



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

Geographical Issues

Газарзүйн Асуудлууд

Volume 25 (01)

ISSN: 2312-8534

2025

Ulaanbaatar

Drought Frequency and Spatio-Temporal Variability in the Great Lakes Depression Region of Western Mongolia (1990–2020)

Adiyadulam Mygmarsuren¹, Batsuren Dorjsuren^{1,*}, Altanbold Enkhbold², Burenbaatar Nyamdavaa¹

¹ Department of Environment and Forest Engineering, National University of Mongolia, Ulaanbaatar 210646, Mongolia

² Laboratory of Geopedology, Department of Geography, School of Arts and Sciences, National University of Mongolia, Ulaanbaatar 210646, Mongolia

*Corresponding author: batsuren@num.edu.mn

Received: 2025.01.03

Revised: 2025.04.11

Accepted: 2025.04.21

Abstract

In recent years, drought has become an increasingly frequent and severe environmental and climatic phenomenon in arid and semi-arid regions. The Great Lakes Depression in Mongolia is one of the region's most sensitive areas to drought and aridity. This study investigates the spatial and temporal distribution and the intensity of drought events in the Great Lakes Depression from 1990 to 2020 using remote sensing methodologies. Key climatic variables such as precipitation, air temperature, wind speed, and soil moisture were employed to estimate drought frequency. Additionally, satellite data from MODIS and Landsat 5 were used to calculate the Vegetation Condition Index (VCI), Temperature Condition Index (TCI), and Vegetation Health Index (VHI), providing a more detailed assessment of drought intensity and recurrence. These indices were further analyzed concerning the Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) through statistical comparison. The results indicate that the early 1990s were relatively wet, while the period between 2000 and 2011 saw a significant increase in drought frequency, with events occurring more frequently and over shorter intervals. Lakes in areas fed by precipitation and river inflow were particularly sensitive to changes in moisture availability. During the 2000–2011 drought period, TCI declined by 1%, precipitation by 0.9%, and VCI by 0.6%. Increasing aridity, reduced soil moisture, and rising air temperatures in the region have contributed to greater drought intensity and frequency. For example, the years 1994 (VCI: 54.1%), 1997 (78.5%), and 1998 (65.7%) were relatively moist, with high precipitation; however, the corresponding TCI values for those years—29.7%, 35.8%, and 9.9%, respectively—indicate that temperature-induced evapotranspiration exceeded moisture input, resulting in increased drought coverage and frequency despite favorable rainfall conditions.

Keywords: Drought frequency, Spatial analysis, Great Lakes depression, Climate change

Их нууруудын хотгор орчмын 1990-2020 оны хоорондох гангийн давтагдал, орон зай, цаг хугацааны өөрчлөлт

©Мягмарсүрэн Адъяадулам¹, Доржсүрэн Батсүрэн^{1,*}, Энхболд Алтанболд², Нямдаваа Бүрэнбаатар¹

¹ Хүрээлэн буй орчин, ойн инженерчлэлийн тэнхим, Инженер, Технологийн Сургууль, Монгол Улсын Их Сургууль, Улаанбаатар 14200, Монгол Улс

² Геопедологийн лаборатори, Газарзүйн Тэнхим, Байгалийн Ухааны Салбар, Шинжлэх Ухааны Сургууль, Монгол Улсын Их Сургууль, Улаанбаатар 210646, Монгол Улс

*Харилцагч зохиогч: batsuren@num.edu.mn

Хүлээн авсан: 2025.01.03

Засварласан: 2025.04.11

Зөвшөөрөгдсөн: 2025.04.21

Хураангуй

Ган гачиг нь сүүлийн жилүүдэд хуурай, гандуу бүс нутагт байнга тохиолдож буй байгаль орчин, цаг уурын ноцтой үзэгдэл бөгөөд эрчимтэй өсөн нэмэгдэж байна. Монгол орны Их нууруудын хотгор орчмын хуурай, хагас хуурай бүс нь энэхүү үзэгдэлд өндөр мэдрэмтгий бүс нутагт тооцогддог. Уг судалгаанд 1990–2020 оны хооронд тус бүс нутагт тохиолдсон ган гачгийн орон зайн тархалт, цаг хугацааны өөрчлөлт болон эрчмийн хувьслыг зайнаас тандан судлалын аргаар тодорхойлсон. Гангийн давтамжийг үнэлэхдээ хур тунадас, агаарын температур, салхины хурд, хөрсний чийг зэрэг цаг уурын үндсэн үзүүлэлтүүдийг ашигласан. Үүнээс гадна MODIS болон Landsat 5 хиймэл дагуулын мэдээнд тулгуурлан ургамлын төлөв байдлын индекс (VCI), температурын төлөв байдлын индекс (TCI), ургамлын эрүүл байдлын индекс (VHI)-ийг тооцоолсон бөгөөд эдгээр нь гангийн эрч, давтамжийг илүү нарийвчлалтай тодорхойлоход тус болсон. Мөн ууришилтын индекс (SPEI) болон VCI, TCI, VHI индексүүдтэй харьцуулсан статистик шинжилгээ хийсэн. Судалгааны үр дүнд, 1990–1999 оны эхэн үед харьцангуй чийглэг байдал ажиглагдаж байсан бол 2000–2011 оны хооронд гангийн давтамж эрс нэмэгдэж, тохиолдох хугацаа улам ойртсон нь тогтоогдсон. Хур тунадас болон голын усаар тэжээгддэг нуурууд нь чийгийн өөрчлөлтөд илүү мэдрэг болох нь судалгаагаар нотлогдов. Тухайлбал, 2000–2011 оны гангийн үед TCI 1%-иар, хур тунадас 0.9%-иар, VCI 0.6%-иар тус тус буурсан байна. Энэ хугацаанд хөрсний чийг багасаж, агаарын температур нэмэгдсэн нь гангийн эрч, давтамжийг улам бүр нэмэгдүүлжээ. Жишээ нь, хур тунадас ихтэй байсан 1994 (VCI – 54.1%), 1997 (78.5%), 1998 (65.7%) онуудад TCI нь харьцангуй бага буюу 1994 онд 29.7%, 1997 онд 35.8%, 1998 онд 9.9% байсан нь температурын өсөлтөөс шалтгаалан ууришилт нэмэгдэж, гангийн нөлөө чийгшлээс давж байсныг харуулж байна.

Түлхүүр үгс: Гангийн давтамж, Орон зайн шинжилгээ, Их нууруудын хотгор, Уур амьсгалын өөрчлөлт

©Зохиогчийн оруулсан хувь нэмэр: М.Адъяадулам, Д.Батсүрэн: Онолын үндэслэл, аргазүй боловсруулалт, өгөгдөл боловсруулалт, үндсэн бичвэр, өгөгдөл цуглуулалт, үр дүнгийн боловсруулалт Э.Алтанболд, Н.Бүрэнбаатар: үндсэн бичвэр, үр дүнгийн хяналт.

2312-8534/© 2025 Зохиогчийн бүх эрх хуулиар хамгаалагдсан.

Оршил

Дэлхийн хуурай гандуу бүс нутагт тохиолдож буй цаг уурын нарийн төвөгтэй үзэгдэл бол ган юм (Mishra & Singh, 2010). Энэхүү үзэгдлийг ихэвчлэн хур тунадас, температур, салхи, хөрсний чийг зэрэг цаг уурын хувьсагч үзүүлэлтүүдээр хэмждэг (Dai et al., 2018). Монгол орны Их нууруудын хотгор орчмын хуурай болон хагас хуурай бүс нутгууд борооны усаар тэжээгддэг бөгөөд ган гачиг болон эрс тэс уур амьсгалд мэдрэмтгий байдгаараа онцлогтой тул зайлшгүй судлах шаардлагатай юм. Олон улсын судалгаануудын үр дүнгээс үзэхэд ган гачиг нь дэлхий даяар мал аж ахуй болон хөдөө аж ахуйн үйлдвэрлэл, бүтээмжийг мэдэгдэхүйц бууруулж байна (Mongi et al., 2010; Leng, Hall, 2019). Тухайлбал, 2001–2012 оны хооронд дэлхийн нийт хуурай газрын 17–35 хувийг дунд зэргийн (ME), 7–15 хувийг хүнд (SE), 2–6 хувийг хэт хүнд (EE) ган гачиг эзэлж байсан нь судалгаагаар тогтоогджээ (Dai et al., 2018; Dorjsuren et al., 2025).

Гангийн эрчимжил, орон зайн хамаарал, цаг хугацааны давтагдал, газрын бүрхэвч ба уур амьсгалын өөрчлөлтийн хамаарал, Уур амьсгалын өөрчлөлтийн нөлөөгөөр бэлчээрийн доройтол ихсэх, байгаль орчны тогтвортой байдал алдагдах, сөрөг үр дагавар ихсэх, малын тэжээлийн дутагдлын эрсдэлийг нэмэгдүүлж улс орны эдийн засагт сөргөөр нөлөөлж байдаг (Dai et al., 2018; Алтантуяа, 2024). Сүүлийн жилүүдэд хуурай болон хагас хуурай бүс нутгуудад гангийн давтамж, нэмэгдэж өндөр эрсдэл үүсгэж байна (Haghighi et al., 2020). Ган нь эхлээд хөдөө аж ахуйн салбарт шууд нөлөөлөх ба улмаар усны нөөц, ус ашиглалттай холбоотой бүх салбарт цаашлаад нийгэм эдийн засагт дам нөлөө үзүүлдэг (Алтантуяа, 2024).

