

مدل‌سازی خطی رطوبت خاک با استفاده از تجزیه و انتخاب ویژگی‌های تمام قطبیده راداری

اسماعیل خدری^۱، مهدی حسنلو^{۲*}

-۱ دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران
-۲ استادیار، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۰۲/۲۶ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۱۱/۲۳

چکیده

رطوبت خاک یک متغیر کلیدی در فرآیند هیدرولوژی است، که تحت تأثیر تبادل آب و انرژی در سطح زمین می‌باشد. برآورد دقیق از تغییرات مکانی و زمانی رطوبت خاک برای مطالعات زیست محیطی بسیار حیاتی می‌باشد. برای جنین هدفی تصاویر تمام قطبیده راداری (PolSAR) یک ابزار مناسب و قدرتمند می‌باشد. همچنین این تصاویر هم پوشش وسیع و هم‌توان تفکیک مکانی مناسب را تضمین می‌نمایند. در این مطالعه، یک مدل تحلیلی خطی برای تخمین رطوبت خاک با استفاده از داده‌های اخذشده توسط سنجنده ابرسار در سال ۲۰۰۳ در باندهای C, L, P , پیشنهاد شده است. در این راستا با استفاده از الگوریتم ژنتیک، انتخاب روبه جلو و روبه عقب ویژگی به بررسی و انتخاب ویژگی‌های مناسب قطبیده به منظور مدل‌سازی اقدام شده است. همچنین برآورد انجام‌شده رطوبت خاک با اندازه‌گیری‌های زمینی مقایسه شده است. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد مدل تحلیلی خطی پیشنهاد شده با ویژگی‌های که الگوریتم ژنتیک انتخاب کرده است، با دقت بیشتری نسبت به الگوریتم‌های روبه جلو و روبه عقب ویژگی رطوبت خاک را مدل‌سازی می‌کند. پارامترهای آماری به دست آمده با استفاده از این روش R^2 بالای ۸۰٪ و محدود میانگین مربع خطای کمتر از ۲۸۰ برای باندهای P, L, C می‌باشد که در مقایسه با سایر الگوریتم‌ها با دقت بیشتری رطوبت خاک را تخمین زده است. همچنین مدل تحلیلی خطی پیشنهاد شده با استفاده از ویژگی‌های باند C رطوبت خاک با دقت بالاتری نسبت به مدل تحلیلی خطی ویژگی‌های باند های L و P تخمین زده شده است.

کلیدواژه‌ها: مدل تحلیلی خطی، رطوبت خاک، الگوریتم ژنتیک، الگوریتم رو به جلو، الگوریتم رو به عقب.

* نویسنده مکاتبه کننده: خیابان کارگرشمالی، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران
تلفن: ۶۱۱۱۴۵۲۵

۱- مقدمه

رابطه بین پارامترهای سطح خاک و سیگنال رادار از طریق مدل‌های باز پراکنش بیان می‌گردد که اصول کلی این مدل‌ها بدین شکل است که σ^0 ضریب باز پراکنش^۹ تابعی از پارامترهای سنجنده مانند زاویه برخورد^{۱۰} طول موج و قطبش^{۱۱} و پارامترهای هدف که به خصوصیات سطح مانند زبری و رطوبت خاک و غیره مربوط است [۴]. درنتیجه رادار با روزنه مجازی و با خصوصیت تمام قطبیده، پتانسیل بالایی در بازیابی پارامترهای فیزیکی سطح مانند رطوبت و زبری سطح دارد [۴].

برای محاسبه پارامترهای سطح مدل‌های بسیاری از باز پراکنش توسط آه و همکاران که با استفاده از نسبت ضرایب باز پراکنش در پلاریزاسیون‌های مختلف رطوبت خاک را تخمین می‌زنند [۴].

ایبل و همکاران مدل نیمه‌تحلیلی^{۱۲} WCM را پیشنهاد داد که در آن باز پراکنش گیاهان نیز همانند باز پراکنش سطح خاک روی ضریب باز پراکنش کلی رادار در نظر گرفته شده است [۵]، با این وجود عامل زبری سطح خاک که اثرات زیادی بر روی ضریب پس پراکنش رادار دارد در این مدل لحاظ نشده در نتیجه مدل WCM تنها برای زمین‌های با ناهمواری بسیار کم مناسب می‌باشد. در این راستا حسینی و سراجیان مدل WCM را توسعه دادند و بهمنظور حذف توأم اثر پوشش گیاهی و زبری سطح از روی ضریب باز پراکنش رادار و مدل^{۱۳} $IWCM$ را پیشنهاد دادند [۶]. همچنین ماربیزین و همکاران با استفاده از تکنیک تجزیه پلاریمتری داده‌های^{۱۴} $AIRSAR$ ^{۱۵} در باند C و L رطوبت خاک را با دقت بالای محاسبه کردند. در این تحقیق با فیلتر کردن زبری سطح و تفاوت قائل شدن

آب قابل دسترس برای گیاهان که به طور معمول در cm ۲۰ بالای خاک می‌باشد، را رطوبت خاک^۱ گویند [۱]. در مقایسه با مقدار آب موجود در جهان این لایه نازک ممکن است ناچیز به نظر برسد ولی باز هم در بسیاری از فرآیندهای هیدرولوژی^۲، بیولوژی^۳ و زیست محیطی^۴ از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشد [۲]. محققان نشان داده‌اند که باز خورد قویی بین آنامولی رطوبت خاک و آب و هوای منطقه مورد نظر وجود دارد، درنتیجه تهیه نقشه‌های رطوبت خاک با دقت بالا در کم را از آب و هوای منطقه مورد نظر بهبود می‌بخشد [۱]. بررسی و پیاده‌سازی الگوریتم‌ها برای بازیابی پارامترهای سطح خاک مانند زبری^۵ می‌تواند کمک شایانی در بسیاری از کاربردها داشته باشد. پتانسیل رادار با روزنه مجازی^۶ برای اندازه‌گیری پارامترهای خاک بیش از ۳۰ سال است که شناخته شده است [۱، ۳ و ۴]. بنابراین پیدا کردن یک راه حل جدید برای تخمین رطوبت خاک با استفاده از داده‌های رادار با روزنه مجازی از اهمیت خاصی برخوردار است. خصوصیات تصاویر تمام قطبیده راداری (*PolSAR*) برای حصول اطمینان هم در پوشش گسترده و هم‌توان تفکیک مکانی بالا، آن را به یک ابزار کارآمد برای تخمین رطوبت خاک در مقایسه با داده‌های غیرفعال^۷ بسیار قوی‌تر می‌سازد [۳]. اثرات پوشش گیاهی و زبری سطح شدت سیگنال داده‌های فعل^۸ را در مقایسه با داده‌های غیرفعال تحت تأثیر قرار می‌دهد و از همین خصوصیت برای تخمین رطوبت خاک استفاده می‌شود [۳].

¹ Soil Moisture² Hydrology³ Biology⁴ Environmental⁵ Roughness⁶ Synthetic aperture radar⁷ Passive⁸ Active⁹ Backscattering Coefficients¹⁰ Incident angle¹¹ Polarization¹² Water Cloud Model¹³ Improved Water Cloud Model¹⁴ Airborne Synthetic aperture radar

تصاویر استفاده شود. در مطالعه‌ای حدادی و همکاران به کمک الگوریتم ژنتیک و طبقه‌بندی کننده شبکه عصبی و در مطالعه صالحی و همکاران به کمک الگوریتم ژنتیک و روش ماشین بردار پشتیبان، روشی برای انتخاب ویژگی مناسب از تصاویر را درست-۲ ارائه داده‌اند [۱۳ و ۱۴]. همچنین ایکرمو با استفاده از الگوریتم ترکیبی انتخاب ویژگی رو به جلو و رو به عقب به انتخاب ویژگی‌های بهینه پرداخته است، این روش باعث افزایش دقت طبقه‌بندی و هم افزایش سرعت الگوریتم اجرایی شده است [۱۵].

