

Investigation of L Band PALSAR Synthetic Aperture Radar (SAR) Data in Land Cover Mapping

S. Maleki^{1*}, V. Rahdari¹

1. Assistant Professor, Department of Environment., Faculty of Natural Resources, University of Zabol, Zabol, Iran.

* Corresponding Author: smaleki@uoz.ac.ir

Received date: 16/09/2021

Accepted date: 21/02/2022

 [10.22034/JDMAL.2022.539088.1352](https://doi.org/10.22034/JDMAL.2022.539088.1352)

Abstract

Mapping of wetlands using remote sensing has faced challenges due to different land cover classes and similar reflectance across land cover classes. Synthetic aperture radar (SAR) data have a special ability to detect phenomena because of their penetration capacity, as well as their independence from time and weather conditions. In this study, radar data were used to map the land cover of Hamoun wetlands in both wet and dry conditions. For this purpose, L-band capacity has been used to investigate land cover classes. Statistical indicators were used for assessing the separation between land cover classes. The images were classified using the method of the support vector machine. The results of the present study show the capacity of the L-band to separate different land cover classes. The results of the accuracy assessment show an overall accuracy of over 80% in preparing the land cover map of the region. Furthermore, because of the penetration of the L-band, it is possible to detect water in the underlying layer of plants. The results of this study showed that the difference between the reflectance of vegetation that their smaller portion is below the water, and vegetation, most of which is above the water is detectable by the L-band. The difference between their backscatter is 6 dB in the HV and about 2 dB in the HH polarization, which indicates the capacity of the HV polarization to separate these two classes.

Keywords: Arid lands; Sistan plain; Vegetation cover; Remote sensing





بررسی قابلیت داده‌های باند L داده‌های رادار دهانه مصنوعی پالسا برای تهیه نقشه پوشش زمین

سعیده ملکی^{۱*}، وحید راهداری^۱

۱. استادیار، گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه زابل، زابل، ایران.

* نویسنده مسئول: smaleki@uoz.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۶/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۰۲

doi: [10.22034/JDMAL.2022.539088.1352](https://doi.org/10.22034/JDMAL.2022.539088.1352)

چکیده

بررسی‌های سنجش از دوری برای تهیه نقشه دقیق از تالاب‌ها، به دلیل تنوع پوشش‌های زمین و شباهت بازتابش بین آنها، همواره با چالش‌هایی روبرو بوده است. داده‌های رادار دهانه مصنوعی به دلیل ایجاد قابلیت نفوذ و عدم وابستگی به زمان و شرایط جوی، قابلیت ویژه‌ای در تشخیص پدیده‌ها دارند. در این مطالعه برای تهیه نقشه مناسب از وضعیت پوشش بخشی از تالاب هامون در شرایط ترسالی و خشکسالی، از داده‌های رادار استفاده شده است. به همین منظور، در پژوهش حاضر قابلیت باند L داده‌های رادار دهانه مصنوعی برای مطالعه پوشش سطح زمین استفاده شده است. برای بررسی قابلیت تفکیک بین طبقه‌های پوشش اراضی از شاخص‌های آماری استفاده شد و تصاویر با روش ماشین پشتیبان‌برداری طبقه‌بندی شد. نتایج به دست آمده از پژوهش حاضر نشان‌دهنده توانایی باند L برای تفکیک پوشش‌های مختلف زمین و نشان دادن تفاوت تراکم پوشش گیاهی بر بازتاب باند L است. جدول خطای تهیه شده در این مطالعه نیز نشان‌دهنده صحت کلی بیش از ۸۰٪ در تهیه نقشه پوشش اراضی منطقه است. علاوه بر این به دلیل قدرت نفوذ باند L، می‌توان آب لایه زیرین گیاهان را تشخیص داد. نتایج این مطالعه نشان داد که تفاوت بازتاب پوشش گیاهی که قسمت کمی از آن داخل آب است، با پوشش گیاهی‌ای که قسمت بیشتر آن درون آب است در باند HV برابر ۶ دسی‌بل و در باند HH حدود ۲ دسی‌بل است که نشان‌دهنده توان تفکیک بهتر باند HV در تفکیک این پوشش است.

واژگان کلیدی: مناطق خشک؛ دشت سیستان؛ پوشش گیاهی؛ سنجش از دور



■ مقدمه

رشد روزافزون جوامع بشری و همچنین آسیب‌های ناشی از تغییر اقلیمی موجب ایجاد تخریب گسترده در بوم‌نظام‌های طبیعی در سرتاسر دنیا شده است (۲۶). تصمیم‌گیری و اجرای اقدامات حفاظتی در برابر تخریب بوم‌نظام‌ها نیازمند در دسترس بودن اطلاعات کمی و کیفی منابع اکولوژیکی از منطقه است. به دلیل محدودیت آب در بوم‌نظام‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک و آسیب‌پذیری بیشتر این بوم‌نظام‌ها به عوامل تخریب، اجرای اقدامات حفاظتی ضروری است (۲۷). علی‌رغم اهمیت وجود اطلاعات لازم برای اقدامات حفاظتی و مدیریتی، مسائلی از جمله دشواری کار در مناطق خشک، دسترسی کم، پوشش گیاهی ضعیف در شرایط خشک و تغییرات مناطق خشک موجب کمبود اطلاعات در این مناطق می‌شود (۲۵، ۴۲). سنجش از دور همواره به‌عنوان ابزار مهم و کارآمدی برای مطالعات بوم‌نظام‌های طبیعی مورد استفاده قرار گرفته است (۳۵، ۱۸، ۱۶، ۱۴، ۱۳). تصاویر چندطیفی^۱ به‌طور گسترده در بررسی پدیده‌های مختلف در شرایط مکانی و زمانی گوناگون کاربرد دارد (۲۶). داده‌های رادار دهانه مصنوعی دسته دیگری از داده‌های سنجش از دوری‌اند که به‌واسطه سیستم خاص مربوط به دریافت پراکنش امواج از سوی سنجنده و همچنین استفاده از طول موج‌های با قابلیت نفوذ بیشتر، توانایی تولید تصاویر در شب و روز و هر شرایط آب و هوایی را فراهم می‌کنند (۱۹، ۱۸). انتخاب این داده‌ها بستگی به ویژگی‌های سنجنده از جمله فرکانس، طول موج، قطبش^۲ و زاویه برخورد^۳ بستگی دارد. به عنوان مثال قدرت نفوذ باند L بیشتر از باند X است و در مطالعات مربوط به خاک و یا اشکوب‌های زیرین پوشش گیاهی کارایی بیشتری دارد (۴۳). در صورتی که باند X با طول موج کوتاه‌تر برای مطالعه لایه بالایی پوشش گیاهی و شناسایی مناطق دارای پوشش گیاهی مفید است (۴۰، ۳۸). قطبش‌های مختلف داده‌های رادار دهانه مصنوعی می‌تواند در مطالعه ویژگی‌های مهم بیوماس و فنولوژی گیاهان مورد استفاده قرار بگیرد (۹). مطالعات نشان

می‌دهند که قطبش HH توانایی بالاتری در جداسازی پوشش گیاهی آبدگری شده از غیرآبدگری شده در تالاب‌ها دارد (۱۷). با کاهش زاویه برخورد ضریب پراکنش امواج رادار افزایش می‌یابد (۲۹). در زاویه برخورد کمتر تفاوت بین پراکنش امواج رادار در مناطق آبدگری شده با غیرآبدگری شده بیشتر است، بنابراین جداسازی این مناطق از یکدیگر در زاویه برخورد کمتر به نحو بهتری صورت می‌پذیرد (۱۹).

