



Application of Sentinel-1 Synthetic Aperture Radar (SAR) Data in Aquatic Ecosystem Study

S. Maleki^{1*}, V. Rahdari², N. Baghdadi³,
and A. Pahlevanravi⁴

Abstract

Wetlands are valuable ecosystems that provide services to support the life of stakeholders. These ecosystems should be protected against the widespread degradation because of human and climate change. Monitoring and restoration of wetlands need information from all ecological parameters. But providing these information is complicated because of the vast area and complexity of land cover in wetlands. In this paper the Synthetic aperture radar (SAR) data were applied to map the land cover of Hamoun-e-Hirmand in 4 dates include 3 images in flooded period and 1 image in dry condition. The radar backscatter of land-cover classes was investigated. Then the Support vector machine classification method was applied to classify the images. The results of this paper show the ability of radar date to map the flooded vegetation classes. Also, it shows the ability of these images to study the dry plants when the water resource dries out. The results of this paper are applicable in monitoring of wetlands and providing the data for ecosystem management and conservation.

Keywords: Wetland; Sentinel-1; Remote Sensing; Synthetic Aperture Radar; Hamoun-e-Hirmand.

Received: April 10, 2020
Accepted: August 21, 2020

استفاده از داده‌های رادار دهانه مصنوعی سنتینل-۱ به منظور مطالعه اکوسیستم‌های آبی

سعیده ملکی^{۱*}، وحید راهداری^۲، نیکلاس بغدادی^۳
و احمد پهلوانروی^۴

چکیده

تالاب‌ها اکوسیستم‌های ارزشمندی هستند که خدمات زیادی را برای حفظ حیات ذی‌نفعان ارائه می‌دهند. این اکوسیستم‌ها باید در برابر تخریب‌های گسترده ناشی از تغییرات انسانی و اقلیمی محافظت بشوند. پایش و احیای این تالاب‌ها نیازمند اطلاعاتی از همه پارامترهای اکولوژیک آن است. اما فراهم کردن این اطلاعات به دلیل سطح گسترده آنها و پیچیدگی پوشش آن دشوار است. در این مقاله از قابلیت‌های داده‌های رادار دهانه مصنوعی برای تهیه نقشه پوشش اراضی تالاب هامون هیرمند در چهار تاریخ شامل سه تصویر در دوره آبیگری تالاب و یک تصویر در دوره خشک آن استفاده شد. ابتدا میزان پراکنش امواج رادار از پوشش اراضی بررسی شد. سپس، تصاویر به‌وسیله روش ماشین پشتیبان برداری طبقه‌بندی شد. نتایج این مقاله نشان‌دهنده توانایی داده‌های رادار در تهیه نقشه پوشش گیاهی همراه با آب و طبقات مختلف آن و روند تغییرات این نوع از پوشش اراضی است. همچنین این نتایج نشان داد این تصاویر در مطالعه گیاهان خشک در زمان خشک شدن منابع آب توانمند هستند. نتایج این مقاله در پایش تالاب‌ها و فراهم کردن داده برای مدیریت و حفاظت اکوسیستم‌های آبی ارزشمند است.

کلمات کلیدی: تالاب، سنتینل-۱، سنجش از دور، رادار دهانه مصنوعی، هامون هیرمند.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۹/۱/۲۲
تاریخ پذیرش مقاله: ۹۹/۵/۳۱

1- Assistant professor, Department of Natural Resources, University of Zabol, Zabol, Iran. Email: smaleki@uoz.ac.ir

2- Assistant professor, Hamoun International Wetland Research Institute, University of Zabol, Zabol, Iran.

3- Professor, INRAE, TETIS, University of Montpellier, Montpellier, France.

4- Associate professor, Department of water and soil, University of Zabol, Zabol, Iran.

*- Corresponding Author

۱- استادیار، گروه محیط زیست دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه زابل، زابل، ایران.
۲- استادیار، گروه اکوسیستم‌های طبیعی، پژوهشکده تالاب بین‌المللی هامون، دانشگاه زابل، زابل، ایران.
۳- استاد، مرکز تحقیقات سنجش از دور، INRAE، TETIS، دانشگاه مونپلیه، مونپلیه، فرانسه.
۴- دانشیار، گروه مرتع و ابرخیزداری، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل، زابل، ایران.
*- نویسنده مسئول
بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان پائیز ۱۳۹۹ امکانپذیر است.

جداسازی طبقات پوشش اراضی در تالابها به دلیل تشابه بازتاب پدیده‌ها از جمله مسائلی است که باعث ایجاد خطا در استفاده از تصاویر ماهواره‌ای چندطیفی برای تهیه نقشه پوشش اراضی تالابی می‌شود. اما مزیت‌های سنجش از دور فعال که براساس انرژی ارسال شده توسط سنجنده و دریافت پراکنش امواج ارسالی کار می‌کند باعث شده است این داده‌ها در مطالعات تالابها مورد استفاده قرار بگیرند. مطالعات مختلف نشان دادند داده‌های رادار دهانه مصنوعی^۱ (SAR) در مطالعات تالاب‌های دارای پوشش گیاهی مترامند هستند (Morandeira et al., 2014). توانایی نفوذ امواج رادار باعث شده است که این داده‌ها برای مطالعه محدوده آبیگری شده و پوشش گیاهی که در خاک مرطوب یا مناطق آبیگری شده قرار دارند به طور گسترده استفاده شوند (Taft et al., 2003; Grady and Leblanc, 2014; Shen et al., 2015). علاوه بر این امکان تصویربرداری در شب و روز و همچنین در شرایط ابری و یا در هوای همراه با ریزگردها از جمله دلایل استقبال از داده‌های رادار در مطالعات زمینی است (Maleki et al., 2020). اما مسأله‌ای که در سال‌های گذشته باعث محدودیت استفاده از داده‌های رادار شده بود هزینه بالای تامین تصاویر بود که از سال ۲۰۱۴ با در دسترس عموم قرار گرفتن تصاویر ماهواره سنتینل-۱ امکان استفاده رایگان از این داده‌ها فراهم شد. این ماهواره با استفاده از باند C (C-SAR) داده‌های دوگانه پلاریمتری (HH+HV, VV+VH) را در چهار مد تصویربرداری می‌کند. در مد نواری^۲ تصاویر این ماهواره محدوده ۳۷۵ کیلومتری را بر روی زمین با دقت مکانی ۵ در ۵ متر پوشش می‌دهند (Bazzi et al., 2020; Esa, 2014). (Esa, 2014). Maghsoudi et al. (2019) از داده‌های سنتینل ۱ برای بررسی فرونشست در تهران استفاده کردند. Seifi and Feizi zadeh (2019) و Asghari and Modirzadeh (2020) با استفاده از تکنیک تداخل سنجی داده‌های رادار سنتینل ۱ برای برآورد عمق برف استفاده کردند.

روش‌های مختلفی برای طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای وجود دارد که ماشین‌های بردار پشتیبان از جمله پرکاربردترین آنها می‌باشد. در این روش مرز بین طبقات با استفاده از همه باندها توسط یک الگوریتم بهینه‌سازی، به دست می‌آید که به این وسیله مرز تصمیم‌گیری خطی بهینه برای جدا کردن کلاس‌ها محاسبه می‌شود. این نمونه‌ها را بردارهای پشتیبان می‌گویند (Mokhtari and Najafi, 2012; Khevarzi and Ghasemian, 2006). در این روش با استفاده از توابع کرنل، داده‌ها به فضایی با بعد بزرگ‌تر انتقال می‌یابند (Shanani Hoveyze and Heidar, 2015). اهمیت ماشین‌های بردار پشتیبان در توانایی آنها در حداقل کردن ریسک ساختاری یا خطای طبقه‌بندی است (Najafi et al., 2017).