سایر محققان در سال‌های گذشته برای تعیین رابطه بین سیگنال رadar و پارامترهای سطح رویه‌های را توسعه داده‌اند که بیشتر مطالعات آنها برای شناسایی اثر زبری سطح و پوشش گیاهی^۲ در تخمین رطوبت خاک بوده است [۱، ۴ و ۵].

همان‌طور که بیان شد تاکنون تعداد زیادی مدل‌های تجربی و تئوری محاسبه رطوبت خاک پیشنهادشده است که هر کدام دارای یک سری معایب و مزایا برای محاسبه رطوبت خاک بودند از طرفی با توجه به قابلیت‌های تصویر رadar در استخراج ویژگی‌های^۳ مختلف از مکانیزم سطح زمین ما را بر این می‌دارد که با استفاده از تجزیه تصاویر تمام قطبیده رadarی به تخمین رطوبت خاک بپردازیم. هدف این تحقیق ارائه یک مدل تحلیلی خطی برای تخمین رطوبت خاک با استفاده تجزیه تصاویر تمام قطبیده رadarی می‌باشد.

روش پیشنهادی، یک روش تحلیلی خطی با در نظر گرفتن چندین سناریو است. در سناریو اول، این مدل‌سازی را با تمام ویژگی‌های ممکن بهمنظور تخمین رطوبت خاک انجام می‌شود. در سناریو دوم، با به کارگیری روش‌های انتخاب ویژگی می‌توانیم زیرمجموعه بهینه از ویژگی‌های موجود را انتخاب کنیم.

امضاء طیفی پوشش گیاهی و خاک از روی سطح زمین این تخمین انجام شده است [۷].

در تحقیقی دیگر، طباطبایی نژاد و همکاران یک مدل جدید برای تخمین رطوبت خاک با استفاده از داده‌های باند P تصویر رadar برای مناطق بایر و دارای پوشش گیاهی معرفی کرده و این مدل در عمق‌های ۰، ۳۰، ۱۰ و ۷۵ سانتیمتری از خاک بررسی شده است. در این تحقیق نشان داده شده است که در عمق ۱۰ سانتیمتری با مجذور میانگین مربعات ۰.۰۷۵ رطوبت خاک با دقت بیشتری نسبت به عمق‌های دیگر مدل‌سازی می‌شود [۱].

لین‌هو و همکاران یک روش جدید برای تخمین رطوبت خاک در زمین‌های دارای پوشش گیاهی با استفاده از روش مدل-پایه تجزیه پلاریمتری داده رadarی پیشنهاد دادند. نتایج این مدل با داده‌های میدانی و هوایی مقایسه شده است و نتایج رضایت‌بخشی داشته است [۸].

مرادی‌زاده و سراجیان مدل^۱ *SLPRM* برای محاسبه رطوبت خاک ارائه داده‌اند، در این روش برخلاف سایر مدل‌ها کارایی موثرتری در زمین‌های متفاوت با پوشش‌های مختلف دارد. در این تحقیق نشان داده شده است، زمانی که زبری سطح با استفاده از داده رadarی محاسبه می‌شود، روش *SLPRM* نتایج دقیق‌تری ارائه می‌دهد [۹].

از سوی دیگر، از یک تصویر تمام قطبیده رadarی، ویژگی‌های قطبیده فراوانی قابل تولید می‌باشد. بنابراین به دلیل قابلیت تولید این حجم بالای اطلاعات، اجتناب‌ناپذیر است که از مهم‌ترین و مناسب‌ترین ویژگی‌های تولید شده برای کاربردهایی مانند، طبقه‌بندی و مشخص کردن پارامترهای سطح خاک استفاده نمود [۱۰ و ۱۱ و ۱۲]. به همین منظور، در برخی مطالعات سعی شده تا از روش‌های انتخاب ویژگی جهت کاهش ابعاد فضای ویژگی این

² Vegetation

³ Features

¹ Simultaneous Land Parameters Retrieval Model

همدوس، ماتریس کواریانس یا همدوسی را به مجموعه‌ای از ویژگی‌های درجه دوم متناظر با اشیاء ساده‌تر یا استاندارد تجزیه می‌کند. تجزیه پائولی از نوع دسته اول و تجزیه فریمن، یاماگوچی و پارامترهای آنتروپی نمونه‌ای از دسته دوم است. ضرایب تجزیه پائولی بیان گر توان پراکنش یافته از هدف‌هایی با مکانیسم‌های پراکنش تک سطحی^۷، دوسری^۸ و حجمی^۹ تجزیه می‌کند [۱۷]. روش تجزیه غیر همدوس فریمن، ماتریس کواریانس را به مجموعه ماتریس‌های کواریانس مکانیسم‌های پراکنش تک سطحی، دوسری و حجمی تجزیه می‌کند [۱۸]. بنابراین می‌توان پراکنش یافته از این نوع هدف‌ها را به عنوان ویژگی در نظر گرفت.

۲-۲ روش تخمین خطی

مدل‌سازی با استفاده از ویژگی‌های تصاویر تمام قطبیده راداری از جمله روش‌های سنجش‌ازدوری محاسبه رطوبت خاک محسوب می‌شود. تاکنون تحقیقات مختلفی در زمینه رطوبت خاک با استفاده از ویژگی‌های راداری انجام‌شده است [۷]. در این تحقیق هدف ارائه یک مدل تحلیلی خطی برای تخمین رطوبت خاک مطابق رابطه (۱) می‌باشد.

رابطه (۱)

$$SM = 1 + a_1 X_1 + a_2 X_2 + \dots + a_i X_i + \dots + a_m X_m$$

در رابطه (۱) SM رطوبت خاک برآورد شده، a_i ضرایب ثابت و X_i ویژگی‌های داده راداری می‌باشند. با توجه به حجم بالای ویژگی‌های که با استفاده از نرم‌افزار *PolSARpro* تولیدشده است (جدول (۱)) و بهدلیل محدود بودن نقاط میدانی از بین ۶۹ ویژگی و تجزیه تولید شده، ترکیب ۱۶ ویژگی مطابق جدول (۴) که همبستگی بیشتری با رطوبت خاک را دارد

⁷ Single(Odd)-Bounce

⁸ Double(Even)-Bounce

⁹ Volume

در این مطالعه ما از الگوریتم^۱ GA، SFS^۲ و SBS^۳ برای انتخاب ویژگی‌های بهینه برای مدل‌سازی تخمین رطوبت خاک با استفاده از تصاویر تمام قطبیده سنجش‌ازدور را داری استفاده شده است [۱۶].

با در نظر گرفتن موارد موردنی بحث، این پژوهش به این صورت سازماندهی شده است: بخش دوم روش‌های کاربردی استفاده شده را بیان می‌نماید که شامل تولید ویژگی‌های تجزیه تمام قطبیده، روش تخمین خطی، روش انتخاب ویژگی GA و روش انتخاب ویژگی ترتیبی (SFS^۴) می‌باشد. بخش سوم روش پیشنهادی ارائه شده است و در بخش چهارم داده‌ها و منطقه مطالعاتی بیان شده است. همچنین در بخش پنجم پیاده‌سازی و نتایج می‌باشد و بخش ششم نتیجه‌گیری روش‌های مختلفی که برای تخمین رطوبت خاک استفاده شده است.

۲- روش‌های کاربردی استفاده شده

مبانی تئوری که در این تحقیق استفاده شده است به صورت زیر می‌باشد.

