

УЛААНБААТАР ХОТЫН $PM_{2.5}$ БУЮУ НАРИЙН ТООСОНЦОРЫН БОХИРДЛЫН ОРГИЛ ҮЕИЙН ТАРХАЛТЫГ ГАЗАР АШИГЛАЛТЫН РЕГРЕССЭЭР ЗАГВАРЧЛАХ СУДАЛГААНЫ УРЬДЧИЛСАН ҮР ДҮН

Э.Одбаатар¹, Ч.Сономдагва², Г.Очирбат³, Б.Баянжаргал¹, Х.Золзаяа¹

¹ШУА, Газарзүй-Геоэкологийн хүрээлэн, Физик газарзүй орчин судлалын салбар

²МУИС, Хүрээлэн буй орчин ойн инженерчлэлийн тэнхим

³ШУА, Физик технологийн хүрээлэн, Инноваци технологийн лаборатори

E-mail: odbaatare@mas.ac.mn

Abstract

In recent decades, Ulaanbaatar city air pollution is turning into a serious issue which is influencing citizens' health. Even though Mongolian government is introducing briquettes in order to decrease air pollution, Ulaanbaatar city households are burning briquettes intensively early in the morning and the night, and air pollution is still higher than tolerance. So, this study aims to map peak $PM_{2.5}$ (fine particle) pollution of the day. Land Use Regression model was used and its determination coefficient is $R^2=0.5506$ and Adjacent $R^2 = 0.5313$. Also, in order to validate LUR model, Leave One Out Cross Validation (LOOCV) technique is used and it evaluated that $R^2 = 0.49$, RMSE= 402.779, MAE= 293.6. 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

