



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

Geographical Issues

Газарзүйн асуудлууд

Volume 26 (02)

ISSN: 2312-8534

2026

Ulaanbaatar

Comparing Flood Susceptibility Mapping with Flood Disaster Periods: A Case Study of the Dari-Ekh Area, Bayanzurkh District

Batsuuri Bolormaa ¹, Sugar Munkhnaran ^{1*}, Urjinsuren Enkhzaya ², Natsagdorj Enkhjargal ³, Erdenebadrakh Oyunbileg ³, Gantumur Perliimaa ¹, Bayarsaikhan Bolormaa ⁴, Baljinnyam Erdenejargal ¹

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

² Department of Land Affairs, Construction and Urban Development, Dornogovi Province 44103, Mongolia

³ Data and Information Division, Policy Research and Analysis Center of the Capital City, Ulaanbaatar 210646, Mongolia

⁴ General Staff of the Armed Forces, Ministry of Defense, Ulaanbaatar 13340, Mongolia

* Corresponding author: munkhnaran@num.edu.mn

Received: 2026.04.11

Revised: 2026.05.21

Accepted: 2026.05.22

Abstract

This study integrates Geographic Information Systems (GIS) with Multi-Criteria Evaluation (MCE) methods to develop a flood susceptibility map for the Dari-Ekh area of Bayanzurkh District, Ulaanbaatar city, and validates the model spatially by comparing it against the actual flood inundation extent recorded in 2023. Eight conditioning factors were incorporated into the analysis: elevation, slope, precipitation, distance from rivers, distance from roads, land use/land cover, soil type, and drainage density. Factor weights were determined using the Analytic Hierarchy Process (AHP), and a flood risk map was subsequently produced through Weighted Overlay Analysis. The results indicate that, of the total study area of 1,435.4 hectares, 35.9% falls within high to very high flood risk zones, 43.7% within moderate risk zones, and the remainder within low to very low risk categories. Of the 4,733 land parcels assessed, 62.6% are situated within flood-prone zones. Critically, 99.2% of the 764 land parcels affected by the documented 2023 flood event coincided with the high-risk zones delineated by the susceptibility model, confirming the accuracy and reliability of the proposed approach. Comparative analysis further identified precipitation (27%) and distance from rivers (23%) as the two most influential factors contributing to flood risk in the study area. The findings of this study carry significant implications for urban planning, land use policy formulation, and the design of targeted flood risk mitigation measures.

Keywords: Flood risk, Ulaanbaatar, Dari-Ekh, Geographic Information System (GIS), Analytic Hierarchy Process (AHP)

Болзошгүй үерийн таамаглалын зураглалыг үерийн гамшгийн үетэй харьцуулах нь: Баянзүрх дүүргийн Дарь-Эх орчмын жишээн дээр

© Батсуурь Болормаа¹, Сугар Мөнхнаран^{1*}, Үржинсүрэн Энхзаяа², Нацагдорж Энхжаргал³,
Эрдэнэбадрах Оюунбилэг³, Гантөмөр Пэрлиймаа¹, Баярсайхан Болормаа⁴,
Балжинням Эрдэнэжаргал¹

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

² Дорноговь аймгийн газрын харилцаа, барилга хот байгуулалтын газар, Дорноговь аймаг 44103, Монгол Улс

³ Өгөгдөл, мэдээллийн газар, Нийслэлийн бодлогын судалгаа шинжилгээний төв, Улаанбаатар 17100, Монгол Улс

⁴ Зэвсэгт хүчний Жанжин штаб, Батлан Хамгаалах Яам, Улаанбаатар 13340, Монгол Улс

*Харилцагч зохиогч: munkhnaran@num.edu.mn

Хүлээн авсан: 2026.04.11

Засварласан: 2026.05.21

Зөвшөөрөгдсөн: 2026.05.22

Хураангуй

Энэхүү судалгаа нь газарзүйн мэдээллийн систем болон олон шалгуурт үнэлгээний (multi-Criteria Evaluation) аргуудыг хослуулан Улаанбаатар хотын Баянзүрх дүүргийн Дарь-Эх орчимд болзошгүй үерийн таамаглалын зураглалыг 2023 онд тохиолдсон бодит үерийн тархалттай харьцуулан шинжилж, орон зайн баталгаажуулах зорилготой. Судалгаанд гадаргын өндөржилт, налуу, хур тунадас, голоос болон замаас алслагдах зай, газар ашиглалт, хөрс, ус хурах сүлжээний нягтшил зэрэг найман хүчин зүйлийг ашиглаж, аналитик шаталсан арга (АНР)-аар жин тооцон жинлэсэн давхаргын шинжилгээ (Weighted Overlay Analysis)-ээр үерийн эрсдэлийн зураглал боловсруулав. Судалгааны үр дүнгээр нийт 1435.4 га талбайн 35.9% нь өндөр эрсдэлтэй (их болон маш их), 43.7% нь дунд, үлдсэн хэсэг нь бага болон маш бага эрсдэлтэй бүсэд хамаарах нь тогтоогдов. Нийт 4733 нэгж талбараас 62.6% нь үерийн эрсдэлтэй бүсэд байрлаж байна. Мөн 2023 оны бодит үерийн тохиолдолд өртсөн 764 нэгж талбарын 99.2% нь боловсруулсан болзошгүй үерийн таамаглалын зураглалын өндөр эрсдэлтэй бүсэд давхцаж байгаа нь загварын нарийвчлал, найдвартай байдлыг баталж байна. Харьцуулсан шинжилгээний дүнд хур тунадас (27%) болон голоос алслагдах зай (23%) нь үерийн эрсдэлд хамгийн их нөлөөтэй хүчин зүйлс болох нь тогтоогдсон. Судалгааны үр дүн нь хот төлөвлөлт, газар ашиглалтын бодлого боловсруулах, үерийн эрсдэлийг бууруулах арга хэмжээг төлөвлөхөд чухал ач холбогдолтой юм.

Түлхүүр үгс: Үерийн эрсдэл, Улаанбаатар хот, Дарь-Эх, Газарзүйн Мэдээллийн Систем (ГМС), Аналитик шаталсан арга

© Зохиогчийн оруулсан хувь нэмэр: **Б.Болормаа, С.Мөнхнаран, Б.Эрдэнэжаргал:** Онолын үндэслэл, үндсэн бичвэр, өгүүлийн эх бэлтгэл, арга зүй боловсруулалт, **Э.Оюунбилэг, Ү.Энхзаяа, Г.Пэрлиймаа, Б.Болормаа:** өгөгдөл боловсруулалт, өгөгдөл цуглуулалт, **Н.Энхжаргал:** Үр дүнгийн хяналт.

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

Оршил

Үер нь дэлхий дахинд хамгийн түгээмэл тохиолддог бөгөөд эдийн засаг, нийгэм, хүрээлэн буй орчинд хамгийн их хохирол учруулдаг байгалийн гамшгийн нэг юм (Narangerel et al., 2024). Уур амьсгалын өөрчлөлтөөс шалтгаалан хур тунадасны эрчимжил, давтамж нэмэгдэж, хот суурин газрын үерийн эрсдэл улам бүр өсөж байна. Улаанбаатар хотод хүн амын төвлөрөл, хурдацтай тэлэлт, газар ашиглалтын зохисгүй өөрчлөлт, инженерийн дэд бүтцийн хүрэлцээ муу байдал зэрэг нь үерийн эмзэг байдлыг нэмэгдүүлдэг (Батням нар, 2022; Narangerel & Suzuki, 2024). Улаанбаатар хотын үер нь зөвхөн байгалийн хүчин зүйлсийн үр дагавар бус, харин байгалийн болон антропоген хүчин зүйлсийн харилцан үйлчлэлийн үр дүн (Narangerel & Suzuki, 2024) гэж үзэх болсон. Энэ утгаараа үерийн эрсдэлийг шинжлэх ухааны үндэслэлтэй үнэлэх, эрсдэл өндөр бүсүүдийг урьдчилан тодорхойлох нь тогтвортой хот төлөвлөлт, гамшгийн эрсдэлийг бууруулах бодлогын салшгүй хэсэг болж байна.

Сүүлийн жилүүдэд газарзүйн мэдээллийн систем, зайнаас тандан судлал, орон зайн загварчлалын аргуудыг үерийн эрсдэлийн үнэлгээнд өргөн хэрэглэгдэх болсон (Malczewski, 2004; Varra, et al., 2024; Narangerel & Suzuki, 2024). Эдгээр аргууд нь үерийн эрсдэлд нөлөөлөх олон хүчин зүйлсийг нэгтгэн үнэлэх, эрсдэлийн орон зайн тархалтыг зураглах, шийдвэр гаргалтад ашиглаж байна. Ялангуяа олон шалгуурт үнэлгээ (Multi-Criteria Evaluation, MCE) болон аналитик шаталсан арга (Analytic Hierarchy Process, АНП) нь олон хүчин зүйлийн харьцангуй ач холбогдлыг жинлэн үнэлж (Ma et al., 2026), нийлмэл эрсдэлийн зураглал боловсруулахад хамгийн өргөн хэрэглэгддэг аргазүй юм (Saaty, 1982; Malczewski, 2004; Ma et al., 2026). GIS-MCE загвар нь өндрийн тоон загвар, газрын налуу, хур тунадас, ус хурах сүлжээ, голын сүлжээ, хөрс, газар ашиглалт зэрэг орон зайн өгөгдлүүдийг нэгтгэн үерийн эрсдэлийг үнэлэхэд үр дүнтэй болохыг олон судалгаагаар баталсан (Kourgialas & Karatzas, 2011; Tehrany et al., 2014).