تالابها منابع آبی پیچیده‌ای هستند که نقش مهمی در حفظ حیات و فرآیندهای اکولوژیک خصوصاً در مناطق خشک و نیمه‌خشک دارند. این اکوسیستم‌ها تأمین‌کننده زیستگاه برای بسیاری از گونه‌های گیاهی و جانوری، کنترل سیلاب، ذخیره منابع آب، کنترل رسوبات، منبع کربن، شغل برای مردم محلی و محل تفرج هستند (Dabrowska-Zielinska et al., 2014). این اکوسیستم‌های ارزشمند ۶ درصد از سطح کره زمین را فرا گرفته‌اند و مساحت آنها در مجموع بالغ بر ۸۸۵ میلیون هکتار است. سهم ایران از این میان بیش از ۲۵۰ تالاب با مساحتی در حدود ۵/۲ میلیون هکتار است (Bagherzadeh, 2013). اما متأسفانه به دلایل تغییرات اقلیمی و فشارهای انسان در سال‌های اخیر این اکوسیستم‌های ارزشمند در سرتاسر دنیا دچار تخریب گسترده‌ای شده‌اند (Mitsch and Gosselink, 2007). حفاظت از تالابها و پایش مستمر برای احیای آنها از جمله مهمترین اقداماتی است که برای مقابله با تخریب گسترده آنها باید انجام گردد. سطح گستره، عدم امکان دسترسی به تمام بخش‌ها، پیچیدگی در تالابها به دلیل وجود پوشش گیاهی متنوع و همچنین مرزهای باریک بین طبقات مختلف پوشش باعث شده است که پایش تالابها با روش‌های سنتی با سختی مواجه شود (Klemas, 2013; Marti-Cardona et al., 2010; Morandeira et al., 2016; Widis et al., 2015). به همین دلایل، سنجش از دور با فراهم آوردن مزیت‌های بسیاری از جمله پوشش مکانی گسترده در دوره‌های زمانی متفاوت و همچنین استفاده از بخش‌های مختلف طیف الکترومغناطیس و صرفه‌جویی در بودجه و زمان مطالعه در اکثر مطالعات مربوط به تالابها استفاده شده است (Gallant, 2015; Hyde et al., 2006; Klemas, 2013; Baghdadi et al., 2001).

در سال‌های اخیر دو دسته کلی از سنجش از دور شامل سنجش از دور فعال و غیر فعال مورد استفاده قرار گرفته است. سنجش از دور غیر فعال که بر اساس بازتاب انرژی تابیده شده از خورشید می‌باشد در بخش زیادی از مطالعات مورد استفاده قرار گرفته است. اما محدودیت‌هایی در استفاده از این تصاویر ماهواره‌ای در مطالعات تالابها و منابع آبی وجود دارد (Baghdadi et al., 2012; Dabrowska-Zielinska et al., 2014; Klemas, 2013; Huang et al., 2017; Wilusz et al., 2014). به عنوان مثال (Klemas, 2013) بر این محدودیت‌ها برای جداسازی طبقات پوشش گیاهی غرقابی و برآمده از آب توسط تصاویر ماهواره‌ای چند طیفی و همچنین تعیین مناطقی که آب در زیر لایه پوشش گیاهی وجود دارد تأکید کرده است. بر اساس نتایج (Dabrowska-Zielinska et al., 2014).

درجه و ۲۵ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۲۷ دقیقه عرض جغرافیایی شمالی و ۶۰ درجه ۵۲ دقیقه تا ۶۰ درجه و ۵۶ دقیقه طول جغرافیایی شرقی در غرب شهر زابل و در شمال استان سیستان و بلوچستان واقع گردیده است. متوسط بارندگی منطقه کمتر از پنجاه میلیمتر در سال می‌باشد و متوسط تبخیر سالیانه در بازه ۲۰ ساله برابر با ۴۷۵۵ میلیمتر از تشت تبخیر است. اقلیم منطقه به روش دومارتن فوق خشک می‌باشد (Partow, 2003).

۲-۲- داده‌های مورد استفاده

سنجندهای راداری با استفاده از امواج میکروویو از سطح زمین تصویربرداری می‌کنند. محدوده میکروویو به پنج باند تقسیم می‌شود که بر اساس طول موج در جدول ۱ ارائه گردیده‌اند (ESA, 2014). علاوه بر این سیستم‌های SAR توانایی ارسال و دریافت موج با قطبش^۴ افقی (H) و عمودی (V) را دارند. بنابراین قطبش یک تصویر رادار می‌تواند HH یا VV باشد یعنی ارسال و دریافت موج به طور مشابه به ترتیب افقی یا عمودی باشد یا اینکه در حالت قطبش HV ارسال افقی و دریافت عمودی و یا در حالت VH که ارسال عمودی و دریافت افقی باشد. در صورتی که قطبش موج ارسالی و دریافتی یکی باشد قطبش مشابه^۵ و در غیر این صورت قطبش نامشابه^۶ گفته می‌شود. در این مطالعه از تصاویر ماهواره سنتینل-۱ برای تهیه نقشه پوشش تالاب هامون هیرمند در چهار تاریخ مورد استفاده قرار گرفت. ماهواره سنتینل-۱ از باند C طیف الکترومغناطیس جهت تولید تصاویر استفاده می‌کند. همان گونه که جدول ۱ نشان می‌دهد باند C بعد از باند X جزو کوتاه‌ترین باندهای امواج میکروویو هستند. ویژگی‌های تصاویر مورد استفاده در این مطالعه در جدول ۲ توضیح داده شده است.

اهمیت این مقاله استفاده از قابلیت داده‌های رادار در مطالعه مناطق تالابی و تخریب این اکوسیستم‌ها در اثر محدودیت آب در ایران می‌باشد. اگرچه داده‌های رادار در مطالعات بین المللی مورد استفاده قرار گرفته‌اند اما از آنجایی که تاکنون در کشور این داده‌ها برای مطالعه مناطق تالابی و تخریب اکوسیستم مورد استفاده قرار نگرفته است این مقاله ضمن بررسی توانایی این داده‌ها، به معرفی کاربرد آن می‌پردازد. نتایج این مطالعه در آینده مورد استفاده پژوهشگران ایرانی قرار بگیرد. به همین منظور از تصاویر راداری باند C ماهواره سنتینل-۱ برای تهیه نقشه پوشش تالاب هامون در چهار تاریخ طی دوره آبیگری سالیانه آن استفاده گردید. پراکنش امواج رادار توسط هر یک از پدیده‌ها مورد بررسی قرار گرفت و امکان تفکیک‌پذیری آنها توسط آزمون M-test تعیین شد. تصاویر با استفاده از روش طبقه‌بندی نظارت شده ماشین‌های بردار پشتیبان^۲ طبقه‌بندی گردیدند و نقشه پوشش تالاب در هریک از این چهار مرحله تهیه شد. نتایج حاصل از این مطالعه می‌تواند به عنوان الگویی برای استفاده از قابلیت داده‌های رادار در مطالعات مناطق تالابی در سایر نقاط کشور مورد استفاده قرار بگیرد.

