

# Factors affecting indoor air quality in kindergartens

Iderkhangai Erdenebat<sup>1,\*</sup>, Soyol-Erdene Tseren-Ochir<sup>1</sup>,  
Barkhasragchaа Baldorj<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Department of Environment and Forest Engineering, School of Engineering and Technology, National University of Mongolia, Ulaanbaatar, Mongolia*

<sup>2</sup>*Central Laboratory of Environmental Monitoring, National Agency of Meteorology and Environmental Monitoring, Ulaanbaatar, Mongolia*

\*Corresponding author email: [khangai0610@gmail.com](mailto:khangai0610@gmail.com)

Received: 30 April 2024 / Accepted: 18 September 2024 / Published online: 29 November 2024

## ABSTRACT

As part of this study, we aimed to determine the air quality in kindergartens where children aged 5 and under, the most vulnerable group to air pollution, spend their daytime hours. We sought to identify the factors influencing air quality in these indoor environments. From September 2022 to March 2023, we conducted measurements in 36 kindergarten classrooms located in Ulaanbaatar's ger districts (n=15), apartment districts (n=20), and a remote area (n=1), using the AirVisual Pro portable air quality measurement device. We measured particulate matter (PM<sub>10</sub>), fine particulate matter (PM<sub>2.5</sub>), carbon dioxide (CO<sub>2</sub>), temperature (t), and relative humidity (RH) at 15-minute intervals. Using the measurement results, we performed statistical analysis to assess changes in air pollution over time and correlations with the external environment and attendance of children. The study results identified several factors affecting indoor air quality in kindergartens: 1. Analysis of particulate matter measurements in 36 kindergartens showed that the average PM<sub>10</sub> level in the 14 kindergartens in the ger district was 76.3±50.1 µg/m<sup>3</sup>, while in the 20 kindergartens in the apartment district, it was 42.4±26.5 µg/m<sup>3</sup>. In the remote area kindergarten, the average PM<sub>10</sub> level was 22.8 µg/m<sup>3</sup> with lower variability. 2. The average PM<sub>10</sub> level in the KG3 kindergarten located in the ger district was 1.6 times higher than in the KG105 kindergarten in the apartment district and 3.7 times higher than in the KG48 kindergarten in the remote area. PM<sub>10</sub> levels in the KG3 (ger district) kindergarten increased during morning and evening heating times, whereas in the KG105 (apartment district) kindergarten, it only increased during evening heating times and remained at the same level throughout the week. In the KG48 (remote area) kindergarten, PM<sub>10</sub> levels rose until 11:00 AM, coinciding with the children's arrival time, and were very low on weekends. The carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) levels in all kindergartens increased sharply at the start of classes and remained high until dismissal, with a slight decrease observed during naptime.

**Keywords:** Child, ger area, Residential area, Remote area, Air quality

# Дотоод орчны агаарын чанарт нөлөөлөх зарим хүчин зүйлс: Цэцэрлэгийн орчны судалгаа

Идэрхангай Эрдэнэбат<sup>1,\*</sup>, Соёл-Эрдэнэ Цэрэн-Очир<sup>1</sup>,  
Бархасрагчаа Балдорж<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Инженер Технологийн Сургууль, Хүрээлэн буй орчин, ойн инженерчлэлийн тэнхим,  
Монгол Улсын Их Сургууль, Улаанбаатар, Монгол

<sup>2</sup>Байгаль Орчны Хэмжил Зүйн Төв Лаборатори, Цаг Уур, Орчны Шинжилгээний Газар,  
Улаанбаатар, Монгол

\*Холбоо барих зохиогчийн цахим хаяг: [khangai0610@gmail.com](mailto:khangai0610@gmail.com)

Хүлээн авсан: 2024 оны 04 сарын 30 өдөр / Зөвшөөрөгдсөн: 2024 оны 09 сарын 18 өдөр /  
Нийтлэгдсэн: 2024 оны 11 сарын 29 өдөр

## ХУРААНГУЙ

Энэхүү судалгааны ажлын хүрээнд агаарын бохирдолд хамгийн өртөмтгий насны бүлэг болох 5 хүртэлх насны хүүхдийн өдрийн цагаа өнгөрөөж буй цэцэрлэгийн дотоод орчны агаарын чанарыг тодорхойлох, нөлөөлж буй хүчин зүйлсийг тодруулахаар зорилоо. Улаанбаатар хотын гэр хороолол (n=15), орон сууцны хороолол (n=20) болон хотын төвөөс алслагдсан (n=1) байршилд нийт 36 цэцэрлэгийн ангиудад 2022 оны 9-р сараас 2023 оны 3-р сар хүртэлх хугацаанд AirVisual Pro жижиг оврын агаарын чанарын хэмжигч төхөөрөмжийн тусламжтай том ширхэглэгт (PM<sub>10</sub>) тоосонцор, нарийн ширхэглэгт (PM<sub>2.5</sub>) тоосонцор, нүүрстөрөгчийн давхар исэл (CO<sub>2</sub>), температур (t), харьцангуй чийгшил (RH) зэрэг үзүүлэлтүүдээр 15 минутын интервалтай хэмжилт гүйцэтгэсэн. Хэмжилтийн үр дүнг ашиглан статистик боловсруулалт, агаарын бохирдлын цаг хугацааны өөрчлөлт, гадаад орчин, хүүхдийн ирцээс хамаарах хамаарал зэргийг тооцсон. Судалгааны үр дүнгээс цэцэрлэгийн дотоод орчны агаарын чанарт нөлөөлөх дараах хүчин зүйлсийг тодорхой болголоо. Тухайлбал: (1) 36 цэцэрлэгийн дотоод орчны тоосонцрын хэмжилтийн үр дүнгээс харахад гэр хорооллын 14 цэцэрлэгийн PM<sub>10</sub>-ын дундаж агууламж 76.3±50.1 мкг/м<sup>3</sup>, орон сууцны хорооллын 20 цэцэрлэгийн PM<sub>10</sub>-ын дундаж агууламж 42.4±26.5 мкг/м<sup>3</sup> байна. Алслагдсан бүсэд байрлах цэцэрлэгт PM<sub>10</sub>-ын дундаж агууламж 22.8 мкг/м<sup>3</sup>, хэлбэлзэл бага байгаа нь байна. (2) Гэр хорооллын бүсэд байрлах KG3 цэцэрлэгийн PM<sub>10</sub>-ын дундаж агууламж орон сууцны хороололд байрлах KG105 цэцэрлэгийн PM<sub>10</sub>-ын дундаж агууламжаас 1.6 дахин их, алслагдсан бүсэд байрлах KG48 цэцэрлэгийн PM<sub>10</sub>-ын дундаж агууламжаас 3.7 дахин их байна. Тоосонцрын агууламж KG3 (гэр хороолол) цэцэрлэгт өглөө, оройн галлагааны цагуудад, KG105 (орон сууцны хороолол) цэцэрлэгт зөвхөн оройн галлагааны цагуудад өсөх ба долоо хоногийн бүх өдрүүдэд ижил түвшинд, KG48 (алслагдсан бүс) цэцэрлэгт өглөөний хүүхэд цуглах цагтай зэрэгцэн 11:00 цаг хүртэл өсөөд буурах ба амралтын өдрүүдэд маш бага байна. Харин нүүрстөрөгчийн давхар исэл (CO<sub>2</sub>)-ийн агууламж бүх цэцэрлэгүүдэд хичээл эхлэх

цагаас огцом өсөж, тарах хүртэл өндөр байдаг ба энэ хооронд хүүхдүүд унтах цагаар бага зэрэг буурсан ажиглагдаж байна.

