барынша азайтады.

Сонымен қатар, үйірткілді нейрондық желілер (CNN) және рекуррентті нейрондық желілер (RNN) тіркесіміне негізделген жасанды интеллект бағдарламасын банан ағашының ауруларын ерте анықтау үшін әзірленді. Бұл модель ауруларды ерте кезеңдерінде тиімді анықтауға мүмкіндік беретін ағаштардағы суреттердің ретін талдайды. Бағдарлама фермерлерге егін шығынын барынша азайтуға және өсімдіктерді қорғау бойынша шұғыл шараларды жүзеге асыруға мүмкіндік береді (Nandhini, 2018).

Ауыл шаруашылығындағы арамшөптерді анықтау және олармен тиімді күресу үшін дақылдар мен арамшөптерді ажырата алатын «кездейсоқ орманды» (Random Forest) қолданатын әдіс әзірленді. Бұл тәсіл дрондардан немесе камералардан алынған суреттерді талдауға негізделген және объектілерді дәл тану үшін жіктеу алгоритмдерін қолданады. Бұл әдісті қолдану химиялық заттарды қолдануды барынша азайтуға, ауыл шаруашылығын экологиялық тұрғыда таза етуге, сонымен қатар арамшөптермен күресуге кететін шығындарды азайтуға көмектеседі (Gao et al., 2018:39–50).

Өз кезегінде, суару және ауыл шаруашылығы дақылдарын сумен жеткілікті көлемде қамтамасыз етуге келсек, қарбыз және басқа да ауылшаруашылық дақылдарының сумен қамтамасыз ету қажеттілігін тиімді анықтау үшін жасанды нейрондық желілерді (ANN) (Yamaç et al., 2021) пайдалануға болатынын айта кету керек. Ауқымды су балансы сияқты дәстүрлі әдістердің орнына нейрондық желілер оңтайлы суару тереңдігі мен кезеңін дәл болжау үшін күрделі және үлкен деректерді талдауға қабілетті.

Сонымен қатар, жартылай құрғақ аймақтарда қант қызылшасының булануын болжау үшін тірек векторлық машиналар (SVM), кездейсоқ орман (RF) және адаптивті күшейту (бустинг) сияқты әртүрлі жасанды интеллект алгоритмдері (Yamaç, 2021) пайдаланылды. Осы әдістердің ішінде SVM әдісі ең жақсы дәлдікті көрсетті және қант қызылшасының булануын бағалау үшін ең тиімді болып саналды. Бұл тәсіл ауыл шаруашылығында суға сұранысты болжау мен суаруды басқаруды айтарлықтай жақсарта алады.

Судың булануын азайту және суды пайдалануды оңтайландыру үшін су мен электр энергиясын пайдалануды жоспарлау үшін FPM әдісінде қолданылатын Левенбург-Маркварт әдісі және кері таралу әдісі сияқты ANN алгоритмдері әзірленді (Karasekreter, 2012). Ауылшаруашылық тиімділігін арттыру үшін AI зияткерлік жүйелерде суаруды және өнімділікті арттыру үшін гербицидтерді қолдану процестерін оңтайландыру үшін қолданылады. Бұған бұрқу, суару және арамшөптерді жоюдың автоматтандырылған әдістері жатады (Talaviya, 2020).

Кез келген өңірде өнім көлемін картографиялау үшін (Zhang et al., 2022) тарихи егістік деректеріне, сондай-ақ қашықтықтан зондтау мәліметтеріне негізделген автоматтандырылған әдіс әзірленді. Бұл әдіс егістік алқаптарының

кеңістіктік-уақыттық сипаттамаларын ескере отырып, жыл мезгіліне қарамастан, дақыл түрлерін дәл әрі тиімді түрде жіктеуге мүмкіндік береді. Жүйе нақты өңірдің тарихи деректеріне сүйенетіндіктен, картографиялау нәтижелерінің нақтылығы мен өзектілігі жоғары деңгейде қамтамасыз етіледі.

Ал күріштің өсу қарқынын болжау барысында жасанды нейрондық желілердің дәлдігі регрессиондық алгоритмдермен салыстырғанда анағұрлым жоғары екені дәлелденді. Бұл ретте ген экспрессиясын бағдарламалау да қарастырылған. Өнім жинау мерзімін оңтайландыру және ресурстарды тиімді пайдалану мақсатында жасанды нейрондық желілер мен генетикалық алгоритмдер өнімнің өсу кезеңін дәл анықтай алады (Liu, 2021).

Сондай-ақ соя дақылының өнімділігін болжау үшін терең нейрондық желілерді қолданатын байесовтық мультимодельдеу әдісі тиімді нәтиже көрсетті (Abbaszadeh, 2022).

Егіс алқаптарын бақылау мақсатында дрондарды қолдану нәтижесінде осыған дейін қолмен орындалатын операцияларға кететін уақыт едәуір қысқарғаны байқалды (Balan, 2016:74).

Жоғарыда қарастырылған бағыттар аясында Қазақстандағы ауылшаруашылығы саласын цифрландыру және жасанды интеллект элементтерін енгізу белсенді түрде жүзеге асырылып келеді. Қазіргі кезеңде бірқатар цифрлық жүйелер іс жүзінде жұмыс істеуде. Атап айтқанда, мемлекеттік субсидиялау жүйесі, ауыл шаруашылығы жануарларын сәйкестендіру жүйесі, АӨК-ті басқаруға арналған «e-Agriculture» автоматтандырылған платформасы, сондай-ақ «Ауыл аманаты» бағдарламасы шеңберіндегі микрокредитеу бойынша ақпараттық жүйе. Сонымен қатар, өсімдік шаруашылығындағы өнімнің қадағалану жүйесі әзірлеу сатысында тұр (2025 жылдың ақпан айы жағдайы бойынша) (Bluescreen.kz, 2025).

Қазақстан Республикасы Ауыл шаруашылығы министрлігінің мәліметінше, 2024 жылдан бастап өсімдік шаруашылығы өнімдерінің айналымын толық қамтитын – тұқым себуден бастап экспортқа дейінгі – қадағалау жүйесі кезең-кезеңімен енгізілуде. Бұл бастама ауыл шаруашылығы өндірісінің ашықтығын арттыруға және өнімнің сапасын бақылауды күшейтуге бағытталған. Сонымен қатар, министрліктің мәліметіне сәйкес, жасанды интеллект негізіндегі бірқатар шешімдер ендірілуде: субсидиялауға өтінімдерді қабылдайтын чат-боттар, топырақ

құрамын бағалайтын интеллектуалды талдау жүйелері, зиянкестермен күрес жүргізетін дрондар, сондай-ақ өнімділік пен климаттық тәуекелдерді болжау және суару үдерісін оңтайландыру құралдары (Bluescreen.kz, 2025).

Astana Hub ұсынған мәліметтерге сүйенсек (Astana Hub, 2024), бүгінде Қазақстанда 116 миллион гектардан астам ауыл шаруашылығы жерлері спутниктік мониторинг жүйесіне қосылған. Бұл тәсіл егістік алқаптарының жағдайын тұрақты бақылауға, олардың мақсатты және тиімді пайдаланылуын бағалауға, сондай-ақ мемлекеттік органдардың бірыңғай базасымен деректер алмасуға жол ашады. Осындай технологиялар арқылы жасанды интеллектке негізделген басқару шешімдерін қабылдаудың жаңа мүмкіндіктері пайда болуда.

Сонымен қатар, 2022 жылдан бері мемлекетке тиімсіз пайдаланылып келген 12 миллион гектар жер қайтарылған. Бұл шаралар жер ресурстарын тиімді басқарудың маңызды бөлігі ретінде қарастырылады.

Сондай-ақ, 2024 жылдан бастап өсімдік шаруашылығындағы өнім қозғалысын тұқым себуден бастап экспортқа дейін бақылауға мүмкіндік беретін қадағалау жүйесі іске қосыла бастады. Бұл жүйе ашықтықты қамтамасыз етіп қана қоймай, жасанды интеллектті өндірістің барлық кезеңіне ендіруге алғышарт жасайды.

Жоғарыда аталған бастамалармен қатар, Қазақстан Біріккен Ұлттар Ұйымының Азық-түлік және ауыл шаруашылығы ұйымына (ФАО) жер деградациясымен күрес бағдарламаларына жасанды интеллектті енгізуге бағытталған жобаны қаржыландыру үшін ресми түрде жүгінген. Аталған бастама Қазақстан аумағында кең таралған үйірлі шегірткелердің (азиялық, мароккалық және италиялық түрлері) ауыл шаруашылығы дақылдарына келтіретін залалын азайту қажеттілігімен негізделеді. Жоба шеңберінде зиянкестердің таралу ошақтарын ерте анықтауға және мониторинг жүргізуге арналған геоақпараттық жүйені жасанды интеллект элементтерімен әзірлеу көзделіп отыр (AgroSektor.kz, 2025).

