PM2.5 тоосонцорыг суурин болон шууд хэмжилтийн (PurpleAir) аргуудаар хэмжиж, харьцуулан судалсан дүн

Б.Буянтүшиг[1], Г.Энхжаргал[1], Г.Жаргалсайхан[1], Б.Өлзийхутаг[2], Д.Өлзиймаа[2], Б.Дамдиндорж[2], Д.Даваалхам[1]

[1]АШУҮИС, НЭМС, Орчны эрүүл мэндийн тэнхим
[2]"Монголын хүрээлэн буй орчин ба хөдөлмөрийн эрүүл мэндийн төв" төсөл
Цахим шуудан: buyantushig@mnums.edu.mn, Утас: 94008141

Түлхүүр үг:
Агаарын чанар
PM2.5 тоосонцор
Өртөг багатай
багаж
PurpleAir

Товч утга:
Үндэслэл: Орчны агаар дахь тоосонцор зүрх судасны болон амьсгалын замын өвчлөлд нөлөөлөх хүчин зүйл болж байна. Агаарын чанарын хэмжилтийг зөв оновчтой хийх нь нийгмийн эрүүл мэндийн хувьд чухал ач холбогдолтой. Иймд хотуудын агаарын чанарын суурин харуулын цэгт хэмжих боломжгүй байршилд зөөврийн шууд хэмжилтийн багаж (PurpleAir)-ийг өвлийн улиралд гадна орчинд ашиглах боломжтой эсэхийг суурин хэмжилтийн дүнтэй харьцуулан судлах шаардлагатай байна.**Зорилго:** Гадна орчны агаарт PurpleAir багажаар PM2.5 тоосонцорыг хэмжиж, суурин хэмжилтийн цэгийн үр дүнтэй харьцуулж үнэлэх. **Арга, аргачлал:** Нийслэл Улаанбаатар хотод судалгааг хийж гүйцэтгэв. Судалгааны мэдээллийг өвлийн улиралд буюу 2024 оны 12-р сарын 9-ний өдрөөс 2025 оны 2-р сарын 14-ний хооронд 45 хоногийн турш цуглуулав. Шууд хэмжилтийг гэрлийн сарнилын багаж (PurpleAir Classic)-ийг нийт 25 байршилд байрлуулж 24 цагийн турш тасралтгүй хэмжилт хийсэн. Эдгээрээс 1 байршилд суурин хэмжилтийн цэгийн хажууд, 3 байршилд (3үүн 4 зам, Яармаг, Сэлбэ) 200м дотор судалсан хугацааны PM2.5 тоосонцрын мэдээллийг ашиглаж хэмжилтийн үр дүнг харьцуулсан. Мэдээлэлд R программ ашиглан статистик боловсруулалт хийж үр дүнг үнэлэв. **Үр дүн:** Суурин хэмжилтийн 13 цэгийн дундаж судалгааны хугацаанд 65мкг/м^3 байсан бол шууд хэмжилтийн 25 PurpleAir багажийн дундаж утга 88мкг/м^3 байсан. PurpleAir багажаар хэмжсэн дүнг UB2 суурин цэгтэй зэрэгцээ хэмжилт хийж хэмжилтийн үр дүнгийн нийцлийг шалгахад 2 хэмжилтийн дүн нийцэж ($r=0.93$, $R^2=0.87$) байна ($p<0.05$). 3үүн 4 зам, Яармаг, Сэлбэ байршилд хийсэн хэмжилтийн дүнгүүд хамаарал дунд зэргийн хамааралтай ($r=0.38$, $r=0.61$, $r=0.25$) байна. **Дүгнэлт:** Гадна орчны агаарт PM2.5 тоосонцрын агууламжийг автомат болон уламжлалт аргаар хэмжих боломжгүй нөхцөлд бага өртөгтэй, шууд хэмжилтийн багажаар хэмжилт хийж агаарын чанарыг хянах боломжтой байна.

