

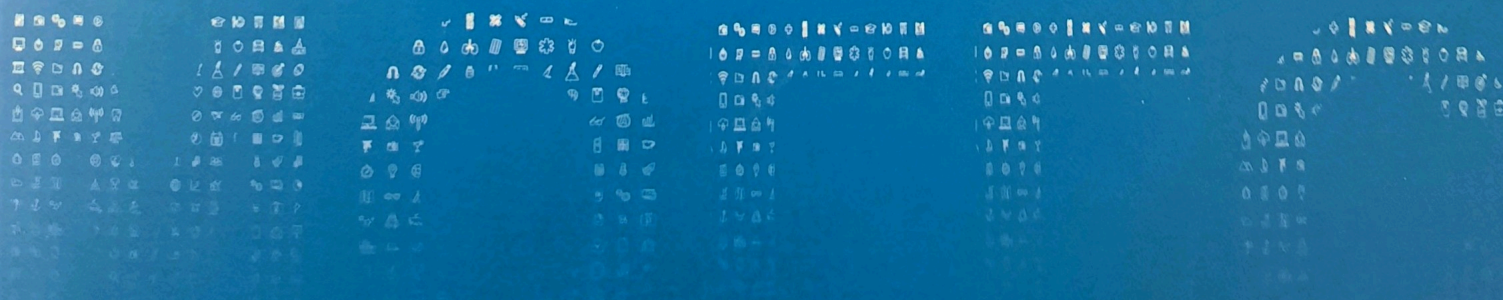


МОНГОЛ УЛСЫН ШИНЖЛЭХ УХААНЫ АКАДЕМИ
ГАЗАРЗҮЙ, ГЕОЭКОЛОГИЙН ХҮРЭЭЛЭН

МОНГОЛ ОРНЫ ГАЗАРЗҮЙ-ГЕОЭКОЛОГИ

ЭРДЭМ ШИНЖИЛГЭЭНИЙ СЭТГҮҮЛ

№42



ГАРЧИГ

НЭГДҮГЭЭР БҮЛЭГ. СУУРЬ СУДАЛГАА /Газарзүй, геоэкологи, орчин судлалын суурь судалгааны үр дүн болон судалгааны арга зүйн асуудал/

Хотын газрын бүрхэвчийн өөрчлөлтийг хиймэл оюуны арга, Марковын хэлхээ ашиглан үнэлэх нь Г.Адъяа-Очир, Д.Амарсайхан, Ч.Болорчулуун, Э.Жаргалдалай, А.Мөнх-Эрдэнэ, Г.Цогзол	1
Хангайн нурууны Сангийн Далай, Ойгон, Бүст нууруудын хотгорын хэв шинжид Булнайн хагарлын нөлөө Э.Алтанболд, Х. Уламбадрах, Б.Даариймаа, Н.Мөнх-Оргил, Я.Гансүх, Г.Юмчмаа ...	9
Шарын голын усны горим, урсацын өөрчлөлт Х. Бадарч, Б. Даваажаргал, М.Энхтуяа	24
Ландшафтын төрлийн ангилал, зураглалын аргазүйн асуудал Ц.Батням, М.Пүрэвсүрэн	32
Монгол орны төв хэсгийн хөрсний органикийн өөрчлөлт, уур амьсгал, мал аж ахуйн нөлөө О.Батхишиг, Г.Бямбаа, Т.Тэлмэн, Г.Элбэгзаяа	39
Буянт голын адаг орчмын тариалангийн хөрсний шинж чанар, өөрчлөлт Д.Батцэцэг, Ч.Лхагвасүрэн, О.Батхишиг, Д.Даш, С.Хадбаатар, А.Отгонзориг	48
Бүс нутгийн хүн ам, нийгмийн үндсэн үзүүлэлтүүдийн харьцуулсан судалгаа М.Баяржаргал, Б.Золжаргал	58
Сэлэнгэ аймгийн газрын бүрхэвчийн өөрчлөлт Н.Болдбаатар, А.Хауленбек, Ц.Наранцацрал, Н.Мандах, Д.Сайнбаяр, Г.Данзанчадав	68
Улаанбаатар хотын дулаан арлын оронзайн тархалтын өөрчлөлтийг илрүүлэх нь Б.Бямбадолгор, Г.Одонтуяа, Д.Амарсайхан	75
Төв аймгийн Борнуур сумын бэлчээрийн даац, ургамлын зүйлийн бүрэлдэхүүн Х.Золзаяа, Т.Даваагатан	83
Sentinel-2A хиймэл дагуулын мэдээ ашиглан газрын бүрхэвч болон газар ашиглалтыг машин сургалттай аргаар ангилсан дүн Э.Жаргалдалай, А.Мөнх-Эрдэнэ, Д.Амарсайхан, Г.Адъяа-Очир, Э.Батдорж	79
Хамгийн бага квадратын регрессийн загварыг ашиглан бэлчээрийн биомассын орон зайн тархалтыг тооцох О.Мөнхдулам, Ж.Гантуяа, Ц.Батням, Б.Чимэддорж	100

