

A comparison of pixel-based and object-based techniques for land cover classification

Nyamjargal Erdenebaatar^{1,*}, Amarsaikhan Damdinsuren¹

¹*Division of Geographic Information System and Remote Sensing, Institute of Geography and Geoecology, Mongolian Academy of Sciences, Ulaanbaatar, Mongolia*

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

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

ABSTRACT

Traditionally, optical remote sensing datasets have been extensively used for a land cover classification. Since the emergence of the microwave images, combined optical and radar remote sensing datasets have been widely used for different thematic applications. The study aims to estimate which classification method delivers better results and to determine how effective the use of optical data or fused optical and radar datasets for a land cover discrimination. For this purpose, a maximum likelihood classification (MLC) and object-based support vector machine have been selected. As data sources, Sentinel-1 radar data and Sentinel-2 optical image acquired in June 2021 around Erdenet city were used. And, the land cover was divided into 4 such classes as forest, vegetation, water, other (i.e., built-up areas) based on the training samples which were selected to have 30-35 signatures for each class. As seen from the results, the SVM showed better results when using both datasets. In particular, the classification result of the SVM derived from the fused datasets was the highest, with an overall accuracy of 95.24%. On the other hand, classification result of optical data using the MLC had the lowest with an overall accuracy of 73.75%. When the accuracy for each class was assessed, the classification accuracy of the support vector machine was higher than that of MLC for all classes. Thus, the fused optical and radar dataset can show higher accuracy for land cover classification based using SVM method.

Keywords: *Maximum likelihood classification, Sentinel-1, Sentinel-2, Support vector machine*

Газрын бүрхэвчийг пиксел болон объектод суурилсан аргуудаар ангилан харьцуулах нь

Нямжаргал Эрдэнэбаатар^{1,*}, Амарсайхан Дамдинсүрэн¹

¹Газарзүйн Мэдээллийн Систем, Зайнаас Тандан Судлалын Салбар, Газарзүй, Геоэкологийн Хүрээлэн, Шинжлэх Ухааны Академи, Улаанбаатар, Монгол

*Холбоо барих зохиогчийн цахим хаяг: nyamjargale@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

Зайнаас тандан судлалын уламжлалд оптикийн мэдээг газрын бүрхэвчийн ангилалд ихээхэн ашиглаж ирсэн ба богино долгионы мэдээ бий болсон цаг үеэс оптикийн болон радарын мэдээг нийлмэл байдлаар төрөл бүрийн сэдэвчилсэн судалгаанд ашигласаар ирсэн байдаг. Энэхүү судалгааны зорилго нь хамгийн их төсөөтэйн (ХИТ) болон объектод суурилсан тулах векторын аргуудаар газрын бүрхэвчийг ангилан, аль арга нь илүү үр дүнг үзүүлэхийг тооцоолж, улмаар оптикийн мэдээг дангаар нь эсвэл радарын мэдээтэй нийлэгжүүлэн ашиглах нь ангиллыг үнэн зөв гүйцэтгэхэд хэр ач холбогдолтойг тодорхойлоход оршино. Судалгаанд Эрдэнэт хот орчмын 2021 оны 6 дугаар сарын Sentinel-1 радарын мэдээ болон Sentinel-2 оптикийн мэдээг ашиглаж, газрын бүрхэвчийг ой, ургамал, ус, бусад буюу барилгажсан талбай гэсэн 4 ангид хуваасан бөгөөд анги тус бүрийн хувьд 30-35 сигнатур байхаар сургалтын дээжийг сонгон авч, ангиллыг гүйцэтгэсэн болно. Судалгааны үр дүнгээс харахад аль ч төрлийн мэдээг ашигласан тохиолдолд тулах векторын арга нь илүү өндөр үр дүнг үзүүлэв. Ялангуяа, оптикийн болон радарын мэдээг нийлэгжүүлэн тулах векторын аргаар ангилсан дүн хамгийн өндөр буюу алдааны ерөнхий нарийвчлал нь 95.24% байсан бол оптикийн мэдээг ХИТ аргаар ангилсан дүн хамгийн бага нарийвчлалтай буюу 73.75% байлаа. Анги тус бүрийн хувьд нарийвчлалыг тооцон үзэхэд, тулах векторын аргаар ангилсан ангиллын нарийвчлал бүх ангиудын хувьд өндөр гарсан болно. Иймд газрын бүрхэвчийн ангилалд оптик болон радарын мэдээг нийлэгжүүлэн, тулах векторын аргаар ангилах нь нарийвчлал өндөртэй байна.

