

Application of hyperspectral and radar data for a land cover classification

Amarsaikhan Damdinsuren^{1,*}, Enkhmanlai Amarsaikhan²,
Enkhjargal Damdinsuren¹, Jargaldalai Enkh TUYA¹, Tsogzol Gurjav¹,
Tsolmon Altanchimeg¹

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

²*National Technical University, Ulaanbaatar, Mongolia*

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

<https://orcid.org/0000-0002-4715-6518>

Received: 30 September 2023 / Accepted: 14 December 2023 / Published online: 28 December 2023

ABSTRACT

In the modern digital image processing of remote sensing (RS) data, hyperspectral datasets combined with other multisource information are widely used for land cover classification and other thematic studies. The aim of this study was to integrate Hyperion hyperspectral image with dual-polarization Envisat synthetic aperture radar (SAR) data and compare the performances of support vector classification and spectral angle mapper methods on the combined datasets for a land cover discrimination. As a test site, an area covering the central and southern parts of the capital city of Ulaanbaatar was selected. The land cover classifications were conducted on two different band combinations (i.e. 4 bands of Hyperion sensor and Envisat dual-polarization data, and 99 bands of Hyperion sensor and Envisat dual-polarization data). The lowest accuracy demonstrated the spectral angle mapper and combination of 4 bands of Hyperion sensor and Envisat data, while the highest accuracy showed the support vector classifier and 99 bands of Hyperion sensor and Envisat data. As could be seen from the research, besides the applied classification methods, it is important to consider such factors as data structure, feature selection, and properties of image objects.

Keywords: SAR data, Support vector classification, Spectral angle mapper, Accuracy

Хайперспектрийн ба радарын мэдээ ашиглан газрын бүрхэвчийг ангилсан дүн

Амарсайхан Дамдинсүрэн^{1,*}, Энхманлай Амарсайхан²,
Энхжаргал Дамдинсүрэн¹, Жаргалдалай Энхтуяа¹, Цогзол
Гүржав¹, Цолмон Алтанчимэг¹

¹Газарзүй мэдээллийн систем, зайнаас тандан судлалын салбар, Газарзүй Геоэкологийн
Хүрээлэн, Шинжлэх Ухааны Академи, Улаанбаатар, Монгол

²Техникийн их сургууль, Улаанбаатар, Монгол

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

Хүлээн авсан: 2023 оны 09 сарын 30 өдөр / Зөвшөөрөгдсөн: 2023 оны 12 сарын 14 өдөр /
Нийтлэгдсэн: 2023 оны 12 сарын 28 өдөр

ХУРААНГУЙ

Орчин үеийн зайнаас тандсан мэдээний тоон боловсруулалтад, хайперспектрийн мэдээг тандан судалгааны бусад эх сурвалжийн мэдээтэй нийлүүлэн газрын бүрхэвчийн ангилал болон өөр төрлийн сэдэвчилсэн судалгаанд ихээхэн ашиглаж байна. Энэхүү судалгаа нь Hyperion сенсоровын хэт олон сувгийн мэдээг Envisat дагуулаас хос туйлшралаар хүлээн авсан синтетик апертурт радар (SAR)-ын өгөгдөлтэй нийлүүлэн нэгдмэл мэдээ болгож, улмаар уг нийлмэл мэдээн дээрх газрын бүрхэвчийн ангиуд бие, биеэсээ хэрхэн ялгарч байгааг тулах векторын ангилал, спектрийн өнцгийн маппер зэрэг аргуудыг ашиглан, харьцуулан судлах үндсэн зорилготой. Судалгааны загвар талбай болгон Улаанбаатар хотын төвийн болон өмнөд хэсгийг хамарсан газрыг сонгон авч, газрын бүрхэвчийн ангиллыг сувгуудын 2 өөр хоршлол (Hyperion сенсоровын 4 сувгийн болон Envisat дагуулын хос туйлшралын мэдээ, Hyperion сенсоровын 99 сувгийн болон Envisat дагуулын мэдээ) дээр хийв. Hyperion сенсоровын 4 сувгийн болон Envisat дагуулын мэдээг спектрийн өнцгийн маппер аргаар ангилсан дүн хамгийн бага нарийвчлалтай (80.24%) байсан бол Hyperion сенсоровын 99 сувгийн болон Envisat дагуулын мэдээг тулах векторын аргаар ангилсан дүн хамгийн өндөр нарийвчлалтай (89.11%) байлаа. Судалгаанаас харахад, тухайн ангиллын үр дүнд, ашиглаж байгаа аргаас гадна, өгөгдлийн бүтэц, сувгийн сонголт, дүрс мэдээн дээрх биесийн шинж чанар зэрэг олон хүчин зүйлс нөлөөтэй гэдэг нь харагдаж байна.

