

АНДАТПА

8D050204 - «Метеорология»

білім беру бағдарламасы бойынша философия докторы (Ph.D.) дәрежесіне ізденіс

Турсумбаева Мадина Оразгазиевна

«Қазақстанның ірі қалаларындағы атмосфералық ауаның ластануына
метеорологиялық жағдайлардың әсері»

Жұмыстың жалпы сипаттамасы. Диссертация атмосфералық ауадағы $PM_{2.5}$ концентрациясына метеорологиялық жағдайлардың әсерін талдауға бағытталған.

Зерттеу өзектілігі.

Атмосфералық ауаның $PM_{2.5}$ ұсақ бөлшектерімен ластануы (диаметрі 2,5 микрометр немесе одан аз) ғылыми қауымдастықтардың назарын аударатын күрделі мәселе болып табылады. $PM_{2.5}$ -ке деген қызығушылықтың артуы оның адам денсаулығына зиянды әсеріне байланысты. $PM_{2.5}$ Жаһандық өлім-жітімнің жетекші бесінші факторының бірі болып табылады және тыныс алу және жүрек-қан тамырлары ауруларымен байланысты, сонымен қатар атмосферадағы бұлттылық пен радиациялық тепе-теңдікті қалыптастыруға әсер ететін климатқа айтарлықтай әсер етеді.

Қазіргі уақытта Орталық Азия қалалары әлемдегі ауаның ластану деңгейі бойынша ең проблемалы қалалардың бірі болып табылады. 2021 жылы Iqair рейтингінің деректері бойынша Тәжікстан, Қырғызстан, Өзбекстан, Қазақстан және Түрікменстан $PM_{2.5}$ ластану деңгейі бойынша әлемде 4-ші, 7-ші, 12-ші, 23-ші және 44-ші орындарды иеленді. Алайда, Орталық Азияның ірі қалаларында $PM_{2.5}$ ластану деңгейі әлемдік астаналармен салыстырғанда олардың халық санына сәйкес келмейді. Мысалы, Орталық Азия қалаларында $PM_{2.5}$ концентрациясының миллионға шаққандағы арақатынасы 16,85-тен (Алматыда) 66,85-ке дейін (Душанбе), ал басқа астаналарда 0,95-тен 3,75-ке дейін өзгерді. Бұл осы қалалардағы ауа сапасына әсер ететін себептер мен факторларды анықтау үшін кешенді зерттеулер жүргізу қажеттілігін көрсетеді.

Ластаушы заттардың маусымдық және кеңістіктік ауытқулары, сондай-ақ олардың негізгі көздері тиімді шаралар қабылдау және ластаушы заттардың шығарындыларын азайту және халықтың денсаулығын қорғау үшін қажетті нормативтік-құқықтық база мен заңнаманы белгілеу үшін қажетті деректердің бірі болып табылады. $PM_{2.5}$ ауасының ластануын жан-жақты бағалау үшін оның негізгі факторларын сандық бағалау бірінші кезектегі қадам болып табылады. Антропогендік шығарындылар $PM_{2.5}$ концентрациясына әсер ететін негізгі фактор ретінде кеңінен қарастырылады. Алайда, шығарындылардың тұрақтылығымен метеорологиялық жағдайлар ластану эпизодтарын қалыптастыруда шешуші рөл атқарады, өйткені олар ауа массаларының ластаушы заттарды қаншалықты тиімді тарататынын немесе керісінше оларды белгілі бір аймақтарда жинайтынын анықтай алады.

Шетелдік зерттеулер көрсеткендей, көптеген метеорологиялық факторлар, соның ішінде ауа температурасы, жел жылдамдығы, ылғалдылық, жауын-

шашын, күн радиациясы, атмосфералық қысым және атмосфераның шекаралық қабатының биіктігі $PM_{2.5}$ концентрациясымен тығыз байланысты. Жергілікті шығарындылар және оларға әсер ететін метеорологиялық жағдайларға қоса, атмосфералық ластаушы заттардың аймақтық тасымалдануы да мүмкін. Қазақстанда ауа сапасы проблемасының күрделілігіне қарамастан, метеорологиялық параметрлердің ластаушы заттардың концентрациясына әсері бойынша зерттеулер шектеулі болып қалады немесе жүргізілмеген. Осылайша, Қазақстанның ірі қалаларындағы метеорологиялық параметрлер мен $PM_{2.5}$ концентрациясы арасындағы байланыстарды зерттеу ғылымның өзекті бағытын білдіреді, өйткені мұндай зерттеулердің нәтижелері ластану деңгейін болжау және ауа сапасын басқарудың тұрақты стратегияларын әзірлеу үшін негіз бола алады.

