



МОНГОЛ УЛСЫН ИХ СУРГУУЛЬ
ШИНЖЛЭХ УХААНЫ СУРГУУЛЬ
ГАЗАРЗҮЙН ТЭНХИМ

Газарзүйн асуудлууд

Geographical Issues

Volume 23 (1)

ISSN: 2312-8534

2023

Улаанбаатар хот

Монгол орны байгалийн янз бүрийн бүсүүд дэх нууруудын талбайн өөрчлөлт ба уур амьсгалын нөлөө

Changes in the area of lakes in different natural regions of Mongolia and climate effect

© Ли Динжун¹, Э. Алтанболд^{1*}, Д. Батсүрэн², Г. Түвшин¹, Г. Юмчмаа¹, Р. Болдбаяр³,
Я. Гансүх⁴

Li Dingjun¹, Altanbold Enkhbold^{1*}, Batsuren Dorjsuren², Tuvshin Gerelmaa¹, Yumchmaa
Gonchigjav¹, Boldbayar Rentsenduger³, Gansukh Yadamsuren⁴

*Геопедологийн лаборатори, Газарзүйн тэнхим, Шинжлэх Ухааны Сургууль, Монгол Улсын Их
Сургууль, Монгол Улс*

*²Хүрээлэн буй орчин, ойн инженерчлэлийн тэнхим, Хэрэглээний Шинжлэх Ухаан,
Инженерчлэлийн Сургууль, Монгол Улсын Их Сургууль, Монгол Улс*

*³Газарзүйн мэдээллийн систем, Зайнаас тандан судлалын салбар, Газарзүй-Геоэкологийн
Хүрээлэн, Шинжлэх Ухааны Академи, Монгол Улс*

⁴Экологийн тэнхим, Агроэкологийн Сургууль, Хөдөө Аж Ахуйн Их Сургууль, Монгол Улс

*¹Laboratory of Geopedology, Department of Geography, School of Arts and Sciences, National
University of Mongolia, Mongolia*

*²Department of Environment and Forest Engineering, School of Engineering and Applied Sciences,
National University of Mongolia, Mongolia*

*³Division of GIS and Remote Sensing, Institute of Geography and Geoecology, Mongolian Academy of
Sciences, Mongolia*

⁴Department of Ecology, School of Agroecology, Mongolian University of Life Sciences, Mongolia

*Харилцагч зохиогч: altanbold@num.edu.mn

*Corresponding author: altanbold@num.edu.mn

Хүлээн авсан: 2022.11.26
Засварласан: 2023.01.10
Зөвшөөрөгдсөн: 2023.01.13

Хураангуй

Монгол орны байгалийн янз бүрийн бүсэд орших нууруудын талбайн өөрчлөлтөд орчин үеийн уур амьсгалын өөрчлөлт хэрхэн нөлөөлж байгааг тодорхойлсон судалгаа дорвитой хийгдээгүй байна. Энэ судалгаанд Монгол орны 48-50° өргөргийн хооронд буюу уур амьсгалын болон нарны цацрагийн ижил нөхцөлд орших 4 нуур, тэр дундаа өндөр уулын бүсийг төлөөлж Хотон, ойт хээрийн бүсээс Тэрхийн Цагаан, Хээрийн бүсээс Хөх, Говийн бүсийг төлөөлж Намир (Хар ус)-ыг сонгож эдгээр нууруудын талбайн өөрчлөлт ба уур амьсгалын үзүүлэлтийн хамаарлыг тодорхойлов. Судалгаанд усны нормчлогдсон индекс (NDWI)-ийн арга, Манн-Кендалл шинжилгээ (МК), Чиг хандлагын тооцооны арга (ITAM), Налуугийн тооцооны арга (SET) болон статистик шинжилгээний аргуудыг ашиглав. Ижил өргөргийн зурвас дахь байгалийн янз бүрийн бүсэд орших нууруудын талбайн сансрын зурагт тулгуурласан тооцоогоор нууруудын талбай сүүлийн 30 жилийн хугацаанд буурах хандлага илэрсэн. Агаарын температурын олон жилийн дундаж утга 2000 оноос хойш нэмэгдэх хандлага бүх бүсүүдэд илэрч байв. Хур тунадасны хувьд 2000 оноос хойш өндөр уулын бүсэд нэмэгдэх, Ойт хээрийн бүсэд 2010 оноос нэмэгдэх, Хээрийн болон говийн бүсэд 2000 оноос буурах хандлагатай байна. Цаг хугацааны мөчлөгийн хувьд өндөр уулын болон ойт хээрийн бүсийн нууруудын талбай 2000 оноос тогтмол буурах хандлага илэрсэн бол хээрийн, говийн бүсийн нуурууд 2010 оноос хойш тогтмол буурах хандлага илэрсэн. Өндөр уулын бүсэд нууруудын талбайн өөрчлөлтөд агаарын жилийн дундаж температурын ($Z=1.17$) өсөлт илүү хамааралтай байв. Харин ойт хээрийн бүсийн нууруудын талбайд хур тунадасны хэмжээ ($Z=1.93$) илүү хамааралтай байв. Хээрийн бүсийн нууруудын талбайд агаарын температурын ($Z=1.21$) нөлөө илүү хүчтэй хамааралтай бол хур тунадасны хэмжээ сулхан хамааралтай байв. Говийн бүсийн нууруудын талбайд хур тунадасны хэмжээ ($Z=-1.80$) илүү хүчтэй хамааралтай бол агаарын температур сул хамааралтай байгаа нь судалгааны үр дүнгээр тогтоогдов. Байгалийн янз бүрийн бүсэд орших нууруудын талбайн

©Зохиогчийн оруулсан хувь нэмэр: Ли Динжун: Онолын үндэслэл, аргазүй боловсруулалт, өгөгдлийн дүн шинжилгээ, үндсэн бичвэр, зураглал боловсруулалт, Э.Алтанболд, Г.Юмчмаа: Онолын үндэслэл, аргазүй боловсруулалт, үндсэн бичвэрийн засвар, үр дүнгийн хяналт, Д.Батсүрэн, Г.Түвшин, Р.Болдбаяр болон Я.Гансүх: Өгөгдөл боловсруулалт, үр дүнгийн хяналт, зураглал боловсруулалт.

өөрчлөлтөд уур амьсгалын үзүүлэлтүүдийн өөрчлөлт харилцан адилгүй нөлөөлж буйг тодруулсан нь судалгааны шинэлэг тал, чухал ач холбогдол юм.

Түлхүүр үгс: Монгол орны байгалийн бүс, Нуурын талбайн өөрчлөлт, Уур амьсгалын өөрчлөлт, Манн-Кендалл шинжилгээ (МК), Усны нормчлогдсон индекс (NDWI)

Abstract

There has not been much study done to explain how recent climate change affects the water surface area changes in lakes in different natural areas of Mongolia. Four lakes between 48°-50° in Mongolia were chosen for this investigation because they have the same climatic and solar radiation patterns. The case studies of the Khoton Lake in the high mountain region, Terkhin Tsagaan in the forest-steppe region, Khukh Lake in the steppe region, and Namir (Khar Us) in the Gobi region emphasized the relationship between lakes surface area and climate variables, which are temperature and precipitation. In the study, statistical analysis methods, the Mann-Kendall test (MK), the innovative trend analysis method (ITAM), the Sen's Slope Estimator Test (SET), and the normalized difference water index (NDWI) method were used. During the past 30 years, calculations based on satellite imagery of the lake area in different natural zones have shown a decreasing trend for the lake area. After 2000, all-natural regions saw a sharp rise in the long-term average air temperature. High mountain regions have seen an increase in precipitation since 2000, Forest-steppe regions have increased since 2010, and steppe and gobi regions have declined since 2000. Lake areas in the high mountain and forest-steppe regions showed a steady decreasing trend starting in 2000, while lakes in the steppe and Gobi regions showed a gradually increasing trend starting in 2010. The increase in the average annual air temperature ($Z=1.17$) in the high mountain region was more closely related to the changes in the lake region. On the other hand, the area in the forest-steppe zone was better correlated with the quantity of precipitation ($Z=1.93$). The effect of air temperature ($Z=1.21$) on the area of lakes in the steppe zone was more relevant, while the amount of precipitation was slightly related. Rainfall ($Z=-1.80$) was more related to the area of lakes in the Gobi region, while the air temperature was less related. The novelty of the research is that it has been clarified that the lake changes in the area in different natural regions are influenced differently by the climate.

Keywords: Mongolian natural zones, Lake area change, Climate change, Mann-Kendall analysis (MK), Normalized Difference Water Index (NDWI)

Оршил

Монгол орон Төв Азийн төвд харьцангуй өндөрлөг газрын гадаргатай, өргөргийн дагуу сунаж тогтсон онцлог байршилтай (Цэгмид, 1969). Төв Азийн хувьд нууруудын газарзүйн байршилд эртний болон орчин үеийн уур амьсгалын үйл явцууд чухал нөлөө үзүүлж иржээ (Алтанболд, Уламбадрах, 2022).

Монгол орон уулархаг, талархаг гадарга хосолсон, чийг ба дулааны горим онцлог шинжтэй учраас байгалийн олон янзын бүс, бүслүүр бүрэлдсэн төдийгүй, түүний газарзүйн зүй тогтлыг дагасан нуурын системүүд бүрэлдэн тогтжээ (Цэрэнсодном, 2000). Дундад өргөргийн сэрүүн бүсэд орших Монгол орны хувьд орчин үеийн уур амьсгалын өөрчлөлт онцгой нөлөөлж байна (Dorjsuren et al., 2018a; Nandintsetseg et al., 2021).

Байгалийн нөөцийн гол төрөл болох нуурыг үндэсний эдийн засагт зохистой ашиглах шинжлэх ухаан, практикийн асуудал хурцаар тавигдаж байгаа тул нуурын судалгааг гүнзгийрүүлэн уур амьсгалын өөрчлөлтэй холбон судлах нь чухал асуудал юм (Enkbold et al., 2022). Монголд байгалийн янз бүрийн бүсэд орших нууруудын талбайн өөрчлөлтөнд орчин үеийн уур амьсгалын өөрчлөлт хэрхэн нөлөөлж байгааг цогцоор нь харьцуулан тодорхойлсон судалгаа одоогоор хэвлэгдээгүй байна.

Монгол орны байгалийн бүсүүдэд усзүйн өөрчлөлт нь уур амьсгалын нөхцөлөөс хамаарч хурд, эрчим харилцан адилгүй нөлөөлж байна (Dorjsuren et al., 2018b). Ялангуяа өндөр уулын болон ойт хээрийн бүсэд уур амьсгалын өөрчлөлтөөс шалтгаалж гадаргын усзүйн горимд өөрчлөлтүүд тод илрэх болсон (Dorjsuren et al., 2021). Гадаргын усзүйн гол төлөөлөл бол байгалийн янз бүрийн бүсэд орших нууруудын талбайн хэлбэлзэл, өөрчлөлт тэдгээрийн хоорондын уялдаа холбоог тогтоох явдал юм.

Өмнөх судалгаанд Мурзаев (1952) Монгол орны нуурын гарал үүсэл, морфометрийн үндсэн шинж, усны горим, эрдэсжилтийн талаар нэгдсэн тодорхойлолтыг анх өгч байв (Даш, Мандах, 2011).