Ауыл шаруашылығы өндірісінің цифрлық трансформациясы тек егін шаруашылығымен шектелмейді. Соңғы жылдары жасанды интеллект пен смарт-технологиялар мал шаруашылығы саласына да белсенді түрде енгізілуде. Алайда табысы төмен және орта деңгейдегі елдерде бұл технологиялардың салаға нақты әсері жөнінде толыққанды деректер әлі де жеткіліксіз. Мұндай елдер қатарына кіретін Кения мен

Үндістанда цифрлық құралдар сүтті ірі қара мен құс шаруашылығында белсенді қолданылады. Атап айтқанда, бұл құралдар табынды бақылау, жайылымдарды басқару және қолдан ұрықтандыру секілді процестерді оңтайландыруда қолданылады.

Мысалы, Farmtree қосымшасы фермер енгізген деректер негізінде лактация кезіндегі сүт өнімділігін, өнімділік шығын және тәуліктік сауынды есептейді. Бұл шешімдер фермерлерге сүт өндірісін оңтайландыруға көмектеседі. Сонымен қатар, терең оқытуға негізделген жүйелер арқылы сиырларды автоматты түрде сәйкестендіру және олардың күйін бағалау құралдары әзірленген. Мұндай жүйелер жануардың семіздігін нақты бағалауға және адам факторынан туындайтын қателіктерді азайтуға мүмкіндік береді (Daum, 2022).

Сондай-ақ, өнімділік көрсеткіштерін болжау саласында да жасанды нейрондық желілер өз артықшылығын көрсетті. Мысалы, сиырлардың сүт бездерінің ультрадыбыстық бейнелері негізінде олардың өнімділік кезеңі мен күтілетін тәуліктік сауынды болжауға арналған жүйелер құрылды. Бұл әдістер дәстүрлі Вуд моделіне қарағанда анағұрлым жоғары дәлдікпен нәтиже береді және үлкен деректер көлемін қажет етпейді (Sun, 2019).

Ал, Moosage секілді Интернет заттар жүйесіне (IoT) негізделген платформалар фермерлерге әр сиырдың өнімділігін жекелей бақылауға, азықтандыру режимін нақтылауға және уақытылы түзетулер енгізуге мүмкіндік береді. Бұл жүйелер нақты уақыт режимінде ақпарат ұсынып, фермерлік шешімдерді жылдам әрі дәл қабылдауға жәрдемдеседі (da Rosa Righi, 2019).

Жануарлар денсаулығын бақылау – цифрлық шешімдердің тағы бір маңызды бағыты. Мысалы, машиналық оқыту мен «тұманды есептеулер» (fog computing) технологиясына негізделген хромотаны (ақсауды) ерте анықтау жүйесі әзірленді. Бұл жүйе ауру белгілерін адамның көзіне көрінбей тұрып бірнеше күн бұрын анықтай алады. Мұндай тәсіл емдеудің тиімділігін арттырып, шығындарды азайтады (Denholm, 2020).

Жалпы алғанда, жасанды интеллект, машиналық оқыту және IoT шешімдері мал шаруашылығы саласындағы тиімділік пен тұрақтылықты

арттыруға бағытталған қуатты құралға айналып отыр. Әсіресе, дамушы экономикаларда бұл технологиялар фермерлік шаруашылықты жаңа сапалық деңгейге көтеруге мүмкіндік береді.

Елдегі мал шаруашылығы саласында жасанды интеллект технологияларын енгізу бойынша бірқатар нақты жобалар жүзеге асырылуда. Солардың ішінде ерекше атап өтуге болатын бастамалардың бірі – ірі қара малды тануға арналған интеллектуалды жүйенің әзірленуі. Бұл жүйе YOLOv5, ArcFace және Paddle OCR алгоритмдеріне негізделіп жасалған және малдың бет-пішіні мен құлақ таңбасын автоматты түрде тану мүмкіндігін береді. Мұндай тәсіл субсидиялау жүйесіндегі алаяқтық әрекеттердің алдын алуға және мал басын есепке алу жүйесінің ашықтығын қамтамасыз етуге мүмкіндік береді (Sputnik Казахстан, 2024).

Сонымен қатар, Ақмола облысындағы «Еңбек» ЖШС негізінде жасанды интеллектпен басқарылатын заманауи сүт-тауарлы ферма құрылған. Бұл фермада сиырларды сауу және азықтандыру процестері толығымен автоматтандырылған. Малдар арнайы орнатылған доильді станцияларға өз еркімен келеді, ал жүйе әрбір жануардың физиологиялық жағдайы мен соңғы сауу уақытын талдау арқылы қолжетімділікті реттейді. Мұндай шешімдер адам еңбегінің араласуын барынша азайтып, сүт өндірісінің тиімділігін арттыруға септігін тигізеді (Ныгметов, 2025).

Ауыл шаруашылығы саласында жасанды интеллектті енгізу үрдістерін жүйелі түрде талдағаннан кейін, саланың дамуына ықпал ететін негізгі факторларды сандық тұрғыдан бағалау қажеттілігі туындайды. Осы мақсатта инновациялық белсенділік, ғылыми-зерттеу және тәжірибелік-конструкторлық жұмыстарға (ҒЗТҚЖ) инвестициялар көлемі, сондай-ақ аграрлық өндірістің тұрақтылығымен байланысты бірқатар көрсеткіштер тандалып алынды.

Алдағы корреляциялық талдау осы айнымалылар арасындағы өзара байланыс деңгейін анықтауға бағытталған. Бұл агросектордың технологиялық трансформациясын негіздеуге және стратегиялық шешімдер қабылдауға ғылыми база қалыптастыруға мүмкіндік береді. Қолданылатын негізгі көрсеткіштер тізімі 1-кестеде келтірілген.

1-кесте – Ауыл шаруашылығы саласындағы жасанды интеллект пен инновациялық даму көрсеткіштерінің сипаттамасы

№	Көрсеткіштер атауы	Сипаттамасы
1	Ауыл шаруашылығының ЖІӨ-сі (Agri GDP), млн теңге	Экономиканың аграрлық секторындағы негізгі интегралды көрсеткіш. Оның инновациялармен және инвестициялармен өзара байланысын талдау жасанды интеллект пен технологиялық шешімдердің өнімділік пен тиімділікке әсерін бағалауға мүмкіндік береді.
2	Ауыл шаруашылығына салынған инвестициялар (Agri Inv), млн теңге	Мемлекеттік және жекеменшік инвестициялардың деңгейін сипаттайды. Инвестициялар ағынының артуы ауыл шаруашылығында, соның ішінде ИИ шешімдерін енгізу бағытында белсенділіктің жоғарылауына ықпал етуі мүмкін.
3	Ауыл шаруашылығы саласындағы ҒЗТҚЖ шығындары, млн теңге	Білім мен технологиялық әзірлемелерге салынған инвестициялар деңгейін көрсетеді. Бұл көрсеткіш цифрлық трансформация үшін маңызды.
4	ҒЗТҚЖ жүргізетін компаниялар саны (R&D Firms)	Елдің ғылыми-техникалық әлеуетін сипаттайды. Аграрлық салада жасанды интеллектке қатысты шешімдердің әзірленуі мен қолданылу деңгейін жанама түрде көрсетеді.
5	Инновациялық белсенділік деңгейі (Innov Act)	Елдегі жалпы технологиялық қабылдағыштық деңгейін бағалауға мүмкіндік береді. Инновациялық белсенділіктің жоғары деңгейі ауыл шаруашылығында ИИ шешімдерін енгізуге қолайлы орта қалыптастырады.
6	Жоғары технологиялық өнім экспорты (Hi-tech Exp)	Елдің жоғары қосылған құны бар өнім өндіру және экспорттау қабілетін сипаттайды. Мұндай өнімдердің болуы ИИ шешімдерін әзірлеу әлеуетінің бар екенін көрсете алады.
7	Өңдеу өнеркәсібіне салынған инвестициялар (Manuf Inv), млн теңге	Технологиялық жаңғырту деңгейін сипаттайды. Бұл салалар ауыл шаруашылығы үшін қажетті ИИ-технологияларды жеткізуші болуы мүмкін.
8	Инновациялық сектордың ЖІӨ-дегі үлесі (Innov GDP), %	Жалпы экономиканың инновациялық дамуын сипаттайды. Бұл көрсеткіш ИИ-дың ұлттық даму деңгейінде қандай рөл атқара алатынын түсінуге мүмкіндік береді.
9	Өңдеу өнеркәсібіндегі инновацияларға жұмсалатын шығындар (Manuf Innov Cost), млн теңге	Өңдеуші сектордағы технологиялық көшу мен ИИ шешімдерін әзірлеуге бөлінген инвестициялар көлемін көрсетеді. Бұл ауыл шаруашылығы үшін маңызды технологиялардың қолжетімділігін көрсетеді.
Ескерту – көрсеткіштерді таңдау ғылыми әдебиеттегі деректерге, салалық маңыздылығына және өзара ықпалдастықты талдау қажеттілігіне негізделді		

Осы орайда, Қазақстанда аграрлық секторды цифрландыруға бағытталған белсенді қадамдарға қарамастан, жасанды интеллект технологияларын дамыту әлі де бастапқы кезеңде екенін мойындау қажет. Зерттеудің негізгі қиындықтарының бірі – сала бойынша егжей-тегжейлі статистикалық деректердің жеткіліксіздігі, әсіресе ауыл шаруашылығы мен азық-түлік қауіпсіздігі салаларында жасанды интеллектті қолдану бойынша нақты мәліметтердің болмауы.