۲-۱- تولید ویژگی‌های تجزیه تمام قطبیده

به طور کلی در این تحقیق ویژگی‌های قطبیده که از تئوری‌های تجزیه هدف به دست می‌آید، استفاده شده است. ویژگی‌های تولید شده از روش‌های تجزیه هدف می‌تواند اطلاعات مفیدی درباره مکانیسم‌های پراکنش فراهم کند. روش‌های تجزیه هدف به دو دسته همدوس^۵ و غیر همدوس^۶ (جدول (۱)) تقسیم می‌شود [۱۷]. روش‌های تجزیه همدوس، ماتریس پراکنش را به مجموعه‌ای از ماتریس‌های پراکنش متناظر با اشیاء ساده‌تر یا استاندارد تجزیه می‌کند. روش تجزیه غیر

¹ Genetic Algorithm

² Sequential Forward Selection

³ Sequential Backward Selection

⁴ Sequential Feature Selector

⁵ Coherent

⁶ Incoherent

۱۶ ویژگی داده راداری برای ارائه مدل تحلیلی خطی انتخاب شده است.

مورد آزمایش قرار می‌گیرد و به منظور ارزیابی دقت نتایج، کورلیشن بین ویژگی‌ها محاسبه شده‌اند. مطابق جدول (۲) و با توجه به کورلیشن بین بهترین ترکیب

جدول ۱: نمونه‌ای از تجزیه‌های همدوس و غیرهمدوس استفاده شده در این تحقیق [۱۹].

تعداد	نام تجزیه	تعداد	نام تجزیه	تعداد	نام تجزیه	تعداد	نام تجزیه
۲	JRH-Huynen	۳	RMB2-Bernes2	۳	WAH1-Holm1	۳	
۳	KRO-Krogager	۳	SRC-Cloude	۳	WAH2-Holm2	۳	
۳	NEU-Neuman2	۳	TSVM-Touzi	۱۶	YAM3 Yamaguchi 3	۳	
۱۱	RMB1-Bernes1	۳	VZ3 Van Zyl(1992) 3	۳	YAM4 Yamaguchi 4	۴	

ویژگی‌های مختلف تمام قطبیده راداری استفاده شده است.

۱-۳-۲- روش انتخاب ویژگی ژنتیک

الگوریتم ژنتیک جزء تکنیک‌های بهینه‌سازی فراابتکاری می‌باشد و متداول ترین نوع الگوریتم‌های تکاملی است که رویه واحدی برای آن وجود نداشته و دارای رویه‌ای تکراری است [۲۱]. در طی هر تکرار الگوریتم، افراد موجود در جمعیت فعلی بر اساس میزان شایستگی شان مرتب شده و با استفاده از عملگرهای ژنتیک انتخاب^۱، تقاطع^۲ و جهش^۳، جمعیت جدیدی از راه حل‌ها تولید می‌گردد. این رویه تا زمان برقراری شرط خاتمه الگوریتم ادامه می‌یابد [۲۲]. در الگوریتم GA هر راه حل توسط یک رشته به نام کروموزوم نمایش داده شده و لازم است تابع هدف برای هدایت الگوریتم به سمت جواب بهینه تعریف گردد [۲۱، ۲۲]. در این تحقیق از پارامتر آماری مجدور میانگین مربع خطأ مدل تحلیل خطی جهت تعیین ارزش هر کروموزوم استفاده شده است و هر کروموزوم هم، یک رشته دودویی است که عدد یک یعنی ویژگی انتخاب شود و عدد صفر در این کروموزوم یعنی ویژگی مورد نظر انتخاب نشود.

۲-۳- روش انتخاب ویژگی

مدل تحلیلی یک روش یادگیری به منظور دسته‌بندی، رگرسیون و دیگر کارهای آموزشی است [۲۰]. یکی از کاربردهای مدل تحلیلی رگرسیون می‌باشد که در حالت کلی شامل دو دسته است [۲۰]. (۱) استفاده از داده‌های آموزشی برای بهدست آوردن مدل، (۲) استفاده از مدل پیش‌بینی اطلاعات داده‌های تست. البته در قسمت دسته‌بندی و رگرسیون می‌توان مقادیر آماری را نیز تعیین کرد [۲۰]. کیفیت مدل تحلیلی وابسته به ویژگی‌های مورد استفاده در آن می‌باشد. در روش رگرسیون هدف برآورد یک تابع نامعلوم بر مبنای تعداد محدودی از مشاهدات و نمونه‌ها می‌باشد. مطابق رابطه (۱) که در این مدل ورودی X در یک فضای تعداد m عدد ویژگی مختلف می‌باشد. همان‌طور که قبل^۱ گفته شد کیفیت نتایج مدل تحلیلی وابسته به ویژگی‌های انتخاب شده می‌باشد که در این پژوهش با استفاده از الگوریتم‌های بهینه کننده به انتخاب ویژگی‌های منحصر به فرد می‌پردازیم تا با استفاده از این ویژگی‌ها تاثیر پارامترهای سطح خاک روی ضریب پس پراکنش رادار را به منظور ارائه هر چه بهتر مدل تحلیلی خطی برای محاسبه رطوبت خاک به دست آوریم. در این تحقیق سه روش الگوریتم تکاملی ژنتیک، الگوریتم انتخاب ترتیبی جلویی و الگوریتم انتخاب ترتیبی عقبی به منظور انتخاب

¹ Select

² Crossover

³ Mutation

جدول ۲: همبستگی بین بهترین ترکیب ۱۶ ویژگی انتخاب شده

	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}	X_{11}	X_{12}	X_{13}	X_{14}	X_{15}	X_{16}
X_1	1.000	0.705	0.924	0.660	0.898	0.951	0.602	0.055	0.341	0.207	0.506	0.505	0.419	0.491	0.916	0.800
X_2		1.000	0.549	0.283	0.541	0.622	0.565	0.036	0.118	0.033	0.247	0.510	0.186	0.475	0.534	0.597
X_3			1.000	0.547	0.790	0.806	0.702	0.159	0.445	0.001	0.322	0.603	0.231	0.616	0.999	0.880
X_4				1.000	0.880	0.820	0.021	0.372	0.444	0.319	0.930	0.081	0.905	0.092	0.546	0.199
X_5					1.000	0.956	0.345	0.238	0.363	0.346	0.799	0.266	0.740	0.243	0.782	0.544
X_6						1.000	0.347	0.278	0.347	0.372	0.729	0.246	0.657	0.224	0.798	0.610
X_7							1.000	0.539	0.012	0.310	0.247	0.970	0.307	0.971	0.691	0.794
X_8								1.000	0.028	0.363	0.557	0.634	0.545	0.681	0.165	0.180
X_9									1.000	0.157	0.244	0.008	0.217	0.035	0.459	0.207
X_{10}										1.000	0.436	0.328	0.430	0.367	0.007	0.120
X_{11}											1.000	0.297	0.990	0.325	0.318	0.002
X_{12}												1.000	0.348	0.987	0.588	0.684
X_{13}													1.000	0.371	0.230	0.111
X_{14}														1.000	0.609	0.694
X_{15}															1.000	0.876
X_{16}																1.000

تقسیم می‌شود: (۱) الگوریتم روبه‌جلو انتخاب ویژگی (انتخاب ویژگی‌های مناسب به منظور مدل‌سازی) (۲) الگوریتم رو به عقب انتخاب ویژگی (حذف ویژگی‌های زائد به منظور مدل‌سازی) [۲۳].

