

Агаарын PM_{2.5} тоосонцрын агуулгад цаг уурын параметруудийн үзүүлэх нөлөө

С.Жамьян, Ж.Баттогтох, Ж.Нямжав*

Монгол Улсын Их Сургууль, Хэрэглээний шинжлэх ухаан, инженерчлэлийн сургууль, Электроник, холбооны инженерчлэлийн тэнхим

Энэ ажлаар агаарын PM_{2.5} тоосонцорд цаг уурын параметрууд болон температур, чийгшил, даралт, салхины хурд хэрхэн нөлөөлж байгааг куантайль регресс арга ашиглан судлав. Куантайль регресс нь хувьсагчдын хамаарлыг том зургаар харах боломжийг олгодог. Цаг уурын параметр тус бүр нь агаарын бохирдолд хэрхэн нөлөөлж байгааг судлахаас гадна аль параметр агаарын бохирдолд илүү нөлөөлж байгааг куантайль регресс ашиглан судалсан. Судалгааны үр дүнгээс үзэхэд температур болон салхины хурд агаарын бохирдолд илүү нөлөөтэй байв. Мөн температур, салхины хурд бага үед PM_{2.5} тоосонцрын түгэлтийн варианс их байсан бол температур, салхины хурд их үед варианс бага байв.

Түлхүүр үг: Агаарын бохирдол, цаг уурын параметр, куантайль регресс

УДИРТГАЛ

Монгол орны хүн амын талаас илүү нь амьдарч буй Улаанбаатар хот дэлхийн хамгийн их агаарын бохирдолтой хотуудын нэг. Хүн амын төвлөрөл, түүнийг дагасан түүхий нүүрсний хэрэглээ, автомашины утаа зэрэг нь агаарын бохирдлын гол эх үүсвэр болж хүн амын эрүүл мэндэд сөргөөр нөлөөлж байна [1-3]. Агаарын бохирдол нь зүрх судасны болон амьсгалын замын өвчлөл [4-6], чихрийн шижин болон цусны даралт ихдэлт [7], сэтгэц мэдрэлийн өвчлөл [8], ой тогтоолт муудах [9] зэрэгт нөлөөлж байна.

Агаарын бохирдолд нүүрс, автомашины хэрэглээ зэрэг хүний хүчин зүйлсээс гадна цаг уурын нөхцөл байдал нөлөөлж байна. Агаарын температур өндөр, салхи ихтэй үед агаарын бохирдол бага байдаг. Агаарын температур, салхины хурднаас гадна цаг уурын бусад параметрууд болох агаарын даралт, чийгшил бохирдолд хэрхэн нөлөөлж байгааг судалсан.

Агаарын бохирдолд нөлөөлж буй бодисууд болох хүхэрлэг хий SO₂, нүүрстөрөгчийн дутуу исэл CO, азотын давхар исэл NO₂, озон O₃ болон нарийн ширхэгтэй тоосонцор PM₁₀, PM_{2.5} зэргээс энэ судалгааны ажилд PM_{2.5} тоосонцор болон цаг уурын параметруудийн хамаарлыг куантайль регресс ашиглан судалсан.

Регресс нь хамаарах болон үл хамаарах хувьсагчдын хоорондын хамаарлыг судалдаг статистикийн арга. Энгийн, нийлмэл, шугаман, шугаман бус регрессийн аргууд байдаг. Энгийн

шугаман регресс хамгийн өргөн хэрэглэгддэг ба хамаарах хувьсагчийн зөвхөн дундаж утга дээр төвлөрдөг. Жишээ нь агаарын бохирдолд салхины үзүүлэх нөлөөг судлахад шугаман регресс дундаж агаарын бохирдолд салхи хэрхэн нөлөөлж байгааг харуулдаг. Харин агаарын бохирдол их эвсэл бага байх үед салхи хэрхэн нөлөөлж байгааг харуулж чаддаггүй. Мөн шугаман регресс нь хэмжилтийн алдаатай утгуудад мэдрэмтгий сул талтай.