Ойн түймрийн эрсдэлийн үнэлгээг ЗТС болон ГМС ашиглан зурагласан дүн (Архангай аймгийн Цэнхэр сумын “Үйзэн Хайрхан” ойн нөхөрлөлийн жишээн дээр) Б.Мөнхтуяа, А.Мөнх-Эрдэнэ	113
Улаанбаатар хотын агаар дахь нарийн ширхэглэгт тоосонцрын (PM_{2.5}) химийн найрлага Д.Нармандах, Ө.Билгүүн, Н.Амгалан, Т.Энхдөл, А.Дэлгэржаргал, Б.Бархасрагчаа, Ц.Соёл-Эрдэнэ	123
Радарын мэдээ ашиглан объектод суурилсан аргаар газрын бүрхэвчийг ангилах нь Э.Нямжаргал, Д.Амарсайхан	133
Багануур дүүргийн газар доорх усны чанарын судалгаа Б.Оюун-Эрдэнэ, Г.Үүрийнтуяа, Б.Рэнчинбуд	141
Улаанбаатарын хотын ногоон бүсийн хушин ойн төлөв байдлын судалгааны дүн Б.Удвал, Д.Цэндсүрэн, Г.Батсайхан, А.Баяртулга	151
Монгол орны авто замын сүлжээний орон зайн дүн шинжилгээ Г.Урантамир, М.Алтанбагана	163
Улаанбаатар хотын хотжилтын түвшинд нөлөөлөгч хүчин зүйлсийн судалгаа Д.Цолмон, Г.Гантулга, Ц.Базарханд, Д.Дорлигжав, Э.Алтанболд, Т.Дөлгөөн	173
Хот орчмын ойн моддын төлөв байдал Д.Цэндсүрэн, Н.Цагаанцоож, Г.Нандин-Эрдэнэ, С.Амартүвшин	185
Загийн (<i>Haloxylon ammodendron</i> C.A.Mey) Bunge ex Fenzl үрийн хэмжээ тарьцны өсөлт, биомассын хуримтлалд нөлөөлөх нь Ц.Энхчимэг, Б.Сэр-Оддамба, А.Хауленбек, Л.Жанчивдорж, Ge erma, Г.Гармаа, Н.Батхүү	194
ХОЁРДУГААР БҮЛЭГ. ХАВСАРГА СУДАЛГАА /Байгаль орчны менежмент, төлөвлөлт болон үнэлгээ/	
Монгол улсын радарын атлас хийх аргачлал Д.Амарсайхан, Э.Нямжаргал, Д.Энхжаргал, Г.Цогзол	209
Улсын зэрэглэлтэй Хөгжлийн стратегийн төв хотын нийгэм, эдийн засгийн нөлөөлөл-таталцлын кластерын бүсийг тодорхойлох асуудал: Дархан хотын жишээн дээр М.Алтанбагана, П.Цэенханд, Д.Хишигдорж	217
2045 он хүртэл хүн амын өсөлтийг Улаанбаатар хотод тогтвортой хадгалах, улсын зэрэглэлтэй хөгжлийн стратегийн төв хотуудад түлхүү суурьшуулах хүн амын хэтийн тооцоо М.Алтанбагана, М.Баяржаргал	228

Монгол орны нуурын судалгааны хөгжлийн тойм шинжилгээ Э.Алтанболд, Х.Уламбадрах, Д.Даш	240
Хүн амын нутагшилт, суурьшилд зориулсан экологи-геологийн чадавхын үнэлгээ Т.Даваагатан, Э.Авирмэд	256
Ойжуулалт, ойг нөхөн сэргээх мужлал боловсруулах судалгаа Ц.Дашзэвэг, Э.Батдорж, Б. Хосбаяр, А.Мөнх-Эрдэнэ	265
Цөлжилт, газрын доройтлын үнэлгээнд хөрсний ширхгийн бүрэлдэхүүний (TGSi) индексийг ашиглах нь О. Ишцог, Б. Бямбасүрэн, А. Хауленбек	276
Бага, дунд боловсролын салбарын сургалтын байгууллагын хэв шинж, байршлыг бүсчилсэн хөгжилтэй уялдуулан төлөвлөх асуудалд Ц.Отгонхүү, М.Алтанбагана	283
Газар ашиглалтын хэрэгцээт болон тохиромжтой байдлын үнэлгээнд суурилан хот суурин газрын тэлэлтийг тодорхойлох нь (Дархан-Уул аймгийн жишээн дээр) Ц.Наранцацрал, Ц.Ихбаяр, Н.Болдбаатар, Г.Данзанчадав, А.Түрүүтүвшин	296
Нүүрсхүчлийн хий (CO₂) болон метан (CH₄) хийн агууламжийн орон зайн тархалт А.Саруулзаяа, Д.Сайнбаяр	303

ГУРАВДУГААР БҮЛЭГ. ТЕХНОЛОГИ, ИННОВАЦИЙН СУДАЛГАА

/Байгалийн нөөцийн ашиглалт, хамгаалалт, нөхөн сэргээлтийн технологи, болон инноваци/

Таримал нарсан ойн (<i>Pinus sylvestris</i> L.) нөөц, экологи-эдийн засгийн үр нөлөөг дээшлүүлэх асуудалд Г.Батсайхан, Ж.Цогтбаатар, М.Хишигт, Д.Батдорж, С.Гэрэлбаатар	315
Ойжуулахад тохиромжтой талбайг ЗТС ба ГМС-ийг ашиглан тодорхойлох аргазүйн судалгаа А.Мөнх-Эрдэнэ, Э.Жаргалдалай, Э.Батдорж, Д.Цэндсүрэн, Б.Удвал	326
Улаанбаатар хотын PM_{2.5} буюу нарийн ширхэгт тоосонцрын бохирдлын оргил үеийн тархалтын судалгаанд LUR загвар хөгжүүлэлт Э.Одбаатар, Ч.Сономдагва, Г.Очирбат, Б.Баянжаргал, Х.Золзаяа	337
Бэлчээрийг нөхөн сэргээх туршилт судалгаа /Булган аймгийн Гурванбулаг сумын жишээн дээр/ А.Түрүүтүвшин, М.Уртнасан, Д.Сайнбаяр, Ц.Наранцацрал	347
Туул голын эхийн сав газрын усны нөөцийг InVEST загвараар тооцоолох нь М. Пүрэвсүрэн, Ц.Батням	357

LUR model development for PM_{2.5} fine particulate matter pollution dispersion in Ulaanbaatar city

Odbaatar Enkhjargal^{1,*}, Sonomdagva Chonokhuu², Ochirbat Ganbaatar³, Bayanjargal Bumtsend¹, Zolzaya Khurelsukh¹

¹*Division of Physical Geography and Environmental Study, Institute of Geography and Geoecology, Mongolian Academy of Sciences, Ulaanbaatar, Mongolia*

²*Department of Environmental and Forest Engineering, School of Engineering and Applied Sciences, National University of Mongolia, Ulaanbaatar, Mongolia*

³*Laboratory of Innovation and Technology, Institute of Physics and Technology, Mongolian Academy of Sciences, Ulaanbaatar, Mongolia*

*Corresponding author email: odbaatare@mas.ac.mn

ABSTRACT

Ulaanbaatar city air pollution turning into priority problem for Ulaanbaatar citizens. So accurately mapping air pollution and assessing exposure to air pollution has become an important study object for researchers. This study aims to develop Land Use Regression model for Ulaanbaatar city PM_{2.5} and exemplified on peak PM_{2.5} (fine particle) pollution of the day. There are some differences between Ulaanbaatar city air pollution mapping LUR model and other country city air pollution mapping LUR model due to air pollution source distribution. Thus, in order to develop Ulaanbaatar city LUR model, air pollution source data were collected and analyzed in R statistical software. Model result determination coefficient is $R^2=0.53$ and Adjusted $R^2=0.5$. Also, in order to validate the LUR model, the Leave One out Cross Validation (LOOCV) technique is used and it evaluated that $R^2=0.45$, RMSE= 421.36, MAE= 291.15. From these results, this LUR model performance is moderate (determination coefficients are ≈ 0.5) and in order to improve the model, there is a requirement to add novel statistically significant independent variables.

