

Results of principal component analysis using multisource data

Amarsaikhan Damdinsuren^{1,*}, Enkhjargal Damdinsuren¹, Odontuya Gendaram²,
Tsogzol Gurjav¹, Ochirhuyag Lkhamjav¹

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

²*Mongolian University of Pharmaceutical Sciences, Ulaanbaatar, Mongolia*

*Corresponding author email and ORCID: amarsaikhan@mas.ac.mn, <https://orcid.org/0000-0002-4715-6518>

Received: 23 Jun 2025 / Accepted: 21 Oct 2025 / Published online: 19 December 2025

ABSTRACT

In the processing of aerospace digital data, Principal Component Analysis (PCA) is utilized to enhance the spectral brightness of images by identifying new features, as well as compressing and reducing the dimensionality of multidimensional datasets. PCA reduces the size of hyperspectral data and generates new features, known as principal components (PCs). The first PC contains the most information, while the last PC contains the least. This enables the representation of hundreds of channels of multidimensional data with a small number of components. The primary objective of this study is to analyze the 234-channel hyperspectral data from the PRISMA satellite, both independently and in conjunction with VV and VH polarization synthetic aperture radar (SAR) data obtained from the Sentinel-1B satellite. Ulaanbaatar was selected as the test area for this research. When the 202 channels of PRISMA satellite data were processed and analyzed using the PCA, it was found that 98.9% of the total information was contained in the first five components, with PC1 accounting for 53.66% of the total variance of the original 202 channels. In contrast, when the combined hyperspectral and SAR data were processed, the first five components represented 99.1% of the total information, resulting in an increase of 0.2% in total information content. Overall, the results of the study show that the use of multiple source data and integration can further improve the quality of thematic interpretation and analysis.

Keywords: *Hyperspectral data, SAR data, Analysis*

Олон эх сурвалжийн мэдээг гол компонентын аргаар шинжилсэн дүн

Амарсайхан Дамдинсүрэн^{1,*}, Энхжаргал Дамдинсүрэн¹, Одонтуяа

Гэндарам², Цогзол Гүржав¹, Очирхуяг Лхамжав¹

¹Агаар, сансрын зайнаас тандан судлалын салбар, Газарзүй, геоэкологийн хүрээлэн, Шинжлэх Ухааны Академи, Улаанбаатар, Монгол

²Эм зүйн Шинжлэх Ухааны Их Сургууль, Улаанбаатар, Монгол

*Холбоо барих зохиогчийн цахим хаяг, ORCID: amarsaikhan@mas.ac.mn, <https://orcid.org/0000-0002-4715-6518>

Хүлээн авсан: 2025 оны 06 сарын 23 өдөр / Зөвшөөрөгдсөн: 2025 оны 10 сарын 21 өдөр / Нийтлэгдсэн: 2025 оны 12 сарын 19 өдөр

ХУРААНГУЙ

Агаар-сансрын тоон өгөгдлийг боловсруулахад гол компонентын шинжилгээ (ГКШ)-ний арга нь сувгуудыг шинээр тодорхойлон дүрс зургийн спектр тодролыг сайжруулахаас гадна, олон хэмжээст өгөгдлийг шахаж, хэмжээсийг нь багасгахад ашиглагдана. Хайперспектрийн мэдээг ГКШ-ний аргаар хэмжээсийг нь багасган, шинэ сувгуудыг буюу гол компонент (ГК)-уудыг үүсгэхэд, эхний ГК хамгийн их мэдээллийг, сүүлийн ГК хамгийн бага мэдээллийг агуулдаг. Ингэснээр, олон зуун сувгийн өгөгдлийг цөөн тооны компонентуудаар илэрхийлэх боломжтой болдог. Энэхүү судалгаа нь PRISMA дагуулын 234 сувгийн хайперспектрийн мэдээг тусад нь болон Sentinel-1B дагуулаас VV, VH туйлшралуудаар хүлээн авсан синтетик апертурт радар (САР)-ын өгөгдөлтэй нийлүүлэн ГКШ-ний аргаар дүн шинжилгээ хийх үндсэн зорилготой бөгөөд судалгааны загвар талбай болгон Улаанбаатар хотыг сонгон авав. PRISMA дагуулын 202 сувгийн мэдээг ГКШ-ний аргаар боловсруулан, шинжилгээ хийхэд нийт мэдээллийн 98.9% нь эхний 5 компонентэд агуулагдаж байсан ба ГК1 нь анхдагч 202 сувгийн мэдээний нийт дисперсийн 53.66 хувийг агуулж байв. Харин хайперспектрийн болон САР-ын нэгдмэл мэдээг ГКШ-ний аргаар боловсруулан шинжлэхэд эхний 5 компонент нийт мэдээллийн 99.1%-ийг агуулж, нийт мэдээллийн агууламж 0.2%-иар нэмэгдсэн байлаа. Судалгааны үр дүнгээс харахад, олон эх сурвалжийн мэдээг нийлмэл байдлаар ашигласнаар сэдэвчилсэн тайлал болон дүн шинжилгээний чанарыг илүү сайжруулах боломжтой байна.