Куантайль (quantile) регресс [10] нь хувьсагчдын хоорондын хамаарлыг магадлалын түгэлтийн бүх хэсэгт тооцоолдог арга. Уламжлалт шугаман регресс дундаж утгыг хамгийн бага квадратын аргаар тооцоолдогтой адил куантайль регресс арга медиан утга болон бусад куантайль утгуудыг квадрат алдаа хамгийн бага байхаар тооцоолдог. Уламжлалт шугаман регрессийн арга зөвхөн дундаж утгыг харуулдаг бол куантайль регресс бүх куантайль утгуудыг тооцоолсноор санамсаргүй хувьсагчдын хоорондын хамаарлыг бүтэн зургаар харах боломжийг олгодог. Куантайль регрессийг ашигласнаар жишээ нь салхины хурд өөр өөр байхад байхад агаарын бохирдлын түгэлтийг хэлж чадна.

Агаарын бохирдолд цаг уурын параметрууд тус бүрдээ хэрхэн нөлөөлөхийг куантайль регресс хэлэхээс гадна цаг уурын аль параметрууд агаарын бохирдлын хэмжээнд хэрхэн нөлөөлж байна гэдгийг хэлдэг. Өөрөөр хэлбэл агаарын бохирдол их үед цаг уурын аль параметр их нөлөөлж байгааг, бохирдол бага үед аль параметр илүү нөлөөлж байгааг куантайль

* nyamjav@num.edu.mn

регресс харуулж чаддаг. Энэ нь куанталь регрессийг энэ судалгаанд ашиглах үндсэн шалтгаан болсон.

КУАНТАЙЛЬ РЕГРЕСС

Х гэсэн санамсаргүй хувьсагчийг түгэлтийн функцээр илэрхийлбэл:

$$F_X(x) = P(X \leq x) \quad (1)$$

Тэгвэл дурын $0 < \tau < 1$ -ийн хувьд

$$F_X^{-1}(\tau) = \inf \{x_\tau: F_X(x_\tau) \geq \tau\} \quad (2)$$

-ийг Х санамсаргүй хувьсагчийн τ дахь куанталь гэдэг. Медиан утга нь $F_X^{-1}(\frac{1}{2})$ буюу $\frac{1}{2}$ дэх куанталь юм. Эдгээр куанталь утгуудыг түгэлтийн функцийг урвуугаар олдог:

$$x_\tau = F_X^{-1}(\tau) \quad (3)$$

Түгэлтийн функцтэй адилаар куанталь функц нь санамсаргүй хувьсагчийн талаар бүх мэдээллийг өгдөг.

Энгийн куанталь регрессийн загвар:

$$y_i = x_i \beta_\tau + e_i \quad (3)$$

Энд x -үл хамаарах хувьсагч, y -хамаарах хувьсагч, e -бодит утга регрессийн утгаас хэлбийх хазайлт буюу алдаа, β_τ - τ дахь куанталь регрессийн тэгшитгэлийн тогтмол. Куанталь регрессийн загвар нь τ -ийн өөр өөр утгуудад регрессийг шугам өгнө.

Куанталь регресс нь

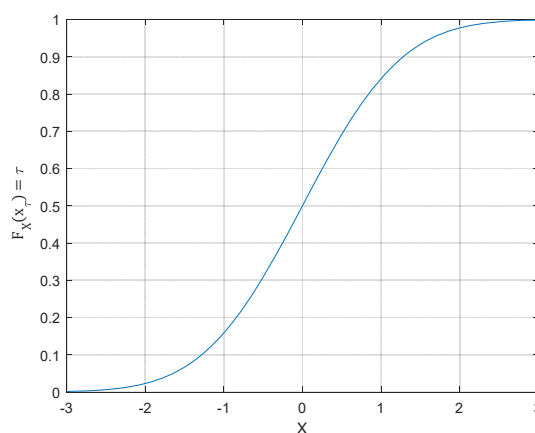
$$\sum \tau |e_i| + \sum (1 - \tau) |e_i| \quad (4)$$

нийлбэр хамгийн бага байхаар β_τ -уудыг олдог. (3) томъёоноос e_i -г олоод (4) томъёонд орлуулбал:

