

# A comparison of filters to remove speckle from radar data

Amarsaikhan Damdinsuren<sup>1,\*</sup>, Enkhjargal Damdinsuren<sup>1</sup>,  
Tsogzol Gurjav<sup>1</sup>

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

\*Corresponding author email: [amarsaikhan@mas.ac.mn](mailto:amarsaikhan@mas.ac.mn)

Received: 29 April 2024 / Accepted: 14 August 2024 / Published online: 29 November 2024

## ABSTRACT

Regardless of the natural and climate conditions of a given area, it is possible to conduct mapping using radar remote sensing both during the day and at night. Compared to passive remote sensing, active or radar remote sensing emits short waves from an antenna at a slanting angle. Due to the coherent nature of radar waves, the waves scattered from the Earth's objects close to each other often coincide, creating black and white spots on the image due to the phase difference of the waves. These speckles make interpretation and analysis of the image difficult. To reduce the speckle, various special filters are used. In this study, kernels of different sizes were chosen to compare the effects of the frost and gamma-map filters for speckle reduction on radar data. The results indicated that each method had its own advantages. The frost filter changed the pixel values of the original data relatively little, while the gamma-map filter changed the radiometric values of the original data more than the frost filter, but preserved the image texture better.

**Keywords:** *Radar information, Speckle, Frost, Gamma-map, Filter*

# Радарын мэдээний толбыг арилгах шүүлтүүрүүдийг харьцуулж судалсан дүн

Амарсайхан Дамдинсүрэн<sup>1,\*</sup>, Энхжаргал Дамдинсүрэн<sup>1</sup>,  
Цогзол Гүржав<sup>1</sup>

*<sup>1</sup>Газарзүй мэдээллийн систем, зайнаас тандан судлалын салбар, Газарзүй, геоэкологийн хүүрээлэн, Шинжлэх Ухааны Академи, Улаанбаатар, Монгол*

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

*Хүлээн авсан: 2024 оны 04 сарын 29 өдөр / Зөвшөөрөгдсөн: 2024 оны 08 сарын 14 өдөр /  
Нийтлэгдсэн: 2024 оны 11 сарын 29 өдөр*

## ХУРААНГУЙ

Тухайн газар нутгийн байгаль, цаг уурын байдлаас үл хамааран өдөр, шөнийн алинд ч радарын тандан судлалыг ашиглан зураглал үйлдэх боломжтой байдаг. Идэвхгүй тандан судлалтай харьцуулахад идэвхтэй буюу радарын тандан судлал нь, зураглал хийх зориулалтын антеннаас богино долгион цацахдаа ташуу өнцгөөр цацдаг. Ийм үед, радарын долгионы когерент шинж чанараас үүдэн бие, биедээ ойрхон объектуудаас сарнисан долгионууд өөр хоорондоо давхцах тохиолдлууд элбэг байдаг бөгөөд долгионы фазын ялгаанаас нь шалтгаалан дүрс зураг дээр хар, цагаан толбууд бий болдог. Эдгээр толбууд нь дүрс мэдээнд тайлал, дүн шинжилгээ хийхэд хүндрэл учруулах ба толбыг багасгах зорилгоор янз бүрийн тусгай зориулалтын шүүлтүүрүүдийг ашигладаг. Энэхүү судалгааны хүрээнд, толбыг багасгахад ашиглагддаг фрост, гамма-мап зэрэг шүүлтүүрийн радарын мэдээнд үзүүлэх нөлөөг харьцуулан судлах зорилгоор янз бүрийн хэмжээтэй кэрнэлийг сонгов. Үр дүнгээс харахад, арга бүр өөр өөрийн онцлогтой байсан бөгөөд фрост шүүлтүүрийн хувьд эх өгөгдлийн пикселийн утгуудыг харьцангуй бага өөрчилж байсан бол гамма-мап шүүлтүүрийн хувьд, фрост шүүлтүүртэй харьцуулахад эх мэдээний радиометрийн утгуудыг илүү их өөрчилж байсан боловч, зургийн текстурыг хадгалах чадвар нь илүү сайн байлаа.