Түлхүүр үгс: Хайперспектрийн мэдээ, САР-ын мэдээ, Дүн шинжилгээ

1. ОРШИЛ

1990-ээд оны үеэс олон зуун сувгийн дүрс мэдээ хүлээн авах техник, технологи эрчимтэй хөгжин, уг мэдээнд боловсруулалт хийх, байгалийн болон хүний үйл ажиллагаагаар бий болсон биетүүдийн өөр хоорондын ялгааг нарийвчлан гаргах, олон хэмжээст өгөгдлийн хэмжээсийг багасган тодорхой объектуудын шинж чанар, онцлогийг тодорхойлох, анхдагч тоон өгөгдөлд хамгийн үнэн зөв мэдлэгт тулгуурласан

тайлал хийх чиглэлийн судалгаанууд хүчтэй байр суурь эзэлж эхэлсэн нь хайперспектрийн тандан судлал хөгжихөд чухал алхам болсон юм [1].

Орчин үеийн тандан судлалд хэт олон сувгийн мэдээг аливаа сэдэвчилсэн судалгаанд ашиглах нь олон давуу талыг бий болгож байна. Modis, Landsat, Spot зэрэг уламжлалт зайнаас тандсан мэдээний сувгууд нь цахилгаан соронзон спектрийн өргөн зурвасыг хамарсан байдаг тул өөр хоорондоо ижил төсөөтэй биет, юмсын нарийн

ялгаа заагийг гаргахад хүндрэлтэй байдаг. Харин хайперспектрийн мэдээний суваг тус бүр нь спектрийн өргөн зурвасыг олон жижиг хэсгүүд болгон хуваасан байдаг тул өөр хоорондоо төстэй биетүүдийн хил заагийг сайн тодорхойлох боломж илүү байдгаараа давуу талтай [2], [3].

Хайперспектрийн мэдээнд нарийвчилсан дүн шинжилгээ хийхэд, дүрс мэдээн дээр дүрслэгдсэн объектуудын өөр хоорондын спектрийн ялгааг илэрхийлсэн сувгуудыг шууд сонгон авах, аль эсвэл эх тоон мэдээнд боловсруулалт хийж, шинээр тодорхойлох шаардлага үүсдэг. Идэвхгүй тандан судлалд дийлэнх тохиолдолд, олон сувгийн мэдээний үзэгдэх ногоон, улаан, ойрын нэл улаан туяаны сувгуудыг шууд сонгон ашигласаар ирсэн байдаг бөгөөд энэ нь эдгээр сувгууд дээр байгаль дээрх түгээмэл биет, юмс өөр хоорондоо тодорхой хэмжээгээр ялгарч гардагтай холбоотой [4], [5].

Зайнаас тандсан мэдээний спектрийн сувгуудыг шууд сонгон, тус мэдээн дээр илэрхийлэгдсэн биетүүдийг хооронд нь ялгахад, сул корреляцийн хамаарал бүхий сувгуудыг сонгох явдал нилээн түгээмэл байдаг [6]. Ийм сувгуудын тодролын хүснэгт дэх пикселийн радиометрийн утгууд эрс ялгаатай байвал дүн шинжилгээнд сайн үр дүнг үзүүлдэг ба үүний тулд тэдгээрийг улаан, ногоон, хөх өнгөөр кодлон нэгтгэж, төрөл бүрийн хуурмаг өнгөт зургуудыг үүсгэдэг [7], [8].

Харин ЗТС-ын мэдээн дээрх биет, юмсын спектрийн ялгааг илэрхийлсэн сувгуудыг шинээр тодорхойлох асуудал олон жилийн турш эрдэмтдийн анхаарлын төвд байсаар ирсэн бөгөөд ийм аргуудын тоонд ГКШ-ний арга багтана. Гадаадын олон судлаачид ГКШ-ний аргаар олон бүсчлэлийн мэдээг боловсруулсан байдаг бөгөөд тэдгээрийн дийлэнх нь эхний ГК-д нийт мэдээллийн 60-аас дээш хувь нь агуулагдаж байсныг онцолсон байдаг [9]-[13].

Манай орны хувьд, олон сувгийн болон хайперспектрийн мэдээг ГКШ-ний аргаар боловсруулсан анхны гэхээр судалгаануудыг Д.Амарсайхан нар [14] 1992 онд хийсэн байдаг. 1998 онд Д.Амарсайхан нар [1] AVIRIS сенсоровын 224 сувгийн мэдээг цахилгаан соронзон долгионы дэд мужуудад бүлэглэн ГКШ-ний аргаар шахах шинэлэг арга боловсруулсан бол А.Мөнх-Эрдэнэ нар [15] уг аргыг улам төгөлдөржүүлэн Hyperspec сенсоровын 242 сувгийн мэдээг боловсруулсан байна.