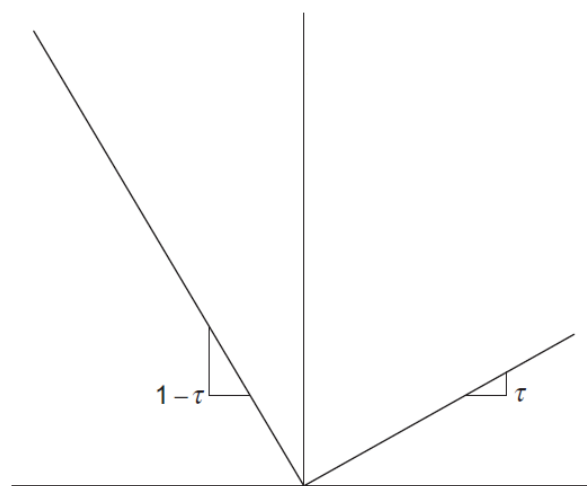
$$F_X^{-1}(\beta_\tau) = \sum_{i: y_i \geq x_i \beta_\tau} (\tau) |y_i - x_i \beta_\tau| + \sum_{i: y_i < x_i \beta_\tau} (1 - \tau) |y_i - x_i \beta_\tau| \quad (5)$$

(5) тэгшитгэлд τ -ий өөр өөр утгад β параметрийг олохдоо $y_i \geq x_i \beta_\tau$ буюу бодит утгууд болох y_i нь регрессээр таамагласан утгууд $x_i \beta_\tau$ -с их тохиолдолд τ утгаар үржүүлж буюу тэдгээрийг τ утгаар торгож (penalty) байгаа бол $y_i < x_i \beta_\tau$ буюу бодит утгууд

таамагласан утгуудаас бага үед $1 - \tau$ утгаар торгож байна.



Зураг 1. Түгэлтийн функц. Хэвээ тэнхлэгт санамсаргүй хувьсагчийн утгуудыг үзүүлсэн, босоо тэнхлэгт куантальудын утгуудыг үзүүлсэн.



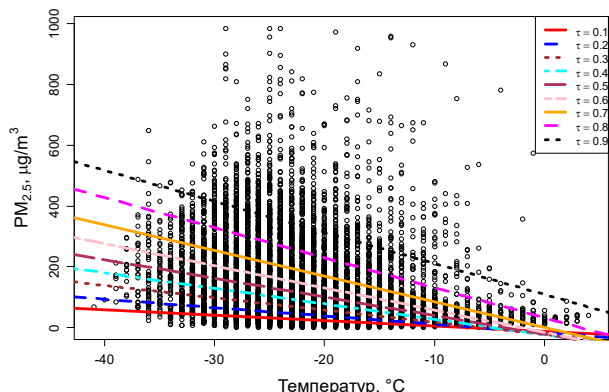
Зураг 2. Куанталь регрессийн алдааны функц. Хэвтээ тэнхлэгт алдааг үзүүлсэн бол босоо тэнхлэгт алдаанаас хамаарсан функцийг үзүүлсэн.

Энэ судалгааны тооцоололд R програмчлалын хэл [11] болон түүний “quantreg” пакежийг ашигласан.

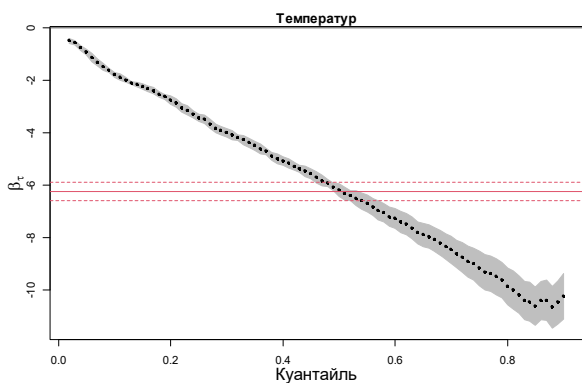
ҮР ДҮН

Энэ судалгаанд 2016-2020 оны өвлийн сарууд болох 11 сарын 20-с 2 сарын 28-ны хоорондох өгөгдлийг ашигласан. Эхлээд РМ_{2.5} тоосонцор болон цаг уурын параметр тус бүрийн хамаарлыг $y_i = \beta_{0|\tau} + x_i \beta_{1|\tau} + e_i$ куанталь регрессийн аргаар ерэн куантайлийн утгууд буюу $\tau = \{0.01, 0.02, \dots, 0.90\}$ утгуудад

шалгасан. Энд x -цаг уурын параметруудийн утгууд бол y -агаарын $PM_{2.5}$ тоосонцрын утгууд.



