



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

Geographical Issues

Газарзүйн Асуудлууд

Volume 26 (01)

ISSN: 2312-8534

2026

Ulaanbaatar

Engineering geomorphological study to assess the potential for artificial lake construction in the agricultural areas of the Selenge River Basin, northern Mongolia

Ma Zhenjiang^{1*}, Altanbold Enkhbold¹, Mu Qier¹, Yumchmaa Gonchigjav¹

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

*Corresponding author: 24m1num0376@stud.num.edu.mn

Received: 2025.06.15

Revised: 2025.09.23

Accepted: 2025.09.24

Abstract

Under the intensifying impacts of global climate change and the increasing frequency of droughts and harsh winters, the agricultural regions of the Selenge River Basin in Mongolia are facing persistent water scarcity. This study aims to identify and evaluate geomorphologically suitable sites for artificial lake construction in order to strengthen water supply, ensure environmental balance, and meet domestic water needs within the framework of Mongolia's national initiative "333 Lakes, One District–One Lake." A suitability assessment was conducted through spatial analysis based on a 30 m resolution Digital Elevation Model (DEM), employing the Analytical Hierarchy Process (AHP) method. From an engineering geomorphological perspective, the evaluation considered not only topography, hydrology, precipitation, and soil conditions but also additional land-use factors. The results reveal that 10.12% of the study area is classified as highly suitable, 69.45% as suitable, and 13.34% as moderately suitable, while the remaining 7.09% is either unsuitable or restricted by land-use constraints. Based on the comprehensive assessment, nine representative potential sites for artificial lakes were selected. For each site, potential irrigable areas, domestic water supply capacity, and livestock watering availability were estimated, and a general economic evaluation of potential water sources and dam construction costs was conducted. This study emphasizes that incorporating engineering geomorphological analysis and Geographic Information System (GIS)-based approaches provides essential scientific support for site selection of artificial lakes, thereby contributing to sustainable agricultural and pastoral development in the Selenge River Basin.

Keywords: Artificial lakes construction, Engineering geomorphology, Water resource management, Selenge River Basin, GIS-based suitability analysis

Сэлэнгэ мөрний сав газрын хөдөө аж ахуйн бүс нутагт хиймэл нуур байгуулах боломжийг тодорхойлох инженер геоморфологийн судалгаа

©Мөрөн¹ Энхболд Алтанболд¹, Мөчир¹, Гончигжав Юмчмаа¹

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

*Харилцагч зохиогч: 24m1num0376@stud.num.edu.mn

Хүлээн авсан: 2025.06.15

Засварласан: 2025.09.23

Зөвшөөрөгдсөн: 2025.09.24

Хураангуй

Дэлхийн уур амьсгалын өөрчлөлт эрчимжиж, ган зудын давтамж нэмэгдэж буй өнөөгийн нөхцөлд Монгол орны Сэлэнгэ мөрний сав газрын хөдөө аж ахуйн бүс нутагт усны нөөцийн хомсдол тулгарсаар байна. Энэхүү судалгаа нь Монгол Улсаас хэрэгжүүлж буй “333 нуур, нэг сум, нэг нуур” хөтөлбөрийн дагуу усан хангамжийг бэхжүүлэх, байгаль орчны тэнцвэртэй байдал, ахуйн хэрэглээний усны хэрэгцээг хангах зорилгоор хиймэл нуур байгуулахад инженер геоморфологийн хувьд тохиромжтой газрыг тодорхойлж, үнэлгээ өгөх зорилготой юм. Энэхүү судалгаанд 30 м нарийвчлалтай Дижитал Өндөрлөгийн Загвар (DEM)-д тулгуурласан орон зайн шинжилгээг Шатлан Эрэмбэлэх Аналитик (АНР) аргыг ашиглан тохиромжтой байдлын үнэлгээ хийсэн. Инженер геоморфологийн үүднээс хиймэл нуур байгуулах тохиромжтой байдлыг газрын гадарга, ус зүй, хур тунадас, хөрсний нөхцлөөс гадна газар ашиглалтын бусад хүчин зүйлсийг харгалзан үзэж үнэлэв. Судалгааны үр дүнд нийт талбайн 10.12 % нэн тохиромжтой, 69.45 % нь тохиромжтой, 13.34 % нь дунд зэрэг тохиромжтой гэж тодорхойлогдсон ба үлдсэн 7.09 % нь тохиромжгүй эсвэл газар ашиглалтыг хязгаарлах бүсэд хамаарагдаж байв. Иж бүрэн үнэлгээний үндсэн дээр төлөөлөл болох 9 хиймэл нуур байгуулах боломжит бүсийг сонгон тодорхойлсон. Эдгээр нуур тус бүрийн боломжит усалгааны талбай, хүн амын усны хангамж, малын ундны усны хэмжээг тооцоолсон бөгөөд нуурын усан хангамжийн эх үүсвэрийн болон далан барих зардлын эдийн засгийн ерөнхий шинжилгээг хийв. Энэхүү судалгаа нь хиймэл нуурын байриил сонголт болон сав газрын хөдөө аж ахуй, мал аж ахуйн тогтвортой хөгжлийг хангахад шинжлэх ухааны үндэслэлтэй шийдвэр гаргахад инженер геоморфологийн болон Газарзүйн Мэдээллийн Системд үндэслэсэн оновчтой шийдлийг харгалзан шаардлагатай болохыг онцолж байна.

Түлхүүр үгс: Хиймэл нууруудын байриил, Инженер геоморфологи, Усны нөөцийн менежмент, Сэлэнгэ мөрний сав газар, GIS-д суурилсан тохиромжтой байдлын үнэлгээ

©Зохиогчийн оруулсан хувь нэмэр: **Ma Zhenjiang**, Э.Алтанболд: Онолын үндэслэл, үндсэн бичвэр, өгүүллийн эх бэлтгэл, Аргазүй боловсруулалт, зураглал боловсруулалт, үр дүнгийн хяналт; **Mu Qier**, **Г.Юмчмаа**: Мэдээлэл цуглуулалт, үр дүнгийн хяналт.

Оршил

Дэлхийн уур амьсгалын өөрчлөлт, хүн амын хурдацтай өсөлтийг дагаад усны нөөцийн хомсдол, байгаль орчны доройтол нь XXI зууны хүн төрөлхтний тогтвортой хөгжлийн тулгамдсан асуудлуудын нэг болоод байна (Lehner et al., 2022; Atar and Durmaz, 2024; Purevjav et al., 2025). Дэлхийн уур амьсгалын өөрчлөлт Монгол оронд тод илэрч, байгалийн тэнцвэр алдагдах, цөлжилт эрчимжих, усны нөөц хомсдох, газрын ургамлын бүрхэвч буурах, хөрсний бүтэц алдагдах, элэгдэх, хүчтэй салхины давтамж нэмэгдэх, ган, зуд тохиолдох тоо олшрох, гэнэтийн үерийн давтамж нэмэгдэх зэрэг үзэгдлүүд илэрсээр байна (Мягмарцэрэн нар, 2018; Amgalan et al., 2020; Nandintsetseg et al., 2021; Han et al., 2021; Dorjsuren et al., 2021; Borkhuu et al., 2023; Purevjav et al., 2025). Эдгээр нь газар нутгийн доройтол болон газрын ашиглалтанд ноцтой сөрөг нөлөө үзүүлдэг. Монгол орны хувьд байгалийн усан хангамж болох гол, нуурын тоо хязгаарлагдмал, тархалт нь тэнцвэргүй тул хөдөө аж ахуйн усалгаа болон хүн амын амьдралын усны хэрэгцээг хангахад асуудлууд тулгарсаар байна (Enkhbold et al., 2022a; Borkhuu et al., 2023). Сүүлийн жилүүдэд хүн ам ба малын тоо хурдтай өссөн нь Монгол орны усны ачааллыг улам нэмэгдүүлсээр байна (Purevjav et al., 2025).

Дэлхийн усны нөөцийн үнэлгээний тайланд дурдсанаар, 2050 он гэхэд дэлхийн хүн амын бараг тал нь усны хомсдолд өртөх бөгөөд ялангуяа гандуу болон хуурай бүс нутагт усны нийлүүлэлт, хэрэглээний зөрчил улам нэмэгдэнэ (UNESCO, 2023) гэж тооцоолжээ. Монгол орны хувьд нууруудын тоо, усны хэмжээ харьцангуй багатай бүс нутагт ордог (Enkhbold et al., 2024a). Мөн Монгол, БНХАУ, Казахстан улсуудад 2040 он гэхэд нийт нутаг дэвсгэрийнх нь гуравны хоёрт усны нөөц хомсдох талаар тооцоолжээ (UNESCO, 2023). Монгол орны хувьд сүүлийн 20 жилд хуурайшилт огцом нэмэгдэж ган, зудын давтагдал нэмэгдэх, усны хомсдолд орох асуудал тулгарсаар байна (Hessl et al., 2018; Nandintsetseg et al., 2021; Дуламсүрэн, 2022; Borkhuu et al., 2023; Nandintsetseg et al., 2024). Уур амьсгалын дулаарал нь хур тунадасны цаг хугацаа ба орон зайн тархалтыг жигд бус болгож, мөнх цас, мөсөн голын хайлалт нэмэгдэж дэлхийн болон төв азийн усны нөөцийн тогтворгүй байдлыг улам бүр нэмэгдүүлж байна (Lehner et al., 2022; Enkhbold et al., 2024b; Dorjsuren et al., 2024). Энэ өөрчлөлттэй уялдан дэлхийн хэмжээнд усан сан, хиймэл нуур, хөв цөөрөм байгуулах үйл ажиллагаа XXI зуунаас маш эрчимтэй хөгжиж эхэлжээ (Gupta, 2022; Li et al., 2024; Wang et al., 2024; Fardullah et al., 2025). Нуур нь байгалийн чухал нөөц бөгөөд уур амьсгалын өөрчлөлт, хүний үйл ажиллагааны нөлөөгөөр дэлхий даяар хурдацтай өөрчлөгдөж байна (Pi et al., 2022). Дэлхийн хэмжээнд одоогоор 3,4 сая нуурыг бүртгэж зурагласан байдаг ба сүүлийн 40 жилийн хугацаанд нуурын талбайн өсөлтийн 56% нь хиймэл нуур эзэлж байгааг тогтоожээ (Pi et al., 2022; Lehner et al., 2022). Харин Монгол орны хагас хуурай бүс нутагт хиймэл нуур, цөөрөм байгуулах нь чухал ач холбогдолтой боловч энэ чиглэлийн үйл ажиллагааг эхлүүлэх бодлого 2025 оноос л эрчимжиж байна (Даваа, 2018; БОУАӨЯ, 2025). Өмнө нь Монгол орны хэмжээнд хиймэл нуур, хөв цөөрөмд чиглэсэн судалгаа харьцангуй цөөн хийгдсэн байдаг (Мягмарцэрэн нар, 2018; Ochir et al., 2018; Sukhbaatar et al., 2020; Baterdene et al., 2022; Ariunsanaa et al., 2024; Enkhbold et al., 2025). Бид энэ судалгаанд Монгол Улсын хүн ам, хөдөө аж ахуй, аж үйлдвэрийн голлох нутагт хиймэл нуур байгуулах боломжит газрын тохиромжтой байршлыг тодруулсан судалгаа хийгдээгүй байгаа тул энэ асуудлыг хөндсөн.

Хиймэл нуур нь хөдөө аж ахуйн усалгааг хангах, байгаль орчны зохицуулалт хийх, усны нөөцийг хуримтлуулах, үерийн эрсдэлийг бууруулах зэрэг олон талын үүргийг нэгтгэсэн чухал усны барилга байгууламж юм (Pi et al., 2022). Хөдөө аж ахуйн үйлдвэрлэл нь цэнгэг усны хамгийн том хэрэглэгч (Lehner et al., 2022) бөгөөд дэлхийн нийт ус ашиглалтад 70 гаруй хувийг эзэлдэг (UNESCO, 2023; Xu et al., 2024). Дэлхийн хэмжээнд усан сан ба хиймэл нуур нь хөдөө аж ахуй, хүн амын унд ахуйн усан хангамжид эерэг нөлөөтэй (Lehner et al., 2022) байдаг тул энэ чиглэлийн судалгаа нэлээд хийгдсэн байдаг (Wang et al., 2024; Fardullah et al., 2025). Монгол орны хагас хуурай бүс нутгийн онцлогт тохирсон Газарзүйн Мэдээллийн Систем (ГМС)-д суурилсан

инженерийн геоморфологийн судалгаанд түшиглэж энэ чиглэлийн судалгааг хөгжүүлэх шаардлагатай бөгөөд ингэснээр хиймэл нуур, усан сангийн байгуулах боломжит газрын байршлыг оновчтой тогтоох боломжтой юм.

Инженер геоморфологи нь хүний инженерийн үйл ажиллагаа болон газрын гадаргын харилцан үйлчлэлийг судалдаг салбар юм. XX зууны дунд үеэс Европ, Америкийн орнууд инженерийн геоморфологийн аргазүйд түшиглэн усан сан, хиймэл нуурын байршил сонголт, газрын тохиромжтой байдлын үнэлгээг хийж хэрэгжүүлсэн байдаг (Evans et al., 2010; Lo Curzio et al., 2013; Kashiwaya et al., 2024).

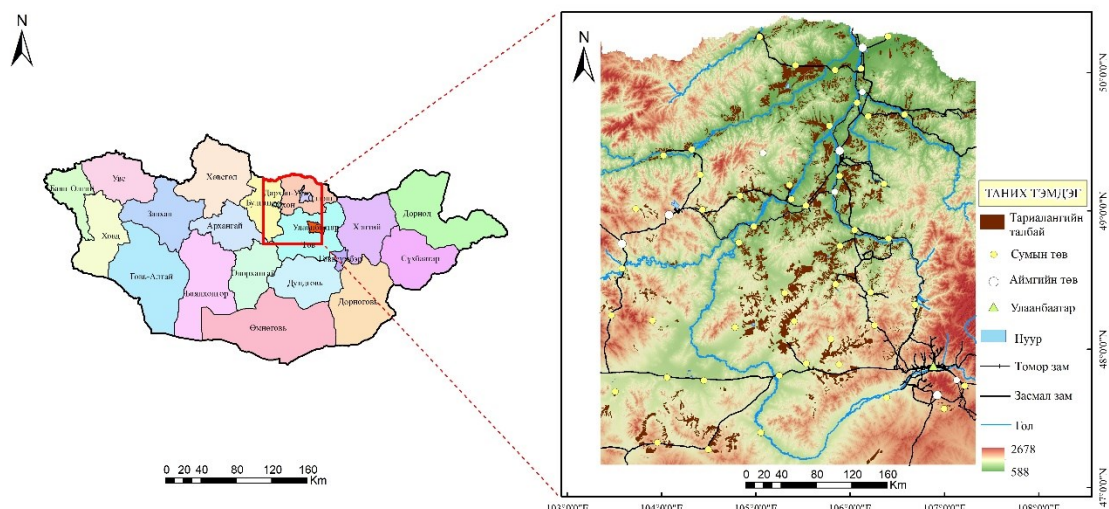
Төв Азийн Монгол орны хуурай, хагас хуурай уур амьсгалын нөхцөлд хиймэл нуурууд байгуулах, усны нөөцийн зохицуулалтыг зохистой хийх, хиймэл нуур байгуулах газрын тохиромжтой байдлын үнэлгээг инженерийн геоморфологийн судалгааны үүднээс хийх чухал шаардлагатай бөгөөд хөдөө аж ахуй, хэрэглээний усан хангамжид эерэг нөлөө үзүүлж бүс нутгийн тогтвортой хөгжилд шууд нөлөөлөх боломжтой юм.