Судалгааны хүрээнд, Улаанбаатар хотыг судалгааны талбайгаар сонгон, PRISMA дагуулын 234 сувгийн хайперспектрийн мэдээг тусад нь болон Sentinel-1B дагуулын хос туйлшралын

радарын мэдээтэй нийлүүлэн ГКШ-ний аргаар боловсруулж, дүн шинжилгээ хийх үндсэн зорилтыг дэвшүүлсэн бөгөөд үр дүнгүүдийг харьцуулж үзсэн болно.

2. СУДАЛГААНЫ ТАЛБАЙ БОЛОН ЭХ МЭДЭЭНҮҮД

Судалгааны загвар талбай болгон Улаанбаатар хотын баруун, төв, зүүн болон өмнөд хэсгүүд орсон газрыг сонгон авлаа. Хэдийгээр нийслэл хот нь баруунаас зүүн тийш 30 гаруй км, хойноос урагшаа 20 гаруй км боловч, бидний сонгосон судалгааны талбай зүүнээс баруун тийш 21 км, хойноос урагшаа 15 км хэсгийг хамарна.

Энэхүү судалгаанд, 2022 оны 8-р сарын 15-ны өдөр PRISMA дагуулаас хүлээн авсан 30м-ийн оронзайн шийдтэй 234 сувгийн хайперспектрийн мэдээ, 2022 оны 8-р сарын 20-ны өдөр Sentinel-1 дагуулаас VV, VH туйлшралуудаар хүлээн авсан 10м-ийн оронзайн шийдтэй радарын мэдээг тус тус ашигласан болно. PRISMA нь 2019 онд Итали улсын хөөргөсөн дагуул бөгөөд дэлхий орчмыг 615км өндрөөс тандан, цахилгаан соронзон долгионы үзэгдэх хөх гэрлийн мужаас ойрын нэл улаан туяаны муж хүртэл (400 нм-1010 нм) 66 сувгийн мэдээ, ойрын нэл улаан туяаны мужаас дундын нэл улаан туяаны муж хүртэл (920 нм-2505 нм) 174 сувгийн мэдээг тус тус хүлээн авна [16].

а)



б)



Зураг 1. Судалгааны талбайн зураг: (а) PRISMA дагуулын мэдээ 1-барилгажсан талбай, 2-гэр хороолол, 3-ой, 4-бургас, 5- өвс ургамал, 6-хөрс, 7-ус (б) Sentinel-1B дагуулын мэдээ (Y=VV, H=VH, X=VH)

Судалгаанд ашигласан сансрын мэдээнүүд дээр барилгажсан талбай, гэр хороолол, ой, бургас, өвс ургамал, хөрс, ус зэрэг ангиуд байна. Барилгажсан талбай нь янз бүрийн хэмжээ бүхий байшингуудаас тогтох бол судалгааны талбайн хойд ба зүүн хэсгүүдэд гэр хороолол байна. Ой, бургас, хөрс гэсэн ангиудын хувьд, судалгааны талбайн өмнөд болон зүүн өмнөд хэсгүүдээр тархсан байгаа бол өвс ургамал алаг цоог тархалттай байна. Харин ус гэсэн ангид Хүүхдийн парк дахь нуураас гадна, нийслэлийн урдуур урсах Туул гол хамаарна. **Зураг 1а,б**-д сонгосон талбайн PRISMA, Sentinel-1B дагуулын мэдээнүүд болон спектрийн ангиудын тархалтыг харуулав.

3. СУДАЛГААНЫ АРГАЗҮЙ

Манай судалгааны хүрээнд, дүрсийн анхдагч сайжруулалтын аргууд болох геометрийн засал, радиометрийн сайжруулалт, толбо арилгах шүүлтүүр зэргийг ашигласны дараа ГКШ-ний аргыг ашигласан болно.

Куан шүүлтүүр нь радарын зургийн толбыг зураг дээр дүрслэгдсэн биет, юмсын хил хязгаарыг өөрчлөхгүйгээр багасгадгаараа онцлог юм [19]. Уг шүүлтүүр нь тооцоололд жинлүүрийн хүчин зүйлийг ашиглах бөгөөд дараах томъёог ашиглана:

$$DN = Ic * W + Im * (1 - W) \quad (1)$$

$$W = \frac{1 - \frac{c_u^2}{c_i^2}}{1 + \frac{c_u^2}{c_i^2}} \quad (2)$$

$$c_u = \sqrt{1/N} \text{Look} \quad (3)$$

$$c_i = S/I_m \quad (4)$$

Үүнд:

Ic - кэрнэл дэх төвийн пиксел

Im - кэрнэл дэх пикселүүдийн дундаж утга

S - кэрнэл дэх пикселүүдийн стандарт хазайлт.