Зураг 3. $\tau = \{0.1, 0.2, \dots, 0.9\}$ утгуудад температур болон $PM_{2.5}$ тоосонцрын хамаарлын куантайль регрессийн шугамууд

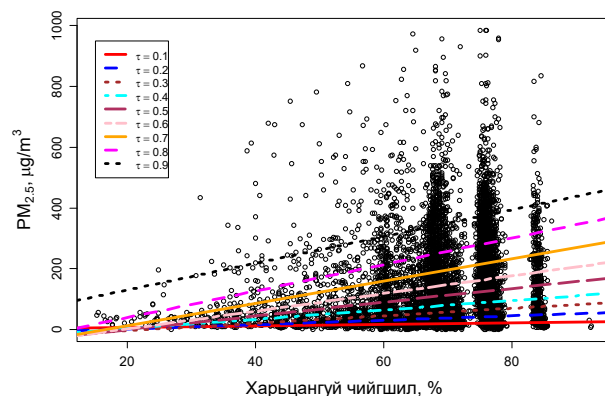


Зураг 4. Температурын куантайль регрессийн коэффициентүүд буюу β_{τ} , $\tau = \{0.05, 0.10, \dots, 0.95\}$

Зураг 3-д агаарын температур болон $PM_{2.5}$ тоосонцрын хамаарлын $\tau = \{0.1, 0.2, \dots, 0.9\}$ арван куантайль регрессийн шугамыг үзүүлсэн. Энэ зургаас харахад температур нэмэгдэхэд үед $PM_{2.5}$ тоосонцрын агуулга багасч байна. Мөн куантайлийн шугамуудын хоорондох зай $PM_{2.5}$ тоосонцрын түгэлтийн варианс температур багаас ихрүү нарийссан байгааг харуулж байна. Энэ нь температур бага үед зарим үед агаар дахь $PM_{2.5}$ тоосонцрын агуулга бага зарим үед тоосонцрын агуулга их байж болохыг хэлж байна. Энэ нь магадгүй тухайн өдөр салхи ихтэй, цас орсон эсэхээс хамаарч болох юм. Зурагт $\tau = 0.9$ куантайль регрессийн шугам температур бага үед агаарын бохирдол ихтэй байх магадлал өндөр байгааг харуулна. Жишээ нь температур $-25^{\circ}C$ байхад $PM_{2.5}$ тоосонцрын агуулга $400 \mu g/m^3$ байх магадлал 90% гэсэн үг. Температур $-5^{\circ}C, 0^{\circ}C$ хооронд буюу харьцангуй дулаан үед $PM_{2.5}$ тоосонцрын түгэлтийн варианс бага байна. Энэ

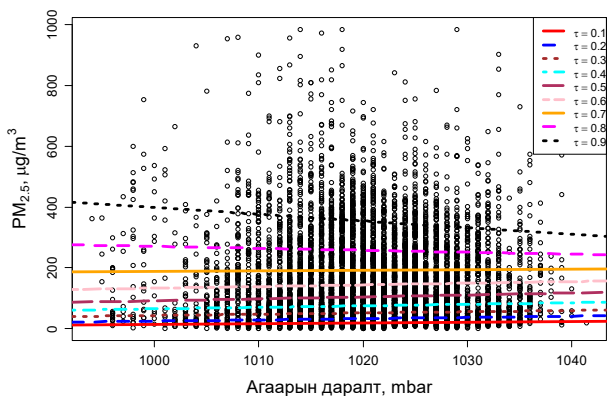
нь цаг агаар дулаан үед агаарын бохирдол үргэлж бага байдгийг хэлж байна.