Гангийн судалгаанд зөвхөн цаг уурын мэдээг ашиглах нь хангалтгүй бөгөөд хэд хэдэн хүндрэлтэй тал бий. Тухайлбал, цаг уурын станцуудын байршил нь оновчтой бус, тоо хэмжээ нь хүрэлцээтэй биш байдаг бөгөөд тэдгээрээс авсан мэдээлэл нь алдаатай эсвэл дутуу байх тохиолдол бий. Үүний улмаас гангийн тархалт, орон зайн хамаарал, хэв шинжийг нарийвчлан хянах боломж хязгаарлагдмал байна (Dorjsuren et al., 2024).

Тэгвэл хиймэл дагуулын өгөгдөл ашиглан гангийн нөхцөлийг үнэлэх нь сүүлийн жилүүдэд үр дүнтэй аргачлал болоод байна. Тухайлбал, Ургамлын нөхцөлийн индекс (VCI), Температурын нөхцөлийн индекс (TCI), Ургамлын эрүүл байдлын индекс (VHI) зэрэг үзүүлэлтүүдийг ашиглан гангийн орон зайн тархалт, цаг хугацааны давтамжийг илрүүлэх боломжтой (Alito et al., 2025). Энэхүү арга нь гангийн хяналт шинжилгээг үр дүнтэй явуулах, эрсдэлээс урьдчилан сэргийлэх, менежментийг сайжруулахад чухал ач холбогдолтой (Lin et al., 2021). Үүнээс гадна зайнаас тандан судлалын аргачлал нь өндөр нарийвчлалтай, өртөг багатай, том газар нутгийг хамрах бөгөөд урт хугацааны өгөгдлийг богино хугацаанд боловсруулж ашиглахад тохиромжтой юм (Xie, Fan, 2021).

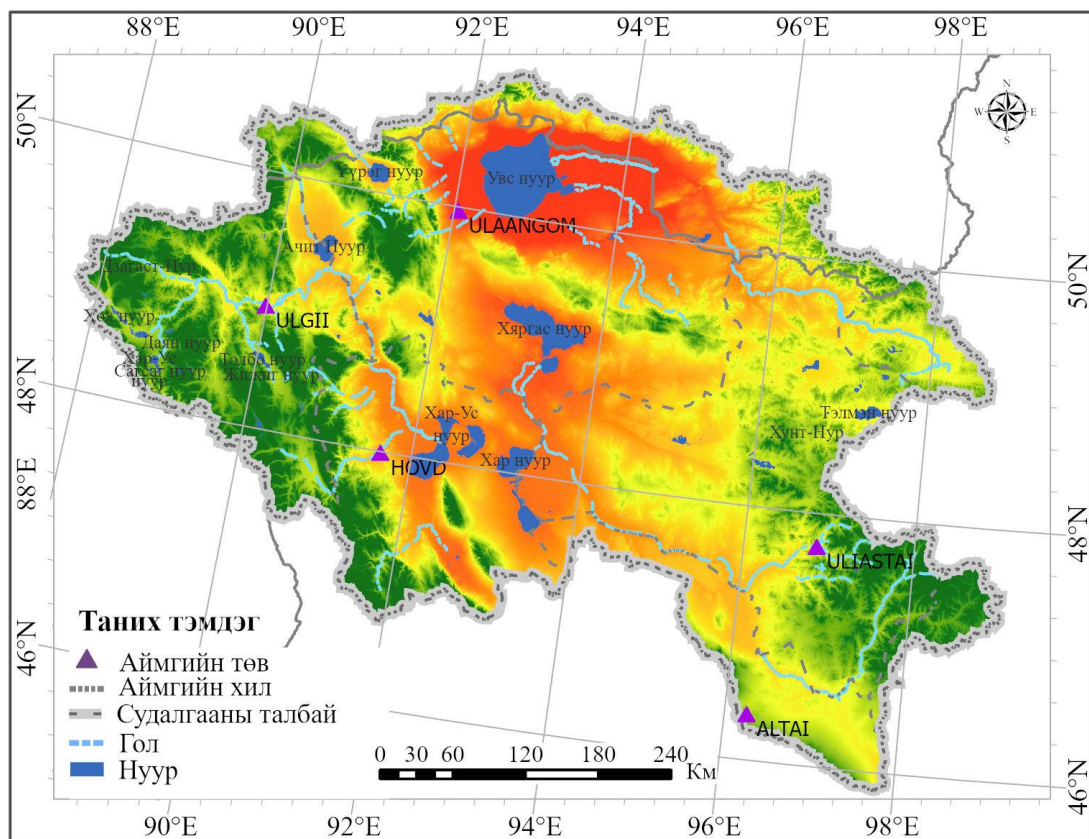
VCI, TCI, VHI зэрэг индексүүдийг тооцоход ургамлын нормчилсон индекс (NDVI) болон газрын гадаргын температур (LST) зэрэг хиймэл дагуулын өгөгдөлд суурилдаг (Xie, Fan, 2021). Тиймээс Монгол орны хуурай, хагас хуурай бүс нутгийн төлөөлөл болсон Их нууруудын хотгорын бүс нутагт дээрх индексүүдийг ашиглан гангийн судалгаа хийх нь орчны өөрчлөлтийг орон зай ба цаг хугацааны хүрээнд үнэлэхэд онцгой ач холбогдолтой.

Энэ судалгааны зорилго нь Их нууруудын хотгорын гангийн индексүүдийг нэгтгэн тооцох замаар гангийн эрчим, давтагдлыг илүү нарийвчлалтайгаар үнэлэхэд оршино. Ингэснээр урт хугацааны ган гачгийн эхлэх, үргэлжлэх хугацаа, давтамж, эрсдлийн түвшин, орон зайн тархалтыг тодорхойлох боломжтой.

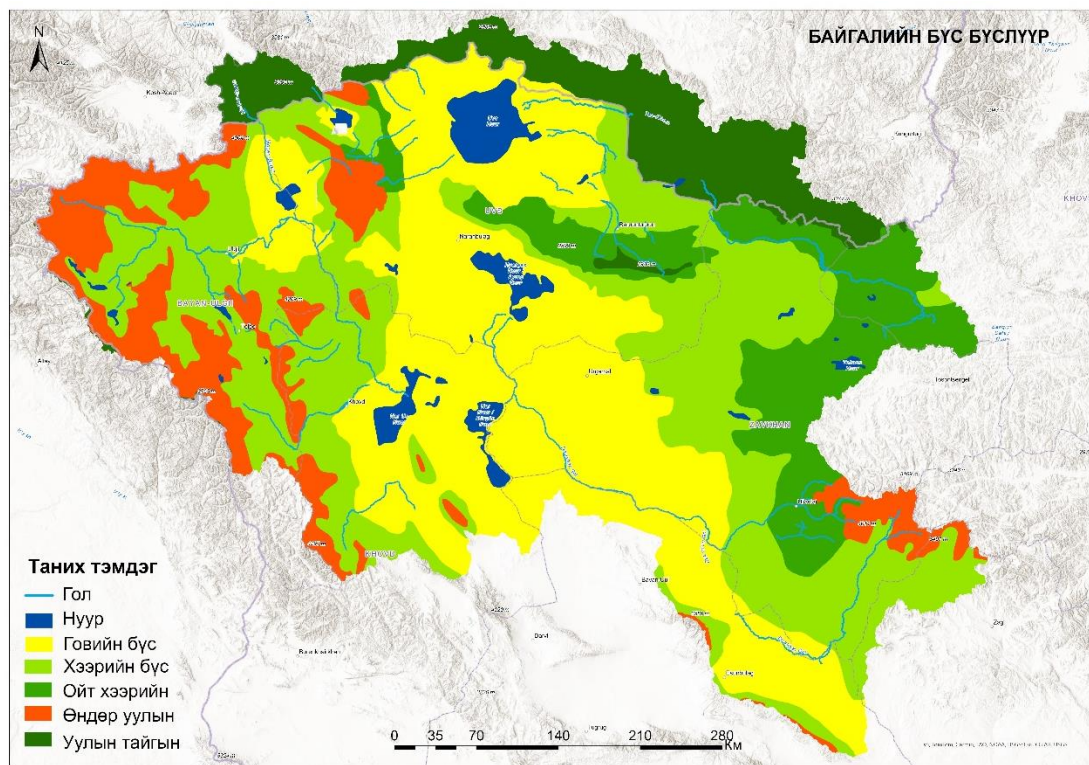
1. Судалгаанд хамрагдсан 30 жилийн хугацааны хиймэл дагуулын өгөгдөлд суурилсан дүн шинжилгээ хийх, өргөргийн дагуух гангийн шилжилт ба эрчимжилийн өөрчлөлтийг тодорхойлох;
2. Ургамлын нөхцөлийн индекс (VCI), температурын нөхцөлийн индекс (TCI), ургамлын эрүүл байдлын индекс (VHI)-ийг тооцох;
3. Цаг уурын мэдээлэл (агаарын температур, хур тунадас, ууршилт)-тэй харьцуулан статистикийн шинжилгээ хийх, хамаарлыг тодорхойлоход оршино.