Цэрэнсодном (1971) Монгол орны 0.1 км²-аас дээш талбайтай нуурын тоо, талбайн хэмжээ, газарзүйн байрлал, эргийн шугам, урт өргөнийг тодотгож тэдгээрийг газарзүйн муж, байгалийн бүс бүслүүрээр анх ангилсан. Энэ үед Монголын томоохон буюу 20 км²-аас дээш талбайтай нуурууд дээр ус судлалын хэмжилт хийж усны гүн, нөөцийг тодорхойлон ёроолын хэв шинж болон хурдас хуримтлалын тойм зургуудыг гаргаж байв (Алтанболд, Уламбадрах, 2022). Цэрэнсодном (1964) нарын судлаачид “Тэрхийн Цагаан нуурыг судалсан усзүйн шинжилгээний ажлын үр дүнгээс” сэдвээр хэвлүүлсэн нь Монгол орны судлаачдын анхны өгүүлэл болсныг цохон тэмдэглэх нь зүйтэй юм (Алтанболд, Уламбадрах, 2022).

Севастьянов (1972; 2014) нар “Лимнология и Палеолимнология Монголии” бүтээлийг туурвиж нуурын усны горим, морфометрийн үзүүлэлт, нуурын усны шинж чанар, найрлага, усны биологийн олон янз байдлыг тусган харуулсан байдаг. Түүнчлэн Севастьянов (1990) нарын Монгол орны нуурын газарзүйн мужлал, нууруудын байршил, морфометрийн үзүүлэлт, найрлага, усны шинж чанарын үзүүлэлтийг нэгтгэсэн судалгаа нийтлэгдсэн байна.

Батнасан (1998) Монгол орны говийн томоохон нууруудын усны горим, ус зүйн систем ба тэдгээрийн хөгжлийн онцлогийг тодруулж байв.

Цэрэнсодном (2000) Монгол орны нууруудын усзүйн горим, нууруудын морфометрийн болон шинж чанарын тодорхойлолт өгсөн байдаг. Нууруудын усны горим, нөөц, түвшний хэлбэлзэл нь уур амьсгалын чийглэг, хуурай гандуу урт богино хугацааны мөчлөгийг дагаж чийглэг үед усны түвшин дээшилж, гандуу үед татарч багасах, хатаж ширгэх, давсжих зэргээр өөрчлөгдөж байсан ба нуур шинээр үүсэх, хатаж ширгэхэд тухайн үеийн уур амьсгалын нөхцөл, хур тунадасны хэмжээ, түүний цаг хугацааны мөчлөг, давтамж ихээхэн нөлөөтэй болохыг тодорхойлж байв (Цэрэнсодном, 2000).

Робинсон (2011) нар Монголын хойд ба төв хэсгийн нууруудын экосистемийн өөрчлөлтийн талаар судалж нууруудын усны горим, химийн найрлагын өөрчлөлтийн талаар судалсан.

Кан Синху (2015) нарын Монгол орны нуурын талбайд нөлөөлөх уур амьсгалын хүчин зүйлийг тусгайлан авч хоорондын хамаарлыг нь судалжээ. Монгол орны 10 км²-аас дээш талбай бүхий 165 нуурыг сонгож 1980 оноос хойших нууруудын усны талбай, хур тунадас, ууршилтын балансыг сансрын зургийн шинжилгээнд тулгуурлан тооцсон.

Даваа (2018) нар Монгол орны нууруудын усны нөөцийн үнэлгээ, түүнд байнгын хяналт-шинжилгээ хийх боломжийг тодруулсан байна. Энэ судалгаанд нууруудын усны түвшин сүүлийн жилүүдэд байнга бууралттай байгааг газрын болон сансарын зургийн мэдээнд тулгуурлан тооцоолжээ.

Энэ судалгаанд сонгогдсон өндөр уулын бүсээс Хотон, ойт хээрийн бүсээс Тэрхийн Цагаан, Хээрийн бүсээс Хөх (Дорнодын), Говийн бүсээс Намир (Хар ус) нуурын талаар дараах судалгааны ажлууд хэвлэгджээ. Тарасов (2000) нарын “*Holocene vegetation and climate changes in Hoton-Nur basin, northwest Mongolia*” сэдэвт палеогазарзүйн судалгаа, Ридаяа, Ли (2012) нарын “*A new approach for reconstruction of the Holocene climate in the Mongolian Altai: The high-resolution d13C records of TOC and pollen complexes in Hoton-Nur Lake sediments*” сэдэвт эртний уур амьсгалын судалгаа, Фукуши (2015) нарын “*Centennial-Scale Environmental Changes in Terkhiin Tsagaan Lake, Mongolia Inferred from Lacustrine Sediment: Preliminary Results*” палеогазарзүйн судалгаа, Лемкул (2016) нарын “*Distribution and timing of Holocene and late Pleistocene glacier fluctuations in western Mongolia*” мөстлөгийн судалгаа, Алтанболд (2022) нарын “*Morphodynamic development of the Terkhiin Tsagaan Lake Depression, Central Mongolia: Implications for the relationships of Faulting, Volcanic Activity, and Lake Depression Formation*” геоморфологийн судалгаа, Орхонсэлэнгэ (2022) нарын “*Landscape, Lake Distribution, and Evolution in Mongolia, Lakes of Mongolia*” зэрэг ажлууд хэвлэгджээ. Эндээс Хотон, Тэрхийн Цагаан, Хөх нууранд суурилсан палеогазарзүй, геоморфологи, эртний ба орчин үеийн уур амьсгалын нөлөөллийн судалгаа тус бүрт нь хийгджээ. Харин Намир нуурын сэдэвчилсэн судалгаа хийгдээгүй байна. Түүнчлэн эдгээр ойролцоо өргөрөгт орших нууруудыг байгалийн бүсийн зүй тогтолд нь тулгуурлаж орчин үеийн уур амьсгалын нөлөөлөлтэй холбон хоорондын зүй тогтлын онцлогийг тодруулсан судалгаа хийгдээгүй байна.

Энэ судалгаанд Монгол орны 48-50° өргөргийн хооронд буюу уур амьсгалын болон нарны цацрагийн ижил нөхцөлд орших байгалийн өндөр уулын, ойт хээрийн, хээрийн, говийн бүсүүдийг төлөөлөхүйц Хотон, Тэрхийн Цагаан, Хөх (Дорнодын), Намир (Хар ус) зэрэг 4 нуурыг сонгож эдгээр нууруудын талбайн өөрчлөлт уур амьсгалын орчин үеийн өөрчлөлтөнд хэрхэн өртөж буйг тодорхойлов.

Судалгааны талбай

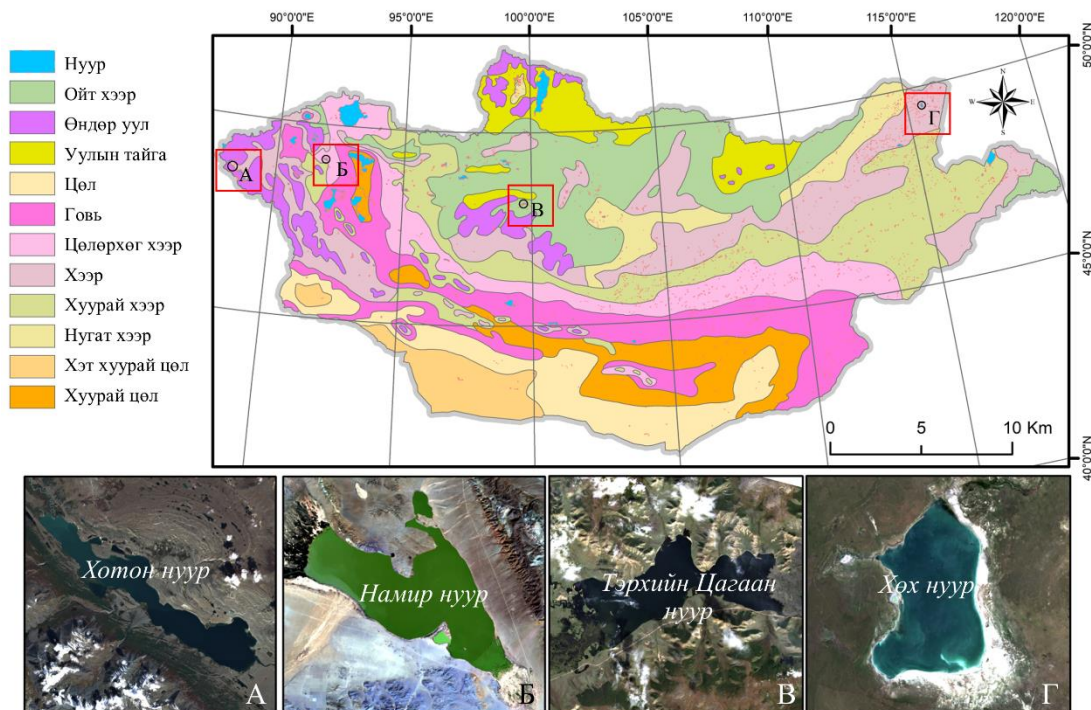
Энэ судалгаанд Монгол орны өндөр уулын бүсийг төлөөлж Хотон нуурыг сонгов. Хотон нуур нь Баян-Өлгий аймаг дахь цэнгэг уст нуур юм. Ойт хээрийн бүсийг төлөөлж Тэрхийн Цагаан нуурыг сонгосон. Тэрхийн Цагаан нуур нь Архангай аймагт орших цэнгэг уст нуур юм. Хээрийн бүсийг

төлөөлж Дорнод аймагт орших Хөх нуурыг сонгов. Говийн бүсийг төлөөлж Увс аймагт орших Намир (Хар ус) нуурыг сонгов (Хүснэгт 1).

Хүснэгт 1. Судалгаанд хамруулсан нууруудын үзүүлэлт

№	Нуурын нэр	Орших байгалийн бүс	Газарзүйн байршил	Орших өндөр (д.т.дээш метрээр)
1	Хотон	Өндөр уулын	N 48° 39' 09", E 88° 17' 29"	2078
2	Тэрхийн Цагаан	Ойт хээр	N 48° 09' 51", E 99° 42' 04"	2054
3	Хөх	Хээрийн	N 49° 30' 32", E 115° 34' 48"	560
4	Намир (Хар ус)	Говь	N 49° 04' 58", E 91° 55' 36"	1571

Эдгээр нуурууд нь ойролцоо өргөргийн дагуу боловч байгалийн өөр өөр бүсүүдэд оршдог онцлогтой тул судалгааны талбайгаар сонгосон (Зураг 1).



Зураг 1. Монгол орны байгалийн бүсүүд (Монгол Улсын Үндэсний Атлас, 2022) ба судалгааны талбайн газарзүйн байршил

Судалгааны материал, аргазүй

Энэ судалгаанд Усны нормчлогдсон индекс (NDWI)-ийг тооцоход “Landsat” хиймэл дагуулын <https://earthexplorer.usgs.gov/> сансрын зургууд татаж радиометрийн заслуудыг хийж боловсруулалт хийж ашиглав. судалгаанд “Landsat TM” хиймэл дагуулын 2, 4 суваг, “Landsat OLI” хиймэл дагуулын 3, 5 сувгийг ашигласан. Түүнчлэн Архангай аймгийн Тариат, Дорнод аймгийн Чулуунхороот, Увс аймгийн Өмнөговь, Баян-Өлгий аймгийн Цэнгэл сумын 1991-2021 оны уур амьсгалын <http://climate-service.mn/climateservice/index.php> болон <https://power.larc.nasa.gov/> зэрэг өгөгдлийн санг судалгаанд ашиглав.

