

Улаанбаатар болон Дархан хотын гадаад, дотоод орчны агаарын бохирдлын харьцуулсан судалгаа

Д.Даваалхам^{1,2}, Б.Өлзийхутаг¹, Б.Батзориг^{1,2}, Х.Сэр-Од^{1,2}, Б.Нямсүрэн², М.Еркебулан², Г.Энхжаргал^{1,2}, Ш.Шатар^{1,2}, С.Мягмарчулуун^{1,2}, Д.Гантуяа^{1,2}, М.Анужин¹, Э.Маралмаа¹, Б.Буянтүшиг^{1,2}, Д.Өлзиймаа^{1,3}, Г.Жаргалсайхан^{1,2}, Н.Хүрэлбаатар^{1,2}, Б.Дамдиндорж^{1,3}

¹“Монголын Хүрээлэн буй Орчин, Хөдөлмөрийн Эрүүл Мэндийн Төв” төсөл

²АШУУИС, Нийгмийн Эрүүл Мэндийн Сургууль

³АШУУИС

Цахим шуудан: Davaalkham@mnums.edu.mn, Ymac: 99090141

Түлхүүр үг:

Агаарын бохирдол, гадаад орчин, доторх орчин, шууд хэмжилт, сууцны төрөл

Товч утга:

Үндэслэл: Гадаад, дотоод орчны агаарын бохирдол нь дэлхий дахинд өвчлөлийн ачаалал, нас баралтын тэргүүлэх эрсдэлт хүчин зүйлсийн нэг бөгөөд нарийн ширхэгт тоосонцор (PM_{2.5})-ын өртөлт нь зүрх судас, амьсгалын тогтолцооны өвчлөлийн эрсдэлийг нэмэгдүүлэхийн зэрэгцээ уушгины хорт хавдар, бодисын солилцооны болон мэдрэлийн тогтолцооны эмгэг үүсэх, дархлааны үйл ажиллагааны алдагдалд хүргэдэг. Монгол Улсын хот суурин газруудад өвлийн улиралд агаарын бохирдол өндөр түвшинд хүрдэг ба сүүлийн жилүүдэд ахуйн хэрэглээнд сайжруулсан түлшийг нэвтрүүлсэн ч дотоод болон гадаад орчны агаарын бохирдолд үзүүлэх нөлөө нь бүрэн судлагдаагүй хэвээр байна. **Зорилго:** Улаанбаатар, Дархан хотуудын гадаад орчин болон айл өрхийн сууцны доторх орчны агаарын бохирдлыг харьцуулан судлах. **Арга, аргачлал:** Судалгаанд Улаанбаатар, Дархан хотын гадна орчны агаарын бохирдлыг хянах суурин хэмжилтийн цэгүүдийн 2014-2026 оны хооронд үзүүлэлтийг ЦУОШГ-аас авч, өвөл зуны улиралд харьцуулан судласан. Дотоод орчны агаар дахь PM_{2.5} тоосонцрын агууламжийг судлахдаа Улаанбаатар, Дархан хотын орон сууц, байшин, гэрт амьдардаг 240 айл өрхийг хамруулан 2023-2026 оны хооронд 3 жилийн туршид дагаж судласан. Шууд хэмжилтийн (Purple Air) багажийг ашиглан, айл өрх бүрт өвөл, зуны улиралд тус бүр 14-21 хоног байршуулж, 10 минутын давтамжтайгаар, 24 цагийн туршид PM_{2.5} тоосонцрын агууламжийг тодорхойлсон. **Үр дүн:** 2014-2026 оны хооронд Улаанбаатар хотын гадна орчны агаар дахь PM_{2.5} тоосонцрын 24 цагийн дундаж агууламж 60.5 мкг/м³, PM₁₀ тоосонцрын 24 цагийн дундаж агууламж 117.3 мкг/м³, азотын давхар ислийн агууламж 37.3 мкг/м³, хүхрийн давхар ислийн дундаж агууламж 41.8 мкг/м³, озоны агууламж 27.5 мкг/м³ байсан бөгөөд нийслэлд сайжруулсан нүүрсийг хэрэглээнд нэвтрүүлснээс хойш тоосонцрын агууламж буурсан хандлагатай ч хүхрийн давхар ислийн агууламж нэмэгдсэн, мөн Дархан хоттой харьцуулахад өндөр байна. Дотоод орчны PM_{2.5} тоосонцрын дундаж агууламж Улаанбаатар хотод Дархан хоттой харьцуулахад өндөр түвшинд байна (60.7±86.1 vs 48.4±96.7). Сууцны төрлөөр статистикийн ач холбогдол бүхий ялгаатай (p<0.0001) байгаа бөгөөд хатуу түлш хэрэглэдэг байшин болон гэрт амьдардаг өрхүүдэд PM_{2.5}-ийн агууламж өндөр, харин орон сууцанд хамгийн бага түвшинд байна. Эдгээр үр дүн нь дотоод орчны агаарын бохирдол нь хот хооронд, сууцны төрөл болон улирлаас хамааран мэдэгдэхүйц ялгаатай байгааг илтгэж, хүн амын өртөлтийн түвшин өндөр хэвээр байгааг харуулж байна. **Дүгнэлт:** Улаанбаатар хотын гадна орчны агаар дахь тоосонцор, азотын болон хүхрийн давхар исэл зэрэг бохирдуулагчдын түвшин Монгол Улсын стандарт болон ДЭМБ-ын зөвлөмж хэмжээнээс 1-4 дахин өндөр байна. Айл өрхийн дотоод орчны PM_{2.5}-ийн бохирдол нь Дархан хоттой харьцуулахад Улаанбаатар хотод өндөр, сууцны төрөл болон улирлын нөлөөгөөр мэдэгдэхүйц ялгаатай байна.

