



МОНГОЛ УЛСЫН ИХ СУРГУУЛЬ
ШИНЖЛЭХ УХААНЫ СУРГУУЛЬ
ГАЗАРЗҮЙН ТЭНХИМ

Газарзүйн асуудлууд сэтгүүл

Journal of Geographical Issues

Volume 22 (1)

ISSN: 2312-8534

2022

Улаанбаатар хот 2022

Монгол орны нүүрсхүчлийн хийн хэлбэлзлийн судалгаа

Study of carbon dioxide fluctuations in Mongolia

© Д.Сайнбаяр^{1*}, С.Эрдэнэсүх², А.Саруулзаяа¹
D.Sainbayar^{1*}, S.Erdenesukh², A.Saruulzaya¹

¹Хүрээлэн буй орчин, Байгалийн нөөцийн менежментийн салбар, Газарзүй-Геоэкологийн Хүрээлэн, Шинжлэх Ухааны Академи, Монгол Улс

²Газарзүйн тэнхим, Шинжлэх Ухааны Сургууль, Монгол Улсын Их Сургууль, Монгол Улс

¹Environment and Natural Resource Management Sector, Institute of Geography and Geocology, Mongolian Academy of Sciences, Mongolia

²Department of Geography, School of Arts and Sciences, National University of Mongolia, Mongolia

*Харилцагч зохиогч: sainbayard@mas.ac.mn

*Corresponding author: sainbayard@mas.ac.mn

Хүлээн авсан: 2021.11.09

Засварласан: 2022.02.21

Зөвшөөрөгдсөн: 2022.02.24

Хураангуй

Уур амьсгалын дулаарлын гол шалтгаан болоод байгаа нүүрсхүчлийн хийн агууламжийг бууруулахад түүний жилийн доторх явцыг тодорхойлж, нөлөөлөх хүчин зүйлийг судлах нь чухал. Бид энэхүү судалгаагаар Монгол орны агаар дахь нүүрсхүчлийн хийн агууламжийн сарын дундаж утгыг авч үзэж 'MODIS' 'NDVI', агаарын температур, салхины хурднаас хэрхэн хамаарч байгааг корреляцийн коэффициентоор тооцов. Судалгааны үр дүнгээс үзвэл нүүрсхүчлийн хийн агууламжийн жилийн явц нь 'NDVI' ($R=-0.88$, $p<0.001$) болон агаарын температурынхтай урвуу хамааралтай ($R=-0.67$, $p<0.05$), салхины хурдныхтай шууд хамааралтай ($R=0.91$, $p<0.001$) байлаа. Нүүрсхүчлийн хийн агууламж нь улирлын хэлбэлзэлтэйгээс гадна ургамал бүрхэвч нь байгалийн нүүрстөрөгчийн ялгарал болон шингэлтэд гол үүргийг гүйцэтгэдэг төдийгүй нүүрсхүчлийн хийн хуурай газрын улирлын хэлбэлзлийг илэрхийлэх хүчин зүйл болж байна. Мөн судалгааны хугацааны хандлагыг Тейл-Сенийн налууаар тооцоход нүүрсхүчлийн хийн агууламж ($Q=2.32$ ppm/жил, $p<0.001$), 'NDVI' ($Q=0.002$ нэгж/жил, $p<0.05$), агаарын температур ($Q=0.2^\circ\text{C}/\text{жил}$, $p<0.01$) болон салхины хурд ($Q=0.01$ м/с/жил, $p>0.05$) нь сүүлийн 11 жилд өссөн хандлагатай гарсан. Гэхдээ статистик ач холбогдлыг харьцуулж үзвэл агаарын температур нь нүүрсхүчлийн хийн агууламжтай харьцуулахад өндөр биш. 'NDVI'-нь нүүрсхүчлийн хийн агууламж болон агаарын температуртай харьцуулахад статистик ач холбогдол бага байгаа бол салхины хурд нь өссөн хэдий ч статистик ач холбогдолгүй байна. Улирлаар авч үзвэл нүүрсхүчлийн хийн агууламж бүхий л улиралд өссөн. Нүүрсхүчлийн агууламжийн энэ өсөлт нь хаврын улирлын температурт нөлөөлж байгаагаас гадна ургамал эрт ургааж эхлэх нөхцөлийг бүрдүүлсэн. Үүний нөлөөгөөр судалгааны хугацаанд хавар 'NDVI' утга статистик ач холбогдолтой өссөн хандлагатай гарлаа. Агаарын температур мөн адил судалгааны хугацаанд өссөн хандлагатай байна. Улирлаар нь авч үзвэл хаврын улиралд статистик ач холбогдолтой өссөн бол намрын улиралд буурчээ. Салхины хурдны хувьд хаврын улирлаас бусад хугацаанд өссөн хандлагатай боловч статистикийн хувьд ач холбогдолгүй гарсан.

Түлхүүр үгс: Нүүрсхүчлийн хийн агууламж; 'NDVI'; Цаг уурын хэмжигдэхүүн; Тейл-Сений налуу; Корреляцийн коэффициент

Abstract

Carbon dioxide (CO_2) concentration is the most important greenhouse gas in the atmosphere that significantly contributes to global warming. It is important to determine the yearly trend that contributes to the reduction of CO_2 . In this study, we considered the monthly average of the CO_2 concentration in the atmosphere of Mongolia and calculated the correlation coefficient as a function of 'MODIS' 'NDVI', air temperature, and wind speed. As shown in the results of a study the annual trend of CO_2 concentrations was inversely related to 'NDVI' ($R=-0.87$, $p<0.001$) and temperature ($R=-0.67$, $p<0.05$), whereas directly related to wind speed ($R=0.91$, $p<0.001$). CO_2 concentration has seasonal fluctuations, while vegetation cover plays an important role in the emission and absorption of natural carbon, and is the main factor in the seasonal fluctuations of terrestrial CO_2 . Furthermore, we calculated the Tayle-Sen slope, CO_2 concentration ($Q=2.31$ ppm/year, $p<0.001$), 'NDVI' ($Q=0.002$ units/year, $p<0.05$), air temperature ($Q=0.1^\circ\text{C}/\text{year}$, $p<0.01$) and wind speed ($Q=0.01\text{m/s}/\text{year}$, $p>0.05$) have increased over the last 11 years. However, compared to the p -value, the temperature is not higher than the CO_2 concentration. CO_2 concentration has increased throughout all seasons. 'NDVI' was less significantly comparable to CO_2 and temperature, while wind speed was

©Зохиогчийн оруулсан хувь нэмэр: Д.Сайнбаяр: Судалгааны ажлын нэгтгэл, бичвэр, тооцоолол; С.Эрдэнэсүх: Судалгааны ажлын нэгтгэл, бичвэр; А.Саруулзаяа: Гадаад эх сурвалжийн орчуулга, хяналт

2312-8534/© 2022 Зохиогчийн бүх эрх хуулиар хамгаалагдсан.

increased but it is not significantly. This increase in CO₂ concentration affects spring temperatures and allows plants to start growing earlier. As a result, 'NDVI' values increased significantly in the spring season during the study period.

Keywords: Carbon dioxide concentration; 'NDVI'; Meteorological parameters; Theil-Sen's slope; Correlation coefficient

Оршил

Хүлэмжийн хийн ялгаралтаас шалтгаалсан уур амьсгалын өөрчлөлтийн асуудал дэлхий дахины сүүлийн зуун жилийн хугацаанд тулгамдсан асуудал болсоор байна. Уур амьсгалын өөрчлөлтийн засгийн газар хоорондын мэргэжилтний хорооны 6-р тайланд дурдсанаар дэлхийн гадаргын температур 1850-1900 оноос хойш 21-р зууны эхний 2 арван жил 2001-2020 онд даруй 0.99°C-аар дулаарсан. Харин нүүрсхүчлийн хий 2019 онд 2011 оноос 19 ppm-ээр, метан хий 63 ppb-ээр тус тус өсжээ (Arias et al., 2021).