۳- روش پیشنهادی

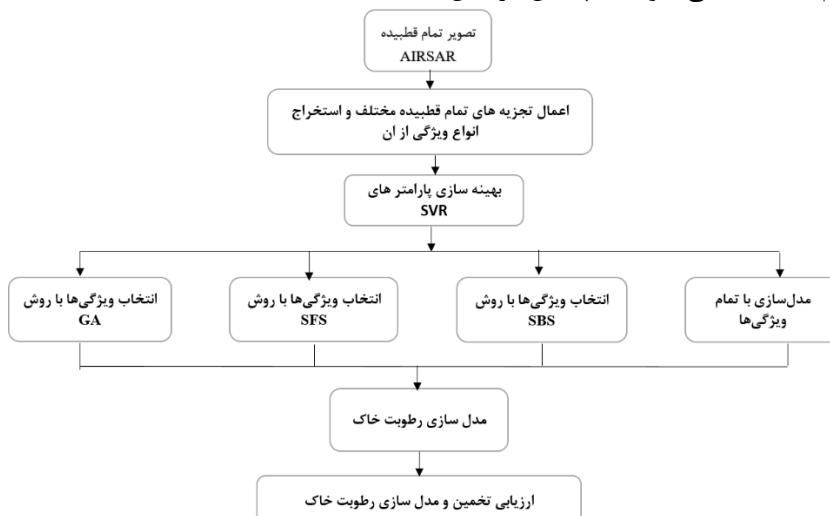
مدل‌سازی با استفاده از ویژگی‌های تصاویر تمام قطبیده را در این جمله روش‌های سنجش از دوری محاسبه رطوبت خاک محسوب می‌شود. تاکنون تحقیقات مختلفی در زمینه رطوبت خاک با استفاده از ویژگی‌های را در اینجا انجام شده است [۷]. با توجه به حجم بالای ویژگی‌های به کار گرفته شده در این تحقیق لازم است

۲-۳-۲- روش انتخاب ویژگی ترتیبی

الگوریتم SFS یک الگوریتم جستجوی حریصانه است که به منظور کاهش فضایی ویژگی d بعدی اولیه به یک زیر مجموعه فضایی ویژگی k بعدی که دران $d > k$ استفاده می‌شود. هدف از کاهش فضایی ویژگی به این شیوه عبارت است از، (۱) بهبود بهره‌وری محاسباتی (۲) کاهش خطای تعمیم مدل‌ها به روش حذف ویژگی‌های بی‌ربط و نویز [۱۳]. به طور کلی الگوریتم SFS، حذف یا اضافه کردن ویژگی‌هایی که عملکرد آن روی مدل نهایی تأثیر دارد را می‌گویند. این عملیات تا زمانی که یک زیر مجموعه ویژگی k بعدی به دست بیاید، ادامه می‌یابد. الگوریتم SFS به دو دسته

مقاله روش‌های پیشنهادشده با روش‌های قبلی بررسی شده در مطالعات پیشین هم مقایسه شده است. درنتیجه روند کلی این تحقیق از سه جزء اصلی AIRSAR تشکیل شده است (۱) تولید ویژگی‌ها از داده AIRSAR (۲) مدل‌سازی رطوبت خاک با استفاده از ویژگی‌های که به روش سعی و خطا به دست آمده (کل ویژگی‌ها) و (۳) مقایسه دقت مدل‌های مختلف انتخاب شده از روش‌های SBS و SFS با روش‌های بهینه کننده GA و SBS.

که داده‌ها ویژگی‌های مناسب به منظور مدل‌سازی رطوبت خاک از بین ویژگی‌های موجود انتخاب شود. لذا طبق رویه پیشنهادشده در شکل (۱)، دو سناریو به کار گرفته شده است. سناریو اول، ابتدا به دلیل محدودیت موجود در تعداد نقاط میدانی از بین ۶۹ ویژگی موجود به روش سعی و خطا ۱۶ ویژگی انتخاب و رطوبت خاک را مدل‌سازی می‌کنیم. سناریو دوم) با استفاده از روش‌های انتخاب کننده بهینه مانند SBS، GA و SFS بهترین ویژگی‌ها انتخاب و نتایج این روش‌ها باهم مقایسه می‌شود. همچنین در این



شکل ۱: روند کلی مدل‌سازی رطوبت خاک

گوگل ارث می‌باشد، نمای کلی از منطقه مورد مطالعه نشان داده شده است.

۴- منطقه مورد مطالعه

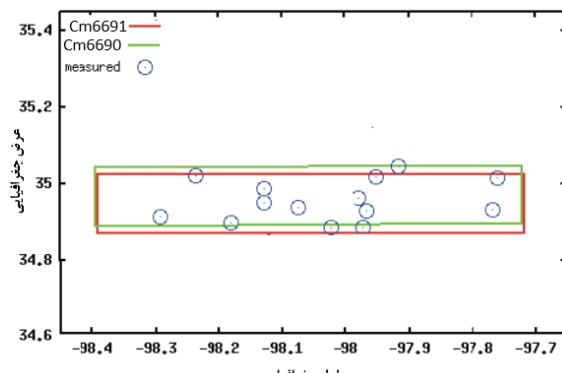
منطقه مورد مطالعه در جنوب اوکلاهما^۱ واقع در ایالات متحده آمریکا است. پوشش این ناحیه علفزار می‌باشد این منطقه تابستان‌ها گرم و خشک و زمستان‌های معمولاً معتمد دارد. داده‌های زمینی و هوایی از این منطقه در طول دوره آزمایش رطوبت خاک در سال ۲۰۰۳ جمع‌آوری و اخذ شده است [۲۴]. اطلاعات موقعیتی این منطقه در جدول (۳) ارائه شده است و همچنین شکل (۲-الف)، که برگرفته از

¹ Oklahoma

جدول ۳: اطلاعات از منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه	موقعیت		وضعیت آب و هوای	پوشش گیاهی
اوکلاهما جنوبی	بالا سمت راست	35.0239N 98.385W	نیمه مرطوب	علزار
	پایین سمت چپ	34.8693N 97.7197W		

این تفاسیر در این تحقیق مانند *Cm6691* و *Cm6690* و *۱۴* نقطه قرار دارند با این تفاسیر در این تحقیق مانند *۲۶* نقطه میدانی داریم [۲۵]. که دارای توزیع نقاط زمینی مناسب مطابق شکل (۲-ب) می‌باشد. اطلاعات موجود در هر پیکسل داده *AIRSAR* نشان‌دهنده پس پراکنش را برای تمام ترکیبات ممکن قطبیده ارسال و دریافتی عمودی و افقی (*VV*, *HH*, *VH*) است. هر پیکسل شامل اطلاعات پس پراکنش در سه باند *C* (0/45 *GHZ*), *L* (1/26 *GHZ*), *P* (5/31 *GHZ*) است؛



(ب)

شکل ۲: (الف) نمای کلی از منطقه مورد مطالعه. تصویر برگرفته از گوگل ارث. (ب) توزیع مکانی نقاط میدانی

۱-۵- روش تخمین رطوبت خاک با تمام ویژگی‌ها همان‌طور که قبل‌اگفته شد در این قسمت به‌دلیل محدود بودن نقاط میدانی برای ارائه یک روش تحلیلی خطی برای محاسبه رطوبت خاک به روش سعی و خطا بهترین ترکیب ۱۶ ویژگی مختلف داده را دری همان‌طور که در جدول (۲) نشان دادیم این ترکیب برای سه کانال مایکروویو تصویر *AIRSAR* می‌باشد. مطابق جدول (۴) انتخاب شده است.