Сэлэнгэ мөрний сав газар нь Монгол орны усзүй, хөдөө аж ахуйн гол бүс нутаг бөгөөд усны нөөцийн дутагдалтай тулгарч түүнээс үүдэж ган, зуд газрын доройтолд өртсөөр байна (Dorjsuren et al., 2018ab; Dorjsuren et al., 2021; Xu et al., 2023; Bavuu et al., 2024). Иймээс Сэлэнгэ мөрний сав газрын хэмжээнд хиймэл нуур байгуулах байршлын тохиромжтой байдлын судалгаа нь бүс нутгийн усны хомсдлыг бууруулах, хөдөө аж ахуйн ургацын хүчин чадлыг нэмэгдүүлэх, байгаль орчны сэргэлтийг дэмжихэд чухал ач холбогдолтой юм.

Энэхүү судалгаа нь Монгол Улсын “333 нуур-Нэг сум-Нэг нуур” үндэсний санаачилгын хүрээнд усан хангамжийг бэхжүүлэх, байгаль орчны тэнцвэрт байдлыг хангах, ахуйн хэрэглээний усны хэрэгцээг хангах зорилгоор хиймэл нуур байгуулахад инженер геоморфологийн хувьд тохиромжтой газрын байршлыг Сэлэнгэ мөрний сав газарт тодорхойлж, үнэлгээ хийх зорилготой.

Судалгааны талбай

Сэлэнгэ мөрний сав нутаг нь Монгол Улсын газар тариалангийн гол бүс нутгийн нэг бөгөөд энэ бүс нутагт газар тариалангийн үйлдвэрлэл өндөр хөгжсөн, үржил шимтэй хөрс, тохиромжтой уур амьсгалтай, тээвэр, дэд бүтэц сайн хөгжсөн зэрэг онцлогтой (Berezhnykh et al., 2012; Dorjsuren et al., 2018ab). Энэхүү судалгааны бүс нь Монгол улсын хойд хэсгийн Сэлэнгэ мөрний сав газарт байрладаг бөгөөд уртраг нь $103^{\circ}23' \sim 107^{\circ}50'$ зүүн уртраг, өргөрөг нь $47^{\circ}20' \sim 50^{\circ}50'$ хойд өргөргийн хооронд оршдог (Dorjsuren et al., 2018a). Судалгааны талбайн урт нь хойноос өмнөд тийш 361.9 км, баруунаас зүүн тийшд 303 км бөгөөд нийт 103052.17 км² талбайг сонгож авсан (Зураг 1). Энд 5 аймаг (Орхон, Булган, Төв, Сэлэнгэ, Дархан-Уул)-ийн нутаг дэвсгэр хамаарагдана. Судалгааны талбай нь д.т.д 588 - 2678 м хүртэл өндөршил бүхий гадаргатай дунд, нам уулс, толгод, хөндий, талархаг гадарга бүхий геоморфологийн хэлбэр зонхилно. Уур амьсгалын хувьд дундад өргөргийн эх газрын хэв шинжтэй хур тунадас дулааны улиралд 70% нь ордог (Dorjsuren et al., 2018b). Жилийн нийлбэр хур тунадас 200–500 мм, ууршилт 250 мм-ээс дээш, агаарын дундаж хэм 1.5–4.0 °C байдаг (Dorjsuren et al., 2018a; Xu et al., 2023; Bavuu et al., 2024). Судалгааны талбайд Монгол улсын томоохон Улаанбаатар, Дархан, Эрдэнэт зэрэг хотууд орших бөгөөд Монгол улсын хүн амын 60 гаруй хувь нь оршин суудаг (Xu et al., 2023; Bavuu et al., 2024). Сэлэнгэ мөрний сав нутаг нь Сэлэнгэ аймгийн нутаг дэвсгэрийг хамардаг бөгөөд энэ бүс нутаг нь Монгол Улсын нийт тариалсан талбайн 90 орчим хувийг эзэлдэг (Dorjsuren et al., 2022). Сэлэнгэ аймгийн ургацын гол бүс нутгийг холбож буй Дархан-Сэлэнгэ авто зам нь Европ, Азийг холбосон чухал замын хэсэгт тооцогдож байна (Li et al., 2023). Энэхүү зам нь тариаланчдын бүтээгдэхүүнийг тээвэрлэх, зах зээлд нийлүүлэхэд чухал үүрэг гүйцэтгэдэг (Ren et al., 2022).



Зураг 1. Судалгааны талбайн газарзүйн байршил

Судалгааны материал, аргазүй

Энэхүү судалгаанд Дижитал Өндөрлөгийн Загвар (DEM) болон бусад ГМС-ийн өгөгдлүүдийг ашиглав. DEM өгөгдлийг <https://dwtkns.com/srtm30m/> эх сурвалжаас авсан. Хүн ам болон мал аж ахуйн өгөгдлийг <https://www.1212.mn/> эх сурвалжаас авсан. Бүх орон зайн өгөгдлийг [WGS 1984 UTM Zone 48N](https://www.1212.mn/) координатын системд нэгтгэн хөрвүүлж ажилласан. ArcGIS 10.8.1 программ хангамжийг ашиглан DEM-д тулгуурлан судалгааны талбайн гадаргын хүчин зүйлсийг тооцоолсон. Бусад хүн ам, суурин газар, гол мөрөн, нуур, авто зам, төмөр зам, тариалангийн талбай зэргийг [wayback.maptiles.arcgis.com](https://www.1212.mn/) эх сурвалжид тулгуурлан 2025 оны III сарын сансарын зураг суурь зураг болгон ашиглав. Мөн Монгол Улсын Үндэсний Атлас (2022) зургуудыг баталгаажуулалт хийж ашигласан. Бүх гаргаж авсан зургуудын давхаргуудыг проекцийн хөрвүүлэлт, геометрийн засвар ба орон зайн засвар хийн боловсруулж, судалгааны талбайд нэгтгэж нэгдсэн стандартад нийцсэн орон зайн мэдээллийн санг бүрдүүлсэн. Энэхүү мэдээллийн сан нь цаашдын орон зайн шинжилгээ хийх, шийдвэр гаргалтанд суурь мэдээлэл болж өгсөн.

Тохиромжтой байдлын үнэлгээний хүчин зүйлсийн шинжилгээ: Сэлэнгэ мөрний сав газрын хөдөө аж ахуйн бүс нутагт хиймэл нуур байгуулах орон зайн тохиромжтой байдлыг үнэлэхийн тулд тохиромжтой байдлын үнэлгээнд тулгуурлан (Şener et al., 2011), тухайн бүс нутгийн нөхцөл байдалтай уялдуулж, гадаргын орчин, байгалийн усзүйн орчин, нийгэм-эдийн засгийн орчин гэсэн чиглэлд шалгуурын агуулгыг сонгосон. Үүнийг нарийвчлан ангилж, хиймэл нуур байгуулах тохиромжтой байдалд шууд нөлөө үзүүлдэг (Baban et al., 2003) гадаргын налуу, өндөрлөг, хөрсний төрөл, хур тунадас, ууршилт, одоогийн нууруудын байршил, тариалангийн талбай, гол мөрнөөс алслагдах зай, замаас, хүн амын суурингаас алслагдах зай зэрэг 10 нөлөөлөх хүчин зүйлийг үзүүлэлтийн түвшинд сонгон авч, шинжилгээ хийв (Хүснэгт 1).

Хүснэгт 1. Тохиромжтой байдлын үнэлгээний хүчин зүйлс (Al-Adamat et al., 2010; Awanda et al., 2017; Мягмарцэрэн нар, 2018)

Ангилал	Хүчин зүйл	Нэгж / Илэрхийлэл	Тайлбар
Гадаргын орчин	Налуу	градус	Газрын хэлбэрийн хэлбэлзлийг илэрхийлнэ. Налуу их байвал хиймэл нуур байгуулах, ус хуримтлуулах тогтвортой байдалд сөргөөр нөлөөлнө.
	Өндөрлөг	м (метр)	Температур, хур тунадас, ууршилт болон усны нөөцийн тархалттай нягт холбоотой. Өндөрлөг

			хэт өндөр эсвэл нам байх нь тохиромжтой байдалд нөлөөлдөг.
Байгалийн ус зүйн орчин	Хөрсний хэв шинж	Ус шингээх чадвараар	Ус нэвчих болон хуримтлуулах чадварт хөрсний хэв шинж нөлөөлдөг. Шаварлаг хөрс ус хуримтлуулахад илүү тохиромжтой бол элсэрхэг хөрс усыг илүү шингээдэг онцлогтой.
	Жилийн нийт хур тунадас	мм	Бүс нутгийн усны хуримтлуулах боломжийг тооцоолоход ашиглана. Хур тунадас их, ууршилт бага байх тусам хиймэл нуур байгуулахад илүү тохиромжтой.
	Жилийн нийт ууршилт	мм	
	Байгалийн нуураас алслагдах зай	км	Байгалийн нууртай орон зайн хувьд ойр байх нь тохиромжгүй. Алслагдах зай хол байх тусам тохиромжтой.
	Гол, мөрнөөс алслагдах зай	км	Голоос алслагдах зай хол байх тусам тохиромжтой.
Нийгэм-эдийн засгийн орчин	Тариалангийн талбайгаас алслагдах зай	км	Хөдөө аж ахуйн усалгаанд зай ойр байх тусам тохиромжтой. Зай хол байх тусам ус зөөвөрлөх зардал нэмэгдэнэ.
	Замаас алслагдах зай	км	Барилгын материал тээвэрлэх, инженерийн ажил гүйцэтгэх боломж зайнаас хамаарна.
	Хот суурин газраас алслагдах зай	км	Хэрэглээний усан хангамжийн хүртээмж зай хэт ойр эсвэл хэт хол байх нь тохиромжгүй.

Хүчин зүйлийн жинг тогтоох шатлан эрэмблэх аналитик (АНР) арга: Олон хүчин зүйлийн нийлмэл үнэлгээнд жингийн оновчтой тогтоолт нь үр дүнд чухал нөлөө үзүүлдэг (Saaty, 1977; Brandt, 2006). Хиймэл нуур байгуулах тохиромжтой байдлын үнэлгээнд хүчин зүйл бүрийн жинг Шатлан эрэмблэх аналитик (АНР)-ыг ашиглан үзүүлэлт бүрийн жинг тодорхойлсон (Saaty, 1977; Brandt, 2006; Ozdimer and Saaty, 2006; Мягмарцэрэн нар, 2018). Эхлээд зорилгын түвшин, шалгуур түвшин болон үзүүлэлтийн түвшний шаталсан хамаарлыг тодорхойлон шаталсан бүтэцтэй загвар байгуулж, системчилсэн үнэлгээний тогтолцоог бүрдүүлсэн. Дараа нь түвшин бүрийн хүчин зүйлсийг хооронд нь хосоор нь харьцуулж, харьцангуй ач холбогдлын дагуу үнэлгээ өгч (Энд: a_{ij} нь хүчин зүйл i -ийн хүчин зүйл j -тэй харьцуулсан ач холбогдлыг илэрхийлнэ ($i, j = 1, 2, 3, \dots, n$).

Хүснэгт 2), шүүлтийн матриц А-г байгуулсан (Saaty 1977). Үнэлгээний шалгуурт Saaty (1977)-ийн дэвшүүлсэн 1–9-ийн хуваарийн аргачлалыг ашигласан (Хүснэгт 3), тодорхой шүүлтийн матрицыг дараах тэгшитгэл (1)-д үзүүлэв. Энд:

$$A = (a_{ij})_{n \times n}, \quad a_{ij} > 0, \quad a_{ji} = \frac{1}{a_{ij}}, \quad a_{ii} = 1, \quad A = \begin{bmatrix} 1 & \dots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Энд: a_{ij} нь хүчин зүйл i -ийн хүчин зүйл j -тэй харьцуулсан ач холбогдлыг илэрхийлнэ ($i, j = 1, 2, 3, \dots, n$).

Хүснэгт 2. Хүчин зүйлсийн харьцуулсан үнэлгээ

Үнэлгээний хүчин зүйл	Налуу	Хөрсний төрөл	Өндөрлөг	Хур тунадас	Ууршилт	Хот суурин	Зам	Тариалангийн талбай	Гол	Байгалийн нуур
Налуу	1	1/5	1/3	1/7	1/5	1/3	1	1/5	1/7	1/5
Хөрсний төрөл	5	1	3	1/3	3	3	5	1/3	1/5	3
Өндөрлөг	3	1/3	1	1/5	1/3	1	3	1/5	1/7	1/3
Хур тунадас	7	3	5	1	3	5	7	3	1/3	3
Ууршилт	5	1/3	3	1/3	1	3	5	1/3	1/5	1
Хот суурин	3	1/3	1	1/5	1/3	1	3	1/5	1/7	1/3

Зам	1	1/5	1/3	1/7	1/5	1/3	1	1/5	1/9	1/5
Тариалангийн талбай	5	3	5	1/3	3	5	5	1	1/3	3
Гол	7	5	6	3	5	7	9	3	1	5
Байгалийн нуур	5	1/3	3	1/3	1	3	5	1/3	1/5	1

Хүснэгт 3. Харьцуулсан ач холбогдлын үнэлгээний шатлал

Шатлалын утга	Утга
1	Хоёр элемент ижил
3	Бага зэрэг чухал
5	Илүү чухал
7	Их чухал
9	Маш их чухал
2, 4, 6, 8	Завсрын утга, шилжилтэд ашиглана
Урвуу	Хэрэв хүчин зүйл А нь В-гээс бага бол 1 утгыг хэрэглэнэ

Шийдвэрийн матриц байгуулж түүний дараа логикийн нийцлийг хангахын тулд матрицад нийцлийг шалгах шаардлагатай. Нийцлийн шалгалтад хоёр үзүүлэлт хэрэглэх бөгөөд нийцлийн үзүүлэлт (CI) ба нийцлийн харьцаа (CR)-г хэрэглэнэ. Тооцооллын алхмуудыг тэгшитгэл (2–5)-д үзүүлэв. Хэрэв $CR < 0.1$ байвал шийдвэрийн матриц нь зөвшөөрөгдөхүйц нийцэлтэй гэж үзэж, гарсан жингийн үр дүн найдвартай байна. Харин $CR \geq 0.1$ байвал тухайн шийдвэрийн матриц хангалттай нийцэлгүй гэж үзэж матрицыг засварлан дахин тооцоолох шаардлагатай. Тодорхой алхмуудыг доор үзүүлэв. Үүнд:

$$W = [W_1, W_2, \dots, W_n]^T \quad (2)$$

Энд: W нь жингийн вектор тооцоолох, n нь хүчин зүйлсийн тоо байна. Үүнд:

$$\lambda_{max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(AW)_i}{w_i} \quad (3)$$

Энд: λ_{max} нь хамгийн их өөрийн утгыг тооцоолох, A нь шийдвэрийн матриц, AW нь матриц ба жингийн векторын үржвэрийг илэрхийлнэ. Үүнд:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (4)$$

Энд: CI нь Нийцлийн үзүүлэлт, n нь шийдвэрийн матрицийн зэрэглэл юм. Үүнд:

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (5)$$

Энд: CR нь Нийцлийн харьцаа, RI нь санамсаргүй нийцлийн үзүүлэлт юм.