ГКШ-нд ковариацийн матриц дээр үндэслэн бие, биетэйгээ перпендикуляр гол компонент (ГК)-ууд гэж нэрлэгдэх шинэ тэнхлэгүүдийг тодорхойлно. Шинэ системд өгөгдлүүд өөр хоорондоо хамгийн бага корреляцтай байна [17]. Олон хэмжээст огторгуйд пиксел нь түүний суваг тус бүр дэх спектр тодролыг илтгэх векторын компонентуудаар дүрслэгдэх бөгөөд пикселүүдийн дундаж вектор, ковариацийн матриц нь дараах байдлаар илэрхийлэгдэнэ:

$$m_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (5)$$

$$c_x = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - m_x)(x_i - m_x)^t \quad (6)$$

Хэрэв эдгээр векторууд (x) нь координатын шинэ системд u -ээр дүрслэгдэнэ гэвэл анхдагч векторын шугаман хувиргалт (G), шинэ огторгуй дахь пикселүүдийн дундаж вектор, ковариацийн матриц зэрэг нь дараах байдлаар илэрхийлэгдэнэ:

$$y = Gx \quad (7)$$

$$m_y = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i = Gm_x \quad (8)$$

$$C_y = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (Gx_i - Gm_x)(Gx_i - Gm_x)^t = GC_x G^t \quad (9)$$

Энд, C_y - ковариацийн (диагональ) матриц бөгөөд элементүүд нь координатын шинэ систем дэх пикселүүдийн тархалтын дисперсийг илтгэх ГК - ууд байна. Харин

G - нь C_x -ийн хувийн векторуудын матриц,

G^t - нь түүний урвуу матриц юм.

Хувийн векторууд нь анхдагч координатад харгалзах ГК-ийн тэнхлэгүүд бөгөөд хувийн утгууд нь дисперсийг илтгэнэ. Хэрэв суваг тус бүрийн мэдээний тархалт нь нормаль буюу түүнд ойролцоо тархалттай бол n -хэмжээст гистограм нь эллипс ($n=2$), эллипсоид ($n=3$), гипер-эллипсоидыг ($n>3$) үүсгэнэ [18]. Шинэ огторгуйд эхний ГК хамгийн их дисперсийн утгыг агуулах бөгөөд сүүлийн ГК нь шуугиантай байх буюу хамгийн бага мэдээг агуулна.

Хайперспектрийн мэдээг ГКШ-ний аргаар шахсан судалгааны ажлууд цөөн байдаг хэдий ч, ихэнх олон сувгийн мэдээний хувьд нийт мэдээллийн дийлэнх хувь нь эхний хэдэн ГК-д агуулагддаг байна [19].

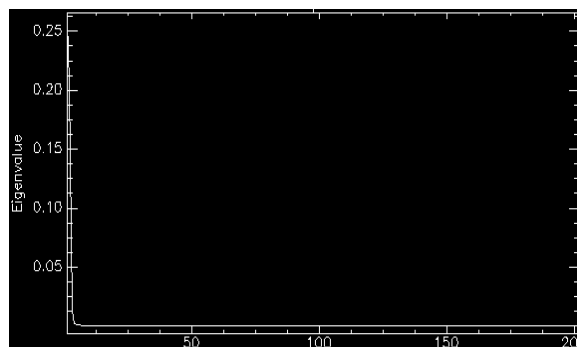
4. СУДАЛГААНЫ ҮР ДҮН, ХЭЛЭЛЦҮҮЛЭГ

Судалгааны эхэнд, WGS84/UTM солбицлын системийн координат бүхий 1:100,000 масштабтай байрзүйн зураг дээрээс тулгуур цэгүүдийг сонгон PRISMA дагуулын мэдээг стандарт тусгагт оруулан, геометрийн засал хийсэн болно. Тулгуур цэгүүдийг сонгон авахдаа ялгац сайтай газруудад сонголтыг хийсэн бөгөөд хөрвүүлэлт хийхдээ хоёрдугаар эрэмбийн полиномын функц, ойрх хөршийн аргуудыг тус тус ашигласан ба дундаж квадрат алдаа нь 0.64 пиксел байв.

Дараа нь Sentinel-1 дагуулын мэдээг солбицлын системд холбосон PRISMA дагуулын мэдээг ашиглан байрзүйн холболтод оруулсан бөгөөд үүний тулд, жигд тархалттай байрласан 14 тулгуур цэгийг сонгосон болно. Хөрвүүлэлтэд хоёрдугаар эрэмбийн полиномын функц, ойрх хөршийн аргуудыг тус тус ашигласан ба дундаж квадрат алдаа нь 0.99 пиксел байлаа.

Хайперспектрийн мэдээний хувьд, 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 202 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 хийсэн болно. Дараа нь радарын зурагт радиометрийн сайжруулалт хийж, толбыг багасгах шаардлагатай болсон бөгөөд энэ зорилгоор 3x3 куан [20] шүүлтүүрийг ашиглав.

