

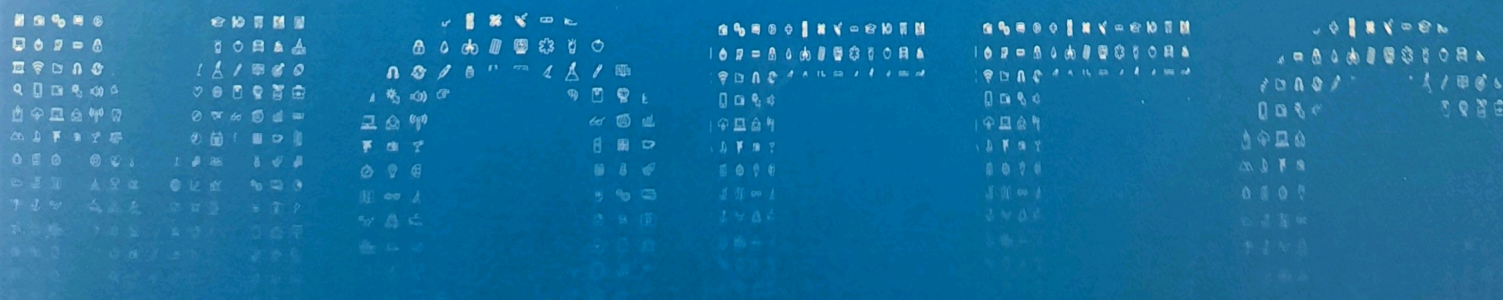


МОНГОЛ УЛСЫН ШИНЖЛЭХ УХААНЫ АКАДЕМИ
ГАЗАРЗҮЙ, ГЕОЭКОЛОГИЙН ХҮРЭЭЛЭН

МОНГОЛ ОРНЫ ГАЗАРЗҮЙ-ГЕОЭКОЛОГИ

ЭРДЭМ ШИНЖИЛГЭЭНИЙ СЭТГҮҮЛ

№42



ГАРЧИГ

НЭГДҮГЭЭР БҮЛЭГ. СУУРЬ СУДАЛГАА /Газарзүй, геоэкологи, орчин судлалын суурь судалгааны үр дүн болон судалгааны арга зүйн асуудал/

Хотын газрын бүрхэвчийн өөрчлөлтийг хиймэл оюуны арга, Марковын хэлхээ ашиглан үнэлэх нь Г.Адъяа-Очир, Д.Амарсайхан, Ч.Болорчулуун, Э.Жаргалдалай, А.Мөнх-Эрдэнэ, Г.Цогзол	1
Хангайн нурууны Сангийн Далай, Ойгон, Бүст нууруудын хотгорын хэв шинжид Булнайн хагарлын нөлөө Э.Алтанболд, Х. Уламбадрах, Б.Даариймаа, Н.Мөнх-Оргил, Я.Гансүх, Г.Юмчмаа ...	9
Шарын голын усны горим, урсацын өөрчлөлт Х. Бадарч, Б. Даваажаргал, М.Энхтуяа	24
Ландшафтын төрлийн ангилал, зураглалын аргазүйн асуудал Ц.Батням, М.Пүрэвсүрэн	32
Монгол орны төв хэсгийн хөрсний органикийн өөрчлөлт, уур амьсгал, мал аж ахуйн нөлөө О.Батхишиг, Г.Бямбаа, Т.Тэлмэн, Г.Элбэгзаяа	39
Буянт голын адаг орчмын тариалангийн хөрсний шинж чанар, өөрчлөлт Д.Батцэцэг, Ч.Лхагвасүрэн, О.Батхишиг, Д.Даш, С.Хадбаатар, А.Отгонзориг	48
Бүс нутгийн хүн ам, нийгмийн үндсэн үзүүлэлтүүдийн харьцуулсан судалгаа М.Баяржаргал, Б.Золжаргал	58
Сэлэнгэ аймгийн газрын бүрхэвчийн өөрчлөлт Н.Болдбаатар, А.Хауленбек, Ц.Наранцацрал, Н.Мандах, Д.Сайнбаяр, Г.Данзанчадав	68
Улаанбаатар хотын дулаан арлын оронзайн тархалтын өөрчлөлтийг илрүүлэх нь Б.Бямбадолгор, Г.Одонтуяа, Д.Амарсайхан	75
Төв аймгийн Борнуур сумын бэлчээрийн даац, ургамлын зүйлийн бүрэлдэхүүн Х.Золзаяа, Т.Даваагатан	83
Sentinel-2A хиймэл дагуулын мэдээ ашиглан газрын бүрхэвч болон газар ашиглалтыг машин сургалттай аргаар ангилсан дүн Э.Жаргалдалай, А.Мөнх-Эрдэнэ, Д.Амарсайхан, Г.Адъяа-Очир, Э.Батдорж	79
Хамгийн бага квадратын регрессийн загварыг ашиглан бэлчээрийн биомассын орон зайн тархалтыг тооцох О.Мөнхдулам, Ж.Гантуяа, Ц.Батням, Б.Чимэддорж	100

Ойн түймрийн эрсдэлийн үнэлгээг ЗТС болон ГМС ашиглан зурагласан дүн (Архангай аймгийн Цэнхэр сумын “Үйзэн Хайрхан” ойн нөхөрлөлийн жишээн дээр) Б.Мөнхтуяа, А.Мөнх-Эрдэнэ	113
Улаанбаатар хотын агаар дахь нарийн ширхэглэгт тоосонцрын (PM_{2.5}) химийн найрлага Д.Нармандах, Ө.Билгүүн, Н.Амгалан, Т.Энхдөл, А.Дэлгэржаргал, Б.Бархасрагчаа, Ц.Соёл-Эрдэнэ	123
Радарын мэдээ ашиглан объектод суурилсан аргаар газрын бүрхэвчийг ангилах нь Э.Нямжаргал, Д.Амарсайхан	133
Багануур дүүргийн газар доорх усны чанарын судалгаа Б.Оюун-Эрдэнэ, Г.Үүрийнтуяа, Б.Рэнчинбуд	141
Улаанбаатарын хотын ногоон бүсийн хушин ойн төлөв байдлын судалгааны дүн Б.Удвал, Д.Цэндсүрэн, Г.Батсайхан, А.Баяртулга	151
Монгол орны авто замын сүлжээний орон зайн дүн шинжилгээ Г.Урантамир, М.Алтанбагана	163
Улаанбаатар хотын хотжилтын түвшинд нөлөөлөгч хүчин зүйлсийн судалгаа Д.Цолмон, Г.Гантулга, Ц.Базарханд, Д.Дорлигжав, Э.Алтанболд, Т.Дөлгөөн	173
Хот орчмын ойн моддын төлөв байдал Д.Цэндсүрэн, Н.Цагаанцоож, Г.Нандин-Эрдэнэ, С.Амартүвшин	185
Загийн (<i>Haloxylon ammodendron</i> C.A.Mey) Bunge ex Fenzl үрийн хэмжээ тарьцны өсөлт, биомассын хуримтлалд нөлөөлөх нь Ц.Энхчимэг, Б.Сэр-Оддамба, А.Хауленбек, Л.Жанчивдорж, Ge erma, Г.Гармаа, Н.Батхүү	194
ХОЁРДУГААР БҮЛЭГ. ХАВСАРГА СУДАЛГАА /Байгаль орчны менежмент, төлөвлөлт болон үнэлгээ/	
Монгол улсын радарын атлас хийх аргачлал Д.Амарсайхан, Э.Нямжаргал, Д.Энхжаргал, Г.Цогзол	209
Улсын зэрэглэлтэй Хөгжлийн стратегийн төв хотын нийгэм, эдийн засгийн нөлөөлөл-таталцлын кластерын бүсийг тодорхойлох асуудал: Дархан хотын жишээн дээр М.Алтанбагана, П.Цэенханд, Д.Хишигдорж	217
2045 он хүртэл хүн амын өсөлтийг Улаанбаатар хотод тогтвортой хадгалах, улсын зэрэглэлтэй хөгжлийн стратегийн төв хотуудад түлхүү суурьшуулах хүн амын хэтийн тооцоо М.Алтанбагана, М.Баяржаргал	228