Keywords: LUR model, Fine particulate matter, Air pollution, Statistic evaluation

Улаанбаатар хотын $PM_{2.5}$ буюу нарийн ширхэгт тоосонцрын бохирдлын оргил үеийн тархалтын судалгаанд LUR загвар хөгжүүлэлт

Одбаатар Энхжаргал^{1,*}, Сономдагва Чонохүү², Очирбат Ганбаатар³, Баянжаргал Бумцэнд¹, Золзаяа Хүрэлсүх¹

¹Физик Газарзүй, Орчин Судлалын Салбар, Газарзүй, Геоэкологийн Хүрээлэн, Шинжлэх Ухааны Академи, Улаанбаатар, Монгол

²Хүрээлэн Буй Орчин, Ойн Инженерчлэлийн Тэнхим, Хэрэглээний Шинжлэх Ухаан, Инженерчлэлийн Сургууль, Монгол Улсын Их Сургууль, Улаанбаатар, Монгол

³Инноваци Технологийн Лаборатори, Физик Технологийн Хүрээлэн, Шинжлэх Ухааны Академи, Улаанбаатар, Монгол

*Холбоо барих зохиогчийн цахим хаяг: odbaatare@mas.ac.mn

ХУРААНГУЙ

Улаанбаатар хотын агаарын бохирдол нь Улаанбаатар хотын иргэдийн тулгамдсан асуудал болоод байна. Тиймээс агаарын бохирдлыг нарийвчлал сайтайгаар зураглах, үнэлэх ажил судлаачдад чухал асуудал болоод байна. Энэхүү судалгаа нь Улаанбаатар хотын агаарын бохирдлын өдрийн оргил үеийг зураглах жишээн дээр Газар Ашиглалтын Регрессийн (LUR) загварыг хөгжүүлэх зорьсон. Судалгааны явцад агаарын бохирдлын эх үүсвэрээс шалтгаалсан Улаанбаатар хотын агаарын бохирдлын зураглалын LUR загвар болон бусад хотуудын LUR загварын хооронд зарим ялгаа үүсч байгаа нь ажиглагдсан. Улаанбаатар хотын LUR загварыг ашиглан хөгжүүлэхийн тулд агаарын бохирдлын мэдээ болон таамаглагч хувьсагчдыг цуглуулан статистикийн R программ хангамжийг ашиглан боловсруулалт хийв. Загварын үр дүнд детерменацийн коэффициент $R_2=0.53$ ба Засварлагдсан детерменацийн коэффициент $R_2=0.5$ гэж гарсан бөгөөд LUR загварын үнэмшлийг тодорхойлохын тулд Leave One Out Cross Validation (LOOCV) батлах техникийг ашигласан бөгөөд энэхүү баталгааны (validation) хувьд детерменацийн коэффициент $R_2=0.45$, Квадрат дундаж алдаа $RMSE=421.36$, Дундаж туйлын алдаа нь $MAE=291.15$ тус тус гарсан байна. Эдгээр үр дүнгээс харахад загварын үр дүн дундаж (детерменацийн коэффициент ≈ 0.5) үзүүлэлттэй гарсан бөгөөд загварыг сайжруулахын тулд статистикийн хувьд чухал ач холбогдолтой үл хамааран хуьтсагчдын мэдээллийг нэмэгдүүлэх шаардлагатай байна.

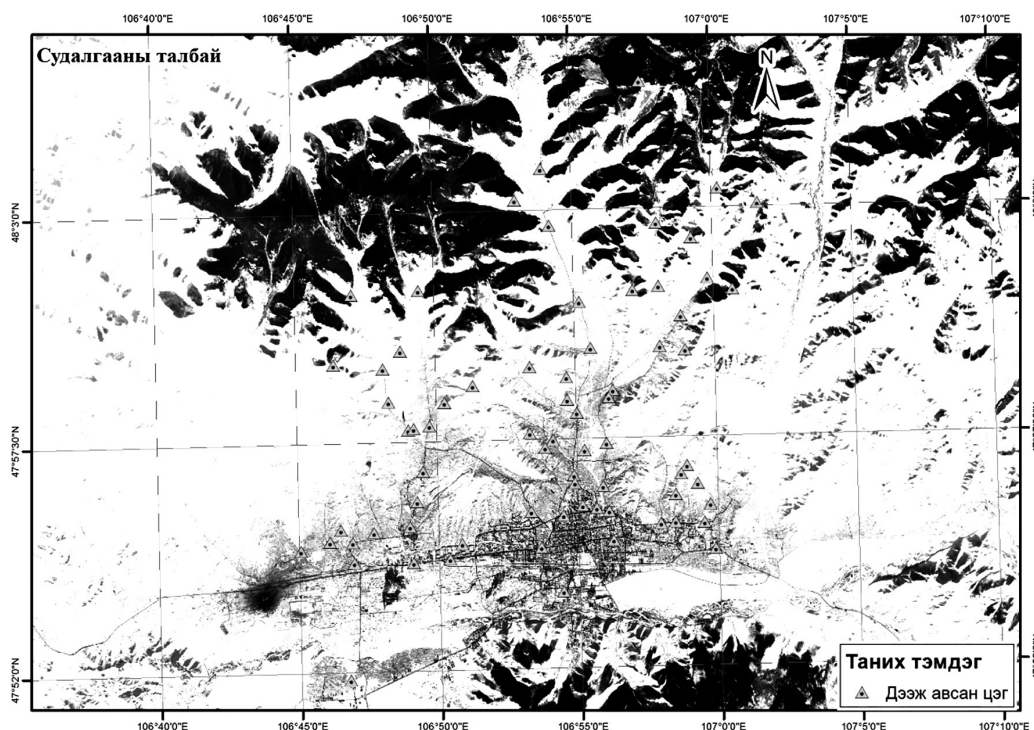
Түлхүүр үгс: Газар ашиглалтын регрессийн загвар, Нарийн ширхэгт тоосонцор, Агаарын бохирдол, Статистик үнэлгээ

1. ОРШИЛ

Агаарын бохирдлын тархалтын судалгаанд судлаач нар олон төрлийн загвар ашиглаж байгаа ч хамгийн нарийвчлал сайтай төгс аргыг одоо болтол олоогүй байна. Учир нь байнгын ажиллагаатай олон станц нэг хотод ажиллуулж, тархалтыг зураглах нь өртөг зардал их шаардах ажил юм. Сүүлийн үед агаарын бохирдлын тархалтын загварчлалын судалгаануудад Land Use Regression загварыг өргөн ашиглаж байна. Энэхүү судалгааны гол зорилго нь уг загварыг ашиглан Улаанбаатар хотын агаарын бохирдлын тархалтыг тодорхойлоход оршино.