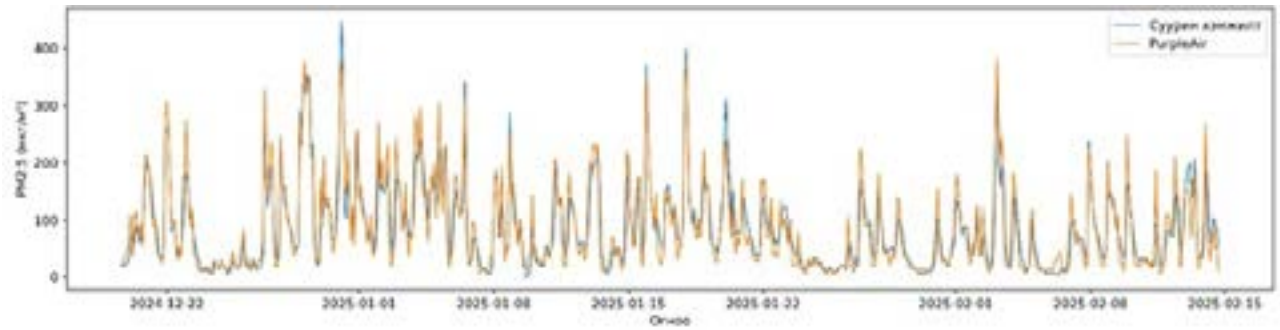
Үндэслэл: Орчны агаар дахь тоосонцор (PM2.5, PM10) нь зүрх судасны, амьсгалын замын өвчлөл, эдгээрээс шалтгаалсан нас баралтын эрсдлийг нэмэгдүүлдэг хүчин зүйлсийн нэг төдийгүй эрүүл мэндэд үзүүлэх нөлөөг бодитой үнэлэхийн тулд агаарын чанарын хэмжилтийг зөв аргачлалаар, оновчтой, улирлын онцлогт тохируулан хийх нь нийгмийн эрүүл мэндийн бодлого, эрсдэл бууруулах арга хэмжээний үр нөлөөг дээшлүүлэх суур болохыг судлаачид онцолсон байна[1,2-.] Хотын суурин автомат хэмжилтийн цэг нь агаарын чанарын мэдээлэл олгодог ч, газарзүйн хамрах хүрээнд хязгаарлагдмал тул орон зайн ялгаатай байдлыг бүрэн илэрхийлж чаддаггүй. Ялангуяа хүн ам ихээр суурьшсан төвлөрсөн бүсүүдэд "Хэмжих боломжгүй" хэсгүүд түгээмэл байдаг. Иймээс нөхцөлд бага өртөгтэй шууд хэмжилтийн багаж болох PurpleAir зэрэг мэдрэгчийг нэмэлтээр ашиглавал орон зайн нягтыг нэмэгдүүлж, хүн амын бодит өртөлтийн зураглалыг сайжруулах боломжтой байна гэж судлаачид тэмдэглэсэн байна.[4-2] Гэвч өвлийн улиралд гадна орчинд ашиглах боломж, хэмжилтийн найдвартай байдал, хүйтэн улирлын нөлөөл (температур, харьцангуй чийг, салхи), мөн

шалгалт тохируулга, баталгаажуулалтын шаардлага зэргийг системтэй үнэлэх судалгаа зайлшгүй хэрэгтэй байна. Иймд суурин хэмжилтийн цэгтэй зэрэгцээ хэмжилт хийж мэдээллийн чанарын хяналт (QA/QC) ба тасралтгүй ажиллагааны үнэлгээ хийж, улмаар өвлийн улиралд гадна орчинд ашиглах техникийн боломж ба хязгаарлалтыг тогтоох судалгааг хэрэгжүүлэх шаардлагатай байгаа нь энэхүү судалгааны үндэслэл боллоо.[9-5]

Зорилго: Улаанбаатар хотын гадна орчны агаарт шууд хэмжилтийн (PurpleAir) багажаар PM2.5 тоосонцорыг хэмжин тодорхойлж, суурин хэмжилтийн цэгийн үр дүнтэй харьцуулж үнэлэх

