



NATIONAL UNIVERSITY OF MONGOLIA

SCHOOL OF ART AND SCIENCES

DEPARTMENT OF GEOGRAPHY

Geographical Issues

Газарзүйн асуудлууд

Volume 25 (01)

ISSN: 2312-8534

2025

Ulaanbaatar

Evaluation of the GPM precipitation products over the Khar lake - Khovd river basin, Western Mongolia

Byambagerel Otgontuya¹, Otgonsuren Shar^{2,3*}, Ganbold Boldbaatar^{2,3}

¹Information and Research Institute of Meteorology, Hydrology and Environment, Ulaanbaatar 15160, Mongolia

²Department of Meteorology and Hydrology, School of Art and Sciences, National University of Mongolia, Ulaanbaatar 210646, Mongolia

³Climate and Cryosphere laboratory, National University of Mongolia, Ulaanbaatar 210646, Mongolia

*Corresponding author: sh.otgonsuren@num.edu.mn

Received: 2024.12.05

Revised: 2025.04.15

Accepted: 2025.04.22

Abstract

Considering the insufficient density of the hydro-meteorological observation network in our country, it is crucial to test, verify, validate, and calibrate high-resolution spatiotemporal data derived from satellite products and numerical models are essential to enhance their accuracy and applicability for regional-scale hydrological and climatic analyses. In this study, we selected the Khar Lake-Khovd River watershed, located in the western region of Mongolia and part of the Central Asian endorheic basin. We analyzed the long-term precipitation records from eight meteorological stations within the watershed and compared them with the Global Precipitation Measurement (GPM) data, which have a daily temporal resolution and a spatial resolution of $0.10^\circ \times 0.10^\circ$. To assess the relationship between observed and satellite-derived precipitation data, we used correlation coefficients at both spatial and individual observation point scales. The results indicate a strong correlation ($r = 0.85$) between the watershed-wide average precipitation calculated using the Thiessen polygon method and the GPM-derived average precipitation. This suggests that GPM data provide a reliable estimate of total precipitation over the watershed. Furthermore, a statistical analysis was conducted using precipitation data sampled at 937 points to evaluate the influence of surface elevation on GPM precipitation estimates. The results showed a weak correlation between precipitation and elevation. At individual observation points, the correlation between GPM data and meteorological station records was moderate ($r = 0.6$), which may be attributed to the $0.10^\circ \times 0.10^\circ$ (approximately $10 \text{ km} \times 10 \text{ km}$) spatial resolution of GPM data. Seasonal analysis of GPM precipitation data reveals a spatially scattered pattern during the warm season, whereas in winter, approximately 70% of the lake and wetland areas receive 5–10 mm of precipitation. This pattern reflects the unique characteristics of atmospheric circulation and regional climate dynamics.

Keywords: Spatial distribution; Thiessen polygon; watershed; elevation; satellite products.

GPM-ийн мэдээ ашиглан Хар нуур - Ховд голын сав газрын хур тунадсыг үнэлэх нь

©Отгонтуяа Бямбагэрэл¹, Шар Отгонсүрэн^{2,3*}, Болдбаатар Ганболд^{2,3}

¹Ус цаг уур, орчны судалгаа, мэдээллийн хүрээлэн, Улаанбаатар 15160, Монгол улс

²Цаг уур, ус судлалын тэнхим, Шинжлэх Ухааны Сургууль, Монгол Улсын Их Сургууль, Улаанбаатар 210646, Монгол Улс

³Ус, цаг уур, цэвдэг судлалын лаборатори, Монгол Улсын Их Сургууль, Улаанбаатар 210646, Монгол улс

*Харилцагч зохиогч: sh.otgonsuren@num.edu.mn

Хүлээн авсан: 2024.12.05

Засварласан: 2025.04.15

Зөвшөөрөгдсөн: 2025.04.22

Хураангуй

Ус цаг уурын ажиглалт хэмжилтийн сүлжээний нягтшил тааруу манай орны хувьд хиймэл дагуулын болон тоон загварын үр дүнд гарган авсан орон зай, цаг хугацааны өндөр нарийвчлал бүхий мэдээ өгөгдлийг тухай бүс нутагт турших, шалгах, баталгаажуулах, тохируулах ажил нэн чухал болоод байна. Бид энэ судалгаандаа Монгол орны баруун бүс, Төв Азийн гадагш урсацгүй ай савд хамаарах Хар нуур-Ховд голын сав газрыг сонгон тус сав газарт хамаарах цаг уурын 8 станц харуулын хур тунадасны олон жилийн мэдээ, GPM-ийн цаг хугацааны хувьд хоногийн, орон зайн $0.1^0 \times 0.1^0$ нарийвчлал бүхий тунадасны өгөгдөлтэй хэр зэрэг нийцэлтэй байгааг судалж тогтоов. Орон зайн болоод тухай ажиглалтын цэг дээрх утга хоорондын хамаарлыг корреляцийн коэффициент ашиглан үнэлэв. Судалгааны үр дүнгээс үзэхэд сав газрын хэмжээнд Тиесенний полигоны аргаар дундажилж тооцсон ба GPM-ийн мэдээгээр дунджилсан утга хоорондын корреляцийн коэффициент 0.85 буюу хүчтэй хамаарал ажиглагдаж байна. Өөрөөр хэлбэл GPM-ийн мэдээ нь сав газрын нийт орон зайд унасан хур тундасыг илүү сайн тодорхойлж байгаа юм. GPM-ийн хур тундасны хэмжээг газрын гадаргын өндрөөс хамааруулж 937 цэгт дээж авч статистик шинжилгээ хийж үзэхэд сул хамааралтай болох нь тогтоогдлоо. Тухайн ажиглалтын цэг бүр дээр тодорхойлсон GPM ба цаг уурын станцын мэдээ хооронд хамаарал 0.6 буюу дундаж хамааралтай байна. Энэ нь GPM-ийн мэдээний орон зайн $0.1^0 \times 0.1^0$ (10км x 10км) нарийвчлалтай холбоотой гэж үзэж байна. GPM-ийн хур тундасны хэмжээг авч үзвэл дулааны улиралд харьцангуй алаг цоог, өвлийн улиралд нуур намгархаг газрыг бүрхэн талбайн 70 орчим хувьд 5-10 мм тунадас унаж буй нь агаар мандлын орчил урсгал, уур амьсгалын өвөрмөц онцлогтой гэдгийг харуулж байна.

Түлхүүр үгс: Орон зайн тархалт, Тиесенний полигон, сав газар, өндөржилт, хиймэл дагуулын бүтээгдэхүүн

©Зохиогчийн оруулсан хувь нэмэр: **Ш.Отгонсүрэн:** Онолын үндэслэл, аргагүй боловсруулалт, үр дүнгийн тайлал, үндсэн бичвэр, **О.Бямбагэрэл:** өгөгдөл цуглуулалт, зураглал, үр дүнгийн боловсруулалт, **Б.Ганболд:** техник редактор, үндсэн бичвэрийн хяналт.

Оршил

Хур тунадас нь голын сав газрын усны эргэлт, усны нөөцийн бүрдэлтэд чухал үүрэг гүйцэтгэдэг (Li et al., 2018). Үерийн урьдчилсан мэдээ, газар тариалангийн төлөвлөлт, усны менежмент, байгаль орчны хамгаалал, уур амьсгалын өөрчлөлтийн нөлөөллийг илрүүлэх, мөн экологийн тэнцвэрийг хадгалахад хур тунадасны талаарх мэдээ өгөгдөл маш чухал ач холбогдолтой байдаг (Yang et al., 2021).

Тухайлбал гол, нуурын сав газрын түвшинд хамгийн хур тунадсыг тооцох нь үерийн эрсдэлтэй нутаг дэвсгэрийг тодорхойлох, газар ашиглалт, хот төлөвлөлттэй уялдуулах, үерийн хамгаалалтын барилга байгууламжууд төлөвлөх, авто болон төмөр замын ус гаргах тооцоо хийх, далан, усан сан барих зэрэгт маш чухал юм (Schaller, Fan, 2009). Дэлхийн өндөр хөгжилтэй орнуудын томоохон хотуудад цаг уурын радарын тусламжтайгаар орох хур тунадасны хэмжээ, эрчимшил, байршлыг тодорхойлж үерийн тооцооны төрөл бүрийн загвар, аргуудыг ашиглан хүний амь нас, эд хөрөнгийн хохирлоос урьдчилан сэргийлж хариу арга хэмжээг оновчтой авч хэрэгжүүлсээр байна (Отгонсүрэн нар, 2023).

