

**ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ**

**«Л.Н. ГУМИЛЕВ АТЫНДАҒЫ ЕУРАЗИЯ ҰЛТТЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ» КЕАҚ**

**Студенттер мен жас ғалымдардың  
«ҒҮЛЫМ ЖАҢЕ БІЛІМ - 2025»  
XIX Халықаралық ғылыми конференциясының  
БАЯНДАМАЛАР ЖИНАҒЫ**

**СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ  
XX Международной научной конференции  
студентов и молодых ученых  
«ҒҮЛЫМ ЖАҢЕ БІЛІМ - 2025»**

**PROCEEDINGS  
of the XX International Scientific Conference  
for students and young scholars  
«ҒҮЛЫМ ЖАҢЕ БІЛІМ - 2025»**

**2025  
Астана**

УДК 001(06)  
ББК 72я631  
F96

**«GYLYM JÁNE BILIM – 2025» студенттер мен жас ғалымдардың  
XX Халықаралық ғылыми конференциясы = XX Международная  
научная конференция студентов и молодых ученых «GYLYM JÁNE  
BILIM – 2025» = The XX International Scientific Conference for  
students and young scholars «GYLYM JÁNE BILIM – 2025». – Астана:  
– 3813 б. - қазақша, орысша, ағылшынша.**

ISBN 978-601-08-5373-7

**Жинаққа студенттердің, магистранттардың, докторанттардың және жас  
ғалымдардың жаратылыстану-техникалық және гуманитарлық ғылымдардың өзекті  
мәселелері бойынша баяндамалары енгізілген.**

**The proceedings are the papers of students, undergraduates, doctoral students and young  
researchers on topical issues of natural and technical sciences and humanities. В сборник  
вошли доклады студентов, магистрантов, докторантов и молодых ученых по  
актуальным вопросам естественно-технических и гуманитарных наук.**

УДК 001(06)  
ББК 72я431  
F96

ISBN 978-601-08-5373-7

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия  
ұлттық университеті, 2025

		сауаттылығын арттыру	
203.	Эрболат А.	Орта мектепте нанотехнология ұғымын оқытудың тиімді әдістері	808

## СЕКЦИЯ 2

### СОВРЕМЕННЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ И КОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Подсекция 2.1			
Цифровая трансформация образования			
204.	Адалбек Н.	«Традиционные и интеллектуальные подходы в обучении»	812
205.	Бакенова А.А.	«Цифровизация тестирования: разработка нейросетевого приложения для формирования заданий по английской грамматике»	816
206.	Бекмурат А.Е.	«Инновационные методы обучения информатике в школе на основе искусственного интеллекта»	821
207.	Назарова А.Т.	«Развитие цифровых компетенций учителей в условиях персонализированного обучения»	826
208.	Нуриева Д.Р.	«Цифровая трансформация педагогики: роль информационных технологий в повышении квалификации преподавателей»	830
209.	Абдуашимова П.М.	«Білім беру процесінде жасанды интеллект технологияларын қолданудың тиімділігі»	833
210.	Ажибаева А.Д.	«Мектеп информатикасын оқытудағы кемшіліктерді жою жолдары»	837
211.	Асылбек М.А.	«Орта мектепте білім беру үдерісінде үлкен деректерді қолдану әдістемесі»	842
212.	Аталова А.Е.	«Әлеуметтік желілерді информатика пәні бойынша оқыту құралы ретінде пайдалану»	845
213.	Балтабаев Н.П.	«Мектептерде сабақ кестесін автоматтандыруға арналған интеллектуалды жүйе құру»	851
214.	Балтабаев Н.П., Дәрменов Ә.М., Мұратова М.М.	«Жасанды интеллект негізінде жаратылыстану пәндерін оқытуды жетілдіру: BilimALL AI платформасының мүмкіндіктері»	854
215.	Баумуратова Х.Б.	«АКТ оқыту барысында бастауыш сынып оқушыларының цифрлық сауаттылықтарын қалыптастырудың әдістемесі»	856
216.	Баумуратова Ш.Б.	«Жасанды интеллект негізінде инклюзивті білім беруді жетілдіру»	859
217.	Ғазиз Ж.Е.	«Бастауыш мектепте ақпараттық-коммуникациялық технологияларды оқыту әдістемесі»	863
218.	Дәрменов Ә.М.	«Информатиканы қолжетімді ететін мобильді "BilimAll" қосымшасы»	866
219.	Дүйсегалиева Н.А.	«HIGH-TOUCH HIGH-TECH моделі арқылы болашақ информатика мұғалімдерін машиналық оқыту негізінде даярлаудың	870

	инновациялық тәсілдері туралы»	
220.	Еликбай А.Ж. «Ақпараттық дәуірде білім берудің жаңа кезеңі – Инфографика»	874
221.	Жаңабекқызы А. «EDCAFE AI көмегімен сабақты жоспарлау»	879
222.	Жумабекова У.Б., Сабырова М.Е., Сабыров Т.С. «Информатика пәнін жобалап оқыту технологиясы»	883
223.	Кендебай Н.А. «EDUVISION білім беру процесін қадағалайтын қосымша»	888
224.	Көшенова А. «Цифрлық сауаттылықтың мектеп курсы бойынша интеллектуалдық оқу басылымдарына арналған дидактикалық материалдар»	891
225.	Куанышева Д.Ж. «Инклюзивті білім беруде педагогтың ақпараттық-коммуникациялық технологияларды (АКТ) қолдану даярлығын жетілдіру»	893
226.	Мауленова М.А. «Үлкен деректерді өңдеуде машиналық оқытудың әдістері мен құралдары»	897
227.	Мылтыкбаева Ж.Т. «Жаратылыстану пәндерін STEM білім беру мен ROS операциялық жүйесі негізінде кешенді оқыту»	901
228.	Надирхан Г.Е. «Ауыл мектептерінде цифрлық оқытуды дамыту мүмкіндіктері»	903
229.	Орынбаев М.Ж. «Компьютерлік көру алгоритмдерін машиналық оқыту негіздері бойынша қолданудың оқу-әдістемелік негіздері»	907
230.	Сабитова А.Б., Ражапова А.Н. «Жасанды интеллект және білім: болашақ мұғалімдерге арналған жаңа мүмкіндіктер»	910
231.	Сағындықова А.С. «Болашақ информатика мұғалімдерін магистратураға даярлаудағы онлайн-курстардың рөлі»	915
232.	Сайлау Ж.Б. «Халықаралық зерттеуге оқушыларды АКТ арқылы дайындаудағы педагогтердің құзыреттілігін арттыру жолдары»	918
233.	Төрәлі Қ.Н. «Бастауыш сынып оқушыларының цифрлық сауаттылығын дамытудың ерекшеліктері»	923
234.	Турмаганбетова З.П., Алтыбаева А.Н. «Ерекше білімді қажет ететін оқушыларға мектеп информатика курсы оқытуды ұйымдастыру»	927
235.	Халхабай А. ««Алгоритмдеу және бағдарламалау» курсы бойынша мобильді қосымшаны оқу үдерісінде қолдану»	931
236.	Ысмайыл Н. «Мектеп информатика курсына жобалық оқыту әдісін енгізу»	936
237.	Ізбасарова М.Р. «Білім берудегі тестілеу жүйелері»	938

## Подсекция 2.2

### Интеллектуальные информационные системы

238.	Amantayeva Gulden Turarkyzy «Comparative analysis of models and methods in heart disease prediction problems»	944
------	---	-----

239.	Tanirbergenov Meirbek Sagyndykovich «Facial Recognition-Based Attendance Management»	947
240.	Toleubay Daniyar Manatuly «Cardiac disease prediction using machine learning algoritms»	952
241.	Yerezhepov Rakhat Aibulatovich «Detecting logical fallacies in web content with nlp-powered crawling»	957
242.	Ажикенов Арман Русланович, Абашев Арслан Азатабекович «Оптимизация дорожного трафика в Астане через симуляцию транспортных потоков»	962
243.	Аманжол Альфараби Маликович, Сабит Мадияр, Кушербаев Бекзат Алибекулы «Система визуализации и анализа данных о передвижении нефти на основе интерактивной карты»	968
244.	Аскапова Мадина Куанышбековна «Параллельді қазақ-түрік сөйлеу корпусы қалыптастырудың әдісі мен моделін құру»	972
245.	Бекқожин Дастан Ақанұлы «Терең оқыту негізінде қолжазба таңбаларын тану программалық құралын әзірлеу»	975
246.	Дакенов Алишер Мырзахметұлы «Анализ сигналов ЭЭГ нейросетевыми методами для ранней диагностики нейродегенеративных заболеваний»	978
247.	Доспол Нәзгүл Нурланқызы, Жеткенбай Лена «Балабақшадағы балалардың эмоциялық жағдайын бақылауға арналған эмоцияларды тану жүйесін әзірлеу»	987
248.	Ермекбай Айболат, Молдабек Елжан «Жасанды интеллект негізінде веб-қосымша әзірлеу»	992
249.	Жұмал Жания Ержанқызы, Абдурахман Жансая Берікжанқызы «Применение голосового ИИ-помощника в геймифицированной образовательной среде»	1001
250.	Каримов Руслан Жасинович «Эффективность существующих ИИ-решений в основных направлениях транспортной логистики»	1007
251.	Кубиева Сабина Талгатовна, Утепбергенова Зарина Арманкызы «Разработка iot системы по уходу за растениями на базе искусственного интеллекта»	1012
252.	Кудобаев Даниал Дулатович «Разработка информационной системы для автоматизации стоматологических услуг»	1017
253.	Мусина Данель Тлеухановна «Интеллектуальные инструменты автоматизированной диагностики надежности информационных систем»	1024
254.	Рогова Ксения Александровна, Қабдыбек Ризат Досмжанұлы, Джумадиева Тогжан Бекежановна «Мониторинг инженерных конструкций на основе искусственного интеллекта»	1030

255.	Сафонова Софья Александровна «Современные аспекты информационной безопасности в облачных вычислениях: модели, угрозы и методы защиты»	1034
256.	Смаилова Назгүл Батырбекқызы «Терең оқыту арқылы кітап ұсыныстарын әзірлеу: collaborative filtering, content-based және nlp әдістерінің комбинациясы»	1041
257.	Тажібай Аружан Айдосқызы, Кудубаева Сауле Альжановна «Көру қабілеті әлсіз адамдарға арналған ai дауыстық көмекші: нақты уақытта объектілерді анықтау және қашықтықты бағалау»	1046
258.	Тайжанов Азамат Жанкелдіұлы «Python тілінде фильмдердің интеллектуалды ұсыныс жүйесін әзірлеу»	1051
259.	Умирзахов Сундетали Кабылбекович «Сұраныстарды интеллектуалды талдау негізінде ұйымның сайты үшін чат-бот құру»	1055
260.	Шайхстан Марғұлан «ИОТ Сенсорлары негізінде ауа ластану деңгейін болжау»	1060