*Түлхүүр үгс: Хүүхэд, Гэр хороолол, Орон сууц, Алслагдсан бүс, Агаарын чанар*

## 1. ОРШИЛ

Дэлхий нийтэд агаарын бохирдлын улмаас зүрхний өвчин, цус харвалт, уушгины архаг бөглөрөлт, хавдар, хүүхдийн амьсгалын замын хурц халдварт өвчин зэргээр жил бүр 4.3 сая хүн нас барж байна [1]. Тухайлбал, уушгины хорт хавдраар нас барагчдын 29 хувь нь, амьсгалын цочмог халдварт өвчнөөр нас барагчдын 17 хувь нь, цус харвалтын улмаас нас барагчдын 24 хувь нь, зүрх судасны өвчнөөр нас барагчдын 25 хувь нь, уушгины архаг бөглөрөлтөөр нас барагчдын 43.0 хувь нь агаарын бохирдолтой холбоотой байна [1].

Агаарын бохирдлын улмаас хүүхэд амьсгалын доод замын цочмог халдвараар өвчлөх, өвчний дарамт үүсэн улмаар агаарын бохирдлоос үүдсэн архаг өвлөлүүдэд илүү өртөмтгий болдог. Тухайлбал, уушгины хөнгөн эсвэл хүнд хэлбэрийн хаггалгаа тусах нь наад зах нь нэг архаг өвчин үүсэх эрсдэлийг нэмэгдүүлдэг ба энэ нь ихэнхдээ уушгины үйл ажиллагаа муудах үр дагаварт хүргэдэг [2]. Түүнчлэн агаарын бохирдлын өртөлт ба олон удаа хатгалгаа өвчин тусах нь хүүхдийн цаашдын амьдралд агаарын бохирдлоос үүдсэн архаг өвчнөөр өвдөх магадлалыг нэмэгдүүлдэг байна [3].

Хүний эрхтэн тогтолцооны өөрчлөлтөд агаар мандалд буй олон төрлийн бодисууд дангаараа болон хамтран нөлөөлдөг. Тэдгээрээс бүх тогтолцоонд сөрөг нөлөөтэй нь  $PM_{2.5}$  болон  $PM_{10}$  тоосонцор юм.  $PM_{2.5}$  тоосонцрын агууламж хүлээн зөвшөөрөгдөх хэмжээнээс илүү гарснаар амьсгалын тогтолцооны, хавдар, зүрх судасны тогтолцооны болон нөхөн

үржихүйн тогтолцооны өвчлөлийн шалтгааны нэг болдог байна [1].  $PM_{2.5}$  болон  $PM_{10}$  нь хоорондоо хэмжээгээрээ ялгаатай юм.  $PM$  (Particular matter) гэдэг нь particles буюу агаарт тогтож үлдсэн хатуу, шингэсэн эсвэл холимог төлөвтэй органик болон химийн гаралтай бодисууд юм. Эдгээр бодисууд хоорондоо нэгдээд агаарын бохирдуулагч тоосонцор болдог. Жишээ нь органик тоос (амьтны гаралтай, ургамлын, мөөгөнцрийн), агаарт дэгдсэн бактери, барилгын материалуудаас үүсдэг тоосонцор, мод, нүүрсний утааны тоосонцор гэх мэт [4]. Сономдагва (2018) ба бусад судлаачид “Гадаад болон дотоод орчны агаар дахь  $PM_{2.5}$ -аас хувь хүний өртөлтийг тодорхойлох нь” судалгаандаа судалгааны объект буюу хувь өртөгч нь хүйтний улиралд гадаад орчинд хамгийн ихээр агаарын бохирдолд өртөж байгаа ба харин дотоод орчинд, тэр дундаа шөнийн цагт хамгийн бага өртөж байна гэсэн дүгнэлтэд хүрчээ. Бямбацэрэн ба бусад судлаачдын 2018 оны “Гадаад болон дотоод орчны нарийн ширхэглэгт ( $PM_{2.5}$ ) тоосонцрын судалгааны зарим үр дүн” судалгаандаа “Улаанбаатар хотын агаар дахь нарийн ширхэглэгт тоосонцрын агууламж 10 дугаар сараар эхлэн агаарын чанарын стандарт утгаас давж эхэлж байгаа бөгөөд 12 болон 1 дүгээр саруудад бохирдлын оргил үедээ хүрч байна. Мөн хэмжилт хийж буй цэгүүдийн орчны шинж чанараас шалтгаалж дотоод орчны бохирдол гадаад орчны бохирдлоос хүчтэй болон сул хамаарч байна. Дийлэнх өдрүүдийн хэмжилтэд шөнийн 00:00 цагаас 04:00 цаг хүртэл бохирдол өндөр түвшинд байж 05:00 цагаас бууран өглөөний 07:00-09:00 цагийн орчимд өсөж, 10:00 цагаас

эхлэн буурч өдрийн турш бохирдол бага түвшинд байгаа нь ажиглагдаж байгаа бөгөөд оройны 18 цагаас эхлэн бохирдол нэмэгдэн маргааш өдрийн 02:00 хүртэл нарийн ширхэглэгт тоосонцрын бохирдол тухайн хоногийн оргил үедээ хүрч байна” гэж дурджээ (Бямбацэрэн, 2018).

Улаанбаатар хотын гэр хороолол, орон сууц болон алслагдсан бүсэд байрлах цэцэрлэгүүдийн дотоод орчны агаарын чанар, түүнд нөлөөлөх хүчин зүйлсийг тодорхойлоход зорилготой бөгөөд энэхүү зорилгын хүрээнд дараах зорилтуудыг дэвшүүлсэн. Үүнд:

1. Сонгож авсан цэцэрлэгүүдэд хичээллэх хугацаанд агаарын чанарын үндсэн үзүүлэлтүүдээр тасралтгүй хэмжих
2. Цэцэрлэгүүдийн дотоод орчны тоосонцрын хоног, долоо хоногийн явцыг судлах
3. Цэцэрлэгүүдийн дотоод орчны агаарын чанарт үзүүлэх хүчин зүйлсийг судлах

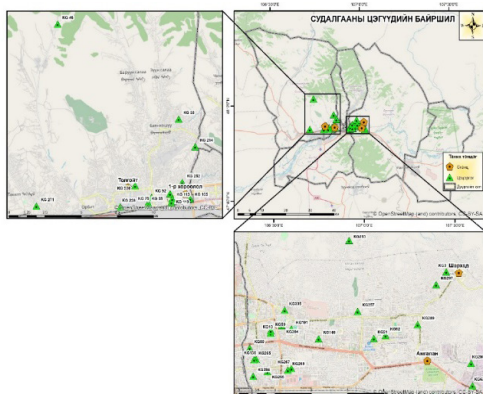
## 2. СУДАЛГААНЫ АРГАЗҮЙ

### 2.1. Судалгааны цэгийн мэдээлэл

Судалгааны цэгүүд нь Улаанбаатар хотын Баянзүрх, Сонгинохайрхан дүүргийн нутаг дэвсгэрт байрлах 36 цэцэрлэгийн тус бүр 30-35 хүүхэдтэй ангид дотоод орчинд агаарын чанар хэмжигч жижиг оврын төхөөрөмжийг суурилуулсан. Гэр хороолол (n=14), орон сууцны хороолол (n=21) болон хотын төвөөс алслагдсан бүсэд (n=1) байрлах гэсэн 3 бүсийг хамарна. (Зураг 1).