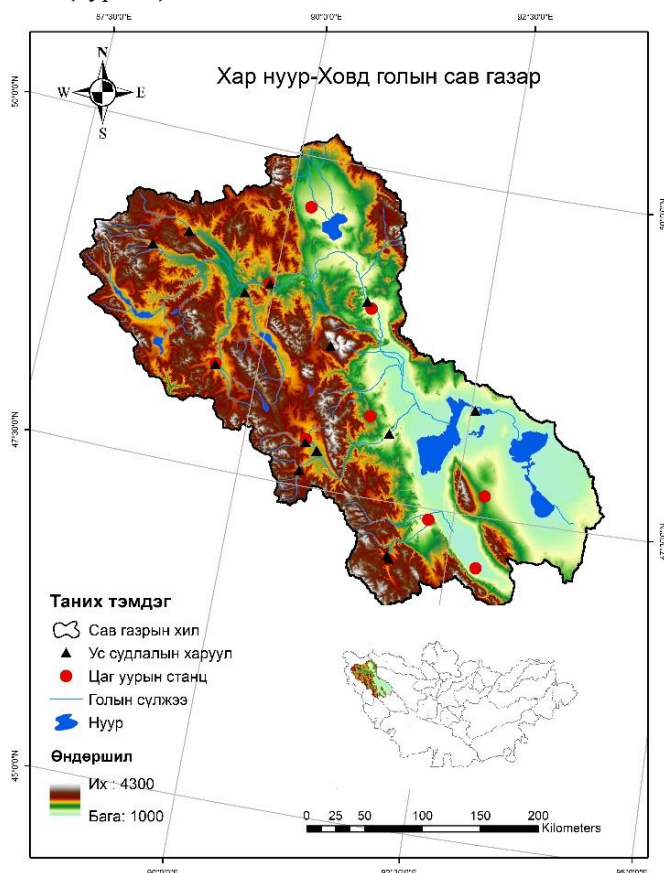
Дэлхийн олон бүс нутагт, ялангуяа ус цаг уурын сүлжээний нягтшил бага байдаг манай оронд хур тунадасны орон зайн өндөр нарийвчлалтай мэдээлэлийн дутмаг байдлыг арилгах боломжуудын талаар судалгаа шинжилгээний ажлууд хийж томоохон ахиц дэвшилд хүрэх нь нэн тэргүүний шийдвэрлэх асуудал болоод байна. Энэ асуудлыг шийдвэрлэхэд хиймэл дагуулын хур тунадасны бүтээгдэхүүнүүд, цаг тухайлбал глобал хур тунадас хэмжигч (GPM) нь өндөр нарийвчлалтай, дэлхийн хэмжээнд хур тунадасны тооцоог хийх боломжийг олгож байгаа нь онцгой ач холбогдолтой юм. GPM-ийн мэдээллийг орон нутгийн цаг уурын станцуудын мэдээлэлтэй харьцуулан үнэлэх нь чухал бөгөөд үүний тулд нарийвчилсан шалгалт, баталгаажуулалт хийх шаардлагатай.

Дотоодын ба олон улсын судлаачид хур тунадасны бодит хэмжилтийн үр дүнг хиймэл дагуул болон төрөл бүрийн загварчлалын аргаар гарган авсан үр дүнтэй харьцуулсан, шалгасан, баталгаажуулсан, тохируулсан олон ажил гүйцэтгэсэн байдаг. Тухайлбал Монгол улсын ус, цаг уур, уур амьсгалын чиглэлээр (Мижиддорж нар., 2021) “Хур тунадасны хэлбэлзэл, дулаарал, хуурайшил” сэдэвт бүтээлдээ дэлхийн дулаарал хур тунадасны горим, хэлбэрт хэрхэн нөлөөлж буйг, (Мөнхбат нар., 2022 “ANUSPLIN” статистик загвар ашиглан Монгол орны уур амьсгалын үндсэн үзүүлэлтүүд болох агаарын температур, хур тунадасны шинэчилсэн нормыг (Дэлхийн Цаг Уурын Байгууллагын журмын дагуу 1991-2020 оны дундаж) орон зайн өндөр нарийвчлалтайгаар торын зангилааны цэг (грид)-ээр тооцоолж бодит ажиглалтын мэдээгээр объектив анализ хийсэн байгааг нэрлэж болно. Олон улсад бидний энэ ажлын агуулга цар хүрээгээр глобал хур тунадас хэмжигч (GPM) бүтээгдэхүүнүүд нь газар дээрх хур тунадасны хэмжилт багатай бүсүүдэд хур тунадасны тооцоог эрс сайжруулсан (Yang et al., 2020)., GPM хур тунадасны бүтээгдэхүүний нарийвчлал, найдвартай байдал нь уур амьсгал, газарзүйн өөр өөр нөхцлүүдэд ялгаатай байдаг бөгөөд энэ нь бүс нутгийн хэмжээнд баталгаажуулалт хийх шаардлагатайг харуулж байна (Omranian, Sharif, 2018)., гадаргын хур тунадасны мэдээллийг сансрын хиймэл дагуулын мэдээллээр дамжуулан авч буй өндөр нарийвчлалтай мэдээлэл нь усны нөөцийн менежмент, хур борооны урьдчилсан тооцоололд чухал үүрэг гүйцэтгэдэг (Liu et al., 2024)., ихэнх тохиолдолд GPM хур тунадасны бүтээгдэхүүнүүд нь алдаа агуулдаг нь нарийвчлалыг сайжруулах үнэлгээг шаарддаг (Zhang et al., 2023)., GPM бүтээгдэхүүний газрын хэмжилттэй харьцуулсан баталгаажуулалт нь орон нутгийн усны нөөц, уур амьсгалын судалгаанд эдгээр бүтээгдэхүүний хэрэглээг сайжруулахад зайлшгүй шаардлагатай (Tan, Santo, 2018)., GPM болон уламжлалт хур тунадасны хэмжилтүүдийн хоорондын харилцан уялдаа нь сайтар баталгаажуулах хэрэгтэйг

харуулж байна (Sharifi et al., 2016), сав газрын хэмжээнд хур тунадас мэдээг бүрдүүлэх нь голын сав газрын гидрологийн процессыг оновчтой болгох бөгөөд хиймэл дагуулын бүтээгдэхүүнүүд эдгээр шаардлагыг хангаж чаддаг (Khan et al., 2018), GPM бүтээгдэхүүний нарийвчлал нь д орон нутгийн хур тунадасны тооцооллыг сайжруулах боломжийг олгож байна (Chen et al., 2019), гадаргын усны нөөц, хур тунадасны урьдчилсан мэдээг сайжруулахад GPM бүтээгдэхүүний өргөн хүрээний цаашдын судалгаа хэрэгтэй (Huang et al., 2020), GPM-IMERG бүтээгдэхүүний хур тунадасны мэдээлэл нь нарийвчлал сайтай бөгөөд бүс нутгийн онцлогт тохирсон тохируулга шаардлагатай (Li, Zhang, 2019) энд дурдагдсан олон үнэлэлт, дүгнэлт, саналаас авч үзэхэд гол нуурын сав газарт орон зайн өндөр нарийвчлалын тунадасны дата бааз ямар чухал болохыг анзаарч болох ба бид зайлшгүй өөрийн нутаг дэвсгэрийн хүрээнд турших, шалгах ажлыг гүйцэтгэх нь зүйтэй гэж үзээд энэ ажлыг эхлүүлсэн юм. Энэхүү ажлын гол зорилго бол цаг уурын станц дээр ажиглагдсан бодит утга ба хиймэл дагуулын тусламжтай тодрхойлсон утга хоорондын нийцэл сав газрын түвшинд хэр зэрэг байгааг тодорхойлох юм.

Судалгааны талбай

Хар нуур-Ховд голын сав газар баруун талаараа Монгол Алтайн нуруу, хойт талаараа Сийлхэм, Чихачевийн нуруу, Их Түргэн уул, ОХУ-ын нутаг дахь Мөнгөн тайга уул, зүүн талаараа Хархираа, Түргэний уулс, Бураат, Алтан Хөхий уулс, улмаар Их нууруудын хотгорын ёроол, өмнө талаараа Сутай хайрхан, Дарвийн нуруу, Хүйсийн говиор хүрээлэгдэн 86120.8 квадрат км нутаг дэвсгэрийг хамран оршдог (Зураг 1).



Зураг 1. Хар нуур-Ховд голын сав газрын байршил, ус зүйн сүлжээ

Хар нуур- Ховд голын сав газар нь физик газарзүйн мужлалаар Алтайн уулархаг их мужийн, Монгол Алтайн салбар уулсын мужийн, Алтайн баруун хэсгийн тойрог, Говийн их мужийн, Алтайн ар говийн мужийн, Их нууруудын хотгорын тойрогт тус тус багтана (Doljin, Yembuu, 2021). Энэ сав газарт хотгор, гүдгэрийн хувьд өндөр уулын үндсэн хэв шинж зонхилно. Бөхмөрөн гол, Ачит нуур, Ховд голын дунд хэсэг орчмын газар нутгаар говийн, харин Хар-Ус, Хар, Дөргөн нуур орчимд цав толгодын хэв шинжтэй байна.