*Түлхүүр үгс: Радарын мэдээ, Толбо, Фрост, Гамма-мап, Шүүлтүүр*

## 1. ОРШИЛ

Оптикийн тандан судалгаа нь биесийн төлөвийг цахилгаан соронзон долгионы үзэгдэх гэрлийн ба нэл улаан туяаны мужид ойлгосон болон цацруулсан энергиэр нь судалдаг тул атмосферын тунгалаг төлөвийг буюу үүлгүй, цас, бороогүй орчныг шаарддаг. Харин радарын тандан судлал нь янз бүрийн урттай богино долгионыг ашигладаг тул биесээс сарнисан долгион, атмосферын ямар ч төлөвийг саадгүй нэвтэрдэг. Тиймээс янз бүрийн харах өнцөг бүхий радарын системийн тусламжтайгаар эх дэлхийг өдөр, шөнө, цаг агаар, атмосферын ямар ч нөхцөлөөс үл хамааран судлах боломжтой байдаг [1].

Түүнчлэн радарын долгион нь газрын гадарга руу нэвтрэх чадвартай байдаг тул уг чадварт нь тулгуурлан хөрсний чийг, чулуулгийн бүтэц, гүний холбогдолтой судалгаа хийж болохоос гадна, радарын интерферометрийн өгөгдөлд агуулагдах фазын ялгааны мэдээллийг ашиглан тухайн газар, нутгийг 3-хэмжээст хэлбэрээр дүрслэх, улмаар дэлхийн гадарга дээрх биесийн шилжилт, өөрчлөлт, хөдөлгөөнийг маш өндөр нарийвчлалтай тодорхойлох боломжтой. Радарын тандан судлалын эдгээр давуу талууд нь салбарын эрдэмтэд, судлаачдад судалгааны асар их боломжийг олгож байгаа юм [1].

Радарын антеннаас гэрлийн хурдаар цацарсан импульсууд гадарга дээр тусч, янз бүрийн чиглэлд сарних бөгөөд зарим хэсэг нь буцаж антеннд бүртгэгдэнэ. Ингэхэд, радарын долгионы когерент шинж чанараас үүдэн бие, биедээ ойр орших биесээс сарнисан долгионууд өөр хоорондоо давхцах тохиолдлууд элбэг байдаг. Ийм үед, долгионы фазын ялгаанаас нь шалтгаалан дүрс зураг дээр хар, цагаан толбууд бий болдог. Эдгээр толбууд нь дүрс зургийн ялгах чадварыг бууруулж, зурагт тайлал болон дүн шинжилгээ хийхэд бэрхшээл

учруулдаг. Иймд, аливаа дүн шинжилгээг хийхийн өмнө толбыг багасгах зорилгоор шүүлтүүрийн аргыг ашигладаг [2].

Толбыг арилгах тусгай зориулалтын олон шүүлтүүр байдаг бөгөөд тэдгээрийн гол зорилго нь радарын мэдээнд агуулагдах аливаа нарийвчилсан болон текстурын талаарх мэдээллийг аль болох өөрчлөхгүй байхад оршино. Практикт өргөн хэрэглэгддэг шүүлтүүрийн тоонд гамма-мап, фрост, ли-сигма зэрэг олон шүүлтүүрүүд багтах бөгөөд шүүлтүүрийн хэмжээ том байх тусам дүрс зураг дээрх мэдээлэл илүү бүдгэрнэ.

Xiao [3] нар 2003 онд JERS-1 болон SIR-C/X радарын мэдээнүүд дээр фрост, гамма-мап, ли, ли-сигма шүүлтүүрүүдийг ашиглан харьцуулж үзэхэд арга тус бүр өөр өөрийн давуу талуудтай байжээ. Shamsoddini ба Trinder [4] нар 2012 онд радарын зургийн толбыг багасгах зорилгоор фрост шүүлтүүрийг өөр бусад шүүлтүүрүүдтэй харьцуулан дүн шинжилгээ хийсэн бол Banerjee [5] нар 2020 онд фрост шүүлтүүрийг олон талаас нь судалж, дүрс мэдээн дээрх текстурыг хамгийн бага хэмжээгээр өөрчилж байгааг тогтоожээ.