Хэдийгээр уур амьсгалын тогтолцоонд сөрөг урвуу холбооны механизм үйлчилж байдгаас дэлхийн уур амьсгал тогтвортой (Нацагдорж & Сарантуяа, 2018) байдаг ч сүүлийн 100 жилд энэ тогтолцоо эсрэгээрээ буюу эерэг урвуу холбооны механизм ажиглагдах болсон нь уур амьсгалын өөрчлөлт, дэлхийн дулаарал болох үндэс болж байна. Иймээс цаашид авах арга хэмжээг төлөвлөх, хэрхэн шийдвэрлэх арга замыг олохын тулд ирээдүйн төсөөллийг загварчлах нь чухал юм. Хүний үйл ажиллагаанаас шалтгаалсан хүлэмжийн хийн тооцооллыг хийх арга, аргачлал байдаг хэдий ч байгаль дээрх хүлэмжийн хийн ялгарал, шингээлтийг тооцоолох нь маш төвөгтэй асуудал юм. Үүнийг загварчлах энгийн арга нь уур амьсгалын болон нүүрстөрөгчийн эргэлтийн бүрдэл хэсгүүдийн хамаарлыг тооцох юм. Нүүрстөрөгчийн эргэлт гэдэг нь агаар мандал, чулуун мандал болон био мандал хоорондох нүүрстөрөгчийн солилцоог хэлнэ (Dagbegnon, Djebou, & Singh, 2016).

Сүүлийн жилүүдэд биомандлын болон агаар мандлын хоорондох нүүрстөрөгчийн эргэлтийн загварчлалыг зайнаас тандан судлалын өгөгдлийг ашиглан судлах болсон (Guo et al., 2012). Жишээлбэл 'Landsat' хиймэл дагуулын мэдээ ашиглан индекс тооцож, 2001-2006 оны хооронд ойн нүүрстөрөгчийн давхар ислийн солилцоог загварчлахад Сайжруулсан ургамлын индекс-Enhanced vegetation index 'EVI'-тэй өндөр хамааралтай байгааг тогтоосон (Tang, Lin, Chan, & Yan, 2011). Түүнчлэн зарим судалгаанд хүлэмжийн хийн ажиглалтын хиймэл дагуул 'GOSAT' болон Дунд зэргийн нарийвчлалтай дүрсийн спекторрадиометр 'MODIS' хиймэл дагуулын гадаргын температур, ургамлын индексийн бүтээгдэхүүнийг ашиглан шугаман регрессээр CO₂-орон зайн хуваарилалтыг загварчилсан бөгөөд нарийвчлал нь судалгааны талбай бүрд өөр өөр байсан (Guo et al., 2012). Мөн Guo (2015) нар 'GOSAT' 'CO₂' болон 'MODIS' 'NDVI'-ийн хоорондын хамаарлыг судалсан. Falahatkar (2017) нарын судалгаагаар агаарт агуулагдах нүүрстөрөгчийн хийн агууламжийн улирлын хэлбэлзлийг авч үзэхэд ургамлын нормчилсон ялгаврын индекс болон чийгшилтэй урвуу хамааралтай гарчээ. Харин абиотик хүчин зүйлүүд болох температур, агаарын чийгшил, хөрсний чийгшил зэрэг нь бичил биетний үйл ажиллагаа, органик материйн задралд нөлөөлснөөр нүүрсхүчлийн хийн ялгаралд шууд бус зохицуулагч болдог (Hassan, David, & Abbas, 2014).

Агаар мандалд агуулагдах хийн хольц, гухайлбал CO₂, CH₄ хийн агууламжийн хэлбэлзэл нь цаг агаарын нөхцөлтэй нягт уялдаа холбоотой (Perez, Sanchez, Garcia, Pardo, & Fernandez-Duque, 2018). Газрын гадаргын температур нь дэлхийн гадарга болон агаар мандлын хоорондох энерги солилцооны илрэл бөгөөд биогеохимийн болон уур амьсгалын өөрчлөлтийн судалгаанд өргөн ашиглагддаг (Chejarla, Maheshuni, & Mandla, 2016). Зарим судлаачид нүүрсхүчлийн хийн агууламжийг загварчлахад гадаргын температураас агаарын температур нь илүү чухал үүрэгтэйгээс гадна салхины хурд, зүг нь нүүрсхүчлийн хийн урсгалд нөлөөлж байгааг (Siabi, Falahatkar, & Alavi, 2019) тогтоосон. Төв Азийн 5 улсын нутаг дэвсгэрт хийсэн судалгаанаас орон нутгийн эх үүсвэрээс үл хамааран салхины хурд, чиглэлээс шалтгаалан зэргэлдээ улсын нүүрсхүчлийн хийн агууламж хүчтэй нөлөөлж байгааг тооцсон байдаг (Cao et al., 2017).

Уур амьсгалын өөрчлөлтийн нөлөөллийг судлахын тулд олон жилийн хугацааны цуваа бүхий өгөгдлөөс илүүтэйгээр хоног, сар, жилийн явцад гарах өөрчлөлт, хамаарлыг судлах нь чухал ач холбогдолтой (Нацагдорж & Сарантуяа, 2018). Өмнөх судалгаагаараа зайнаас тандан судлалын өгөгдлийг ашиглан Монгол орны агаар дахь метан, нүүрсхүчлийн хийн агууламжийн орон зай болон цаг хугацааны хуваарилалт, өөрчлөлтийг гаргасан (Adiya et al., 2021). Энэ удаагийн судалгаандаа бид Монгол орны агаар дахь хүлэмжийн хийн агууламжийн жилийн доторх явцыг биомандлын индикатор болох 'MODIS' хиймэл дагуулын 'NDVI', цаг уурын

хэмжигдэхүүнүүдийн жилийн явц (агаарын температур, салхины хурд)-тай хамааруулан судаллаа. Мөн судалгааны хугацааны хандлага, өөрчлөлтийг тооцсон.

Судалгааны талбай

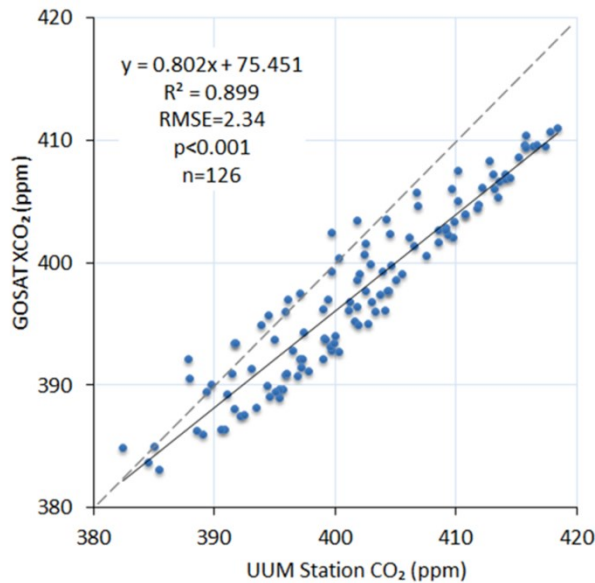
Энэ судалгаанд Монгол орны нутаг дэвсгэрийг бүхэлд хамруулсан. Даян дэлхийн уур амьсгалын өөрчлөлт нь Монгол оронд ихээхэн нөлөөлж байна. Сүүлийн 79 жилийн хугацаанд агаарын температур 2.25°C -аар дулаарсан, агаар мандлын гаралтай аюултай болон гамшигт үзэгдлийн тоо өмнөх 30 жилээс 2001-2018 онд 2 дахин нэмэгдсэн (*Монгол орны байгаль орчны төлөв байдлын тайлан*, 2019) зэргээс харж болно. Говийн бүс нутагт байрлах станцын мэдээгээр сүүлийн 25 жилийн хугацаанд CO_2 агууламж 14.8 хувиар нэмэгдсэн. Монгол улс НҮБ-ийн “Уур амьсгалын өөрчлөлтийн суурь конвенц”-ын дэлхийн улс орны өмнө хүлээсэн үүргийн дагуу хүлэмжийн хийг бууруулах үндэсний хэмжээнд тодорхойлсон хувь нэмрийн зорилтыг 2020 онд дахин шинэчилж 2030 онд 22.7 хувьд хүргэх тооцоо хийгээд байгаа билээ. Гэсэн хэдий ч газар ашиглалт ойн салбар зэргээс ялгарах болон шингээх хүлэмжийн хийн тооцоо судалгаа хомс байсаар байна. 2014 оны байдлаар Монгол орон дэлхийн нийт хүлэмжийн хийн ялгарлын 0.09 хувийг ялгаруулж (*Монгол орны байгаль орчны төлөв байдлын тайлан*, 2019) байгаа боловч нэг хүнд ноогдох нүүрс болон шатах түлш шаталтаас ялгарах нүүрсхүчлийн хийн ялгарлаар 2019 оны байдлаар дэлхийн хэмжээнд наймдугаарт жагсаж байгаа нь өндөр үзүүлэлт юм. Түүнчлэн Монгол улс нь хүлэмжийн хийн ялгарлын зэрэглэлээр I, IV-т жагсаж (Friedlingstein et al., 2020) буй Хятад болон Орос улстай хиллэдэг нь Монгол орны агаар дахь нүүрсхүчлийн хийн агууламжид нөлөөлж болох юм.