Түлхүүр үгс: SAR-ын мэдээ, Тулах векторын арга, Спектрийн өнцгийн маппер,
Нарийвчлал

1. ОРШИЛ

Одоо үед хайперспектрийн буюу хэт олон сувгийн мэдээг зайнаас тандсан

бусад эх сурвалжийн мэдээтэй (тухайлбал, радарын) нийлүүлэн, нэгдмэл байдлаар боловсруулан ашиглах нь олон давуу талыг бий болгож байна. Оронзайн хувьд өндөр ялгах чадвар бүхий оптикийн

зайнаас тандсан мэдээ нь спектрийн өргөн зурвасыг хамарсан байдаг тул өөр хоорондоо ижил төсөөтэй объектуудын нарийн ялгаа заагийг гаргахад хүндрэлтэй байдаг. Учир нь, тэдгээр байгаль дээрх биетүүдээс ойсон цацраг тухайн спектрийн зурваст дундажлагдан сканерт бүртгэгддэг.

Хэт олон сувгийн мэдээ нь спектрийн өргөн зурвасыг олон жижиг хэсгүүд болгон хуваасан байдаг тул өөр хоорондоо төстэй биетүүдийн хил заагийг сайн тодорхойлох боломж илүү байдгаараа онцлог юм. Тус мэдээ нь тухайн биет, юмсын цахилгаан соронзон долгионтой харилцан үйлчлэх шинж чанарт тулгуурлан оптик мужийн доод хэсэгт нарийн интервалтайгаар хүлээн авсан маш олон сувгийн тоон өгөгдлүүдээс бүрдэнэ [1].

Янз бүрийн давтамжтай долгион, туйлшрал, харах өнцгөөр хүлээн авсан SAR-ын анхдагч өгөгдлийн хувьд, давхар ойсон, шууд, диффуз, гадаргын зэрэг олон сарнилууд агуулагдах бөгөөд биесийн тодролд нөлөөлөх эдгээр сарнилууд нь долгионы урт, биесийн байршил, хэлбэр, хэмжээ, өндөр, нам, диэлектрик шинж чанар, гадаргын хэрчигдэл, текстур болон тухайн биет тусгалын өнцгийн аль хэсэгт нь байрлаж байгаа зэргээс хамааран өөр өөр байна [2].

Зайнаас тандсан мэдээний хэрэглээ байгаль орчин, нийгэм, эдийн засгийн олон салбарт эрчимтэй нэвтэрч байгаа өнөө цагт хайперспектрийн болон SAR-ын мэдээг нийлэгжүүлэн болон нийлмэл байдлаар боловсруулан олон төрлийн судалгаанд ашиглах боллоо [3]. Энэ нь эдгээр мэдээнүүд дээр байгаль дээрх биет, юмс өөр өөрийн онцлогтойгоор дүрслэгдэн, өөр хоорондоо ялгарч гардагтай холбоотой юм.

Гадаадын судлаачдын зарим судалгаанаас дурвал, Wolfgang нар (2012) Hyperion сенсрын болон Envisat ASAR дагуулын мэдээг нэгтгэн Хятадын

хойд нутгийн тариалангийн биомассыг регрессийн аргаар үнэлсэн бол Dabbiru нар (2015) Мексикийн зарим нутгийг AVIRIS-ын хэт олон сувгийн болон радарын мэдээг нийлэгжүүлэн, тулах векторын аргаар ангилжээ. Харин Tarpete нар (2020) хайперспектрийн мэдээг SAR-ын өгөгдөлтэй уялдуулан хөрсний чийг болон цасан дахь усны хэмжээг тодорхойлох оролдлого хийсэн бол Chiarito нар (2021) Sentinel-1 дагуулын ба хайперспектрийн мэдээг ашиглан уулын бэлчээрийн биомассыг тулах векторын аргаар үнэлсэн байна.

Хайперспектрийн болон радарын нэгдмэл мэдээг олон төрлийн аргуудаар боловсруулан өөр өөр сэдэвчилсэн мэдээллийг гарган авдгаас газрын бүрхэвчийн ангилал чухал байр суурь эзэлнэ. Газрын бүрхэвчийн тухай мэдээлэл нь хүрээлэн буй орчны төлөв байдал, тогтвортой хөгжлийг тодорхойлоход ихээхэн ач холбогдолтой байхаас гадна, нийгмийн олон салбарт өргөнөөр ашиглагддаг [8].

Энэхүү судалгааны зорилго нь АНУ-ын Earth Observation-1 хиймэл дагуулаас Hyperion сенсрын тусламжтай хүлээн авсан Улаанбаатар хотын хэсгийн 242 сувгийн мэдээг Европын сансрын агентлагийн Envisat дагуулын радарын мэдээтэй нийлүүлэн, нэгдмэл мэдээнд газрын бүрхэвчийн ангилал хийж, улмаар аль арга нь илүү үр дүн үзүүлж байгааг харуулахад оршино.

2. СУДАЛГААНЫ ТАЛБАЙ, АРГАЗҮЙ

Судалгааны талбай болгон Улаанбаатар хотын төвийн болон нийслэлийн өмнөд хэсгүүд орсон газрыг сонгон авлаа. Хэдийгээр Улаанбаатар хот нь баруунаас зүүн тийш 30 гаруй км, хойноос урагшаа 20 гаруй км боловч, бидний сонгосон судалгааны талбай түүний багахан (зүүнээс

баруун тийш 6.1км, хойноос урагшаа 4.8км) хэсгийг эзэлнэ.