۲- مواد و روش‌ها

۱-۱- منطقه مطالعه

منطقه مطالعه، تالاب هامون هیرمند در جنوب شرقی ایران است. شکل ۱، منطقه مطالعه را با استفاده از ترکیب رنگی طبیعی تصویر ماهواره سنتینل ۲ نشان می‌دهد. این تالاب یکی از سه دریاچه تالاب هامون می‌باشد. تالاب هامون از سه دریاچه پوزک، صابری و هیرمند تشکیل شده است. بخش بزرگی از هامون در ایران به عنوان یک منطقه تحت حفاظت در کنوانسیون رامسر شناخته شده است (Ramsar, 2016). پناهگاه حیات وحش هامون با مساحتی حدود ۲۶۰۰۰۰ هکتار در ۳۰

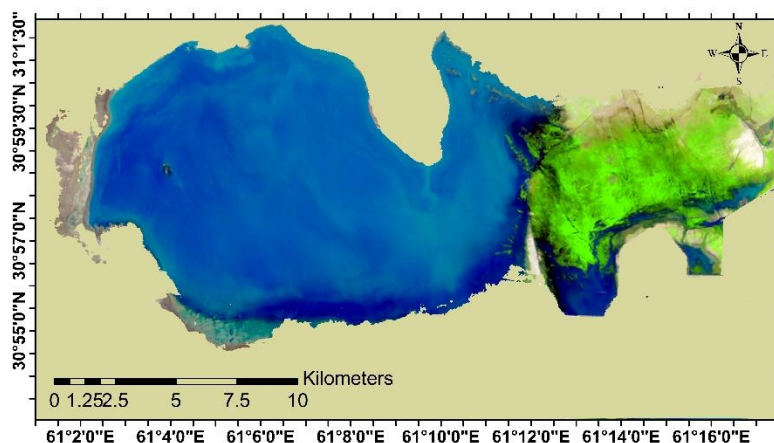


Fig. 1- The study area

شکل ۱- منطقه مطالعه

در ابتدا تصحیح رادیومتریک^{۱۱} بر روی تصاویر رادار انجام شد. این تصحیح به وسیله فرمول شماره ۱ و داده‌های همراه تصاویر در نرم‌افزار ESA-SNAP انجام گردید.

$$\text{Value}(i) = |\text{DN}_i|^2 / A_i^2$$

$$\text{DN} = \text{عدد دیجیتال هر پیکسل}$$

$$A = \text{ارزش عددی برای بتا یا سیگما یا گاما} \quad (1)$$

بر اساس داده‌های همراه تصویر

$$\text{Value}(i) = \text{ارزش واقعی بتا یا سیگما یا گاما}$$

سپس تصاویر تصحیح مکانی^{۱۲} شدند تا بیشترین مطابقت هندسی را با واقعیت زمینی داشته باشند. این تصحیح نیز بوسیله داده‌های رقومی که به طور اتوماتیک توسط نرم‌افزار دریافت می‌شود انجام شد. برای کاهش خطای نویزها^{۱۳} تصاویر از فیلتر لی در پنجره 5*5 استفاده شد.

- تحلیل پراکنش پدیده‌ها در باند C

به منظور اخذ پراکنش باند C هریک از پدیده‌ها پلی‌گون‌هایی در مناطق همگن در هریک از طبقات پوشش اراضی جدول ۳ و بر اساس موقعیت مکانی آنها در مطالعه صحرایی ترسیم شد. سپس میانگین و واریانس پراکنش‌ها محاسبه و با یکدیگر مقایسه شد. برای تحلیل تفکیک‌پذیری پدیده‌ها توسط تصاویر ماهواره‌ای، از آزمون آماری M استفاده شد. در این آزمون، میزان معنی‌داری تفاوت پراکنش امواج رادار به وسیله فرمول زیر تعیین می‌گردد (Baghdadi et al., 2001). نحوه محاسبه این آزمون در فرمول ۲ توضیح داده شده است.

$$S_{1,2} = (\text{Mean1} - \text{Mean2}) / (\text{SE1} + \text{SE2})$$

شاخص تفکیک‌پذیری: $S_{1,2}$

$$\text{Mean1: میانگین همه پیکسل‌ها در پلی‌گون‌های طبقه ۱}$$

$$\text{Mean2: میانگین همه پیکسل‌ها در پلی‌گون‌های طبقه ۲} \quad (2)$$

$$\text{SE1: واریانس همه پیکسل‌ها در پلی‌گون‌های طبقه ۱}$$

$$\text{SE2: میانگین همه پیکسل‌ها در پلی‌گون‌های طبقه ۲}$$

با توجه به مقدار $S_{1,2}$ محاسبه شده میزان تفکیک‌پذیری پدیده‌ها بر اساس تفاوت پراکنش امواج رادار به صورت زیر می‌باشد:

$S_{1,2} < 0.8$: امکان تفکیک طبقه ۱ از ۲ وجود ندارد.

$0.8 < S_{1,2} < 1.5$: تفکیک‌پذیری متوسط بین طبقه ۱ و ۲ امکان.

$1.5 < S_{1,2} < 2$: امکان تفکیک‌پذیری خوب بین طبقه ۱ و ۲.

$S_{1,2} > 2$: تفکیک‌پذیری کامل بین طبقه ۱ و ۲.

- طبقه‌بندی تصاویر

برای طبقه‌بندی تصاویر و تهیه نقشه پوشش تالاب از روش طبقه‌بندی نظارت شده و الگوریتم ماشین پشتیبان برداری استفاده شد. در این الگوریتم محدوده تمایزدهنده طبقات بر اساس فاصله کمتر بین ارزش هر پیکسل و نمونه تعلیمی به دست می‌آید.

بر اساس مطالعات قبلی انجام شده در تالاب هامون (Maleki et al., 2016) بهترین شرایط آبیگری تالاب در سال‌های اخیر در اواخر فروردین، اردیبهشت و خرداد ماه می‌باشد. لذا بر اساس دوره چرخش ماهواره در زمانی که تالاب بهترین آبیگری را دارد سه تصویر و در زمان خشک شدن تالاب یک تصویر انتخاب شد.

به منظور تعیین طبقات اصلی پوشش تالاب هامون هیرمند، تهیه نقاط تعلیمی برای طبقه‌بندی تصاویر و همچنین ارزیابی صحت نقشه‌های تهیه شده، بازدید میدانی همزمان با برداشت تصویر از منطقه در هر چهار تاریخ مربوط به تصاویر انجام گردید. در زمان آبیگری تالاب در زیر لایه پوشش گیاهی آب وجود دارد که بر این اساس سه طبقه پوشش گیاهی آبیگری شده^۷ در نظر گرفته شده شامل چمنزار مرطوب^۸ که پوشش گیاهی در خاک مرطوب است، گیاهان بن در آب^۹ که بیشتر بخش‌های گیاه خارج از آب می‌باشد و گیاهان غرقابی^{۱۰} که بیشتر بخش‌های گیاه داخل آب است. این طبقات در جدول ۳ توضیح داده شده‌اند. در زمان خشک شدن تالاب پوشش گیاهی به صورت پوشش گیاهی سبز و گیاهان خشک می‌باشد. در طی مطالعات صحرایی ۲۰۰ نقطه به روش طبقه‌بندی شده تصادفی در کل منطقه ثبت شد. در هر نقطه ویژگی‌های منطقه شامل نوع پوشش اراضی، درصد پوشش گیاهی، نوع جامعه گیاهی و وضعیت آبیگری تالاب نیز ثبت گردید. این نقاط در هر چهار تاریخ همزمان با برداشت تصاویر، بازدید شد.

Table 1- Microwave bands

جدول ۱- باندهای مایکروویو		
Band	Frequency (GHz)	Wavelength (cm)
P	0.255 – 0.390	133 – 76.9
L	0.390 – 1.550	76.9 – 19.3
S	1.550 – 4.20	19.3 – 7.1
C	4.20 – 5.75	7.1 – 5.2
X	5.75 – 10.90	5.2 – 2.7

Table 2- The satellite images of this study

جدول ۲- تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده		
Acquisition date	Polarization	Incidence angle°
28 April 2019	VV-VH	30
16 May 2019	VV-VH	30
07 June 2019	VV-VH	30
02 October 2019	VV-VH	30

۳-۲- روش تحقیق

- پیش پردازش تصاویر

برای پیش پردازش تصاویر از نرم‌افزار ESA-SNAP که از سایت (<http://step.esa.int/toolboxes/snap>) دانلود شده استفاده گردید.

Table 3- Land cover classes in the Hamoun-e-Hirmand wetland**جدول ۳- طبقات پوشش اراضی تالاب هامون هیرمند**

Land cover class	Class definition	
Wet meadow	Low-density vegetation in wet soil	
Flooded Vegetation	Emergent	Flooded vegetation with most parts of vegetation out of water
	Submergent	Plants with large portions below the water
Open water	Lake	
Dry plants	-	
Green plants	Green vegetation in dry soil	

بیشتر بخش‌های گیاه خارج از آب می‌باشد و گیاهان غرقابی که بیشتر قسمت‌های گیاه داخل آب است. در زمان خشک شدن تالاب، پوشش گیاهی به صورت پوشش گیاهی سبز و گیاهان خشک می‌باشد.