Судлаач Sandelger (2017) нар Улаанбаатар хотын хүлэмжийн хийн босоо тархалтыг хиймэл дагуулын мэдээ ашиглан тооцсон байдаг. Энд нүүрсхүчлийн хийн агууламж өндрөөшөө буурах зүй тогтолтойгоос гадна улирлын явц тод илэрсэн. Судлаач Оюунчимэг (2017) болон Adiya (2021) нар Монгол орны хэмжээнд ‘GOSAT’ хиймэл дагуулын мэдээ ашиглан нүүрсхүчлийн хийн агууламжийн орон зайн тархалт, өөрчлөлтийн судалгааг хийжээ. Судалгаанаас авч үзвэл судлаачид ‘GOSAT’ хиймэл дагуулын 2 өөр бүтээгдэхүүнийг ашигласан хэдий ч газрын хэмжилтийн мэдээтэй харьцуулахад ‘GOSAT XCO₂’ агууламжийн утга арай бага боловч ерөнхий хандлагыг тодорхойлж чадаж байна (Оюунчимэг, 2017) гэжээ. Монгол орны агаарт агуулагдах нүүрсхүчлийн хийн судалгаа нь бусад судалгаатай харьцуулахад харьцангуй цөөн байна. Иймээс Монгол улсыг хамарсан хүлэмжийн хийн ажиглалтын мэдээн (хиймэл дагуулын мэдээ)-д суурилсан дүн шинжилгээ чухал юм.

Судалгааны материал, арга зүй

Хиймэл дагуулын мэдээ: Судалгаанд 2010-2020 оны хоорондох сар бүрийн ‘GOSAT’ хиймэл дагуулын ‘FTS SWIR Level 3’ бүтээгдэхүүн болох ‘XCO₂’, ‘MODIS’ хиймэл дагуулын ‘MOD13A3’ бүтээгдэхүүн ‘NDVI’ ашиглав.

‘GOSAT XCO₂’ нь тухайн хугацааны агаар мандал дахь CO_2 хийн агууламжийн баганын дундаж утгын тархалтын мэдээллийг хангалттай өгдөг (Hwang, Schluter, Choudhury, & Um, 2021) бөгөөд бүс нутгийн биомандлын фотосинтез болон амьсгалаас шалтгаалсан CO_2 урсгалын ялгааг маш сайн илэрхийлдэг хиймэл дагуулын ажиглалтын мэдээ юм. Судалгаанд ашиглагдах ‘GOSAT’ хиймэл дагуулын ‘FTS SWIR Level 3’ бүтээгдэхүүний орон зайн нарийвчлал нь 2.5° , өвлийн саруудад судалгааны талбайг бүрэн хамраагүй байдаг. Мэдээллийн бүрэн гүйцэт байдлыг хангахын тулд Албертийн тэнцүү талбайн проекцид шилжүүлэн ‘Ordinary kriging interpolation’ геостатистик техникийг ашиглан дутуу хэсгийг нөхсөн.



Зураг 1. ‘GOSAT XCO₂’ болон Улаан-Уул (UUM) станц дээрх CO₂ хэмжилтийн хамаарал

Монгол орны хувьд 1992 оноос хойш тасралтгүйгээр Дорноговь аймгийн Эрдэнэ сумд орших Улаан-Уул (олон улсын тэмдэглэгээнд UUM гэж тэмдэглэдэг) станц дээр агаарт агуулагдах хүлэмжийн хийн хэмжилтийг хийж байна. Тус станцын мэдээг стайтад (<https://gaw.kishou.go.jp/>) байршсан хугацаа (2010 оны I сараас 2020 оны IX сар хүртэлх)-аар татан авч ‘GOSAT’ хиймэл дагуулын тухайн стацийн байршил дээрх ‘XCO₂’ мэдээтэй регрессийн шинжилгээ хийж хиймэл дагуулын нарийвчлалыг шалгасан. Энд ‘GOSAT XCO₂’ мэдээ нь станц дээрх хэмжилтийн мэдээний 90% -г статистик хамааралтай болохыг харуулж байна. Иймд судалгаанд ашиглах бүрэн боломжтой мэдээ гэж үзлээ. Зураг 1-д хамаарлыг цэгэн диаграммаар дүрслэн харуулав.

Судалгаанд ашиглагдаж буй өгөгдлүүдийн ялгаатай орон зайн нарийвчлалыг шийдэхийн тулд Албертийн тэнцүү талбайн проекцид шилжүүлж, ‘ArcGIS 10.8’ программ хангамжийн ‘Resample’ тусламжтайгаар 0.1° -ийн ижил орон зайн нарийвчлал бүхий өгөгдөлд хувиргасан. Эцэст нь ‘Spatial Analyst tools’-ийн тусламжтай Монгол орны дундаж утгыг өгөгдөл бүрээр гарган авч дүн шинжилгээнд ашиглахад бэлэн болгосон.

Цаг уурын хэмжигдэхүүн: Судалгаандаа Европын дунд хугацааны прогнозын төв - European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF)-ийн ‘ERA5-Land’ реанализийн өгөгдлийн багцаас 2010-2020 оны сар бүрийн 2 м-ийн түвшний агаарын температур, 10 м-ийн түвшний салхины өгөгдөл (u, v) -ийг 0.1° орон зайн нарийвчлалтайгаар татан авч ашиглалаа (Copernicus Climate Change Service. C3S ERA5-Land reanalysis, 2019). ‘ERA5-Land’ өгөгдлийн багц нь ‘ERA5’ өгөгдлийн багцыг хуурай газрын бүрэлдэхүүн хэсгээр дахин загварчлан хуурай газрын усны эргэлт, энергийн эргэлтийн параметруудийг илүү сайжруулсан хувилбар юм (Muñoz-Sabater et al., 2021). Зарим судалгаанаас авч үзвэл ‘ERA5’ өгөгдлийг станцын хэмжилтийн агаарын температур, салхины хурдны мэдээтэй хамаарал бодуулахад корреляцийн коэффициент нь 0.66-аас 0.99 ($p < 0.05$) гарсан (Tetzner, Thomas, & Allen, 2019). ‘ERA5-Land’ реанализийн агаарын температурын өгөгдлийг ажиглалтын мэдээтэй хамаарал бодуулахад корреляцийн коэффициент нь 0.99 ($p < 0.05$) (Dergunov & Yakubailik, 2020) байгаа нь судалгаанд ашиглах бүрэн боломжтой гэж үзлээ.

