



NATIONAL UNIVERSITY OF MONGOLIA
SCHOOL OF ARTS AND SCIENCES
DEPARTMENT OF GEOGRAPHY

Geographical Issues

Газарзүйн асуудлууд

Volume 26 (02)

ISSN: 2312-8534

2026

Ulaanbaatar

Climate and Human-Induced Changes in Dunefield Dammed Lakes of Western Mongolia

Davaadorj Bayanzul ^{1*}, Bayarsaikhan Sainbuyan ^{1,2,3}, Erdenesukh Sumiya ⁴, Altanbold Enkhbold ¹

¹ Department of Geography, School of Arts and Sciences, National University of Mongolia, Ulaanbaatar 210646, Mongolia

² Research Laboratory of Geo-Informatics (GEO-iLAB), Graduate school, National University of Mongolia, 210646, Mongolia

³ Urban and Regional development, Research institute, National University of Mongolia, Ulaanbaatar 14200, Mongolia

⁴ Department of Meteorology and Hydrology, School of Arts and Sciences, National University of Mongolia, Ulaanbaatar 210646, Mongolia

*Corresponding author: bayanzul.zfz@gmail.com

Received: 2026.03.08

Revised: 2026.05.17

Accepted: 2026.05.18

Abstract

Comparative studies examining the influence of climate change and human factors on the morphometric dynamics of small dune-dammed lakes remain limited. This study focuses on Sangiin Dalai and Ereen lakes, located in the southern part of the Great Lakes Depression, Govi-Altai Province, western Mongolia. The study investigates how climate variability and human activities have influenced lake morphometric changes over the past 30 years. The methodology integrated the Normalized Difference Water Index (NDWI), Automated Water Extraction Index (AWEI), Random Forest (RF) machine-learning classification, Mann–Kendall (MK) trend analysis, Innovative Trend Analysis Method (ITAM), Shoreline Development Index (SDI), lake volume estimation, and statistical analyses. The results indicate that lake morphometry has generally decreased during the study period under the influence of regional climate change. Morphometric decline in Sangiin Dalai Lake was primarily associated with climatic variability, whereas changes in Ereen Lake were more strongly controlled by river discharge variations and anthropogenic influences. In particular, satellite image analysis revealed that the rapid decline of Ereen Lake between 2007 and 2011 coincided with the water impoundment period of Gegeen Reservoir. This study highlights the comparative influence of climatic and anthropogenic drivers on the morphometric evolution of dune-dammed lakes in arid regions of western Mongolia and provides new insights into the environmental sensitivity of small inland lake systems under ongoing climate change and human activities.

Keywords: Arid region, NDWI, Trend analysis, Lake morphometric change, Climate change, Ereen lake, Sangiin Dalai lake

Баруун Монголын элсэн манхнаар хүрээлэгдсэн нууруудад уур амьсгал ба хүний хүчин зүйлээс шалтгаалсан өөрчлөлт

© Даваадорж Баянзул ^{1*}, Баярсайхан Сайнбуян ^{1,2,3}, Сумьяа Эрдэнэсүх ⁴, Энхболд Алтанболд ¹

¹ Газарзүйн тэнхим, Шинжлэх Ухааны Сургууль, Монгол Улсын Их Сургууль, Улаанбаатар 210646, Монгол Улс

² Зайнаас Тандан Судлал, Газарзүйн Мэдээллийн Системийн Судалгааны Лаборатори, Ахисан Түвшиний Сургууль, Монгол Улсын Их Сургууль, 210646, Монгол Улс

³ Хот, Бүс Нутгийн Хөгжлийн Судалгааны Хүрээлэн, Монгол Улсын Их Сургууль, Улаанбаатар 14200, Монгол Улс

⁴ Цаг Уур, Ус Судлалын Тэнхим, Шинжлэх Ухааны Сургууль, Монгол Улсын Их Сургууль, Улаанбаатар 210646, Монгол Улс

*Харилцагч зохиогч: bayanzul.zfz@gmail.com

Хүлээн авсан: 2026.03.18

Засварласан: 2026.05.17

Зөвшөөрөгдсөн: 2026.05.18

Хураангуй

Элсэн манхнаар хүрээлэгдсэн жижиг нууруудын талбайд уур амьсгалын өөрчлөлт болон бусад хүчин зүйл хэрхэн нөлөөлж байгааг харьцуулсан судалгаа одоогоор хийгдээгүй байна. Энэ судалгаанд Баруун Монголын Их нууруудын хотгорын өмнөд хэсэгт буюу Говь-Алтай аймагт орших Сангийн далай, Эрэн нууруудыг сонгосон. Эдгээр нууруудад сүүлийн 30 жилийн хугацаанд уур амьсгалын болон хүний үйл ажиллагаа морфометрийн өөрчлөлтөд хэрхэн нөлөөлж буйг тодорхойлов. Судалгаанд усны нормчлогдсон индекс (NDWI), Усны автоматжуулсан индекс (AWEI), Машин сургалтын (RF)-ын арга, Чиг хандлагын шинжилгээ (МК), (ITAM)-ний аргууд, Нуурын эргийн шугамын хөгжлийн индекс (SDI), Нууруудын усны эзлэхүүний тооцоо (V), болон статистик шинжилгээний аргуудыг ашиглав. Үр дүнгээр судалгааны хугацаанд нууруудын морфометрийн хэмжээ уур амьсгалын өөрчлөлтийн нөлөөгөөр буурах хандлагатай байна. Сангийн далай нуурын морфометрт уур амьсгалын өөрчлөлтөөс илүү хамааралтай буурч байв. Харин Эрэн нуурын хувьд Завхан голын урсац, хүний үйл ажиллагаанаас илүү хамаарч байв. Тодруулбал Эрэн нуурын огцом бууралт 2007-2011 онд Гэгээн нуурын ус хуримтлуулах хугацааны үетэй давхцаж байгааг сансрын зургийн шинжилгээгээр тогтоов. Энэ судалгаа нь хуурай гандуу бүс нутагт орших элсэн манхнаар хүрээлэгдсэн нууруудын морфометрийн өөрчлөлтөд уур амьсгалын болон хүний хүчин зүйлс хэрхэн нөлөөлж буйг харьцуулан тодруулснаараа онцлог юм.

Түлхүүр үгс: Хуурай гандуу бүс нутаг, NDWI, Чиг хандлагын шинжилгээ, Нуурын морфометрийн өөрчлөлт, Уур амьсгалын өөрчлөлт, Эрэн нуур, Сангийн Далай нуур

©Зохиогчийн оруулсан хувь нэмэр: Д.Баянзул, Б.Сайнбуян: Онолын үндэслэл, үндсэн бичвэр, өгөгдөл боловсруулалт, өгөгдөл цуглуулалт; С.Эрдэнэсүх, Э.Алтанболд: Онолын үндэслэл, үр дүнгийн хяналт.

2312-8534/© 2026 Зохиогчийн бүх эрх хуулиар хамгаалагдсан.

Оршил

Төв Азийн хувьд нууруудын газарзүйн байршилд эртний болон орчин үеийн уур амьсгалын үйл явцууд чухал нөлөө үзүүлж иржээ (Батнасан, 1998; Цэрэнсодном, 2000; Алтанболд, Уламбадрах, 2022; Enkhbold et al., 2026). Орчин үед хүний үйл ажиллагаа мөн нөлөөлөх хандлага илэрч байна (Алтанболд, 2026).

Нуурын гарал үүслийг газрын дотоод, гадаад, хосолмол хүчин зүйл зүйлсийн нөлөөгөөр үүссэн (Цэрэнсодном, 2000; Enkhbold et al., 2022a, b) гэж гурван үндсэн ангид хувааж улмаар хэд хэдэн хэв шинжүүдэд нарийвчлан ялгасан байдаг (Алтанболд, Уламбадрах, 2022). Энэхүү судалгаагаар тектоникийн болон салхины үйл ажиллагаагаар үүссэн хотгорт тогтсон Сангийн Далай (Enkhbold et al., 2021), урсгал усны болон салхины үйл ажиллагаагаар үүссэн Эрэн нууруудыг (Stolz et al., 2012; Enkhbold et al., 2021) сонгож орчин үеийн уур амьсгалын болон хүний үйл ажиллагаа хэрхэн нөлөөлж буйг тодорхойлов. Салхинд туугдаж нүүсэн хурмал элс голын хөндийг боох, эсвэл түйрэн хонхорт тогтсон нуурууд нь ихэвчлэн хуурай уур амьсгалтай говь цөлд голдуу үүсдэг онцлогтой (Баасан, 2003; Алтанболд, Уламбадрах, 2022).

Нууруудын морфометрийн гол үзүүлэлт нь талбай, гүн, эзлэхүүний харьцаагаар тодорхойлдог (Цэрэнсодном, 2000; Алтанболд, 2026). Монгол орны жилийн дундаж агаарын температур сүүлийн 80 гаруй жилд нэмэгдсэн ба тэр дундаа баруун бүс нутгийн дулаарал 2.58-3.0⁰C-ээр нэмэгджээ (Дуламсүрэн, 2022). Монгол орны жилийн нийлбэр хур тунадас сүүлийн энэ хугацаанд 3.3%-иар нэмэгдсэн ч төв болон баруун бүс нутагт 20-44 мм-ээр буурчээ (Дуламсүрэн, 2022). Монголд элсэн манхнаар хүрээлэгдсэн жижиг нууруудын талбайд уур амьсгалын өөрчлөлт болон бусад хүчин зүйл хэрхэн нөлөөлж байгааг харуулсан судалгаа одоогоор хийгдээгүй бөгөөд эдгээр нууруудын морфометрийн үзүүлэлтэд хэрхэн нөлөөлж байгааг тогтоох нь чухал юм. Хуурай гандуу бүс нутгийн орчин үеийн жижиг нууруудын морфометрийн үзүүлэлтүүд (талбай, гүн, эргийн шугам, эзлэхүүн) нь орчин үеийн уур амьсгалын өөрчлөлтөд мэдрэмтгий байдаг (Алтанболд, 2026). Иймээс нуурын морфометрийн өөрчлөлтийг судлах нь чухал юм.

Сүүлийн жилүүдэд зайнаас тандан судлалын өгөгдөл ашиглан нуурын морфометрийн өөрчлөлтийг цаг хугацааны хувьд нарийвчлалтай тодорхойлох боломж нэмэгдэж байна (Enkhbold et al., 2025). Энэхүү арга нь талбайн судалгаатай хослон нуурын динамикийг үнэлэх, уур амьсгал болон хүний үйл ажиллагааны нөлөөг ялган тодорхойлох боломжийг бүрдүүлж байна.