Хар нуур-Ховд голын сав газар нь ургамал-газарзүйн мужлалаар Монгол Алтайн уулт хээр, Их нууруудын хотгорын цөлөрхөг хээрийн бүсэд хамаарагдах ба Монгол Алтайн нурууны өндөр уулс тагийн бүслүүрт, түүнээс доош орших нутаг ойт хээрийн бүсэд, Хар, Дөргөн нуур орчим цөлөрхөг хээрийн бүсэд тус тус хамаарна (Doljin, Yembuu, 2021).

Амьтны аймгийн газарзүйн мужлалаар энэхүү сав газрын дийлэнх хэсэг нь монголын хээрийн ба ойт хээрийн дэд мужийн баруун хойт монголын тойрогт, үлдэх хэсэг нь говийн дэд мужийн хойт говийн тойрогт хамрагдана (Tsogbadral, 2021).

Энэ сав газар нь Төв Азийн гадагш урсацгүй ай савд багтах ба газар доорх усны нөөц бүрдэх нөхцөлөөр ихэнх нь түр зуурын элбэг тэжээлтэй мужийн Монгол Алтайн дэд мужид, Хар, Дөргөн нуур орчим улирлын хомс тэжээлтэй, нууруудын дэд мужид тус тус хамрагдана (Tugjamba, 2021). Баян-Өлгий аймгийн Алтай, Алтанцөгц, Баяннуур, Бугат, Дэлүүн, Ногооннуур, Сагсай, Толбо, Цэнгэл, Улаанхус, Өлгий зэрэг 12 сумын нутаг дэвсгэрийн 39409.4 ам км талбай буюу энэ сав газрын нийт талбайн 47.2 хувийг эдгээр сумдын нутаг дэвсгэр эзэлнэ. Ховд аймгийн Буянт, Чандмань, Дарви, Дөргөн, Дуут, Эрдэнэбүрэн, Жаргалант, Ховд, Манхан, Мөнххайрхан, Зэрэг, Мөст, Мянгад зэрэг 13 сумын нутаг дэвсгэр 31536.6 ам км талбай буюу энэ сав газрын нийт талбайн 37.7 хувийг эзэлнэ. Увс аймгийн Бөхмөрөн, Ховд, Өлгий, Өмнөговь зэрэг 4 сумын нутаг дэвсгэрийн 6991.6 ам км талбай буюу энэ сав газрын нийт талбайн 8.4 хувийг эдгээр сумдын нутаг дэвсгэр эзэлнэ. Харин Говь-Алтай аймгийн Хөхморьт сумын 1247.9 ам км (1.5 хувь) ба Завхан аймгийн Дөрвөлжин сумын 2342.1 ам км (2.8 хувь) тус тус талбай энэ сав хамрагдана.

Эх газрын төвд орших өндөр өргөрөгт, далайн төвшнөөс дээш ихээхэн өргөгдсөн байх багйалийн бүс бүслүүрийн онцлогтой уялдан эх газрын эрс тэс сэрүүсэг, хуурай уур амьсгалын нөхцөл бүрэлдэн тогтоно.

Сав газрын дүрс зүйн үзүүлэлтүүд нь сав газрын түвшинд гадаргын ус үүсэх, хуримтлагдах зөөгдөх процессуудад үнэлгээ дүгнэлт өгөх, усны балансын элементүүдийг тооцох зэрэгт чухал нөлөө үзүүлж байдаг.

Хүснэгт 1. Сав газрын зарим дүрс зүйн үзүүлэлтүүд

№	Сав газрын дүрс зүйн үзүүлэлт	Хэмжээ	Нэгж
1.	Сав газрын талбай	86120.8	км ²
2.	Сав газрын преметр	2100.7	км
3.	Сав газрын урт	512.8	км
4.	Сав газрын дундаж өргөн	243.3	км
5.	Сав газрын дундаж өндөр	2063.49	м
6.	Голын мөрний эрэмбэ	6	
7.	Ус зүйн сүлжээний нягтшил	0.16	км/км ²
8.	Нийт голын сүлжээний урт	35799	км

Монгол Алтайн нурууны араас эх авах Цагаан гол, Хар Ховд гол хоорондоо холбоотой Хотон, Хурган нуурт цутгаж гарснаас эхлэн Ховд гол хэмээн нэрлэгдэнэ (Enkhbold et al., 2024). Сав газрын дээд, дунд хэсэг өндөр уулсын дундуур, зөвхөн адгаас 90 м хэсэг нь Их нууруудын хотгор руу чиглэн урсана. Ховд голын урт 596 км, ус хурах талбай 58514 квадрат км, хэвгий 0.0039 юм. Ховд гол урсац 6-7 дугаар сард хамгийн ихдээ гүрч гидрограф нь ихэвчлэн ганц оройтой байна. Голын жилийн дундаж өнгөрөлт Өлгий сумын орчимд 58.0 м³/с, Баяннуур сумын орчимд 63.2 м³/с, Мянгад сумын орчимд 75.3 м³/с хүрдэг. Ховд гол бол 6 дугаар эрэмбийн гол юм. Голдрилын дундаж өндөр 1785 м, голуудын нийлбэр урт 35799 км, хөндийн гүн дундаар 854 м, түүний өргөн 98.2 км байна. Энэ голын савд 1 дүгээр эрэмбийн гол 1633, 2 дугаар эрэмбийн гол 454, 3 дугаар эрэмбийн гол 129, 4 дүгээр эрэмбийн гол 3, 5 дугаар эрэмбийн гол 7, 6 дугаар эрэмбийн гол 1 байна.

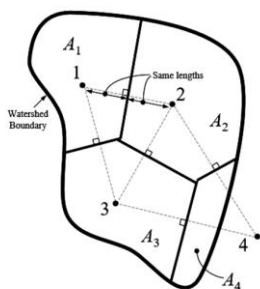
Хар нуур-Ховд голын савд Монгол орны нийт мөстлөгийн талбайн 83.3 хувь буюу 347.4 квадрат км талбайтай мөстөл, мөсөн гол оршино. Энд Монгол орны хамгийн том Потанин, Александр, Гране-гийн нийлмэл мөсөн голууд, Цамбагарав уулын хавтгай оройн мөстөл, Мөнххайрхан уулын хунхан мөстөл болон өлгүү, ханан, шовх оргилын зэрэг мөстлийн олон хэв шинжийн мөстөл, мөсөн гол бий (Camp et al., 2022). Энэ сав газрын гол мөрний тэжээлд мөстөл мөсөн голын усны тэжээл зонхилох нөлөө үзүүлэх учир гол мөрний усны түвшин хавраас эхлэн нэмэгдэж, түүн дээр зуны хур борооны үер давхцаж их устай үе хавар-зуны турш ажиглагдана. Иймээс Ховд голын сав газрын гол мөрөн хавар-зуны шар усны үерийн горимтой. Ихэнх гол горхи, зарим томоохон гол гүехэн хэсэгтээ ёроолдоо хүртэл хөлдөнө.

Хар нуур-Ховд голын сав газарт Монгол Алтайн нурууны ноён оргилууд, үүний дотор далайн төвшнөөс дээш 4374 м өргөгдсөн Алтай Таванбогдын хүйтэн оргил болон мөстөл мөсөн гол бүхий Мөнх Хайрхан (4204 м), Цаст (4193 м), Цамбагарав (4165 м), Хархираа (4037 м), Их түргэн (4029 м), Сайр хайрхан (3984 м), Цагаан хайрхан (3978 м), Түргэн (3965 м), Цэнгэл хайрхан (3943 м), Баатар хайрхан (3797 м) зэрэг оргилууд бий. Монгол Алтай, Сийлхэм, Их Түргэн, Цамбагарав, Сайр, Мараа, Бүргэдтэй, Баатар хайрхан, Бумбат хайрхан, Хавцал Баян, Цагаан Шувуут, Түргэн, Хархираа, Алтан Цагаан Шувуут, Түргэн, Хархираа, Алтан Хөхийн уул нурууд баруун хойноос сунаж тогтсон байдаг (Khukhuudei et al., 2024).

Судалгааны материал, аргазүй

Хар нуур-Ховд голын сав газарт хамаарах 8 цаг уурын станц (Өлгий, Ялалт, Баяннуур, Ногооннуур, Дэлүүн, Зэрэг, Чандмань, Манхан) дээр 2000-2018 онд хэмжигдсэн сар бүрийн нийлбэр хур тунадасны мэдээ, Дэлхийн хур тунадасны хэмжилт (GPM) буюу Дэлхийн хур тунадасны индекс (GPI) нь JAXA ба NASA болон бусад олон улсын сансрын агентлагуудын хамтын ажиллагааны хүрээнд тооцон гаргасан Global precipitation measurement (GPM)-ийн мэдээ болон сав газрын зураглал үйлдэхэд ALOS PALSAR өндөр нарийвчлалтай газрын гадаргын загвар (DEM) өндөрийн тоон загварын мэдээг ArcMap 10.8 программ хангамж ашигласан.