2000 оноос хойш хөдөө орон нутгаас хотруу чиглэсэн шилжилт хөдөлгөөн ихэссэний улмаас шинээр нүүж ирэгсдэд орон сууц, дулаан хангамжийн асуудал

хүрэлцэхгүй болж гэр хорооллын иргэдийн тоо нэмэгдсээр байна. Эдгээр гэр хорооллын иргэд гэрээ дулаацуулах зорилгоор өвлийн туршид гал түлж байгаа нь агаарын бохирдлыг эрс ихэсгэх болсон [1], [2]. 2020 оны байдлаар Монгол улсын нийт хүн амын тоо 3,357,300, үүнээс 1,597,300 хүн ам нь нийслэл хотод оршин суудаг [3]. Улаанбаатар хотын хэмжээнд нийт 391,698 өрх амьдарч байгаагаас 51.3% нь ердийн галлагаатай сууцанд амьдарч байна [4]. Гэр хорооллын өрхийн үндсэн халаалтын систем нь зуух бөгөөд өвлийн туршид галладаг байдал нь нийт агаарны бохирдлын 70%-ийг бүрдүүлдэг [5]. Өвлийн улиралд агаарын бохирдлын нарийн ширхэгт тоосонцор буюу $PM_{2.5}$ оргилдоо хүрч 24 цагийн дундаж нь Монгол улсын агаарын чанарын стандарт ($50 \mu g/m^3$) [6] болон ДЭМБ-ын стандартуудыг ($20 \mu g/m^3$) [7] 15 болон 37.5 дахин тус тус давж байна.



Зураг 1. Судалгааны талбай

2013 онд Дэлхийн эрүүл мэндийн байгууллага Улаанбаатар хотыг хамгийн их агаарын бохирдолтой 5 хотын нэгт оруулсан [8].

Гал түлэлтээс үүссэн агаарын бохирдол нь уулсаар хүрээлэгдсэн газарзүйн байрлалаас болж тунарсан байдалтай болж байгаа бөгөөд агаар дахь $PM_{2.5}$ агууламж 24 цагийн дундаж нь $750 \mu g/m^3$ хүрч байна. УЦУОШГ болон Нийслэлийн агаарын бохирдлыг бууруулах газрын хамтарсан судалгаа болон хэмжилтээр гэр хорооллоос гарч буй тоосонцорын бохирдол нь Улаанбаатар хотын нийт агаарын бохирдлын 80%-ийг үүсгэдгийг тооцоолсон байна [9]. Агаарын тоосонцорын бохирдол шахмал түлш хэрэглэхээс өмнө болон хэрэглэснээс хойш харьцуулсан хэмжилтийн үр дүнг Газарзүй Геоэкологийн хүрээлэнгээс гаргасан [10]. Уг судалгаагаар агаар дахь тоосонцорын бохирдол 2 дахин багассан үзүүлэлттэй гарсан боловч агаарын тоосонцорын бохирдол аюултай түвшинд хэвээр байна. Үүнээс үндэслэн агаарын бохирдлын хамгийн их үеийн тархалтыг хэмжиж, тархалтыг зураглан харуулах шаардлага үүсч байна.

2. СУДАЛГААНЫ АРГАЗҮЙ

2.1. Судалгааны материал

Судалгааг хийхийн өмнө агаар дахь нарийн тоосонцорын буюу $PM_{2.5}$ бодит хэмжилтийн утгуудыг бэлтгэсэн. Улаанбаатар хотын хэмжээнд агаарын бохирдлыг Нийслэлийн Агаарын Чанарын

Алба, УЦУОШГ-уудын нийлсэн 19 харуул 15 минутаас 1 цагийн давтамжтай хэмждэг. Эдгээрээс 10 харуул нь $PM_{2.5}$ тоосонцорыг тогтмол хэмжиж байна. 10 цэгийн хэмжилт Улаанбаатар хотын нарийн тоосонцорын бохирдлыг зураглах судалгааны ажилд багадаа тул МУИС-ын Хүрээлэн буй орчны инженерчлэлийн лабораторын DUST TRAK II багажийг ашиглан хэмжилт хийсэн. Хэмжилт хийхийн өмнө засвар (calibration)-ыг хийж ажилласан. Энэхүү судалгааны зорилго нь Улаанбаатар хотын агаарын бохирдлын хамгийн оргил үеийн нарийн тоосонцорын тархалтыг харуулахыг зорьсон бөгөөд утаа хамгийн их тархдаг өглөө 05.00-09.00 цаг, орой 18.00-00.00 цагийн хооронд явуулын хэмжилтүүдийг хийв.

Нарийн тоосонцор ($PM_{2.5}$)-ын тархалтыг зураглахдаа гол эх үүсвэрүүд болох гэр сууц, байшин сууц, нам даралтын зуух, зам болон газрын бүрхэвчийн ангиллын мэдээллийг оруулсан. Дэлхийн банкны судалгаагаар улиралын нүүрсний хэрэглээ гэр сууцанд 4 тонн нүүрс, байшин сууцанд 6 тонн нүүрс байдаг [11] гэж тогтоосон нь гэр хороолол дундаа байшин сууцын нүүрсний хэрэглээ илүү байдгийг харуулж байна. Тиймээс нарийн тоосонцор ялгаруулагч эх үүсвэр болох гэр сууц болон байшин сууцыг тусад нь тодорхойлох шаардлагатай. Гал түлж буй гэр байшингуудын байршлын баттай эх сурвалжийн мэдээлэл байхгүй тул Weiran Yuchi [12] нарын туршлагыг үндэслэн ArcGIS программ дээр нэг бүрчлэн зурж ашигласан.