Баруун Монголын хуурай гандуу бүс нутагт орших жижиг нууруудыг сонгон, зайнаас тандан судлалын өгөгдөлд суурилсан шинжилгээний аргаар нууруудын морфометрийн өөрчлөлтөнд уур амьсгалын болон хүний хүчин зүйлс хэрхэн нөлөөлж буйг тодорхойлох зорилготой. Энэхүү зорилгын хүрээнд судалгаанд шаардлагатай хиймэл дагуулын болон уур амьсгалын өгөгдлийг цуглуулж боловсруулан бэлтгэх, хиймэл дагуулын мэдээг ашиглан сонгосон нууруудын талбайг тодорхойлж олон жилийн хугацаан дахь өөрчлөлтийн динамикийг тооцоолон харьцуулах, нууруудын талбай, эзлэхүүний өөрчлөлт болон нуурын эргийн хөгжлийн индексийг тооцох, мөн нууруудын морфометрийн үзүүлэлтэд уур амьсгалын өөрчлөлт болон хүний хүчин зүйлсийн нөлөөг тодорхойлох зорилтуудыг дэвшүүлэв. Эдгээр зорилтуудын хүрээнд хиймэл дагуулын болон уур амьсгалын өгөгдөлд тулгуурлан судалгаанд хамрагдсан нууруудын талбай, эзлэхүүн, эргийн шугамын өөрчлөлтийг олон жилийн хугацаанд тооцоолж, морфометрийн хувьсалд уур амьсгал болон хүний хүчин зүйлс хэрхэн нөлөөлж буйг статистик шинжилгээний аргаар тодорхойлов.

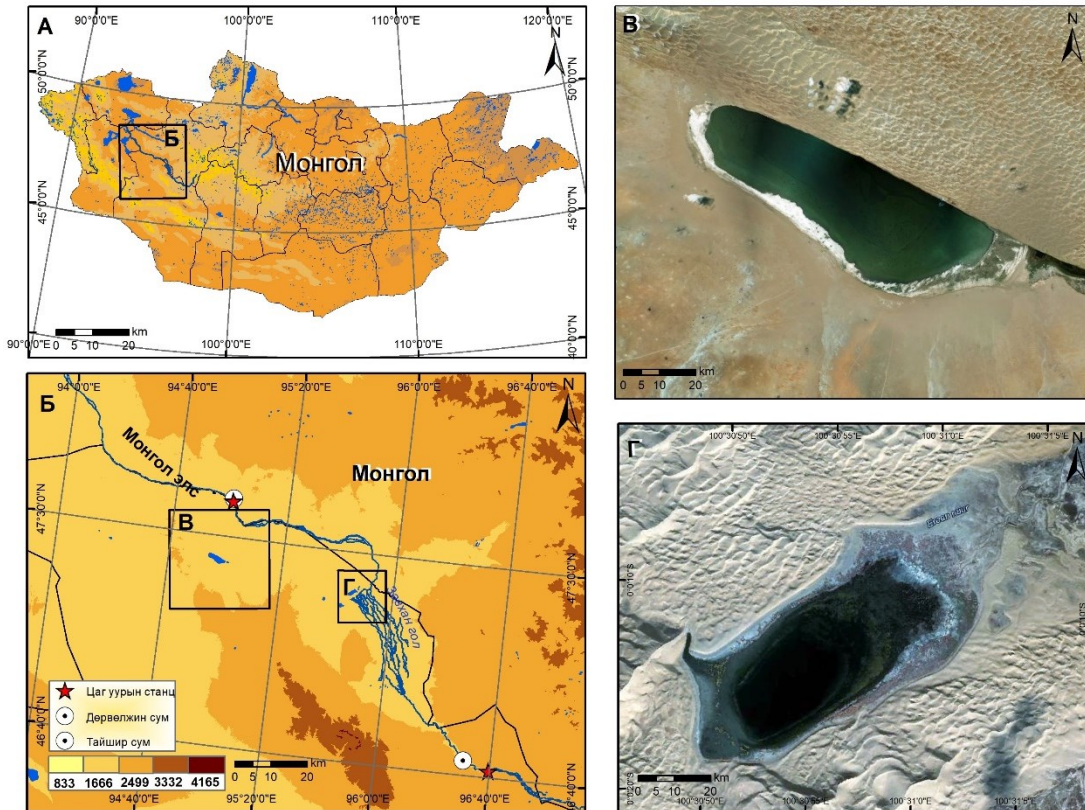
Судалгааны талбай

Энэ судалгаанд Баруун Монголын Их нууруудын хотгорын өмнөд хэсэгт орших Сангийн далай, Эрэн нуурыг сонгов. Сангийн далай нуур нь Говь-Алтай аймгийн Хөхморьт суманд орших 15.5 км² давст нуур юм. Эрэн нуур нь Говь-Алтай аймгийн Жаргалан суманд орших 4.0 км² цэнгэг уст нуур юм (Цэрэнсодном, 2000) (Хүснэгт 1).

Хүснэгт 1. Судалгаанд хамрагдсан нуурууд

№	Нуурын нэр	Орших байгалийн бүс	Газарзүйн байршил	Орших өндөр (д.т.дээш метрээр)
1	Сангийн далай	Говийн	N 47° 24' 10.5", E 94° 57' 33.9"	1354.5
2	Эрээн		N 47° 20' 4.9", E 95° 45' 30.9"	1450.5

Эдгээр нуурууд нь Баруун Монголын хуурай гандуу бүс нутагт Монгол Элсний дунд оршдог ландшафтын хувьд өвөрмөц тогтоцтой тул судалгааны талбайгаар сонгосон (Зураг 1).



Зураг 1. Судалгааны талбайн газарзүйн байршил А. Монгол улс Б. Баруун Монголын хуурай гандуу бүс нутаг В, Г. Элсэн манханаар хүрээлэгдсэн Сангийн далай, Эрээн нуурууд

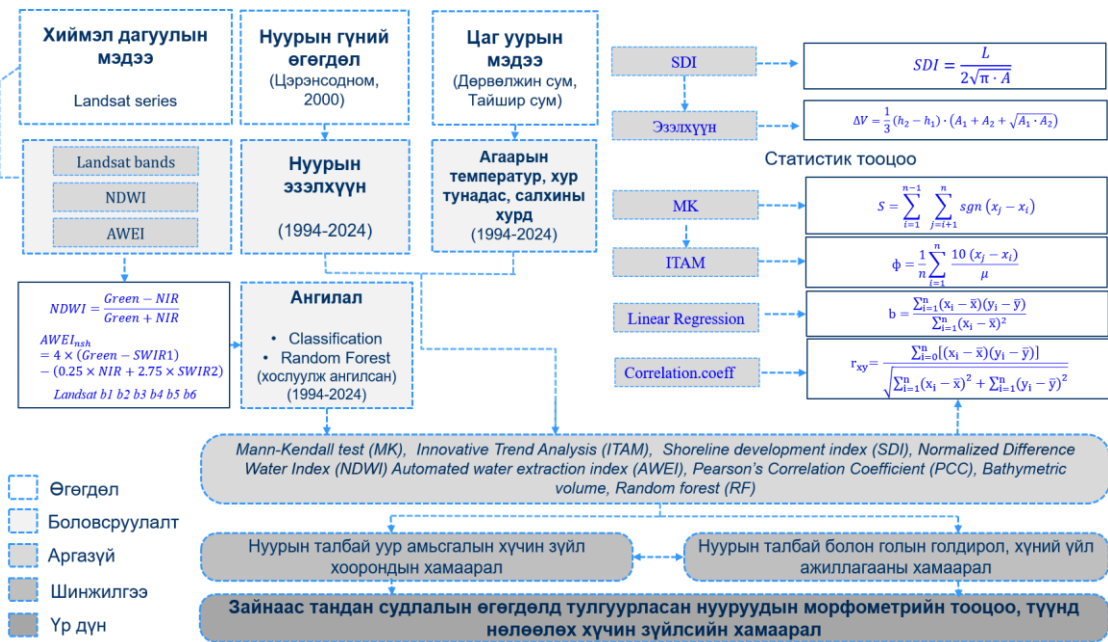
Сангийн далай нуур: Говь-Алтай аймгийн Хөхморьт сумын нутагт Монгол элсний өмнө 1354.5 м өндөрт байдаг эолийн гаралтай эрдэст нуур юм. 15.5 км² талбайтай. 7.9 км урт, 2.6 км өргөн, эргийн шугамын урт 18.6 км, усны гүн 3.8 м, эзлэхүүн 25 сая м³. Ёроолдоо цайвар лаг наанги шавар, эрэг дагуу торгон элсэн хаялгатай, усны ургамал ургадаг. 350.5 км² талбайгаас усжих боловч хур бороо, гүний ус чухал үүрэгтэй. Ерөнхий эрдэсжилт 45.9 г/л, химийн найрлагаараа хлорын ангийн натрийн төрөлд багтана. Зундаа нүүдлийн шувууд хуран цуглардаг, амралт сувиллын боломж сайтай нуур юм (Цэрэнсодном, 2000).

Эрээн нуур: Говь-Алтай аймгийн Жаргалант сумын нутаг, Завхан голын тохойд 1451 м өндөр элсэнд хаагдаж тогтсон цэнгэг үзэсгэлэнт нуур. 4.0 км² талбайтай, 3.8 км урт 1.7 км өргөн, эргийн шугамын урт 10.2 км. Нүүдлийн шувууд хуран цугларна. Загас элбэгтэй, рекреацийн боломж сайтай (Цэрэнсодном, 2000; Stolz et al., 2012). Эрээн нуур нь элсэн манхнаар хүрээлэгдсэн өвөрмөц тогтоцтой, нуурын усны талбай багассанаар ууршилт нэмэгдэж, усны эрдэсжилт болон хатуулаг ихсэх хандлагатай болсон (Soyol-Erdene et al., 2025). Соёл-Эрдэнэ (2025) нарын судалгаанд усны найрлага дахь гол ионуудын харьцаа өөрчлөгдөж байгаа нь нуурын өөрөө цэвэрших болон экосистемийн тэнцвэрт байдалд сөрөг нөлөө үзүүлж байгааг тодорхойлжээ. Түүнчлэн усны

түвшин буурч, эрдэжилт нэмэгдэх нь нуурын ёроолын ургамал болон усны бичил биетүүдийн амьдрах орчныг хумих эрсдэлийг дагуулж байгааг онцолсон байна (Soyol-Erdene et al., 2025).

Судалгааны өгөгдөл, арга зүй

Энэ судалгаанд Усны нормчлогдсон индекс (NDWI), Усны автоматжуулсан индекс (AWEI)-ийг тооцоход “Landsat” хиймэл дагуулын <https://earthexplorer.usgs.gov/> дүрс мэдээг татаж радиометрийн заслуудыг хийж боловсруулж ашиглав. Судалгаанд “Landsat TM” хиймэл дагуулын 2, 4 суваг, “Landsat OLI” хиймэл дагуулын 3, 5 сувгийг ашигласан (USGS, 2024). Түүнчлэн Завхан аймгийн Дөрвөлжин сум, Говь-Алтай аймгийн Тайшир сумын 1991-2021 оны уур амьсгалын өгөгдөл мэдээг <http://irimhe.namem.gov.mn/>, сангаас авч энэ судалгаанд ашиглав. Нууруудын эзлэхүүний тооцоог хийхэд Цэрэнсодном (2000) хэмжилтийн мэдээг тулгуур үзүүлэлт болгон ашиглаж дараах аргазүйн бүдүүвчийн хүрээнд судалгааг хийв (Зураг 2).

