

Landform classification based on topographic position Index

(A case study in Ulaanbaatar city)

Odbaatar Enkhjargal^{1,*}, Bayanjargal Bumtsend¹, Renchinmyadag Tovvudorj¹

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

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

Received: 31 October 2022 / Accepted: 30 November 2022 / Published online: 29 December 2022

ABSTRACT

Earth surface study or Geomorphology is one of the fundamental physical geographic studies. The ultimate result of the geomorphological study is shown as a map and many geomorphological researchers have been developing their geomorphology-mapping methodology over time. Recently, remote sensing methodologies have been developed rapidly in geographical studies, and attempts at geomorphological mapping by remote sensing method have also been made. Thus, in this study, landform classification, one of the geomorphological fundamental studies, was conducted based on “Topographic Position Index” and classified with “Weiss and Jennessy landform classification algorithm”, in the case of the Ulaanbaatar city. As the result of the study, the landform of the Ulaanbaatar city was classified into 6 typologies including Mountain tops high ridges, upper slopes mesas, Midslopes, Open slopes, Plains, and V shape valleys. Accurate classification of the landform is a basic geomorphological concept, and it is used as background information for engineering geomorphology.

Keywords: *Landform classification, Digital elevation model, Topographic position index*

Байрзүйн Байршлын Индекс дээр үндэслэсэн гадаргын хэлбэрийн ангилал (Улаанбаатар хотын жишээ дээр)

Одбаатар Энхжаргал^{1,*}, Баянжаргал Бумцэнд¹, Рэнчинмядаг Товуудорж¹

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

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

Хүлээн авсан: 2022 оны 10 сарын 31 өдөр / Зөвшөөрөгдсөн: 2022 оны 11 сарын 30 өдөр / Нийтлэгдсэн: 2022 оны 12 сарын 29 өдөр

ХУРААНГУЙ

Физик газарзүйн судалгааны нэгэн чухал салбар нь газрын гадаргын судалгаа буюу геоморфологийн судалгаа юм. Геоморфологийн судалгааны эцсийн үр дүн нь газрын зураг хэлбэрээр гардаг бөгөөд олон судлаачид геоморфологийн зураглалын аргазүйн тал дээр өөр өөрсдийн арга техникийг боловсруулсаар ирсэн байна. Сүүлийн үед газарзүйн судалгаанд зайнаас тандан судлал эрчтэй хөгжиж, геоморфологийн зураглалыг зайнаас тандан судлалын аргаар хийх оролдлого мөн хийгдэх болсон. Тиймээс энэхүү судалгаанд геоморфологийн судалгааны нэгэн үндсэн судлагдахуун болох гадаргын хэлбэрийн ангиллыг Topographical Position Index буюу Байрзүйн Байршлын индекс дээр үндэслэн, “Вейс ба Женесси” нарын гадаргын хэлбэрийг ангилах алгоритмаар ялган нийслэл Улаанбаатар хотын жишээн дээр үзүүлэв. Судалгааны үр дүнд Улаанбаатар хотын газрын гадаргын хэлбэрийг Уулын орой хяр, Уулын оройн энгэр, Уулын дунд энгэр, Уулын бэл хормой, Тэгш гадарга, V хэлбэрийн голын хөндий уулын ам гэсэн 6 хэв шинжид ялгана ангиллаа. Гадаргын хэлбэрийг зөв ялган ангилах нь геоморфологийн судалгааны үндсэн ойлголт бөгөөд мөн гадаргын хэлбэрийг аж ахуйн зориулалтаар ашиглах инженер геоморфологийн судалгааны суурь мэдээлэл болно.

Түлхүүр үгс: Гадаргын хэлбэрийн ангилал, Өндрийн тоон загвар, Байрзүйн байршлын индекс