Үндэслэл: Агаарын бохирдол нь Монгол Улс төдийгүй дэлхий дахинд нийгмийн эрүүл мэндийн тулгамдсан эрсдэлт хүчин зүйл хэвээр бөгөөд үндсэн бохирдуулагчдад нарийн ширхэгт тоосонцор ($PM_{2.5}$), хүхэрлэг хий (SO_2), азотын давхар исэл (NO_2), угаарын хий (CO), озон (O_3) багтдаг. Эдгээрээс $PM_{2.5}$ нь хэмжээ, химийн найрлага, биед нэвтрэх чадвараас шалтгаалан хүний эрүүл мэндэд хамгийн өндөр хоруу чанартай бөгөөд зүрх судасны болон амьсгалын тогтолцооны өвчлөлийн эрсдэлийг нэмэгдүүлдэг болох нь нотлогдсон.¹ Дэлхий дахинд гадаад орчны агаарын бохирдлоос шалтгаалан жилд ойролцоогоор 4.2 сая, харин дотоод орчны агаарын бохирдлоос 3.2 сая хүн цаг бусаар нас барж байгаа нь агаарын бохирдлын эрүүл мэндийн төдийгүй эдийн засгийн дарамт асар өндөр байгааг харуулж байна.² Нийслэлд сайжруулсан түлшийг хэрэглээнд нэвтрүүлснээс хойших бохирдлын тооцооллыг тогтмол явуулах, бохирдол өндөртэй бүсүүдэд хэмжилтийн судалгааг өргөжүүлэх, агаарын бохирдлын чиглэлд тогтмол шинэчлэл хийх шаардлагатайг онцолжээ.⁷ Бидний судалгаанд ашиглагдсан агаар дахь тоосонцрын агууламжийг шууд хэмжилтийн (Purple Air) багаж нь дэлхийн улс орнуудад өргөнөөр туршигдсан, хямд өртөгтэй, хэрэглэхэд хялбар бөгөөд иргэдийн тоос тоосонцрын өртөлтийг тогтоох, урьдчилан сэргийлэх, эрүүл мэндийг хамгаалахад өндөр ач холбогдолтой юм.⁸⁻¹⁰

Зорилго: Улаанбаатар, Дархан хотуудын гадна, доторх орчны агаарын бохирдлыг тодорхойлох.

Зорилт

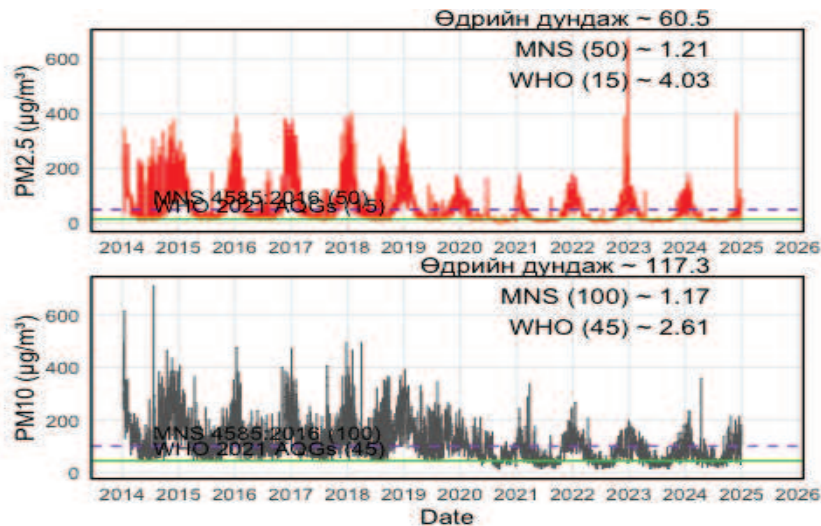
1. Улаанбаатар хотын гадна орчны агаар дахь $PM_{2.5}$, PM_{10} , NO_2 , SO_2 , O_3 , CO -ийн агууламжийг 2014-2026 оны хооронд судлах
2. Улаанбаатар, Дархан хотын айл өрхүүдийн доторх орчны агаар дахь $PM_{2.5}$ тоосонцрын агууламжийг 2023-2026 онд дагаж судлах

Арга, аргачлал: Судалгааны Зорилт 1-ийн хүрээнд Улаанбаатар хотын гадаад орчны агаарын үндсэн бодхирдуулагчид болох $PM_{2.5}$, PM_{10} , NO_2 , SO_2 , O_3 , CO -ийн агууламжийг