۴- داده‌های مورد استفاده

به‌منظور استفاده از داده‌های میدانی از داده‌های *SMEX03* جمع‌آوری شده در تاریخ ۱۰ جولای ۲۰۰۳ استفاده شده است [۲۵]. مقدار رطوبت خاک در ۱۴ نقطه در جنوب اوکلاهما اندازه‌گیری شده است به‌دلیل محدود بودن نقاط میدانی مانند *HH, VH* از دو تصویر هوابرد *AIRSAR* دارایی با توان تفکیک مکانی حدود ۶/۶ متر در راستای برد مایل که به‌طور همزمان از این منطقه استفاده کردیم که به‌ترتیب در تصویر



(الف)

۵- پیاده‌سازی و نتایج

نظر به این که مدل‌سازی رطوبت خاک تحت تأثیر ویژگی‌های انتخاب شده می‌باشد، لذا در این بخش رطوبت خاک را با در نظر گرفتن تأثیر تمام ویژگی‌ها، ویژگی‌های که با بهینه کننده *GA*، ویژگی‌های که با بهینه کننده *SFS* و ویژگی‌های که با بهینه کننده *SBS* انتخاب شده است، مورد بررسی و تحلیل قرار می‌گیرد.

جدول ۴: ویژگی‌های که با روش سعی و خط انتخاب شده‌اند

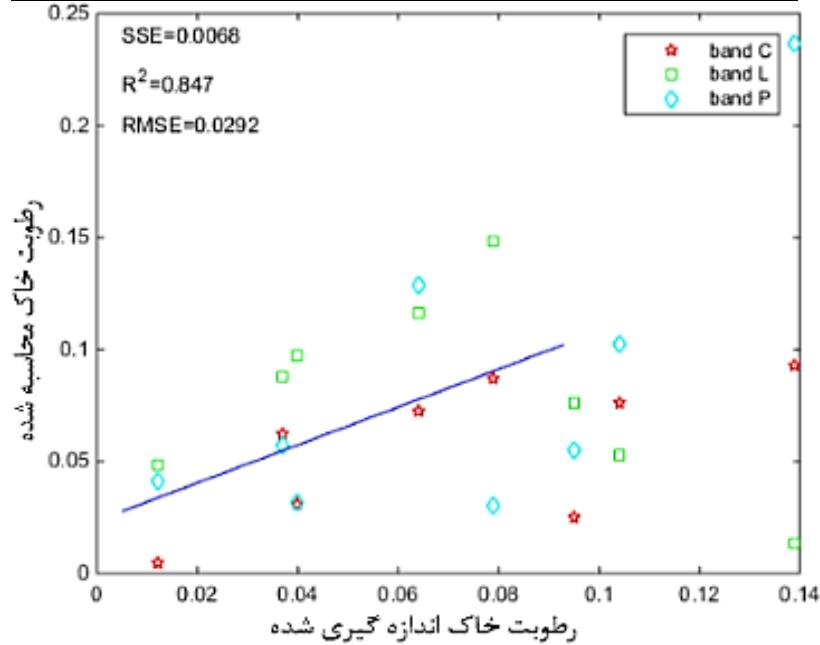
شماره	نام ویژگی	شماره	نام ویژگی
X_1	<i>VanZyl3_Odd</i>	X_9	<i>Beta</i>
X_2	<i>Freeman_Vol</i>	X_{10}	<i>combination_1mH1mA</i>
X_3	<i>Barnes1_T22</i>	X_{11}	<i>Barnes1_T11</i>
X_4	<i>Freeman_Dbl</i>	X_{12}	<i>Barnes1_T33</i>
X_5	<i>Holm2_T11</i>	X_{13}	<i>Barnes2_T11</i>
X_6	<i>Yamaguchi3_Odd</i>	X_{14}	<i>Barnes2_T33</i>
X_7	<i>HAAlpha_T33</i>	X_{15}	<i>Barnes2_T22</i>
X_8	<i>Anisotropy</i>	X_{16}	<i>Cloude_T33</i>

کanal مایکروویو تصویر AIRSAR مطابق جدول (۵) می‌باشد و برای درک بهتر نتایج شکل (۳) ارائه شده است.

در این تحقیق، ۲۶ نقطه میدانی داریم که ۱۸ نقطه برای آموزش مدل تحلیلی خطی و ۸ نقطه برای تست این مدل استفاده شده است. نتایج به دست آمده برای سه

جدول ۵: نتایج حاصل از مدل تحلیلی خطی با کل ویژگی‌ها

باند	R^2		RMSE		SSE	
	Test	Train	Test	Train	Test	Train
C	84.73	80.12	0.0330	0.0394	0.0087	0.012
L	63.17	60.39	0.0773	0.0912	0.0189	0.0253
P	60.59	59.17	0.0744	0.0812	0.0335	0.0487



شکل ۳: مقایسه مقدار اندازه‌گیری شده و تخمین زده شده رطوبت خاک در باند C,P,L با استفاده از کل ویژگی‌ها.

مدل‌سازی می‌کند.

نتایج به دست آمده در این قسمت نشان می‌دهد که مدل تحلیلی خطی ارائه شده با در نظر گرفتن ویژگی‌های کanal C تصویر AIRSAR رطوبت خاک را با دقیق‌تری نسبت به کanal‌های L و P تصویر AIRSAR

انتخاب می‌کنیم. پارامترهای GA مورداستفاده در این تحقیق مطابق جدول (۶) می‌باشد. با به کارگیری الگوریتم GA ، ۱۰ ویژگی مناسب مطابق جدول (۷) انتخاب شده است. و معیار انتخاب جمعیت کمینه کردن مقدار $RMSE$ می‌باشد.

۲-۵- روش تخمین رطوبت خاک با انتخاب ویژگی‌های بهینه با الگوریتم ژنتیک

در این قسمت با استفاده از الگوریتم GA از بین ۱۶ ویژگی که به روش سعی و خطا به دست آمده‌اند، بهترین ویژگی‌ها برای ارائه یک مدل تحلیلی خطی

جدول ۶: پارامترهای اجرای الگوریتم GA

پارامترهای الگوریتم ژنتیک	مقدار پارامترها
$Population$	20
$Elitism$	1
$Crossover$	0.7
$Mutation$	0.05
$Max Iterations$	70
$Method Crossover$	2

جدول ۷: ویژگی‌های انتخاب شده با استفاده از الگوریتم بهینه کننده GA .

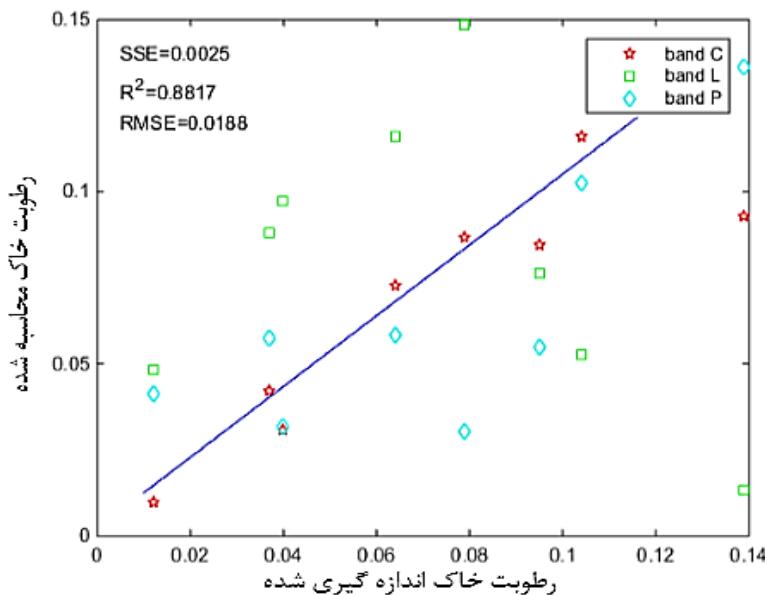
شماره	نام ویژگی	شماره	نام ویژگی
X_2	<i>Freeman_Vol</i>	X_9	<i>Beta</i>
X_3	<i>Barnes1_T22</i>	X_{11}	<i>Barnes1_T11</i>
X_5	<i>Holm2_T11</i>	X_{14}	<i>Barnes2_T33</i>
X_6	<i>Yamaguchi3_Odd</i>	X_{15}	<i>Barnes2_T22</i>
X_7	<i>HAAlpha_T33</i>	X_{16}	<i>Cloude_T33</i>

درک بهتر از نتایج شکل (۴) ارائه شده است. همچنین گراف خروجی بهترین (*best*) و میانگین (*mean*) الگوریتم GA در شکل (۵) نشان داده شده است.