Монгол орны нуурын судалгааны хөгжлийн тойм шинжилгээ Э.Алтанболд, Х.Уламбадрах, Д.Даш	240
Хүн амын нутагшилт, суурьшилд зориулсан экологи-геологийн чадавхын үнэлгээ Т.Даваагатан, Э.Авирмэд	256
Ойжуулалт, ойг нөхөн сэргээх мужлал боловсруулах судалгаа Ц.Дашзэвэг, Э.Батдорж, Б. Хосбаяр, А.Мөнх-Эрдэнэ	265
Цөлжилт, газрын доройтлын үнэлгээнд хөрсний ширхгийн бүрэлдэхүүний (TGSi) индексийг ашиглах нь О. Ишцог, Б. Бямбасүрэн, А. Хауленбек	276
Бага, дунд боловсролын салбарын сургалтын байгууллагын хэв шинж, байршлыг бүсчилсэн хөгжилтэй уялдуулан төлөвлөх асуудалд Ц.Отгонхүү, М.Алтанбагана	283
Газар ашиглалтын хэрэгцээт болон тохиромжтой байдлын үнэлгээнд суурилан хот суурин газрын тэлэлтийг тодорхойлох нь (Дархан-Уул аймгийн жишээн дээр) Ц.Наранцацрал, Ц.Ихбаяр, Н.Болдбаатар, Г.Данзанчадав, А.Түрүүтүвшин	296
Нүүрсхүчлийн хий (CO₂) болон метан (CH₄) хийн агууламжийн орон зайн тархалт А.Саруулзаяа, Д.Сайнбаяр	303

ГУРАВДУГААР БҮЛЭГ. ТЕХНОЛОГИ, ИННОВАЦИЙН СУДАЛГАА

/Байгалийн нөөцийн ашиглалт, хамгаалалт, нөхөн сэргээлтийн технологи, болон инноваци/

Таримал нарсан ойн (<i>Pinus sylvestris</i> L.) нөөц, экологи-эдийн засгийн үр нөлөөг дээшлүүлэх асуудалд Г.Батсайхан, Ж.Цогтбаатар, М.Хишигт, Д.Батдорж, С.Гэрэлбаатар	315
Ойжуулахад тохиромжтой талбайг ЗТС ба ГМС-ийг ашиглан тодорхойлох аргазүйн судалгаа А.Мөнх-Эрдэнэ, Э.Жаргалдалай, Э.Батдорж, Д.Цэндсүрэн, Б.Удвал	326
Улаанбаатар хотын PM_{2.5} буюу нарийн ширхэгт тоосонцрын бохирдлын оргил үеийн тархалтын судалгаанд LUR загвар хөгжүүлэлт Э.Одбаатар, Ч.Сономдагва, Г.Очирбат, Б.Баянжаргал, Х.Золзаяа	337
Бэлчээрийг нөхөн сэргээх туршилт судалгаа /Булган аймгийн Гурванбулаг сумын жишээн дээр/ А.Түрүүтүвшин, М.Уртнасан, Д.Сайнбаяр, Ц.Наранцацрал	347
Туул голын эхийн сав газрын усны нөөцийг InVEST загвараар тооцоолох нь М. Пүрэвсүрэн, Ц.Батням	357

InVEST model-based estimation of water yield in Upper Tuul river basin

Purevsuren Munkhtur^{1,*}, Batnyam Tseveengerel¹

¹*Division of Physical Geography and Environmental Study, Institute of Geography and Geoecology, Mongolian Academy of Sciences, Ulaanbaatar, Mongolia*

*Corresponding author email: purevsurenm@mas.ac.mn

ABSTRACT

The estimation and mapping of water yield are of significant importance to the effective planning and management of water resources in Mongolia. In this study, we quantified and assessed the water yield of the Upper Tuul river basin using the Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs (InVEST) Water yield model. The aim of this study was to test whether it is possible to estimate the water yield of the selected research area using the model. The required input data included land use and land cover, average annual precipitation and potential evapotranspiration, soil depth, and plant available water content. In addition, those data were obtained from Landsat 8, Climate Hazards Group Infrared Precipitation with Station data (CHIRPS), MODIS Global Terrestrial Evapotranspiration Product (MOD16), and International Soil Reference and Information Centre (ISRIC) database. Finally, we generated spatial distribution maps namely mean actual evapotranspiration (mm), mean water yield (mm), the volume of water yield (km³) by pixel within the research area.

According to the modelling results, the estimated value for the average annual precipitation was 295.08 mm, and 827.09 mm for potential evapotranspiration, 229.13 mm for average actual evapotranspiration, 55.89 mm and 0.43 km³ for water yield within the study area, respectively. The result was slightly higher (15.1 mm) in the terms of the average actual evapotranspiration compared to the results of previous studies, conducted in the same research area, and also it has influenced for reducing the potential water yield in the study area. However, the InVEST (Water Yield) model can be used for future research studies concerning water yield and resource in river basins since it is possible to further improve the model results by using in-situ measurement data and satellite products with high spatial accuracy as input data.

Keywords: *InVEST water yield model, Upper Tuul river basin, CHIRPS, MOD16A3, MCD12Q1*

Туул голын эхийн сав газрын усны нөөцийг InVEST загвараар тооцоолох нь

Пүрэвсүрэн Мөнхтөр^{1,*}, Батням Цэвээнгэрэл¹

¹Физик Газарзүй, Орчин Судлалын Салбар, Газарзүй, Геоэкологийн Хүрээлэн, Шинжлэх Ухааны Академи, Улаанбаатар, Монгол

*Холбоо барих зохиогчийн цахим хаяг: purevsurenm@mas.ac.mn

ХУРААНГУЙ

Усны нөөцийг тогтоох, зураглах судалгаа нь Монгол орны усны нөөцийн менежмент болон үр ашигтай төлөвлөлт зэрэгт чухал ач холбогдолтой юм. Энэхүү судалгаагаар Туул голын эхийн сав газрын усны нөөцийг тооцоолоход InVEST (Water Yield) загварыг ашигласан бөгөөд судалгааны сонгосон бүс нутагт болон цаашид усны нөөцийг тооцох судалгааны ажилд тус загварыг ашиглах боломжтой эсэхийг шалгах, үнэлэлт дүгнэлт өгөхийг зорьсон. Загварын шаардлагатай оролтын мэдээнүүд болох газар ашиглалт, газрын бүрхэвчийн мэдээ, жилийн дундаж хур тунадас болон боломжит ууршилт, хөрсний гүн, ургамалд ашиглагдах боломжит ус чийгийн агууламж зэрэг растер мэдээнүүдийг Ландсат 8, CHIRPS, MOD16 хиймэл дагуулын бүтээгдэхүүн болон ISRIC олон улсын хөрсний мэдээллийн сангаас бүрдүүлэн боловсруулав. InVEST (Water Yield) загварын үр дүнд судалгааны талбайн хүрээнд жилд дунджаар алдагдаж буй бодит ууршилт (мм) болон дунджаар үүсэн бүрэлдэж буй усны нөөц (км³), урсцын давхрааны хэмжээг (мм) тооцож, зураглав.

Судалгааны үр дүнгээс үзэхэд судалгааны талбайн хүрээнд жилийн дундаж хур тунадасны хэмжээ 295.08 мм, боломжит ууршилтын хэмжээ 827.09 мм, бодит ууршилтын хэмжээ 229.13 мм, үүсч бүрэлдэх боломжтой гадаргын урсцын давхраа дунджаар 55.89 мм, усны нөөц 0.43 км³ орчим тус тус байна. Тус үр дүнг бусад судлаачдын холбогдох судалгааны үр дүнгүүдтэй харьцуулан авч үзэхэд жилийн дундаж ууршилтын хэмжээ бага зэрэг их (15.1 мм) гарсан нь тухайн сав газарт бүрэлдэх боломжит урсцын давхрааг багасгахад нөлөөлсөн. Иймд InVEST (Water Yield) загварын оролтын мэдээнүүдэд олон жилийн хэмжилтийн мэдээг ашиглах эсвэл орон зайн нарийвчлал сайтай бүтээгдэхүүн, мэдээг ашиглах замаар тус загварыг сав газрын урсцын давхраа, нөөцийг тооцоолох судалгааны ажлуудад ашиглах бүрэн боломжтой гэж үзэж байна.