Хүснэгт 1. $PM_{2.5}$ буюу Нарийн тоосонцорын хэмжилтийн мэдээ

№	Агаарын бохирдлын хэмжилт мэдээлэл	Дээжийн тоо	Огноо	Эх сурвалж
1	Нийслэлийн Агаарын Чанарын Алба	4	2021 оны 1 сарын 17	Нийслэлийн агаарын чанарын алба
2	УЦУОШГ-ын харуулын мэдээ	6	2021 оны 1 сарын 17	УЦУОШГ
3	Явуулын хэмжилт	64	2021 оны 1 сарын 17 (5-9 цаг, 18-00 цаг)	МУИС Хүрээлэн буй орчны инженерчлэлийн лабораторийн “DUST TRAK II” багаж авч ашиглав.

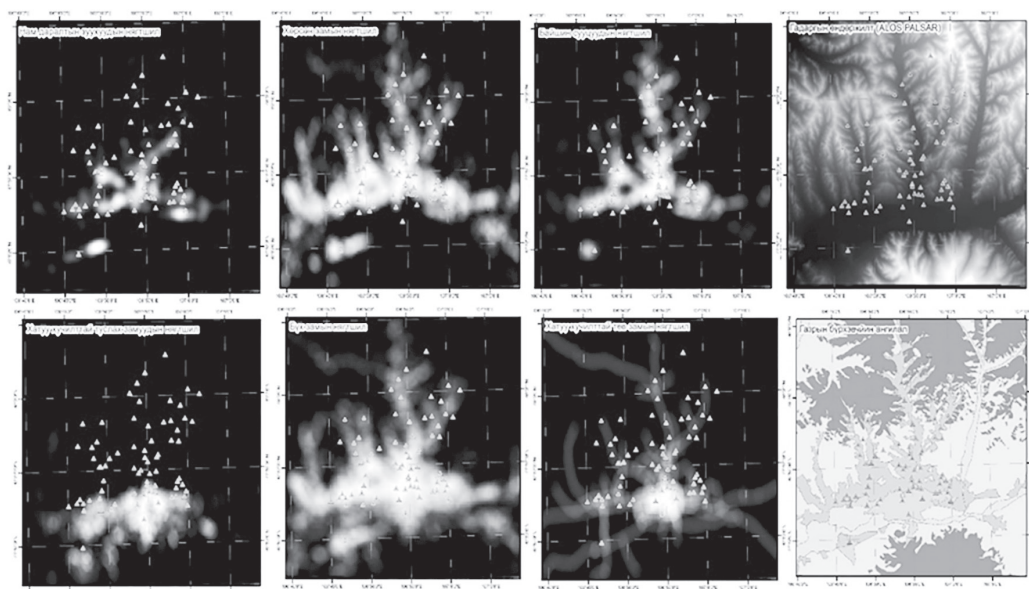
Bing satellite map –аас 80667 гэр сууц, 86569 байшин сууц зурагдсан бөгөөд 2020 оны статистикийн мэдээгээр 88044 гэр сууц, 77827 байшин сууц байдаг гэж бүртгэгдсэн байна [13]. Энэ нь бидний цуглуулсан мэдээ хол зөрөөгүй болохыг харуулж байна. Нам даралтын зуух нь гэр хорооллын бүс дэх томоохон объектуудыг халаах эх үүсвэр болдог бөгөөд судалгааны бүс нутагт 2333 нам даралтын зуух ажиллаж, хүчин чадлаасаа хамаараад жилд 6.8-486.5 тонн нүүрс хэрэглэдэг.

Нам даралтын зуухуудын мэдээллийг Нийслэлийн агаарын бохирдлыг бууруулах газрын 2018 оны, байршилын мэдээ бүхий тооллогын үр дүнг авч ашиглав.

Улаанбаатар хотод 2020 оны байдлаар 1156.7 км урт хатуу хучилттай зам байгаа [14] бөгөөд шороон зам оруулсан нийт урт нь ойролцоогоор 4272.8 км (2017 онд нийт урт 3956 км [15]) болно.

Үүнээс харахад нийслэл хотын нийт замын 27% орчим нь хатуу

хучилттай байгаа бөгөөд үлдсэн 63% орчим шороон зам нь гэр хорооллын бүсэд баригдаж, агаар дахь тоосонцор нэмэгдэхэд гол нөлөөг үзүүлж байна. Энэхүү судалгаанд Улаанбаатар хотын нийт замыг 1) Хучилттай төв зам, 2) Хучилттай туслах зам болон 3) Хөрсөн зам гэж гурав ангилан үзсэн. Газрын бүрхэвчийн мэдээлэлд Өндрийн тоон загвар (ALOS PALSAR DEM) болон Sentinel 2 хиймэл (10 м) дагуулын мэдээ ашиглахыг зорив. Гэвч Улаанбаатар хотын агаарын бохирдлын гол эх үүсвэр болсон гэр хороолол нь ихэвчлэн уулын энгэр, орой хэсгээр буюу харьцангуй өндөрлөгт байрлаж байгаагаас улбаалан Өндрийн тоон загвар маань “өндөрлөг газарт утаа үүсдэг” гэсэн буруу таамгийг үүсгэж загварт ашиглах боломжгүй болсон юм. Харин Улаанбаатар хотын газрын бүрхэвчийг ангилахдаа Ойн бүс, Хөдөө аж ахуйн бүс, Орон сууцны бүс, Чийгэрхэг бүс гэж ангилж ашигласан.



Зураг 2. Үл хамаарах хувьсагчид

2.2. Судалгааны аргазүй

Сүүлийн үед гадны орнуудын агаарын бохирдлын олон судалгаанд энэ загварыг өргөн ашиглаж байна. Энэ аргын давуу тал нь агаарын бохирдлын эх үүсвэр, түүнд эергээр болон сөргөөр нөлөөлж газарзүйн хүчин зүйлсийг хэмжилтийн үр дүнтэй шугаман тэгшитгэлээр тэнцүүлэх замаар үр дүнг гаргаснаар агаарын бохирдлын тархалтыг зөв зураглах боломжийг олгодог статистик арга юм.

Загварыг ажиллуулахдаа статистикийн R программыг ашигласан бөгөөд Backward Stepwise Regression зарчмаар боловсруулалтыг гүйцэтгэсэн.

Эхлээд дээр дурьдсан бүх мэдээг нэгтгэсэн загвар босгосон бөгөөд үр дүн нь хасах утга өндөртэй болон газарзүйн тархалтын хувьд буруу тул зарим үл хамаарах хувьсагчийг хасах шаардлага үүссэн.