Салхины өгөгдөл нь салхины хурдны өргөрөг (v)-ийн ба уртраг (u)-ийн дагуух 2 байгуулагчаас бүрдэнэ. Салхины 2 байгуулагчийг ашиглан дараах томъёогоор салхины хурд (I)-ыг тооцсон.

$$\text{wind speed} = \sqrt{u^2 + v^2} \quad (1)$$

Пиксел бүр дээр тооцсон салхины хурдны өгөгдлийг ‘ArcGIS 10.8’ программ хангамжийн

‘Spatial Analyst tools’ тусламжтайгаар судалгааны талбайн дундаж утгыг гарган дүн шинжилгээ хийлээ.

Дүн шинжилгээ: Дэлхийн Цаг Уурын байгууллагаас уур амьсгалын өөрчлөлтийг 30 жилийн утгатай харьцуулан авахыг зөвлөсөн байдаг. Гэсэн хэдий ч уур амьсгалын өөрчлөлт эрчимтэй явагдаж буй өнөө үед 10 жилийн хугацааны өөрчлөлтийг авч үзэх нь хүрээлэн буй орчны өөрчлөлтийн менежментийг зөв төлөвлөхөд ач холбогдолтой юм. Монгол орны 2010-2020 оны сарын дундаж ‘GOSAT XCO₂’ болон ‘NDVI’, цаг уурын хэмжигдэхүүнүүдийн утгаар жилийн доторх хамаарлыг корреляцийн коэффициентээр (II)-оор тооцсон.

$$R_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (\text{II})$$

Энд: x , y -нь хамаарал тооцох 2 хувьсагч, \bar{x} , \bar{y} -нь 2 хувьсагчийн харгалзах түүврийн дундаж, $i=1, 2, 3 \dots n$ түүврийн тоо.

Үүнээс гадна судалгааны хугацаанд сонгон авсан хүчин зүйлийн өөрчлөлт хандлагыг Тейл-Сений налуу (III)-гаар тооцлоо. Тейл-Сений арга нь параметрийн бус статистик арга бөгөөд хамгийн бага квадратын аргаас илүү найдвартайгаар шугамыг тохируулдаг өргөн ашиглагддаг арга юм (Chattopadhyay & Edwards, 2016).

$$Q_i = \frac{x_j - x_k}{j - k}; j = 1, 2, 3, \dots N \quad (\text{III})$$

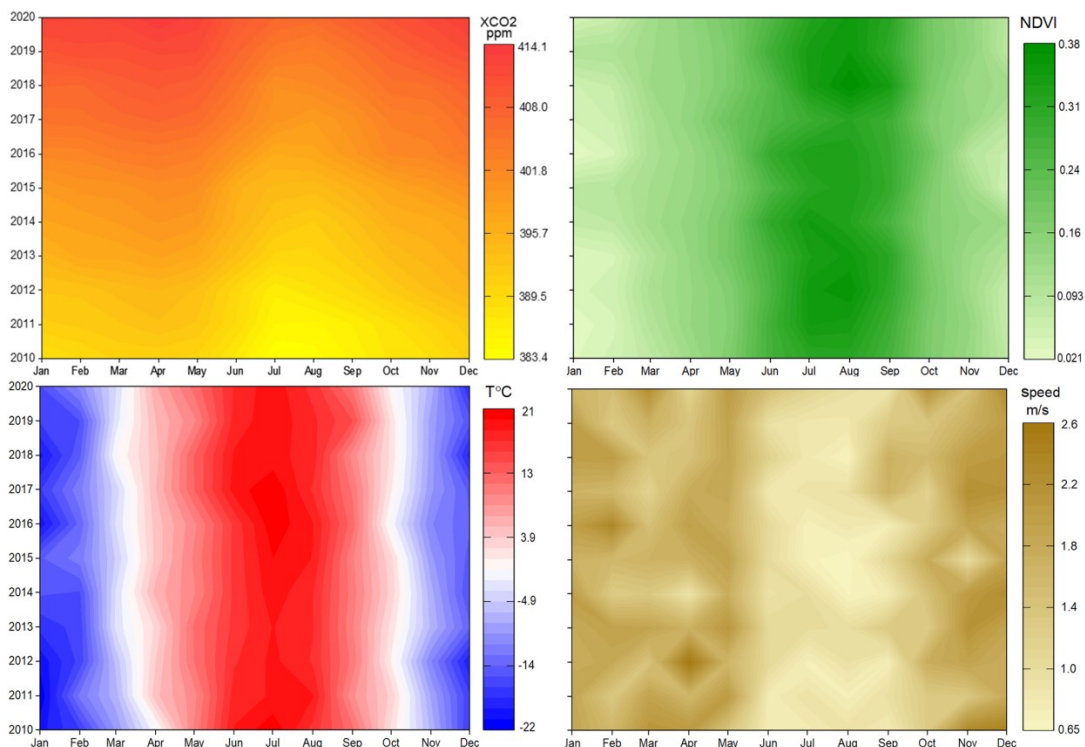
Энд: \bar{x} , \bar{y} -нь харгалзах түүврийн дундаж, j , k - тооцож буй өгөгдлийн өмнөх хугацаанд харгалзах утга, дараагийн хугацаанд харгалзах өгөгдөл, N -үргэлжлэх хугацаа. x - өгөгдлийн n - хугацааны цуваа бүхий түүврийн утга байна гэж үзвэл Q -г $N=n(n-1)/2$ удаа тооцох боломжтой. Сенийн аргаар ерөнхий налуугийн утга нь Q -г тооцсон N - тооны утгуудын медиан байх бөгөөд дараах томъёо (IV)-гоор тооцно.

$$Q^* = \begin{cases} Q_{(N+1)/2}, N \text{ odd} \\ \frac{Q_{N/2} + Q_{(N+2)/2}}{2}, N \text{ even} \end{cases} \quad (\text{IV})$$

Энэ нь хугацааны цуваа бүхий өгөгдлийн хандлагын статистик ач холбогдлыг 95 хувь (99 хувь)-ийн итгэлцүүрийн мужид тооцдог.

Судалгааны үр дүн ба хэлэлцүүлэг

Монгол орны ‘GOSAT Level 3’ мэдээнд суурилсан агаарт агуулагдах нүүрсхүчлийн хийн агууламж, ‘MOD13A3’ ‘NDVI’-ийн болон реанализийн 2 метрийн түвшний агаарын температур, 10 м-ийн салхины хурдны сар, жилийн динамикийг харуулав (Зураг 2).

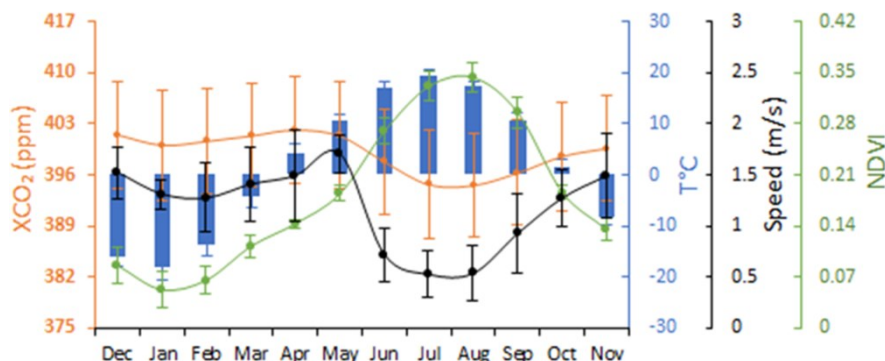


Зураг 2. 2010-2020 оны I-XII сар хүртэлх хугацааны XCO₂, ‘NDVI’, агаарын температур болон салхины хурдны нийт пикселийн дунджаар авсан динамик