Зураг 1. Судалгааны тайлбайн Hyperion сенсоровын мэдээ (1-барилгажсан талбай, 2-гэр хороолол, 3-сул газар, 4-ногоон ургамал, 5-ус).

Судалгааны талбайд барилгажсан талбай, гэр хороолол, сул газар, ногоон ургамал, ус зэрэг ангиудыг ангилах боломжтой. Барилгажсан талбай нь янз бүрийн хэмжээ бүхий байшингуудаас тогтох бөгөөд судалгааны талбайн хойд, зүүн ба баруун хэсгүүдэд голдуу тархсан байгаа бол гэр хороолол нь баруун хойд болон зүүн хэсэгт байршилтай байна. Сул газар гэсэн ангийн хувьд, судалгааны талбайн өмнөд болон зүүн өмнөд хэсгүүдээр тархсан нүцгэн голдуу газар байгаа бол ногоон ургамал алаг цоог тархалттай байна. Харин ус гэсэн ангид Хүүхдийн парк дахь нуураас гадна, нийслэлийн урдуур урсах Туул гол хамаарна.

Энэхүү судалгаанд, 2002 оны 8-р сарын 12-ны өдрийн Hyperion сенсоровын [9] 30м-ийн оронзайн шийдтэй хайперспектрийн мэдээ (манай орны газар нутагт хамаарах хэт олон сувгийн бөгөөд радиометрийн засал хийгдсэн зөвхөн энэ мэдээ байдаг) болон 2004 оны 6-р сарын 10-ны өдөр Envisat дагуулаас [10] HH, HV туйлшралуудаар хүлээн авсан 25м-ийн оронзайн шийдтэй радарын мэдээг тус тус

ашигласан болно. Мөн дээрх мэдээнүүдэд байрзүйн буюу газарзүйн холболт хийх зорилгоор WGS84/UTM солбицлын системийн координат бүхий Sentinel-2 дагуулын мэдээг сонгон авав. Зураг 1-д судалгааны талбайн Hyperion сенсоровын мэдээ болон түүн дээр сонгон авсан газрын бүрхэвчийн ангиудыг, харин Зураг 2-д Envisat дагуулын мэдээг тус тус харуулав.

Манай судалгааны хүрээнд, дүрсийн анхдагч сайжруулалтын аргууд болох геометрийн засал, радиометрийн сайжруулалт, толбо арилгах шүүлтүүр, тулах векторын ангилал болон спектрийн өнцгийн маппер зэрэг аргуудыг ашигласан болно [11,12,13]. Мөн ангиллын нарийвчлалыг тодорхойлохын тулд, зөвхөн нийт буюу ерөнхий нарийвчлалын аргыг ашигласан болно [11,12]. Тус арга нь анги тус бүрийн зөв ангилагдсан пикселийн нийлбэрийг нийт сонгосон дээж цэгийн (цэвэр пикселийн) тоонд харьцуулна.



Зураг 2. Судалгааны талбайг хамарсан Envisat дагуулын ASAR сенсоровын мэдээ.

2.1. Сансрын зургуудад анхдагч сайжруулалт хийх

Өөр өөр эх сурвалжийн мэдээг нэгтгэхэд, дүрс зургууд байрзүйн хувьд хамгийн бага алдаатай байх шаардлагатай. Үүний тулд, геометрийн өндөр нарийвчлалын холболт хэрэгтэй бөгөөд судалгааны эхэнд, WGS84/UTM солбицлын системийн координат бүхий Sentinel-2 дагуулын мэдээн дээрээс 9 тулгуур цэгийг

сонгон байрзүйн холболт хийж, Hyperion сенсоровн мэдээг стандарт тусгагт оруулсан болно. Тулгуур цэгүүдийг сонгон авахдаа ялгац сайтай газруудад сонголтыг хийсэн бөгөөд хөрвүүлэлтэд хоёрдугаар эрэмбийн полиномын функц, ойрх хөршийн аргуудыг [12] тус тус ашигласан ба дундаж квадрат алдаа нь 0.78 пиксел байлаа.

Дараа нь WGS84/UTM солбицлын систем бүхий Hyperion сенсоровн мэдээг ашиглан Envisat дагуулын мэдээнд байрзүйн холболт хийсэн бөгөөд үүний тулд, жигд тархалттай байрласан 12 тулгуур цэгийг сонгосон болно. Хөрвүүлэлтэд хоёрдугаар эрэмбийн полиномын функц, ойрх хөршийн аргуудыг тус тус ашигласан ба дундаж квадрат алдаа нь 1.16 пиксел байлаа. Хөрвүүлэлтийн явцаас ажиглахад радарын зургийг координатын системд оруулахад нилээн төвөгтэй байсан ба энэ нь уг зураг дээр илэрхийлэгдсэн нийт биес, ялангуяа байшин барилгууд радарын системийн онцлогоос шалтгаалан оронзайн хувьд өөр өөрөөр хуваарилагдсантай холбоотой юм.