Solbo [6] нар 2004 онд 3 өөр янзын радарын мэдээн дээр олон төрлийн толбо багасгах шүүлтүүрүүдийг ашиглан, харьцуулж үзэхэд гаммамап шүүлтүүрийн үр дүн бусдаасаа илүү байсан бол Sumantuo ба Amini [7] нар 2008 онд Palsar болон JERS-1 дагуулын мэдээн дээр хэд хэдэн шүүлтүүр ашиглан, харьцуулсан шинжилгээ хийхэд, гаммамап шүүлтүүр сайн үр дүнг үзүүлжээ. Walker [8] нар 2011 онд радарын мэдээний чанарыг сайжруулахад гаммамап шүүлтүүр сайн үр дүнг үзүүлж байгааг тодотгосон бол White [9] нар 2020 онд олон цаг хугацааны гаммамап шүүлтүүр радарын мэдээний толбыг багасгахад сайн үр дүнг үзүүлж байгааг тодотгосон байна.

Манай улсын хувьд, радарын мэдээн дээрх толбыг багасгах шүүлтүүр ашигласан анхны судалгааг Д.Амарсайхан, М.Ганзориг [2] нар 1997 онд хийжээ. Тэрээр 1997 оны 9-р сарын 25-наас 29-ний хооронд ERS-2 дагуулаас хүлээн авсан Монгол орны газарзүйн өөр өөр бүсэд хамаарах мэдээнүүдийн радиометрийн тодролыг сайжруулах зорилгоор 5x5 хэмжээтэй гамма-мап шүүлтүүрийг ашиглаж, уг шүүлтүүрийн онцлогийг харуулжээ. Д.Амарсайхан [10] нар 2012 онд Улаанбаатар хотын радарын өгөгдөл дээр олон төрлийн толбыг багасгах

шүүлтүүрийг харьцуулж, улмаар фрост шүүлтүүрийн үр дүн илүү байгааг онцолжээ.

Энэхүү судалгаа нь радарын дүрс өгөгдөлд, толбыг багасгахад ашиглагддаг гамма-мап, фрост зэрэг шүүлтүүрийг ашиглан радиометрийн сайжруулалт хийхэд уг мэдээнд бүтцийн хувьд болон пикселийн тоон утгуудын хувьд ямар өөрчлөлт харуулах үндсэн зорилготой. Дүн шинжилгээнд, Alos Palsar-2 дагуулаас хүлээн авсан Монгол орны зүүн хэсгийн 6.25м орон зайн шийдтэй радарын мэдээг ашигласан болно.



**Зураг 8.** Alos Palsar-2 дагуулаас хүлээн авсан судалгааны талбайн зураг

## 2. СУДАЛГААНЫ АРГАЗҮЙ

Судалгаанд Монгол орны зүүн хэсэг, Сүхбаатар аймгийн Сүхбаатар сумын нутгийг загвар талбай болгон сонгон авсан болно. Ардын хувьсгалын удирдагчдын нэг Д.Сүхбаатарын төрсөн нутаг болох тус сум тал хээрийн бүсэд хамаарах 1.3 сая га талбай бүхий нутаг дэвсгэртэй. Нутгийн ихэнх нь тал хөндий ухаа толгод голлодог, хужир мараа элбэг, хялгана, хиаг,

агь зонхилсон бэлчээртэй бөгөөд анагаах эрдэм увьдастай Талбулаг, Дүнгэнэдгийн рашаан, Хайлст ханан, Хаахлайн цэвэр цэнгэг ус, Зүүн, Баруун Баян гол, Гүнбулаг, Яргайт, Наранбулаг, Тугал булаг зэрэг 10 гаруй гол горхитой [11].

Дүн шинжилгээнд, 2015 оны 7-р сарын 5-ны өдрийн Alos Palsar-2 дагуулын 6.25м орон зайн шийдтэй, хос туйлшралаар хүлээн авсан мэдээний НН туйлшралын

өгөгдлийг ашиглав. Alos Palsar-2 дагуулыг Япон улсын Агаар-сансрын агентлаг буюу JAXA байгууллага 2014 оны 5-р сарын 24-нд Танегашимагийн сансрын төвөөс амжилттай хөөргөсөн юм. 628 км-ийн өндөрт байрлах, 97.8 градус тусгалын өнцөг бүхий тус дагуул нь эх дэлхийн тухай мэдээг 22.9 см урттай долгион ашиглан хүлээн авна [12]. Зураг 1-д судалгааны талбайн Alos Palsar-2 дагуулаас хүлээн авсан өнгөт дүрсийг харуулав.