Зураг 4-д температурын куантайль регрессийн коэффициентүүд буюу Зураг 3-д үзүүлсэн регрессийн шугамуудын налуу (slope) $\tau = \{0.01, 0.02, \dots, 0.90\}$ утгуудад үзүүлсэн. Ялгаатай нь Зураг 3-д есөн куантайль регрессийн шугамыг үзүүлсэн бол Зураг 4-д ерэн куантайль регрессийн шугамын налуу үзүүлсэн. Улаан шугамаар уламжлалт дундаж регрессийн шугамын налуу үзүүлсэн ба τ утгаас хамаарахгүй учир тогтмол байна. Дундаж регрессийн шугамын налуу -6 байгаа нь температурын утга нэгжээр нэмэгдэхэд $PM_{2.5}$ тоосонцор -6 нэгжээр буурдаг гэсэн үг. Зураг 4-с харахад куантайлийн утга $0-0.83$ хооронд температур нэмэгдэхэд $PM_{2.5}$ тоосонцрын агуулга буурч байна. Тухайлбал $\tau = 0.02$ үед температур нэгжээр нэмэгдэхэд агаарын бохирдол -0.5 нэгжээр буурдаг бол $\tau = 0.90$ үед температур нэгжээр нэмэгдэхэд бохирдлын хэмжээ -10 нэгжээр буурч байна. Харин $\tau = 0.83$ үед температур буурах нь агаарын бохирдолд эерэгээр нөлөөлж байна.

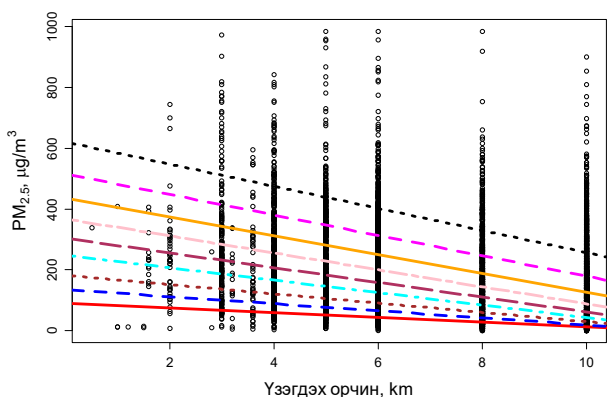


Зураг 5. $\tau = \{0.1, 0.2, \dots, 0.9\}$ утгуудад агаарын чийгшил болон $PM_{2.5}$ тоосонцрын хамаарлын куантайль регрессийн шугамууд

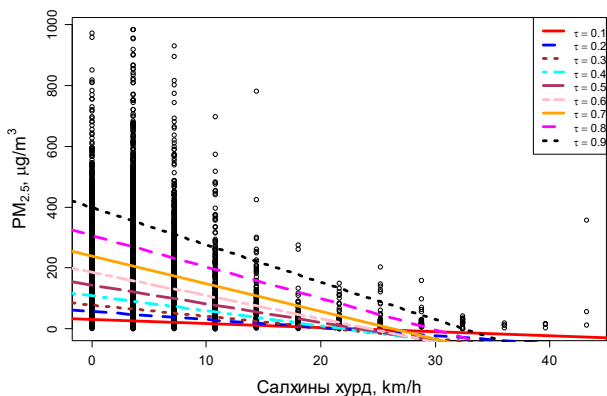
Зураг 5-8 д агаарын чийгшил, даралт, үзэгдэх орчин, салхины хурд $PM_{2.5}$ тоосонцрын агуулгатай хэрхэн хамаарч байгааг $\tau = \{0.1, 0.2, \dots, 0.9\}$ утгуудад куантайль регрессийн шугамаар үзүүлсэн. Харьцангуй чийгшил нэмэгдэхэд агаарын бохирдол мөн нэмэгдэх хандлагатай байгаа бол салхины хурд болон үзэгдэх орчин агаарын бохирдолтой урвуу хамааралтай байна. Харин агаарын даралт куантайлийн бага утгуудад агаарын бохирдолд нөлөө багатай ч их утгуудад эерэгээр нөлөөлж байна.



Зураг 6. $\tau = \{0.1, 0.2, \dots, 0.9\}$ утгуудад агаарын даралт болон $PM_{2.5}$ тоосонцрын хамаарлын квантайль регрессийн шугамууд



Зураг 7. $\tau = \{0.1, 0.2, \dots, 0.9\}$ утгуудад үзэгдэх орчин болон $PM_{2.5}$ тоосонцрын хамаарлын квантайль регрессийн шугамууд



Зураг 8. $\tau = \{0.1, 0.2, \dots, 0.9\}$ утгуудад салхины хурд болон $PM_{2.5}$ тоосонцрын хамаарлын квантайль регрессийн шугамууд