Баянзүрх дүүргийн гэр хорооллын бүсэд 3, 213, 289, 297, 305-р цэцэрлэгүүд Цагдаагийн гудамж, Алтан өлгийн гудамж, Цайз зах, Да хүрээ зах, Шар хадны эцэс зэрэг байршлуудад, орон сууцны хорооллын бүсэд 10, 21, 50, 59, 62, 82, 136, 146, 191, 204, 255, 256, 257, 265, 267, 268, 296-р цэцэрлэгүүд Натур, Бөхийн

өргөө, Оюутны хотхон, Энхтайвангийн өргөн чөлөө, Улаанхуаран байршлуудад, Сонгинохайрхан дүүргийн гэр хорооллын бүсэд 38, 55, 105, 214, 226, 228, 252, 271, 303-р цэцэрлэгүүд Баянхошуу, Гэмтэл, Их наран, Орбит, Толгойт, Тахилт, орон сууцны хорооллын 79, 92, 113, 119-р цэцэрлэгүүд Саппоро, Москва хороолол, Хотын төвөөс алслагдсан бүсэд 48-р цэцэрлэг Баянголын ам буюу Найрамдал хүүхдийн зусланд байрлана.



Зураг 15. Судалгааны цэгүүдийн байршил

### 2.2. Судалгааны багаж

Агаарын чанарын технологи хөгжүүлэгч IQAir компанийн AirVisual Pro жижиг оврын агаарын чанар хэмжигч төхөөрөмжийг 2022 оны 9 дүгээр сард цэцэрлэгүүдэд интернэт сүлжээний холболт, цаг, цагийн бүс, хэмжилтийн интервал болон бусад тохируулгыг тохируулж суурилуулсан. Хэмжилтийн мэдээллийг Хүснэгт 1-г харуулав.

Хүснэгт 8. Багажийн техникийн үзүүлэлтүүд

| Хэмжих үзүүлэлт  | Нэгж               | Нарийвчлал | Хэмжих хязгаар |
|--|--------------------|------------|----------------|
| Том ширхэглэгт (PM <sub>10</sub> ), нарийн ширхэглэгт (PM <sub>2.5</sub> ) тоосонцор | мкг/м <sup>3</sup> | ±10        | 0-1000         |

|   |     |    |             |
|---|-----|----|-------------|
| Нүүрстөрөгчийн давхар исэл (CO <sub>2</sub> ) | ppm | -  | 400-10000   |
| Температур (t)                                | °C  | ±2 | -40 – (+90) |
| Харьцангуй чийгшил (RH)                       | %   | ±1 | 1-100       |

### 2.3. Судалгааны өгөгдөл боловсруулалт

Судалгааны цэгүүдэд 2022 оны 9 дүгээр сарын 22-ноос 2023 оны 3 дугаар сарын 22-ны хугацаанд шууд хэмжилт хийж гүйцэтгэсэн. Нийт 36 цэцэрлэгийн дотоод орчны 6 үзүүлэлтийг 15 минутын давтамжтай n=3,336,768, гадаад орчны 4 агаарын чанарын станцын 2 үзүүлэлтийг n=69504 хэмжиж, үр дүнг газарзүйн мэдээллийн системийн Arcgis 10.8.1, Google Earth Pro, статистик шинжилгээг Microsoft Office Excel (Kutools), Rstudio 4.3.3 зэрэг программ хангамжийн тусламжтай боловсруулж тус судалгааны ажлыг хийж гүйцэтгэлээ. Үр дүнгийн боловсруулалтад ашигласан статистик шинжилгээг Хүснэгт 2-т харуулав.

Хүснэгт 9. Статистик анализ

| Дата мэдээлэл  | Хувьсагчид                           | Статистик шинжилгээ, арга зүй |
|--|--------------------------------------|-------------------------------|
| Цэцэрлэгийн дотоод орчин (AirVisual Pro багажаар хэмжсэн үр дүн) | PM <sub>2.5</sub> , PM <sub>10</sub> | Дескриптив статистик          |
|  | CO <sub>2</sub>                      | Дундаж утга                   |
|  | t                                    | Корреляцийн шинжилгээ         |
|  | RH                                   | Пирсоны Регрессийн шинжилгээ  |
| Гадаад орчин (Агаарын чанарын харуулын мэдээ)                    | PM2.5, PM10                          | Шугаман регресс               |
| Цэцэрлэгийн хүүхдийн ирцийн мэдээлэл                             | Ирц                                  |                               |

### 3. СУДАЛГААНЫ ҮР ДҮН, ХЭЛЭЛЦҮҮЛЭГ

Цэцэрлэгүүдийн дотоод орчны том ширхэглэгт тоосонцрын бохирдол байршлаас хамаарах хамаарлыг гэр хороолол, орон сууцны болон алслагдсан бүсээр авч үзэв.

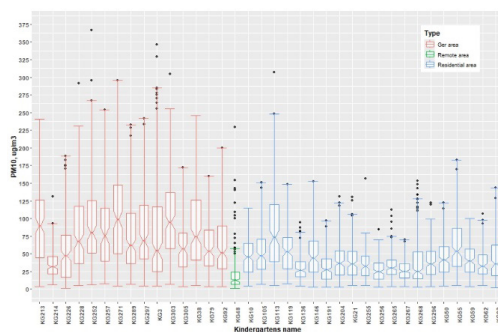


График 1. Цэцэрлэгүүдийн дотоод орчны PM<sub>10</sub>-ын агууламж

График 1-д Цэцэрлэгүүдийн дотоод орчны агаарт агуулагдах том ширхэглэгт тоосонцор (PM<sub>10</sub>)-ын агууламжийг харууллаа. Графикаас харахад гэр хорооллын бүс дэх цэцэрлэгүүдийн PM<sub>10</sub>-ын агууламж хамгийн их хэлбэлзэлтэй байгаа бол орон сууцны хорооллын цэцэрлэгүүдийн PM<sub>10</sub>-ын агууламжийн хэмжээ жигд, хэлбэлзэл бага байна. PM<sub>10</sub> тоосонцрын агууламж гэр хорооллын цэцэрлэгүүдэд хамгийн их агууламж нь 296 мкг/м<sup>3</sup>, орон сууцны хорооллын цэцэрлэгүүдийн хамгийн их агууламж нь 249 мкг/м<sup>3</sup> байна. Харин хотын төвөөс алслагдсан бүсэд байрлах цэцэрлэгийн PM<sub>10</sub>-ын хамгийн их агууламж 58 мкг/м<sup>3</sup> байна.