Улаанбаатар хотод тохиолдож буй үерийн давтамж, эрчимжил нь хур тунадасны өөрчлөлттэй шууд хамааралтай байна (Narangerel & Suzuki, 2024). Сүүлийн 60 жилийн хугацаанд хур тунадас ихтэй жилүүд нь үерийн томоохон тохиолдлуудтай давхцаж байгаа бөгөөд үүний тод жишээ нь 2023 онд Сэлбэ гол болон Дарь-Эх орчимд болсон аадар үер юм. Тухайлбал, 1982 онд хотын баруун болон хойд хэсгийн уулын бүсүүдэд, үүнд Дарь-Эх орчмыг хамруулан орсон их хэмжээний хур тунадасны улмаас хүчтэй аадар үер үүссэн нь уг бүсийн гидрологийн эмзэг байдлыг харуулсан. 2023 оны үерийн гамшиг нь зөвхөн байгалийн хүчин зүйлсээс гадна хотжилт, газар ашиглалтын зохисгүй байдалтай нягт холбоотой болохыг судалгаанд дурдсан. Тухайлбал, Сэлбэ, Туул голын сав болон Дарь-Эх орчмын үерүүд нь суурьшлын бүс үерийн аюултай бүсэд тэлж, байгалийн урсцын зам хаагдсантай холбоотойгоор хохирлын хэмжээ нэмэгдсэн байна (Narangerel, Suzuki, 2024).

Болзошгүй үерийн буюу үерт эмзэг байдлын үнэлгээ, зураглал нь сүүлийн жилүүдэд Газарзүйн Мэдээллийн Систем (ГМС), Зайнаас Тандан Судлал (ЗТС), олон шалгуурт шийдвэр гаргалтын аргуудтай нягт уялдан хөгжиж байна (Malczewski, 1999; Varra, et al., 2024). Үерийн эрсдэлийг ерөнхийд нь аюул, өртөмтгий байдал, эмзэг байдлын нэгдэл гэж тодорхойлдог (UNDRR, 2015).

ГМС-д суурилсан болзошгүй үерийн зураглалд олон шалгуурт шийдвэр гаргалтын арга өргөн хэрэглэгддэг (Malczewski, 1999). Ялангуяа жинлэсэн шугаман хослол болон аналитик шаталсан арга (АША) нь хамгийн түгээмэл хэрэглэгддэг бөгөөд эдгээр аргууд нь олон төрлийн хүчин зүйлсийг нэгтгэн үнэлэх боломжийг олгодог. Энэ чиглэлийн онолын суурийг Мальчевски (2004) боловсруулж, газар ашиглалтын тохиромжтой байдлын үнэлгээнд газарзүйн мэдээллийн систем болон олон шалгуурт шийдвэр гаргалтын аргуудыг нэгтгэн хэрэглэх боломжийг тодорхойлсон бол Саати (1980) аналитик шаталсан аргаар шалгуур үзүүлэлтүүдийн жинг тооцоолжээ (Saaty, 1982; Malczewski, 2004).

Үерт эмзэг байдлын буюу үерт автаж болзошгүй газрын зураглалд (flood susceptibility mapping) ихэвчлэн өндрийн тоон загвар, газрын налуу, голын сүлжээ, хур тунадас, газрын ашиглалт зэрэг орон зайн хүчин зүйлсийг ашигладаг. ГМС-д суурилсан загварчлалын аргаар үерийн аюултай бүсүүдийг тодорхойлох аргачлалыг боловсруулсан (Kourgialas, Karatzas, 2011). Машин сургалтын аргуудыг ашиглан болзошгүй үерийн таамаглалын зураглалын нарийвчлалыг нэмэгдүүлэх боломжийг харуулсан (Tehrany, et al., 2014). Эдгээр судалгаанууд нь болзошгүй үерийг урьдчилан таамаглахад ГМС болон статистик аргууд өндөр ач холбогдолтойг баталж байна.

Ялангуяа Улаанбаатар хотын захын гэр хорооллын бүсүүд үерийн эрсдэлд онцгой өртөмтгий байдаг (Narangerel & Suzuki, 2024). Эдгээр бүсүүд нь ихэвчлэн уулын бэл, жалга, хөндийн бүсэд төлөвлөлтгүй суурьшсан, инженерийн шугам сүлжээ сул хөгжсөн, ус зайлуулах систем хангалтгүй байдаг онцлогтой. Ийм нөхцөлд богино хугацааны хүчтэй аадар бороо нь их хэмжээний гадаргын урсац үүсгэж, үерийн хохирлыг нэмэгдүүлдэг.

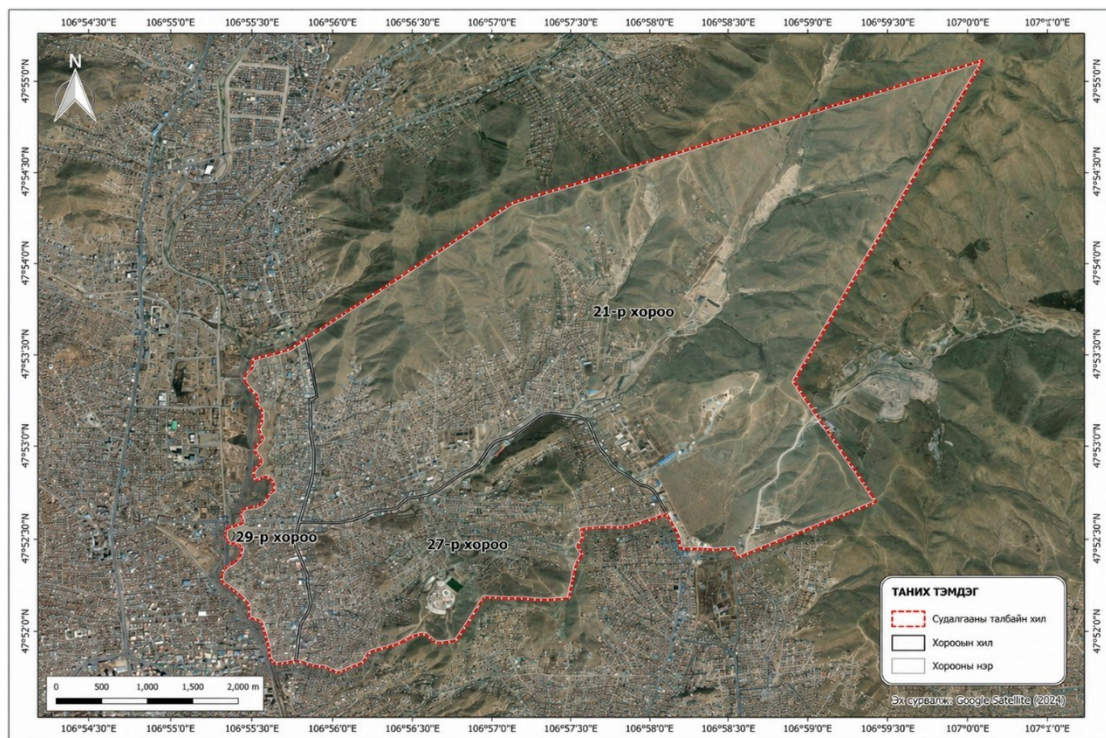
Улаанбаатар хотын хэмжээнд өмнөх судалгаанууд үерийн эрсдэлийг янз бүрийн арга зүйгээр үнэлж ирсэн. Тухайлбал, Сэлбэ голын сав газрын хэмжээнд GIS болон зайнаас тандан судлалд суурилсан үерийн эрсдэлийн зураглал боловсруулсан судалгаанууд (Ундрах, 2011; Даваажаргал, 2012), олон шалгуурт үнэлгээ ашигласан үерийн эрсдэлийн бүсчлэл (Пэрлиймаа, 2020), гидрологийн болон гидродинамик загварчлалд суурилсан үнэлгээнүүд (Батням нар., 2022; Тамжид, 2023; Оюунхүү, 2024) хийгдсэн байна. Эдгээр судалгаанууд нь үерийн эрсдэлийг бүс нутгийн түвшинд үнэлэхэд чухал хувь нэмэр оруулсан боловч хэд хэдэн хязгаарлалт ажиглагдаж байна.

Нэгдүгээрт, өмнөх судалгаануудын ихэнх нь бүсчилсэн буюу сав газрын түвшний үнэлгээнд төвлөрсөн бөгөөд газрын кадастрын нэгж талбарын түвшинд эрсдэлийн өртөлтийг нарийвчлан үнэлээгүй байна. Хот төлөвлөлт, газар ашиглалтын менежмент, эрсдэлийн удирдлагын практикт нэгж талбарын түвшний мэдээлэл илүү ач холбогдолтой байдаг. Хоёрдугаарт, боловсруулсан эрсдэлийн загваруудын үнэн зөвийг бодит гамшгийн мэдээллээр орон зайн түвшинд баталгаажуулсан судалгаа ховор байна. Загварын үр дүн бодит нөхцөлтэй хэр нийцэж байгааг үнэлэхгүйгээр түүний хэрэглээний найдвартай байдлыг бүрэн тодорхойлох боломжгүй. Гуравдугаарт, Улаанбаатар хотын гэр хорооллын орчинд газарзүйн мэдэлийн системд болон олон шалгуурт үнэлгээ суурьтай болзошгүй үерийн таамаглалын зураглалын загварыг туршин хэрэглэсэн судалгаа харьцангуй цөөн байна. Ийм бүсүүдийн газар ашиглалтын бүтэц, гидрологийн нөхцөл, дэд бүтцийн онцлог нь уламжлалт хотын бүсээс эрс ялгаатай тул тусгайлан судлах шаардлагатай.