Түлхүүр үгс: InVEST Water Yield загвар, Туул голын сав газар, CHIRPS, MOD16A3, MCD12Q1

1. ОРШИЛ

Цэвэр усны хангамж нь нийгмийн сайн сайханд хувь нэмэр оруулах, усалгаатай газар тариалангийн хөгжил, хүн амын

өсөлт, амьжиргааны түвшин, аж үйлдвэр, аялал жуулчлалын үйл ажиллагааг хангахад нэн чухал экосистемийн үйлчилгээний хэлбэр юм [1]. Иймд усны нөөц, хангамжийг тооцоолон

зураглах нь усны нөөцийн менежмент, усан цахилгаан станц барих зэрэг дэд бүтцийн болон төлөвлөлтийн асуудлуудад чухал ач холбогдолтой. Гэсэн хэдий ч аливаа сав газрын урсац бүрэлдэх үйл явц нь дан ганц хүчин зүйлээс бус хур тунадасны эрчим, хөрсний ус шингээх чадвар, нэвчилт, гадаргын налуу, зүг зовхис, ургамалжилтын төлөв байдал, газар ашиглалтын хэв шинж зэрэг олон байгалийн хүчин зүйлсээс шалтгаалдаг тул урсац, усны нөөц, гарцыг тооцоолох нь нэлээд нарийн ярвигтай судалгаа юм. Тэгвэл орчин үеийн газарзүйн мэдээллийн систем, зайнаас тандан судлалын арга технологид суурилсан Soil and Water Assessment Tool (SWAT) [2] болон Precipitation Runoff Modeling System (PRMS) [3] гэсэн экосистемийн болон гидрологийн загварууд нь сав газрын хэмжээнд гидрологийн процессуудыг нэгтгэсэн байдлаар нарийвчлан тооцоолж зураглах, газар ашиглалтын хэлбэрийн болон уур амьсгалын өөрчлөлтөөс үүдэлтэйгээр тухайн сав газарт үүсэж буй нөлөөлөл, түүний эрчмийг тооцоолох боломжийг бий болгож байна.

Монгол орны усны сав газруудын хүрээнд усны өнгөрөлт, урсцын олон жилийн хэмжилтийн мэдээ болон RIBASIM, HBV, HEC-Geo HMS зэрэг зарим загваруудыг ашиглан усны нөөцийг тооцоолох судалгааны ажлууд хийгдсээр ирсэн. Харин бид энэхүү судалгааны ажлаар усны нөөцийн загварыг судалгааны сонгосон бүс нутагт хэрэглэх боломжтой эсэхийг шалгахын үүднээс InVEST (Water Yield) загварыг ашигласан бөгөөд ингэснээр экосистемийн үйлчилгээний бусад хэлбэрүүдийг үнэлэх цаашдын судалгааны үндэс суурь болох юм. Тус загварыг байгаль орчны шийдвэр гаргах үйл явцад дэмжлэг үзүүлэх, экосистемийн үйлчилгээний үнэ цэнийг үнэлэх зорилгоор 2007 онд Стэнфордын их сургуулийн Natural Capital төсөл, Дэлхийн байгаль

хамгаалах сан, Зэрлэг амьтдыг хамгаалах сан, Де Нэйчэ Консерванси байгууллагын мэргэжилтнүүд хамтран боловсруулсан бөгөөд тус загвар нь үнэгүй, нээлттэй эхийн программ хангамжийн загваруудын багц юм. InVEST (v3.9.2) загвар нь нийт 19 дэд загвараас бүрдэх бөгөөд үүнээс уг судалгаанд ашигласан усны нөөцийг үнэлэх загвар (Water Yield model) нь устай холбоотой экосистемийн хангамжийн, зохицуулах, дэмжих үйлчилгээг үнэлэхэд ашиглагдах суурь үндсэн загвар юм [4].

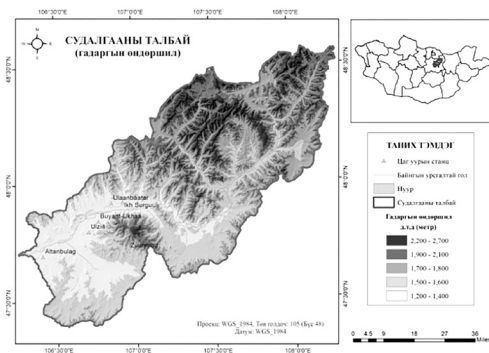
InVEST (Water Yield) загварын үр дүн, зураглал нь цэгэн бус торлол (gridded) хэлбэртэй, орон зайн хамрах хүрээний хувьд уян хатан, анхдагч үр дүнг боловсруулахад зайлшгүй урсцын олон жилийн хэмжилтийн мэдээг шаарддаггүй зэргээрээ давуу талтай хэдий ч оролтын мэдээний утгын багахан өөрчлөлт, хэлбэлзлээс хамаарч үр дүнд мэдэгдэхүйц өөрчлөлт гардаг, орон зайн нарийвчлал сайтай оролтын мэдээг бэлтгэн боловсруулах зэрэг шаардлагууд нь загварын сул тал байж болох юм. InVEST загварыг усны нөөцийн судалгаанд ашигласан үр дүнг олон улсын мэргэжлийн сэтгүүлд хэвлүүлсэн нийт 527 эрдэм шинжилгээний өгүүлэл бүртгэгдсэн нь тус загварын үнэмшилтэй байдал, шинжлэх ухааны ач холбогдлыг илэрхийлж байна. Гэвч дотоодын судлаачдын хувьд тус загварыг судалгаандаа ашигласан зөвхөн 2 эрдэм шинжилгээний өгүүлэл 2021 оны байдлаар олон улсад хэвлэгдсэн нь тус загварын бэлчээрийн [5] болон амьдрах орчны чанарын [6] дэд загваруудыг зүгшрүүлэн ажиллуулсан судалгааны ажлууд байсан. Иймд InVEST загварын Water Yield буюу усны нөөцийн дэд загварыг Монгол орны нутагт зүгшрүүлэн, цаашдын усны нөөцийн судалгаанд ашиглах боломжийг анхлан эрэлхийлж буй нь уг судалгааны ажлын шинэлэг тал юм. Түүнчлэн усны нөөцийн үнэлгээг тус загвараар тооцоолох боломжтой болсноор

аливаа сав газрын хүрээнд усны нөөцийг тооцоолох, урсцын жилийн болон улирлын хуваарилалт, горимыг тогтоох, үерийн урсцыг тооцоолж, эрсдэлийн үнэлгээг тодорхойлох зэрэг цаашдын судалгааны ажлуудыг гүйцэтгэх боломжтой болоход уг судалгааны ажил нь онол практикийн хувьд чухал ач холбогдолтой юм.

2. СУДАЛГААНЫ МАТЕРИАЛ, АРГАЗҮЙ

2.1. Судалгааны талбай

Судалгааны талбай нь Туул голын сав газрын дээд хэсэг орчмын ЗУ106°15'-108°18', ХӨ47°23'-48°33' газарзүйн солбицол бүхий газар нутгийг хамарсан болно (Зураг 1).



Зураг 1. Судалгааны талбай

Туул голын сав газрын дээд хэсгийн орчмын газар нутаг нь хагас хуурай, суб-арктикийн нөхцөл бүхий уулархаг нутагт орших тул гадаргын урсац бүрэлдэхэд чухал ач холбогдолтой бүс нутаг юм [7]. Тус бүс нутагт жилийн дундаж агаарын температур Буянт-Ухаа орчимд -2.0°C, Улаанбаатар орчимд -0.4°C, Тэрэлж орчимд -3.3°C байх бол жилийн нийлбэр хур тунадасны хэмжээ Буянт-Ухаа орчимд 252.9 мм, Улаанбаатар 275.0 мм, Тэрэлж орчимд 225.3 мм байна [8].