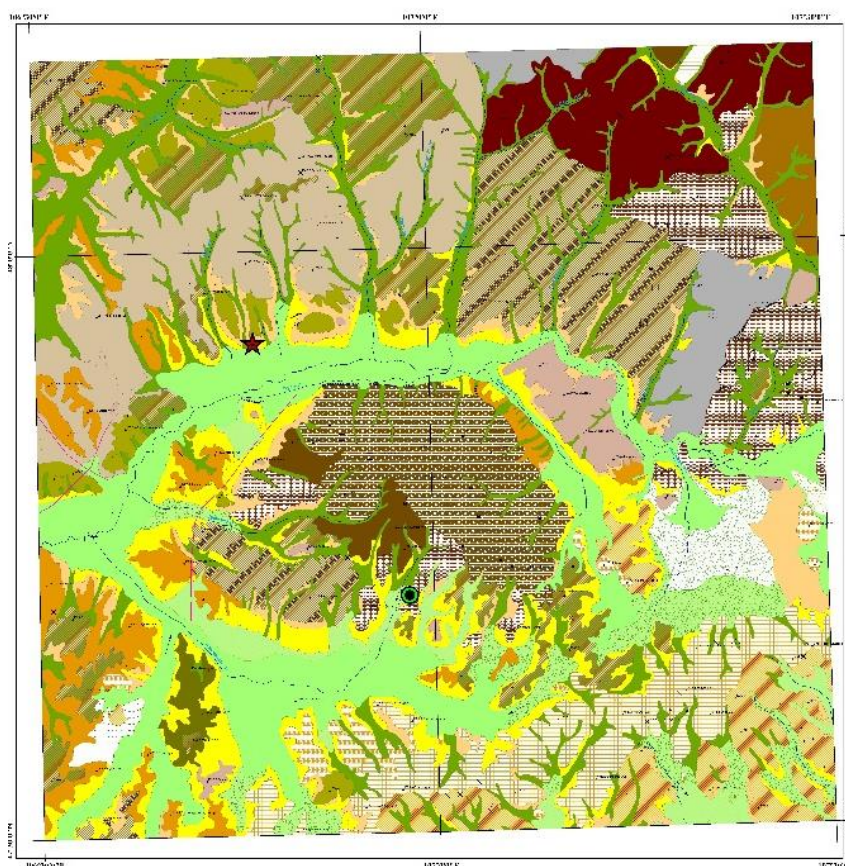
1. ОРШИЛ

1924 онд Монгол улсад Судар бичгийн хүрээлэн байгуулагдсан цагаас хойш Монгол орны газарзүйг судлах, Газарзүйн шинжлэх ухааныг системтэй хөгжүүлэх үндэс бүрдсэн байдаг. Энэ үеэс эхлэн тухайн үеийн ЗХУ-ын эрдэмтдийн туслалцаатайгаар дотоодын газарзүйч эрдэмтэд төрөн гарч Монгол орны геоморфологийн судалгааг явуулж эхэлжээ. Монгол орны геоморфологийн шинжлэх ухааныг хөгжүүлэхэд академич Ш.Цэгмид, доктор С.Жигж, дэд доктор З.Мөнхөө, Ж.Нацаг, Р.Ломборинчен, Я.Болд, Ч.Батсайхан, газарзүйч Т.Баасан нар их хувь нэмэр оруулсан байна [1]. Эдгээрээс геоморфологич доктор С.Жигж "Монгол орны хотгор гүдгэрийн үндсэн хэв шинж" (1979) бүтээлдээ “Хотгор гүдгэрийн аж ахуйн ач холбогдол” хэмээх бүлгийг оруулж өгсөн нь эдүгээгийн Монгол орны инженер геоморфологийн судалгааны суурь мэдлэгийг бий болгосон [2] түүхтэй юм. Уг бүтээлд Монгол орны гадаргын хэвгий, гадаргын өндөржилт, гадаргын хэрчигдлийн шигүүгийн зургийг монгол орны хэмжээнд зураглаж, эдгээр үзүүлэлтүүдийг аж ахуй, барилга байгууламжид хэрхэн харгалзаж үзэх талаар тайлбарласан байдаг. Гэвч

тухайн үеийн зураглалын аргазүй сул хөгжсөн байсантай холбоотойгоор дээрх зургууд нь жижиг масштабаар зурагдсан, тойм мэдээлэл өгөхүйц болсон байна.

Газарзүйн мэдээллийн систем (ГМС), Зайнаас тандан судлал (ЗТС)-ын арга, техник ихээхэн хөгжиж байгаатай зэрэгцэн геоморфологийн зураглалын аргазүйд мөн дэвшилт гарч том масштабын зургуудыг хиймэл дагуулын мэдээ, агаарын зураглал ашиглан үйлдэх болжээ. ШУА, ГГХ-ийн Физик газарзүйн салбар (одоогийн Физик газарзүй орчин судлалын салбар)-ын хэрэгжүүлсэн “Туул, Хараа, Ерөө голуудын сав нутгийн ландшафтын бүтэц, өөрчлөлт” (2005-2007), “Хангайн өмнөх голуудын сав нутгийг зохистой ашиглах газарзүйн үндэслэл” (2008-2010), “Монгол орны төв бүсийн физик газарзүйн иж бүрэн тодорхойлолт” (2011-2013), “Ландшафтын бүтэц өөрчлөлт, төлөвлөлт, зохистой бүсчлэл” (2014-2016), “Монгол орны байгалийн бүсүүдийн ландшафтын экологийн чадавхын үнэлгээ” (2017-2019) зэрэг судалгааны тайлангуудад Монгол орны инженер геоморфологийн дунд масштабын зургуудыг судалгааны бүс нутгуудын хэмжээнд зурагласан. Гэвч эдгээр тайлангуудад орсон зургууд нь инженер геоморфологийн зураглалын суурь ойлголтууд болох гадаргын хэвгий, гадаргын хэрчигдлийн шигүү, гадаргын өндөржилт зэрэг морфометрийн үзүүлэлтүүдийг тус бүрд нь сэдэвчилсэн зураг байдлаар гаргасан нь гадаргын хэлбэрийн ангиллыг харуулж чадахуйц зураглал болж чадаагүй юм.

Сүүлийн үед морфометрийн үзүүлэлт дээр үндэслэн гадаргын хэлбэрийг ангилах оролдлогыг олон геоморфологич-судлаач нар өөр өөрсдийн боловсруулсан аргазүйг ашиглан гадаргын хэлбэрийн ангилал хийхийг оролдож эхэлж байна [3] [4]. Эдгээрээс нэлээд өргөн ашиглагдаж буй нь Topographical Position Index буюу Байрзүйн Байршлын Индекс (ТPI) юм. ТPI-ийг өндрийн тоон загвараас бодуулж гаргах бөгөөд тухайн пикселийн өндрийн утгыг эргэн тойрны пикселүүдийн утгуудтай болон зүг зөвхистой харьцуулсны үндсэн дээр уг пиксел гадаргын ямар хэв шинжид харьяалагдаж байгааг харуулдаг зураглал юм. Гэвч энэхүү зураглал нь гадаргын хэлбэрийг ялган нэрлэж чаддаггүй тул “Вейс ба Женесси” нарын гадаргын хэлбэрийг ангилах алгоритмаар дахин ангилан-ялгал хийж гадаргын хэлбэрийн ангиллын зургийг гаргах боломжийг бий болгодог.