Усны нормчлогдсон индекс (NDWI)-ийн арга

Сансрын хиймэл дагуулын зураглалд боловсруулалт хийхэд тухайн биетийн шинж чанарыг илрүүлэх индексийг тодорхойлдог (McFeeters, 2013). Анх хэт ягаан туяаны (NIR) ба богино долгионы хэт улаан туяаны (SWIR) уртыг ашиглан ургамлын навчинд тогтсон усны хэмжээг хянахын тулд ашиглаж байв (Gao, 1996). Харин ногоон туяаны (NIR) долгионы уртыг ашиглан усан гардаргын талбайг тооцох аргыг анх боловсруулж (McFeeters, 1996) улам бүр боловсронгуй болгожээ (McFeeters, 2013). Усны нормчлогдсон индексийг дараах тэгштгэлээр тодорхойлно. Энд:

$$NDWI = \frac{X_{green} - X_{nir}}{X_{green} + X_{nir}} \quad (1)$$

Энд $NDWI$ - Усны нормчлогдсон индексийн утга, X_{green} - Хэт ногоон туяаны урт, X_{nir} - Хэт ягаан туяаны долгионы урт юм. “ $NDWI$ ”-ийн тооцоо хийхэд усан гадаргын онцлог шинжээс шалтгаалан -1 -ээс $+1$ утгын хооронд индексийн утга хэлбэлздэг (McFeeters, 2013). “ $NDWI$ ”-ийн өндөр утга (цэнхэрээс хөх өнгө рүү шилжих)-тай гарах нь усан талбайн хэмжээ, усны гүн, эзэлхүүн ихэсч буй өөрчлөлтийг илэрхийлнэ. Энэ тооцоонд тулгуурлан нуурын талбай, усны гүн, эзэлхүүний хэмжээг орон зай, цаг хугацааны хувьд өөрчлөлтийн зүй тогтлыг тодорхойлох боломжийг олгодог (Gao, 1996; McFeeters, 2013).

Манн-Кендалл (МК) шинжилгээний арга

Манн-Кендалл (МК) арга нь статистик шинжилгээгээр тодорхой өөрчлөлтийн чиг хандлагыг харуулдаг (Güçlü, 2020). МК-ийн шинжилгээ нь тухайн тооцоолол хийж буй өгөгдөлд эерэг ба сөрөг утгуудын хамаарлыг тодруулдаг (Wang, 2020). Тодруулбал өгөгдлийн цуваанд гарсан өөрчлөлтийг тодорхойлдог.

Энэ судалгаанд нуурын талбайн өөрчлөлтийг уур амьсгалын өгөгдлүүдтэй нь харьцуулан шинжлэв. МК-ийн статистик шинжилгээ нь дараах тэгшитгэлээр илэрхийлнэ. Энд:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \operatorname{sgn}(x_j - x_i) \quad (2)$$

Өөрчлөлтийн хамаарлыг тодорхойлох үндсэн x_i өгөгдлийн хэмжээ ($i = 1, 2, \dots, n-1$) болон x_j ($j = i + 1, 2, \dots, n$) байна. Аль ч өгөгдлийн хэмжээ нь x_i өгөгдлийн утгатай харьцуулан ашигладаг. Өгөгдлийн хэмжээг x_j дараах байдлаар тооцогдоно:

$$\operatorname{sgn}(x_j - x_i) = \begin{cases} +1 & (x_j - x_i) > 0 \\ 0 & (x_j - x_i) = 0 \\ -1 & (x_j - x_i) < 0 \end{cases} \quad (3)$$

Энд x_j болон x_i нь цаг хугацааны өгөгдөл j болон i юм. Өгөгдлийн цувралын тоо нь 10 эсвэл түүнээс илүү бол ($n \geq 10$), МК шинжилгээ нь дундаж утгын тархалтаар тодорхойлдог. $E(S) = 0$ болон өөрчлөлт $Var(S)$ дараах байдлаар тооцогдоно.

$$E(S) = 0 \quad (4)$$

$$Var(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{k=1}^m t_k(t_k-1)(2t_k+5)}{18} \quad (5)$$

Энд m нь цаг хугацааны цуваан дахь холбоотой бүлгүүдийн тоо, мөн t_k нь k th холбоотой бүлэг дэх хэлхээ холбооны тоо юм. Тестийн статистик Z нь дараах байдлаар тооцогдоно:

$$Z = \begin{cases} \frac{s-1}{\delta} & S > 0 \\ 0, & S = 0 \\ \frac{s+1}{\delta} & S < 0 \end{cases} \quad (6)$$

Энд Z нь тэгээс их үед өөрчлөлтийн хандлага нь өсөх, Z нь тэгээс доош үед өөрчлөлтийн хандлага нь буурна. Цаг хугацааны хувьд шинжилгээ нь дараах байдлаар тодорхойлдог. Энд:

$$UF_k = \frac{d_k - E(d_k)}{\sqrt{\operatorname{var}(d_k)}} \quad (k = 1, 2, \dots, n) \quad (7)$$

Нуурын талбайн өөрчлөлтийг тооцохдоо цаг хугацааны дарааллаар нуурын талбайн өөрчлөлтийг илэрхийлж дараах байдлаар тодорхойлдог. Энд:

$$UB_k = -UF_k \quad (8)$$

$$K = n + 1 - k \quad (9)$$

Энд UB_k болон UF_k нь шинжилгээний цувааг илэрхийлэхдээ цаг хугацааны дарааллын урвуу хамаарлаар илэрхийлж үр дүнг баталгаажуулдаг. Судалгаанд МК-ийн статистик утга α буюу 0 нь дундаж түвшин буюу статистик үнэмшлийн шугамнаас хандлага UF дээш эсвэл доош орсон тохиолол нь статистикийн ач холбогдол бүхий өөрчлөлт юм. Үнэмшлийн шугамнаас дээшээ гарвал хандлагын өсөлтийг илэрхийлнэ. Хэрэв үнэмшлийн шугамнаас доош орвол хандлагын бууралтыг илэрхийлнэ. Статистикийн цувааг илэрхийлэхдээ цаг хугацааны дарааллыг урвуу дарааллаар бас илэрхийлдэг. Өөрөөр хэлбэл тэгшитгэлийн тооцоонд $-UF$ нь өөрчлөлтийн хандлага $---UB$ нь хандлагын урвуу дараалал болно. Энэ хандлагын тооцооны алдааг бууруулахад ашиглагддаг. $-UF$ нь $---UB$ -тэй параллель шугаман дарааллыг үүсгэж байвал алдааны утга багатай гэж үздэг.

Innovative Trend Analysis (ITAM) буюу шинэлэг чиг хандлагын шинжилгээ

Шинэлэг чиг хандлагын шинжилгээний арга (ITAM) нь өөрчлөлтийн хандлагыг илрүүлэх, түүний нарийвчлалыг МК аргын үр дүнтэй харьцуулах байдлаар үр дүнг баталгаажуулдаг (Malik et al., 2020). Дараах тэгшитгэлээр тодорхойлдог: Энд:

$$\phi = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{10(x_j - x_i)}{\mu} \quad (10)$$

Энд ϕ = Өөрчлөлтийн чиг хандлага, n = өгөгдлийн тоо, x_i = өгөгдлийн цувааны сүүлийн утга, x_j = өгөгдлийн цувааны эхний утга, μ = өгөгдлийн цувааны дундаж утга юм.

Slope Estimator Test буюу налууугийн тооцооны арга

Нуурын талбай болон уур амьсгалын үзүүлэлтүүдийн хоорондын уялдаа, хамаарлыг налууугийн тооцооллын аргаар тодорхойлж болно (Sumiya et al., 2020; Dinpashoh, Babamirgi, 2020). Өгөгдлийн шинжилгээний хоорондын налуууг Q_i дараах тэгшитгэлээр тодорхойлдог. Энд:

$$Q_i = \frac{x_j - x_k}{j - k}, \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (10)$$

Энд x_j болон x_k өгөгдлийн цаг хугацааны j өөрчлөлтийн ($j > k$) утгууд байна. Хэрэв зөвхөн нэг өгөгдөл байгаа бол $N = \frac{n(n-1)}{2}$; N нь үргэлжлэх хугацаа юм. Олон өгөгдөл байгаа бол $N < \frac{n(n-1)}{2}$; I нийт өгөгдлийн тоо юм. Налуугийн тооцооны N утгыг хамгийн багаас их хүртэл нь тооцно. Налуугийн шинжилгээний (β) дундажийг дараах тэгшитгэлээр тодорхойлдог. Энд:

$$\beta = \begin{cases} Q[(N+1)/2] & N \text{ сондгой үед} \\ Q[(N/2) + Q(N+2)/(2)]/(2) & N \text{ тэгш үед} \end{cases} \quad (11)$$

Энэ налууугийн шинжилгээний тооцоогоор β -ийн утга нь өсөх эсвэл буурч буйг илрүүлж дүн шинжилгээ хийдэг.

Статистик шинжилгээний арга

Шугаман регресс: Уур амьсгалын чиг хандлагыг нуурын талбайтай нь харьцуулах байдлаар цаг хугацааны өөрчлөлтийн хандлагыг тодорхойлдог. Регрессийн параметр нь a , регрессийн коэффициент b нь хамгийн бага квадратын аргаар үнэлж дараах тэгшитгэлээр тооцов (Freedman, 2008). Энд:

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (12)$$

Энд $x = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n x_i$, $y = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n y_i$ нь $b > 0$ байх үед уур амьсгалын хүчин зүйл өсөх, $b < 0$ байх үед буурах хандлагатай байгааг илэрхийлнэ. Энэ судалгаанд 1991-2021 оны хооронд судалгаанд хамрагдаж буй нууруудын талбай, уур амьсгалын өөрчлөлтийн хамаарлыг тодруулсан.

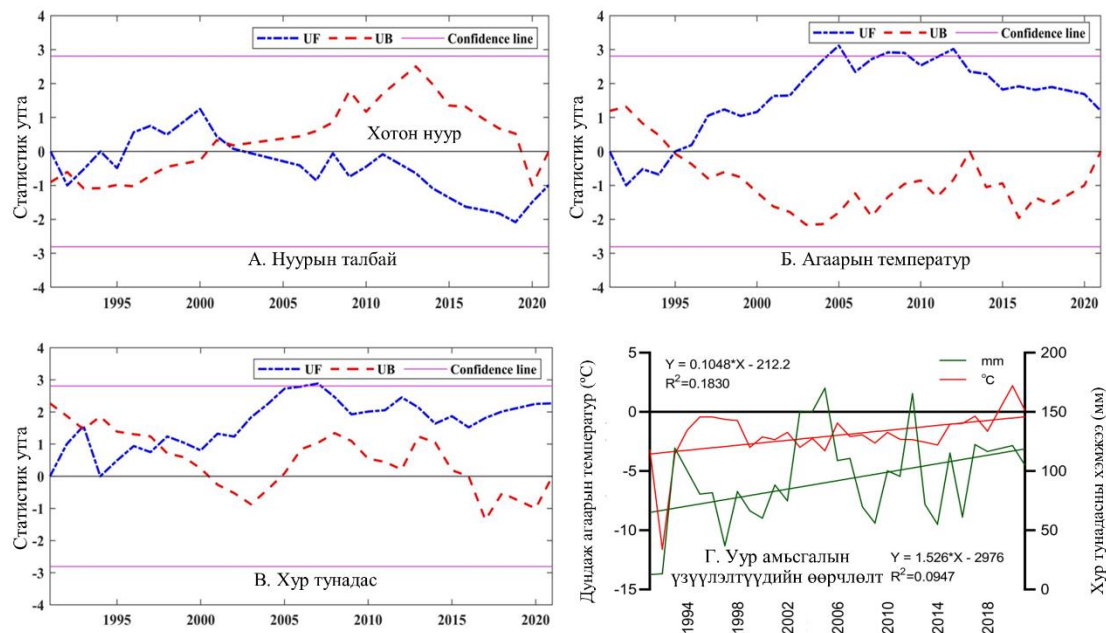
Корреляцийн коэффициент: Монгол орны байгалийн янз бүрийн бүсэд орших нууруудын талбайн өөрчлөлтөд уур амьсгалын нөлөөллийг энэ аргаар тооцсон. Корреляцийн коэффициентын аргын дараах тэгшитгэлээр тооцов (Benesty et al., 2009). Энд:

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=0}^n [(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})]}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 + \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (13)$$

Энд: y_i - корреляцийн коэффициент, x_i - үл хамаарах хувьсагч, \bar{x} - үл хамаарах хувьсагчийн дундаж, y_i - хамаарах хувьсагч, \bar{y} - хамаарах хувьсагчийн дундаж утга юм. Энэ тэгшитгэлд \bar{x} болон \bar{y} хоёр хүчин зүйлсийн түүврийн утгуудын дундаж утга, $r_{xy} > 0$ нь эерэг хамаарлыг илэрхийлж, $r_{xy} < 0$ нь сөрөг хамаарлыг илэрхийлдэг.