Зерттеу мақсаты – Қазақстанның ірі қалаларындағы $PM_{2.5}$ концентрациясының уақытша өзгерістерін талдау және $PM_{2.5}$ концентрациясына метеорологиялық параметрлердің әсерін зерттеу.

Жұмыстың мақсатына сәйкес келесідей **міндеттер** қойылды:

1. Қазақстанның ірі қалаларындағы $PM_{2.5}$ концентрациясының уақытша өзгерістерін (жылдық, маусымдық, айлық, тәуліктік және сағаттық) зерттеп, Орталық Азияның басқа қалаларымен салыстыру.

2. Қазақстанның ірі қалаларының ауасындағы $PM_{2.5}$ негізгі көздерін анықтау.

3. Температура, жауын-шашын, жел жылдамдығы, салыстырмалы ылғалдылық, атмосфераның шекаралық қабатының биіктігі т.б. метеорологиялық параметрлердің $PM_{2.5}$ концентрация деңгейіне әсерін зерттеу.

4. Алматы және Астана қалаларында $PM_{2.5}$ жоғары концентрациясы бар эпизодтар кезіндегі ауа массаларының траекториясын бағалау.

5. Орталық Азия қалаларындағы ауа сапасының өзгеруіне COVID-19 пандемиясына байланысты енгізілген карантиндік шаралар әсерін бағалау.

Зерттеу объектілері – Қазақстанның ірі қалаларының атмосфералық ауасындағы $PM_{2.5}$ концентрациясы.

Зерттеу пәні – Қазақстанның ірі қалаларының атмосфералық ауадағы $PM_{2.5}$ концентрациясының өзгеруіне метеорологиялық көрсеткіштердің әсері болып табылады.

Зерттеу материалдарының көздері

«Қазгидромет» РМК мониторинг станцияларынан және АҚШ елшіліктерінен алынған ластаушы заттар ($PM_{2.5}$, TSP, NO_2 , SO_2 , CO) туралы мәліметтерді қоса алғанда мұрағаттық материалдар; «Қазгидромет» РМК метеорологиялық станцияларының метеорологиялық мәліметтері; ERA5 реанализ деректері бойынша атмосфераның шекаралық қабатының биіктігі туралы ақпарат; Жаһандық атмосфералық зерттеулерге арналған шығарындылар дерекқорының (EDGAR) жаһандық шығарындылар түгендеуінен алынған, елге тән ластаушы заттардың шығарындылары туралы деректер (SO_2 , NO_x және CO); Гибридті бір бөлшектік лагранждық интегралды траектория (HYSPLIT) үлгісімен есептелген ауа массасының траекториялары.

Зерттеу әдістері

Диссертациялық жұмыс барысында $PM_{2.5}$ уақыттық ауытқуларына талдау жасалды. Метеорологиялық параметрлердің $PM_{2.5}$ концентрацияларына әсері корреляциялық талдаулар арқылы бағаланды: Convergent Cross Mapping (CCM) және Пирсон сызықтық корреляциясы. Сәйкес есептеулер Python 3.10 жүйесіндегі causal-ccm (0.3.3 т.) және scipy (т. 1.8.1) кітапханалары арқылы орындалды. Атмосфералық шекаралық қабаттың биіктігін есептеу үшін екі жалпы әдіс қолданылды: көлемдік Ричардсон саны (Ri) және потенциалдық температураны арттыру әдісі (PT). Ауаны ластаушы заттардың ықтимал аймақтық тасымалдануын зерттеу үшін Ұлттық мұхиттық және атмосфералық әкімшілік (NOAA) әзірлеген гибриді бір бөлшектік лагранждық интегралды траектория (HYSPLIT) үлгісін пайдаланып, 72 сағаттық ауа массасының кері траекториялары талданды. Зерттелетін қалалардағы ластау көздерін (стационарлық немесе жылжымалы) анықтау үшін EDGAR шығарындылары деректерін пайдалана отырып, арақатынасты талдау (SO_2/NO_x және CO/NO_x) пайдаланылды.

Зерттеудің негізгі нәтижелерінің сипаттамасы

1. Алматы мен Астанада ауаның айтарлықтай $PM_{2.5}$ ластануы көмірді қарқынды жағумен сәйкес келетін маусымдық сипатқа сәйкес келеді. Сонымен қатар, метеорологиялық параметрлер ластаушы заттардың дисперсиясын шектеуі мүмкін.