Хүснэгт 2. Загварт туршигдсан үл хамаарах хувьсагчид

№	Ашигласан мэдээ		Эх сурвалж	Нэгж	Нөлөөлөх чиглэл
1	Гэр сууцууд		Bing satellite	Гэр/га	+
2	Байшин сууцууд		Bing satellite	Гэр/га	+
3	Нам даралтын зуухуудын байршил		Нийслэлийн агаарын чанарын алба	Зуух/га	+
4	Зам	Хатуу хучилттай төв зам	Open street map	Метр/га	+
		Хатуу хучилттай туслах зам			+
		Хөрсөн зам			+
5	Газрын бүрхэвчийн мэдээлэл	Гэр хорооллын бүс	Sentinel 2 хиймэл дагуулын мэдээ (2021 оны 1 сарын 17)	50, 100, 300, 500, 1000 (Баффер м)	+
		Ойн бүс		50, 100, 300, 500, 1000 (Баффер м)	-
		Орон сууцны бүс		50, 100, 300, 500, 1000 (Баффер м)	-
		Хөдөө аж ахуйн бүс		50, 100, 300, 500, 1000 (Баффер м)	-
		Чийгэрхэг гадарга		50, 100, 300, 500, 1000 (Баффер м)	-
6	Гадаргын өндөржилт		ALOS PALSAR DEM	Д.т.д метр	-

Хүснэгт 3. Бүх хувьсагчидаа нэгтгэсэн загварын үр дүн

№	Ашигласан мэдээ	Код нэр	Стандарт алдаа	Варианс өсгөгч хүчин зүйл
1	α коэффициент	Intercept	382.09	-
2	Гэр сууцууд	Ger_1	93.48	5.93
3	Байшин сууцууд	baishin_1	96.32	6.89
4	Нам даралтын зуухуудын байршил	stoves_1	-266.64	3.92
5	Нийт замын нягтшил	road_1	-29.69	58.46
6	Хатуу хучилттай төв зам	r_main	-0.76	9.05
7	Хатуу хучилттай туслах зам	r_2nd	0.51	19.71

8	Хөрсөн зам	r_soil	0.26	45.85
9	Гэр хорооллын бүс	ger_area	0.04	2.5
10	Ойн бүс	forest	-0.02	1.39
11	Орон сууцны бүс	build	-0.11	2.35
12	Хөдөө аж ахуйн бүс	green	0.09	3.89
13	Чийгэрхэг гадарга	wetland	0.01	1.66
14	Гадаргын өндөржилт	Elevatio_1	-0.27	4.269

Үл хамаарах хувьсагчидыг хасахдаа Backward Stepwise Selection аргыг сонгож загварт статистикийн хувьд ач холбогдол багатай хувьсагчидыг нэг нэгээр нь хасах зарчмаар ажиллаж Хөдөө аж ахуйн газар (green), Гэр (Ger_1), Байшин (baishin_1), болон Орон сууцны бүс (build) гэсэн үл хамаарах хувьсагч нар үлдэж, эцсийн хамгийн сайн загварыг дараах байдлаар гаргасан.

$$Y = -43.16580 + 79.03381 * Ger_1 + 71.39913 * baishin_1 + 0.08469 * green + (-0.07285) * build$$

3. СУДАЛГААНЫ ҮР ДҮН

Статистик R программ дээр боловсруулсан детерминацийн коэффициент $R^2=0.5309$ ба засварлагдсан детерминацийн коэффициент $R^2=0.5037$ гарсан. Загварын таамаглал хэмжсэн утгуудтай хэр тохирч байгааг үнэлэх үүднээс Leave One Out Cross Validation (LOOCV) техникийг ашиглаж үнэлсэн бөгөөд эндээс тестийн детерминацийн коэффициент $R^2=0.45$, квадрат дундаж алдаа буюу Root Mean Square Error RMSE=421.36, дундаж абсолют алдаа буюу Mean Absolute Error MAE=291.15 гэсэн утгууд гарсан. Эдгээр статистик үр дүнгээс харахад загварын болон үнэлгээний детерминацийн

Загварт ашиглагдсан дээрх үндсэн тэгшитгэлийг ArcGIS програмуу оруулж судалгааны талбайн хэмжээнд үүсгэсэн 100 м зайтай 146211 цэгэн торлолын цэг бүр дээр бодолт хийлгэж, гарсан цэг бүрийн утгаар торлолын интерполяц бодуулан $PM_{2.5}$ тархалтын зураглалыг хийсэн. Мөн гарсан үр дүнг статистик үнэмлэмжүүдээр үнэлж загварын үнэмшлийн хувийг тайлбарлав.

коэффициент нь $0.45 <$ гэж гарч байгаа нь хувьсагч ба үл хамаарах хувьсагчдын хамаарал хангалттай хүчтэй, регрессийн загварыг судалгаанд хэрэглэх онолын үндэслэлтэй гэж үзнэ [16]. Хүснэгт 4-т загварт ашигласан параметрээс үл хамаарах хувьсагчидын тогтмол коэффициентүүд болон Вариаци өсгөгч хүчин зүйл (Variance Inflation Factor, VIF)-ийг хамтад нь харуулав.

Загвараас гарсан үр дүнгийн шатлалыг тогтоохдоо АНУ-ын Хүрээлэн буй орчныг хамгаалах агентлаг (Environmental Protection Agency)-аас гаргасан $PM_{2.5}$ -ын Агаарын чанарын индексэд нөлөөлөх утгыг [17] авч ашиглав. Энэ шатлалаар:

Хүснэгт 4. Газар ашиглалтын регрессийн загварын үл хамаарах хувьсагчид

Үл хамаарах хувьсагчид	Estimate	Std.Error	Вариаци өсгөгч хүчин зүйл
Intercept	-43.16580	82.31319	-
Ger_1	79.03381	31.5763	3.925735
baishin_1	71.39913	29.59437	2.977499
green	0.08469	0.06062	1.264346
build	-0.07285	0.04997	1.464397