Нийцлийн шалгалтын дараа, хүчин зүйл бүрийн эцсийн жинг гаргаж нийлмэл шинжилгээнд ашиглана.

Орон зайн давхарга нийлүүлэлт ба тохиромжтой байдлын загварчлал: ГМС-ийг ашиглан энэхүү судалгаанд хиймэл нуур байгуулах орон зайн тохиромжтой байдлыг үнэлэхийн тулд 10 үнэлгээний хүчин зүйлд үндэслэн нэгдмэл шинжилгээ хийж, нэгдсэн үнэлгээний загварыг бүтээж, Сэлэнгэ мөрний сав газрын хөдөө аж ахуйн бүс нутагт хиймэл нуур байгуулах тохиромжтой байдлын тархалтын зураглалыг гаргав. Гол алхмууд дараах байдалтай байна. Үүнд:

1. ArcGIS 10.8.1 ашиглан бүх үзүүлэлт хүчин зүйлийн вектор давхаргуудыг растер болгон хөрвүүлж, дахин ангилах үйлдэл хийж, өөр өөр нэгж болон төрөл бүхий хүчин зүйлсийг нормчилж, хэмжих нэгжийн ялгааг арилган, хүчин зүйл бүрийн харьцангуй боломжийг хангаж өгдөг (Rahmati et al., 2015; Magsar et al., 2021).

2. АНР аргаар тодорхойлсон хүчин зүйлийн жинг ашиглан нормчилсон давхаргуудыг жинг нэгтгэж нэгдсэн тохиромжтой байдлын индексийг тооцоолсон (Rahmati et al., 2016). Үүнд:

$$S = \sum_{i=1}^n (\omega_i \times x_i) \quad (6)$$

Энд: ω_i нь i дахь давхаргын жин ($\sum \omega_i = 1$ -ийг хангах), x_i нь i дахь давхаргын стандартчилсан утга юм.

3. Тохиромжтой байдлын индексийн орон зайн тархалтын шинж чанарт үндэслэн судалгааны талбайг 5 түвшинд хуваасан. Үүнд: нэн тохиромжтой, тохиромжтой, дунд зэрэг тохиромжтой, хязгаарлагдмал тохиромжтой, тохиромжгүй гэсэн байдлаар ангилсан. Ингэснээр эцсийн тохиромжтой байдлын тархалтын зураглалыг үүсгэж, хиймэл нуурын байршлыг оновчтой тогтоох юм.

Судалгааны үр дүн ба хэлэлцүүлэг

Хүчин зүйлийн жингийн шинжилгээ: Тохиромжтой байдлын үнэлгээнд шаталсан түвшний үзүүлэлтүүдийг нь харьцуулж, харьцангуй ач холбогдлын дагуу үнэлгээ өгч, шүүлтийн матрицыг байгуулсан. Матрицыг логик талаасаа нийцтэй эсэхийг шалгахын тулд нийцлийн шалгалт хийх шаардлагатай. Шалгалтын үр дүнд $CR < 0.1$ гарсан нь шүүлтийн матриц хангалттай нийцэлтэй байгааг илтгэнэ. Ингэснээр жингийн тооцоо хийх боломжтой бөгөөд эцэст нь үзүүлэлт хүчин зүйлсийн жин (Хүснэгт 4)-ийг гаргаж авсан.

Хүснэгт 4. Үзүүлэлтийн түвшний хүчин зүйлс

Зорилгын түвшин	Жин	Шалгуур түвшин	Жин (%)	Үзүүлэлтийн түвшин	Жин (%)
Хиймэл нуур байгуулах боломжийг тодорхойлох	1	Гадаргын хэлбэрийн орчин	30%	Налуу	20
				Өндөрлөг	10
		Байгалийн ус зүйн орчин	50%	Хөрсний хэв шинж	15
				Хур тунадас	15
				Ууршилт	5
				Байгалийн нуур	5
				Гол	10
		Нийгэм-эдийн засгийн орчин	20%	Зам	5
				Тариалангийн талбай	7
				Суурин газар	8
λmax=10.42, n=10 RI=1.49, CI=0.0467, CR=0.031					

Энэхүү АНР шүүлтийн матриц нь нийцлийн хувьд ($CR = 0.031 < 0.10$) буюу найдвартай байв. Жингийн үр дүнгээс үзэхэд гадаргын налуу (20%), хөрсний хэв шинж (15%) болон хур тунадас (15%) нь хиймэл нуур байгуулах байршлыг тодорхойлоход хамгийн чухал хүчин зүйлс байв. Дараагийн ач холбогдолтой хүчин зүйлс нь гол хүртлэх зай (10%), гадаргын өндөрлөг (10%) тус тус байна. Дээрх эрэмбийн дагуу хамгийн чухал хүчин зүйл нь газрын налуу, хур тунадас, хөрсний хэв шинж бөгөөд энэ нь ус тогтоох чадамж, инженерийн зардалд шууд нөлөөлж байв. Хөрсний ус тогтоох чадвар нь усан сангийн эзлэхүүний тогтвортой байдлыг тодорхойлоход нөлөөлнө. Үүний дараа голоос алслагдах зай болон газрын өндөрлөг байдал чухал ач холбогдолтой. Голын ойролцоо байрлах нь усан хангамжийг нэмэгдүүлж, усны тэжээлийн үндсэн эх үүсвэр учраас инженерийн шийдэл болон усны нөөцөд нөлөөлнө.

Бусад нөлөөлөх хүчин зүйлсэд хүн амын суурьшлын байдал, тариалангийн талбай, ууршилтын хэмжээ, ойролцоох нуур болон замын байршил зэрэг орно. Эдгээр нь хиймэл нуур байгуулахад хүртээмж болон хязгаарлалтыг тодорхойлох чухал үзүүлэлт болдог. Хүн амын суурьшлын бүсийн ойролцоо нуур байгуулах нь ус ашиглалтын үр ашгийг нэмэгдүүлэх боломжтой боловч байршлын эрсдэл, аюулгүй байдлыг зайлшгүй тооцох шаардлагатай. Тариалангийн зориулалтаар ашиглагдаж буй талбайд хиймэл нуур байгуулахаас зайлсхийх бөгөөд харин түүний орчимд байрлуулах нь илүү зохистой гэж үзэж болно. Мөн хур тунадас багатай, ууршилт ихтэй уур амьсгалын нөхцөл нь хуримтлагдах усны хэмжээг бууруулдаг. Замын байршил

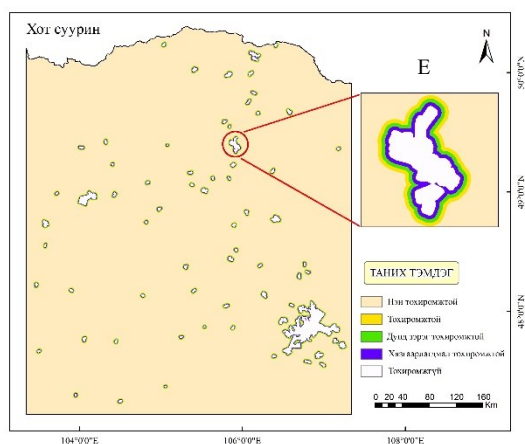
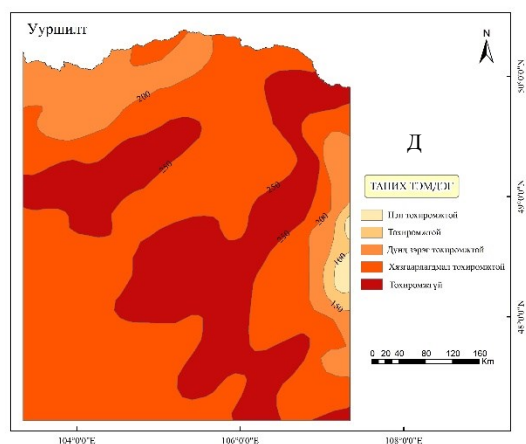
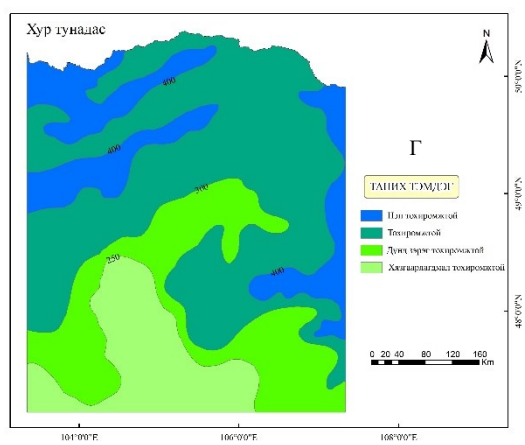
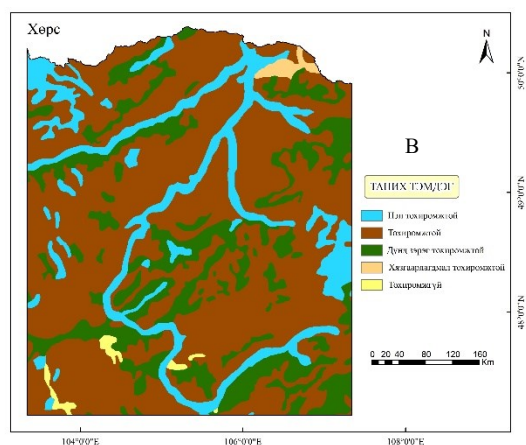
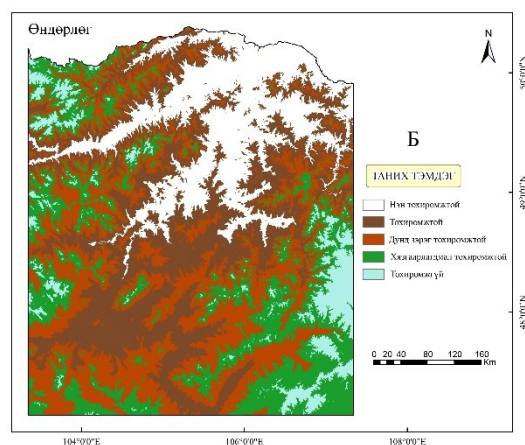
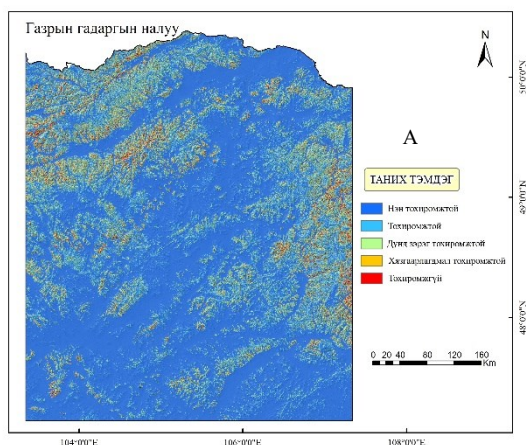
нь хиймэл нуурын ашиглалт, засвар үйлчилгээний хүртээмжид шууд нөлөө үзүүлэх боломжтой юм.

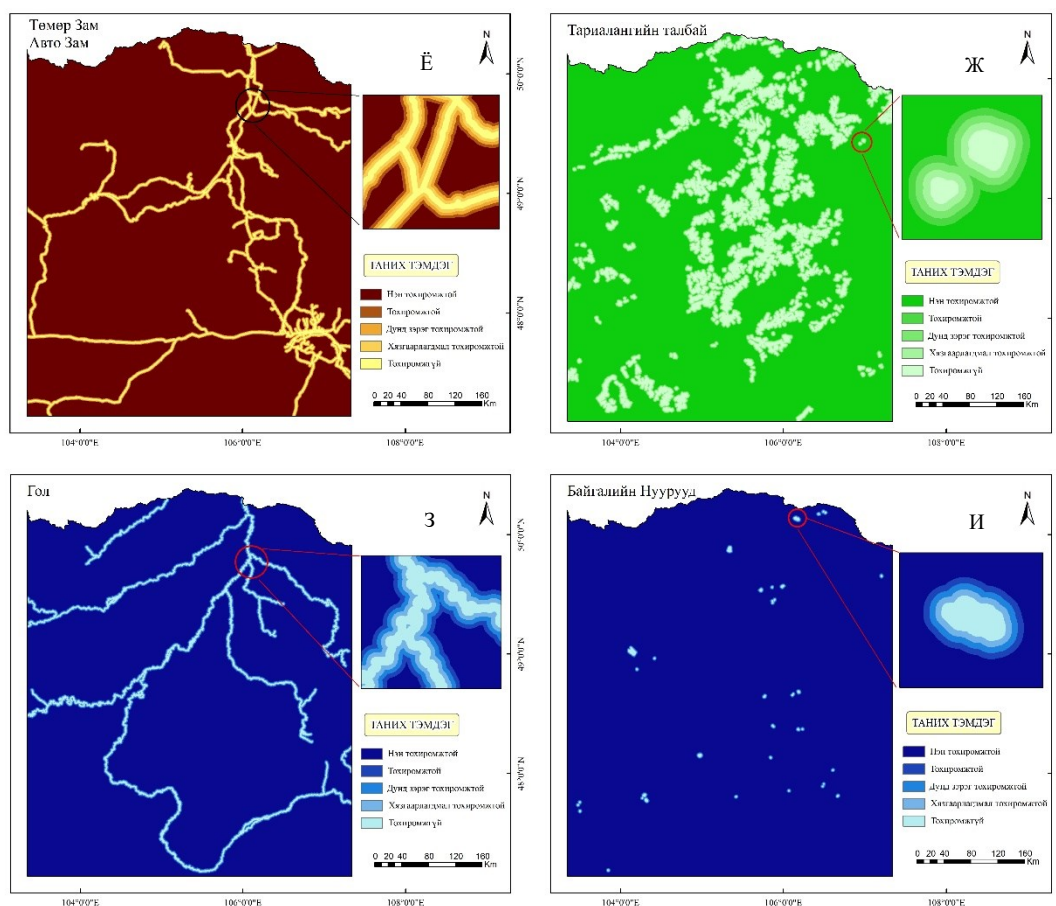
Хүчин зүйлийн үнэлгээний шинжилгээ: Хүчин зүйлийн 5 ангиллыг тохиромжтой байдлын үнэлгээний давхаргын дахин ангилж (Хүснэгт 5) харуулсан (Зураг 2). Газрын гадаргын налууг дахин ангилан үзэхэд голын ойролцоох бүс нь нам хөндий, газарзүйн хэлбэлзэл харьцангуй бага байна. Харин зүүн өмнөд болон баруун хойд хэсэгт налуугийн утга өндөр, хэлбэлзэл их ажиглагддаг. Голоос алслагдах зайг дахин ангилсан зурагт усны урсгалын чиглэл өмнөөс хойш, баруунаас зүүн тийш чиглэж буй нь тодорхой харагдаж байна. Жилийн хур тунадас болон ууршилтын дахин ангилсан зургуудын харьцуулалтаас үзэхэд уулын бүсэд хур тунадас бусад газраас өндөр, ууршилт харьцангуй бага боловч энэ бүс нь хиймэл нуур байгуулахад тохиромжгүй нөхцөлтэй байна. Тариалангийн талбайгаас алслах зайг дахин ангилсан зурагт тариалангийн талбай голын хөндийн дагуу голчлон байрлажээ. Нуур хүртэлх зайг дахин ангилсан зурагт тухайн нуурын тоо цөөн, талбай харьцангуй жижиг бөгөөд хамгийн том нуурын талбай судалгааны талбайд 19 км² байна. Энэ нь хиймэл нууруудын энэ бүс нутагт олноор байгуулах чухал хэрэгцээтэй болохыг нотолно.