Тиссений полигоны арга: Энэ аргыг сав газрын дундаж хур тунадас тооцоход өргөн ашиглагддаг бөгөөд ажиглалтын цэгүүд дэд хэсгийн төвд байхаар хуваах гол зарчимтай. Сав газрын дундаж хур тунадасныг Тиссений хэсгийн аргаар дараах байдлаар тодорхойлно.



$$\bar{P} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad (1)$$

Үүнд:

$\bar{P}$ - Сав газрын дундаж хур тунадасны хэмжээ

A_i - Тиссений хэсэг бүрээр хуваагдсан талбай

P_i - Тухайн тунадас хэмжсэн цэг дэх тунадасны хэмжээ

Зураг 2. Тиссений полигоны арга

Корреляцийн коэффициент: Цаг уурын станц дээр хэмжигдсэн болон сав газрын орон зайн хувьд тодорхойлсон өгөгдөл GRM-ийн мэдээтэй хэр зэрэг нийцэж буйг үнэлэхийн тулд шугаман хамаарлыг хүчийг илэрхийлэх корреляцийн коэффициентийг (r) бодож үзсэн. Корреляцийн коэффициентыг дараах байдлаар тооцно.

$$r = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 \sum (y_i - \bar{y})^2}} \quad (2)$$

Үүнд: x_i – үл хамаарах хувьсагч, $\bar{x}$ – үл хамаарах хувьсагчийн дундаж, y_i – хамаарах хувьсагч, $\bar{y}$ – хамаарах хувьсагчийн дундаж утга болно. $r > 0$ нь эерэг (шууд) хамаарлыг, $r < 0$ нь сөрөг (урвуу) хамаарлыг илтгэдэг.

Регресс шинжилгээ: Энгийн болон нийлмэл регрессийн шинжилгээ нь үл мэдэгдэх параметр (α , β) ийг тодорхойлох замаар үл хамаарах хувьсагчийг хамааран хувьсагчидтай холбох тэгшитгэлийн загварыг тодорхойлдог.

$$Y = \alpha + \beta X + e \quad (3)$$

Y – Хамаарах, тайлбарлагдах хувьсагч

X – Үл хамаарах, тайлбарлагч хувьсагч

e – Регрессийн санамсаргүй алдаа

Шугаман регрессийн параметруудийг үнэлэх аргуудын нэг нь хамгийн бага квадратын арга юм. Хамгийн бага квадратын арга (ХБКА) нь хамаарах хувьсагчийн бодит утга болон хамаарах хувьсагчийн загвараар үнэлсэн утга хоёрын хоорондох зөрүү буюу үлдэгдэлд үндэслэнэ. ХБКА-н зарчим нь бүх боломжит шулуунууд дотроос бодит өгөгдөлтэй хамгийн ойрхон буюу үлдэгдэлийн квадратын хамгийн бага байх шулууныг олж тодорхойлох явдал юм.

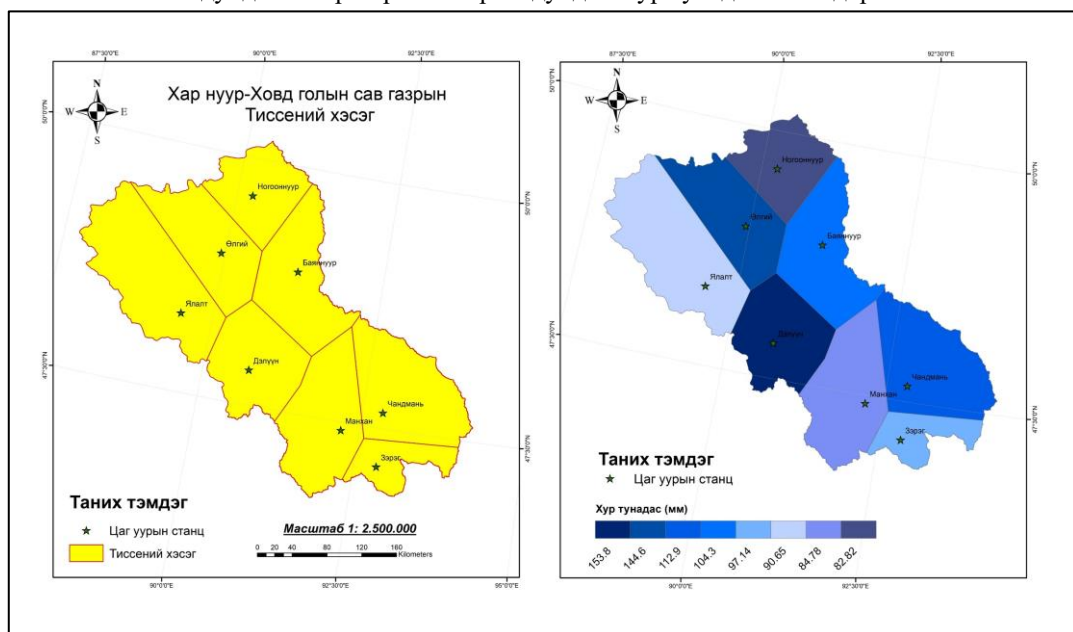
$$\hat{Y} = a + bX \quad (4)$$

a нь α -н коэффициент үнэлэлт; b нь β -н коэффициент үнэлэлт

Детерминацын коэффициент (R^2) R нь хувьсагч (Y ба X) хоорондын хамаарлын зэргийг хэмжинэ. Тэгшитгэлийн шулуун дээрх утгууд Y -ын бодит утгаас ялгаатай байдаг. Эдгээр ялгааны зарим хэсэг нь санамсаргүй байдлаас, зарим нь хувьсагч хоорондын хамаарлаас шалтгаална. Өөрөөр хэлбэл R нь хамааран хувьсагчийн нийт өөрчлөлтийн регрессийн шугамаар тайлбарлагдах хэсгийг харуулна. R^2 нь 0-1 хооронд утга авах бөгөөд 1 рүү дөхөх тусам хамаарал сайн гэж үзнэ.

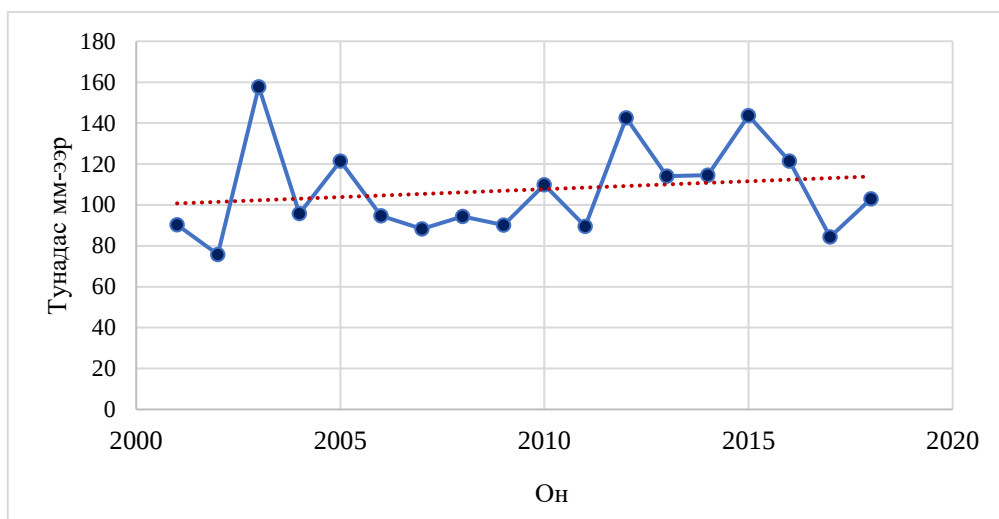
Судалгааны үр дүн

Хар нуур-Ховд голын сав газрын орон зайд улсын сүлжээний цаг уурын 8 станц жигд бус тархан байршсан ба энэ мэдээг ашиглан ус зүйн судалгаанд өргөн хэрэглэдэг Тиссений полигон буюу талбайн жинлэсэн дунджийн аргаар сав газрын дундаж хур тунадасныг тодорхойллоо.