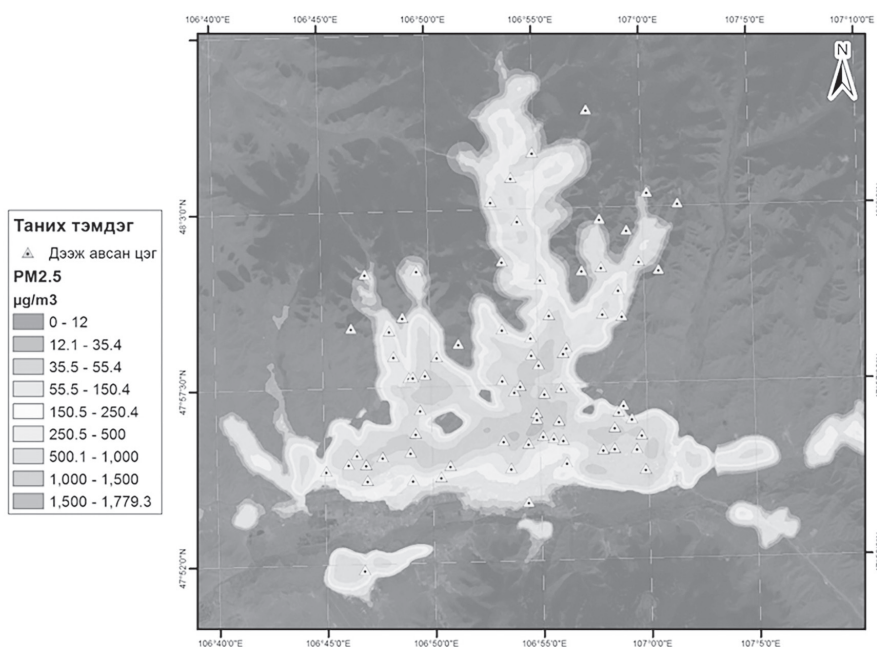
0-12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ цэвэр,
12.1-35.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ дундаж,
35.5-55.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ мэдрэмтгий хүмүүст
мэдрэгдэхүйц бохирдолтой,
55.5-150.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ бохирдолтой,
150.5-250.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ маш их бохирдолтой,
250.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ дээш аюултай гэж үзнэ.

Үр дүнгээс харахад Улаанбаатар хотод нарийн тоосонцорын бохирдол гал түлэлтийн оргил үеүд болох өглөө, оройдоо 2000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ хүрч байгаа бөгөөд Зурагт, 32-ын тойрог, Нарантуул захын арын гэр хороолол орчмоор хамгийн их гарсан байна. Баруун салаа, Зүүнсалаа, Баянхошуу, 7 буудал, 1-р хорооллын арын дэнж, Шархад, Цайз, Монел, Нисэх, Яармаг зэрэг хотын ихэнх хэсэгт Нарийн тоосонцорын бохирдлын түвшин Аюултай түвшинд гарсан байна. Хотын төвийн орон сууцны бүсэд агаарын бохирдол түрж орж ирж байгаа бөгөөд эндхийн нарийн тоосонцорын бохирдлыг бохирдолтой болон маш их бохирдолтой түвшинд хүргэж байна. Хотын захын гэр хороолол

буюу уулын энгэр, орой орчмын өндөрлөг газрын гэр хороолол болон хотоос зайдуу орших суурингуудаар нарийн тоосонцорын бохирдол харьцангуй бага гарсан байна.

4. ХЭЛЭЛЦҮҮЛЭГ

Агаарын бохирдлын тархалтыг загварчлах олон арга байгаагаас Land Use Regression model (LUR загвар) буюу Газар Ашиглалтын Регрессийн загвар агаарын бохирдлын тодорхой бохирдуулагч элементийн тархалт судалгаанд зонхилон ашиглагдаж байна [18]. Тиймээс Улаанбаатар хотын нарийн тоосонцорын бохирдлын тархалтыг загварчлах оролдлогыг энэхүү судалгаагаар хийсэн болно. LUR загвар нь агаарын бохирдлын судалгаанд газрын бүрхэвчийн мэдээллийг өргөн ашигладаг. Иймээс Европын орнуудад LUR загвар ашиглан хийгдсэн агаарын бохирдлын судалгаанууд газрын бүрхэвчийн албан ёсны ангилал болох CORINE (Coordination of information on the environment) мэдээллийг голчлон ашиглаж байна.



Зураг 3. Загварын үр дүн: Нарийн ширхэгт тоосонцрын тархалт

Ингэж нэгдсэн нэг суурь мэдээлэл ашиглах нь судалгааны үр дүн нэгдмэл байх үндэс юм. Манай орны хувьд Байгаль орчны мэдээллийн санд газрын бүрхэвчийн мэдээлэл байгаа боловч хэт тойм буюу хотын түвшний хэмжээнд биш байгаа нь энэхүү судалгаанд судлаач Улаанбаатар хотын газрын бүрхэвчийн ангиллыг өөрийнхөөрөө ангилж ашиглахад хүргэж байна.

Газрын бүрхэвчээс гадна бусад агаарын бохирдлын эх үүсвэрийн мэдээллүүдийг үл хамаарах хувьсагч болгон оруулсан боловч статистикийн хувьд загварт чухал үр нөлөө үзүүлэхгүй байгаагаас тэдгээр үл хамаарах хувьсагчид хасагдсан болно. Жишээлбэл замуудын нягтшил агаарын бохирдлын хэмжилттэй өндөр хамааралтай (нийт замуудын нягтшил $VIF=58.46$, Хучилттай төв зам $VIF=9.05$, Хучилттай туслах зам $VIF=19.71$ болон Хөрсөн зам $VIF=45.86$) байгаа нь регрессийн загварт “multicollinearity” үүсгэж хасагдаж байна.

Мөн энэ төрлийн бусад орны судалгаанд агаарын бохирдол өндөрөөс нам дор гадаргаруу өсч, хүн ам их төвлөрсөн газарт мөн их байдаг гэсэн зүй тогтол илэрч байгаа бол Улаанбаатар хотод эсрэгээрээ байна.