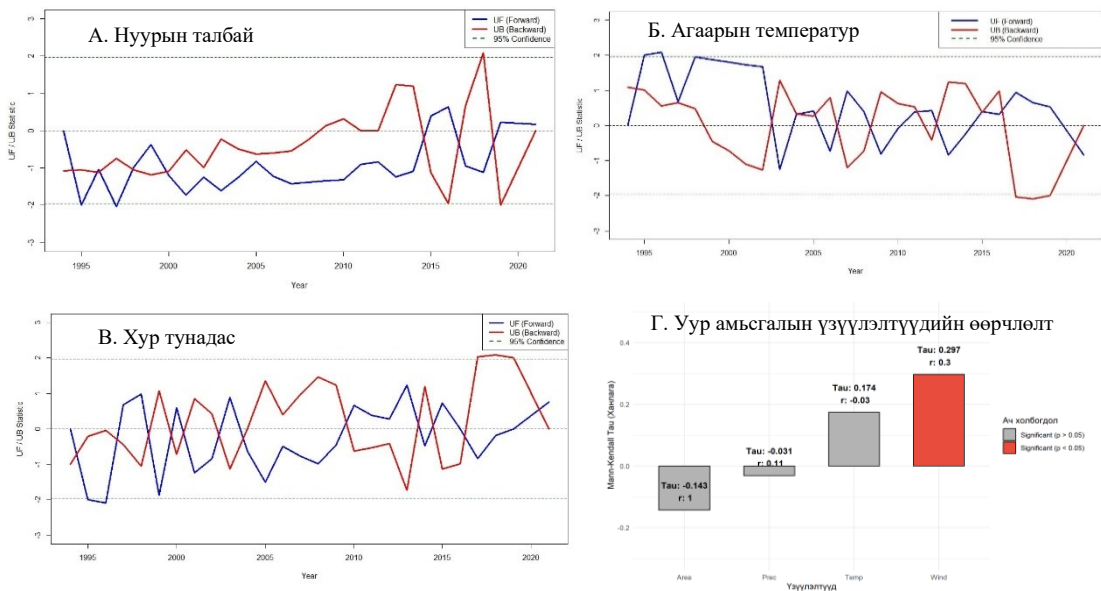


Зураг 2. Судалгааны аргазүйн бүдүүвч

Судалгааны үр дүн ба хэлэлцүүлэг

Нууруудын морфометрийн өөрчлөлт ба уур амьсгалын нөлөө:

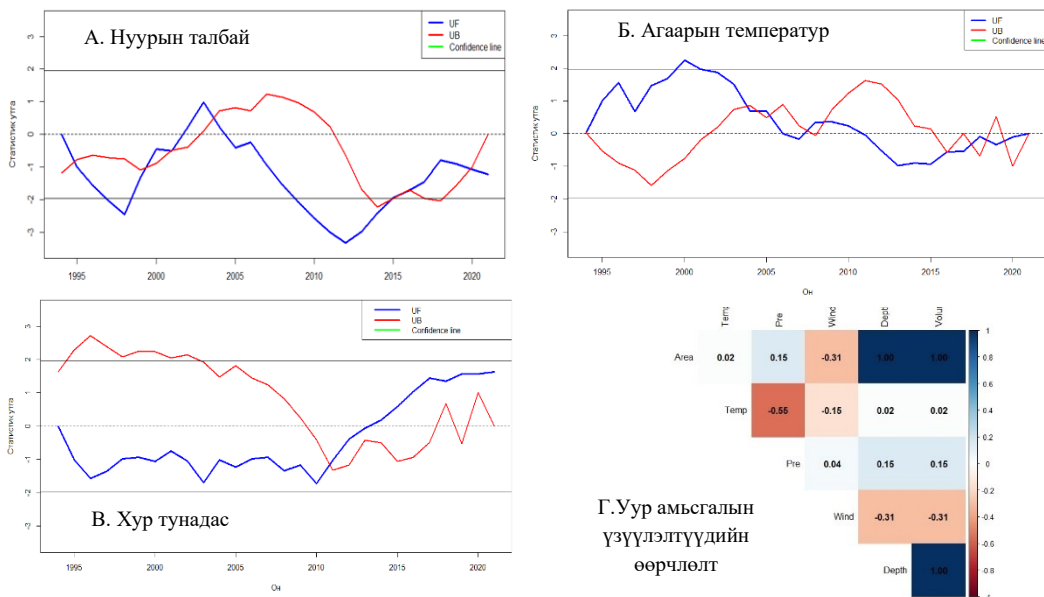
Нууруудын талбай, эзлэхүүний өөрчлөлт, эргийн шугамын хөгжлийн индекс, уур амьсгалын хүчин зүйлсийн хамаарлыг тодорхойлсон. Хуурай гандуу уур амьсгалтай говийн бүсэд орших Сангийн далай, Эрээн нуурын талбайн өөрчлөлтийг 30 жилийн хугацаатайгаар жил бүрийн талбайг тооцож уур амьсгалын хамааралтай нь уялдуулж тооцоо хийв (Зураг 3)



Зураг 3. А. Сангийн далай нуурын талбайн өөрчлөлт Б. Агаарын температур В. Хур тунадасны чиг хандлага Г. Уур амьсгалын үзүүлэлтүүдийн өөрчлөлт (Улаан өнгө нь статистик ач холбогдолтой болохыг илтгэнэ)

Сангийн далай нуурын талбайн өөрчлөлтийг 30 жилийн хугацаатайгаар жил бүрийн талбайг тооцож уур амьсгалын хамааралтай нь уялдуулж тооцоо хийв. Нуурын талбайн өөрчлөлтийн хандлагаас үзвэл 1994-2014 он хүртэл тогтвортой буурчээ. Харин 2014-2015, 2018-2019 онуудад огцом бууралт ажиглагдав. Агаарын температурын чиг хандлагаар 1995-2002 оны хооронд температур статистик ач холбогдол бүхий огцом өсөлттэй байсан. Харин 2003 оноос хойш температурын чиг хандлага тогтворгүй болж, ялангуяа 2004, 2012, 2015 онуудад эрс өөрчлөлтийн тогтворгүй утгууд бүртгэгдсэн байна. Энэхүү температурын тогтворгүй байдал нь нуурын талбайн хэлбэлзэлд шууд болон шууд бусаар нөлөөлөх хүчин зүйл болж байв.

Эрээн нуурын талбайн өөрчлөлтийг 30 жилийн хугацаатайгаар жил бүрийн талбайг тооцож уур амьсгалын хамааралтай нь уялдуулж тооцоо хийв (Зураг 4).

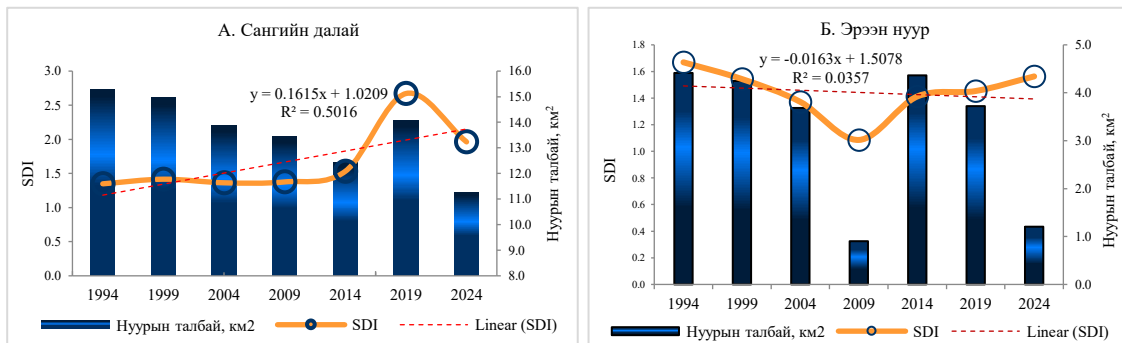


Зураг 4. А. Эрэн нуурын талбайн өөрчлөлт Б. Агаарын температур В. Хур тунадасны чиг хандлага Г. Уур амьсгалын үзүүлэлтүүдийн өөрчлөлт

Эрэн нуурын талбайн өөрчлөлтийн хандлага 1994-2006 он хүртэл тогтвортой буурч байсан бол 2007-2011 онд чиг хандлагын утга -1.96 буюу нуурын талбайн огцом бууралт илэрч, түүнээс хойших хугацаанд тогтворжих хандлага илэрчээ.

Агаарын температурын чиг хандлагаар 1995-2000 оны хооронд температур статистик ач холбогдол бүхий огцом өсөлттэй байв. Энэхүү дулаарал нь нуурын талбай буурахад гол нөлөө үзүүлсэн байна. Харин 2007-2011 онуудад хүний үйл ажиллагааны нөлөөгөөр нуурын талбай буурчээ. Энэ хугацаанд Завхан голын урсцыг хааж Тайширын Гэгээн нуурын усан санд ус хуримтлуулж байсан (Enkhbold et al., 2025) үетэй давхцаж байна.

Судалгааны дараагийн шатанд нууруудын талбай болон эргийн шугамын хөгжлийн индексийг тооцоолж үр дүнг харьцуулав (Зураг 5).



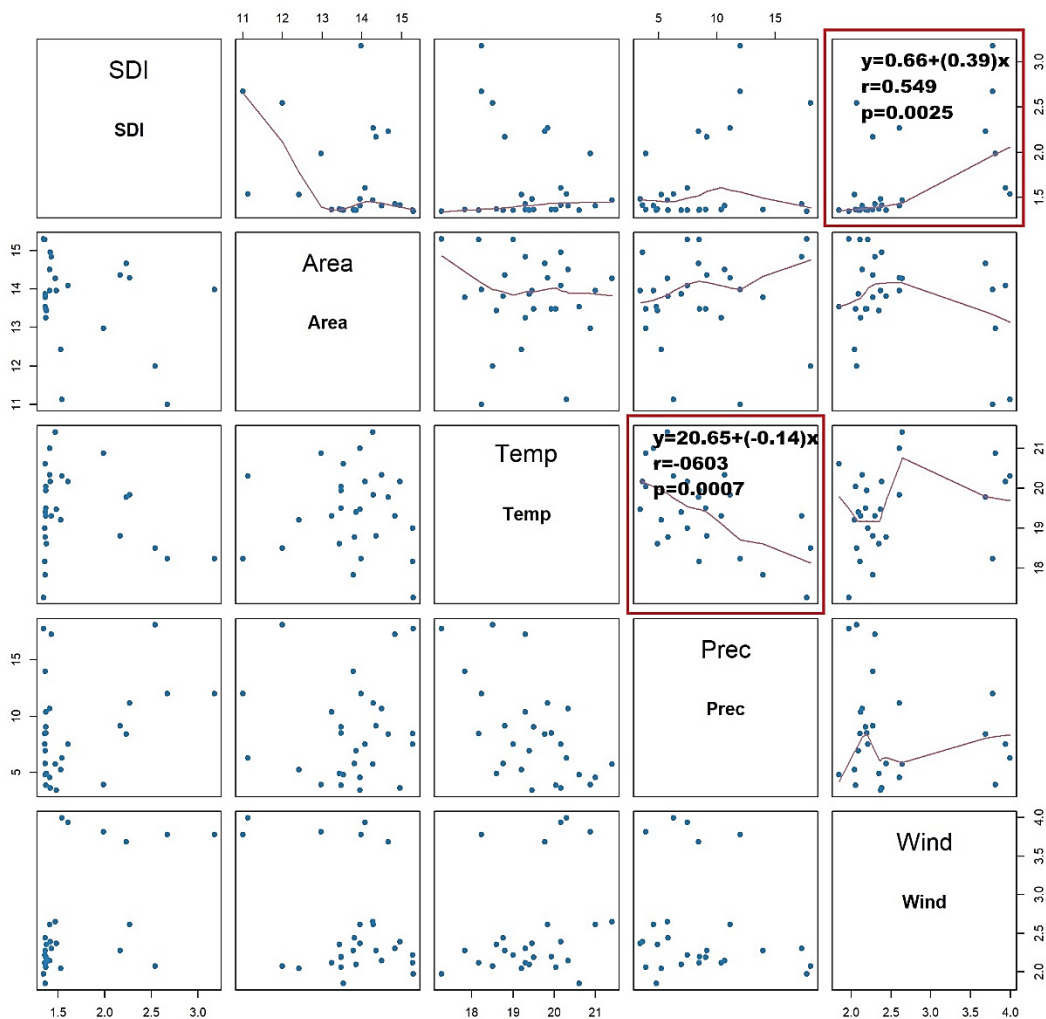
Зураг 5. А. Сангийн далай нуурын талбай ба эргийн шугамын хөгжлийн индексийн хамаарал Б. Эрэн нуурын талбай ба эргийн шугамын хөгжлийн индексийн хамаарал