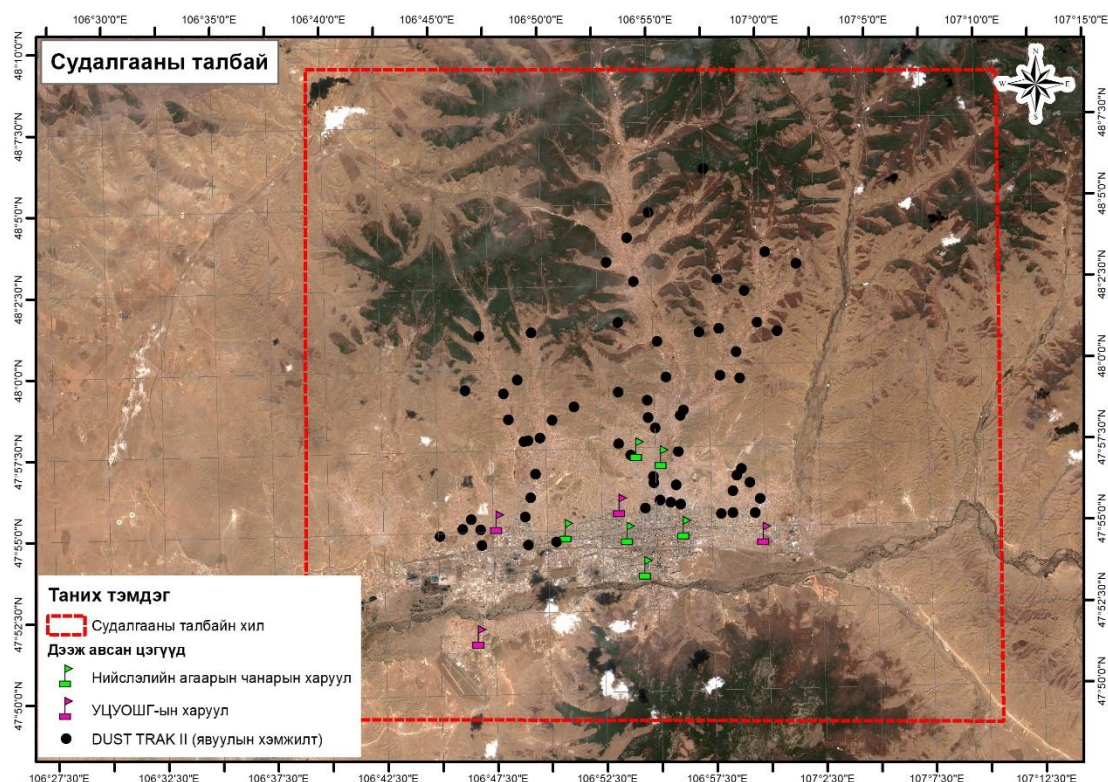
Оршил

Улаанбаатар хот нь эрс тэс уур амьсгалтай төв азийн тэгш өндөрлөгт оршдог дэлхийн хамгийн хүйтэн нийслэл хотуудын нэг юм. Өвлийн улиралд агаарын дундаж температур $-25^{\circ}C$ бөгөөд заримдаа $-38^{\circ}C$ хүрнэ. 2000 оноос хойш Улаанбаатар хот эрчтэй тэлж гэр сууцаа халаах, хоол хийх зорилгоор гэр хорооллын айлуудын гал түлэлт, тээврийн хэрэгслийн нэмэгдэлт, үйлдвэржилт, барилга барих үйл явц нэмэгдэж агаарын бохирдлыг нэмэгдүүлсээр байна [1] [2]. 2020 оны байдлаар Монгол улсын нийт хүн ам 3 357 300, үүнээс 1 597 300 хүн ам нь нийслэл хотод [3], Улаанбаатар хотын хэмжээнд нийт 391698 өрх амьдарч байгаагаас 51.3% нь ердийн галлагаатай сууцанд амьдарч байна [4]. Гэр хорооллын өрхийн үндсэн халаалтын систем нь зуух бөгөөд өвлийн туршид галлаж энэ 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. Дэлхийн эрүүл мэндийн байгууллага Улаанбаатар хотыг хамгийн их агаарын бохирдолтой 5 хотын нэгт оруулсан. Өвлийн улирлын агаарын бохирдлын $PM_{2.5}$ агууламж 24 цагийн дундаж нь $750 \mu g/m^3$ хүрэх ба нүүрс түлэлтээс үүссэн агаарын бохирдлын нам үе (mixing heights $<200m$) нь уулуудаар хүрээлэгдсэн байдлаас болж агаарын бохирдлын хэвтээ болон босоо чиглэлийн тархалтыг хязгаарлаж, агаарын бохирдлыг тунарсан байдалтай болгож байна [1]. 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 үүсгэж байна гэж тооцоолсон байна [8]. Агаарын тоосонцорын бохирдол шахмал түлш хэрэглэхээс өмнө болон хэрэглэснээс хойш харьцуулсан хэмжилтийн үр дүнг

Газарзүй-Геоэкологийн хүрээлэнгээс гаргасан [9]. 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 зураглах шаардлага үүсч байна.



1-р зураг. Судалгааны талбай ба хэмжилт хийсэн цэгүүд

1. Судалгааны материал ба аргазүй

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 багадаах тул МУИС-

ын Хүрээлэн буй орчны инженерчлэлийн лабораториос DUST TRAK II багажийг түр авч ашиглан явуулын хэмжилт хийсэн. Хэмжилт хийх бүртээ багажны заавар гарын авлагад заасны дагуу засвар (calibration)-ыг хийж ажилласан болно. 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.

1.1-р хүснэгт

$PM_{2.5}$ 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	МУИС Хүрээлэн буй орчны инженерчлэлийн

			(5-9 цаг, 18-00 цаг)	лабораторын “DUST TRAK II” багаж авч ашиглав.
--	--	--	----------------------	---

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 [10] гэж гарсан байгаа 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 болж байгаа юм. Гал түлж буй гэр байшингуудын байршлын баттай эх сурвалжийн мэдээлэл байхгүй тул Weiran Yuchi [11] нарын туршлагыг үндэслэн ArcGIS программ дээр нэг бүрчлэн зурж ашигласан. 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 [12]. 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 [13] бөгөөд шороон зам оруулсан нийт урт нь ойролцоогоор 4272.8 км (2017 онд нийт урт 3956 км [14]) болно. Эндээс харахад нийслэл хотын нийт замын 27% орчим нь хатуу хучилттай байгаа бөгөөд үлдсэн 63% орчим шороон зам нь гэр хорооллын бүсэд оршиж агаар дахь тоосонцор нэмэгдэхэд мөн гол нөлөөг үзүүлж байна.

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 байрлаж өндөрлөгт үүссэн утаа хотын төврүү, нам дор хэсэгрүү зөөгдөж байгаа нь өндрийн хувьд ялгарал бага үүсгэж байсан тул моделд ашиглах боломжгүй болсон юм. Харин Улаанбаатар хотын газрын бүрхэвчийг ангилахдаа Ой, Хөдөө аж ахуйн газар, Орон сууцны бүс, Чийгэрхэг гадарга, Үйлдвэрлэлийн бүс гэж ангилав.

