نشریه علمی پژوهشی مهندسی فناوری اطلاعات مکانی

سال ششم، شماره سوم، پاییز ۱۳۹۷

Vol.6, No.3, Autumn 2018

۵۱-۶۶

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

اسماعیل خدری[۱]، مهدی حسنلو[۲]*

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش‌ازدور، 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 متغییر کلیدی در فرآیند هیدرولوژی است، که تحت تأثیر تبادل آب و انرژی در سطح زمین می-باشد. برآورد دقیق از تغییرات مکانی و زمانی رطوبت خاک برای مطالعات زیست محیطی بسیار حیاتی می‌باشد. برای چنین 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 ایرسار در سال ۲۰۰۳ در باندهای *C,L,P* پیشنهادشده است. در این راستا با استفاده از الگوریتم ژنتیک، انتخاب روبه جلو و روبه‌عقب ویژگی به بررسی و انتخاب ویژگی‌های مناسب قطبیده به‌منظور مدل‌سازی اقدام شده است. همچنین برآورد انجام‌شده رطوبت خاک با اندازه‌گیری‌های زمینی مقایسه شده است. نتایج به‌دست‌آمده 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 به‌دست‌آمده با استفاده از این روش *R2* بالای ۸۰٪ و مجذور میانگین مربع خطا کمتر از ۰٫۲۸۰ 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

Email: hasanlou@ut.ac.ir

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-25]

[DOI: 10.29252/jgit.6.3.59]

۱- مقدمه

آب قابل‌دسترس برای گیاهان که به‌طورمعمول در cm ۲۰۰ بالای خاک می‌باشد، را رطوبت خاک[1] گویند [۱]. در مقایسه با مقدار آب موجود در جهان این لایه‌نازک ممکن است ناچیز به نظر برسد ولی باز هم در بسیاری از فرآیندهای هیدرولوژی[2]، بیولوژی[3] و زیست محیطی[4] از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشد [۲]. محققان نشان داده‌اند که بازخورد قویی بین آنامولی رطوبت خاک و آب‌وهوا منطقه موردنظر وجود دارد، درنتیجه تهیه نقشه‌های رطوبت خاک با دقت بالا درک ما را از آب‌وهوای منطقه موردنظر بهبود می‌بخشد [۱]. بررسی و پیاده‌سازی الگوریتم‌ها برای بازیابی پارامترهای سطح خاک مانند زبری[5] می‌تواند کمک شایانی در بسیاری از کاربردها داشته باشد. پتانسیل رادار با روزنه مجازی[6] برای اندازه‌گیری پارامترهای خاک بیش از ۳۰ سال است که شناخته‌شده 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[7] بسیار قوی‌تر می‌سازد [۳]. اثرات پوشش گیاهی و زبری سطح شدت سیگنال داده‌های فعال[8] را در مقایسه با داده‌های غیرفعال تحت تأثیر قرار می‌دهد و از همین خصوصیت برای تخمین رطوبت خاک استفاده می‌شود [۳].

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[9] تابعی از پارامترهای سنجنده مانند زاویه برخورد[10] طول موج و قطبش[11] 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 اُه و همکاران که با استفاده از نسبت ضرایب باز پراکنش در پلاریزاسیون‌های مختلف رطوبت خاک را تخمین می‌زند [۴].

ایبل و همکاران مدل نیمه‌تحلیلی *WCM*[12] را پیشنهاد داد که در آن باز پراکنش گیاهان نیز همانند باز پراکنش سطح خاک روی ضریب باز پراکنش کلی رادار در نظر گرفته‌شده 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 می باشد. 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 *IWCM*[13] را پیشنهاد دادند [۶].