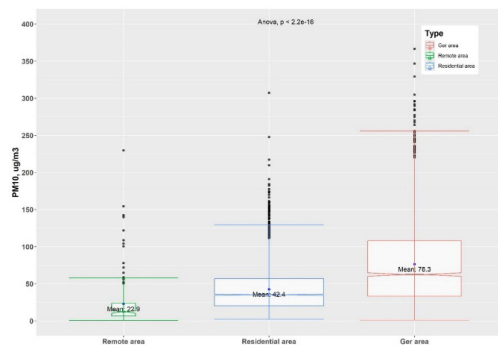
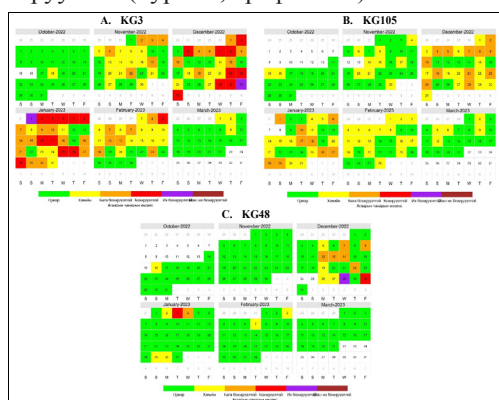


График 2. Цэцэрлэгүүдийн дотоод орчны PM<sub>10</sub>-ын дундаж агууламж

График 2-т гэр хороолол, орон сууцны хороолол болон алслагдсан бүсэд байрлах цэцэрлэгүүдийн  $PM_{10}$ -ын агууламжийг харууллаа. Графикаас харахад гэр хорооллын цэцэрлэгүүдийн  $PM_{10}$ -ын дундаж агууламж  $76.3 \text{ мкг/м}^3$ , орон сууцны хорооллын цэцэрлэгүүдийн  $PM_{10}$ -ын дундаж агууламж  $42.4 \text{ мкг/м}^3$ , KG48 цэцэрлэгийн  $PM_{10}$ -ын дундаж агууламж  $22.9 \text{ мкг/м}^3$  байна. Гэр хорооллын бүсэд байрлах цэцэрлэгүүдийн  $PM_{10}$ -ын дундаж агууламж орон сууцны хорооллын цэцэрлэгүүдийн  $PM_{10}$ -ын дундаж агууламжаас 1.8 дахин их байна.

### 3.1. Цэцэрлэгийн дотоод орчны агаарын чанарын хугацааны өөрчлөлт

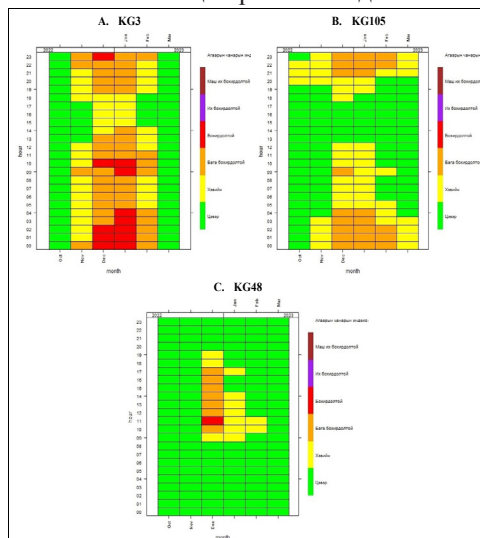
Цэцэрлэгийн дотоод орчны нарийн ширхэглэгт тоосонцрын агууламжийн хугацааны өөрчлөлтийг хоног, долоо хоног, сараар илэрхийлж гэр хороолол, орон сууцны хороолол болон алслагдсан бүсэд байрлах цэцэрлэгүүдийг харьцуулан харуулсан (Зураг 2, График 3-6).



**Зураг 2.** Сонгож авсан цэцэрлэгүүдийн хэмжилтийн хугацааны хоногийн дундаж агаарын чанарын индекс

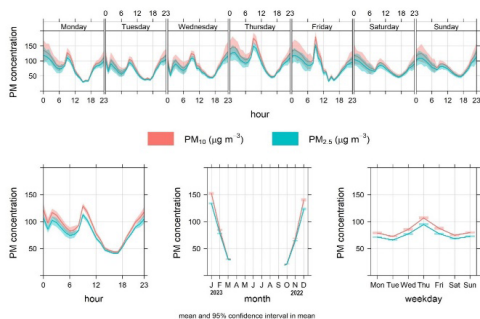
Зураг 2А-аас харахад KG3 (гэр хороолол) цэцэрлэгийн дотоод орчны АЧИ-ээр 12-р сарын 28-аас 1-р сарын 6-ны өдрийг хүртэл хамгийн өндөр бохирдолтой буюу “их бохирдолтой”, “бохирдолтой”

ангилалд хамаарч байна. Бусад саруудаас их бохирдолтой 12-р сарын ажлын 22 хоногоос 1 хоног “их бохирдолтой”, 7 хоног “бохирдолтой”, 6 хоног “бага бохирдолтой”, 8 хоног “хэвийн” болон “цэвэр” ангилалд, 1-р сарын ажлын 22 хоногоос 9 хоног “бохирдолтой”, 6 хоног “бага бохирдолтой” ангилалд байна. Зураг 2В-ээс харахад KG105 (орон сууцны хороолол) цэцэрлэгийн дотоод орчны АЧИ-ээр бусад саруудаас их бохирдолтой 12-р сарын ажлын 22 хоногоос 8 хоног “бага бохирдолтой”, 14 хоног “хэвийн” болон “цэвэр” ангилалд, 1-р сарын ажлын 22 хоногоос 6 хоног “бага бохирдолтой”, 16 хоног “хэвийн” болон “цэвэр” ангилалд байна. Зураг 2С-ээс харахад харахад KG48 (алслагдсан бүс) цэцэрлэгийн дотоод орчны АЧИ-ээр бусад саруудаас их бохирдолтой 12-р сарын ажлын 22 хоногоос 1 хоног “их бохирдолтой”, 1 хоног “бохирдолтой”, 6 хоног “бага бохирдолтой”, 14 хоног “хэвийн” болон “цэвэр” ангилалд, 1-р сарын ажлын 22 хоногоос 1 хоног “бохирдолтой”, 1 хоног “бага бохирдолтой”, бусад 20 хоног “хэвийн” болон “цэвэр” ангилалд байна.