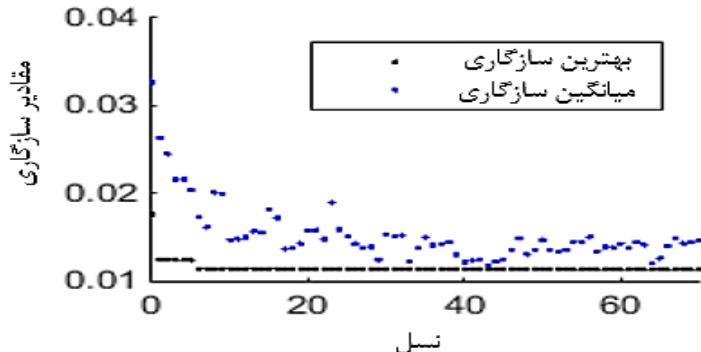
نتایج مدل تحلیلی خطی ارائه شده با در نظر گرفتن ویژگی‌های که با الگوریتم بهینه کننده GA انتخاب شده است مطابق جدول (۸) می‌باشد و برای

جدول ۸. نتایج حاصل از مدل تحلیلی خطی با ویژگی‌های انتخاب شده به روش GA .

باند	R^2		$RMSE$		SSE	
	<i>Test</i>	<i>Train</i>	<i>Test</i>	<i>Train</i>	<i>Test</i>	<i>Train</i>
C	88.17	85.73	0.0188	0.0263	0.0026	0.0092
L	87.29	79.13	0.0191	0.0301	0.0054	0.0101
P	83.03	55.21	0.028	0.0397	0.0335	0.094



شکل ۴: مقایسه مقدار اندازه‌گیری شده و تخمین زده شده رطوبت خاک در باند P,L,C با استفاده از ویژگی‌های انتخاب شده با GA.



شکل ۵: گراف mean و best برای روند اجرای الگوریتم GA.

انتخاب ویژگی‌های بهینه با الگوریتم ترتیبی به دو روش به صورت زیر می‌باشد:

۱-۳-۵- الگوریتم رو به جلو

در این قسمت با استفاده از الگوریتم SFS از بین فضایی ویژگی اولیه ۹ ویژگی به عنوان بهترین ویژگی‌ها برای ارائه یک مدل تحلیلی خطی مطابق جدول (۹) انتخاب شده است.

همان‌گونه که ملاحظه می‌شود رطوبت خاک با دقت بیشتری با استفاده از ویژگی‌های بهینه‌ای که الگوریتم GA انتخاب کرده است مدل سازی می‌شود. همچنین نتایج به دست آمده در این قسمت نشان می‌دهد که مدل تحلیلی خطی ارائه شده با در نظر گرفتن ویژگی‌های کanal C تصویر AIRSAR رطوبت خاک را با دقت بهتری نسبت به کانال‌های L و P تصویر AIRSAR مدل سازی می‌کند.

۳-۵- روش تخمین رطوبت خاک با انتخاب

ویژگی‌های بهینه با الگوریتم ترتیبی

به طور کلی همانطور که در بخش‌های قبل ذکر شد

جدول ۹: ویژگی‌های انتخاب شده با استفاده از الگوریتم بهینه کننده SFS.

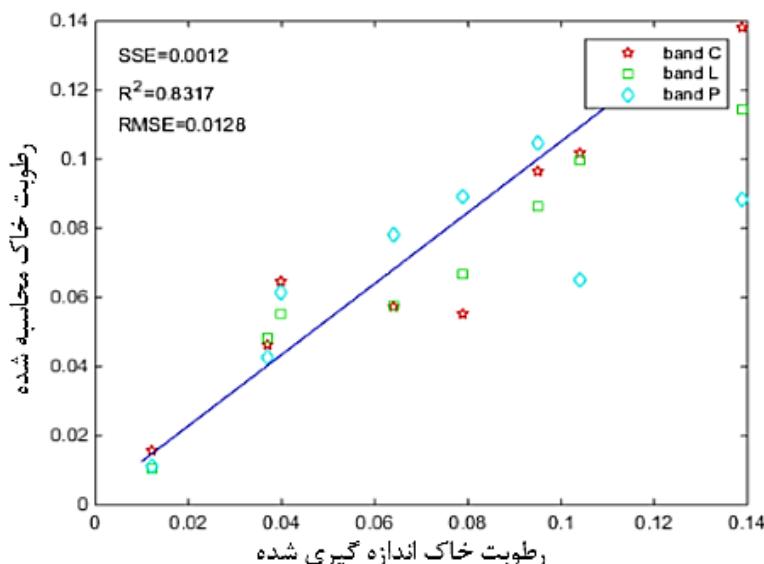
شماره	نام ویژگی	شماره	نام ویژگی
X_1	VanZyl3_Odd	X_{11}	Barnes1_T11
X_2	Freeman_Vol	X_{14}	Barnes2_T33
X_5	Holm2_T11	X_{15}	Barnes2_T22
X_6	Yamaguchi3_Odd	X_{16}	Cloude_T33
X_9	Beta		

انتخاب شده است. مطابق جدول (۱۰) می‌باشد و برای درک بهتر از نتایج شکل (۶) ارائه شده است.

نتایج مدل تحلیلی خطی ارائه شده با در نظر گرفتن ویژگی‌های که با الگوریتم بهینه کننده SFS

جدول ۱۰: نتایج حاصل از مدل تحلیلی خطی با ویژگی‌های انتخاب شده به روش SFS

باند	R^2		RMSE		SSE	
	Test	Train	Test	Train	Test	Train
C	83.46	74.46	0.0118	0.025	0.0013	0.0092
L	79.18	47.3	0.012	0.0413	0.0012	0.0021
P	58.78	33.39	0.023	0.0311	0.0050	0.094



شکل ۶: مقایسه مقدار اندازه‌گیری شده و تخمین زده شده رطوبت خاک در باند C, L, P با استفاده از ویژگی‌های انتخاب شده با SFS

تصویر AIRSAR P مدل‌سازی می‌کند.

۲-۳-۵- الگوریتم رو به عقب

با استفاده از الگوریتم SBS از بین فضایی ویژگی اولیه ۱۲ ویژگی به عنوان بهترین ویژگی‌ها برای ارائه یک مدل تحلیلی خطی مطابق جدول (۱۱) انتخاب شده است.

همان‌گونه که ملاحظه می‌شود رطوبت خاک با استفاده از ویژگی‌های بهینه‌ای که الگوریتم SFS انتخاب کرده است، با دقت پایین‌تری مدل‌سازی شده است. همچنین نتایج بدست آمده در این قسمت نشان می‌دهد که مدل تحلیلی خطی ارائه شده با در نظر گرفتن ویژگی‌های کanal C تصویر AIRSAR رطوبت خاک را با دقت بهتری نسبت به کanal‌های L و

جدول ۱۱: ویژگی‌های انتخاب شده با استفاده از الگوریتم بهینه کننده SBS.

