

# Газрын Дээд Биомасс болон Sentinel-2 Дагуулын Мэдээнээс Тооцсон Ургамлын Индекс Хоорондын Хамаарлын Шинжилгээ

Алтанчимэгийн Цолмон<sup>1\*</sup>, Дамдинсүрэнгийн Амарсайхан<sup>1</sup>,  
Цэвээний Батчулуун<sup>2</sup>, Батдоржийн Бямбадолгор<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Шинжлэх Ухааны Академи, Газарзүй, Геоэкологийн хүрээлэн, Улаанбаатар 15170, Монгол улс

<sup>2</sup> Монгол Улсын Их Сургууль, Хэрэглээний шинжлэх ухаан, инженерчлэлийн сургууль, Улаанбаатар, 14200, Монгол улс

\*Холбоо барих зохиогч: [tsolmon\\_a@mas.ac.mn](mailto:tsolmon_a@mas.ac.mn); [ORCID:0000-0002-0116-4862](https://orcid.org/0000-0002-0116-4862)

Өгүүллийн мэдээлэл: Хүлээн авсан: 2022.09.13; Зөвшөөрөгдсөн: 2022.10.01;  
Нийтлэгдсэн: 2022.12.26

**Хураангуй:** Судалгааны ажлын зорилго нь олон бүсчлэлийн Sentinel-2 дагуулын үзэгдэх гэрлийн болон ойрын нэл улаан туяаны мужийн сувгуудыг ашиглан тооцоолсон ургамлын индекс, газрын дээд биомасс хоорондын хамаарлыг судлахад оршино. Судалгааны талбай болох Булган аймгийн Тэшиг сум нь Монгол орны хойд хэсэгт орших бөгөөд байгалийн бүс бүслүүрийн хувьд ойт хээрийн бүсэд хамаарна. Газрын дээд биомассыг тооцоолохдоо дээж талбайгаас цээжний өндрийн диаметр (DBH) болон модны өндөр (H) зэрэг параметруудийг хэмжиж, аллометрийн тэгшитгэлийг ашигласан бөгөөд дээж талбай дээр хэмжсэн газрын дээд биомасс болон ургамлын индексүүдийн хоорондын хамаарлыг шугаман регрессийн загвар ашиглан шинжилсэн болно. Судалгаанаас гарсан үр дүнгүүдээс өндөр ач холбогдолтой индексүүд нь ургамлын навчны талбайн индекс LAI ( $R^2=0.61$ ), ойрын нэл улаан туяаны болон улаан гэрлийн сувгуудын харьцаа SR ( $R^2=0.59$ ) байв.

**Түлхүүр үгс:** Монгол, зайнаас тандах судлал, аллометрийн тэгшитгэл, регрессийн загвар

## 1. Оршил

Ойн баялаг нь дэлхийн хуурай газрын гуравны нэг орчим хувийг эзлэх боловч, анхдагч цэвэр бүтээгдэхүүний бараг тэн хагас хувийг дангаараа бий болгож, хуурай газрын ургамлын нүүрстөрөгчийн 80 гаруй хувийг нөөцөлж байдаг. Ойн мод нь усыг хамгаалах, зохицуулах, чанарыг дээшлүүлэх, хөрсийг элэгдэл, эвдрэлээс хамгаалахад онцгой үүрэг гүйцэтгэхээс гадна, тухайн нутгийн хур тунадас, чийгийн хангамжийг нэмэгдүүлж, бичил уур амьсгалын таатай нөхцөлийг бүрдүүлж, агаарын тунадсыг 5-15%, шүүдэр, хярууг 30-40% нэмэгдүүлдэг [1], [2]. Орчин үед агаар, сансрын өөр өөр түвшнээс хүлээн авсан орон зайн болон спектрийн янз бүрийн нарийвчлалтай мэдээг ургамлын биомассыг тодорхойлох, мониторинг хийх, хүрээлэн буй орчинд гарч буй өөрчлөлтүүдийг судлах зэрэг олон төрлийн судалгаанд ашиглаж байна.