Зураг 1. Улаанбаатар хотын геоморфологи

2. СУДАЛГААНЫ ТАЛБАЙ, ТҮҮНИЙ МОРФОГЕНЕТИК ХЭВ ШИНЖ

Нийслэл Улаанбаатар хот орчмын нутаг дэвсгэр нь гадаргын тогтцын хувьд, Хэнтийн уулархаг мужийн баруун өмнө захад орших хавтгайдуу бөмбөгөр оройтой, эгц хажуу бүхий дундаж өндөр, нам уулс (*Тэрэлжийн сарьдаг* (2360.2), *Баруун Баянгийн сарьдаг* (2283.7), *Хойт Баян* (2077.0), *Бэрх* (2004.9), *Цагдуулт* (1879.0), *Намт уул* (2077.0), *Ёл уул* (1898.0), *Шилжир*, *Баян Зүрх* (1834.3), *Богдхан* (2256.3), *Чингэлтэй* (1950.0), *Толгойт* (1832.0), *Сонгино* (1653.0), *Тахилт* (1737.0), *Өлзийт* (1652.0), *Өгөөмөр* (1775.0), *Эрдэнэ* (2072.0), *Хөндлөн* (1902.0), *Жавхлант* (1831.0), *Салхит* (1848.5)–уудаар хүрээлэгдэн орших бөгөөд тэдгээрээс эх аван урсах голуудын хөндий болон дөрөвдөгчийн сэвсгэр хурдсаар дүүргэгдсэн томоохон хотост тогтоно.

Судалгааны талбайд тархах уул нуруудад гадаад хүчний үйл явц болох солифлюкци, хүйтний өгөршлийн нөлөөгөөр уулын дэнж үүсэн, үндсэн чулуулаг эвдрэн нурж чулуун асга, боржин чулуун тогтоц үүссэн нь ажиглагдах бөгөөд зарим газар уулын хажууг нэлд нь бүрхсэн байдаг. Үүнд, Горхийн уулсыг дурдаж болох бөгөөд тэнд тархах уулс нэлээдгүй шовх хадан орой, эгц ханан хажуу бүхий боржин чулуулгийн тогтоцтой юм. Тэрэлж болон Баруун Баянгийн сарьдаг уулсаас баруун тийш Туул голын савыг Орхон голын баруун гарын цутгал голуудаас тусгаарлах тийм ч өндөр биш, дунджаар д.т.д 2000 м орчим өргөгдсөн Хандгайт, Чингэлтэй, Толгойт гэх мэт уулс оршино. Уулсын орой нь ихэвчлэн бөмбөгөр хэлбэртэй ба хажуу нь эгцдүү, налуувтар гээд янз бүр байна. Уулсын хажуу нь түр зуурын болон байнгын урсгал усны үйл ажиллагаагаар үүссэн гуу жалга, ам, гол горхийн хөндийгөөр нэлээд хэрчигдсэн байх ба ойн хилээс дээш гарсан оргил бараг үгүй.

Үүнээс урагш Богдхан уул орших бөгөөд баруунаас зүүн тийш өргөрөг дагуу сунаж тогтсон энэ уул нь Бага Хэнтийн нурууны баруун өмнө захын салбар уул юм. Салангид тусгаар орших бөгөөд дунджаар 2000 м орчим өргөгдсөн, хамгийн өндөр ноён оргил нь Цэцээ гүн (2273 м) юм. Уулын оройд эртний тэгшрэлийн гадарга үүсэж тогтсон байх ба тэдгээрийн үнэмлэхүй өндөр нь 1800, 2000, 2200 м бүхий гурван үндсэн шатлалыг үүсгэнэ. Ойн хилээс дээш гарсан Цэцээ гүн, Түшээ гүн болон Тэнгэр хад зэрэг тагуудад хүйтний өгөршлийн нөлөөгөөр чулуун асга, асгарга, боржин чулуун тогтоц бүхий бул чулуунууд олонтоо тааралдана.

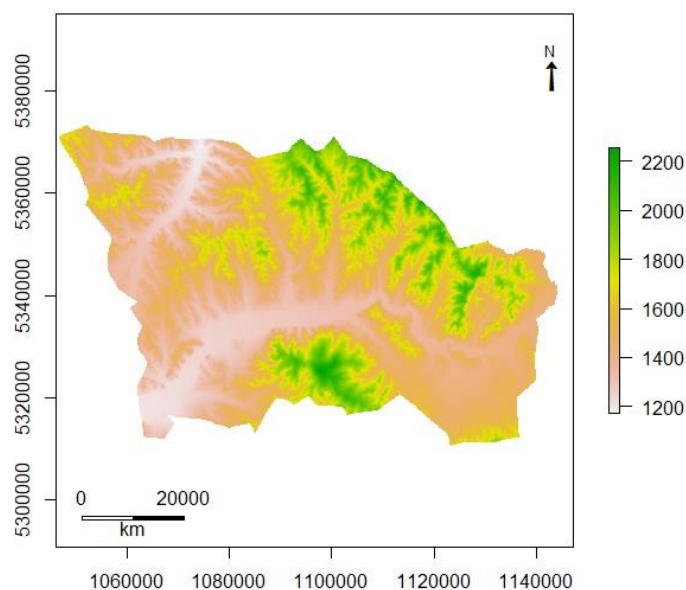
Богдхан уулын хажуу нь хэм тэгш бус, өөрөөр хэлбэл уулын ар хажуу нь эгц бөгөөд Туул голын хөндийтэй шууд нийлэх ба зарим хэсэгтээ эгц мөргөцөг үүсгэсэн байхад, өмнө хажуу нь налуувтар бөгөөд хаяа нам уул, бэлийн хэвгий тал үүсгэнэ.