Хайперспектрийн мэдээний хувьд анхдагч байдлаар агаар мандлын засал хийсэн мэдээ тул суваг тус бүрийг нь нарийвчлан шинжилж, усны шингээлтийн мужууд дахь 0 утгатай сувгууд болон сканерын алдаанаас үүдсэн гажилтууд бүхий сувгуудыг хасаж, цаашдын дүн шинжилгээнд нийт 99 сувгийг сонгов. Дараа нь тоон өгөгдлийн тархалтын гистограммыг шинжилж, зарим сувгийн утгууд тодорхой өндөр утгууд хүртэл шилжсэн байсныг координатын системийн эх рүү буцаан шилжүүлж радиометрийн сайжруулалтыг хийлээ.

SAR-ын долгионы мужид авсан мэдээ нь радарын системийн онцлогоос хамааран толботсон байдалтай байдаг бөгөөд түүнийг засварлах нь цаашдын боловсруулалтад ихээхэн чухал байдаг. Радарын зургийн боловсруулалтад толбуудыг арилгахдаа

зургийн гол бүтцийг алдагдуулахгүй байх зарчмыг баримтлах шаардлагатай. Энэхүү судалгаанд, 3x3 болон 5x5 хэмжээтэй локал мужийн, ли-сигма, фрост болон гамма-мап зэрэг шүүлтүүрүүдийг ашиглан, гол бүтцийг алдагдуулахгүй байх зарчмаар нь харьцуулж үзэхэд, 3x3 хэмжээтэй гамма-мап шүүлтүүр хамгийн сайн үр дүнг өгч байв.

2.2. Тулах векторын арга

Энэхүү арга нь \mathbf{p} -хэмжээст огторгуйд анхдагч өгөгдлийн цэгүүдийг ялгаатай бүлгүүдэд ангилах гипер-хавтгайг байгуулдаг бөгөөд түүнтэй ойролцоо өгөгдлийн цэгүүдийг тулах векторууд гэж нэрлэдэг [13]. Гипер-хавтгайн математик тодорхойлолт нь маш энгийн байдаг. Тухайлбал, 2 хэмжээст огторгуйд гипер-хавтгайн тэгшитгэл нь дараах хэлбэртэй байна:

$$\beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 = 0 \quad (1)$$

Үүнд: $\beta_0, \beta_1, \beta_2$ нь тэгшитгэлийн параметрууд юм.

2 хэмжээст огторгуйд гипер-хавтгай нь шулуун учраас (1) нь шулууны ерөнхий тэгшитгэл юм. (1) тэгшитгэлийг хангаж байгаа $\mathbf{X} = (X_1, X_2)$ цэг бүр нь уг гипер-хавтгай дээрх цэг болно. (1) тэгшитгэлийг \mathbf{p} -хэмжээст огторгуйд маш хялбархан өргөтгөж болох ба энэ нь дараах байдлаар илэрхийлэгдэнэ:

$$\beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_p X_p = 0 \quad (2)$$

Иймээс \mathbf{p} -хэмжээст огторгуйд (2) тэгшитгэлийг хангаж байгаа $\mathbf{X} = (X_1, X_2, \dots, X_p)$ цэг бүр уг гипер-хавтгай дээр оршино.

Дээрх шинж чанарууд дээр тулгуурлан, тулах векторын арга нь ангиллын уламжлалт аргуудтай харьцуулахад, хайперспектрийн мэдээг ангилахад ихээхэн үр дүнтэй байдаг.

2.3. Спектрийн өнцгийн маппер

Спектрийн өнцгийн маппер нь сонгосон ангийн спектрийн шинж чанарыг уг

ангийн спектрийн санд хадгалагдсан буюу шинжээчийн тодорхойлсон шинж чанартай харьцуулах замаар хэт олон сувгийн мэдээг ангилдаг бөгөөд ангилал спектрийн шинж чанарын хослолыг өнцгийн хувьд нь n -хэмжээст огторгуйд харьцуулах замаар явагдана [14].

Хэрэв тухайн 2 спектрийн шинж чанарын хоорондын өнцөг их байвал ангиуд өөр хоорондоо ижил төстэй бус ба харин өнцөг бага байвал ижил төстэй байна. Спектрийн өнцгийн маппер нь өнцгийн харьцуулалтад дараах томъёог ашиглана:

$$\alpha = \cos^{-1} \left[\frac{\sum_{i=1}^{nb} r_i r_i}{[\sum_{i=1}^{nb} r_i^2]^5 [\sum_{i=1}^{nb} r_i^2]^5} \right] \quad (3)$$

Үүнд: nb -сувгийн тоо
 r_i -сонгосон ангийн спектрийн шинж чанар
 r_i - харьцуулж буй спектрийн шинж чанар.