همان‌گونه که شکل ۲ نشان می‌دهد در بین طبقات تالاب، گیاهان بن در آب بیشترین پراکنش را دارند و از سایر طبقات متفاوت هستند اما گیاهان غرقابی پراکنش کمتری از گیاهان بن در آب دارند. از آنجایی که این دو طبقه از نظر تراکم پوشش گیاهی مشابه هستند و تفاوت آنها در بخشی از گیاه است که خارج از آب می‌باشد، این شکل نشان می‌دهد ستنیل-۱ توانسته پراکنش متفاوت این دو طبقه پوشش گیاهی را مشخص کند. گیاهان غرقابی بخش اعظم گیاه در زیر آب قرار دارد در صورتی که در گیاهان بن در آب بیشتر بخش‌های گیاه بیرون از آب است. این مسأله باعث می‌شود سهم اثر پراکنندگی دوگانه^{۱۸} در گیاهان بن در آب افزایش یابد اما در گیاهان غرقابی کمتر باشد، بنابراین، این گیاهان روشن‌تر دیده می‌شوند (Zhang et al., 2016).

براساس شکل ۲ آب کمترین پراکنش را دارد و پراکنش آن در هر دو قطبش کمتر از ۲۵- دسی بل است. Bourgeau-Chavez et al., (2001; 2016) Furtado et al. دلیل این امر را پراکنش آینه‌ای^{۱۹} در آب بیان کردند. همان‌گونه که مشاهده می‌شود در قطبش VV آب پراکنش کاملاً متفاوتی از سه طبقه پوشش گیاهی در زمان آبیگری تالاب دارد (گیاهان غرقابی، بن در آب و چمنزار مرطوب) اما در قطبش VH تفاوت پراکنش کمی بین آب و چمنزار مرطوب می‌باشد. بنابراین برای جداسازی آب در تصاویر رادار قطبش VV مناسب‌تر از قطبش VH است (Maleki et al., 2020).

پراکنش طبقات پوشش گیاهی در موقع خشک بودن تالاب (گیاهان سبز و خشک) نشان می‌دهد که گیاهان سبز، پراکنش بیشتری نسبت به گیاهان خشک دارند که این امر جداسازی این دو طبقه را از یکدیگر امکانپذیر می‌کند. مطالعات قبلی دلیل این تفاوت در پراکنش را تفاوت در محتوی آب گیاهان سبز و خشک بیان کردند (Corcione et al., 2016).

در زمان اجرای این الگوریتم از تابع کرنل^{۱۴} برای تغییر شکل داده‌های غیر خطی ورودی استفاده می‌شود. توابع کرنل رایج در مطالعات سنجش از دور گوسین^{۱۵} و تابع رادیال بیس^{۱۶} هستند (Bousbih et al., 2019; Pal, 2005; Pelletier et al., 2016). در این مطالعه از تابع کرنل RBF استفاده شد. برای تعلیم الگوریتم از ۷۰٪ نقاط نمونه‌برداری شده طی مطالعات صحرایی استفاده شد. در نهایت برای حذف تک پیکسل‌های اضافی نقشه‌های تولید شده فیلتر شدند.

- ارزیابی صحت نقشه‌های تولید شده

ارزیابی صحت نقشه‌های تولید شده با محاسبه شاخص کاپا و صحت کلی با استفاده از ۳۰٪ باقیمانده نقاطی که در مطالعات صحرایی ثبت شده و در طبقه‌بندی تصاویر مورد استفاده قرار نگرفته بود انجام شد. این شاخص‌ها از ماتریس درهمی به دست می‌آیند. این ماتریس شامل جدول متقاطع از پیکسل‌های طبقه‌بندی شده و داده‌های مرجع برای ارزیابی صحت طبقه‌بندی می‌باشد.

در محاسبه شاخص کاپا تعداد نقاطی که به درستی طبقه‌بندی شده‌اند بوسیله مقایسه تعداد پیکسل‌های مرجع موجود در طبقه و پیکسل‌های قرارداد شده در طبقه مورد نظر به همراه اطلاعات مربوط به طبقه‌بندی براساس شانس، مورد استفاده قرار می‌گیرد. دقت کلی نیز از تقسیم مجموع پیکسل‌هایی که به درستی تقسیم‌بندی شده‌اند بر تعداد کل داده‌های مرجع به دست می‌آید (Rahdari et al., 2013).

۳- نتایج و تحلیل نتایج

۳-۱- تحلیل پراکنش پدیده‌ها در باند C

در ابتدا پراکنش باند C مربوط به هریک از طبقات پوشش تالاب در زمان آبیگری و خشک شدن بررسی شد. شکل ۲ پراکنش باند C مربوط به هریک از طبقات کاربری و پوشش اراضی را نشان می‌دهد. در زمان آبیگری تالاب در زیر لایه پوشش گیاهی آب وجود دارد که بر این اساس سه طبقه پوشش گیاهی آبیگری شده^{۱۷} تشخیص داده شد. این طبقات عبارتند از چمنزار مرطوب که پوشش گیاهی رشد کرده در خاک مرطوب است، گیاهان بن در آب که شامل گیاهانی است که



Fig. 2- The backscatter of band C from wetland land-cover

شکل ۲- پراکنش طبقات پوشش تالاب در باند C

همان‌گونه که در جدول ۴ مشخص است گیاهان بن در آب به طور کامل از سایر طبقات متمایز می‌شوند که به دلیل بازتاب زیاد این طبقه است که در بخش قبل توضیح داده شد. از بین دو قطبش نیز، توان تفکیک‌کنندگی طبقات بیشتری با استفاده از قطبش VV وجود دارد و قطبش HV ماهواره سنتینل-۱ برای این منظور توانایی کافی را ندارد. اما در زمان خشک بودن تالاب نتایج ارائه شده در جدول ۴ نشان می‌دهد که قطبش HV برای جداسازی گیاهان سبز از گیاهان خشک توانایی خوبی دارد. جداسازی گیاهان سبز از اراضی بایر و گیاهان خشک از این اراضی با استفاده از هر دو قطبش VV و HV امکان‌پذیر است.

۳-۳- نقشه طبقات پوشش تالاب و تغییرات آن

شکل‌های ۳ تا ۶، نقشه پوشش اراضی منطقه مطالعه را با استفاده از ترکیب هر دو پلاریزیشن VV و VH از سنجنده سنتینل-۱ نشان می‌دهد. صحت نقشه‌های تولید شده و ماتریس خطای طبقه‌بندی در جدول ۵ و ۶ ارائه شده است. ماتریس خطای ارائه شده در جدول ۵ نشان می‌دهد که در بین طبقات مورد مطالعه، جداسازی گیاهان بن در آب صحت بیشتری در هر سه تصویر دوره آبیگری تالاب دارند که این مسئله نیز تأیید‌کننده امکان جداسازی این گیاهان توسط داده‌های رادار ماهواره سنتینل-۱ است. نتایج جداسازی سایر طبقات نیز نشان‌دهنده صحت کافی طبقات جدا شده می‌باشد. در مورد صحت کلی نقشه‌های تولید شده، همان‌گونه که جدول ۶ نشان می‌دهد نقشه‌های تولید شده نسبت به واقعیت زمینی صحت مناسبی دارند.

۳-۲- تحلیل میزان تفکیک‌پذیری طبقات پوشش اراضی تالاب

جدول ۴ نتایج آزمون M برای تحلیل میزان تفکیک‌پذیری طبقات پوشش اراضی تالاب را نشان می‌دهد. در آزمون M شاخص S محاسبه می‌شود که تفکیک‌پذیری بین طبقات را نشان می‌دهد. $S_{1,2} < 0.8$: امکان تفکیک طبقه ۱ از ۲ وجود ندارد. $0.8 < S_{1,2} < 1.5$: تفکیک‌پذیری متوسط بین طبقه ۱ و ۲ امکان‌پذیر است. $1.5 < S_{1,2} < 2$: امکان تفکیک‌پذیری خوب بین طبقه ۱ و ۲ است. $S_{1,2} > 2$: طبقه ۱ و ۲ کاملاً تفکیک‌پذیر هستند. جدول شماره ۴ نشان می‌دهد که گیاهان غرقابی از گیاهان بن در آب توسط قطبش VV و HV قابل جداسازی است که این مسئله در بخش قبلی با استفاده از تحلیل پراکنش پدیده‌ها در باند C به طور کامل تشریح شده است.