Осыған байланысты бұл зерттеуде инновациялық белсенділік, ғылыми әзірлемелер көлемі мен технологиялық прогресс деңгейін жанама сипаттайтын көрсеткіштер пайдаланылды. Бұл индикаторлар ауыл шаруашылығы саласында ЖИ енгізуге ықпал ететін орта туралы базалық түсінік алуға мүмкіндік береді.

Болашақта зерттеулер арнайы мәліметтер базасын қалыптастыру мен жасанды интеллекттің аграрлық өнімділік пен азық-түлік қауіпсіздігіне әсерін тереңірек талдау бағытына бағытталуы мүмкін. Мұндай тәсіл сала ерекшеліктерін ескере отырып, ЖИ-ды тиімді енгізудің стратегияларын әзірлеуге мүмкіндік береді.

2-кестеде 2009–2023 жылдар аралығындағы эмпирикалық зерттеуге енгізілген негізгі айнымалылар бойынша сипаттамалық статистика ұсынылған. Бұл бөлімде арифметикалық орта мән (Mean), стандарттық ауытқу (Std. Dev.), ең төменгі (Min) және ең жоғарғы (Max) мәндер көрсетілген. Берілген статистика көрсеткіштердің таралуы мен өзгеріс ауқымын бағалауға мүмкіндік береді және келесі корреляциялық талдаудың бастапқы негізі ретінде қызмет етеді.

2-кесте – Сипаттамалық статистика

	Көрсеткіштер атауы	Орташа	Стандартты ауытқу	Минимум	Максимум
1	Ауыл шаруашылығының ЖІӨ-сі (Agri GDP), млн теңге	1086214,81	728789,96	280644,63	2776961,14
2	Ауыл шаруашылығына салынған инвестициялар (Agri Inv), млн теңге	362394,47	289151,76	77544,00	904264,00
3	Ауыл шаруашылығы саласындағы ҒЗТҚЖ шығындары, млн теңге	8693,10	4905,35	3310,94	20109,90
4	ҒЗТҚЖ жүргізетін компаниялар саны (R&D Firms)	395	27,3	341	438
5	Инновациялық белсенділік деңгейі (Innov Act)	8,63	2,64	4,00	11,70
6	Жоғары технологиялық өнім экспорты (Hi-tech Exp)	2707955794,40	946824367,49	1772255489	5145671171
7	Өңдеу өнеркәсібіне салынған инвестициялар (Manuf Inv), млн теңге	11,56	1,06	10,28	13,61
8	Инновациялық сектордың ЖІӨ-дегі үлесі (Innov GDP), %	1,40	0,54	0,49	2,43
9	Өңдеу өнеркәсібіндегі инновацияларға жұмсалатын шығындар (Manuf Innov Cost), млн теңге	462823,58	408085,14	27819,74	1358039,30

Ескерту – Статистикалық деректер ҚР Стратегиялық жоспарлау және реформалар агенттігіне қарасты Ұлттық статистика бюросының «Салалық статистика» және «Экономика» бөлімдеріндегі ашық деректер негізінде авторлар тарапынан жиналып, өңделді

Ұсынылған айнаымалылар бойынша сипаттамалық статистика Қазақстандағы ауыл шаруашылығына жасанды интеллектті (ЖИ) енгізу әлеуетін айқындайтын негізгі экономикалық және инновациялық көрсеткіштердің қазіргі жай-күйін бағалауға мүмкіндік береді. Алынған мәндер экономикалық даму деңгейі мен инновациялық белсенділіктің жоғары әркелкілігін көрсетеді, бұл өз кезегінде өсу нүктелерінің де, жүйелі шектеулердің де бар екенін айғақтайды.

2-кестеге талдау жүргізсек, ауыл шаруашылығының жалпы өнімі қарастарылып отырған кезең аралығында (2009-2023) орта есеппен 1086,2 млрд теңгені құрады, алайда көрсеткіштің дисперсиясы айтарлықтай жоғары (280,6 млрд теңгеден 2776,9 млрд теңгеге дейін), бұл саланың тұрақсыздығын және сыртқы күйзелістерге сезімталдығын білдіреді. Осындай үрдіс ауыл шаруашылығына тартылған инвестициялар көлемінде де байқалады – 77,5-тен 904,3 млрд теңгеге дейін. Бұл деректер агросекторды жаңғыртуға, соның ішінде цифрлық трансформацияға капитал салымдарының жеткіліксіз екенін көрсетеді.

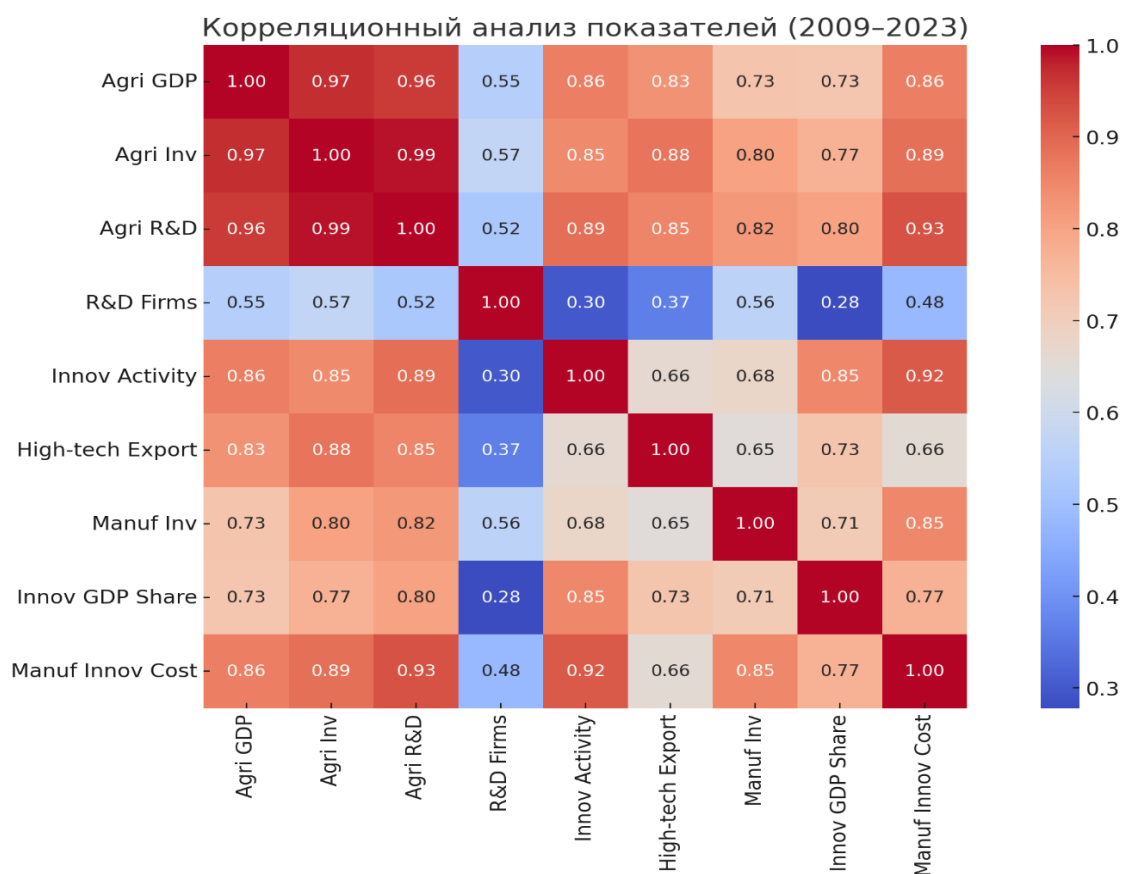
Ауыл шаруашылығы ғылымындағы ҒЗТҚЖ шығындары да төмен деңгейде қалып

отыр – орта есеппен 8693 млн теңге. Бұл заманауи технологияларды, оның ішінде ЖИ шешімдерін әзірлеу мен бейімдеуді шектейді. ҒЗТҚЖ-мен айналысатын компаниялар саны (орта есеппен 395) іс жүзінде өзгеріссіз қалуда, бұл аграрлық саладағы инновациялық инфрақұрылымның жеткілікті дамымағанын дәлелдейді.