тодорхойлохдоо суурин хэмжилтийн 15 харуулын цэгийн 2014-2026 оны үзүүлэлтийг ЦУОШГ-аас авч, дүн шинжилгээ хийсэн. Зорилт 2-ын хүрээнд когорт судалгааны загвараар, зорилтот түүврийн аргаар Улаанбаатар, Дархан хотуудын орон сууц, байшин, гэрт амьдардаг тус бүр 120 өрх, нийт 240 өрхийг хамруулсан. Сууцны доторх орчны агаар дахь $PM_{2.5}$ тоосонцрын агууламжийг тодорхойлохдоо 2023-2026 оны өвөл, зуны улиралд, шууд хэмжилтийн (Purple Air) багажийг айл өрх бүрт 3-4 долоо хоногийн хугацаанд байршуулан 10 минутын давтамжтайгаар тасралтгүй хэмжилт хийсэн. Судалгаанд оролцогч айл өрхүүдэд багажийг стандарт аргачлалын дагуу нарны шууд тусгал, цонх, агааржуулалтаас хол, шалнаас 1-1.5 метрийн өндөрт байршуулсан. Талбарын судалгаанаас өмнө багажуудаар туршилтын хэмжилт хийж, багажийн найдвартай байдлыг хангасан. Судалгааны мэдээ мэдээлэлд STATA, Rstudio программуудыг ашиглан, дескриптив болон нарийвчилсан шинжилгээг хийсэн. Судалгааг гүйцэтгэхдээ ЭМЯ-ны Ёс зүйн хяналтын хорооноос ёс зүйн зөвшөөрөл авсан болно (№263, №24/020).

Үр дүн: Улаанбаатар хотын гадаад орчны $PM_{2.5}$ болон PM_{10} тоосонцрын агууламжийг 2014-2026 онд судлаж үзэхэд $PM_{2.5}$ -ийн 24 цагийн дундаж агууламж 60.5 мкг/м^3 байгаа нь Монгол Улсын стандарт (25 мкг/м^3)-аас ойролцоогоор 2.5 дахин, ДЭМБ-ын зөвлөмж (15 мкг/м^3)-өөс 4 дахин өндөр түвшинд байна. Хугацааны цуваан шинжилгээнээс харахад өвлийн улиралд огцом өсөлт ажиглагдаж, оргил агууламж 200–400 мкг/м^3 хүрч байгаа нь түлшний шаталтаас хамаарах улирлын шинжтэй бохирдолтой холбоотой юм. Харин зуны улиралд агууламж буурч, харьцангуй тогтвортой, бага түвшинд хадгалагдаж байна.

Цаг хугацааны чиг хандлагыг авч үзвэл 2019 оноос хойш $PM_{2.5}$ болон PM_{10} тоосонцрын агууламжийн зарим оргил утгууд буурах хандлага ажиглагдаж байгаа боловч нийт дундаж агууламж стандарт хэмжээнээс давсан хэвээр байна. Энэ нь хэрэгжүүлсэн бодлогын арга хэмжээнүүд тодорхой үр нөлөө үзүүлсэн ч агаарын чанарыг эрүүл мэндийн аюулгүй түвшинд хүргэж чадаагүйг илтгэж байна. (Зураг 1)

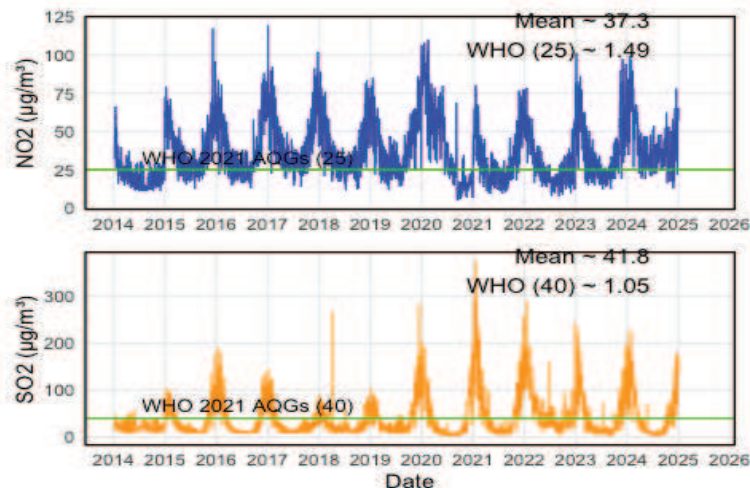


Зураг 1. Нийслэлийн гадна орчны агаар дахь PM2.5, PM10 тоосонцрын агууламж, 2014-2026 он

Улаанбаатар хотын гадаад орчны азотын давхар исэл (NO_2) болон хүхрийн давхар исэл (SO_2)-ийн агууламжийн хугацааны өөрчлөлтийг судлахад NO_2 -ийн хувьд 24 цагийн дундаж агууламж 37.3 мкг/м^3 байгаа нь ДЭМБ-ын зөвлөмж хэмжээнээс (25 мкг/м^3) ойролцоогоор 1.5 дахин өндөр байна. Хугацааны цуваанаас харахад улирлын тод хэлбэлзэлтэй бөгөөд өвлийн улиралд агууламж нэмэгдэж, олон удаагийн оргил утга ($80\text{--}120 \text{ мкг/м}^3$ орчим) ажиглагдаж байна. Энэ нь тээврийн хэрэгслийн ялгаруулалт болон түлшний

шаталт нэмэгддэг улиралтай уялдаж байгааг илтгэнэ. Харин зуны улиралд агууламж буурч, харьцангуй тогтвортой бага түвшинд байлаа.