براساس نتایج مندرج در جدول ۴ چمنزار مرطوب از گیاهان بن در آب توسط هر دو قطبش ماهواره سنتینل-۱ قابل جداسازی است و از بین این دو قطبش، امکان تفکیک‌پذیری بیشتری با استفاده از HV وجود دارد. برای جداسازی چمنزار مرطوب از گیاهان غرقابی قطبش VV توانایی خوبی دارد اما قطبش HV در این زمینه مناسب نیست. همچنین چمنزار مرطوب از آب بوسیله قطبش VV به طور کامل قابل جداسازی است. گیاهان بن در آب از غرقابی به وسیله هر دو قطبش VV و HV امکان‌پذیر است اما VV توانایی بیشتری در این زمینه دارد. گیاهان بن در آب توسط قطبش HV به خوبی از آب تفکیک می‌شود. برای جداسازی گیاهان غرقابی از آب قطبش VV می‌بایست استفاده شود اما قطبش HV قابلیت کافی به این منظور ندارد.

Table 4- The results of M-test to investigate the separation ability of wetland land-cover classes
جدول ۴- نتایج آزمون M برای بررسی قابلیت تفکیک پذیری طبقات پوشش اراضی تالاب

	Sentinel 1-VV	Sentinel 1-HV
S(Wet meadow/ Emergent)	1.7	2.2
S(Wet meadow/ Submergent)	1.2	0.14
S(Wet meadow/ Open water)	2.5	0.3
S(Emergent/ Submergent)	2.2	1.9
S(Emergent/ Open water)	4.0	2.7
S(Submergent/ Open water)	1.6	0.5
Green plants/Dry plants	0.5	2.6
Green plants/Bare land	3.8	4.8
Bare land/Dry plants	3.4	2.3

Table 5- Confusion matrix (%) for image classification cross-validation: (a) 28 April, (b) 16 May, (c) 07 June, and (d) 02 October. W=Water, Wm=Wet meadow, Sm=Submergent, E=Emergent, Bl=Bare land, Dp=dry plant, Gp= Green plant

جدول ۵- ماتریس خطای طبقه‌بندی تصاویر در تاریخ‌های الف) ۲۸ آوریل، ب) ۱۶ می، ج) ۷ ژوئن و د) ۲ اکتبر

Class	W	Wm	Sm	E	Bl	Total
W	84.3	3.1	7.3	1.1	4.2	100
Wm	2.1	85.2	5.8	2.2	4.7	100
Sm	4.3	5.1	85.2	2.1	3.3	100
E	1.2	2.7	3.7	89.6	2.8	100
Bl	5.1	4.6	3	1.1	86.2	100

a)

Class	W	Wm	Sm	E	Bl	Total
W	83.3	4.7	5.3	1.5	5.2	100
Wm	2.2	83.4	7.8	3.2	3.4	100
Sm	3.6	4.7	85.6	2.8	3.3	100
E	1.5	3.8	3.9	88.2	2.6	100
Bl	7.1	4.1	2.2	1.1	85.5	100

b)

Class	W	Wm	Sm	E	Bl	Total
W	82.3	4.1	6.3	1.1	6.2	100
Wm	3.8	82.8	4.9	2.8	5.7	100
Sm	4.7	7.8	82.1	2.1	3.3	100
E	1.2	2.7	7.1	86.2	2.8	100
Bl	6.4	3.6	3.8	1.1	85.1	100

c)

Class	Gp	Dp	Bl	Total
Gv	82.1	11.1	6.8	100
Dv	8.1	80.2	11.7	100
Bl	5.9	13.8	80.3	100

d)

(Arnesen et al., 2013; Dabrowska-Zielinska et al., 2014).

به دلیل سهم بیشتر پراکنش دوتایی، مناطقی که پوشش گیاهی در آب است به صورت کاملاً روشن مشاهده می‌شوند که باعث می‌شود بتوان به راحتی از آب که در تصاویر راداری به علت پراکنش آینه‌ای تیره است، جدا شود. (Baghdadi et al., 2001). دلیل این تفاوت در پراکنش را پراکنش دوتایی سیگنال‌های راداری در مناطق دارای آب و پوشش گیاهی بیان کردند. بر این اساس پالس پراکنش شده به آب پس از پراکنش، مجدداً به پوشش گیاهی اصابت می‌کند. در این حالت مقادیر معمول پیکسل روشن تر ظاهر می‌شوند و با مقادیر بیش از ۱۰-dB در تصویر مواجه خواهیم شد. بنابراین مقادیر پیکسل‌های این طبقه از پوشش اراضی تالابی از مناطق دارای پوشش گیاهی در خشکی بسیار بیشتر است و می‌توان به راحتی محدوده‌ای که آب به همراه پوشش گیاهی وجود دارد را تعیین کرد. از سوی دیگر مقایسه

Table 6- The results of accuracy assessment of maps
جدول ۶- نتایج ارزیابی صحت نقشه‌های تولید شده

	28 April	16 May	07 June	02 October
Kappa Overall accuracy	0.85	0.83	0.81	0.80
	%86.1	%85.2	%83.7	%80.8

مطالعات مختلفی، با استفاده از داده‌های راداری در تالاب نشان دادند که این داده‌ها توانایی خوبی در طبقه‌بندی پوشش اراضی مناطق تالابی دارند (Reschke et al., 2012; Betbeder et al., 2015; Schmitt et al., 2014). با بررسی نقشه‌های تولید شده، مشاهده می‌شود که سنتیل ۱- پوشش گیاهی را به طور کامل مشخص کرده است چرا که پراکنش دوتایی در مناطق پوشیده از گیاهان آبریزی شده باعث تفکیک آنها از آب می‌شود

شکل ۶ نقشه پوشش اراضی تالاب هامون هیرمند را در موقع خشک شدن تالاب نشان می‌دهد. در این شکل گیاهان خشک از گیاهان سبز قابل تشخیص هستند. (2016) Corcione et al. و Maleki et al. (2020) این مسأله را ناشی از تفاوت در محتوی آب اندام‌های گیاهان خشک و سبز می‌داند. این نقشه نشان می‌دهد می‌توان مناطقی که پوشش گیاهی آنها تخریب شده و گیاهان خشک شده‌اند را با استفاده از داده‌های رادار مشخص کرد. این مسأله در زمینه مدیریت مناطق به منظور حمایت از تنوع زیستی منطقه اهمیت دارد. به این وسیله می‌توان بخش‌های تخریب یافته پس از خشک شدن تالاب را مشخص نمود.

بین سه نقشه آبیگری تالاب نشان می‌دهد سه طبقه چمنزار مرطوب، گیاهان بن در آب و غرقابی نیز از یکدیگر تفکیک شده‌اند. این تصاویر نشان‌دهنده قابلیت استفاده از داده‌های رادار در مطالعات مربوط به تغییرات آبیگری و تغییرات پوشش گیاهی در اراضی آبیگری شده است. (2016) El Hajj et al. از این ویژگی در مطالعه اراضی کشاورزی آبیاری شده استفاده کردند. (2013) Arensen et al. و (2006) Grings et al. از این توانایی داده‌های رادار در مطالعه روند آبیگری تالاب برای مدیریت سیلاب استفاده نمودند.