Сүүлийн үед, ургамлын навчны талбай, биомасс, хлорофиллийн агууламж, өндөр зэргийг тодорхойлоход төрөл бүрийн ургамлын индексийг ашиглаж байна [3]. Ургамлын индекс нь эдгээр үзүүлэлтийг тайлбарлахад ашигладаг спектрийн тусгалын математик хувиргалт [4] бөгөөд нэг пиксел дэх ургамлын өөрчлөлтийг тооцоолохын тулд спектрийн

сувгуудын ойлтыг тоон утгаар илэрхийлсэн утга юм.

Спектр нь ургамлын шинж чанарыг тодорхойлох чухал хэмжигдэхүүн боловч, түүний өөрчлөлтөд ургамлын бүтэц, хөрсний шинж чанар, агаар мандлын нөхцөл, газарзүйн байдал, чийгийн агууламж зэрэг янз бүрийн хүчин зүйл нөлөөлдөг [5].

Энэхүү судалгааны ажлын хүрээнд, Sentinel-2 дагуулын мэдээ ашиглан тооцоолсон ургамлын индексүүд болон ойн талбайн газрын дээд биомасс хоорондын хамаарлыг тодорхойлохыг зорьсон болно. Үүний тулд, дараах зорилтуудыг тавилаа: I. Ойн газрын дээд биомассыг тодорхойлох, II. Олон сувгийн мэдээг ашиглан ургамлын индексүүдийг тооцоолох, III. Ургамлын индексүүд болон ойн газрын дээд биомасс хоорондох хамаарлыг тооцоолох.

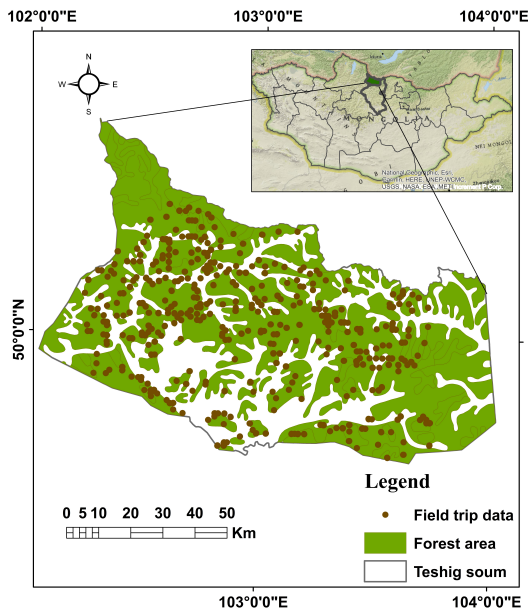
## 2. Судалгааны эх мэдээ ба судалгааны талбай

### 2.1. Судалгаанд ашигласан мэдээ

Sentinel-2 дагуулын олон бүслэлийн MSI (multispectral imager) сенсор нь 0.4-2.4 микрон хооронд цахилгаан соронзон долгионы үзэгдэх гэрэл, ойрын нэл улаан болон дундын нэл улаан туяаны мужид нийт 13 сувгийн мэдээг бүртгэдэг [7]. Сувгийн орон зайн нарийвчлалын хувьд үзэгдэх болон ойрын нэл улаан 10м, дундын болон богино долгионы нэл улаан мужид 20м, эргийн, ус болон сэмжин үүлний сувгууд 60м байдаг. Энэ судалгаанд 2018 оны 8 дугаар сарын Sentinel-2 дагуулын орон зайн өндөр нарийвчлал (10м) бүхий өгөгдөлд тулгуурлан ургамлын индексүүдийн тооцоолсон. Хиймэл дагуулын мэдээллийн дүн шинжилгээг хийхдээ SNAP, ArcMap 10.8, ENVI 5.3 программ хангамжуудыг ашиглалаа.