Инновациялық белсенділік деңгейі (8,63%) мен инновациялық сектордың ЖІӨ-дегі үлесі (1,4%) экономиканың жалпы цифрлық жетілу деңгейінің төмендігін көрсетеді. Дегенмен, жоғары технологиялық өнім экспорты көлемінің күрт ауытқуы (177,2 млрд теңгеден 5145,7 млрд теңгеге дейін) бір реттік ірі жеткізілімдермен немесе секірмелі экспорттық операциялармен түсіндірілуі мүмкін, бұл тереңірек талдауды қажет етеді.

Жалпы алғанда, оң үрдістердің жекелеген белгілеріне қарамастан, деректер жасанды интеллектті ауыл шаруашылығына кең ауқымда енгізу үшін жүйелі мемлекеттік қолдаудың және жекеменшік инвестицияларды тартудың қажеттігін көрсетеді.

Ал төмендегі 2-суретте жүргізілген корреляциялық талдаудың нәтижелері келтірілген.



2-сурет – Инновациялық белсенділік пен экономикалық даму көрсеткіштерінің корреляциялық матрицасы
Ескерту – Статистика комитетінің деректері негізінде Python бағдарламалау тілі арқылы авторлар құрастырған

2-суретте көрсетілген корреляциялық талдау Қазақстандағы ауыл шаруашылығының ағымдағы ахуалы мен жасанды интеллект (ЖИ) технологияларын енгізу әлеуетін сипаттайтын негізгі экономикалық және инновациялық көрсеткіштер арасындағы өзара байланыстарды кешенді түрде ашып көрсетеді.

Ауыл шаруашылығының жалпы ішкі өнімі (Agri GDP), салалық инвестициялар (Agri Inv) және аграрлық ҒЗТКЖ-ға жұмсалатын шығындар (Agri R&D) арасындағы жоғары оң корреляция ($r > 0,96$) агросектордың дамуы көбіне инвестициялық қарқындылық пен ғылыми қолдау деңгейіне тәуелді екенін көрсетеді. Бұл – кездейсоқ байланыс емес, жүйелі экономикалық заңдылық. Демек, жасанды интеллектті табысты енгізу үшін қаржыландыру мен ғылыми инфрақұрылымды теңгерімді дамыту – алғышарт ретінде қарастырылуы тиіс.

Сонымен қатар, ҒЗТКЖ жүргізетін компаниялар санының басқа айнымалылармен корреляциясының төмен болуы ($r=0,28-0,55$) агросектордағы

инновациялық инфрақұрылымның оқшау сипатта екенін және оның өндірістік жүйелермен әлсіз ықпалдасқанын аңғартады. Бұл жағдай білім мен технология трансферінің тиімділігіне тосқауыл қойып, ЖИ шешімдерінің кеңінен таралуын тежейді. Бұл тек техникалық емес, институционалдық тосқауыл болып табылады және ол агроинновациялық экожүйені қалыптастыру жолындағы негізгі кедергілердің бірі ретінде танылуы қажет.

Инновациялық белсенділік деңгейі (Innov Act) мен жоғары технологиялық өнім экспортының (Hi-tech Exp) ауыл шаруашылығына салынатын инвестициялармен тығыз байланысы ($r = 0,85$ және $r = 0,66$) аграрлық секторда қалыптасып келе жатқан инновациялық ортаның ішкі және сыртқы нарықтарға ықпал етіп жатқанын көрсетеді. Бұл – агротехнологиялық жетілудің бастапқы белгілері. Алайда, мұндай жүйе жасанды интеллектті енгізу үшін жеткіліксіз: инновациялық орта, инвестициялық климат және технологиялық күрделілікке деген қабылдағыштық – қатар өрбуі тиіс факторлар.

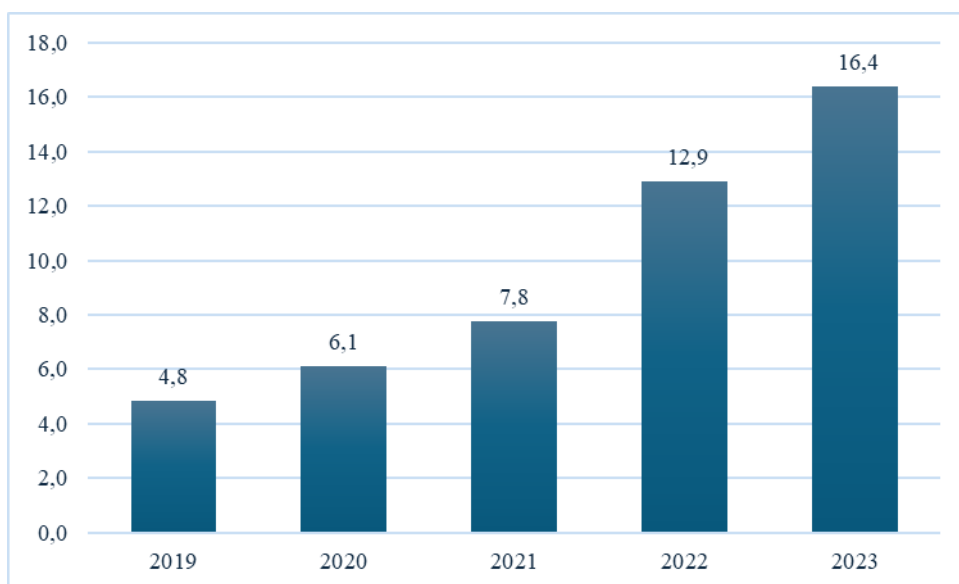
Сондай-ақ, инновациялық сектордың ЖІӨ-дегі үлесі (Innov GDP Share) мен өңдеу өнеркәсібіндегі инновациялық шығындар (Manuf Innov Cost) арасындағы жоғары байланыс ($r = 0,77$) аграрлық емес салалардың да агросекторға жанама әсерін көрсетеді. Бұл – ауыл шаруашылығы цифрлық трансформацияның тек алушысы ғана емес, жүйелік ойыншы екенін айғақтайды. Осылайша, жасанды интеллектті енгізу – тек аграрлық саясат шеңберіндегі мәселе емес, ол ұлттық инновациялық жүйе мен индустриялық даму стратегиясының қиылысында шешімін табуы тиіс.

Жалпы алғанда, жүргізілген талдау ЖИ-ды ауыл шаруашылығына тиімді және тұрақты енгізу тек кешенді тәсіл аясында ғана мүмкін екенін айғақтайды. Мұндай тәсіл инвестициялар, ғылыми-зерттеу қызметі, инновациялық белсенділік және институционалдық қолдау арасында синергияны талап етеді. Ғылым мен өндіріс арасындағы алшақтықты жою, технологиялық инфрақұрылымды нығайту және инновациялық сұранысты ынталандыру – агроөнеркәсіптік кешенді цифрландырудың негізгі стратегиялық бағытына айналуы тиіс.

Жоғарыда атап өткеніміздей, қазіргі таңда ресми дереккөздерде Қазақстанның ауыл шаруа-

шылығы саласында жасанды интеллект технологияларын енгізу деңгейін нақты бейнелейтін статистикалық көрсеткіштер жоқ. Тіпті, ұлттық статистикалық жүйеде жасанды интеллектті қолдану салалық немесе салааралық бөліністе мүлде есепке алынбайды. Дегенмен, соңғы жылдары Қазақстан Республикасы Ұлттық статистика бюросы цифрлануға қатысты бірқатар көрсеткіштерді тіркей бастады, оның ішінде өнеркәсіп саласында цифрлық технологияларды қолдану деңгейі де бар. Бұл деректер ауыл шаруашылығын тікелей қамтымағанымен, экономиканың жалпы цифрлық жетілуін бағалауға бағдар болады және агроөнеркәсіптік кешенге жасанды интеллектті енгізуге болашақта қолайлы инфрақұрылымдық және институционалдық алғышарттардың қалыптасу деңгейін жанама түрде көрсетеді.