Зураг 3-8 д $PM_{2.5}$ тоосонцрын агуулгад цаг уурын параметр тус бүрдээ хэрхэн нөлөөлж байгааг квантайль регресс ашиглан шалгасан. Ингэж шалгахад цаг уурын аль параметр агаарын бохирдолд илүү нөлөөлж байгаа аль параметр бага нөлөөлж байгааг харах боломжгүй. Энэ хамаарлыг шалгахын тулд олон

хувьсагчийн квантайль регресс аргыг ашигласан:

$$PM_{2.5|\tau} = \beta_{0|\tau} + \beta_{1|\tau}T + \beta_{2|\tau}W + \beta_{3|\tau}H + \beta_{4|\tau}P \quad (6)$$

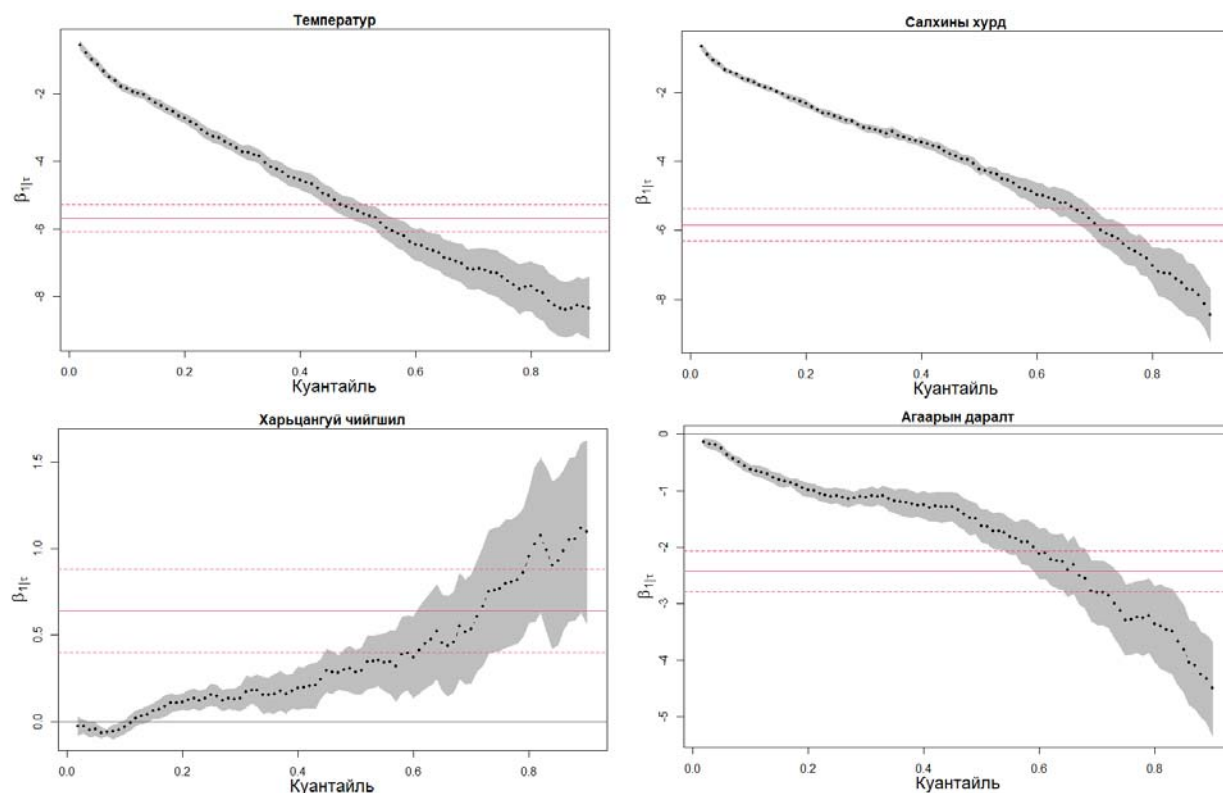
Энд T -температур, W -салхины хурд, H -харьцангуй чийгшил, P -агаарын даралт.