Туул-Улаанбаатар ус судлалын харуулын олон жилийн хэмжилтийн

мэдээнээс үзэхэд тус бүс нутагт орох хур тунадасны хэмжээ жилд 335 мм бөгөөд үүний 214 мм орчим нь ууршилт хэлбэрээр алдагдаж нийт урсцын 68% (урсцын давхраа 82 мм) нь гадаргын урсцаас бүрддэг [9].

2.2. “InVEST water yield” загвар

Усны нөөцийн загвар нь Будькогийн муруй [10] ба жилийн дундаж хур тунадасны хэмжээнд суурилдаг. Загварчлалын явцад ландшафтын х пиксел бүрт бүрэлдэн тогтох жилийн усны нөөцийг $Y(x)$ дараах байдлаар тодорхойлдог.

$$Y(x) = \left(1 - \frac{AET(x)}{P(x)}\right) * P(x) \quad (1)$$

$AET(x)$ нь x пиксел дэх жилийн дундаж бодит ууршилтын утга, $P(x)$ нь x пиксел дэх жилийн дундаж хур тунадасны утга юм. Ургамалжсан талбай, ургамлын бүрхэц бүхий газар ашиглалт, газрын бүрхэвчийн хэв шинжийн хувьд (LULC), тухайн сав газар дахь $AET(x)$ -г балансад эзлэх ууршилтын хэсэг нь, $P(x)$, Fu (1981) and Zhang (2004) зэрэг судлаачдын судалгааны үр дүн, Будькогийн муруйнд үндэслэсэн болно.

$$\frac{AET(x)}{P(x)} = 1 + \frac{PET(x)}{P(x)} - \left[1 + \left(\frac{PET(x)}{P(x)}\right)^w\right]^{1/w} \quad (2)$$

$PET(x)$ нь боломжит ууршилт бол $w(x)$ нь байгаль, цаг уур, хөрсний шинж чанарыг тодорхойлдог физикийн бүс үзүүлэлт юм. Боломжит ууршилт $PET(x)$ нь дараах хэлбэрээр тодорхойлогдоно:

$$PET(x) = K_c(l_x) * ET_0(x) \quad (3)$$

$ET_0(x)$ нь x пиксел дэх бодит ууршилтын утга, $K_c(l_x)$ нь x пиксел дэх газар ашиглалт, газрын бүрхэвчийн хэв шинж l_x -ээс хамаарсан ургамлын ууршилтын коэффициент (plant evapotranspiration coefficient) юм. $ET_0(x)$ -ын утга нь тухай бүс нутгийн уур амьсгалын нөхцөлийг илэрхийлнэ. $K_c(l_x)$ нь тухайн пиксел дээрх газрын ашиглалт/

газар бүрхэвчийн ургамлын шинж чанараар ихээхэн тодорхойлогддог [11]

K_c нь ET_0 –ын утгыг пиксел тус бүр дэх газар ашиглалт/газар бүрхэвчийн хэв шинжэд харгалзах газар тариалан эсвэл ургамлын төрөлд тохируулж өөрчлөн хувиргадаг чухал параметр юм.

$w(x)$ нь $\frac{AWC \cdot N}{P}$ бүхий шугаман функцаар илэрхийлэгдэх боломжтой туршилтын параметр бөгөөд N нь жил тохиолдох хур бороотой үзэгдлийн тоо, AWC нь ургамалд ашиглагдах хөрсөнд агуулагдаж буй ус, чийгийн хэмжээ (мм) юм. Тус загварын хувьд $w(x)$ -ийг тооцоход [12] нарын судалгааны үр дүнд тодорхойлсон доорх томъёог ашигладаг. Үүнд:

$$w_x = Z \frac{AWC(x)}{P(x)} + 1.25 \quad (4)$$

(x) нь ургамалд ашиглагдах хөрсөнд агуулагдаж буй ус, чийгийн хэмжээ (мм) юм. Хөрсний бүтэц, үндэсний гүн зэрэг нь тус үзүүлэлтийг тодорхойлоход чухал ач холбогдолтой тул (x) -ийг ургамалд ашиглагдах *боломжтойгоор* хөрсөнд агуулагдаж буй ус, чийгийн хэмжээ (PAWC) болон ургамлын үндсийг хязгаарлах хамгийн бага давхаргын гүн (Root restricting layer depth) ба ургамлын үндэслэх гүнээр тодорхойлно.

$$(x) = (Rest.layer.depth, root.depth) * PAWC \quad (5)$$

Z бол тухайн бүс нутгийн хур тунадасны нөхцөл болон нэмэлт гидрогеологийн шинж чанарыг тодорхойлдог эмпирик тогтмол бөгөөд заримдаа “улирлын хүчин зүйл”-ийг тодорхойлох параметр гэж нэрлэдэг. Тус тогтмол нь жил тохиолдох хур бороотой үзэгдлийн тоотой эерэг хамааралтай бөгөөд загварын хувьд 1.25-аас 30-ын хооронд утгыг авдаг. Т. R. McVicar [12] нарын тодорхойлсноор Z параметрийн хамгийн

бага утга (1.25) нь хөрсний үндэсний гүн 0 мм буюу нүцгэн хөрстэй газарт тохирно. Түүнчлэн загварын үр дүнд зүгшрүүлэлт хийх явцад ашиглах тохиромжтой утгын дээд хязгаарыг 5 хүртэл гэж тодорхойлсон байдаг [12]–[15].

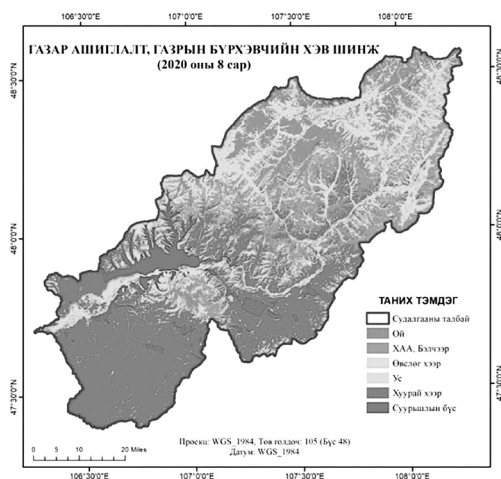
Ургамал нөмрөггүй газар ашиглалт, газрын бүрхэвчийн бусад хэв шинжүүдийн хувьд (усан гадарга бүхий болон намгархаг газрууд, хот суурин газрууд) бодит ууршилтын утгыг шууд бодит хэмжилтийн утгаас $ET_0(x)$ тодорхойлдог тул ууршилтын хэмжилтийн мэдээ байхгүй тохиолдолд загварын үр дүнд гарсан тооцооллууд тус газруудад тодорхойлсон утгагүй гардаг болно.

3. ОРОЛТЫН МЭДЭЭ БҮРДҮҮЛЭЛТ, БОЛОВСРУУЛАЛТ

“InVEST water yield” загварын оролтын мэдээнд газар ашиглалт, газрын бүрхэвч, хур тунадас, жилийн дундаж боломжит ууршилт, хөрсний гүн, ургамалд ашиглагдах боломжит хөрсний ус, чийгийн хэмжээ, сав газар болон дэд сав газрын растер болон вектор мэдээнүүд шаардлагатай [16]. Түүнчлэн газар ашиглалт, газрын бүрхэвчийн хэв шинж тус бүрд тодорхойлсон биофизикийн үзүүлэлтийн утга бүхий хүснэгтэн мэдээлэл мөн оролтын мэдээнд хамаарна.

3.1. Газар ашиглалт, газрын бүрхэвчийн хэв шинж

Судалгааны талбайн газар ашиглалт, газрын бүрхэвчийн хэв шинжийн мэдээг бэлдэхэд Landsat 8 хиймэл дагуулын 2020 оны 8-р сарын 26-ны мэдээнд сургалттай ангилал хийсэн. Судалгааны талбайд ойн бүрхэвч, хөдөө аж ахуйн бэлчээрийн, өвслөг хээр, хуурай хээр, усан гадарга бүхий гадарга болон суурьшлын бүс гэсэн 6 хэв шинжийг ялган тодорхойлов (Зураг 2).