### Подсекция 2.3

#### Современные тенденции в программной инженерии и управлении в условиях цифровой индустрии

261.	Bekenova A.B. «Development of a registration panel for users and doctors with integration into the database»	1077
262.	Bolat A.Zh. «Data analysis methods and decision making using big data and machine learning tools»	1081
263.	Алтайұлы А. «Visual studio интегралды ортасында «қойма қызметкерлеріне арналған» мәліметтер қорын жобалау»	1086
264.	Арап А.Қ. «Ақылды сурет салушы роботты әзірлеу»	1088
265.	Артыкбекқызы А. «Ақылды үйлердегі заттар интернеті(iot) мен робототехниканың өзара әрекеттесуі»	1091
266.	Ахметова А.Д. «Тоңазытқыштағы өнімдерді бақылауға және тағам әзірлеу ұсынысын беруге арналған программалық қосымша»	1096
267.	Дәрібай Д.Д. «Робототехниканы қолдану арқылы қойма логистикасындағы қолданыстағы басқару жүйелерін талдау»	1100
268.	Жамбулов С.Ж. «Білім алушыларды информатика және программалау олимпиадаларына дайындауда жасанды интеллекттің қолданысы»	1102
269.	Каиржан Р.С. «Development of system for recognition of emotional states of employees based on computer vision methods on Raspberry Pi»	1108
270.	Кайрекенова Н.Р. «Өнеркәсіптік роботты көру үшін машиналық оқытудың заманауи тәсілдері: әдістер, деректер жиынтығы және оптимизациялау»	1111

271.	Калижан А.К. «Разработка системы биометрической аутентификации с предотвращением deepfake атак»	1113
272.	Касылкасова К.Н. «Программное обеспечение smartmed для обработки медицинских данных и диагностики»	1118
273.	Қабдешев Ә.Е. «Жөтелді талдау негізінде денсаулықты диагностикалаудың интеллектуалды программасын әзірлеу»	1120
274.	Махаев Е.Е. «Разработка облачного приложения для автоматизации деятельности сети аптек»	1123
275.	Муратов М.М. «Эффективность единой информационной системы агропромышленного комплекса»	1126
276.	Нуржанова А.Б. «Современные методы классификации эмоций: анализ подходов и перспективы развития»	1130
277.	Нурпеисова З.Р. «Обзор и исследование методов искусственного интеллекта для анализа рынка недвижимости»	1134
278.	Рақымбек А.С. «Кітапқұмарларға арналған платформа: кітаптарды оқу және бөлісу үшін әлеуметтік желіні жобалау және іске асыру»	1138
279.	Сагидуллина Д.С. «Visual studio интегралды ортасында «қаржылық транзакцияларды қадағалау және талдауға арналған» мәліметтер қорын жобалау»	1144
280.	Төлеубай Д.М. «Yolov10 қолдану арқылы рентген суреттерінде сүйек сынуын анықтауды кешенді зерттеу»	1147
281.	Утегенова Д.Б. «Visual studio интегралды ортасында «фитнес орталық қызметкері үшін» мәліметтер қорын жобалау»	1152
282.	Шаймуратов А.Ж. «Проектирование аппаратно-программного комплекса для автоматизированного учета железнодорожного подвижного состава»	1154
<b>Подсекция 2.4</b>		
<b>Информационная безопасность</b>		
283.	Akniyet N. «Smart home automation and security system using arduino uno r4 and esp32 microcontrollers with telegram integration»	1158
284.	Askhatov A. «Analysis of social engineering methods and development of a defense strategy for corporate structures»	1165
285.	Bekturganov A.B. «Development of an early detection model for ddos attacks based on network traffic analysis»	1170
286.	Gabdullin A. «Analysis of modern wireless network security protocols and prospects for their development»	1174

287.	Garifullin A. «Modern information security management systems: construction and implementation in the digital era»	1179
288.	Igumenshev D.V. «Methods of embedding malicious code into pdf files»	1182
289.	Issabay T.B. «Utilizing sandboxes for cybersecurity training: a hands-on approach»	1187
290.	Kalybayev S. «Overview of modern authentication methods in telecommunication systems: from passwords to biometrics»	1191
291.	Kerim A. «Owasp top 10 and alternative methods of its compilation»	1194
292.	Yergazin A. «Analysis of a protection of hybrid intrusion detection and prevention system (idps) for low-latency 5g networks with adaptive learning using edge computing»	1199
293.	Yerzhanova Y.Y. «Key attacks in web forensics: xss, sql injection and rce»	1204
294.	Zhakay A. «Fundamentals of modern cryptography: from encryption to digital signatures»	1209
295.	Айдарова А.А. «Visualvm көмегімен cast-128 және kuznyechik блоктық шифрларының кілт генерациясын салыстыру және стандарттарға шолу»	1214
296.	Акимбекова Д.М., Каиржанова Д.Ж. «Жергілікті желінің қауіпсіздігін қамтамасыз ететін негізгі параметрлер»	1220
297.	Аскарлов А.Д. «Разработка и исследование эффективности метода и инструмента для выявления фейковых новостей в социальных сетях»	1224
298.	Ауесхан Н. «Аномалияларды анықтау әдістерін талдау»	1229
299.	Ерболатов А. «Анализ вредоносных программ с помощью ии и криптографическая защита»	1332
300.	Ерболатова А.Ж. «Neuvector және kubernetes: контейнерлік ортадағы қауіпсіздікті қамтамасыз ету тәсілдері»	1336
301.	Жанатаев М.К. «Стеганография на основе lsb: реализация сокрытия данных в медиафайлах»	1338
302.	Жарасхан Н.Ж., Қайупов Е.К. «Crystals-kyber алгоритмін ресурсы шектеулі құрылғыларға оңтайландыру»	1343
303.	Жолдасбаев М.Ә. «Заманауи операциялық жүйелердегі жады дампы кескінін алу құралдарын талдау және салыстыру»	1348
304.	Жолмұратұлы Б., Маратов Ә.Б., Ховдабай Н.А. «Екі факторлы	1353

	аутентификацияның қауіпсіздігі және оның қолданылуы»	
305.	Кадринов Д.М. «Автоматизация внедрения альтернативной soag платформы на основе средств со свободной лицензией»	1357
306.	Казбаганбетова М.А. «Wireshark бағдарламасын пайдаланып желілік трафикті талдау және ақпараттық қауіпсіздікті қамтамасыз ету»	1361
307.	Кәкімбек Ә.Қ., Серікбай А.Е., Наурызбаев Д.Е. «MITM шабуылы туралы»	1366
308.	Кеттеш Б.Н. «ELF талдауындағы capstone: сызықтық және рекурсивті дизассемблерлеу»	1370
309.	Көшкінбаева Ф.Қ. «Linux қорғаудың заманауи әдістеріне талдау.openvas және nmap көмегімен осалдықтарды анықтау»	1374
310.	Қадыр Н.Е. «Заманауи фишинг түрлері мен олардың ұйымдық ақпараттық жүйелерге ықпалы»	1379
311.	Қажкен Е.Е., Темиржан С.А. «Қауіпсіздік инциденттеріне қалай жауап беруге болады?»	1384
312.	Қартбай Е.Ғ., Тынарбай Н.И. «MITM шабуылы (адамның ортадағы шабуылы)»	1388
313.	Маратов Б.Ж. «Әлеуметтік инженерия қауіпсіздікке қатер ретінде: қызметкерлерді қорғау және оқыту әдістері»	1393
314.	Мағзумов А.М. «Websocket протоколындағы осалдықтарды талдау»	1397
315.	Майданов А.С. «Автоматизация процесса анализа оперативной памяти с использованием python»	1401
316.	Мақсат Ә., Нурсейтов С. «Блокчейн қажеттілік пе, әлде сән бе?»	1406
317.	Қ. Мырзағалиұлы. «Инциденттерді анықтауда желілік логтарды талдаудың маңызды рөлдері»	1409
318.	Нурбатуров С.К. «Интеграция honeypot в ит-инфраструктуру компании»	1412
319.	Нуриева Д.Р., Исайнова А.Н. «Анализ рисками безопасности данных в медицинских учреждениях»	1415
320.	Нұрлан А.Т. «Кескіндердегі статистикалық стегоанализ әдістері»	1420
321.	Оралбеков Е.А. «Ddos-шабуылдардың жаңа буыны»	1424

322.	Рамазанова Ж, Нұрлан А, Жайсанбаева А. «Бұлтты технологияларды пайдалану кезіндегі тәуекелдер мен қауіпсіздік шараларын зерттеу»	1430
323.	Сахатбекқызы Т., Бахтиярқызы Т.А. «IoT құрылғыларының желідегі қауіпсіздігін қалай қамтамасыз етуге болады: стратегиялар және packet tracer көмегімен модельдеу»	1434
324.	Серғазы М. «Повышение производительности разработчиков с помощью интегрированных искусственных интеллектов и соображения кибербезопасности»	1440
325.	Султанов А.М. «Стеганография в кибербезопасности казахстана»	1443
326.	Танатаров Е., Іргебай С., Султанов А. «WI-FI желісінде шақырылмаған қонақтарды автоматты түрде анықтау жүйесі»	1447
327.	Таубай М.Е. Рамагуллаев Ә.А. «Фишинг: желідегі beef әдісі арқылы алдау және одан сақтану»	1452

### СЕКЦИЯ 3 ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ

		ПОДСЕКЦИЯ 3.1 АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОЙ БИОЛОГИИ	
328.	Акимкара А.Б.	Гербарийдің ботаникалық зерттеулерде қолданылуы және гербарий қорындағы кеппе шөптің қалыптасу ерекшеліктері	1457
329.	Ақылбек А.	Астана қаласындағы ботаникалық бағының ландшафттағы <i>geranium sanguineum</i> биологиялық ерекшеліктеріне сипаттама беру	1459
330.	Әділхан Ж.	Мобильді байланыс пен қолданбалардың адамның мінез-құлқына әсерін анықтау	1463
331.	Базарбаева Қ.	Жасөспірімдерде девиантты мінез-құлықтың даму қаупі	1467
332.	Байдосова А.Б.	Методика использования игровых технологий на уроках биологии	1471
333.	Байдосова А.Б.	Актуальные проблемы современной биологии с использованием игровых технологий в образовании	1474
334.	Ғазизова Ә.	Сәулеленген егеуқұйрықтардың бүйректеріндегі морфофункционалдық өзгерістерді салыстырмалы бағалау	1477
335.	Еркін З.Б.	Биология сабақтарында оқушылардың сыни ойлау қабілетін жетілдіруде блум таксономиясын пайдалану	1482
336.	Жанабергенова	Кенеттен жүрек өлімі: генетикалық аспектілері	1486

## ІОТ СЕНСОРЛАРЫ НЕГІЗІНДЕ АУА ЛАСТАНУ ДЕҢГЕЙІН БОЛЖАУ

Шайхстан Марғұлан

[shaihstanmargulan@gmail.com](mailto:shaihstanmargulan@gmail.com)

Л.Н.Гумилев атындағы ЕҰУ Ақпараттық технологиялар факультеті Жасанды Интеллект  
Технологиясы кафедрасының студенті, Астана, Қазақстан

Ғылыми жетекшісі - Садвақасов Р.М

### Аңдатпа

Іот технологиясына негізделген ауа сапасын бақылау жүйелерінің машиналық оқыту алгоритмдерімен біріктірілуі қалалық ортадағы ластану деңгейін болжау және талдау мүмкіндіктерін айтарлықтай жақсартты. Бұл зерттеу нақты уақыттағы деректерді пайдалана отырып, AQI (Ауа сапасының индексі) көрсеткішін дәл болжау үшін Іот сенсорлары мен Random Forest регрессиясының қолданылуын қарастырады. Зерттеу барысында ауа сапасын болжауда кездесетін негізгі мәселелерге тоқталып, деректерді алдын ала өңдеу, аномалияларды анықтау және есептеу тиімділігін арттыру мақсатында бұлттық және шеткі есептеу технологияларының рөлі зерттелді.