Түлхүүр үгс: Sentinel-1, Sentinel-2, Тулах векторын арга, Хамгийн их төсөөтэйн арга

1. ОРШИЛ

Зайнаас тандсан анхдагч мэдээнээс сэдэвчилсэн мэдээллийг гарган авах олон янзын аргууд байдгийн дунд газрын бүрхэвчийн ангилал жинтэй байр суурь эзэлдэг [1]. Газрын бүрхэвчийн тухай мэдээ нь ихэнхдээ түүний бүтэц, бүрэлдэхүүн болон өөрчлөлттэй холбоотой мэдээлэл байдаг. Иймээс уг мэдээлэл нь хүрээлэн буй орчны төлөв байдал, тогтвортой хөгжлийг тодорхойлоход ихээхэн ач холбогдолтой байдаг ба манай нийгмийн эдийн засгийн гол салбарууд болох хөдөө аж ахуй, ой, бэлчээр, ус, ургамал, хөрсний судалгаа, байгаль орчны хяналт, үнэлгээ зэрэгт өргөн ашиглагддаг.

Тухайн газрын бүрхэвчийн үнэн зөв мэдээллийг гарган авахын тулд, тохиромжтой ангиллын аргыг сонгох нь чухал байдаг. Олон жилийн туршид, пикселд суурилсан ангиллын аргууд зайнаас тандсан мэдээний сэдэвчилсэн ангилалд ашиглагдсаар ирсэн ба уг аргууд нь машин болон стандарт сургалттай, сургалтгүй аргууд, тэдгээрийн нийлмэл байдлаар хэрэглэгдсээр ирсэн [2][3]. Уламжлалт ангиллын

аргуудаас, хамгийн их төсөөтэйн (ХИТ) арга өргөн ашиглагддаг бөгөөд уг аргаар ангилагдсан пиксел хамгийн үнэн зөв ангилагдсан байх магадлал өндөр байдаг [4]. Түүнчлэн, сүүлийн үеийн судалгаануудаас харахад газрын бүрхэвчийн ангилалд тулах векторын арга ихээхэн ашиглагдаж байна [5].

Sheykhmousa (2020) нарын судалгаанаас харахад, өндөр зэрэглэлийн 251 сэтгүүлд хэвлэгдсэн тулах векторын аргыг ашигласан судалгааны ажлуудын дийлэнхийг буюу 39%-ийг газрын бүрхэвчийн ангилал эзэлсэн байна. Тэдгээр судалгаануудын 50% орчим нь Landsat, MODIS дагуулуудын мэдээг түлхүү ашиглан, R, Python, Matlab зэрэг программууд дээр голчлон боловсруулалтыг хийжээ. Харин eCognition болон ENVI программууд ашигласан судалгааны ажлууд 5%-10%-ийг эзэлж байсан ба оптикийн өгөгдлийг радарын мэдээтэй нийлэгжүүлэн ангилал хийсэн судалгаа ердөө 4% орчим байжээ [6].

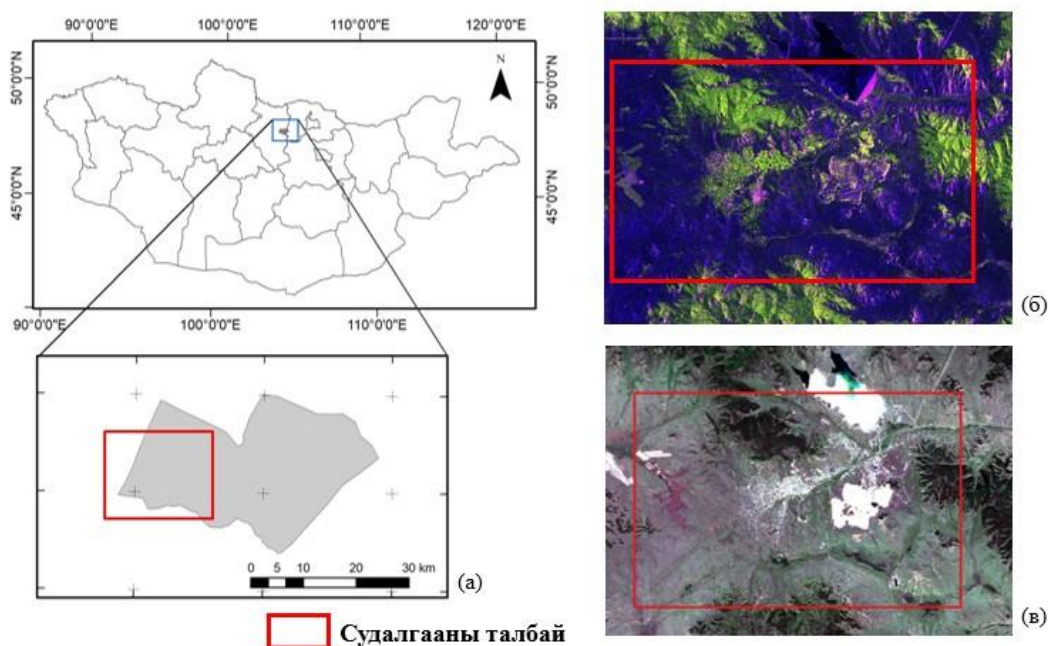
Энэхүү судалгааны ажлын зорилго нь пикселд суурилсан ХИТ ба объектэд суурилсан тулах векторын аргуудаар Sentinel дагуулын оптикийн болон радарын нийлэгжүүлсэн мэдээг ашиглан газрын бүрхэвчийг ангилан, улмаар аль арга нь илүү үр дүн үзүүлж байгааг харуулахад оршино.