Дээр дурдсан уул нуруудын хоорондох хөндийнүүд гол нуруу ба салбар уулсуудыг бие биеэс нь салган тусгаарлах бөгөөд гарал үүслийн хувьд янз бүр боловч, тектоник хөдөлгөөн, хожим урсгал усны ажиллагаа ихээхэн нөлөөлсөн нь тодорхой. Өөрөөр хэлбэл, Туулын савд багтах гол горхиудын хөндийн онцлог гэвэл аль ч хэсэгтээ гол мөрний систем сайн хөгжсөн хийгээд уул нуруудын чиглэл, түүний өндөр нам, чулуулгийн тогтоцоос хамааран хэлбэр дүрсийн хувьд өөр өөр байдалтай болдог явдал юм. Ийм хөндийнүүд эх орчимдоо давчуу эгц хажуутай, гол горхиуд түргэн урсгалтай уулын шинжтэй байхад, уул нурууны дунд ба шувтрах үзүүрт голын хөндий нь өргөсөж, зарим хэсэгтээ урсгал усгүй хуурай уудам цэлгэр хөндийн байдалд шилжиж байна. Тус судалгаанд, Д.Энхтайван, Э.Одбаатар (2013) нарын зохиосон геоморфологийн том масштабын (M1:50 000) зургийг ашигласан ба уг зурагт нийслэл хотын хотгор гүдгэрийн тархалтыг гарал үүслээр нь тектоник–элэгдлийн, идэгдэл–элэгдлийн, элэгдэл–хуримтлалын гэсэн 3 үндсэн хэв шинж, 27 дэд хэв шинжид ангилан хувааж хэв шинж тус бүрийг хотгор гүдгэрийн төрлөөр нь ялган геоморфологийн үүднээс тодорхойлолтыг өгсөн байдаг. Улаанбаатар хотын геоморфологийн судалгааны үр дүн зургийг энд оруулсан бөгөөд дээр дурдсан 27 дэд хэв шинжийг тухайн тайлангаас дэлгэрэнгүй үзэх боломжтой юм (Зураг 1) [5].

3. СУДАЛГААНЫ АРГАЗҮЙ

3.1. Судалгааны өгөгдөл

Судалгааны талбайгаар нийслэл Улаанбаатар хот орчмын нутгийг сонгож авсан бөгөөд дүн шинжилгээнд 30 метрийн орон зайн шийдтэй өндрийн тоон загвар (SRTM DEM)-ыг ашиглалаа (Зураг 2).

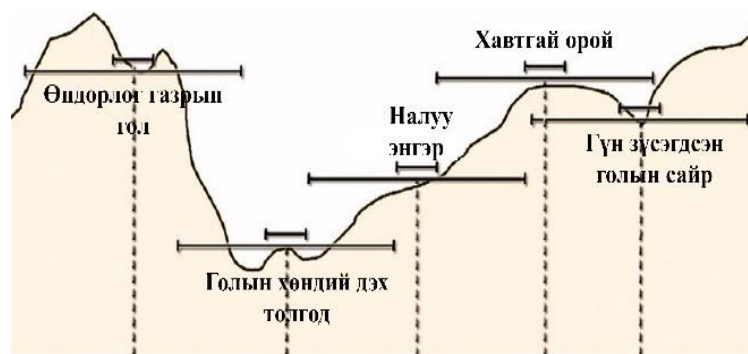


Зураг 2. Улаанбаатар хотын гадаргын өндрийн тоон загвар, SRTM

3.2. Судалгааны аргазүй

Энэхүү судалгааны аргазүй нь байрзүйн байршлын индекс болон Вэйс (2001)-ийн боловсруулсан гадаргын хэлбэрийг ангилах алгоритм гэсэн хоёр үндсэн хэсгээс бүтнэ.

3.2.1 Байрзүйн байршлын индекс (TPI)



Зураг 3. TPI бүдүүвч

Байрзүйн байршлын индексийн тооцооллыг Гүйсан (Guisan) нар 1999 онд ургамлын орон зайн тархалтын загварчлалыг боловсруулах судалгаандаа анхлан санал болгон дэвшүүлжээ [6]. Энэхүү тооцооллын үндсэн зарчим нь өндрийн тоон загварт агуулагдах нэг пикселийн өндрийн утга хөрш пикселүүдийн (neighborhood pixels) утгуудтай харьцуулагдах бөгөөд эдгээр пикселийн дундаж өндрийг төвийн утгаас хасаж гаргана [7]. Ингэснээрээ тухайн пикселийн байршил хотгор гүдгэржилтийн хувьд тэгш гадарга, налуу гадарга, голын хөндийн ёроол, уулын хяр, уулын орой зэрэг хэлбэрүүдийн хаана нь байрлаж байгааг таамаглах боломжтой болгож өгдөг. Гэвч TPI бодолт нь хөрш пикселүүдийг сонгохдоо хэдэн пикселийн дундаж сонгож байгаагаас хамааран масштабын ялгаатай байдлыг бий болгоно. Өөрөөр хэлбэл TPI нь масштабаас хамаарсан бодолт бөгөөд том масштабын TPI дээр дүрслэгдсэн голын хөндийн толгод жижиг масштабын TPI дээр уулын хормой бэл болж дүрслэгдэх нь бий. Тиймээс TPI бодуулахдаа судалгааны талбайн хэмжээнд хамааруулж ойлгох нь чухал юм. Зураг 3-т том болон жижиг масштаб дээр TPI хэр нарийвчлалтай ангилагддаг болохыг бүдүүвчлэн үзүүлжээ [8].