Судалгааны үр дүн ба хэлэлцүүлэг

Өндөр уулын бүсийн нуурын талбай болон уур амьсгалын үзүүлэлтүүдийн өөрчлөлтийн хамаарал: Өндөр уулын бүсийг төлөөлөх Баян-Өлгий аймгийн Цэнгэл суманд орших Хотон нуурын талбайн өөрчлөлтийг 30 жилийн хугацаатайгаар сонгож уур амьсгалын хамааралтай нь уялдуулж тооцоо хийв (Зураг 2).



Зураг 2. Өндөр уулсын бүсийн нуурын талбай болон уур амьсгалын үзүүлэлтүүдийн өөрчлөлт, хэлбэлзлийн уялдаа А. Хотон нуурын талбайн өөрчлөлтийн чиг хандлага Б. Агаарын температурын чиг хандлага В. Хур тунадасны чиг хандлага Г. Хотон нуур орчмын уур амьсгалын үзүүлэлтүүдийн хандлага (1991-2021)

Хотон нуурын талбайн өөрчлөлтийн хандлагаас үзвэл 1991-2000 он хүртэл тогтвортой нэмэгдэж байсан бол 2000 оноос хойш буурах хандлагатай байв. Агаарын температурын чиг хандлага МК тооцоогоор 1995 оноос тогтмол нэмэгдэх хандлага илэрч байв. Тодруулбал 2005-2015 он хүртэл статистикийн утга +2 руу орсон нь агаарын дундаж температур огцом нэмэгдсэнийг илэрхийлж байв. Хотон нуур орчмын хур тунадасны хэмжээ 1995 он хүртэл харьцангуй тогтвортой байсан бол түүнээс хойш хур тунадасны хэмжээ статистикийн утгаар +2-ын утга руу 2021 он хүртэл дөхөж нэлээд нэмэгдсэн байна.

Судалгаанд хамруулж буй нууруудын талбай ба уур амьсгалын чиг хандлагын Манн-Кендалл (МК), Чиг хандлагын тооцоо (ITAM), Налуугийн тооцоо (SET) зэрэг үзүүлэлтийг тооцож гаргав (Хүснэгт 2).

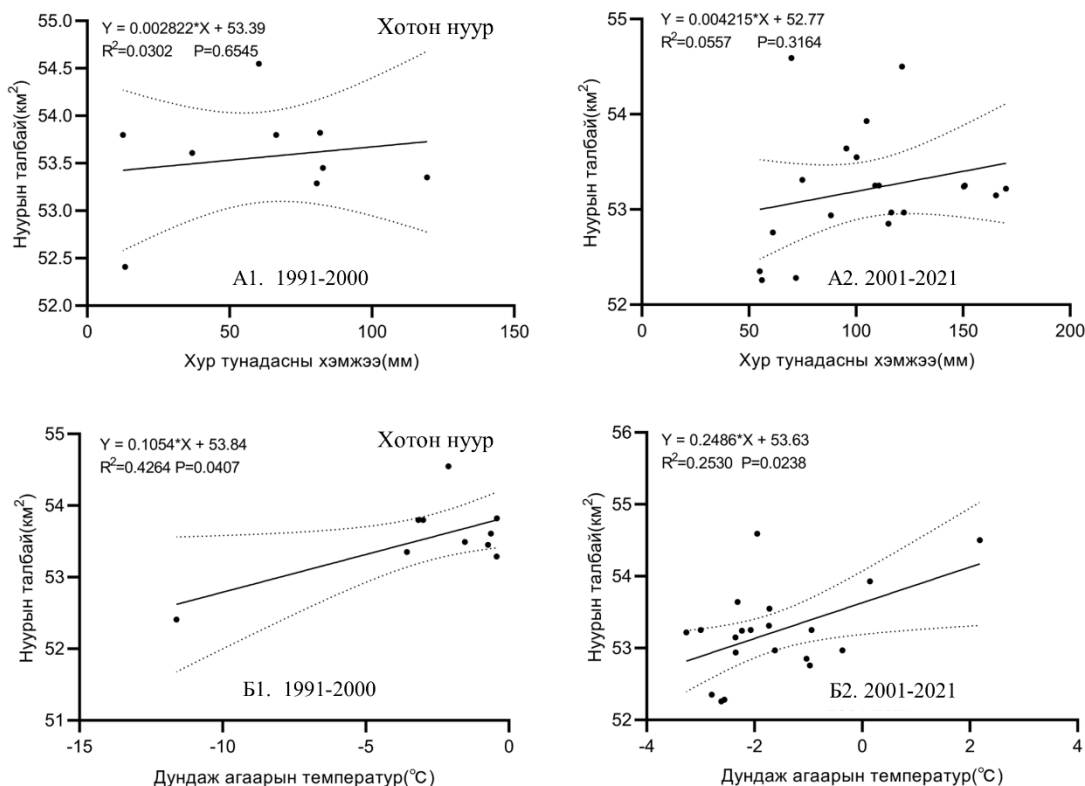
Хүснэгт 2. Хотон нуурын талбай болон уур амьсгалын үзүүлэлтүүдийн чиг хандлага

№	Үзүүлэлт	МК	ITAM	SET
1	Нуурын талбай	-0.926	0.004	-0.02
2	Агаарын температур	1.177*	-0.104	0.031
3	Хур тунадас	2.248**	1.933*	0.273

Судалгаанд ашигласан МК, ITAM, SET зэрэг тооцооноос үзэхэд нуурын талбай буурсан бол агаарын температур өсөх, хур тунадас харьцангуй нэмэгдэх хандлага илэрч байна.

Уур амьсгалын өөрчлөлтийн нөлөөг тооцож үзэхэд өндөр уулын бүсэд орших Хотон нуурын талбай сүүлийн 30 жилийн хугацаанд буурах хандлагатай, агаарын температур нэмэгдэх, хур тунадас харьцангуй нэмэгдэх хандлага илэрч байна. Энэ чиг хандлагад нь тулгуурлан сүүлийн 30 жилийн уур амьсгалын хамаарлыг тодорхойлов. Өндөр уулын бүсэд олон жилийн агаарын дундаж хэм сүүлийн 30 жилийн хугацаанд олон жилийн дундаж -3.5 °C-ээс -0.5 °C орчим болтлоо нэмэгдсэн байна. Хур тунадасны хэмжээ мөн 75 мм-ээс 115 орчим мм болтлоо өсөх хандлага илэрчээ. Энэ нь уур амьсгалын орчин үеийн өөрчлөлт нь өндөр уулын бүсэд орших нууруудын талбайд тодорхой нөлөө үзүүлж байгааг илтгэнэ. Хур тунадасны хэмжээ харьцангуй нэмэгдсэн боловч агаарын температур огцом нэмэгдсэнээр ууршилтын—хэмжээ ихэсч нуурын талбайг бууруулахад хүргэсэн байх боломжтой юм.

Судалгаанд ашигласан МК-ийн тооцоогоор нуурын талбай 2000 оноос хойш тогтмол буурах хандлага илэрсэн. Энэ зүй тогтлыг нуурын талбай буурч эхэлсэн цаг хугацааны мөчлөгтэй нь уялдуулж түүний уур амьсгалын үзүүлэлтүүдтэй хамаарах хамаарлыг 1991-2000, 2001-2021 он гэсэн 2 үед хувааж үзүүлээ (Зураг 3).

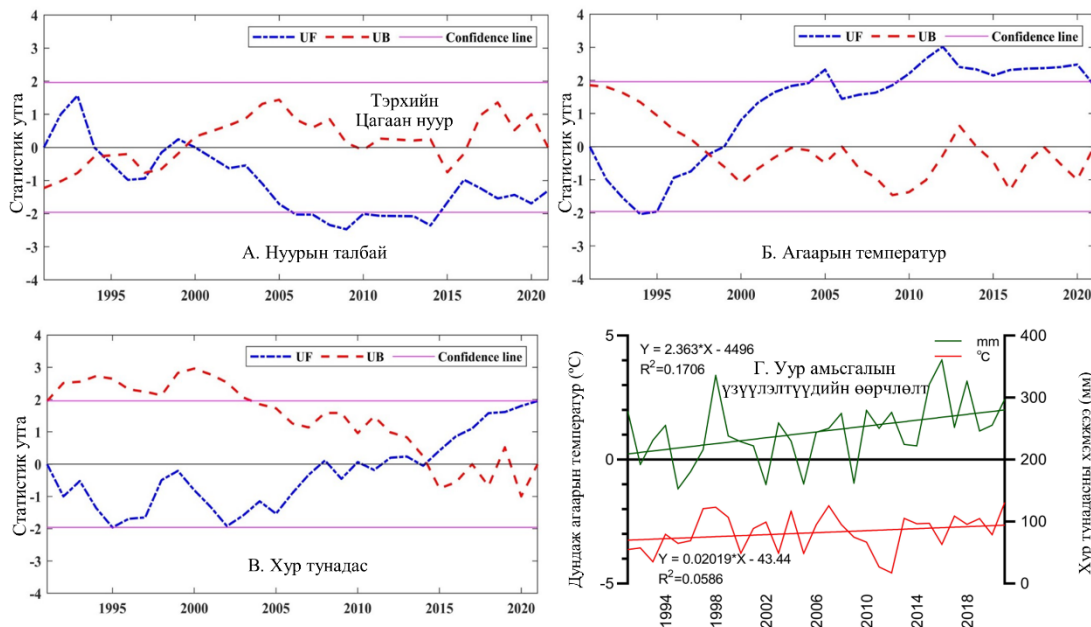


Зураг 3. Хотон нуурын талбайн өөрчлөлт ба уур амьсгалын хамаарал А. Нуурын талбай ба хур тунадасны хамаарал (А1.1991-2000, ба А2.2001-2021) Б. Нуурын талбай ба агаарын температурын хамаарал (Б1.1991-2000 ба Б2.2001-2021)

Үр дүнгээр Хотон нуурын талбайн өөрчлөлтөнд хур тунадасны хамаарал 1991-2021 он хүртэл $R^2 = 0.03$ -аас 0.055 буюу 3% буюу харьцангуй хамаарал багатай, харин агаарын температурын

хувьд 2000 он хүртэл $R^2=0.426$ буюу 42%-ийн дундаж эерэг хамааралтай, 2000 оноос хойш $R^2=0.253$ буюу 25%-ийн хамаарлыг илэрхийлж байв. Эндээс өндөр уулын бүсэд орших нууруудын талбайд агаарын жилийн дундаж температурын өсөлт илүү хамааралтай болох нь тогтоогдож байна. Өндөр уулын бүсэд жилийн дундаж температур нэмэгдсэн нь ууршилтын хэмжээг нэмэгдүүлж нуурын талбай багасахад нөлөөлсөн байх боломжтой юм.

Ойт хээрийн бүсийн нуурын талбай болон уур амьсгалын үзүүлэлтүүдийн өөрчлөлтийн хамаарал: Архангай аймгийн Тариат суманд орших Тэрхийн Цагаан нуурын талбайн өөрчлөлтийг 30 жилийн хугацаатайгаар сонгож уур амьсгалын үзүүлэлтүүдийн өөрчлөлттэй нь уялдуулж тооцоо хийв (Зураг 4).