Зураг 2. Газар ашиглалт, газрын бүрхэвчийн хэв шинж (Landsat 8 OLI)

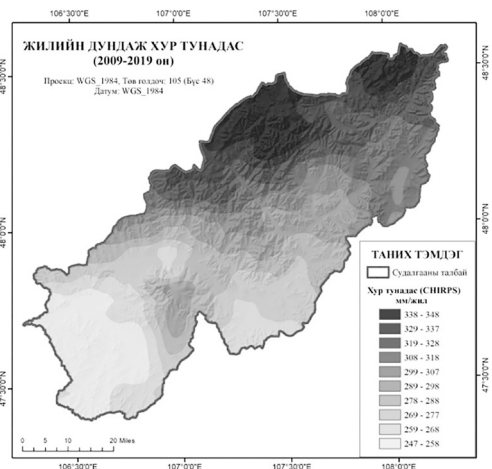
3.2. Хур тунадас

Жилийн дундаж хур тунадасны мэдээг бэлтгэн боловсруулахад USDA, NOAA, FEWS NET, NASA, USGS болон Climate hazards center UC Santa Barbara байгууллагуудын хамтран боловсруулсан CHIRPS (Climate Hazards Group Infrared Precipitation with Station data) өгөгдлийн сангийн мэдээг ашиглан судалгааны талбайн хүрээнд 2009-2019 онуудын дунджаар жилийн дундаж хур тунадасны мэдээг бэлтгэв (Зураг 3). CHIRPS мэдээ нь дэлхийн бөмбөрцгийн өргөргийн 50°S-50°N хооронд орших газар нутагт 1981 оноос хойш өнөөг хүртэл үргэлжлэх дэлхийн хур тунадасны мэдээллийн багц юм.

CHIRPS нь CHPclim, 0.05°-ийн орон зайн шийдэл бүхий хиймэл дагуулын зураг, суурин станцын өгөгдлийг нэгтгэж, хандлагын дүн шинжилгээ (trend analysis) хийх, улирлын чанартай ган гачигт хяналт тавих зорилгоор үүсгэсэн хур тунадасны урт хугацааны торлол (gridded data) бүхий мэдээ юм.

CHIRPS өгөгдлийн багц нь “ухаалаг” интерполяцийн арга техник, хэт улаан туяаны хүйтэн үүлний үргэлжлэх хугацааны (CCD) ажиглалтад суурилсан

өндөр нарийвчлалтай, урт хугацааны хур тунадасны тооцоолол бий болгох аргачлалд тулгуурладаг [17].



Зураг 3. Жилийн дундаж хур тунадас, мм (CHIRPS)

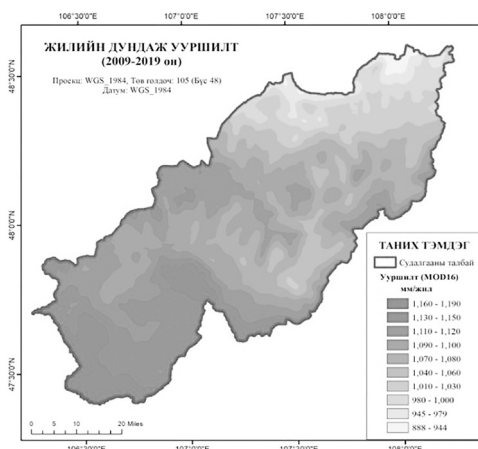
3.3. Боломжит ууршилт

Боломжит ууршилт (ЕТо) нь гидрологийн судалгаа, усны нөөц, усжуулалтын менежментэд хамгийн чухал үзүүлэлт юм. Пенман-Монтейтын арга нь боломжит ууршилтыг тооцоолох зөвшөөрөгдсөн нийтлэг стандарт арга боловч цаг уурын хэд хэдэн параметрийн утгыг шаарддаг. Хүнс, хөдөө аж ахуйн нийгэмлэгийн аргачлалд боломжит ууршилтыг тооцоолоход Пенман-Монтейтын аргыг баримтлахыг зөвлөдөг [11] хэдий ч тус арга нь нарны цацраг, агаарын температур, салхины хурд, харьцангуй чийгшил зэрэг хэд хэдэн цаг уурын параметрийн утгыг шаарддаг [18], [19]. Дээрх параметруудийн утгуудыг тодорхойлох, хэмжилтийг мэдээг бүрдүүлэх нь үнэ өртөг өндөртэй байдаг тул тус аргыг ашиглан ЕТ-ийг тооцоолох нь төвөгтэй байдаг. Иймд уг судалгааны хувьд MOD16 [20], [21] хиймэл дагуулын бүтээгдэхүүний “Боломжит ууршилт (РЕТ)” давхаргын мэдээнд шаардлагатай боловсруулалтыг хийж оролтын мэдээг бэлтгэв.

MOD16 бүтээгдэхүүн нь нийт ууршилт (ET), далд дулааны урсгал (LE), боломжит ууршилт (PET) болон боломжит далд дулааны урсгал (PLE) зэргийг багтаасан мэдээллийн багц юм. Тус бүтээгдэхүүн нь дэлхийн 109.03 сая.км² ургамалжилттай газар нутгийн 1км² нутаг дэвсгэр бүрт газрын гадаргын ууршилтын мэдээллийн багцыг 8 хоног, сар, жилийн давтамжтайгаар бүрдүүлдэг. MOD16 бүтээгдэхүүний үндсэн арга, аргазүй [21], [22] нь Пенман-Монтейтын аргачлалыг (Monteith, 1965) ашигладаг бөгөөд зайнаас тандан судлах өгөгдлийг, цаг уурын хэмжилтийн мэдээлэлтэй хамтад нь дахин дүн шинжилгээ хийж хослуулснаараа үр дүнг боловсруулдаг онцлогтой.

Хүснэгт 1. MOD16 бүтээгдэхүүн [20]

Бүтээгдэхүүн	MOD16A3GF.006
Хугацаа	2000-02-18 –одоо
Орон зай	Дэлхийн хэмжээнд
Координатын систем	Синусоид
Хамрах хүрээ	1200 км x 1200 км
Давхаргын тоо	5
Пикселийн хэмжээ	500 м
PET_500 m	0.1 (Scale factor)

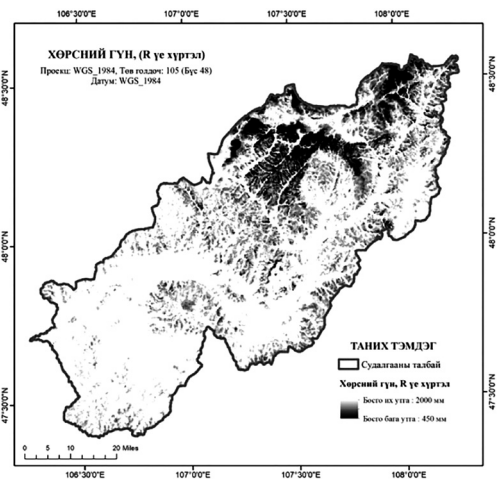


Зураг 4. Жилийн дундаж ууршилт, мм (MOD16)

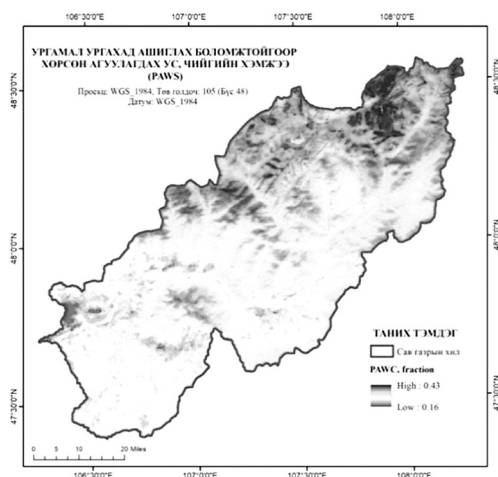
Энэхүү судалгаанд MOD16 бүтээгдэхүүн 2009-2019 онуудын жилийн мэдээг ашиглан судалгааны талбайн хүрээнд жилийн дундаж ууршилтыг мэдээг боловсруулав (Зураг 4). Тус бүтээгдэхүүнд проекц, өргөтгөл, пикселийн шаардлагагүй утгуудыг хасах зэрэг боловсруулалтыг MODIS reprojection tools (MRT), болон Arc GIS 10.5 ашиглан гүйцэтгэсэн.