Байрзүйн байршлын индексийг дараах томъёогоор бодно:

$$TPI_i = M_0 - \sum_{n-1} M_n/n \quad (1)$$

TPI_i – Байрзүйн байршлын индекс

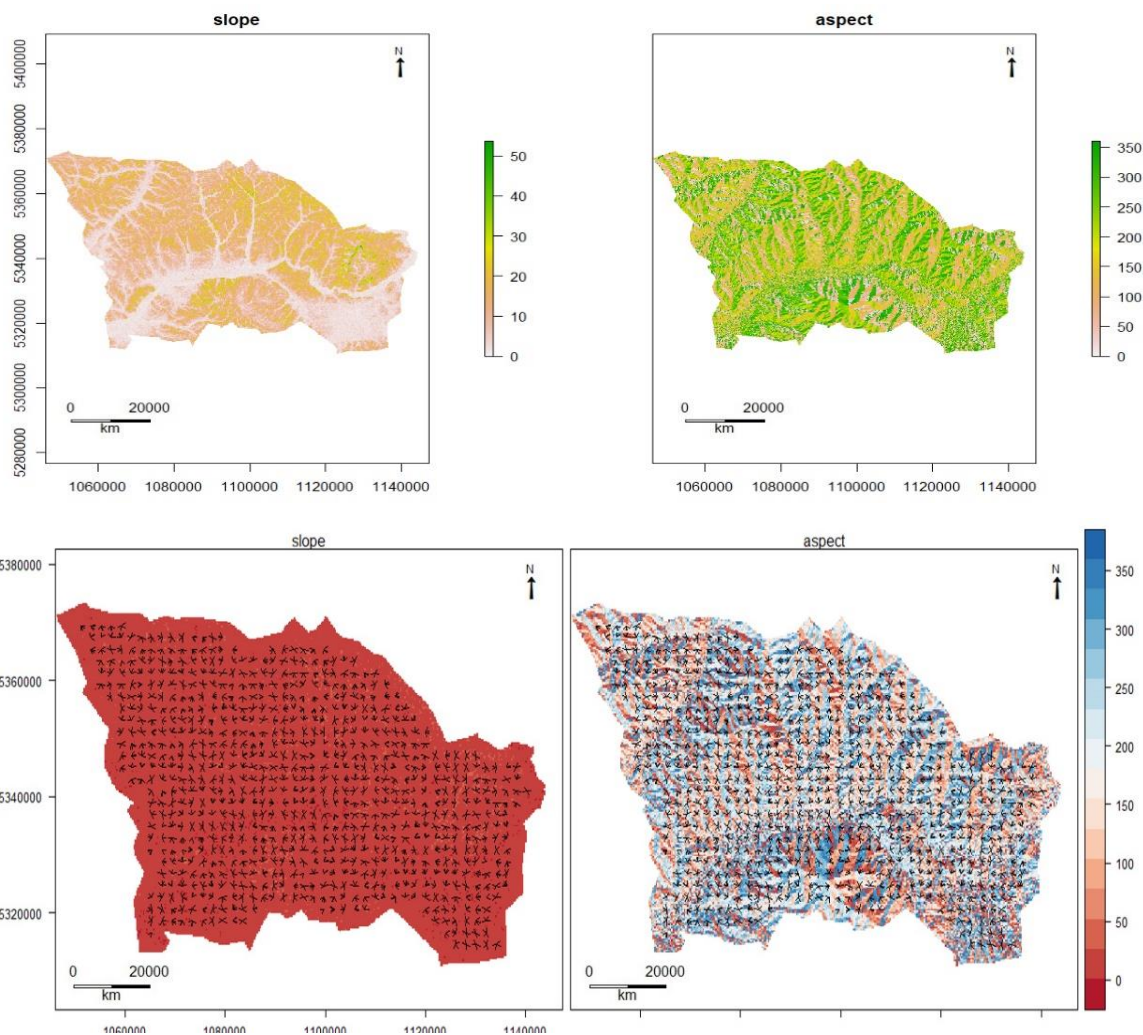
M_0 – өндрийн тоон загвар дахь пикселийн утга

M_n – сонгож авсан пикселүүдийн дундаж өндөр

n – сонгогдсон пикселүүдийн нийт тоо

TPI бодолтын үр дүн “-” утгаас “+” утгын хооронд гарах бөгөөд масштабын буюу хөрш пикселийн утгыг хэдэн пикселийн дунджаар сонгож авснаас хамааран тоон утга нь хэлбэлзэлтэй байна. Үр дүн ийнхүү хэлбэлзэлтэй тоон утгаар гардгийн улмаас зөвхөн TPI зургийг үндэслэн гадаргын хэлбэрийн ангиллыг зураглах боломжгүй болгож байгаа тул нэмэлт ангиллын өөр арга ашиглах шаардлага үүсдэг.