علاوه بر ویژگی‌های سنجنده، ویژگی‌های مطالعه نیز در زمان انتخاب سنجنده مناسب اهمیت دارد. مطالعات گذشته تأثیر بازتاب دوگانه^۴ را که در اثر تأثیر همزمان پراکنش آب و پوشش گیاهی به‌وجود می‌آید، در مطالعه پوشش گیاهی حائز اهمیت می‌دانند (۴۳، ۳۶). به‌واسطه ویژگی بازتاب دوگانه داده‌های رادار برای مطالعه مناطق تالابی کاربرد بسیاری دارند (۲۳). از سوی دیگر پوشش گیاهی خشک نسبت به پوشش گیاهی سبز بازتاب کمتری دارد (۲۳). همین تفاوت بازتاب امکان جداسازی گیاهانی را که در اثر کمبود آب خشک شده‌اند به‌وجود می‌آورد. زیست توده و تاج پوشش گیاهان نیز بر بازتاب داده‌های رادار تأثیر دارد (۴۱). به‌دلیل این ویژگی‌ها، داده‌های رادار در مطالعات مختلفی مانند مطالعات زیستگاهی و بخصوص برای پرندگان ساکن تالاب‌ها نیز استفاده شده‌اند (۲۲). از توانایی نفوذ بالاتر و در نتیجه پتانسیل بهتر باند L برای مطالعه تغییرات پوشش جنگل‌ها (۳۶) و مطالعه تغییرات تاج پوشش گیاهی در مناطق تالابی استفاده شده است (۷، ۶). با توجه به اینکه در سال‌های اخیر محدودیت منابع آب موجب ناپایداری وضعیت تالاب‌ها در کشور شده است، تغییرات آبدگری این بوم‌نظام‌ها موجب می‌شود پوشش اراضی با شرایط متفاوتی نسبت به آبدگری یا خشکسالی وجود داشته باشند. این مسئله بر تفکیک‌پذیری پدیده‌ها با استفاده از سنجش از دور تأثیر می‌گذارد. بنابراین مشخص کردن توانایی‌ها و ضعف امواج مورد استفاده در سنجش از دور در انتخاب تصویر، براساس شرایط بوم‌نظام‌ها، حائز اهمیت است. به‌همین دلیل پژوهش حاضر در بخشی از

3 Incidence angle

4 Double-bounce effect

1 Multi spectral

2 Polarization

روش دومارتن فوق خشک است (۳۷). تالاب هامون که از سه بخش شامل هامون صابری، پوزک و هیرمند تشکیل شده است، در این دشت قرار دارد. اهمیت این تالاب در منطقه‌ای خشک و نیمه‌خشک موجب شده که بخش بزرگی از هامون در ایران به‌عنوان یک منطقه تحت حفاظت در کنوانسیون رامسر تصویب شود (۳۳). همچنین این تالاب به‌عنوان ذخیره‌گاه زیست‌کره تحت حفاظت قرار گرفته است. این منطقه در محدوده $30^{\circ}25'$ تا $31^{\circ}27'$ عرض جغرافیایی شمالی و $60^{\circ}52'$ تا $60^{\circ}56'$ طول جغرافیایی شرقی قرار گرفته است. خشکسالی‌های اخیر و همچنین مسدود کردن آب ورودی از افغانستان به تالاب هامون موجب شده که آبگیری تالاب دچار نوسان شدیدی باشد به‌نحوی که در برخی از ماه‌ها تالاب به‌طور کلی خشک می‌شود (۲۰).

روش پژوهش

داده‌ها

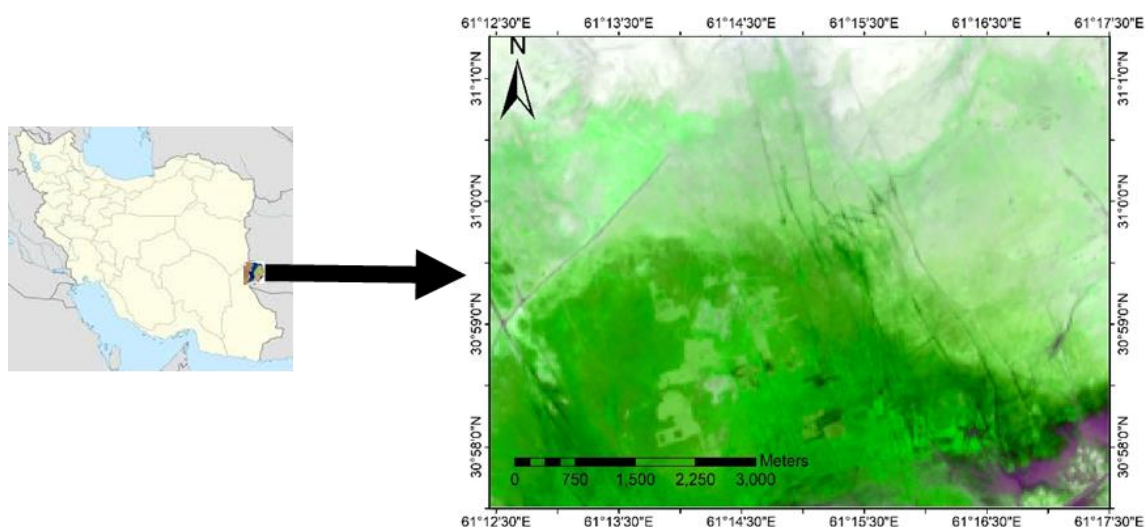
به‌منظور بررسی قابلیت‌های داده‌های رادار دهانه مصنوعی از باند L ماهواره پالسا استفاده شد. این داده‌ها از سازمان اکتشافات هوا و فضای کشور ژاپن^۲ تهیه شد. باند L با طول موج ۲۵cm در دسته امواج میکروویو با طول موج بلند دسته‌بندی می‌شود (۲۳).

تالاب هامون که کمبود منابع آب در سال‌های جاری موجب تغییرات پوشش اراضی آن شده است، انجام گرفت. تالاب هامون تالابی با اهمیت و بین‌المللی است که از جهت تأمین زیستگاه پرندگان بومی و مهاجر بسیار مهم است و تهیه نقشه منابع اکولوژیک آن براساس ساختار و کارکرد آن از اهمیت زیادی برخوردار است. پژوهش حاضر با هدف ارزیابی توانایی داده‌های راداری در مطالعات مناطق تالابی داخلی و تهیه نقشه برخی از مؤلفه‌های زیستگاهی با استفاده از داده‌های باند L ماهواره پالسا^۱ انجام شد. منطقه مطالعه بخشی از دشت سیستان واقع در منطقه خشک شرق کشور است. پراکنش امواج رادار در این منطقه بررسی و امکان تفکیک‌پذیری پدیده‌ها ارزیابی شدند.

■ مواد و روش

منطقه مورد بررسی

منطقه مطالعه بخشی از تالاب هامون در شرق کشور در شمال استان سیستان و بلوچستان، در مجاورت شهرستان زابل و در اطراف کوه خواجه است. این منطقه با توجه به داده‌های در دسترس و اهمیت زیستگاهی بسیار زیاد و دارابودن انواع پوشش‌های اراضی انتخاب شد (شکل ۱). متوسط بارندگی در دشت سیستان کمتر از ۵۰mm در سال و متوسط تبخیر سالیانه در بازه ۲۰ ساله برابر با ۴۷۵۵mm از تشتک تبخیر است. اقلیم منطقه به



شکل ۱. منطقه مطالعه بخشی از تالاب هامون در شرق کشور در شمال استان سیستان و بلوچستان

2 Japanese Aerospace Exploration Agency

1 Phased Array Type L-band Synthetic Aperture Radar (PALSAR)

این نقاط ثبت شد (شکل ۲). ویژگی‌های نقاطی که در مطالعات قبلی نیز ثبت شده بود برای سال ۱۳۹۶ مورد استفاده قرار گرفت که تعداد این نقاط به ۱۵۰ نقطه بالغ شد. در این مطالعات کاربری اراضی آب، پوشش گیاهی داخل آب، پوشش گیاهی خشکی و اراضی بایر مشخص شده بودند (۲۰). توضیح طبقه‌های پوشش اراضی در منطقه مطالعه در جدول (۲) نشان داده شده است.