Сангийн далай нуурын талбай болон эргийн шугамын хөгжлийн индексийн (SDI) хамаарлыг авч үзэхэд нуурын талбай багасах тусам эргийн шугамын тэгш бус байдал ихсэх хандлагатай байв. Судалгааны хугацаанд SDI индекс дунджаар 1.3-2.5-ын хооронд хэлбэлзэж байв. Харин 2021 онд хамгийн өндөр утга буюу 3.1-т хүрсэн байна. Энэ нь нуурын талбай татарч, усны түвшин багасах үед нуурын хэлбэр дүрс эрс өөрчлөгдөж, эргийн хэрчигдэл нэмэгдэж байв. SDI индексийн өөрчлөлтийн 30% нь цаг хугацааны хамааралтайгаар эргийн шугам өөрчлөгдөж ялангуяа элсний

нүүдэл нөлөөлж буйг илтгэнэ. Түүнчлэн энэ зүй тогтол нь нуурын хотгорын тектоникийн болон салхины гарал үүсэлтэй шууд холбоотой юм (Enkhbold et al., 2021).

Эрэн нуурын хувьд нуурын талбай багасах тусам эргийн шугам тогтвортой багасах буюу дугуй хэлбэртэй болж байв. Судалгааны хугацаанд SDI индекс 2007-2011 онд нуурын талбай хамгийн бага байх үед SDI индексийн утга доод түвшиндээ хүрчээ. 2015 оноос нуурын талбай эргэн сэргэхэд SDI индекс хамгийн өндөр утга 1.7 орчим хүрсэн. Эрэн нуурын эргийн шугамын хэлбэржилтийг зөвхөн талбайн хэмжээгээр тайлбарлах боломжгүй юм. Элсний нүүдэл нь Эрэн нуур элсээр хүрээлэгдсэн тул салхиар элс нүүж нуурын эрэгт хуримтлагдах нь SDI индексэд талбайгаас илүү хүчтэй нөлөөлдөг байх магадлалтай байна. Завхан голын урсцын зүй тогтол эргийн шугамын динамикийг тодорхойлогч гол хүчин зүйлс болж байв. Энэ нь нуурын хотгорын үндсэн гарал үүсэл нь Завхан голын эртний голдирлын өөрчлөлтийн нөлөөнд оршдог (Stolz et al., 2012) болохыг илэрхийлж байна.

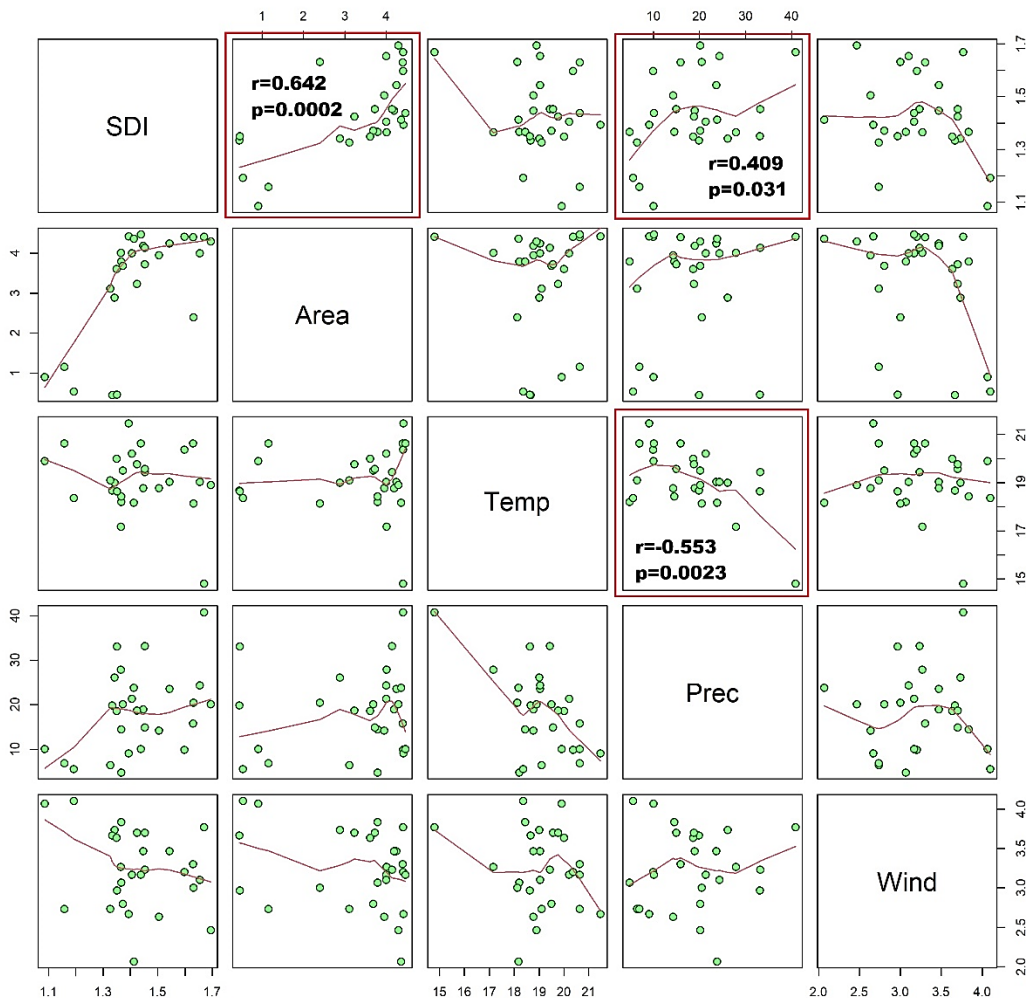
Сангийн далай, Эрэн нуурын эргийн шугамын хөгжлийн индекс ба уур амьсгалын хүчин зүйлс хоорондын хамаарлын матрицыг тооцож гаргав (Зураг 6-7).



Зураг 6. Сангийн далай нуурын эргийн шугамын хөгжлийн индекс (SDI) ба уур амьсгалын хүчин зүйлс хоорондын хамаарлын матриц

Сангийн далай нуурын эргийн шугамын хөгжлийн индекс (SDI) болон уур амьсгалын хүчин зүйлсийн хамаарал нь салхины нөлөө ($r = 0.549$, $p = 0.0025$), нуурын хэлбэр өөрчлөгдөхөд

нөлөөлөх нэг хүчин зүйл болж байв. Мөн температур болон тунадасны хооронд сөрөг хамаарал ($r = -0.603$, $p = 0.0007$) ажиглагдсан нь дулаарал явагдахын хэрээр хур тунадас багасаж, улмаар нуурын талбай багасах нөхцөлийг бүрдүүлж байв.



Зураг 7. Эрээн нуурын эргийн шугамын хөгжлийн индекс уур амьсгалын хүчин зүйлс хоорондын хамаарлын матриц

Эрээн нуурын эргийн шугамын хөгжлийн индекс (SDI) болон уур амьсгалын хүчин зүйлсийн хамаарлыг тооцоход нуурын талбай ба SDI-д хүчтэй эерэг хамааралтай ($r = 0.642$, $p = 0.0002$) буюу статистик ач холбогдлын түвшин маш өндөр, нуурын талбай тэлэх тусам эргийн шугамын хөгжлийн индекс (SDI) дагаж нэмэгддэг. Харин SDI ба хур тунадасны хооронд дунд зэргийн эерэг хамаарал ($r = 0.409$, $p = 0.031$) ажиглагдаж байна. Хур тунадас их орох нь нуурын талбайг нэмэгдүүлж, улмаар эргийн шугамын хэлбэржилтийг илүү "хөгжсөн" буюу ороомог хэлбэрт шилжүүлэхэд шууд бус нөлөө үзүүлжээ. Мөн температур болон тунадасны хооронд хүчтэй сөрөг хамаарал ($r = -0.553$, $p = 0.0023$) ажиглагдсан нь агаарын температур нэмэгдэх тусам хур тунадасны хэмжээ багасах буюу бүс нутагт хуурайшилт эрчимжих хандлагатайг ($r = -0.553$) харуулж байна. Энэ нь нуурын ууршилт нэмэгдэж, талбай буурахад SDI-д дам нөлөө үзүүлдэг байна.

Судалгаанд хамруулж буй нууруудын талбай ба уур амьсгалын чиг хандлагын Манн-Кендалл (МК), Чиг хандлагын тооцоо (ITAM), Нуурын эргийн шугамын хөгжлийн индекс (SDI) зэрэг үзүүлэлтийг тооцож гаргав (Хүснэгт 2).

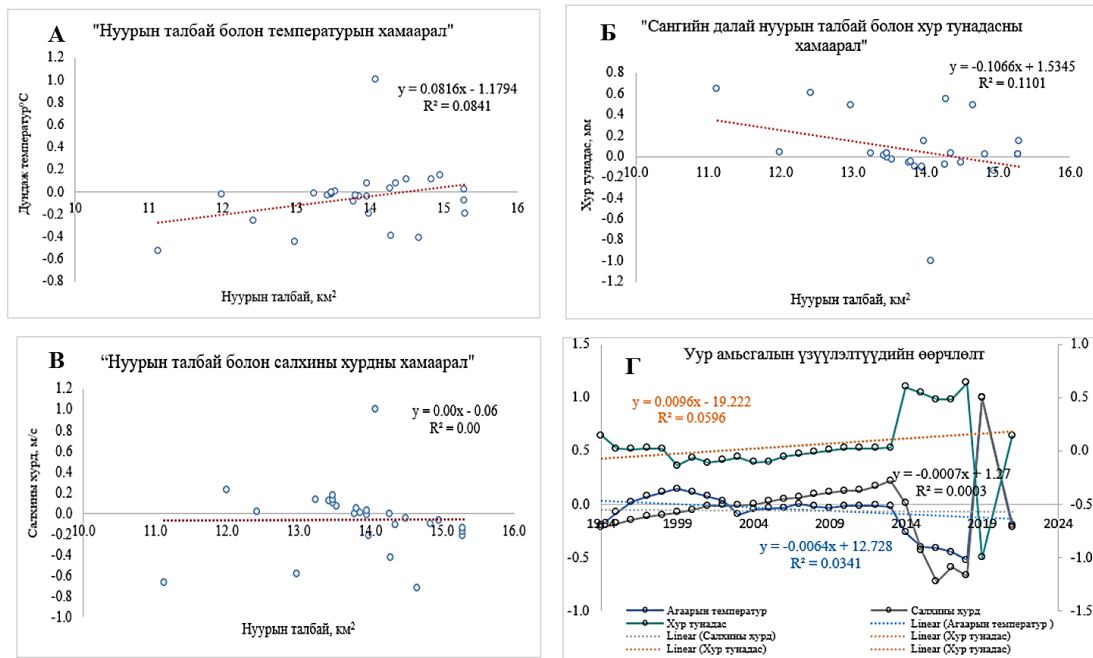
Хүснэгт 2 .Нууруудын талбай болон уур амьсгалын үзүүлэлтүүдийн чиг хандлага