Зураг-2-оос үзвэл XCO₂ агууламжийн хамгийн бага утга (383.4 ppm) 2010 оны VII сард ажиглагдсан бол хамгийн их агууламж (414.1 ppm) 2020 оны IV сард ажиглагдсан. Судалгааны хугацааны дундаж нь 399.05 ± 7.29 ppm (дундаж \pm стандарт хазайлт) байв. Нүүрсхүчлийн хийн агууламж өвөл болон хаврын улиралд өндөр агууламжтай, харин зун, намрын улиралд бага агууламжтай байна. 2010-2020 оны хооронд сар бүр дээр жигд өссөн хандлага тод ажиглагдсан. ‘NDVI’-ийн хувьд ургамлын фенологийн үе шат болон газрын бүрхэвчийг хамгийн сайн илэрхийлдэг индикатор юм. Хүйтний улиралд ‘NDVI’ утга хөрс болон ургамлын үлдэгдлээс ойх үзэгдэх гэрлийн улаан болон ойрын хэт улаан туяаны мужийн ялгаврын утга байдаг. Судлаачдын үзэж буйгаар өвөл ногоон ургамалгүй байхад ‘NDVI’ их утга ажиглагдах шалтгаан нь хөрс дээрх утга (0.08-0.16)-аас ургамлын үлдэгдлийн утга (0.14-аас их) их байдгийг тогтоосон (McMurtrey, Chappelle, Daughtry, & Kim, 1993). ‘NDVI’ динамикаас үзвэл IV-V сараас ургамал ургаж эхлээд IX-X сар хүртэл ногоон масс хадгалагдаж байна. ‘NDVI’ хамгийн бага утга I сард 0.023, их утга VIII сард 0.38 ажиглагдсан. Энд ‘NDVI’ утга судалгааны талбайн дундаж утга (0.18 ± 0.01 нэгж) гэдгийг анхаарч үзэх хэрэгтэй. Температурын хувьд улирлын хэлбэлзлээс гадна хавар, намрын шилжилтийн улирлын температурын зааг тод харагдаж байна. Салхины хурд дулааны улиралд тогтуун байдаг бол улирлын шилжилтийн саруудад салхины хурд өсжээ. Судалгааны хугацааны салхины дундаж хурд 1.18 ± 0.1 м/с байсан. Бид хугацааны өөрчлөлтийг дараагийн хэсэгт Тейл-Сенийн налууугаар тооцож дүн шинжилгээ хийв.

Хамаарлын шинжилгээ: Судалгааны талбайн XCO₂ хийн агууламж болон ‘NDVI’, цаг уурын хэмжигдэхүүнүүдийн 2010-2020 оны I-XII сар хүртэлх нийт пикселийн дундаж утгаар жилийн доторх явцыг зураг 3-д харуулав. Үр дүнгээс үзэхэд өвлийн саруудад нүүрсхүчлийн хийн агууламж өндөр утга хадгалсаар хаврын улиралд хамгийн өндөр утгадаа хүрсэн. Сараар нь авч үзвэл XII болон IV сард 2 удаа хамгийн их утга авч V сараас буурч эхлээд зуны улирлын VII-аас VIII сард хамгийн бага утгадаа хүрч намрын IX сараас буцаад өсдөг байна. Улирлын энэхүү хэлбэлзэл нь дээр дурдсанчлан эх газрын биомандлын болон агаар мандлын хоорондох хийн солилцоотой нягт холбоотой. Судлаачдын дүгнэж байгаагаар хавар IV сард агаарын температур (зураг 2-аас харахад) тэг градусаас дээш гарахад хөрсний температур ч мөн өсөж түүнд

агуулагдах органик карбоны ялгарал өсдөг (Diallo et al., 2017). Хөрсөнд агуулагдах органик карбоны ялгарал нь температур өсөхөд дагаад өсдөг (Koutsoyiannis & Kundzewicz, 2020) хэдий ч ургамлын фотосинтезийн процесс V сараас нэмэгдсэнээр агаарт агуулагдах CO₂ -г шингээх нь үйл явц нь ялгаралтай харьцуулахад давамгайлдаг. Иймээс зуны улиралд CO₂ хамгийн бага агууламж VIII сард ажиглагдах үндсэн шалтгаан болдог. Зургаас үзвэл ‘NDVI’ нь VIII сард хамгийн өндөр утгатай байна.



Зураг 3. 2010-2020 оны сарын дундаж утгаар авсан нүүрсхүчлийн хий (XCO₂) болон агаарын (T°C), салхины хурд, ‘NDVI’-ийн жилийн доторх хуваарилалт

Салхины хурд нь тухайн газар нутгийн орчил урсгалын улирлын өөрчлөлтөөс хамаардаг бөгөөд Монгол орны хувьд хавар, намрын улиралд их, өвөл, зуны улиралд бага утгаа авч (Зураг 3) уур амьсгалын горимыг бий болдог. Салхины хурдны жилийн доторх хуваарилалт нь XCO₂ агууламжтай ижил хэлбэртэй байна (Зураг 3). Салхины хурд, нүүрсхүчлийн хийн агууламжийн цаг болон өдрийн явц нь урвуу хамааралтай байдаг (Smith et al., 2013). Гэхдээ энэ судалгаандаа салхины хурдны 2010-2020 оны сарын дундаж утгаар жилийн доторх хуваарилалтыг авч үзсэн. Судалгааны хугацааны сар бүрийн дундаж утгаар ‘XCO₂’ болон ‘NDVI’, цаг уурын хэмжигдэхүүнүүдийн жилийн доторх хамаарлыг корреляцийн коэффициентоор тооцож матрицаар харуулав (Хүснэгт 1). Хүснэгтээс харахад XCO₂ агууламжийн жилийн доторх явц нь ‘NDVI’ (R=-0.88, p<0.01) болон температуртай урвуу хамааралтай (R=-0.67, p<0.05), салхины хурдтай шууд хамааралтай (R=0.92, p<0.01) байна. Ургамал бүрхэвч нь байгалийн нүүрстөрөгчийн ялгарал болон шингээлтэд гол үүргийг гүйцэтгэдэг төдийгүй нүүрсхүчлийн хийн хуурай газрын явцыг илэрхийлэх хүчин зүйл болно (Siabi et al., 2019; Golkar, Al-Wardy, Saffari, Al-Aufi, & Al-Rawas, 2020). Өөрөөр хэлбэл бөмбөрцгийн хойд хагаст ургамал хаврын улиралд ногоорч, зуны улиралд энэ байдал хадгалагдсанаар дулааны улирлын туршид нүүрсхүчлийн хийг шингээж, тодорхой хэмжээгээр буцаан ялгаруулдаг нь агаар дахь CO₂ агууламжийн жилийн явцыг тодорхойлж байдаг (WMO WDCGG Data Summary, 2020). Жилийн энэ явц нь бидний судалгааны үр дүнгээс ч тод харагдаж байна. Монгол оронд байгалийн нүүрстөрөгчийн шингээлт, ялгаруулалтын хэмжээ тун бага судлагдсан, энэ талаарх тоон мэдээлэл маш бага байгаа нь анхаарал татсан асуудал юм.

Салхины хурд нь CO₂ агууламжийг бууруулдаг (Smith et al., 2013) хэдий ч жилийн доторх явц нь эерэг хамааралтай гарсан нь CO₂ улирлын динамик нь шим мандлын фотосинтезийн процессоор зохицуулагддагтай (Metua et al., 2021) холбоотой. Түүнчлэн CO₂ агууламж нь салхины зүг, өөрөөр хэлбэл нүүрсхүчлийн хийн эх үүсвэрийн байршлаас ихээхэн хамаарах нь дамжиггүй юм. Цаашид CO₂ агууламжийг салхины чиглэлтэй хамааруулан орон зайн шинжилгээ хийх нь чухал юм.