Өөрөөр хэлбэл тоосонцорын гол эх үүсвэр болсон гэр хороолол нь уулын энгэр, орой зэрэг харьцангуй өндөрлөг газраар байршиж бохирдол их ялгаруулснаар өндрийн мэдээ бүхий загвар маань “бусад суурин бус өндөрлөг газраар агаарын бохирдол их гарна” гэсэн буруу таамгийг үүсгэж байна. Улаанбаатар хотын орон сууцны бүсэд хүн амын нягтшил, гэр хорооллын бүсийн хүн амын нягтшилаас 10-15 дахин илүү (хорооны хүн амын тоог хорооны нутаг дэвсгэрт харьцуулж гаргасан) байхад

агаарын бохирдол хүн ам сийрэг талбайд илүү байна гэсэн буруу таамгийг мөн гаргадаг. Тиймээс Улаанбаатар хотын агаарын бохирдлын тархалтын судалгааг LUR загвар ашиглаж гаргахдаа бусад орны LUR загварт нийтлэг ашиглагддаг үл хамаарах хувьсагчидыг ашиглах боломжгүй болгож байгаа юм. Иймд Улаанбаатар хотын нөхцөлд тохирсон төгс LUR загварыг боловсруулж, агаарын бохирдлын тархалтыг илүү өндөр нарийвчлалтай зураглахын тулд хотын газрын бүрхэвчийн мэдээллийг нэгдсэн байдлаар мониторинг хэлбэрээр хэмждэг болох, хотын замуудын мэдээллийг даац, төрөл, хийгдсэн материалаар нэгдсэн мэдээллийн системтэй болгох зэрэг асуудлуудыг сайжруулах шаардлагатай байна.

5. ДҮГНЭЛТ

Улаанбаатар хотын нарийн ширхэгт тоосонцор $PM_{2.5}$ -ын тархалтыг зураглахдаа LUR загвар ашиглав. Загварыг босгохдоо Гэр сууцны нягтшил, Байшин сууцны нягтшил, Нам даралтын зуухуудын нягтшил, Гэр хорооллын бүс, Орон сууцны бүс, Ой, Хөдөө аж ахуйн газар, Чийгэрхэг газар, Замын нягтшил, Гадаргын өндөршил зэрэг 13 мэдээллийг үл хамаарах хувьсагч болгон ашигласан бөгөөд эдгээр хувьсагчидын нийлбэрээр статистик загвар босож болж байгаа боловч газарзүйн тархалтын хувьд зөв таамаглал гараагүй юм.

Тиймээс Backward Stepwise Selection зарчмаар статистикийн хувьд хамгийн өндөр ач холбогдол бүхий загварыг гаргаж авсан бөгөөд уг загвар үл хамаарах хувьсагчид аар тайлбарлагдах чадварын хувьд детерминацийн коэффициент $R^2=0.53$, засварлагдсан $R^2=0.5$ үзүүлэлттэй гарсан.

Хэдий тийм боловч загварын үнэлгээгээр детерминацийн коэффициент $R^2=0.44$ буюу бага гарсан бөгөөд $RMSE=421.36$, $MAE=291.15$ ийм хэлбэлзэлтэй гарсан нь загварыг дахин сайжруулах шаардлагатай байгааг харуулж байна.

АШИГЛАСАН НОМ, ХЭВЛЭЛ

- [1] Dr. Sarath Guttikunda, Sereeter Lodoysamba, Baldorj Batsaikhan et al, "Urban air pollution analysis in Ulaanbaatar, Mongolia," Springer: Air Qual Atmos Health, 2013.
- [2] Ryan W.Allen, Enkhjargal Gombojav, Baldorj Barkhasragchaa et al, "An assessment of air pollution and its attributable mortality in Ulaanbaatar, Mongolia," Springer: Air Qual Atmos Health, 2011.
- [3] Үндэсний Статистикийн хороо, Монгол Улсын статистикийн эмхэтгэл 2020, Улаанбаатар, 2021.
- [4] Үндэсний статистикийн хороо, "Icon news," Монгол Улсын нийт өрхийн 70% нь галлагаатай сууцанд амьдарч байна, 2019. [Online]. Available: <https://ikon.mn/n/1hus>.
- [5] O. Enkhtsolmon, T. Matsumoto, Erkhembayar Tseveen, "Cost Benefit Analysis of Air Pollution Abatement Options in the Ger Area, Ulaanbaatar, and Health Benefits Using Contingent Valuation," International Journal of Environmental Science and Development, 2016.
- [6] Стандартчилал Хэмжилзүйн газар, "Агаарын чанар. Техникийн ерөнхий шаардлага MNS4585:2016," 2016. [Online]. Available: <https://estandard.gov.mn/>.
- [7] World health organization, Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. Summary of risk assessment, Geneva, 2005.
- [8] Sarath K. Guttikunda, Sereeter Lodoysamba, Baldorj Bulgansaikhanь Batdorj Dashdondog, "Particulate pollution in Ulaanbaatar, Mongolia," Air Qual Atmos Health, 2013.
- [9] НАББ газар, УЦУОШГ, "Агаарын чанар," 2018. [Online]. Available: www.agaar.mn.
- [10] Э.Одбаатар, Т.Даваагатан, "Улаанбаатар хотын агаарын бохирдол," 2021. [Online]. Available: http://portal.igg.ac.mn/dataset/ebd12085-7a16-4130-8171-91bba36c808e/resource/f4bcaba2-f3f0-45b0-8908-39582cfea2ae/download/phg_surtalchilgaaniiniitlel_1_airquality_mar17.pdf.
- [11] Агаарын чанар, "Агаарын бохирдлын тухай товчхон," 2018. [Online]. Available: www.agaar.mn.
- [12] Weiran Yuchi, Anders Knudby, Joanna Cowper, Enkhjargal Gombojav нар., "A description of methods for deriving air pollution land use regression model predictor variables from remote sensing data in Ulaanbaatar, Mongolia," Canadian Geographer, 2016.
- [13] Үндэсний статистикийн хороо, "Хүн ам, орон сууцны 2020 оны улсын ээлжит тооллогын нийслэлийн нэгдсэн дүн (хураангуй)," Улаанбаатар хот, 2020.
- [14] Нийслэлийн Статистикийн газар, "Сайжруулсан автозамын урт, км," 2020. [Online]. Available: <http://ubstat.mn/StatTable=50>.
- [15] Улаанбаатар, "Нийслэлийн Авто замын салбарт хэрэгжих төсөл арга хэмжээг танилцууллаа," 2017. [Online]. Available: <https://www.ulaanbaatar.mn/Home/newsdetail?dataID=20792>.

- [16] Монгол Улсын Үндэсний Статистикийн газар, “Статистикийн шинжилгээ судалгаа хийх гарын авлага,” Улаанбаатар, 2007.
- [17] EPA, “Clean Air Banks,” 2013. [Online]. Available: <https://cleanairfairbanks.files.wordpress.com/2013/01/aqi-chart-for-pm-2-5-pollution-2013-crop.jpg>.
- [18] Xingzhe Xie, Ivana Semanjski et al., “A Review of Urban Air Pollution Monitoring and Exposure Assessment Methods,” MDPI: International Journal of Geo-Information, p. 21, 1 December 2017.