Нуурын нэр	Үзүүлэлтүүд	МК	ITAM	SDI
Сангийн далай нуур	Нуурын талбай	-0.546*	-0.088*	-0.303
	Агаарын температур	1.251	0.038	-0.228
	Хур тунадас	-0.428	-0.034	0.339
	Салхины хурд	2.972*	0.039*	0.548
Эрэн нуур	Нуурын талбай	-0.162	-0.015*	0.642*
	Агаарын температур	2.186*	-0.0089	0.409*
	Хур тунадас	0.221	0.0289	-0.253
	Салхины хурд	0.250	0.017	-0.226

Сангийн далай нуурын хувьд МК (-0.546)* ба ITAM (-0.088)* хоёр үзүүлэлт хоёулаа хасах утгатай байгаа нь нуурын талбай судалгааны хугацаанд статистик ач холбогдолтойгоор буурч байгааг баталж байна. МК (1.251) ба ITAM (0.038): Эдгээр нь эерэг утгатай байгаа нь бүс нутгийн агаарын температур өсөх хандлагатай байгааг харуулж байна. МК (-0.428) ба ITAM (-0.03): Хасах утгатай байгаа нь хур тунадасны хэмжээ жил ирэх тусам багасаж байгааг илтгэнэ. Энэ нь нуурын талбай багасахад нөлөөлж буй гол хүчин зүйл юм. МК (2.972) ба ITAM (0.039):* Энэ хэсэгт хамгийн өндөр өсөлт ажиглагдаж байна. Салхины хурд маш хүчтэй, статистик ач холбогдолтойгоор нэмэгдэж байна. SDI (0.548) салхины хурд ихсэх тусам нуурын эргийн шугамын хөгжлийн индекс (SDI) нэмэгдэж байгаа нь салхины нөлөөгөөр нуурын хэлбэр өөрчлөгдөх (элсний нүүдэл) магадлал өндөр байгааг харуулж байна.

Эрэн нуурын талбай МК (-0.162) ба ITAM (-0.015)* гэсэн үзүүлэлттэй байгаа нь Эрэн нуурын талбай олон жилийн явцад статистик ач холбогдол бүхий буурах хандлагатай байгааг баталж байна. Агаарын температур МК утга нь 2.186* байгаа нь тухайн бүс нутагт агаарын температур статистик ач холбогдолтойгоор 1995-2000 оны хооронд эрчимтэй нэмэгдэж буйг илтгэнэ. Энэ нь нуурын ууршилтыг нэмэгдүүлж, талбай буурахад нөлөөлөх хүчин зүйл болжээ. Нууруудын чиг хандлагын шинжилгээнээс үзэхэд нуурын талбай буурсан бол агаарын температур өсөх, хур тунадас багасах хандлага илэрч байна.

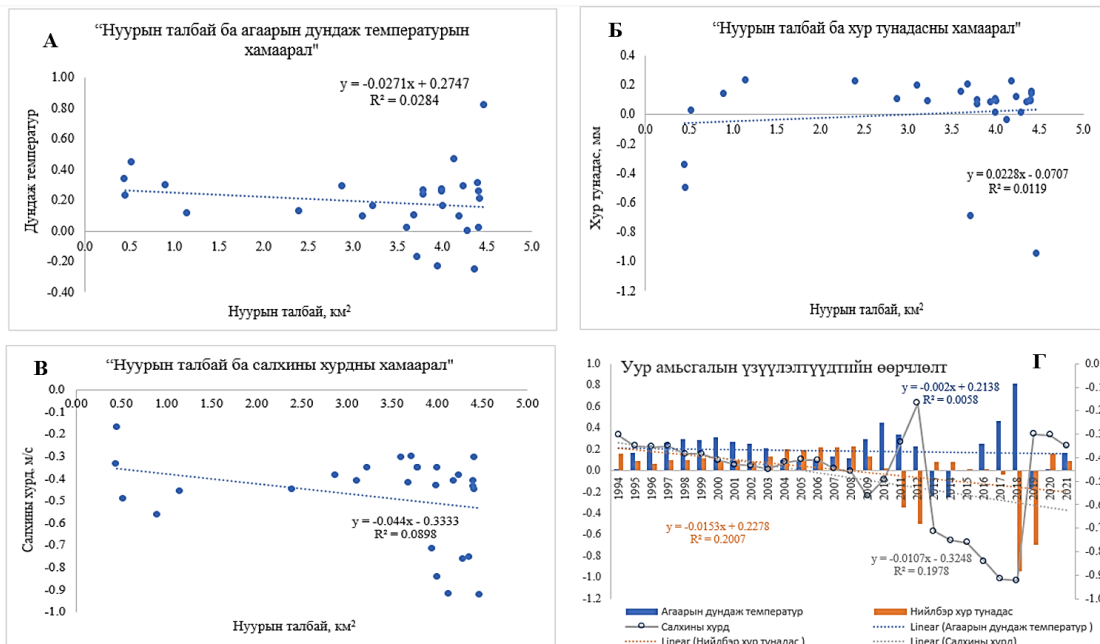
Сангийн далай нуурын талбай 2000 оноос хойш тогтмол буурах хандлага илэрсэн. Энэ зүй тогтлыг нуурын талбай буурч эхэлсэн цаг хугацааны мөчлөгтэй нь уялдуулан дараах байдлаар тооцоолов (Зураг 8).



Зураг 8. А. Нуурын талбай ба температурын хамаарал Б. Нуурын талбай ба хур тунадасны хамаарал В. Нуурын талбай ба салхины хурдны хамаарал Г. Уур амьсгалын үзүүлэлтийн өөрчлөлт

Сангийн далай нуурын талбайн өөрчлөлтөд агаарын температурын хамаарал $R^2=0.08$ буюу 8.4% харьцангуй хамаарал багатай, харин хур тунадасны хувьд $R^2=0.11$ буюу 11%-ийн бага сөрөг хамааралтай буюу хур тунадас дангаараа нуурын талбайд шийдвэрлэх нөлөө үзүүлж чадахгүйг илтгэж байна, нуурын талбай ба салхины хамааралгүй буюу салхи нь нуурын эргийн шугамын хөгжилд нөлөөлөхөөс талбайн хэмжээнд шууд нөлөө үзүүлж чадахгүй байна. Шугаман регрессийн шинжилгээгээр Сангийн далай нуурын талбайн хэмжээ болон уур амьсгалын хүчин зүйлсийн (температур, тунадас, салхи) хооронд шууд хүчтэй хамаарал тогтоогдсонгүй ($R^2 < 0.12$). Энэ нь тухайн нуурын талбайн өөрчлөлтөд зөвхөн хур тунадас, температур нөлөөлөхөөс гадна газрын доорх усны тэжээгдэл, элсний нүүдэл болон бусад цогц хүчин зүйлс илүү хүчтэй нөлөөлж байх магадлалтайг харуулж байна.

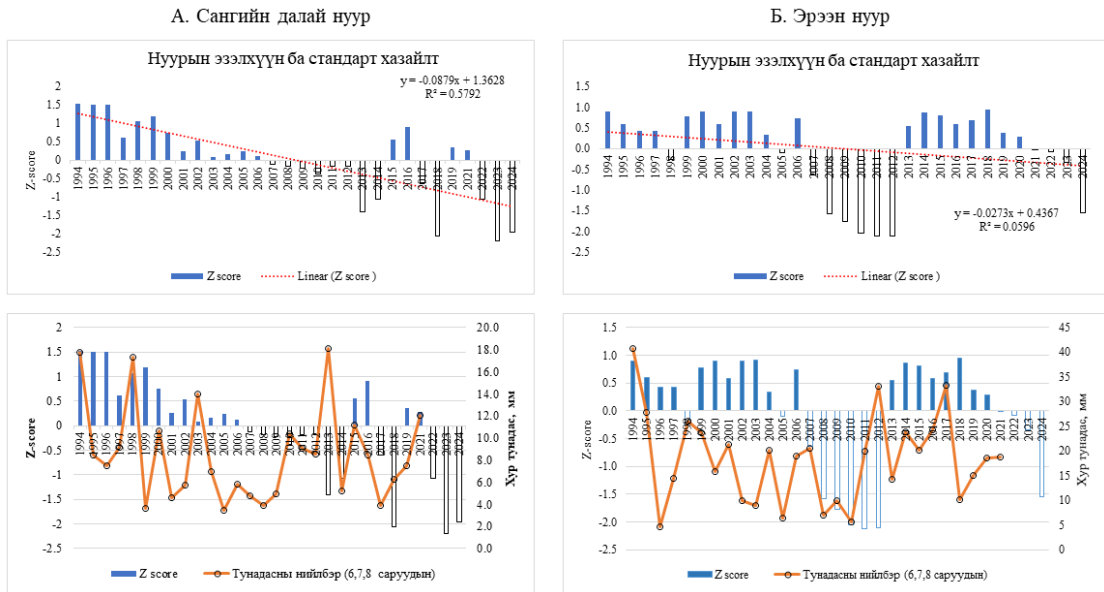
Эрэн нуурын талбай 2007-2011 онд огцом буурах хандлага илэрсэн. Энэ зүй тогтлыг нуурын талбай цаг хугацааны мөчлөгтэй нь уялдуулан дараах байдлаар тооцоолов (Зураг 9).



Зураг 9. А. Нуурын талбай ба температурын хамаарал Б. Нуурын талбай ба хур тунадасны хамаарал В. Нуурын талбай ба салхины хурдны хамаарал Г. Уур амьсгалын үзүүлэлтийн өөрчлөлт

Эрэн нуурын талбайн өөрчлөлтөд агаарын температурын хамаарал 1994-2024 он хүртэл $R^2 = -0.02$ буюу 2.8% маш сул хамааралтай, хур тунадасны хувьд $R^2 = 0.15$ буюу 15%-ийн бага хамааралтай, харин салхины хамаарал $R^2 = -0.31$ буюу 31%-ийн сөрөг хамааралтай байв. Энэ нь салхины хурд ихсэх тусам нуурын ууршилт нэмэгдэх эсвэл элсний нүүдэл нуурын талбайд нөлөөлжээ. Эрэн нуурын орчимд агаарын температур болон хур тунадасны хооронд статистик ач холбогдол бүхий хүчтэй сөрөг хамаарал ($r = -0.553$, $p = 0.0023$) ажиглагдаж байгаа нь бүс нутгийн хуурайшилтыг илтгэнэ. Харин нуурын талбайн өөрчлөлтөд хур тунадасны нөлөө ($r = 0.15$) болон салхины хурдны нөлөө ($r = -0.31$) харьцангуй сул байгаа нь нуурын усны горимд уур амьсгалаас гадна хүний үйл ажиллагаа, голын урсац зэрэг бусад хүчин зүйлс нөлөөлсөн байх боломжтой юм.

Говийн бүсэд орших Сангийн далай, Эрэн нуурын талбай, гүний өгөгдөлд тулгуурлан эзлэхүүнийг тооцоолж цаг хугацааны өөрчлөлт ба олон жилийн стандарт хазайлт (Z-score)-ыг тооцоолов (Зураг 10).