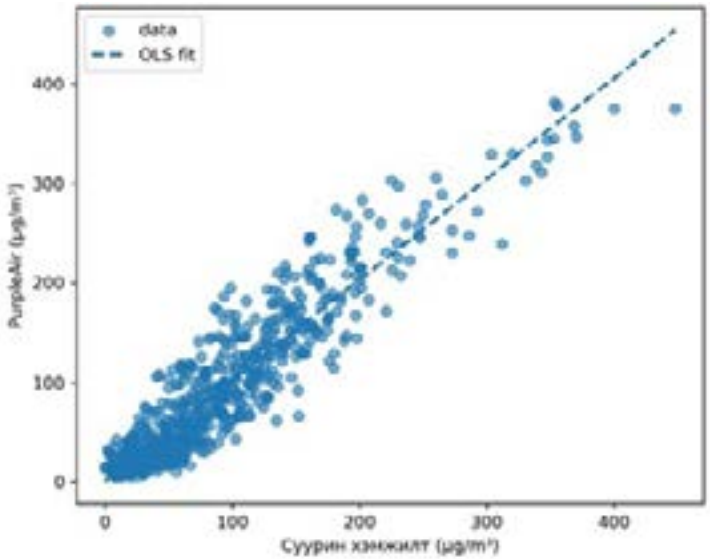
Арга, аргачлал: Бид энэхүү судалгааг аналитик судалгааны агшингийн загвар ашиглан хийж гүйцэтгэв. Ингэхдээ нийслэл Улаанбаатар хотын суурин хэмжилтийн цэгийг судалгаанд хамруулан судлав. Судалгааны мэдээллийг өвлийн улиралд буюу 2024 оны 12-р сарын 9-өөс 2-р сарын 14-ний хооронд 45 хоногийн турш цуглуулав. Шууд хэмжилтийн өртөг багатай гэрлийн сарнилын багаж (PurpleAir Classic)-ийг 25 байршилд байрлуулж 24 цагийн турш тасралтгүй хэмжилт хийсэн. Хэмжилтийн хугацаанд шууд хэмжилтийн (PurpleAir Classic+) багаж байрлуулж, 2 минутын интервалаар хэмжилт хийсэн. Багажийн мэдээллийг 1 цагийн интервалтай болгож аргуудыг харьцуулсан. Эдгээрээс 1 байршилд суурин хэмжилтийн цэгтэй зэрэгцүүлэн, 3 байршилд (Сэлбэ, Зүүн 4 зам, Яармаг) 200 м дотор судалсан хугацааны PM2.5 тоосонцрын мэдээллийг ашиглаж хэмжилтийн үр дүнг харьцуулсан. Мэдээлэлд R программ ашиглан статистик боловсруулалт хийж үр дүнг үнэлэв. АШУҮИС-ийн Судалгааны ёс зүйн хяналтын хорооны 2024 оны 11 дүгээр сарын 21-ний өдрийн хурлаас (24-25/03-01 тоот) ёс зүйн зөвшөөрөл авч энэхүү судалгааг хэрэгжүүлэв.

Үр дүн: Суурин хэмжилтийн 13 цэгийн дундаж судалгааны хугацаанд 65 мкг/м^3 байсан бол шууд хэмжилтийн 25 PurpleAir багажийн дундаж утга 88 мкг/м^3 байсан $p<0.05$). Харин PurpleAir багажуудыг зэрэгцээ хэмжилт хийхэд багажуудын зөрүү хамгийн ихдээ 13.3-15.2% буюу 9.6-11.0 мкг/м^3 зөрүүтэй байв. Судалгаанд зэрэгцээ хэмжилтийн дүнд 2 аргуудыг харьцуулахад ижил зураглал ажиглагдсан. Баруун 4 замын суурин хэмжилтийн дундаж 86.3±74.4 мкг/м^3 байсан бол PurpleAir багажийн дундаж утга 88.5±81.3 мкг/м^3 байна. (Зураг 1)



Зураг 1. PM2.5 тоосонцорыг шууд хэмжилтийн аргыг суурин хэмжилттэй харьцуулан судалсан дүн, мкг/м^3

Зэрэгцээ хэмжилтийн дүнг харьцуулахад шууд хэмжилтийн PurpleAir багаж нь суурин хэмжилтийн дүнг 87% илэрхийлж, хэмжилтийн дүн дүйж байна. ($p<0.05$, $R^2=0.87$) Аргуудын дундаж PM2.5 утгын хамаарлыг тооцоход r=0.93 буюу хүчтэй, эерэг хамаарал ажиглагдсан. (Зураг 2)