3.4. Хөрсний гүн, ургамалд ашиглагдах боломжит ус, чийгийн хэмжээ

Ургамлын үндсийг хязгаарлах хөрсний давхаргын гүнийг (Root restricting layer depth) тухайн хөрсний физик, химийн шинж чанараас шалтгаалан ургамлын үндэс нэвтрэн орохыг хязгаарлаж эхэлж буй хөрсний гүнээр тодорхойлдог. Харин ургамалд ашиглагдах боломжтойгоор хөрсөнд агуулагдаж буй ус, чийгийн хэмжээг (Plant available water content) “field capacity” болон “wilting point”-ын харьцаагаар тодорхойлдог.



Зураг 5. Хөрсний гүн, R үе хүртэл (ISRIC)/



Зураг 6. Ургамал ургахад ашиглагдах боломжит хөрсөн дэх ус, чийгийн хэмжээ (ISRIC)

Тус үзүүлэлтүүдийг судалгааны талбайд илэрч буй хөрсний хэв шинж бүрт тодорхойлсон нарийвчилсан судалгааны үр дүн, мэдээ материал дутмаг байсан тул Natural Capital төслийн орон зайн мэргэжилтэн Stacie Wolny-гийн зөвлөснөөр ISRIC (International Soil Reference and Information Centre)-ийн мэдээллийн сан дахь а) хөрсний R үе хүртэлх хөрсний гүн (Зураг 5), б) хөрсний 10 см үе дэх хөрсний усны боломжит багтаамж (Зураг 6) гэсэн 250 метрийн орон зайн нарийвчлалтай мэдээнүүдэд боловсруулалт хийж, оролтын мэдээгээр ашиглав.

3.5. Биофизикийн параметрууд

Судалгааны талбайн газар ашиглалт, газрын бүрхэвчийн тодорхойлсон хэв шинжүүдийн хувьд хамаарах Kc (ургамал бүрхэвчийн ууршилтын коэффициент), Root_depth (ургамлын үндсийг хязгаарлах хөрсний давхаргын гүн) параметруудийн утгыг Хүснэгт 2-т үзүүлэв.

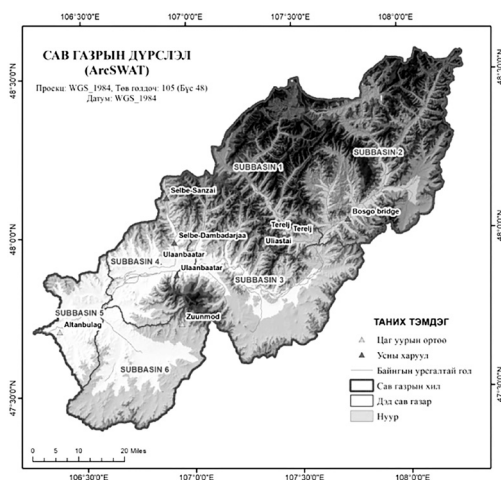
Хүснэгт 2. Биофизикийн параметрууд

Lu code	Description	Root_depth	Kc	LULC veg
1	Forest	3500	1.055	1

2	Grassland	2000	0.865	1
3	Rangeland	3500	1.008	1
4	Water	10	1.05	0
5	Dry steppe	1000	0.58	1
6	Settlement	500	0.2	0

3.6. Сав газрын дүрслэл

Судалгааны талбайн сав газрын болон дэд сав газрын хилийг тогтоож, зураглахад ArcSWAT загварыг ашиглав. Туул-Алтанбулаг усны харуулын байршлыг судалгааны талбайн эхлэл цэгээр сонгож ArcSWAT загвараар сав газрын дүрслэлийг тооцоход судалгааны талбайн хүрээнд нийт 6 дэд сав газар ялгарсан (Зураг 7, Хүснэгт 3).



Зураг 7. Сав газрын дүрслэл (Arc SWAT загвар)

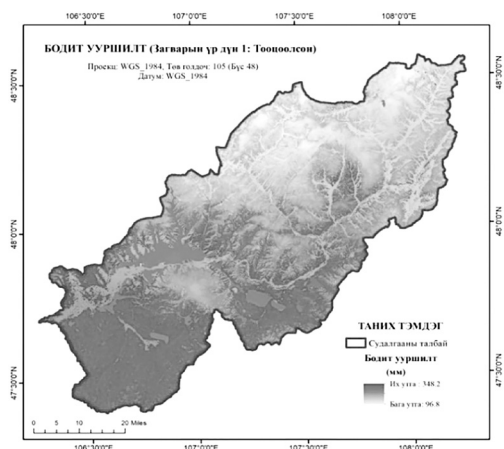
4. СУДАЛГААНЫ ҮР ДҮН БА ХЭЛЭЛЦҮҮЛЭГ

“InVEST water yield” загварыг Туул голын сав газрын эхэн хэсгийн судалгааны талбайд газар ашиглалт, газрын бүрхэвч, хур тунадас, жилийн дундаж боломжит ууршилт, хөрсний гүн, ургамалд ашиглагдах боломжит хөрсний ус, чийгийн хэмжээ зэрэг оролтын мэдээнүүдэд үндэслэн биофизикийн болон Z параметруудийн утгыг өөрчлөх замаар зүгшрүүлэн ажиллуулав. Загварын үр дүнд судалгааны талбайн сав газрын хил болон

ArcSWAT загварын хүрээнд тодорхойлсон 6 дэд сав газрын хүрээнд хур тунадас, боломжит ууршилт, бодит ууршилт болон усны нөөц (м^3), урсцын давхраа (мм) зэрэг үзүүлэлтүүдийн дунджыг тооцоолон гаргасан (Хүснэгт 4).

Хүснэгт 3. Дэд сав газрууд, талбай

ID*	Хур тунадас мм	Талбай, км^2
1	Тэрэлж голын сав газар	1309.49
2	Туул голын эх	2695.23
3	Сэлбэ-Улиастай	2272.96
4		1053.25
5	Туул Алтанбулаг 6	591.72
6	Бүхэг-Түргэний гол	1343.13
Нийт судалгааны талбай		9265.78

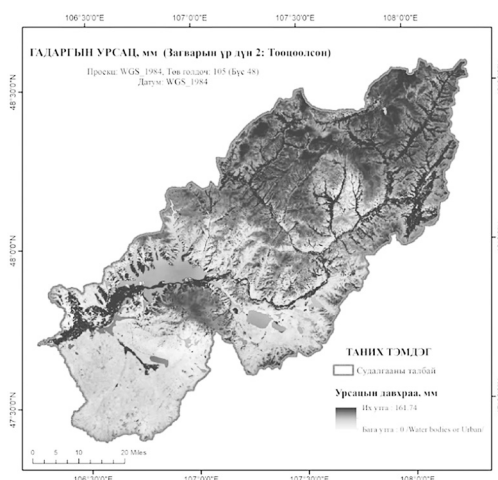


Зураг 8. Бодит ууршилт
(загвараар тооцоолсон утга)

Судалгааны талбайн хүрээнд загварын үр дүнд тооцоолсноор жилийн дундаж хур тунадасны хэмжээ 295.08 мм, боломжит ууршилтын хэмжээ 827.09 мм, бодит ууршилтын дундаж хэмжээ 229.13 мм, үүсч бүрэлдэх боломжтой гадаргын урсцын давхраа дунджаар 55.89 мм, усны нөөц (гарц) 0.43 км^3 байна.