Судалгааны талбай

Монголын Их нууруудын хотгор нь улс орны баруун хэсэгт, хойд өргөрөг $45^{\circ}51'26''$ – $51^{\circ}07'03''$ болон зүүн уртраг $87^{\circ}44'58''$ – $99^{\circ}03'56''$ хооронд байрлана. Их Нуурын хотгор нь хойд талаасаа Тагнын нуруу, баруун талаасаа Монгол Алтайн нуруу, зүүн талаасаа Хангайн нурууны салбар уулс, өмнө талаасаа Говийн Алтайн уулсаар хүрээлэгдэн уртрагийн дагуу сунан байрлажээ (Мурзаев, 1952; Алтанболд, Уламбадрах, 2022). Энэхүү бүс нутаг нь байгалийн бүс, бүслүүрүүд огтлон орших, өндөршлийн ялгаатай, экосистемийн хувьд онцлог газарзүйн нэгж тул гангийн давтамж, орон зайн өөрчлөлтийг нарийвчлан тооцоход нэн тохиромжтой юм. Судалгааны талбайг тодорхойлоход Их нууруудын хотгор дахь томоохон нуурууд болон тэдгээрийн цутгал голуудыг хамтад нь авч үзэх нь зүйтэй тул судалгаанд хүрээлсэн Монгол Алтай, Хангайн ус зүйн сүлжээ, ус хураах талбайн хамт хамруулав. Ингэхдээ Завхан гол-Хяргас нуурын сав, Ховд гол-Хар-Ус нуурын сав, Тэсийн гол-Увс нуурын сав газруудыг нэгтгэн их нууруудын хотгорын хэмжээнд судалгаа хийв. Нийт судалгааны талбай $268,309.5 \text{ км}^2$ газар нутгийг хамрах ба энэ бүс нутагт байгалийн хэд хэдэн бүс, бүслүүрүүд тод илэрдэг бөгөөд төв азийн хуурай болон хагас хуурай бүс нутгийн төлөөлөл юм (Shinneman et al., 2009). Тус бүс нутагт Монгол орны хамгийн том нуурууд болох Увс, Хар-Ус, Хяргас, Хар, Дөргөн нуурууд оршдог (Мурзаев, 1952; Алтанболд, Уламбадрах, 2022). Урсцын хувьд Төв Азийн хамгийн том ус хурах сав болох Завхан (808 км), Тэс (568 км), Ховд (516 км), Хүнгүй (200 км) зэрэг голуудын сүлжээ бүрэлдсэн (Alonso et al., 2019). Эдгээр нуур, голын усны систем нь бүс нутгийн экосистемд чухал үүрэг гүйцэтгэдэг (Enkhbold et al., 2022; Dorjsuren et al., 2023). Судалгааны талбайд нийт 4 аймгийн 82 сумын нутаг дэвсгэр хамаарах ба нийт талбайн 9 хувь нь ОХУ-ын нутагт хамаар байв (Зураг 1).



Зураг 1. Төв Азийн хамгийн том ус хурах сав газар болох Баруун Монголын Их нууруудын хотгорын гадаргын өндөршлийн хэв шинж



Зураг 2. Баруун Монголын Их нууруудын хотгор орчмын байгалийн бүс, бүслүүрийн ангилал (Доржготов, 2022)

Монгол орны байгалийн бүс, бүслүүр нь дэлхийн уур амьсгал болон газар зүйн хуваарилалтад үндэслэсэн өвөрмөц онцлогтой бөгөөд эх дэлхийн экосистемийн чухал хэсэг болдог (Yembuu, 2021). Ялангуяа Их нууруудын хотгор орчмын бүс нь маш онцгой тогтоцтой бөгөөд өргөргийн дагуу уулын тайгын, өндөр уул, ойт хээр, хээр, говь гэсэн хэд хэдэн бүсүүдээс бүрддэг тул гангийн эрчим, давтагдал тод илэрдэг бүс нутаг юм.

Судалгааны материал, аргазүй

NDVI өгөгдөл: Ургамлын нөхцөл байдлыг үнэлэхийн тулд хиймэл дагуулын зургийг “Google Earth Engine” дээр “JavaScript” код ашиглан боловсруулсан. 1990-1999 оны хооронд 30 м орон зайн нарийвчлалтай Landsat 5 TM хиймэл дагуулын NDVI өгөгдлийг ашигласан бол 2000-2020 оны хооронд 250 м орон зайн нарийвчлалтай “Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS-Terra, MOD13Q1)” хиймэл дагуулын “NDVI” өгөгдлийг ашигласан. Эдгээр өгөгдлийг United States Geological Survey (USGS) “EarthExplorer” платформоос (<https://www.usgs.gov/>) авсан (Schirmbeck et al., 2020).

Газрын гадаргын температур (LST): 1990-1999 оны хооронд 30 м орон зайн нарийвчлалтай Landsat 5 TM хиймэл дагуулын “LST” өгөгдлийг ашигласан бол 2000-2020 оны хооронд 250 м орон зайн нарийвчлалтай MOD11A2 MODIS бүтээгдэхүүнээс “LST” өгөгдлийг авч ашиглав. Эдгээр өгөгдлийг “USGS”-ийн “EarthExplorer” платформоос татаж авсан (Li et al., 2023).

Хур тунадас: Энэ судалгаанд “Google Earth Engine” дээр “JavaScript” код ашиглан 1990-2020 оны хооронд хур тунадасны урт хугацааны өгөгдлийг цуглуулсан. Түүнчлэн хур тунадасны мэдээллийг “Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station Data (CHIRPS)” сангаас авч баталгаажуулсан. Энэ нь хиймэл дагуулын зураг болон суурин станцын өгөгдлийг нэгтгэн 0.05° орон зайн нарийвчлалтай хур тунадасны өгөгдлийг бий болгодог ач холбогдолтой юм (Cavalcante

et al., 2020; Lin et al., 2021). Энэхүү өгөгдөл нь 50°S-50°N хоорондох газарзүйн бүсийг хамардаг. “CHIRPS” өгөгдлийг дэлхийд уур амьсгалын чиг хандлагыг дүн шинжилгээ хийхэд голчлон ашиглаж байна (Tran et al., 2023).

Судалгааны материал, аргазүй

Хур тунадасны ууришилтын индекс (SPEI): “SPEI”-ийг гангийн эхлэл, үргэлжлэх хугацаа, хэмжээг тодорхойлоход ашигладаг (Um et al., 2017; Shen et al., 2023). Энэ индексийг “Google Earth Engine” дээр “JavaScript code” бичиж тооцоолсон.

Хүснэгт 1. Өгөгдлийн төрөл

Бүтээгдэхүүний нэр	Өгөгдлийн төрөл	Орон зайн нарийвчлал	Цаг хугацааны нарийвчлал	Үргэлжлэх хугацаа
MOD13Q1	NDVI	250 м	16 өдөр	2000-2020
MOD11A2	LST	1 км	8 өдөр	2000-2020
Landsat 5 TM	LST,NDVI	30м	16 өдөр	1990-1999

Хүснэгт 2. VCI, TCI, VHI, SPEI, SPI өгөгдөл

Огноо	VCI индекс	TCI индекс	VHI индекс	SPEI индекс	Хур тунадас
1990	65.3	48.6	56.9	0.9	168.5
1991	70.1	66.3	68.1	0.1	161.1
1992	47.6	82.9	65.2	0.2	177.2
1993	48.5	55.7	52.4	2.7	213.9
1994	54.1	29.7	42	1.1	199.9
1995	61.8	23.3	42.7	0.8	161.1
1996	62.8	43	52.9	0.4	157.9
1997	78.5	35.8	57.3	0.3	167.9
1998	65.7	9.9	37.9	0.4	160.6
1999	69.5	63.4	67.1	-1.3	147.8
2000	32.4	52.7	42.6	-0.8	174.48
2001	35.5	23.3	29.6	-1.2	156.3
2002	21.8	8.6	15.2	-1.4	128.9
2003	64.4	85.1	78.6	1.7	199.5
2004	40.1	30.8	34.9	-1.7	144.8
2005	59.5	62.2	61.1	-0.1	167
2006	36.5	58.3	46.9	-0.5	162.5
2007	27.6	22.7	25.4	-0.7	156.5
2008	23.4	48.3	35.7	-2	153.4
2009	29.5	62.9	45.9	-1.8	134.6
2010	51.3	41.9	46.3	0.2	165.5
2011	37.6	30	33.7	-1.1	154.3
2012	55.6	66.6	61.3	0.2	182.7
2013	63.1	53.4	58.6	0.3	176.2
2014	36.1	16.7	26.3	-0.8	150.4
2015	36.4	43.9	40.3	-1.5	169.4
2016	63.2	40.1	51.7	0.7	186.3
2017	26.5	36.1	31.2	-2.2	146.1
2018	59.9	59.7	60.1	-1.2	162.3
2019	59.6	30.2	45.1	0.3	161.9
2020	65.4	71.1	68.9	0.9	211

Ургамлын Нормчилсон Индекс (NDVI): нь гангийн эрчим, давтагдлыг хянахад өргөн хэрэглэгддэг хамгийн түгээмэл тооцоо юм (Dorjsuren et al., 2023). Зөвхөн NDVI-г ашиглан гангийн

хяналт тавих нь хязгаарлагдмал бөгөөд “MODIS”-ийн мэдээгээр NDVI-ийн урт хугацааны VCI, TCI-ийн тооцооллыг хийх нь гангийн судалгаанд илүү ач холбогдолтой арга юм (Buho et al., 2009). Гангүй үед ногоон ургамлын NDVI утга нь 0.6 ба түүнээс дээш байдаг (Huang et al., 2021). NDVI-ийн тооцоо нь хур тунадас болон агаарын температурын нөхцөлийг хамруулж VCI, VHI тооцоолоход ашиглагддаг. Дараах байдлаар тооцоолно. Үүнд:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (1)$$

Энд NDVI- Ургамлын нормчлогдсон индексийн утга, RED - Улаан туяаны урт, NIR - Ойрын хэт улаан туяа юм. NDVI-ийн утга нь (-1)-ээс (+1) хооронд хэлбэлздэг. NDVI утга нь 0.2-0.5 байвал ургамлын бүрхэвч бага, сийрэг ургамалтай болохыг илэрхийлнэ. Харин NDVI нь 0.6-1.0 хүртэл байвал ургамлын бүрхэвч сайн, шигүү ургамалтай болохыг илэрхийлдэг (Miura et al., 2006).

