سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی (سال سیزدهم / شماره اول) بهار ۱۴۰۱
نمایه شده در سایت: پایگاه استنادی علوم جهان اسلام، جهاد دانشگاهی، مگ ایران، نورمگز، سیویلیکا، گوگل اسکولار
آدرس وب سایت : http://girs.iaubushehr.ac.ir

مقاله پژوهشی

مقایسه برآورد رطوبت سطح خاک در اراضی کشاورزی آق‌قلا با استفاده از تصاویر SAR (پالسار۲- آلوس و سنتینل-۱)

سعداله سنگینی، هادی فدایی، امیر سعدالدین، واحد بردی شیخ، چوقی بایرام کمکی

دریافت: ۱۲ دی ۱۳۹۹/ بازنگری: ٤ اردیبهشت ۱٤۰۰/ پذیرش: ۲٦ اردیبهشت ۱٤۰۰
دسترسی اینترنتی: ۳۰ اردیبهشت ۱٤۰۰

چکیده

پیشینه و هدف دشت آق‌قلا که یکی از دشت‌های حاصل‌خیز استان گلستان است. تجمع رواناب و شکل‌گیری سیلاب خسارات جانی و مالی فراوان را به همراه دارد. شناخت پراکنش‌های زمانی و مکانی رطوبت سطح خاک یک متغیر کلیدی در شبیه‌سازی رواناب و کاهش مخاطرات ناشی از سیل در محدوده تحقیق است. در این تحقیق میزان رطوبت سطح خاک با استفاده از داده‌های ماهواره‌های راداری آلوس-۲ از پالسار در باند L و سنتینل-۱ در باند C مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها در این تحقیق، از سه سری داده راداری آلوس-۲ از سنجنده پالسار، سنتینل-۱ و داده اپتیکی سنتیل-۲ استفاده شد. برای محاسبه رطوبت سطح خاک ابتدا به روش وزنی در محل هر خوشه نمونه‌های خاک در عمق ۵ سانتی‌متری برداشت و توزین گردید پس از خشک نمودن نمونه‌ها در آون وزن خشک و مرطوب محاسبه گردید. در ادامه دو پارامتر مهم رطوبت خاک شامل ثابت دی‌الکتریک و زبری سطح خاک اندازه‌گیری شد. ثابت دی‌الکتریک با استفاده از TDR و زبری با استفاده از دو دوربین دیجیتال محاسبه گردید. با استفاده از نرم‌افزار Agisoft photo scan و ArcGIS مدل رقومی ارتفاعی و پروفیل ناهمواری‌های سطح استخراج گردید. داده‌های راداری با نرم‌افزار SNAP مربوط به آژانس فضایی اروپا ESA پردازش گردید. مراحل پردازش شامل کالیبراسیون رادیومتریکی، استخراج سیگما نات در واحد دسی‌بل، فیلترگذاری با فیلتر لی و کرنل سایز ۵×۵ و تصحیح هندسی و نهایتاً ژئوکدینگ هر سه داده انجام شد. با داده اپتیکی سنتینل-۲ ضمن تهیه شاخص‌های گیاهی و نمناکی نقشه کاربری اراضی با الگوریتم راندوم فارست تهیه گردید. در ادامه با در دست داشتن مقادیر زبری، ثابت دی‌الکتریک و شاخص‌های گیاهی و نمناکی در محیط نرم‌افزار متلب ۲۰۱۹ دو مدل Oh و WCM کدنویسی و مقادیر رطوبت سطح خاک محاسبه و خروجی گرفته شد. سپس رطوبت

سعداله سنگینی [۱]، هادی فدایی [۲]، امیر سعدالدین(✉) [۳]، واحد بردی شیخ [٤]، چوقی بایرام کمکی [۵]

۱. دانشجوی دکتری آبخیزداری گرایش آب، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، گرگان، ایران
۲. استادیار، گروه جغرافیا، دانشگاه علوم انتظامی امین، تهران، ایران
۳. دانشیار، گروه آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، گرگان، ایران
٤. دانشیار، گروه آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، گرگان، ایران
۵. استادیار، گروه مدیریت مناطق بیابانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، گرگان، ایران

پست الکترونیکی مسئول مکاتبات : amir.sadoddin@gau.ac.ir

http://dorl.net/dor/20.1001.1.26767082.1401.13.1.1.9

حاصل از مدل باز پراکنش سطحی با رطوبت وزنی در محل و مطالعات پیشین مورد ارزیابی قرار گرفت.

نتایج و بحث در بخش حساسیت سیگنال رادار به رطوبت سطح خاک در مدل Oh در پلاریزاسیون HH و HV تصاویر پالسار-۲، در σ°_{HH} با R^2=۰/۸۶، σ°_{HV} با R^2=۰/۹۰۵ و برای تصاویر سنتینل-۱، در σ°_{VV} با R^2=۰/۹۱ و σ°_{VH} با R^2=۰/۹۳ به رطوبت سطح خاک حساس است. همچنین حساسیت باز پراکنش سطحی مدل Oh در پالسار-۲ در پلاریزه HH با R^2=۰/۹۶ و در پلاریزه HV با R^2=۰/۹۴ و برای داده سنتینل-۱ در پلاریزه VV با R^2=۰/۷۲ و در پلاریزه VH با R^2=۰/۷۴ به زبری سطح حساس است. رابطهٔ بین کل ضرایب باز پراکنش سطحی حاصل از مدل ابر آب و رطوبت اندازه‌گیری شده در پلاریزاسیون HH و HV تصاویر پالسار-۲، در σ°_{HH} و σ°_{HV} به ترتیب با R^2=۰/۷۳ و R^2=۰/۳۹۹ و برای دادهٔ سنتینل-۱ در پلاریزاسیون VV و VH، در σ°_{VV} و σ°_{VH} به‌ترتیب با R^2=۰/۰۷۳ و R^2=۰/۱۳ به رطوبت سطح خاک حساس است. در بخش برآورد رطوبت خاک مبتنی بر مدل Oh برای دادهٔ پالسار-۲ و سنتینل-۱ در اراضی لخت در پلاریزاسیون HH و HV برای تصاویر پالسار-۲، σ°_{HH} و σ°_{HV} به ترتیب با RMSE=۱/۹۲۴ [vol.%]، R^2=۰/۸۸ و RMSE=۱/۴۵ [vol.%]، R^2=۰/۹۳ و برای داده سنتینل-۱، σ°_{VV} و σ°_{VH} به‌ترتیب با RMSE=۲/۵۷ [vol.%]، R^2=۰/۸۱ و RMSE=۰/۹۰ [vol.%]، R^2=۰/۹۷ است. نتایج مدل Oh نشان داد که در پلاریزاسیون HV تصاویر پالسار-۲ و پلاریزه VH سنتینل-۱ نتایج رطوبت خاک قوی‌تر است. نتایج رطوبت خاک در مدل WCM در اراضی دارای پوشش گیاهی برای تصاویر پالسار-۲ در پلاریزاسیون HH و HV در σ°_{HH} و σ°_{HV} به‌ترتیب با RMSE=۲/۴۴ [vol.%]، R^2=۰/۸۱ و RMSE=۲/۶۴ [vol.%]، R^2=۰/۷۸ و برای Sentinel-1 در σ°_{VV} و σ°_{VH} به‌ترتیب با RMSE=۲/۷۴ [vol.%]، R^2=۰/۷۵ و RMSE=۲/۶۹ [vol.%]، R^2=۰/۷۶ است. در بحث برآورد رطوبت خاک با مدل WCM نتایج پالسار-۲ در پلاریزه HH با R^2=۰/۸۱ [vol.%] در اراضی با تراکم پوشش گیاهی بیشتر از ۰/۴ درصد دارای نتیجه بهتری است.

نتیجه‌گیری در مدل Oh نتایج تحقیق نشان داد که حساسیت پلاریزه HV در تصاویر پالسار-۲ و پلاریزه VH در سنتینل-۱ در مناطقی که دارای پوشش گیاهی با تراکم کمتر از ۰/۴ است بسیار بیشتر از حساسیت پلاریزه HH آلوس-۲ و پلاریزه VV سنتینل-۱ است. همچنین حساسیت پلاریزه HH تصاویر پالسار-۲ و پلاریزه VH سنتینل-۱ به زبری سطح بیشتر از سایر پلاریزاسیون‌ها است. در مدل ابر آب نتایج حاصل از داده سنتینل-۱ در حذف تأثیرات پوشش گیاهی و شبیه‌سازی ضرایب باز پراکنش سطحی بسیار ضعیف است، دلیل این امر در نظر نگرفتن پارامتر زبری توسط مدل ابر آب و همچنین بالا بودن سطح رطوبت در محدوده مطالعاتی بوده که باعث کاهش نفوذ موج گردیده است. نتایج تحقیق نشان داد که حساسیت پلاریزه HH در مناطقی که دارای پوشش گیاهی با تراکم بیش از ۰/۴ است بسیار بیشتر از حساسیت پلاریزه HV بوده، همچنین حساسیت سیگنال راداری به نویز در پلاریزه HH کم ولی در پلاریزه HV زیاد بود. این موضوع نشان داد که قطبش همسان HH نسبت به پوشش گیاهی حساس است، بنابراین مدل در حضور پوشش گیاهی از ثبات بیشتری برخوردار خواهد بود. مقایسه دو داده SAR در محدوده نشان داد، تصاویر آلوس-۲ به دلیل طول‌موج بلند و عمق نفوذ بیشتر در خاک و پوشش گیاهی، برای برآورد رطوبت سطح خاک در محدوده تحقیق و مناطق مشابه کارایی بیشتری دارد. همسو با موضوع پژوهش تحقیقات دیگری صورت گرفته ازجمله آلیشان و همکاران در پژوهشی اقدام به برآورد رطوبت سطح خاک در اراضی بایر با استفاده از داده‌های آلوس-۲ و سنتینل-۱ کرده‌اند که به این نتیجه رسیدند که مدل WCM در حذف محتوی آب گیاهی و برآورد رطوبت سطح با استفاده از معکوس مدل در هر دو داده آلوس-۲ و سنتینل-۱ بالا بوده است. در تحقیقی که توسط زریبی و همکاران صورت گرفته بود نشان دادند که مدل Oh در دو پلاریزه HV و HH با RMSE کمتری قادر به برآورد رطوبت سطح خاک است. این تحقیق برای مدیریت محیطزیست، کشاورزی، منابع طبیعی و مدیریت منابع آب مناسب بوده و کمک شایانی به مدل‌سازی‌های هیدرولوژیکی می‌نماید.

واژه‌های کلیدی: رطوبت سطح خاک، سنجنده پالسار-۲ آلوس، سنتینل-۱، مدل اُوه، مدل ابر آب

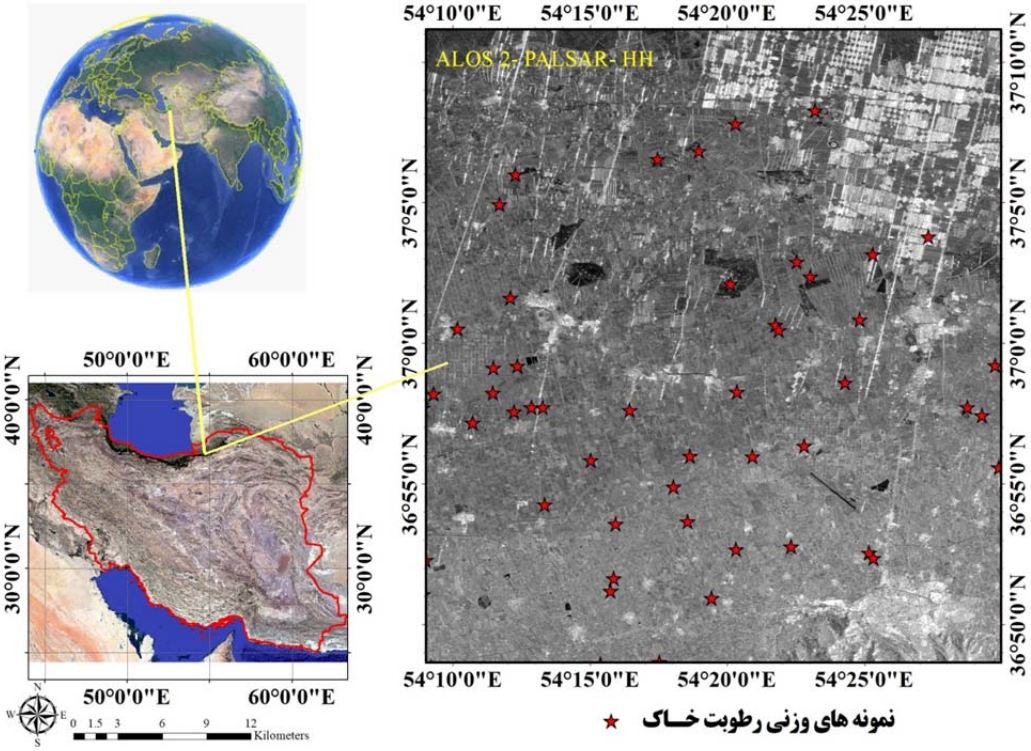
لطفاً به این مقاله استناد کنید: سنگینی، س.، فدایی، ه.، سعدالدین، ا.، بردی شیخ، و.، چوقی بایرام، ک. ۱۴۰۱. مقایسهٔ برآورد رطوبت سطح خاک در اراضی کشاورزی آق‌قلا با استفاده از تصاویر SAR (پالسار۲- آلوس و سنتینل-۱)، نشریه سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۱۳(۱): ۲۰-۱.