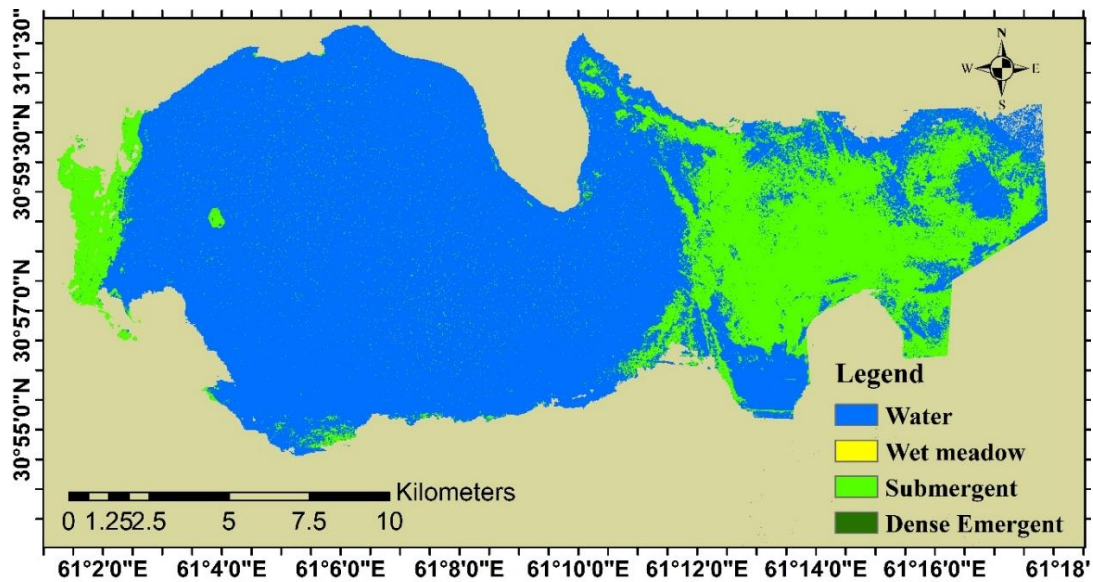


Fig. 3- The wetland map of Hamoun-e- Hirmand in 28 April

شکل ۳- نقشه پوشش تالاب هامون هیرمند در تاریخ ۹ اردیبهشت

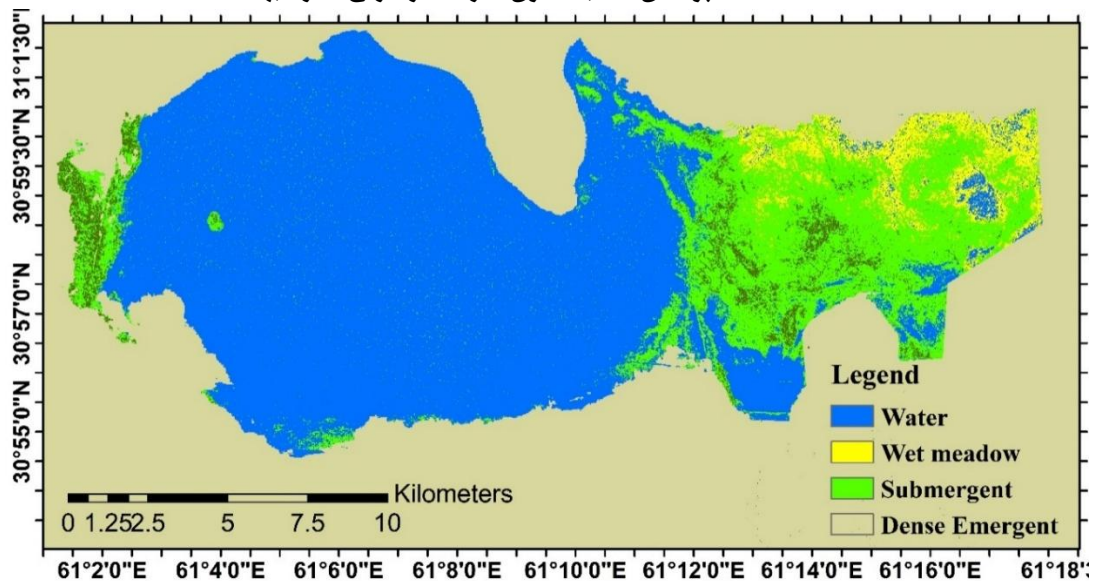


Fig. 4- The wetland map of Hamoun-e- Hirmand in 16 May

شکل ۴- نقشه پوشش تالاب هامون هیرمند در تاریخ ۲۷ اردیبهشت

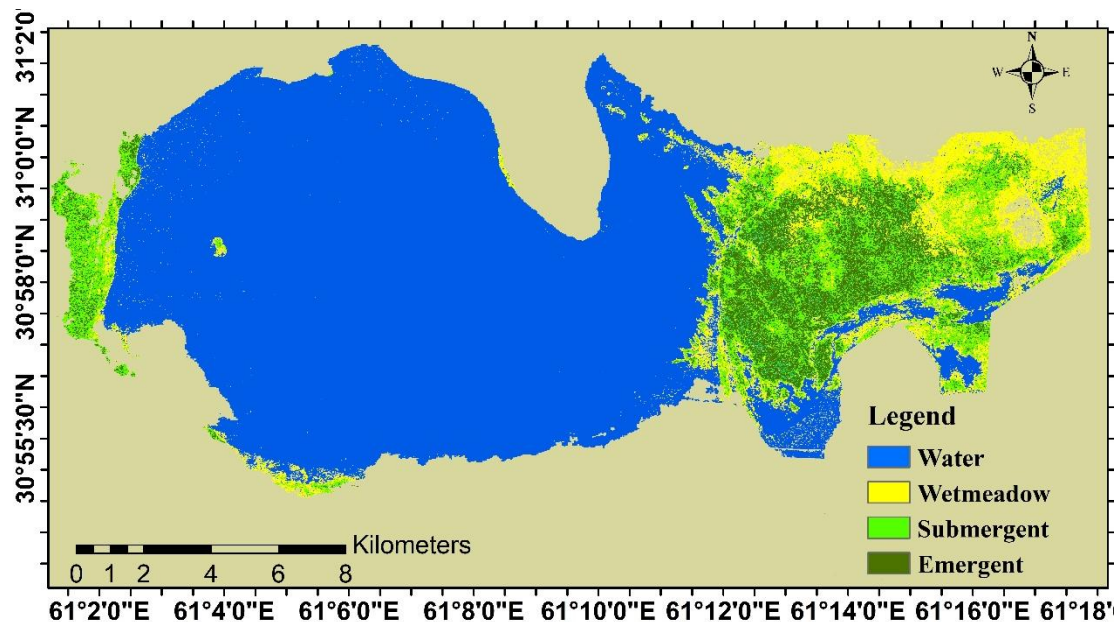


Fig. 5- The wetland map of Hamoun-e- Hirmand in 07 June

شکل ۵- نقشه پوشش تالاب هامون هیرمند در تاریخ ۱۸ خرداد

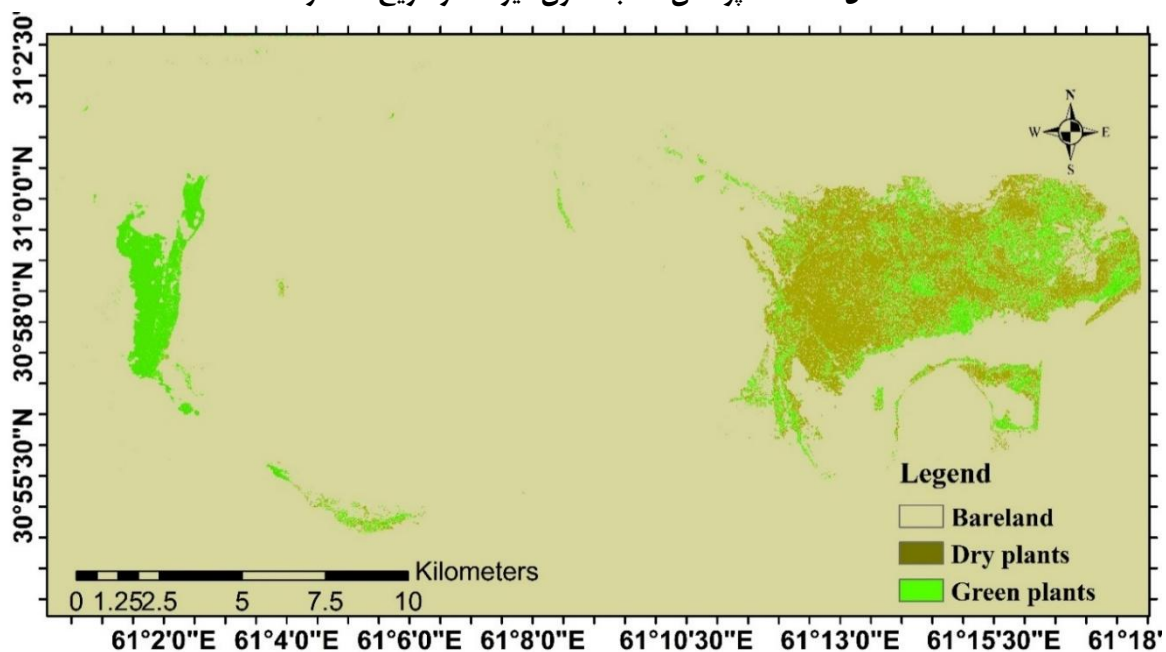


Fig. 6- The wetland map of Hamoun-e- Hirmand in 02 October

شکل ۶- نقشه پوشش تالاب هامون هیرمند در تاریخ ۱۱ مهر

تالاب هامون دارای پوشش گیاهی گسترده‌ای است که زیستگاه مناسبی برای پرندگان (Bahrouzi-rad, 2009) و منطقه مناسب چرای دام (WRC and WL, 2003) می‌باشد. پوشش گیاهی همراه آب منافع زیادی برای مردم محلی و پرندگان وابسته به تالاب دارد. علاوه بر تعدیل هوا، از انتقال ذرات معلق جلوگیری می‌کند، برای احشام علوفه و برای مردم شغل فراهم می‌کند. پوشش گیاهی غرقابی علاوه بر فراهم کردن امنیت برای پرندگان آبی، برای

این نتایج نشان داد سنتینل-۱ توانایی تعیین کلیه مناطق دارای پوشش گیاهی غرقاب را دارد حتی اگر پوشش گیاهی تراکم کمی داشته باشد مانند چمنزار مرطوب. (Touzi et al. (2007) در مطالعه خود نتایج مشابهی را بدست آوردند و دلیل آن را توانایی طول موج C در تشخیص شاخ و برگ‌های گیاهان عنوان کردند. توانایی این طول موج در مطالعه تاج پوشش گیاهی توسط نتایج به‌دست آمده توسط (Zhang et al. (2016) و Koch et al. (2012) نیز تأیید شده است.

که آبیگری شده اما به دلیل پوشش گیاهی به خوبی قابل رصد نمی‌باشد حائز اهمیت است.

۵- تشکر و قدردانی

از دانشگاه زابل برای حمایت مالی این مقاله تحت پروژه تحقیقاتی شماره 2-PR-UOZ98 تشکر می‌گردد.

پی‌نوشت‌ها

- 1- Synthetic Aperture Radar (SAR)
- 2- Strip Map
- 3- Support Vector Machine (SVM)
- 4- Polarization
- 5- Like-Polarized
- 6- Cross-Polarized
- 7- Flooded Vegetation
- 8- Wet Meadow
- 9- Emergent
- 10- Submergent
- 11- Radiometric Calibration
- 12- Orthorectification
- 13- Speckle
- 14- Kernel
- 15- Gaussian
- 16- Radial Basis Function (RBF)
- 17- Flooded Vegetation
- 18- Double Bounce Effect
- 19- Specular Reflection

۶- مراجع

- Arnesen AS, Silva TS, Hess L, Novo EM, Rudorff CM, Chapman BD, McDonald KC (2013) Monitoring flood extent in the lower amazon river floodplain using ALOS/PALSAR ScanSAR images. *Remote Sensing of Environment* 130:51-61
- Seifi H, Feizizadeh B (2019) Application of interferometric method and radar remote sensing images to estimate the depth of snow and water discharge, Case study: (Yamchie Basin). *Iran-Water Resources Research* 15(1):341-355 (In Persian)