1.2-р хүснэгт

Моделд туршигдсан үл хамааран 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		Open street map	Метр/га	+
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	-

Аргазүй: Улаанбаатар хотын агаарын нарийн тоосонцорын бохирдол болох PM_{2.5} зураглахдаа “Land Use Regression model” буюу Газар Ашиглалтын регрессийн загварыг сонгон авч ашигласаг. 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 хамаарагч газарзүйн хүчин зүйлсийг хэмжилтийн үр дүнтэй шугаман тэгшитгэлээр тэнцүүлэх замаар үр дүнг гаргаснаар агаарын бохирдлын тархалтыг зөв зураглах боломжийг олгодог, статистик арга юм.

Загварыг боловсруулахдаа статистикийн R программыг ашигласан бөгөөд Backward Stepwise Regression зарчмаар боловсруулалтыг гүйцэтгэсэн. Эхлээд дээр дурьдсан бүх мэдээг нэгтгэж нэг модел босгосон бөгөөд үр дүн нь хасах утга өндөртэй болон газарзүйн тархалтын хувьд буруу тул зарим үл хамааран хувьсагчийг хасах шаардлага үүссэн. Backward Stepwise Regression-ий үр дүнд Хөдөө аж ахуйн газар (agricultural land), Гэр-байшин (ger_baishin), болон Орон сууцны бүс (apartment_area) гэсэн үл хамааран хувьсагч нар үлдэж, эцсийн хамгийн сайн моделийг дараах байдлаар гаргасан.

$$Y = -6.73220 + 69.67513 * ger_{baishin} + 0.08864 * agricultural_{land} + (-0.06631) * apartment_{area}$$

Моделд 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 үйлдсэн. Мөн гарсан үр дүнг статистик үнэмлэмжүүдээр үнэлж моделийн үнэмшлийн хувийг тайлбарласан.

2. Үр дүн

R программ дээр боловсруулсан статистик моделийн детерминацийн коэффициент $R^2=0.5506$ ба засварлагдсан детерминацийн коэффициент $R^2=0.5313$ гарсан. Моделийн таамаглал хэмжсэн утгуудтай хэр тохирч байгааг үнэлэх үүднээс Leave One Out Cross Validation (LOOCV) техникийг ашиглаж үнэлсэн бөгөөд эндээс тестийн детерминацийн коэффициент $R^2= 0.49$, Квадрат дундаж алдаа буюу Root Mean Square Error RMSE=402.779, Дундаж абсолют алдаа буюу Mean Absolute Error MAE=293.6

гэсэн утгууд гарсан. Эдгээр статистик үр дүнгээс харахад моделийн болон үнэлгээний детерминацийн коэффициент нь $0.49 <$ гэж гарч байгаа нь хувьсагч ба үл хамааран хувьсагчдын хамаарал хангалттай хүчтэй, регрессийн загварыг судалгаанд хэрэглэх онолын үндэслэлтэй гэж үзнэ [15]. Хүснэгт 2.1 моделд ашиглагдсан үл хамааран хувьсагчидын тогтмол коэффициентүүд болон Вариаци өсгөгч хүчин зүйл (Variance Inflation Factor, VIF)-ийг хамтад нь харуулав.