Судалгааны эхэнд, PRISMA дагуулын 202 сувгийн мэдээг ГКШ-ний аргаар боловсруулан, үр дүнд шинжилгээ хийж эхний 15 компонентыг шинжлэхэд тодорхой хэмжээгээр газрын бүрхэвчийн анги тус бүртэй холбоотой мэдээллийг агуулж байсан боловч, нийт мэдээллийн 98.9% нь эхний 5 компонентэд агуулагдаж байв. ГКШ-ний дүнд үүссэн 202x202 хэмжээтэй корреляцийн болон хувийн векторын матрицууд асар том хэмжээтэй бөгөөд А4-ийн хуудсанд багтах боломжгүй тул 202 компонентын мэдээллийн агууламжийг харуулсан хувийн утгуудын графикийг **Зураг 2**-д үзүүлэв.



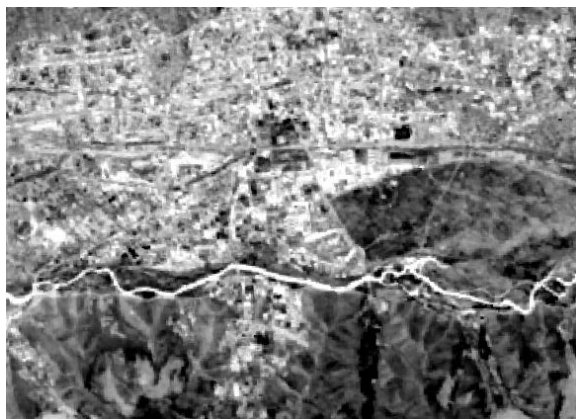
Зураг 2. 202 компонентын хувийн утгуудын тархалт

ГК1 нь анхдагч 202 сувгийн мэдээний нийт дисперсийн 53.66 хувийг агуулж байх бөгөөд тус компонентэд дан ганц, аль эсвэл цөөхөн хэдэн сувгийн дисперс давамгайлаагүй байлаа (**Зураг 3**). Энэ компонентэд үзэгдэх гэрлийн болон дундын нэл улаан туяаны мужийн сувгууд огт нөлөөгүй буюу бага зэргийн жинтэй байна. Харин ойрын нэл улаан туяаны мужийн доод хэсгийн 11 суваг тодорхой хэмжээний нөлөөтэй байх бөгөөд энэ нь тус компонентын бүрэлдэхүүнд эдгээр сувгуудыг пикселийн тодролын утгууд зонхилох нөлөөтэйг илтгэж байгаа юм.



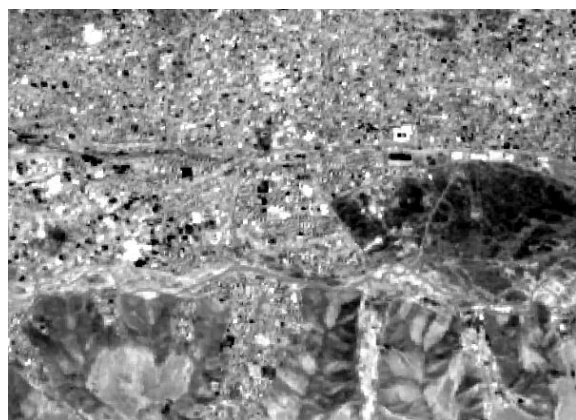
Зураг 3. ГК1-ийн зураг

ГК2 нь хэт олон сувгийн мэдээний нийт дисперсийн 40.7 хувийг агуулж байх ба тус компонентод ГК1-ийн адил аль нэгэн сувгийн дисперс илт давамгайлаагүй байна (**Зураг 4**). Энэхүү компонентод үзэгдэх хөх, ногоон гэрлийн, дундын нэл улаан туяаны мужийн сувгууд огт нөлөөгүй буюу бага зэргийн жинтэй байгаа бол улаан гэрлийн дээд хязгаарын 5 суваг болон ойрын нэл улаан туяаны мужийн 50 орчим суваг тодорхой хэмжээний урвуу хамааралтай байлаа.