Зураг 2. PM2.5 тоосонцорыг шууд хэмжилтийн багажаар хэмжиж, суурин хэмжилттэй харьцуулсан нь

PurpleAir багажийг суурин хэмжилтийн 200м дотор байршуулсан үр дүнг харьцуулахад Зүүн 4 зам, Яармаг байршилд хийсэн хэмжилтийн дүнгүүд хамаарал дунд (r=0.38, r=0.61) байсан бол Сэлбэ байршилд бага (r=0.25) байна. (Хүснэгт 1)

Хүснэгт 1. Суурин хэмжилтийн дүнг 200м зайд байршуулсан шууд хэмжилтийн багажтай харьцуулсан дүн

Байршил	Хэмжилтийн төрөл	PM2.5 (мкг/м³) Голч утга	Хамаарал, r	P утга
Зүүн 4 зам	PurpleAir	30.8	0.38	<0.05
	Суурин хэмжилт	31.0		
Яармаг	PurpleAir	30.6	0.61	<0.05
	Суурин хэмжилт	69.8		
Сэлбэ	PurpleAir	109.0	0.25	<0.05
	Суурин хэмжилт	84.2		

Хэлцэмж: Манай оронд хийгдсэн ихэнх судалгаа нь дотор орчинд шууд хэмжилтийн тухайлбал гэрлийн сарнилын аргаар хэмжиж үнэлсэн боловч гадна орчинд шууд хэмжилтийн багажтай харьцуулсан судалгааны дүн цөөн байна.[4,6-9]

Бидний судалгаанд суурин хэмжилт болон PurpleAir багажийн аргуудын үр дүн зөрүүтэй байсан нь байршлын хувьд ялгаатай, бусад эх үүсвэрийн нөлөө тухайлбал замтай ойр байх, цаг уурын хүчин зүйлс (салхины чиглэл, хурд), газар зүйн онцлог, багажийн хэмжилтийн онцлог зэрэг олон хүчин зүйлс нөлөөлсөн байх боломжтой.[12,17] Энэ нь мөн бидний 3 байршилд хэмжсэн дүнд дээрх хүчин зүйлс нөлөөлсөн байж болох юм.

Бидний судалгааны онцлог тал нь гадна орчинд гадна орчинд өвлийн улиралд олон байршилд өвлийн улиралд хэд хэдэн байршилд зэрэгцээ хэмжилт, мөн суурин хэмжилтийн цэгтэй харьцуулсан бол Ч.Батболд (2024) нарын судалгаанд зөвхөн нэг байршилд шууд хэмжилтийн багажийг ашигласан байна.[18]

Мөн шууд хэмжилтийн багаж нь бусад судалгааны адилаар өндөр хэмждэг талаар дурьдсан байгаатай дүйж байна. Шууд хэмжилтийн PurpleAir багажийг хамгийн оновчтой сайжруулах томъёоллыг тооцсоор байгаа бөгөөд аргууд улам боловсронгуй болсоор байна.[14-16] Шууд хэмжилтийн PurpleAir багажийг ашиглан суурин хэмжилтийн цэгтэй харьцуулан үнэлэх r=0.93 хүчтэй хамааралтай байгаа нь Karoline.K нарын судалгааны дүнтэй дүйж байна.[19]

Дүгнэлт: Гадна орчны агаарт PM2.5 тоосонцрын агууламжийг автомат болон уламжлалт аргаар хэмжих боломжгүй нөхцөлд бага өртөгтэй, шууд хэмжилтийн багажаар хэмжилт хийж агаарын чанарыг хянах боломжтой байна.

Судалгааны ажлын хязгаарлагдмал тал: Бидний судалгаа нь шууд хэмжилтийн багажийг зөвхөн нэг суурин хэмжилтийн цэгтэй зэрэгцүүлэн 45 хоногийн хугацаанд хэмжсэн бөгөөд үүнийг цаашид олон байршилд илүү урт хугацаанд судлах, мөн бусад улирлыг хамруулан судлах замаар сайжруулах боломжтой юм.