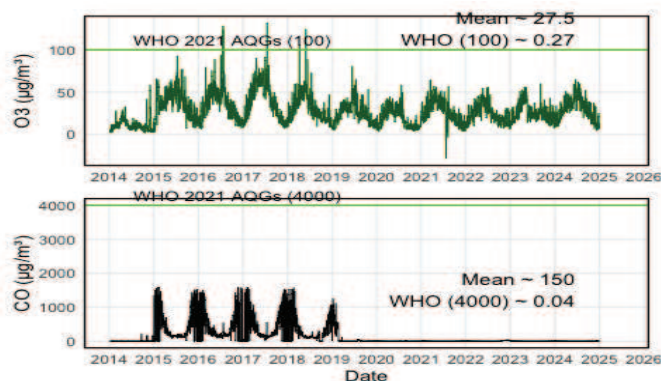
SO_2 -ийн хувьд 24 цагийн дундаж агууламж 41.8 мкг/м^3 бөгөөд ДЭМБ-ын зөвлөмж хэмжээнээс (40 мкг/м^3) бага зэрэг өндөр (~ 1.05 дахин) байна. Гэсэн хэдий ч хугацааны цуваанд өвлийн улиралд огцом өсөлттэй, зарим үед $200\text{--}300 \text{ мкг/м}^3$ хүрч байгаа нь нүүрс болон бусад хатуу түлшний шаталтаас үүдэлтэй хүхэр агуулсан хийн ялгаруулалт нэмэгдэж байгааг харуулж байна.



Зураг 2. Нийслэлийн гадна орчны агаар дахь NO_2 , SO_2 -ийн агууламж, 2014-2026 он

Зураг 3-т 2014–2026 оны хооронд Улаанбаатар хотын гадна орчны озон (O_3)-ы агууламжийн хугацааны өөрчлөлтийг харуулсан байна. O_3 -ийн дундаж агууламж 27.5 мкг/м^3 байгаа нь ДЭМБ-ын зөвлөмж хэмжээнээс (100

мкг/м^3) доогуур байлаа. Хугацааны цуваанаас харахад O_3 -ийн агууламж нь улирлын тодорхой хэлбэлзэлтэй бөгөөд дулаан улиралд өсөж, хүйтэн улиралд буурах хандлагатай байна.



Зураг 3. Нийслэлийн гадна орчны агаар дахь озоны агууламж, 2014-2026 он

Улаанбаатар хотын гадны орчны агаар дахь бохирдуулагчдыг улирлаар харьцуулахад статистик ач холбогдол бүхий ялгаа ажиглагдсан. Тухайлбал, агаарын түгээмэл бохирдуулагчид

өвлийн улиралд хамгийн өндөр идэвхжилтэй, зуны улиралд хамгийн бага агууламжтай тодорхойлогдсон. Харин озон нь дулааны улиралд өндөр идэвхжилтэй байна (Хүснэгт 1).

Хүснэгт 1. Улаанбаатар хотын гадна орчны агаар дахь түгээмэл бохирдуулагчдын агууламж, улирлаар

Бохирдуулагчид	Намар N=1,001	Хавар N=1,012	Зун N=1,012	Өвөл N=993	P утга
PM _{2.5}	52.0±55.3 [2.7-381.0]	33.4±26.6 [4.0- 235.4]	26.9±40.9 [2.9- 309.4]	131.3±83.0 [4.7- 674.3]	<0.001
PM ₁₀	118.9±74.6 [11.7- 464.6]	98.6±50.2 [13.7- 494.9]	83.1±61.8 [11.2- 710.4]	169.9±84.8 [23.4- 614.7]	<0.001
NO ₂	33.7±14.8 [4.8 - 89.6]	34.7±13.0 [9.4- 81.2]	25.2±8.3 [8.0- 65.9]	55.9±19.8 [6.7- 119.3]	<0.001
CO	159.2±297.4 [0.1- 1,582.8]	139.0±233.4 [0.2-1,464.9]	53.2±75.3 [0.1- 548.3]	251.3±450.9 [0.4- 1,596.1]	<0.001
O ₃	19.8±9.8 [1.6- 68.5]	37.0±14.2 [6.7- 106.0]	35.1±17.9 [-28.8-131.9]	17.7±10.9 [1.7- 66.0]	<0.001
SO ₂	30.5±26.1 [1.6- 158.1]	29.6±22.4 [3.2- 267.5]	15.2±11.7 [1.5- 160.3]	93.0±54.7 [10.1- 375.4]	<0.001