مقدمه

رطوبت سطح خاک عاملی مهم در فرآیند تبادل انرژی بین زمین و اتمسفر بوده که بر تبخیر و تعرق، انتقال آب و چرخه کربن اثر کنترلی قوی دارد (۲۰، ۲۱ و ۲۲). رطوبت خاک به‌عنوان یک جز مهم چرخه آب اکوسیستم‌های خشکی شرایط اساسی برای رشد و توسعه گیاه و همچنین یک شاخص مهم برای مطالعه تنش آبی گیاه است (۲۱ و ۳۵). نظارت دقیق بر رطوبت خاک در یک منطقه بزرگ اهمیت زیادی در زمینه‌های هیدرولوژی، هواشناسی و کشاورزی دارد (۳۲). پایش رطوبت سطح خاک با اندازه‌گیری‌های میدانی به دلیل نقطه‌ای بودن، نمی‌تواند بیانگر رطوبت خاک در مقیاس منطقه‌ای باشد درحالی‌که سنجش‌ازدور اندازه‌گیری‌های رطوبت را در مقیاس منطقه‌ای ممکن می‌سازد (۹). با پیشرفت‌های فنّاوری سنجش‌ازدور مدل‌های متعددی برای تخمین رطوبت خاک در اراضی عاری و پوشیده شده از پوشش گیاهی ایجاد گردیده است (۳٤). ازجمله مدل‌های که برای اراضی لخت پیشنهادشده‌اند، مدل نیمه تجربی اُوه و همکاران (۲۳، ۲۵ و ۲). مدل تجربی دوبوئیس و همکاران (۱٤) و مدل‌های فیزیکی که شامل مدل معادله انتگرال (Integration equation model) فانگ و چن (۱۷)، مدل معادله انتگرال پیشرفته (Adapted integration equation model) چن و همکاران (۱۱)، پتینو و همکاران (۲۹)، چوکر و همکاران (۱۲) و هی و همکاران (۱۸) و مدل بغدادی و همکاران (٦) را می‌توان نام برد. الگوریتم‌های مختلفی برای بازیابی رطوبت خاک برای چندین ماهواره در باندهای L-C-X توسعه داده‌شده‌اند که همگی قادرند رطوبت خاک را بسته به مشخصات سنجنده برآورد نمایند. عوامل تأثیرگذار درباز پراکنش راداری توسط پارامترهای سیستم رادار شامل طول‌موج، زاویه فرود، پلاریزاسیون و پارامترهای هدف شامل ثابت دی‌الکتریک، زاویه فرود محلی، لایه پوشش گیاهی و زبری سطح تحت تأثیر قرار می‌گیرد (۲۱ و ۳٦). مطالعات متعددی رفتار سیگنال رادار را به‌عنوان تابعی از محتوای رطوبت خاک تحلیل کرده‌اند. حساسیت شدید سیگنال در زوایای فرود پایین، بین ۲۰ تا ۳۵ درجه، نسبت به زوایای فرود بالا مشاهده می‌شود (۳ و ۷). وقتی یک موج راداری به سطح زمین برخورد می‌کند بخشی از آن برگشت و بخشی دیگر از جسم عبور می‌کند، مهم‌ترین عوامل در تعیین این نوع برهم‌کنش، بزرگی ضریب دی‌الکتریک و زبری سطح است. در این شرایط بزرگی ضریب دی‌الکتریک میزان باز پراکنش و زبری سطح جهت آن را تعیین می‌کند. ثابت دی‌الکتریک یک محیط معیاری از پاسخ آن محیط به حضور میدان الکتریکی است. ثابت دی‌الکتریک خاک تابعی از بافت خاک، رطوبت خاک، فرکانس راداری است. تغییرات کوچک در رطوبت خاک می‌تواند تا حد زیادی گذردهی الکتریکی پیچیده خاک را تغییر دهد. ثابت دی‌الکتریک خاک شامل دو بخش حقیقی و مجازی است. بخش حقیقی ثابت دی‌الکتریک که می‌تواند از ۲/۵ برای خاک بسیار خشک تا ۲۵ برای خاک بسیار مرطوب تغییر کند و تابعی از ترکیب خاک و فرکانس ماکروویو است. ثابت دی-الکتریک بر روی ضریب باز پراکنش راداری تأثیر می‌گذارد اولابی و همکاران (۳۳). زبری سطح تغییرات پستی‌وبلندی‌های کوچک در سطح بوده که در فرآیندهای نفوذ مؤثر است. زبری سطح به زاویه فرود حساس است. مطالعات متعددی ثابت کرده‌اند که سیگنال رادار در زوایای فرود بالا نسبت به زوایای فرود پایین به زبری سطحی حساس‌تر است (۳، ۵، ۱۳، ۱٦، ۳۳ و ۳٦). توصیف زبری خاک عمدتاً بر اساس دو پارامتر آماری است: جذر میانگین مربعات ارتفاع (Root Mean Square Height) و طول همبستگی (Correlation Length) است. مشکل اصلی در بازیابی رطوبت خاک تأثیر زبری سطح و پوشش گیاهی برای تعیین رابطهٔ بین ضریب باز پراکنش راداری و رطوبت خاک است (۲۱). منطقه موردمطالعه بخشی از اراضی زراعی حوزه آبخیز آق‌قلا است. از مدل نیمه تجربی Oh و مدل ابر آب (Water Cloud Model, WCL) برای برآورد رطوبت خاک استفاده‌شده است. از عمده مشکلات منطقه شیب در حدود ۳ درصد و تجمع رواناب بوده که موجب شکل‌گیری سیل و خسارت می‌گردد. هدف اصلی این مطالعه مقایسه داده SAR در باند L و C برای تخمین رطوبت سطح خاک است.

منطقهٔ مورد مطالعه

محدوده تحقیق با مساحت ۲۴۷۲ کیلومترمربع بین '۱۴ °۵۴ تا '۵۱ °۵۴ طول شرقی و '۵۵ °۳۶ تا '۳۷ °۳۰ عرض شمالی در شمال استان گلستان قرار دارد. حداقل ارتفاع از سطح دریا ۱۲- متر و متوسط دمای سالیانه ۱۹/۰۱ درجه سانتی‌گراد است. اقلیم منطقه بر اساس طبقه‌بندی آمبرژه اقلیم نیمه‌خشک معتدل و متوسط بارندگی منطقه ۲۳۰/۵ میلی‌متر، ازلحاظ فیزیوگرافی دارای تپه‌های لسی با منشأ بادی است. محصولات عمده آن گندم، برنج، پنبه، حبوبات، نباتات علوفه‌ای، سیب‌زمینی و دانه‌های روغنی است که از طریق کشت آبی و دیم به دست می‌آید.



شکل۱. محدودهٔ مطالعه در کشور و استان گلستان

Fig.1.Study area in the country and Golestan province

اندازه‌گیری میدانی رطوبت خاک به روش وزنی

رطوبت سطح خاک به روش وزنی در سطوح اراضی زراعی در عمق ۵ سانتی‌متری هم‌زمان بازمان تصویربرداری هر دو داده اندازه‌گیری شد. از روش نمونه‌گیری خوشه‌ای تصادفی برای محدوده مطالعاتی استفاده شد. هر واحد نمونه معرف نمونه مشابه آن در مقیاس بزرگ‌تر به فاصله حداقل ۲ کیلومتر در واحد مطالعاتی به‌منظور جلوگیری از خودهمبستگی است. نمونه‌ها وزنی با استفاده از رابطهٔ ۱ که به روش گرانی سنجی گرمایی (Thermo Gravimetric method) معروف بوده محاسبه می‌گردد.

$$SSM = \left(\frac{W_{wet}-W_{dry}}{W_{dry}}\right) \times 100 \qquad [۱]$$

در این رابطهٔ؛ SSM (Soil surface moisture) رطوبت حجمی خاک، W_{wet} وزن نمونه مرطوب و W_{dry} وزن نمونه خشک است.

اندازه‌گیری زبری سطح

اندازه‌گیری‌های زبری با استفاده از دوربین دیجیتال با یک زاویه مایل انجام شد. در محل هر نمونه دو پلات با ابعاد ۲×۲ مترمربع با همپوشانی طولی ۶۰-۴۰ درصد و همپوشانی عرضی ۲۰-۳۰ درصد با ۱۰ نقطه کنترل زمینی انتخاب گردید. به‌منظور ارائه نتایج دقیق زبری سطح، ۵ پروفیل که دو مورد آن موازی با جهت ردیف‌ها و سه مورد دیگر در جهت عمود بر ردیف‌ها برای هر سایت ثبت شد. سپس اندازه‌گیری از هر ایستگاه انجام شد و میانگین این اندازه‌گیری‌ها در تحلیل هر محل مورداستفاده قرار گرفت. درنهایت یکی از پارامترهای مهم زبری، یعنی ریشه میانگین مربعات ارتفاع (HRMS)، با استفاده از رابطهٔ ۲ محاسبه گردید. مقدار میانگین ارتفاعی ناهمواری‌های سطح ۳-۰/۲ سانتی‌متر است.

$$\mathrm{RMS_{height}} = \mathrm{S} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(z_i-\bar{z})^2}{n-1}} \qquad [۲]$$

که در این رابطه؛ $\mathbf{z_i}$ ارتفاع نقطه‌ی i است که نسبت به یک سطح‌مبنا تعریف می‌شود این سطح‌مبنا می‌تواند سطح کمینه ارتفاع، سطح متوسط ارتفاعی و یا یک سطح با الگوی پریودیک باشد که همان بخش معین زبری سطح است. $\bar{\mathbf{z}}$ متوسط ارتفاعات نسبت به یک سطح‌مبنا بوده و n تعداد نقاط است.

داده‌های مورد استفاده

در این مطالعه سنجنده پالسار-۲ از آلوس و سنجنده سنتینل-۱ و ۲ به ترتیب از سایت https://auig2.jaxa.jp/ips/home و https://earthexplorer usgs.gov. دریافت شد. برای استخراج ضرایب بازپراکنش راداری برحسب دسی‌بل به ترتیب در پلاریزاسیون HH-HV و VV-VH استفاده شد. عملکرد سنجنده C-SAR در باند C معادل با طول‌موج ۵/۵۴ سانتی‌متر و فرکانس ۵/۴۰۵ گیگاهرتز است عملکرد سنجنده پالسار-۲ از آلوس در باند L معادل با طول‌موج ۲۲/۶ سانتی‌متر و فرکانس ۱/۲۳ گیگاهرتز است. مشخصات داده‌ها مطابق جدول ۱ است. قدرت تفکیک مکانی هر سه داده ۱۰ متر در نظر گرفته شد. از نرم‌افزار SNAP (Sentinels Application Platform) سازمان فضایی اروپا ESA برای پیش‌پردازش داده‌های SAR شامل حذف نویز حرارتی، کالیبراسیون رادیو متریکی جهت تبدیل مقادیر دیجیتال تصاویر خام به ضرایب باز پراکنش راداری برحسب دسی‌بل، اعمال فیلتر لی با ابعاد ۵×۵ جهت کاهش نویز، تصحیح هندسی با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی زمین با تفکیک مکانی ۳۰ متر SRTM استفاده شد سپس در محل هر خوشه میانگین ضرایب باز پراکنش راداری و زاویه فرود استخراج شد. از داده Sentinel-2B ضمن تصحیح رادیو متریکی و اتمسفری، شاخص پوشش گیاهی تفاضلی نرمال شده (Normalized difference vegetation index, NDVI)، شاخص پوشش گیاهی بهبود یافته (Enhanced vegetation index, EVI) و شاخص آب تفاضلی نرمال شده (Normalized difference water index, NDWI) جهت استفاده در مدل ابر آب استخراج گردید.