2.1-р хүснэгт

Газар ашиглалтын регрессийн моделийн үл хамааран хувьсагчид

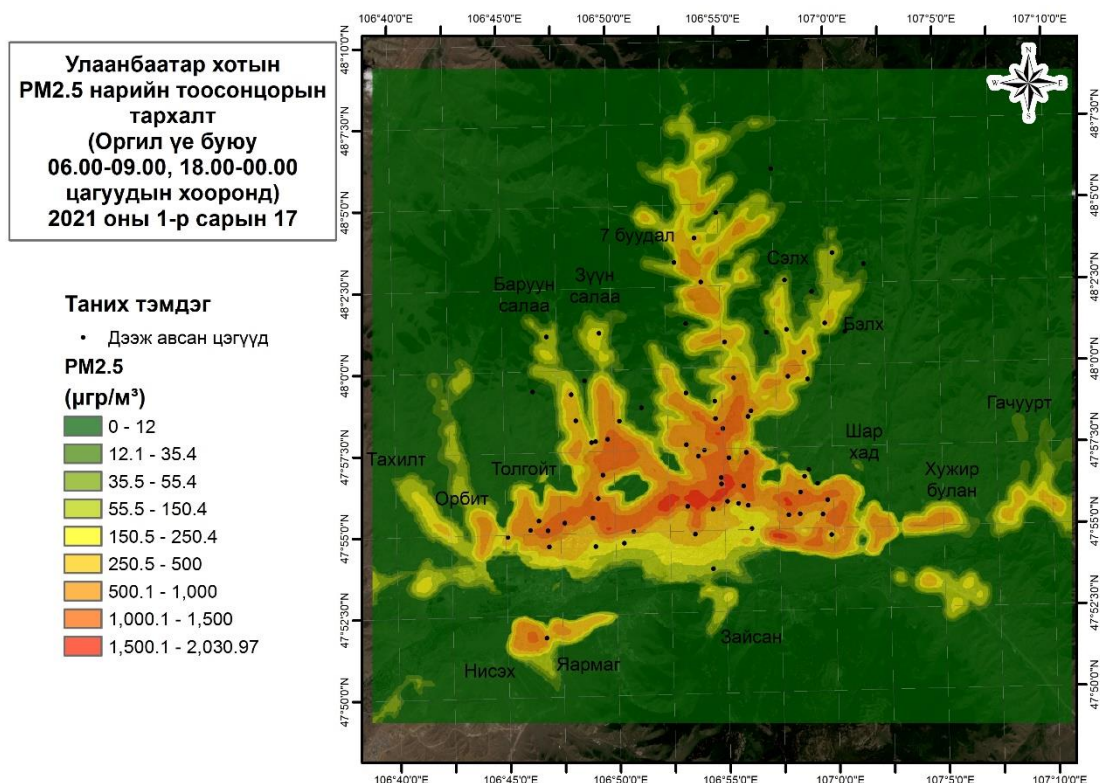
	Estimate	Std.Error	VIF
Intercept	-6.7322	74.65241	-
Ger baishin	69.67513	9.43036	1.479574
Agricultural land	0.08864	0.05812	1.230708
Apartment area	-0.06631	0.04455	1.232909

Моделоос 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 [16] авч ашиглав. Энэ шатлалаар 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 дүнгийн зургаас харахад Улаанбаатар хотод нарийн тоосонцорын бохирдол галт

түлэлтийн оргил үеүүд болох өглөө, оройдоо $2000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ хүрч байгаа бөгөөд Зурагт, 32-ын тойрог, Нарантуул захын

төвийн орон сууцны бүсэд агаарын бохирдол түрж орж ирж байгаа бөгөөд эндхийн нарийн тоосонцорын бохирдлыг



2-р зураг. Моделийн үр дүн: Нарийн тоосонцорын тархалт

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

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.

Хэлэлцүүлэг

Агаарын бохирдлын тархалтыг загварчлах олон арга байгаагаас Land Use Regression model (LUR модел) буюу Газар Ашиглалтын Регрессийн модел агаарын бохирдлын тодорхой бохирдуулагч элементийн тархалт судалгаанд зонхилон ашиглагдаж байна [17]. Тиймээс Улаанбаатар хотын нарийн тоосонцорын бохирдлын тархалтыг загварчлах оролдлогыг энэхүү судалгаагаар хийсэн болно. LUR модел нь агаарын бохирдлын судалгаанд газрын бүрхэвчийн мэдээллийг өргөн ашигладаг. Иймээс Европын орнуудад LUR модел ашиглан хийгдсэн агаарын бохирдлын судалгаанууд газрын бүрхэвчийн албан

ёсны ангилал болох CORINE (Coordination of information on the environment) мэдээллийг голчлон ашиглаж байна. 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 байгаа нь энэхүү судалгаанд судлаач газрын бүрхэвчийн ангиллыг өөрийнхөөрөө бий болгоход хүргэж байна. Газрын бүрхэвчээс гадна бусад агаарын бохирдлын эх үүсвэрийн мэдээллүүдийг үл хамааран хувьсагч болгон оруулсан боловч статистикийн хувьд моделд үр нөлөө үзүүлэхгүй байгаагаас тэдгээр үл хамааран хувьсагчид хасагдсан болно. Жишээлбэл замуудын нягтшил агаарын бохирдлын хэмжилттэй өндөр хамааралтай ($VIF = 6.764603$) байгаа нь