Хүснэгт 1. Корреляцийн коэффициент

	XCO ₂ (ppm/жил)	NDVI (нэгж/жил)	T°C (°C/жил)	Speed (м/с/жил)
CO ₂	1			
NDVI	-0.88**	1		
T°C	-0.67*	0.93**	1	
Speed	0.92**	-0.81**	-0.67*	1

**p<0.01, *p<0.05

Тейл-Сений налуугийн тооцооны өөрчлөлт: Тейл-Сенийн налуугийн тооцоогоор 2010-2020 оны хооронд Монгол орны ХСО₂ агууламж, ‘NDVI’ болон цаг уурын хэмжигдэхүүнүүдийн өөрчлөлт, хандлагыг улирал, жилээр харуулав (Хүснэгт 2, Зураг 4).

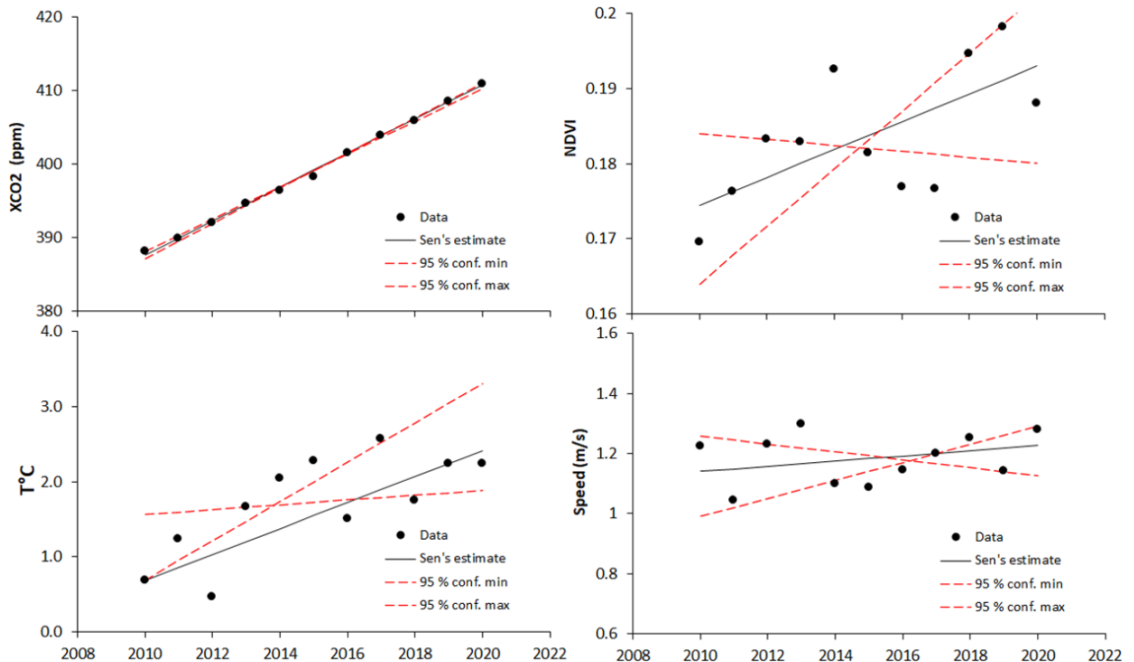
ХСО₂ нь судалгааны хугацааны жил, улирлын хугацаанд өндөр статистик ач холбогдолтойгоор өссөн. ‘NDVI’ нь 11 жилийн хугацаанд өссөн хандлагатай байгаа боловч статистик ач холбогдлын хувьд бага, харин хаврын улиралд өндөр статистик ач холбогдолтой өсжээ (Хүснэгт 2). Өвлийн улирлын ‘NDVI’ утга өссөн хандлагатай байгаа нь өвлийн улиралд хөрсөн дээрх ургамлын үлдэгдэлтэй холбоотой (Iwasaki, 2009). судалгаандаа Монгол орны ‘NDVI’ утга өвлийн улиралд өсөж байгаа нь бэлчээрт үлдэх ургамлын үлдэгдэл нөлөөлж байгааг онцлон дурдсан байдаг. Агаарын температур мөн адил судалгааны хугацаанд өссөн хандлагатай байна. Улирлаар нь авч үзвэл хаврын улиралд статистик ач холбогдолтой өссөн бол намрын улиралд буурчээ. Салхины хурдны хувьд хаврын улирлаас бусад хугацаанд өссөн хандлагатай боловч статистикийн хувьд ач холбогдолгүй гарсан.

Хүснэгт 2. Тейл-Сенийн налуугийн тооцооны өөрчлөлт, хандлага

	ХСО ₂	NDVI	Т°С	Хурд
	(ppm/жил)	(нэгж/жил)	(°C/жил)	(м/с/жил)
2010-2020	2.321***	0.002+	0.172*	0.009
Өвөл	2.332***	0.003+	0.273	0.002
Хавар	2.264***	0.002**	0.339**	-0.024
Зун	2.311***	0	0.009	0.022
Намар	2.314***	0.002	-0.053	0.022

*** $p < 0.001$, ** $p < 0.01$, + $p < 0.05$

Монгол орны хувьд дээрх үр дүнгээс авч үзвэл уур амьсгалын өөрчлөлт хаврын улиралд илүү тод илэрч байна. Судлаачдын үзэж буйгаар хавар эрт дулаарч ургамлын ургалтад нөлөөлөх ашигтай болон идэвхтэй температурын нийлбэр мэдэгдэхүйц нэмэгдсэн (Дагвадорж, 2017) нь ургамал эрт ургаж эхлэх нөхцөлийг бүрдүүлсэн. Үүнтэй адил бидний судалгааны үр дүнгээс үзвэл хаврын улирлын температур өсөж үүнийг даган ‘NDVI’ утга мөн өссөн хандлага ажиглагдсан. Нүүрсхүчлийн хийн агууламжийн өсөлт нь уур амьсгалын өөрчлөлт, агаарын температурын өсөлтөд гол үүрэг гүйцэтгэж байгааг орчин үед дэлхийн ихэнх судлаачид хүлээн зөвшөөрсөн (Jia et al., 2019) байдаг. Бидний судалгааны явцад ч энэ хандлага батлагдаж байв.



Зураг 4. ХСО₂, ‘NDVI’ болон агаарын температур, салхины хурдны 95 хувийн итгэлцүүрийн мужид Сенийн налуугийн тооцооны өөрчлөлт

Сүүлийн II-III арван жилийн хугацаанд дэлхийн фито масс өссөн хандлагатай (ногоон ургамлын фотосинтезийн процесс өссөн хандлагатай) байна (Jia et al., 2019). Ялангуяа Хятад, Энэтхэг орчимд, Европын ихэнх хэсгээр, хойд Америкийн төв хэсэг, Бразилын зүүн өмнөд хэсэг болон Австралийн зүүн өмнөд хэсгийн нутгаар өндөр статистик ач холбогдолтой өссөн (Jia et al., 2019) байгааг тэмдэглэсэн. Энэ хандлага бидний судалгааны үр дүнтэй таарч байна. Гэвч хүний үйл ажиллагаанаас үүдэлтэй нүүрсхүчлийн хийн ялгарал нь дэлхийн нүүрсхүчлийн массын тэнцвэрт байдлыг алдагдуулсаар байгааг (Koutsoyiannis & Kundzewicz, 2020) тэмдэглэсэн байдаг.