Зураг 10. Нууруудын эзлэхүүний олон жилийн стандарт хазайлт (Z-score), эзлэхүүний өөрчлөлт ба хур тунадасны динамик өөрчлөлт

Сангийн далай нуурын эзлэхүүний өөрчлөлтийг олон жилийн дунджаас хазайх хазайлтаар (Z-score) тооцоход 2000-аад оны эхэн үе хүртэл Z-score эерэг утгатай буюу эзлэхүүн олон жилийн дунджаас их байсан. Харин 2007 оноос хойш (2015-2016 оныг эс тооцвол) тогтмол сөрөг утгатай гарч байна. Ялангуяа 2018 (-2.06) болон 2023 (-2.20) онуудад Z-score нь -2.0-оос бага утгатай гарсан нь нуурын эзлэхүүн эрс буурч, уур амьсгалын хүчин зүйлийн нөлөөнд хүчтэй өртсөнийг харуулж байна.

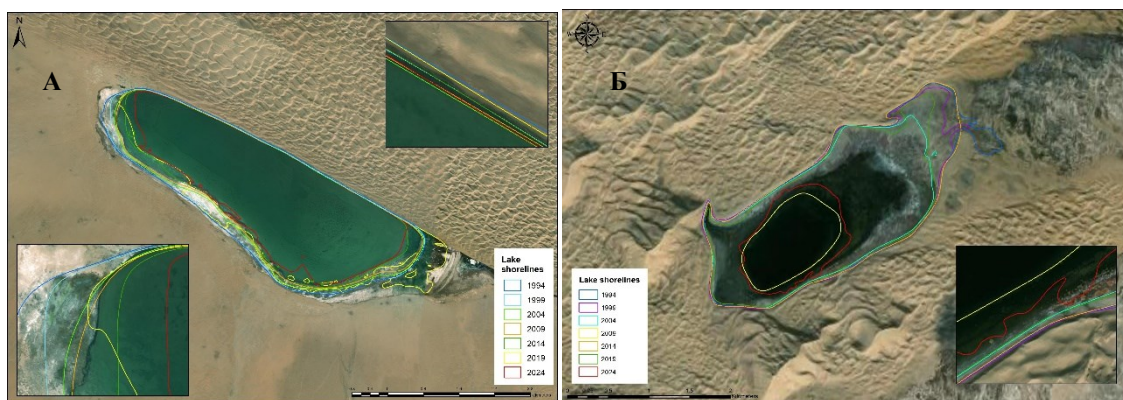
Сангийн далай нуурын эзлэхүүний стандарт хазайлт (Z-score) болон зуны саруудын хур тунадасны динамик нь хоорондоо өндөр хамааралтай байв. Тухайлбал, 1994, 1998, 2013 онуудад хур тунадас олон жилийн дунджаас эрс их байхад (16-18 мм) нуурын эзлэхүүн дагаж нэмэгдэн, эерэг аномали ($Z > 1.0$) үзүүлсэн байна. Нуурын эзлэхүүн 2006-2012 оны хооронд хур тунадасны багадалтыг дагаж тасралтгүй буурч, сөрөг аномалид шилжсэн байна. Гэвч 2013 оны их хэмжээний хур тунадасны нөлөөгөөр нуурын усны нөөц эргэн сэргэж байгаа нь ажиглагдсан. Эндээс уг нуур нь хур тунадас ба ууршилтын тэнцвэр дээр оршин тогтнодог болохыг харуулж байна.

Сүүлийн жилүүдэд хур тунадасны хэмжээ эрс багассан (< 8 мм) байгаатай холбоотойгоор нуурын эзлэхүүний Z-score утга түүхэн доод түвшиндээ буюу -2.0-оос доош орж, хүчтэй сөрөг утга ажиглагдаж байна. Иймд Сангийн далай нуур нь бүс нутгийн хуурайшилт болон хур тунадасны дутагдалд маш мэдрэмтгий байна.

Эрэн нуурын эзлэхүүн олон жилийн стандарт хазайлт (Z-score)-ын хандлагаас үзэхэд шугаман хандлагаар буурах хандлагатай байна. Эзлэхүүн болон стандарт хазайлт (Z-score)-ын хувьд $R^2=0.059$ байгаа нь нуурын эзлэхүүний өөрчлөлтөд уур амьсгал, хүний үйл ажиллагаа хүчтэй нөлөөлж буйг илтгэнэ. Зураг 10Б-ээс нуурын усны түвшний хоёр томоохон хэлбэлзлийг харж болно. Судалгааны эхэн үед (1994-2006) стандарт хазайлт (Z-score)-ын утга тогтмол эерэг буюу $Z > 0$ байсан нь нуурын эзлэхүүн олон жилийн дунджаас өндөр, усны нөөц арвинтай байсныг илтгэнэ. Харин 2007 оноос эхлэн стандарт хазайлт (Z-score)-ын утга огцом буурч, сөрөг утга руу шилжсэн байна. Ялангуяа 2010-2012 онуудад Z утга -2.0-оос бага гарсан нь нуурын эзлэхүүн түүхэн дунджаас эрс багассан "хүчтэй сөрөг утга"-аар илэрхийлэгдэж байна. Энэ нь Тайширын усан цахилгаан станц (УЦС)-ын Гэгээн нуурыг дүүргэж эхэлсэн хугацаатай давхцаж байгаа бөгөөд доод голдирол дахь усны тэжээгдэл тасалдсаны дам нөлөө юм.

2013-2018 оны хооронд нуурын ус бага зэрэг нэмэгдсэн ч 2022 оноос эхлэн дахин огцом буурч, 2024 онд стандарт хазайлт (Z -score)-ын утга -1.5 орчимд хүрсэн байна. Энэ нь тухайн жилүүдийн хур тунадасны хэмжээ болон Тайширын усан сангаас ирэх усны зохицуулалттай холбоотой байж болох юм.

Нуурын эзлэхүүний хазайлт (Z -score) болон зуны саруудын (6, 7, 8-р сар) хур тунадасны хэмжээ хоорондоо хүчтэй хамааралтай байна. Тухайлбал, 1990-ээд оны дунд үед хур тунадас их байхад (40 мм орчим) нуурын эзлэхүүн эерэг аномалитай ($Z > 0.5$) байсан бол тунадас багассан жилүүдэд (жишээ нь: 1996, 2002) нуурын эзлэхүүн дагаж буурсан үзүүлэлттэй байна. Хамгийн сонирхолтой дүр зураг 2007 оноос хойш ажиглагдаж байна. Хэдийгээр 2012, 2014, 2017 онуудад хур тунадасны хэмжээ олон жилийн дундажтай ойролцоо эсвэл нэмэгдсэн (шугаман график дээшилсэн) боловч нуурын эзлэхүүн (цэнхэр багана) тогтмол сөрөг утгатай буюу маш бага түвшинд байна. Энэ нь 2008 онд Тайширын УЦС ашиглалтад орсноос хойш нуурын тэжээгдэлд зөвхөн хур тунадас бус голын урсцын зохицуулалт нөлөөлж эхэлснийг баталж байгаа юм. Эрэн нуурын эзлэхүүн 2007 он хүртэл байгалийн (хур тунадасны) хүчин зүйлийн нөлөөнд байсан бол сүүлийн 15 жилд хүний үйл ажиллагааны шууд бус нөлөөнд оршиж байна (Зураг 11).

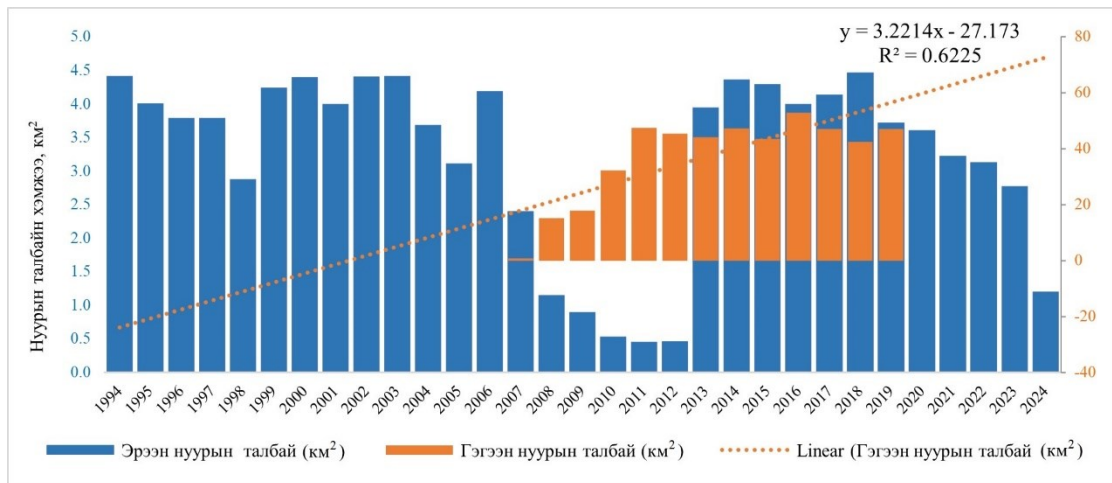


Зураг 11. Нууруудын морфометрийн өөрчлөлт А. Сангийн далай Б. Эрэн нуур (5 жилийн интервалаар)

Сангийн далай нуурын талбайг 1994 онтой харьцуулахад 2024 оны түвшин багасах хандлага илэрсэн. Уур амьсгалын өөрчлөлтийн нөлөөнөөс хамаарч байна. Эрэн нуурын талбайг 1994 онтой харьцуулахад 2024 оны түвшин огцом багасах хандлага илэрсэн. Нуурын талбайн өөрчлөлт 1997-2007 онуудад уур амьсгалаас хамаарч багасаж байсан бол 2007-2011 онд хүний үйл ажиллагаа нөлөөгөөр огцом буурсан хамааралтай байна. Түүнээс хойших хугацаанд Тайширын УЦС-ын урсцын зохицуулалт, уур амьсгалын өөрчлөлтийн нөлөөн доор оршиж байгааг илэрхийлж байна.

Хүний үйл ажиллагаа Эрэн нуурын морфометрт үзүүлэх нөлөө:

Эрэн нуурын талбайн өөрчлөлт нь уур амьсгалын хүчин зүйлсээс гадна хүний үйл ажиллагаа буюу Тайширын УЦС-ын Гэгээн нуурын дүүргэлт, усны зохицуулалтаас шууд хамааралтай байгааг дараах зургаар баталгаажууллаа. (Зураг 12).