Тайлбар: Kruskal-Wallis rank sum test

Айл өрхийн сууцны доторх орчны PM_{2.5} тоосонцрын дундаж агууламж Улаанбаатар хотод Дархан хоттой харьцуулахад өндөр (60.7±86.1 vs 48.4±96.7мкг/м³) байна. Сууцны төрлөөр статистикийн ач холбогдол бүхий ялгаатай байгаа (p<0.0001) бөгөөд хоёр хотод аль алинд нь монгол гэрт PM_{2.5}-ийн агууламж хамгийн өндөр (Дархан: 63.9мкг/м³; Улаанбаатар: 67.5 мкг/м³), харин орон сууцанд хамгийн бага (Дархан: 21.7±29.7; Улаанбаатар: 41.4±58.7) байна. Байшин, гэр зэрэг хатуу түлш хэрэглэдэг сууцанд бохирдол өндөр байгаа нь дотоод орчны агаарын чанарт түлшний хэрэглээ чухал нөлөөтэйг илтгэнэ. Эдгээр үр дүнг голч утгаар илэрхийлсэн үр дүн мөн ижил хандлагатай байсан.

Улирлын ялгаагаар мөн статистикийн ач холбогдолтой зөрүү ажиглагдсан (p<0.0001). Зуны улиралд PM_{2.5}-ийн агууламж хамгийн бага (Дархан: 6.2–16.0; Улаанбаатар: 18.4–18.9) байгаа бол өвлийн улиралд огцом нэмэгдэж (Дархан: 60.4–69.9; Улаанбаатар: 68.3–83.9) хамгийн өндөр түвшинд хүрсэн байна. Ялангуяа Улаанбаатар хотод 2024–2025 оны өвөл хамгийн өндөр агууламж бүртгэгдсэн бол Дархан хотод 2025–2026 оны өвөл хамгийн өндөр байна.

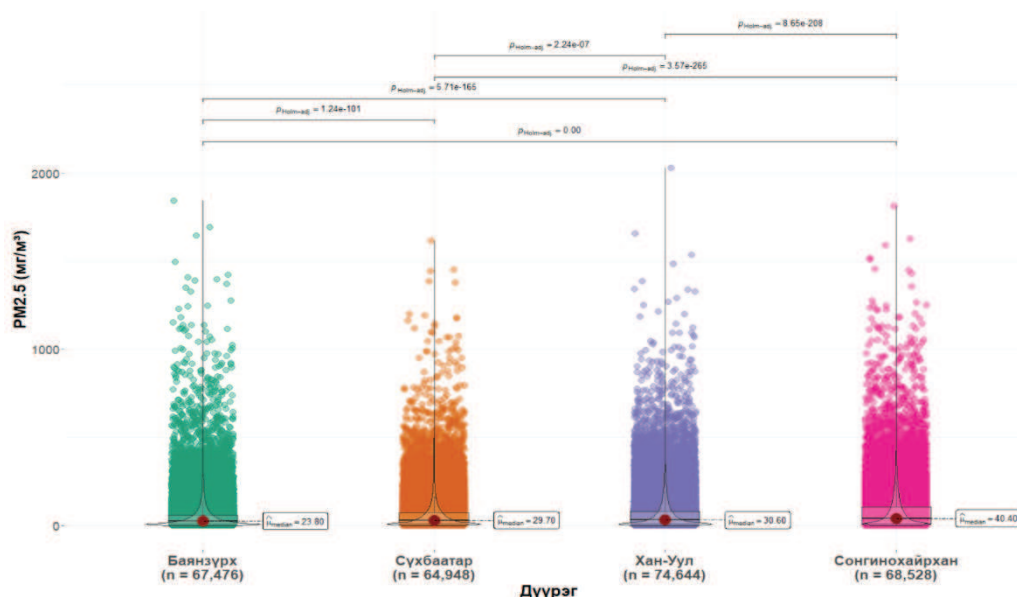
Эдгээр үр дүн нь дотоод орчны PM_{2.5} бохирдол нь хот, сууцны төрөл болон улирлын хүчин зүйлсээс хамааран мэдэгдэхүйц ялгаатай бөгөөд өвлийн улирал болон гэр, байшинд амьдардаг өрхүүдэд өртөлтийн эрсдэл өндөр байгааг харуулж байна. (Хүснэгт 2).

Хүснэгт 2. Сууцны доторх орчны агаар дахь PM_{2.5} тоосонцрын агууламжийг сууц, улирал, дүүргээр харьцуулсан дүн, 2023-2026 оны хооронд

Үзүүлэлт	Дархан		Улаанбаатар		Р утга
	Дундаж	С.Х	Дундаж	С.Х	
Нийт	48.4	96.7	60.7	86.1	
Сууцны төрөл					<0.0001
Байшин	48.3	96.8	65.7	90.5	
Гэр	63.9	116.5	67.5	93.5	
Орон сууц	21.7	29.7	41.4	58.7	
Улирал					<0.0001
Зун /2024/	16.0	46.7	18.9	47.0	
Зун /2025/	6.2	18.9	18.4	47.8	
Өвөл /2023-2024/	60.4	106.2	78.8	90.2	
Өвөл /2024-2025/	67.0	102.8	83.9	88.6	
Өвөл /2025-2026/	69.9	120.7	68.3	97.0	