Дүгнэлт

Монгол орны агаарт агуулагдах XCO_2 агууламжийн жилийн явц нь улирлын хэлбэлзэлтэй байна. Энд корреляцийн коэффициентийг тооцоход XCO_2 агууламжийн жилийн динамик нь өндөр статистик ач холбогдолтойгоор 'NDVI', температуртай хүчтэй урвуу хамааралтай, салхины хурдтай хүчтэй шууд хамааралтай байсан. Хавар агаарын температур өсөж, сарын дундаж температур тэг градусаас давахад биохимийн процесс эрчимжиж, хөрсний амьсгал, ургамлын гаралтай (органик материал задралд орж) CO_2 урсгал өссөнөөр агаар дахь CO_2 агууламж өссөн (фотосинтезийн процесс маш бага үед). Судлаачдын тогтоосноор сүүлийн жилүүдэд энэхүү хандлага улам өссөөр (Bond-Lamberty & Thomson, 2010) байгааг тэмдэглэсэн. Улирлын явцаас харахад агаарын температурын өсөлтийг даган фито массын фотосинтезийн процессоор V сараас VIII сар хүртэл агаар дахь XCO_2 агууламж бага байна. Зарим судалгаанаас авч үзвэл дулааны улиралд нүүрсхүчлийн хийг загварчлахад 'NDVI'-ийн IV сар болон VIII сарын утга чухал үүрэгтэй төдийгүй хүчтэй шууд хамааралтай байгааг дурджээ (Siabi et al., 2019). Frank (2003) нар 'NDVI'-ийг ашиглан бэлчээрийн нүүрсхүчлийн агууламжийн урсгалыг урьдчилан таамаглахад сайн индикатор болж байгааг тэмдэглэсэн. Эндээс үзэхэд бидний судалгаагаар мөн адил XCO_2 агууламжийн жилийн флуктацид гол үүргийг гүйцэтгэж байна.

Салхины хурд нь агаар мандлын орчил урсгал, улирлын шилжилтийг илтгэж CO_2 зөөгдөл, урсгалыг тодорхойлоход чухал үүрэг гүйцэтгэдэг. Wanninkhof (1999) нар судалгаандаа салхины хурд, CO_2 нь өндөр хамааралтай төдийгүй өөр өөр бүс нутагт зөөвөрлөх үүргийг гүйцэтгэдэг гэжээ. Zhou (2016) нар янз бүрийн хувьсагчдыг авч үзэхэд Хятадын баруун хэсэгт карбоны урсгалд зүүн, зүүн хойноос чиглэсэн салхины зүг хамгийн их нөлөөтэй болохыг тогтоожээ. CO_2 агууламжийн өдрийн динамик нь салхины хурдтай урвуу хамааралтай (Sreenivas et al., 2016). Харин жилийн явцыг авч үзвэл бидний судалгаагаар эерэг хамааралтай гарсан. Судлаачдын үзэж буйгаар жилийн явц нь салхины хурдтай эерэг хамааралтай гарч буй нь CO_2 агууламж нь фито массын фотосинтезийн процесстэй холбоотой гэжээ (Metya et al., 2021). Цаашид CO_2 агууламжийг салхины хурд, салхины зүгтэй хамаарал бодуулахад хугацааны интервалыг цаг, өдрөөр судлах шаардлагатай.

Сүүлийн 11 жилийн хугацаанд Монгол орны агаарт агуулагдах жилийн дундаж XCO_2 агууламж, 'NDVI' болон хэмжигдэхүүнүүдийн Тейл-Сений налуугаар тооцсон хандлагаас үзвэл салхинаас бусад өгөгдөл статистик ач холбогдолтой өссөн. Улирлаар авч үзвэл температур хаврын улиралд өссөн хандлага нь 'NDVI' утга мөн хавар өсөхөд нөлөөлсөн. Уур амьсгал дулаарч Монгол оронд хавар эрт дулаарч намар орой хүйтрэх болсноор ургамлын ургах дулаан хангамжид эерэг нөлөө үзүүлдэг. Гэвч зуны хэт халалт, ган, богино хугацааны хүчтэй аадар борооны давтагдал зэрэг аюултай үзэгдлийн давтамж сүүлийн жилүүдэд өсөж байгаа (Дагвадорж, 2017) нь зун фитомасс өсөхөд сөргөөр нөлөөлж байна. Энэ нь Тейл-Сений налуугаар тооцоолсон 'NDVI' утга хавар статистик ач холбогдолтой өссөн ч зуны өсөлт статистик ач холбогдолгүй байгаагаар багтагдаж байна. Температур өсөж, ногоон масс ихэссэнээр агаар дахь CO_2 агууламжийг шингээх фотосинтезийн процесс өсөх хэдий ч хүний үйл ажиллагаатай холбоотой газар ашиглалтын буруу менежмент, хог хаягдал, эрчим хүчний салбараас гарах CO_2 ялгаруулалт ихэссээр байгаа нь томоохон асуудал дагуулсаар байна (Jia et al., 2019).

Цаашид нүүрсхүчлийн хийн агууламжид нөлөөлөх хүчин зүйлийг нарийвчлан судалж, физик механизмыг нарийн тодорхойлох шаардлагатай. Ингэснээр уур амьсгалын өөрчлөлтөд дасан зохицох, хариу арга хэмжээ авах зэрэг асуудалд тодорхой түлхэц болох болно.

Талархал

Судалгааны ажлыг гүйцэтгэхэд тусалж, дэмжсэн Газарзүй-Геоэкологийн хүрээлэнгийн судлаач А.Түрүүтүвшин, Н.Болдбаатар нартаа талархал илэрхийлье.

Ном зүй

- Дагвадорж, Д. (2017). Уур амьсгалын өөрчлөлтийг ухаалгаар тооцсон хөгжлийн загвар (Газар тариалангийн жишээн дээр). *Монгол Орны Байгаль, Уур Амьсгалын Үнэн Нөөц сэдэвт онол практикийн бага хурлын илтгэлүүдийн эмхэтгэл*, 30-56.
- Монгол орны байгаль орчны төлөв байдлын тайлан. (2019). Боломжтой: http://www.mne.mn/wp-content/uploads/2019/08/Tuluv-Baidal-Tailan-2017-2018-Infographic_2.pdf. (Нэвтэрсэн: 2021.10.01-28)
- Нацагдорж, Л., Сарантуяа, Г. (2018). *Уур амьсгал судлалын үндэс*. Улаанбаатар хот, Соёмбо Принтинг ХХК.
- Оюунчимэг, Д. (2017). Монгол орны нутаг дэвсгэр дээрх хүлэмжийн хийн өөрчлөлт. *Монгол Орны Байгаль, Уур Амьсгалын Үнэн Нөөц сэдэвт онол практикийн бага хурлын илтгэлүүдийн эмхэтгэл*, Улаанбаатар хот, 71-279.
- Adiya, S., Dalantai, S., Wu, T. H., Wu, X. D., Yamkhin, J., Bao, Y. H., . . . Dorjgotov, B. (2021). Spatial and temporal change patterns of near-surface CO₂ and CH₄ concentrations in different permafrost regions on the Mongolian Plateau from 2010 to 2017. *Science of the Total Environment*, 800. doi:10.1016/j.scitotenv.2021.149433
- Arias, P., Bellouin, N., Coppola, E., Jones, R., Krinner, G., Marotzke, J., . . . Rogelj, J. (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change; Technical Summary*; IPCC, Geneva, Switzerland.
- Bond-Lamberty, B., & Thomson, A. (2010). Temperature-associated increases in the global soil respiration record. *Nature*, 464(7288), 579-U132. doi:10.1038/nature08930
- Cao, L. Z., Chen, X., Zhang, C., Kurban, A., Yuan, X. L., Pan, T., & de Maeyer, P. (2017). The Temporal and Spatial Distributions of the Near-Surface CO₂ Concentrations in Central Asia and Analysis of Their Controlling Factors. *Atmosphere*, 8(5). doi:10.3390/atmos8050085
- Chattopadhyay, S., & Edwards, D. R. (2016). Long-Term Trend Analysis of Precipitation and Air Temperature for Kentucky, United States. *Climate*, 4(1). doi:10.3390/cli4010010
- Chejarla, V. R., Maheshuni, P. K., & Mandla, V. R. (2016). Quantification of LST and CO₂ levels using Landsat-8 thermal bands on urban environment. *Geocarto International*, 31(8), 913-926. doi:10.1080/10106049.2015.1094522
- Copernicus Climate Change Service. C3S ERA5-Land reanalysis. (2019). (Publication no. 10.24381/cds.68d2bb30). Available: <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/home>
- Dagbegnon, C., Djebou, S., & Singh, V. P. (2016). *Impact of climate change on the hydrologic cycle and implications for society*.
- Dergunov, A. V., & Yakubailik, O. E. (2020). Comparative analysis of data on air temperature based on current weather data sets for 2007-2019. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 548(3), 032034. doi:10.1088/1755-1315/548/3/032034
- Diallo, F. B., Hourdin, F., Rio, C., Traore, A. K., Mellul, L., Guichard, F., & Kergoat, L. (2017). The Surface Energy Budget Computed at the Grid-Scale of a Climate Model Challenged by Station Data in West Africa. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 9(7), 2710-2738. doi:10.1002/2017MS001081
- Falahatkar, S., Mousavi, S. M., & Farajzadeh, M. (2017). Spatial and temporal distribution of carbon dioxide gas using GOSAT data over IRAN. *Environmental Monitoring and Assessment*, 189(12). doi:10.1007/s10661-017-6285-8
- Frank, A. B., & Karn, J. F. (2003). Vegetation indices, CO₂ flux, and biomass for Northern Plains Grasslands. *Journal of Range Management*, 56(4), 382-387. doi:10.2307/4004043
- Friedlingstein, P., O'Sullivan, M., Jones, M. W., Andrew, R. M., Hauck, J., Olsen, A., . . . Zaehle, S. (2020). Global Carbon Budget 2020. *Earth System Science Data*, 12(4), 3269-3340. doi:10.5194/essd-12-3269-2020