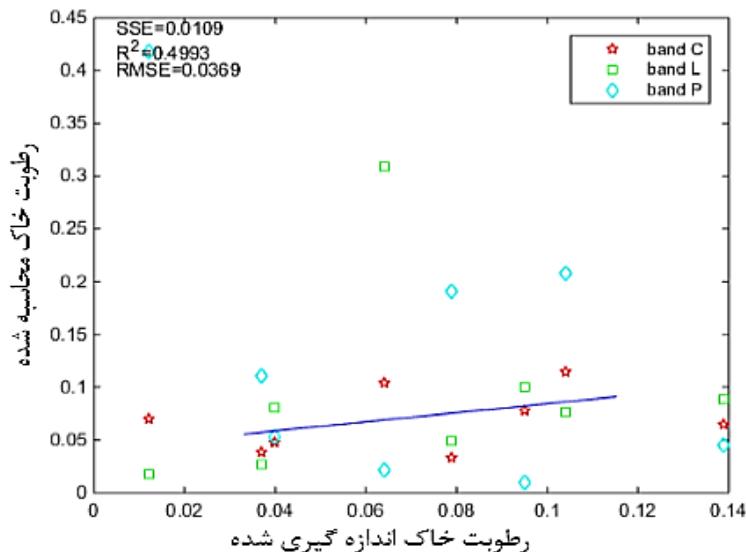
شماره	نام ویژگی	شماره	نام ویژگی
X_3	Barnes1_T22	X_{11}	Barnes1_T11
X_4	Freeman_Dbl	X_{12}	Barnes1_T33
X_6	Yamaguchi3_Odd	X_{13}	Barnes2_T11
X_7	HAAlpha_T33	X_{14}	Barnes2_T33
X_8	anisotropy	X_{15}	Barnes2_T22
X_9	beta	X_{16}	Clouds_T33

انتخاب شده است مطابق جدول (۱۲) می‌باشد و برای درک بهتر از نتایج شکل (۷) ارائه شده است.

نتایج مدل تحلیلی خطی ارائه شده با در نظر گرفتن ویژگی‌های که با الگوریتم بهینه کننده SBS

جدول ۱۲: نتایج حاصل از مدل تحلیلی خطی با ویژگی‌های انتخاب شده

باند	R^2		RMSE		SSE	
	Test	Train	Test	Train	Test	Train
C	49.93	50.49	0.0402	0.0328	0.0129	0.0123
L	55.82	39.25	0.0909	0.1436	0.0661	0.0682
P	56.30	33.53	0.7109	0.6476	0.2114	0.2129



شکل ۷: مقایسه مقدار اندازه‌گیری شده و تخمین زده شده رطوبت خاک در باند C, L, P با استفاده از ویژگی‌های انتخاب شده با SBS

رطوبت خاک را با دقت بهتری نسبت به کanal های L و P تصویر AIRSAR مدل‌سازی می‌کند.

۴-۵- بحث و مقایسه

به منظور بررسی اثرات پوشش گیاهی و زبری سطح بر روی دقت محاسبه رطوبت خاک، دقت مدل تحلیلی

همان‌گونه که ملاحظه می‌شود رطوبت خاک با استفاده از ویژگی‌های بهینه‌ای که الگوریتم SBS انتخاب کرده است، با دقت پایین‌تری نسبت به تمام روش‌های دیگر مدل‌سازی می‌شود. همچنین نتایج به دست آمده در این قسمت نشان می‌دهد که مدل تحلیلی خطی ارائه شده با AIRSAR تصویر C کanal ویژگی‌های

مدل تحلیلی خطی با استفاده از ویژگی‌های انتخاب شده توسط الگوریتم GA یک مدل مناسب‌تر برای محاسبه رطوبت خاک با استفاده از ویژگی‌ها داده راداری می‌باشد.

۶- نتیجه‌گیری

در این تحقیق سعی شد با توجه به داده‌های موجود از سه الگوریتم انتخاب ویژگی‌های بهینه GA، SBS و SFS در سه باند C، L و P که مربوط به پرتوه آزمایشات رطوبت خاک ۲۰۰۳ در منطقه اوکلاهما جنوبی استفاده شود. در بخش اول به مقایسه الگوریتم‌های انتخاب ویژگی‌های بهینه برای مدل تحلیلی خطی رطوبت خاک پرداختم. از بین این مدل‌ها، مدل تحلیلی خطی که از ویژگی‌های که الگوریتم GA انتخاب کرده است با دقت بیشتری نسبت به مدل تحلیلی خطی با در نظر گرفتن تمام ویژگی‌ها و مدل تحلیلی خطی با در نظر گرفتن ویژگی‌های که با الگوریتم‌های SBS و SFS انتخاب شده‌اند، رطوبت خاک را مدل‌سازی می‌کند. در بخش دوم به مقایسه مدل‌های مختلف تخمین رطوبت خاک در باندهای مختلف می‌پردازیم. از بین سه باند داده AIRSAR با دقت بیشتری رطوبت خاک را در تمام مدل‌های پیاده‌سازی شده مدل‌سازی می‌کند و بعد از آن به ترتیب باند L و P با دقت بهتری رطوبت خاک را مدل‌سازی می‌کنند. از جمله نتایج این تحقیق می‌توان به نتایج نامناسب باند P اشاره کرد، که نتایج نامناسبی در انتخاب ویژگی‌های بهینه الگوریتم SBS نسبت به سایر الگوریتم‌ها برای مدل‌سازی رطوبت خاک ارائه می‌دهد.

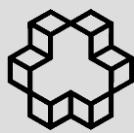
خطی با استفاده از ویژگی‌های داده راداری در حالت تمام ویژگی‌ها و حالتی که ویژگی‌ها با استفاده از الگوریتم‌های بهینه کننده ژنتیک و ترتیبی انتخاب شده‌اند مقایسه قرار گرفته است. ویژگی‌های استفاده شده در این روش‌ها همه در جداول فوق آورده شده است. برای مقایسه روش‌ها از پارامترهای آماری مختلفی مانند مجذور میانگین مربع خطأ ($RMSE$)، ضریب همبستگی (R^2) و مجموعه مربعات خطأ (SSE) استفاده می‌شود. نتایج حاصل از مدل تحلیلی خطی برای چهار حالت استفاده شده از ویژگی‌های تصویر راداری در جدول (۶)، ۹، ۱۱ و ۱۳ ارائه شده است، همانطور که مشاهده می‌شود در تمام حالت‌ها از بین باندهای داده راداری مدل تحلیلی خطی باند C با ضریب همبستگی ۰،۸۸ رطوبت خاک را تخمین زده است که این نشان می‌دهد ویژگی‌های استخراج شده از باند C اثرات رطوبت خاک را با دقت بیشتری روی تصویر رادار نشان می‌دهد. بعد از آن به ترتیب باندهای L و P نتایج بهتری ارائه می‌دهند. همچنین مدل تحلیلی خطی حاصل از ویژگی‌های انتخابی توسط الگوریتم GA نتایج رضایت‌بخش بهتری نسبت به سایر روش‌ها ارائه داده است و بعد از آن به ترتیب مدل حاصل از تمام ویژگی‌ها، ویژگی‌های انتخاب شده توسط الگوریتم ترکیبی روبه‌جلو و ویژگی‌های حاصل از الگوریتم ترتیبی رو به عقب نتایج مناسب‌تری برای محاسبه رطوبت خاک ارائه داده. از طرفی با توجه به تعداد ویژگی‌های استفاده شده در مدل تحلیلی خطی محاسبه رطوبت خاک الگوریتم ترتیبی روبه‌جلو با در نظر گرفتن ۹ ویژگی سرعت محاسباتی در این مدل بالاتر می‌باشد. در نتیجه می‌توان بیان کرد که

مراجع

- [1] A. Tabatabaeenejad, M. Burgin, X. Duan, and M. Moghaddam, “P-Band Radar Retrieval of Subsurface Soil Moisture Profile as a Second-Order Polynomial: First AirMOSS Results,” IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., vol. 53, no. 2, pp. 645–658, Feb. 2015.
- [2] L. Wang and J. J. Qu, “Satellite remote sensing applications for surface soil moisture monitoring: A review,” Front. Earth Sci., vol. 6, p. 101, Jan. 2018.