جدول۱. مشخصات داده‌های ماهواره‌ای مورداستفاده در تحقیق

Table 1. The general specifications of the satellite data used in the study

داده مورداستفاده	تاریخ اخذ داده	زاویه فرود	پلاریزاسیون/ باند	قدرت تفکیک زمانی	قدرت تفکیک مکانی (متر/متر)
PALSAR2-ALOS	۱۳۹۹/۰۱/۲۶	۳۰-۹۰	HH-HV	۱۴ روزه	5.1 × 4.3
Sentinel-1	۱۳۹۹/۰۱/۲۸	۲۰-۴۵	VV-VH	۱۴ روزه	5 × 20
Sentinel-2B	۱۳۹۹/۰۱/۲۸	-	۱۳ باند طیفی	۱۰ روزه	10 × 10

اندازه‌گیری ضرایب باز پراکنش سطحی

مدل باز پراکنش سطحی اُوه (Oh)

مدلی Oh یک مدل نیمه تجربی بوده که در قالب چند نسخه توسط Oh و همکارانش در بین سال‌های ۱۹۹۲ تا ۲۰۰۴ جهت مدل‌سازی باز پراکنش راداری توسعه داده‌شده است (۲۳ و ۲۷). این مدل بر اساس مدل‌های ضرایب باز پراکنش تئوری SPM و KM و از تلفیق با داده‌های آزمایشگاهی و یک بسط از مدل‌های تجربی در سه فرکانس ۱/۵، ٤/٥ و ۹/٥ گیگاهرتز که فاز و دامنه ضرایب باز پراکنشی را شامل می‌شود، ایجادشده است. این مدل نسبت‌های کوپلاریزه $p = (\mathring{\sigma}_{HH}/\mathring{\sigma}_{VV})$ و نسبت کراس‌پلاریزه $q = (\mathring{\sigma}_{HV}/\mathring{\sigma}_{VV})$ را به زاویه فرود (θ)، k عدد موج، (S یا Hrms) جذر میانگین مربعات ارتفاع، L طول همبستگی و m_v رطوبت خاک و ε' ثابت دی‌الکتریک ارتباط می‌دهد. نسخه ابتدایی مدل Oh به‌وسیله رابطهٔ ۳، ٤ و ٥ تعریف می‌شود (۲۵).

$$p = \frac{\mathring{\sigma}_{HH}}{\mathring{\sigma}_{VV}} = \left[1 - \left(\frac{2\theta}{\pi}\right)^{\frac{1}{3\Gamma^\circ}} . e^{-ks}\right]^2 \qquad [۳]$$

$$q = \frac{\mathring{\sigma}_{HV}}{\mathring{\sigma}_{VV}} = 0.23\sqrt{\Gamma^\circ}\left(1 - e^{-ks}\right) \qquad [٤]$$

در این رابطه؛ Γ° ضریب بازتابندگی فرنسل در نادیر $\theta = 0$ است و برابر رابطهٔ ٥ محاسبه می‌گردد.

$$\Gamma^\circ = \left|\frac{1-\sqrt{\varepsilon'}}{1+\sqrt{\varepsilon'}}\right|^2 \qquad [٥]$$

اُوه و همکاران (۲٦) به‌منظور توسعه مدل یک عبارت جدید برای q جهت تأثیر زاویه فرود برابر رابطهٔ ٦ ارائه نمودند.

$$q = \frac{\mathring{\sigma}_{HV}}{\mathring{\sigma}_{VV}} = 0.25\sqrt{\Gamma_0}\,(0.1 + \sin^{0.9}\theta)\left(1 - e^{-[1.4-1.6\Gamma_0]kHrms}\right) \qquad [٦]$$

اُوه و همکاران (۲۷) مجدداً عبارات p و q را اصلاح و رابطهٔ ۷، ۸ و ۹ را پیشنهاد دادند.

$$p = \frac{\mathring{\sigma}_{HH}}{\mathring{\sigma}_{VV}} = 1 - \left(\frac{\theta}{90}\right)^{0.35mv^{-0.65}} . e^{-0.4(k\,Hrms)^{1.4}} \qquad [۷]$$

$$q = \frac{\mathring{\sigma}_{HV}}{\mathring{\sigma}_{VV}} = 0.1\left(\frac{Hrms}{L} + \sin 1.3\theta\right)^{1.2}\left(1 - e^{-0.9(k\,Hrms)^{0.8}}\right) \qquad [۸]$$

$$\mathring{\sigma}_{HV} = 0.11\, m_v^{0.7}\cos^{2.2}\theta\left(1 - e^{-0.32(k\,Hrms)^{1.8}}\right) \qquad [۹]$$

اُوه و کی (۲٤) نشان دادند که اندازه‌گیری طول همبستگی دقیق نیست و نسبت q به پارامتر زبری $(\frac{Hrms}{L})$ حساس نیست؛ بنابراین، اُوه (۲۳) یک رابطهٔ جدید برای q پیشنهاد دادند که طول همبستگی (L) را در نظر نمی‌گیرد و با رابطهٔ ۱۰ محاسبه می‌گردد.

$$q = \frac{\mathring{\sigma}_{HV}}{\mathring{\sigma}_{VV}} = 0.095\,(0.13 + \sin 1.5\theta)^{1.4}\left(1 - e^{-1.3(k\,Hrms)^{0.9}}\right) \qquad [۱۰]$$

رابطهٔ کلی برای بازیابی ضریب باز پراکنش برابر رابطهٔ ۱۱ و ۱۲ است.

$$\mathring{\sigma}_{VV} = \frac{0.11\, m_v^{0.7}\cos^{2.2}\theta\left(1-e^{-0.32(k\,Hrms)^{1.8}}\right)}{0.095\,(0.13+\sin 1.5\theta)^{1.4}\left(1-e^{-1.3(k\,Hrms)^{0.9}}\right)} \qquad [۱۱]$$

$$\mathring{\sigma}_{HH} = p\,\mathring{\sigma}_{VV} = \frac{p}{q}\mathring{\sigma}_{HV} \qquad [۱۲]$$

پارامتر ناهمواری سطح با رابطهٔ ۱۳ محاسبه می‌گردد.

$$k.Hrms = \left(\theta, m_v, \mathring{\sigma}_{VHM}\right) = \left[-3.125\ln\left\{1 - \frac{\mathring{\sigma}_{VHM}}{0.11 m_v^{0.7}(\cos\theta)^{2.2}}\right\}\right]^{0.556} \qquad [۱۳]$$

که دراین رابطه؛ $\mathring{\sigma}_{VHM}$ توسط پلاریزه VH اندازه‌گیری می‌شود و از رابطهٔ ١٤ می‌توان m_v را تخمین زد.

$$1 - \left(\frac{\theta}{90^\circ}\right)^{0.35m_v^{-0.65}} . e^{-0.4\left[k.Hrms\left(\theta, m_v, \mathring{\sigma}_{VHM}\right)\right]^{1.4}} - p_m = 0 \qquad [١٤]$$

در این رابطه؛ p_m نشان‌دهنده نسبت کوپلاریزه و $k.Hrms(\theta, m_v, \mathring{\sigma}_{VHM})$ به‌وسیله رابطهٔ ۱۳ محاسبه می‌شود. مدل Oh برای بازه‌های $0.13 \le kHrms \le 6.98$، $4 \le m_v(vol.\%) \le 29.1$ و $10^\circ \le \theta \le 70^\circ$ اعتبار دارد

(۲٤). در این تحقیق برای سنتینل-۱ از روابط اُوه (۲۳) و در پالسار-۲ از روابط ۱۵ تا ۲۱ استفاده‌شده است.

[۱۵]

$$\sigma_{HV} = 0.23\sqrt{\Gamma 0}\left(1-\exp(-ks)\right)\frac{g\cos^3\theta}{\sqrt{P}}(\Gamma h+\Gamma v)$$

[۱٦]

$$\sigma_{HH} = \sqrt{P}\, g\cos^3\theta(\Gamma h+\Gamma v)$$

[۱۷]

$$P = \left(1-\left(\frac{2\theta}{\pi}\right)^{[1/3\Gamma 0]} \quad \exp(-ks)\right)^2$$

[۱۸]

$$g = 0.7\,[1-\exp(-0.65(ks)^{1.8})]$$

[۱۹]

$$\Gamma 0 = \left|\frac{1-\sqrt{\varepsilon}}{1+\sqrt{\varepsilon}}\right|^2$$

[۲۰]

$$\Gamma h = \left|\frac{\cos\theta-\sqrt{\varepsilon(1-\sin^2\theta)}}{\cos\theta+\sqrt{\varepsilon(1-\sin^2\theta)}}\right|^2$$

[۲۱]

$$\Gamma v = \left|\frac{\cos\theta-\sqrt{\frac{1}{\varepsilon}(1-\sin^2\theta)}}{\cos\theta+\sqrt{\frac{1}{\varepsilon}(1-\sin^2\theta)}}\right|^2$$

در این رابطه؛ θ زاویه فرود برحسب درجه، s یا H_{RMS} ناهمواری سطح، k عدد موج در فضای آزاد و مقدار آن برابر است با $k = 2\pi/\lambda$ و ε ثابت دی‌الکتریک، Γh و Γv به ترتیب بازتاب پذیری عمودی و افقی فرنسل است.

مدل نیمه تجربی ابر آب (WCM)

مدل ابر آب یک مدل نیمه تجربی است و برای مدل‌سازی نقش گیاهان در تعیین رطوبت خاک به کار می‌رود. مدل ابر آب به‌وسیله سیگنال باز پراکنش راداری در مقیاس خطی تعریف می‌شود. برای تخمین پارامترهای تجربی مدل از روش کمترین مربعات و برآورد رطوبت سطح خاک از معکوس مدل استفاده می‌شود (٤، ۲۸ و ۳٦). روابط مدل نیمه تجربی ابر آب مطابق روابط ۲۲ تا ۲۵ است. در بیشتر مطالعات، نویسندگان عمدتاً از محتوای آب گیاهان پالوسیکا و همکاران (۲۸)، سیکدر و کومینگ (۳۱) و آلیسان و همکاران (۱)، شاخص سطح برگ چامپیون و گویوت (۱۰) و پِروت و همکاران (۳۰) و شاخص تفاضلی نرمال شده پوشش گیاهی بغدادی و همکاران (٤) و آل جاجی و همکارا (۱۵) استفاده نموده‌اند.

$$\sigma^{\circ} = \sigma^{\circ}_{veg} + \gamma^2\sigma^{\circ}_{soil} \qquad [۲۲]$$

$$\sigma^{\circ}_{veg} = Am_v\cos(\theta)\,(1-\gamma^2) \qquad [۲۳]$$

$$\gamma^2 = \exp(-2Bm_v\sec\theta) \qquad [۲٤]$$

$$\sigma^{\circ}_{soil}(dB) = C + D.SSM \qquad [۲۵]$$

در این رابطه؛ σ° کل ضرایب بازپخشی، σ°_{veg} سهم گیاه در ضریب بازپخشی، σ°_{soil} سهم خاک، γ^2 گذردهی گیاهی دوطرفه، m_v محتوی آب گیاه برحسب kg/m^2 و SSM رطوبت سطح خاک [vol. %] است. پارامتر A و B پارامترهای تجربی مدل بوده که به جنس پوشش گیاهی بستگی دارد (۸). پارامترهای C و D با ایجاد یک رابطهٔ خطی بین ضریب باز پراکنش سطحی و رطوبت سطح خاک محاسبه گردید. در این تحقیق از پارامترهای گیاهی محاسبه‌شده توسط بیندلیش با مقادیر A= ۰/۰۰۱۲، B= ۰/۰۹۱ استفاده‌شده است.

تجزیه وتحلیل آماری

در تحقیق حاضر، تجزیه‌وتحلیل آماری با استفاده از دو روش کیفی انجام‌شده است، ضریب تعیین و ریشه دوم میانگین مربع خطا، ضریب تعیین طبق رابطهٔ ۲٦ تعریف می‌شود.

$$R^2 = \left(\frac{\sum_{i=1}^{N}(x_i-\bar{x})(y_i-\bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{N}(x_i-\bar{x})^2}\sqrt{\sum_{i=1}^{N}(y_i-\bar{y})^2}}\right)^2 \qquad [۲٦]$$

در این رابطه؛ x_i و y_i نقاط نمونه‌برداری با متغیر i، N تعداد نقاط نمونه‌برداری، $\bar{x}$ میانگین نمونه‌های x_i و $\bar{y}$ میانگین نمونه‌های y_i.