Хүснэгт 5. Нэг хүчин зүйлийн үнэлгээ

Эрэмбэ	хүчин зүйл	Утгын хүрээ	Оноо	Тайлбар
1	Жилийн нийт хур тунадас (мм)	400-500	4	Нэн тохиромжтой
		300-400	3	Тохиромжтой
		250-300	2	Дунд зэрэг тохиромжтой
		200-250	1	Хязгаарлагдмал тохиромжтой
2	Газрын гадаргын налуу (%)	<5	5	Нэн тохиромжтой
		5-10	4	Тохиромжтой
		10-20	3	Дунд зэрэг тохиромжтой
		20-25	2	Хязгаарлагдмал тохиромжтой
		>25	1	Тохиромжгүй
3	Хөрсний хэв шинж	Нугын, нугат-намгийн ба намгийн цэвдэгт Голын татмын (аллюв) Уулын тайгийн цэвдэгт Өндөр уулын тундрын Далд глейрхэг (нугархаг) хүрэн Мараа, хужирлаг мараа	5	Нэн тохиромжтой
		Хар хүрэн Хүрэн Уулын тайгийн ширэгт Уулын хар хүрэн	4	Тохиромжтой
		Уулын ойн бараан Нугын бараан Нимгэн давхаргатай хар хүрэн Уулын хар шороон Нимгэн давхаргатай хар шороон Нимгэн давхаргатай хүрэн	3	Дунд зэрэг тохиромжтой
		Нарсан ойн сул чандруулаг элсэн хөрс Нарсан ойн элсэрхэг хөрс	2	Хязгаарлагдмал тохиромжтой
		Элс, элсэрхэг хөрс	1	Тохиромжгүй

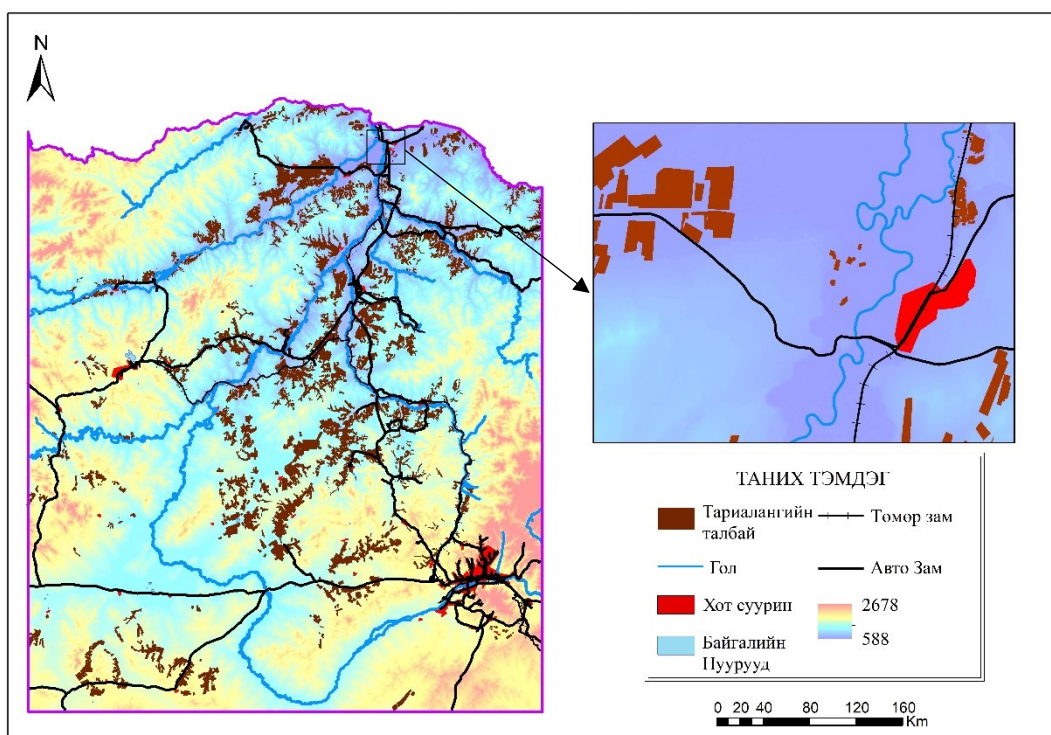
4	Жилийн нийт ууршилт (мм)	50-100	5	Нэн тохиромжтой
		100-150	4	Тохиромжтой
		150-200	3	Дунд зэрэг тохиромжтой
		200-250	2	Хязгаарлагдмал тохиромжтой
		>250	1	Тохиромжгүй
5	Өндөрлөг (м)	588-919	5	Нэн тохиромжтой
		919-1147	4	Тохиромжтой
		1147-1363	3	Дунд зэрэг тохиромжтой
		1363-1627	2	Хязгаарлагдмал тохиромжтой
		1627-2678	1	Тохиромжгүй
6	Хот суурин газраас зай (км)	>3	5	Нэн тохиромжтой
		2-3	4	Тохиромжтой
		1-2	3	Дунд зэрэг тохиромжтой
		0.5-1	2	Хязгаарлагдмал тохиромжтой
		<0.5	1	Тохиромжгүй
7	Төмөр зам, авто замын зай (км)	>3	5	Нэн тохиромжтой
		2-3	4	Тохиромжтой
		1-2	3	Дунд зэрэг тохиромжтой
		0.5-1	2	Хязгаарлагдмал тохиромжтой
		<0.5	1	Тохиромжгүй
8	Голоос алслагдах зай (км)	>2	5	Нэн тохиромжтой
		1.5-2	4	Тохиромжтой
		1-1.5	3	Дунд зэрэг тохиромжтой
		0.5-1	2	Хязгаарлагдмал тохиромжтой
		<0.5	1	Тохиромжгүй
9	Тариалангийн талбайгаас алслагдах зай (км)	>2	5	Нэн тохиромжтой
		1.5-2	4	Тохиромжтой
		1-1.5	3	Дунд зэрэг тохиромжтой
		0.5-1	2	Хязгаарлагдмал тохиромжтой
		<0.5	1	Тохиромжгүй
10	Байгалийн нуураас алслагдах зай (км)	>3	5	Нэн тохиромжтой
		2-3	4	Тохиромжтой
		1-2	3	Дунд зэрэг тохиромжтой
		0.5-1	2	Хязгаарлагдмал тохиромжтой
		<0.5	1	Тохиромжгүй



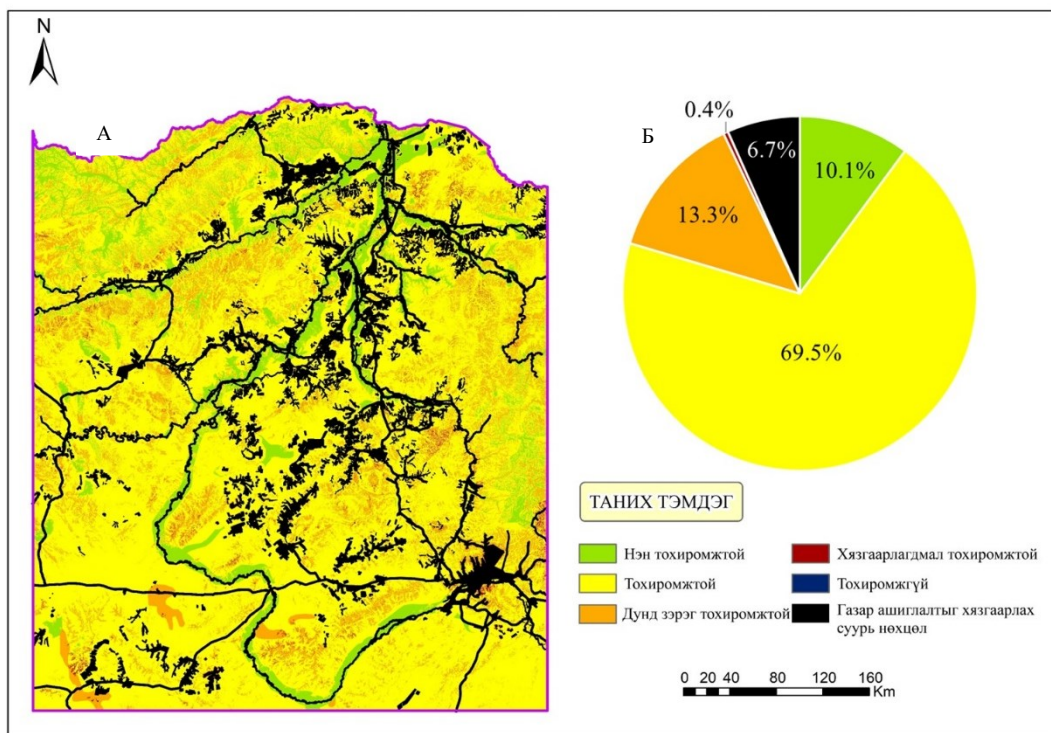


Зураг 2. Судалгааны талбайн нэг хүчин зүйлийн ангилаллууд

Тохиромжтой байдлын нэгдсэн шинжилгээ: Судалгаанд ArcGIS 10.8.1-ийн орон зайн шинжилгээний хэрэгслийг ашиглан дахин ангилсан янз бүрийн үзүүлэлтийн давхаргуудыг жингийн нийлмэл шинжилгээнд оруулж, улмаар газрын ашиглалтыг хязгаарлах суурь нөхцөлтэй (Зураг 3) уялдуулан нэгдсэн байдлаар шинжилснээр хиймэл нуур байгуулах тохиромжтой байдлын тархалтын зургийг (Зураг 4) гаргав. Тохиромжтой байдлын үнэлгээний үр дүнгийн дагуу хиймэл нуур байгуулах боломжтой газрыг 6 ангилал болгон хувиар илэрхийлж хуваасан (Зураг 4).



Зураг 3. Хиймэл нуур байгуулах газар ашиглалтын хориглох нөхцөл бүхий талбайнууд



Зураг 4. Судалгааны талбайд хиймэл нуур байгуулах газрын тохиромжтой байдлын нэгтгэсэн үнэлгээ А. Орон зайн үнэлгээ Б. Хувиар илэрхийлсэн үнэлгээ

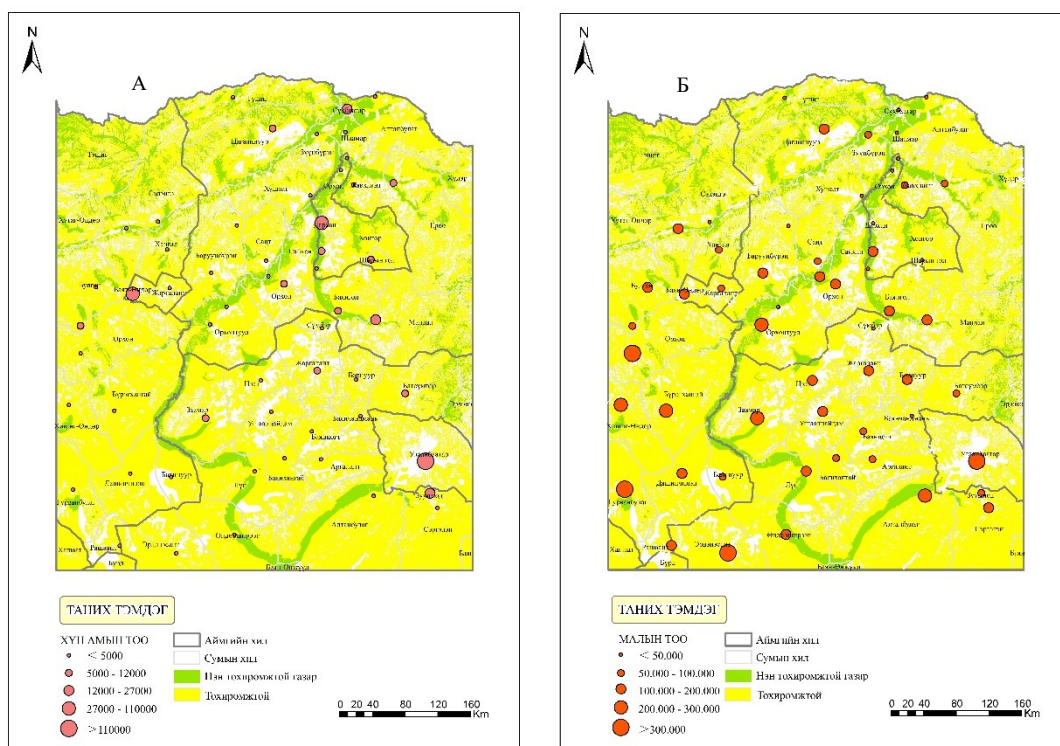
Хиймэл нуур байгуулахад тохиромжтой байдлын үнэлгээний үр дүнгээс гарсан дүгнэлтүүд (Хүснэгт 6) нь дараах байдлаар байна. Судалгааны бүсийн нийт талбайн 10.12 % буюу 10,431.96 км² нь нэн тохиромжтой, 69.45% буюу 71,572.76 км² нь тохиромжтой ангилалд, 13.34% буюу 13,742.14 км² нь дунд зэрэг тохиромжтой, 0.44% буюу 449.21 км² нь хязгаарлагдмал тохиромжтой, 0.0004% буюу 0.36 км² нь тохиромжгүй, 6.65% буюу 6,855.73 км² нь газар ашиглалтыг хязгаарлах суурь нөхцөл ангилалд хамаарч байв. Үүнээс харахад судалгааны нутаг дэвсгэрийн ихэнх хэсэг нь хиймэл нуур байгуулахад боломжийн нөхцөлтэй бөгөөд ялангуяа нам хөндий, газрын хэлбэржилт багатай бүсүүд өндөр тохиромжтой ангилалд багтаж байна. Харин уулын өндөрлөг, налуу ихтэй хэсгүүд болон газар ашиглалтад хязгаар тавигдсан бүсүүдэд нуур байгуулах боломж хязгаарлагдмал байна.