2. Ресми деректер дәстүрлі түрде көлікті ауаны ластаудың маңызды көзі ретінде анықтады, бірақ COVID-19 оқшаулауының нәтижелері бұл сектордың ластану деңгейіне әсер ететін жалғыз басты фактор емес екенін көрсетеді.

3. Метеорологиялық параметрлер $PM_{2.5}$ концентрациясына айтарлықтай әсер етті, әсіресе барлық зерттелген қалалардағы қыста және күзде байқалды. $PM_{2.5}$ концентрациясы ауа температурасымен, жел жылдамдығымен және жауын-шашынмен теріс корреляция, ал салыстырмалы ылғалдылықпен оң корреляция болды.

4. Кластерлік талдау көрсеткендей, $PM_{2.5}$ жоғары концентрациясы бар эпизодтардың көпшілігі Алматыда баяу қозғалатын ауа массаларында болған, ал Астанада ластаушы заттар көршілес өнеркәсіптік қалалардан (Қарағанды мен Павлодар) тасымалдануы мүмкін.

5. Зерттеу нәтижелері орташа тәуліктік $PM_{2.5}$ концентрациясы мен 12:00 UTC кезінде атмосфералық шекаралық қабат биіктігі (PBLH) арасында анық теріс байланысты көрсетті. Осылайша, қыс айларында жоғары $PM_{2.5}$ концентрациясы ($94,0 \text{ мкг/м}^3$) төмен PBLH ($392,5 \text{ м}$), ал жаз айларындағы төмен $PM_{2.5}$ концентрациясы ($9,9 \text{ мкг/м}^3$) жоғары PBLH ($1969,4 \text{ м}$) сәйкес келді. Жылдың суық жартысында $PM_{2.5}$ ең жоғары концентрациясының 20% төмен PBLH (500 м жер деңгейінен биіктігіден аз) және тыныш жел жағдайларымен байланысты болды.

Алынған нәтижелердің жаңалығы

Заманауи статистикалық әдістерді қолдана отырып, $PM_{2.5}$ концентрациясының уақытша өзгеруіне және $PM_{2.5}$ концентрациясына метеорологиялық параметрлердің әсерін кешенді бағалау жаңалық болып

табылады. Зерттеу аясында алғаш рет атмосфераның шекаралық қабатының биіктігі мен желдің ластану деңгейіне әсер етуіне талдау жүргізілді және $PM_{2.5}$ жоғары концентрациясы бар эпизодтар зерттелді. Зерттеуде COVID-19 пандемиясы кезіндегі шаралардың Қазақстан мен Орталық Азияның ірі қалаларында $PM_{2.5}$ деңгейіне әсері талданды. Алынған нәтижелер оқшаулау кезінде концентрацияның төмендеуі шамалы болғанын, ал кейбір қалаларда тіпті жоғарылағанын көрсетеді. Сонымен қатар, талдау нәтижелері бойынша Қазақстан қалаларының ауасының сапасын жақсарту бойынша практикалық ұсыныстарды енгізу ауаның сапасын басқару контекстінде зерттеуге практикалық жаңалық пен өзектілікті береді.

Зерттеу жұмысының ғылыми-практикалық маңыздылығы

Бұл жұмыстың маңыздылығы $PM_{2.5}$ ұсақ бөлшектерімен ластану механизмін түсіну үшін жаңа ғылыми білімдер мен мәліметтер алуда және метеорологиялық параметрлердің жоғары мәндері бар эпизодтардың пайда болу шарттарына үлесінің ерекшеліктерін анықтауда жатыр. $PM_{2.5}$. Зерттеулерден алынған ұсыныстар халықтың денсаулығын және қалалар мен аймақтардың тұрақты дамуын қамтамасыз ету үшін ауа сапасын басқару және мониторингілеудің тиімді стратегияларын әзірлеу үшін пайдаланылуы мүмкін. Сонымен қатар, зерттеу метеорология және ауа сапасы саласындағы қосымша зерттеулерге, оның ішінде одан әрі теориялық даму мен болжау үшін математикалық модельдерді пайдалану үшін негіз болады.

Алынған мәліметтердің негізділігі мен сенімділігі корреляциялық талдау және кластерлік талдау сияқты бірнеше статистикалық әдістердің көмегімен расталды. Қолданылған деректер мен әдістердің толық сипаттамасы зерттеу нәтижелерін қайталауға мүмкіндік береді.