- Golkar, F., Al-Wardy, M., Saffari, S. F., Al-Aufi, K., & Al-Rawas, G. (2020). Using OCO-2 Satellite Data for Investigating the Variability of Atmospheric CO₂ Concentration in Relationship with Precipitation, Relative Humidity, and Vegetation over Oman. *Water*, 12(1). doi:10.3390/w12010101
- Guo, M., Wang, X. F., Li, J., Yi, K. P., Zhong, G. S., & Tani, H. (2012). Assessment of Global Carbon Dioxide Concentration Using MODIS and GOSAT Data. *Sensors*, 12(12), 16368-16389. doi:10.3390/s121216368
- Guo, M., Xu, J. W., Wang, X. F., He, H. S., Li, J., & Wu, L. (2015). Estimating CO₂ concentration during the growing season from MODIS and GOSAT in East Asia. *International Journal of Remote Sensing*, 36(17), 4363-4383. doi:10.1080/01431161.2015.1081305
- Hassan, W., David, J., & Abbas, F. (2014). Effect of type and quality of two contrasting plant residues on CO₂ emission potential of Ultisol soil: Implications for indirect influence of temperature and moisture. *Catena*, 114, 90-96. doi:10.1016/j.catena.2013.11.001
- Hwang, Y., Schluter, S., Choudhury, T., & Um, J. S. (2021). Comparative Evaluation of Top-Down GOSAT XCO₂ vs. Bottom-Up National Reports in the European Countries. *Sustainability*, 13(12). doi:10.3390/su13126700
- Iwasaki, H. (2009). NDVI prediction over Mongolian grassland using GSMaP precipitation data and JRA-25/JCDAS temperature data. *Journal of Arid Environments*, 73(4-5), 557-562. doi:10.1016/j.jaridenv.2008.12.007
- Jia, G., Shevliakova, E., Artaxo, P., De Noblet-Ducoudré, N., Houghton, R., House, J., . . . Verchot, L. (2019). Land-Climate Interactions. In P. R. Shukla, J. Skea, E. Calvo Buendi, V. Masson-Delmotte, H. O. Pörtner, D. C. Roberts, P. Zhai, R. Slade, S. Connors, R. v. Diemen, M. Ferrat, E. Haughey, S. Luz, S. Neogi, M. Pathak, J. Petzold, J. Portugal Pereira, P. Vyas, E. Huntley, K. Kissick, M. Belkacemi, & J. Malley (Eds.), *IPCC Special Report* (pp. 131 - 247). Geneva: Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).
- Koutsoyiannis, D., & Kundzewicz, Z. W. (2020). Atmospheric Temperature and CO₂: Hen-Or-Egg Causality? *Sci*, 2(4), 83. doi:10.3390/sci2040083
- McMurtrey, J. E., Chappelle, E. W., Daughtry, C. S. T., & Kim, M. S. (1993). Fluorescence and reflectance of crop residue and soil. *Journal of Soil and Water Conservation*, 48(3), 207-213.
- Metya, A., Datye, A., Chakraborty, S., Tiwari, Y. K., Sarma, D., Bora, A., & Gogoi, N. (2021). Diurnal and seasonal variability of CO₂ and CH₄ concentration in a semi-urban environment of western India. *Scientific Reports*, 11(1), 2931. doi:10.1038/s41598-021-82321-1
- Muñoz-Sabater, J., Dutra, E., Agustí-Panareda, A., Albergel, C., Arduini, G., Balsamo, G., . . . Thépaut, J.-N. (2021). ERA5-Land: a state-of-the-art global reanalysis dataset for land applications. *Earth System Science Data*, 13(9), 4349-4383. doi:10.5194/essd-13-4349-2021
- Perez, I. A., Sanchez, M. L., Garcia, M. A., Pardo, N., & Fernandez-Duque, B. (2018). The influence of meteorological variables on CO₂ and CH₄ trends recorded at a semi-natural station. *Journal of Environmental Management*, 209, 37-45. doi:10.1016/j.jenvman.2017.12.028
- Sandelger, D., Erdenesukh, S., & Gomboluudev, P. (2017). Study of Vertical Distribution of Some Trace Gases over Ulaanbaatar City. *Geographical Issues: Journal of Studies and Research in Earth Sciences Vol.14 (408)*, 44.
- Siabi, Z., Falahatkar, S., & Alavi, S. J. (2019). Spatial distribution of XCO₂ using OCO-2 data in growing seasons. *Journal of Environmental Management*, 244, 110-118. doi:10.1016/j.jenvman.2019.05.049
- Smith, K. L., Steven, M. D., Jones, D. G., West, J. M., Coombs, P., Green, K. A., . . . Lombardi, S. (2013). Environmental impacts of CO₂ leakage: recent results from the ASGARD facility, UK. *Energy Procedia*, 37, 791-799. doi:10.1016/j.egypro.2013.05.169
- Sreenivas, G., Mahesh, P., Subin, J., Kanchana, A. L., Rao, P. V. N., & Dadhwal, V. K. (2016). Influence of Meteorology and interrelationship with greenhouse gases (CO₂ and CH₄) at a suburban site of India. *Atmos. Chem. Phys.*, 16(6), 3953-3967. doi:10.5194/acp-16-3953-2016
- Tang, H., Lin, P., Chan, H. L. W., & Yan, F. (2011). Highly sensitive dopamine biosensors based on organic electrochemical transistors. *Biosensors & Bioelectronics*, 26(11), 4559-4563. doi:10.1016/j.bios.2011.05.025

- Tetzner, D., Thomas, E., & Allen, C. (2019). A Validation of ERA5 Reanalysis Data in the Southern Antarctic Peninsula—Ellsworth Land Region, and Its Implications for Ice Core Studies. *Geosciences*, 9(7), 289. Available: <https://www.mdpi.com/2076-3263/9/7/289>
- Wanninkhof, R., & McGillis, W. R. (1999). A cubic relationship between air-sea CO₂ exchange and wind speed. *Geophysical Research Letters*, 26(13), 1889-1892. doi:10.1029/1999gl900363
- WMO WDCGG Data Summary. (2020). Available: <https://gaw.kishou.go.jp/static/publications/summary/sum43/sum43.pdf>. (Нэвтрэсэн: 2021.10.01-28)
- Zhou, L., Tang, J., Wen, Y., Li, J., Yan, P., & Zhang, X. (2016). The impact of local winds and long-range transport on the continuous carbon dioxide record at Mount Waliguan, China. *Tellus B: Chemical and Physical Meteorology*, 55(2), 145-158. doi:10.3402/tellusb.v55i2.16754