2. СУДАЛГААНЫ ТАЛБАЙ БОЛОН ЭХ МЭДЭЭНҮҮД

Судалгааны талбайгаар Орхон аймгийн төв Эрдэнэт хот орчмын 520 км² талбайг сонгон авсан болно. Орхон аймаг нь ургамал газарзүйн мужлалаар ойт хээрийн бүсэд, Хангайн нурууны салбар уулс Бүрэнгийн нурууны өвөрт Орхон, Сэлэнгийн сав газарт далайн түвшнээс дээш 1300 м-ийн өндөрт уртрагийн 105° 56'019", өргөрөгийн 49° 29'110"-т оршдог. Монгол орны бусад нутгийн нэгэн адил эх газрын эрс тэс уур амьсгалтай боловч, газарзүйн байршлаасаа шалтгаалан дулааны улиралд сэрүүвтэр, хүйтний улиралд харьцангуй дулаавтар, хавар намрын улиралд салхи, шуурга ихэсч хуурайшилтын зэрэг, агаарын температурын хэлбэлзэл өсч, тогтворгүй болдог. Агаарын температурын олон жилийн дундаж 0.8° C, жилийн нийлбэр тунадасны олон жилийн дундаж нь 360.7 мм, жилийн дундаж салхины хурд 2.1 м/с юм [7].

Судалгаанд, Copernicus Open Access Hub-аас татаж авсан 2021 оны 6 дугаар сарын 14-ний Sentinel-1 (S1) дагуулын Level 1 GRD радарын мэдээ болон 2021 оны 6 дугаар сарын 9-ны Sentinel-2 (S2) дагуулын оптикийн мэдээг тус тус ашигласан болно. Радарын мэдээ нь босоо-босоо (VV), босоо-хөндлөн (VH) гэсэн туйлшралаар хүлээн авсан, 10 м оронзайн шийдтэй бөгөөд оптикийн мэдээний хувьд 10 м болон 20 м орон зайн шийдтэй 4, 5, 8A, 11-р сувгуудийг сонгон авсан болно.