ریشه دوم میانگین مربع خطا طبق رابطهٔ ۲۷ تعریف می‌شود.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(P_i - O_i)^2} \qquad [۲۷]$$

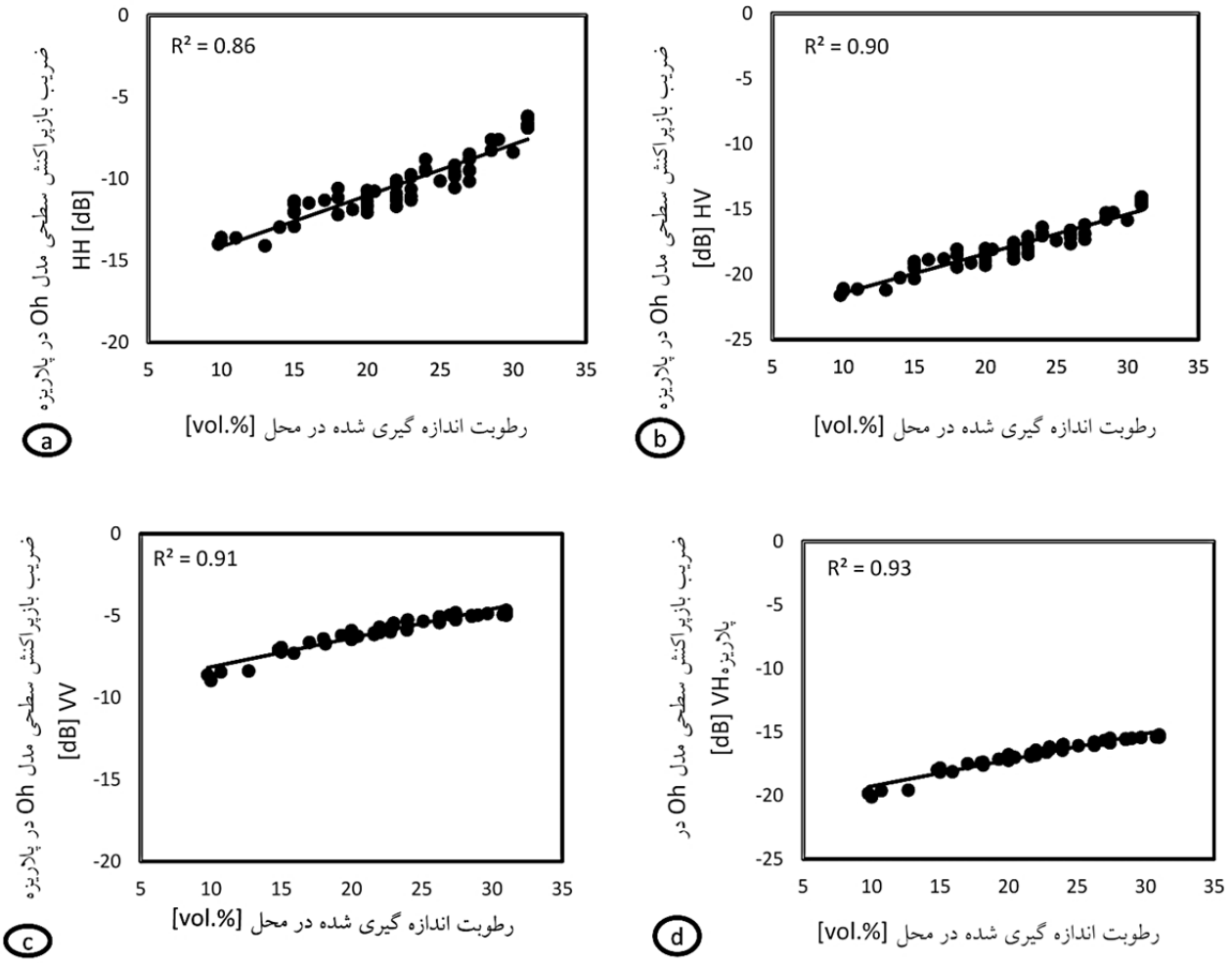
در این رابطه؛ N تعداد نمونه‌ها، P_i تعداد نمونه‌های شبیه‌سازی‌شده در i، O_i تعداد نمونه‌های اندازه‌گیری شده در i. هدف از بررسی داده‌ها بدین‌جهت است تا اطمینان حاصل شود که داده‌ها از یک توزیع نرمال پیروی می‌کنند و سپس نسبت به تجزیه‌وتحلیل آن‌ها اقدام شود. برای این منظور ابتدا داده‌های رطوبت اندازه‌گیری شده با مقدار داده مشاهداتی رطوبت خاک مقایسه می‌شود. سپس جهت اعتبار سنجی داده‌های مشاهداتی و ارزیابی آن از RMSE استفاده می‌شود.

نتایج و بحث

در این بخش حساسیت سیگنال داده‌های SAR به رطوبت سطح خاک و شبیه‌سازی رطوبت خاک با استفاده از دو مدل نیمه تجربی Oh و WCM موردبحث است. نتایج آماری در جدول ۲ ارائه‌شده است.

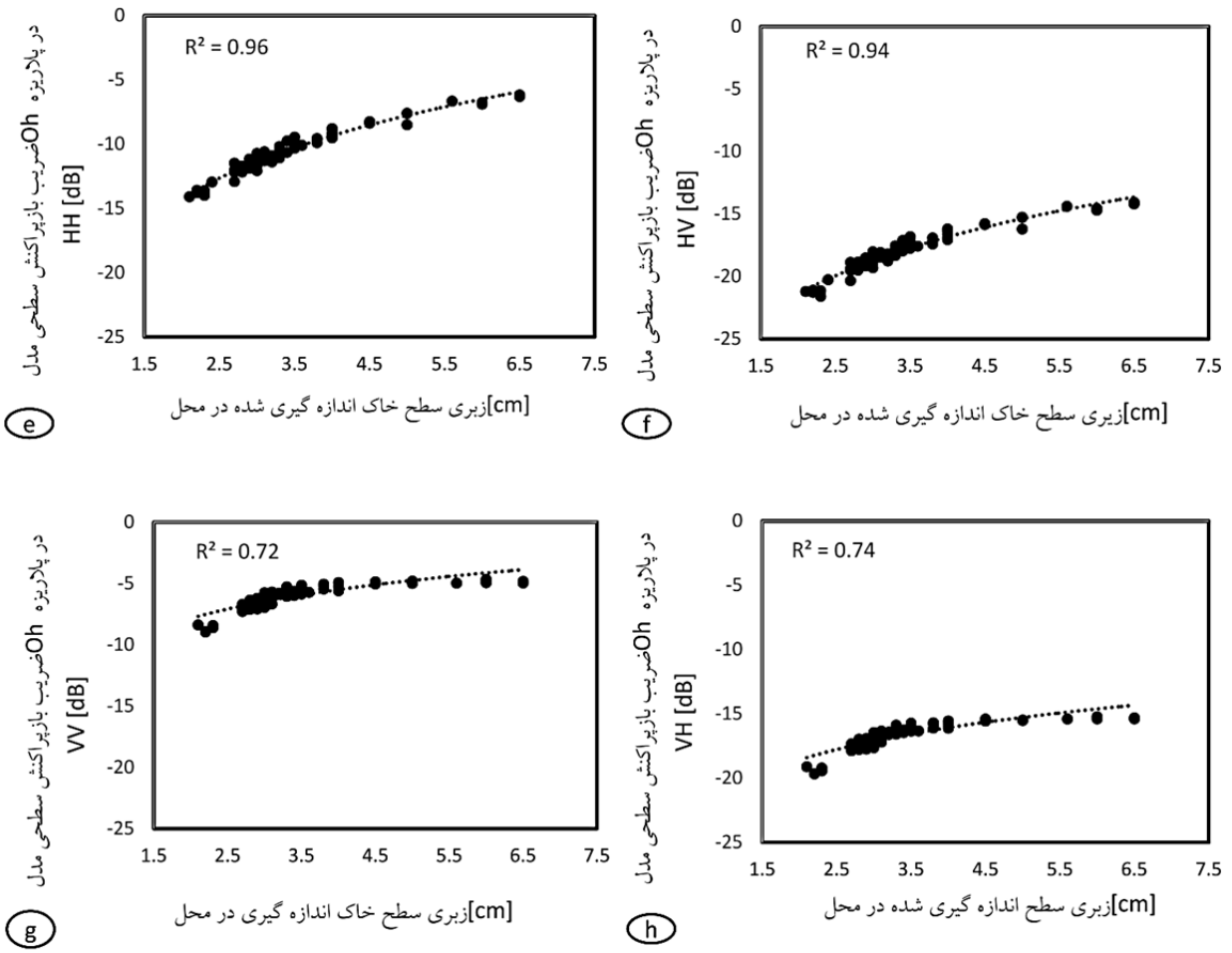
نتایج حساسیت سیگنال رادار به سطوح خاک با تراکم پوشش گیاهی کمتر از ۰/٤

در این بخش حساسیت تصاویر پالسار-۲ از آلوس و سنتینل-۱ نسبت به رطوبت سطح خاک و زبری سطح در اراضی با تراکم پوشش گیاهی کمتر از ۰/٤ موردبررسی قرار گرفت. شکل ۲ رابطهٔ بین ضریب باز پراکنش سطحی مدل و رطوبت اندازه‌گیری شده در محل و شکل ۳ رابطهٔ بین ضریب باز پراکنش سطحی مدل و زبری سطح خاک اندازه‌گیری شده برای پلاریزاسیون HH، HV، VV و VH را نشان می‌دهد. برابر شکل ۲، تصاویر پالسار-۲، در با σ°_{HH} R^2=۰/۸٦، σ°_{HV} با R^2=۰/۹۰ و برای دادهٔ سنتینل-۱، در σ°_{VV} با R^2=۰/۹۱، σ°_{VH} با R^2=۰/۹۳ به رطوبت سطح خاک حساس است. زبری سطح خاک با ضریب باز پراکنش راداری دارای رابطهٔ لگاریتمی است. نتایج تحقیق نشان داد، حساسیت تصاویر پالسار-۲ در پلاریزه HV و حساسیت سنتینل-۱ در پلاریزه VH در مدل Oh به رطوبت سطح خاک نسبت به سایر پلاریزه‌ها زیادتر است. همچنین حساسیت باز پراکنش سطحی مدل Oh در تصاویر پالسار-۲ در HH با R^2=۰/۹٦ و در پلاریزه HV با R^2=۰/۹٤ و برای سنتینل-۱ در پلاریزه VV با R^2=۰/۷۲ و در پلاریزه VH، R^2=۰/۷٤ به زبری سطح حساس است. حساسیت پلاریزه HH به زبری سطح خاک بیشتر از سایر پلاریزاسیون‌ها است. حساسیت سیگنال رادار به رطوبت سطح خاک و زبری سطح تا حد زیادی بر اساس زاویه فرود متفاوت است و نتایج حساسیت باز پراکنش رادار به رطوبت سطح خاک و زبری سطح می‌تواند از یک سایت به سایت دیگر و بسته به مشخصات داده تغییر کند؛ بنابراین در استفاده از داده‌های SAR استفاده از زوایای فرود پایین، برای تخمین رطوبت سطح خاک مناسب‌تر هستند این موضوع در مطالعات بغدادی و همکاران (۵) و هولا و همکاران (۱۹) نیز اثبات گردیده است.



شکل۲. رابطهٔ بین رطوبت اندازه‌گیری شده در محل با ضرایب باز پراکنش سطحی مدل Oh، [a-HH] و [b-HV] در پالسار-۲، [c-VV] و [d-VH] در سنتینل-۱.

Fig.2. Relationship between in situ measured SSM and surface Backscattering coefficients of model Oh [a-HH] and
[b-HV] in PALSAR2, [c-VV] and [d-VH] in Sentinel-1.