Ургамлын төлөв байдлын индекс (VCI): VCI нь ургамлын орон зай, цаг хугацааны өөрчлөлт, цаг уурын өөрчлөлтийн нөлөөллийг тооцоолох боломжтой. Мөн цаг агаарын нөхцөл ургамалд хэр зэрэг нөлөөлж байгааг харуулдаг (Bento et al., 2018). VCI- ийг дараах байдлаар тооцоолно. Үүнд:

$$VCI = 100 * \frac{NDVI_t - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \quad (2)$$

Энд VCI- Ургамлын төлөв байдлын индексийн утга, $NDVI_{max}$ болон $NDVI_{min}$ -тухайн сарын хамгийн их, хамгийн бага утга, i - тухайн сарын утга юм. VCI нь 1-100 хүртэлх хувиар илэрхийлэх ба 50%-с дээш нь ургамлын хэвийн байдлыг харуулна. Харин 50%-с бага нь гантай байдлыг илэрхийлнэ. VCI нь хур тунадас илүү мэдрэмтгий байдаг тул ургамлын бүрхцийг тооцоход тохиромжтой (Liang et al., 2021).

Газрын гадаргын температур (LST): нь нарны тусгалаас үүссэн хөрсний температурыг илэрхийлнэ. Уур амьсгалын өөрчлөлтийн судалгаанд дэлхийн гадаргын энергийн тэнцвэр болон хүлэмжийн нөлөөллийн үзүүлэлт болгон ашиглагддаг чухал өгөгдөл юм (Sayão et al., 2020). Температурын нөхцөлийн индекс (TCI) нь хөрсний чийгийн байдал, дулааны нөлөөллийг үнэлэхэд ашигладаг. Хиймэл дагуулын мэдээг ашиглан газрын гадаргын температур (LST)-д суурилж “TCI”-г тооцоолдог. “LST” утга нь 7500–65535 хооронд хэлбэлздэг бөгөөд зөвхөн Кельвиний утгыг авахын тулд 0.02-ыг өөрчилдөг (Goetz, 1997). “LST”-ийн утга нь 150-1516.7 K хооронд байна. Энэхүү судалгаанд LST өгөгдлийн утгыг өөрчилж, дараах байдлаар тооцоолсон. Үүнд:

$$LST = (\varpi * 0.02) - 273.15 \quad (3)$$

Энд, LST- Газрын гадаргын температур ($^{\circ}\text{C}$), ϖ – Эгнээний өгөгдөл (SDS).

TCI нь температуртай холбоотой ган гачгийг тодорхойлоход ашигладаг дулааны стрессийн үзүүлэлт юм. Хөрсний чийг мэдэгдэхүйц буурч ургамалд стресс үүсдэг. TCI-ийг дараах байдлаар тооцоолно. Үүнд:

$$TCI = 100 * \frac{LST_{max} - LST_i}{LST_{max} - LST_{min}} \quad (4)$$

LST_i -сарын газрын гадаргын температур, LST_{max} , LST_{min} -нийт хугацааны гэрэлтүүлгийн температур байна.

Ургамлын эрүүл байдлын индекс (VHI): Энэ индексийг хуурай болон хагас хурай бүс нутагт ашиглахад тохиромжтой байдаг. Ургамлын төлөв байдлыг тодорхойлохын тулд ургамлын төлөв байдлын индекс (VCI), температурын төлөв байдлын индекс (TCI) хоёрыг ашиглан дараах байдлаар тооцоолно. Үүнд:

$$VHI = aVCI + (1 - 0.5)TCI \quad (5)$$

VNI – ургамлын эрүүл байдлын индекс, $a = 0.5$ (VCI, TCI -ийн тогтмол утга), VCI – Ургамлын төлөв байдлын индекс, TCI – Температурын төлөв байдлын индекс (Shen et al., 2023). VNI-ийн утга 40-өөс доош буурах нь ган гачиг болох магадлал өндөр байгааг илэрхийлдэг (Serban, Maftai, 2025). VNI-ийн утга бага байх нь ганд өртсөн тохиолдол их байгааг илтгэдэг, харин өндөр утга нь тухайн бүс нутаг чийглэг нөхцөлийг илэрхийлнэ (Хүснэгт 3).

Хүснэгт 3. Гангийн ангилал

Гангийн төлөв байдал	VCI (%)	TCI	VNI
Хүчтэй гантай	0-20	0-20	0-20
Гантай	20-40	20-40	20-40
Бага гантай	40-60	40-60	40-60
Дунд гантай	60-80	60-80	60-80
Гангүй	80-100	80-100	80-100

Хувьсах коэффициентын (CV) шинжилгээ: 1990-2020 оны дундаж хувьтай харьцуулахад улирлын чанартай VNI-ийн хэлбэлзлийг шалгахын тулд хэлбэлзлийн коэффициент (CV) шинжилгээг хийсэн. Дараах байдлаар тооцоолдог. Үүнд:

$$CV = 100 * (\sigma/x) \quad (6)$$

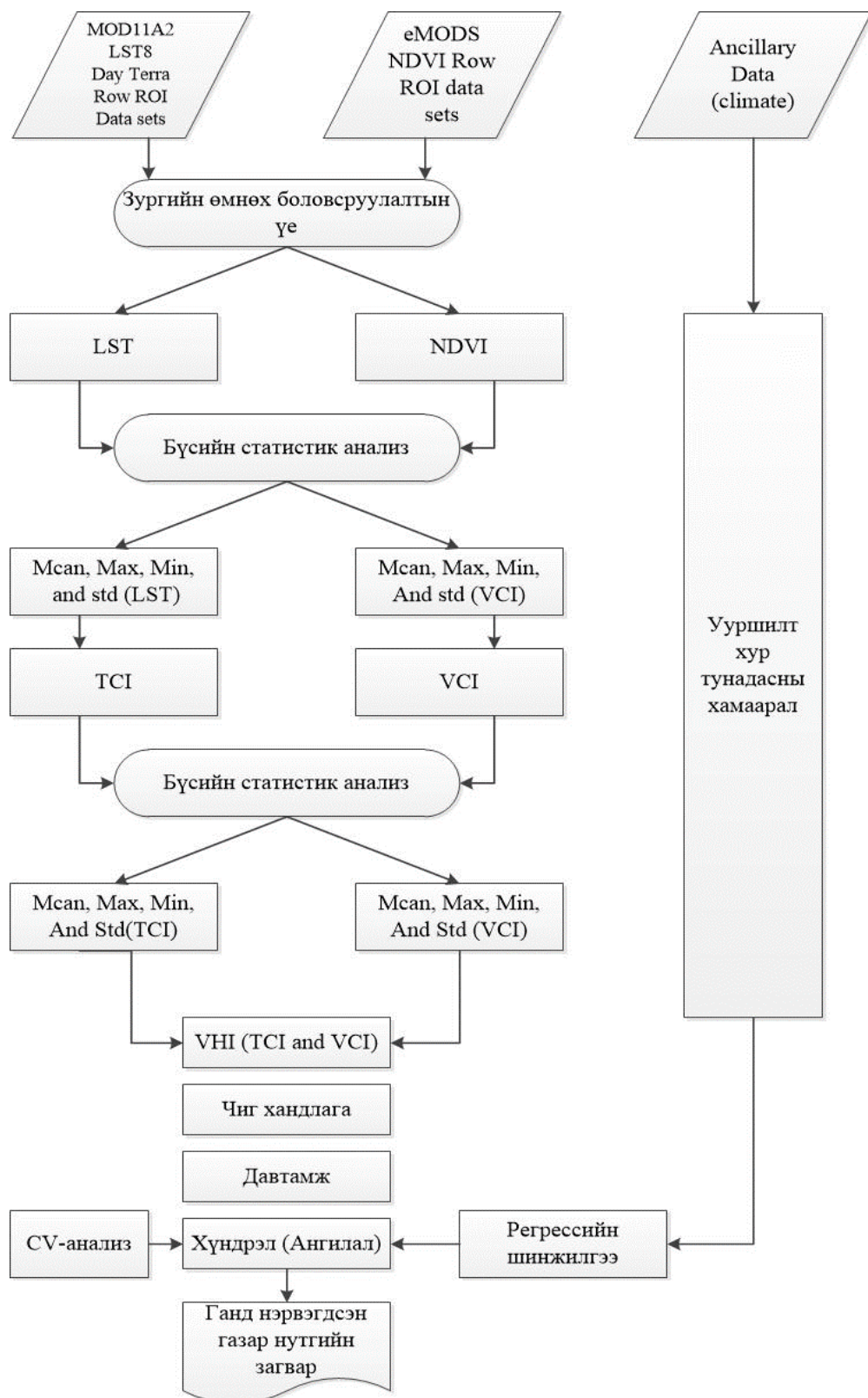
Энд, CV(%) = VNI-ийн хувьсах коэффициент, σ = VNI-ийн стандарт хазайлт, x = урт хугацааны VNI-ийн дундаж утга юм (Shechtman, 2013).

VNI ба хур тунадасны хоорондох регрессийн шинжилгээ: Ган болон хур тунадасны хоорондын регрессийн шинжилгээ юм. Судалгааны талбайд хур тунадасны хэлбэлзэл нь ган гачигт хэрхэн нөлөөлснийг регрессийн шинжилгээгээр тооцоолсон. Үүнд:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + \varepsilon_i \quad (7)$$

Энд, Y_i нь VNI-ийн цаг хугацааны цуврал, X_i - Хур тунадас, $\beta_0 + \beta_1 X_i$ - Хамааралтай хувьсагчийн хоорондох шугаман хамаарал $\beta_0 - X_i = 0$ байх үед Y_i -ийн дундаж, $\beta_1 - X_i$ нэгээр нэмэгдэх үед Y_i -ийн дундаж өөрчлөгдөх утга, ε_i - санамсаргүй алдааны утга юм (Sarstedt et al., 2019).