Осындай жанама индикаторлардың бірі – цифрлық технологияларды қолданатын ірі және орта кәсіпорындардың үлесі. Қазақстан Республикасы Ұлттық статистика бюросының деректеріне сәйкес, бұл көрсеткіштің өсім қарқыны тұрақты оң динамиканы көрсетіп отыр: 2019 жылы 6,1%-дан 2022 жылы 16,4%-ға дейін өсті (3-сурет).



3-сурет – Өңдеу өнеркәсібінде цифрлық технологияларды пайдаланатын ірі және орта кәсіпорындардың үлесі, %
Ескерту – (Қазақстан Республикасы Стратегиялық жоспарлау және реформалар агенттігі, б.ж.) деректері негізінде авторлар құрастырған

Бұл, бір жағынан, өнеркәсіп секторының цифрлық жетілу деңгейінің артып келе жатқанын білдірсе, екінші жағынан, цифрлық шешімдерді, соның ішінде жасанды интеллект технологияларын масштабтауға қабілетті инфрақұрылымдық және технологиялық базаның қалыптасып жатқанын көрсетеді. Бұл үрдіс ауыл шаруашылығы сияқты басқа секторларға жасанды интеллекті енгізуге жанама түрде әсер етуі мүмкін.

Сондай-ақ елдің цифрлық жетілу деңгейін бағалауға бағытталған жалпы интегралды көзқарас ретінде халықаралық рейтингтерге жүгінуге болады. Мәселен, IMD World Digital Competitiveness Ranking 2024 есебіне сәйкес (IMD World Competitiveness Center, 2024), Қазақстан 67 елдің ішінде 34-орынды иеленіп, цифрлық даму саласында тұрақты позицияға ие екенін көрсетеді. Нақтырақ айтқанда, ел білім деңгейі бойынша 33-орында, технологиялық даму деңгейі бойынша – 46-орында, ал болашаққа дайындық деңгейі бойынша – 27-орында орналасқан.

Аталған IMD World Digital Competitiveness Ranking 2024 есебін егжей-тегжейлі талдау Қазақстанның бірқатар мықты жақтары бар екенін көрсетеді. Атап айтқанда, білім беру саласы бойынша (кадрлар даярлау компоненті – 2-орын) және бизнестің икемділігі (5-орын) бағыттары елдің түрлі салаларында, соның ішінде агроөнеркәсіптік кешенде де, жасанды интеллект технологияларын енгізуге негіз бола алады. Дегенмен, технологиялық инфрақұрылым мен IT-интеграция деңгейі (52–56-орындар аралығы) әлсіз тұстар ретінде көрініп отыр, бұл ауыл шаруашылығына жоғары технологиялық шешімдерді енгізуді тежейтін фактор болуы мүмкін.

Аталған шектеулерді ескере отырып, саланы цифрлық трансформациялау үшін кешенді тәсіл қажет екені айқын. Бұл – инфрақұрылымды дамыту, жасанды интеллектке инвестиция тарту және салааралық үйлестіруді күшейту бағытында жүйелі іс-қимылдарды талап етеді.

Қорытынды

Зерттеу нәтижелері ауыл шаруашылығында жасанды интеллект технологияларын енгізу Қазақстан үшін стратегиялық маңызы бар бағыт екенін дәлелдеді. Халық санының өсуі, климаттық өзгерістер және азық-түлік жүйелеріне түсетін қысым жағдайында жасанды интеллект – агроөнеркәсіптік кешеннің тиімділігін арттырудың, тәуекелдерді басқарудың және азық-тү-

лік қауіпсіздігін қамтамасыз етудің қуатты құралы ретінде танылып отыр.

Мақалада қарастырылған шетелдік кейстердің нәтижесі көрсеткендей, жасанды интеллект технологиялары дақылдарды бақылау, өнімділікті болжау, арамшөптер мен зиянкестерді анықтау, суаруды оңтайландыру және малдың денсаулығын бақылау секілді түрлі процестерде тиімді қолданылуда. Сонымен бірге, отандық талдау көрсеткендей, Қазақстанда жасанды интеллект енгізу әлеуеті болғанымен, оны кеңінен қолдануға бірқатар жүйелік шектеулер кедергі келтіруде. Атап айтқанда, ҒЗТҚЖ инвестициясының төмендігі, инновациялық инфрақұрылымның жеткіліксіздігі және институционалдық қолдаудың әлсіздігі байқалады.

Корреляциялық талдау нәтижелері ауыл шаруашылығының дамуы мен жасанды интеллект енгізу арасындағы тікелей өзара байланысты көрсетті. ЖІӨ, инвестициялар және ғылыми-зерттеу белсенділігі арасындағы жоғары корреляция жасанды интеллект енгізудің негізі ретінде қаржылық және ғылыми факторлардың маңыздылығын растайды. Алайда, зерттеу барысында цифрлық инфрақұрылымның жетілмегендігі, ЖІ қолдануға арналған нақты статистиканың болмауы сияқты елеулі қиындықтар анықталды.

Осыған байланысты, Қазақстанда ауыл шаруашылығына жасанды интеллекті тиімді енгізу үшін келесі басым бағыттары қарастырылады:

Мемлекеттік қолдауды күшейту: жасанды интеллект шешімдерін әзірлеуге және енгізуге бағытталған мақсатты мемлекеттік бағдарламалар мен қаржыландыру тетіктерін енгізу;

Ғылыми-инновациялық инфрақұрылымды дамыту: ҒЗТҚЖ-ға салынатын инвестицияны ұлғайту, аграрлық салада стартаптар мен ғылыми орталықтарды қолдау;

Деректермен қамтамасыз ету: сала бойынша жасанды интеллектпен байланысты деректер жинағын жүйелеу және ашық деректер құру;

Кадрлық әлеуетті арттыру: аграрлық және техникалық бағыттағы кадрларды жасанды интеллект технологияларына бейімдеп даярлау.

Қорытындылай келе, жүргізілген салыстырмалы және корреляциялық талдаулар нәтижесінде ауыл шаруашылығында жасанды интеллекті енгізудің экономикалық негізделген қажеттілігі дәлелденді. Қазақстан жағдайында бұл технологиялардың енгізілуі өндіріс тиімділігін арттыру, климаттық тәуекелдерді азайту және азық-түлік жүйесінің тұрақтылығын қамтамасыз етуге әлеуетті әсер ете алады. Сонымен қатар, ста-

тистикалық деректер негізінде инновациялық белсенділік пен инвестициялық белсенділіктің арасындағы өзара байланыс анықталды. Осы нәтижелерге сүйене отырып, ауыл шаруашылығына жасанды интеллектіні кең ауқымда енгізудің

институционалдық, инфрақұрылымдық және кадрлық негіздерін дамыту қажеттілігі айқындалды. Жалпы алғанда, жасанды интеллект – агроөнеркәсіптік кешеннің жаңғыруының негізгі драйвері ретінде қарастырылады.