Нийслэлийн дүүргүүдийн хооронд дотоод орчны PM_{2.5} тоосонцрын агууламжийг медианаар харьцуулан судлахад статистикийн ач холбогдол бүхий ялгаа ажиглагдсан. Голч утгын хувьд Баянзүрх дүүрэгт хамгийн бага (23.8 мкг/м³), харин Сүхбаатар (29.7 мкг/м³), Хан-Уул (30.6 мкг/м³), Сонгинохайрхан дүүрэгт хамгийн өндөр (40.4

мкг/м³) агууламж тодорхойлогдсон. Эдгээр үр дүн нь дотоод орчны PM_{2.5} бохирдол нь дүүрэг хооронд ялгаатай бөгөөд түлшний хэрэглээ, сууцны төрөл, агаар сэлгэлт зэрэг хүчин зүйлсээс шалтгаалан зарим дүүрэгт хүн амын өртөлтийн эрсдэл өндөр байгааг харуулж байна. (Зураг 4).



Зураг 4. Нийслэлийн айл өрхүүдийн доторх орчны агаар дахь PM_{2.5} тоосонцрын агууламжийг дүүргээр харьцуулан судалсан дүн, 2023-2026 оны хооронд

Хэлцэмж: Бидний судалгаагаар нийслэлийн гадна орчны агаар дахь зарим түгээмэл бохирдуулагчдын агууламж сайжруулсан нүүрсийг иргэдийн хэрэглээнд нэвтрүүлсэн 2020 оноос хойш буурсан нь дотоодын зарим судалгааны үр дүнтэй дүйж байна. Харин хүхрийн давхар ислийн агууламж нэмэгдсэн байна.³⁻⁴ Улаанбаатар хотод 2020 оноос эхлэн сайжруулсан нүүрсийг иргэдийн хэрэглээнд нэвтрүүлсэн бөгөөд түүхий нүүрсийг хэрэглэж байх үетэй харьцуулахад бохирдуулагчийн агууламж буурсан хэдий ч стандарт хэмжээнээс

даруй өндөр байгаа нь цаашдын судалгааг өргөжүүлэх, агаарын бохирдлыг бууруулах үр дүнтэй интервенц хэрэгжүүлэх шаардлагатайг харуулж байна. Гадаад орчны PM_{2.5} тоосонцрын бохирдол нь Улаанбаатар хотод улирлын өндөр хэлбэлзэлтэй, стандарт хэмжээнээс тогтмол давсан хэвээр байгаа бөгөөд хүн амын эрүүл мэндэд ноцтой эрсдэл учруулсан хэвээр байна.

NO₂ болон SO₂-ийн бохирдлыг олон жилийн дунджаас харахад Улаанбаатар хотод улирлын өндөр хэлбэлзэлтэй, ялангуяа өвлийн улиралд эрс нэмэгдэж байгаа бөгөөд дундаж

түвшин зарим тохиолдолд зөвлөмж хэмжээнээс давсан хэвээр байгаа нь агаарын чанар, хүний эрүүл мэндэд эрсдэл учруулж буйг илтгэнэ. Мөн судалгааны хугацаанд O_3 -ийн бохирдлын түвшин зарим үед нэмэгдэж байгаа боловч нийт дундаж түвшин ДЭМБ-ын зөвлөмж хэмжээнээс даваагүй байна. Иймээс Улаанбаатар хотын гадна орчны O_3 -ийн бохирдол нь $PM_{2.5}$, PM_{10} , NO_2 , SO_2 -той харьцуулахад харьцангуй бага түвшинд байгаа боловч зуны улиралд нэмэгдэх хандлагатай байлаа. Энэ нь озон нь анхдагч бус, фотохимийн урвалаар хоёрдогч байдлаар үүсдэг бохирдуулагч болохыг илтгэж байна. Өөрөөр хэлбэл нарны цацраг идэвхтэй, агаарын температур өндөр үед азотын ислүүд болон дэгдэмхий органик нэгдлүүдийн оролцоотойгоор озоны үүсэлт нэмэгддэг.¹¹

Хүхрийн давхар ислийн агууламж 2020 оноос хойш тогтвортой нэмэгдсэн нь сайжруулсан нүүрсний химийн найрлагатай холбоотой байх боломжтой бөгөөд амьсгал, зүрх судас, мэдрэлийн эрхтэн тогтолцоо, 2-р хэлбэрийн чихрийн шижин зэрэгт сөргөөр нөлөөлдөг ажээ.¹² Сууцны доторх орчны агаар дахь $PM_{2.5}$ тоосонцор нь сайжруулсан нүүрсийг хэрэглэдэг Улаанбаатар хотын айл өрхүүдэд харьцангуй өндөр хэмжигдсэн нь зуухны онцлог, хүн амын нягтрал, газарзүйн онцлог зэрэг орчны хүчин зүйлсээс гадна цаг уурын хүчин зүйлсийн нийлбэр нөлөөгөөр тайлбарлагдах боломжтой. Улаанбаатар хотод өвлийн улиралд хийгдсэн судалгаагаар айл өрхийн доторх орчны агаар дахь $PM_{2.5}$ тоосонцрын агууламж уламжлалт зуухтай өрхөд 203.9 ± 195.1 мкг/м³, сайжруулсан