Судалгааны үндсэн зорилго нь Улаанбаатар хотын Дарь-Эх орчмын болзошгүй үерийн таамаглалыг газарзүйн мэдэлийн системд суурилсан олон шалгуурт үнэлгээ болон аналитик шаталсан аргыг ашиглан зураглах, боловсруулсан таамаглалын зураглалыг 2023 оны үерийн мэдээлэлтэй орон зайн түвшинд харьцуулан баталгаажуулах, мөн газрын кадастрын нэгж талбарын түвшинд үерийн өртөлтийг үнэлэхэд оршино.

Судалгааны талбай

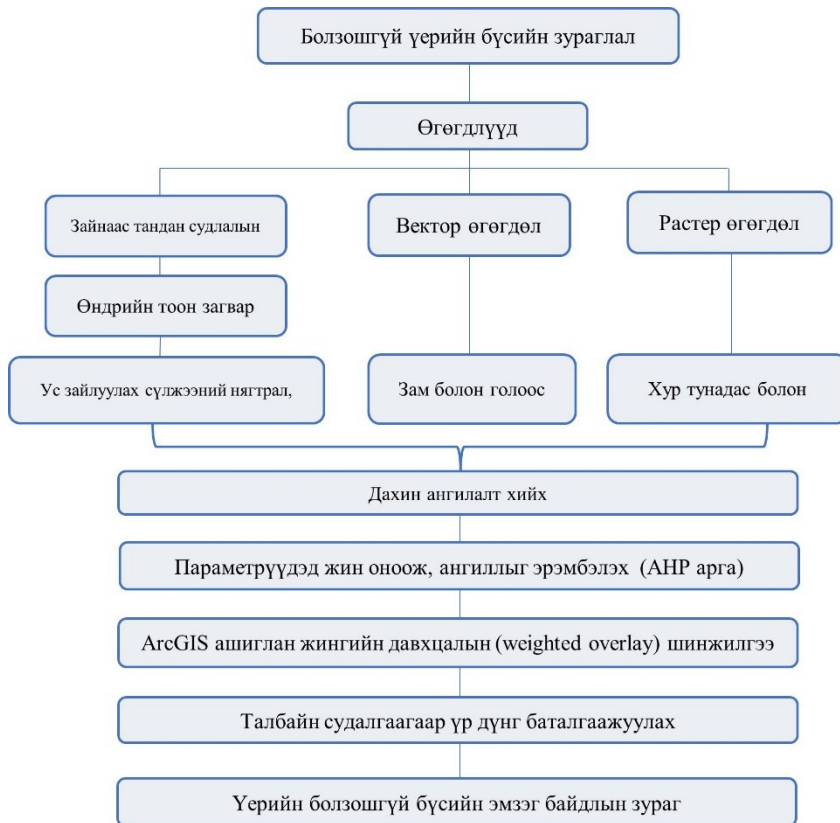
Судалгааны талбай нь Улаанбаатар хотын зүүн хойд хэсэгт, Баянзүрх дүүргийн 21, 27, 29 дүгээр хорооны нутаг дэвсгэрт байрладаг. Сэлбэ голын сав газарт ойролцоогоор далайн түвшнээс дээш 1423 метрийн өндөрт оршдог (Nyam-Osor et al., 2024). Нийт талбайн хэмжээ 1435.4 га буюу 14354412.1 м² юм. Хэнтий нурууны үзүүр Асралт хайрхан 2799 м, Сонгинохайрхан уул 1652 м, Туул голын сав газарт байрлах Чингэлтэй уул 1949 м, Баянзүрх уул 1834 м, Богдхан уул 2258 м зэрэг уулсаар хүрээлэгдэн оршино (Батсүрэн нар, 2020). Рельефийн энэхүү онцлог нь хотгор, гүдгэрийн тэгш бус байдлыг үүсгэдэг (Enkbold et al., 2024). Рельефийн хэв шинж, хүн амын суурьшлаас хамаарч Дарь-Эх орчимд хүчтэй үер үүсэх нөхцөл бүрддэг (Зураг 1).



Зураг 1. Судалгааны талбайн байршил Дарь-Эх орчмын сансрын зураг

Судалгааны өгөгдөл, арга зүй

Судалгаанд Дарь-Эх орчимд тохиолдож болзошгүй үерийн бүсийг таамаглан зураглахад шаардлагатай орон зайн болон статистик өгөгдлүүдийг цуглуулж ашиглав. Үүнд: өндрийн тоон загвар (ӨТЗ), хур тунадасны өгөгдөл, замаас алслагдах зай, голоос алслагдах зай, газар ашиглалтын мэдээлэл, хөрсний мэдээлэл, ус хурах сүлжээний нягтшил, кадастрын нэгж талбарын мэдээлэл, бодит үерийн мэдээллүүдийг тус тус ашиглан өгөгдлүүдийг ашигласан (Зураг 2).



Зураг 2. Олон шалгуурт үнэлгээ ашиглан үерийн эрсдэлийг зураглах арга зүйн схем

Гадаргын өндөржилт: Судалгааны талбайн өндөржилтийг тодорхойлоход ALOS PALSAR хиймэл дагуулын 2024 оны 12.5 метрийн нарийвчлалтай тоон мэдээллийг ашиглан 49 метрийн интервалтайгаар зурагласан болно (Зураг 3А).

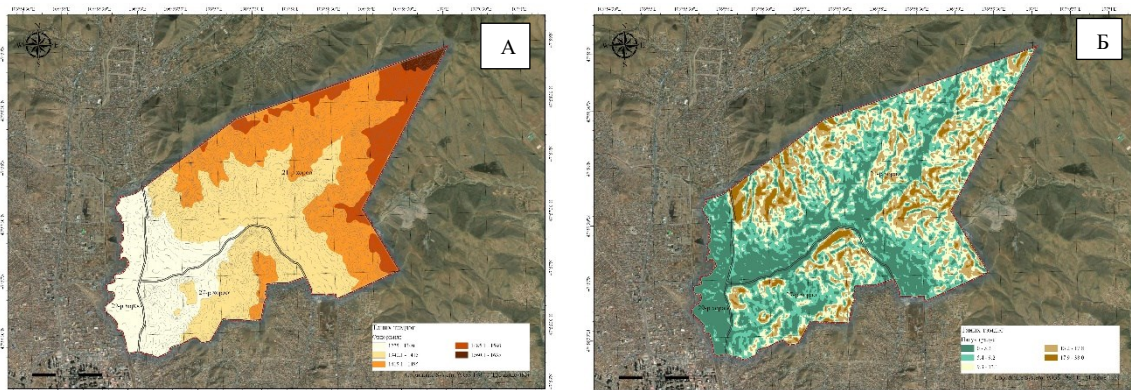
Судалгааны талбайн газрын гадаргын дундаж өндөржилт нь далайн түвшнээс дээш (д.т.д) 1423м байна. Гадаргын өндөржилтийг хамрах талбай, эзлэх хувийг Хүснэгт 1–д үзүүлэв.

Хүснэгт 1. Гадаргын өндөржилт (талбай, эзлэх хувь)

№	Өндөржилт (метр)	Талбай (га)	Эзлэх хувь
1	1275 - 1340	290.67	20.25
2	1340.1 - 1415	389.70	27.15
3	1415.1 - 1485	379.03	26.41
4	1485.1 - 1560	310.04	21.60
5	1560.1 - 1635	66.23	4.61
Нийт		1435.4	100

Хамгийн өндөрлөг хэсэгтээ д.т.д 1635 метр, хамгийн нам цэг 1275 метрт өргөгдсөн байна. Судалгааны талбайн дийлэнх хэсэг буюу 27.15 хувийг 1340.1-1415 метрийн өндөржилттэй газар, хамгийн бага буюу 4.61 хувийг 1560.1-1635 метрийн өндөржилттэй газар эзэлж байна.

Гадаргын налуу: Судалгааны талбайн газрын гадаргын налууг 12.5 метрийн нарийвчлалтай ӨТЗ-ыг ашиглан, 31 градусын зайтайгаар зураглав (Зураг 3Б).



Зураг 3. А.Судалгааны талбайн өндөржилт Б. Гадаргын налуужилт

Судалгааны нийт 1413.2 га талбайн налуугийн ангиллыг авч үзвэл, 0–5.3 хэмийн налуутай газар 375.83 га буюу 26.6 хувь, 5.4–9.2 хэмийн налуутай газар 413.80 га буюу 29.3 хувь, 9.3–13.1 хэмийн налуутай газар 328.64 га буюу 23.3 хувь, 13.2–17.8 хэмийн налуутай газар 223.27 га буюу 15.8 хувь, 17.9–38.0 хэмийн налуутай газар 71.64 га буюу 5.1 хувийг тус тус эзэлж байна. Үүнээс харахад судалгааны талбайн дийлэнх хэсэг буюу 79.2 хувь нь 0–13.1 хэмийн харьцангуй бага налуутай газарт, харин 20.9 хувь нь 13.2 хэмээс дээш налуутай хэсэгт хамрагдана (Хүснэгт 2).