Зураг 12. Эрээн болон Гэгээн нуурын талбайн өөрчлөлтийн хамаарал

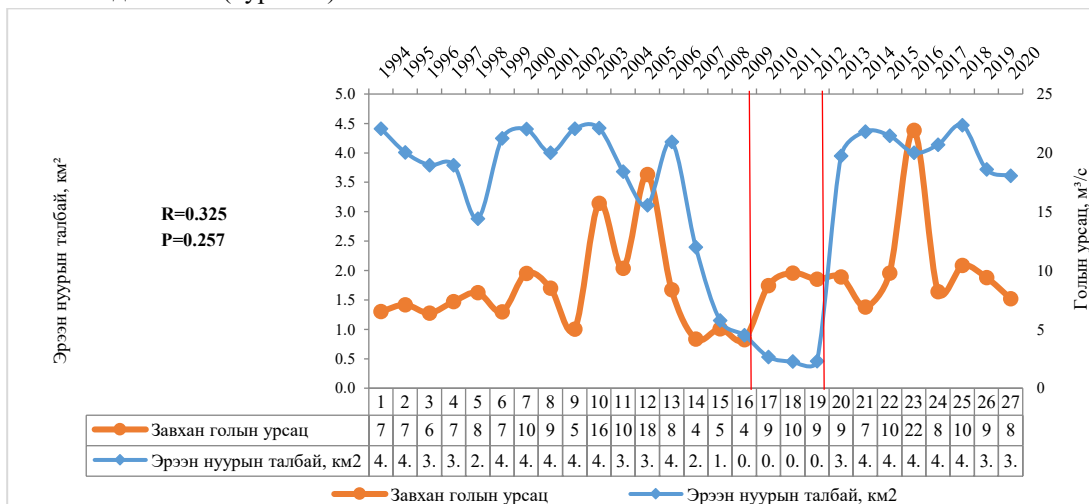
Эрээн болон Гэгээн нуурын талбайн өөрчлөлтийн хамаарлаас үзэхэд 2007 онд Гэгээн нуурыг дүүргэж эхэлснээр (Enkbold et al., 2025) Эрээн нуурын талбай огцом хумигдаж эхэлсэн байна. Тухайлбал, 2007 онд Гэгээн нуурын талбай нэмэгдэж эхлэхтэй зэрэгцэн Эрээн нуурын талбай 2.40 км² болж буурсан. 2010–2012 онд Гэгээн нуурын талбай хамгийн өндөр хэмжээндээ (35–50 км²) хүрэхэд Эрээн нуур бараг ширгэх дөхсөн буюу талбай нь 0.46 км² хүртэл буурчээ. Энэ нь Соёл-Эрдэнэ (2025) нарын Завхан голын голдирол тасалдсанаар доод урсгал дахь Эрээн нуурын тэжээгдэл зогссон (Soyol-Erdene et al., 2025) гэх дүгнэлттэй статистикийн хувьд нийцэж байв.

2013 оноос эхлэн Гэгээн нуурын талбай харьцангуй тогтворжиж, усны менежментийн зохицуулалт хийгдсэнээр Эрээн нуурын талбай эргэн сэргэж, 2018 онд оргил цэг буюу 4.46 км²-д хүрсэн байна. Энэ хугацаанд Гэгээн нуурын талбайн өөрчлөлт тогтмол өсөх хандлагатай ($R^2=0.6225$) байв. 2019 оноос хойш Эрээн нуурын талбай дахин эрчимтэй буурч, 2024 онд 1.21 км² болсон нь Гэгээн нуурын талбай багассантай бус, харин бүс нутгийн дулаарал ($MK = 2.186$) болон хуурайшилттай холбогдож байна. Уур амьсгалын үзүүлэлтүүдийн хамаарлаас харахад температур болон хур тунадасны сөрөг хамаарал ($r = -0.553$) нь ууршилтыг эрчимжүүлж, нуурын морфометрийн хэмжээ хумигдахад хүргэжээ.

Эрээн нуурын нь Гэгээн нууртай нягт холбоотой бөгөөд 2007–2011 онд Гэгээн нуурын талбай, эзэлхүүн нэмэгдэх тусам Эрээн нуурынх буурч байсан нь хоорондоо сөрөг хамааралтай байв. Харин сүүлийн жилүүдийн Эрээн нуурын морфометрийн бууралт нь Завхан голын урсцын зохицуулалт болон бүс нутгийн уур амьсгалын өөрчлөлтөөс шалтгаалсан нөлөө давамгайлж буйг харуулж байна.

Завхан голын урсац ба Эрээн нуурын морфометрийн хамаарал:

Эрээн нуурын усны балансыг тодорхойлогч хамгийн гол хүчин зүйл нь Завхан голын урсац болох нь батлагдаж байв (Зураг 13).



Зураг 13 Завхан голын урсац ба Эрээн нуурын талбайн хамаарал

Завхан голын урсац болон Эрээн нуурын талбайн хооронд $r=0.325$ буюу эерэг хамаарал ажиглагдаж байна. Хэдийгээр статистикийн хувьд энэ хамаарал нь сул боловч ($p = 0.257$), цаг хугацааны өөрчлөлтөөс харахад голын урсац тасалдах болон сэргэх үед нуурын талбай маш мэдрэмтгий хариу үйлдэл үзүүлж байв.

Зураг 13-аас үзэхэд 2010–2012 оны хооронд Завхан голын урсац тогтмол бага байх үед Эрээн нуурын талбай хамгийн доод цэгтээ хүрчээ. 2013 оноос хойш Завхан голын урсац нэмэгдэхэд нуурын талбай маш богино хугацаанд (1-2 жил) 0.5 км^2 -ээс 4.0 км^2 хүртэл огцом тэлсэн нь ажиглагдаж байна. 2016 онд Завхан голын урсац хамгийн оргил утгадаа ($22 \text{ м}^3/\text{с}$) хүрэхэд Эрээн нуурын талбай эсрэгээрээ үл ялиг буурсан нь (4.0 км^2 орчим) нуурын хотгорын багтаамж болон элсэн манхны нөлөөгөөр усны нэвчилт ихэссэнтэй холбоотой байж болох юм.

Өмнөх шинжилгээгээр хур тунадас болон талбайн хамаарал маш сул ($R^2 = 0.0119$) байсан бол голын урсацтай үзүүлж буй хамаарал ($r = 0.325$) нь харьцангуй өндөр байна. Энэ нь Эрээн нуурын оршин тогтнох гол эх үүсвэр нь шууд тунадас бус, харин Завхан голоос ирэх гадаргын болон газрын доорх усны тэжээгдэл болохыг харуулж буй хамгийн том баримт юм.

Нууруудын морфометрийн хэмжээг тогтвортой хадгалах арга хэмжээ:

Сангийн далай болон Эрээн нуурын морфометрийн үзүүлэлтүүд сүүлийн хорин жилд уур амьсгалын өөрчлөлт болон хүний хүчин зүйлсийн нөлөөгөөр динамик өөрчлөлтөд орж, экосистемийн тэнцвэрт байдал алдагдах эрсдэл нэмэгдэж байна. Монгол Улсын Уур амьсгалын өөрчлөлтөд дасан зохицох стратегийн баримт бичгүүд болох FNC (2024) болон BUR 2 (2023) тайлангуудад усны нөөцийн нэгдсэн менежментийг бэхжүүлэх замаар эмзэг экосистемийг хамгаалахыг нэн тэргүүний зорилт болгон дэвшүүлжээ. Судалгаанд хамрагдсан нуурууд нь говийн бүсэд, элсэрхэг орчинд байрладаг. Ус намгархаг газрыг хамгаалах Рамсарын конвенцын үзэл баримтлал болон Ганга нуурын экосистемийг нөхөн сэргээсэн (FNC, 2024) туршлагад үндэслэн Сангийн далай, Эрээн нуурын сав газарт дараах цогц арга хэмжээг хэрэгжүүлэх нь оновчтой байж болох юм.

Говийн бүсийн нууруудын хувьд элсний нүүлт нь нуурын мандал хумигдах, усны чанар доройтох гол шалтгаан болж байна. Ганга нуурыг хамгаалсан туршлагаас үзэхэд нуурын эргийн дагуу нутгийн ургамал болох сухай (*Tamarix*), харгана (*Caragana*) зэрэг ногоон зурвас байгуулах

нь элсний нүүлтийг механикаар сааруулаад зогсохгүй, хөрсний чийгийг барих, ууршилтыг багасгах шинжлэх ухааны ач холбогдолтой юм (FNC, 2024).

Ус намгархаг газрыг зөвхөн усны мандлаар бус, түүнийг тэжээгч орчны хамт цогцоор нь хамгаалах шаардлагатай. Үүний тулд гол цөм бүсэд нуурын ундаргыг сэргээх зорилгоор эргийн шугамаас дотогш 500 м-ээс багагүй зайд малын хөлийг бүрэн хязгаарлах шаардлагатай. Харин шилжилтийн бүсэд мал аж ахуйн нөлөөллийг бууруулах зорилгоор усжуулалтын өөр эх үүсвэр (худаг) байгуулж, нуурын усыг шууд ашиглахгүйгээр алслагдсан цэгээс услах менежментийг хэрэгжүүлэх нь зүйтэй. Энэ арга нь Ганга нуурын жишээн дээр үр дүнтэй болох нь батлагдсан сайн туршлага юм (BUR 2, 2023; FNC, 2024).

Уур амьсгалын өөрчлөлтөд дасан зохицох менежментийн BUR 2 (2023) тайланд дурдсанчлан, усны нөөцийн хомсдолоос сэргийлэхдээ зөвхөн хамгаалах бус, байгалийн нөөцийг нөхөн сэргээх 'Nature-based Solutions' буюу байгальд түшиглэсэн шийдлүүдийг ашиглах нь зүйтэй. Үүнд нуурын ай сав дахь хур тунадасны усыг хуримтлуулах, элсний нүүдлийг сааруулах замаар газрын доорх усны тэжээлийг дэмжих (FNC, 2024) зэрэг арга хэмжээнүүд багтана.

Сангийн далай болон Эрэн нуурын усзүйн тогтвортой байдлыг хамгаалах асуудал нь зөвхөн орон нутгийн төдийгүй, Монгол орны гадаргын усны сүлжээ, ус намгархаг газрын биологийн олон янз байдлыг хадгалахад ач холбогдолтой юм. Иймд зайнаас тандан судлал болон ГМС-д суурилсан хяналт-шинжилгээг тогтмолжуулж, дээрх туршлагуудыг бодлогын болон практик түвшинд хэрэгжүүлэх шаардлагатай.

Дүгнэлт

Баруун Монголын хуурай гандуу бүс нутагт орших Сангийн далай болон Эрэн нууруудын морфометрийн өөрчлөлтийг зайнаас тандан судлалын өгөгдөлд тулгуурлан тодорхойлж, уур амьсгалын болон хүний хүчин зүйлсийн нөлөөг үнэлэв.

Нууруудын талбай сүүлийн 30 жилийн хугацаанд буурсан нь уур амьсгалын болон хүний нөлөө ус зүйд нөлөөлж буйг судалгааны үр дүнгүүд харуулав. Сангийн далай нуур 30 жилийн хугацаанд нуурын талбай 15.30 км²-аас 11.28 км² болж тогтвортой буурах хандлагатай байна. Нуурын дундаж гүн жил бүр багасаж байгаа нь ($y = -0.017x + 1.81$) тухайн нууранд уур амьсгалын өөрчлөлт нөлөөлж байгааг илтгэж байна. Эрэн нуурын талбайн өөрчлөлт нь тогтмол бус, хүчтэй хэлбэлзэлтэй байгаа бөгөөд 2007–2011 онд хамгийн доод цэгтээ (0.46 км²), 2018 онд оргил хэмжээндээ (4.46 км²) хүрч байв.

Судалгааны талбайд агаарын дундаж температур статистик ач холбогдолтойгоор (МК=2.186) нэмэгдэж байгаа нь нууруудын талбай багасах гол шалтгаан болж байна. Хур тунадас болон нуурын талбайн хамаарал сул ($R^2 = 0.0119$) байгаа нь тухайн бүс нутгийн гүехэн нууруудын усны балансд шууд тунадаснаас илүүтэйгээр температурын өсөлтөөс шалтгаалсан ууршилт давамгайлж байгааг илтгэж байна.