Зерттеуде қолданылған деректер жиынтығы әртүрлі аймақтардан жиналған ауа ластану көрсеткіштерінен тұрады, оның ішінде PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>, NO<sub>2</sub>, CO және O<sub>3</sub> деңгейлері қамтылған. Деректердің сенімділігін қамтамасыз ету үшін жетіспейтін мәндерді толтыру және шектен тыс ауытқуларды анықтау сияқты алдын ала өңдеу әдістері қолданылды. Random Forest моделі тарихи ластану деректерінде үйретіліп, бағаланды. Нәтижесінде, Орташа Квадраттық Қате (MSE) 23.22, ал R<sup>2</sup> көрсеткіші 0.997 мәніне жетіп, жоғары болжам дәлдігін көрсетті.

Сонымен қатар, AQI таралу гистограммалары, ластанушы заттар арасындағы корреляция жылу карталары және геокеңістіктік карталау әдістері ластану үлгілерін талдауға көмектесті. Зерттеу нәтижелері бұлттық есептеулердің кең ауқымды мониторинг үшін маңыздылығын көрсетсе, шеткі есептеу технологиясы деректерді жергілікті деңгейде өңдеу арқылы кідірісті азайтып, жауап беру уақытын жақсартады.

Бұл зерттеу Іот негізіндегі ауа сапасын бақылау және машиналық оқытуды біріктіру ластану деңгейін болжауды айтарлықтай жақсарта алатынын көрсетеді. Дегенмен, сенсорларды калибрлеу, деректерді біріктіру және есептеу ресурстарын оңтайлы бөлу сияқты мәселелерді шешу қажет. Болашақ зерттеулерге метеорологиялық факторларды модельге қосу және терең оқыту әдістерін қолдану арқылы болжам дәлдігін арттыру кіреді.

Кілт сөздер: Ауа сапасын болжау, Іот сенсорлары, Машиналық оқыту, Random Forest, AQI болжамы, Қоршаған ортаны мониторингтеу, Бұлттық есептеу, Шеткі есептеу, Ластану деректерін талдау, Ақылды қалалар.

## **Кіріспе**

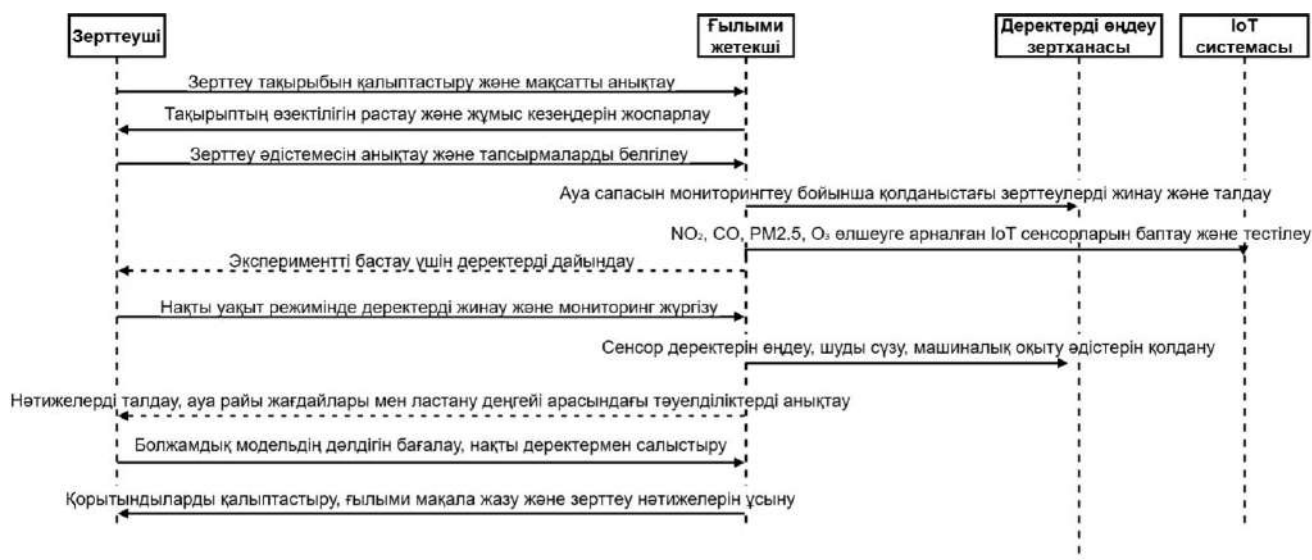
Ауа сапасын бақылау – қазіргі заманның маңызды міндеттерінің бірі. Урбанизация, индустрияландыру және көлік инфрақұрылымының дамуы қоршаған ортаның ластану деңгейінің артуына ықпал етеді. Ауаның ластануы – тек экологиялық қана емес, сонымен қатар әлеуметтік аспектілерге де әсер ететін жаһандық мәселе. Ауа сапасын бақылау және болжаудың тиімді әдістерін әзірлеу тұрақты дамуды қамтамасыз ету, халықтың денсаулығын қорғау және қоршаған ортаны сақтау үшін негізгі рөл атқарады.

Осы зерттеудің мақсаты – IoT сенсорларын пайдалана отырып, ауа сапасын бақылаудың заманауи әдістерін зерттеу, сондай-ақ ластану деңгейін болжау үшін тиімді деректерді талдау алгоритмдерін әзірлеу және енгізу. Бұл мақсатқа жету үшін бірқатар міндеттерді орындау қажет, оның ішінде ластаушы заттарды өлшеудің қолданыстағы әдістерін талдау, ауа сапасын бақылауға арналған сенсорлардың сипаттамаларын зерттеу және жасанды интеллект пен машиналық оқыту технологияларын ескере отырып, деректерді өңдеу жүйесін әзірлеу.

Ауаның ластануы адам денсаулығына айтарлықтай әсер етеді, тыныс алу және жүрек-қан тамырлары ауруларынан бастап, созылмалы аурулар мен мерзімінен бұрын өлімге дейінгі кең ауқымды мәселелерді туындатады. Дүниежүзілік денсаулық сақтау ұйымының (ДДСҰ) деректеріне сәйкес, қатты бөлшектердің (PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>), азот диоксидінің (NO<sub>2</sub>), көміртек тотығының (CO) және озонның (O<sub>3</sub>) жоғары концентрациясы ауыр зардаптарға әкелуі мүмкін. Олардың ішінде демікпенің асқынуы, өкпе функциясының төмендеуі және жүрек-қан тамырлары ауруларынан өлім деңгейінің артуы бар. Денсаулыққа әсерінен бөлек, ауаның ластануы экожүйелердің бұзылуына, су мен топырақ сапасының нашарлауына, климаттың өзгеруіне және биологиялық әртүрліліктің азаюына да ықпал етеді. [10]

Ауа сапасын бақылаудың әртүрлі әдістері кең таралғанына қарамастан, қолданыстағы тәсілдердің бірқатар шектеулері бар. Дәстүрлі бақылау станциялары жоғары дәлдіктегі деректерді ұсынғанымен, олардың орнату және қызмет көрсету құны жоғары болғандықтан, саны шектеулі. Бұл оларды, әсіресе, дамушы елдер мен шалғай аймақтарда кеңінен қолдануды қиындатады. Соңғы жылдары ауа сапасын бақылаудың жаңа әдістері пайда болды. Оларға мобильді және бекітілген IoT сенсорлары, бұлттық есептеу және машиналық оқыту алгоритмдері жатады. Бұл технологиялар өлшеу ауқымын кеңейтіп, болжамның дәлдігін арттыруға мүмкіндік береді. Дегенмен, олардың да шектеулері бар, мысалы, сенсорларды калибрлеу қажеттілігі, қоршаған орта жағдайларына жоғары сезімталдық және үлкен көлемдегі деректерді өңдеудің күрделілігі.

Бұл зерттеудің өзектілігі – нақты уақыт режимінде ауаның ластану деңгейін тиімді бақылап, оның өзгерістерін болжай алатын қолжетімді, сенімді және ауқымды жүйелерді әзірлеу қажеттілігімен байланысты. Ластануды бақылау саласына IoT технологиялары мен жасанды интеллектті енгізу болжам сапасын жақсартып, ықтимал қауіптерді жедел анықтауға және оларды болдырмау шараларын әзірлеуге мүмкіндік береді.



1-сурет. Ғылыми-зерттеу жұмысын жүргізу процесінің реттілік диаграммасы.

Бұл саладағы ғылыми-зерттеу жұмысының процесі бірнеше дәйекті кезеңдерден тұрады, олар деректермен жұмыс істеуді ұйымдастыруға және болжаудың жоғары дәлдігін қамтамасыз етуге мүмкіндік береді. 1-суретте зерттеудің негізгі кезеңдерін көрсететін процесс диаграммасы берілген. Онда тақырыпты таңдаудан және деректерді жинаудан бастап, нәтижелерді талдау мен қорытындыларды қалыптастыруға дейінгі қадамдар сипатталған.

Жұмыстың маңызды бөлігі – деректерді дұрыс интерпретациялау, оларды нормализациялау және тиісті өңдеу әдістерін қолдану. Бұл ауаның ластану деңгейін сенімді түрде болжауға мүмкіндік береді.

Осылайша, бұл зерттеу ауа сапасын мониторингтеудің өзекті мәселелерін шешуге бағытталған және озық технологияларды қолдану арқылы экологиялық жағдайды едәуір жақсартуға, сондай-ақ ластаушы заттардың адам денсаулығы мен қоршаған ортаға теріс әсерін азайтуға ықпал етуі мүмкін.

## **IoT технологиялары арқылы ауа сапасын бақылау**

### **2.1. IoT жүйелерінің архитектурасы (бекітілген және мобильді сенсорлар)**

IoT сенсорларын пайдалана отырып, ауа сапасын бақылау екі негізгі құрылғы түрін қамтиды: бекітілген және мобильді сенсорлар. Екі тәсілдің де өзіндік ерекшеліктері бар, олар қалалық ортадағы ауаның ластану деңгейін толық зерттеуге мүмкіндік береді.

Бекітілген сенсорлар стационарлық бекеттерде орналастырылып, белгілі бір нүктелерде үздіксіз деректер жинауды қамтамасыз етеді. Бұл сенсорлар ғимараттардың шатырларына, жарық бағаналарына немесе басқа биік құрылымдарға орнатылады, бұл оларды жергілікті кедергілерден (мысалы, жол бойындағы автомобиль газдары) оқшаулауға көмектеседі. Олар NO<sub>2</sub>, CO, PM2.5 және O<sub>3</sub> сияқты ластаушы заттардың деңгейін өлшеп, алынған деректерді талдау үшін бұлттық серверлерге жібереді [10].