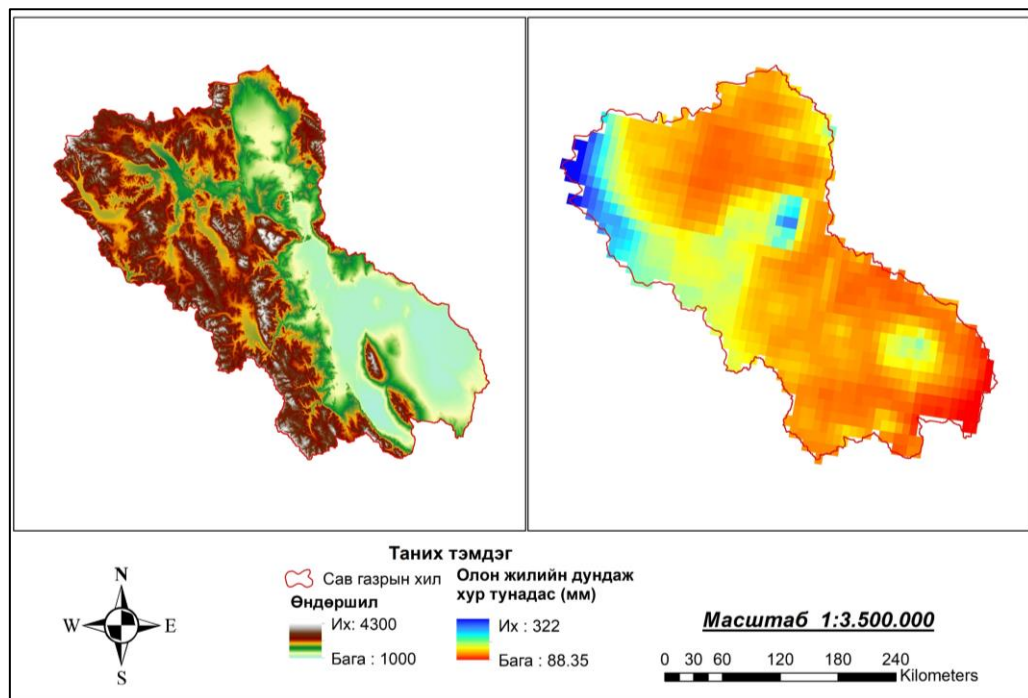
Зураг 3. Тиссений полигоны аргаар тооцсон үр дүн

Полигон тус бүрийн талбай хэмжээ 4.5-16 мянган квадрат км байх бөгөөд Дэлхийн цаг уурын байгууллагаас (WMO 2008) физик газар зүйн мужаас хамааруулан нэг хур тунадас хэмжих цэг хэдэн ам км талбайд байвал зохимжтойг тогтоож өгсөн байдаг. Тухайлбал далай, түүний эрэг орчимд 900 км² талбайд 1, тал хээрийн бүсэд 575 км² талбайд 1, уулархаг районд 250 км² талбайд 1, жижиг арлуудад 25 км² талбайд 1, хот суурин газарт 10-20 км² талбайд 1. Эндээс ажиглахад 1 цаг уурын стац стандарт төлөөлөх талбайн хэмжээнээс 10-40 дахин том талбайг төлөөлж буй нь харьцуулан үнэлгээ хийхэд үр дүнгийн эрс ялгаатай байдлыг илтгэх шалтгаан болж болзошгүй юм.



Зураг 4. Сав газрын дундаж хур тунадасны явц

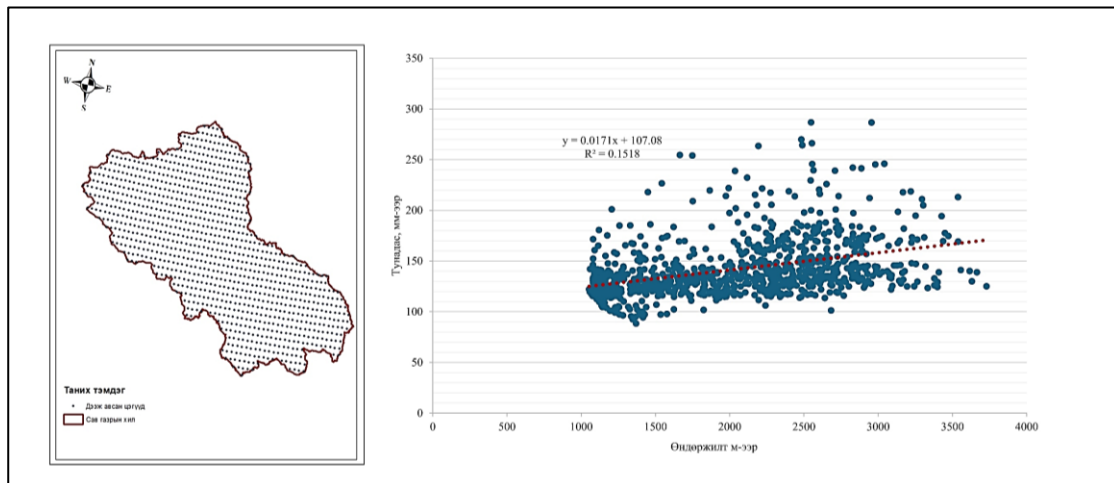
Хур тунадасны хэмжээ жил бүр хэлбэлзэлтэй байгаа бөгөөд огцом өсөлт, бууралтууд ажиглагдана. Сав газрын хэмжээн дунджилсан утга 10 мм орчим хэмжээгээр өсөх хандлага ажиглагдаж байна.



Зураг 5. Сав газрын өндөржилт ба хур тунадасны тархалт

GPM-ийн хур тунадасны хэмжээг газрын гадаргын өндрөөс хамаарал байна гэж таамаглан 937 цэгт дээж авч статистик шинжилгээ хийж үзэхэд сул хамааралтай болох нь тогтоогдлоо.

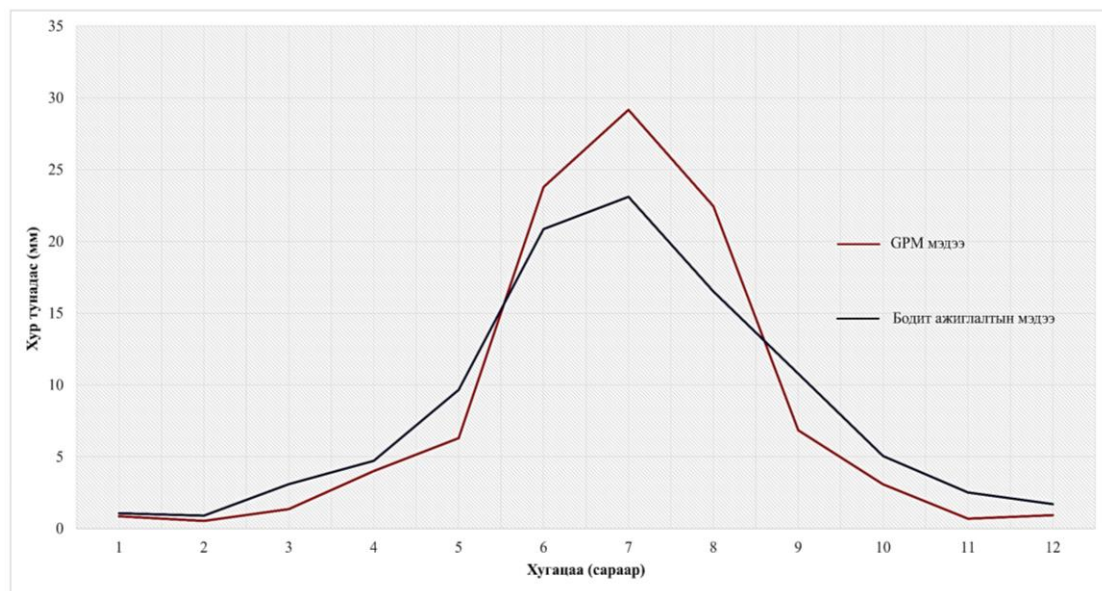
Энэ нь газар нутгийн өндөржилт эрс ялгаатай бөгөөд тэдгээрийн эзлэх талбайн хэмжээ их зөрүүтэй байгаатай холбон тайлбарлаж болох юм (Зураг 6).



Зураг 6. Сав газрын өндөржилт ба хур тунадасны хамаарал

Монгол орны хур тунадасны орон зайн тархалт өндөрөөс хамаарсан зүй тогтол байдаг болохоор энэ сав газрын тухайд өндөрийн тоон загварын мэдээ болон GPM-ийн өгөгдөл бүрдсэн учраас энэ хамаарлыг шалгаж үзсэн болно. Өндөр газар ахиу тунадас унадаг гэсэн зүй тогтол ерөнхийдөө ажиглагдах боловч шууд хүчин зүйл гэж үзэх үндэслэлгүй байна.