### 2.1. Фрост шүүлтүүр

Энэ шүүлтүүр нь хамгийн бага дундаж квадрат алдааны зарчим дээр тулгуурлах бөгөөд зургийн тухайн орчин дахь статистикийг ашигладаг. Энэхүү статистик нь цонх зургийн мөр, баганын дагуу шилжин хөдлөхөд жинлүүрийн параметр болдог байна [13]. Фрост шүүлтүүр нь дараах томъёог ашиглана:

$$X = \sum_{pxm} Pae^{-a|t|} \quad (1)$$

ба

$$a = \left( \frac{4}{\pi^2} \right) \left( \frac{D_l}{\bar{X}_l^2} \right); t = |X - X_0| + |Y - Y_0|$$

Үүнд: V - зургийн вариацийн коэффициент

$D_l$  - тухайн пикселүүдийн дисперс

$\bar{X}_l$  - тухайн пикселүүдийн дундаж утга

P - нормчиллын тогтмол

pxm - цонхны хэмжээ.

Радарын мэдээг боловсруулж, дүн шинжилгээ хийдэг судлаачдын хувьд, дүрсийн толбыг арилгах, улмаар зураг дээр дүрслэгдсэн янз бүрийн биет, юмсын тайллыг сайжруулахад фрост шүүлтүүрийг ихээхэн хэрэглэдэг. Учир нь, бусад олон аргатай харьцуулахад, уг шүүлтүүр нь радарын мэдээн дээрх янз бүрийн

текстурыг төдийлөн өөрчилдөггүй байна [14].

### 2.2. Гамма-мап шүүлтүүр

Энэхүү шүүлтүүр нь шинэ утгыг тодорхойлохдоо, уг пикселийн жинхэнэ утга тухайн цонхонд багтаж байгаа нийт пикселийн дундаж утга, анхдагч утга хоёрын завсар хооронд оршино гэж үздэг. Өөрөөр хэлбэл, энэ арга нь тухайн цонхонд багтаж байгаа нийт пиксел нь хэвийн бус тархалттай гэж үздэг ба хэрэглэгчийн сонгосон цонхны хэмжээ бага байх тусам энэхүү төсөөлөл үнэн байх магадлал нь их юм [13]. Гамма-мап шүүлтүүрт дараах томъёо ашиглагдана:

$$N^3 + \bar{X}_l N^2 + D(N - X) \quad (2)$$

Үүнд: N- хайж буй утга

$\bar{X}_l$  - тухайн пикселүүдийн дундаж утга

D- анхдагч зургийн дисперс

X- пикселийн утга.

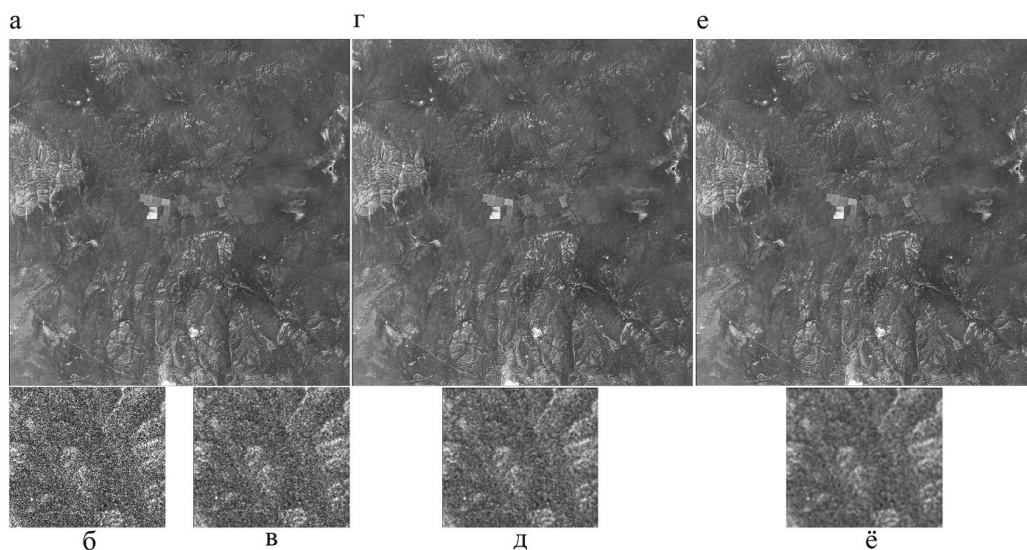
Ихэнх судлаачдын бүтээлд гамма-мап шүүлтүүрийг бусад аргуудтайгаа харьцуулахад радарын зураг дээр дүрслэгдсэн ямарваа нэгэн текстурыг бүдэгрүүлэхгүйгээр дүрс зургийн толбыг багасгадаг хамгийн сайн арга гэж дурдсан байдаг [15].