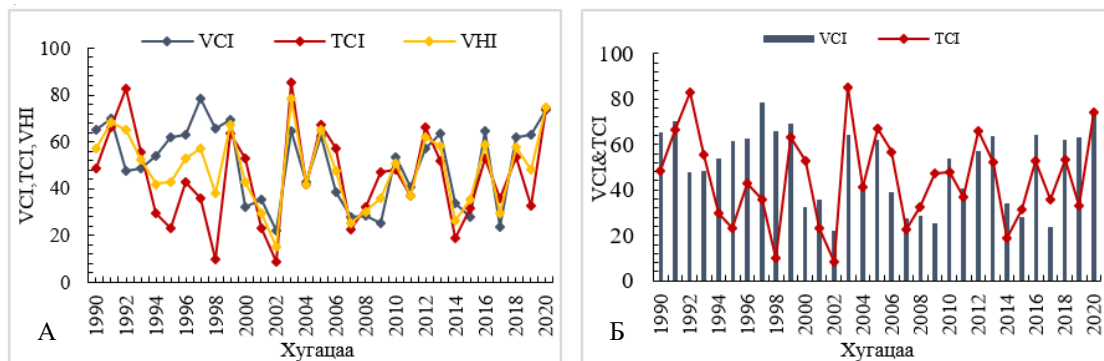
Судалгаанд ашигласан өгөгдлийн санд суурилсан аргазүйг дараах бүдүүвчээр тодорхойлов (Зураг 3).



Зураг 3. Судалгааны аргазүйн бүдүүвч

Судалгааны үр дүн ба хэлэлцүүлэг

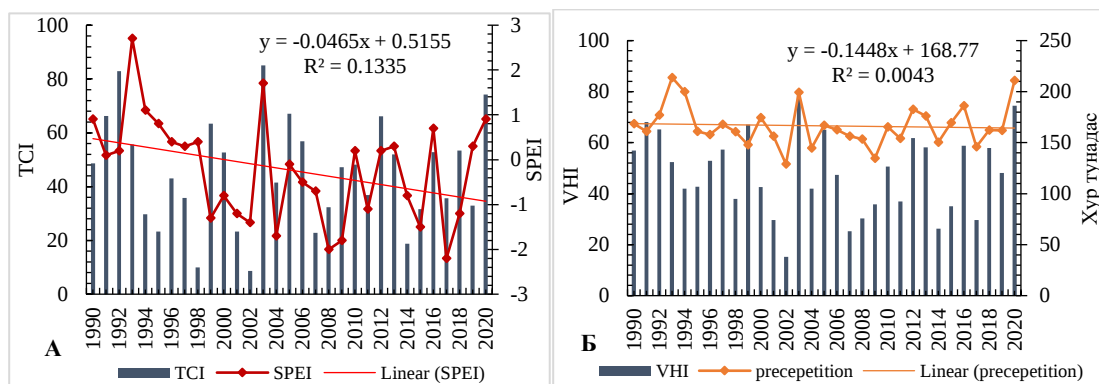
Хуурай болон хагас хуурай бүс нутагт VCI, VHI, TCI индексүүдийн хувь 40-с бага тохиолдолд гантай (Chang et al., 2021) гэж үзнэ. Судалгаанд хамрагдсан хугацааны TCI, VCI, VHI индексүүдийн утгаар хандлагын шинжилгээ хийсэн. Үр дүнгээс үзэхэд 1990-1999 он хүртэл ган багатай (60-80) буюу чийглэг, 2000-2011 он хүртэл хүчтэй гантай (0-40) буюу хуурай, хэт хуурай, 2012-2020 хүртэл дунд зэргийн гантай (40-60) байв. Эхний арван жил хур тунадас ихтэй, дунд арван жил хур тунадас багатай, 2012 оноос хойш хур тунадас бага зэрэг нэмэгджээ (Зураг 4А).



Зураг 4. А. VCI, TCI, VHI индексийн чиг хандлага Б. VCI, TCI индексийн чиг хандлага

Ургамлын болон температурын нөхцөлийн индекс VCI ба TCI нь байгаль орчинд эерэг хамааралтай байдаг. VCI-ийн утга өндөр байх үед TCI утга мөн өндөр байх хандлагатай байдаг (Bento et al., 2018). Тухайлбал, 1998, 2002, 2007, 2014, 2019 онуудад хур тунадасны хэмжээ их байсан ч, тухайн жилийн агаарын температурын өсөлт нь нь хөрсний чийгийг их хэмжээгээр ууршуулжээ (Зураг 4Б).

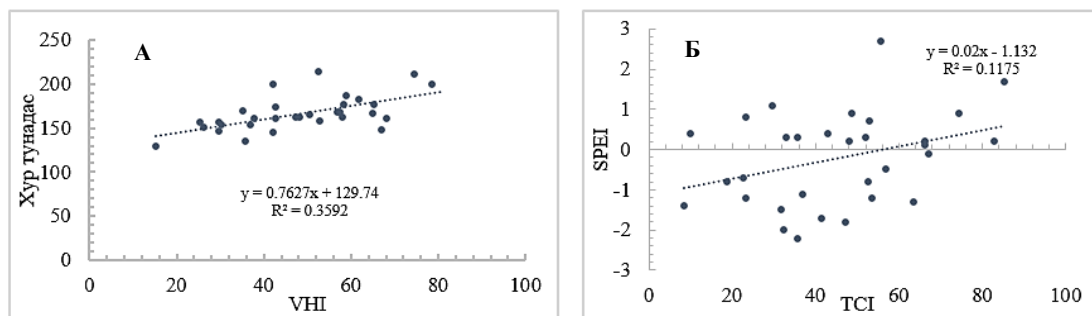
Хөрсний ууршилт нь ургамлын ургалт, гангийн эрчимжилд ихээхэн нөлөөтэй байдаг (Novak, 2016). Хөрсний ууршилт (SPEI) нь $R^2=0.1335$ тасралтгүй буурах хандлагатай байв. Энэ нь 2000-2020 он хүртэл агаарын дундаж температур тогтмол өссөн байгаатай холбоотой юм. Дунджаар үзэхэд TCI нь эхний 10 жилд 40-өөс дээш хувьтай, 2000-2020 он хүртэл 40-өөс бага хувьтай байв. Энэ нь агаарын дундаж температур тогтмол өссөн байгаатай холбоотой юм (Зураг 5А).



Зураг 5. А. TCI ба SPEI хамаарал Б. VHI ба хур тунадасны хамаарал

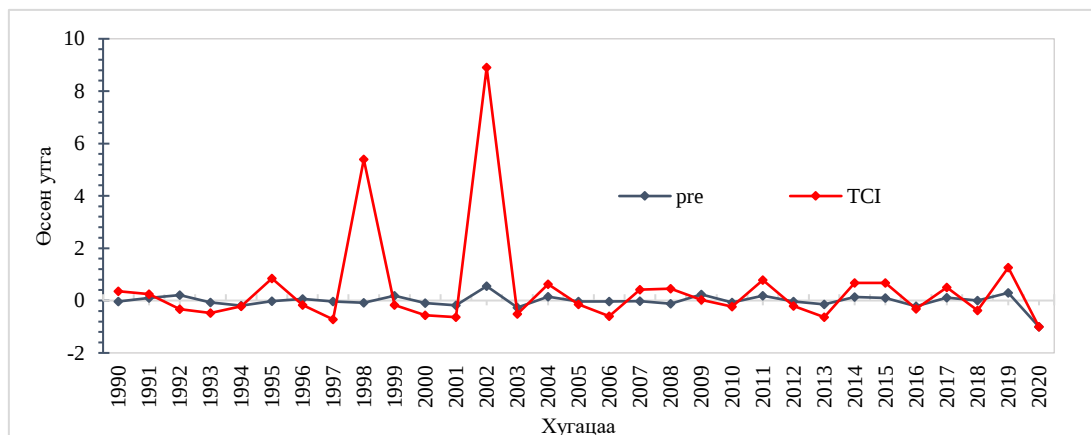
Хур тунадас их байхад “VHI” 40-с дээш хувьтай буюу ургамал бүрхэвч нэмэгддэг (Zeng et al., 2022). Хур тунадасны хэмжээ $R^2=0.0043$ буюу маш бага нэмэгдсэн. Тухайлбал, 160 мм ба түүнээс дээш хур тунадас унасан жилүүд нь 1990-1997, дунд арван жилд 2000, 2003, 2005, 2010, сүүлийн арван жилд 2012, 2013, 2015, 2016, 2018, 2019, 2020 онуудад унасан байна. Харин 1993, 2000, 2020 онуудад 200 мм ба түүнээс дээш хур тунадас унасан. Үүнээс үзвэл дунд арван жил хур бороо бага, сүүлийн арван жилд хур бороо харьцангуй нэмэгдсэн байна (Зураг 5Б).

Сав газрын хэмжээнд гангийн давтамжид хамгийн нөлөө үзүүлдэг үзүүлэлт нь хур тунадас бөгөөд тухайн жилийн хур тунадас болон ургамлын нөмрөг, ууршилт зэргээс шалтгаалан гангийн тохиолдол нь тодорхойлогддог. Тиймээс хур тунадас болон VHI индексийн хамаарлыг авч үзэх нь чухал юм (Зураг 6).