Бекітілген сенсорлардың басты артықшылығы – өлшеулердің жоғары дәлдігі мен тұрақтылығы. Алайда, мұндай жүйелерді орнату мен қызмет көрсету айтарлықтай шығындарды талап етеді, сондай-ақ олардың қамту аймағы шектеулі, бұл ластанудың динамикалық өзгерістерін толық бақылауға мүмкіндік бермейді.

Мобильді сенсорлар көлік құралдарына, дрондарға немесе киілетін құрылғыларға орнатылады. Олар қозғалыс барысында деректерді жинап, қаланың әртүрлі нүктелеріндегі ластану деңгейін тіркейді. MAQUMON (Mobile Air Quality Monitoring Network) жобасында сенсорлар автокөліктерге бекітіліп, озон, көміртек тотығы және азот диоксиді концентрациясын өлшейді. Деректер Bluetooth арқылы смартфондарға немесе ноутбуктерге жіберіліп, кейін Wi-Fi арқылы серверге жүктеледі. Бұл қаладағы ауаның ластану деңгейін егжей-тегжейлі картаға түсіруге мүмкіндік береді [1].

Мобильді сенсорлардың негізгі артықшылығы – икемділігі мен кең аумақты қамтуы. Олар жолдағы кептелістер мен өнеркәсіптік аймақтардағы ластану өзгерістерін нақты уақыт режимінде бақылауға мүмкіндік береді. Алайда, олардың дәлдігі бекітілген жүйелерге қарағанда төмен, себебі өлшеулерге қозғалыс жылдамдығы, ауа райы жағдайлары және жергілікті шығарындылар әсер етуі мүмкін.

Ауа сапасын тиімді бақылаудың ең жақсы стратегиясы – бекітілген және мобильді сенсорларды үйлестіріп қолдану. Бекітілген станциялар тұрақты деректерді қамтамасыз етсе, мобильді сенсорлар ақпараттық олқылықтарды толтырып, кеңістіктік ажыратымдылығы жоғары деректер алуға мүмкіндік береді. Оңтүстік Кореяда жүргізілген зерттеу нәтижесінде осы әдістерді біріктіру тек ластану деңгейін өлшеуге ғана емес, сонымен қатар оның өзгерістерін машиналық оқыту алгоритмдері арқылы болжауға да мүмкіндік беретіні көрсетілді [10].

IoT желілерін пайдалану үлкен көлемдегі деректер ағынын өңдеуге, үрдістерді талдауға және халықты қолайсыз жағдайлар туралы ескертуге мүмкіндік береді. Осы тәсілдің арқасында ластану мониторингі қолжетімді әрі дәлірек бола түсіп, қалалардың экологиялық жағдайын жақсартуға ықпал етеді.

### **2.2. LPWA (Low Power Wide Area) желілерін деректерді жеткізу үшін пайдалану**

IoT сенсорларын қолданатын ауа сапасын бақылау жүйелерінде деректерді жеткізу кең аумақты қамтуды, төмен қуат тұтынуды және кедергілерге төзімділікті қамтамасыз ететін шешімдерді талап етеді. Ең тиімді әдістердің бірі – аз қуатты кең аумақтық желілер (Low Power Wide Area, LPWA) технологияларын қолдану. Бұл желілер шағын көлемдегі деректерді алыс қашықтықтарға жеткізу үшін оңтайландырылған. LPWA желілері үш негізгі деңгейден тұрады [3]:

1. Сенсорлық қабат – деректерді жинау құрылғыларын қамтиды, олар ластаушы заттардың (PM2.5, NO<sub>2</sub>, CO, O<sub>3</sub>) концентрациясын өлшеп, деректерді LPWA модулі арқылы жібереді.
2. Желілік қабат – IoT сенсорларын интернет шлюздерімен байланыстыратын LPWA базалық станцияларынан тұрады.
3. Бұлттық қабат – алынған деректерді өңдеу, сақтау және талдауға жауап береді.

LPWA технологиясын қолдану сенсорлардың энергия тұтынуын едәуір төмендетіп, олардың батареяны алмастырмай бірнеше жыл жұмыс істеуін қамтамасыз етеді. LPWA бірнеше стандарттарды қамтиды, олардың ішінде LoRa (Long Range) және NB-IoT (Narrowband IoT) ең кең таралған. Ауа сапасын бақылау үшін NB-IoT технологиясы анағұрлым тиімді болып табылады, себебі ол келесі артықшылықтарға ие:

- Ауылдық жерлерде 20 км-ге дейін, ал қалалық ортада 5 км-ге дейінгі қашықтықта байланыс орнату мүмкіндігі;
- Кедергілерге төзімділік және тығыз салынған ғимараттар арасында тұрақты жұмыс істеу қабілеті;
- Төмен энергия тұтыну (бір батареямен 10 жылға дейін жұмыс істей алады).

NB-IoT тікелей реттілік модуляциясын (Direct Sequence Spread Spectrum, DSSS) пайдаланады, бұл төмен қуат тұтыну кезінде сигнал таралу қашықтығын арттыруға мүмкіндік береді. Сигнал тар жолақты режимде (200 кГц-ке дейін) беріледі және QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) модуляциясының тереңдігін қолдайды.

Каналдың өткізу қабілетін есептеу формуласы:

$$C = B \cdot \log_2(1 + SNR)$$

мұнда:  $C$  — өткізу қабілеті (бит/с),  $B$  — жиілік жолағының ені (Гц),  $SNR$  — сигнал/шум қатынасы.

LPWA технологиялары үшін, әсіресе тар жиілікті арналарда жұмыс істейтін жүйелерде, бұл мән 250 бит/с-қа дейін жетеді, бұл ауа сапасы туралы деректерді нақты уақыт режимінде жеткізуге жеткілікті. Сенсорлар ауа сапасы туралы деректерді әр 15 минут сайын жинап, оларды NB-IoT базалық станциясына жібереді. Деректер шлюз арқылы өтіп, MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) хаттамасы арқылы бұлттық серверге жеткізіледі, бұл тұрақсыз байланыс арналары жағдайында да тиімді деректерді тасымалдауды қамтамасыз етеді.

Жіберілетін деректер пакеті келесі ақпаратты қамтиды: Сенсор идентификаторы (ID); Уақыт белгісі (T); Өлшенген мәндер: PM2.5, NO<sub>2</sub>, CO, O<sub>3</sub>; Батарея заряды деңгейі (Vbat) [3].

Деректер құрылымының мысалы: ID: 101, T: 1700000000, PM2.5: 35, NO<sub>2</sub>: 20, CO: 0.5, O<sub>3</sub>: 80, Vbat: 3.7V

LPWA технологияларын ауа сапасын бақылауда қолданудың артықшылықтары: Энергияны үнемдеу – LPWA модульдері ұйқы режимінде жұмыс істеп, тек деректерді жіберу кезінде іске қосылады. Кең қамту аймағы – сенсорларды тіпті шалғай аймақтарда орналастыруға мүмкіндік береді. Байланыс тұрақтылығы – әлсіз сигнал жағдайында да сенімді жұмыс істейді. Төмен пайдалану шығындары – құрылғылар көптеген жылдар бойы автономды түрде жұмыс істей алады.

LPWA технологияларын қолдану ауа сапасын бақылау жүйелерін неғұрлым тиімді және қолжетімді етеді, нақты уақыттағы дәл деректерді энергияны барынша аз тұтына отырып алуға мүмкіндік береді.

### **2.3. Сенсор түрлері және олардың сипаттамалары (NO<sub>2</sub>, CO, PM2.5, O<sub>3</sub> және т.б.)**

Ауа сапасын бақылау әртүрлі сенсорлар арқылы жүзеге асады, олар ластаушы заттардың концентрациясын өлшейді. Негізгі ластаушы компоненттерге азот диоксиді (NO<sub>2</sub>), көміртек тотығы (CO), озон (O<sub>3</sub>) және қатты бөлшектер (PM2.5, PM10) жатады. Бұл заттарды өлшеу үшін қолданылатын сенсорлар жұмыс принципі, дәлдігі және сыртқы факторларға төзімділігі бойынша ерекшеленеді.

Электрохимиялық сенсорлар. Электрохимиялық сенсорлар NO<sub>2</sub>, CO және O<sub>3</sub> сияқты газдарды өлшеу үшін кеңінен қолданылады. Олардың жұмысы газ бен электролит арасындағы химиялық реакцияға негізделген, бұл электр тогының өзгеруіне әкеледі.

Сипаттамалары: Нысаналы газға жоғары сезімталдық. Ластаушы заттардың төмен концентрациясын өлшеу мүмкіндігі. Температура мен ылғалдылықтың өлшеулерге әсері. Қысқа қызмет ету мерзімі (әдетте 2 жылға дейін).

Мысал: Alphasense электрохимиялық сенсорлары  $\text{NO}_2$  және  $\text{CO}$  мониторингінде қолданылады және стандартты әдістермен салыстырғанда корреляция коэффициенті  $R^2 > 0.75$  дәлдігін қамтамасыз етеді.

Металлооксидті сенсорлар (MOS). Бұл сенсорлар жартылай өткізгіш материалдың электр өткізгіштігінің өзгеруі арқылы газдың болуын анықтайды. Сипаттамалары: Төмен концентрацияларға жоғары сезімталдық. Жылдам жауап беру уақыты (1 секундтан аз). Температура мен ылғалдылықтың күшті әсері. Уақыт өте келе дәлдіктің өзгеруі, тұрақты калибрлеуді қажет етеді.

Мысал: MiCS сенсорлары  $\text{CO}$  және  $\text{NO}_2$  өлшеу үшін қолданылады, бірақ қоршаған орта факторларының әсерін өтейтін алгоритмдер қажет.

Оптикалық сенсорлар (нефелометрлер және OPC).

Бұл сенсорлар жарықтың шашырауы принципін қолдана отырып, ауадағы қатты бөлшектердің ( $\text{PM}_{2.5}$  және  $\text{PM}_{10}$ ) концентрациясын өлшейді. Сипаттамалары: Ауадағы бөлшектердің мөлшері мен санын анықтау мүмкіндігі. Газ тәрізді ластаушылардың әсеріне төзімді. Дәлдігі бөлшектердің құрамына байланысты (мысалы, ылғалды бөлшектер көрсеткіштерді жоғарылатуы мүмкін). Мысал: Plantower PMS5003 және Alphasense OPC-N3 сенсорлары  $R^2 > 0.85$  дәлдікпен көшедегі бақылау станцияларында сыналған.

Фотохимиялық сенсорлар ( $\text{O}_3$  үшін). Фотодиодтар немесе ультракүлгін сәулеленуді пайдалану арқылы озон концентрациясын анықтайды. Сипаттамалары:  $\text{O}_3$  үшін жоғары селективтілік. Жиі калибрлеуді қажет етпейді. Температура өзгерістеріне сезімтал. Мысал: Aeroqual S500 сенсоры озонды  $R^2 = 0.8$  дәлдікпен өлшейді, бірақ температуралық компенсацияны қажет етеді.