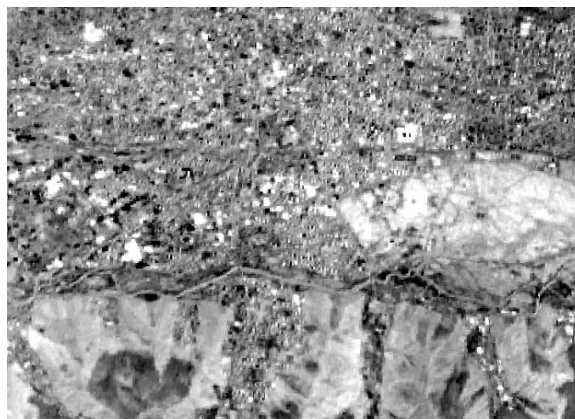
Зураг 4. ГК2-ын зураг

ГК3 нь хайперспектрийн мэдээний нийт дисперсийн 3.57 хувийг агуулж байх ба тус компоненттой үзэгдэх хөх, ногоон гэрлийн бүх сувгууд, түүнчлэн улаан гэрлийн доод хязгаарын зарим суваг тодорхой хэмжээний эерэг хамааралтай байна (Зураг 5). Өөрөөр хэлбэл, энэхүү компонентэд ойрын ба дундын нэл улаан туяаны мужийн сувгууд нөлөөгүй шахам байгаа бөгөөд энэ нь тус компонентын бүрэлдэхүүнд үзэгдэх гэрлийн сувгуудын пикселийн радиометрийн утгууд зонхилох нөлөөтэйг харуулж байгаа юм.



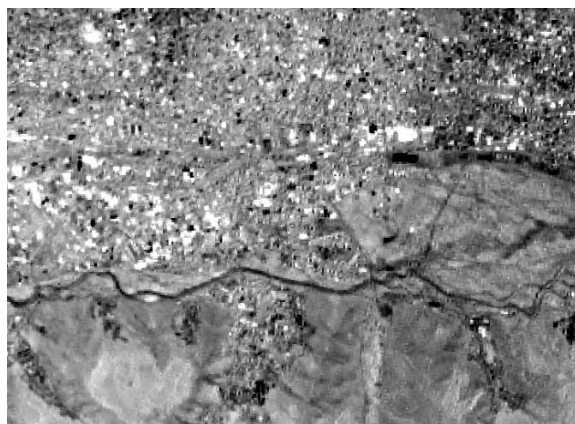
Зураг 5. ГК3-ын зураг

ГК4 нь хэт олон сувгийн мэдээний нийт дисперсийн 0.56 хувийг агуулж байх ба тус компонентод үзэгдэх гэрлийн болон ойрын нэл улаан туяаны мужийн сувгууд нөлөө байхгүй шахуу байна (Зураг 6). Харин дундын нэл улаан туяаны мужийн дээд хязгаарын 10 суваг тодорхой хэмжээний урвуу хамааралтай байгаа бол тус мужийн дээд хязгаарын 12 суваг тодорхой хэмжээний эерэг хамааралтай байна.



Зураг 6. ГК4-ийн зураг

ГК5 нь хэт олон сувгийн мэдээний нийт дисперсийн 0.39 хувийг агуулж байна (Зураг 7). Тус компоненттой үзэгдэх хөх гэрлийн 15 суваг тодорхой хэмжээний эерэг хамааралтай байгаа бол үзэгдэх улаан гэрлийн 16 суваг тодорхой хэмжээний сөрөг хамааралтай байна. Харин ногоон гэрлийн, ойрын ба дундын нэл улаан туяаны мужийн сувгууд нөлөө үзүүлэхгүй шахуу байгаа нь эдгээр сувгууд дээр илүү тодрон гардаг ой, ногоон ургамлын төрлийн талаарх мэдээлэл маш бүрхэг байгааг илтгэж байна.



Зураг 7. ГК5-ын зураг

PRISMA дагуулын мэдээнд дүнд шинжилгээ хийсний дараа уг хайперспектрийн мэдээг Sentinel-1 дагуулын мэдээтэй нийлүүлэн, 204 сувгийн мэдээ болгон, улмаар ГКШ-ний аргаар дахин боловсруулж, эхний 15 компонентыг шинжлэв. ГКШ-ний дүнд үүссэн 204x204 хэмжээтэй корреляцийн болон хувийн векторын матрицуудыг шинжлэхэд, эхний 5 компонент нийт мэдээллийн 99.1%-ийг агуулж байсан бөгөөд энэ нь радарын хос туйлшралын мэдээг нэмэхэд, нийт мэдээллийн агууламж 0.2%-иар нэмэгдсэнийг харуулж байна.

а)



б)



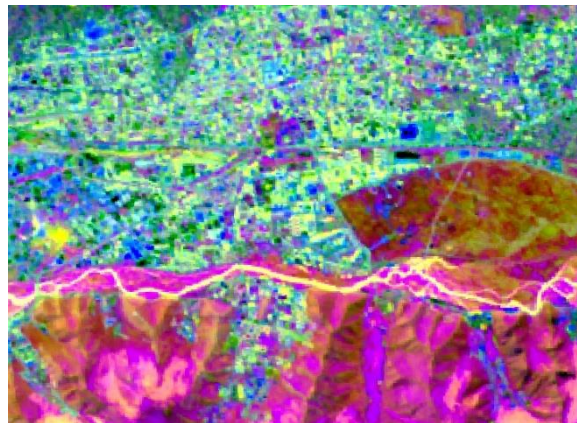
Зураг 8. ГКЗ болон Sentinel-1 дагуулын VH туйлшралын мэдээг харьцуулсан байдал