Хүснэгт 6. Хиймэл нуур байгуулахад тохиромжтой газрын ангилал

№	Тохиромжтой байдлын ангилал	Талбай (км ²)	Эзлэх хувь (%)
1	Нэн тохиромжтой	10431.96	10.12
2	Тохиромжтой	71572.76	69.45
3	Дунд зэрэг тохиромжтой	13742.14	13.34
4	Хязгаарлагдмал тохиромжтой	449.21	0.44
5	Тохиромжгүй	0.36	0.0004
6	Газар ашиглалтыг хязгаарлах суурь нөхцөл	6855.73	6.65
Нийт		103052.17	100

Хиймэл нуур байгуулах байршлын орон зайн шинжилгээ: Растер тооцоололчийг ашиглан нэгдсэн үнэлгээний оноо 4 ба түүнээс дээш бүсийг ялган авч, улмаар тэдгээрийг вектор давхаргад хөрвүүлэн зорилтот бүсийн тархалтын зургийг боловсруулав. Дараа нь энэхүү давхаргыг судалгааны бүсийн хүн амын нягтрал болон малын нягтралтай давхардуулан шинжилж, зорилтот бүсийн хүн ам ба малын нягтралыг илэрхийлсэн зураг (Зураг 5)-ийг гаргав. Эндээс 9 төлөөлөл бүхий хиймэл нуур байгуулах талбайг нарийвчлан гаргав (Зураг 6). Эдгээрийг тус тус А-I үсгээр тэмдэглэж нэрлэсэн. Үүнд:

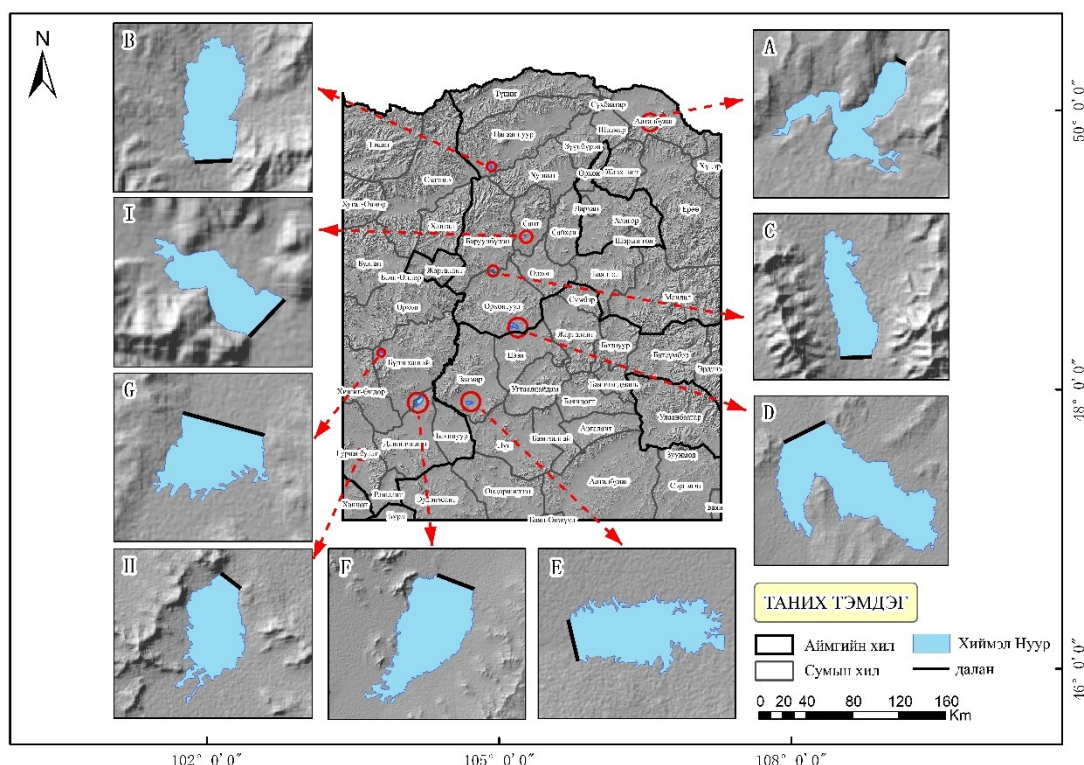
- А нуур: Сэлэнгэ аймгийн Алтанбулаг суманд
- В нуур: Сэлэнгэ аймгийн Цагааннуур суманд
- С нуур: Сэлэнгэ аймгийн Баруунбүрэн ба Орхонтуул сумын заагт
- D нуур: Сэлэнгэ аймгийн Орхонтуул суманд
- Е нуур: Төв аймгийн Заамар суманд
- F нуур: Булган аймгийн Дашинчилэн суманд
- G нуур: Булган аймгийн Бүрэгхангай суманд
- Н нуур: Булган аймгийн Гурванбулаг суманд
- I нуур: Сэлэнгэ аймгийн Сант суманд



Зураг 5. Хиймэл нуур байгуулах газрын тохиромжтой байдлыг хүн амын (А) болон малын тоотой (Б) харьцуулан харуулсан байдал

Хүн амын тооны хувьд (Зураг 5А) аймаг, сумын төвүүдийн эргэн тойронд 5,000–27,000 хүртэл хүн амтай суурин газрууд харьцангуй нягт байрлаж байгаа нь усны хэрэгцээ өндөр болохыг харуулж байна. Эдгээр бүсүүдийн дийлэнх нь “тохиромжтой” болон “нэн тохиромжтой” ангилалд багтсан нь хиймэл нуур байгуулахад хүн амын унд, ахуйн усны хангамжийг нэмэгдүүлэх боломжтойг илтгэж байна.

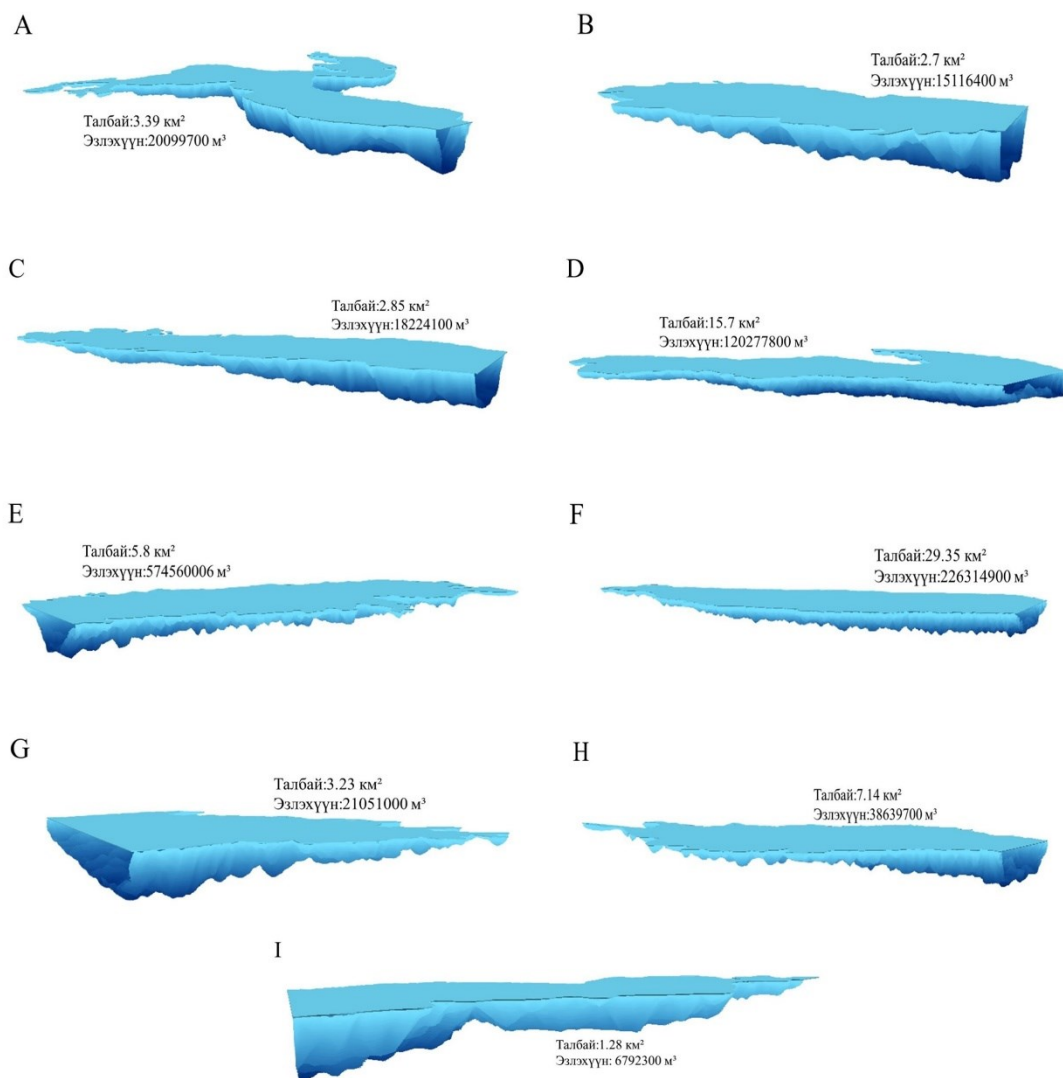
Малын тооны хувьд (Зураг 5Б) 100,000–300,000 болон түүнээс дээш толгой малтай сумдын нутагт усны хэрэглээ их байгаа бөгөөд эдгээр нь мөн “нэн тохиромжтой” болон “тохиромжтой” бүсүүдтэй уялдаж байгаа нь анзаарагдана. Иймээс мал аж ахуй давамгайл бүс нутагт хиймэл нуур байгуулах нь бэлчээрийн ус хангамжийг сайжруулах, усны нөөцийг тогтвортой ашиглах нөхцөлийг бүрдүүлэх ач холбогдолтой гэж үзэж байна.



Зураг 6. Хиймэл нуур байгуулах тохиромжтой байршлын орон зайн тархалт

Хиймэл нуур байгуулах тохиромжтой байршлуудыг орон зайн хувьд тодорхойлсны дүнд судалгааны нутаг дэвсгэрийн хэд хэдэн чухал цэгүүдийг тогтоосон (Зураг 6). Эдгээр нь ихэвчлэн голын хөндийн хэсэг болон нам дор газар байрлаж, далан барихад таатай нөхцөл бүрдүүлж байгаагаар онцлог юм. Тухайлбал, D нуур Сэлэнгэ аймгийн Орхонтуул суманд, F нуур Булган аймгийн Дашинчилэн суманд, E нуур Төв аймгийн Заамар суманд, А нуур Сэлэнгэ аймгийн Алтанбулаг суманд орших байрлал нь том талбай бүхий хиймэл нуур байгуулах боломжтойгоороо ялгарч байгаа бол В нуур Сэлэнгэ аймгийн Цагааннуур суманд, G нуур Булган аймгийн Бүрэгхангай суманд, С нуур Сэлэнгэ аймгийн Баруунбүрэн ба Орхонтуул сумын заагт орших байрлал нь уулсын хоорондын хөндийн хэсэгт оршдог тул далан барих инженерийн хувьд илүү тохиромжтойгоор үнэлэгдэв. Мөн Н нуур Булган аймгийн Гурванбулаг суманд, I нуур Сэлэнгэ аймгийн Сант суманд орших байрлал нь дунд хэмжээний нуур байгуулахад тохиромжтой байна. Эдгээр байрлалуудын хэлбэр, талбай, ус хуримтлуулах чадавх нь харилцан адилгүй боловч нийтлэгээрээ хиймэл нуур байгуулахад таатай нөхцөл бүрдүүлж байгааг харуулж байна. Энэ нь судалгааны талбайд усны нөөцийг нэмэгдүүлэх, хөдөө аж ахуй, хэрэглээний болон мал аж ахуйн усан хангамжийг сайжруулах боломж өндөр байгааг илтгэж байна.

Хиймэл нуур байгуулах байршлыг тодорхойлсны дараа DEM дата болон хиймэл нуурын хил заагт тулгуурлан ГМС-ийн орон зайн шинжилгээний хэрэгслийг ашиглан нуур бүрийн усан гадаргын талбай, эзлэхүүнийг тооцоолсон (Enkhbold et al., 2022b). Үр дүнг Хүснэгт 7-д үзүүлсэнээр, 9 хиймэл нуурын усан мандлын талбай 1.28–29.35 км², эзлэхүүн нь 6,792,300–226,314,900 м³ хооронд хэлбэлзэж байна. Усан гадаргын талбай ба эзлэхүүнээр хамгийн их нь F нуур бөгөөд талбай нь 29.35 км², эзлэхүүн нь 226,314,900 м³ байна; дараагийнх нь D нуур, талбай нь 15.7 км², эзлэхүүн нь 120,277,800 м³ байна. Усан мандлын талбай ба эзлэхүүнээр хамгийн бага нь I нуур, талбай нь 1.28 км², эзлэхүүн нь 6,792,300 м³ байна. Тус бүрийн хиймэл нуурын усан гадаргын талбай ба эзлэхүүнийг дэлгэрэнгүй байдлаар зураглав (Зураг 7).



Зураг 7. Хиймэл нуурын гурван хэмжээст дүрслэл ба морфометрийн тооцоо

Хиймэл нуур байгуулах боломжтой нийт есөн байршлын талбай болон эзэлхүүний үзүүлэлтийг гурван хэмжээст загварчлалаар тодорхойлоход нууруудын талбай 1.28–29.35 км², эзэлхүүн 6.8 сая–2263.1 сая м³-ийн хооронд хэлбэлзэж байна.