### 2.2. Судалгааны талбай

Судалгааны талбай болох Булган аймгийн Тэшиг сум нь аймгийн төвөөс 250км зайд орших бөгөөд (Зураг 1) нийт 7719км<sup>2</sup> талбайтай, далайн түвшнээс дээш (д.т.д) 1560-1820м өргөгдсөн, эх газрын эрс тэс уур амьсгалтай юм. Сумын нутаг дэвсгэр уулархаг бөгөөд нийт нутаг дэвсгэрийн 88%-ийг ойн сан бүхий газар эзэлнэ. Агаарын температур нь зундаа +36° хүртэл, өвлийн улиралд -49° хүртэл хэлбэлздэг. Жилийн дундаж температур -2.4° бөгөөд хур тунадас нь 250-300мм байдаг.

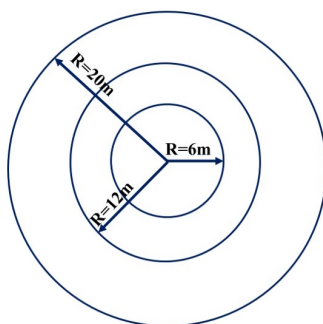


Зураг 1: Судалгааны талбай: Булган аймгийн Тэшиг сумын нутаг.

Судалгаа явуулсан газарт 20м радиустай 3 дээж талбай байгуулж, модны тооллого, хэмжилт, талбайн бичлэгийг Монгол орны ойн олон зорилтот тооллогын арга зүйн дагуу 2017, 2018 оны зуны улиралд хийсэн [6].

### 3. Арга зүй

Нэгж дээж талбайн 6м радиус бүхий тойрогт 6-14см диаметртэй, 12м радиус бүхий тойрогт 15-25,9см диаметртэй, 20м радиус бүхий тойрогт 30см-ээс дээш диаметртэй моддыг тус тус хэмжсэн (Зураг 2). Моддыг хэмжихийн өмнө тойрог талбайн төв цэгээс тухайн модны төв хүртэлх зай, азимут өнцгийг тус тус хэмжинэ. Модны цээжний өндрийн диаметр (ЦӨД) буюу (D)-г газраас дээш 1.3м өндөрт рейк модыг ашиглан хэмжсэнээс гадна, дээж талбайд тоологдсон моддын биомассын алдагдлыг хугарал, гэмтлээс хамааруулан тодорхойлсон болно. Модны өндөр(H)-ийг vertex багажаар хэмжих ба азимут өнцгийг гар ажиллагаа бүхий компас (cliomaster) ашиглан 1 градусын нарийвчлалтай хэмжсэн. Судалгааны дээж талбайн тархалтын байршлыг Зураг 1-т харуулав.



Зураг 2: Дээж талбай.

Аллометрикт тэгшитгэлүүд нь ойн модны газар дээрх биомасс (AGB) болон цээжний өндрийн диаметр (DBH), модны өндөр (Htot) хоорондын хамааралд үндэслэнэ [8]. Аллометрийн тэгшитгэлийн коэффициент бүр модны төрөл зүйлээс хамаарч өөр өөр байна.

$$AGB = a * DBH^b * H_{tot}^c \quad (3.1)$$

Энд: AGB-газар дээрх амьд биомасс(тонн), (ишний хуурай жинд холтос, мөчир, шилмүүс хамаарна), DBH-Модны цээжний өндөр(1,3м) дэх диаметр(м), Htot-Модны нийт өндөр/урт(м), a-Зүйлийн тусгай коэффициент, b-Зүйлийн тусгай DBH өргөжүүлэх коэффициент, c-Зүйлийн тусгай Htot өргөжүүлэх коэффициент.