Хүснэгт 4. Загварын үр дүн, сав газраар

№	Хур тунадас мм	РЕТ мм	АЕТ мм	У/ давхраа мм	У/ нөөц км^3
1	326.4	1022.3	300.8	25.51	0.03
2	317.8	989.8	289.3	28.42	0.08
3	284.6	811.6	229.1	55.43	0.13
4	283.6	752.5	236.2	47.31	0.05
5	258.6	805.4	199.3	59.14	0.03
6	261.5	679.8	183.8	77.73	0.10



Зураг 9. Гадаргын урсацын давхраа
(Загвараар тооцоолсон утга)

Судлаач Г.Даваа нарын [9] Туул-Улаанбаатар харуулын олон жилийн хэмжилтийн мэдээнд үндэслэн тооцоолсноор тус сав газарт жилд 335 мм хур тунадас орж, 214 мм нь эргээд ууршдаг. Нийт урсцыг бүрдүүлэхэд гадаргын урсац 82 мм (нийт урсцын 68 хувийг бүрдүүлдэг), газрын доорх урсац 39 мм (нийт урсцын 32 хувийг бүрдүүлдэг) орчим байдаг байна. Түүнчлэн Г.Даваа, Д.Оюунбаатар, С.Төмөрчөдөр, З.Мөнхцэцэг нарын судалгааны дүнгээс үзэхэд [23] тус сав газарт жилд дунджаар 62.1-403.6 мм хур тунадас унах ба үүний 48.4 хувь (30.05-

195.34 мм) нь нийлбэр ууршилт үлдэх 51.6 хувь (32.04-208.26 мм) нь гадаргын болон газрын доорх усны тэжээл болно гэж тодорхойлсон байна. Мөн тус судлаач нар Туул голоос дээш сав газрын эх хэсгийн усны балансыг дараах байдлаар томъёолсон байна.

$Q_{127.5 \text{ мм}} = P_{246.7 \text{ мм}} - ET_{119.3 \text{ мм}}$ [23]

Усны нөөц, гарцын хувьд Туул голын сав газар, түүний дэд сав газруудын хүрээнд нарийвчлан тооцоолсон судалгааны мэдээ, тоо баримт хомс хэдий ч Нийтийн аж ахуй, үйлчилгээний байгууллагаас (НААҮ) 2008 онд Улаанбаатар хотын усны нөөц, гарцыг 0.77 км³, Төв аймгийн усны нөөц, гарцыг 3.21 км³ гэж тодорхойлсон тоо баримт бий. Үүнээс гадна Монгол орны гол мөрний усны нөөц 34.6 км³/жил (34,600.0 сая.м³) [24] тус нөөцийн 16.9 км³ (16,900.0 сая.м³)-ийг Хойд мөсөн далайн ай сав, 3.80 км³ (3,800.0 сая.м³)-ийг Номхон далайн ай сав, 13.9 км³ (13,900.0 сая.м³)-ийг Төв Азийн гадагш урсгалгүй ай савын гол горхины урсац тус тус бүрдүүлдэг. InVEST WaterYield загварын үр дүнг холбогдох дээр судлаачдын судалгааны үр дүнтэй харьцуулан, өөрчлөлтийг Хүснэгт 5-д үзүүлэв.

Хүснэгт 5. Судалгааны үр дүнгийн харьцуулалт

#	Үр дүн (InVEST)	[6]	*	[19]	*	[20]
P мм	295.08	335	-39.9	246.7	+48.4	*
PET мм	827.09	*	*	*	*	*
ET мм	229.13	214	+15.1	119.3	+110	*
Q мм	55.89	82	-26.1	127.5	-71.6	*
Q км ³	0.43	*	*	*	*	0.77

[6]: Судлаач Г.Даваа нарын судалгаа;

[19]: Судлаач Г.Даваа, Д.Оюунбаатар,

С.Төмөрчөдөр, З.Мөнхцэцэг нарын судалгаа;

[20]: Нийтийн аж ахуй, үйлчилгээний

байгууллагын судалгаа;

*: үр дүнгийн зөрүүг илэрхийлэв

InVEST загвараар тооцоолсон судалгааны үр дүнг судлаач Г.Даваа нарын судалгааны үр дүнтэй харьцуулахад жилд унах хур тунадасны хэмжээ 39.9 мм-ээр бага, ууршилт 15.1 мм-ээр их, урсцын давхраа 26.1 мм-ээр бага үзүүлэлттэй гарсан байна. Харин Г.Даваа, Д.Оюунбаатар, С.Төмөрчөдөр, З.Мөнхцэцэг судлаач нарын судалгааны үр дүнтэй харьцуулахад жилд унах хур тунадасны хэмжээ 48.4 мм-ээр их, ууршилт 110 мм-ээр их гэсэн хэтэрхий ялгаатай үр дүнтэй байгаа шалтгаан нь бидний судалгааны хувьд Улаанбаатар хот болон ойролцоох хот суурин газрыг судалгааны талбайдаа хамруулсантай холбоотой юм. Учир нь хот суурин газар, засмал зам зэргээс уурших ууршилтын хэмжээ ургамлан нөмрөг бүхий талбайгаас уурших ууршилтаас харьцангуй их байх тул InVEST загвараар тооцоолсон ууршилтын хэмжээ илүү өндөр гарах боломжтой юм. Урсцын давхрааны хувьд 71.6 мм-ээр бага гэсэн зөрүүтэй гарсан нь мөн дээрх судлаачдын тооцоолсон нийт урсцын (гадаргын болон газрын доорх урсцыг хамтад нь тооцсон байсан) хэмжээтэй харьцуулсан тул зөрүү их ажиглагдсан болно.

Усны нөөц, гарц болон урсцын давхрааг тооцоолсон үр дүнгүүдэд хамгийн ихээр нөлөөлсөн параметр нь Z параметр байсан бөгөөд тус параметрийн утгыг багасгахад дээрх үзүүлэлтүүдийн утга нэмэгдэх хамаарал ажиглагдсан. Түүнчлэн тус загварын хүрээнд усны нөөцийг тооцоолоход үндэслэсэн Будькогийн муруй, аргазүйн хувьд InVEST загварын үр дүн гарч буй пиксел буюу орон зайн хувьд жижиг талбайд бус нутаг дэвсгэрийн томоохон талбайд ихэнхдээ ашиглагддаг.

Иймд InVEST загварын оролтын мэдээг бэлдэх явцад тухайн бүс нутгийн уур амьсгал, байгалийн нөхцөлийг илэрхийлж чадахуйц орон зайн нарийвчлал сайтай мэдээг ашиглах нь загварын үр дүнг илүү нарийвчлалтай гаргахад нөлөөлөхүйц чухал ач холбогдолтой юм.

5. ДҮГНЭЛТ

Уг судалгааны ажлын хүрээнд Туул голын эхийн сав газрын усны нөөц, зарцуулгыг InVEST (Water Yield) загварын тусламжтайгаар тооцоолов. Тус загварын шаардлагатай оролтын мэдээгээр газар ашиглалт, газрын бүрхэвч, хур тунадас, жилийн дундаж боломжит ууршилт, хөрсний гүн, ургамалд ашиглагдах боломжит хөрсний ус, чийгийн хэмжээ, сав газар болон дэд сав газрын мэдээнүүдийг бэлтгэн боловсруулав. Судалгааны талбайн газар ашиглалт, газрын бүрхэвчийн хэв шинжийн мэдээнд Landsat 8 хиймэл дагуулын мэдээ, жилийн дундаж хур тунадасны мэдээнд CHIRPS өгөгдлийн сангийн мэдээ, боломжит ууршилтын мэдээнд MOD16 хиймэл дагуулын бүтээгдэхүүнд боловсруулалт хийж, оролтын мэдээг бэлтгэв. Түүнчлэн ургамлын үндсийг хязгаарлах хөрсний давхаргын гүн болон ургамалд ашиглагдах боломжтойгоор хөрсөнд агуулагдаж буй ус, чийгийн хэмжээг тодорхойлох мэдээнд ISRIC мэдээллийн сан дахь а) хөрсний R үе хүртэлх хөрсний гүн, б) хөрсний 10 см үе дэх хөрсний усны боломжит багтаамжийн орон зайн мэдээнүүдийг, сав газрын болон дэд сав газрын хилийг тогтоож, зураглахад ArcSWAT загварыг тус тус ашиглав.