پیش پردازش داده‌ها

در ابتدا در محیط نرم افزار SNAP تصحیح رادیومتریک بر روی داده‌های پالسر مورد استفاده در پژوهش حاضر انجام شد. سپس به منظور ایجاد بیشترین مطابقت هندسی با واقعیت، تصاویر تصحیح مکانی شدند. برای کاهش نویز اسپکل^۱ از فیلتر لی^۲ استفاده شد (۱۲). وجود نویز اسپکل یکی از مشکلات تصاویر راداری است. امواجی که از هر پراکنشگر دریافت می‌شود اگرچه از لحاظ فرکانس همسان هستند اما از لحاظ فاز یکسان نیستند. این اثر در تصاویر موجب شدت متفاوت در بین پیکسل‌ها می‌شود که نویز قابل ملاحظه‌ای در تصاویر بوجود می‌آورد. به‌منظور پردازش تصاویر رادار، اسپکل بوسیله فیلتر لی کاهش پیدا کرد.

تاریخ برداشت داده‌ها براساس مطالعات قبلی انجام شده در منطقه مطالعه در مورد نحوه آبیگری و خشکی تالاب در منطقه (۲۱، ۲۳)، دوره چرخش ماهواره و در دسترس بودن تصاویر انتخاب شد. جدول (۱) ویژگی‌های تصاویر مورد استفاده را نشان می‌دهد. تالاب در تیر ۱۳۹۶ خشک و در خرداد ۱۳۹۹ آبیگری شده بود.

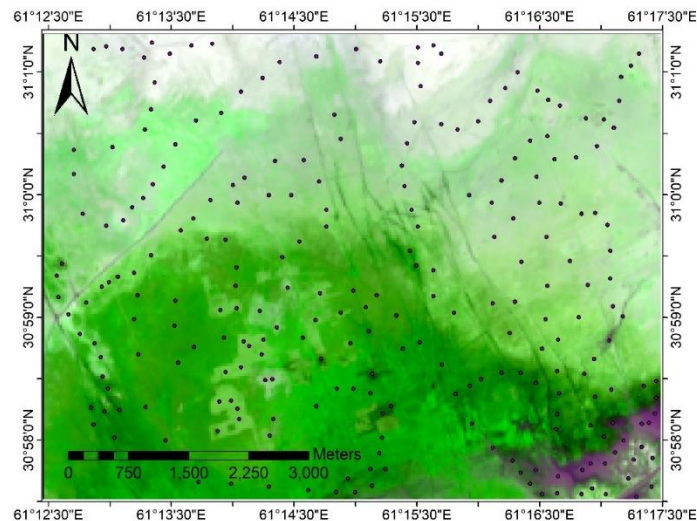
اطلاعات مربوط به واقعیت زمینی از مطالعات قبلی در منطقه (۲۱، ۲۲، ۲۳) و مطالعات صحرائی از وضعیت پوشش گیاهی از جهت تراکم و عمقی که درون آب قرار گرفته است و سایر پوشش‌های اراضی مورد مطالعه، مطابق با برداشت تصاویر در سال ۱۳۹۹ به‌دست آمد. ابتدا طبقه‌های پوشش اراضی براساس مطالعات قبلی در منطقه و همچنین تفاوت بازتاب‌ها بر روی تصاویر انتخاب شدند. با توجه به متغیر بودن شرایط بوم‌شناختی دشت سیستان به‌واسطه تغییر در وضعیت آبیگری تالاب، طبقه‌های انتخاب شده، در دو حالت آبیگری و عدم آبیگری تالاب، تعیین شد. توصیف این طبقه‌های پوشش اراضی در جدول (۲) ارائه شده است. سپس ۲۰۰ نقطه نمونه‌برداری در سال ۱۳۹۹ در هر یک از طبقه‌های انتخاب شد و با استفاده از GPS به موقعیت هر نقطه مراجعه و ویژگی‌های هر یک از

جدول ۱. تصاویر سنجنده PALSAR مورد استفاده

زاویه برخورد	قطبش	تاریخ برداشت تصویر	طول موج (nm)	اندازه پیکسل
۳۰°	HH-VH	۱۳۹۶/۴/۴	۱۵۶۵ - ۱۶۲۵	۶/۲۵ × ۶/۲۵
۳۰°	HH-VH	۱۳۹۹/۳/۱۴	۱۵۶۵ - ۱۶۲۵	۶/۲۵ × ۶/۲۵

جدول ۲. طبقه‌های پوشش اراضی مورد مطالعه

نام طبقه پوشش اراضی	توضیح
پوشش گیاهی ۱	الف پوشش گیاهی مناطقی که در زمان آبیگری تالاب، بخش اعظم گیاه داخل آب است.
پوشش گیاهی ۲	ب پوشش گیاهی مناطقی که در زمان آبیگری تالاب، بخش اعظم گیاه خارج از آب است.
اراضی بایر ۱	پوشش گیاهی مناطقی که در زمان آبیگری تالاب، در مناطق آبیگری‌شده قرار ندارند.
اراضی بایر ۲	مناطق بدون پوشش گیاهی که در زمان آبیگری تالاب، در مناطق آبیگری‌شده قرار دارند.



شکل ۲. موقعیت نقاط نمونه برداری

پردازش داده‌ها

بررسی امکان تفکیک پذیری

برای بررسی قابلیت تفکیک بین طبقه‌های پوشش اراضی از BD^1 و TD^2 استفاده شد. در این شاخص‌ها فاصله بین میانگین طبقه‌های و توزیع مقادیر توسط ماتریس کوواریانس طبقه‌های محاسبه می‌شود (۱۰، ۱۵). برای تهیه این شاخص‌ها فاصله بین میانگین پراکنش طبقه‌های و فاصله مقادیر از میانگین استفاده می‌شود. به همین منظور پلی‌گون‌هایی بر حسب موقعیت مکانی نقاط نمونه برداری در مناطق همگن از هر پوشش زمین ترسیم شدند. میانگین بازتاب براساس دسی بل و واریانس پلی‌گون‌های هر طبقه محاسبه شد (۲۳). این بخش در محیط نرم افزار ENVI5.1 انجام گرفت.

معیارهای تفکیک پذیری BD و TD در محدوده صفر و دو قرار دارند که صفر نشان دهنده این است که هیچ تفکیکی بین پراکنش‌های دو طبقه وجود ندارد و مقدار دو امکان جداسازی کامل را نشان می‌دهد (۱۰، ۱۵). امکان تفکیک پذیری پدیده‌ها به صورت زیر مشخص می‌شود:

- صفر $X > 1$ قابلیت تفکیک پذیری ضعیف
- $1 > X > 1/7$ قابلیت تفکیک پذیری متوسط
- $1 > X > 2$ قابلیت تفکیک پذیری خوب

طبقه بندی تصاویر و ارزیابی دقت نقشه‌ها

تصاویر در محیط نرم افزار ENVI 5.1 با استفاده از روش طبقه بندی نظارت شده و الگوریتم ماشین پشتیبان برداری طبقه بندی شد. در روش ماشین بردار، طبقه‌های در نقشه خروجی براساس فاصله کمتر بین ارزش هر پیکسل و نمونه تعلیمی به دست آمد (۲۳). در زمان اجرای این الگوریتم از تابع کرنل برای تغییر شکل داده‌های غیرخطی ورودی استفاده شد. توابع کرنل رایج در مطالعات سنجش از دور گوسین و تابع رادیال بیس هستند (۸، ۳۱). برای طبقه بندی تصاویر از تابع کرنل رادیال بیس استفاده شد. با استفاده از مطالعات صحرائی مطابق با برداشت تصاویر در سال ۱۳۹۹ و مطالعات قبلی الگوریتم طبقه بندی تعلیم داده شد (۳۰). ارزیابی نقشه‌های تولید شده با محاسبه دقت کلی (رابطه ۱)، دقت تولیدکننده (رابطه ۲)، دقت کاربر (رابطه ۳) و خطای کاهش^۳ (رابطه ۴) و افزایش^۴ (رابطه ۵) و با استفاده از نقاطی که در تعلیم الگوریتم استفاده نشده بود، انجام شد.

$$O.A = \frac{\sum_i^c E_{ii}}{N} \quad (1)$$

که در آن:

C تعداد کلاس‌ها، N تعداد کل پیکسل‌های معلوم، E_{ii} اعضای قطری ماتریس خطا و O.A دقت کلی است.