### 3. СУДАЛГААНЫ ҮР ДҮН, ХЭЛЭЛЦҮҮЛЭГ

Дүн шинжилгээний эхэнд, судалгааны талбайн Alos Palsar-2 дагуулын 6.25м оронзайн шийдтэй, хос туйлшралаар хүлээн авсан радарын анхдагч өгөгдлийг амплитудын дүрс мэдээ болгон хувиргасан ба цаашдын судалгаанд НН туйлшралын мэдээг сонгон авсан болно. Дараа нь уг НН туйлшралын мэдээг 3x3, 5x5, 7x7 хэмжээтэй фрост шүүлтүүрийг ашиглан сайжруулалт хийсэн бөгөөд тус



зургуудыг Зураг 2-т үзүүлэв (тус зургийн в,д,ё-д байгаа зургууд бол том зургуудын зүүн дээд талын булангийн газруудыг томруулж харуулсан хэсгүүд).



**Зураг 2.** Фрост шүүлтүүрийн дүнгүүд: (а) 3x3, (г) 5x5, (е) 7x7 хэмжээтэй шүүлтүүрийн үр дүнгүүд, (б) эх мэдээний зүүн дээд талын булангийн газар, (в,д,ё) том зургуудын зүүн дээд талын булангийн газруудыг томруулж харуулсан хэсгүүд.

Зураг 2-оос харахад, 3x3 хэмжээтэй фрост шүүлтүүрийн үр дүн эх дүрс мэдээтэй төстэй байсан бол 5x5 хэмжээтэй шүүлтүүрийн үр дүн дээр энэхүү төстэй байдал багасаж, 7x7 шүүлтүүрийн үр дүн дээр зургуудын ялгаатай байдал илүү ихэссэн байлаа. Үүнийг Хүснэгт 1-д үзүүлсэн эх мэдээ болон фрост шүүлтүүрийн дүнгүүд хоорондын корреляцийн хамаарлаас илүү тод харж болно. Хүснэгтээс харахад эх мэдээ, 3x3 хэмжээтэй фрост шүүлтүүрийн дүн хоорондын корреляцийн хамаарал 0.73 байгаа бол эх өгөгдөл, 5x5 хэмжээтэй шүүлтүүрийн дүн хоорондын корреляцийн хамаарал 0.62 байна. Энэ нь 3x3 хэмжээтэй фрост шүүлтүүрийн дүн эх мэдээтэйгээ илүү төстэй байгааг харуулж байгаа юм. Харин эх мэдээ, 7x7 хэмжээтэй

фрост шүүлтүүрийн дүн хоорондын корреляцийн хамаарал 0.58 байгаа нь тус шүүлтүүрийн дүн эх өгөгдөлтэйгээ харьцуулахад ихээхэн өөрчлөгдсөнийг харуулж байна. Фрост шүүлтүүрийн үр дүнгүүдтэй харьцуулах үүднээс Alos Palsar-2 дагуулын НН туйлшралын мэдээг 3x3, 5x5, 7x7 хэмжээтэй гамма-мап шүүлтүүрийг ашиглан толбыг нь багасгаж, сайжруулалт хийсэн бөгөөд тус зургуудыг Зураг 3-д үзүүлэв (тус зургийн б,в,д,ё-д байгаа зургууд нь том зургуудын зүүн дээд талын булангийн газруудыг томруулж харуулсан хэсгүүд).