Хүснэгт 2. Гадаргын налуу (талбай, эзлэх хувь)

№	Налуу (хэм)	Талбай (га)	Эзлэх хувь
1	0 - 5.3	375.83	26.6
2	5.4 - 9.2	413.80	29.3
3	9.3 - 13.1	328.64	23.3
4	13.2 - 17.8	223.27	15.8
5	17.9 - 38.0	71.64	5.1
	Нийт	1413.20	100.0

Судалгааны талбайн хамгийн бага налуутай хэсэгт 0 хэм байгаа бол хамгийн ихдээ 38 хэмийн налуутай байна. Дийлэнх буюу 79.1 хувийг 0-13.1 хэм, үлдсэн 24.6 хувийг 32-186 хэмийн налуутай талбай эзэлж байна.

ӨТЗ, гадаргын налуу, ус хураах талбай, хур тунадас, газар ашиглалт, хөрсний мэдээнүүдийг ашигласан. Мөн Улаанбаатар хот, дүүрэг, хорооны хил, Баянзүрх дүүргийн нэгж талбарын хил, үерийн далан, ус зайлуулах шугам, зам, гол зэрэг вектор мэдээ ашиглав (Хүснэгт 3).

Хүснэгт 3. Судалгаанд ашигласан өгөгдөл

№	Өгөгдөл	Нарийвчлал (метр)	Авсан он	Эх сурвалж
1	Өндрийн тоон загвар (DEM)	12.5	2024	ALOS PALSAR
2	Гадаргын налуу			
3	Ус хураах талбай			
4	Хур тунадас	4 км x 4 км	2020-2024	CHRS Data Portal
5	Газар ашиглалт	10	2024	Sentinel-2
6	Хөрс	-	2018	Eic.mn

ALOS PALSAR хиймэл дагуулын өгөгдөл: ALOS PALSAR (Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar) нь Японы JAXA (Japan Aerospace Exploration Agency) агентлагаас 2006 оны 1-р сарын 24-нд хөөргөсөн ALOS (Advanced Land Observing Satellite) хиймэл дагуул юм. Энэ хиймэл дагуул нь байрзүйн зураглал, гамшиг, хүрээлэн буй орчны мониторинг, уур амьсгалын өөрчлөлтийн судалгаанд ашиглагдсаар байна. PALSAR нь идэвхтэй богино долгионы мэдрэгч бөгөөд цаг агаарын нөхцөл байдлыг үл харгалзан өдөр шөнөгүй ажилладаг. PALSAR нь 8° – 60°-ийн хөндлөн заах чадвартай L долгионы давтамжийг ашигладаг (EROS, 2018) .

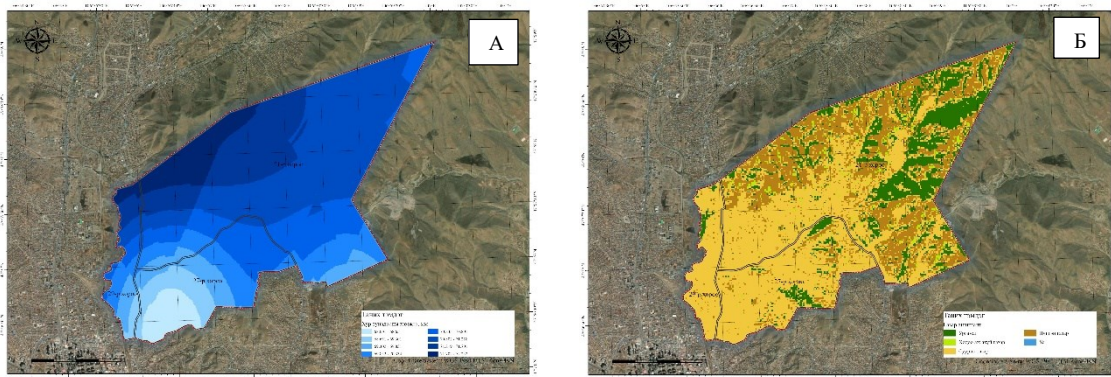
Судалгаанд ашиглагдсан ALOS PALSAR хиймэл дагуулын 12.5 метрийн нарийвчлалтай DEM зургийг ашигласан.

CHRS Data Portal өгөгдөл: 1997 онд Аризонагийн их сургууль (одоогоор Калифорнийн Их Сургуулийн Ирвайн салбар дахь CHRS төв) -ийн судлаачид анхны хиймэл дагуулын хур тунадасны тооцооллын систем болох PERSIANN (Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information using Artificial Neural Networks) алгоритмыг боловсруулсан. PERSIANN нь хиймэл нейрон сүлжээ (ANN) ашиглан геостационар хиймэл дагуулын (GEO) инфра улаан долгион (IR) ашиглан дэлхийн хур тунадасны хэмжээг тооцоолдог. Хур тунадасны бүтээгдэхүүн нь дэлхийн хэмжээнд 60°S-ээс 60°N хүртэлх бүс нутагт хамаарна. Бага тойрог замтай хиймэл дагуулын (LEO) пассив микроволнов (PMW) мэдээллийг ашиглан алдааг засдаг. PERSIANN-ийг гидрологийн загварчлал, үер, ган гачгийн эрсдэлийн зураглал, усны нөөцийн менежмент мөн хот ба бүс нутгийн төлөвлөлтийн судалгаанд ашигладаг (Nguyen et al., 2019).

CHRS Data Portal – Нээлттэй өгөгдлийн цахим системийг 2016 онд ЮНЕСКО-Олон улсын усны хөтөлбөр (UNESCO-IHP) болон АНУ-ын Инженерийн цэргийн байгууллагын усны нөөцийн олон улсын төв (ICIWaRM) хамтран бүтээсэн. Доорх зурагт судалгаанд ашиглагдсан CHRS Data Portal-ийн мэдээг үзүүлэв (Зураг 4А).

Sentinel-2 өгөгдөл: Европын холбооны Copernicus хөтөлбөрийн хүрээнд хэрэгжиж буй, өргөн муж, өндөр нарийвчлалтай, олон спектрийн мэдээ цуглуулах хиймэл дагуул юм. Sentinel-2 нь 13 спектрийн мужтай оптик мэдрэгчтэй. Тухайлбал, 10 м нарийвчлалтай – 4 муж, 20 м нарийвчлалтай – 6 муж, 60 м нарийвчлалтай – 3 муж байдаг (CDSE, 2024). Дэлхийн тойрог замын үе давтамж нь 5 хоног байдаг. Sentinel-2 хиймэл дагуулын муж 4,3,2 ашиглан харагдах бодит байдлыг дүрслэв.

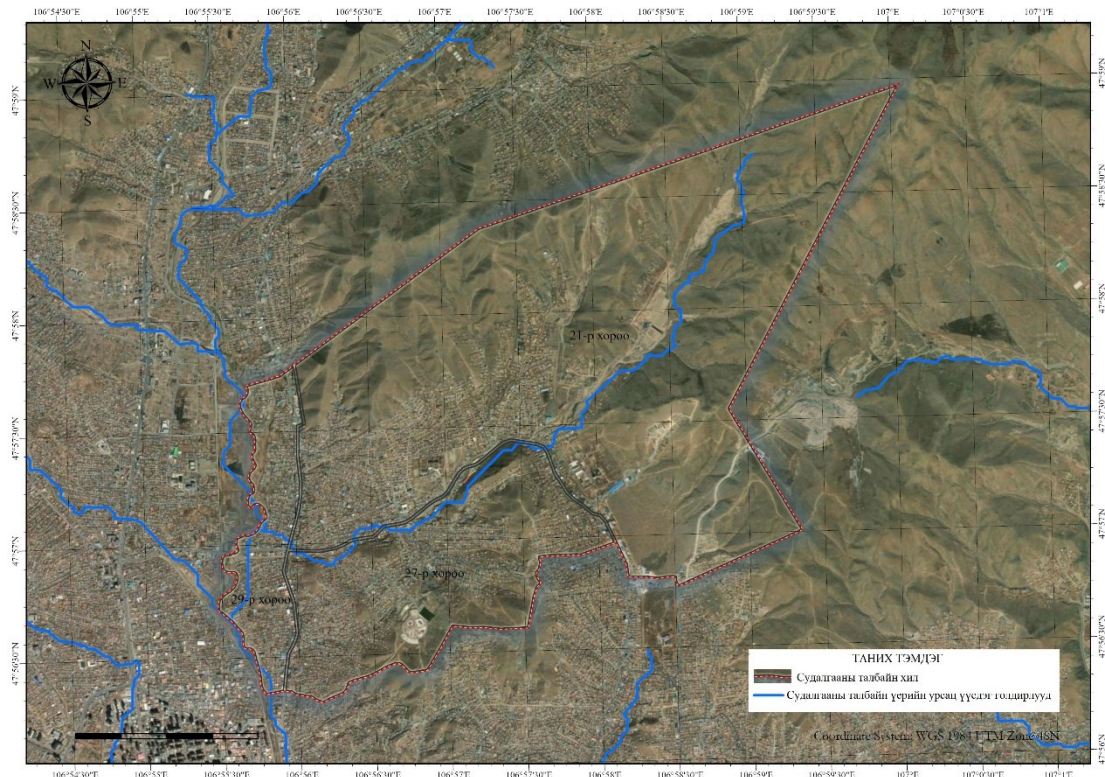
Sentinel-2 нь эх газрын гадаргуугийн мониторинг, ургамал, хөрс, усан бүрхэвч, гол мөрөн, эргийн бүсийн судалгаанд зориулагдсан байдаг. Sentinel-2 хиймэл дагуулын мэдээг ашиглан дээж авч судалгаанд ашиглагдах газар ашиглалтын зургийг боловсруулсан байдлыг дараах зурагт үзүүлэв (Зураг 4Б).