Спектрийн өнцгийн маппер нь хэт олон сувгийн мэдээг ангилдаг тусгай аргад тооцогддог. Уг аргын гол давуу тал нь нарны тусгалын хүчин зүйлсээс хамаардаггүй бөгөөд уг арга нь ангиллын дүнд нөлөөлөх сүүдрийн нөлөөг багасгадаг.

3. СУДАЛГААНЫ ҮР ДҮН, ХЭЛЭЛЦҮҮЛЭГ

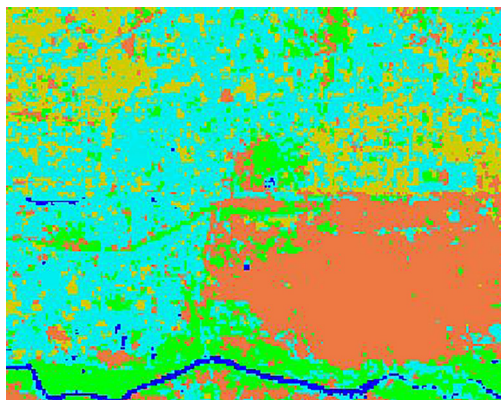
Ангиллыг хийхийн тулд, газрын бүрхэвчийн ангиудыг төлөөлсөн сигнатур буюу дээжүүдийг сонгох шаардлагатай байдаг. Энэ зорилгоор барилгажсан талбай, гэр хороолол, сул газар, ногоон ургамал, ус гэсэн 5 ангийг төлөөлсөн пикселүүдийг нийлмэл зургийн янз бүрийн хэсгүүдээс сонгон авч, тэдгээрийн зааглагдсан байдлыг дүрслэлийн оронзайд шалгаж үзээд, хамгийн сайтар ялгарч байгаа хэсгүүдийг сонгон авсан ба уг сигнатурууд нь 143-765 пикселээс бүрдэж байлаа. Дүн шинжилгээнд дараах сувгуудын хоршлолыг ашигласан болно. Үүнд:

1. Hyperion сенсоровын 4 суваг (үзэгдэх гэрлийн-1, ойрын нэл улаан туяаны-1, дундын нэл улаан туяаны-2) болон Envisat дагуулын (хос туйлшрал) сувгууд.
2. Hyperion сенсоровын 99 суваг болон Envisat дагуулын 3 суваг (3 дахь суваг нь хос туйлшралын мэдээний дундаж утга).

Ангиллын эцсийн үр дүнг газар дээрх бодит мэдээтэй харьцуулан, нарийвчлалыг шалгахын тулд жигд бус тархалттай үнэн зөв байрлал бүхий пикселүүдийг сонгон авч, тохирлын матрицыг тодорхойлсон бөгөөд нийт 6393 (барилгажсан талбай-2495, гэр хороолол-806, хөрс-2127, ногоон ургамал-781, ус-184) цэвэр пикселийг сонгон авсан болно.

3.1. Тулах векторын аргын үр дүн

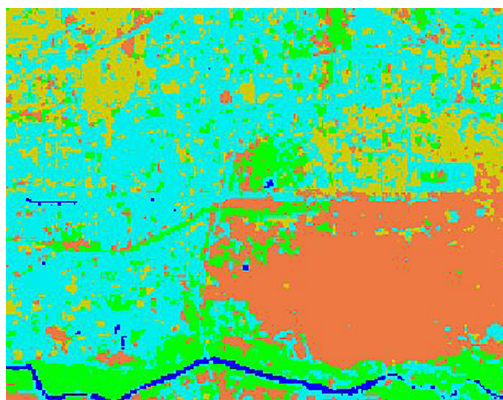
Hyperion сенсоровын 4 сувгийн болон Envisat дагуулын хос туйлшралын мэдээг тулах векторын аргаар ангилж, үр дүнг Зураг 3-д харуулав. Зургаас харахад, барилгажсан талбай, гэр хороолол зэрэг ангиудын хувьд давхцал хамгийн их байгаа бол сул газар, барилгажсан талбай, ногоон ургамал гэсэн ангиудын хувьд харьцангуй бага хэмжээний давхцалтай байгаа нь харагдаж байна.



Зураг 3. Тулах векторын аргаар Hyperion сенсоровын 4 сувгийн болон Envisat дагуулын

хос туйлшралын мэдээг ангилсан дүн.

Нарийвчлалын үнэлгээнд, сонгон авсан 6393 дээж пикселийг ашиглан үнэлгээ хийхэд, 5415 пиксел нь үнэн зөв ангилагдсан буюу ерөнхий нарийвчлал нь 84.70% байлаа. Энэ нь тухайн ангиллын нарийвчлал зөвшөөрөгдөх хэмжээнд байгааг илтгэж байгаа юм.



Зураг 4. Тулах векторын аргаар Hyperion сенсрын 99 сувгийн болон Envisat дагуулын бүх туйлшралын мэдээг ангилсан дүн.