регрессийн моделд “multicollinearity” үүсгэж хасагдаж байна. Мөн энэ төрлийн бусад орны судалгаанд агаарын бохирдол өндөрлөгөөс нам дор гадаргаруу ихэсч, хүн ам их төвлөрсөн газарт мөн их байдаг гэсэн зүй тогтол илэрч байгаа бол Улаанбаатар хотод эсэргээрээ байна. Өөрөөр хэлбэл тоосонцорын гол эх үүсвэр болсон гэр хороолол уулын энгэр, орой зэрэг харьцангуй өндөрлөг газраар байршсан нь өндрийн тоон загварыг моделд ашиглахад бусад суурин бус өндөрлөг газраар агаарын бохирдол их гарна гэсэн буруу таамгийг үүсгэж байна. Мөн Улаанбаатар хотын орон сууцны бүс дэх 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 модел ашиглаж гаргахдаа бусад орны LUR моделд нийтлэг ашиглагддаг үл хамааран хувьсагчидыг ашиглах боломжгүй болгож байгаа юм. Иймд Улаанбаатар хотын нөхцөлд тохирсон төгс LUR моделиг боловсруулж, агаарын бохирдлын тархалтыг илүү өндөр нарийвчлалтай зураглахын тулд Улаанбаатар хотын газрын бүрхэвчийн мэдээллийг нэгдсэн байдлаар мониторинг хэлбэрээр хэмждэг болох, Улаанбаатар хотын замуудын мэдээллийг даац, төрөл, хийгдсэн материалаар нэгдсэн мэдээллийн системтэй болгох зэрэг асуудлуудыг дэвшүүлмээр байна.

Дүгнэлт

Улаанбаатар хотын нарийн ширхэгт тоосонцор $PM_{2.5}$ -ын тархалтыг зураглахдаа LUR модел ашиглав. Моделийг 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 10 мэдээллийг үл хамааран хувьсагч болгон ашигласан боловч эдгээр хувьсагчидын нийлбэрээр статистик модел босож болж байгаа

газарзүйн тархалтын хувьд зөв таамаглал гараагүй юм. Тиймээс Backward Stepwise Regression зарчмаар статистикийн хувьд хамгийн өндөр ач холбогдол бүхий моделиг гаргаж авсан бөгөөд моделийн тайлбарлах чадвараар детерминацийн коэффициент $R^2 = 0.5506$, засварлагдсан $R^2 = 0.5313$ үзүүлэлттэй гарсан. Хэдий тийм боловч моделийн үнэлгээгээр $RMSE = 402.779$, $MAE = 293.6$ ийм хэлбэлзэлтэй гарсан нь моделийг 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. [Холбогдсон]. 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. [Холбогдсон]. 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] НАББ газар, УЦУОШГ, “Агаарын чанар,” 2018. [Холбогдсон]. Available: www.agaar.mn.
- [9] Э.Одбаатар, Т.Даваагатан, “Улаанбаатар хотын агаарын бохирдол,” 2021. [Холбогдсон]. 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.
- [10] Агаарын чанар, “Агаарын бохирдлын тухай товчхон,” 2018. [Холбогдсон]. Available: www.agaar.mn.
- [11] 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.
- [12] Үндэсний статистикийн хороо, “Хүн ам, орон сууцны 2020 оны улсын ээлжит тооллогын нийслэлийн нэгдсэн дүн (хураангуй),” Улаанбаатар хот, 2020.
- [13] Нийслэлийн Статистикийн газар, “Сайжруулсан автозамын урт, км,” 2020. [Холбогдсон]. Available: <http://ubstat.mn/StatTable=50>.
- [14] Улаанбаатар, “Нийслэлийн Авто замын салбарт хэрэгжих төсөл арга хэмжээг танилцууллаа,” 2017. [Холбогдсон]. Available: <https://www.ulaanbaatar.mn/Home/newsdetail?dataID=20792>.
- [15] Монгол Улсын Үндэсний Статистикийн газар, “Статистикийн шинжилгээ судалгаа хийх гарын авлага,” Улаанбаатар, 2007.
- [16] EPA, “Clean Air Banks,” 2013. [Холбогдсон]. Available: <https://cleanairfairbanks.files.wordpress.com/2013/01/aqi-chart-for-pm-2-5-pollution-2013-crop.jpg>.
- [17] 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.