Зураг 4. А. CHRS Data Portal-ийн мэдээг ашиглан хур тунадасны хэмжээг зурагласан байдал
Б. Газар ашиглалтын байдал

“Arc Hydro tools”-ээр зураглах арга: Энэ аргаар усны нөөцийн загваруудтай нийцэхүйц өгөгдлийн санг бий болгох боломжтой ба усны өгөгдлийн бүтцийг стандартчилж, тухайн өгөгдлийг ямар ч орон зайн хэмжээнд тогтмол, үр дүнтэй ашиглах, дүн шинжилгээ хийх боломж олгодог.

“Arc Hydro tools” нь гидрологийн загварчлал ашигладаг хэрэгсэл юм. Энэ систем нь ГМС ашиглан гидрологийн, газрын гадаргын болон топологийн (сүлжээ, харилцан хамаарал) өгөгдлүүдийг нэгтгэн, урсцын нөхцөл байдал, өөрчлөлтүүдийг судалж, загварчлал хийх боломж олгодог (ESRI, 2021). Дарь-Эх орчимд үерийн эрсдэл нь түр зуурын их хэмжээний хур тунадас буусны улмаас ус их хэмжээгээр хуримтлагдан үүсч богино хугацаанд эрчимтэй хуурай голдирол даган урсаж үер үүсгэдэг (Зураг 5).



Зураг 5. Судалгааны талбайн үерийн урсац үүсдэг үндсэн голдирлууд

Дарь-Эх орчмын уулын ам, жалгын морфологийн онцлогтой шууд нийцэж байгаа бөгөөд судалгааны талбайд ажиглагдсан үерийн тархалтын хэв шинжийг тайлбарлаж байна. Түүнчлэн үерийн үүсэл нь зөвхөн тухайн байршлын хур тунадасны хэмжээнээс бус, харин сав газрын дээд хэсэгт орсон хур тунадас, ус хурах талбайн бүтэц, гадаргын нөхцөл зэрэг хүчин зүйлсийн нийлмэл нөлөөгөөр үүсдэг (Narangerel et al., 2024).

Дарь-Эх орчимд боловсруулсан болзошгүй үерийн бүсийг зураглах загварт ашигласан болон АША-аар жинлэсэн хүчин зүйлсийн сонголтыг баталгаажуулсан. Иймээс тус бүсийн үерийн эрсдэл нь зөвхөн хур тунадасны эрчимжил бус, харин ус хагалбарын бүтэц, газрын гадаргын хэлбэр, ус хурах сүлжээ, газар ашиглалтын хэв шинж зэрэг байгалийн болон антропоген хүчин зүйлсийн харилцан үйлчлэлийн үр дүн юм.

ГМС-д суурилсан олон шалгуурт шинжилгээний арга: Аналитик шаталсан арга (Analytic Hierarchy Process) нь олон шалгуурт шийдвэр гаргалтын арга (Saaty, 1982)-ыг ашигласан. Энэхүү арга нь шийдвэр гаргах асуудлыг шаталсан бүтэц (hierarchy) болгон задалж, шалгуур үзүүлэлтүүдийн харьцангуй ач холбогдлыг тоон утгаар илэрхийлэх замаар жинг тодорхойлдог

(Saaty, 1982). Олон давхарга бүхий орон зайн мэдээллийг ашигладаг (жишээ нь өндөржилт, налуу, газар ашиглалт, хур тунадас гэх мэт) ба давхарга бүрт хувийн жин оноож, тэдгээрийг нэгтгэн эцсийн үнэлгээ гаргана.

Жинлэсэн давхаргын шинжилгээ (Weighted Overlay Analysis) - Үерийн эрсдэлийг тодорхойлохдоо ОШҮ-ний хүрээнд жинлэсэн давхаргын шинжилгээ аргыг ашигласан бөгөөд нийт эрсдэлийг хүчин зүйл бүрийн жин болон стандартчилсан утгын жигнэсэн нийлбэрээр тооцсон (Malczewski, 1999).

$$S = \sum_{i=1}^n w_i * x_i \tag{1}$$

Энд: w_i – i – р хүчин зүйлийн жин (АША – аар тодорхойлно)
 x_i – тухайн хүчин зүйлийн нормчлогдсон утга

Үерийн эрсдэлд нөлөөлөх хүчин зүйлс болох хур тунадас - R, голоос алслагдах зай - DR, өндөржилт - E, налуу - S, газар ашиглалт - LU, ус хурах сүлжээний нягтшил - DD, хөрс - L, замаас алслагдах зай-RR үзүүлэв (Хүснэгт 4).

Хүснэгт 4. Аналитик шаталсан аргаар нөлөөлөх хүчин зүйлсийн жинг тооцох

		R	DR	E	S	LU	DD	L	RR
Харьцуулалтын матриц	R	1	1	1	3	5	5	7	9
	DR	1	1	1	3	3	5	5	7
	E	1	1	1	1	1	3	5	7
	S	0.33	0.33	1	1	1	1	3	5
	LU	0.2	0.33	1	1	1	1	3	3
	DD	0.2	0.2	0.33	1	1	1	1	3
	L	0.14	0.2	0.2	0.33	0.33	1	1	1
	RR	0.11	0.14	0.14	0.2	0.33	0.33	1	1
	Σ	3.99	4.21	5.68	10.53	12.67	17.33	26	36
Хэвийн байдал	R	0.25	0.24	0.18	0.28	0.39	0.29	0.27	0.25
	DR	0.25	0.24	0.18	0.28	0.24	0.29	0.19	0.19
	E	0.25	0.24	0.18	0.09	0.08	0.17	0.19	0.19
	S	0.08	0.08	0.18	0.09	0.08	0.06	0.12	0.14
	LU	0.05	0.08	0.18	0.09	0.08	0.06	0.12	0.08
	DD	0.05	0.05	0.06	0.09	0.08	0.06	0.04	0.08
	L	0.04	0.05	0.04	0.03	0.03	0.06	0.04	0.03
	RR	0.03	0.03	0.03	0.02	0.03	0.02	0.04	0.03
	Σ	1	1	1	1	1	1	1	1
Жин		0.27	0.23	0.18	0.10	0.09	0.06	0.04	0.03

CI- Аналитик шатлан эрэмбэлэх анализ нь хос харьцуулалтын матрицын утгыг тогтооход зөрчилтэй байж болох тул тогтвортой байдлын индексийг (Consistency Index-CI) ашиглан энэ зөрүүтэй түвшинг шалгах нь чухал бөгөөд энэ нь 0.1-ээс бага байх ёстой. Уг индексийг дараах томъёогоор тооцоолно.

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \tag{2}$$

Энд: λ = тогтвортой байдлын векторын дундаж
 n = шалгуур үзүүлэлтийн тоо

Хүснэгт 5. Тогтвортой байдлын индекс тооцох

CI	RCI	CR
0.064	1.41	0.045

Судалгааны үр дүн

Үерийн эрсдэлд нөлөөлөгч хүчин зүйлсийг ашиглан үерийн эрсдэлийг зураглал:

Болзошгүй үерийн аюулын давхаргыг боловсруулахад шалгуур үзүүлэлтүүдийн талаар нэгдсэн ойлголт байхгүй байна. Гэсэн хэдий ч хэд хэдэн судалгаанд үндэслэн гадаргын өндөржилт, налуу, хур тунадас, хөрс, газар ашиглалт, ус хурах сүлжээний нягтшил, голоос алслагдах зай, замаас алслагдах зай зэрэг 8 эрсдэлд нөлөөлөх хүчин зүйлийг сонгосон (Хүснэгт 6).

Хүснэгт 6. Болзошгүй үерийн бүсийг тодорхойлох хүчин зүйлс

№	Нөлөөлөх хүчин зүйлс	Тайлбар
1	Гадаргын өндөржилт	Нам дор газар, хонхор газар үерийн үед ус тогтох магадлалтай.
2	Гадаргын налуу	Налуу нь ус зайлуулах суваг ба усны хаглбараар дамжуулах хурданд нөлөөлдөг.
3	Хур тунадас	Хур тунадасны мэдээг үерийн аюул тохиолдох үеийнхээр (6-р сараас 8-р сар хүртэл) авч дундаж хур тунадасны мэдээллийг интерполяцын (IDW) арга ашиглан гаргаж авсан.
4	Голоос алслагдах зай	Гол, горхи хүртэлх зайг хэмжих нь үерт өртөмтгий газрыг тодорхойлоход чухал үүрэг гүйцэтгэдэг. Гол мөрөнд ойрхон бүсүүд үерт хамгийн их нэрвэгддэг.
5	Газар ашиглалт	Ус үл нэвтрүүдэх талбай их байх тусам үерийн эрсдэл нэмэгддэг.
6	Ус хурах сүлжээний нягтшил	Ус хурах талбайн хэсэгт үерийн ус цугларах учир ойр орчмын бүс үерт эрсдэх магадлал өндөр байдаг.
7	Хөрс	Ус шингээх чадвар нь үерийн эрсдэлд шууд нөлөөлнө.
8	Замаас алслагдах зай	Зам нь ус зайлуулах систем муутай бол үерийн ус тогтох эрсдэлтэй байдаг.