Хүснэгт 7. Хиймэл нууруудын морфометрийн ерөнхий тооцоо

Дугаар	Нуурын нэр	Сумын нэр	Талбай (км²)	Эзлэхүүн(м³)
1	А Нуур	Алтанбулаг	3.39	20099700
2	В Нуур	Цагааннуур	2.7	15116400
3	С Нуур	Баруунбүрэн / Орхонтуул	2.85	18224100
4	Д Нуур	Орхонтуул	15.7	120277800
5	Е Нуур	Заамар	8.5	57456000
6	F Нуур	Дашинчилэн	29.35	226314900
7	G Нуур	Бүрэгхангай	3.23	21051000
8	Н Нуур	Гурванбулаг	7.14	38639700
9	I Нуур	Сант	1.28	6792300

Хиймэл нуурын морфометрийн тооцоог ашиглан хиймэл нуурын усны нөөцийг газар тариалан, хүн ба мал аж ахуйн усны хэрэгцээт хэмжээг 1 жилд зарцуулах ерөнхий байдлаар тооцоолсон (Хүснэгт 8). Үр дүнгээс үзэхэд, 9 хиймэл нуурын усалгааны талбай 1,358.46–45,262.98 хүртэлх га талбайг, хүн амд хангах усны хэмжээ 9,305–310,020 хүний хэрэгцээг, мал аж ахуйг хангах усны хэмжээ 339,615–11,315,745 хүртэлх малыг усжуулах боломжтой байна. Түүнчлэн, D, F нуур нь усалгааны боломж ба ундны усны чадавхаараа харьцангуй өндөр, ус хадгалах үр ашиг нь өндөр тул томоохон усан хангамжийн байгууламж барихад илүү тохиромжтой байна.

Хүснэгт 8. Газар тариалан, хүн ам, мал аж ахуйг хангах усны хэмжээний ерөнхий тооцоо

Дугаар	Нуурын нэр	Газар тариалангийн талбай (га)	Хүн амын усан хангамж (Хүний тоогоор)	Мал аж ахуйн усан хангамж (Малын тоогоор)
1	A Нуур	4019.94	27534	1004985
2	B Нуур	3023.28	20707	755820
3	C Нуур	3644.82	24965	911205
4	D Нуур	24055.56	164764	6013890
5	E Нуур	11491.2	78707	2872800
6	F Нуур	45262.98	310020	11315745
7	G Нуур	4210.2	28837	1052550
8	H Нуур	7727.94	52931	1931985
9	I Нуур	1358.46	9305	339615

Энэхүү судалгаанд газар тариалангийн талбайн усалгаа, хүн амын болон малын ундны усны хэмжээг холбогдох судалгааны үр дүн (Ayres and Westcot, 1994; Biswas, 1997; Spencer et al., 2016)-г үндэслэн тогтоосон (Хүснэгт 9).

Хүснэгт 9. Хиймэл нуурын усыг нэг жилд ашиглаж болох ерөнхий хэмжээ

Салбар	Үзүүлэлт	Тайлбар
Газар тариалангийн талбайн усалгаа	5000 м³	Нэг га талбайд ноогдох усны хэмжээ
Хүн амын усан хангамжийн хэрэглээ	730 м³	Нэг хүнд ноогдох усны хэмжээ
Мал аж ахуйн хэрэглээ	20 м³	Нэг бог малд ноогдох усны хэмжээ

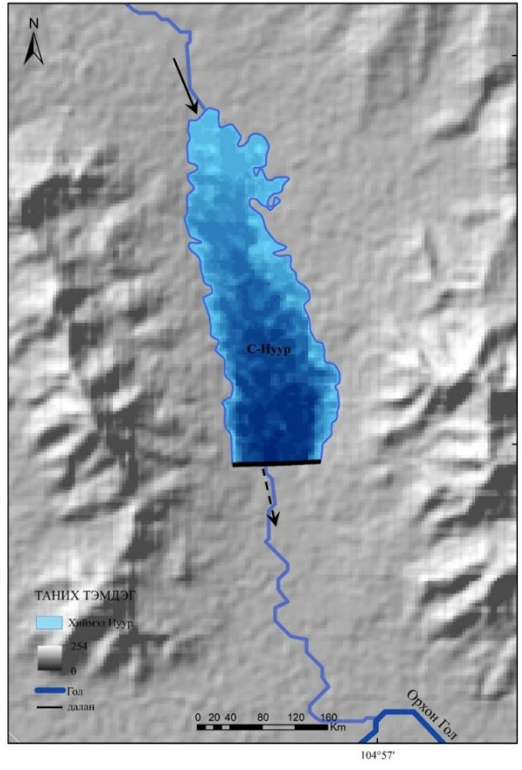
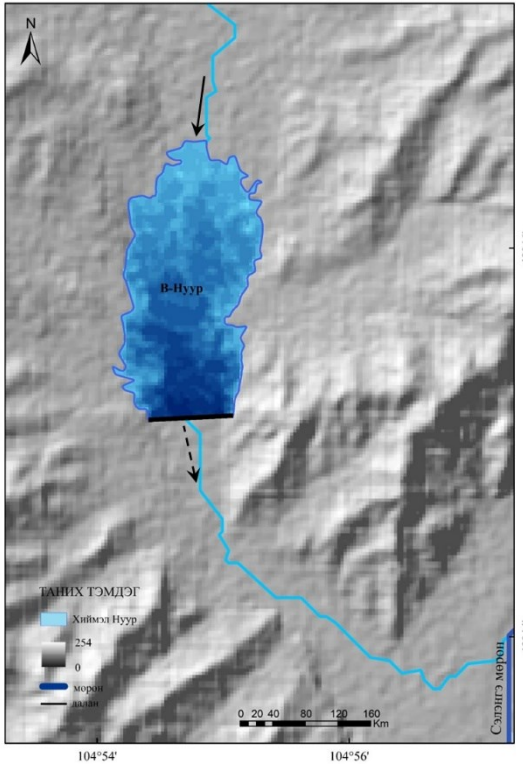
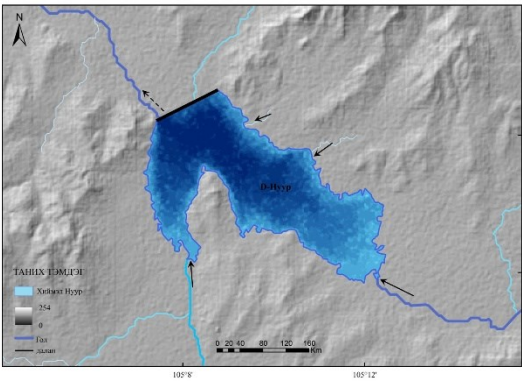
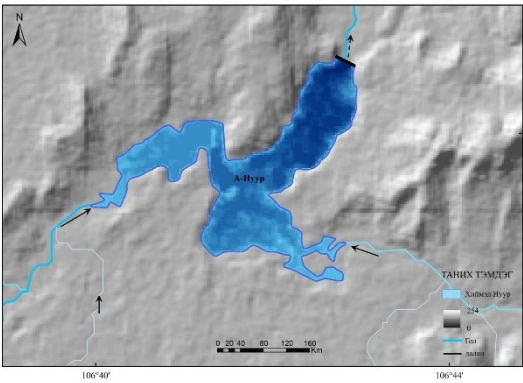
Сэлэнгэ мөрний сав газрын урсгал үүсэх нөхцөл олон талтайгаар тодорхойлогдоно. Сав газрын өмнөд хэсэгт хөрсний чийг багатай, голчлон тал хээрийн ургамлаар бүрхэгдсэн байдаг бол хойд хэсэгт нягт ой модтой тайгын экосистем болон олон жилийн цэвдэг хөрс тархсан нь зуны улиралд хөрсний усны гол эх үүсвэр болж өгдөг (Dorjsuren et al., 2018ab). Сав газрын хэмжээнд борооны ус нь голын тэжээлийн үндсэн эх үүсвэр бөгөөд цасны хуримтлал харьцангуй бага тул цасны усны хувь хэмжээ хязгаарлагдмал байна. Сэлэнгэ мөрний жилийн урсгалын ойролцоогоор тал хувь нь зун (6–8 сар)-ы улирлын хур тунадаснаа бүрддэг. Сав газрын хэмжээнд жилийн дундаж хур тунадасны хэмжээ 298 мм бөгөөд хамгийн багадаа 212 мм, хамгийн ихдээ 352 мм-ийн хооронд хэлбэлздэг (Dorjsuren et al., 2018a; Монгол Улсын Үндэсний Атлас, 2022). Харин жилийн тооцоологдсон ууршилтын дундаж хэмжээ 241 мм бөгөөд 153–300 мм-ийн хооронд хэлбэлзэнэ (Ma et al., 2003; Монгол Улсын Үндэсний Атлас, 2022). Хиймэл нуур байгуулах боломжит газруудын хур тунадас, гол, мөрний болон түр зуурын урсгал усны илүүдэл буюу газрын гадаргын урсацаа авах усны хэмжээг ерөнхий байдлаар тооцоолсон (Хүснэгт 10).

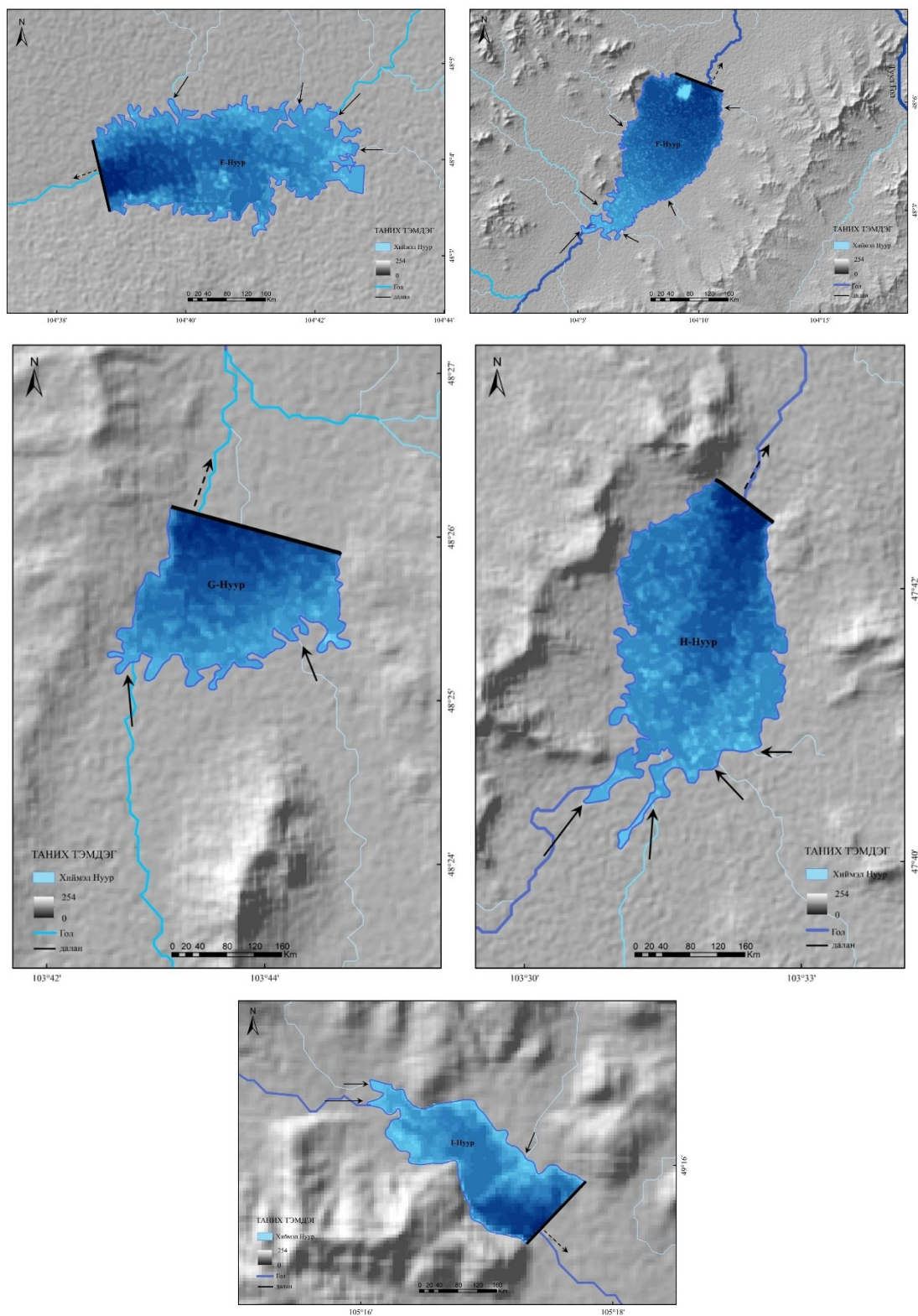
Хүснэгт 10. Хиймэл нуурын усан хангамжийн нийлүүлэлтийн ерөнхий тооцоо

Нуурын нэр	Сумын нэр	Хур тунадасны усны нийлүүлэлт хувь	Газрын гадаргын урсацын нийлүүлэлтийн хувь
A Нуур	Алтанбулаг	28.7	71.3
B Нуур	Цагааннуур	37.3	62.7
C Нуур	Баруунбүрэн / Орхонтуул	30.4	69.6
D Нуур	Орхонтуул	9.6	90.4
E Нуур	Заамар	22.4	77.6
F Нуур	Дашинчилэн	37.9	62.1
G Нуур	Бүрэгхангай	33.6	66.4
H Нуур	Гурванбулаг	3	97
I Нуур	Сант	10.7	89.3

Энэхүү судалгаанд хиймэл нуурын усны тэжээл нь үндсэндээ шууд хур тунадас болон газрын гадаргын урсац гэсэн хоёр хэсгээс бүрдсэн. Харин газар доорх ус, мөс, цасны шар ус зэргийг тооцоолох боломжгүй байсан. Хиймэл нуурт тэжээл болох хур тунадасны хэмжээг нуурын талбайг жилийн хур тунадасны хэмжээнд үржүүлэн ерөнхий байдлаар тооцоолсон бол газрын гадаргын урсацын тэжээлийн хэмжээг урсацын коэффициентийн арга ашиглан тооцоолсон (Sun et al., 2023). Урсацын коэффициент нь хөрсний хэв шинж, газрын гадаргын бүрхэвчийн нөхцөл зэргээс хамаардаг бөгөөд энэхүү судалгаанд ус хураах талбайн хөрсний хэв шинжтэй уялдуулан хиймэл нуур бүрийн коэффициентийг засварласан. Тооцооны дүнгээр (Хүснэгт 10) судалгааны талбайн ихэнх хиймэл нуурт урсацын тэжээлийн хувь хэмжээ 60–90%-ийн хооронд, нуурын гадаргуугийн хур тунадасны тэжээл 10–40%-ийн хооронд хэлбэлзэж байна.

Хиймэл нуур байгуулах байршлуудын далан барих ерөнхий тооцоо: Хиймэл нуур байгуулах боломжтой сонгогдсон байрлалуудын нуурын хэлбэр, ус хуримтлуулах талбайн хэмжээг нарийвчлан тооцоолж, гидрологийн загварчлалаар дүрслэв. Загварын үр дүнд байрлал бүрийн нуурын эзлэх талбай, хэлбэрийн онцлог болон усан сангийн усыг бүрдүүлэх голын урсацын чиглэл тодорхой харуулав (Зураг 8).