Мөн энэхүү 5 компонентын ГКЗ-аас бусад нь 202 сувгийн мэдээний дүнд үүссэн компонентуудтай адилхан харагдаж байсан нь тэдгээрт SAR-ын өгөгдөл нөлөө үзүүлэхгүй шахуу байсныг илтгэнэ. Харин ГКЗ-ын хувьд нийт мэдээллийн 4.39-ийг агуулж байсан бөгөөд тус компоненттэй Sentinel-1 дагуулын VH туйлшралын мэдээ өндөр сөрөг хамааралтай байна. Энэ нь ГКЗ дээрх биет, юмсын пикселийн радиометрийн утгууд Sentinel-1 дагуулын мэдээн дээрх утгуудаасаа эсрэг тодролын утгуудаар илэрхийлэгдэхийг илтгэж байгаа юм. **Зураг 8-д** ГКЗ болон Sentinel-1 дагуулын VH туйлшралын мэдээг харьцуулан үзүүлэв.

ГКШ-ний үр дүнд үүссэн компонентуудыг улаан, ногоон, хөх өнгөөр кодлон төрөл бүрийн өнгөт дүрсүүдийг үүсгэн, сэдэвчилсэн тайлал болон дүн шинжилгээнд ашигладаг. Энэ нь хэт олон сувгийн мэдээний хэмжээсийг багасган, тодорхой тооны компонентуудад нийт мэдээллийн дийлэнх хэсгийг агуулах үед онцгой ач холбогдолтой байдаг. Учир нь, шинжээч олон зуун сувгийн мэдээний суваг тус бүрийг хооронд нь харьцуулахад ихээхэн хөдөлмөр, цаг хугацаа

зарцуулах шаардлагатай тул ГКШ-ний аргыг хэрэглэснээр дүн шинжилгээний ажлыг илүү хурдан, найдвартай болгоно. **Зураг 9а,б-д** 202 сувгийн мэдээний эхний гурван ГК болон олон эх сурвалжийн мэдээний эхний гурван ГК-ыг ашиглан үүсгэсэн өнгөт дүрсүүдийг харьцуулан үзүүлэв.

а)



б)



Зураг 9. 202 сувгийн мэдээний эхний гурван ГК (а) ба 204 сувгийн мэдээний эхний гурван ГК (б)-ыг ашиглан үүсгэсэн өнгөт дүрсүүд

5. ДҮГНЭЛТ

Энэхүү судалгааны хүрээнд, PRISMA дагуулын 234 сувгийн хайперспектрийн мэдээг тусад нь болон Sentinel-1B дагуулын хос туйлшралаар хүлээн авсан радарын өгөгдөлтэй нийлүүлэн ГКШ-ний аргаар дүн шинжилгээ хийж, улмаар шинээр үүссэн компонентуудад агуулагдах мэдээллийн агууламж, тэдгээр дээрх газрын бүрхэвчийн ангиуд өөр хоорондоо хэрхэн ялгарч байгааг харьцуулан судалсан болно. PRISMA дагуулын 202 сувгийн мэдээг ГКШ-ний аргаар боловсруулан, эхний 15 компонентыг шинжлэхэд тодорхой хэмжээгээр газрын бүрхэвчийн анги тус бүртэй холбоотой

мэдээллийг агуулж байсан боловч, нийт мэдээллийн 98.9% нь эхний 5 компонентэд агуулагдаж байсан ба ГК1 нь нийт дисперсийн 53.66 хувийг агуулж байв.

Харин хайперспектрийн ба радарын мэдээг нийлүүлэн, 204 сувгийн мэдээ болгон ГКШ-ний аргаар боловсруулан, эхний 15 компонентыг шинжлэхэд, эхний 5 компонентын нийт мэдээллийн агууламж 0.2%-иар нэмэгдсэн байсан ба ГК3-тай САР-ын мэдээ маш өндөр урвуу хамааралтай байлаа. Дүн шинжилгээнээс харахад, PRISMA дагуулын 202 сувгийн мэдээг ашиглан үүсгэсэн ГК-уудтай харьцуулахад, олон эх сурвалжийн мэдээний компонентуудыг ашиглан үүсгэсэн өнгөт дүрс дээр биет, юмсын текстур, өөр хоорондын хил зааг илүү тодорч байсан бөгөөд энэ нь өөр өөр эх сурвалжийн мэдээг нийлмэл байдлаар ашигласнаар сэдэвчилсэн тайлал болон дүн шинжилгээ хийхэд илүү тустайг харуулж байгаа юм.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ

- [1] D. Amarsaikhan and M. Ganzorig, "Different approaches in feature extraction for hyperspectral image classification," in *Proc. 20th Asian Conf. Remote Sensing*, Hong Kong, pp. 434–438, 1999.
- [2] Д. Амарсайхан, Ц. Адьяасүрэн, and М. Саандарь, "Зайнаас тандах судлал, газарзүйн мэдээллийн системийг байгалийн нөөцийн менежментэд ашиглах нь," 5 дахь хэвлэл, 43.7 хэвл. хуудас, Улаанбаатар, 2014.
- [3] O. B. Özdemir, A. Koz, and Y. Çetin, "Non-linear hyperspectral unmixing with 3D convolutional encoders," *Int. J. Remote Sens.*, vol. 43, no. 9, pp. 3236–3257, 2022, <https://doi.org/10.1080/01431161.2022.2088258>.
- [4] D. Amarsaikhan, M. Ganzorig, P. Ache, and H. Blotevogel, "The integrated use of optical and InSAR data for urban land cover mapping," *Int. J. Remote Sens.*, vol. 28, no. 6, pp. 1161–1171, 2007, <https://doi.org/10.1080/01431160600784267>.
- [5] L. Zhang, M. Zhang, and X. Sun et al., "Cloud removal for hyperspectral remotely sensed images based on hyperspectral information fusion," *Int. J. Remote Sens.*, vol. 39, no. 20, pp. 6646–6656, 2018, <https://doi.org/10.1080/01431161.2018.1466068>.
- [6] D. Amarsaikhan, A. Enkhmanlai, V. Battsengel, and V. Batsaikhan, "Feature extraction and classification of hyperspectral images," in *Proc. Asian Conf. Remote Sensing*, Pattaya, Thailand, 2012, <https://doi.org/10.1080/01431161.2020.1736732>.
- [7] B. Cui, J. Cui, and S. Hao, "Spectral-spatial hyperspectral image classification based on superpixel and multi-classifier fusion," *Int. J. Remote Sens.*, vol. 41, no. 16, pp. 6157–6182, 2020, <https://doi.org/10.1080/01431161.2020.1736730>.
- [8] D. Amarsaikhan, A. Enkhmanlai, Ts. Bat-Erdene, E. Jargaldalai, and Ch. Bolorchuluun, "Feature extraction and classification of hyperspectral data of Mongolia using machine learning methods," in *eProc. Asian Conf. Remote Sensing*, Ulaanbaatar, Mongolia, 2022.
- [9] L. Jiaju, "Development of principal component analysis applied to multitemporal Landsat TM data," *Int. J. Remote Sens.*, vol. 9, no. 12, pp. 1895–1907, 1988, <https://doi.org/10.1080/01431168808954988>.
- [10] A. Picchiotti, R. Casacchia, and R. Salvatori, "Multitemporal principal component analysis of spectral and spatial features of the Venice Lagoon," *Int. J. Remote Sens.*, vol. 18, no. 1, pp. 183–196, 1997, <https://doi.org/10.1080/014311697219358>.
- [11] L. Jing and A. Panahi, "Principal component analysis with optimum order sample correlation coefficient for image enhancement," *Int. J. Remote Sens.*, vol. 27, no. 16, pp. 3387–3401, 2006, <https://doi.org/10.1080/01431160600606882>.
- [12] N. Neeti and J. R. Eastman, "Characterizing implications of two-dimensional space-time orientations for principal component analysis of geographic time series," *Int. J. Remote Sens.*, vol. 36, no. 1, pp. 290–299, 2015, <https://doi.org/10.1080/01431161.2014.994717>.
- [13] X. Xu, R. Gao, and Y. Qing et al., "Hyperspectral image mixed noise removal via tensor robust principal component analysis with tensor-ring decomposition," *Int. J. Remote Sens.*, vol. 44, no. 5, pp. 1556–1578, 2023, <https://doi.org/10.1080/01431161.2023.2187720>.
- [14] D. Amarsaikhan, B. Gorte, and W. Nieuwenhuis, "Knowledge-based approach to update a land use layer of an operational GIS," in *Proc. 13th Asian Conf. Remote Sensing*,

- Ulaanbaatar, Mongolia, pp. G-5-1–G-5-3, 1992.
- [15] A. Munkh-Erdene, D. Amarsaikhan, G. Odontuya, D. Enkhjargal, and E. Jargaldalai, “Feature extraction approach in hyperspectral data,” *Advances in Engineering Research*, vol. 206, Proc. ESTIC 2021, Atlantis Press – Springer Nature, pp. 102–108, 2021.
- [16] JPL, “PRISMA data are now available for access,” <https://sbg.jpl.nasa.gov/news-events/prisma-data-are-now-available-for-access>.
- [17] J. A. Richards and S. Jia, *Remote Sensing Digital Image Analysis — An Introduction*, 3rd ed., Berlin: Springer-Verlag, 2014.
- [18] P. M. Mather and B. Koh, *Computer Processing of Remotely-Sensed Images: An Introduction*, 4th ed., Chichester, UK: Wiley-Blackwell, 2011.
- [19] ERDAS, *ERDAS Field Guide*, Atlanta, GA, USA, 2009.
- [20] ENVI, *User’s Guide*, Research Systems, USA, 2009.