- Baghdadi N, Bernier M, Gauthier R, Neeson I (2001) Evaluation of C-band SAR data for wetlands mapping. *International Journal of Remote Sensing* 22:71-88
- Bagherzadeh M (2013) Wetland managemnet. *Andisheshe Amozegar*, Tehran, Iran (In Persian)
- Bazzi H, Ienco D, Baghdadi N, Zribi M, Demarez V (2020) Distilling before refine: Spatio-temporal transfer learning for mapping irrigated areas using

بعضی از گونه‌ها به طور مستقیم (تغذیه از گیاه) و غیر مستقیم (با افزایش بی مهرگان) منبع تغذیه‌ای مناسبی فراهم می‌کند (Niu et al., 2013; Hattori and Mae, 2001). لذا جداسازی گیاهان غرقابی و بن در آب و تعیین مناطق دارای پوشش گیاهی همراه با آب برای حفاظت از زیستگاه پرندگان اهمیت زیادی دارد. علاوه بر این تعیین مرز آبیگری شده و مساحت پهنه آبی، برای اهداف حفاظتی و مدیریتی مورد نیاز است و تعیین مناطق آبیگری شده ضروری است. نتایج به دست آمده در این مطالعه نشان می‌دهد داده‌های رادار در مطالعات تالاب کارایی مناسبی دارند که در زمینه اقدامات حفاظتی و مدیریتی مناطق تالاب کاربرد خواهند داشت. علاوه بر این با تعیین پوشش گیاهی خشک می‌توان بخش‌هایی از تالاب که در اثر خشک شدن تالاب تخریب می‌یابند را مشخص نمود.

۴- نتیجه گیری

داده‌های راداری در سال‌های اخیر در مطالعات منابع طبیعی وارد شده‌اند. همان‌گونه که این مطالعه نشان داده شد این داده‌ها در زمینه تهیه اطلاعات لازم از تالاب مناسب هستند. قدرت نفوذ این داده‌ها و همچنین پراکنش دوتایی، باعث شده است که بتوان اطلاعات بیشتری در مورد گیاهان غرقابی بدست آورد که در تصاویر چند طیفی دارای پیکسل‌های مختلط زیادی می‌باشند. این مسأله در خصوص تحقیقات تخصصی‌تر در مدیریت تالاب مؤثر است. چون در زمان استفاده از تصاویر چند طیفی، ابر و ریزگردها باعث محدودیت در انتخاب تصاویر می‌گردد، داده‌های رادار به دلیل عدم وابستگی به شرایط جوی در مطالعات سری زمانی اهمیت زیادی دارند. از آنجایی که یکی از محدودیت‌های مطالعات در دشت سیستان، طوفان و ریزگردها می‌باشد، داده‌های رادار می‌تواند ابزار مناسبی در پژوهش‌های آینده در مناطق مشابه باشد. با توجه به اینکه سنتینل-۱، تصاویر رادار را با فاصله زمانی ۱۲ روز از سطح زمین برداشت می‌کند، برای مطالعه تغییرات کوتاه مدت در مناطقی که با تغییرات زیاد در طی دوره آبیگری همراه هستند، بسیار ارزشمند است. علاوه بر این، عرض تصویر مناسب داده‌های این ماهواره باعث شده است که بتوان از آن در مطالعه مناطق وسیع نیز بهره برد. دوره چرخش کوتاه این ماهواره، برداشت داده در شب و روز و هر شرایط جوی، باعث می‌شود در آینده نزدیک آرشیو کاملی از تصاویر این ماهواره در اختیار پژوهشگران قرار گیرد. این مسأله تصاویر سنتینل-۱ را به اصلی‌ترین منبع تأمین اطلاعات در پژوهش‌های منابع طبیعی در آینده تبدیل می‌کند. نتایج بست آمده از این پژوهش کاربرد بسیاری در مطالعات اکوسیستم‌های آبی خصوصاً تالاب‌ها دارد. همچنین در زمینه پایش اکوسیستم‌ها و جداسازی طبقات مختلف پوشش گیاهی خصوصاً گیاهان سبز از خشک و تعیین مناطقی