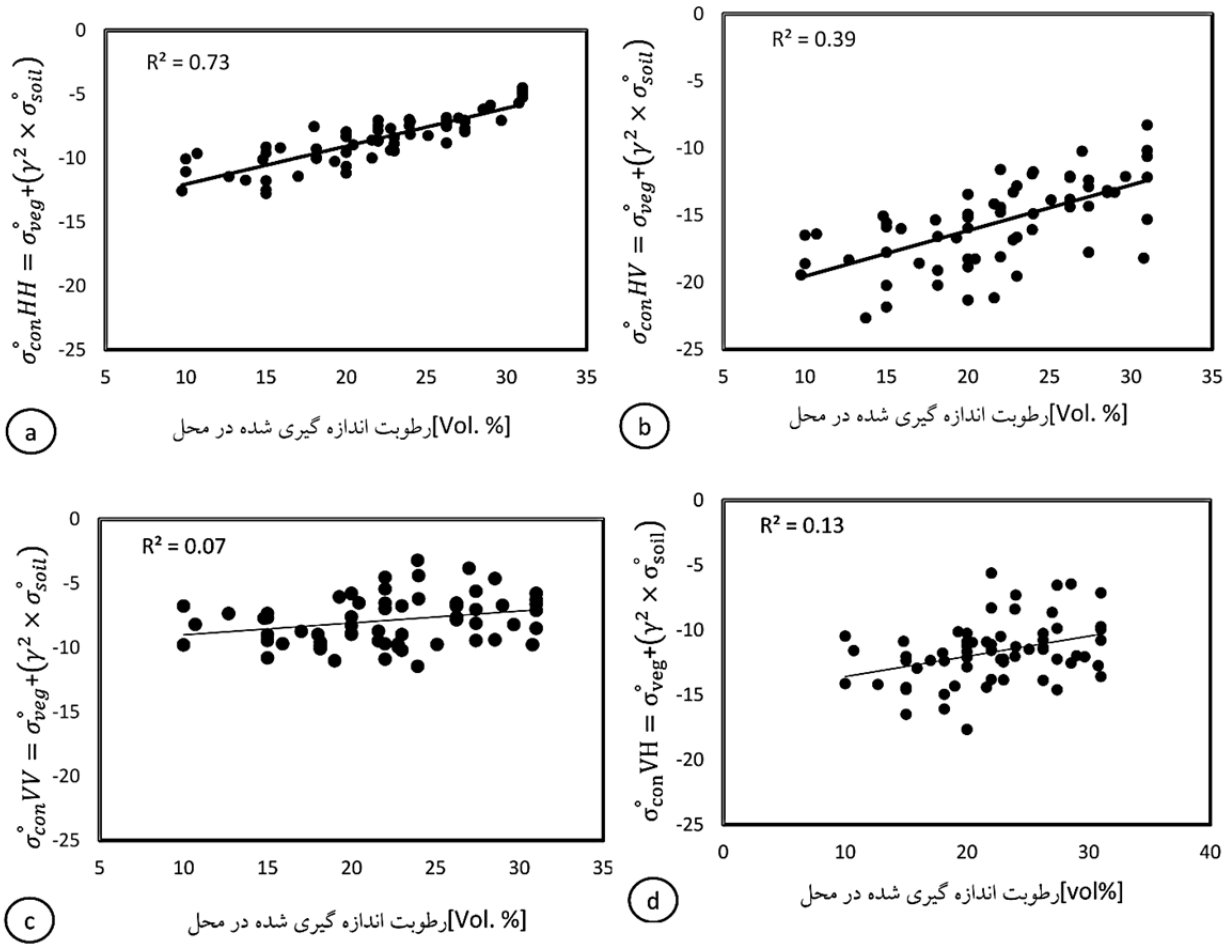
شکل۳. رابطهٔ بین زبری سطح اندازه‌گیری شده در محل با ضرایب باز پراکنش سطحی مدل Oh [e-HH] **و** [f-HV] در پالسار-۲ و [g-VV] **و** [h-VH] در سنتینل-۱.

Fig. 3. Relationship between surface roughness's measured at site and surface Backscattering coefficients of model Oh [e-HH] and [f-HV] in PALSAR2 and [g-VV] and [h-VH] in Sentinel-1.

نتایج حساسیت ضرایب کل باز پراکنش سطحی مدل ابر آب به سطوح خاک با تراکم پوشش گیاهی بیش از ۰/٤

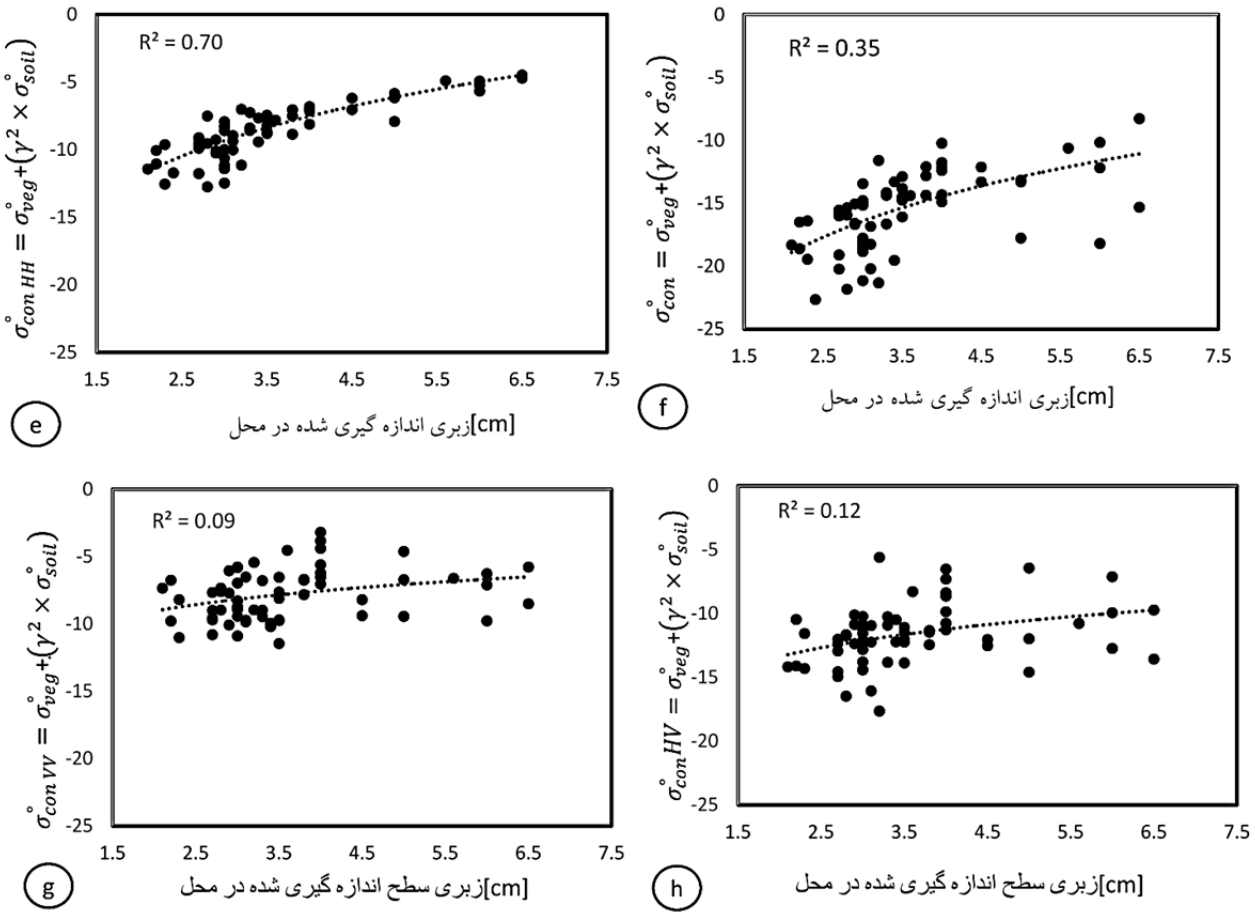
در این بخش حساسیت تصاویر پالسار-۲ و سنتینل-۱ نسبت به رطوبت سطح خاک با **تراکم پوشش گیاهی بیش از ۰/٤** و زبری سطح موردبررسی است. رابطهٔ بین کل ضرایب باز پراکنش سطحی حاصل از مدل ابر آب و رطوبت اندازه‌گیری شده در محل در پلاریزاسیون HH و HV برابر شکل ٤ است. برابر شکل 4a و 4b در پلاریزاسیون HH و HV تصاویر پالسار-۲، σ°_{HH} و σ°_{HV} به ترتیب با R^2=۰/۷۳ و R^2=۰/۳۹۹ به رطوبت سطح خاک حساس هستند. نتایج تحقیق نشان داد که حساسیت پلاریزه HH در مناطقی که دارای پوشش گیاهی با تراکم بیش از ۰/٤ است بسیار بیشتر از حساسیت پلاریزه HV بوده، همچنین حساسیت سیگنال راداری به نویز در پلاریزه HH کم ولی در پلاریزه HV زیاد بود. این موضوع نشان داد که قطبش همسان HH نسبت به پوشش گیاهی حساس است، بنابراین مدل در حضور پوشش گیاهی از ثبات بیشتری برخوردار خواهد بود. رابطهٔ بین ضرایب کل باز پراکنش سطحی حاصل از مدل ابر آب و رطوبت اندازه‌گیری شده در محل در پلاریزاسیون VV و VH در سنتینل-۱ برابر شکل 4C و 4D است. مطابق شکل 4C و 4D در پلاریزاسیون

VV و VH، $\mathring{\sigma}_{VV}$ و $\mathring{\sigma}_{VH}$ به ترتیب با R^2=۰/۰۷۳ و R^2=۰/۱۳ به رطوبت سطح خاک حساس هستند. نتایج حاصل از سنتینل-۱ در حذف تأثیرات پوشش گیاهی بسیار ضعیف است. حساسیت مدل ابر آب نسبت به زبری سطح خاک، مطابق شکل 5e و 5f در پلاریزاسیون HH و HV در پالسار-۲ $\mathring{\sigma}_{HH}$ و $\mathring{\sigma}_{HV}$ به ترتیب با R^2=۰/۷۰ و R^2=۰/۳۶ به زبری سطح خاک حساس هستند. رابطهٔ بین ضرایب کل باز پراکنش سطحی حاصل از مدل ابر آب و زبری اندازه‌گیری شده در محل در پلاریزاسیون VV و VH در سنتینل-۱ برابر شکل 5g و 5h است. برابر شکل 5g و 5h در پلاریزاسیون VV و VH، $\mathring{\sigma}_{VV}$ و $\mathring{\sigma}_{VH}$ به ترتیب با R^2=۰/۰۹ و R^2=۰/۱۲ به زبری سطح خاک حساس هستند.



شکل۴. رابطهٔ بین رطوبت اندازه‌گیری شده در محل با ضرایب باز پراکنش سطحی مدل ابر آب. [a-HH] و [b-HV] در پالسار-۲ و [c-VV] و [d-VH] درسنتینل-۱.

Fig. 4. Relationship between Gravimetric soil moisture and WCM surface Backscattering coefficients. [a-HH] and [b-HV] in PALSAR2 and [c-VV] and [d-VH] in Sentinel-1.



شکل۵. رابطهٔ بین زبری سطح اندازه‌گیری شده در محل با ضرایب باز پراکنش سطحی مدل ابر آب [e-HH] **و** [f-HV] پالسار-۲ و [g-VV] **و** [h-VH] سنتینل-۱.