Ногоон ургамал агуулагдаж байгаа хлорофиллийн хэмжээнээсээ шалтгаалан үзэгдэх улаан гэрлийн мужид хамгийн бага ойлтыг, харин ойрын нэл улаан туяаны мужид хамгийн их ойлтыг өгдөг. Энэ зарчимд тулгуурлан, Sentinel-2 дагуулын олон бүсчлэлийн мэдээг ашиглан нийт 8 ургамлын индексийг тооцоолсон болно (Хүснэгт 1). Судалгааны хүрээнд 641 дээж талбайд газрын хэмжилт хийсэн ба газрын хэмжилтээс цуглуулсан мэдээг ашиглан томьёо (3.1)-ээр газрын дээд биомассыг тооцоолсон. Улмаар Sentinel-2 дагуулын мэдээг ашиглан тооцоолсон ургамлын индексүүд болон газрын дээд биомассын өгөгдлөөс гарсан үр дүнд шугаман регрессийн загвар ашиглан дүн шинжилгээ хийлээ. Судалгаанд ашигласан регрессийн шугаман загварын параметруудийн статистик ач холбогдлыг шалгахдаа Стьюдентийн Т-тест (Student's t-test) ашигласан (Томьёо 3.2).

$$t = \frac{b_1 - \widetilde{\beta}_1}{S_{b_1}} \quad (3.2)$$

Энд:  $b_1$ -регрессийн коэффициент,  $\widetilde{\beta}_1$ -таамагласан коэффициент,  $S_{b_1}$ - $b_1$  коэффициентын стандарт алдааны утга.

Хүснэгт 1: Sentinel-2 дагуулын мэдээ ашиглан тооцоолсон ургамлын индексүүд.

№	Ургамлын индекс	Томъёо	Ургамлын индексийн нэршил	Эшлэл
1	LAI	$3.618 * EVI - 0.118$	Leaf Area Index	[9]
2	SR	$\frac{P_{nir}}{P_{red}}$	Ratio Vegetation Index/ Simple ratio	[10]
3	MSR NIR/RED	$\frac{(\frac{NIR}{RED} - 1)}{\sqrt{\frac{NIR}{RED} + 1}}$	Modified Simple Ratio NIR/RED	[11]
4	TDVI	$(0.5 + \frac{NIR - RED}{NIR + RED})^{0.5}$	Transformed Difference Vegetation Index	[12]
5	BWDRVI	$\frac{0.1 * NIR - BLUE}{0.1 * NIR + BLUE}$	Blue Wide Dynamic Range Vegetation Index	[13]
6	GSAVI	$\frac{NIR - G}{NIR + G + L} * (1 + L)$	Green Soil Adjusted Vegetation Index	[14]
7	Log R	$\log \frac{NIR}{RED}$	Log Ratio	[15]
8	GEMI	$(n * (1 - 0.25 * n) - \frac{RED - 0.125}{1 - RED})$ $n = (2 * (NIR^2 - RED^2) + 1.5 * NIR + 0.5 * RED) / (NIR + RED + 0.5)$	Global Environment Monitoring index	[16]

#### 4. Үр дүн

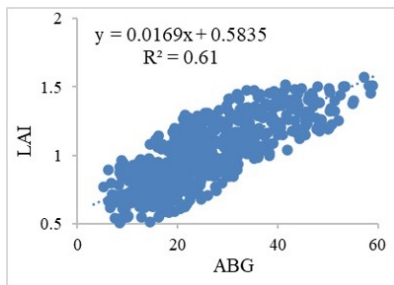
Судалгааны ажлын зорилгын дагуу Булган аймгийн Тэшиг суманд газрын хэмжилтээр цуглуулсан мэдээнээс тодорхойлсон ойн газрын дээд биомасс, Sentinel-2 дагуулын мэдээг ашиглан тооцоолсон ургамлын индекс хоорондын хамааралд шугаман регрессийн загварыг ашиглан дүн шинжилгээ хийв.