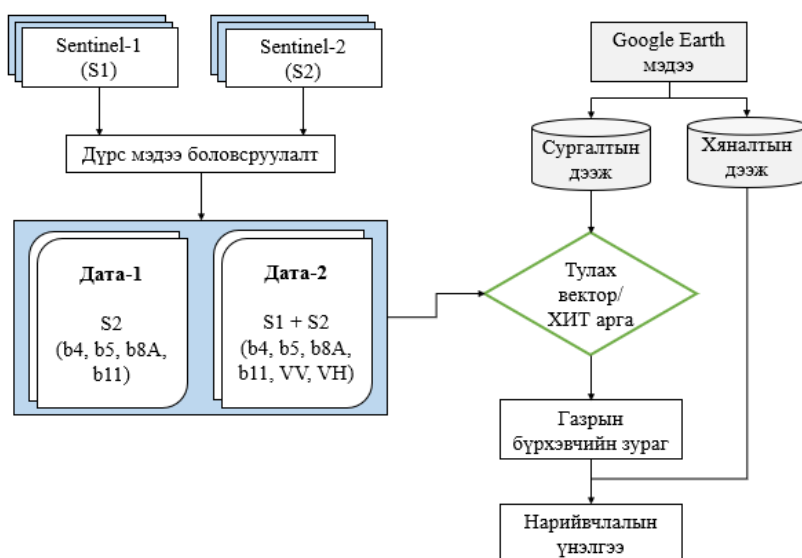
Радарын мэдээний хувьд, урьдчилсан боловсруулалтын үндсэн алгоритмууд болох радиометрийн засал, шүүлтүүр ашиглан толбыг багасгах, гадарын засал зэргийг SNAP Toolbox программ хангамжийг ашиглан гүйцэтгэсэн бөгөөд энэ нь Европийн Сансрын агентлагийн радарын хиймэл дагуулын өгөгдлүүдэд анхдагч болон нэмэлт боловсруулалт хийдэг нээлттэй эх үүсвэрийн программ хангамж юм. Харин оптикийн мэдээний хувьд, атмосферын заслыг хийн, 11-р суваг буюу дундын нэл улаан туяаны сувгийн оронзайн шийдийг 10 м болгон шилжүүлсэн болно. Ингэснээр, ижил орон зайн шийдтэй оптикийн болон радарын мэдээнүүдийг нийлэгжүүлэх боломжтой юм. Түүнчлэн, ангилал хийхэд ашиглах сигнатур буюу сургалтын дээж, ангиллын үр дүнг үнэлэх зорилгоор ашиглах хяналтын дээжүүдийг Google Earth-ийн хэт өндөр шийдтэй оронзайн мэдээг ашиглан цуглуулсан болно. Зураг 1-д судалгааны талбай болон Sentinel дагуулын мэдээнүүдийг харуулав.



Зураг 1. Судалгааны талбай: (а) Орхон аймгийн нутаг дэвсгэр дээр, (б) S1 радарын мэдээ, (в) S2 оптикийн мэдээний хувьд.

3. АРГАЗҮЙ

Оптикийн болон радарын мэдээг ашиглан газрын бүрхэвчийг ангилахдаа Зураг 2-д үзүүлсэн алхмын дагуу гүйцэтгэсэн болно. Үүнд: хиймэл дагуулын мэдээнүүдэд боловсруулалт хийн, Дата-1, Дата-2 гэсэн мэдээний багцуудыг бэлтгэнэ. Дата-1 мэдээнд оптикийн мэдээний 4, 5, 8A, 11-р сувгууд, Дата-2 мэдээнд оптикийн мэдээний 4, 5, 8A, 11-р сувгууд болон радарын мэдээний VV, VH туйлшралын утгууд багтсан болно. Эдгээр мэдээ бүрийг анги тус бүрийн хувьд 30-35 сигнатур байхаар сонгон авсан сургалтын дээжүүдийг ашиглан тулах векторын арга болон хамгийн их төсөөтэй аргуудаар “ой”, “ургамал”, “ус”, “бусад” гэсэн 4 үндсэн ангид хуваасан. Нарийвчлалын үнэлгээг хийхдээ анги тус бүрт 20 дээж байхаар тодорхойлсон хяналтын дээжтэй харьцуулан нарийвчлалын үнэлгээг хийсэн болно.



Зураг 2. Судалгааны аргазүйн схем.

3.1. Тулах векторын арга

Энэхүү арга нь оновчтой гипер хавтгайг тодорхойлох замаар өгөгдлийн цэгүүдийг ангиудад хуваадаг. Анхдагч цэгүүдийг зааглах хязгааргүй олон гипер хавтгай байж болох боловч, тулах векторын арга нь хамгийн их зөрөөтэй гипер хавтгайг сонгоно. Зөрөө нь ангилагч болон сургалтын цэгүүд хоорондын зайг илэрхийлдэг [8]. Тулах векторын арга нь сургалтын өгөгдлүүдийг хооронд нь салгах хамгийн тохиромжтой заагийг тодорхойлох хүртэл давталттай хийгдэх бөгөөд өгөгдлийг шугаман, шугаман бус байдлаар ангилна. Шугаман бус ангиллын үед кернел функцийг ашиглахаас гадна, цөөн тооны сургалтын дээжид тулгуурлан харьцангуй өндөр үр дүн үзүүлдэг нь энэхүү аргын давуу тал юм [9].