3.2.2 Гадаргын хэлбэрийн ангилал



Зураг 4. Судалгааны талбайн гадаргын хэвгий ба зүг зовхис, тэдгээрийн вектор чиглэлүүд

Гадаргын хэлбэрийг ангилах олон төрлийн алгоритмыг геоморфологич судлаач нар боловсруулсан [4], [3], [9] бөгөөд эдгээрээс хамгийн өргөн тархсан алгоритм нь Вэйс ба Женесси (Weis and Jennessy) [10]

нарын боловсруулсан алгоритм юм. Энэхүү алгоритм нь TPI дахь пикселүүдийн стандарт хазайлт (STDEV) дээр үндэслэн гадаргын хэлбэрийг ангилал явдал бөгөөд энэхүү ангиллын алгоритмыг хүснэгтээр үзүүлэв.

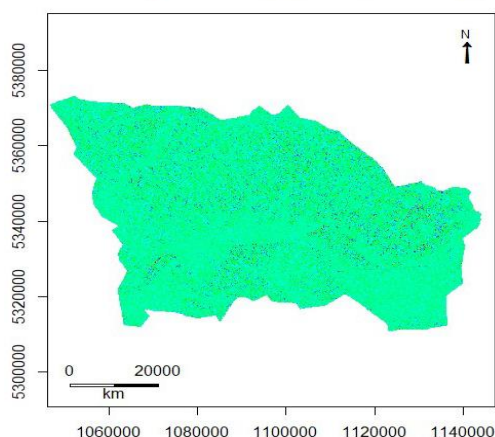
Хүснэгт 1. Гадаргын хэлбэрийн ангиллын шалгуур

№	Гадаргын хэлбэр	Ангиллын шалгуур
1	Шовхдуу уулын орой, хяр	$> + 1 \text{ STDEV}$
2	Уулын оройн энгэр	$> 0.5 \text{ STDV} \leq 1 \text{ STDV}$
3	Уулын дунд энгэр	$> -0.5 \text{ STDV}, < 0.5 \text{ STDV}$, хэвгий $> 5^\circ$
4	Тэгш гадарга	$\geq -0.5 \text{ STDV}, \leq 0.5 \text{ STDV}$, хэвгий $\leq 5^\circ$
5	Уулын хормой, бэл	$\geq -1.0 \text{ STDEV}, < 0.5 \text{ STDV}$
6	V хэлбэртэй голын хөдий, уулын ам	$< -1.0 \text{ STDV}$

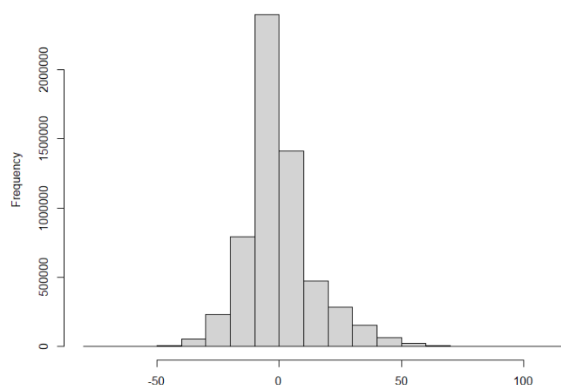
4. СУДАЛГААНЫ ҮР ДҮН

Улаанбаатар хотын талбай нь ойролцоогоор 3957км² байгаа нь том хэмжээтэй судалгааны талбайд тооцогдох тул энэхүү судалгааны талбай дээр 25*25 пикселийн дундаж утгыг сонгон авч, статистикийн R программ дээр бодуулан гаргалаа. Үүний тулд эхлээд морфометрийн суурь өгөгдөл болох гадаргын хэвгий болон зүг зовхисыг бодуулж, түүний чиглэлийн эрчмийг вектор хэлбэрээр бодуулан гаргасан бөгөөд (Зураг 4), гадаргын хэвгий болон зүг зовхисыг нэгдмэл нэг өгөгдөл болгон ашиглахын тулд Паул Риттер (Paul Ritter)-ийн боловсруулсан Вектор дээр үндэслэсэн “Гадаргын хэвгий ба зүг зовхисыг нэгтгэсэн алгоритм” (A vector based Slope and Aspect generation algorithm) [11] ашиглаж бодуулан гаргав. Энэхүү үр дүнг ашиглан томъёо (1)-ийг R статистикийн программд оруулан ажиллуулж Улаанбаатар хотын Байрзүйн Байршлын индексийг зураглан гаргасан (Зураг 5). Улаанбаатар хотын TPI утга нь -79.77 - +119.3 хооронд гарч байгаа бөгөөд үүний “-” утга нь нам дор газар, гол болон сайрын ёроолыг харуулж байгаа бол “+” нь уулын энгэр, уулын орой хярыг үзүүлнэ. Харин “0” тэмүүлсэн утга нь тэгш гадаргыг харуулна. Улаанбаатар хотын TPI утгыг агуулсан индексүүдийн эзлэх хэмжээг “хистограмм”-аар үзүүлэхэд “0” тэмүүлсэн утга хамгийн их давтагдаж байгаа нь Улаанбаатар хотын нутаг дэвсгэрийн TPI ангилалд хавтгай гадаргын хэлбэр зонхилж байгааг харуулж байна. Харин “+” болон “-” утга руу давтамж аажмаар буурч байгаа бөгөөд эндээс “+” утга нь “-” утгаасаа илүү давтамжтай байгаа нь гадаргын гүдгэр хэлбэр хотгор хэлбэрээс илүү их байгааг илэрхийлнэ (Зураг 6).