Зураг 4. Ойт хээрийн бүсийн нуурын талбай болон уур амьсгалын үзүүлэлтүүдийн өөрчлөлт, хэлбэлзлийн уялдаа А. Тэрхийн Цагаан нуурын талбайн өөрчлөлтийн чиг хандлага Б. Агаарын температурын чиг хандлага В. Хур тунадасны чиг хандлага Г. Тэрхийн Цагаан нуур орчмын уур амьсгалын үзүүлэлтүүдийн хандлага (1991-2021)

Тэрхийн Цагаан нуурын талбайн өөрчлөлт нь 1991-2000 он хүртэл харьцангуй хэлбэлзэл багатай байсан бол 2000 оноос хойш огцом буурах хандлага илэрч байв. Тухайлбал 2005-2015 он хүртэл статистикийн ач холбогдолтойгоор буурсан нь нуурын талбайд өөрчлөлт тод илэрснийг гэрчилнэ. Агаарын температурын чиг хандлага МК тооцоогоор 1991-1995 он хүртэл буурах, Харин 1996 оноос хойш тогтмол нэмэгдэх хандлага илэрч байв. Агаарын температурын хэмжээ 2010 оноос хойш статистикийн ач холбогдолтойгоор өссөн нь ууршилтын хэмжээг огцом нэмэгдүүлж нуурын талбайд шууд нөлөөлсөн байх боломжтой. Тэрхийн Цагаан нуур орчмын хур тунадасны хэмжээ нь 2010 он хүртэл 0-ээс -2-ын хооронд байсан нь хур тунадас олон жилийн дундаас бага хэмжээтэй байсныг илэрхийлнэ. Харин 2015 оноос статистикийн утга 0-ээс +2-ын утга руу өсөх буюу хур тунадас нэмэгдэх хандлага илэрч байв.

Судалгаанд хамрагдсан ойт хээрийн бүсэд орших Тэрхийн Цагаан нуурын талбай ба уур амьсгалын өөрчлөлтийг МК, ITAM, SET зэрэг үзүүлэлтээр тооцов (Хүснэгт 3).

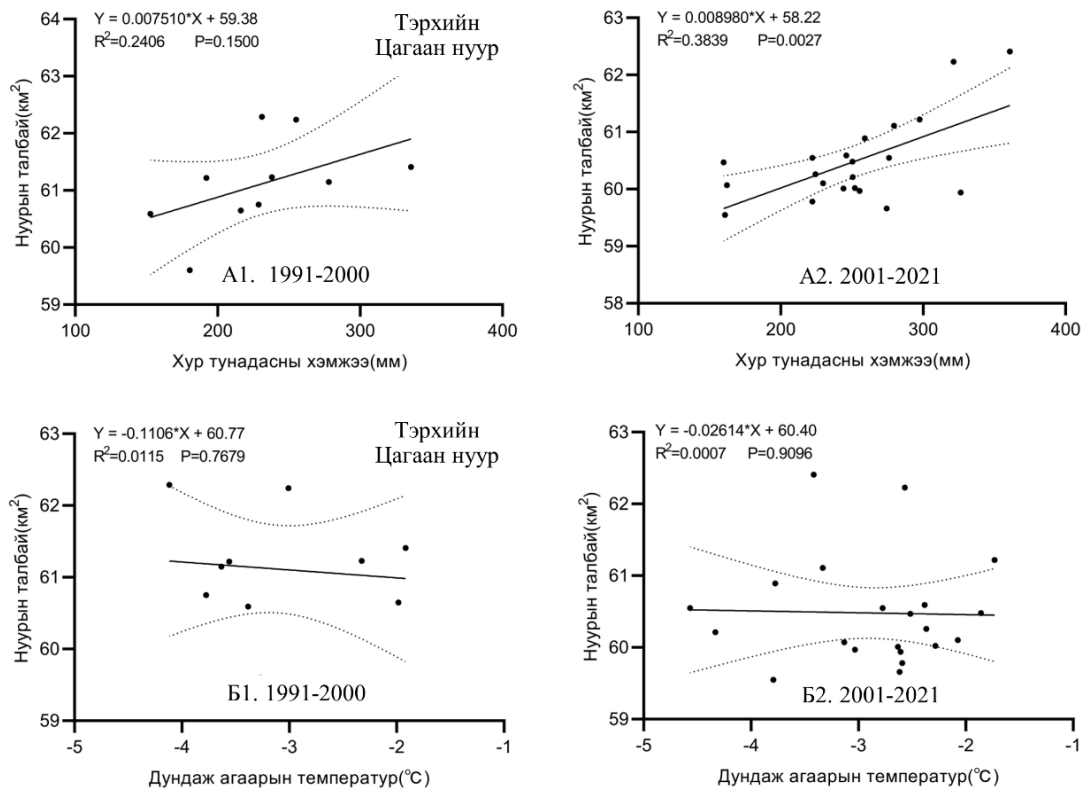
Хүснэгт 3. Тэрхийн Цагаан нуурын талбай болон уур амьсгалын үзүүлэлтүүдийн чиг хандлага

№	Үзүүлэлт	МК	ITAM	SET
1	Нуурын талбай	-1.245*	0.007	-0.027
2	Агаарын температур	1.835*	-0.022	0.036
3	Хур тунадас	1.937*	0.027	0.142

Судалгаанд ашигласан МК, ITAM, SET зэрэг тооцооноос үзэхэд Тэрхийн Цагаан нуурын талбай буурсан нь агаарын температур, хур тунадасны хэлбэлзэлтэй холбоотой нь илэрч байна.

Уур амьсгалын үзүүлэлтүүдийн хэлбэлзэл өөрчлөлтөөс үзэхэд ойт хээрийн бүсэд орших Тэрхийн Цагаан нуурын талбай буурах хандлага илэрсэн. Ойт хээрийн бүсэд олон жилийн агаарын дундаж хэм сүүлийн 30 жилийн хугацаанд олон жилийн дундаж -3.2 °C-ээс -2.8 °C орчим болжээ. Хур тунадасны хэмжээ мөн 210 мм-ээс 280 мм болглоо өсөх хандлага илэрчээ байв. Энэ нь уур амьсгалын орчин үеийн өөрчлөлт ойт хээрийн бүсэд орших нуурын талбайд тодорхой нөлөө үзүүлсэн байгааг илтгэж байна.

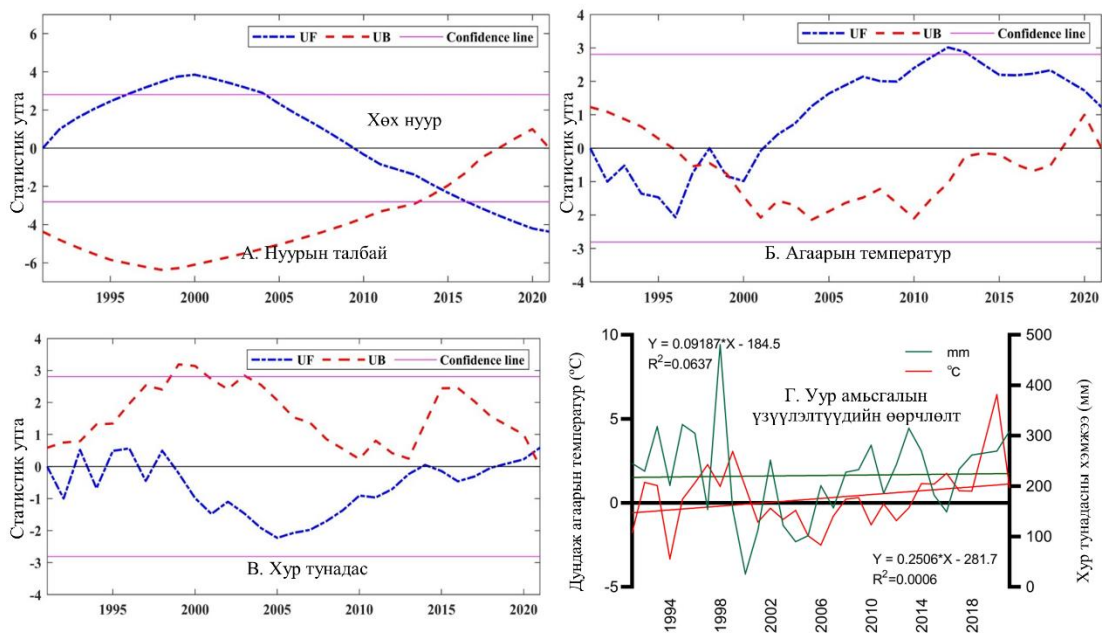
Судалгаанд ашигласан МК-ийн тооцоогоор Тэрхийн Цагаан нуурын талбай 2000 оноос хойш тогтмол буурах хандлага илэрсэн. Энэ зүй тогтлыг нуурын талбай буурч эхэлсэн цаг хугацааны мөчлөгтэй нь уялдуулж түүний уур амьсгалын үзүүлэлтүүдтэй хамаарах хамаарлыг 1991-2000, 2001-2021 он гэсэн 2 үед хувааж үзүүллээ (Зураг 5).



Зураг 5. Тэрхийн Цагаан нуурын талбай болон уур амьсгалын үзүүлэлтүүдийн өөрчлөлтийн хамаарал А. Нуурын талбай ба хур тунадасны хамаарал (А.1991-2000 ба А2.2001-2021) Б. Нуурын талбай ба агаарын температурын хамаарал (Б1.1991-2000 ба Б2.2001-2021)

Тэрхийн Цагаан нуурын талбайн өөрчлөлтөнд хур тунадасны хамаарал 1991-2000 он хүртэл $R^2=0.24$ буюу 24%-ийн хамааралтай байсан бол 2001-2021 он хүртэл $R^2=0.383$ буюу 38%-ийн эерэг хамааралтай байв. Харин агаарын температурын хувьд 1991-2021 он хүртэл $R^2=0.0007-0.115$ буюу хамаарал ажиглагдаагүй. Эндээс ойт хээрийн бүсэд орших нууруудын талбайд хур тунадасны хэмжээ илүү хамааралтай болох нь тогтоогдож байна.

Хээрийн бүсийн нуурын талбай болон уур амьсгалын үзүүлэлтүүдийн өөрчлөлтийн хамаарал: Дорнод аймгийн Чулуунхороот суманд орших Хөх нуурын талбайн өөрчлөлтийг 30 жилийн хугацаатайгаар сонгож уур амьсгалын үзүүлэлтүүдийн өөрчлөлт, хэлбэлзэлтэй нь уялдуулж тооцоо хийв (Зураг 6).



Зураг 6. Хээрийн бүсийн нуурын талбай болон уур амьсгалын үзүүлэлтүүдийн өөрчлөлт, хэлбэлзлийн уялдаа А. Хөх нуурын талбайн өөрчлөлтийн чиг хандлага Б. Агаарын температурын чиг хандлага В. Хур тунадасны чиг хандлага Г. Хөх нуур орчмын уур амьсгалын үзүүлэлтүүдийн хандлага (1991-2021)

Хөх нуурын талбайн өөрчлөлтийг авч үзвэл 1991-2010 он хүртэл нуурын талбайн хэлбэлзэл статистикийн утга 0-ээс +2-ын хооронд буюу нуурын талбай нэмэгдэх хандлагатай байсан бол 2010 оноос хойш огцом буурч 2015 оноос статистикийн утга -2-оос доош орсон хандлага илэрч байв. Хээрийн бүсэд орших нуурын талбай 1995-2005 он хүртэл статистикийн үнэмшлийн +2 утга руу дөхөж нуурын талбай нэмэгдэж байжээ. Агаарын температурын чиг хандлага МК тооцоогоор 2000 оноос хойш тогтмол нэмэгдэх хандлага илэрч байв. Тодруулбал 2000 оноос хойш статистикийн үнэмшлийн +2 утгаас дээш гарсан нь ууршилтын хэмжээг огцом нэмэгдүүлж нуурын талбайд шууд нөлөөлсөн байх боломжтой юм. Хөх нуур орчмын хур тунадасны чиг хандлагаас үзэхэд статистикийн утга 2000 оноос хойш буурчээ. Статистикийн утгаар 2001-2015 онуудад хур тунадасны хэмжээ 0-ээс -2 руу дөхсөн утга нь олон жилийн дунджаас бага хэмжээтэй байсныг илэрхийлнэ. Харин 2014 оноос статистикийн утга 0-ээс +1 буюу өсөх буюу хур тунадас бага зэрэг нэмэгдэх хандлага илэрч байв.