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + .. + \beta_n x_n + \varepsilon \tag{4.1}$$

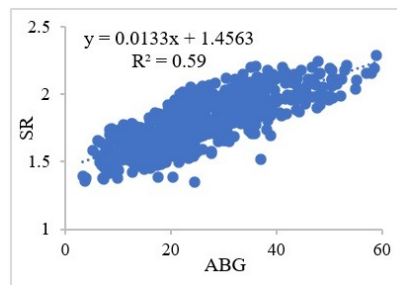
Энд:  $y$ -хамаарах хувьсагч,  $x_1, x_2, \dots, x_n$ -үл хамаарах хувьсагчид,  $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$ -үл мэдэгдэх коэффициентууд,  $\varepsilon$ -загварын алдаа.

$$r = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{[n(\sum x^2) - (\sum x)^2][n(\sum y^2) - (\sum y)^2]} \tag{4.2}$$

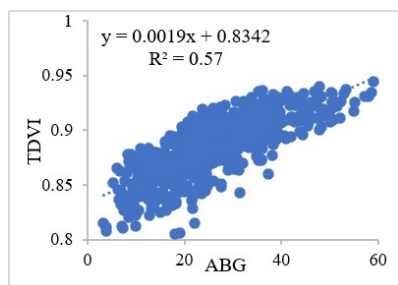
Энд:  $r$ -корреляцийн коэффициент,  $n$ -түүврийн хэмжээ,  $x$ -үл хамаарах хувьсагч,  $y$ -хамаарах хувьсагч.



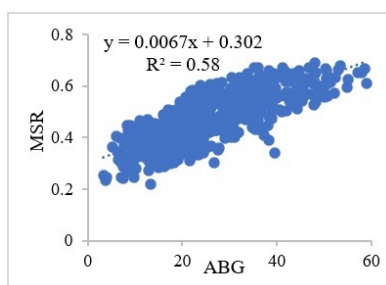
Зураг 3: Газрын дээд биомасс болон LAI хоорондын хамаарал.



Зураг 4: Газрын дээд биомасс болон SR хоорондын хамаарал.



Зураг 5: Газрын дээд биомасс болон TDVI хоорондын хамаарал.



Зураг 6: Газрын дээд биомасс болон MSR хоорондын хамаарал.

Шугаман регрессийн загварын дүнгээс харахад, ойн газрын дээд биомасс, навчны талбайн ургамлын индекс (LAI) хоорондын детерминацийн коэффициент нь 0.61 ( $R^2=0.61$ ) буюу хамгийн өндөр байсан бол ойрын нэл улаан туяаны болон улаан гэрлийн сувгуудын харьцаа (SR) ( $R^2=0.59$ ), TDVI ( $R^2=0.57$ ), MSR ( $R^2=0.58$ )-ийн детерминацийн коэффициентууд өндөр утгуудтай байв. Харин бусад 4 индексийн хувьд, детерминацийн коэффициент нь BWDRVI ( $R^2=0.04$ ), GSAVI ( $R^2=0.022$ ), Log R ( $R^2=0.0008$ ), GEMI ( $R^2=0.011$ ) маш бага утгуудтай байлаа.

Хүснэгт 2: Газрын дээд биомасс болон ургамлын индексүүдийн детерминацийн коэффициент.

№	Ургамлын индекс	R2	№	Ургамлын индекс	R2
1	LAI	0.61	5	BWDRVI	0.04
2	SR	0.59	6	GSAVI	0.022
3	MSR	0.58	7	Log R	0.0008
4	TDVI	0.57	8	GEMI	0.011

Ургамлын индексүүд болон газрын дээд биомассын өгөгдлүүдийн үр дүнгүүд хоорондын шинжилгээгээр гарсан детерминацийн коэффициент ( $R^2$ )-ийн статистик ач холбогдлыг шалгах зорилготой хосолсон р-тест болох Бреуш-Паганы (Breuch Pagant test), Стьюдентийн Т-тест (Student's t-test) шалгууруудаар шалгав. Шалгуур ашигласан үнэлгээнээс харахад, навчны талбайн индекс (LAI)  $p \leq 0.003$ , ойрын нэл улаан туяаны болон улаан гэрлийн сувгуудын харьцаа (SR)  $p \leq 0$ , TDVI  $p \leq 0$ , MSR  $p \leq 0$  тус тус гарсан болно.