Хуурай гандуу бүсэд орших хоёр нуурын хувьд Сангийн далай уур амьсгалын өөрчлөлтөөс илүү хамааралтай Эрэн нуур нь Завхан голын урсац, хүний үйл ажиллагаанаас илүү хамаарч байв.

Сангийн далай нуурын талбай хур тунадасны хэмжээнээс хамааралтай аажмаар тогтмол буурч байгаа бол Эрэн нуур Завхан голын урсац ($r = 0.325$) Тайширын УЦС-ын Гэгээн нуурын ус хуримтлалын нөлөөгөөр огцом бууралт 2007-2011 онд илэрсэн нь үр дүнгээр тогтоогдлоо.

Энэ судалгааны дутмаг тал нь Сангийн далай нуур элсэн манхан доогуур нэвчих хөрсний гүний усаар тэжээгддэг байж болзошгүй (Баасан, 2003; Жадамбаа, 2009) гэж үзэж байгаа ба гүний усны тооцоолол хийгдээгүй тул түүний нуурын талбай, эзлэхүүний хэмжээнд нөлөөлөх байдлыг тооцох боломжгүй байв.

Эрэн нуурын экосистемийг хамгаалахын тулд Завхан голын урсцыг тогтмол барих менежментийг үргэлжлүүлэх, мөн нууруудын элсний нүүдлээс хамгаалж эргийн орчимд хамгаалалтын зурвас байгуулах шаардлагатай байна.

Талархал

Энэхүү судалгааг ШУТС-ийн 2024-2026 онд хэрэгжүүлэх “Монгол орны нуурын геоморфологийн шинэ мужлал” сэдэвт суурь судалгааны төслийн хүрээнд гүйцэтгэв. Мөн судалгааны ажилд хянан магадлагаа хийж үнэтэй санал, зөвлөгөө өгсөн шүүмжлэгч нарт талархал илэрхийлье.

Номзүй

1. Алтанболд, Э. (2026). *Монгол орны нуурын судалгааны чиг хандлага: Уур амьсгалын өөрчлөлт ба антропоген нөлөө*. МУИС Хэвлэлийн газар.
2. Алтанболд, Э., Уламбадрах, Х. (2022). *Монгол орны нуурын хотгорын гарал үүсэл, Морфологи*. Улаанбаатар, МУИС Пресс, 45-58
3. Баасан, Т. (2003). *Монгол орны элс*, Улаанбаатар, 88-103
4. Батнасан, Н. (1998). *Говийн томоохон нууруудын усзүйн систем, усны горим, түүний хувьсалт өөрчлөлт*, Докторын диссертаци, Монгол Улсын Шинжлэх Ухааны Академи
5. Даш, Д., & Мандах, Н. (2011). *Газарзүйн шинжлэх ухааны хөгжлийн түүх*. Адмон хэвлэлийн газар, 370-385, 400-410
6. Дуламсүрэн, Д. (2022). *Монгол орны улирлын уур амьсгалын өнөөгийн өөрчлөлт, Уур амьсгалын өөрчлөлтийн үндэсний 4 дүгээр тайлан*, Улаанбаатар хот. 6-14
7. Жадамбаа, Н. (Ред.). (2009). *Монголын геологи ба ашигт малтмал: VIII боть. Гидрогеологи*. Адмон хэвлэлийн газар, 154-165
8. Ус цаг уур, орчны шинжилгээний газар. (2024). *Завхан аймгийн Дөрвөлжин сум, Говь-Алтай аймгийн Тайшир сумын 1994-2024 оны уур амьсгалын өгөгдлийн сан*. Цаг уур, орчны хяналт шинжилгээний мэдээллийн сан. <https://irimhe.namem.gov.mn/>
9. Цэрэнсодном, Ж. (2000). *Монгол орны нуурын каталог (үэс)*. Шинжлэх ухааны академи, Газарзүйн хүрээлэн, 26-31
10. Altanbold, E., Vyambabayar, G., Amgalan, M., Dingjun, L., Boldbayar, R., Tsolmonbayar, G., & Gansukh, Y. (2024). Implication of climate change on the volume of lakes in the forest-steppe zone, Central Mongolia: Ойт хээрийн бүсийн нууруудын эзэлхүүнд уур амьсгалын өөрчлөлтийн үзүүлэх нөлөө. *Geographical Issues*, 24(01), 15-32.
11. Benesty, J., Chen, J., Huang, Y., & Cohen, I. (2009). Pearson correlation coefficient. In *Noise reduction in speech processing*, Springer, Berlin, Heidelberg, 1–4
12. Dingjun, L., Altanbold, E., Batsuren, D., Tuvshin, G., Yumchmaa, G., Boldbayar, R., & Gansukh, Y. (2023). Changes in the area of lakes in different natural regions of Mongolia and climate effect: Монгол орны байгалийн янз бүрийн бүсүүд дэх нууруудын талбайн өөрчлөлт ба уур амьсгалын нөлөө. *Geographical Issues*, 23(01), 4-21.
13. Dorjsuren, B., Zemtsov, V. A., Batsaikhan, N., Demberel, O., Yan, D., Hongfei, Z., ... & Siyu, W. (2024). Trend analysis of hydro-climatic variables in the Great Lakes Depression region of Mongolia. *Journal of Water and Climate Change*, 15(3), 940-957.
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.

15. Enkhbold, A., Khukhuudei, U., & Doljin, D. (2021). Morphological classification and origin of lake depressions in Mongolia. *Proceedings of the Mongolian Academy of Sciences*, 61(02), 35-43.
16. Enkhbold, A., Khukhuudei, U., & Doljin, D. (2022a). A review of modern trends and historical stages of development of lake research in Mongolia. *Proceedings of the Mongolian Academy of Sciences*, 62(01), 25-37.
17. Enkhbold, A., Khukhuudei, U., Kusky, T., Tsermaa, B., & Doljin, D. (2022b). Depression morphology of Bayan Lake, Zavkhan province, Western Mongolia: implications for the origin of lake depression in Mongolia. *Physical Geography*, 43(6), 727-752.
18. Enkhbold, A., Khukhuudei, U., Seong, Y. B., Dorligjav, S., Ganbat, S., & Dorjsuren, B. (2026). Advances in lake-based limnological methods and research trends in Mongolia since 1990. *Journal of Paleolimnology*, 74(3), 9.
19. Enkhbold, A., Vandansambuu, B., Yadamsuren, G., Dorjsuren, B., Dorligjav, S., Gonchigjav, Y., ... & Sumiya, E. (2025). Estimation of morphometric parameters in lakes based on satellite imagery data: Implications of relationships between lakes in the arid region of western Mongolia, Central Asia. *Quaestiones Geographicae*, 44(1), 21-38.
20. Esri. (2021). *ArcGIS Desktop: Release 10.8*. Environmental Systems Research Institute
21. Feyisa, G. L., Meilby, H., Fensholt, R., & Proud, S. R. (2014). Automated Water Extraction Index: A new technique for surface water mapping using Landsat imagery. *Remote sensing of environment*, 140, 23-35.
22. Gao, B. C. (1996). NDWI—A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote sensing of environment*, 58(3), 257-266.
23. Freedman, D. A. (2009). *Statistical models: Theory and practice* (2nd ed.). Cambridge University Press. 23–45
24. Hamed, K. H., & Rao, A. R. (1998). A modified Mann-Kendall trend test for autocorrelated data. *Journal of hydrology*, 204(1-4), 182-196.
25. Hakanson, L. (2012). *A manual of lake morphometry*. Springer Science & Business Media.
26. Kang, S., & Hong, S. Y. (2016). Assessing seasonal and inter-annual variations of lake surface areas in Mongolia during 2000-2011 using minimum composite MODIS NDVI. *PLoS One*, 11(3), e0151395.
27. Kang, S., Lee, G., Togtokh, C., & Jang, K. (2015). Characterizing regional precipitation-driven lake area change in Mongolia. *Journal of Arid Land*, 7(2), 146-158.
28. McFeeters, S. K. (1996). The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International Journal of Remote Sensing*, 17(7), 1425–1432
29. Ministry of Environment and Climate Change. (2023). *Mongolia's Second Biennial Update Report (BUR2) under the United Nations Framework Convention on Climate Change*. Ulaanbaatar. pp. 45–62
30. Ministry of Environment and Climate Change. (2024). *Mongolia's Fourth National Communication (FNC) under the United Nations Framework Convention on Climate Change*. Ulaanbaatar. pp. 112–135
31. Tierney, L. (2012). The R statistical computing environment. In *Statistical challenges in modern astronomy V* (pp. 435-447). New York, NY: Springer New York.
32. Soyol-Erdene, T. O., Munguntsetseg, G., Burmaa, Z., Bilguun, U., Oyungerel, S., Nergui, S., ... & Kamp, U. (2025). Water management, environmental challenges, and rehabilitation strategies in the Khyargas Lake–Zavkhan River Basin, western Mongolia: A case study of Ereen Lake. *Geographies*, 5(3), 38.

33. Stolz, C., Hülle, D., Hilgers, A., Grunert, J., Lehmkuhl, F., & Dasch, D. (2012). Reconstructing fluvial, lacustrine and aeolian process dynamics in Western Mongolia. *Zeitschrift für Geomorphologie, Supplementary Issues*, 56(1), 1–16
34. Şen, Z. (2012). Innovative Trend Analysis Methodology. *Journal of Hydrologic Engineering*, 17(9), 1042–1046
35. McFeeters, S. K. (2013). Using the normalized difference water index (NDWI) within a geographic information system to detect swimming pools for mosquito abatement: a practical approach. *Remote Sensing*, 5(7), 3544-3561.
36. Tao, S., Fang, J., Zhao, X., Zhao, S., Shen, H., Hu, H., ... & Guo, Q. (2015). Rapid loss of lakes on the Mongolian Plateau. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(7), 2281-2286.
37. U.S. Geological Survey. (2024). *EarthExplorer*. [Landsat 5 TM, Landsat 7 ETM+, Landsat 8 OLI, Landsat 9 OLI-2 collection data]. <https://earthexplorer.usgs.gov/>
38. Wetzel, R. G. (2001). *Limnology: Lake and River Ecosystems* (3rd ed.). Academic Press. 25–48
39. Malik, A., & Kumar, A. (2020). Spatio-temporal trend analysis of rainfall using parametric and non-parametric tests: case study in Uttarakhand, India: A. Malik, A. Kumar. *Theoretical and Applied Climatology*, 140(1), 183-207.
40. Xu, H., Zhang, F., Jim, C. Y., Chan, N. W., Tan, M. L., Wei, L., ... & Qiao, Q. (2025). Regional variations in lake areas in China due to human and natural environmental factors since 1990. *Ecological Indicators*, 172, 113307.
41. Zhao, H., Qiao, B., Liu, H., Chen, X., Xiao, Y., & Wang, G. (2024). Lake water storage changes and their cause analysis in Mongolia. *Scientific Reports*, 14(1), 23536.
42. Zhang, Z. Y., Wang, N. A., Ma, N., & Wu, Y. (2014). Lake Area Changes and the main causes in the hinterland of Badain Fijaran Desert during 1973–2010, China. *Sciences in Cold and Arid Regions*, 6(1), 22-29.