- Guo M, Li J, Sheng C, Xu J, Wu L (2017) A review of wetland remote sensing. *Sensors* 17(4):777
- Hattori A, Mae S (2001) Habitat use and diversity of waterbirds in a coastal lagoon around Lake Biwa, Japan. *Ecological research series. U.S. Environmental Protection Agency* 16:543-553
- Huang C, Peng Y, Lang M, Yeo Y, McCarty G (2014) Wetland inundation mapping and change monitoring using landsat and airborne LiDAR data. *Remote Sensing of Environment* 141:231-242
- Hyde P, Dubayah R, Walker JB, Blair M, Hofton N, Hunsaker C (2006) Mapping forest structure for wildlife habitat analysis. *Remote Sensing of Environment* 102:63-73
- Keshavarz A and Ghasemian H (2006) A fast algorithm for hyperspectral image analysis using SVM and spatial dependency. *Iranian Journal of Electrical and Computer Engineering* 3(1):308-320 (In Persian)
- Klemas V (2013) Using remote sensing to select and monitor wetland restoration sites: An overview. *Journal of Coastal Research* 29:958-970
- 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. *Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing* 5:33-44
- Maghsoudi Y, Amani R, Ahmadi H (2019) A study of land subsidence in west of Tehran using Sentinel-1 images and permanent scatterers interferometry. *Iran-Water Resources Research* 15(1):299-313 (In Persian)
- Maleki S, Soffianian AR, Koupaei 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
- 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. *International Journal of Remote Sensing* 41(6):2277-2302
- Marti-Cardona B, Lopez-Martinez J, Dolz-Ripolles E, Bladè-Castellet H (2010) ASAR polarimetric, multi-incidence angle and multitemporal characterization of Doñana Wetlands for flood Extent Monitoring. *Remote Sensing of Environment* 114:2802-2815
- 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* 8:1-17
- Sentinel-1 time series. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters* 3:1-5
- Betbeder J, Rapinel S, Corgne S, Pottier E, Hubert L (2015) TerraSAR-X dual-pol time-series for mapping of wetland vegetation. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 107:90-98
- Behrouzi-rad B (2009) Waterbird populations during dry and wet years in the Hamoun wetlands complex. *Podoces Journal* 4(2):88-99
- Bourgeau-Chavez L, Kasischke ES, Brunzell SM, Mudd JP, Smith KB, Frick AL (2001) Analysis of space-borne SAR data for wetland mapping in virginia riparian ecosystems. *International Journal of Remote Sensing* 22:3665-3668
- Bousbih S, Zribi M, Pelletier C, Gorraab A, Lili-Chabaane Z, Baghdadi N, ..., Mougnot B (2019) Soil texture estimation using radar and optical data from Sentinel-1 and Sentinel-2. *Remote Sensing* 11(13):1520
- Corcione V, Nunziata F, Mascolo L, Migliaccio M (2016) A study of the use of COSMO-SkyMed SAR PingPong polarimetric mode for rice growth monitoring. *International Journal of Remote Sensing* 37(3):633-647
- Dabrowska-Zielinska K, Budzynska 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(2):1605-1633
- 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
- ESA (2014) Sentinel 1 Datasheet. August 2013. Retrieved 17 August 2014
- Furtado LF, Silva TSF, de Moraes Novo EML (2016) Dual-season and full-polarimetric C band SAR assessment for vegetation mapping in the Amazon Várzea Wetlands. *Remote Sensing Environment* 74:212-222
- Gallant A (2015) The challenges of remote monitoring of wetlands. *Remote Sensing* 7:10938-10950
- Grings FM, Ferrazzoli P, Jacobo-Berlles J C, Karszenbaum H, Tiffenberg J, Pratolongo P, Kandus P (2006) Monitoring flood condition in marshes using EM Models and Envisat ASAR observations. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 44:936-942

- wetland monitoring at high latitudes. *Remote Sensing* 4:2923-2943
- Seifi H, Feizizadeh B (2019) Application of interferometric method and radar remote sensing images to estimate the depth of snow and water discharge, Case study: (Yamchie Basin). *Iran-Water Resources Research* 15(1):341-355 (In Persian)
- Shanani Hoveyzeh SM and Heidar Z (2015) Investigation of land use changes during the past two last decades (Case study: Abolabas Basin). *Journal of Watershed Management Research* 7:237-234 (In Persian)
- Schmitt A, Leichtle T, Huber M, Roth A (2012) On the use of dual-co-polarized TerraSAR-X data for wetland monitoring. *Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 7:341-344
- Shen G, Liao J, Guo H, Liu J (2015) Poyang Lake wetland vegetation biomass inversion using polarimetric RADARSAT-2 synthetic aperture radar data. *Journal of Applied Remote Sensing* 9:451-455
- Taft OW, Haig SM, Kiilgaard C (2003) Use of radar remote sensing (RADARSAT) to map winter wetland habitat for shorebirds in an agricultural landscape. *Environment Management* 33:750-763
- Touzi R, Deschamp B, Rother G (2007) Wetland characterization using polarimetric RADARSAT-2 capability. *Canadian Journal of Remote Sensing* 33(1):56-67
- Widis DC, BenDor TK, Deegan M (2015) Prioritizing wetland restoration sites: A review and application to a large-scale coastal restoration program. *Ecological Restoration* 33:358-377
- Wilusz DC, Zaitchik BF, Anderson MC, Hain CR, Yilmaz MT, Mladenova IE (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
- WRC, WL (2003) Sistan flood warning and emergency plan. WRC and WL-Delft Hydraulics
- Zhang F, Li B, Tian B, Zhou J, Tang P (2016) The backscattering characteristics of wetland vegetation and water-level changes detection using multi-mode SAR: A case study. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 45:1-13
- Mokhtari M, Najafi A (2006) Comparison of support vector machine and neural network classification methods in land use information extraction through Landsat TM data. *Journal of Water and Soil Science* 19(72):35-45 (In Persian)
- Shanani Hoveyzeh SM and Heidar Z (2015) Investigation of land use changes during the past two last decades (Case study: Abolabas Basin). *Journal of Watershed Management Research* 7:237-234 (In Persian)
- Mitsch WJ, Gosselink JG (2007) *Wetlands*. New York: Wiley 600p
- Najafi A, Azizi S, Mokhtari M (2017) Assessment Kernel support vector machines in classification of landuses (Case study: Basin of Cheshmeh kileh-Chalkrod). *Journal of Watershed Management Research* 8(15):92-101 (In Persian)
- Niu J, Zou Y, Yuan X, Zhang B, Wang T (2013) Waterbird distribution patterns and environmentally impacted factors in reclaimed coastal wetlands of the eastern end of Nanhui county, Shanghai, China. *Acta Zoologica Academiae Scientiarum Hungaricae* 59(2):171-185
- O'Grady D, Leblanc M (2014) Radar mapping of broad-scale inundation: Challenges and opportunities in Australia. *Stochastic Environment Resource Risk Assessment* 28:29-38
- Pal M (2005) Random forest classifier for remote sensing classification. *International Journal of Remote Sensing* 26:217-222
- Partow H (2003) Sistan Oasis parched by drought. *Atlas of Global Change*, Oxford University Press, 144-145
- 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
- Rahdari V, Maleki S, Amiri F, Shariff A, Tabatabaie T (2012) Detection of land-use/cover changes over ChahNimeh in Iran using Landsat TM images. *Fresenius Environmental Bulletin* 21:3825-3835
- Ramsar (2016) The list of wetlands of international importance. Ramsar 54 pp
- Reschke J, Bartsch A, Schlaffer S, Schepaschenko D (2012) Capability of C-Band SAR for operational