зуухтай өрхөд 257.5 ± 204.4 мкг/м³ хэмжигдсэн нь бидний судалгаанаас зөрүүтэй байгаа нь тус судалгаа Улаанбаатар хотод сайжруулсан нүүрсийг хэрэглээнд нэвтрүүлэхээс өмнөх үед хийгдсэнтэй холбоотой байж болно.¹³ Бид сууцны доторх орчны агаар дахь $PM_{2.5}$ тоосонцрыг шууд хэмжилтийн (Purple Air) багаж ашиглан тодорхойлсон ба судлаач С.Цэнд-Аюуш нарын (2022) судалгаатай ойролцоо байлаа.¹⁴

Дүгнэлт:

1. Улаанбаатар хотын гадна орчны агаар дахь тоос тоосонцрууд, азотын болон хүхрийн давхар исэл зэрэг бохирдуулагчид нь Монгол улсын стандарт, ДЭМБ-ын зөвлөмж хэмжээнээс тус бүр 1-4 дахин өндөр байна.
2. Нийслэлийн айл өрхүүдийн доторх орчны агаар дахь $PM_{2.5}$ тоосонцрын агууламж нь Дархан хотын айл өрхүүдээс харьцангуй өндөр түвшинд байна. Өвлийн улиралд бохирдлын түвшин нэмэгдэх хандлагатай бөгөөд монгол гэрт амьдардаг өрхүүдэд $PM_{2.5}$ тоосонцрын өртөлтийн эрсдэл бусад сууцны төрлүүдтэй харьцуулахад статистик үнэн магадтай өндөр байна.

Талархал: Энэхүү судалгааг АНУ-ын Эрүүл Мэндийн Үндэсний Хүрээлэнгийн санхүүжилтээр АШУҮИС-ийн хэрэгжүүлж буй «Монголын Хүрээлэн буй Орчин, Хөдөлмөрийн эрүүл мэндийн төв» сэдэвт төслийн хүрээнд хийж гүйцэтгэлээ (5U01TW012229-03). Судалгааг 3 жилийн хугацаанд хийж гүйцэтгэсэн төслийн удирдах баг, нийт судлаач нар, судалгаанд хамрагдсан айл өрх, оролцогчиддоо талархал илэрхийлье.

Ном зүй:

1. Wu W, Jin Y, Carlsten C. Inflammatory health effects of indoor and outdoor particulate matter. *J Allergy Clin Immunol*. 2018;141(3):833-844. doi:10.1016/j.jaci.2017.12.981
2. Heft-Neal S, Burney J, Bendavid E, Burke M. Robust relationship between air quality and infant mortality in Africa. *Nature*. 2018;559(7713):254-258. doi:10.1038/s41586-018-0263-3
3. Г.Жаргалсайхан. Сайжруулсан Түлшний Агаарын Чанарт Үзүүлэх Нөлөөллийг Гадаад, Дотоод Орчинд Харьцуулсан Судалгаа. НЭМУ-ы докторын зэрэг горилсон нэг сэдэвт бүтээл. Анагаахын Шинжлэх Ухааны Үндэсний Их сургууль; 2024
4. Х.Ээлин. Улаанбаатар, Дархан Хотын Гадаад Орчны Агаарын Бохирдлын Судалгаа. НЭМ-ийн магистрын зэрэг горилсон нэг сэдэвт бүтээл. Анагаахын Шинжлэх Ухааны Үндэсний Их сургууль; 2023
5. А.Энхжаргал. Амьсгал, Зүрх Судасны Тогтолцооны Өвчлөл, Нас Баралт, Өвчний Дарамтад Гадаад Орчны Агаарын Бохирдлын Үзүүлэх Нөлөө. АУ-ы докторын зэрэг горилсон нэг сэдэвт бүтээл. Анагаахын Шинжлэх Ухааны Үндэсний Их сургууль; 2020
6. О.Оюун-Эрдэнэ. Улаанбаатар Хотын Хүн Амын Амьсгалын Замын Өвчлөл, Нас Баралт, Агаарын Бохирдлын Хамаарал. НЭМ-ийн магистрын зэрэг горилсон нэг сэдэвт бүтээл. Эрүүл Мэндийн Шинжлэх Ухааны Их сургууль; 2013
7. Soyol-Erdene TO, Ganbat G, Baldorj B. Urban Air Quality Studies in Mongolia: Pollution Characteristics and Future Research Needs. *Aerosol Air Qual Res*. 2021;21(12):210163. doi:10.4209/aaqr.210163
8. Ardon-Dryer K, Dryer Y, Williams JN, Moghimi N. Measurements of $PM_{2.5}$ with PurpleAir under atmospheric conditions. *Atmos Meas Tech*. 2020;13(10):5441-5458. doi:10.5194/amt-13-5441-2020
9. Mousavi A, Wu J. Indoor-Generated $PM_{2.5}$ During COVID-19 Shutdowns Across California: Application of the PurpleAir Indoor-Outdoor Low-Cost Sensor Network. *Environ Sci Technol*. 2021;55(9):5648-5656. doi:10.1021/acs.est.0c06937
10. Johnson, K., A. Holder. PurpleAir $PM_{2.5}$ performance across the U.S. 2020. https://cfpub.epa.gov/si/si_public_record_report.cfm?Lab=CE-MM&dirEntryId=348236
11. Seoyeong Ahn, Hyewon Yun, Jieun Oh, Sooyoung Kim, Hyemin Jang, Yejin Kim et al. Short-term exposure to warm-season ozone, cardiovascular mortality, and novel high-risk populations: A nationwide time-stratified case-crossover study, *Atmos. Environ*. Volume 345, 2025, 121031, ISSN 1352-2310, <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2025.121031>
12. Khalaf EM, Mohammadi MJ, Sulisti-