Зураг 6. А. Хур тунадас ба VHI хамаарал Б. TCI ба SPEI-ийн хамаарал

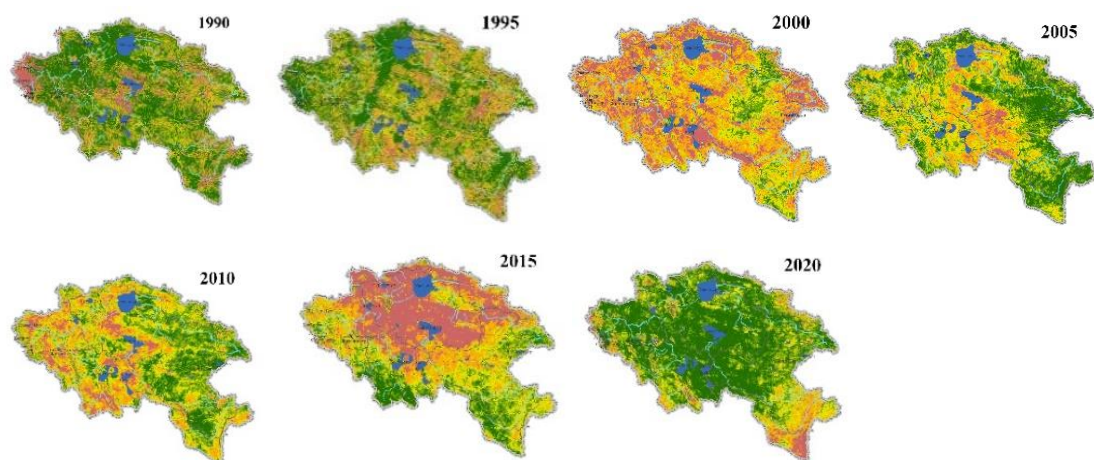
Тус хамаарлаас үзэхэд TCI болон SPEI нь хоорондоо дунд зэргийн хамааралтай байна. TCI буурах тусам SPEI-ын хасах утга руу чиглэж байна. Энэ нь агаарын температурын хэмжээ нэмэгдэх үед ууршилтын хэмжээ нэмэгдэж байгааг батлан харуулж байна. Дэлхийн хэмжээнд 1998, 2002 онууд түүхэнд хамгийн халуун жилүүд тохиосон (Coumou et al., 2013). Энэ үзэгдэл нь Монгол орны уур амьсгалд мөн нөлөөлсөн нь энэхүү судалгааны үр дүнгээс харагдаж байна. Тухайлбал, 1995, 1998, 2008 онуудад агаарын температур 0.8–8.9%-иар огцом нэмэгдсэн бол 2002 оноос хойш 2020 он хүртэл тогтмол 0.4–1.2%-иар өсөх хандлагатай байв. Харин хур тунадасны хувьд температурыг бодвол харьцангуй бага буюу 0.2–0.5% нэмэгдсэн (Зураг 7).



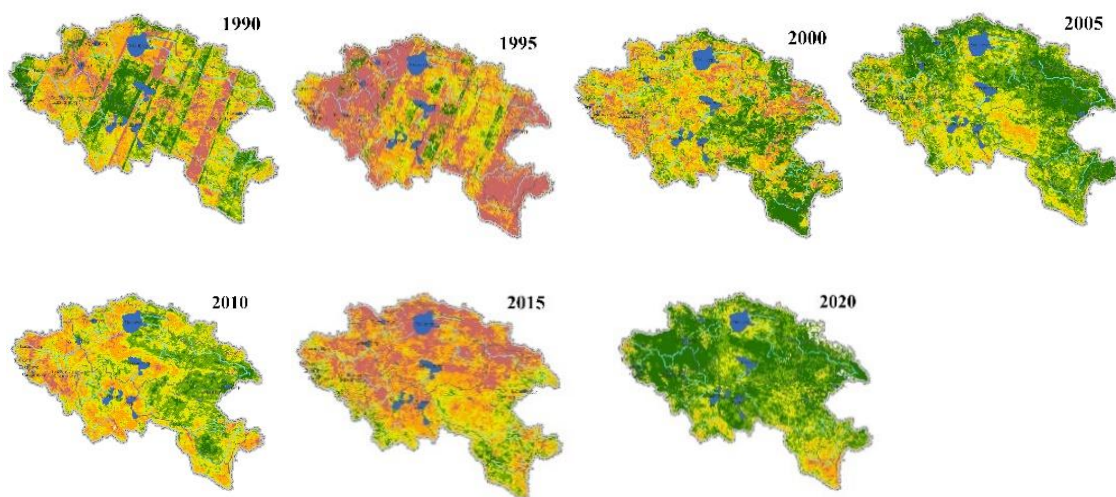
Зураг 7. Температурын нөхцөлийн индекс (TCI) ба хур тунадасны өөрчлөлт (1990–2020)

Судалгаанд 1990–2000 оны хооронд хур тунадас харьцангуй тогтмол бус давтамжтайгаар орж байсан ба дунджаар 2–3 жилд нэг удаа хур тунадас их хэмжээгээр унажээ. Энэ хугацаанд агаарын температурын огцом нэмэгдэж байв. Харин 2000–2010 оны хооронд хур тунадасны унах давтамж багасаж, 4 жилд нэг удаа их хэмжээний хур тунадас орсон байна. Энэ үед агаарын температур нэмэгдсэн нь уур амьсгалын өөрчлөлтийн нөлөөг илэрхийлж байна. Үүний зэрэгцээ температурын өсөлт нь 1990 оны түвшинтэй харьцуулахад 8 хувиар нэмэгдсэн байв.

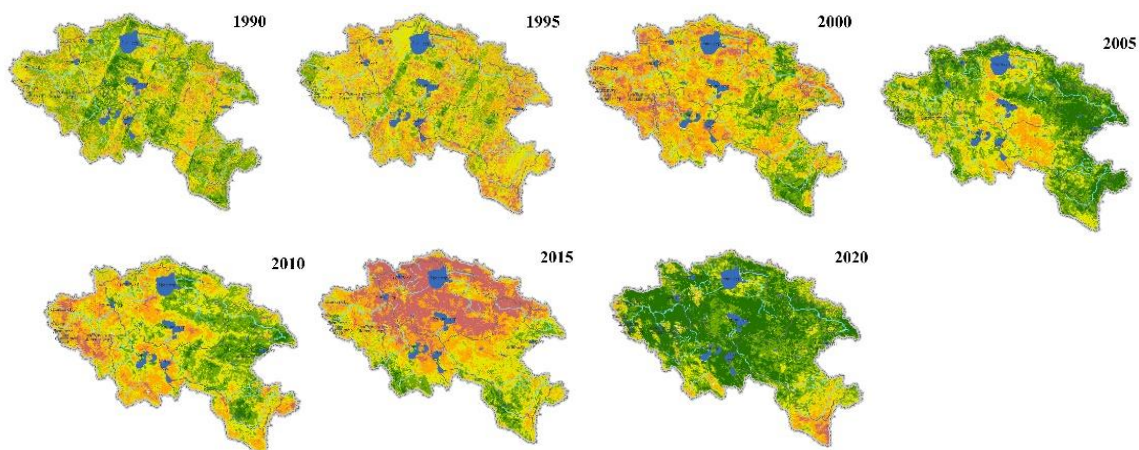
2010 оноос хойш хур тунадасны хэмжээ өмнөх арван жилтэй харьцуулахад нэмэгдсэн байна. Харин агаарын температур 2014 оноос хойш өсөх хандлагатай болжээ. Энэ өөрчлөлтүүд нь бүс нутгийн уур амьсгалын дулаарлын эрчим нь байгаль орчинд илүү тодорхой нөлөөлж байна.



Зураг 8. 1990–2020 оны хур тунадаснаас хамаарсан гангийн индекс (VCI)-ийн өөрчлөлт



Зураг 9. 1990–2020 оны TCI буюу температураас хамаарсан гангийн индексийн өөрчлөлт



Зураг 10. 1990–2020 оны VHI буюу илүү нарийвчлалтай гангийн индексийн өөрчлөлт

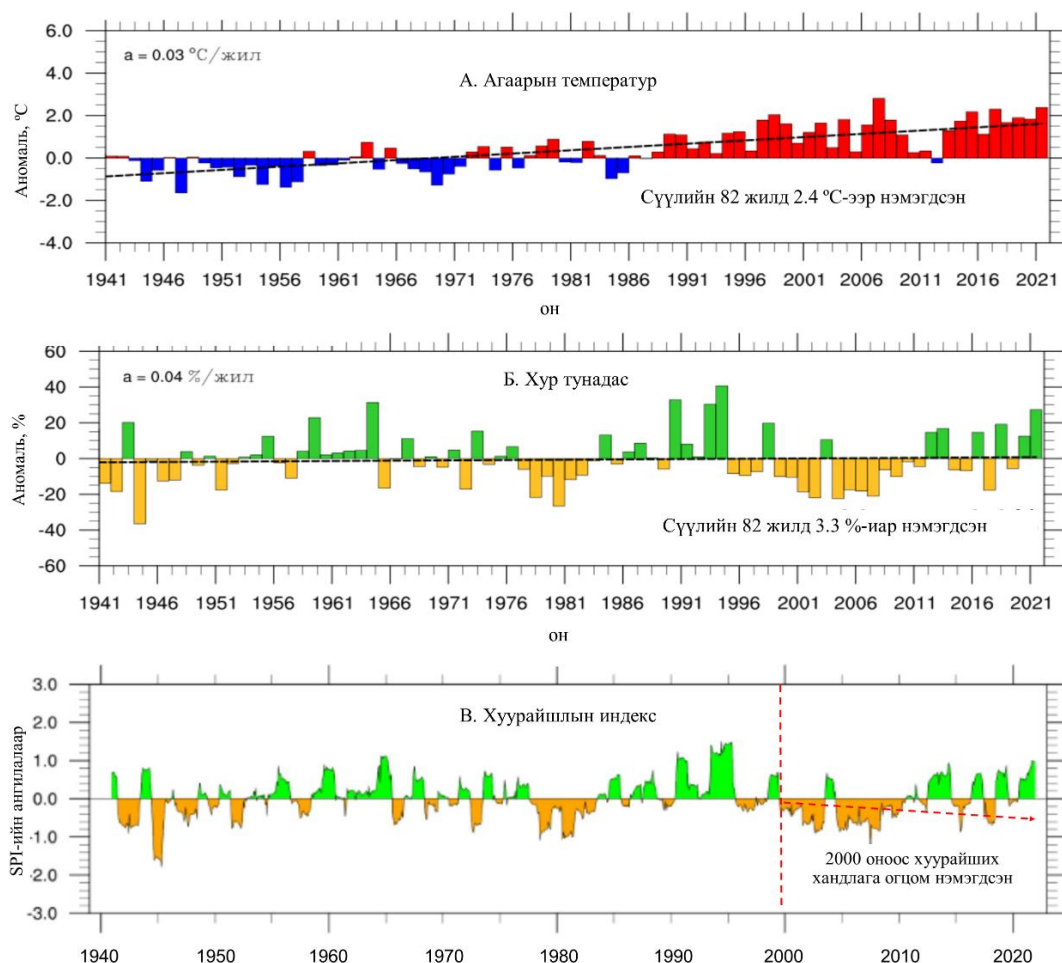
Сүүлийн 30 жилийн гангийн индексийн тархалтыг шинжилсэн дүнгээс үзэхэд, 1990-1999 оны хооронд говь болон хээрийн бүсэд дунд зэргийн гантай байсан бол, 2000-2010 онд говь болон хээрийн бүсэд хүчтэй ган бий болжээ. 2011-2020 онуудад өндөр уулын бүсэд хүчтэй гангийн давтамж нэмэгдсэн байна.