Әр сенсор түрінің өзіндік артықшылықтары мен кемшіліктері бар. Электрохимиялық сенсорлар төмен концентрациялардағы газдарды өлшеуге қолайлы, металлооксидті сенсорлар жылдам жауап береді, бірақ калибрлеуді қажет етеді, оптикалық сенсорлар қатты бөлшектерді бақылауға жарамды, ал фотохимиялық сенсорлар озонды дәл анықтайды. Сенсорларды таңдау пайдалану шарттары мен өлшеу дәлдігіне қойылатын талаптарға байланысты.

## ДЕРЕКТЕРДІ ӨНДЕУ ЖӘНЕ ТАЛДАУ

### 3.1. Алдын ала өңдеу және деректерді тазарту

Ауа сапасын талдау үлкен көлемдегі деректермен жұмыс істеуді талап етеді. Бұл деректер әртүрлі көздерден алынатындықтан, олардың ішінде бос мәндер, аномалиялар және қайталанатын жазбалар болуы мүмкін, бұл болжау дәлдігін төмендетеді. Сондықтан алдын ала өңдеу кезеңінде деректерді тазарту, құрылымдау және бірыңғай форматқа келтіру жүргізіледі, бұл болашақ машиналық оқыту модельдері үшін сенімді негіз қалыптастыруға мүмкіндік береді.

Дереккөз	Деректер түрі	Қолжетімділік	Жанартылу жиілігі	Дәлдік	Шектеулер
Генерация (өз сенсорларымыз)	IoT құрылғылардан, сенсорлардан алынған деректер	Инфрақұрылымды орнатуды қажет етеді	Нақты уақыт режимінде	Жоғары (дұрыс калибрленген жағдайда)	Жабдық пен қызмет көрсетуге жоғары шығындар
Kaggle	Тарихи деректер, ашық деректер жинақтары	Тегін қолжетімділік	Датасет авторына байланысты	Орташа (эрқашан өзекті емес)	Жергілікті жағдайларға сәйкес келмеуі мүмкін
Google (Air Quality API, Earth Engine)	Ғаламдық спутниктік және сенсорлық деректер	Шектеулі қолжетімділік (кейбір API ақылы)	Жиі жаңартылады	Жоғары (бірақ аймаққа байланысты)	Кейбір деректер агрегатталған және жергілікті нақты өлшемдерге сәйкес келмеуі мүмкін

Кесте 1. Ауа сапасын бақылауға арналған дереккөздерді салыстыру кестесі

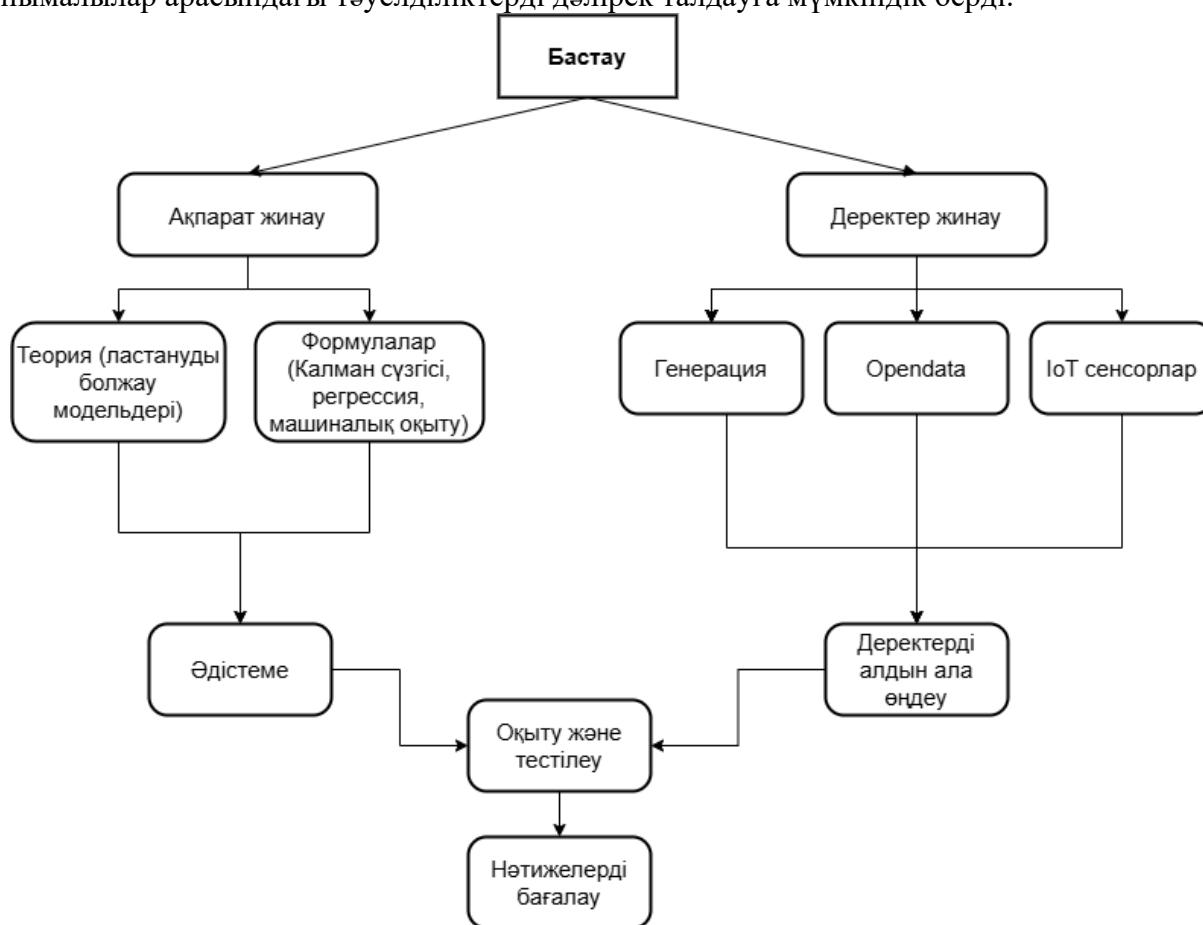
Бұл зерттеу аясында негізгі назар ауа сапасының AQI, Min, Max, Avg және Pollutant көрсеткіштерін өңдеуге аударылады. Деректер әртүрлі аймақтардан алынатындықтан, оларды нормализациялау және сәйкессіздіктерді жою қажет. Ақпарат көздерінің сенімділігін таңдау маңызды, өйткені болжамдық модельдің сапасы негізінен кіріс деректерінің толықтығы мен дәлдігіне байланысты. Кесте 1 ауа сапасын бақылауға арналған әртүрлі дереккөздерді салыстырып, олардың дәлдігі, жанарту жиілігі және қолжетімділігін көрсетеді.

Алдын ала өңдеу кезеңіндегі негізгі міндеттердің бірі — жоқ мәндермен жұмыс істеу. Талдау барысында Min, Max және Avg мәндерінің жоқтығы анықталды. Мұндай кемшіліктер сенсорлардың техникалық ақаулары, деректерді беру қателері немесе толық емес есептілікке байланысты болуы мүмкін. Бұл мәселені шешу үшін жетіспейтін деректерді толтыру әдістері қолданылды: сәйкес қала бойынша орташа мәнді пайдалану немесе алдыңғы және кейінгі өлшеулер негізінде уақыттық интерполяциялау.

Сонымен қатар, деректерді өңдеу барысында Last Update уақыт белгісіне ерекше назар аударылды. Уақыттық қатарлар ауа сапасының өзгеру үрдістерін талдауда маңызды рөл атқаратындықтан, барлық деректер datetime форматына келтірілді. Бұл кезең әртүрлі уақыт белдеулерімен байланысты сәйкессіздіктерді жоюға және уақыт бойынша дұрыс талдау жүргізуге мүмкіндік берді.

Сондай-ақ, қалыптан тыс мәндерді (экстремалды төмен немесе жоғары көрсеткіштерді) талдау жүргізілді, себебі олар нақты жағдайға сәйкес келмеуі мүмкін. Мұндай мәндерді анықтау үшін интерквартильдік расыма (IQR) және Z-статистикасы сияқты статистикалық әдістер қолданылды. Егер деректерде кенеттен AQI көрсеткішінің жоғарылауына ешқандай объективті себеп болмаса, мұндай мәндер жиынтықтан алынып тасталды немесе орташа мәндермен алмастырылды.

Барлық деректерді тазарту аяқталғаннан кейін олар сандық форматқа келтірілді. Country, State, City және Pollutant сияқты категориялық белгілер One-Hot Encoding және Label Encoding әдістерін қолдану арқылы кодталды. Бұл машиналық оқыту үдерісін жеңілдетіп, айнымалылар арасындағы тәуелділіктерді дәлірек талдауға мүмкіндік берді.



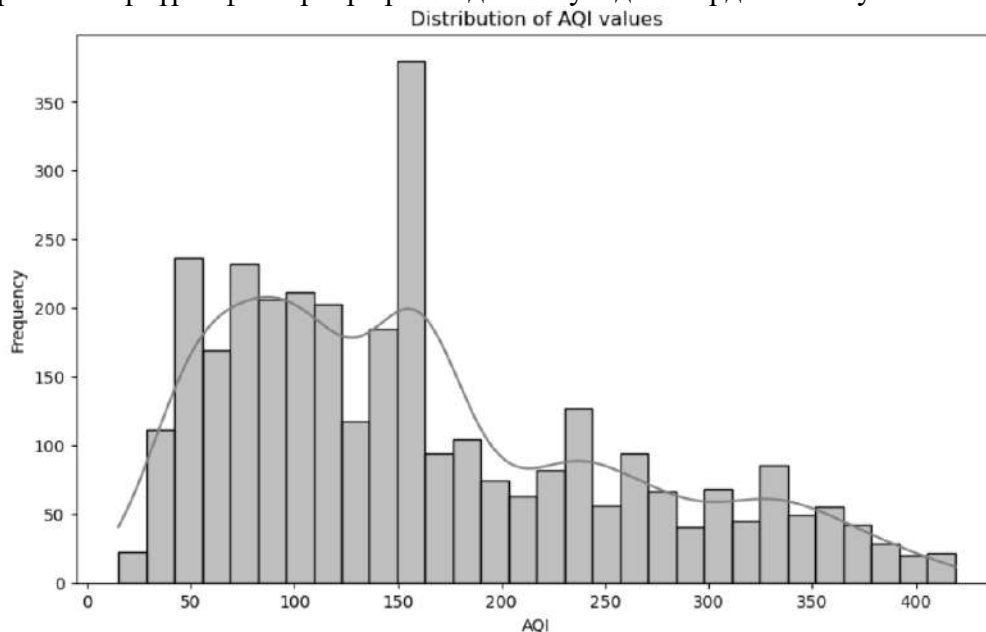
Сурет 2. Ауа ластануын болжау зерттеуінің архитектурасы

Сонымен қатар, алдын ала өңдеу кезеңінде ауа ластануын болжау зерттеуінің архитектурасы ескерілді, ол 2-суретте көрсетілген. Бұл архитектура деректерді жинау, сүзу, талдау және машиналық оқытуды қамтиды. Бастапқы кезеңде деректерді тиімді өңдеу соңғы модельдің жоғары дәлдігін қамтамасыз етіп, неғұрлым сенімді болжамдар жасауға мүмкіндік береді.