Талархал: Судалгааг хэрэгжүүлэхэд үнэтэй хувь нэмэр оруулсан “Монголын хүрээлэн буй орчин ба хөдөлмөрийн эрүүл мэндийн төв” судалгааны бүх судлаачид, судалгаанд хамрагдсан айл өрх, байгууллагуудад талархал илэрхийлье.

Ном зүй:

1. *ДЭМБ. Агаарын чанарын зөвлөмж. 2021*
2. *Үндэсний статистикийн хороо. Улаанбаатар хотын агаарын бохирдлын хүний эрүүл мэндэд үзүүлэх нөлөө. 2020*
3. *Nakao M, Yamauchi K, Ishihara Y, Omori H, Ichinnorov D, Solongo B. Effects of air pollution and seasons on health-related quality of life of Mongolian adults living in Ulaanbaatar: cross-sectional studies. BMC Public Health. 2017 Jun 23;17(1):594. doi: 10.1186/s12889-017-4507-1. PMID: 28645332; PMCID: PMC5481926.*
4. *Air pollution in Mongolia. Bull World Health Organ. 2019 Feb 1;97(2):79-80. doi: 10.2471/BLT.19.020219. PMID: 30728613; PMCID: PMC6357570.*
5. *Chavan RG, Kaur J, Charan GS. Unseen crisis: Revealing the hidden health impact of indoor air pollution-A scoping review. J Educ Health Promot. 2024 Oct 28;13:410. doi: 10.4103/jehp.jehp_412_24. PMID: 39703661; PMCID: PMC11658038.*
6. *Warburton D, Warburton N, Wigfall C, Chimedsuren O, Lodoisamba D, Lodoysamba S, Jargalsaikhan B. Impact of Seasonal Winter Air Pollution on Health across the Lifespan in Mongolia and Some Putative Solutions. Ann Am Thorac Soc. 2018 Apr;15(-Suppl 2):S86-S90. doi: 10.1513/AnnalsATS.201710-758MG. PMID: 29676634; PMCID: PMC6850795.*
7. *Air pollution in Mongolia. Bull World Health Organ. 2019 Feb 1;97(2):79-80. doi: 10.2471/BLT.19.020219. PMID: 30728613; PMCID: PMC6357570.*
8. *АШУУИС НЭМС. Дотоод орчны агаарын бохирдлын үнэлгээ. 2019*
9. *Battsengel E, Murayama T, Nishikizawa S, Chonokhuu S. Evaluation of Daily Behaviors Related to Health Risks of the Ger Residents in Ulaanbaatar, Mongolia. Sustainability. 2021; 13(9):4817. https://doi.org/10.3390/su13094817*
10. *Badarch J, Harding J, Dickinson-Craig E, et al. Winter Air Pollution from Domestic Coal Fired Heating in Ulaanbaatar, Mongolia, Is Strongly Associated with a Major Seasonal Cyclic Decrease in Successful Fecundity. Int J Environ Res Public Health. 2021;18(5):2750. Published 2021 Mar 9. doi:10.3390/ijerph18052750*
11. *Nakao, M., Yamauchi, K., Ishihara, Y. et al. Effects of air pollution and seasons on health-related quality of life of Mongolian adults living in Ulaanbaatar: cross-sectional studies. BMC Public Health 17, 594 (2017). https://doi.org/10.1186/s12889-017-4507-1*
12. *Enkhmaa, D., Warburton, N., Javzandulam, B. et al. Seasonal ambient air pollution correlates strongly with spontaneous abortion in Mongolia. BMC Pregnancy Childbirth 14, 146 (2014). https://doi.org/10.1186/1471-2393-14-146*