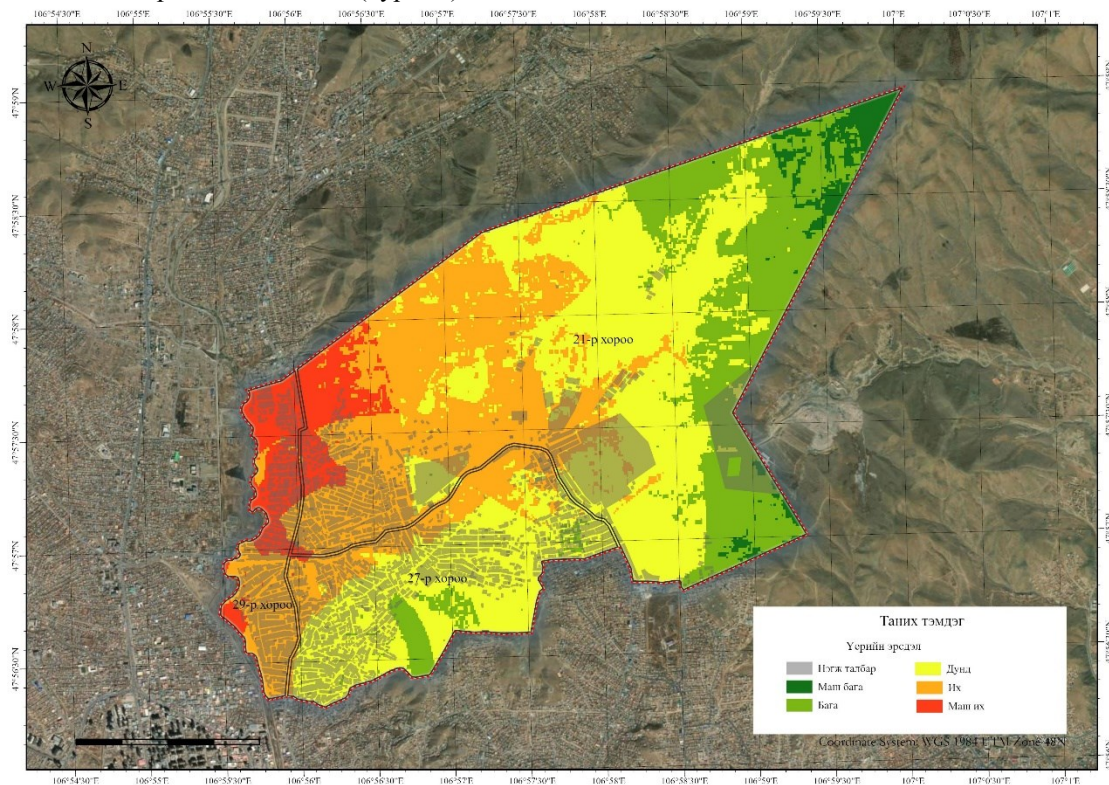
Олон улсад түгээмэл хэрэглэгддэг хэлбэр болох ГМС-ийн жинлэсэн давхаргын шинжилгээг ашиглан сонгосон эрсдэлд нөлөөлөгч зургаан хүчин зүйлийг АША-аар жинлэв (Хүснэгт 7). Хүчин зүйлс тус бүрийг таван ангид хуваан авч үзсэн бөгөөд хур тунадас 27 хувь, голоос алслагдах зай 23 хувьтай буюу хамгийн их жинг эзлэх бол замаас алслагдах зай 3 хувьтай хамгийн бага жинг эзэлж байхаар тооцсон (Хүснэгт 7).

Хүснэгт 7. Эрсдэлд нөлөөлөгч хүчин зүйлсийн жин

№	Параметр	Жин (%)	Анги	Зэрэглэл
1	Налуу	10	0-37	5
			38-74	4
			75-112	3
			113-149	2
			150-186	1
2	Хур тунадас	27	68-68.9	1
			69-69.7	2
			69.8-71.4	3
			71.5	4
			71.6-72.3	5
3	Өндөржилт	18	1227-1305	5
			1306-1384	4
			1385-1462	3
			1463-1541	2
			1542-1619	1
4	Газар ашиглалт	9	Ус	5
			Нүцгэн газар	4
			Хот суурин	3
			Хөдөө аж ахуйн газар	2
			Ургамал	1
5	Голоос алслагдах зай	23	0-1195	5
			1196-2390	4
			2391-3585	3

			3586-4780	2
			4781-5975	1
6	Замаас алслагдах зай	3	0-0.006	5
			0.007-0.012	4
			0.013-0.018	3
			0.019-0.024	2
			0.025-0.03	1
7	Ус хурах сүлжээний нягтшил	6	0-1.3	1
			1.4-2.7	2
			2.8-4	3
			4.1-5.4	4
			5.5-6.7	5
8	Хөрс	4	Нугын цэвдэгт хөрс	3
			Уулын хар хурэн хөрс	2
			Уулын ойн бараан хөрс	1

Үерийн эмзэг байдалд нөлөөлөгч хүчин зүйлсийг ашиглан Дарь-Эх орчмын болзошгүй үерийн бүсийг зурагласан бөгөөд үерт автаж болзшгүй түвшнөөр нь маш бага, бага, дунд, их, маш их гэсэн таван түвшинд ангилсан (Зураг 6).



Зураг 6. Болзошгүй үерийн таамаглалын зураглал

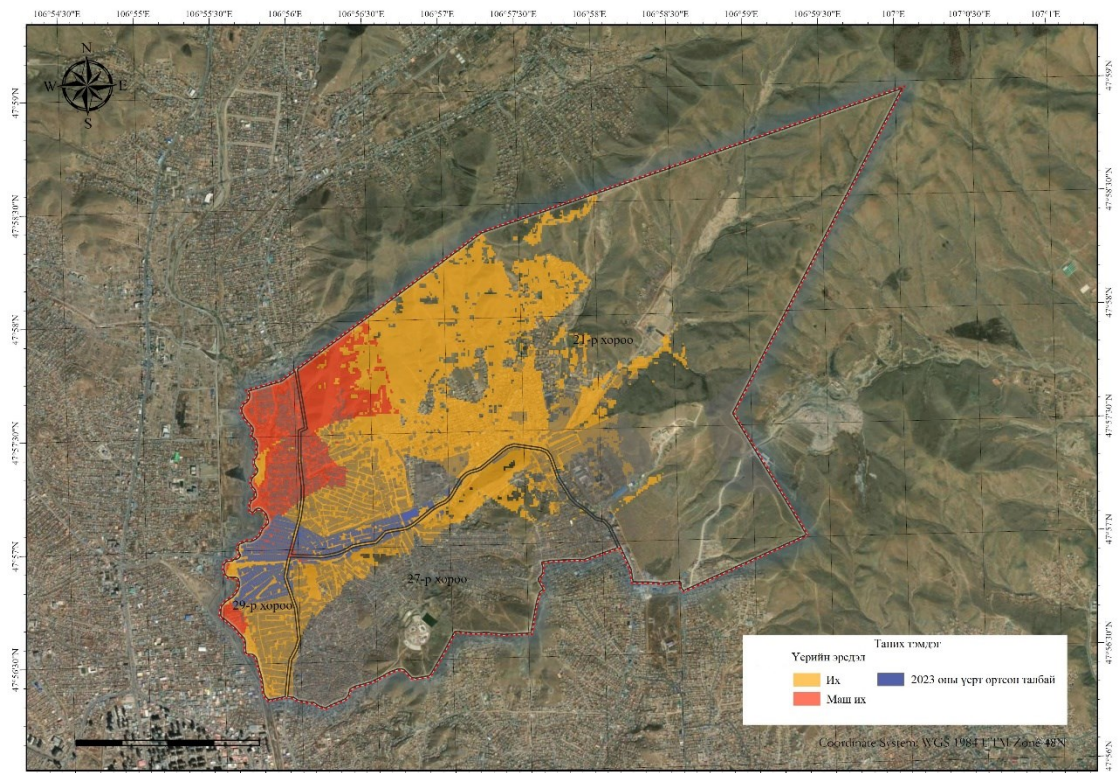
Судалгааны нийт талбай нь 14,354,412.1 м² буюу 1435.4 га бөгөөд үүнээс 46 га (3.2%) нь үерийн маш бага эрсдэлтэй, 247.1 га (17.2%) нь бага эрсдэлтэй, 627.1 га (43.7%) нь дунд зэрэг эрсдэлтэй, 461.1 га (32.1%) нь их эрсдэлтэй, харин 54.1 га (3.8%) нь маш их эрсдэлтэй бүсэд хамаарч байгаа нь тогтоогдлоо. Энэ нь судалгааны талбайн 35.9% нь их болон маш их эрсдэлтэй бүсэд хамаарч байгааг харуулж байна.

Судалгааны талбайн хэмжээнд нэгж талбарын түвшинд авч үзвэл нийт 4733 нэгж талбар байгаагаас 2962 нэгж талбар буюу 62.6 хувь нь үерийн эрсдэлтэй бүсэд байршиж байгаа бөгөөд үүнээс үерийн их эрсдэлтэй бүсэд 2265 нэгж талбар, маш их эрсдэлтэй бүсэд 697 нэгж талбар байршиж байна. Энэ нь уг суурьшлын бүсийн дийлэнх хэсэг үерийн аюулд өртөмтгий байгааг

илтгэнэ. Газрын эрхийн статусаар нь ангилж үзвэл 2183 нэгж талбар (73.70%) өмчлөх, 778 нэгж талбар (26.27%) эзэмших, 1 нэгж талбар (0.03%) ашиглах эрхтэйгээр тус тус газар эзэмшиж байна.