Их нууруудын хотгор нь Монгол орны томоохон нуурууд оршдог бөгөөд энэ бүс нутгийн нуурууд ган хэрхэн нөлөөлсөн болохыг харьцуулан үзлээ. Их нууруудын хотгорт орших Намир нуурын хувьд энэ нуурын талбай, эзлэхүүн буурах хандлагатай байгааг тогтоожээ (Enkhbold et al., 2024). Их нууруудын хотгорт орших нууруудад хур тунадасны хэмжээ илүү хүчтэй хамааралтай бол агаарын температур сул хамааралтай нөлөөлдөг (Enkhbold et al., 2025) болохыг мөн тогтоогдсон байна. Энхболд (2024) нарын судалгаагаар Их нууруудын хотгорын төв хэсэгт хуурайшлын индексийн утгаар авч үзвэл 1991-2021 оны хугацаанд 10.5-12.5 буюу хагас хуурай түвшинд, дундаж утгаар Намир нуур орчим 11.8 хуурайшлын индексийн түвшинтэй байжээ. Энэ нь хагас хуурай индексийн түвшин бөгөөд нууруудын морфометрийн үзүүлэлтэд шууд нөлөөлж нуурын талбай, эзлэхүүн буурахад нөлөөлсөн болохыг тодорхойлжээ (Enkhbold et al., 2024).

Түүнчлэн Кан, Хон (2016) нарын судалгаанд Монгол орны 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 багасаж 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; Sasaki et al., 2022). Их нууруудын хотгорын бүс нь хуурай, хэт хуурай бүс нутаг учраас гангийн эрчим, давтагдал нь усзүйн системд хүртэл нөлөөлсөн болох нь харагдаж байна.

Мандах (2018) нар Монгол орны агаарын олон жилийн дундаж температур, хур тунадасны өгөгдөлд суурилсан хуурайшлын индексүүд ба тэдгээрийн чиг хандлагын харьцуулан судалж 1960-аад оноос хойш Монгол орны нутгийн 25.5% нь хуурай, 17.0% нь хагас хуурай, 7.6% нь Газар дундын тэнгисийн, 7.0% нь хагас чийглэг, 12.8% чийглэг, 21.3% нь маш чийглэг, 8.7% нь хэт чийглэг байв (Nyamtseren et al., 2018). Харин цаашид хуурайшлын ирээдүйн өөрчлөлтийн үнэлгээг дэлхийн цаг уурын “ЕСНАМ5” загварыг ашиглан тооцоолоход 2035 он хүртэл нийт нутаг дэвсгэрийн 3.3% нь хэт хуурай, 14.6% нь хуурай, 28.1% нь хагас хуурай, 14.9% нь хагас чийглэг, 39.1% нь чийглэг бүсэд шилжих магадлалтай (Nyamtseren et al., 2018) гэж үзжээ. Уг судалгаанд зууны төгсгөл үед хэт хуурай, хуурай, хагас хуурай бүсийн талбай нэмэгдэж нийт нутаг дэвсгэрийн 61.2%-ийг хамрах магадлалтай (Nyamtseren et al., 2018) гэж тооцоолсон нь бидний судалгааны үр дүнгүүдтэй уялдаж байна.

Монгол орны уур амьсгалын өөрчлөлтийн хандлагыг агаарын температур, хур тунадас, хуурайшлын индексийн сүүлийн 80 гаруй жилийн өөрчлөлтийг судалгааны талбайтай хэрхэн уялдаатай болохыг тодруулав (Зураг 11).



Зураг 11. Монгол орны уур амьсгалын горим ба хуурайшлын чиг хандлага А. Агаарын температурын олон жилийн өөрчлөлт Б. Хур тунадасны олон жилийн өөрчлөлт В. Олон жилийн хуурайшлын индексийн өөрчлөлт (Дуламсүрэн, 2022)

Монгол орны уур амьсгалын өөрчлөлтөөс үзэхэд агаарын температур 2.4°C -ээр нэмэгдсэн. Энэ өөрчлөлт нь дэлхийн уур амьсгалын өөрчлөлтийн эрчмээс 2.5 дахин хурдацтай өөрчлөлт юм (Дуламсүрэн, 2022; Enkhbold et al., 2024). Агаарын олон жилийн дундаж температурын хэмжээ нэмэгдэх нь ууршилтыг нэмэгдүүлж ган, гангийн давтагдалд шууд нөлөөлнө. Тухайлбал 2000 оноос хойш гангийн эрчим, давтагдал огцом нэмэгдсэн нь энэ судалгааны үр дүнгүүд болон Монгол орны хуурайших хандлагатай тохирч байна. Хур тунадасны хэмжээ сүүлийн 80 гаруй жилийн хугацаанд 3.3 хувиар нэмэгдсэн боловч агаарын олон жилийн дундаж температур огцом өссөнөөс шалтгаалж ганд төдийлөн нөлөөлөхгүй байна. Энэ судалгааны ганд агаарын температур илүү өндөр хамаарал үзүүлж байсантай уялдаж байна. Хуурайшлын индексийн тооцоогоор 2000 оноос хойш Монгол орны нутаг дэвсгэрт бараг бүхэлдээ хуурайших хандлага нэмэгдсэн (Дуламсүрэн, 2022) нь уг оноос хойших гангийн эрчим, давтамж нэмэгдсэнтэй шууд холбоотой болох нь тогтоогдож байна.

Дүгнэлт

Судалгаанд хамрагдсан 1990-2020 оны хооронд Их нуурууд хотгорын бүс орчимд уур амьсгалын томоохон өөрчлөлтүүд гарсан байна. Судалгаагаар 1990-1999 онд (өндөр чийглэг үе)

байсан бол 2000 оноос эхлэн, ялангуяа 2000-2011 онд хамгийн хуурай жилүүд тохиолджээ. Энэ үеийн ган нь хамгийн эрчимтэй үе байсан бөгөөд 11 орчим жил үргэлжилсэн байна.

Зайнаас тандан судлалын аргазүйгээр гангийн эрчим, давтамж, орон зай, цаг хугацааны өөрчлөлтийг нарийвчлан шинжлэхэд 1990-1999 оны хооронд гангийн давтагдалгүй байсан бол 2000 оноос хойш хоёр жил тутам ган давтагдах болсон байна.

Их нууруудын хотгор орчимд 2000-2011 онд температурын төлөв байдлын индекс (TCI) 1%-иар, хур тунадас 0.9%-иар, ургамлын төлөв байдлын индекс (VCI) 0.6%-иар буурчээ.

Судалгаанд хамрагдсан хугацаанд агаарын температур тогтмол өсөж, хөрсний ууршилт үүнийг дагаад нэмэгдсэн ба хур тунадасны хэмжээ бага зэрэг нэмэгдсэн боловч агаарын температурын өсөлтөөс хамаарч хуурайших хандлагад төдийлөн нөлөөлөөгүй байна.

Зайнаас тандан судлалын аргазүйд суурилсан гангийн индексүүдийг нэгтгэн тооцох замаар гангийн эрчим, давтагдлыг илүү нарийвчлалтайгаар үнэлэх нь гангийн эхлэх, үргэлжлэх хугацаа, давтамж, эрчим, эрсдлийн түвшин, орон зайн тархалтыг тодорхойлоход чухал ач холбогдолтой болох нь тогтоогдож байна.

Энэхүү судалгаа нь баруун Монголын гангийн эрчим, давтагдлыг хянах, гангаас урьдчилан сэргийлэх арга хэмжээ авах төр засгийн бодлогын үйл ажиллагаанд чухал ач холбогдолтой суурь судалгаа болж өгөх юм.

Талархал

Тус судалгааг Монгол Улсын Шинжлэх Ухаан Технологийн Сангийн санхүүжүүлэлттэй (grant CHN-2022/274) төсөл болон МУИС-ийн Өндөр түвшний судалгаа (P2024-4814) төслийн хүрээнд гүйцэтгэв.