Әдебиеттер

1. Economist Impact. (2022). Global Food Security Index 2022: Global report. https://impact.economist.com/sustainability/project/food-security-index/resources/Economist_Impact_GFSI_2022_Global_Report_Sep_2022.pdf
2. Sputnik Беларусь. (2024, December 30). Население Земли за год выросло почти на 82 млн человек. <https://sputnik.by/20241230/naselenie-zemli-za-god-vyroslo-pochti-na-82-mln-chelovek-1092375534.html>
3. United Nations. (2022). Population. UN Global Issues. <https://www.un.org/ru/global-issues/population>
4. FAO. (2024). The State of Food Security and Nutrition in the World 2024. FAO Open Knowledge Repository. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/ee4e8f1c-6197-4ce2-a8e6-eb4af260212c/content>
5. UNESCO. (2018). Изменение климата как потенциальный источник конфликтов. UNESCO Courier. <https://courier.unesco.org/ru/articles/izmenenie-klimata-kak-potencialnyy-istochnik-konfliktov>
6. TheGlobalEconomy.com. (2024). Доля сельского хозяйства в ВВП по странам. <https://www.theglobaleconomy.com/rankings/Agriculture/>
7. Pandey, D. K., & Mishra, R. (2024). Towards sustainable agriculture: Harnessing AI for global food security. *AI in Agriculture*, 12, 72–84. <https://doi.org/10.1016/j.aiaa.2024.04.003>
8. Azizi, J. (2024). The prospect of food security with artificial intelligence. SSRN. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4825112>
9. Conesa-Muñoz, J., Valente, J., Del Cerro, J., Barrientos, A., & Ribeiro, A. (2016). A multi-robot sense-act approach to lead to a proper acting in environmental incidents. *Sensors*, 16(8), 1269. <https://doi.org/10.3390/s16081269>
10. Lohr, S. (2018, October 21). From agriculture to art — the A.I. wave sweeps in. *The New York Times*. <https://www.nytimes.com/2018/10/21/business/from-agriculture-to-art-the-ai-wave-sweeps-in.html>
11. Dharmaraj, V., & Vijayanand, C. (2018). Artificial intelligence (AI) in agriculture. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 7, 2122–2128. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.712.241>
12. Rotz, S., Gravely, E., Mosby, I., Duncan, E., Finnis, E., Horgan, M., et al. (2019). Automated pastures and the digital divide: How agricultural technologies are shaping labour and rural communities. *Journal of Rural Studies*, 68, 112–122. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2019.01.023>
13. Chamara, H., et al. (2020). Role of artificial intelligence in achieving global food security: A promising technology. *Sri Lanka Journal of Food and Agriculture*, 6(2), 43–70 <https://doi.org/10.4038/SLJFA.V6I2.88>
14. Spanaki, K., Karafili, E., Sivarajah, U., Despoudi, S., & Irani, Z. (2021). Artificial intelligence and food security: Swarm intelligence of AgriTech drones for smart AgriFood operations. *Production Planning & Control*, 33(16), 1498–1516. <https://doi.org/10.1080/09537287.2021.1882688>
15. Arakpogun, E. O., Elsahn, Z., Olan, F., & Elsahn, F. (2021). Artificial intelligence in Africa: Challenges and opportunities. In K. O. Adesemowo (Ed.), *The Fourth Industrial Revolution: Implementation of artificial intelligence for growing business success* (Studies in Computational Intelligence, Vol. 943, pp. 375–388). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-62796-6_22
16. PwC. (2017). The economic impact of artificial intelligence on the UK economy. <https://www.pwc.co.uk/economic-services/assets/ai-uk-report-v2.pdf>
17. World Economic Forum. (2022). How countries can build an effective AI strategy. <https://www.weforum.org/agenda/2022/12/how-countries-can-build-an-effective-ai-strategy/>
18. Dhal, S. B., & Kar, D. (2024). Transforming agricultural productivity with AI-driven forecasting: Innovations in food security and supply chain optimization. *Forecasting*, 6(4), 925–951. <https://doi.org/10.3390/forecast6040046>
19. Ahmad, A., Diaz, F. J., Parra, L., Sendra, S., & Lloret, J. (2023). Turning smartphone camera into a fungal infection detector for chickpea seed germination. In 2023 International Conference on Multimedia Computing, Networking and Applications (MCNA) (pp. 27–32). IEEE. <https://doi.org/10.1109/MCNA59361.2023.10185850>
20. Kutyaauripo, I., Rushambwa, M., & Chiwazi, L. (2023). Artificial intelligence applications in the agrifood sectors. *Journal of Agriculture and Food Research*, 11, 100502. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100502>
21. Martos, V., Ahmad, A., Cartujo, P., & Ordoñez, J. (2021). Ensuring agricultural sustainability through remote sensing in the era of agriculture 5.0. *Applied Sciences*, 11(5911). <https://doi.org/10.3390/app11135911>
22. Ozyilmaz, U. (2020). Evaluation of the effectiveness of antagonistic bacteria against *Phytophthora* blight disease in pepper with artificial intelligence. *Biological Control*, 151, 104379. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2020.104379>
23. Bhoi, S. K., Jena, K. K., Panda, S. K., Long, H. V., Kumar, R., Subbulakshmi, P., & Bin Jebreen, H. (2020). An Internet of Things assisted unmanned aerial vehicle based artificial intelligence model for rice pest detection. *Microprocessors and Microsystems*, 79, 103607. <https://doi.org/10.1016/j.micpro.2020.103607>
24. Toseef, M., & Khan, M. J. (2018). An intelligent mobile application for diagnosis of crop diseases in Pakistan using fuzzy inference system. *Computers and Electronics in Agriculture*, 153, 49–58. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.07.034>

25. Ballela, K., Satyanvesh, D., Sampath, N., Varma, K., & Baruah, P. (2014). Agpest: An efficient rule-based expert system to prevent pest diseases of rice & wheat crops. In 2014 IEEE 8th International Conference on Intelligent Systems and Control (ISCO) (pp. 262–268). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ISCO.2014.7103957>
26. Ferentinos, K. P. (2018). Deep learning models for plant disease detection and diagnosis. *Computers and Electronics in Agriculture*, 145, 311–318. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.01.009>
27. Singla, P., Kalavakonda, V., & Senthil, R. (2024). Detection of plant leaf diseases using deep convolutional neural network models. *Multimedia Tools and Applications*, 83, 64533–64549. <https://doi.org/10.1007/s11042-023-18099-3>
28. Nandhini, M., Kala, K. U., Thangadarshini, M., & Verma, S. M. (2022). Deep learning model of sequential image classifier for crop disease detection in plantain tree cultivation. *Computers and Electronics in Agriculture*, 198, 106915. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.106915>
29. Gao, J., Nuytens, D., Lootens, P., He, Y., & Pieters, J. G. (2018). Recognising weeds in a maize crop using a random forest machine-learning algorithm and near-infrared snapshot mosaic hyperspectral imagery. *Biosystems Engineering*, 170, 39–50. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2018.03.006>
30. Yamaç, S. S., Teixeira, A. D. S., Braga, A. P., Santos, C. C., & Leão, R. A. (2021). Artificial intelligence methods reliably predict crop evapotranspiration with different combinations of meteorological data for sugar beet in a semiarid area. *Agricultural Water Management*, 254, 106968. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.106968>
31. Karasekreter, N., Başçiftçi, F., & Fidan, U. (2012). A new suggestion for an irrigation schedule with an artificial neural network. *Journal of Experimental & Theoretical Artificial Intelligence*. <https://doi.org/10.1080/0952813X.2012.680071>
32. Talaviya, T., Shah, D., Patel, N., Yagnik, H., & Shah, M. (2020). Implementation of artificial intelligence in agriculture for optimisation of irrigation and application of pesticides and herbicides. *Artificial Intelligence in Agriculture*, 4. <https://doi.org/10.1016/j.aiaa.2020.04.002>
33. Zhang, C., Di, L., Lin, L., Li, H., Guo, L., Yang, Z., Yu, E. G., Di, Y., & Yang, A. (2022). Towards automation of in-season crop type mapping using spatiotemporal crop information and remote sensing data. *Agricultural Systems*, 201, Article 103462. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2022.103462>
34. Liu, L. W., Ma, X., Wang, Y. M., Lu, C. T., & Lin, W. S. (2021). Using artificial intelligence algorithms to predict rice (*Oryza sativa* L.) growth rate for precision agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106286>
35. Abbaszadeh, P., Gavahi, K., Alipour, A., Deb, P., & Moradkhani, H. (2022). Bayesian multi-modeling of deep neural nets for probabilistic crop yield prediction. *Agricultural and Forest Meteorology*, 314. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2021.108773>
36. Balan, K. S. (2016). Robotic-based agriculture for rural renaissance: Drones and biosensors. *Comprehensive Analytical Chemistry*, 74. <https://doi.org/10.1016/bs.coac.2016.04.017>
37. Bluescreen.kz. (2025). В Казахстане масштабно внедряют цифровые технологии и ИИ в сельское хозяйство. <https://bluescreen.kz/v-kazakhstanie-masshtabno-vniedriaiut-tsifrovyye-tiekhnologhii-i-ii-v-sielskoie-khoziaistvo/>
38. Astana Hub. (2024). AI в устойчивом земледелии: как искусственный интеллект трансформирует сельское хозяйство. <https://astanahub.com/ru/blog/ai-v-ustoichivom-zemledelii-kak-iskusstvennyi-intellekt-transformiruet-selskoe-khoziaistvo1725481903>
39. AgroSektor.kz. (2025). Министерство сельского хозяйства Казахстана планирует использовать искусственный интеллект для борьбы с саранчой. <https://agrosektor.kz/agriculture-news/ministerstvo-selskogo-hozyajstva-kazahstana-planiruet-ispolzovat-iskusstvennyj-intellekt-dlya-borby-s-saranchoj.html>
40. Daum, T., Ravichandran, T., Kariuki, J., Chagunda, M., & Birner, R. (2022). Connected cows and cyber chickens? Stocktaking and case studies of digital livestock tools in Kenya and India. *Agricultural Systems*, 196, 103353. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2021.103353>
41. Sun, Y., Huo, P., Wang, Y., Liu, Y., & Liu, Z. (2019). Automatic monitoring system for individual dairy cows based on a deep learning framework that provides identification via body parts and estimation of body condition score. *Journal of Dairy Science*, 102(11), 10140–10151. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-16164>
42. da Rosa Righi, R., Goldschmidt, G., Kunst, R., Deon, C., & da Costa, C. A. (2019). Towards combining data prediction and internet of things to manage milk production on dairy cows. *Computers and Electronics in Agriculture*. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.105156>
43. Denholm, S. J., Brand, W., Mitchell, A. P., Wells, A. T., Krzyzelewski, T., Smith, S. L., Wall, E., & Coffey, M. P. (2020). Predicting bovine tuberculosis status of dairy cows from mid-infrared spectral data of milk using deep learning. *Journal of Dairy Science*. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-18328>
44. Sputnik Казахстан. (2024, November 11). Распознавать быка по морде сможет искусственный интеллект в Казахстане. <https://ru.sputnik.kz/20241111/raspoznat-byka-po-morde-smozhet-iskusstvennyy-intellekt-v-kazakhstane-48443519.html>
45. Ныгметов, Б. (2025, May 27). Ферма, где роботы доят коров. *Казахстанская правда*. <https://kazpravda.kz/n/ferma-gde-roboty-doyat-korov/>
46. Қазақстан Республикасы Стратегиялық жоспарлау және реформалар агенттігі Ұлттық статистика бюросы. (2024). Ресми сайт. <https://stat.gov.kz>
47. IMD World Competitiveness Center. (2024). World Digital Competitiveness Ranking 2024. Lausanne: International Institute for Management Development. <https://www.imd.org/centers/world-competitiveness-center/rankings/world-digital-competitiveness/>