3 Errors of Omission
4 Errors of Commission

1 Bhattacharyya Distance
2 Transformed Divergence

$$P.A = 1 - O \quad (۴) \quad P.A = \frac{X_{jj}}{\sum_{i=1}^r X_{ij}} \quad (۲)$$

$$U.A = 1 - C \quad (۵) \quad \text{که در آن:}$$

X_{jj} عنصر قطری هر کلاس و $\sum_{i=1}^r X_{ij}$ مقادیر ستون هر کلاس و $P.A$ دقت تولیدکننده است.

$$U.A = \frac{X_{ii}}{\sum_{j=1}^r ij} \quad (۳)$$

کلیه مراحل انجام پژوهش در شکل ۳ ارائه شده است.

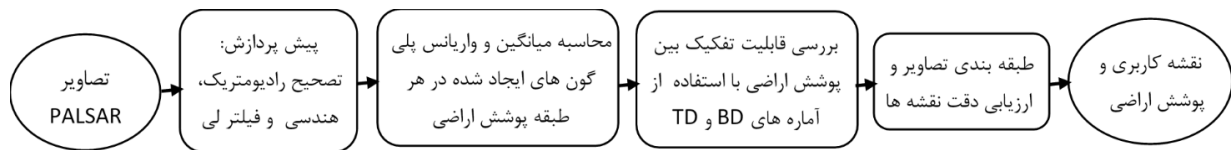
نتایج و بحث

برای تفسیر نتایج، تغییرات آبگیری تالاب مد نظر قرار گرفت. در خرداد ۱۳۹۹ تالاب آبگیری شده اما در تیر ۱۳۹۶ تالاب خشک بود. بنابراین در مورد نتایج سال ۱۳۹۹ اراضی بایر ۱ مناطق آبگیری شده هستند و پوشش گیاهی ۱ مناطقی اند که پوشش گیاهی در آب رشد کرده بود. به دلیل خشک شدن تالاب، همه کاربری‌های سال ۱۳۹۶ بدون آب بودند.

که در آن:

X_{ii} عنصر قطری یک کلاس و $\sum_{j=1}^r ij$ مجموع پیکسل‌های سطر همان کلاس و $U.A$ دقت کاربر است.

بر اساس دو دقت یادشده، خطاهای کاهش (O) و خطای افزایش (C) به صورت زیر تعریف می‌شوند:



شکل ۳. مراحل انجام پژوهش

در سال ۱۳۹۹ که تالاب آبگیری شده بود پوشش گیاهی ۱-ب بازتاب بیشتری داشته است و این مناطق روی تصاویر روشن‌ترند که در شکل (۴) و (۵) نشان داده شده است. این مورد به دلیل اثر پس‌پراکندگی دوگانه در مناطق دارای پوشش گیاهی آبگیری شده رخ داد که پوشش گیاهی روی تصاویر رادار روشن‌تر دیده می‌شوند (۱۱). در پس‌پراکندگی دوگانه پالس تابیده به آب پس از پس‌پراکندگی، مجدداً به پوشش گیاهی اصابت کرده است. در این حالت مقادیر معمول بازتابش در هر پیکسل بیشتر می‌شوند. این مسئله دلیل روشن بودن مناطق پوشش گیاهی در آب است (۴، ۲). این ویژگی موجب شد پوشش گیاهی به راحتی از آب تفکیک شود که در تصاویر راداری آب به علت پس‌پراکندگی آینه‌ای تیره هستند.

پراکنش داده‌های رادار باند L

میانگین بازتاب نقاط واقعیت زمینی در قطبش HH توسط شکل ۴ و در قطبش HV باند L توسط شکل ۵ در دو تاریخ مورد مطالعه نشان داده شده است. با توجه به اینکه تصویر خرداد ۱۳۹۹ اراضی بایر ۱ را مناطق آبگیری شده و اراضی بایر ۲ را مناطق خشک و بدون پوشش گیاهی نشان داد، لذا آب و اراضی بایر کمترین بازتاب را دارند (شکل ۴) و در بین این دو طبقه بازتاب آب از اراضی بایر هم کمتر بود. بنابراین انتظار می‌رفت آب در تصاویر رادار کاملاً تیره مشاهده شود. این نکته به دلیل ویژگی پراکنش طیفی^۱ آب رخ داد. در تیر ۱۳۹۶ که تالاب خشک بود هر دو طبقه اراضی بایر ۱ و بایر ۲ نشان‌دهنده مناطق بایر بودند که کمترین بازتاب را نسبت به سایر طبقه‌های داشتند.

1 Specular reflection

است (۳۸). این نکته در مطالعات مناطق خشک و نیمه‌خشک کاربردی است و می‌توان پوشش گیاهی آن را در شرایط متفاوت رصد کرد. پوشش گیاهی ۲، بازتاب بیشتری از اراضی بایر دارد که موجب می‌شود روی تصاویر رادار نسبت به اراضی بایر روشن‌تر دیده شود. این مسئله امکان تفکیک پوشش گیاهی کم تراکم از اراضی بایر را فراهم می‌کند.

بازتاب طبقه‌های مورد مطالعه در قطبش HV باند L در شکل (۵) نشان داده شده است. اگرچه روند کلی بازتاب‌ها همانند قطبش HH است، اما بازتاب پوشش گیاهی ۱-ب در شرایط خشکی تالاب حدود ۶ دسی‌بل بیشتر از طبقه ۱-الف است که این نکته می‌تواند در جداسازی این دو طبقه مفید باشد. درحالی‌که تفاوت بازتاب این دو طبقه در قطبش HH حدود ۲ دسی‌بل است. این نتایج نشان می‌دهد قطبش HV نسبت به تفاوت ویژگی‌های این دو طبقه حساس است.

توان تفکیک‌پذیری پدیده‌ها با استفاده از باند L

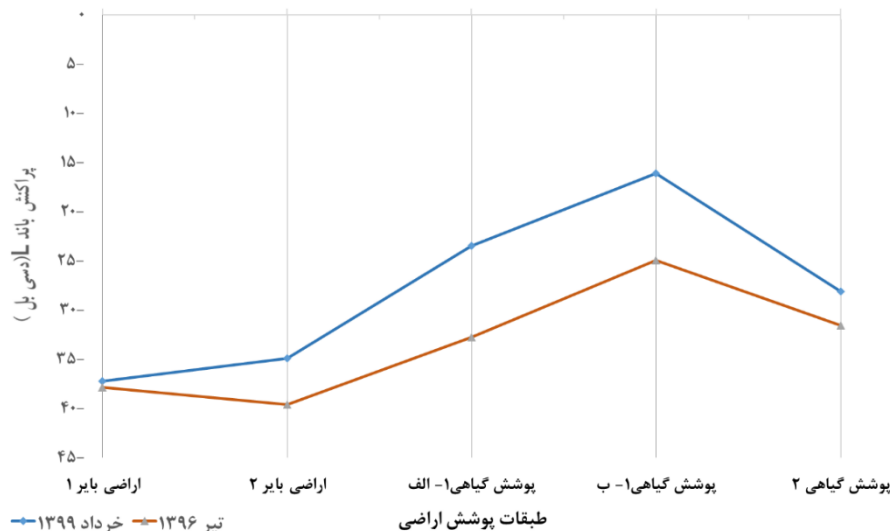
توان تفکیک‌پذیری پدیده‌ها در شکل (۶) ارائه شده است. اعداد بالاتر از ۱/۷ اعداد تفکیک‌پذیری قابل قبول‌اند (۹، ۱۴). بر اساس این شکل دو طبقه پوشش گیاهی ۱-الف (گیاهانی که بخش اعظم آن‌ها بیرون از آب است) و ۱-ب (گیاهانی که بخش اعظم گیاه داخل آب است)، در خرداد ۱۳۹۹ به طور کامل از یکدیگر قابل تفکیک هستند.