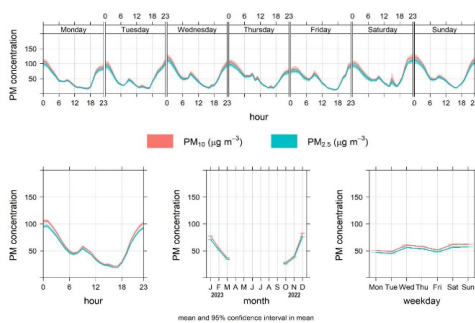
**График 3.** Цэцэрлэгүүдийн дотоод орчны АЧИ-ийн хэмжилтийн хугацааны өөрчлөлт /цаг, сараар/

График 3-г цэцэрлэгүүдийн дотоод орчны АЧИ-ийн өөрчлөлтийг цаг болон сараар илэрхийлж харууллаа. График 3А-аас харахад KG3 (гэр хороолол) цэцэрлэгийн дотоод орчны агаарын чанар 10, 3 дугаар саруудын АЧИ-ийг цагаар илэрхийлэхэд 01:00-24:00 цагийн турш “цэвэр” ангилалд байна. KG3 цэцэрлэгийн 1 дүгээр сарын АЧИ-ийг цагаар илэрхийлбэл 00:00-05:00 цагийн хооронд “бохирдолтой”, 05:00-09:00 цагийн хооронд “бага бохирдолтой”, 09:00-11:00 цагийн хооронд “бохирдолтой”, 11:00-15:00 цагийн хооронд “бага бохирдолтой”, 15:00-19:00 цагийн хооронд “хэвийн”, 19:00-00:00 цагийн хооронд “бага бохирдолтой” ангилалд байна. График 3В-ээс харахад KG105 цэцэрлэгийн 1 дүгээр сарын АЧИ-ийг цагаар илэрхийлбэл 21:00-04:00 цагийн хооронд “бага бохирдолтой”, 04:00-13:00 цагийн хооронд “хэвийн”, 13:00-19:00 цагийн хооронд “цэвэр”, 19:00-21:00 цагийн хооронд “хэвийн” ангилалд байна. График 3С-ээс харахад KG48 цэцэрлэгийн 12 дугаар сарын АЧИ-ийг цагаар илэрхийлбэл 20:00-09:00 цагийн хооронд “цэвэр”, 09:00-10:00 цагийн хооронд “хэвийн”, 10:00-11:00 цагийн хооронд “бага бохирдолтой”, 11:00-12:00 цагийн хооронд “бохирдолтой”, 12:00-18:00 цагийн хооронд “бага бохирдолтой”, 18:00-20:00 цагийн хооронд “хэвийн” ангилалд байна.



**График 4.** KG3 цэцэрлэгийн  $PM_{10}$  (улаан өнгөөр),  $PM_{2.5}$  (хөх өнгөөр) тоосонцрын хоног, долоо хоногийн өөрчлөлт. Өнгөний сүүдэр нь стандарт хазайлтыг илтгэнэ

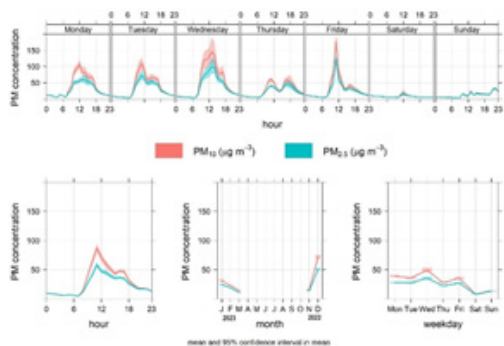
График 4-д гэр хорооллын бүсэд байрлах цэцэрлэгийн дотоод орчны  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$  тоосонцрын агууламжийн өөрчлөлтийг хоног, долоо хоногийн явцаар илэрхийлж харууллаа. Гэр хорооллын цэцэрлэгийн дотоод орчны тоосонцрын агууламж өглөөний 06:00 цагаас өссөөр 09:00 цагийн үед  $PM_{10}$ -ын агууламж 126  $мкг/м^3$ ,  $PM_{2.5}$ -ын агууламж 112  $мкг/м^3$  буюу тухайн өдрийн хамгийн өндөр утгад хүрч байна. Өдрийн 14:00-17:00 цагийн үед  $PM_{2.5}$ -ын агууламж хамгийн бага буюу MNS4585:2016 стандартад заасан ЗДХ 50  $мкг/м^3$ -ээс бага байгаа бол бусад цагуудад тус стандартаас давсан үзүүлэлттэй байна. Гэр хорооллын цэцэрлэгүүдийн дотоод орчны тоосонцрын агууламжийн өөрчлөлтийг долоо хоногийн өдрүүдээр харвал ажил, амралтын өдрүүдэд ялгаа ажиглагдахгүй байгаа мэт боловч амралтын өдрүүдийн өглөөний 09:00 цагийн үеийн агууламж ажлын өдрүүдээс бага байна. Эндээс гэр хорооллын өглөөний галлагааны үе, цэцэрлэгийн хүүхэд цуглах цаг давхцаж цэцэрлэгийн дотоод орчны бохирдлыг нэмэгдүүлдэг байх боломжтой харагдаж байна.



**График 5.** KG105 цэцэрлэгүүдийн  $PM_{10}$  (улаан өнгөөр),  $PM_{2.5}$  (хөх өнгөөр) тоосонцрын хоног, долоо хоногийн өөрчлөлт. Өнгөний сүүдэр нь стандарт хазайлтыг илтгэнэ

График 5-д орон сууцны хорооллын бүсэд байрлах цэцэрлэгийн дотоод орчны

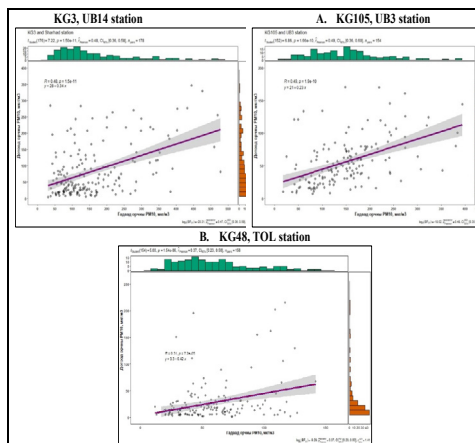
PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> тоосонцрын агууламжийн өөрчлөлтийг хоног, долоо хоногийн явцаар илэрхийлж харууллаа. Орон сууцны хорооллын бүсэд байрлах цэцэрлэгийн дотоод орчны тоосонцрын агууламж өглөөний 07:00 цагаас өссөөр 09:00 цагийн үед PM<sub>10</sub>-ын агууламж 58 мкг/м<sup>3</sup>, PM<sub>2.5</sub>-ын агууламж 53 мкг/м<sup>3</sup> хүрч, 17:00 цаг хүртэл буурдаг байна. 17:00 цагаас хойш өссөөр шөнийн 01:00 цагийн үед тухайн өдрийн хамгийн өндөр агууламжид хүрээд буурдаг байна. Орон сууцны хорооллын цэцэрлэгүүдийн дотоод орчны тоосонцрын агууламжийн өөрчлөлтийг долоо хоногийн өдрүүдээр харвал ажил, амралтын өдрүүдэд ялгаа ажиглагдахгүй байна.



**График 6.** KG48 цэцэрлэгүүдийн PM<sub>10</sub> (улаан өнгөөр), PM<sub>2.5</sub> (хөх өнгөөр) тоосонцрын хоног, долоо хоногийн өөрчлөлт. Өнгөний сүүдэр нь стандарт хазайлтыг илтгэнэ.