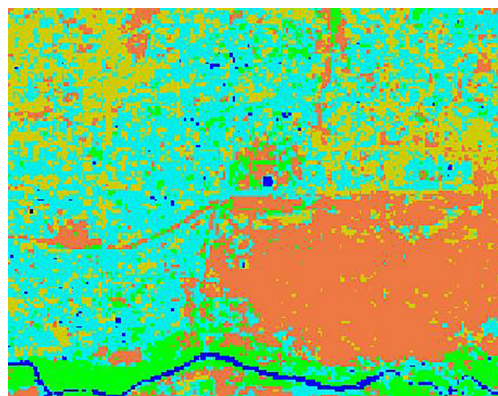
Дараа нь Hyperion сенсрын 99 сувгийн болон Envisat дагуулын бүх туйлшралын мэдээг нэгтгэн нийт 102 сувгийн мэдээг тулах векторын аргаар ангилж, үр дүнг Зураг 4-д харуулав. Зургаас харахад, ангиудын давхцал ерөнхийдээ Hyperion сенсрын 4 сувгийн болон Envisat дагуулын хос туйлшралын мэдээг нэгтгэн ангилсан дүнтэй төстэй мэт боловч, зарим талаар өөр байна.

Ангиллын нарийвчлалын үнэлгээнд, сонгосон түүвэр пикселүүдийг ашиглан үнэлгээ хийхэд, 5697 пиксел нь үнэн зөв ангилагдсан буюу ерөнхий нарийвчлал нь 89.11% байв. Энэ нь нэн олон сувгийн мэдээн дээрх тухайн сонгосон газрын бүрхэвчийн ангиудын өөр хоорондын спектрийн зааг ялгаа цөөхөн хэдэн сувагтай харьцуулахад илүү байгаагаар

тайлбарлагдана.

3.2. Спектрийн өнцгийн мапперийн үр дүн

Hyperion сенсрын 4 сувгийн болон Envisat дагуулын хос туйлшралын мэдээг спектрийн өнцгийн маппер аргаар ангилж, үр дүнг Зураг 5-д харуулав. Зургаас харахад, барилгажсан талбай, гэр хороолол гэсэн ангиудын хувьд давхцал нь тулах векторын ангиллын үр дүнгүүдтэй харьцуулахад нилээн их байгаа нь харагдаж байна. Мөн ангилсан зураг дээр хотын янз бүрийн хэсгүүдэд зарим пиксел ус гэж буруу ангилагдсан хэдий ч, Туул гол, ногоон ургамал хоёрын зааг нарийн ялгарч гарсан байна.

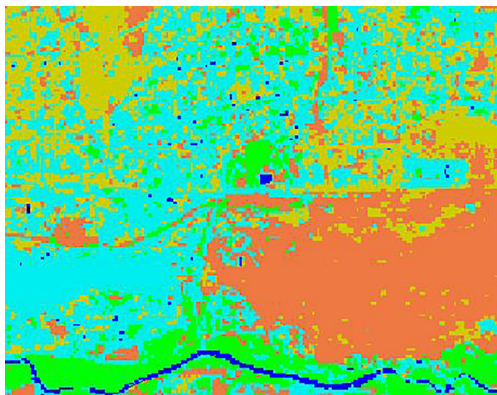


Зураг 5. Спектрийн өнцгийн маппер аргаар Hyperion сенсрын 4 сувгийн болон Envisat дагуулын хос туйлшралын мэдээг ангилсан дүн.

Нийт ангиллын нарийвчлалыг харуулсан тохирлын матрицаас харахад, ерөнхий нарийвчлал нь 80.24% байв. Энэ нь дээр ашигласан тулах векторын аргын дүнгүүдээс харьцангуй тааруу үр дүн ба 6393 сонгон авсан дээж пикселүүдээс 5130 нь үнэн зөв ангилагдсан байлаа.

Дээрх ангиллын дараа Hyperion сенсрын болон Envisat дагуулын бүх мэдээг нэгтгэсэн 102 сувгийн өгөгдлийг спектрийн өнцгийн маппер аргаар ангилж,

үр дүнг Зураг 6-д харуулав.



Зураг 6. Спектрийн өнцгийн маппер аргаар Hyperion сенсоровын 99 сувгийн болон Envisat дагуулын бүх туйлшралын мэдээг ангилсан дүн.

Зургаас харахад, барилгажсан талбай, гэр хороолол гэсэн ангиудын давхцал төв замын хойд хэсэгт их, урд хэсэгт ерөнхийдээ бага талдаа байна. Харин бусад ангиллын үр дүнгүүд дээр төв замын урд хэсэгт байгаа сул газар гэсэн анги нь барилгажсан талбай, эсвэл ногоон ургамал гэсэн ангитай голдуу давхцалтай байсан бол энэхүү зураг дээр гэр хороолол гэсэн ангитай ихээхэн холилдсон байна.

Ангиллын нарийвчлалын үнэлгээнд, сонгосон түүвэр пикселүүдийг ашиглан үнэлгээ хийхэд, 5392 пиксел нь үнэн зөв ангилагдсан буюу ерөнхий нарийвчлал нь 84.34% байв. Энэ нь ижил сувгуудыг ангилсан тулах векторын аргын дүнгээс нарийвчлалын хувьд бага байна.