نتایج نشان داد که پوشش گیاهی ۱-الف بازتاب کمتری از پوشش گیاهی ۱-ب دارد که در زمان آبیگری تالاب، بخش اعظم گیاه خارج از آب قرار دارد و رقم پیکسل آن کمتر بوده و تیره‌تر دیده می‌شود. با توجه به قدرت نفوذ زیاد باند L، این بازتاب کمتر به دلیل تأثیر آب در پایین پوشش گیاهی می‌باشد. براین اساس باند L در چنین مناطقی می‌تواند آب در لایه زیرین گیاهان را تشخیص دهد (۲۹). این مسئله می‌تواند در تمایز پوشش گیاهی که بخش اعظم آن خارج از آب است از پوشش گیاهی که بخش بیشتری در زیر آب است مورد استفاده قرار بگیرد. چراکه گیاهان پایه در آب که بیشتر از آب خارج هستند بازتاب بیشتری دارند. براساس نتایج مطالعات مشابه، پالسا با استفاده از باند L می‌تواند لایه زیرین پوشش گیاهی را رصد کند که به دلیل قدرت نفوذ این باند است (۴۳). زمانی که تالاب آبیگری نشده (سال ۱۳۹۶) پوشش گیاهی ۱-ب پراکنش امواج رادار بیشتری از سایر طبقه‌های دارند و بنابراین در تصاویر رادار باند L روشن‌تر از سایر مناطق دیده می‌شوند.

در این منطقه، پوشش گیاهی ۲، تراکم کم و بازتاب کمتری نیز داشتند. اما نکته قابل توجه در بازتاب این طبقه، بازتاب بیشتر در سال ۱۳۹۹ نسبت به سال ۱۳۹۶ بود. با توجه به اینکه سال ۱۳۹۹ تالاب آبیگری شده و پوشش گیاهی شرایط مناسب‌تری نسبت به سال ۱۳۹۶ داشته‌اند، این تفاوت بازتاب به دلیل وضعیت مناسب‌تر گیاهان است. زیست توده گیاهان بر بازتاب امواج راداری آنها تأثیرگذار



شکل ۴. پراکنش نقاط واقعیت زمینی طبقه‌های پوشش اراضی در قطبش HH باند L



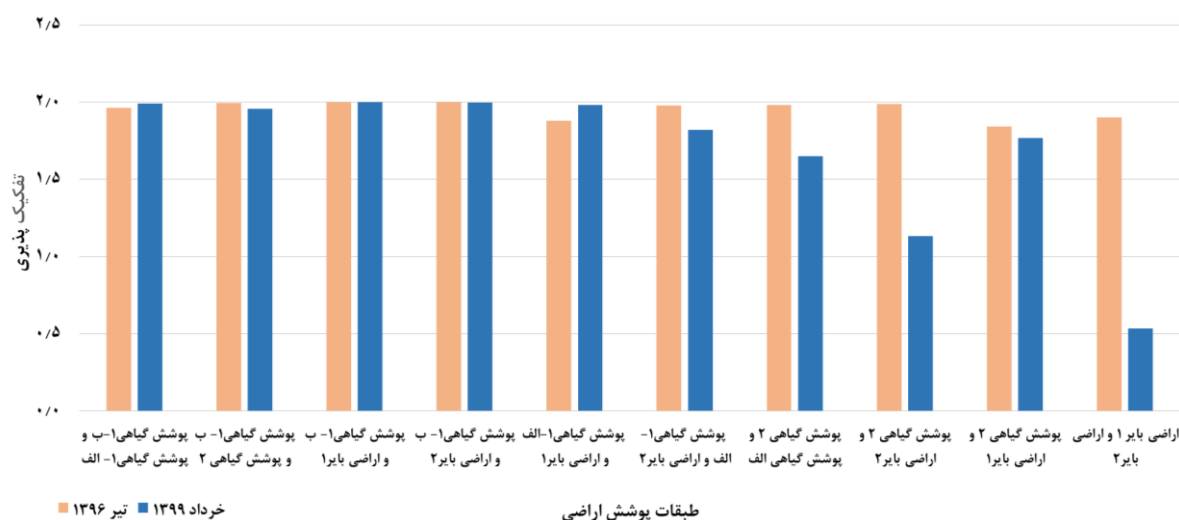
شکل ۵. پراکنش نقاط واقعیت زمینی طبقه‌های پوشش اراضی در قطبش HV باند L

نتایج تفکیک‌پذیری اراضی بایر از پوشش گیاهی نشان می‌دهد که در زمان‌های خشک بودن تالاب باند L می‌تواند این طبقه‌های را از یکدیگر تفکیک کند. حتی پوشش گیاهی کم‌ارتفاع در طبقه ۱-الف و پوشش گیاهی ۲ از اراضی بایر قابل تفکیک هستند. این تفاوت به دلیل حساسیت امواج رادار به زبری سطح است. پوشش گیاهی نسبت به اراضی بایر موجب به وجود آمدن زبری است و بر تصاویر رادار بازتاب متفاوتی دارند که این خصوصیت در مطالعات مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌تواند مورد استفاده قرار بگیرد. نویسندگان مطالعه قبلی با تأکید بر تأثیر پوشش گیاهی در زبری خاک، به توانایی داده‌های رادار در تفکیک پدیده‌های سطح زمین براساس تأثیر آنها بر روی زبری سطح زمین اشاره کرده‌اند (۱۹).

با توجه به اینکه اراضی بایر ۱ در زمان آبیاری تالاب بخشی از پهنه آبی است، نتایج نشان می‌دهد با استفاده از باند L امکان تفکیک پهنه آبی از اراضی بایر وجود ندارد. در زمان خشکی تالاب، هر دو طبقه اراضی بایر ۱ و ۲ مربوط به یک طبقه محسوب می‌شوند. اما نکته جالب توجه در مورد امکان تفکیک‌پذیری در حدود متوسط بین این دو طبقه اراضی بایر است. این نکته می‌تواند نشان‌دهنده امکان تفکیک ویژگی‌های مختلف اراضی بایر در مناطق خشک و نیمه-خشک باشد. این مسئله می‌تواند به دلیل ویژگی‌های مختلف خاک این دو منطقه باشد (۱۲). زبری و رطوبت خاک از جمله مهم‌ترین پارامترهای موثر در ارتباط با داده‌های رادارند (۵).

با توجه به اینکه این طبقه پوشش گیاهی در خرداد ۱۳۹۹ آبیاری شده است این تفکیک‌پذیری به دلیل قدرت نفوذ باند L است که می‌تواند لایه آب زیرین پوشش گیاهی را، که بخش کمتری از آن خارج از آب است، تشخیص دهد و به همین دلیل از گیاهانی که بخش بیشتر آنها خارج از آب است قابل تفکیک بود (۲۳). توانایی تشخیص آب در زیر پوشش گیاهی، علاوه بر مطالعه پوشش گیاهی برای تشخیص روند آبیاری در مناطق دارای گیاه، اهمیت دارد (۲۴).

پوشش گیاهی ۱-ب و پوشش گیاهی پوشش گیاهی ۱-الف در زمان خشک بودن تالاب مربوط به تیر ۱۳۹۶، به خوبی قابل تفکیک بودند. از آنجا که براساس مطالعات قبلی نگارندگان در این منطقه (۲۳)، گیاهان در پوشش گیاهی ۱-الف با ارتفاع کوتاه‌تر بوده است، این نتایج نشان می‌دهد که باند L می‌تواند در مطالعات گیاهان با ارتفاع کمتر از گیاهان بلندتر مثل نیزارهای خشک مورد استفاده قرار بگیرد. براساس نتایج ارائه شده در شکل ۶، باند L قابلیت تفکیک‌پذیری بین پوشش گیاهی ۱-ب از پوشش گیاهی ۲ را دارد. از آنجا که گیاهان ۱-ب در بخش‌های آبیاری شده تالاب بودند و پوشش گیاهی ۲ در زمین‌های خشک، این نتایج نشان‌دهنده توانایی تفکیک گیاهان در مناطق آبیاری-شده از زمین‌های خشک توسط باند L است. در مطالعات گذشته، از این توانایی برای مطالعه زیستگاه پرندگان وابسته به این گیاهان استفاده شده است (۲۲).