График 6-д хотын төвөөс алслагдсан бүсэд байрлах цэцэрлэгийн дотоод орчны PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> тоосонцрын агууламжийн өөрчлөлтийг хоног, долоо хоногийн явцаар илэрхийлж харууллаа. Дээрх графикаас харахад хотын төвөөс алслагдсан бүсэд байрлах цэцэрлэгийн дотоод орчны тоосонцрын агууламж өглөөний 07:00 цагаас хойш өссөөр 11:00 цагийн үед PM<sub>10</sub>-ын агууламж 88 мкг/м<sup>3</sup>, PM<sub>2.5</sub>-ын агууламж 57 мкг/м<sup>3</sup> буюу тухайн өдрийн хамгийн их утгад хүрсэн байна. Хотын төвөөс

алслагдсан цэцэрлэгийн дотоод орчны тоосонцрын агууламжийн өөрчлөлтийг долоо хоногийн өдрүүдээр харвал амралтын өдрүүд Бямба, Ням гарагуудад ажлын өдрүүдээс 3-5 дахин бага байна.



\*UB3- 1-р хороолол станц, UB14-Шархад станц, TOL-Толгойт станц

**График 7.** Цэцэрлэгийн дотоод орчин болон гадаад орчны агаарын чанарын станцын PM<sub>10</sub> тоосонцрын хамаарал

График 7-д цэцэрлэгүүдийн дотоод орчин, агаарын чанарын станцад хэмжсэн PM<sub>10</sub>-ын хоорондын хамаарлыг шугаман регрессийн тэгшитгэлээр тооцлоо. График 8А-д харуулсан Шархад станц болон 3-р цэцэрлэгт хэмжсэн PM<sub>10</sub> нь хамаарал мэдэгдэхүйц, эерэг (R=0.48), тогтмол утга нь  $y = 28$ , тэгшитгэлийн налуу нь  $b = 0.34$  байна. График 8В-д харуулсан 105-р цэцэрлэг болон 1-р хороолол станцын PM<sub>10</sub>-ын хамаарал мэдэгдэхүйц, эерэг (R=0.49), тогтмол утга нь  $y = 21$ , тэгшитгэлийн налуу нь  $b = 0.23$  байна. График 8С-д харуулсан 48-р цэцэрлэг болон Толгойт станцын PM<sub>10</sub> нь хамаарал мэдэгдэхүйц, эерэг (R=0.31), тогтмол утга нь  $y = 3.3$ , тэгшитгэлийн налуу нь  $b = 0.42$  байна.



### 3.2. Цэцэрлэгийн дотоод орчны агаарын чанар хүүхдийн ирцээс хамаарах нь

Цэцэрлэгийн дотоод орчинд хэмжсэн CO<sub>2</sub>-ийн агууламж тухайн өдрийн хүүхдийн ирцээс хамаарах хамаарлыг судлахаар 3-р цэцэрлэгийн 2022 оны 9 дүгээр сараас 2023 оны 3 дугаар сар хүртэлх ирцийн мэдээллийг авч ашиглалаа.

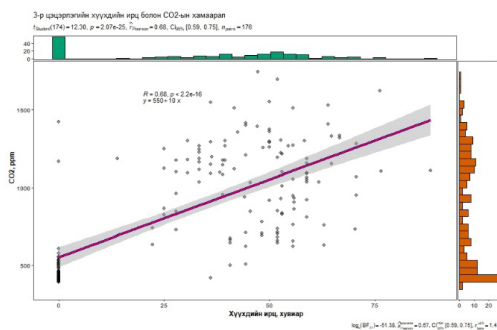


График 8. CO<sub>2</sub> болон хүүхдийн ирцийн хамаарал

График 8-д Цэцэрлэгийн дотоод орчны CO<sub>2</sub>-ын агууламж тухайн өдрийн хүүхдийн ирцээс хамаарах хамаарлыг регрессийн шугаман хамаарлын тэгшитгэлээр үнэлж харууллаа. Графикаас харахад CO<sub>2</sub> болон хүүхдийн ирц хооронд хамаарлын хүч дунд, эерэг ( $R = 0.68$ ) тэгшитгэлийн тогтмол утга  $y = 550$ , тэгшитгэлийн налуу нь  $b = 10$  байна. Өөрөөр хэлбэл хүүхдийн ирц 1 хувиар нэмэгдэхэд CO<sub>2</sub>-ын агууламж 10 ppm-ээр нэмэгдэх магадлалтай юм.

Дотоод орчны CO<sub>2</sub>-ийн агууламжийн өөрчлөлтийг цаг, хоног, долоо хоног, сараар илэрхийлж сонгож авсан KG3 (гэр хороолол), KG105 (орон сууцны хороолол), KG48 (алслагдсан бүс) цэцэрлэгүүдийг харьцууллаа.

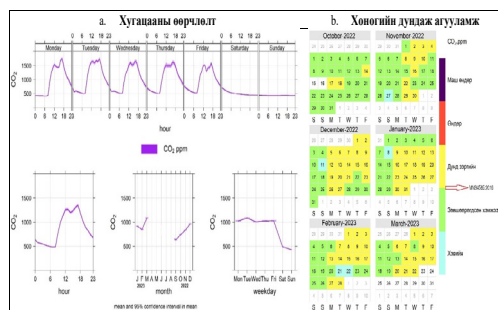


График 9. KG3 (гэр хороолол) цэцэрлэгийн CO<sub>2</sub>-ийн агууламжийн хугацааны өөрчлөлт

График 9а-д KG3 (гэр хороолол) цэцэрлэгт хэмжилт хийсэн хугацааны CO<sub>2</sub>-ын агууламжийн хугацааны өөрчлөлтийг харууллаа. Графикаас харахад CO<sub>2</sub>-ын агууламж ажлын өдрүүдэд 08:00-09:00 цагаас 12:00 цаг хүртэл огцом өссөөр хүүхдүүдийн унтах цагаар бага зэрэг буурч буцаж 17:00 цагийн үед тухайн өдрийн хамгийн өндөр агууламжид хүрдэг байна. Мөн CO<sub>2</sub>-ийн агууламж 10:00-19:00 цагийн хооронд MNS 4585:2016 стандартад заасан ЗДХ-ээс өндөр байна. График 9b-ээс харахад CO<sub>2</sub>-ийн хоногийн дундаж агууламж 11 дүгээр сараас эхлэн өсөж ажлын өдрүүдэд стандарт утгаас давдаг байна.