## 5. Дүгнэлт

Энэхүү судалгааны хүрээнд, загвар талбай болох Булган аймгийн Тэшиг сумын нутагт хээрийн хэмжилтээр тооцсон газрын дээд биомасс болон ургамлын индексүүд хоорондын хамаарлыг тогтоохын тулд шугаман регрессийн загварын аргыг ашигласан болно. Судалгааны үр дүнгээс үзэхэд, ургамлын индексүүдээс газрын дээд биомассын өгөгдлүүдийн үр дүнгүүдтэй LAI, SR индексүүд хамгийн өндөр хамааралтай байсан бол TDVI болон MSR индексүүдийн хамаарал ойролцоо гарсан. Иймд LAI, SR, TDVI, MSR зэрэг ургамлын индексүүдийг Монгол орны сэрүүн бүсийн газрын дээд биомассын тооцооллод ашиглахад тохиромжтой гэдэг нь харагдаж байна.

## Ном зүй

- [1] D. Ellison, C. E. Morris, B. Locatelli, D. Sheil, J. Cohen, D. Murdiyarso, V. Gutierrez, M. V. Noordwijk, I. F. Creed, J. Pokorny, D. Gaveau, D. V. Spracklen, A. B. T. Tobella, U. Ilstedt, A. J. Teuling, S. G. Gebrehiwot, D. C. Sands, B. Muys, B. Verbist, E. Springgay, Y. Sugandi, and C. A. Sullivan, "Trees, forests and water: Cool insights for a hot world," *Global Environmental Change*, no. 43, pp. 51-61, 2017, doi: <https://doi.org/10.1016/j.strueco.2017.07.001>.
- [2] T. R. Karl, J. M. Melillo, and T. C. Peterson, "Global Climate Change Impacts in the United States," *Cambridge University Press, New York*, 2009.
- [3] E. W. Chappelle, M. S. Kim, and J. E. McMurtrey III, "Ratio analysis of reflectance spectra (RARS): An algorithm for the remote estimation of the concentrations of chlorophyll A, chlorophyll B, and carotenoids in soybean leaves," *Remote Sensing of Environment*, Vol. 39, no. 3, pp. 239-247, 1992, doi: [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(92\)90089-3](https://doi.org/10.1016/0034-4257(92)90089-3).
- [4] Y. He, X. Guo, and J. Wilmschurst, "Studying mixed grassland ecosystems I: suitable hyperspectral vegetation indices," *Canadian Journal of Remote Sensing*, Vol. 32, no. 2, pp. 98-107, 2006, doi: <https://doi.org/10.5589/m06-009>.
- [5] P. J. Pinter, Jr, J. L. Hatfield, J. S. Schepers, E. M. Barnes, M. S. Moran, C. S. Daughtry, and D. R. Upchurch, "Remote Sensing for Crop Management," *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 69, pp. 647-664, 2003, doi: <https://doi.org/10.14358/PERS.69.6.647>.
- [6] Б. Байгаль орчин аялал жуулчлалын яам, "Монгол улсын олон зорилгот үндэсний ойн тооллого 2014-2016," *Улаанбаатар: Ministry of Environment and tourism*, 2016.
- [7] M. Drusch, U. Del Bello, S. Carlier, O. Colin, V. Fernandez, F. Gascón, B. Hoersch, C. Isola, P. Laberinti, P. Martimort, A. Meygret, F. Spoto, O. Sy, F. Marchese, and P. G. Bargellini, "Sentinel-2: ESA's Optical High-Resolution Mission for GMES Operational Services," *Remote Sensing of Environment*, Vol. 120, pp. 25-36, 2012, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.11.026>.
- [8] Д. Чимидням, Д. Чүлтэм, Ц. Зандраабал, Ц. Гончиг, Ч. Цэвээ-Ойров, "Монгол орны ойн таксацийн лавлах," *Улаанбаатар: Бэмби сан*, 2012.
- [9] E. Voegh, H. Soegaard, N. H. Broge, K. M. Schelde, and N. O. Jensen, "Airborne multispectral data for quantifying leaf area index, nitrogen concentration, and photosynthetic efficiency in agriculture," *Remote Sensing of Environment*, Vol. 81, no. 2-3, pp. 179-193, 2002, doi: [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(01\)00342-X](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(01)00342-X).
- [10] G. S. Birth, and G. R. McVey, "Measuring the Color of Growing Turf with a Reflectance Spectrophotometer," *Agronomy Journal*, Vol. 60, no. 6, pp. 640-643, 1968, doi: <https://doi.org/10.2134/agronj1968.00021962006000060016x>.
- [11] J. M. Chen, and J. Cihlar, "Retrieving leaf area index of boreal conifer forests using Landsat TM images," *Remote Sensing of Environment*, Vol. 55, no. 2, pp. 153-162, 1996, doi: [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(95\)00195-6](https://doi.org/10.1016/0034-4257(95)00195-6).
- [12] A. A. Bannari, H. Asalhi, and P. M. Teillet, "Transformed difference vegetation index (TDVI) for vegetation cover mapping," *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, pp. 3053-3055, 2005.
- [13] D. W. Hancock, and C. T. Dougherty, "Relationships between Blue- and Red-based Vegetation Indices and Leaf Area and Yield of Alfalfa," *Crop Science*, Vol. 47, no. 6, pp. 2547-2556, 2007, doi: <https://doi.org/10.2135/cropsci2007.01.0031>.
- [14] R. P. Sripada, R. W. Heiniger, J. G. White, and R. Weisz, "«Aerial Color Infrared Photography for Determining Late-Season Nitrogen Requirements in Corn," *Agronomy journal*, Vol. 97, no. 5, pp. 1443-1451, 2005, doi: <https://doi.org/10.2134/agronj2004.0314>.
- [15] R. C. Francisco, C. S. P. Irene, and S. K. Eva, "A Log-Ratio Vegetation Index (LRVI) for Discrimination and Classification of Remote Sensing Data," *Silva Lusitana*, Vol. 28, no. 1, pp. 45-70, 2020, doi: <https://doi.org/10.1051/silu/20202801045>.
- [16] A. A. Bannari, D. Morin, F. Bonn, and A. R. HUETE, "A review of vegetation indices," *Remote Sensing Reviews*, Vol. 13, no. 1-2, pp. 95-120, 1995, doi: <https://doi.org/10.1080/02757259509532298>.