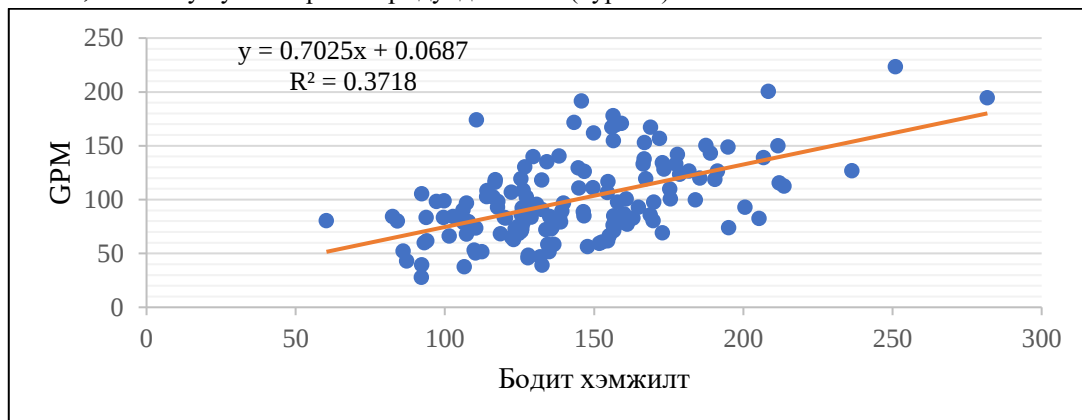
Бид бодит хэмжилтийн болон хиймэл дагуулын бүтээгдэхүүн жилийн доторх хуваарилалт явцыг хэр зэрэг илэрхийлж буйг шалгаж үзэхэд маш сайн үр дүнг үзүүллээ (Зураг 7).



Зураг 7. Тунадасны жилийн дотор хуваарилалт

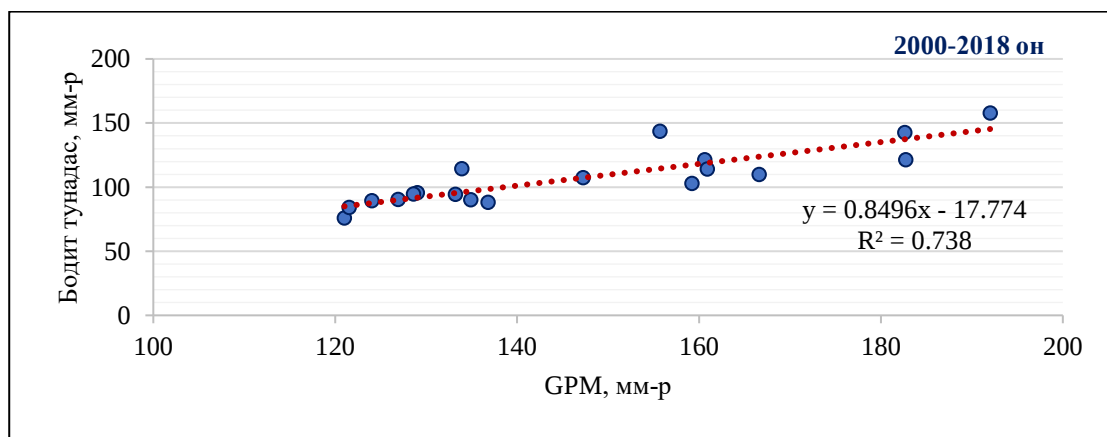
Эндээс жилийн доторх хур тунадасны хуваарилалт сарын нийлбэр утгаар маш ойролцоо байгааг харж болно. Өөрөөр хэлбэл GPM-ийн мэдээ жилийн доторх хуваарилалтыг зөв илэрхийлж байна.

Бодит хэмжилт, GPM-н 2001-2018 оны нийт 8 цэгийн сар бүрийн нийлбэр хур тунадасны хоорондын детерминацын коэффициент болон корреляцийн коэффициентийг шалгахад, $R^2=0.37$, $r=0.60$ буюу хамаарлын хүч дундаж байв (Зураг 8).



Зураг 8. Бодит хэмжилт болон GPM-н мэдээний 2000-2018 оны сар бүрийн нийлбэр хур тунадасны хамаарал

Дээрх үр дүнгээс авч үзвэл хиймэл дагуулын бүтээгдэхүүн сарын нийлбэр утгыг илэрхийлэхүйц байна гэж үзэж болох бөгөөд магадгүй энэ нь Тиессений полигон бүрээр GPM-н мэдээг таслаж дундажилсантай холбоотой. Өөрөөр хэлбэл тодорхой орон зайн сар бүрийн нийлбэр өгөгдлийг ус зүй, хөрсний чийгийн судалгаанд ашиглаж болохыг илтгэнэ. Бид бодит хэмжилтийн сав газрын жил бүрийн дундаж утга сар бүрийн утгын хувьд нэлээд зөрүүтэй байгаа болохоор зөвхөн дулааны буюу зуны улирлын утгыг авч харьцуулж үзлээ (Зураг 9).



Зураг 9. Бодит хэмжилт болон GPM-н мэдээний 2000-2018 оны сав газрын дундаж хур тунадасны хамаарал (зуны улирал)

Дээрх үр дүнгээс авч үзэхэд GPM-ийн мэдээгээр дунджилсан утга хоорондын корреляцийн коэффициент 0.85 буюу хүчтэй хамаарал ажиглагдаж буй нь сав газрын нийт орон зайд унасан хур тундасыг зуны улиралд GPM-ийн мэдээгээр төлөөлүүлэх боломжтой.

Хэлэлцүүлэг

GPM-ийн хур тунадасны мэдээллийг газар дээрх ажиглалттай харьцуулж бүс нутгийн тохиргоо шаардлагатай. (Miao et al., 2015). Энэ судалгаагаар зуны улирлын сар бүрийн нийлбэр утгыг $y = 0.8496x - 17.774$ хамаарлыг ашиглан тохируулж сав газрын усны баланс, уур амьсгалын судалаанд өгөгдөл болгон ашиглах бүрэн боломжтой.

GPM бүтээгдэхүүнүүд нь тропикийн оронд сайн гүйцэтгэл боловч хүйтэн уур амьсгалтай газруудад хур тунадас багатай үед нарийвчлал нь буурдаг. (Prakash & Gairola, 2014). Бидний судалгаагаар өвлийн улирлын тунадасны хэмжээг авч хамаарлыг шалгахад тааруу гарсан нь энэ дүгнэлттэй нийцэж байна.

GPM-IMERG тунадасны мэдээлэл нь усны нөөцийн тооцоонд үр дүнтэй хэрэглэгддэг боловч газар нутгийн онцлогт нарийвчлалтай зохицуулах. (Ryu et al., 2017) Эндээс Хар нуур-Ховд голын сав газрын хэмжээнд байгаа ус судлалын харуулуудын ус хурах талбайг зураглан тунадас урсацын хамаарлыг илүү нарийвчилж болох юм гэсэн санаа урган гарч байна. Урсацын загварын оролтын мэдээнд ашиглахад заавал тохируулга хийх шаардлагатай (Ushio et al., 2016) гэдэг нь бидний судалгааны үр дүнгээс харагдаж байна. Энэ нь GPM бүтээгдэхүүнүүд нь гидрологийн симуляци болон загварчлалын үед өндөр гүйцэтгэлтэй байдаг ч залруулга заавал шаарддаг (Serrat-Capdevila et al., 2014) судалгааны нэгдсэн дүгнэлттэй таарч байна.

Гол нуурын сав газрын түвшинд орон зайн өндөр нарийвчлалтай хур тунадасны мэдээ нь усны балансын болон урсацын модулийн зургийг илүү нарийвчлалтай зохиох үндсэн өгөгдөл мөн. Тунадасыг хиймэл дагуулын нарийвчлалтай бүтээгдэхүүнүүдээр авснаар усны нөөцийн судалгааны хэрэглээний боломжийг нэмэгдүүлж байна. (Thiemig et al., 2012). Сав газрын урсац бүрдэх, дамжин өнгөрөх, алдагдах мужийг зураглах болон модулийн зураг зохиоход GPM-ийн мэдээг ашиглаж бололцоо байна.

GPM хур тунадасны бүтээгдэхүүнүүд нь гамшиг, үерийн урьдчилсан мэдээг сайжруулах боломжийг олгож буй ч нарийвчлалтай тохиргоо шаардлагатай. (Toté et al., 2015). Өмнөх жилүүдийн хур тунадасны мэдээнд үндэслэн хөрсний чийг, газар бүрхэвчийн онцлогийг харгалзан мөн тундасны орон зайн тархалтыг үер үүсэж болзошгүй гидроморфометерийн хэв шинжтэй холбон судлах боломжтой.