- Earth Sci. China, vol. 3, no. 2, pp. 237–247, Jun. 2009
- [3] P. S. Narvekar, D. Entekhabi, S. B. Kim, and E. G. Njoku, “Soil Moisture Retrieval Using L-Band Radar Observations,” IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., vol. 53, no. 6, pp. 3492–3506, Jun. 2015.
- [4] Y. Oh, K. Sarabandi, and F. T. Ulaby, “An empirical model and an inversion technique for radar scattering from bare soil surfaces,” IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., vol. 30, no. 2, pp. 370–381, Mar. 1992.
- [5] Attem; E.P.W; Ulaby; F.T,“ Vegetation modelled as a water cloud,” , 1978, pp. 357–364.
- [6] M. Hosseini and M. r. Saradjian, “Soil moisture estimation based on integration of optical and SAR images,” Can. J. Remote Sens., vol. 37, no. 1, pp. 112–121, Feb. 2011.
- [7] M. Sarti and L. Mascolo, “An investigation of different polarimetric decomposition techniques for soil moisture estimation,” in 2012 Tyrrhenian Workshop on Advances in Radar and Remote Sensing (TyWRRS), 2012, pp. 209–213.
- [8] Lian He, Rocco Panciera, Member, IEEE, Mihai A. Tanase, Member, IEEE, Jeffrey P. Walker, Member, IEEE, and Qiming Qin. Soil Moisture Retrieval in Agricultural Fields Using Adaptive Model-Based Polarimetric Decomposition of SAR Data. 2016
- [9] M. Moradizadeh and M. R. Saradjian, “The effect of roughness in simultaneously retrieval of land surface parameters,” Phys. Chem. Earth, vol. 94, pp. 127–135, Aug. 2016.
- [10] E. Khedri, M. Hasanlou, and A. Tabatabaeenejad, “Semi-analytical soil moisture retrieval using PolSAR imagery,” in 2017 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2017, pp. 4897–4900.
- [11] Y. Maghsoudi, M.J. Collins, and D.G. Leckie, —Radarsat-2 polarimetric SAR data for Boreal forest classification using SVM and a wrapper feature selector, IEEE J. Selected Topics in Appl. Earth Observ. Remote Sens., vol. 6, no. 3, pp. 1531–1538, 2013.
- [12] Z. Qi, A. G. Yeh, X. Li, and Z. Lin, —A novel algorithm for land use and land cover classification using RADARSAT-2 polarimetric SAR data, Remote Sens. Environ., vol. 118, pp. 21 – 39, 2012
- [13] [A. Haddadi, M.R. Sahebi, and A. Mansourian, —Polarimetric SAR feature selection using a genetic algorithm, Canadian J. Remote Sens., vol. 37, no. 1, pp. 27 – 36, 2011.
- [14] M. Salehi, M.R. Sahebi, and Y. Maghsoudi, — Improving the accuracy of urban land cover classification using Radarsat-2 POLSAR data, || IEEE J. Selected Topics in Appl. Earth Observ. Remote Sens., vol. 7, no. 4, pp. 1394 – 1401, 2014.
- [15] K. Z. Mao, “Orthogonal forward selection and backward elimination algorithms for feature subset selection,” IEEE Trans. Syst. Man Cybern. Part B Cybern., vol. 34, no. 1, pp. 629–634, Feb. 2004.
- [16] L. Guo, D. Rivero, J. Dorado, C. R. Munteanu, and A. Pazos, “Automatic feature extraction using genetic programming: An application to epileptic EEG دردنبندی,” Expert Syst. Appl., vol. 38, no. 8, pp. 10425–10436, Aug. 2011.
- [17] S.R. Cloude and E. Pottier, — A review of target decomposition theorems in radar polarimetry, || IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., vol. 34, pp. 498 – 518, Mar. 1996.
- [18] A. Freeman and S. Durden, — A three-component scattering model to describe polarimetric SAR data, || in Proceedings SPIE Conference on Radar Polarimetry, Vol. 1748, pp. 213 – 225, San Diego, CA, July 1992.
- [19] JONG-SEN LEE, ERIC POTTIER, “Polarimetric Radar Imaging: From Basics

- to Applications," 1st edition, February 2009, pp 422. ISBN: 978-142005492
- [20] Q. Vanhellemont and K. Ruddick, "Turbid wakes associated with offshore wind turbines observed with Landsat 8," *Remote Sensing of Environment*, vol. 145, pp. 105–115, Apr. 2014.
- [21] L. Zhuo, and J. Zheng, "A Genetic Algorithm Based Wrapper Feature Selection Method for Classification of Hyperspectral Image Using Support Vector Machine", *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 397-402, 2008.
- [22] C.-L. Huang, and C.-J. Wang, "A GA-based feature selection and parameter optimization for support vector machines", *Expert Systems with Application*, 231-240, 2006.
- [23] [23] "Sequential Feature Selector-mlxnd." [Online]. Available: http://rasbt.github.io/mlxtend/user_guide/feature_selection/SequentialFeatureSelector/. [Accessed: 20-Feb-2017].
- [24] Allen, P.B., and Naney, J.W, " hydrology of the little washita river watershed oklahoma: data and analyses," USDA, ARS-90, P.P. 74, Washington, DC. 1991.
- [25] "SMEX03 Data | National Snow and Ice DataCenter." [Online]. Available: http://nsidc.org/data/amsr_validation/soil_moisture/smex03/index.html. [Accessed: 03-Jan-2017].
- [26] E. Khedri, M. Hasanlou, and A. Tabatabaeenejad, "Estimating Soil Moisture Using PolSAR Data: A Machine Learning Approach," in *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2017, vol. XLII-4-W4, pp. 133–137.



Soil Moisture Linear Modeling by Using Decomposition and Selection of Fully Polarized SAR Features

Esmail Khedri¹, Mahdi Hasanlou ^{*2}

1- Ms.c student of remote sensing in School of Surveying and Geospatial Engineering, College of Engineering, University of Tehran
2- Assistant professor in School of Surveying and Geospatial Engineering, College of Engineering, University of Tehran

Abstract

Soil moisture is a key variable in the hydrologic process, which is affected by the exchange of water and energy on the Earth's surface. Precise estimation of spatial and temporal variations of soil moisture is crucial for environmental studies. The Polarimetric SAR (PolSAR) images are a convenient tool for this purpose. These images also guarantee both broad coverage and suitable spatial resolution. In this study, a linear analytical model has been suggested for estimating soil moisture. This model uses data gathered by the AIRSAR sensor in 2003 in C, L, and P bands. For this purpose, with incorporation of a genetic algorithm (GA), sequential forward selection (SFS), and sequential backward selection (SBS), we examine and select appropriate features best fitted for soil moisture modeling. Also in this estimation, soil moisture measurements were compared to in-situ data. The results showed that the proposed method (linear analysis model) had a good efficiency by using GA feature selection compare to both SFS and SBS feature selection. Regarding statistical parameters for proposed method, R² model is higher than %80 and RMSE is less than 0.027 for P, L, and C bands, which in comparison with other algorithms, the R² model estimates soil moisture more accurately. Also, the best bands to estimate soil moisture model using proposed model and incorporated PolSAR features is the C band.

Key words: Linear analytical model, Soil moisture, GA, SFS, SBS.

Correspondence Address: School of Surveying and Geospatial Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran.
Tel: +98 21 61114525
Email: hasanlou@ut.ac.ir