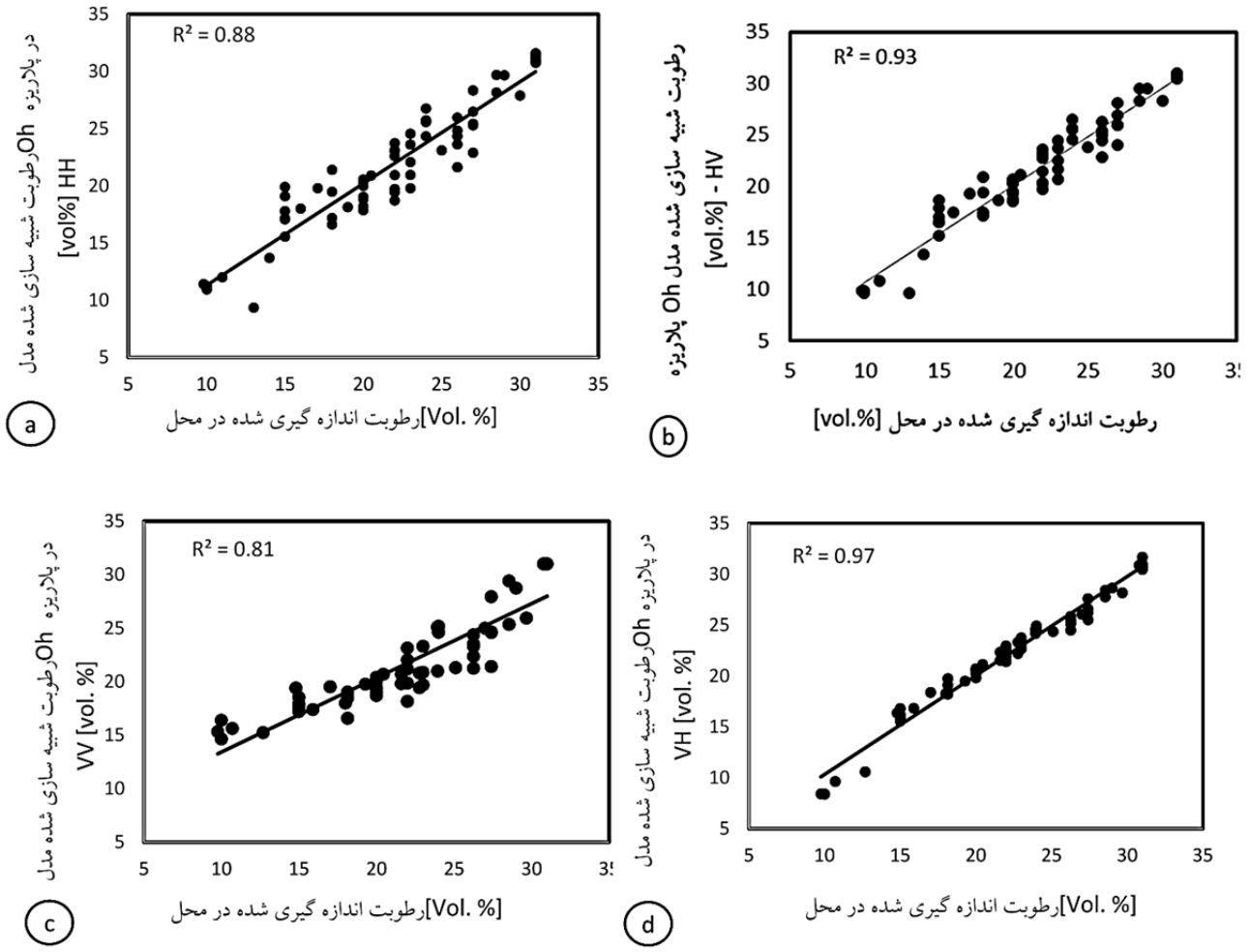
Fig.5. Relationship between surface roughness's is measured on site and surface backscattering coefficients of model Oh [e-HH] and [f-HV] PALSAR2. [g-VV] and [h-VH] in Sentinel-1.

برآورد رطوبت سطح خاک مبتنی بر مدل

نتایج حاصل از مدل‌های نیمه تجربی Oh و WCM در استخراج رطوبت سطح خاک ارائه‌شده است. از مدل Oh برای مناطقی با NDVI < 0.4 و برای مدل نیمه تجربی WCM برای مناطق با NDVI > ۰/٤ استفاده شد.

نتایج برآورد رطوبت سطح خاک با مدل Oh

در این بخش بازیابی رطوبت سطح خاک با استفاده از مدل Oh برای تصاویر پالسار-۲ و سنتینل-۱ در اراضی بایر موردبحث است. رابطهٔ بین رطوبت اندازه‌گیری شده در محل با رطوبت شبیه‌سازی‌شده توسط مدل Oh در پلاریزاسیون HH و HV برابر شکل ٦ است. برابر شکل 6a و 6b در پلاریزاسیون HH و HV در تصاویر پالسار-۲، σ°_{HH} و σ°_{HV} به ترتیب با [vol.%] R^2=۰/۸۸ و [vol.%] R^2=۰/۹۳ است. نتایج مدل نشان داد که در پلاریزاسیون HV نتایج رطوبت خاک قوی‌تر است. مطابق شکل 5c و 5d در پلاریزاسیون VV و VH برای سنتینل-۱، σ°_{VV} و σ°_{VH} به ترتیب با [vol.%] R^2=۰/۸۱ و [vol.%] R^2=۰/۹۷ است.

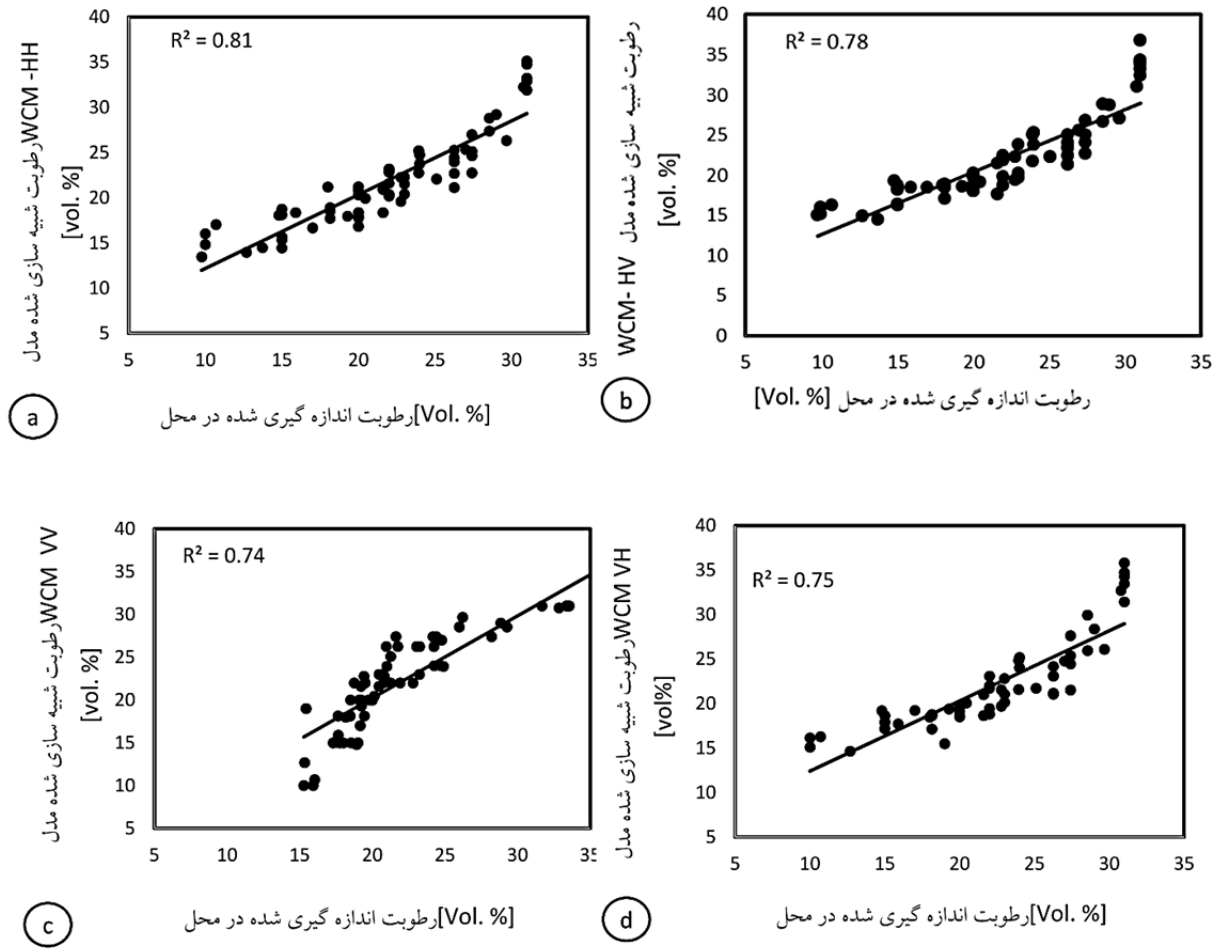


شکل۶. رابطهٔ بین رطوبت اندازه‌گیری شده در محل با رطوبت سطح خاک شبیه‌سازی‌شده با مدل Oh. [a-HH] **و** [b-HV] تصاویر پالسار-۲، [c-VV] و [d-VH] سنتینل-۱.

Fig.6. Relationship between Gravimetric soil moisture and simulated soil surface moisture with Oh model. [a-HH] and [b-HV] in PALSAR2, [c-VV] and [d-VH] in Sentinel-1.

نتایج برآورد رطوبت سطح خاک با استفاده از مدل ابر آب (WCM)

مدل WCM برای در نظر گرفتن نقش پوشش گیاهی در سیگنال باز پراکنش سطح بوده که به‌وسیله آن می‌توان برآورد نسبتاً دقیقی از رطوبت سطح خاک در اراضی پوشیده از گیاه را به دست آورد. در این بخش شبیه‌سازی رطوبت سطح خاک با استفاده از مدل WCM برای تصاویر پالسار-۲ و سنتینل-۱ در اراضی با پوشش گیاهی متراکم موردبحث است. رابطهٔ بین رطوبت اندازه‌گیری شده در محل با رطوبت شبیه‌سازی‌شده توسط مدل ابر آب در پلاریزاسیون HH و HV برابر شکل ۷ است. برابر شکل 7a و 7b در پلاریزاسیون HH و HVبرای تصاویر پالسار-۲، σ°_{HH} و σ°_{HV} به ترتیب با [vol.%] ۰/۸۱= R^2و [vol.%] R^2=۰/۷۸ است. برابر شکل 7c و 7d در پلاریزاسیون VV و VH برای سنتینل-۱، σ°_{VV} و σ°_{VH} به ترتیب با [vol.%] R^2=۰/۷۵ و [vol.%] R^2=۰/۷۶ است.



شکل۷. رابطهٔ بین رطوبت اندازه‌گیری شده در محل با رطوبت سطح خاک شبیه‌سازی‌شده با مدل ابر آب، [a-HH] و [b-HV] در پالسار-۲و [c-VV] **و** [d-VH] در سنتینل-۱.

Fig.7. Relationship between at situ measured SSM and simulated SSM with WCM model, [a-HH] and [b-HV] in PALSAR2 [c-VV] and [d-VH] Sentinel-1.

جدول۲. نتایج آماری مدل‌های رطوبت سطح خاک

Table 2. The descriptive statistics for the variables used in the models.

متغیرها	نتایج آماری مدل‌های Oh و WCM											
	ALOSPALSAR-2 (۱۳۹۹/۰۱/۲۶)						Sentinel-1 (۱۳۹۹/۰۱/۲۸)					
	Oh_HH			Oh_HV			Oh_VV			Oh_VH		
	Min	Max	Mean	Min	Max	Mean	Min	Max	Mean	Min	Max	Mean
رطوبت سطح خاک [Vol. %]	۹/۳۵	۳۱/۰۰	۲۱/۸٤	۹/٦۰	۳۰/۹۵	۲۱/۸۵	۱۵/۲۹	۳۰/۹۸	۲۲/۰۰	۱٤/٦٤	۳۱/۰۰	۲۲/۰۰
زاویه فرود (درجه)	۳۰/۰۵	۳۳/۸۱	۳۱/۷۸	۳۰/۰۵	۳۳/۸۱	۳٦/٦۵	۳۵/٤٦	۳۸/۱۳	۳٦/٦۵	۳۵/٤٦	۳۸/۱۳	۳٦/٦۵
زبری سطح (cm)	۲/۱	٦/۵	۳/۵۵	۲/۱	٦/۵	۳/۵۵	۲/۱	٦/۵	۳/۵۵	۲/۱	٦/۵	۳/۵۵
	WCM_HH			WCM_HV			WCM_VV			WCM_VH		
رطوبت سطح خاک	۱۳/٤۷	۳۰/۰۵	۲۱/۸۸	۱٤/۵۲	۳۱/۰۰	۲۱/۸۷	۱٤/٦٤	۳۱/۰۰	۲۱/۷۵	۸/۳۸	۳۰/٦٦	۲۱/۷۵
زاویه فرود (درجه)	۳۰/۰۵	۳۳/۸۱	۳۱/۷۸	۳۰/۰۵	۳۳/۸۱	۳۱/۷۸	۳۵/٤٦	۳۸/۱۳	۳٦/٦۵	۳۵/٤٦	۳۸/۱۳	۳٦/٦۵
زبری سطح (cm)	۲/۱	٦/۵	۳/۵۵	۲/۱	٦/۵	۳/۵۵	۲/۱	٦/۵	۳/۵۵	۲/۱	٦/۵	۳/۵۵

تصاویر پالسار-۲، در σ°_{HH} σ°_{HV} به ترتیب با R^2=۰/۷۳ و R^2=۰/۳۹۹ و برای دادهٔ سنتینل-۱ در پلاریزاسیون VV و VH، در σ°_{VV} و σ°_{VH} به ترتیب با R^2=۰/۰۷۳ و R^2=۰/۱۳ به رطوبت سطح خاک حساس است. نتایج حاصل از داده سنتینل-۱ در حذف تأثیرات پوشش گیاهی و شبیه‌سازی ضرایب باز پراکنش سطحی بسیار ضعیف است، دلیل این امر در نظر نگرفتن پارامتر زبری توسط مدل ابر آب و همچنین بالا بودن سطح رطوبت در محدوده مطالعاتی بوده که باعث کاهش نفوذ موج گردیده است.