Объектэд суурилсан тулах векторын ангилалд eCognition Developer 9.0 программыг ашигласан бөгөөд бидний судалгаанд хамгийн тохиромжтой сегментчлэлийн үр дүнг үзүүлэх масштаб, хэлбэр, мөлгөр байдлын утгуудыг туршилтын дүнд 100, 0.2, 0.5 гэж тус тус тодорхойлсон болно. Харин, пикселд суурилсан хамгийн их төсөөтэйн аргаар ангиллыг гүйцэтгэхдээ ENVI программыг ашиглав.

3.2. Хамгийн их төсөөтэйн (ХИТ) арга

Энэхүү арга нь тухайн анги (C_i), хэмжилтийн вектор (x) хоёрын хоорондын давтамж дээр үндэслэсэн байдаг ба олон бүсчлэлийн мэдээний хувьд ажиглалт X (пиксел) бүр нь N хувьсагч (суваг) дахь хэмжилтийн олонлогоос тогтоно. ХИТ арга нь Байесын дүрмийг ашиглан дараах хэлбэрээр илэрхийлэгдэнэ.

$$P(C_i|x) = P(x|C_i) * P(C_i)/P(x) \quad (1)$$

Байесын ангилал нь геомэдээллийн хувьд тогтмол гэж тооцогддог нөхцөлт магадлал $P(x|C_i)$, тухайн биетийн контекстээс хамаардаг анхдагч магадлал $P(C_i)$ хоёрыг салгаж болдгоороо онцлог юм. Уг арга нь бөмбөлгийн байршлаас гадна хэлбэр, хэмжээ, чиглэлийг харгалзан үздэгээрээ ангиллын бусад аргуудаас ялгаатай юм.

$P(C_i)$ - анхдагч магадлал гэх бөгөөд ангилагч өөрийн ангилах гэж буй орон нутгийн тухай мэдлэг дээр үндэслэн тодорхойлно.

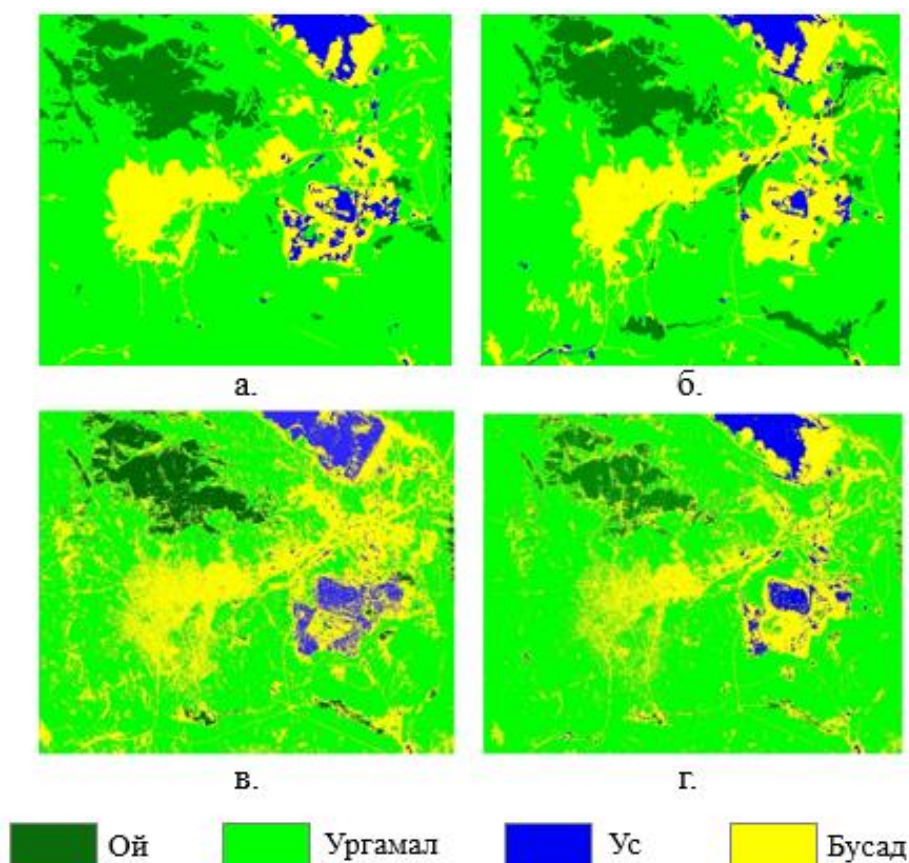
$P(C_i|x)$ - туршилтын буюу хамгийн их магадлал

$P(x)$ пикселийг (x) дурын ангиас олох магадлал бөгөөд пиксел $P(C_i|x)$ -ийн хамгийн их утгад ангилагдана [10]. Манай судалгааны хүрээнд, $P(C_i)$ болон $P(x)$ -ийг тогтмол гэж үзсэн болно.