Reference

1. Economist Impact. (2022). Global Food Security Index 2022: Global report. https://impact.economist.com/sustainability/project/food-security-index/resources/Economist_Impact_GFSI_2022_Global_Report_Sep_2022.pdf
2. Sputnik Belarus'. (2024, December 30). Naselenie Zemli za god vyroslo pochti na 82 mln chelovek. <https://sputnik.by/20241230/naselenie-zemli-za-god-vyroslo-pochti-na-82-mln-chelovek-1092375534.html>
3. United Nations. (2022). Population. UN Global Issues. <https://www.un.org/ru/global-issues/population>
4. FAO. (2024). The State of Food Security and Nutrition in the World 2024. FAO Open Knowledge Repository. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/ee4e8f1c-6197-4ce2-a8e6-eb4af260212c/content>
5. UNESCO. (2018). Izmenenie klimata kak potencial'nyj istochnik konfliktov. UNESCO Courier. <https://courier.unesco.org/ru/articles/izmenenie-klimata-kak-potencialnyy-istochnik-konfliktov>
6. TheGlobalEconomy.com. (2024). Dolya sel'skogo hozyajstva v VVP po stranam. <https://www.theglobaleconomy.com/rankings/Agriculture/>
7. Pandey, D. K., & Mishra, R. (2024). Towards sustainable agriculture: Harnessing AI for global food security. *AI in Agriculture*, 8, 100456. <https://doi.org/10.1016/j.aiia.2024.04.003>
8. Azizi. (2024). These advancements enhance agricultural resource productivity and reduce production risks. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4825112>
9. Conesa-Muñoz, J., Valente, J., Del Cerro, J., Barrientos, A., & Ribeiro, A. (2016). A multi-robot sense-act approach to lead to a proper acting in environmental incidents. *Sensors*, 16(8), 1269. <https://doi.org/10.3390/s16081269>
10. Lohr, S. (2018, October 21). From agriculture to art — the A.I. wave sweeps in. *The New York Times*. <https://www.nytimes.com/2018/10/21/business/from-agriculture-to-art-the-ai-wave-sweeps-in.html>
11. Dharmaraj, V., & Vijayanand, C. (2018). Artificial intelligence (AI) in agriculture. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 7, 2122–2128. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.712.241>
12. Rotz, S., Gravely, E., Mosby, I., Duncan, E., Finnis, E., Horgan, M., et al. (2019). Automated pastures and the digital divide: How agricultural technologies are shaping labour and rural communities. *Journal of Rural Studies*, 68, 112–122. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2019.01.023>
13. Chamara, H., et al. (2020). Role of artificial intelligence in achieving global food security: A promising technology. *Sri Lanka Journal of Food and Agriculture*, 6(2). <https://doi.org/10.4038/SLJFA.V6I2.88>
14. Spanaki, K., Karafili, E., Sivarajah, U., Despoudi, S., & Irani, Z. (2021). Artificial intelligence and food security: Swarm intelligence of AgriTech drones for smart AgriFood operations. *Production Planning & Control*, 33(16), 1498–1516. <https://doi.org/10.1080/09537287.2021.1882688>
15. Arakpogun, E. O., Elsahn, Z., Olan, F., & Elsahn, F. (2021). Artificial intelligence in Africa: Challenges and opportunities. In *The Fourth Industrial Revolution: Implementation of Artificial Intelligence for Growing Business Success (Studies in Computational Intelligence)*. Springer. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-62796-6_22
16. PwC. (2017). The economic impact of artificial intelligence on the UK economy. <https://www.pwc.co.uk/economic-services/assets/ai-uk-report-v2.pdf>
17. World Economic Forum. (2022). How countries can build an effective AI strategy. <https://www.weforum.org/agenda/2022/12/how-countries-can-build-an-effective-ai-strategy/>
18. Dhal, S. B., & Kar, D. (2024). Transforming agricultural productivity with AI-driven forecasting: Innovations in food security and supply chain optimization. *Forecasting*, 6(4), 925–951. <https://doi.org/10.3390/forecast6040046>
19. Ahmad, A., Diaz, F. J., Parra, L., Sendra, S., & Lloret, J. (2023). *Turning smartphone camera into a fungal infection detector for chickpea seed germination*. In 2023 International Conference on Multimedia Computing, Networking and Applications (MCNA) (pp. 27–32). IEEE. <https://doi.org/10.1109/MCNA59361.2023.10185850>
20. Kutyaauripo, I., Rushambwa, M., & Chiwazi, L. (2023). Artificial intelligence applications in the agrifood sectors. *Journal of Agriculture and Food Research*, 11, 100502. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100502>
21. Martos, V., Ahmad, A., Cartujo, P., & Ordoñez, J. (2021). Ensuring agricultural sustainability through remote sensing in the era of agriculture 5.0. *Applied Sciences*, 11(5911). <https://doi.org/10.3390/app11135911>
22. Ozyilmaz, U. (2020). Evaluation of the effectiveness of antagonistic bacteria against *Phytophthora* blight disease in pepper with artificial intelligence. *Biological Control*, 151, 104379. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2020.104379>
23. Bhoi, S. K., Jena, K. K., Panda, S. K., Long, H. V., Kumar, R., Subbulakshmi, P., & Bin Jebreen, H. (2020). An Internet of Things assisted unmanned aerial vehicle based artificial intelligence model for rice pest detection. *Microprocessors and Microsystems*, 79, 103607. <https://doi.org/10.1016/j.micpro.2020.103607>
24. Toseef, M., & Khan, M. J. (2018). An intelligent mobile application for diagnosis of crop diseases in Pakistan using fuzzy inference system. *Computers and Electronics in Agriculture*, 153, 49–58. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.07.034>
25. Ballela, K., Satyanvesh, D., Sampath, N., Varma, K., & Baruah, P. (2014). Agpest: An efficient rule-based expert system to prevent pest diseases of rice & wheat crops. In 2014 IEEE 8th International Conference on Intelligent Systems and Control (ISCO) (pp. 262–268). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ISCO.2014.7103957>
26. Ferentinos, K. P. (2018). Deep learning models for plant disease detection and diagnosis. *Computers and Electronics in Agriculture*, 145, 311–318. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.01.009>
27. Singla, P., Kalavakonda, V., & Senthil, R. (2024). Detection of plant leaf diseases using deep convolutional neural network models. *Multimedia Tools and Applications*, 83, 64533–64549. <https://doi.org/10.1007/s11042-023-18099-3>