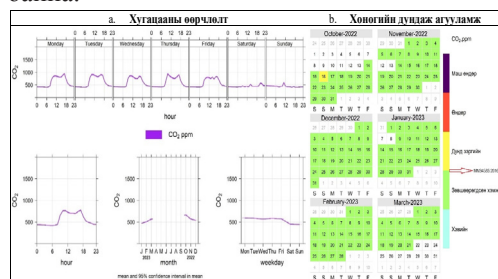
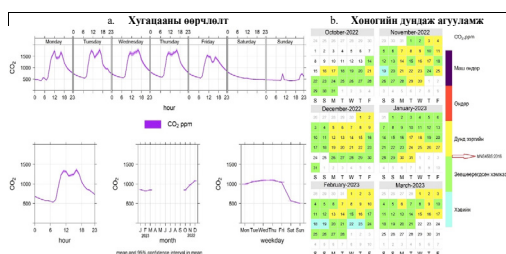


График 10. KG105 (орон сууцны хороолол) цэцэрлэгийн CO<sub>2</sub>-ийн агууламжийн хугацааны өөрчлөлт

График 10а-д KG105 (орон сууцны хороолол) цэцэрлэгт хэмжилт хийсэн хугацааны CO<sub>2</sub>-ын агууламжийн хугацааны өөрчлөлтийг харууллаа. Графикаас харахад

CO<sub>2</sub>-ын агууламж ажлын өдрүүдэд 08:00-09:00 цагаас 12:00 цаг хүртэл огцом өссөөр хүүхдүүдийн унтах цагаар бага зэрэг буурч буцаж 17:00 цагийн үед тухайн өдрийн хамгийн өндөр агууламжид хүрдэг байна. Энэ цэцэрлэгийн CO<sub>2</sub>-ийн агууламж MNS 4585:2016 стандартад заасан ЗДХ-ээс давсан үзүүлэлт байхгүй байна. График 10b-ээс харахад CO<sub>2</sub>-ийн хоногийн дундаж агууламж хэмжилтийн хугацаанд “зөвшөөрөгдсөн хэмжээ” буюу стандартаас даваагүй байна.



**График 11.** KG48 (алслагдсан бүс) цэцэрлэгийн CO<sub>2</sub>-ийн агууламжийн хугацааны өөрчлөлт

График 11a-д KG48 (алслагдсан бүс) цэцэрлэгт хэмжилт хийсэн хугацааны CO<sub>2</sub>-ын агууламжийн хугацааны өөрчлөлтийг харууллаа. Графикаас харахад CO<sub>2</sub>-ын агууламж ажлын өдрүүдэд 07:00 цагаас 11:00 цаг хүртэл огцом өссөөр хүүхдүүдийн унтах цагаар бага зэрэг буурч буцаж 16:00 цагийн үед тухайн өдрийн хамгийн өндөр агууламжид хүрдэг байна. Мөн CO<sub>2</sub>-ийн агууламж 09:00-18:00 цагийн хооронд MNS 4585:2016 стандартад заасан ЗДХ-ээс өндөр байна. График 11b-ээс харахад CO<sub>2</sub>-ийн хоногийн дундаж агууламж 11,12 дугаар сарын ажлын өдрүүдэд стандарт утгаас давсан харагдаж байна.

Гэр хороолол (n=15), орон сууцны хороолол (n=20), алслагдсан бүс (n=1)-ийн цэцэрлэгүүдэд 2022 оны 9 дүгээр сараас 2023 оны 3 дугаар сар хүртэл хугацааны

нүүрстөрөгчийн давхар исэл (CO<sub>2</sub>)-ийн хэмжилтийн үр дүнгээс харахад байршлаас үл хамааран нийт цэцэрлэгүүдийн 75 % буюу 27 цэцэрлэгийн CO<sub>2</sub>-ийн хоногийн дундаж агууламж ажлын өдрүүдэд стандарт утгаас давдаг байна. Өдрийн 10:00-12:00, 14:00-16:00 цагийн үед CO<sub>2</sub>-ийн агууламж хамгийн их байдаг ба амралын өдрүүд, бүх нийтийн амралтын өдрүүдэд бага харагдаж байна.

### 3.3. Судалгааны үр дүнгийн хэлэлцүүлэг

Улаанбаатар хотын цэцэрлэгүүдэд дотоод орчны агаарын чанарын үзүүлэлтүүдээр хэмжиж байршлын ялгааг гаргах, хугацааны өөрчлөлтийг сар, долоо хоног, өдөр, цагаар илэрхийлэх, гадаад орчноос хамаарах хамаарлыг судаллаа. Цэцэрлэгийн байршлаас хамаарч гэр хороолол, орон сууцны хороолол, хотын төвөөс алслагдсан бүсэд байрлах цэцэрлэгүүдийн тоосонцрын агууламж статистикийн хувьд ач холбогдол (p>0.05) бүхий ялгаатай буюу гэр хорооллын дунд байрлах цэцэрлэгүүдэд тоосонцрын агууламж өндөр байна.

Нийт цэцэрлэгүүдэд 12, 1-р саруудад тоосонцрын агууламж бусад саруудаас өндөр байгаа бол гэр хороолол, орон сууцны хорооллын цэцэрлэгүүдэд долоо хоногийн бүх өдрүүдэд тоосонцрын агууламж ижил, харин алслагдсан бүсэд байрлах цэцэрлэгийн дотоод орчны тоосонцрын агууламж амралтын өдрүүдэд маш бага байна. Гэр хорооллын бүсэд байрлах цэцэрлэгүүдийн тоосонцрын агууламж өглөөний 06:00-09:00, оройн 18:00-02:00 цагуудад хамгийн өндөр, орон сууцны хорооллын цэцэрлэгүүдийн тоосонцрын агууламж 18:00-01:00 цагуудад тухайн өдрийн хамгийн их утгад хүрч байгаа бол алслагдсан бүсэд байрлах цэцэрлэгийн дотоод орчны тоосонцрын агууламж 07:00 цагаас хойш өссөөр 11:00 цагийн үед тухайн өдрийн хамгийн их агууламжид хүрсэн харагдаж байв.

Нүүрстөрөгчийн давхар исэл ( $\text{CO}_2$ )-ийн агууламж бүх цэцэрлэгүүдэд ижил долоо хоногийн ажлын өдрүүдэд өндөр байсан ба өглөөний 08:00 цагаас хойш өдрийн турш өндөр үзүүлэлттэй байсаар оройн 17:00 цагаас хойш буурч байлаа. Хэмжилт хийсэн цэцэрлэгүүд ( $n=36$ )-ийн 26 (72.2 %) нь MNS 4585:2016 стандартад заасан  $\text{CO}_2$ -ийн хоногийн дундаж агууламж  $1800 \text{ мг/м}^3$ -ээс давсан үзүүлэлттэй байна.

Цэцэрлэг хүүхдээ өглөөний 07:30-8:30 цагийн хооронд хүлээн авч, оройн 17:00-18:00 цагийн хооронд тардаг. Судалгааны үр дүнгээр цэцэрлэгийн дотоод орны агаарын чанарын индекс 11 дүгээр сараас эхлэн “бага бохирдолтой” ангилалд хүрч, 12, 1 дүгээр саруудад “маш их бохирдолтой” ангилалд хүртэл өссөн харагдаж байгаа ба үүнийг цагаар харвал 06:00-12:00 цагийн хооронд тоосонцрын агууламж өндөр байна. Нүүрстөрөгчийн давхар исэл ( $\text{CO}_2$ )-ийн хэмжилтийн үр дүнгээс харахад цэцэрлэгүүдэд улирлаас үл хамааран хүүхэд цуглах цагаас тарах хүртэл хугацааны турш МУ-ын агаарын чанарын стандартад заасан хэмжээнээс 1.5-3 дахин хэмжээнд хүрдэг байна. Эндээс харахад 9, 10, 3, 4, 5 дугаар саруудад гадаад орчны бохирдол харьцангуй багатай, дулаан үед өглөөний 09:00-11:00, өдрийн 14:00-16:00 цагийн хооронд цонхоор агаар сэлгэлт оруулж байх хэрэгтэй.