Хээрийн бүсэд орших Хөх нуурын талбайн өөрчлөлт ба уур амьсгалын чиг хандлагын Манн-Кендалл (МК), Чиг хандлагын тооцоо (ITAM), Налуугийн тооцоо (SET) зэрэг үзүүлэлтийг тооцов (Хүснэгт 4).

Хүснэгт 4. Хөх нуурын талбай болон уур амьсгалын үзүүлэлтүүдийн чиг хандлага

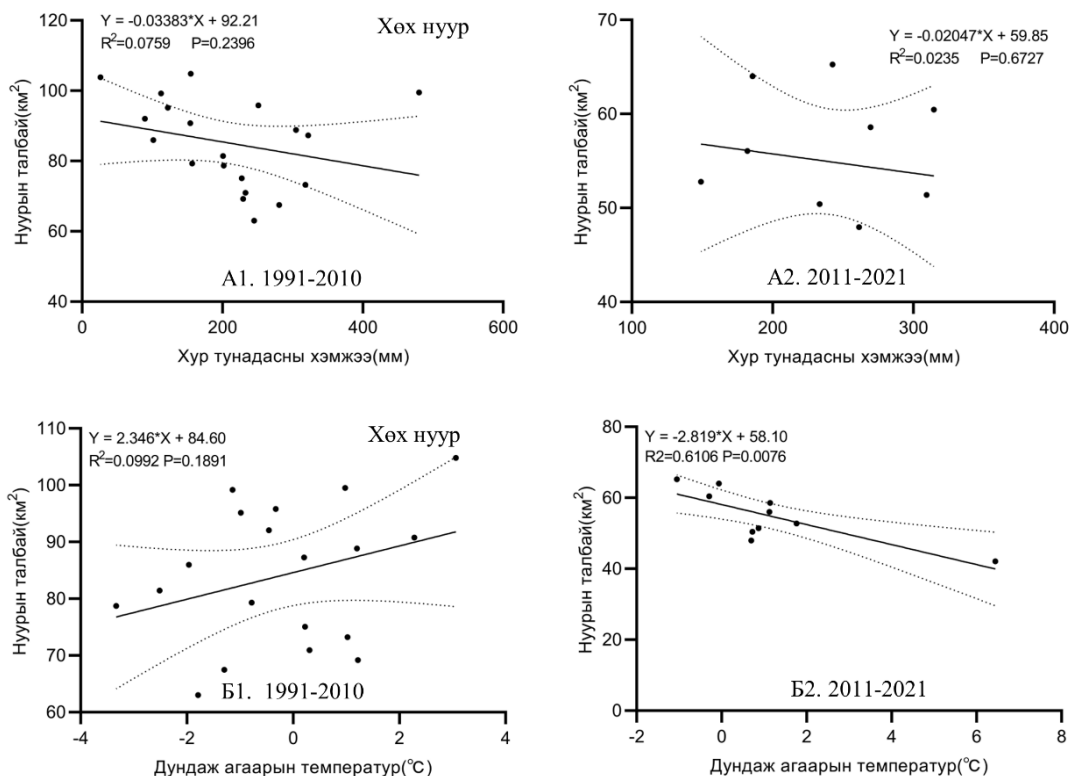
№	Үзүүлэлт	МК	ITAM	SET
1	Нуурын талбай	-4.353***	-0.130	-2.415**
2	Агаарын температур	1.213*	-0.070	0.027
3	Хур тунадас	0.570	0.333	1.22

Судалгаанд ашигласан МК, ITAM, SET зэрэг тооцооноос үзэхэд Хөх нуурын талбай буурах хандлага илэрчээ. Агаарын температур нэмэгдсэн бол хур тунадасны хэлбэлзэл харьцангуй багатай байгаа нь илэрч байв.

Уур амьсгалын үзүүлэлтүүдийн хандлагаас үзэхэд хээрийн бүсэд орших Хөх нуурын талбай 2010 оноос огцом буурах хандлага илэрсэн. Хээрийн бүсэд олон жилийн агаарын дундаж хэм сүүлийн 30 жилийн хугацаанд олон жилийн дундаж температур -0.5 °C-ээс 0.8 °C орчим болжээ. Хур тунадасны хэмжээ 210 мм орчим байна. Сүүлийн 30 жилийн уур амьсгалын өөрчлөлт

хээрийн бүсэд харьцангуй хэлбэлзэл бага боловч нуурын талбайн өөрчлөлтийн цаг хугацааны мөчлөгөөр нь авч үзвэл өөрчлөлт тод илэрч байв.

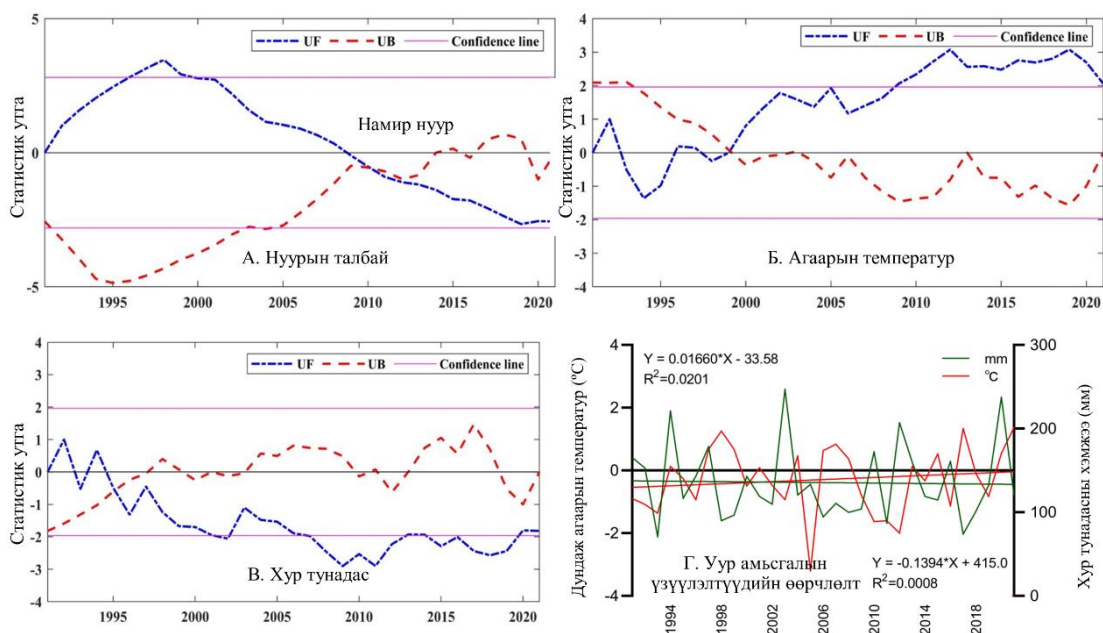
Судалгаанд ашигласан МК-ийн тооцоогоор Хөх нуурын талбай 2010 оноос хойш тогтмол буурах хандлага илэрсэн. Энэ зүй тогтлыг нуурын талбай буурч эхэлсэн цаг хугацааны мөчлөгтэй нь уялдуулж түүний уур амьсгалын үзүүлэлтүүдтэй хамаарах хамаарлыг 1991-2010, 2011-2021 он гэсэн 2 үед хувааж үзүүлээ (Зураг 7).



Зураг 7. Хөх нуурын талбай болон уур амьсгалын үзүүлэлтүүдийн өөрчлөлтийн хамаарал А. Нуурын талбай ба хур тунадасны хамаарал (А.1991-2010 ба А2.2011-2021) Б. Нуурын талбай ба агаарын температурын хамаарал (Б1.1991-2010 ба Б2.2011-2021)

Хөх нуурын талбайн өөрчлөлтөнд хур тунадасны хамаарал 1991-2021 он хүртэл $R^2=0.023-0.075$ буюу хамаарал сул байсан. Харин агаарын температурын хувьд 1991-2010 он хүртэл $R^2=0.189$ буюу сулхан эерэг хамааралтай байсан бол 2011-2021 он хүртэл $R^2=0.610$ буюу 61%-ийн хүчтэй эерэг хамааралтай байв. Эндээс хээрийн бүсэд орших нууруудын талбайд агаарын температур илүү хүчтэй хамааралтай бол хур тунадас сул эерэг хамааралтай болох нь тогтоогдож байна.

Говийн нуурын талбай болон уур амьсгалын үзүүлэлтүүдийн өөрчлөлтийн хамаарал: Увс аймгийн Өмнөговь суманд орших Намир нуурын талбайн өөрчлөлтийг 30 жилийн хугацаатайгаар авч уур амьсгалын үзүүлэлтүүдийн өөрчлөлт, хэлбэлзэлтэй нь уялдуулж тооцоолов (Зураг 8).



Зураг 8. Говийн бүсийн нуурын талбай болон уур амьсгалын үзүүлэлтүүдийн өөрчлөлт, хэлбэлзлийн уялдаа А. Намир нуурын талбайн өөрчлөлтийн чиг хандлага Б. Агаарын температурын чиг хандлага В. Хур тунадасны чиг хандлага Г. Намир нуур орчмын уур амьсгалын үзүүлэлтүүдийн хандлага (1991-2021)

Намир нуурын талбайн өөрчлөлтийн хандлагаас үзвэл 1991-2010 он хүртэл нуурын талбайн хэлбэлзэл статистикийн утга 0-ээс +2-ын хооронд байв. Тодруулбал 1995-2000 онд статистикийн утга +2 ба түүнээс дээш хэмжээнд буюу нуурын талбай хамгийн их хэмжээндээ хүрсэн үе байв. Харин 2000 оноос нуурын талбай буурсан боловч статистикийн дундаж 0 утгаас дээгүүр үзүүлэлттэй байв. Харин 2010 оноос нуурын талбай хойш огцом буурч 2018 оноос статистикийн утга -2-оос доош оржээ. Агаарын температурын чиг хандлага МК тооцоогоор 2000 оноос хойш тогтмол нэмэгдэх хандлага илэрч байв. Тодруулбал 2010 оноос хойш говийн бүсэд агаарын дундаж температур хазайц статистик үнэмшлийн +2 утгаас дээш гарсан нь ууршилтын хэмжээг огцом нэмэгдүүлж нуурын талбайг бууруулахад шууд нөлөөлсөн байна. Намир нуур орчмын хур тунадасны чиг хандлагаас үзэхэд статистикийн утга 1995 оноос хойш буурчээ. Статистикийн утгаар 1995-2003 онуудад хур тунадасны хандлага 0-ээс -2 руу орж буурсан бол 2003 оноос хойш статистик үнэмшлийн утга -2 буюу түүнээс доош үзүүлэлттэй байна. Энэ нь хур тунадасны хэмжээ говийн бүсийн нууруудын талбайд шууд нөлөөлдөг болох нь тогтоогдож байна.

Говийн бүсэд орших Намир нуурын талбайн өөрчлөлт ба уур амьсгалын үзүүлэлтүүдийн чиг хандлагын МК, ITAM, SET зэрэг үзүүлэлтийг тооцов (Хүснэгт 5).