Улаанбаатар хотын Байрзүйн байршлын индекс



Зураг 5. Улаанбаатар хотын TPI25*25



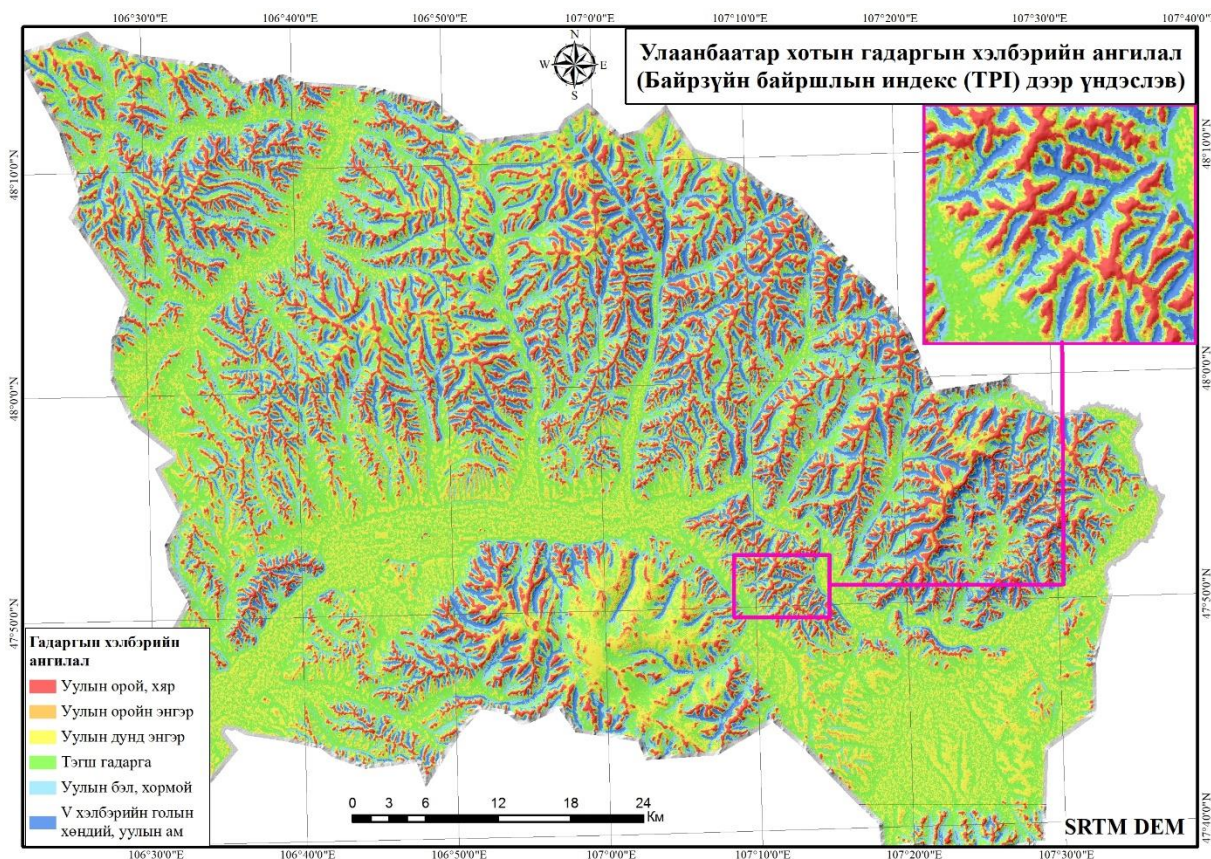
Зураг 6. TPI хистограмм

“Улаанбаатар хотын TPI25*25” бодуулж гаргасан үр дүнг гадаргын хэлбэр бүрээр ангилахын тулд Вэйс ба Женесси нарын боловсруулсан гадаргын хэлбэрийн ангиллын шалгуураар ангилж (Хүснэгт 1), Улаанбаатар хотын гадаргыг Уулын орой хяр, Уулын оройн энгэр, Уулын дунд энгэр, Тэгш гадарга, Уулын бэл хормой, V хэлбэрийн голын хөндий, уулын ам гэсэн 6 хэлбэрт ялган нэрлэж зураглав (Зураг 7). Энэ ангиллаар Уулын орой хяр 439.9 км² буюу 11.4%, Уулын оройн энгэр 574 км² буюу 14.8%, Уулын дунд

энгэр 1278.6 км² буюу 33.1%, Тэгш гадарга 782.6 км² буюу 20.2%, Уулын бэл хормой 274.96 км² буюу 7.1%, V хэлбэрийн голын хөндий, уулын ам 518.25 км² буюу 13.4% тус тус эзэлж байна (Хүснэгт 2). Судалгааны энэ үр дүн нь Д.Энхтайван, нарын [5] гаргасан Улаанбаатар хотын геоморфологийн зурагт дүрслэгдсэн дундаж өндөр уул, уулын орой болон тэгш тал гэсэн ангиллуудтай давхцаж байгаа нь геоморфологи-гадаргын хэлбэрийн ангилалд энэхүү аргыг ашиглах боломжтой гэдгийг харуулж байна.