شکل ۶. توان تفکیک پذیری طبقه‌های پوشش اراضی

نقشه‌های تولیدشده

نقشه پوشش اراضی تولیدشده پس از طبقه‌بندی ترکیب هر دو پلاریزیشن VV و VH تصاویر پالسا در دو حالت آبگیری تالاب و خشک‌بودن آن در شکل‌های (۷) و (۸) ارائه شده است. صحت نقشه‌های تولیدشده و ماتریس خطای طبقه‌بندی در جدول (۳) ارائه شده است. ماتریس خطا نشان می‌دهد که در بین طبقه‌های مورد مطالعه، جداسازی گیاهان ۱-ب به مقدار ۹۶/۵ برای خرداد سال ۱۳۹۹ و ۹۰/۷۲٪ برای سال ۱۳۹۶ صحت بیشتری دارد. با توجه به اینکه این طبقه مربوط به گیاهانی است که بخش اعظم آنها خارج از آب است، این صحت طبقه‌بندی نیز تأییدکننده امکان جداسازی این گروه از پوشش اراضی توسط داده‌های پالسا است. نتایج تفکیک سایر طبقه‌های نشان دادند که طبقه‌بندی انجام‌شده دارای صحت کافی است. صحت کلی نقشه‌های تولیدشده صحت مناسبی نسبت به واقعیت زمینی دارند. مطالعات گذشته صحت کلی ۸۱/۵ و ۸۴/۶٪ به‌وسیله باند L و بین ۸۰ تا ۸۸٪ به‌وسیله باند C را برای طبقه‌بندی پوشش اراضی تالاب به دست آوردند (۴، ۳۱).

مطالعات مختلفی، با استفاده از داده‌های راداری نشان دهنده توانایی این داده‌ها در طبقه‌بندی پوشش اراضی مناطق مختلف هستند (۳۴، ۱۱). همان‌گونه که شکل (۷) نشان می‌دهد علیرغم اینکه در این تاریخ منطقه آبگیری

شده است، طبقه آب در این شکل وجود ندارد و به‌صورت اراضی بایر ۱ و ۲ نشان داده شده است. این مسئله به دلیل عدم توانایی باند L در جداسازی آب از اراضی بایر است. مطالعات گذشته نشان دادند باند کوتاه‌تر X امکان تفکیک این دو طبقه را دارد (۲۳). بنابراین این دو طبقه که آبگیری تالاب است، به‌صورت یک طبقه مشاهده می‌شوند (شکل ۷). اما در زمان خشکسالی تالاب اراضی (شکل ۸) اراضی بایر به‌صورت دو طبقه قابل تفکیک شدن هستند. به دلیل اینکه در بخش‌های آبگیری‌شده، سطح زمین در زمان خشکی تالاب صاف است اما در اراضی‌ای که بایر هستند و آبگیری نمی‌شوند زبری سطح موجب پراکنش متفاوتی از سطح صاف می‌شود.

نتیجه‌گیری

منطقه مطالعه در غرب دشت سیستان واقع شده است. خشکسالی‌های اخیر و همچنین مسدودکردن آب ورودی از افغانستان به تالاب هامون موجب شده که آبگیری تالاب دچار نوسان شدیدی باشد، به‌نحوی که در برخی ماه‌ها تالاب به‌طورکلی خشک می‌شود (۲۰). با توجه به تغییرات دوره‌ای ورودی آب به تالاب هامون و خشک‌شدن و آبگیری بی‌درپی در قسمت‌های تالاب موجب می‌شود که وضعیت پوشش سطح زمین از جمله پوشش گیاهی دچار تغییرات زیادی شود.

جدول ۳. ماتریس خطای نقشه‌های تولیدشده الف) خرداد ۱۳۹۹

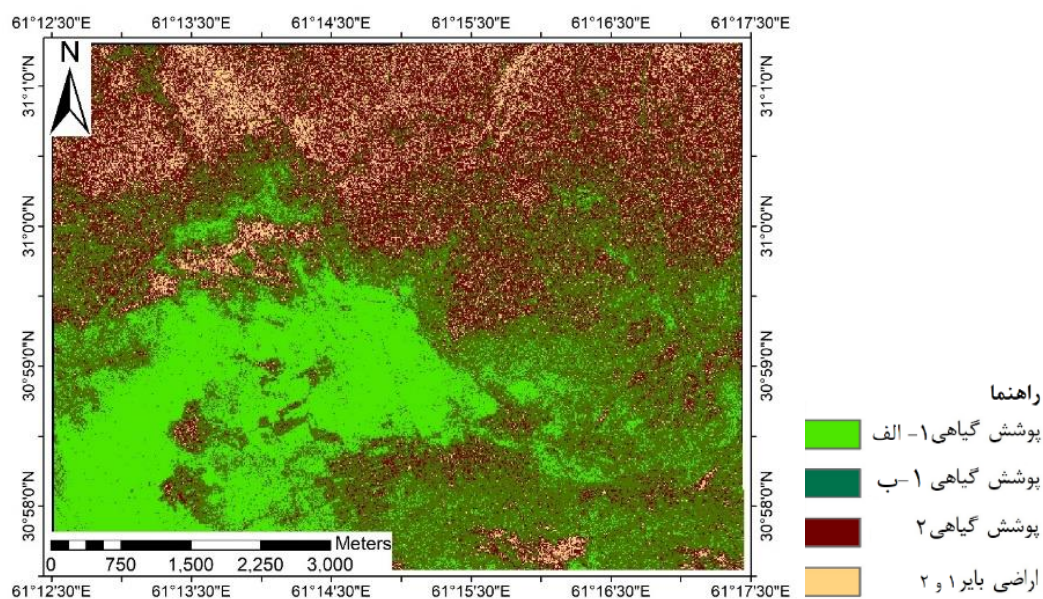
طبقه بندی	مرجع				جمع	دقت کاربر	خطای افزایش
	پوشش گیاهی ۲	الف - پوشش گیاهی ۱	ب - پوشش گیاهی ۱	اراضی بایر			
پوشش گیاهی ۲	۷۵۵۸	۳۵۰	۱۰۰	۱۰۲۱	۹۰۲۹	۸۳.۷۱٪	۰/۱۷
پوشش گیاهی ۱ - الف	۶۵۸	۹۲۴۵	۹۵۴	۲۵۰	۱۱۱۰۷	۸۳.۲۴٪	۰/۱۷
پوشش گیاهی ۱ - ب	۱۴۰	۴۱۲	۱۵۲۴۰	۰	۱۵۷۹۲	۹۶.۵۰٪	۰/۰۴
اراضی بایر	۱۰۵۳	۱۳۳۳	۰	۹۱۸۴	۱۱۵۷۰	۷۹.۳۸٪	۰/۲۱
جمع	۹۴۰۹	۱۱۳۴۰	۱۶۲۹۴	۱۰۴۵۵			
دقت تولیدکننده	۸۰.۳۳٪	۸۱.۵۳٪	۹۳.۵۳٪	۸۷.۸۴٪			
خطای کاهش	۰/۲	۰/۱۹	۰/۰۷	۰/۱۳			

صحت کل: ۸۷٪

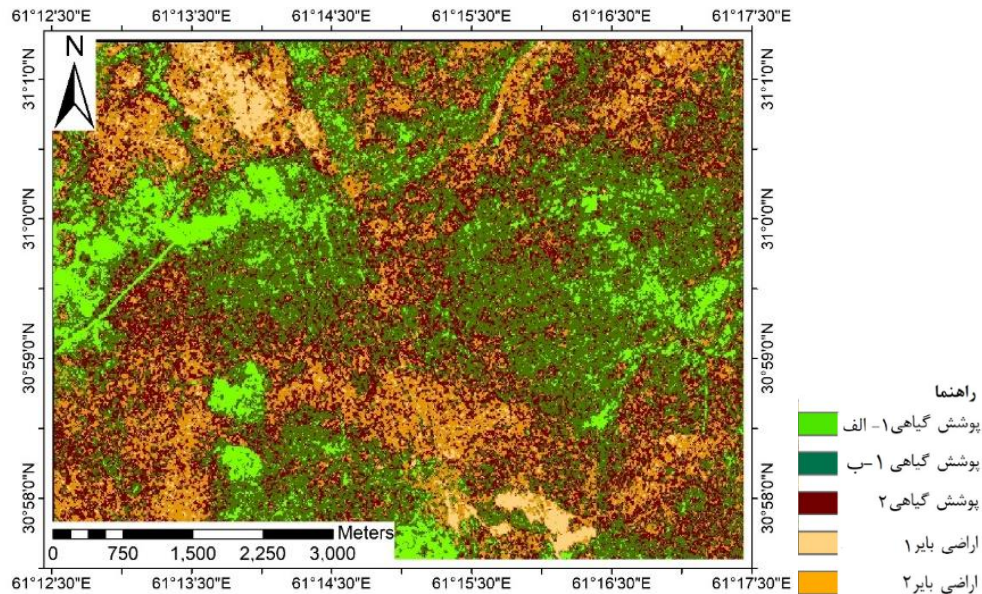
ادامه جدول ۳. ماتریس خطای نقشه‌های تولیدشده ب) تیر ۱۳۹۶