- yani S, et al. Effects of sulfur dioxide inhalation on human health: a review. *Rev Environ Health*. 2022;39(2):331-337. Published 2022 Dec 22. doi:10.1515/reveh-2022-0237
13. Lim M, Myagmarchuluun S, Ban H, et al. Characteristics of Indoor PM_{2.5} Concentration in Gers Using Coal Stoves in Ulaanbaatar, Mongolia. *IJERPH*. 2018;15(11):2524. doi:10.3390/ijerph15112524
14. Sainnokhoi TA, Kováts N, Gelencsér A, et al. Characteristics of particle-bound polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in indoor PM_{2.5} of households in the Southwest part of Ulaanbaatar capital, Mongolia. *Environ Monit Assess*. 2022;194(9):665. doi:10.1007/s10661-022-10297-0

Comparative study of outdoor and indoor air pollution in Ulaanbaatar and Darkhan cities

Davaalkham D^{1,2}, Ulziikhutag B¹, Batzorig B^{1,2}, Ser-Od Kh^{1,2}, Nyamsuren B^{1,2}, Yerkebulan M^{1,2}, Enkhjargal G^{1,2}, Shatar Sh^{1,2}, Myagmarchuluun S^{1,2}, Gantuya D^{1,2}, Ulziimaa D^{1,3}, Buyantushig B^{1,2}, Jargalsaikhan G^{1,2}, Anujin M¹, Maralmaa E¹, Khurelbaatar N^{1,3}, Damdindorj B^{1,3}

¹"Mongolian Center for Environmental and Occupational Health" project

²School of Public Health, MNUMS

³MNUMS

E-mail: Davaalkham@mnums.edu.mn, Tel: +976-99090141

Keywords:

Air pollution; PM_{2.5}; indoor; ambient; real-time monitoring; housing type

Background: Ambient and household air pollution remain leading risk factors for global morbidity and mortality. Exposure to fine particulate matter (PM_{2.5}) is associated with increased risks of cardiovascular and respiratory diseases, as well as lung cancer, metabolic and neurological disorders, and immune dysfunction. In urban areas of Mongolia, air pollution reaches critical levels during the winter season. Although improved solid fuels have been introduced in recent years, their impact on both outdoor and indoor air quality remains insufficiently characterized. **Aim:** To compare outdoor and household air pollution levels in Ulaanbaatar and Darkhan cities. **Materials and Methods:** Outdoor air pollution data for Ulaanbaatar were obtained from fixed monitoring stations of the National Agency for Meteorology and Environmental Monitoring for the period 2014–2026, with seasonal comparisons performed. For indoor air quality assessment, a longitudinal study was conducted among 240 households (apartments, houses, and traditional gers) in Ulaanbaatar and Darkhan from 2023 to 2026. PM_{2.5} concentrations were measured using real-time sensors (PurpleAir sensor), deployed for 14–21 days per season (winter and summer) in each household, recording data at 10-minute intervals over 24-hour periods. **Results:** Between 2014 and 2026, the 24-hour mean concentrations in Ulaanbaatar were 60.5 µg/m³ for PM_{2.5}, 117.3 µg/m³ for PM₁₀, 37.3 µg/m³ for NO₂, 41.8 µg/m³ for SO₂, and 27.5 µg/m³ for O₃. While particulate matter levels showed a decreasing trend following the introduction of improved fuels, SO₂ concentrations increased, and overall pollution levels remained higher than those observed in Darkhan. Indoor PM_{2.5} concentrations were higher in Ulaanbaatar compared to Darkhan (60.7±86.1 vs 48.4±96.7 µg/m³). Significant differences were observed by housing type (p<0.0001), with higher concentrations in households using solid fuels (houses and gers) and lower levels in apartments. These findings indicate substantial variability in indoor air pollution by city, housing type, and season, with persistently elevated exposure levels. **Conclusion:** Outdoor air pollutant concentrations in Ulaanbaatar, including particulate matter, NO₂, and SO₂, exceed national standards and WHO guideline values by 1–4 times. Indoor PM_{2.5} pollution is higher in Ulaanbaatar than in Darkhan and varies significantly by housing type and season, indicating a high and heterogeneous exposure burden among urban populations.