Зураг 3-аас харахад, 3x3 хэмжээтэй гамма-мап шүүлтүүрийн үр дүн фрост шүүлтүүрийн адил эх өгөгдөлтэйгөө төстэй байсан бол 5x5 хэмжээтэй шүүлтүүрийн үр дүн дээр энэхүү төстэй

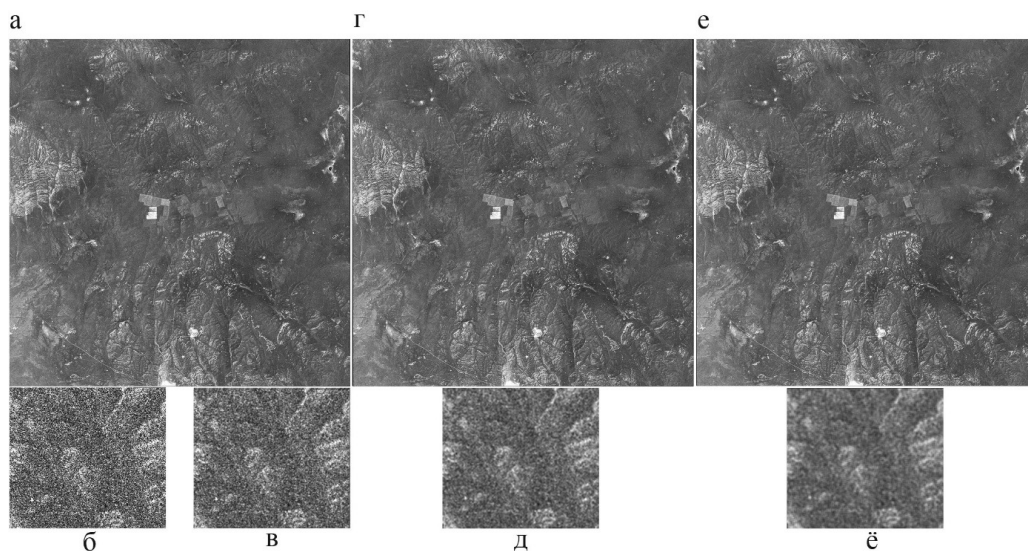
байдал мөн л багасаж, 7x7 шүүлтүүрийн үр дүн дээр зургуудын ялгаатай байдал илүү ихэссэн байна. Эдгээр ялгаатай байдлуудыг Хүснэгт 2-г үзүүлсэн эх мэдээ болон гамма-мап шүүлтүүрийн дүнгүүд хоорондын корреляцийн хамаарлаас тод харж болно.

**Хүснэгт 1.** НН туйлшралын эх мэдээ ба фрост шүүлтүүрийн дүнгүүд хоорондын корреляцийн хамаарал

№	Сансрын мэдээ	Корреляцийн коэффициент
1	Alos Palsar-2 дагуулын НН туйлшралын эх мэдээ	1
2	3x3 хэмжээтэй фрост шүүлтүүрийн дүн	0.73

3	5x5 хэмжээтэй фрост шүүлтүүрийн дүн	0.62
4	7x7 хэмжээтэй фрост шүүлтүүрийн дүн	0.58

Хүснэгтээс харахад эх өгөгдөл, 3x3 хэмжээтэй гамма-мап шүүлтүүрийн дүн хоорондын корреляцийн хамаарал 0.70 байгаа бол эх мэдээ, 5x5 хэмжээтэй шүүлтүүрийн дүн хоорондын корреляцийн хамаарал 0.58 болсон байна. Улмаар 7x7 хэмжээтэй гамма-мап шүүлтүүрийн дүн, эх мэдээ хоорондын корреляцийн хамаарал 0.54 байгаа нь тус шүүлтүүрийн дүн фрост шүүлтүүрийн дүнтэй харьцуулахад, эх өгөгдлөөсөө илүү өөрчлөгдсөнийг харуулж байгаа юм.