Загварчлалын үр дүнд тооцоолсноор судалгааны талбайн хүрээнд жилийн дундаж хур тунадасны хэмжээ 295.08 мм, боломжит ууршилтын хэмжээ 827.09 мм, бодит ууршилтын дундаж хэмжээ 229.13 мм, үүсч бүрэлдэх боломжтой гадаргын урсцын давхраа дунджаар 55.89 мм, усны нөөц (гарц) 0.43 км³ байна. Тус үр дүнг

бусад судлаачдын холбогдох судалгааны үр дүнгүүдтэй харьцуулахад жилийн дундаж ууршилтын хэмжээ бага зэрэг их (15.1 мм) гарсан нь тухайн сав газарт бүрэлдэх боломжит урсцын давхрааг багасгахад нөлөөлсөн. Иймд InVEST (Water Yield) загварын оролтын мэдээнүүдэд олон жилийн хэмжилтийн мэдээг ашиглах эсвэл орон зайн нарийвчлал сайтай бүтээгдэхүүн, мэдээг ашиглах замаар тус загварыг сав газрын урсцын давхраа, нөөцийг тооцоолох судалгааны ажлуудад ашиглах бүрэн боломжтой гэж үзэж байна. Цаашид загварчлалын үр дүнг сайжруулах үүднээс нэн түрүүнд урт хугацааны дундаж урсцын хэмжилтийн мэдээг ашиглан зүгшрүүлэлт хийх, үндсийг хязгаарлах хөрсний давхаргын гүн, ургамалд ашиглагдах боломжит хөрсний ус, чийгийн агууламж гэсэн оролтын мэдээнүүдийн утга, орон зайн шийдийг нарийвчлах хэрэгцээ шаардлага байна.

ТАЛАРХАЛ

Энэхүү судалгааны ажлыг гүйцэтгэх боломжийг олгосон Стэнфордын их сургуулийн “Natural Capital” төслийн багийн хамт олон, InVEST загварын зохиогчийн эрхтэй сургалтыг Монголд анхлан зохион байгуулсан “Зэрлэг амьтан хамгаалах нийгэмлэгийн Монгол дахь Хөтөлбөрийн газар” (WCS Mongolia)-ын хамт олонд талархсанаа илэрхийлье. Түүнчлэн судалгааны ажлын оролтын мэдээг бүрдүүлэх, боловсруулахад үнэтэй санал, зөвлөмжийг өгсөн “Natural Capital” төслийн багийн орон зайн мэргэжилтэн Stacie Wolny-д мөн талархсанаа илэрхийлье.

АШИГЛАСАН НОМ, ХЭВЛЭЛ

- [1] C. Cudennec, C. Leduc, and D. Koutsoyiannis, “Dryland hydrology in Mediterranean regions—a review,” *Hydrol. Sci. Journal Journal Sci. Hydrol.*, vol. 52, no. 6, pp. 1077–1087, 2007.

- [2] J. G. Arnold, R. Srinivasan, R. S. Muttiah, and J. R. Williams, "Large area hydrologic modeling and assessment part I: model development 1," *JAWRA J. Am. Water Resour. Assoc.*, vol. 34, no. 1, pp. 73–89, 1998.
- [3] G. Leavesley, R. Lichty, B. Troutman, and L. Saindon, "Precipitation-runoff modeling system: User's manual," *Water-Resour. Investig. Rep.*, vol. 83, no. 4238, p. 207, 1983.
- [4] H. Tallis, T. H. Ricketts, G. C. Daily, and S. Polasky, *Natural capital: theory and practice of mapping ecosystem services*. Oxford University Press, 2011.
- [5] V. A. Kowal, J. Ahlborn, C. Jamsranjav, O. Avirmed, and R. Chaplin-Kramer, "Modeling Integrated Impacts of Climate Change and Grazing on Mongolia's Rangelands," *Land*, vol. 10, no. 4, p. 397, 2021.
- [6] M. Otgonbayar, B. Tseveengerel, P. Munkhtur, D. Tuyagerel, and J. Chambers, "Assessment of Habitat Quality in the Western Region of Mongolia Using the InVEST-Based Model," 2021, pp. 96–101.
- [7] E. Dandar, "Water resources assessment in cold regions: the Upper Tuul River basin, Mongolia," 2017.
- [8] Байгаль орчин ногоон хөгжлийн яам, "Туул голын усны нөөцийн нэгдсэн менежментийн төлөвлөгөөг боловсруулахад зориулсан судалгааны эмхэтгэл." 2021.
- [9] Г. Даваа, *Монгол орны гадаргын усны нөөц, горим*. Улаанбаатар, 2015.
- [10] M. I. Budyko, *Climate and life*. Academic press, 1974.
- [11] R. G. Allen, L. S. Pereira, D. Raes, and M. Smith, "Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56," *Fao Rome*, vol. 300, no. 9, p. D05109, 1998.
- [12] T. R. McVicar *et al.*, "Global review and synthesis of trends in observed terrestrial near-surface wind speeds: Implications for evaporation," *J. Hydrol.*, vol. 416, pp. 182–205, 2012.
- [13] Z. Canqiang, L. Wenhua, Z. Biao, and L. Moucheng, "Water yield of Xitiaoxi river basin based on InVEST modeling," *J. Resour. Ecol.*, vol. 3, no. 1, pp. 50–54, 2012.
- [14] J. Redhead *et al.*, "Empirical validation of the InVEST water yield ecosystem service model at a national scale," *Sci. Total Environ.*, vol. 569, pp. 1418–1426, 2016.
- [15] D. Yang, W. Liu, L. Tang, L. Chen, X. Li, and X. Xu, "Estimation of water provision service for monsoon catchments of South China: Applicability of the InVEST model," *Landsc. Urban Plan.*, vol. 182, pp. 133–143, 2019.
- [16] R. Sharp *et al.*, "InVEST 3.7. 0 user guide. Collaborative publication by The Natural Capital Project," 2019.
- [17] C. Funk *et al.*, "The climate hazards infrared precipitation with stations—a new environmental record for monitoring extremes," *Sci. Data*, vol. 2, no. 1, pp. 1–21, 2015.
- [18] S. S. Abdullah, M. A. Malek, N. S. Abdullah, O. Kisi, and K. S. Yap, "Extreme Learning Machines: A new approach for prediction of reference evapotranspiration," *J. Hydrol.*, vol. 527, pp. 184–195, Aug. 2015, doi: 10.1016/j.jhydrol.2015.04.073.
- [19] Y. Feng, N. Cui, D. Gong, Q. Zhang, and L. Zhao, "Evaluation of random forests and generalized regression neural networks for daily reference evapotranspiration modelling," *Agric. Water Manag.*, vol. 193, pp.

- 163–173, Nov. 2017, doi: 10.1016/j.agwat.2017.08.003.
- [20] Q. Mu, M. Zhao, F. A. Heinsch, M. Liu, H. Tian, and S. W. Running, “Evaluating water stress controls on primary production in biogeochemical and remote sensing based models,” *J. Geophys. Res. Biogeosciences*, vol. 112, no. G1, 2007.
- [21] Q. Mu, M. Zhao, and S. W. Running, “Improvements to a MODIS global terrestrial evapotranspiration algorithm,” *Remote Sens. Environ.*, vol. 115, no. 8, pp. 1781–1800, 2011.
- [22] Q. Mu, F. A. Heinsch, M. Zhao, and S. W. Running, “Development of a global evapotranspiration algorithm based on MODIS and global meteorology data,” *Remote Sens. Environ.*, vol. 111, no. 4, pp. 519–536, 2007.
- [23] Г. Даваа, Д. Оюунбаатар, С. Төмөрчөдөр, ба З. Мөнхцэцэг, “Хоёрдугаар бүлэг. Гадаргын усны нөөцийн үнэлгээ,” *Туул голын усны нөөцийн нэгдсэн менежментийн төлөвлөгөөг боловсруулахад зориулсан судалгааны эмхэтгэл*, Улаанбаатар, 2012.
- [24] Б. Мягмаржав, “БНМАУ-ын гол мөрний урсац болон усны нөөц бүрдэх зүй тогтол, тэдгээрийг тооцох арга,” 1973.