نتایج تحقیق نشان داد که حساسیت پلاریزه HH در مناطقی که دارای پوشش گیاهی با تراکم بیش از ۰/٤ است بسیار بیشتر از حساسیت پلاریزه HV بوده، همچنین حساسیت سیگنال راداری به نویز در پلاریزه HH کم ولی در پلاریزه HV زیاد بود. این موضوع نشان داد که قطبش همسان HH نسبت به پوشش گیاهی حساس است، بنابراین مدل در حضور پوشش گیاهی از ثبات بیشتری برخوردار خواهد بود. رابطهٔ زبری اندازه‌گیری شده در محل با ضرایب باز پراکنش سطحی مدل WCM برای تصاویر پالسار-۲، σ°_{HH} و σ°_{HV} به ترتیب با R^2=۰/۷۰ و R^2=۰/۳٦ و برای سنتینل-۱ در پلاریزاسیون VV و VH، σ°_{VV} و σ°_{VH} به ترتیب با R^2=۰/۰۹ و R^2=۰/۱۲ به ضرایب باز پراکنش سطحی حساس هستند. نتایج نشان داد که حساسیت ضرایب باز پراکنش سطحی در سنتینل-۱ نسبت به زبری سطح بسیار ضعیف است.

در بخش برآورد رطوبت خاک مبتنی بر مدل Oh برای داده‌ی پالسار-۲ و سنتینل-۱ در اراضی لخت در پلاریزاسیون HH و HV برای تصاویر پالسار-۲، σ°_{HH} و σ°_{HV} به ترتیب با RMSE=۱/۹۲٤ [vol. %]، R^2=۰/۸۸ و RMSE=۱/٤٥ [vol. %]، R^2=۰/۹۳ و برای داده سنتینل-۱، σ°_{VV} و σ°_{VH} به ترتیب با RMSE=۲/۵۷ [vol. %]، R^2=۰/۸۱ و RMSE=۰/۹۰ [vol. %]، R^2=۰/۹۷ است. نتایج مدل Oh نشان داد که در پلاریزاسیون HV تصاویر پالسار-۲ و پلاریزه VH سنتینل-۱ نتایج رطوبت خاک قوی‌تر است. نتایج رطوبت خاک در مدل WCM در اراضی دارای پوشش گیاهی برای تصاویر پالسار-۲ در

نتیجه‌گیری

در این تحقیق پتانسیل تصاویر پالسار-۲ و سنتینل-۱ به‌منظور برآورد رطوبت سطح خاک در اراضی با تراکم پوش گیاهی کمتر از ۰/٤ و تراکم پوش گیاهی بیش از ۰/٤ در محدوده تحقیق موردبررسی و تحلیل قرار گرفت. با استفاده از نمونه‌برداری تصادفی خوشه‌ای نمونه‌های رطوبت خاک به روش وزنی، زبری سطح با استفاده از دو دوربین دیجیتال و محتوی آب گیاهی با جمع‌آوری گیاهان در پلات‌های یک مترمربعی در محل هر خوشه مطابق بازمان اخذ تصویر SAR اندازه‌گیری شد. تمرکز تحقیق بر روی دو موضوع اساسی حساسیت ضرایب باز پراکنش سطحی تصاویر SAR به رطوبت سطح خاک و برآورد رطوبت سطح خاک مبتنی بر مدل Oh و WCM است. در بخش حساسیت سیگنال رادار به رطوبت سطح خاک در مدل Oh در پلاریزه HH، HV برای تصاویر پالسار-۲ و سنتینل-۱ در پلاریزاسیون VV و VH در محدوده‌هایی که دارای NDVI < ۰/٤ بود بررسی گردید. در پلاریزاسیون HH و HV تصاویر پالسار-۲، در σ°_{HH} با R^2=۰/۸٦، σ°_{HV} با R^2=۰/۹۰۵ و برای تصاویر سنتینل-۱، در σ°_{VV} با R^2=۰/۹۱، σ°_{HV} با R^2=۰/۹۳ به رطوبت سطح خاک حساس است. نتایج تحقیق نشان داد که حساسیت پلاریزه HV در تصاویر پالسار-۲ و پلاریزه VH در سنتینل-۱ در مناطقی که دارای پوشش گیاهی با تراکم کمتر از ۰/٤ است بسیار بیشتر از حساسیت پلاریزه HH پالسار-۲ و پلاریزه VV سنتینل-۱ است. همچنین حساسیت باز پراکنش سطحی مدل Oh در پالسار-۲ در پلاریزه HH با R^2=۰/۹٦ و در پلاریزه HV با R^2=۰/۹٤ و برای داده سنتینل-۱ در پلاریزه VV با R^2=۰/۷۲ و در پلاریزه VH R^2=۰/۷٤ به زبری سطح حساس است. نتایج تحقیق نشان داد حساسیت پلاریزه HH تصاویر پالسار-۲ و پلاریزه VH سنتینل-۱ به زبری سطح بیشتر از سایر پلاریزاسیون‌ها است.

در مناطق دارای پوشش گیاهی که تراکم آن بیشتر از ۰/٤ است. رابطهٔ بین کل ضرایب باز پراکنش سطحی حاصل از مدل ابر آب و رطوبت اندازه‌گیری شده در پلاریزاسیون HH و HV

پلاریزاسیون HH و HV $\mathring{\sigma}_{HH}$ و $\mathring{\sigma}_{HV}$ به ترتیب با [vol.%] RMSE=۲/٤٤، R^2=۰/۸۱ و [vol.%] RMSE=۲/٦٤، R^2=۰/۷۸ و برای Sentinel-1، $\mathring{\sigma}_{VV}$ و $\mathring{\sigma}_{VH}$ به ترتیب با [vol.%] RMSE=۲/۷٤، R^2=۰/۷۵ و [vol.%] RMSE=۲/٦۹، R^2=۰/۷٦ است. در بحث برآورد رطوبت خاک با مدل WCM نتایج پالسار-۲ در پلاریزه HH با [vol.%] R^2=۰/۸۱ در اراضی با تراکم پوشش گیاهی بیشتر از ۰/٤ درصد دارای نتیجه بهتری است. هدف اصلی تحقیق مقایسه دو داده SAR (سنجنده پالسار-۲ از آلوس و سنجنده سنتینل-۱) در برآورد رطوبت سطح خاک است. مقایسه دو داده SAR در محدوده نشان داد، تصاویر پالسار-۲ به دلیل طول‌موج بلند و عمق نفوذ بیشتر در خاک و پوشش گیاهی، برای برآورد رطوبت سطح خاک در محدوده تحقیق و مناطق مشابه کارایی بیشتری دارد. همسو با موضوع پژوهش تحقیقات دیگری صورت گرفته ازجمله آلیشان و همکاران (۱) در پژوهشی اقدام به برآورد رطوبت سطح خاک در اراضی بایر با استفاده از داده‌های آلوس-۲ و سنتینل-۱ کرده‌اند که به این نتیجه رسیدند که مدل WCM در حذف محتوی آب گیاهی و برآورد رطوبت سطح با استفاده از معکوس مدل در هر دو داده آلوس-۲ و سنتینل-۱ بالا بوده است. در تحقیقی که توسط زریبی و دچامبر (۳٦) صورت گرفته بود نشان دادند که مدل OH در دو پلاریزه HV و HH با RMSE کمتری قادر به برآورد رطوبت سطح خاک است. این تحقیق برای مدیریت محیط‌زیست، کشاورزی، منابع طبیعی و مدیریت منابع آب مناسب بوده و کمک شایانی به مدل‌سازی-های هیدرولوژیکی می‌نماید.

تقدیر و تشکر

نویسندگان مقاله مراتب سپاس و قدردانی خویش، از آقای دکتر مهدی معتق جهت تأمین بخشی از داده‌های تحقیق را تقدیم می‌نمایند.

References

1. Aliihsan S, Marangoz AM, Abdikan S. 2020. ALOS-2 and Sentinel-1 SAR data sensitivity analysis to surface soil moisture over bare and vegetated agricultural fields. Computers and Electronics in Agriculture, 171: 105303. doi:https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105303.
2. Autret M, Bernard R, Vidal-Madjar D. 1989. Theoretical study of the sensitivity of the microwave backscattering coefficient to the soil surface parameters. Remote Sensing, 10(1): 171-179. doi:https://doi.org/10.1080/01431168908903854.
3. Baghdadi N, Cerdan O, Zribi M, Auzet V, Darboux F, El Hajj M, Kheir RB. 2008. Operational performance of current synthetic aperture radar sensors in mapping soil surface characteristics in agricultural environments: application to hydrological and erosion modelling. Hydrological Processes: An International Journal, 22(1): 9-20. doi:https://doi.org/10.1002/hyp.6609.
4. Baghdadi N, Choker M, Zribi M, Hajj ME, Paloscia S, Verhoest NE, Lievens H, Baup F, Mattia F. 2016. A new empirical model for radar scattering from bare soil surfaces. Remote Sensing, 8(11): 920. doi:https://doi.org/10.3390/rs8110920.
5. Baghdadi N, Cresson R, Todoroff P, Moinet S. 2010. Multitemporal observations of sugarcane by TerraSAR-X images. Sensors, 10(10): 8899-8919. doi:https://doi.org/10.3390/s101008899.
6. Baghdadi N, El Hajj M, Zribi M, Bousbih S. 2017. Calibration of the water cloud model at C-band for winter crop fields and grasslands. Remote Sensing, 9(9): 969. doi:https://doi.org/10.3390/rs9090969.
7. Baghdadi N, King C, Bonnifait A. 2002. An empirical calibration of the integral equation model based on SAR data and soil parameters measurements. In: IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium. IEEE, pp 2646-2650.
8. Bindlish R, Barros AP. 2001. Parameterization of vegetation backscatter in radar-based, soil moisture estimation. Remote Sensing of Environment, 76(1): 130-137. doi:https://doi.org/10.1016/S0034-4257(00)00200-5.

9. Cashion J, Lakshmi V, Bosch D, Jackson TJ. 2005. Microwave remote sensing of soil moisture: evaluation of the TRMM doi:https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2004.10.019.
10. Champion I, Guyot G. 1991. Generalized formulation for semi-empirical radar models representing crop backscattering. In: 5. International Colloquium, vol 319. ASE.
11. Chen K-S, Wu T-D, Tsang L, Li Q, Shi J, Fung AK. 2003. Emission of rough surfaces calculated by the integral equation method with comparison to three-dimensional moment method simulations. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 41(1): 90-101. doi:https://doi.org/10.1109/TGRS.2002.807587.
12. Choker M, Baghdadi N, Zribi M, El Hajj M, Paloscia S, Verhoest NE, Lievens H, Mattia F. 2017. Evaluation of the Oh, Dubois and IEM backscatter models using a large dataset of SAR data and experimental soil measurements. Water, 9(1): 38. doi:https://doi.org/10.3390/w9010038.
13. Das K, Paul PK. 2015. Present status of soil moisture estimation by microwave remote sensing. Cogent Geoscience, 1(1): 1084669. doi:https://doi.org/10.1080/23312041.2015.1084669.
14. Dubois PC, Van Zyl J, Engman T. 1995. Measuring soil moisture with imaging radars. IEEE transactions on geoscience and remote sensing, 33(4): 915-926. doi:https://doi.org/10.1109/36.406677.
15. El Hajj M, Baghdadi N, Zribi M, Rodríguez-Fernández N, Wigneron JP, Al-Yaari A, Al Bitar A, Albergel C, Calvet J-C. 2018. Evaluation of SMOS, SMAP, ASCAT and Sentinel-1 soil moisture products at sites in Southwestern France. Remote Sensing, 10(4): 569. doi:https://doi.org/10.3390/rs10040569.
16. Fung A, Chen K. 1992. Dependence of the surface backscattering coefficients on roughness, frequency and polarization states. International Journal of Remote Sensing, 13(9): 1663-1680. doi:https://doi.org/10.1080/01431169208904219.
17. Fung AK, Li Z, Chen K-S. 1992. Backscattering from a randomly rough dielectric surface. IEEE Transactions on microwave imager (TMI) satellite for the Little River Watershed Tifton, Georgia. Journal of Hydrology, 307(1): 242-253. Geoscience and Remote Sensing, 30(2): 356-369. doi:https://doi.org/10.1109/36.134085.
18. He L, Chen JM, Chen K-S. 2017. Simulation and SMAP observation of sun-glint over the land surface at the L-band. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 55(5): 2589-2604. doi:https://doi.org/10.1109/TGRS.2017.2648502.
19. Holah N, Baghdadi N, Zribi M, Bruand A, King C. 2005. Potential of ASAR/ENVISAT for the characterization of soil surface parameters over bare agricultural fields. Remote Sensing of Environment, 96(1): 78-86. doi:https://doi.org/10.1016/j.rse.2005.01.008.
20. Hong Z, Zhang W, Yu C, Zhang D, Li L, Meng L. 2018. Swcti: Surface water content temperature index for assessment of surface soil moisture status. Sensors, 18(9): 2875. doi:https://doi.org/10.3390/s18092875.
21. Huang S, Ding J, Zou J, Liu B, Zhang J, Chen W. 2019. Soil moisture retrival based on sentinel-1 imagery under sparse vegetation coverage. Sensors, 19(3): 589. doi:https://doi.org/10.3390/s19030589.
22. Lo MH, Famiglietti JS. 2013. Irrigation in California's Central Valley strengthens the southwestern US water cycle. Geophysical Research Letters, 40(2): 301-306. doi:https://doi.org/10.1002/grl.50108.
23. Oh Y. 2004. Quantitative retrieval of soil moisture content and surface roughness from multipolarized radar observations of bare soil surfaces. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 42(3): 596-601. doi:https://doi.org/10.1109/TGRS.2003.821065.
24. Oh Y, Kay YC. 1998. Condition for precise measurement of soil surface roughness. IEEE transactions on geoscience and remote sensing, 36(2): 691-695. doi:https://doi.org/10.1109/36.662751.
25. Oh Y, Sarabandi K, Ulaby FT. 1992. An empirical model and an inversion technique for radar scattering from bare soil surfaces. IEEE transactions on Geoscience and Remote Sensing, 30(2): 370-381. doi:https://doi.org/10.1109/36.134086.