طبقه بندی	مرجع				جمع	دقت کاربر	خطای افزایش
	پوشش گیاهی ۲	الف - پوشش گیاهی ۱	ب - پوشش گیاهی ۱	اراضی بایر ۱			
پوشش گیاهی ۲	۹۵۵۸	۱۰۵۰	۵۲۰	۲۰۰	۹۲۱	۷۸.۰۳٪	۰/۲۲
پوشش گیاهی ۱ - الف	۸۴۲	۱۰۰۴۵	۷۶۰	۱۰۰	۴۷۳	۸۲.۲۰٪	۰/۱۸
پوشش گیاهی ۱ - ب	۱۴۰	۹۵۴	۱۳۲۴۰	۰	۲۶۰	۹۰.۷۲٪	۰/۱
اراضی بایر ۱	۸۹۵	۶۸۴	۳۶۰	۸۰۲۱	۱۳۴۰	۷۰.۹۸٪	۰/۳
اراضی بایر ۲	۹۸۶	۱۱۳۳	۰	۸۰۰	۱۰۱۸۴	۷۷.۷۲٪	۰/۲۳
جمع	۱۲۴۲۱	۱۳۸۶۶	۱۴۸۸۰	۹۱۲۱	۱۳۱۷۸		
دقت تولیدکننده	۷۶.۹۵٪	۷۲.۴۴٪	۸۸.۹۸٪	۸۷/۹۳	۷۷.۲۸٪		
خطای کاهش	۰/۲۴	۰/۲۸	۰/۱۲	۰/۱۳	۰/۲۳		

صحت کل: ۸۰٪



شکل ۷. نقشه پوشش اراضی منطقه مطالعه با استفاده از تصاویر پالاسر خرداد ۱۳۹۹



شکل ۸. نقشه پوشش اراضی منطقه مطالعه با استفاده از تصاویر پالسا تیر ماه ۱۳۹۶

همان‌گونه که این مطالعه نشان داد این داده‌ها در زمینه تهیه اطلاعات لازم از سطح زمین مناسب هستند. قدرت نفوذ داده‌های رادار و همچنین ویژگی‌هایی مانند بازتاب دوگانه و پراکنش آینه‌ای، موجب شده است که بتوان از این داده‌ها در مطالعات پوشش سطح زمین استفاده کرد. از سوی دیگر، این داده‌ها به دلیل عدم وابستگی به شرایط جوی در مطالعات سری زمانی کاربرد دارند. چراکه در زمان استفاده از تصاویر چندطیفی، ابر و ریزگردها موجب محدودیت در انتخاب تصاویر می‌شود. از آنجاکه یکی از محدودیت‌های بررسی در مناطق خشک توفان گردوغبار است، داده‌های رادار در این مناطق می‌تواند ابزار مناسبی در پژوهش‌های آینده باشد.

■ سپاسگزاری

از تأمین‌کننده مالی این پژوهش، دانشگاه زابل با شماره پژوهانه UOZ-GR-1348 تقدیر و تشکر می‌شود.

نتایج حاصل از پژوهش حاضر نشان‌دهنده توانایی باند L برای تفکیک پوشش‌های مختلف زمین است. براساس نتایج به دست آمده باند L می‌تواند در مطالعات گیاهان با ارتفاع کمتر از گیاهان بلندتر مثل نیزارها مورد استفاده قرار بگیرد. علاوه بر این به دلیل قدرت نفوذ باند L، می‌توان آب در لایه زیرین گیاهان را تشخیص داد. این مسئله می‌تواند در تمایز پوشش گیاهی که بخش اعظم آن خارج از آب است از پوشش گیاهی که بخش بیشترش زیر آب قرار دارد، استفاده شود. چراکه گیاهان پایه در آب، که بیشتر بخش‌های گیاه از آب خارج هستند، بازتاب بیشتری دارند. این در حالی است که باند X به دلیل قدرت نفوذ کمتر توانایی تمایز این دو طبقه را ندارد و فقط اطلاعات مربوط به لایه سطحی را در اختیار ما قرار می‌دهد (۴۳). علاوه بر این قدرت نفوذ کمتر باند X موجب می‌شود با استفاده از این باند امکان تشخیص آب در زیر لایه پوشش گیاهی وجود ندارد (۳۹). در سال‌های اخیر کاربرد داده‌های راداری در مطالعات منابع طبیعی گسترش پیدا کرده است.

■ References

1. Ayehu, G., Tadesse, T., Gessesse, B., Yigrem, Y., & Melesse, A. (2020). Combined use of sentinel-1 sar and landsat sensors products for residual soil moisture retrieval over agricultural fields in the upper Blue Nile basin, Ethiopia. *Sensors*, 20(11), 3282.

2. Arnesen, A.S., Silva, T.S., Hess, L.L., Novo, E.M., Rudorff, C.M., Chapman, B.D. & McDonald, K.C. (2013). Monitoring flood extent in the lower Amazon River floodplain using ALOS/PALSAR ScanSAR images. *Remote Sensing of Environment*, 130, 51–61.
3. Baghdadi, N., Bernier, P., Gauthier, R., & Neeson, I. (2001). Evaluation of C-band sar data for wetlands mapping. *International Journal of Remote Sensing*, 22, 71–88.
4. Banks, S., White, L., Behnamian, A., Chen, Z., Montpetit, B., Brisco, B., & Duffe, J. (2019). Wetland classification with multi-angle/temporal SAR using random forests. *Remote Sensing*, 11(670), 1-28.
5. Baghdadi, N., Cresson, R., El Hajj, M., Ludwig, R., & La Jeunesse, I. (2012). Estimation of soil parameters over bare agriculture areas from c-band polarimetric SAR data using neural networks. *Hydrology and Earth System Sciences*, 16, 1608–1621.
6. Betbeder, J., Rapinel, S., Corgne, S., Pottier, E., & Hubert-Moy, L. (2015). TerraSAR-X Dual-pol time-series for mapping of wetland vegetation. *ISPRS Photogrammetry and Remote Sensing*, 107, 90–98.
7. Bourgeau-Chavez, L.L., Kasischke, E.S., Brunzel, S.M., Mudd, J.P., Smith, K.B., & Frick, L. (2001). Analysis of space-borne SAR data for wetland mapping in Virginia riparian ecosystems. *Remote Sensing*, 22, 3665–3668.
8. Bousbih, S., Zribi, M., Pelletier, C., Gorraab, A., LiliChabaane, Z., Baghdadi, N., & Mougenot, B. (2019). Soil texture estimation using radar and optical data from Sentinel-1 and Sentinel-2. *Remote Sensing*, 11(13), 1-20.
9. Corcione, V., Nunziata, F., Mascolo, L., & Migliaccio, M. (2016). A Study of the use of COSMO-SkyMed SAR Ping Pong polarimetric mode for rice growth monitoring. *Remote Sensing*, 37(3), 633–647.
10. Daboor, M., Howell, S., Shokr, M., & Yackel, J. (2014). The Jeffries–Matusita distance for the case of complex Wishart distribution as a separability criterion for fully polarimetric SAR data. *Remote Sensing*, 35(19), 6859-6873.
11. Dabrowska-Zielinska, K., Budzyska, M., Tomaszewska, M., Bartold, M., Gatkowska, M., Malek, I., & Napiorkowska, M. (2014). Monitoring wetlands ecosystems using ALOS PALSAR L-Band, HV supplemented by optical data: A case study of Biebrza wetlands in Northeast Poland. *Remote Sensing*, 6, 1605–1633.
12. El Hajj, M., Baghdadi, N., Belaud, G., Zribi, M., Cheviron, B., Courault, D., & Charron, F. (2014). Irrigated grassland monitoring using a time series of terraSAR-X and COSMO-skyMed X-Band SAR data. *Remote Sensing*, 6(10), 10002–10032.
13. Haghghi, K. M., Tajaddod, M., Ravanbakhsh, M., & Jamalzad, F. F. (2021). Vegetation classification based on wetland index using object-based classification of satellite images. *RS and GIS for Natural Resources*, 12(3), 1-17. (in Farsi)