Осылайша, деректерді алдын ала өңдеу – тазарту, нормализациялау, ерекшеліктерді кодтау және аномалияларды талдау сияқты күрделі процесті қамтиды. Бұл кезеңдер ауа сапасын болжаудың және ғылыми негізделген қорытындылар жасаудың негізін қалайды.

### 3.2. Деректерді визуализациялау және тәуелділіктерді анықтау

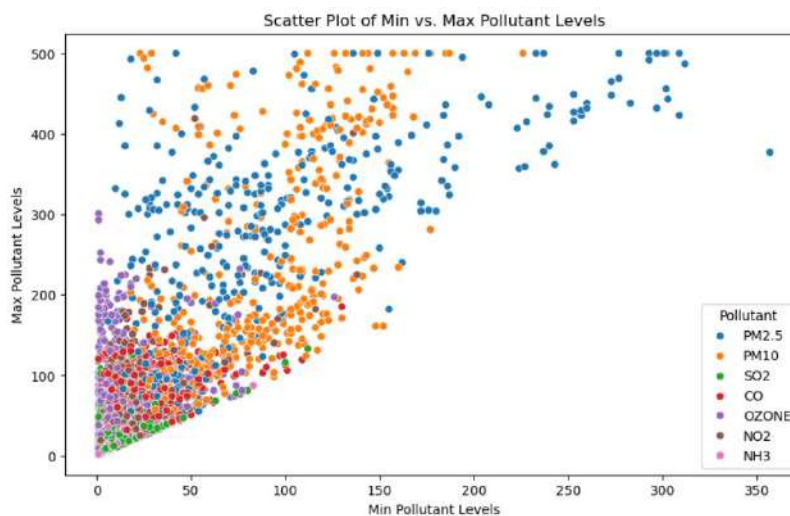
Деректерді визуализациялау ауа ластануын талдауда маңызды рөл атқарады. Бұл тек деректер құрылымын түсінуге ғана емес, сонымен қатар қарапайым статистикалық талдау арқылы анықталмайтын жасырын заңдылықтарды табуға мүмкіндік береді. Графикалық түрде көрсету тенденцияларды бағалауға, жоғары қауіп аймақтарын анықтауға және ластану деңгейіне әсер ететін әртүрлі факторлар арасындағы тәуелділіктерді белгілеуге көмектеседі.



Сурет 3. Distribution of AQI values

Анализдің бірінші қадамы – ауа сапасының индексі (AQI) мәндерінің таралуын зерттеу. Сурет 3. (AQI мәндерінің таралуы) таңдалған деректер жиынындағы AQI мәндерінің тығыздығын көрсетеді. Таралуды талдау арқылы ең жиі кездесетін ластану деңгейлерін анықтауға және қоршаған ортаға жағымсыз әсер етуі мүмкін экстремалды мәндерді табуға болады.

Мысалы, егер AQI таралуы оң жаққа қарай ұзын құйрыққа ие болса, бұл ластану деңгейінің жиі жоғарылайтынын көрсетеді. Мұндай жағдайлардың себептерін тереңірек зерттеу қажет, себебі олар аймақтағы қолайсыз экологиялық жағдайларға немесе нақты ластану көздеріне байланысты болуы мүмкін.

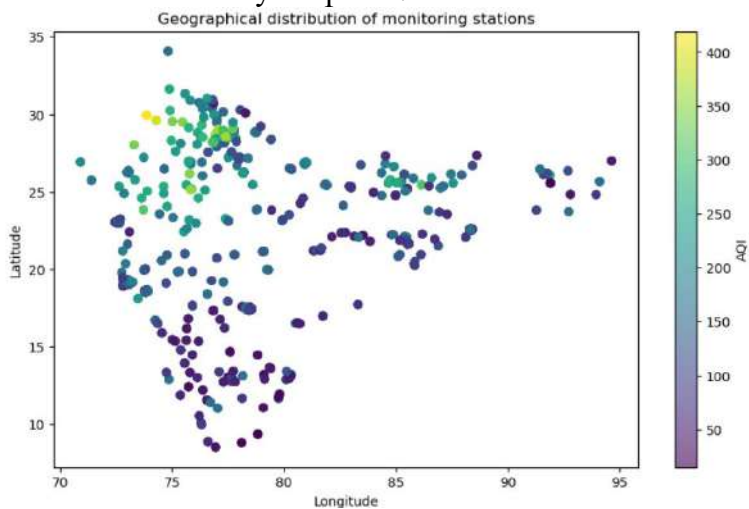


Сурет 2. Scatter Plot of Min vs. Max Pollutant Levels

Келесі зерттеу кезеңі – ластауыш заттардың ең төменгі және ең жоғары деңгейлерінің өзара байланысын талдау. Сурет 4. (Scatter Plot of Min vs. Max Pollutant Levels) диаграммадағы

нүктелердің таралуын көрсетеді, бұл минималды және максималды концентрациялар арасындағы байланысты бағалауға мүмкіндік береді.

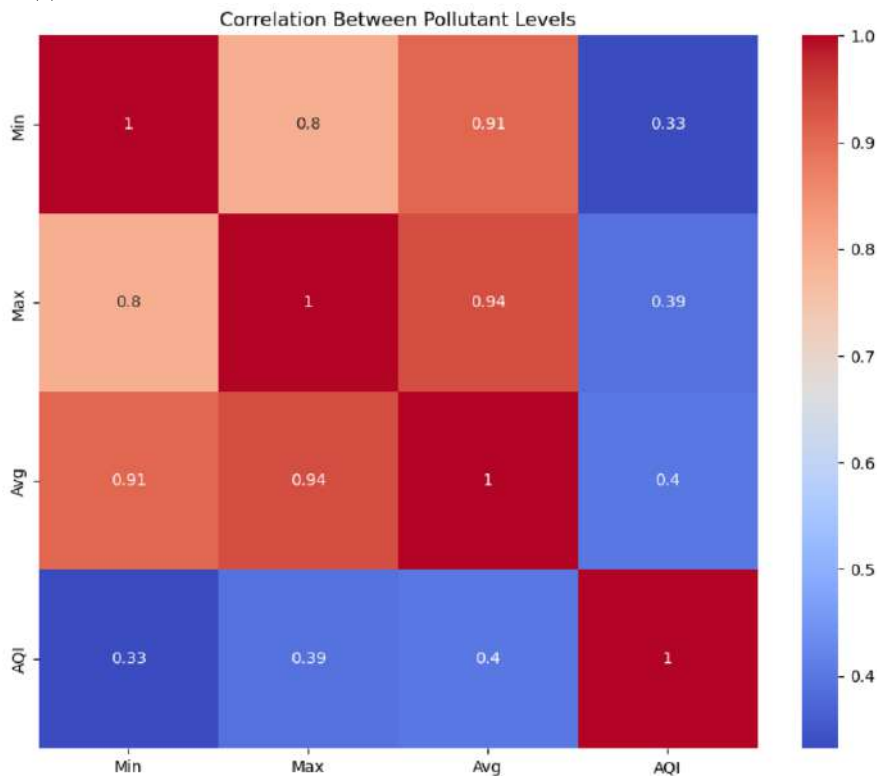
Мысалы, егер диаграммада сызықтық тәуелділік байқалса, бұл ластаушы заттардың тәуліктік тұрақты өзгерісін білдіреді. Ал егер нүктелердің таралуы айтарлықтай шашыраңқы болса, онда бұл ауа райы жағдайлары немесе антропогендік шығарындылар сияқты сыртқы факторлардың ықпалына байланысты болуы мүмкін.



Сурет 5. Geographical distribution of monitoring stations

Ауа сапасын талдау кезінде тек сандық деректерді ғана емес, олардың географиялық таралуын да ескеру маңызды. Сурет 5. (Geographical distribution of monitoring stations) мониторинг станцияларының орналасуын көрсетеді, бұл зерттелетін аумақтың қаншалықты тең қамтылғанын анықтауға мүмкіндік береді.

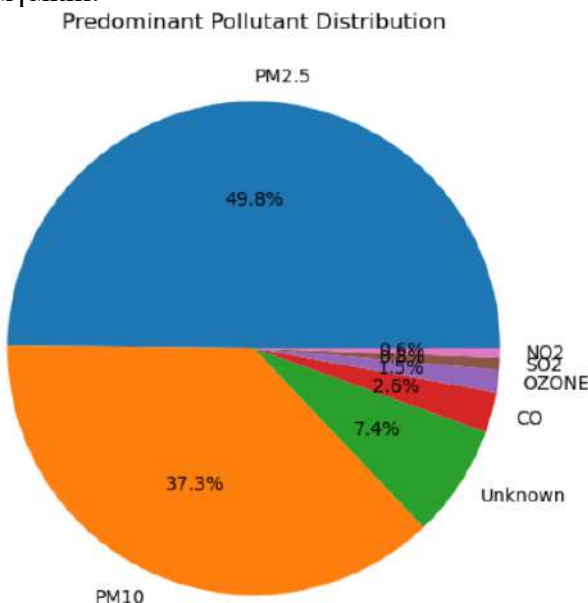
Егер станциялар белгілі бір аудандарда шоғырланған болса, бұл деректердің ығысуына және нәтижелердің жеткілікті түрде репрезентативті болмауына әкелуі мүмкін. Географиялық талдау сонымен қатар ластану деңгейі рұқсат етілген шектен асатын «қауіпті аймақтарды» анықтауға көмектеседі.



Сурет 6. Correlation Between Pollutant Levels

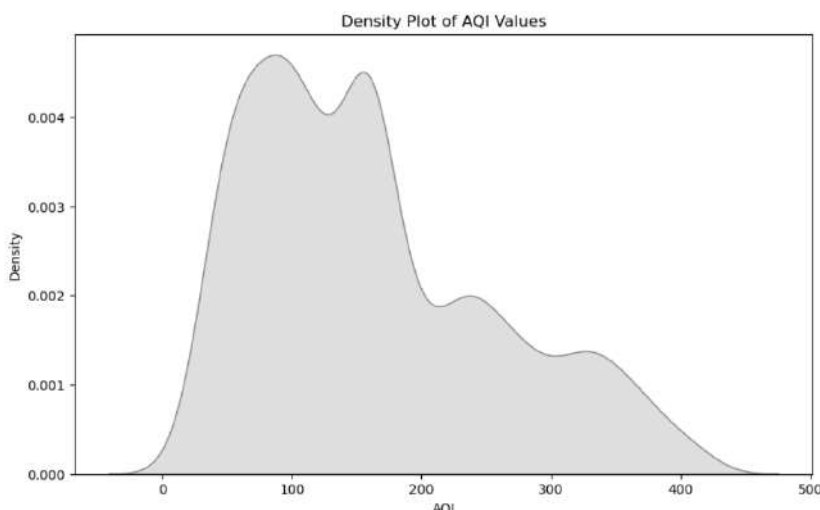
Зерттеудің негізгі аспектілерінің бірі – әртүрлі ластаушы заттар арасындағы байланыстарды анықтау. Сурет 6. (Correlation Between Pollutant Levels) корреляциялық матрицасын ұсынады, ол PM2.5, PM10, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> және O<sub>3</sub> сияқты ластаушы компоненттер арасындағы тәуелділік дәрежесін анықтауға мүмкіндік береді.