Хүснэгт 5. Намир нуурын талбай болон уур амьсгалын үзүүлэлтүүдийн чиг хандлага

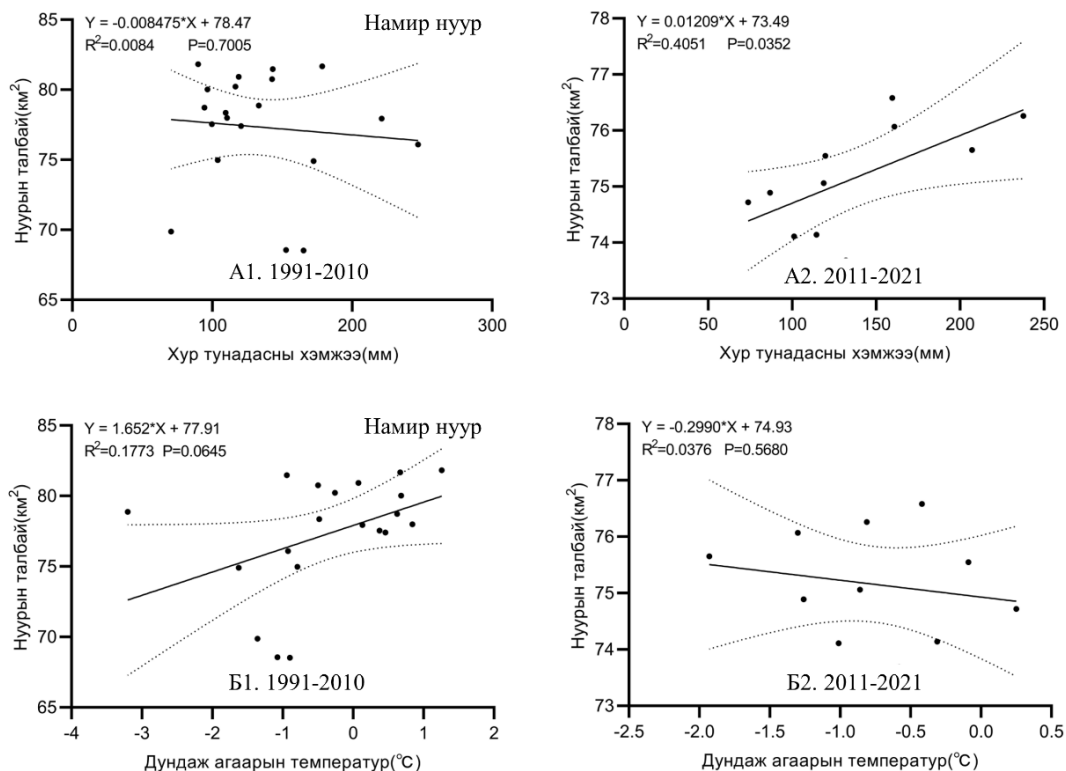
№	Үзүүлэлт	МК	ITAM	SET
1	Нуурын талбай	-2.549**	0.0172	-0.187
2	Агаарын температур	2.056**	-0.012	0.0413
3	Хур тунадас	-1.801*	0.0172	-0.163

Судалгаанд тооцоолсон МК, ITAM, SET зэргийн үзүүлэлтээс харахад Намир нуурын талбай олон жилийн дунджаар буурах хандлага илэрчээ. Агаарын температур нэмэгдсэн бол хур тунадас огцом багасах хандлага илэрч байв.

Уур амьсгалын хамаарлаас үзэхэд говийн бүсэд орших Намир нуурын талбай 2010 оноос огцом буурах хандлага илэрсэн. Говийн бүсэд олон жилийн агаарын дундаж хэм сүүлийн 30 жилийн хугацаанд олон жилийн дундаж температур -0.5°C-ээс 0°C орчим байна. Хур тунадасны хэмжээ 130 мм орчим байна. Сүүлийн 30 жилийн уур амьсгалын өөрчлөлт говийн бүсэд

харьцангуй хэлбэлзэл бага боловч нуурын талбайн өөрчлөлтийн цаг хугацааны мөчлөгөөр нь авч үзвэл өөрчлөлт тод илэрч байв.

Судалгаанд ашигласан МК-ийн тооцоогоор Намир нуурын талбай 2010 оноос хойш огцом тогтмол буурах хандлага илэрсэн. Энэ зүй тогтлыг нуурын талбай буурч эхэлсэн цаг хугацааны мөчлөгтэй нь уялдуулж түүний уур амьсгалын үзүүлэлтүүдтэй хамаарах хамаарлыг 1991-2010, 2011-2021 он гэсэн 2 үед хувааж үзүүлээ (Зураг 9).



Зураг 9. Намир нуурын талбай болон уур амьсгалын үзүүлэлтүүдийн өөрчлөлтийн хамаарал А. Нуурын талбай ба хур тунадасны хамаарал (А1.1991-2010 ба А2.2011-2021) Б. Нуурын талбай ба агаарын температурын хамаарал (Б1.1991-2010 ба Б2.2011-2021)

Намир нуурын талбайн өөрчлөлтөнд хур тунадасны хамаарал 1991-2010 он хүртэл $R^2=0.008$ буюу хамаарал маш сул байсан. Харин 2011-2021 он хүртэл $R^2=0.405$ буюу хамаарал дундаж эерэг хамааралтай болтлоо нэмэгджээ. Агаарын температурын хувьд 1991-2010 он хүртэл $R^2=0.177$ буюу сулхан эерэг хамааралтай байсан бол 2011-2021 он хүртэл $R^2=0.036$ буюу хамаарал маш багатай байв. Эндээс говийн бүсэд орших нууруудын талбайд хур тунадасны хэмжээ илүү хүчтэй хамааралтай, харин агаарын температур сул эерэг хамааралтай болох нь тогтоогдож байна.

Судалгаанд хамрагдаж буй Монгол орны байгалийн бүс бүрийг төлөөлж буй нууруудын талбайн хэмжээ сүүлийн 30 жилийн хандлага буурах хандлагатай байна. Энэ хандлагад уур амьсгалын өөрчлөлт тодорхой нөлөөлж байгааг тогтоосон. Гэхдээ цаг хугацааны хувьд байгалийн бүсээс хамаарч харилцан адилгүй нөлөөлжээ.

Кан, Хон (2016) нарын судалгаанд Ойт хээрийн Тэлмэн, Бүст, Хээрийн бүсийн Өгий, Хөх, Говийн бүсийн Бөөн Цагаан, Орог зэрэг нийт 73 нуурын талбайн өөрчлөлтийг 2000-2011 онуудын хооронд тооцож гаргахад нуурууд жилд дунджаар -53.7 км² хэмжээтэй буюу -9.3% -иар буурсан гэж тооцоолжээ. Тухайлбал, Монгол орны хагас хуурай бүс нутагт нуурын талбайн хэмжээ бага, дунд зэргийн хэмжээтэй багасч байхад хэт хуурай гандуу бүс нутагт нуурын талбай огцом багассан хандлага илэрчээ. Эндээс байгалийн бүсүүдийн онцлог, орон зайн хувьд харьцангуй өөр өөр өөрчлөлтүүд илэрч байгааг тогтоожээ (Kang, Hong, 2016).

Орхонсэлэнгэ (2022) нарын судалгаанд өндөр уулын бүсэд орших Хотон нуурын талбай 2010-2015 оны хооронд хур тунадас ($R^2 = 0.084$), агаарын температур ($R^2 = 0.0004$) буюу тодорхой хамааралгүй гэж үзжээ. Корреляцийн шинжилгээгээр нуурын талбай 2010-2015 онуудад хур тунадастай ($r=0.289$) эерэг, агаарын температуртай ($r=-0.021$) сөрөг хамааралтай байгааг тодорхойлсон (Orkhonselenge et al., 2022). Гэхдээ дээрх тооцоонд ашигласан мэдээний цуваа богино учраас нуурын талбайн өөрчлөлтийг уур амьсгалын нөлөөг илэрхийлэх боломжгүй юм.

Ойт хээрийн бүсэд орших Тэрхийн Цагаан нуурын талбайн хувьд Орхонсэлэнгэ (2022) нарын судалгаанд регрессийн шинжилгээгээр 1970-2015 оны хооронд жилийн хур тунадастай ($R^2=0.47$) хамааралтай, агаарын дундаж температуртай ($R^2=0.0186$) тодорхой хамааралгүй гэж тооцоолжээ. Харин корреляцийн шинжилгээгээр нуурын талбай 1970-2015 онд хур тунадастай ($r=0.685$) эерэг хамааралтай, агаарын температуртай ($r=-0.136$) буюу хамаарал багатай байгааг тогтоожээ (Orkhonselenge et al., 2022). Бидний 1991-2021 он хүртэлх судалгаагаар Монгол орны ойт хээрийн бүсэд орших нууруудын талбайд хур тунадасны хэмжээ илүү хамааралтай байв.

Хээрийн бүсийн хувьд Эрдэнэсүх (2020), Амгалан (2020) нарын судалгаанд хээрийн бүсийн төлөөлөл болох Өгий нуурын талбай 1986-2018 он хүртэлх 13.5%-иар багасчээ. Түүнчлэн нуурын талбай ба усны түвшний өөрчлөлт хугацаанд ($r=0.95$) буюу хүчтэй эерэг хамааралтай байгааг тодорхойлсон. Энэ судалгаанд жилийн дундаж агаарын температурын өсөлт нь ууршилтын хэмжээг нэмэгдүүлж, нуурын талбай багасч байна гэж тодорхойлжээ (Sumiya et al., 2020; Amgalan et al., 2020). Хөх нуурын хувьд Орхонсэлэнгэ (2022) нарын судалгаанд регрессийн шинжилгээгээр 1989–2015 онд нуурын талбай температуртай ($R^2 = 0.6705$) хамааралтай, хур тунадастай ($R^2=0.0453$) хамаарал маш багатай байгааг тогтоожээ. Корреляцийн шинжилгээгээр 1989-2015 оны хооронд нуурын талбай температуртай ($r = -0.818$) буюу сөрөг хүчтэй хамааралтай бол хур тунадастай ($r=0.212$) хамааралгүй (Orkhonselenge et al., 2022) гэж тооцоолжээ. Бидний судалгаанд хээрийн бүсэд орших нууруудын талбайд агаарын температур илүү хүчтэй хамааралтай байсан бол хур тунадастай хамаарал багатай болох нь тогтоогдсон.

Говийн бүсийн төлөөлөл болох Намир нуурын хувьд бусад судлаачид энэ нуурын талбай, уур амьсгалын хамаарлын талаар судлаагүй байдаг. Монгол орны говийн бүсийн томоохон нуурууд болох Бөөн Цагаан, Орог нуурын талбайн өөрчлөлтийг 1973-2013 он хүртэлх хэлбэлзлийг Шуминска (2016) уур амьсгал болон цэвдгийн нөлөөтэй холбож судалжээ. Судалгаанд хамрагдсан хоёр нуурын талбайн хэмжээ 1973-2013 онуудад буурах хандлага илэрчээ. Гэвч нууруудын талбай нь дулааны улирлын онцлог, хур тунадасны хэлбэлзлээс хамаарч зарим үед ихээхэн нэмэгдэж, огцом буурч байгааг тодорхойлсон. Тухайн судалгааны үр дүнгээс үзэхэд нуурын талбайд нөлөөлөх гол хүчин зүйлс нь жилийн хур тунадасны хэлбэлзэл, агаарын температурын өсөлт, цасан бүрхүүлийн хэмжээ гэж тодорхойлжээ.

Энэ судалгаанд хамрагдаж буй хойд өргөргийн 48-50°-ын хооронд орших 4 нуурын талбай сүүлийн 30 жилийн хугацаанд буурсан нь төв азийн өндөрлөгт орших Монгол орны хувьд уур амьсгалын орчин үеийн дулаарлын нөлөө нь нуурын ус зүйн системд тод илэрч байгааг судалгааны үр дүнгүүд харуулж байна.