Хур тунадасны бүтээгдэхүүнийг тодорхой орон зайд туршин таарц нийцийг үнэлэх нь эргээд уг бүтээгдэхүүний чанарыг дээшлүүлэх боломжтой гэж харж байна. Тухайлбал (Vila et al., 2009) нар GPM-ийн шинэчлэгдсэн хур тунадасны бүтээгдэхүүнүүд нь сайн гүйцэтгэлтэй боловч цаашид нарийвчлал сайжруулах шаардлагатай. (Vila et al., 2009) гэж үзжээ. Магадгүй эндээс монгол орны баруун бүс нутагт шалгалт баталгаажуулалт хийсэн тухай олон улсад хэлэлцүүлэх ихээхэн сонирхол татаж болох юм.

Гадаргын усны төрөл бүрийн загварчлалын оролтын бүтээгдэхүүн болгож ашиглаад үр дүнгүүдийг урсацын бодит мэдээгээр үнэлэх ажилд энэ судалгааны ажил урьтал болж хийгдсэнээр онцлогтой. GPM-IMERG хур тунадасны бүтээгдэхүүнүүд нь голын сав газрын гидрологийн загварчлалд өндөр ач холбогдолтой боловч тасралтгүй баталгаажуулалт шаардлагатай. (Xue et al., 2013); GPM хур тунадасны мэдээллийг гидрологийн загваруудтай интеграцчилснаар үерийн эрсдлийг илүү нарийвчлалтай үнэлэх боломжийг олгоно. (Zambrano-Bigiarini et al., 2017) энэ бүхнээс үзэхэд орон зай цаг хугацааны өндөр нарийвчлалтай хиймэл дагуулын бүтээгдэхүүнийг бүс нутагтаа шалган тохируулж улс орны чухал салбаруудын суурь судалгаанд хэрэглэх зайлшгүй шаардлагатай.

Дүгнэлт

Судалгааны ажлын гол үр дүнд GPM-ийн нээлттэй мэдээ өгөгдөл тухайн цэгийн бус орон зайн хэмжээнд төлөөлөх чадвар өндөр байгааг олж тогтоосон бөгөөд энэ нь ус цаг уурын сүлжээний нягтшил тааруу манай орны хувьд судалгаа шинжилгээний ажлын үр дүнг илүү нарийвчлах ялангуяа урсацын модулын тархалтыг олон хүчин зүйлсээс хамааруулан зохиоход маш чухал эх сурвалж болох юм.

Алос-Палсар хиймэл дагуулын 12.5 метрийн орон зайн нарийвчлалтай өндрийн тоон загварын үр дүнг ашиглаж сав газрын гадаргын өндөршил ба GPM-ийн $0.1^{0*}0.1^{0*}$ нэгж орон зайтай сав газрын хэмжээнд 937 байршлаар тунадас өндөрийн хамаарал байгаа эсэхийг шалгахад сул хамааралтай ($R^2 = 0.15$) болох нь тогтоогдлоо. Үүнийг газар нутгийн өндөржил эрс ялгаатай бөгөөд тэдгээрийн эзлэх талбайн хэмжээ их зөрүүтэй байгаатай холбоотой байна гэж үзлээ.

Энэ бүс нутагт агаар мандалын орчил урсгал баруунаас зонхилох учир агаарын урсгал уулсыг давахдаа конденсацид орж түүний нөлөөгөөр чийгээ хаях учир хур тунадасны хэмжээ өндөр ууландаа буюу Монгол Алтайн нуруу, Алтай таван богд, Цамбагарав зэрэг уулсын районоор ахиу унадаг байна. Энэ нь GPM-ийн орон зайн өгөгдлөөс тод илэрч байна.

Сав газрын хэмжээнд тунадасны тархалтын хэмжээг авч үзвэл дулааны улиралд харьцангуй алаг цоог, өвлийн улиралд нуур намгархаг газрыг бүрхэн талбайн 70 орчим хувьд 5-10 мм тунадас унаж буй нь агаар мандлын орчил урсгал, уур амьсгалын өвөрмөц онцлогтой гэдгийг харуулж байна.

Тиессенний полигоны аргаар дундажилж тооцсон ба GPM-ийн мэдээгээр дунджилсан зуны тунадасны утга хоорондын корреляцийн коэффициент 0.85 буюу хүчтэй хамаарал ажиглагдаж байна. Өөрөөр хэлбэл GPM-ийн мэдээ нь сав газрын нийт орон зайд унасан хур тундасыг илүү тодорхойлж байгаа юм. Энэ үр дүнг сав газрын судалгаагүй жижиг голуудын ус зүйн судалгаанд ашиглах, усны балансын бүрэлдэхүүн хэсгүүдийг тодорхойлоход чухал ач холбогдолтой.

Тухайн ажиглалтын цэг дээр тодорхойлсон ба цаг уурын станцын мэдээ хооронд хамаарал (0.6) дундаж байна. Энэ нь GPM-ийн мэдээний орон зайн нарийвчлалтай холбоотойн дээр нийт ажиглалтын цэгийн тоо үнэлгээ хийхэд хүрэлцээтэй бус байгаатай холбоотой гэж үзэж байна. Хэдийгээр цөөн тооны ажиглалтын цэг ч бид энэхүү үнэлгээний ажлыг мэдээ өгөгдлийн боломж бололцоонд үндэслэн хийж гүйцэтгэлээ. GPM-ийн мэдээгээр боловсруулсан растер мэдээг агаар мандал-усан мандал-био бүрхэвчийн хооронд явагдах үйл явцыг загварчилсан системүүдийн оролтын мэдээнд ашиглаж болох юм.

Манай орны баруун бүс нутаг физик газарзүй, уур амьсгалын онцлог район болох Хар нуур-Ховд голын сав газрын түвшинд хур тунадасны орон зайн хуваарилалтын талаар цаг уурын станц болоод хиймэл дагуулын мэдээ ашиглан судалсан үр дүнг цаашид тунадаснаас хамаарч байдаг байгалийн бусад хүчин зүйлсээс хамааруулан, мэдээний цувааг уртасган дахин шалгах, батлах, тохируулах ажлыг гүйцэтгэх нь шинжлэх ухаан болоод практикийн өндөр ач холбогдолтой гэж үзэж байна.

Ном зүй

1. Байгаль орчин, ногоон хөгжлийн яам (БОНХЯ). (2012). Туул голын сав газрын усны нөөцийн нэгдсэн менежментийн төлөвлөгөө. 14-16 <http://bic.iwlearn.org/mn/documents/documents/arga-khemzheeni-matierialuud/tuul-gholyn>
2. Байгаль орчин, ногоон хөгжлийн яам (БОНХЯ). (2012). Туул голын сав газрын усны нөөцийн

- | | | | |
|---------|--------------|-------------|--------|
| нэгдсэн | менежментийн | төлөвлөгөө. | 14-16. |
|---------|--------------|-------------|--------|
- <http://bic.iwlearn.org/mn/documents/documents/arga-khemzheeni-materialuud/tuul-gholyn-sav-ghazryn-usny-nootsiin-neghdsen-mieniezhmientiin-tolovloghoo-monghol-kheleer/view>
3. Байгаль орчин, ногоон хөгжлийн яам (БОНХЯ). (2012). Улсын усны нөөцийн нэгдсэн менежментийн төлөвлөгөө боловсруулахад зориулсан судалгааны эмхтгэл нэгдүгээр дэвтэр. 231-234. <http://bic.iwlearn.org/mn/documents/documents/state-reports/ulsyn-usny-nootsiin-neghdsen-mieniezhmientiin-tolovloghoo-bolovsrulakhad-zoriulsan-sudalghaany-emkhetghel-neghdugheer-devter-monghol-kheleer/view>.
 4. Байгаль орчин, ногоон хөгжлийн яам, 2012. “Улсын усны нөөцийн нэгдсэн менежментийн төлөвлөгөө боловсруулахад зориулсан судалгааны эмхэтгэл”. Улаанбаатар хот.
 5. Ганболд, Б., Жамбажамц, Л. (2019). Evaluation of cloud microphysical schemes for heavy precipitation prediction over central Mongolia. Asia Oceania Geosciences Society Annual Meeting олон улсын мэргэжлийн нийгэмлэгийн хурлын эмхэтгэл, Volume number 16, M121.
 6. Даваа, Г. (2015). Монгол орны гадаргын усны горим, нөөц, Улаанбаатар хот, Адмон принтинг, 36-158.
 7. Мижиддорж, Р., Дуламсүрэн, Д., Оюнбаатар, Д. (2021). Хур тунадасны хэлбэлзэл, дулаарал, хуурайшил. хх: 46-48. ISBN 991925492-4.
 8. Мөнхбат, Б., Гомболүүдэв, П., Эрдэнэсүх, С., Сандэлгэр, Д. (2022). ANUSPLIN статистик загвар ашиглан Монгол орны агаарын температур, хур тунадасыг (1991-2020) өндөр нарийвчлалтай торын зангилааны цэгээр тооцоолох нь, *Газарзүйн асуудлууд*, 22 (1) 92-102.
 9. Ховд, Буянт голын сав газрын зөвлөл, ДБХС(WWF)-гийн Монгол дахь хөтөлбөрийн газар, 2010. “Хар нуур-Ховд голын сав газрын усны нөөцийн нэгдсэн менежментийн төлөвлөгөө”. Ховд хот.
 10. Ховд, Буянт голын сав газрын зөвлөл, ДБХС(WWF)-гийн Монгол дахь хөтөлбөрийн газар, 2010. “Хар нуур-Ховд голын сав газрын усны нөөц, байгаль, нийгэм-эдийн засаг, хууль эрхзүйн суурь судалгааны эмхэтгэл”. Улаанбаатар хот.
 11. Bayarsaikhan, S., Mandakh, U., Dorjsuren, A., Batsaikhan, B., Bao, Y., Adiya, Z., & Myagmartseren, P. (2020). Variations of Vegetation Net Primary Productivity and Its Responses to Climate Change from 1982 to 2015 in Mongolia. ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, V-3-2020, 347-353. <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-V-3-2020-347-2020>
 12. Chen, F., Fu, Y., & Wang, Y. (2019). Evaluation of GPM IMERG Satellite Rainfall Products over the Yangtze River Basin. Journal of Hydrology, 568, 228–241. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.10.060>