Зураг 8. Хиймэл нууруудын гадаргын усны нийлүүлэлтийн ерөнхий бүдүүвч ба далан барих байршил

Эдгээр үр дүн нь нуурын эзлэх талбай, хэлбэрийн ялгаа нь ус хуримтлуулах чадавхи болон түүний тогтвортой байдалд нөлөөлөх хүчин зүйл болохыг харуулж байна. Энэхүү судалгаанд хиймэл нуур нь далан барьж хур тунадас ба газрын гадаргын урсацыг цуглуулан бүрддэг. Сэлэнгэ мөрний сав газрын хиймэл нуурын хувьд (эзлэхүүн 6,792,300–226,314,900 м³ тул далангийн өндөр 15 м байх боломжтой), олон улсын стандартын дагуу далангийн төрөл тус бүрийн барилгын зардлыг урьдчилан тооцсон. Далангийн төрөл ба тооцох аргачлал нь дараах байдалтай байна. Үүнд:

- Чулуун ба шороон далан (Embankment Dam): Далан нь голчлон шороо болон буталсан чулуугаар хийгдэх ба нэгж үнэ 25–55 USD/m³ (Dams, 2023). Усалгаа, ундны ус болон жижиг хэмжээний үерийн ус хадгалах нуурт тохиромжтой, зардал бага, барилгын явцад хялбар технологи юм.
- Чулуун ба тоосгон далан (Masonry Dam): Далан нь чулуу болон зуурмагаар хийгдэх ба нэгж үнэ 80–130 USD/m³ (Brennan et al., 2008; Stephens, 2017). Уулархаг нутагт чулуу элбэг, бат бөх чанар шаардлагатай жижиг нуурт тохиромжтой (Stephens, 2017; Dams, 2023).
- Бетон далан (Arch Dam): Далан нь бетоноор хийгдсэн, усны даралтыг өөрийн жинээр тэсвэрлэх ба нэгж үнэ 160–270 USD/m³ (Baban et al., 2003; Stephens, 2017) байдлын өндөр шаардлагатай, үерээс хамгаалах буюу урт хугацааны усан хангамжтай нуурт тохиромжтой технологи юм (Stephens, 2017; Dams, 2023).
- Усан цахилгаан станцын далан (Hydropower station): Бодит өртөг орон нутгийн барилгын үнэ, төхөөрөмжийн хүч, хоолой дамжуулах шугамын урт, геотехникийн нөхцөл, гадаргын хэв шинж зэргээс ихээр хэлбэлзэнэ (Stephens, 2017; Dams, 2023).

Дээр дурдсан тооцооллын аргуудыг нэгтгэн дүгнэснээр энэхүү судалгаанд хамрагдсан 9 хиймэл нуурын далан байгуулах зардлын хэмжээг тодорхойлов. Бүх зардлыг газрын гадаргын хэлбэр, барилгын нөхцөл, хүн ам нүүлгэн шилжүүлэх болон газар чөлөөлөх зардлыг оруулаагүй ерөнхий байдлаар тооцсон. Харин усан цахилгаан станцын тооцоо нь илүү техник эдийн засгийн нарийн тооцоог шаардаж энэхүү судалгааны хүрээнээс харьцангуй хальж байгаа тул тооцоолоогүй болно. Бидний тооцоогоор хиймэл нуурын байршлын сонголт ба далангийн хэлбэрийн оновчлолд урьдчилсан өртгийн тооцоог өгөхөөс гадна олон улсын ижил төстэй хиймэл нууруудын төслийн өртгийн хүрээтэй нийцүүлэн нарийвчлах нь чухал юм (Хүснэгт 11).

Хүснэгт 11. Хиймэл нуурын далан барих өртгийн ерөнхий тооцоо (сая ам.доллараар)

Нуурын нэр	Далангийн урт (m)	Далангийн өндөр (m)	Шороо чулууны далан	Чулуун тоосгон далан	Бетон далан
А Нуур	297.4	15	1.0 – 2.2	3.5 – 5.5	7 – 12
В Нуур	808.6	15	3.0 – 6.5	10 – 16	20 – 30
С Нуур	840.6	15	3.1 – 6.8	11 – 17	22 – 32
Д Нуур	1,856.5	15	6.8 – 15	25 – 40	50 – 80
Е Нуур	1,418.9	15	5.2 – 11	19 – 30	38 – 60
Ғ Нуур	2,624.7	15	9.6 – 20	35 – 55	70 – 110
Г Нуур	1,997	15	7.3 – 15	27 – 42	55 – 85
Н Нуур	982.9	15	3.6 – 7.5	13 – 20	25 – 40
И Нуур	827.6	15	3.0 – 6.3	11 – 16	22 – 32

Хиймэл нуур байгуулахад хүн ам, малын тоон үзүүлэлттэй уялдах хамаарал: Хиймэл нуур байгуулах газрын тохиромжтой байдлын үнэлгээг хүн амын болон малын тоон үзүүлэлттэй уялдуулан авч үзэх нь усны нөөцийг зөв зохистой ашиглах бодлого боловсруулахад чухал ач холбогдолтой юм (Sun et al., 2024). Судалгааны нутаг дэвсгэрийн хувьд хүн амын төвлөрөл харьцангуй жигд бус бөгөөд аймаг, сумын төвийн орчимд 5,000–27,000 хүртэл хүн амтай суурин газрууд илүү нягт байрласан байна. Эдгээр суурин газруудын ихэнх нь хиймэл нуур байгуулахад “тохиромжтой” болон “нэн тохиромжтой” ангилалд багтсан нь орон нутгийн унд, ахуйн усны

хангамжийг нэмэгдүүлэх бодит боломжийг харуулж байна. Тухайлбал, төв суурин газруудын усны хэрэглээний эрэлт нэмэгдэхийн хэрээр хиймэл нуурын тогтолцоо нь хүн амын тогтвортой амьдрах нөхцлийг хангахад чухал дэмжлэг үзүүлэх боломжтой.

Мал аж ахуйн хувьд, судалгааны нутаг дэвсгэр нь бэлчээрийн мал аж ахуй давамгайл бүс нутаг бөгөөд олон суманд 100,000–300,000, түүнээс дээш толгой мал ногдож байна. Усны хэрэглээ өндөртэй эдгээр бүсүүдийн ихэнх нь “тохиромжтой” болон “нэн тохиромжтой” ангилалд таарч байгаа нь хиймэл нуур байгуулах нь зөвхөн хүн амын төдийгүй мал аж ахуйн усан хангамжийг сайжруулах чухал нөхцөл болохыг харуулж байна. Иймээс хиймэл нуур нь улирлын болон уур амьсгалын хэлбэлзлээс шалтгаалсан усны хүртээмжийн зөрүүг нөхөж, мал аж ахуйд тогтвортой усан эх үүсвэр бий болгох стратегийн ач холбогдолтой гэж үзэж болно.

Мөн хүн ам болон малын тоо харьцангуй өндөртэй бүсүүд нь ихэвчлэн гадаргын хувьд нам уулын ба голын хөндийд байрладаг нь хиймэл нуур байгуулахад тохиромжтой нөхцлийг бүрдүүлжээ. Гэсэн хэдий ч уулын өндөрлөг болон налуу ихтэй бүсүүд, мөн газар ашиглалтад хязгаарлалттай газруудын хувьд нуур байгуулах боломж хязгаарлагдмал хэвээр байна. Иймээс нуур байгуулах боломжтой талбайг сонгохдоо зөвхөн инженер геоморфологийн нөхцөлөөр хязгаарлагдахгүй, хүн амын төвлөрөл, зам тээвэр, дэд бүтцийн хөгжил, мал аж ахуйн онцлог, орон нутгийн усны хэрэглээний эрэлт, цаашдын тогтвортой хөгжлийн шаардлагыг уялдуулан авч үзэх шаардлагатай байна.

Энэ бүс нутагт хиймэл нуур байгуулах боломж нь усны нөөцийн зохистой хуваарилалт, хөдөө аж ахуйн үйлдвэрлэлийн үр ашиг, байгаль орчны тэнцвэрт байдлыг хангах цогц арга хэмжээний нэг хэсэг байх ёстой. Түүнчлэн усны нөөцийн менежмент нь зөвхөн техникийн шийдэл бус, нийгэм, эдийн засгийн хүчин зүйлсийн уялдаа холбоонд тулгуурласан цогц бодлого байх шаардлагатайг энэхүү үнэлгээ харуулж байна.

Эдгээр нуурын хэлбэр, хэмжээ, байрлалын ялгаа нь цаашид ашиглалтын зорилгоос хамааран өөр өөр ач холбогдолтой болохыг харуулж байна. Жишээлбэл, хүн амын төвлөрөл өндөртэй бүсийн ойролцоох байрлалд байгуулах хиймэл нуур нь унд, ахуйн усны хэрэгцээг хангахад чиглэгдэх бол, мал аж ахуй давамгайлсан бүсэд байгуулах хиймэл нуур нь бэлчээрийн усан хангамжийг тогтворжуулах гол үүрэг гүйцэтгэнэ. Түүнчлэн зарим байршил аялал жуулчлал, амралт, зугаалгын зориулалтаар ашиглахад нэн тааламжтай орчныг бүрдүүлэх боломжтойгоороо онцлог юм.

Иймээс хиймэл нуур байгуулах байршлыг сонгохдоо зөвхөн гидрогеоморфологийн тохиромжтой байдлаар хязгаарлагдахгүй, харин нийгэм, эдийн засгийн ач холбогдол, инженерийн зардал, байгаль орчны тогтвортой байдал зэргийг хамтад нь үнэлэх шаардлагатай. Энэ нь бүс нутгийн усны нөөцийн тогтвортой менежмент, хүн ам ба мал аж ахуйн ус хангамж, мөн орон нутгийн хөгжлийн бодлоготой нягт уялдах чухал алхам болж өгнө.

Хиймэл нуурын байршлын үнэлгээнд инженерийн геоморфологийн интеграцчилсан хандлага:

Судалгааны үр дүн нь хэд хэдэн үндсэн тал дээр ач холбогдолтой. Нэгд, инженерийн геоморфологи болон хуурай, хагас хуурай бүс нутгийн усны нөөцийн менежментийг олон түвшний онол, туршлагатай уялдуулан нэгтгэснээр бүс нутгийн судалгааны хоосон зайг нөхөж байна. Энэхүү уялдаа нь Монгол орны нөхцөлд усны нөөцийн менежмент болон хөдөө аж ахуйн бүс нутгийн төлөвлөлтийг оновчтой хөгжүүлэх шинжлэх ухааны үндэс болж байна.

Хоёрт, ГМС-ийн орон зайн шинжилгээ болон АНР аргачлалыг ашиглан хуурай, хагас хуурай бүс нутгуудад тохиромжтой хиймэл нуурын байршлын үнэлгээний загварыг боловсруулсан нь арга зүйн онцлог юм. Энэхүү арга нь инженер геоморфологийн, уур амьсгал, ус зүйн, хөрсний болон нийгэм-эдийн засгийн хүчин зүйлийг иж бүрнээр авч үзэх боломжийг олгож, байршлын сонголтыг оновчтой байдлаар тооцоолж үнэлэхэд чухал ач холбогдолтой (Saaty, 1977; Malczewski, 2004; Ozdemir and Saaty 2006).

Гуравт, байгаль, нийгмийн хүчин зүйлсийг нэгтгэн авч үзэх замаар Сэлэнгэ мөрний сав газрын хөдөө аж ахуйн бүс нутгийг системтэй үнэлж, хиймэл нууруудыг оновчтой байгуулах байршлыг тодорхойлсон нь практик ач холбогдолтой юм. Судалгааны аргачлал нь усны нөөцийн менежментийг дэмжих, хөдөө аж ахуйн тогтвортой хөгжил болон байгаль орчны нөхөн сэргэлтэд бодитой эерэг нөлөө үзүүлэх, био уур амьсгалын таатай орчны бүрдүүлэх боломжтой юм.

Дөрөвт, судалгааны явцад 30 м нарийвчлалтай DEM болон олон эх үүсвэрийн орон зайн өгөгдлийг ашиглан бүс нутгийн орон зайн мэдээллийн санг бүрдүүлж түүн дээрээ тулгуурлан байгалийн болон хүний хүчин зүйлсийг сонгон, АНР аргачлалаар үзүүлэлтийн жинг тодорхойлж, ГМС-ийн орон зайн нэгдмэл шинжилгээгээр баталгаажуулснаараа чухал шинжлэх ухааны үндэслэлтэй болж байна.

Энэхүү судалгаа нь системчилсэн аргачлалын туршлагаар хөдөө аж ахуйн бүс нутгийн ус зүйн системийн оновчтой төлөвлөлт, усны нөөцийн тогтвортой менежмент, байгаль орчны нөхөн сэргэлтэд шинжлэх ухааны үндэслэл бүхий практик дэмжлэг үзүүлж болж буйгаараа онцлог юм.

Дүгнэлт

Энэхүү судалгаанд ГМС-ийн орон зайн шинжилгээний аргазүй болон шатлан эрэмбэлэх аналитик АНР аргыг ашиглан нэгдсэн тохиромжийн үнэлгээний загварыг байгуулж, Сэлэнгэ мөрний сав газрын хөдөө аж ахуйн бүсэд хиймэл нуур байгуулахад тохиромж газарзүйн байршлуудыг тогтоов.

Судалгааны талбайн 79%-иас дээш нутаг дэвсгэрт хиймэл нуур байгуулах боломжтой бөгөөд үүнд нэн тохиромжтой талбай 10.12%, тохиромжтой талбай 69.45%-ийг эзэлж байв.

Үнэлгээний үзүүлэлтэд гадаргын налуу, хөрсний хэв шинж болон гол, мөрнөөс алслагдах зай, хур тунадасны хувиарлалт өндөр жин дарж хиймэл нуурын байршлын чухал хүчин зүйл болохыг харуулж байв.

Нэгдсэн орон зайн шинжилгээгээр 9 хиймэл нуурыг тодорхойлсон бөгөөд тэдгээрийн усан гадаргын талбайн хэмжээ 1.28–29.35 км², эзлэхүүн нь 6 792 300–226 314 900 м³-ийн хэмжээтэй шинээр нуур үүсгэж болохыг тогтоолоо.

Хиймэл нууруудыг хөдөө аж ахуй, хүн амын усан хангамжийн чиглэлээр ашиглах боломжтой бөгөөд Сэлэнгэ аймгийн Орхонтуул суманд (D нуур), Булган аймгийн Дашинчилэн суманд (F нуур) нь хүн ам, мал аж ахуй, газар тариалангийн хувьд онцгой ашиглалтын байршилд тохирч болохоор байна.

Судалгаанд хамрагдсан 9 хиймэл нуурын ихэнх нь усны тэжээлийн эх үүсвэрт газрын гадаргын урсац давамгайлж, ихэвчлэн 60–90%-ийг эзэлдэг. Харин хур тунадас хувь хэмжээ нь ерөнхийдөө 10–40% байх боломжтойг тодорхойллоо.

Энэ судалгаа нь Монгол орны ирээдүйн усны нөөцийн менежмент, хөдөө аж ахуй, мал аж ахуй, хүн амын усны хэрэгцээт газруудын байршлыг сонгох, Монгол Улсын “333 нуур-Нэг сум-Нэг нуур” үндэсний санаачилгын хүрээнд оновчтой байршлын аргачлалыг хэрэглэхэд загвар болох боломжтой судалгаа юм.