Болзошгүй үерийн таамаглал ба бодит үерийн тархалтын харьцуулалт:

Болзошгүй үерийн таамаглалын зураглал болон Дарь-Эх орчимд 2023 оны бодит үерийн үед өртсөн нэгж талбаруудыг давхардуулан харуулсан бөгөөд тухайн үерт өртсөн нийт 764 нэгж талбараас 758 нэгж талбар буюу 99.2% нь эрсдэлтэй бүсэд байршиж байна. Үүний 570 нэгж талбар (75.2%) нь их эрсдэлтэй, 194 нэгж талбар (24.8%) нь маш их эрсдэлтэй бүсэд хамаарч байгаа нь болзошгүй үерийн таамаглалын ангилал бодит нөхцөлтэй өндөр нийцэлтэй болохыг харуулж байна (Зураг 7).



Зураг 7. Үерийн эрсдэлтэй бүсийн орон зайн ангилал ба 2023 оны үерийн тархалт

Үерийн их болон маш их эрсдэлтэй бүсүүд (шар, улаан) нь судалгааны талбайн баруун болон баруун өмнөд хэсэгт төвлөрсөн байна. 2023 оны үерт өртсөн нэгж талбарууд (цэнхэр) нь эдгээр таамаглал зураглалын өндөр эрсдэлтэй бүсүүдтэй ихэнхдээ давхцаж байрлаж байна. Ялангуяа голын дагуух болон нам дор бүсүүдэд үерт өртөлт илүү их байна. Болзошгүй үерийн аюултай бүсэд суурьшлын бүс их байгаа ба инженерийн дэд бүтэц сул байна. Хот төлөвлөлтийн хувьд өндөр магадлалтай бүсэд барилгажилтыг хязгаарлах мөн ус зайлуулах системийг сайжруулах шаардлагатайг тодорхой харуулж байна.

Болзошгүй үерийн зураглалын эрсдэлтэй бүстэй давхцаагүй болон давхацсан, 2023 оны үерт өртсөн нэгж талбаруудын үерт автаж болзошгүй байдалд нөлөөлөх хүчин зүйлсийг харьцуулан үзвэл өндөржилт, голоос алслагдах зай, налуу, хөрс, ус хурах сүлжээний нягтшил зэрэг таван хүчин зүйлийн ялгаатай байдал ажиглагдаж байна (Хүснэгт 8).

Хүснэгт 8. Үерт өртөх эрсдэлтэй нэгж талбар болон талбайн хэмжээ

№	Үр дүн	Талбайн хэмжээ (га)	Нэгж талбар (тоо)
1	Нийт судалгааны талбай	1435.4	4733
2	Нийт үерийн эрсдэлтэй газар	515.2	2962
3	Үерт өртсөн газар	62.5	764
4	Үерт маш их өртөх эрсдэлтэй газар	54.1	697

Энэхүү давхцал нь ГМС-д суурилсан ОШҮ болон АША-аар жинлэсэн загварын нарийвчлал, найдвартай байдлыг баталж байна. Өөрөөр хэлбэл, болзошгүй үерийн таамаглалын зураглал нь бодит үерийн тархалтыг амжилттай урьдчилан тодорхойлж чадсан байна. Мөн бага болон маш бага эрсдэлтэй бүсүүдэд үерт өртсөн тохиолдол бараг ажиглагдахгүй байгаа нь загварын ялган ангилах чадвар өндөр байгааг илтгэнэ.

Нөгөө талаас, үерт өртсөн болон өртөөгүй нэгж талбаруудын харьцуулалтаас өндөржилт, голоос алслагдах зай, налуу, хөрс, ус хурах сүлжээний нягтшил зэрэг хүчин зүйлсийн ялгаа тодорхой ажиглагдаж байгаа нь үерийн эрсдэл нь олон хүчин зүйлийн нийлмэл нөлөөллөөр тодорхойлогддог болохыг нотолж байна. Ялангуяа нам дор, голын ойролцоо, ус хурах сүлжээний нягтшил өндөр бүсүүдэд үерийн эрсдэл илүү өндөр байна.

Болзошгүй үерийн таамаглалын зураглал болон бодит үерт автсан нэгж талбаруудын тархалтын хооронд 99.2%-ийн давхцалтай байгаа нь боловсруулсан загварын өндөр үнэн зөвийг баталж байгаа бөгөөд энэхүү аргачлал нь хот төлөвлөлт, газар ашиглалтын бодлого боловсруулах, үерийн эрсдэлийг бууруулах төлөвлөлтийн шийдвэр гаргалтад өндөр ач холбогдолтой болохыг харуулж байна.

Хэлэлцүүлэг

Энэхүү судалгааны үр дүн нь Дарь-Эх орчмын үерийн эрсдэл нь байгалийн болон антропоген хүчин зүйлсийн нийлмэл нөлөөллөөр тодорхойлогдож байгааг тодорхой харуулж байна. Олон шалгуурт үнэлгээ болон аналитик шаталсан аргад суурилсан үерийн эрсдэлийн зураглалын үр дүнгээр судалгааны талбайн 35.9% нь өндөр (их болон маш их) эрсдэлтэй бүсэд хамаарч байгаа нь тухайн бүс нутаг үерийн аюулд өртөмтгий болохыг илтгэнэ.

Түүнчлэн бодит үерийн тархалтын мэдээлэлтэй хийсэн харьцуулалтын үр дүнд үерт өртсөн 764 нэгж талбараас 99.2% нь эрсдэлтэй бүсэд давхцаж байгаа нь боловсруулсан загварын өндөр нарийвчлал, найдвартай байдлыг баталж байна. Энэ нь ГМС-д суурилсан ОШҮ-ний арга нь үерийн эрсдэлийг урьдчилан тодорхойлох үр дүнтэй хэрэгсэл болохыг нотолж, өмнөх судалгааны үр дүнтэй нийцэж байна (Kourgialas, Karatzas, 2011; Tehrani et al., 2014).

Үерийн эрсдэлд нөлөөлөх хүчин зүйлсийн жингийн хувьд хур тунадас (27%) болон голоос алслагдах зай (23%) хамгийн өндөр нөлөөтэй гарсан нь гидрологийн онолын үндэслэлтэй нийцэж байна. Ялангуяа уулын бэл, жалга, хөндий бүхий Дарь-Эх орчимд сав газрын дээд хэсэгт үүссэн хур тунадас доод хэсэгт төвлөрч, аадар үер үүсэх нөхцөлийг бүрдүүлдэг нь өмнөх судалгаануудтай (Батням нар., 2022; Narangerel & Suzuki, 2024; Narangerel et al., 2024) нийцэж байна. Иймээс үерийн эрсдэлийг зөвхөн локал хур тунадасны хэмжээгээр тайлбарлах боломжгүй бөгөөд ус хагалбарын бүтэц, урсцын чиглэл, ус хурах сүлжээний нягтшил зэрэг хүчин зүйлсийг хамтад нь авч үзэх шаардлагатай байна.

Орон зайн тархалтын хувьд үерийн өндөр эрсдэлтэй бүсүүд судалгааны талбайн баруун болон баруун өмнөд хэсэгт төвлөрч, голын дагуу болон нам дор бүсүүдэд байрлаж байгаа нь гадаргын хэлбэршил, налуугийн нөлөөг илтгэнэ. Судалгааны талбайн 79.2% нь 0–13.1°-ын бага налуутай байгаагаас ус саатах, хуримтлагдах нөхцөл бүрдэж, үерийн эрсдэл нэмэгдэж байгааг харуулж байна.

Нөгөө талаас, үерийн эрсдэл өндөр бүсүүдэд суурьшлын бүс нягт байрласан нь антропоген нөлөөлөл үерийн эрсдэлийг нэмэгдүүлж байгааг харуулж байна. Хотын тэлэлт, төлөвлөлтгүй газар ашиглалт, ус зайлуулах дэд бүтцийн хангалтгүй байдал нь байгалийн усны урсгалын горимыг алдагдуулж, үерийн хохирлыг нэмэгдүүлэх гол хүчин зүйл болж байна. Энэ нь Улаанбаатар хотын үерийн эмзэг байдлыг тодорхойлсон өмнөх судалгаануудтай нийцэж байна (Батням нар., 2022; НЗДТГ, 2023).

Гэсэн хэдий ч энэхүү судалгаанд зарим хязгаарлалт ажиглагдаж байна. Тухайлбал, хур тунадасны өгөгдлийг дундаж утгаар авч үзсэн нь богино хугацааны өндөр эрчимжил бүхий аадар борооны нөлөөг бүрэн тусгаж чадаагүй байж болзошгүй. Мөн ус зайлуулах инженерийн шугам сүлжээ, далан хамгаалалтын бодит хүчин чадлыг загварт нарийвчлан тусгаагүй нь үр дүнд тодорхой хэмжээгээр нөлөөлөх боломжтой. Иймээс цаашдын судалгаанд цаг хугацааны динамик өгөгдөл, гидродинамик загварчлал, мөн өндөр нарийвчлалтай хотын дэд бүтцийн мэдээллийг нэгтгэн ашиглах шаардлагатай байна.

Энэхүү судалгаагаар ГМС-д суурилсан олон шалгуурт үнэлгээний аргыг ашиглан үерийн эрсдэлийг үнэлэх боломжийг баталлаа. Боловсруулсан болзошгүй үерийн зураглалыг 2023 оны бодит үерийн мэдээллээр баталгаажуулж, үнэлгээний найдвартай байдлыг нотолсон. Мөн газрын нэгж талбарын эрсдэлийн өртөлтийг тодорхойлсон зураглал боловсруулсан нь хот төлөвлөлт, газар ашиглалтын бодлого, үерийн эрсдэлийг бууруулах стратеги боловсруулахад шинжлэх ухааны үндэслэл болох ач холбогдолтой. Аргачлалыг хотын захын гэр хорооллын нөхцөлд туршин хэрэглэснээр ижил төстэй бүсүүдэд ашиглах боломжтойг харууллаа. Цаашид эрсдэл өндөртэй бүсэд барилгажилтыг хязгаарлах, усны урсгалын сүлжээг хамгаалах, ус зайлуулах дэд бүтцийг сайжруулах шаардлагатай.