13. Doljin, D., & Yembuu, B. (2021). Division of the physiographic and natural regions in Mongolia. In *The physical geography of Mongolia* (pp. 177-193). Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-61434-8_10
14. Enkhbold, A., Dingjun, L., Ganbold, B., Yadamsuren, G., Tsasanchimeg, B., Dorligjav, S., ... & Boldbayar, R. (2024). Changes in morphometric parameters of lakes in different ecological zones of Mongolia: implications of climate change. *Climate Research*, 92, 79-95. <https://doi.org/10.3354/cr01734>
15. Huang, L., Fu, Y., & Wang, Y. (2020). Evaluation of GPM IMERG Satellite Precipitation Products over the Huaihe River Basin. *Remote Sensing*, 12(3), 514. <https://doi.org/10.3390/rs12030514>
16. Kamp, U., Walther, M., & Dashtseren, A. (2022). Mongolia's cryosphere. *Geomorphology*, 410, 108202. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2022.108202>
17. Khan, S. I., Adhikari, P., Hong, Y., Vergara, H. J., & Fadul, E. (2018). Evaluation of GPM IMERG Satellite Precipitation Products over Nepal. *Hydrology*, 5(2), 42. <https://doi.org/10.3390/hydrology5020042>
18. Khukhuudei, U., Kusky, T., Windley, B. F., Otgonbayar, O., Wang, L., Nie, J., ... & Song, X. (2024). Cenozoic intracontinental tectonics of Mongolia and its climate effects: A synthesized review. *Earth-Science Reviews*, 104934. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2024.104934>
19. Li, X., & Zhang, L. (2019). Evaluation of GPM IMERG Satellite Precipitation Products over the Mekong River Basin. *Water*, 11(4), 714. <https://doi.org/10.3390/w11040714>
20. Li, X., Cheng, G., Ge, Y., Li, H., Han, F., Hu, X., ... & Cai, X. (2018). Hydrological cycle in the Heihe River Basin and its implication for water resource management in endorheic basins. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 123(2), 890-914. <https://doi.org/10.1002/2017JD027889>
21. Liu, S., Ren, L., Zhao, C., & He, A. (2024). Evaluation of satellite-derived precipitation datasets: a case study in the Ten Tributaries region of the Yellow River Basin. *Hydrology Research*. <https://doi.org/10.2166/nh.2024.083>
22. M. J ., Schulze, E. D., Vesala, T., & Valentini, R. (2005). Europe-wide reduction in primary productivity caused by the heat and drought in 2003. *Nature*, 437(7058), 529-533. <https://doi.org/10.1038/nature03972>
23. Miao, C., Sun, Q., & Duan, Q. (2015). Evaluation of the GPM IMERG Satellite-Based Precipitation Products and the Hydrological Utility. *Atmospheric Research*, 164–165, 139–148. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2015.05.014>
24. Omranian, E., & Sharif, H. O. (2018). Evaluation of the Global Precipitation Measurement (GPM) Satellite Rainfall Products over the Lower Colorado River Basin, Texas. *JAWRA Journal of the*

- American Water Resources Association, 54(4), 882–898. <https://doi.org/10.1111/1752-1688.12610>
25. On drought on vegetation spring phenology across the Northeast China Transect. *Sci Total Environ*, 738, 140297. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140297>
 26. Prakash, S., & Gairola, R. M. (2014). Validation of GPM-IMERG Precipitation Product over India. *Journal of Earth System Science*, 123(6), 1397–1407. <https://doi.org/10.1007/s12040-014-0482-5>
 27. Ryu, J. H., Lee, S. J., & Kim, H. S. (2017). Evaluation of GPM IMERG Precipitation Products over South Korea. *Journal of Hydrology*, 547, 362–373. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.02.004>
 28. Schaller, M. F., & Fan, Y. (2009). River basins as groundwater exporters and importers: Implications for water cycle and climate modeling. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 114(D4). <https://doi.org/10.1029/2008JD010636>
 29. Serrat-Capdevila, A., Valdes, J. B., & Stakhiv, E. Z. (2014). Evaluation of GPM IMERG Satellite Precipitation Products over the Nile Basin. *Hydrology and Earth System Sciences*, 18(11), 4481–4494. <https://doi.org/10.5194/hess-18-4481-2014>
 30. Sharifi, E., Saghafian, B., & Steinacker, R. (2016). Performance Evaluation of GPM-IMERG and Other Precipitation Products in the Urmia Basin of Iran. *Remote Sensing*, 8(5), 445. <https://doi.org/10.3390/rs8050445>
 31. Tan, M. L., & Santo, H. (2018). Evaluation of GPM and TRMM Precipitation Products in the Kelantan River Basin, Malaysia. *Water*, 10(11), 1669. <https://doi.org/10.3390/w10111669>
 32. Thiemi, V., Rojas, R., Zambrano-Bigiarini, M., & De Roo, A. (2012). Validation of Satellite-Based Precipitation Products over Sparsely Gauged African River Basins. *Journal of Hydrometeorology*, 13(6), 1760–1783. <https://doi.org/10.1175/JHM-D-12-032.1>
 33. Toté, C., Patricio, D., & Muthige, M. (2015). Evaluation of Satellite Rainfall Estimates for Drought and Flood Monitoring in Mozambique. *Remote Sensing*, 7(2), 1758–1776. <https://doi.org/10.3390/rs70201758>
 34. Tsogbadral, K. (2021). Biogeographical Characteristics of Mongolia. In *The Physical Geography of Mongolia* (pp. 161–176). Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-61434-8_9
 35. Tugjamba, N. (2021). Hydrography of Mongolia. In *The Physical Geography of Mongolia* (pp. 77–100). Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-61434-8_5
 36. Ushio, T., Kubota, T., & Shige, S. (2016). A Kalman Filter Approach to the Global Satellite Mapping of Precipitation (GSMaP). *Journal of the Meteorological Society of Japan. Ser. II*, 94(1), 119–135. <https://doi.org/10.2151/jmsj.2016-006>
 37. Vila, D. A., Clark, R. A., & Machado, L. A. T. (2009). The Performance of TRMM Multi-Satellite

- Precipitation Analysis (TMPA) over the South American Continent. *Brazilian Journal of Meteorology*, 24(2), 119–128. <https://doi.org/10.1590/S0102-77862009000200002>
38. Xue, X., Hong, Y., & Limaye, A. S. (2013). Statistical and Hydrological Evaluation of TRMM-Based Multisatellite Precipitation Analysis over the Wangchu Basin of Bhutan. *Journal of Hydrology*, 499, 91–99. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.06.021>
39. Yang, D., Yang, Y., & Xia, J. (2021). Hydrological cycle and water resources in a changing world: A review. *Geography and Sustainability*, 2(2), 115–122.
40. Yang, X., Lu, Y., Tan, M. L., Li, X., Wang, G., & He, R. (2020). Nine-Year Systematic Evaluation of the GPM and TRMM Precipitation Products in the Shuaishui River Basin in East-Central China. *Remote Sensing*, 12(6), 1042. <https://doi.org/10.3390/rs12061042>
41. Zambrano-Bigiarini, M., Rojas, R., & Levizzani, V. (2017). Evaluation of GPM IMERG Satellite Precipitation Products over Chile. *Hydrology and Earth System Sciences*, 21(2), 954–971. <https://doi.org/10.5194/hess-21-954-2017>
42. Zhang, Y., Liu, C., & Zhang, Y. (2023). Evaluation of GPM and TRMM and Their Capabilities for Capturing Solid and Light Precipitations in the Headwater Basin of the Heihe River. *Atmosphere*, 14(3), 453. <https://doi.org/10.3390/atmos14030453>