#### 4. ДҮГНЭЛТ

Улаанбаатар хотын гэр хороолол, орон сууцны бүс болон хотын төвөөс алслагдсан бүсэд байрлах цэцэрлэгүүдэд 2022 оны 9-р сарын 22-ноос 23-ны өдрүүдэд AirVisual Pro жижиг оврын агаарын чанарын хэмжигч төхөөрөмжийг суурилуулж 2023 оны 3-р сарын 22-ноос 23-ны өдрүүдэд хэмжилтийн мэдээг цуглуулж, статистик шинжилгээ хийж үр дүн гарган авсны үндсэнд дараах дүгнэлтүүдийг хийж байна. Үүнд:

1. Нийт 40 цэцэрлэгт төхөөрөмж суурилуулснаас 4 цэцэрлэгт мэдээ дундаа тасарсан тул орхиж, энэхүү судалгаагаар 36 цэцэрлэгийн тасралтгүй хэмжилтийн мэдээнд боловсруулалт хийлээ. Цэцэрлэгүүдийн нийт хугацааны  $\text{PM}_{10}$ -ын дундаж агууламж  $57.2 \pm 48.7 \text{ мкг/м}^3$ ,  $\text{PM}_{2.5}$ -ын дундаж агууламж  $47.5 \pm 36.2 \text{ мкг/м}^3$ ,  $\text{CO}_2$ -ын дундаж агууламж  $848.7 \pm 331 \text{ ppm}$ , температурын дундаж  $21.4 \pm 1.6 \text{ }^\circ\text{C}$ , харьцангуй чийгшлийн дундаж  $37.4 \pm 14.2 \text{ RH}$  байв.
2. Цэцэрлэгийн дотоод орчны тоосонцрын агууламжид гадаад орчны агаарын бохирдол шууд нөлөөлөх ба байршлаар нь авч үзвэл гэр хорооллын цэцэрлэгт хүчтэй, орон сууцны хорооллын цэцэрлэгт дунд, алслагдсан бүсэд бага хамааралтай байна. Тоосонцрын агууламж гэр хороолол болон орон сууцны хорооллын цэцэрлэгүүдэд долоо хоногийн ажил, амралтын өдрүүдэд жигд, Улаанбаатар хотын өглөө, оройн галлагааны цагаар өссөн харагдаж байгаа юм. Харин алслагдсан бүсэд байрлах цэцэрлэгийн тоосонцрын агууламж ажлын өдрүүдэд, амралтын хоёр өдрөөс их байна. Нүүрстөрөгчийн давхар исэл ( $\text{CO}_2$ )-ийн агууламж ажлын өдрүүдэд, хүүхдийн хичээллэх цагаар нэмэгдэж байгаа нь хүүхдийн ирцээс хамаарч байгаа нь харагдаж байгаа ч шугаман регрессийн шинжилгээний  $\text{CO}_2$  болон хүүхдийн ирцийн мэдээний хамаарал  $R=0.68$  буюу нягт, эерэг байгаагаар батлагдсан.
3. Хэлэлцүүлэг хэсэгт судалгааны үр дүнд үндэслэсэн зөвлөмжийг тусгасан ба гадаад орчны бохирдол ихтэй, хүйтний улиралд цонх онгойлгох боломжгүй нөхцөлд гаднах агаарыг шүүж цэвэршүүлж оруулж ирдэг төхөөрөмж нь үр дүн маш сайн бөгөөд

агааржуулах, агаар цэвэршүүлэх үйлдлийг зэрэг гүйцэтгэдгээрээ маш зөв шийдэл болох юм. Мөн гэр хорооллын цэцэрлэгүүдийн барилгын хийц, цонхны дулаалга, битүүмжлэлийг сайжруулах шаардлагатай нь энэхүү судалгаанаас харагдаж байна.

Нэгтгэн дүгнэвэл Улаанбаатар хотын цэцэрлэгүүдийн дотоод орчинд тоосонцрын бохирдол өвлийн улиралд, нүүрстөрөгчийн давхар исэл, температур, харьцангуй чийгшил зэрэг үзүүлэлтүүд улирлаас үл хамааран, цэцэрлэгийн онцлогоос шалтгаалан стандартад заасан дээд хэмжээнээс давсан, хязгаараас их, бага үзүүлэлттэй байна. Цаашид хэмжилт, судалгааны үр дүнд үндэслэн агаарын чанарыг сайжруулах арга хэмжээг үр дүнтэй хэрэгжүүлэх шаардлагатай.

## ТАЛАРХАЛ

Энэхүү судалгааны ажлыг гүйцэтгэсэн хэмжилтийн багажийг санхүүжүүлж, суурилуулах ажилд туслалцаа үзүүлсэн НҮБ-ын Хүүхдийн сан, БОХЗТЛ-ийн Байгаль орчны шинжилгээний хэлтсийн хамт олонд талархал илэрхийлье.

## АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ

- [1]. ДЭМБ, Дэлхийн эрүүл мэндийн байгууллага, 2023.
- [2]. К. Edmond, “Хүүхэд насны хатгалгаа өвчний урт хугацааны үр дагавар:

системчилсэн дүн шинжилгээ ба мета дүн шинжилгээ,” PloS One, 2012.

- [3]. С. Салви, “Тамхи татдаггүй хүмүүсийн дунд уушигны архаг бөглөрөлт өвчин,” Lancet, 2021.
- [4]. Ч. Сономдагва, “Гадаад болон дотоод орчны агаар дахь PM2.5 –аас хувь хүний өртөлтийг тодорхойлох нь,” Journal of Geographic Issues, pp. 113-132, 2018.
- [5]. Ч. Бямбацэрэн, “Гадаад болон дотоод орчны нарийн ширхэглэгт (PM2.5) тоосонцрын судалгааны зарим үр дүн,” Proceedings of the Mongolian Academy of Sciences, p. 225, 2018.
- [6]. Н. Түгжсүрэн, Агаар мандлын физик-1: Хөдөлгөөний тэгшитгэл, Улаанбаатар хот: Бемби сан, 2005.
- [7]. НҮБ-ын хүүхдийн сан, “Хүүхдийн эрүүл мэндэд агаарын бохирдлын үзүүлэх нөлөө, шийдвэрлэх арга зам,” 2016.
- [8]. “Үндэсний статистикийн хороо,” 15 4 2024. [Холбогдсон]. Available: <https://1212.mn/mn>.
- [9]. C. Cai, "Indoor air quality in schools in Beijing: Field tests, problems and recommendations," Elsevier, p. 15, 2021.
- [10]. C. E. Flowerday, "Utilizing low-cost sensors to monitor indoor air quality in Mongolian Gers," MDPI, p. 10, 2023.