همچنین ماریزین و همکاران با استفاده از تکنیک تجزیه پلاریمتری داده‌های *AIRSAR*[14] در باند C و L رطوبت خاک را با دقت بالای محاسبه کرده‌اند. در این تحقیق با فیلترکردن زبری سطح و تفاوت قائل شدن

[1] Soil Moisture
[2] Hydrology
[3] Biology
[4] Environmental
[5] Roughness
[6] Synthetic aperture radar
[7] Passive
[8] Active

[9] Backscattering Coefficients
[10] Incident angle
[11] Polarization
[12] Water Cloud Model
[13] Improved Water Cloud Model
[14] Airborne Synthetic aperture radar

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-25]
[DOI: 10.29252/jgit.6.3.59]

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

در تحقیقی دیگر، طباطبایی‌نژاد و همکاران یک مدل جدید برای تخمین رطوبت خاک با استفاده از داده‌های باند P تصویر رادار برای مناطق بایر و دارای پوشش گیاهی معرفی کرده و این مدل در عمق‌های ۰، ۳۰، ۱۰ و ۷۵ سانتیمتری از خاک بررسی‌شده 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 راداری پیشنهاد دادند. نتایج این مدل با داده‌های میدانی و هوایی مقایسه شده است و نتایج رضایت بخشی داشته است [۸].

مرادی‌زاده و سراجیان مدل *SLPRM*[1] 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 داده‌شده است، زمانی که زبری سطح با استفاده از داده راداری محاسبه می‌شود، روش *SLPRM* نتایج دقیق‌تری ارائه می‌دهد [۹].

از سوی دیگر، از یک تصویر تمام قطبیده راداری، 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، ۱۱ و ۱۲]. به‌همین منظور، در برخی مطالعات سعی شده تا از روش‌های انتخاب ویژگی جهت کاهش ابعاد فضای ویژگی این 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 رادارست-۲ ارائه داده‌اند [۱۳ و ۱۴]. همچنین ایکزمو 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 رادار و پارامترهای سطح رویه‌هایی را توسعه داده‌اند که بیشتر مطالعات آنها برای شناسایی اثر زبری سطح و پوشش گیاهی[2] 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 هرکدام دارای یک سری معایب و مزایا برای محاسبه رطوبت خاک بودند از طرفی با توجه به قابلیت‌های تصویر رادار در استخراج ویژگی‌های[3] مختلف از مکانیزم سطح زمین ما را بر این می‌دارد که با استفاده از تجزیه تصاویر تمام قطبیده راداری به تخمین رطوبت خاک بپردازیم. هدف این تحقیق ارائه یک مدل تحلیلی خطی برای تخمین رطوبت خاک با استفاده تجزیه تصاویر تمام قطبیده راداری 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 به‌کارگیری روش‌های انتخاب ویژگی می‌توانیم زیرمجموعه بهینه از ویژگی‌های موجود را انتخاب کنیم.

[1] Simultaneous Land Parameters Retrieval Model

[2] Vegetation
[3] Features

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-25]
[DOI: 10.29252/jgit.6.3.59]

در این مطالعه ما از الگوریتم GA[1]، SFS[2] و SBS[3] برای انتخاب ویژگی‌های بهینه برای مدل‌سازی تخمین رطوبت خاک با استفاده از تصاویر تمام قطبیده سنجش‌ازدور راداری استفاده‌شده است[۱۶].

با در نظر گرفتن موارد مورد بحث، این پژوهش به این صورت سازماندهی‌شده است: بخش دوم روش‌های کاربردی استفاده‌شده را بیان می‌نماید که شامل تولید ویژگی‌های تجزیه تمام قطبیده، روش تخمین خطی، روش انتخاب ویژگی GA و روش انتخاب ویژگی ترتیبی (SFS[4]) می‌باشد. بخش سوم روش پیشنهادی ارائه‌شده است و در بخش چهارم داده‌ها و منطقه مطالعاتی بیان‌شده است. همچنین در بخش پنجم پیاده‌سازی و نتایج می‌باشد و بخش ششم نتیجه‌گیری روش‌های مختلفی که برای تخمین رطوبت خاک استفاده‌شده است.

۲- روش‌های کاربردی استفاده‌شده

مبانی تئوری که در این تحقیق استفاده شده است به‌صورت زیر می باشد.