Ном зүй

1. Алтанболд, Э., Уламбадрах, Х. (2022). *Монгол орны нуурын хотгорын гарал үүсэл*, Морфологи. Улаанбаатар, МУИС Пресс, 23-48.
2. Алтантуяа, Д. (2024). *Монгол улсын нийгэм, эдийн засагт гангийн үзүүлэх нөлөөг үнэлэх нь (1980-2021)*, докторын диссертаци, Улаанбаатар, 15-30
3. 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
4. Дуламсүрэн, Д. (2022). Монгол орны улирлын уур амьсгалын өнөөгийн өөрчлөлт, *Уур амьсгалын өөрчлөлтийн үндэсний 4 дүгээр тайлан*, Улаанбаатар хот. 6-14
5. Мурзаев, Э.М., (1952). Монгольская Народная Республика: Физико-географическое описание. *Географиз*, Москва, 412-472
6. Alito, K. T., Kerebih, M. S., & Hailu, D. A. (2025). Characterization of Drought Detection With Remote Sensing Based Multiple Indices and SPEI in Northeastern Ethiopian Highland. *Air, Soil and Water Research*, 18, 11786221251328833.
7. Alonso, M., Nergui, S., Garcia-Murcia, A., & Pla-Rabes, S. (2019). Contribution to the lake algal flora and microcrustacean fauna of the Great Lakes Depression, Mongolia. *Mongolian Journal of Biological Sciences*, 17(1), 41-56.
8. Bento, V. A., Trigo, I. F., Gouveia, C. M., & DaCamara, C. C. (2018). Contribution of land surface temperature (TCI) to vegetation health index: A comparative study using clear sky and all-weather climate data records. *Remote Sensing*, 10(9), 1324.
9. Buho, H., Kaneko, M., & Ogawa, K. (2009). Correction of NDVI calculated from ASTER L1B and ASTER (AST07) data based on ground measurement. *Advances in Geoscience and Remote Sensing (edited by Gary Jedlovec)*, 45-56.
10. Cavalcante, R. B. L., da Silva Ferreira, D. B., Pontes, P. R. M., Tedeschi, R. G., da Costa, C. P. W., & de Souza, E. B. (2020). Evaluation of extreme rainfall indices from CHIRPS precipitation estimates over the Brazilian Amazonia. *Atmospheric Research*, 238, 104879.

11. Chang, S., Chen, H., Wu, B., Nasanbat, E., Yan, N., & Davdai, B. (2021). A practical satellite-derived vegetation drought index for arid and semi-arid grassland drought monitoring. *Remote Sensing*, 13(3), 414.
12. Coumou, D., Robinson, A., & Rahmstorf, S. (2013). Global increase in record-breaking monthly-mean temperatures. *Climatic Change*, 118(3), 771-782.
13. Dai, A., Zhao, T., & Chen, J. (2018). Climate change and drought: a precipitation and evaporation perspective. *Current Climate Change Reports*, 4, 301-312.
14. Dorjsuren, B., Yan, D., Yuheng, Y., Zemtsov, V. A., Dong, N., Gao, H., Shiikhar, D., Zhou, H., & Demberel, O. (2025). Advancing hydrological understanding in cold regions: development and application of the WEP model for lateral flow estimation in the Great Lakes Depression of Mongolia. *Hydrology Research*, 56(3), 244-259.
15. Dorjsuren, B., Zemtsov, V. A., Batsaikhan, N., Demberel, O., Yan, D., Hongfei, Z., Yadamjav, O., Chonokhuu, S., Enkhbold, A., Ganzorig, B., Bavuu, E., Namsrai, O., Xiang, L., Yingjie, Y., & 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.
16. Dorjsuren, B., Zemtsov, V. A., Batsaikhan, N., Yan, D., Zhou, H., & Dorligjav, S. (2023). Hydro-Climatic and Vegetation Dynamics Spatial-Temporal Changes in the Great Lakes Depression Region of Mongolia. *Water*, 15(21), 3748.
17. Enkhbold, A., Khukhuudei, U., Kusky, T., Tsermaa, B., & Doljin, D. (2022). 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., 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.
19. Enkhbold, A., Vandansambuu, B., Yadamsuren, G., Dorjsuren, B., Dorligjav, S., Gonchigjav, Y., ... & Sumiya, E. (2025). Estimation of morphometric parameters of 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. Huang, S., Tang, L., Hupy, J. P., Wang, Y., & Shao, G. (2021). A commentary review on the use of normalized difference vegetation index (NDVI) in the era of popular remote sensing. *Journal of Forestry Research*, 32(1), 1-6.
21. Leng, G., & Hall, J. (2019). Crop yield sensitivity of global major agricultural countries to droughts and the projected changes in the future. *Science of the Total Environment*, 654, 811-821.
22. Li, Z. L., Wu, H., Duan, S. B., Zhao, W., Ren, H., Liu, X., Leng, P., Tang, R., Ye, X., & Zhu, J. (2023). Satellite remote sensing of global land surface temperature: Definition, methods, products, and applications. *Reviews of Geophysics*, 61(1).
23. Liang, L., Qiu, S., Yan, J., Shi, Y., & Geng, D. (2021). VCI-Based Analysis on Spatiotemporal Variations of Spring Drought in China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(15), 7967.
24. Lin, Y.-C., Kuo, E.-D., & Chi, W.-J. (2021). Analysis of meteorological drought resilience and risk assessment of groundwater using signal analysis method. *Water Resources Management*, 35(1), 179-197.
25. Mishra, A. K., & Singh, V. P. (2010). A review of drought concepts. *Journal of Hydrology*, 391(1), 202-216. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.07.012>
26. Miura, T., Huete, A., & Yoshioka, H. (2006). An empirical investigation of cross-sensor relationships of NDVI and red/near-infrared reflectance using EO-1 Hyperion data. *Remote Sensing of Environment*, 100(2), 223-236.

27. Mongi, H., Majule, A. E., & Lyimo, J. G. (2010). Vulnerability and adaptation of rain fed agriculture to climate change and variability in semi-arid Tanzania. *African Journal of Environmental Science and Technology*, 4(6).
28. Novak, M. D. (2016). Importance of soil heating, liquid water loss, and vapor flow enhancement for evaporation. *Water Resources Research*, 52(10), 8023-8038.
29. Nyamtseren, M., Feng, Q., & Deo, R. (2018). A comparative study of temperature and precipitation-based aridity indices and their trends in Mongolia. *International Journal of Environmental Research*, 12(6), 887-899.
30. Sarstedt, M., Mooi, E., Sarstedt, M., & Mooi, E. (2019). Regression analysis. *A concise guide to market research: The process, data, and methods using IBM SPSS Statistics*, 209-256.
31. Sayão, V. M., dos Santos, N. V., de Sousa Mendes, W., Marques, K. P., Safanelli, J. L., Poppiel, R. R., & Demattê, J. A. (2020). Land use/land cover changes and bare soil surface temperature monitoring in southeast Brazil. *Geoderma Regional*, 22, e00313.
32. Sasaki, T., Nambu, M., Iwachido, Y., Yoshihara, Y., Batdelger, G., & Kinugasa, T. (2022). Responses of plant productivity and carbon fluxes to short-term experimental manipulations of climate change and species loss in a Mongolian grassland. *Journal of Arid Environments*, 198, 104690.
33. Schirmbeck, L. W., Fontana, D. C., Schirmbeck, J., & Bremm, C. (2020). TVDI Obtido de Imagens OLI/TIRS e MODIS. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 34, 573-583.
34. Serban, C., & Maftai, C. (2025). Remote Sensing Evaluation of Drought Effects on Crop Yields Across Dobrogea, Romania, Using Vegetation Health Index (VHI). *Agriculture*, 15(7), 668.
35. Shechtman, O. (2013). The coefficient of variation as an index of measurement reliability. In *Methods of clinical epidemiology* (pp. 39-49). Springer.
36. Shen, T., Li, X., Chen, Y., Cui, Y., Lu, Q., Jia, X., & Chen, J. (2023). HiLPD-GEE: high spatial resolution land productivity dynamics calculation tool using Landsat and MODIS data. *International Journal of Digital Earth*, 16(1), 671-690.
37. Shinneman, A. L., Almendinger, J. E., Umbanhowar, C. E., Edlund, M. B., & Nergui, S. (2009). Paleolimnologic evidence for recent eutrophication in the Valley of the Great Lakes (Mongolia). *Ecosystems*, 12, 944-960.
38. Torabi Haghighi, A., Abou Zaki, N., Rossi, P. M., Noori, R., Hekmatzadeh, A. A., Saremi, H., & Kløve, B. (2020). Unsustainability syndrome—from meteorological to agricultural drought in arid and semi-arid regions. *Water*, 12(3), 838.
39. Tran, T. V., David, B., Cho-Ying, H., X., T. D., W., M. S., & and Nguyen, D. B. (2023). Decadal assessment of agricultural drought in the context of land use land cover change using MODIS multivariate spectral index time-series data. *GIScience & Remote Sensing*, 60(1), 2163070. <https://doi.org/10.1080/15481603.2022.2163070>
40. Um, M. J., Kim, Y., Park, D., & Kim, J. (2017). Effects of different reference periods on drought index (SPEI) estimations from 1901 to 2014. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 21(10), 4989-5007. <https://doi.org/10.5194/hess-21-4989-2017>
41. Xie, F., & Fan, H. (2021). Deriving drought indices from MODIS vegetation indices (NDVI/EVI) and Land Surface Temperature (LST): Is data reconstruction necessary? *International Journal of applied earth observation and geoinformation*, 101, 102352.
42. Yembuu, B. (2021). General geographical characteristics of Mongolia. In *The physical geography of Mongolia* (pp. 1-8). Springer.
43. Zeng, J., Zhang, R., Qu, Y., Bento, V. A., Zhou, T., Lin, Y., Wu, X., Qi, J., Shui, W., & Wang, Q. (2022). Improving the drought monitoring capability of VHI at the global scale via ensemble indices for various vegetation types from 2001 to 2018. *Weather and Climate Extremes*, 35, 100412.