26. Oh Y, Sarabandi K, Ulaby FT. 1994. An inversion algorithm for retrieving soil moisture and surface roughness from polarimetric radar observation. In: Proceedings of IGARSS'94-1994 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium. IEEE, pp 1582-1584.
27. Oh Y, Sarabandi K, Ulaby FT. 2002. Semi-empirical model of the ensemble-averaged differential Mueller matrix for microwave backscattering from bare soil surfaces. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 40(6): 1348-1355. doi:https://doi.org/10.1109/TGRS.2002.800232.
28. Paloscia S, Pettinato S, Santi E, Notarnicola C, Pasolli L, Reppucci A. 2013. Soil moisture mapping using Sentinel-1 images: Algorithm and preliminary validation. Remote Sensing of Environment, 134: 234-248. doi:https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.02.027.
29. Pettinato S, Santi E, Paloscia S, Pampaloni P, Fontanelli G. 2013. The intercomparison of X-band SAR images from COSMO‐SkyMed and TerraSAR-X satellites: Case studies. Remote Sensing, 5(6): 2928-2942. doi:https://doi.org/10.3390/rs5062928.
30. Prévot L, Champion I, Guyot G. 1993. Estimating surface soil moisture and leaf area index of a wheat canopy using a dual-frequency (C and X bands) scatterometer. Remote Sensing of Environment, 46(3): 331-339. doi:https://doi.org/10.1016/0034-4257(93)90053-Z.
31. Sikdar M, Cumming I. 2004. A modified empirical model for soil moisture estimation in vegetated areas using SAR data. In: IGARSS 2004. 2004 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium. IEEE, pp 803-806. http://dx.doi.org/810.1109/IGARSS.2004.1368526.
32. Sorooshian S, Li J, Hsu Kl, Gao X. 2011. How significant is the impact of irrigation on the local hydroclimate in California's Central Valley? Comparison of model results with ground and remote-sensing data. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 116(D6). doi: https://doi.org/10.1029/2010JD014775.
33. Ulaby FT, Moore RK, Fung AK. 1986. Microwave remote sensing: Active and passive. Volume 3-From theory to applications. doi:https://doi.org/10.1109/TGE.1978.29458.
34. Yin Z, Lei T, Yan Q, Chen Z, Dong Y. 2013. A near-infrared reflectance sensor for soil surface moisture measurement. Computers and Electronics in Agriculture, 99: 101-107. doi:https://doi.org/10.1016/j.compag.2013.08.029.
35. Zhao X, Huang N, Song X-F, Li Z, Niu Z. 2016. A new method for soil moisture inversion in vegetation-covered area based on Radarsat 2 and Landsat 8. J Infrared Millim Waves, 35(5): 609-616. doi:https://doi.org/10.11972/j.issn.1001-9014.2016.05.016.
36. Zribi M, Dechambre M. 2003. A new empirical model to retrieve soil moisture and roughness from C-band radar data. Remote Sensing of Environment, 84(1): 42-52. doi:https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00069-X.

RS & GIS for Natural Resources
(Vol. 13/ Issue 1) Spring 2022
Indexed by ISC, SID, Magiran, Noormags, Civilica, Google Scholar
journal homepage : www.girs.iaubushehr.ac.ir

Original paper

Comparing the estimation of soil surface moisture in agricultural lands using SAR data: ALOS PALSAR-2 and Sentinel-1A data

Sadolla Sangini, Hadi Fadaei, Amir Sadoddin, Vahedberdi Sheikh, Chogi Bairam Komaki

Received: 1 January 2021 / Received in revised form 24 April 2021 / Accepted: 16 May 2021
Available online 20 May 2021

Abstract

Background and Objective Aq Qala plain is one of the fertile plains of Golestan province. Runoff accumulation and flood formation cause a lot of human and financial losses. Understanding the temporal and spatial distributions of soil surface moisture is a key variable in simulating runoff and reducing flood hazards in the research area. In this study, the soil moisture content was investigated using data from ALOS PALSAR-2 radar satellites in the L band and Sentinel 1 in the C band.

Materials and Methods In this research, three series of ALOS PALSAR-2 radar data, Sentinel 1, and optical data of Sentinel 2A were used. To calculate the soil surface moisture, first soil samples were taken and weighed at a depth of 5 cm in each cluster by weight method. After drying the samples in the oven, the dry and wet weight was calculated. Then two important parameters of soil moisture, including dielectric constant and soil surface roughness were measured. The dielectric constant was calculated using TDR and the roughness was calculated using two digital cameras. Using Agisoft photo scan and Arc GIS software, a digital elevation model and surface roughness profiles were extracted. Radar data were processed with SNAP software from the European Space Agency (ESA). The processing steps included radiometric calibration, sigma note extraction in decibels, filtration of Lee filter and 5x5 kernel size, geometric correction and finally geocoding of all three data. With Sentinel-2 optical data, while preparing vegetation and moisture indices, a land-use map was prepared with the Forrest random algorithm. Then, with the values of roughness, dielectric constant and plant and moisture indices in MATLAB 2019 software environment, two models Oh, and WCM were coded and the soil moisture values were calculated and taken out. Then the moisture obtained from the surface redistribution model with gravity, moisture at the site, and previous studies was evaluated.

S. Sangini [1], H. Fadaei [2], A. Sadoddin(✉) [3], V. b. Sheikh [4], Ch. B. Komaki [5]

1. Ph.D. Student, Watershed Management, Department of Watershed Management, Faculty of Natural Resources, University Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
2. Assistant Professor, Department of Geography, Faculty of Geography, Amin Police University, Tehran, Iran
3. Associate Professor, Department of Watershed Management, Faculty of Natural Resources, University Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
4. Associate Professor, Department of Watershed Management, Faculty of Natural Resources, University Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
5. Assistant Professor, Department of Desert Management, Faculty of Natural Resources, University Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

e-mail: amir.sadoddin@gau.ac.ir

http://dorl.net/dor/20.1001.1.26767082.1401.13.1.1.9

Results and Discussion In terms of radar signal sensitivity to soil surface moisture in Oh model in HH and HV polarization ALOS PALSAR- 2, in σ°_{HH} with R^2 = 0.86, σ°_{HV} with R^2 = 0.905 and for Sentinel-1 images, in σ°_{VV} with R^2 = 0.91 and σ°_{VH} with R^2 = 0.93 are sensitive to soil surface moisture. The surface backscattering coefficients sensitivity of the Oh model in ALOS PALSAR-2 in HH polarization and in HV polarization and for Sentinel-1 data in VV polarization and in VH polarization is sensitive to surface roughness. Also, the surface backscattering coefficients sensitivity of the Oh model in ALOS PALSAR-2 in HH polarization with R^2 = 0.96 and in HV polarization with R^2 = 0.94 and for Sentinel-1 data in VV polarization with R^2 = 0.72 and in VH polarization with R^2 = 0.74 is sensitive to surface roughness. Relationship between total surface backscattering coefficients obtained from the Water cloud model and soil surface moisture measured in HH and HV polarization PALSAR-2 images, in σ°_{HH} and σ°_{HV} with R^2 = 0.73 and R^2 = 0.399, respectively, and for Sentinel-1 data in polarization VV and VH, in σ°_{VV} and σ°_{VH} with R^2 = 0.073 and R^2 = 0.13, respectively, are sensitive to soil surface moisture. In the soil moisture estimation section based on Oh model for PALSAR-2 and Sentinel-1 data on bare lands in HH and HV polarization for PALSAR-2, σ°_{HH} and σ°_{HV} with R^2 = 0.88, RMSE = 1.924 [vol. %] and R^2 = 0.93, RMSE = 1.45 [vol. %] for Sentinel-1 data, respectively, σ°_{VV} and σ°_{VH} are with R^2 = 0.81, RMSE = 2.57 [vol. %] and R^2 = 0.97, RMSE = 0.90 [vol. %], respectively. The results of Oh model showed that in HV polarization, Pulsar-2 images and VH sentinel-1 polarization images have stronger soil moisture results. Soil moisture results in WCM model in vegetated lands for PALSAR-2 images in HH and HV polarization in σ°_{HH} and σ°_{HV}, respectively, with R^2 = 0.81, RMSE = 2.44 [vol. %] and R^2 = 0.78, RMSE = 2.64 [vol. %], R^2 = 0.88, RMSE = 1.924 [vol. %] for Sentinel-1 in σ°_{VV} and σ°_{VH} with R^2 = 0.75, RMSE = 2.74 [vol. %] and R^2 = 0.76, RMSE = 2.69 [vol. %], respectively. In the discussion of estimating soil moisture with WCM model, the results of PALSAR-2 in polarization HH with R^2 = 0.81 [vol. %] in lands with vegetation density of more than 0.4% have better results.

Conclusion In the Oh model, the results showed that the sensitivity of HV polarization in PALSAR-2 images and VH polarization in Sentinel-1 in an area with vegetation density less than 0.4 is much higher than the polarization sensitivity of HH PALSAR-2 and polarized VV Sentinel-1. Also, the HH polarization sensitivity of PALSAR-2 and VH Sentinel-1 polarized images to surface roughness is higher than other polarizations. In the Water cloud model, the results obtained from Sentinel-1 data by eliminating the effects of vegetation and simulating the surface backscattering coefficients are very poor. Has reduced the penetration of the wave. The results showed that the polarization sensitivity of HH in areas with vegetation with a density of more than 0.4 was much higher than the polarization sensitivity of HV, also the sensitivity of the radar signal to noise was low in polarized HH but high in polarized HV. This showed that the polarization of the HH matrix is sensitive to vegetation, so the model will be more stable in the presence of vegetation. A comparison of two SAR data in the range showed that PALSAR-2 images are more efficient for estimating soil surface moisture in the study area and similar areas due to their long wavelength and depth of penetration into soil and vegetation. In line with the research topic, other researchers, including Alishan et al. A study has attempted to estimate soil surface moisture in barren lands using PALSAR-2 and Sentinel-1 data, which concluded that the WCM model eliminates plant water content. And surface moisture estimation using the inverse model was high in both PALSAR-2 and Sentinel-1 data. A study by Zaribi et al. Showed that the OH model in both polarized HV and HH with lower RMSE is able to estimate soil surface moisture. This research is suitable for environmental management, agriculture, natural resources, and water resources management and contributes significantly to hydrological modeling.

Keywords: Soil surface moisture, ALOS PALSAR-2 sensor, Sentinel-1A, Oh model, Water cloud model

Please cite this article as: Please cite this article as: Sangini S, Fadaei H, Sadoddin A, Sheikh VB, Komaki ChB. 2022. Comparing the estimation of soil surface moisture in agriculture lands using SAR data: ALOS PALSAR-2 and Sentinel-1A data. Journal of RS and GIS for Natural Resources, 13(1): 1-20. http://dorl.net/dor/20.1001.1.26767082.1401.13.1.1.9