Нарийвчлалын үнэлгээг ерөнхийдөө ангиллын чанарыг үнэлэх болон тухайн сонгосон судалгааны талбайд хийгдсэн ангиллын үр дүнгүүдийг харьцуулах замаар тохиромжтой ангиллын аргыг тодорхойлоход хэрэглэдэг [11]. Тохирлын матриц нь нарийвчлалын үнэлгээ хийхэд хамгийн түгээмэл хэрэглэгддэг арга бөгөөд түүнийг нарийвчлалын үнэлгээний бусад элементүүд болох ангиллын ерөнхий нарийвчлал (АЕН), каппа коэффициент (КК) зэргийг гарган авахад ашигладаг [12].

4. ҮР ДҮН БА ХЭЛЭЛЦҮҮЛЭГ

Тулах векторын арга болон ХИТ аргуудыг ашиглан газрын бүрхэвчийг ангилсан ангиллын үр дүнг Зураг 3-д үзүүлэв. ХИТ ангиллын үр дүнгээс харахад тухайн ангид хамаарахгүй олон пикселүүд, ялангуяа “бусад” ангийн пикселүүд “ой” болон “ус” ангиудад ангилагдсан харагдаж байна. Харин, тулах векторын арга нь объектэд суурилан газрын бүрхэвчийг ангилсан тул алдаа багатай үр дүнг үзүүлсэн байна. Ангиллын нарийвчлалыг үнэлэхдээ хяналтын дээжүүдийг ангиллын үр дүнтэй харьцуулан, тохирлын матриц ашиглан тооцоолсон болно. Ангиллын аргуудын АЕН болон КК-ийг Хүснэгт 1-д харуулав.



Зураг 3. (а) S2 мэдээг тулах векторын аргаар, (б) S1+S2 мэдээг тулах векторын аргаар, (в) S2 мэдээг ХИТ аргаар, (г) S1+S2 мэдээг ашиглан ХИТ аргаар ангилсан үр дүн.

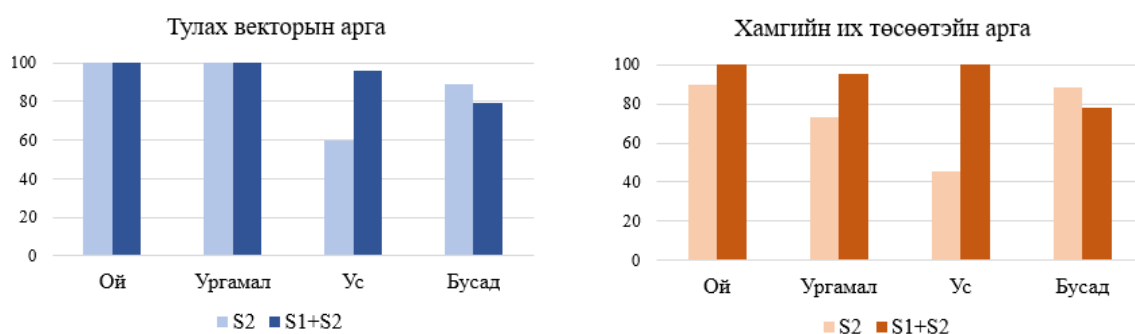
Хүснэгт 1-ээс харахад хамгийн өндөр нарийвчлалыг, S1+S2 мэдээг тулах векторын аргаар ангилсан ангиллын үр дүн харуулж байна (AEN=95.24%, КК=0.928). Харин S2 мэдээг ХИТ аргаар ангилсан дүн хамгийн бага нарийвчлалтай харагдаж байна (AEN=73.75%, КК=0.572). Түүнчлэн аль ч төрлийн мэдээг ашигласан тохиолдолд тулах векторын арга нь илүү өндөр үр дүнг үзүүлж байна. Foody ба Marthur (2004) нарын судалгаанд сургалттай болон сургалтгүй хэд хэдэн ангиллын аргыг харьцуулан үзэхэд тулах векторын арга нь хамгийн өндөр нарийвчлалтай байсан [13] бөгөөд Энхзул (2019) нарын судалгаанд ХИТ арга, тулах векторын арга, хамгийн бага зайн аргуудаар олон цаг улирлын сансрын мэдээг ангилахад, мөн л тулах векторын арга нь хамгийн сайн үр дүнг үзүүлж байжээ [14].