Ирээдүйн судалгаанд ГМС-ийн аргазүйд тулгуурласан үр дүнгүүдэд хээрийн судалгаагаар хэмжилт, баталгаажуулалтыг дахин хийх, нийгэм-эдийн засгийн хүчин зүйл, байгалийн нөлөөллийн үнэлгээг нарийвчлах шаардлагатай юм.

Талархал

Энэхүү судалгааг ШУТС-ийн 2024-2026 онд хэрэгжүүлэх “Монгол орны нуурын геоморфологийн шинэ мужлал” сэдэвт суурь судалгааны төслийн хүрээнд гүйцэтгэв.

Ном зүй

1. БОУАӨЯ. (2025). “333 нуур-Нэг сүм-Нэг нуур” хөтөлбөр, Улаанбаатар хот.
2. 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
3. Доржготов, Д (Ред). (2022). *Монгол Улсын Үндэсний Атлас*, Улаанбаатар хот.
4. Дуламсүрэн, Д. (2022). Монгол орны улирлын уур амьсгалын өнөөгийн өөрчлөлт, *Уур амьсгалын өөрчлөлтийн үндэсний 4 дүгээр тайлан*, Улаанбаатар хот. 6-14
5. Мягмарцэрэн, П., Мягмаржав, И., Ганпүрэв, Д. (2018). Хөв, цөөрөм байгуулах газрын тохиромжтой байдлын үнэлгээний асуудалд (Сүхбаатар аймгийн Эрдэнэцагаан сумын жишээн дээр), *Газарзүйн Асуудлуд*, 18(02), 87-103.
6. Al-Adamat, R., Diabat, A., & Shatnawi, G. (2010). Combining GIS with multicriteria decision making for siting water harvesting ponds in Northern Jordan. *Journal of Arid Environments*, 74(11), 1471-1477.
7. Amgalan, M., Matsumoto, T., Ulaanbaatar, T., Nandintsetseg, N., Erdenesukh, S., Sandelger, D., & Altanbold, E. (2020). Estimation of evaporation from Ogii Lake using the energy budget method. *Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. G (Environmental Research)*, 76(5), I_301-I_309.
8. Ariunsanaa, B. E., Gantsooj, B., Orgil, G., Seiya, N., Bukhchuluun, T., Altansukh, O., ... & Davaasuren, D. (2024). Water Quality Study of an Artificial Lake Formed after Gravel Mining in an Urban Area (Mongolia). In *Future is Urban* (pp. 165-170). Routledge.
9. Atar, E., & Durmaz, İ. Y. (2024). International Climate Change Regimes in the 21st Century: From Stockholm to Paris. In *Handbook of Energy and Environment in the 21st Century* (pp. 243-258). CRC Press.
10. Awanda, D., Nurul, H. A., Musfiroh, Z., & Dwi, N. D. (2017). Spatial analysis for potential water catchment areas using GIS: Weighted overlay technique. In *IOP conference series: earth and environmental science* (Vol. 98, No. 1, p. 012054). IOP Publishing.
11. Ayres, R. S., & Westcot, D. W. (1994). Water quality for agriculture FAO irrigation and drainage paper 29 Rev 1. *Rome, Italy: Food and Agriculture Organization*, 1, 74.
12. Baban, S. M., & Wan-Yusof, K. (2003). Modelling optimum sites for locating reservoirs in tropical environments. *Water Resources Management*, 17(1), 1-17.
13. Baterdene, A., Nagao, S., Zorigt, B., Ochir, A., Fukushima, K., Davaasuren, D., ... & Yunden, A. (2022). Seasonal Variation and Vertical Distribution of Inorganic Nutrients in a Small Artificial Lake, Lake Bulan, in Mongolia. *Water*, 14(12), 1916.
14. Bavuu, E., Dorjsuren, B., Gombo, D., Wang, J., Sugar, E., Ganzorig, B., ... & Ochir, A. (2024). Some correlations between the river regime and land cover changes caused by climate change in the Selenge River Basin, Mongolia. *Environmental Earth Sciences*, 83(10), 322.
15. Bereznykh, T. V., Marchenko, O. Y., Abasov, N. V., & Mordvinov, V. I. (2012). Changes in the summertime atmospheric circulation over East Asia and formation of long-lasting low-water periods within the Selenga River basin. *Geography and natural resources*, 33(3), 223-229.
16. Biswas, A. K. (1997). Water development and the environment. *International Journal of Water Resources Development*, 13(2), 141-168.
17. Borkhuu, B., Bumtsend, M. T., Ulzii-Orshikh, M. D., Sumiya, E., Dorligjav, S., Dugerjav, M. O., ... & Batsaikhan, N. (2023). *Second Biennial Update Report (BUR2) to the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC)*. The Second BUR has been prepared in accordance with the UNFCCC Biennial Update Report guidelines for Parties not included in Annex 1 to the Convention.

18. Brandt, S. A. (2006). AHP v. 2.0. Analytic hierarchy process software. Gävle: SA Brandt Software. Available from: <http://sab.geovega.se/lattjo.html>
19. Brennan, L. E., Lisson, S. N., Poulton, P. L., Carberry, P. S., Bristow, K. L., & Khan, S. (2008). A farm-scale, bio-economic model for assessing investments in recycled water for irrigation. *Australian journal of agricultural research*, 59(11), 1035-1048.
20. Dams, (2023). Embankment Dams with Bituminous Concrete Upstream Facing. *International Commission on Large Dams (ICOL)*.
21. Dorjsuren, B., Batsaikhan, N., Yan, D., Yadambjav, 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.
22. Dorjsuren, B., Batsaikhan, N., Yan, D., Yadambjav, O., Chonokhuu, S., Enkhbold, A., ... & Qin, T. (2022). Trend analysis of hydro-climatic variables in Lake Baikal Basin. *Water Resources*, 49(1), 46-57.
23. Dorjsuren, B., Yan, D., Wang, H., Chonokhuu, S., Enkhbold, A., Davaasuren, D., ... & Gedefaw, M. (2018). Observed trends of climate and land cover changes in Lake Baikal basin. *Environmental Earth Sciences*, 77(20), 725.
24. Dorjsuren, B., Yan, D., Wang, H., Chonokhuu, S., Enkhbold, A., Yiran, X., Girma, A., Gedefaw, M., & Abiyu, A. (2018). Observed Trends of Climate and River Discharge in Mongolia's Selenga Sub-Basin of the Lake Baikal Basin. *Water*, 10(10), 1436.
25. Dorjsuren, B., Zemtsov, V. A., Batsaikhan, N., Demberel, O., Yan, D., Hongfei, Z., ... & Siyu, W. (2024). Trend analysis of hydro-climatic variables in the Great Lakes Depression region of Mongolia. *Journal of Water and Climate Change*, 15(3), 940-957.
26. Enkhbold, A., Dingjun, L., Ganbold, B., Yadamsuren, G., Tsasanchimeg, B., Dorligjav, S., ... & Boldbayar, R. (2024b). Changes in morphometric parameters of lakes in different ecological zones of Mongolia: implications of climate change. *Climate Research*, 92, 79-95.
27. Enkhbold, A., Khukhuudei, U., & Doljin, D. (2022a). A review of modern trends and historical stages of development of lake research in Mongolia. *Proceedings of the Mongolian Academy of Sciences*, 25-37.
28. Enkhbold, A., Khukhuudei, U., & Doljin, D. (2024a). New geomorphological districts of lakes in Mongolia. *Mongolian Journal of Geography and Geoecology*, 61(45), 1-18.
29. Enkhbold, A., Khukhuudei, U., Kusky, T., Chun, X., Yadamsuren, G., Ganbold, B., & Gerelmaa, T. (2022b). Morphodynamic development of the Terkhiin 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.
30. 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.
31. Evans, S. G., Delaney, K. B., Hermanns, R. L., Strom, A., & Scarascia-Mugnozza, G. (2010). The formation and behaviour of natural and artificial rockslide dams; implications for engineering performance and hazard management. In *Natural and artificial rockslide dams* (pp. 1-75). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
32. Fardullah, M., Islam, M. S., Akther, K., Hossain, M. T., & Robel, F. N. (2025). 'Spatial distribution, abundance, and risk assessment of microplastics in the surface water of Kaptai Lake: Southeast Asia's largest artificial reservoir'. *Journal of Hazardous Materials Advances*, 18, 100640.
33. Gupta, H. K. (2022). Artificial water reservoir-triggered seismicity (RTS): most prominent anthropogenic seismicity. *Surveys in Geophysics*, 43(2), 619-659.

34. Han, J., Dai, H., & Gu, Z. (2021). Sandstorms and desertification in Mongolia, an example of future climate events: A review. *Environmental Chemistry Letters*, 19(6), 4063-4073.
35. Hessel, A. E., Anchukaitis, K. J., Jelsema, C., Cook, B., Byambasuren, O., Leland, C., ... & Hayles, L. A. (2018). Past and future drought in Mongolia. *Science advances*, 4(3), e1701832.
36. Kashiwaya, K., Liu, S. H., Ochiai, S., Lin, J. C., & Fukushima, K. (2024). Hydro-geomorphological changes in an artificial modified lake-catchment system inferred from lacustrine sediments of Ri-Yue Tan (Sun Moon Lake), central Taiwan. *Environmental Earth Sciences*, 83(13), 405.
37. Lehner, B., Messenger, M. L., Korver, M. C., & Linke, S. (2022). Global hydro-environmental lake characteristics at high spatial resolution. *Scientific Data*, 9(1), 351.
38. Li, H., Somogyi, B., & Tóth, V. (2024). Exploring spatiotemporal features of surface water temperature for Lake Balaton in the 21st century based on Google Earth Engine. *Journal of Hydrology*, 640, 131672.
39. Li, W., Lin, Q., Hao, J., Wu, X., Zhou, Z., Lou, P., & Liu, Y. (2023). Landscape ecological risk assessment and analysis of influencing factors in Selenga River Basin. *Remote Sensing*, 15(17), 4262.
40. Lo Curzio, S., Russo, F., & Caporaso, M. (2013). Application of remote sensing and GIS analysis to detect morphological changes in an artificial lake. *International Journal of Remote Sensing and Geosciences*, 2(4), 7-13.
41. Ma, X., Yasunari, T., Ohata, T., Natsagdorj, L., Davaa, G., & Oyunbaatar, D. (2003). Hydrological regime analysis of the Selenge River basin, Mongolia. *Hydrological Processes*, 17(14), 2929-2945.
42. Magsar, A., Matsumoto, T., Enkhbold, A., & Nyam-Osor, N. (2021). Application of remote sensing and GIS techniques for the analysis of lake water fluctuations: a case study of ugii lake, Mongolia. *Nature Environment and Pollution Technology*, 20(5), 2051-2059.
43. Malczewski, J. (2004). GIS-based land-use suitability analysis: a critical overview. *Progress in planning*, 62(1), 3-65.
44. 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.
45. Nandintsetseg, B., Chang, J., Sen, O. L., Reyer, C. P., Kong, K., Yetemen, O., ... & Davaadalai, J. (2024). Future drought risk and adaptation of pastoralism in Eurasian rangelands. *npj Climate and Atmospheric Science*, 7(1), 82.
46. Ochir, A., Boldbaatar, D., Zorigt, M., Tsetsgee, S., & van Genderen, J. L. (2018). Site selection for water harvesting ponds using spatial multi-criteria analysis in a region with fluctuating climate. *Geocarto International*, 33(7), 699-712.
47. Ozdemir, M. S., & Saaty, T. L. (2006). The unknown in decision making: What to do about it. *European journal of operational research*, 174(1), 349-359.
48. Pi, X., Luo, Q., Feng, L., Xu, Y., Tang, J., Liang, X., ... & Bryan, B. A. (2022). Mapping global lake dynamics reveals the emerging roles of small lakes. *Nature communications*, 13(1), 5777.
49. Purevjav, A. O., Avirmed, T., Wilcox, S. W., & Barrett, C. B. (2025). Climate rather than overgrazing explains most rangeland primary productivity change in Mongolia. *Science*, 389(6766), 1229-1233.
50. Rahmati, O., Nazari Samani, A., Mahdavi, M., Pourghasemi, H. R., & Zeinivand, H. (2015). Groundwater potential mapping at Kurdistan region of Iran using analytic hierarchy process and GIS. *Arabian Journal of Geosciences*, 8(9), 7059-7071.
51. Rahmati, O., Pourghasemi, H. R., & Melesse, A. M. (2016). Application of GIS-based data driven random forest and maximum entropy models for groundwater potential mapping: a case study at Mehran Region, Iran. *Catena*, 137, 360-372.

52. Ren, Y., Li, Z., Li, J., Ding, Y., & Miao, X. (2022). Analysis of land use/cover change and driving forces in the Selenge River Basin. *Sensors*, 22(3), 1041.
53. Saaty, T. L. (1977). A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of mathematical psychology*, 15(3), 234-281.
54. Şener, Ş., Sener, E., & Karagüzel, R. (2011). Solid waste disposal site selection with GIS and AHP methodology: a case study in Senirkent–Uluborlu (Isparta) Basin, Turkey. *Environmental monitoring and assessment*, 173(1), 533-554.
55. Stephens, T. (2017). *Manual on small earth dams*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
56. Sukhbaatar, C., Sodnom, T., & Hauer, C. (2020). Challenges for hydropowering mitigation in an ice-covered river: A case study of the Eg hydropower plant, Mongolia. *River Research and Applications*, 36(8), 1416-1429.
57. Sun, B., Yang, Z., Zhao, S., Shi, X., Liu, Y., Ji, G., & Huotari, J. (2023). Water balance analysis of Hulun Lake, a semi-arid UNESCO wetland, using multi-source data. *Remote Sensing*, 15(8), 2028.
58. Sun, H., Krysanova, V., Gong, Y., Gao, M., Treu, S., Chen, Z., & Jiang, T. (2024). The recent trends of runoff in China attributable to climate change. *Climatic Change*, 177(11), 159.
59. UNESCO. (2023). Imminent Risk of a Global Water Crisis, *Warns the UN World Water Development Report 2023*.
60. Wang, L., Zhu, M., Zhong, Y., Sun, J., & Peng, Z. (2024). Impacts of artificial dams on terrestrial water storage changes and the Earth's elastic load response during 1950–2016: A case study of medium and large reservoirs in Chinese mainland. *Geodesy and Geodynamics*, 15(3), 252-263.
61. Xu, N., Lu, H., Li, W., & Gong, P. (2024). Natural lakes dominate global water storage variability. *Sci. Bull*, 69(8), 1016-1019.
62. Xu, S., Wang, J., Altansukh, O., & Chuluun, T. (2023). Spatial-temporal pattern of desertification in the Selenge River Basin of Mongolia from 1990 to 2020. *Frontiers in Environmental Science*, 11, 1125583.