Дээрх ангиллын дүнгүүдээс харахад, хайперспектрийн мэдээг ангилан, дүн шинжилгээ хийдэг тусгай арга хэмээн тооцогддог спектрийн өнцгийн маппер аргын үр дүн машин сургалттай аргын дүнгээс нарийвчлалын хувьд нилээн доогуур байгаа нь тусгай аргын үр дүн заавал сайн байх нөхцөлгүй гэдгийг харуулж байгаа юм.

Хайперспектрийн мэдээг гадаадын

судлаачид олон янзын аргаар боловсруулж, өөр өөр дүгнэлтийг хийсэн байдаг. De Almeida нар (2019) Амазоны сав газрын биомассын үнэлгээнд регрессийн загварчлал, хайперспектрийн ба лазерын мэдээг тус тус ашиглажээ. Vega-Araya (2012) хэт олон сувгийн болон радарын мэдээн дээр ойн бүрхэвч, төрөл зүйлийг ялгах зорилгоор шаталсан кластер шинжилгээний аргыг ашиглан ангилал хийж үзэхэд, тодорхой хэмжээний үр дүн гарсан ч, бүрэн шаардлага хангасан бүтээгдэхүүн гаргаж авч чадаагүй байна. Kumaг нар (2023) хайперспектрийн ба радарын нийлмэл мэдээн дээрх газрын бүрхэвчийн ангиудыг тулах векторын ангилал дээр суурилсан суваг хоршлолын аргаар ангилж үзэхэд, өндөр давтамжит шүүлтүүр ашигласан суваг хоршлолын үр дүн хамгийн өндөр нарийвчлалтай байжээ.

Энэ нь тухайн ангиллын арга тус бүр өөр өөрийн давуу талтай бөгөөд ангиллын үр дүнд тухайн аргаас гадна, сувгуудын сонголт, өгөгдлийн бүтэц ихээхэн нөлөөтэй гэдгийг харуулж байгаа юм. Ангиллын аргууд, сонгосон сувгууд болон үр дүнгүүдийн ерөнхий нарийвчлалыг нэгтгэн Хүснэгт 1-д үзүүлэв.

Хүснэгт. Ангиллын үр дүнгүүдийн ерөнхий нарийвчлал

№	Ангиллын арга, сонгосон сувгууд	Ерөнхий нарийвчлал
1	Тулах векторын арга (Hyperion сенсоровын 4 сувгийн ба Envisat дагуулын мэдээ)	84.70%
2	Тулах векторын арга (Hyperion сенсоровын 4 сувгийн ба Envisat дагуулын мэдээ)	89.11%
3	Спектрийн өнцгийн маппер (Hyperion сенсоровын 4 сувгийн ба Envisat дагуулын мэдээ)	80.24%

4	Спектрийн өнцгийн маппер (Hyperion сенсоровын 99 сувгийн ба Envisat дагуулын мэдээ)	84.34%
---	---	--------

5. ДУГНЭЛТ

Энэхүү судалгааны хүрээнд, 242 суваг бүхий Hyperion сенсоровын мэдээг Envisat дагуулын хос туйлшралаар хүлээн авсан радарын мэдээтэй нийлүүлэн, улмаар уг нийлмэл мэдээн дээр газрын бүрхэвчийн ангиуд өөр хоорондоо хэрхэн ялгарч байгааг харьцуулан судалсан болно. Судалгаанд хайперспектрийн ба SAR-ын нэгдмэл мэдээний 2 өөр хоршлол дээр машин сургалттай тулах векторын болон хэт олон сувгийн тусгай аргад тооцогддог спектрийн өнцгийн маппер зэрэг аргуудыг ашиглан ангилж, дараа нь 6393 дээж пикселийг ашиглан ерөнхий нарийвчлалын аргаар үнэлгээ хийлээ. Үнэлгээнээс харахад, тулах векторын аргаар Hyperion сенсоровын 4 сувгийн болон Envisat дагуулын хос туйлшралын мэдээг ангилсан үр дүнгийн ерөнхий нарийвчлал 84.70% байсан бол Hyperion сенсоровын 99 сувгийн болон Envisat дагуулын мэдээг ангилсан дүнгийн ерөнхий нарийвчлал 89.11% байв. Харин спектрийн өнцгийн маппер аргаар Hyperion сенсоровын 4 сувгийн болон Envisat дагуулын мэдээг ангилсан дүнгийн ерөнхий нарийвчлал 80.24% байсан бол Hyperion сенсоровын 99 сувгийн болон Envisat дагуулын мэдээг ангилсан дүнгийн ерөнхий нарийвчлал 84.34% байлаа. Ангиллын дүнгүүдийг харьцуулахад, тулах векторын аргаар ангилсан дүнгүүд өндөр үр дүнг үзүүлж байх бөгөөд хайперспектрийн мэдээг ангилан, дүн шинжилгээ хийдэг тусгай арга хэмээн тооцогддог спектрийн өнцгийн маппер аргын үр дүн машин сургалттай аргын дүнгээс нарийвчлалын хувьд нилээн доогуур байна. Энэ нь тухайн ангиллын үр дүнд, ашиглаж байгаа аргаас гадна, өгөгдлийн бүтэц, сувгийн сонголт, дүрс