Мысалы, PM2.5 пен PM10 арасындағы күшті оң корреляция олардың ортақ ластану көзі бар екенін көрсетсе, ал O<sub>3</sub> пен NO<sub>2</sub> арасындағы теріс корреляция фотохимиялық процестердің ауа сапасына әсерін көрсетуі мүмкін.



Сурет 7. Predominant Pollutant Distribution

Доминирлеуші ластаушыларды жан-жақты зерттеу үшін Сурет 7. (Predominant Pollutant Distribution) қолданылады. Бұл диаграмма ауадағы негізгі ластаушы заттардың жиілігін көрсетеді. Мысалы, егер көбінесе PM2.5 басым болса, бұл көлік және өнеркәсіптік шығарындылардың жоғары үлесін білдіруі мүмкін. Ал O<sub>3</sub> концентрациясының жоғары болуы фотохимиялық реакциялардың айтарлықтай әсерін көрсетеді.

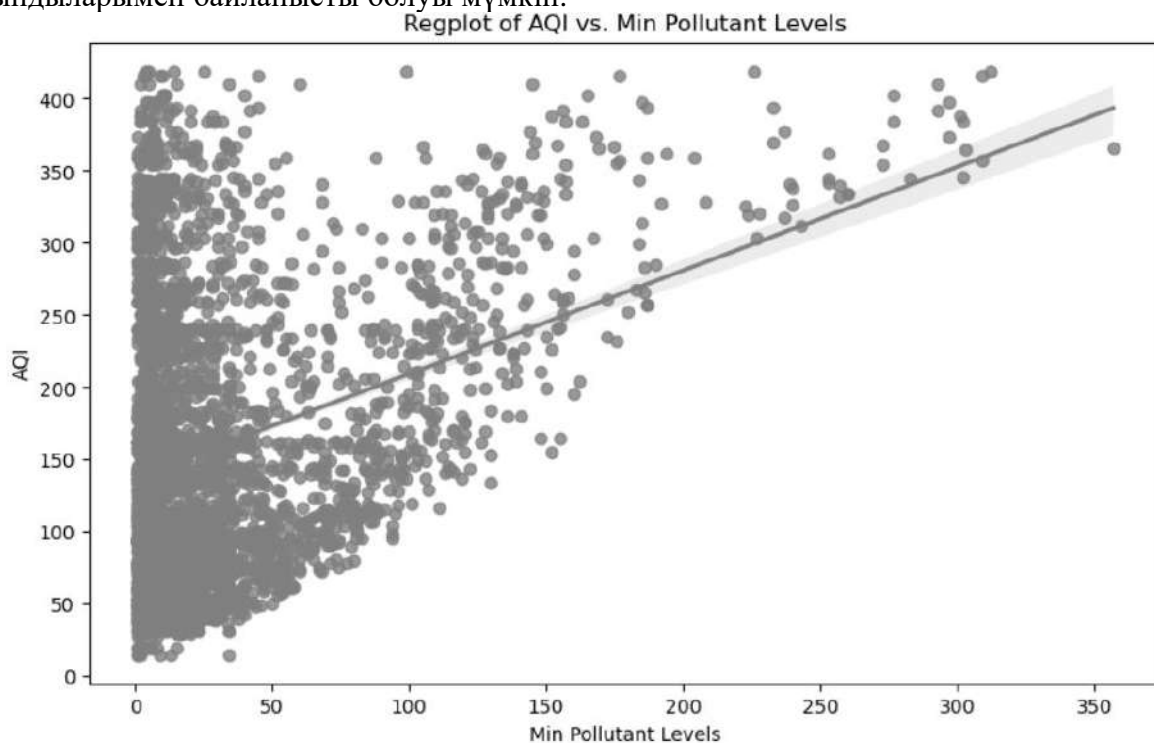


Сурет 8. Density Plot of AQI Values

Визуалды талдаудың тағы бір маңызды кезеңі – AQI мәндерінің таралу тығыздығын зерттеу. Сурет 8. (Density Plot of AQI Values) индекс мәндерінің қайсысы жиі кездесетінін көрсетеді.

Егер график екі немесе одан да көп шыңдарды көрсетсе, бұл маусымдық немесе уақытша өзгерістерді білдіруі мүмкін. Мысалы, жазда қалаларда фотохимиялық смогтың

әсерінен AQI деңгейі жоғарылауы мүмкін, ал қыста ластанудың артуы жылыту жүйелерінің шығарындыларымен байланысты болуы мүмкін.



Сурет 9. Regplot of AQI vs. Min Pollutant Levels

Соңында, AQI мен ластаушы заттардың минималды деңгейлері арасындағы байланысты анықтау үшін регрессиялық график қолданылады – Сурет 9. (Regplot of AQI vs. Min Pollutant Levels).

Бұл график минималды ластану концентрациясының жалпы ауа сапасы индексіне қаншалықты әсер ететінін бағалауға мүмкіндік береді. Егер айқын сызықтық тәуелділік байқалса, бұл белгілі бір заттардың тіпті аз мөлшерде болуы экологиялық жағдайды айтарлықтай нашарлатуы мүмкін екенін растайды.

### 3.3. Random Forest әдісін қолдана отырып, ластану деңгейін болжау

Ауа сапасы индексі (AQI) болжау үшін машиналық оқытудың әртүрлі әдістері қолданылады. Олар ластаушы заттар арасындағы күрделі байланыстарды талдауға және тарихи деректер негізінде болжам жасауға мүмкіндік береді.

Кестелік деректермен жұмыс істеуге арналған ең тиімді алгоритмдердің бірі – Random Forest. Бұл әдіс шешім ағаштарына негізделген ансамбльдік модель болып табылады. Ол сызықтық емес тәуелділіктерді ескеріп, деректердегі олқылықтарды өңдеуге және жоғары дәлдікпен болжам жасауға қабілетті.

Метод / Алгоритм	Модель түрі	Қолдану саласы	Артықшылықтары	Кемшіліктері
<b>LSTM (Long Short-Term Memory)</b>	Нейрондық әдіс (терең оқыту)	Уақыттық қатарларды болжау (мысалы, ауа ластану деңгейін болжау)	Уақыттық тәуелділіктермен жақсы жұмыс істейді, ұзақ мерзімді трендтерді есепке алады	Көп дерек пен есептеу ресурстарын қажет етеді, баптау қиындығы жоғары

<b>Random Forest</b>	Ансамбльдік әдіс (шешім ағаштары)	Классификация және регрессия (ластану факторларын талдау, деңгейін болжау)	Шуды елемейді, деректерді нормализациялауды қажет етпейді, түсіндіруге ыңғайлы	Артық үйренуге бейім, өте үлкен деректер жиындарымен нашар жұмыс істейді
<b>Фильтр Калмана</b>	Статистикалық әдіс (динамикалық сүзу)	Деректерді тазарту, сенсорлық өлшеулердегі шуды жою	Нақты уақыттағы деректерді өңдеуге тиімді, өлшеу қателерін азайтады	Тек сызықты жүйелермен шектелген (немесе бейімдеу қажет), шуды нақты модельдеуді талап етеді

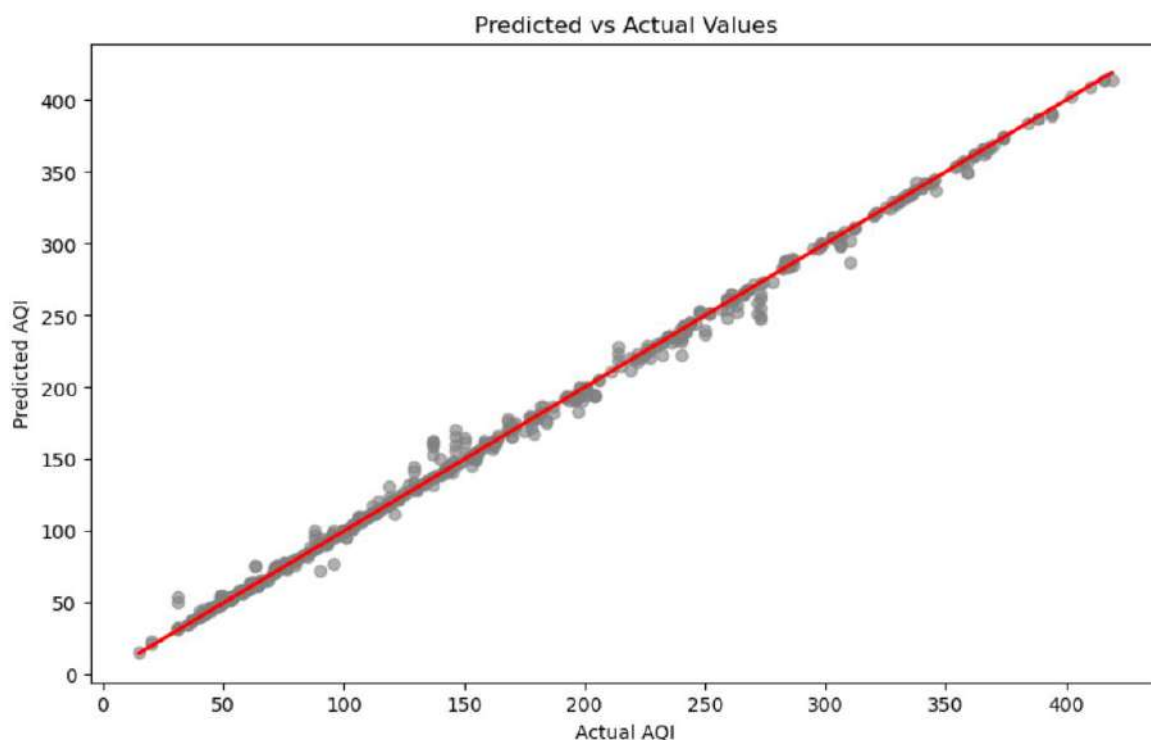
Кесте 2. Ауа сапасын талдау әдістері мен алгоритмдерін салыстыру

Болжамдау әдісін таңдау көптеген факторларға байланысты, соның ішінде деректер көлемі, айнымалылар арасындағы тәуелділіктің күрделілігі және модельдің интерпретациялануы. Кесте 2-де ауа сапасы туралы деректерді талдауда қолданылатын ең танымал алгоритмдердің салыстырмасы келтірілген.