28. Nandhini, M., Kala, K. U., Thangadarshini, M., & Verma, S. M. (2022). Deep learning model of sequential image classifier for crop disease detection in plantain tree cultivation. *Computers and Electronics in Agriculture*, 198, 106915. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.106915>
29. Gao, J., Nuytens, D., Lootens, P., He, Y., & Pieters, J. G. (2018). Recognising weeds in a maize crop using a random forest machine-learning algorithm and near-infrared snapshot mosaic hyperspectral imagery. *Biosystems Engineering*, 170, 39–50. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2018.03.006>
30. Yamaç, S. S., Teixeira, A. D. S., Braga, A. P., Santos, C. C., & Leão, R. A. (2021). Artificial intelligence methods reliably predict crop evapotranspiration with different combinations of meteorological data for sugar beet in a semiarid area. *Agricultural Water Management*, 254, 106968. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.106968>
31. Karasekreter, N., Başçiftçi, F., & Fidan, U. (2012). A new suggestion for an irrigation schedule with an artificial neural network. *Journal of Experimental & Theoretical Artificial Intelligence*. <https://doi.org/10.1080/0952813X.2012.680071>
32. Talaviya, T., Shah, D., Patel, N., Yagnik, H., & Shah, M. (2020). Implementation of artificial intelligence in agriculture for optimisation of irrigation and application of pesticides and herbicides. *Artificial Intelligence in Agriculture*, 4. <https://doi.org/10.1016/j.aiia.2020.04.002>
33. Zhang, C., Di, L., Lin, L., Li, H., Guo, L., Yang, Z., Yu, E. G., Di, Y., & Yang, A. (2022). Towards automation of in-season crop type mapping using spatiotemporal crop information and remote sensing data. *Agricultural Systems*, 201, Article 103462. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2022.103462>
34. Liu, L. W., Ma, X., Wang, Y. M., Lu, C. T., & Lin, W. S. (2021). Using artificial intelligence algorithms to predict rice (*Oryza sativa* L.) growth rate for precision agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106286>
35. Abbaszadeh, P., Gavahi, K., Alipour, A., Deb, P., & Moradkhani, H. (2022). Bayesian multi-modeling of deep neural nets for probabilistic crop yield prediction. *Agricultural and Forest Meteorology*, 314. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2021.108773>
36. Balan, K. S. (2016). Robotic-based agriculture for rural renaissance: Drones and biosensors. *Comprehensive Analytical Chemistry*, 74. <https://doi.org/10.1016/bs.coac.2016.04.017>
37. Bluescreen.kz. (2025). V Kazhstane masshtabno vnedryayut cifrovye tekhnologii i II v sel'skoe hozyajstvo. <https://bluescreen.kz/v-kazakhstanie-masshtabno-vnedryayut-tsifrovye-tiekhnologhii-i-ii-v-sielskoie-khoziaistvo/>
38. Astana Hub. (2024). AI v ustojchivom zemledelii: kak iskusstvennyj intellekt transformiruet sel'skoe hozyajstvo. <https://astanahub.com/ru/blog/ai-v-ustojchivom-zemledelii-kak-iskusstvennyj-intellekt-transformiruet-selskoe-khoziaistvo1725481903>
39. AgroSektor.kz. (2025). Ministerstvo sel'skogo hozyajstva Kazhstana planiruet ispol'zovat' iskusstvennyj intellekt dlya bor'by s saranchoj. <https://agrosektor.kz/agriculture-news/ministerstvo-selskogo-hozyajstva-kazhstana-planiruet-ispolzovat-iskusstvennyj-intellekt-dlya-borby-s-saranchoj.html>
40. Daum, T., Ravichandran, T., Kariuki, J., Chagunda, M., & Birner, R. (2022). Connected cows and cyber chickens? Stocktaking and case studies of digital livestock tools in Kenya and India. *Agricultural Systems*, 196, 103353. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2021.103353>
41. Sun, Y., Huo, P., Wang, Y., Liu, Y., & Liu, Z. (2019). Automatic monitoring system for individual dairy cows based on a deep learning framework that provides identification via body parts and estimation of body condition score. *Journal of Dairy Science*, 102(11), 10140–10151. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-16164>
42. da Rosa Righi, R., Goldschmidt, G., Kunst, R., Deon, C., & da Costa, C. A. (2019). Towards combining data prediction and internet of things to manage milk production on dairy cows. *Computers and Electronics in Agriculture*. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.105156>
43. Denholm, S. J., Brand, W., Mitchell, A. P., Wells, A. T., Krzyzelewski, T., Smith, S. L., Wall, E., & Coffey, M. P. (2020). Predicting bovine tuberculosis status of dairy cows from mid-infrared spectral data of milk using deep learning. *Journal of Dairy Science*. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-18328>
44. Sputnik Kazhstan. (2024, November 11). Raspoznat' byka po morde smozhet iskusstvennyj intellekt v Kazhstane. <https://ru.sputnik.kz/20241111/raspoznat-byka-po-morde-smozhet-iskusstvennyj-intellekt-v-kazhstane-48443519.html>
45. Nygmetov, B. (2025, May 27). Ferma, gde roboty doyat korov. *Kazhstanskaya pravda*. <https://kazpravda.kz/n/ferma-gde-roboty-doyat-korov/>
46. Kazhstan Respublikasy Strategiyalyk zhosparlau zhōne reformalar agenttigi Ylttyk statistika byurosy. (2024). Resmi sajt. <https://stat.gov.kz>
47. IMD World Competitiveness Center. (2024). World Digital Competitiveness Ranking 2024. Lausanne: International Institute for Management Development. <https://www.imd.org/centers/world-competitiveness-center/rankings/world-digital-competitiveness/>

Авторлар туралы мәлімет:

Калиева Асем Ермековна (корреспондент-автор) – PhD, әл-Фараби атындағы ҚазҰУ, Экономика және бизнес жоғары мектебінің аға оқытушысы. (Алматы, Қазақстан, e-mail: assem.kalieva@kaznu.edu.kz);

Салибекова Перизат Қалмырзақызы – экономика ғылымдарының магистранты, Бизнес аналитика және экономика бағдарламасының жетекшісі, Экономика және қаржы мектебінің аға оқытушысы. (Алматы, Қазақстан, e-mail: p.salibekova@altau.edu.kz);

Андабаева Гүлмира Кенжеғалиевна – экономика ғылымдарының кандидаты, әл-Фараби атындағы ҚазҰУ, Экономика және бизнес жоғары мектебінің қауымдастырылған профессоры. (Алматы, Қазақстан, e-mail: andabayeva.gulmira@kaznu.kz);

Балтабай Томирис Мақсатқызы – әл-Фараби атын. ҚазҰУ, Экономика және бизнес жоғары мектебі, Экономика кафедрасы «8D04102 – Экономика» мамандығының 1 курс докторанты. (Алматы, Қазақстан, e-mail: tomirisbaltabay18@gmail.com).

Information about authors:

Asem Yermekovna Kaliyeva (corresponding author) – PhD, Senior Lecturer at the Higher School of Economics and Business, Al-Farabi Kazakh National University. (Almaty, Kazakhstan, e-mail: assem.kaliyeva@kaznu.edu.kz);

Perizat Kalmyrzakzy Salibekova – Master's student in Economics, Program Leader of "Business Analytics and Economics", Senior Lecturer at the School of Economics and Finance. (Almaty, Kazakhstan, e-mail: p.salibekova@altau.edu.kz);

Gulmira Kenzhegalievna Andabayeva – Candidate of Economic Sciences, Associate Professor at the Higher School of Economics and Business, Al-Farabi Kazakh National University. (Almaty, Kazakhstan, e-mail: andabayeva.gulmira@kaznu.kz);

Baltabay Tomiris Maksatkyzy – Al-Farabi Kazakh National University Higher School of Economics and Business 1st year doctoral student in the specialty «8D04102 – Economics». (Almaty, Kazakhstan, email: tomirisbaltabay18@gmail.com).

Информация об авторах:

Калиева Асем Ермековна (корреспондент-автор) – PhD, старший преподаватель Высшей школы экономики и бизнеса КазНУ им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан, e-mail: assem.kaliyeva@kaznu.edu.kz);

Салибекова Перизат Калмырзаковна – магистр экономических наук, руководитель программы Бизнес-аналитики и экономики, старший преподаватель Школы экономики и финансов (Алматы, Казахстан, e-mail: p.salibekova@altau.edu.kz);

Андабаева Гультмира Кенжегалиевна – кандидат экономических наук, ассоциированный профессор Высшей школы экономики и бизнеса КазНУ им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан, e-mail: andabayeva.gulmira@kaznu.kz);

Балтабай Томирис Максатовна – докторант 1 курса по специальности «8D04102 – Экономика» Высшей школы экономики и бизнеса КазНУ им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан, e-mail: tomirisbaltabay18@gmail.com).

*Келін түсті: 25 наурыз 2025 жыл
Қабылданды: 20 маусым 2025 жыл*