**Зураг 3.** Гамма-мап шүүлтүүрийн дүнгүүд: (а) 3x3, (г) 5x5, (е) 7x7 хэмжээтэй шүүлтүүрийн үр дүнгүүд, (б) эх мэдээний зүүн дээд талын булангийн газар, (в,д,ё) том зургуудын зүүн дээд талын булангийн газруудыг томруулж харуулсан хэсгүүд.

**Хүснэгт 2.** НН туйлшралын эх мэдээ ба гамма-мап шүүлтүүрийн дүнгүүд хоорондын корреляцийн хамаарал

№	Сансрын мэдээ	Корреляцийн коэффициент
1	Alos Palsar-2 дагуулын НН туйлшралын эх мэдээ	1
2	3x3 хэмжээтэй гамма-мап шүүлтүүрийн дүн	0.70
3	5x5 хэмжээтэй гамма-мап шүүлтүүрийн дүн	0.58
4	7x7 хэмжээтэй гамма-мап шүүлтүүрийн дүн	0.54

Дээрх харьцуулалтаас харахад, фрост шүүлтүүрийн хувьд радарын эх мэдээний пикселийн утгуудыг харьцангуй бага өөрчилж байгаа бол гамма-мап шүүлтүүрийн хувьд, эх өгөгдлийн пикселийн тодролын утгуудыг илүү их өөрчилж байгаа нь харагдаж байна. Гэхдээ шүүлтүүр хэрэглэхийн өмнөх ба хэрэглэсний дараах зургуудын бүтэц, тэдгээр дээрх биет, юмсад нарийвчилсан шинжилгээ хийн, харьцуулж үзэхэд, гамма-мап шүүлтүүр текстурыг хадгалах чадвар нь фрост шүүлтүүрээс илүү байсан болно. Ер нь практикт эдгээр шүүлтүүрийг ашиглан, янз бүрийн дүн шинжилгээ, харьцуулалтыг хийсэн байдаг. Banerjee [5] нар 2020 онд фрост шүүлтүүрийг олон талаас нь судалж, радарын эх өгөгдөл дээр илэрсэн текстурыг хамгийн бага хэмжээгээр өөрчилж байгааг тогтоосон бол Sun [16] нар 2020 онд фрост шүүлтүүрийг радарын мэдээнд ашиглан, үр дүнг нь куан, гамма-мап зэрэг шүүлтүүртэй харьцуулж үзэхэд мэдэгдэхүйц илүү байжээ. Senthilnath [17] нар 2013 онд гамма-мап, фрост, ли шүүлтүүрүүдийг ашиглан радарын зургийн толбыг багасган, текстурыг шинжилж, харьцуулсан судалгаа хийхэд гамма-мап шүүлтүүрийн үр дүн илүү байсан байна. Иймд, тухайн шүүлтүүр бүр өөрийн гэсэн давуу талтай бөгөөд

ямар үр дүн үзүүлэх нь тухайн өгөгдлийн бүтцээс ихээхэн хамаарах нь тодорхой байна.

#### 4. ДҮГНЭЛТ

Судалгааны хүрээнд, радарын дүрс мэдээнд толбыг багасгахад ашиглагддаг фрост, гамма-мап зэрэг шүүлтүүрийг ашиглан спектрийн сайжруулалт хийхэд, тус мэдээнд текстурын хувьд болон пикселийн тоон утгуудын хувьд ямар өөрчлөлт гарч байгааг харуулахыг зорьсон бөгөөд харьцуулалтад, Alos Palsar-2 дагуулаас хүлээн авсан Сүхбаатар аймгийн Сүхбаатар сумын нутгийн 6.25 м нарийвчлалтай радарын өгөгдлийн НН туйлшралын мэдээг ашигласан болно. Дүн шинжилгээнд, 3x3, 5x5, 7x7 хэмжээтэй шүүлтүүрүүдийг ашигласан ба хоёр шүүлтүүрийн хоёулангийнх нь хувьд, 3x3 хэмжээтэй шүүлтүүрийн үр дүн эх дүрс мэдээтэй төстэй байсан бол 5x5 хэмжээтэй шүүлтүүрийн үр дүн дээр энэхүү төстэй байдал багасаж, 7x7 шүүлтүүрийн үр дүн дээр зургуудын ялгаатай байдал илүү ихэссэн байв. Фрост шүүлтүүрийн хувьд НН туйлшралын эх өгөгдлийн радиометрийн утгуудыг харьцангуй бага өөрчилж байсан бол гамма-мап шүүлтүүрийн хувьд, эх мэдээний пикселийн тодролын утгуудыг илүү их өөрчилж байсан хэдий ч, зургийн текстурыг хадгалах чадвар нь фрост шүүлтүүрээс илүү байсан болно.

#### АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ

- [1]. Д. Амарсайхан, “Орчин үеийн радарын тандан судлал, радарын мэдээнд боловсруулалт хийх зарчмууд”, Улаанбаатар, 2023.
- [2]. Д. Амарсайхан, М. Ганзориг, Ц. Адыасүрэн, М. Саандарь, “Зайнаас тандах судлал, газарзүйн мэдээллийн системийн зарчмууд”. 20 хэв.хуудас, Улаанбаатар хот.



- [3]. J. Xiao, L. Li, A. Moody, "A detail-preserving and flexible adaptive filter for speckle suppression in SAR imagery". *International Journal of Remote Sensing*, 24(12), 2451–2465, 2003.
- [4]. A. Shamsoddini, J. Trinder, "Edge-detection-based filter for SAR speckle noise reduction". *International Journal of Remote Sensing*, 33(7), 2296–2320, 2002.
- [5]. S. Banerjee, S. S. Chaudhuri, R. Mehra, A. Misra, "A Comprehensive Survey on Frost Filter and its Proposed Variants". 2020 5th International Conference on Communication and Electronics Systems (ICCES), Coimbatore, India, pp. 109-114, 2020.
- [6]. S. Solbo, T. Eltoft, " $\lambda$ -WMAP: a statistical speckle filter operating in the wavelet domain". *International Journal of Remote Sensing*, 25(5), 1019–1036, 2004.
- [7]. J. T. S. Sumantyo, J. Amini, "A model for removal of speckle noise in SAR images (ALOS PALSAR)". *Canadian Journal of Remote Sensing*, 34(6), 503–515, 2008.
- [8]. D. J. Walker, G. Wiseman, B. Belcher, et al. "Multivariate performance measures for evaluating speckle suppression filters for multitemporal multi-incident SAR imagery". *Canadian Journal of Remote Sensing*, 37(1), 55–68, 2011.
- [9]. L. White, B. Brisco, K. Murnaghan, "Temporal filters for mapping phragmites with C-HH SAR Data". *Canadian Journal of Remote Sensing*, 46(3), 376–385, 2020.
- [10]. D. Amarsaikhan, V. Battsengel, M. Sato, T-H. Moon, "Comparison of multisource image fusion methods for enhancement of urban features". *eProceedings of the International Conference "Geoinformation - 2012"*, Ulaanbaatar, Mongolia, 2012.
- [11]. Сүхбаатар сум, [https://mn.wikipedia.org/wiki/Сүхбаатар\\_сум](https://mn.wikipedia.org/wiki/Сүхбаатар_сум).
- [12]. Japan Aerospace Exploration Agency, <http://global.jaxa.jp/>.
- [13]. ERDAS, 2009, ERDAS Field Guide, Atlanta, Georgia.
- [14]. A. A. Belov, V. A. Pavlov A. A. Tuzova, "A method of finding optimal parameters of speckle noise reduction filters. Internet of things, smart spaces, and next generation networks and systems". Cham: Springer International Publishing, 133-141, 2020.
- [15]. A. Baraldi, F. Parmiggiani, "A refined gamma MAP SAR speckle filter with improved geometrical adaptivity". *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 33, no. 5, pp. 1245-1257.
- [16]. Z. Sun, Z. Zhang, Y. Chen, S. Liu, Y. Song, "Frost Filtering Algorithm of SAR Images With Adaptive Windowing and Adaptive Tuning Factor," in *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, vol. 17, no. 6, pp. 1097-1101, June 2020.
- [17]. J. Senthilnath, H. V. Shenoy, R. Rajendra, "Integration of speckle denoising and image segmentation using Synthetic Aperture Radar image for flood extent extraction". *J Earth Syst Sci* 122, 559–572, 2013.