мэдээн дээрх биесийн цахилгаан соронзон долгионтой харилцан үйлчлэх шинж чанар зэрэг олон хүчин зүйлс нөлөөтэй байдагтай холбоотой юм.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ

- [1]. Д. Д.Амарсайхан, “Хайперспектрийн мэдээг ангилах загвар”. ШУА-ийн Информатикийн Хүрээлэнгийн Эрдэм Шинжилгээний Бүтээл, pp. 7-12, 2011.
- [2]. Д. Амарсайхан, Радарын тандан судлал, радарын мэдээнд дүн шинжилгээ хийх зарчмууд, Улаанбаатар: Эрдэм хэвлэл, 2013.
- [3]. V. Kumar, S.R. Venkatachalaperumal, C. Persello, “Synergistic fusion of spaceborne polarimetric SAR and hyperspectral data for land cover classification”. Spaceborne Synthetic Aperture Radar Remote Sensing, CRC Press/Balkema, pp.169-210, 2023. <https://doi.org/10.1201/9781003204466-8>
- [4]. K.Wolfgang, I.Martin, H.Friedrichshafen, “Multi-Temporal Hyperspectral and Radar Remote Sensing for Estimating Winter Wheat Biomass in the North China Plain”. Photogrammetrie - Fernerkundung - Geoinformation, 3. pp.281-298. Schweizerbart. ISSN 14328364, 2012. <https://doi.org/10.1127/1432-8364/2012/0117>
- [5]. L. Dabbiru, S. Samiappan, R. A. A. Nobrega, J. A. Aanstoos, N. H. Younan and R. J. Moorhead, “Fusion of synthetic aperture radar and hyperspectral imagery to detect impacts of oil spill in Gulf of Mexico”. IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), Milan, Italy, 2015, pp. 1901-1904, 2015. <https://doi.org/10.1109/IGARSS.2015.7326165>
- [6]. D.Tapete, F.Cigna, S.Paloscia, et

- al. “Development of algorithms for the estimation of hydrological parameters combining COSMO-SkyMed and Sentinel time series with in situ measurements”. IEEE Mediterranean and Middle-East Geoscience and Remote Sensing Symposium 2020 (M2GARSS 2020), pp. 53-56, 2020. <https://doi.org/10.1109/M2GARSS47143.2020.9105313>
- [7]. E.Chiarito, F.Cigna, G.Cuozzo, et al. “Biomass retrieval based on genetic algorithm feature selection and support vector regression in Alpine grassland using ground-based hyperspectral and Sentinel-1 SAR data”. *European Journal of Remote Sensing*, 54:1, pp. 209-225, 2021. <https://doi.org/10.1080/22797254.2021.1901063>
- [8]. Э.Нямжаргал, Д.Амарсайхан, “Газрын бүрхэвчийг пиксел болон объектэд суурилсан аргуудаар ангилан харьцуулсан дүн”. Монгол Орны Газарзүй-Геоэкологийн Асуудлууд сэтгүүл, №43, ШУА-ийн Газарзүй-Геоэкологийн хүрээлэн, 2022.
- [9]. G. Mallinis, G. Galidaki and I. Gitas, “Comparative Analysis of EO-1 Hyperion, Quickbird and Landsat TM Imagery for Fuel Type Mapping of a Typical Mediterranean Landscape”. *Remote sensing*, vol. 6, no. 2, pp. 1684-1704, 2014. <https://doi.org/10.3390/rs6021684>
- [10]. EnviSat (Environmental Satellite), <https://www.eoportal.org/satellite>, 2012
- [11]. ENVI User’s Guide, Visual Information Solutions, 2009.
- [12]. ERDAS, “ERDAS Field Guide”, Atlanta, Georgia, 2009.
- [13]. G. James, D. Witten, T. Hastie. and R. Tibshirani, “Introduction to Statistical Learning with applications in R”. Springer Publisher, 2013. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-7138-7>
- [14]. B. B. Sinaice, N. Owada, H. Ikeda, H. Toriya, Z. Bagai, E. Shemang, T. Adachi and Y. Kawamura, “Spectral Angle Mapping and AI Methods Applied in Automatic Identification of Placer Deposit Magnetite Using Multispectral Camera Mounted on UAV”. *Minerals*, vol. 12, no. 2, p. 268, 2022. <https://doi.org/10.3390/min12020268>
- [15]. C. T. De Almeida, L.S. Galvão, L.E.O.C.E. De Aragão, et. al. 2019, Combining LiDAR and hyperspectral data for aboveground biomass modeling in the Brazilian Amazon using different regression algorithms. *Remote Sensing of Environment*, 232. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111323>
- [16]. M. Vega-Araya, “Applications of Hyper-spectral and Radar Remote Sensing analysis: a case study in Costa Rica”. Göttingen State and University Library, <http://dx.doi.org/10.53846/goediss-2359>, 2012.