Хүснэгт 2. Гадаргын хэлбэрийн ангиллын тус бүрийн эзлэх талбай

№	Гадаргын хэлбэр	Талбай	
		км ²	%
1	Уулын орой хяр	439.9	11.4
2	Уулын оройн энгэр	574	14.8
3	Уулын дунд энгэр	1278.6	33.1
4	Тэгш гадарга	782.6	20.2
5	Уулын бэл хормой	274.96	7.1
6	V хэлбэрийн голын хөндий, уулын ам	518.25	13.4



Зураг 7. Улаанбаатар хотын гадаргын хэлбэрийн ангилал

5. ДҮГНЭЛТ

Геоморфологийн судалгааны нэг дутагдалтай тал нь судлаач голчлон өөрийн биеэр судалгааны талбайд очиж, хурдас хуримтлал, гадаргын хотгор гүдгэрийг ялган таньж баримтжуулах замаар судалгааны үр дүн зургийг нарийвчлан гаргадаг явдал юм. ЗТС эрчтэй хөгжиж байгаа өнөө үед геоморфологийн судалгааны ажлын зураглалыг хиймэл дагуулын зургаас бодуулах, хотгор гүдгэрийн

хэлбэрийг ялган таньдаг болох аргагүйг сайжруулан хөгжүүлэх нь дээрх дутагдалтай байдлыг арилгах чухал үр нөлөөтэй. Тиймээс ЗТС-ын арга техникээр геоморфологийн зураглалын ажлыг гүйцэтгэх оролдлогыг сүүлийн үед нэлээдгүй геоморфологич-судлаачид хийж байгаа бөгөөд эдгээрээс Байрзүйн Байршлын Индекс тодорхойлж, “Вэйс ба Женнесси (Weis and Jennessy)” нарын боловсруулсан алгоритмаар гадаргын хэлбэрийг ялган-ангилах аргагүй нь түлхүү ашиглагдаж байна. Тиймээс уг судалгаанд дээрх аргагүйг ашиглан Улаанбаатар хотын нутаг дэвсгэрийн гадаргын хэлбэрийг 6 хэв шинжид ялган ангилав. Судалгааны ажлын үр дүн болох Улаанбаатар хотын гадаргын хэлбэрийн ангиллын зургаас харахад Д.Энхтайван нарын 2013 онд гаргасан Улаанбаатар хотын геоморфологийн зургийн Уул, тал гэсэн ерөнхий хэв шинжүүдтэй тохирч байгаа нь уг зураглалын аргыг ашиглах боломжтой гэдгийг харуулж байна. Гэвч гадаргын хэвгийгээс шалтгаалж тэгш тал газарт тохиолдох гүвээ толгодын хэвгийг гадаргууд “Уулын дунд энгэр” гэсэн ангилалд хамрагдаж байгаа нь энэ аргыг бас төгс арга биш болохыг илтгэнэ. “Вэйс ба Женнесси (Weis and Jennessy)”-ийн алгоритмыг ашиглах явцад гадаргын хэвгийг болон зүг зовхисын өгөгдөл ашиглаж үр дүнгээ гаргаж байгаа нь нэг талаараа гадаргын өндөршлөөс хамаарсан ангиллыг үүсгэж чадахгүй байгаа нь харагдаж байна. Тиймээс энэхүү алгоритмд өндрөөс хамаарсан ангиллыг нэмж оруулан сайжруулалт хийх нь “геоморфологи-гадаргын хэлбэрийн ангилал”-ын зургийг ЗТС-ын арга техникээр зураглахад нэг ахиц болохуйц нөлөө үзүүлэхээр харагдаж байна.

АШИГЛАСАН НОМ, ХЭВЛЭЛ

- [1] Д. Даш, Н. Мандах, Газарзүйн шинжлэх ухааны хөгжлийн түүх, Улаанбаатар хот: Адмон, 2011.
- [2] С. Жигж, Монгол орны хотгор гүдгэрийн үндсэн хэв шинж, Улаанбаатар хот, 1975.
- [3] Athanasios V. Argyriou, Richard M. Teeuw, Apostolos Sarris, “GIS-based landform classification of Bronze Age archaeological sites on Crete Island,” *PLOS ONE*, 2017. Available: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0170727>
- [4] Luís Eduardo de Souza Robaina, Romário Trentin, “Automated classification of landforms with GIS support,” *Mercator*, б. Vol.19, pp. pp. 1-16, 2020. Available: <https://doi.org/10.4215/rm2020.e19012>
- [5] Д. Энхтайван нар, “Монгол орны төв бүсийн физик газарзүйн иж бүрэн тодорхойлолт,” Улаанбаатар хот, 2011-2013.
- [6] O. Conrad, “SAGA-GIS Tool,” 2016. [Холбогдсон]. Available: https://saga-gis.sourceforge.io/saga_tool_doc/7.2.0/ta_morphometry_28.html.
- [7] P. G. Vinod, “Development of topographic position index based on Jenness algorithm for precision agriculture at Kerala, India,” *Springer, Spatial Information Research volume*, 2017. Available: <https://doi.org/10.1007/s41324-017-0104-8>
- [8] Hee Han, Kwangmin Jang, Jungeun Song et al., “The effects of site factors on herb species diversity in Kwangneung forest stands,” *Forest Science and Technology*, б. Vol. 7, 2011. Available: <https://doi.org/10.1080/21580103.2011.559942>
- [9] Deniz Karagülle, Charlie Frye et al, “Improved Hammond’s Landform Classification and Method for Global 250-m Elevation Data,” Redlands.
- [10] D. Andrew Weiss, “Topographic Position and Landforms Analysis,” *The Nature Conservancy*.
- [11] Paul Ritter, “A Vector-Based Slope and Aspect Generation Algorithm,” *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 1987.