Дүгнэлт

ГМС-д суурилсан олон шалгуурт үнэлгээ болон аналитик шаталсан аргыг хослуулан Дарь-Эх орчмын үерийн эрсдэлийг үнэлж, бодит үерийн тархалтын мэдээлэлтэй харьцуулан дүн шинжилгээ хийлээ. Үр дүнгээс харахад судалгааны талбайн 35.9% нь өндөр (их болон маш их) эрсдэлтэй бүсэд хамаарч, нийт нэгж талбарын 62.6% буюу 2962 нэгж талбар нь үерийн эрсдэлтэй бүсэд байрлаж байгаа нь тухайн бүс нутаг үерийн аюулд өндөр өртөмтгий болохыг илтгэж байна.

Мөн 2023 оны бодит үерийн үед өртсөн нэгж талбаруудын 99.2% нь боловсруулсан эрсдэлийн зураглалын эрсдэлтэй бүстэй давхцаж байгаа нь ашигласан аргачлал нарийвчлал сайтай байгаа нь судалгааны үр дүнгээс харагдаж байна. Түүнчлэн газарзүйн мэдээллийн системд суурилсан орон зайн олон шалгуурт шинжилгээгээр үерийн эрсдэлийг урьдчилан тодорхойлж практикт ашиглах бүрэн боломжтой юм.

Үерийн өндөр эрсдэлтэй бүсүүдэд газар ашиглалтын нягтшил их байгаа нь цаашид хот төлөвлөлтийн бодлогод үерийн эрсдэлийн үнэлгээг системтэйгээр тусгах, өндөр эрсдэлтэй бүсэд барилгажилтыг хязгаарлах, ус зайлуулах дэд бүтцийг сайжруулах, байгалийн усны урсгалын сүлжээг хамгаалах зэрэг цогц арга хэмжээг хэрэгжүүлэх шаардлагатай байна.

Талархал

Энэхүү судалгааг хийж гүйцэтгэхэд дэмжлэг үзүүлсэн МУИС-ийн ШУС-ийн “Газар төлөвлөлт, зураглал”-ын лаборатори болон Нийслэлийн бодлогын судалгаа шинжилгээний төвийн хамт олонд талархал илэрхийлье. Мөн судалгааны ажлыг хянан магадалгаа хийсэн судлаач нарт талархал илэрхийлье.

Номзүй

1. Батням, Ц., Пүрэвсүрэн, М., Энх-Амгалан, С. (2022). *Улаанбаатар хотын үерийн эрсдэлийн үнэлгээ*. ШУА-ийн Газарзүй, геоэкологийн хүрээлэн.
2. Батсүрэн, Д., Алтанболд, Э., Сандэлгэр, Д., Дорлигжав, Д., Болдбаяр, Р., & Одхүү, Н. (2020). Нутаг дэвсгэрийн нэгжийн хил ба газарзүйн элемент хоорондын уялдаа. *Geographical Issues*, 20(1), 4-17.
3. Даваажаргал, Б. (2012). *Усны үерийн аюулын үнэлгээний асуудлууд* (Магистрын зэрэг горилсон судалгааны ажил). Улаанбаатар.
4. Нийслэлийн Засаг даргын Тамгын газар. (НЗДТГ) (2023). <https://zdtg.ulaanbaatar.mn/>
5. Оюунхүү, Г. (2024). *Хур борооны үерийн их урсцыг Сэлбэ голын сав газарт тооцох нь* (Магистрын зэрэг горилсон судалгааны ажил). Улаанбаатар.
6. Пэрлиймаа, Г. (2020). Газарзүйн мэдээллийн систем болон олон шалгуурт шинжилгээ ашиглан үерийн эрсдэлийг зураглах нь: Улаанбаатар хотын жишээн дээр. *Хүрэлтогоот эрдэм шинжилгээний бага хурал*.
7. Пүрэвдулам, Ё. (2022). *Газарзүйн мэдээллийн систем болон өндрийн тоон загвар ашиглан үерийн эрсдэлийг загварчлах нь* (Бакалаврын зэрэг горилсон судалгааны ажил). Улаанбаатар.
8. Тамжид, В. (2023). *Газарзүйн мэдээллийн систем болон НЕС-RAS програм ашиглан үерийн эрсдэлийг үнэлэх нь* (Бакалаврын зэрэг горилсон судалгааны ажил). Улаанбаатар.
9. Ундрах, Б. (2011). *Зайнаас тандан судлал ба газарзүйн мэдээллийн систем ашиглан Сэлбэ голын сав газрын үерийн эрсдэлийг зураглах нь* (Магистрын зэрэг горилсон судалгааны ажил). Улаанбаатар.
10. Үндэсний цаг уур, орчны шинжилгээний газар. (2024). Буюнт-Ухаа цаг уурын өртөө. <https://amc.namem.gov.mn/>
11. Center for Hydrometeorology and Remote Sensing (CHRS). (2024). <https://chrsdata.eng.uci.edu/>
12. Copernicus Data Space Ecosystem. (2024). Sentinel-2 data collection. <https://dataspace.copernicus.eu/explore-data/data-collections/sentinel-data/sentinel-2>
13. Enkhbold, A., Khukhuudei, U., & Doljin, D. (2024). New geomorphological districts of lakes in Mongolia. *Mongolian Journal of Geography and Geoecology*, 61(45), 1-18. <https://doi.org/10.5564/mjgg.v61i45.3235>
14. Esri. (2021). <https://www.esri.com/>
15. Kourgialas, N. N., & Karatzas, G. P. (2011). Flood management and a GIS modelling method to assess flood-hazard areas: A case study. *Hydrological Sciences Journal*, 56(2), 212–225.
16. Ma, Z., Enkhbold, A., Mu, Q., & Gonchigjav, Y. (2026). Engineering geomorphological study to assess the potential for artificial lake construction in the agricultural areas of the Selenge River Basin, northern Mongolia: Сэлэнгэ мөрний сав газрын хөдөө аж ахуйн бүс нутагт хиймэл нуур байгуулах боломжийг тодорхойлох инженер геоморфологийн судалгаа. *Geographical Issues*, 26(01), 53-80. <https://doi.org/10.22353/gi.2026.26.04>
17. Malczewski, J. (1999). *GIS and multicriteria decision analysis*. John Wiley & sons.
18. Malczewski, J. (2004). GIS-based land-use suitability analysis: a critical overview. *Progress in planning*, 62(1), 3-65. <https://doi.org/10.1016/j.progress.2003.09.002>
19. Narangerel, S., & Suzuki, Y. (2024). Historic flood events and current flood hazard in Ulaanbaatar City, Central Mongolia. *Journal of Disaster Research*, 19(4), 691–701. <https://doi.org/10.20965/jdr.2024.p0691>
20. Narangerel, S., Suzuki, Y., Taniguchi, K., Hasegawa, T., Enkhtaivan, D., Narmandakh, B., & Batnyam, T. (2024). Floods and related problems after the 1980s in Khovd, Western Mongolia. *Natural Hazards*, 121, 23627–23646. <https://doi.org/10.1007/s11069-024-07033-x>

21. Nguyen, P., Shearer, E. J., Tran, H., Ombadi, M., Hayatbini, N., Palacios, T., Huynh, P., Braithwaite, D., Updegraff, G., Hsu, K., Kuligowski, B., Logan, W. S., & Sorooshian, S. (2019). The CHRS Data Portal: An easily accessible public repository for PERSIANN global satellite precipitation data. *Scientific Data*, 6, 180296. <https://doi.org/10.1038/sdata.2018.296>
22. Nyam-Osor, N., Dorilgjav, S., Magsar, A., Sumiya, E., Bumtsend, T., Shaariibuu, G., ... & Matsumoto, T. (2024). Estimation of Greenhouse Gas Emissions from Wastewater Treatment in Ulaanbaatar and a Potential Approach for Emission Reductions. In *EcoDesign for Sustainable Products, Services and Social Systems II* (pp. 127-141). Singapore: Springer Nature Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-99-3897-1_9
23. Tehrany, M. S., Pradhan, B., & Jebur, M. N. (2014). Flood susceptibility mapping using a novel ensemble weights-of-evidence and support vector machine models in GIS. *Journal of Hydrology*, 512, 332–343. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.03.008>
24. Saaty, T. L. (1982). The analytic hierarchy process: A new approach to deal with fuzziness in architecture. *Architectural Science Review*, 25(3), 64-69. <https://doi.org/10.1080/00038628.1982.9696499>
25. U.S. Geological Survey. (2018). USGS EROS archive: ALOS PALSAR radar processing system. <https://www.usgs.gov/centers/eros/>
26. United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR). (2015). *Sendai framework for disaster risk reduction 2015–2030*. United Nations.
27. Varra, G., Della Morte, R., Tartaglia, M., Fiduccia, A., Zammuto, A., Agostino, I., Booth, C. A., Quinn, N., Lamond, J. E., & Cozzolino, L. (2024). Flood susceptibility assessment for improving the resilience capacity of railway infrastructure networks. *Water*, 16(18), 2592. <https://doi.org/10.3390/w16182592>