13. *Allen RW, Gombojav E, Barkhasragchaa B, et al. An assessment of air pollution and its attributable mortality in Ulaanbaatar, Mongolia. Air Qual Atmos Health. 2013;6(1):137-150. doi:10.1007/s11869-011-0154-3*
14. *Wallace, L., Zhao, T., & Klepeis, N. E. (2022). "Calibration of PurpleAir PA-I and PA-II Monitors Using Daily Mean $PM_{2.5}$ Concentrations Measured in California, Washington, and Oregon from 2017 to 2021." Sensors, 22(13), 4741. This paper establishes a revised calibration factor (CF) of 3.4 for both PA-II and PA-I PurpleAir sensors by comparing them with Federal Reference Method (FRM) monitors over a four-year period MDPIPMC.*
15. *Wallace, L. (2022). "Intercomparison of PurpleAir Sensor Performance over Three Years Indoors and Outdoors at a Home: Bias, Precision, and Limit of Detection Using an Improved Algorithm for Calculating $PM_{2.5}$." Sensors, 22(7), 2755. This study analyzes sensor performance in terms of bias, precision, and detection limits using the improved ALT-CF3 calibration algorithm MDPI.*
16. *Wallace, L., & Ott, W. (2023). "Long-Term Indoor-Outdoor $PM_{2.5}$ Measurements Using PurpleAir Sensors: An Improved Method of Calculating Indoor-Generated and Outdoor-Infiltrated Contributions to Potential Indoor Exposure." Sensors, 23(3), 1160. This work proposes a refined method to disentangle indoor-generated versus outdoor-infiltrated $PM_{2.5}$ using PurpleAir data*
17. *Ariunsaikhan, A., Batbaatar, B., Dorjsuren, B., & Chonokhuu, S. (2022). Air pollution levels and PM concentrations in Khovd and Ulaanbaatar Cities of Mongolia. International Journal of Environmental Science and Technology, September. https://doi.org/10.1007/s1762-022-04493-1*
18. *Batbold, C., Narmandakh, M., Batjargal, B. et al. An annual result of outdoor and indoor PM 2.5 analysis in two different building types in Ulaanbaatar, Mongolia. Environ Monit Assess 196, 932 (2024). https://doi.org/10.1007/s10661-024-13102-2*
19. *Karoline K. Barkjohn, Brett Gantt, and Andrea L. Clements. Development and application of a United States-wide correction for PM2.5 data collected with the PurpleAir sensor. Volume 14, issue 6 AMT, 14, 4617–4637, 2021 https://doi.org/10.5194/amt-14-4617-2021*

Results of a comparative study between monitoring stations and real-time low-cost sensor measurements (PurpleAir) for PM2.5

Buyantushig B[1], Enkhjargal G[1], Jargalsaikhan G[1], Ulziikhutag B[2], Ulziimaa D[2], Damdindorj B[2], Davaalkham D[1]

[1]Department of Environmental Health, School of Public Health, MNUMS
[2]Mongolian Environmental and Occupational Health Center" project
E-mail: buyantushig@mnums.edu.mn, Tel: +976-94008141

Background: Particulate matter in ambient air is an important risk factor for cardiovascular and respiratory diseases. Accurate and appropriate air quality monitoring is therefore critical for public health. In this context, it is necessary to investigate the feasibility of using low-cost direct monitoring devices (such as PurpleAir) in outdoor environments during the winter season, particularly in urban areas where fixed monitoring stations are not available.
Aim: To assess and compare the outdoor PM2.5 concentrations in Ulaanbaatar and Darkhan during the winter season.
Materials and Methods: The study was conducted in the capital city of Mongolia. The data collected for 45 days during the winter season, from December 9, 2024 to February 14, 2025. Continuous low-cost sensor was collected using a light scattering device (PurpleAir Classic) at a total of 25 locations and for 24 hours. Of these, 1 location was located next to a fixed measurement point and 3 locations (Zuun 4 zam, Yarmag, Selbe) were located within 200m of the study area, and the measurement results were compared using PM2.5. We used R software for statistical analysis.
Results: The average PM2.5 concentration measured at the 13 fixed monitoring sites during the study period was 65 μg/m³, while the average from the 25 PurpleAir sensors was 88 μg/m³. Parallel measurements conducted with the PurpleAir sensors and the UB4 fixed monitoring station showed a moderate correlation ($r=0.44$, $R^2=0.22$, $p<0.05$). The measurement results at the Zuun 4 zam, Yarmag, and Selbe locations have a moderate correlation ($r=0.38$, $r=0.61$, $r=0.25$).
Conclusion: In situations where it is not possible to measure PM2.5 particulate matter in outdoor air automatically or by conventional methods, it is possible to monitor air quality by measured by low-cost sensors.

Keywords: Air quality, PM2.5 particles, Low-cost device, PurpleAir