14. Heydarian, P., Rangzan, K., Maleki, S., & Taghizadeh, A. (2014). Land use change detection using post classification comparison Landsat satellite images (Case study: land of Tehran). *RS and GIS for Natural Resources*, 4(4), 1-10. (in Farsi)
15. Huang, H., Roy, D.P., Boschetti, L., Zhang, H.K., Yan, L., Kumar, S.S., & Li, J. (2016). Separability analysis of Sentinel-2A Multi-Spectral Instrument (MSI) data for burned area discrimination. *Remote Sensing*, 8(10), 1-18.
16. Hidayat, H., Hoekman, D.H, Vissers, M., Hoitink, A., & Pfister, L. (2012). Flood occurrence mapping of the middle Mahakam low land area using satellite radar. *Hydrology and Earth System Sciences*, 16, 1805–1816.
17. Koch, M., Schmid, T., Reyes, M., & Gumuzzio, J. (2012). evaluating full polarimetric C- and L-Band data for mapping wetland conditions in a semi-arid environment in central Spain. *Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 5, 33–44.
18. Kiage, L.M., Walker, N.D., Balasubramanian, S., Babin, A., & Barras, J. (2005). Applications of radarsat-1 synthetic aperture radar imagery to assess hurricane-related flooding of coastal Louisiana. *Remote Sensing*, 26, 5359–5380.
19. Lang, M.W, Townsend, P.A., & Kasischke, E.S. (2008). Influence of incidence angle on detecting flooded forests using C-HH synthetic aperture radar data. *Remote Sensing of Environment*, 112(10), 3898–3907.
20. Maleki, S., Soffianian, A.R., Koupaei, S.S., Pourmanafi, S., & Saatchi, S. (2018). Wetland restoration prioritizing, a tool to reduce negative effects of drought; An application of multicriteria-spatial decision support system (MC-SDSS). *Ecological Engineering*, 112, 132-139.
21. Maleki, S., Soffianian, A.R., Koupaei, S.S., Saatchi, S., Pourmanafi, S., & Sheikholeslam, F. (2016). Habitat mapping as a tool for water birds' conservation planning in an arid zone wetland: the case study Hamoun wetland. *Ecological Engineering*, 95, 594-603.
22. Maleki, S., Baghdadi, N., & Rahdari, V. (2020). Which water bird groups need greater habitat conservation measures in a wetland ecosystem? *Ecological Engineering*, 143, 1-10.
23. Maleki, S., Baghdadi, N., Soffianian, A., El Hajj, M., & Rahdari, V. (2020). Analysis of multi-frequency and multi-polarization SAR data for wetland mapping in Hamoun-e-Hirmand wetland. *Remote Sensing*, 41(6), 2277-2302.
24. Martinisro, S., & Rieke, C. (2015). Backscatter analysis using multi-temporal and multi-frequency SAR data in the context of flood mapping at river Saale, Germany. *Remote Sensing*, 7, 32-52.
25. Marti-Cardona, B., Lopez-Martinez, C., Dolz-Ripolles, J., & Bladè-Castellet, E. (2010). A SAR polarimetric, multi-incidence angle and multitemporal characterization of Donana wetlands for flood extent monitoring. *Remote Sensing of Environment*, 114, 2802–2815.

26. Morandeira, NS., Grings, F., Facchinetti, C., & Kandus, P. (2016). Mapping plant functional types in floodplain wetlands: an analysis of C-band polarimetric SAR data from RADARSAT-2. *Remote Sensing*, 8(3), 1-17.
27. Mitsch, W.J., & Gosselink, J.G. (2007). *Wetlands*. Hoboken, John Wiley & Sons.
28. Magagi, R., Bernier, M., & Ung, C.H. (2002). Quantitative analysis of radarsat SARdata over a sparse forest canopy. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 40, 1301–1313.
29. Novo, E.M., Costa, M.P.F., Mantovani, J.E., & Lima, L.B.T. (2002). Relationship between Macrophyte Stand Variables and Radar Backscatter at L and C Band, Tucuruí reservoir, Brazil. *Remote Sensing*, 23, 1241–1260.
30. Pal, M. (2005). Random forest classifier for remote sensing classification. *Remote Sensing*, 26, 217-222.
31. Pham, T., Yoshino, K., & Kaida, N. (2017). *Monitoring mangrove forest changes in cat ba biosphere reserve using ALOS PALSAR imagery and a GIS-based support vector machine algorithm*. In International Conference on Geo-Spatial Technologies and Earth Resources, Springer, Cham.
32. Pelletier, C., Valero, S., Inglada, J., Champion, N., & Dedieu, G. (2016). Assessing the robustness of Random Forests to map land cover with high resolution satellite image time series over large areas. *Remote Sensing of Environment*, 187, 156-168.
33. Ramsar. (2016). The list of wetlands of international importance. Ramsar.
34. Reschke, J., Bartsch, A., Schlaffer, S., & Schepaschenko, D. (2012). Capability of C-Band SAR for operational wetland monitoring at high latitudes. *Remote Sensing*, 4, 2923–2943.
35. Santoro, M., Pantze, A., Fransson, J.E., Dahlgren, J., & Persson, A. (2012). Nation-wide clear-cut mapping in Sweden using ALOS PALSAR strip images. *Remote Sensing*, 4, 1693–1715.
36. Sand, M., & Rieke, S. (2015). Backscatter analysis using multi-temporal and multi-frequency SAR data in the context of flood mapping at river Saale. Germany. *Remote Sensing*, 7, 7732–7752.
37. Shamohammadi, Z., & Maleki, S. (2011). *The Life of Human*. Jahad Daneshgahi, Iran (in Farsi).
38. Shen, G., Liao, J., Guo, H., & Liu, J. (2015). Poyang Lake wetland vegetation biomass inversion using polarimetric RADARSAT-2 synthetic aperture radar data. *Applied Remote Sensing*, 9, 451-455.
39. Taft, O.W., Haig, S.M., & Kiilsgaard, C. (2003). Use of radar remote sensing (RADARSAT) to map winter wetland habitat for shorebirds in an agricultural landscape. *Environment Management*, 33, 750-763.
40. Touzi, R., Deschamp, B., & Rother, G. (2007). Wetland characterization using polarimetric RADARSAT-2 capability. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 33(1), 56-67.
41. Wilusz, D.C., Zaitchik, B.F., Anderson, M.C., Hain, C.R., Yilmaz, M.T., & Mladenova, I.E. (2017). Monthly flooded area classification using low resolution SAR imagery in the Sudd wetland from 2007 to 2011. *Remote Sensing of Environment*, 194, 205–218.

42. Widis, D.C., BenDor, T.K., & Deegan, M. (2015). Prioritizing wetland restoration sites: a review and application to a large- scale coastal restoration program. *Ecological Restoration*, 33, 358–377.
43. Zhang, M., Li, Z., Tian, B., Zhou, J., & Tang, P. (2016). The Backscattering characteristics of wetland vegetation and water-level changes detection using multi-mode SAR. *Applied Earth Observation and Geoinformation*, 45, 1–13.