Хүснэгт 1. Ангиллын нарийвчлалын дүн.

Мэдээ	Тулах векторын арга		ХИТ арга	
	AEN	КК	AEN	КК
S2	93.50%	0.901	73.75%	0.572
S1+S2	95.24%	0.928	92.79%	0.894

Ер нь ангиллын аргад пикселд эсвэл объектэд суурилсан эсэх нь ангиллын үр дүнд нөлөөлж байна. Уламжлалт пикселд суурилсан ангиллын аргатай харьцуулахад объектэд суурилсан газрын бүрхэвч, тэр дундаа ургамал, ойг ангилах нь илүү өндөр нарийвчлал бүхий үр дүнг үзүүлсэн байдаг [15][16][17]. Учир нь пикселд суурилсан ангилал нь дүрс мэдээний пиксел тус бүрийн спектрийн утган дээр тулгуурладаг бол объектэд суурилсан өндөр түвшний ангилал нь “дүрсийн объект” гэж нэрлэгдэх ижил төсөөтэй хэсэг бүлэг пикселүүдийн спектр шинж чанар, хэлбэр хэмжээ, текстур зэрэг мэдээлэл дээр тулгуурлан ангиллыг хийснээр илүү өндөр нарийвчлалтай үр дүнг үзүүлдэг.

Газрын бүрхэвчийн ангиллын ерөнхий нарийвчлалыг тооцоноос гадна 4 анги тус бүрийн хувьд нарийвчлалыг тооцон үзэхэд тулах векторын аргаар ангилсан ангиллын нарийвчлал бүх ангид харьцангуй өндөр гарсан (Зураг 4). Ялангуяа, “ой” болон “ургамал” ангиудын нарийвчлал хамгийн их байсан болно. Харин “бусад” ангийг S2 ба S1+S2 мэдээ тус бүрийн хувьд ангиллын 2 аргаар нилээд ойролцоо тодорхойлсон нь оптикийн мэдээг радарын мэдээтэй нийлэгжүүлэхгүйгээр сургалттай ангиллын арга ашиглан уг ангийг ангилах нь ижил үр дүнг үзүүлж болохоор байгааг илтгэж байгаа юм. Түүнчлэн “ус” анги нь S2 мэдээг ашиглан хоёр ангиллын аргаар тооцоолоход хамгийн алдаа ихтэй ангилагдсан хэдий ч S1+S2 мэдээг ашиглан ХИТ аргаар ангилахад харьцангуй өндөр нарийвчлалыг үзүүлж байна.



Зураг 4. Анги тус бүрээр тооцоолсон нарийвчлалын үр дүн.

5. ДҮГНЭЛТ

Энэхүү судалгаанд пикселд суурилсан ХИТ болон объектэд суурилсан тулах векторын аргуудаар газрын бүрхэвчийг 4 үндсэн ангид хуваан ангилж, харьцуулсан дүгнэлтийг хийсэн болно. Нарийвчлалын үнэлгээг тооцоолоход оптикийн болон радарын мэдээг нийлэгжүүлэн тулах векторын аргаар ангилсан ангиллын үр дүн хамгийн өндөр буюу АЕН=95.24% гарсан бол оптикийн мэдээг ХИТ аргаар ангилах нь хамгийн бага нарийвчлалтай байсан болно (АЕН=73.75%). Түүнчлэн, аль ч төрлийн мэдээг ашигласан тохиолдолд тулах векторын арга нь илүү өндөр үр дүнг үзүүлж байв. Судалгааны үр дүнгээс харахад, объектэд суурилсан тулах векторын аргыг ашиглан газрын бүрхэвчийн мэдээллийг өндөр нарийвчлалтай тодорхойлж болохоор байна. Мөн, оптикийн мэдээг дангаар нь ашиглахаас илүү радарын мэдээтэй нийлэгжүүлэн ашиглах нь ангиллын нарийвчлалыг нэмэгдүүлж байгаа нь харагдаж байлаа.