Тухайн судалгаанд 4 нуурын талбайн өөрчлөлтийг уур амьсгалын өөрчлөлтийн нөлөөтэй холбон тодорхойлж байгаа боловч Монгол орны байгалийн янз бүрийн бүсэд орших нууруудын талбайд мөн ийм өөрчлөлт илэрч байгааг тодруулан өгч байгаа нь судалгааны гол онцлог юм.

Дүгнэлт

Энэ судалгаанд Монгол орны өргөргийн дагуу ойролцоо орших нууруудын байгалийн янз бүрийн бүсийг төлөөлөх нууруудаас сонгож талбайн хэлбэлзэлд нөлөөлөх уур амьсгалын үзүүлэлтүүдийн өөрчлөлтийн нөлөөг тодорхойлов.

Судалгаанд нууруудын талбайг усны нормчлогдсон индексийн тооцоогоор, уур амьсгалын өгөгдлийг Манн-Кендалл (МК), Чиг хандлагын тооцоо (ITAM), Налуугийн тооцоо (SET)-г хийж статистик шинжилгээгээр хоорондын хамаарлыг нь гаргав.

Байгалийн янз бүрийн бүсэд орших нууруудын талбайн сансрын зурагт тулгуурласан тооцоогор нууруудын талбай сүүлийн 30 жилийн хугацаанд буурах хандлага илэрсэн. Цаг хугацааны мөчлөгийн хувьд өндөр уулын болон ойт хээрийн бүсийн нууруудын талбай 2000 оноос тогтмол буурах хандлага илэрсэн бол хээрийн, говийн бүсийн нуурууд 2010 оноос хойш тогтмол буурах хандлага илрэв.

Орчин үеийн уур амьсгалын өөрчлөлтөөс хамаарч ойт хээрийн болон өндөр уулын бүсэд орших нууруудад цаг хугацааны болон эрчмийн хувьд илүү хурдан нөлөөлж байна. Энэ нь уур амьсгалын нөөц ихтэй нутгуудад дулаарлын эрчим илүү тод илэрч буйн нэг жишээ юм.

Өндөр уулын бүсэд нууруудын талбайн бууралтад агаарын жилийн дундаж температурын өсөлт илүү хамааралтай байв. Харин ойт хээрийн бүсийн нууруудын талбайд хур тунадасны хэмжээ илүү хамааралтай байгааг тогтоов.

Хээрийн бүсийн нууруудын талбайд агаарын температурын нөлөө илүү хүчтэй хамааралтай бол хур тунадасны хэмжээ сул эерэг хамааралтай байв. Говийн бүсийн нууруудын талбайд хур тунадасны хэмжээ илүү хүчтэй хамааралтай бол агаарын температур сул хамааралтай болох нь энэ судалгааны үр дүнгээр тогтоогдов.

Монгол орны хувьд уур амьсгалын орчин үеийн дулаарлын нөлөө нь нуурын ус зүйн системд тод илэрч байгааг баталж байна. Түүнчлэн Монгол орны байгалийн янз бүрийн бүсэд орших нууруудын талбайд мөн ийм өөрчлөлт илэрч байгааг тодруулан өгч байгаа нь судалгааны гол онцлог юм.

Энэ судалгаа нь байгалийн янз бүрийн бүсэд орших нууруудыг цаашид ус зүйн хувьд зүй зохистой ашиглах, хамгаалах суурь нөхцөлийг бүрдүүлэхэд загвар болох боломжтой.

Талархал

Энэ судалгааг МУИС-ийн Залуу Судлаачийн Грант (P2022-4367) төсөлт ажлын судалгааны материалд тулгуурлан гүйцэтгэв. Судалгаанд хянан магадлагаа хийж оновчтой санал өгсөн шүүмжлэгч нарт талархал илэрхийлье.

Ном зүй

1. Алтанболд, Э., Уламбадрах, Х. (2022). *Монгол орны нуурын хотгорын гарал үүсэл*, Морфологи. Улаанбаатар, МУИС Пресс, 23-48.
2. Батнасан, Н. (1998). Монгол орны говийн томоохон нууруудын усны горим, ус зүйн систем ба тэдгээрийн хөгжлийн онцлог. *Докторын диссертаци*. Улаанбаатар хот, 23-29
3. Даваа, Г. (2018). Газар, Сансрын мэдээлэлд тулгуурласан Монгол Орны Нууруудын усны нөөцийн үнэлгээ, Түүнд байнгын хяналт-шинжилгээ хийх боломжийн судалгаа. *Зөвлөх үйлчилгээний ажлын тайлан*. Улаанбаатар хот, 27-58
4. Даш, Д., Мандах, Н., (2011). *Газарзүйн шинжлэх ухааны хөгжлийн түүх*, Улаанбаатар хот, 365-410
5. Доржготов, Д. (ред). (2022). Монгол орны байгалийн бүс, бүслүүрийн 1: 5000 000 масштабын зураг, *Монгол Улсын Үндэсний атлас*, ШУА-ийн Газарзүй-Геоэкологийн хүрээлэн, Улаанбаатар хот. 58-59
6. Мурзаев, Э.М., (1952). Монгольская Народная Республика: Физико-географическое описание. *Географиз*, Москва, 412-472
7. Севастьянов, Д. В., (ред. Дгебуадзе, Ю.Ю), (2014). *Лимнология и палеолимнология Монголии (издание второе, дополненное)*. Биологические ресурсы и природные условия Монголии. Труды Совместной Российско-Монгольской комплексной биологической экспедиции РАН и АНМ, 38-43.
8. Севастьянов, Д.В., Егоров, А.Н., Цэрэнсодном, Ж., Батнасан, Ж., (1990). География озер Монгольской Народной Респблики. *Изв. ВГО, т.122, вып.6*, сс. 535-540
9. Цэгмид, Ш (Ред). (1969). *Монгол орны физик газарзүй*. Улаанбаатар, Монгол: Улсын Хэвлэлийн газар, 125-127
10. Цэрэнсодном, Ж. (1971). *Монгол орны нуур*, Улаанбаатар хот, Улсын Хэвлэлийн газар, 17-92
11. Цэрэнсодном, Ж. (2000). *Монгол орны нуурын каталог (цэс)*, Улаанбаатар хот, Шувуун Саарал хэвлэлийн үйлдвэр, 67-156
12. Amgalan, M., Matsumoto, T., Ulaanbaatar, T., Nandintsetseg, N., Erdenesukh, S., Sandelger, D., & Altanbold, E. (2020). Estimation of evaporation from Ogi Lake using the energy budget method. *Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. G (Environmental Research)*, 76(5), I_301-I_309.

13. Benesty, J., Chen, J., Huang, Y., & Cohen, I. (2009). Pearson correlation coefficient. In *Noise reduction in speech processing* (pp. 1-4). Springer, Berlin, Heidelberg.
14. Dinpashoh, Y., & Babamiri, O. (2020). Trends in reference crop evapotranspiration in Urmia Lake basin. *Arabian Journal of Geosciences*, 13(10), 1-16.
15. Dorjsuren, B., Batsaikhan, N., Yan, D., Yadamjav, O., Chonokhuu, S., Enkhbold, A., ... & Abiyu, A. (2021). Study on relationship of land cover changes and ecohydrological processes of the Tuul River Basin. *Sustainability*, 13(3), 1153.
16. Dorjsuren, B., Yan, D., Wang, H., Chonokhuu, S., Enkhbold, A., Davaasuren, D., ... & Gedefaw, M. (2018a). Observed trends of climate and land cover changes in Lake Baikal basin. *Environmental Earth Sciences*, 77(20), 1-12.
17. Dorjsuren, B., Yan, D., Wang, H., Chonokhuu, S., Enkhbold, A., Yiran, X., ... & Abiyu, A. (2018b). Observed trends of climate and river discharge in Mongolia's Selenga sub-basin of the lake Baikal basin. *Water*, 10(10), 1436.
18. Enkhbold, A., Khukhuudei, U., & Doljin, D. (2022). A review of modern trends and historical stages of development of lake research in Mongolia. *Proceedings of the Mongolian Academy of Sciences*, 25-37.
19. Enkhbold, A., Khukhuudei, U., Kusky, T., Chun, X., Yadamsuren, G., Ganbold, B., & Gerelmaa, T. (2022). Morphodynamic development of the Terkhii Tsagaan Lake Depression, Central Mongolia: Implications for the relationships of Faulting, Volcanic Activity, and Lake Depression Formation. *Journal of Mountain Science*, 19(9), 2451-2468.
20. Freedman, D. A. (2008). On regression adjustments to experimental data. *Advances in Applied Mathematics*, 40(2), 180-193.
21. Fukushi, K., Katsuta, N., Jenkins, R. G., Matsubara, K., Takayama, B., Tanaka, Y., ... & Kashiwaya, K. (2015). Centennial-Scale Environmental Changes in Terhiin Tsagaan Lake, Mongolia Inferred from Lacustrine Sediment: Preliminary Results. In *Earth Surface Processes and Environmental Changes in East Asia* (pp. 25-44). Springer, Tokyo.
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. Güçlü, Y. S. (2020). Improved visualization for trend analysis by comparing with classical Mann-Kendall test and ITA. *Journal of Hydrology*, 584, 124674.
24. 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.
25. 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.
26. Lehmkuhl, F., Klinge, M., Rother, H., & Hülle, D. (2016). Distribution and timing of Holocene and late Pleistocene glacier fluctuations in western Mongolia. *Annals of Glaciology*, 57(71), 169-178.
27. Malik, A., Kumar, A., Pham, Q. B., Zhu, S., Linh, N. T. T., & Tri, D. Q. (2020). Identification of EDI trend using Mann-Kendall and Şen-innovative trend methods (Uttarakhand, India). *Arabian Journal of Geosciences*, 13(18), 1-15.
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. 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.
30. Nandintsetseg, B., Boldgiv, B., Chang, J., Ciais, P., Davaanyam, E., Batbold, A., ... & Stenseth, N. C. (2021). Risk and vulnerability of Mongolian grasslands under climate change. *Environmental Research Letters*, 16(3), 034035.
31. Orkhonselenge, A., Uuganzaya, M., Davaagatan, T. (2022). Landscape, Lake Distribution, and Evolution in Central Mongolia. In: *Lakes of Mongolia*. Syntheses in Limnogeology. Springer, Cham.
32. Robinson, K. D., Rosenmeier, M. F., & Soninkhishig, N. (2011). Basic Limnological Survey of Twenty-One Northern and Central Mongolian Lakes. *Mongolian Journal of Biological Sciences*, 9(1-2), 23-38.

33. Rudaya, N., Nazarova, L., Frolova, L., Palagushkina, O., Soenov, V., Cao, X., ... & Bayarkhuu, B. (2021). The link between climate change and biodiversity of lacustrine inhabitants and terrestrial plant communities of the Uvs Nuur Basin (Mongolia) during the last three millennia. *The Holocene*, 31(9), 1443-1458.
34. Sumiya, E., Dorjsuren, B., Yan, D., Dorligjav, S., Wang, H., Enkhbold, A., ... & Girma, A. (2020). Changes in water surface area of the lake in the Steppe Region of Mongolia: A case study of Ugii Nuur Lake, Central Mongolia. *Water*, 12(5), 1470.
35. Szumińska, D. (2016). Changes in surface area of the Böön Tsagaan and Orog lakes (Mongolia, Valley of the Lakes, 1974–2013) compared to climate and permafrost changes. *Sedimentary Geology*, 340, 62-73.
36. Tarasov, P., Dorofeyuk, N., Tseva, E.M. (2000). Holocene vegetation and climate changes in Hoton-Nur basin, northwest Mongolia. *Boreas*, 29(2), 117-126.
37. Wang, J. (2020). Determining the most accurate program for the Mann-Kendall method in detecting climate mutation. *Theoretical and Applied Climatology*, 142(3), 847-854.