Random Forest басқа әдістермен, мысалы, LSTM және Калман сүзгісімен салыстырғанда бірқатар артықшылықтарға ие. Нейрондық желілерден айырмашылығы, Random Forest оқыту үшін үлкен деректер жиынтығын талап етпейді, аномалияларға төзімді және оңай түсіндіріледі. Сонымен қатар, уақыттық қатарларды өңдеуге арналған сүзгілермен салыстырғанда, бұл әдіс ластану көрсеткіштері арасындағы күрделі сызықты емес тәуелділіктерді анықтауға қабілетті. [5][9]

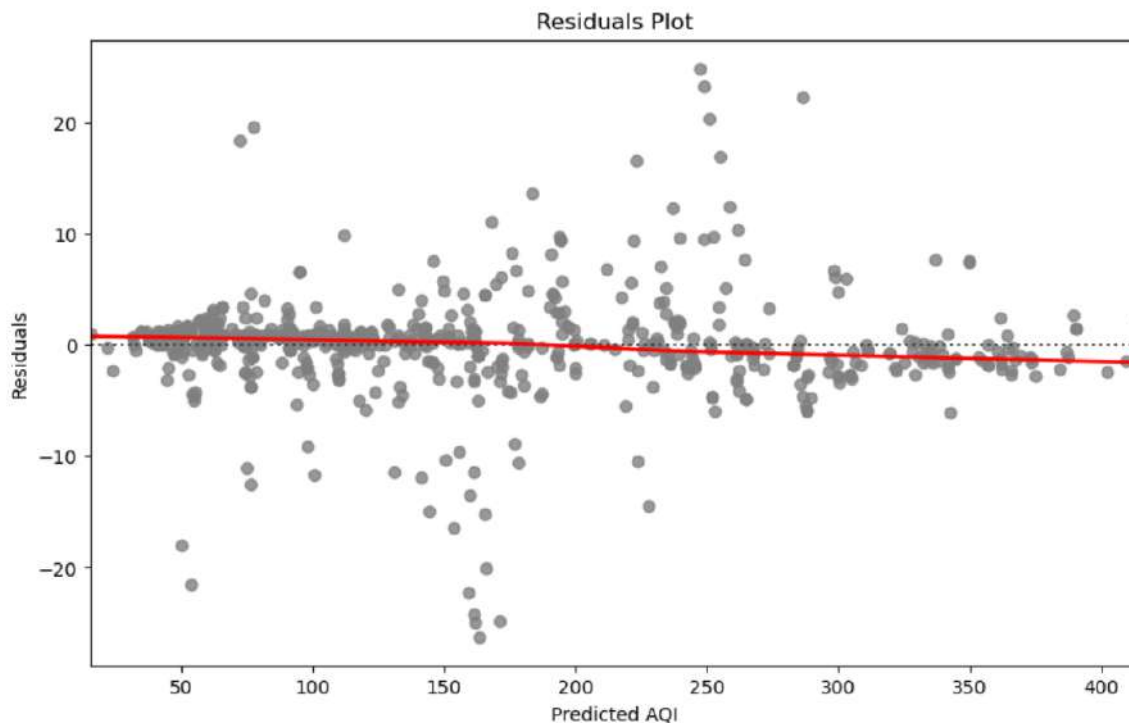
Модельді оқытпас бұрын деректерді алдын ала дайындау қажет болды. Бұл сандарды нормализациялауды, категориялық айнымалыларды кодтауды және деректер жиынтығын оқытуға (80%) және тестілеуге (20%) бөлу кезеңдерін қамтыды. Деректерді алдын ала өңдегеннен кейін RandomForestRegressor моделі құрылды, ол 100 шешім ағашын қолданады және нәтижелердің қайталануын қамтамасыз ету үшін тұрақты кездейсоқ күйге ие. [7]

Модельдің сапасы Mean Squared Error (MSE) және  $R^2$  коэффициенті арқылы бағаланды. Нәтижелер модельдің жоғары дәлдігін көрсетеді: Mean Squared Error (MSE): 23.22, бұл қателердің орташа квадраттық шашырауының төмен екенін көрсетеді.  $R^2$  Score: 0.997, бұл модельдің деректер дисперсиясының 99.7%-ын түсіндіретінін және шынайы мәндерге жақсы сәйкес келетінін білдіреді.



Сурет 10. Predicted vs Actual Values

Болжамдардың сапасын көрнекі түрде бағалау үшін Сурет 10. (Predicted vs Actual Values) графигі құрылды. Бұл график болжанған мәндердің нақты деректерге қаншалықты сәйкес келетінін көрсетеді. Байқалған нәтижелерге сәйкес, нүктелер идеалды болжам сызығына жақын орналасқан, бұл модельдің жоғары дәлдігін растайды.



Сурет 11. Residuals Plot

Қосымша түрде болжанған және нақты AQI мәндерінің айырмасын білдіретін қалдықтарды талдау жүргізілді. Сурет 11. (Residuals Plot) диаграммасында қалдықтардың таралуы көрсетілген, бұл модель қателерін бағалауға мүмкіндік береді. Қалдықтардың таралуында айқын заңдылықтардың болмауы модельдің жүйелі қателер жібермейтінін және болжамдық тапсырманы жақсы орындайтынын көрсетеді.

Осылайша, Random Forest алгоритмін ауаның ластану деңгейін болжау үшін қолдану жоғары тиімділікті көрсетті. Бұл әдіс шығуларға төзімділігімен, күрделі тәуелділіктерді өңдеу қабілетімен және нәтижелерді түсіндіру мүмкіндігімен ерекшеленеді. Болашақта модельді жетілдіру үшін температура, ылғалдылық және жел жылдамдығы сияқты метеорологиялық факторларды ескеру жоспарлануда. Бұл болжамдардың дәлдігін арттырып, әдістің экологиялық мониторингтегі қолдану аясын кеңейтуге мүмкіндік береді.

## **Қорытынды**

Бұл зерттеу AQI (Ауа сапасының индексі) дәлдігін болжау үшін IoT негізіндегі ауа сапасын мониторингтеу мен машинамен оқытудың тиімділігін көрсетеді. Нақты уақыттағы сенсорлық деректерді болжау модельдерімен біріктіру ластану үлгілерін тереңірек түсінуге мүмкіндік береді, бұл экологиялық жағдайды проактивті басқаруға ықпал етеді. Деректерді алдын ала өңдеу, визуалдау және Random Forest әдісін қолдану арқылы жүргізілген болжамдау нәтижесінде Орташа квадраттық қате (MSE) 23.22 және  $R^2$  көрсеткіші 0.997 мәніне жетті, бұл модельдің жоғары дәлдігін көрсетеді.

Зерттеу барысында деректерді алдын ала өңдеудің маңыздылығы атап өтілді, оған жетіспейтін мәндерді толықтыру, аномалияларды анықтау және ерекшеліктерді масштабтау кіреді. AQI таралу гистограммалары, ластаушы заттардың корреляциялық жылу карталары және геокеңістіктік карталар сияқты визуалдау әдістері ластану тенденциялары мен жоғары қауіпті аймақтарды тереңірек талдауға мүмкіндік берді. Сонымен қатар, бұл жұмыс үлкен көлемдегі деректерді жинақтау үшін бұлттық есептеулердің артықшылықтарын және шеткі есептеулердің (edge computing) нақты уақыттағы деректерді өңдеудегі рөлін көрсетеді, бұл жүйенің кідірісін азайтып, тиімділігін арттырады.

Дегенмен, кейбір мәселелер әлі де шешуді талап етеді. Сенсорларды калибрлеу және бірнеше дереккөзден алынған деректерді біріктіруді оңтайландыру қажет, бұл өлшеулердің сенімділігін арттыруға көмектеседі. Сондай-ақ, болжам моделі температура, ылғалдылық және жел жылдамдығы сияқты метеорологиялық факторларды қосу арқылы одан әрі жетілдірілуі мүмкін. Болашақта терең оқыту әдістері мен гибридті модельдерді қолдану арқылы AQI болжамдау жүйесін жетілдіру және IoT негізіндегі экологиялық мониторингі ақылды қалаларға кеңейту жоспарлануда.

Қорытындылай келе, бұл зерттеу IoT және машинамен оқытудың ауа сапасын болжау жүйелерін дамытудағы әлеуетін дәлелдейді. Қолданыстағы шектеулерді жойып, жаңа технологияларды пайдалану арқылы бұл әдістер ауа сапасын тиімді басқаруға және қоғамдық денсаулықты қорғауға өз үлесін қоса алады.

## **Қолданылған әдебиеттер тізімі**

[1] A. Sharma and P. Gupta, "Air Quality Monitoring With SensorMap: A Scalable Framework for Urban Pollution Analysis," *Environmental Monitoring Journal*, vol. 45, no. 3, pp. 215-230, 2021.

[2] S. Kumar and A. Jasuja, "Air Quality Monitoring System Based on IoT Using Raspberry Pi," in *Proceedings of the IEEE Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI)*, 2017.

[3] K. Zheng, W. Liu, Y. Huang, and X. Liu, "Design and Implementation of LPWA-Based Air Quality Monitoring System," in *Proceedings of the IEEE International Conference on Communications (ICC)*, 2019, pp. 1-6.

[4] F. Karagulian, M. Barbieri, A. Kotsev, L. Spinelle, M. Gerboles, F. Lagler, N. Redon, S. Crunaire, and A. Borowiak, "Review of the Performance of Low-Cost Sensors for Air Quality Monitoring," *Atmosphere*, vol. 10, no. 9, p. 506, Aug. 2019.

- [5] J. Lee, H. Kim, and M. Park, "IoT Implementation of Kalman Filter to Improve Accuracy of Air Quality Monitoring and Prediction," *Journal of Environmental Science and Technology*, vol. 56, no. 2, pp. 137-149, 2020.
- [6] A. S. Moursi, N. El-Fishawy, S. Djahel, and M. A. Shouman, "An IoT Enabled System for Enhanced Air Quality Monitoring and Prediction on the Edge," *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, vol. 12, no. 9, pp. 8743-8757, Jul. 2021.
- [7] S. Devarakonda, P. Sevusu, H. Liu, R. Liu, L. Iftode, and B. Nath, "Real-Time Air Quality Monitoring Through Mobile Sensing in Metropolitan Areas," in *UrbComp '13: Proceedings of the 2nd ACM SIGKDD International Workshop on Urban Computing*, Aug. 2013, Article No. 15, pp. 1-8.
- [8] S. Kumar and A. Jasuja, "Air Quality Monitoring System Based on IoT Using Raspberry Pi," *IEEE*, 2017.
- [9] L. Morawska, P. K. Thai, X. Liu, A. Asumadu-Sakyi, G. Ayoko, A. Bartonova, A. Bedini, F. Chai, B. Christensen, M. Dunbabin, J. Gao, G. S. W. Hagler, R. Jayaratne, P. Kumar, A. K. H. Lau, P. K. K. Louie, M. Mazaheri, Z. Ning, N. Motta, B. Mullins, and R. Williams, "Applications of Low-Cost Sensing Technologies for Air Quality Monitoring and Exposure Assessment: How Far Have They Gone?" *Environmental Pollution*, vol. 228, pp. 576-589, 2017.
- [10] D. Zhang and S. S. Woo, "Real-Time Localized Air Quality Monitoring and Prediction Through Mobile and Fixed IoT Sensing Network," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 89584-89597, May 2020.

UDC 004.4

**Development of a registration panel for users and doctors with integration into the database**