АШИГЛАСАН НОМ, ХЭВЛЭЛ

- [1] M. Li, S. Zang, B. Zhang, S. Li and C. Wu, "A review of remote sensing image classification techniques: the role of spatio-contextual information", *European Journal of Remote Sensing*, vol. 47, no. 1, pp. 389-411, 2014. Available: <https://doi.org/10.5721/EuJRS20144723>
- [2] D. Enderle and R. Weih, "Integrating supervised and unsupervised classification methods to develop a more accurate land cover classification", *Journal of the Arkansas Academy of Science*, vol. 59, pp. 65-73, 2005.
- [3] D. Amarsaikhan, M. Ganzorig, M. Saandar, H. Blotvogel, E. Egshiglen, R. Gantuya, B. Nergui and D. Enkhjargal, "Comparison of multisource image fusion methods and land cover classification," *International Journal of Remote Sensing*, vol. 33, no. 8, pp. 2532-2550, 2012. Available: <https://doi.org/10.1080/01431161.2011.616552>
- [4] P. S. Sisodia, V. Tiwari and A. Kumar, "Analysis of Supervised Maximum Likelihood Classification for remote sensing image," *International Conference on Recent Advances and Innovations in Engineering (ICRAIE-2014)*, 2014, pp. 1-4, Available: <https://doi.org/10.1109/ICRAIE.2014.6909319>
- [5] Engineering statistics handbook, <https://www.itl.nist.gov/div898/handbook/index.htm>
- [6] M. Sheykhoumousa, M. Mahdianpari, H. Ghanbari, F. Mohammadimanesh, P. Ghamisi and S. Homayouni, "Support Vector Machine Versus Random Forest for Remote Sensing Image Classification: A Meta-Analysis

- and Systematic Review," *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, vol. 13, pp. 6308-6325, 2020, Available: <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2020.3026724>
- [7] “Орхон аймаг Эрдэнэт хотын уур амьсгалын тодорхойлолт”, *Цаг уур, орчны шинжилгээний газар*. April 4, 2017. Accessed on: Oct 25, 2022. [Online]. Available: <http://orkhon.tsag-agaar.gov.mn/>
- [8] G. Mountrakis, J. Im, and C. Ogole, “Support vector machines in remote sensing: A review”, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 66, pp. 247-259, 2011. Available: <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2010.11.001>
- [9] N. Bahari, A. Ahmad and B. Aboobaidar, “Application of support vector machine for classification of multispectral data”, *Earth and Environmental Science*, vol. 20, 012038, 2014. Available: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/20/1/012038>
- [10] Д.Амарсайхан, М.Ганзориг, М.Саандарь, Ц.Адьяасүрэн, Зайнаас Тандах Судлал, ГМС-ийн Зарчмууд, Улаанбаатар, 2006.
- [11] E. Moran, "Land Cover Classification in a Complex Urban-Rural Landscape with QuickBird Imagery," *Photogrammetry Eng Remote Sensing*, vol. 76, no. 10, pp. 1159-1168, 2010. Available: <https://doi.org/10.14358/PERS.76.10.1159>
- [12] M. Wulder, S. Franklin, J. White, J. Linke and S. Magnussen, "An accuracy assessment framework for large-area land cover classification products derived from medium-resolution satellite data", *International Journal of Remote Sensing*, vol. 27, no. 4, pp. 663-683, 2006. Available: <https://doi.org/10.1080/01431160500185284>
- [13] G. Foody and A. Mathur, “A relative evaluation of multiclass image classification by support vector machines”, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 42, no. 6, pp. 1335–1343, 2004. Available: <https://doi.org/10.1109/TGRS.2004.827257>
- [14] Л.Энхзул, Э.Жаргалдалай, “Төв аймгийн Батсүмбэр сумын газрын бүрхэвчийг олон цаг улирлын зайнаас тандсан мэдээ ашиглан үнэлсэн дүн”, *Газрын харилцаа-2019*, х. 128-132, 2019.
- [15] D. Liu and F. Xia, “Assessing object-based classification: advantages and limitations”. *Remote Sensing Letters*, vol. 1, no. 4, pp.187–194, 2010. Available: <https://doi.org/10.1080/01431161003743173>
- [16] R. Weih and N. Riggan, “Object-based classification vs. pixel-based classification: comparative importance of multi-resolution imagery”, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XXXVIII-4/C7, 2012.
- [17] E. Nyamjargal, D. Amarsaikhan, A. Munkh-Erdene, V. Battengel and C. Bolorchuluun, “Object-Based Classification of Mixed Forest Types in Mongolia”. *Geocarto International*, vol. 35, no. 2, pp. 1-12, 2019. Available: <https://doi.org/10.1080/10106049.2019.1583775>