# Analysis of Relations Between Aboveground Biomass and Vegetation Indices Derived from Sentinel-2 Satellite Data

Tsolmon Altanchimeg<sup>1\*</sup>, Amarsaikhan Damdinsuren<sup>1</sup>, Batchuluun Tseveen<sup>2</sup>,  
Byambadolgor Batdorj<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Institute of Geography and Geoecology, Mongolian Academy of Sciences, Ulaanbaatar 15170, Mongolia*

<sup>2</sup>*Department of Applied Mathematics, National University of Mongolia, Ulaanbaatar 14200, Mongolia*

*\*Corresponding author: tsolmon\_a@mas.ac.mn; ORCID:0000-0002-0116-4862*

*Article Info: Received: 2022.09.13; Accepted: 2022.10.01; Published: 2022.12.26*

---

**Abstract:** The aim of this research is to study the relationship between the estimated aboveground forest biomass and spectral vegetation indices derived from the visible and infrared bands of multispectral Sentinel-2 satellite data. The study area is situated in Teshig soum of Bulgan aimag, the northern part of Mongolia and geographically it belongs to a forest-steppe natural zone. To calculate the aboveground biomass in sampling plots, forest stand parameters such as diameter at breast height (DBH) and tree height (H) have been measured, and allometric equations were used. In the final analysis, we investigated the relationship between the aboveground biomass measured at sampling plots and several predefined vegetation indices. The relationships between the aboveground biomass values and vegetation indices were explored by the use of a linear regression model. Of the outputs, the best results demonstrating the highest level of significance were obtained by the uses of the LAI (with  $R^2=0.61$ ) and SR (with  $R^2=0.59$ ).

**Key words:** Mongolia, remote sensing, allometric equation, regression model

---