Зураг 9-д $PM_{2.5}$ тоосонцрын агуулга цаг уурын параметрууд болох температур, харьцангуй чийгшил, агаарын даралт, салхины хурдаас хэрхэн хамаарч байгааг квантайль регресс ашиглан харуулсан. Олон хэмжээст квантайль регрессд олон хэмжээсийг үзүүлэх боломжгүй тул цаг уурын параметр бүрийн регрессийн коэффициентүүдийг $\tau = \{0.01, 0.02, \dots, 0.90\}$ утгуудад үзүүлсэн. Нэг цэг нь тухайн цаг уурын параметрийн нэгж өөрчлөлт нь бусад параметруудийг өөрчлөхгүй (fixed) байхад агаарын бохирдолд хэрхэн нөлөөлж байгааг үзүүлнэ. Тухайлбал бусад параметруудийг тогтмол гэж үзэхэд, $\tau = 0.02$ байхад температур нэгжээр нэмэгдэхэд агаарын бохирдол -1.5 нэгжээр буурч багаа бол $\tau = 0.90$ байхад температур нэгжээр нэмэгдэхэд агаарын бохирдол -8 орчим нэгжээр буурч байна.

Зураг 9-с харахад температур болон салхины хурдны нөлөө $PM_{2.5}$ тоосонцрын агуулгад бараг ижил бөгөөд эерэгээр нөлөөлж байна. Харин харьцангуй чийгшил бусад параметруудтэй харьцуулахад агаарын бохирдолд багаар нөлөөлж байна. Жишээ нь квантайлийн утга 0.1 болон түүнээс бага үед агаарын бохирдолд нөлөө үзүүлэхгүй ба хамгийн ихдээ $\tau = 0.85$ үед чийгшил нэгж нэмэгдэхэд агаарын бохирдлыг 1.2 орчим нэгжээр нэмэгдүүлж байна. Агаарын даралт нэмэгдэхэд агаарын бохирдол нэмэгдэх хандлагатай байгаа ч нөлөө нь салхины хурд болон температурын өөрчлөлтөөс бага байна.

ДҮГНЭЛТ

Бид энэхүү судалгааны ажлаар агаарын $PM_{2.5}$ тоосонцрын агуулгад цаг уурын параметрууд хэрхэн нөлөөлж буйг квантайль регресс ашиглан Улаанбаатар хотын 2016-2020 оны өвлийн саруудын өгөгдөл дээр судаллаа. Температур болон салхины хурд нэмэгдэхэд агаарын бохирдол буурч байв. Температур, салхины хурд, агаарын чийгшлийн өгөгдөл өөр өөр квантайльд агаарын бохирдолд өөрөөр нөлөөлж байв. Тухайлбал температур, салхины хурд бага үед агаарын $PM_{2.5}$ тоосонцрын түгэлтийн варианс их байсан бол температур, салхины хурд их үед варианс бага байсан. Харин агаарын



Зураг 9. Агаарын бохирдлын куантайл регресс

чийгшил их үед $PM_{2.5}$ тоосонцрын түгэлтийн варианс их байв. Агаарын даралт агаар дахь $PM_{2.5}$ тоосонцрын агуулгад үзүүлэх нөлөө бага байв.

НОМЗҮЙ

- [1] Kampa.M, Castanas.E, “Human health effects of air pollution”, Environ Pollut. 151, 362-367, 2008.
- [2] Lelievre.J. et al, “The contribution of outdoor air pollution sources to premature mortality on a global scale”, Nature, 525, 367-371, 2015.
- [3] Zhang.L. et al, “Air pollution-induced missed absorption risk for pregnancies” Nat. Sustain. 2, 1011-1017, 2019.
- [4] Vineis.P. et al, “Outdoor air pollution and lung cancer: recent epidemiologic evidence” Int. J. Cancer 111, 647-652, 2004.
- [5] Landrigan.P.J, “Air pollution and health” Lancet Public Health 2, e4-e5, 2017.
- [6] Liu.C. et al. “Ambient particulate air pollution and daily mortality in 652 cities” New Eng. J. Med. 381, 705-715, 2019.
- [7] Hoek.G. et al. “Long-term air pollution exposure and cardio-respiratory mortality: a review” Health 12, 43, 2013
- [8] Buoli.M. et al. “Is there a link between air pollution and mental disorders?” Environ. Int. 118, 154-168, 2018
- [9] Powdthavee.N and Oswald.A “Is there a link between air pollution and impaired memory? Evidence on 34000 English citizens” Ecol. Econ. 169, 106485, 2020.
- [10] Koenker.R and Bassett.G “Regression quantiles” Econometrica, 46, 33-50, 1978
- [11] R Core Team (2022). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL: <https://www.R-project.org/>