Тақырыптың ғылыми-зерттеу жоспарымен және әртүрлі Мемлекеттік бағдарламалармен байланысы

Жұмыс Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрлігінің 2021-2023 жылдарға арналған «Алматы қаласының атмосфералық ауасының ластануын кешенді бағалау: көздерін анықтау, кеңістіктік-уақыттық талдау» (AP09260359) және 2021-2023 жылдарға арналған «Заманауи аналитикалық әдістер мен модельдеу құралдарын пайдалана отырып, Нұр-Сұлтан және Алматы қалаларының ауасының сапасын жақсарту бойынша ғылыми-зерттеу бағдарламасын әзірлеу» (BR10965258) жобалары аясында жүргізілді.

Қорғауға ұсынылатын негізгі ережелер:

1. Орталық Азия қалаларындағы $PM_{2.5}$ деңгейі ДДҰ-ның жылдық шегінен 4,3-12,6 есе асып түседі. Зерттелетін қалаларда ластаушы заттардың шығарындыларының тізімдемесін жасаудың ескірген әдісін қолданады.

2. COVID-19 локдауны зерттелген қалалардағы $PM_{2.5}$ концентрациясының деңгейіне айтарлықтай әсер еткен жоқ.

3. Баяу қозғалатын ауа массалары Алматыда (67%) жоғары $PM_{2.5}$ концентрациясы бар эпизодтарды сипаттайды, ал Астанаға көршілес өнеркәсіптік қалалар әсер етуі мүмкін.

4. $PM_{2.5}$ орташа тәуліктік концентрациясы атмосфералық шекаралық қабат биіктігімен (PBLH), шекаралық қабаттың жел жылдамдығымен және желдету

коэффициентімен теріс корреляцияланады.

Жұмыстың практикалық нәтижелерін апробациялау

Жұмыстың негізгі нәтижелері келесі халықаралық конференцияларда, семинарларда және форумдарда баяндалды: «Фараби әлемі» халықаралық конференциясы (Алматы, 2021 ж.); Asian Aerosol Conference (Тайбэй, Тайвань, 2022 ж.), Second Central Asian Air Quality Conference (Астана, 2023 ж.), 5th International Environmental Chemistry Congress (Анталия, Түркия, 2023 ж.).

Жарияланымдар

Орындалған жұмыстардың нәтижелері 4 ғылыми жұмыста көрсетілген, оның ішінде Atmospheric Environment (Q1 по WoS, Impact factor 5.0, Процентиль 93%), Urban Climate (Q1 по WoS, Impact factor 6,4, Процентиль 95%), Aerosol and Air Quality Research (Q2 по WoS, Impact factor 4,0, Процентиль 77%), Environmental Processes (Q3 по WoS, Impact factor 4,4, Процентиль 75%).

Әр мақаланы дайындауға докторанттың жеке үлесі

«Cities of Central Asia: New hotspots of air pollution in the world» (Atmospheric Environment, 309, 119901, Q1WoS) және «Planetary Boundary Layer and its Relationship with PM_{2.5} Concentrations in Almaty, Kazakhstan» (Aerosol and Air Quality Research, 22(8), 210294, Q2 WoS) мақалаларда Турсумбаева Мадина Оразғазықызы – бірінші автор. Докторант зерттеу тақырыбы бойынша әдебиеттерге шолу жасады, ластаушы заттардың концентрацияларының және метеорологиялық параметрлердің кеңістік-уақыттық өзгерістерін сапалық және сандық бағалауға қатысты, кіріспе, әдістеме, нәтижелер, қорытынды және графиктерді рәсімдеуді сипаттайтын мақалалардың алғашқы нұсқаларын дайындады және мақалалардың соңғы нұсқаларын өңдеу процесіне қатысты. Сонымен қатар, Турсумбаева М.О. журнал талаптарына сәйкес мақалалар дайындауға және рецензияның әрбір кезеңінен кейін мақалаларды жетілдіруге қатысты.

Мадина Турсумбаева «An episode-based assessment for the adverse effects of air mass trajectories on PM_{2.5} levels in Astana and Almaty» мақаланың (Urban Climate – 2022, 49, Q1 WoS) авторы. Турсумбаева М. метеорологиялық параметрлердің және PM_{2.5} кеңістіктік-уақыттық өзгерістеріне сапалық және сандық бағалау жүргізуге, мақаланың алғашқы нұсқаларын жазуға және мақаланы жетілдіруге және пысықтауға қатысты. Сондай-ақ, Турсумбаева М.О. журнал талаптарына сәйкес мақалалар дайындауға және рецензияның әрбір кезеңінен кейін мақаланы жетілдіруге қатысты.