۲-۱- تولید ویژگی‌های تجزیه تمام قطبیده

به‌طور 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 دودسته همدوس[5] و غیر همدوس[6] (جدول (۱)) تقسیم می‌شود [۱۷]. روش‌های تجزیه همدوس، ماتریس پراکنش را به مجموعه‌ای از ماتریس‌های پراکنش متناظر با اشیای ساده‌تر یا استاندارد تجزیه می‌کند. روش تجزیه غیر همدوس، ماتریس کواریانس یا همدوسی را به مجموعه‌ای از ویژگی‌های درجه دوم متناظر با اشیای 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 بیان‌گر توان پراکنش یافته از هدف‌هایی با مکانیسم‌های پراکنش تک سطحی[7]، دوسطحی[8] و حجمی[9] تجزیه می‌کند [۱۷]. روش تجزیه غیر همدوس فریمن، ماتریس کواریانس را به مجموعه ماتریس‌های کواریانس مکانیسم‌های پراکنش تک سطحی، دوسطحی و حجمی تجزیه می‌کند [۱۸]. بنابراین می‌توان توان پراکنش یافته از این نوع هدف‌ها را به‌عنوان ویژگی در نظر گرفت.

۲-۲- روش تخمین خطی

مدل‌سازی با استفاده از ویژگی‌های تصاویر تمام قطبیده راداری ازجمله 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)

$$SM = 1 + a_1X_1 + a_2X_2 + \cdots + a_iX_i + \cdots + a_mX_m$$

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

[1] Genetic Algorithm
[2] Sequential Forward Selection
[3] Sequential Backward Selection
[4] Sequential Feature Selector
[5] Coherent
[6] Incoherent
[7] Single(Odd)-Bounce
[8] Double(Even)-Bounce
[9] Volume

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-25]
[DOI: 10.29252/jgit.6.3.59]

مورد آزمایش قرار می‌گیرد و به‌منظور ارزیابی دقت نتایج، کورلیشن بین ویژگی ها محاسبه‌شده‌اند. مطابق جدول (۲) و با توجه به کورلیشن بین بهترین ترکیب ۱۶ ویژگی داده راداری برای ارائه مدل تحلیلی خطی انتخاب شده‌است.

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
۳	*WAH1-Holm1*	۳	*RMB2-Brnes2*	۳	*JRH-Huynen*	۲	*FRE2-Freeman2*
۳	*WAH2-Holm2*	۳	*SRC-Cloude*	۳	*KRO-Krogager*	۳	*FRE3-Freeman3*
۳	*YAM3 Yamaguchi 3*	۱۶	*TSVM-Touzi*	۳	*NEU-Neuman2*	۳	*HAA-H.A.Alpha*
۴	*YAM4 Yamaguchi 4*	۳	*VZ3 Van Zyl(1992) 3*	۳	*RMB1-Brnes1*	۱۱	*HAA-H.A.Alpha-parameters*

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 مقادیرآماری 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 فضا با تعداد m عدد ویژگی مختلف می‌باشد. همان‌طور که قبلاً 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 به‌منظور ارائه هر چه بهتر مدل تحلیلی خطی برای محاسبه رطوبت خاک به‌دست آوریم. در این تحقیق سه روش الگوریتم تکاملی ژنتیک، الگوریتم انتخاب ترتیبی جلویی و الگوریتم انتخاب ترتیبی عقبی به‌منظور انتخاب ویژگی‌های مختلف تمام قطبیده راداری استفاده شده است.

۲-۳-۱- روش انتخاب ویژگی ژنتیک

الگوریتم ژنتیک جزء تکنیک‌های بهینه‌سازی فرا ابتکاری می‌باشد و متداول‌ترین 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 شایستگی‌شان مرتب‌شده و با استفاده از عملگرهای ژنتیک انتخاب[1]، تقاطع[2] و جهش[3]، جمعیت جدیدی از راه‌حل‌ها 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 مجذور میانگین مربع خطا 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.

[1] Select
[2] Crossover
[3] Mutation

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-25]
[DOI: 10.29252/jgit.6.3.59]

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

۲-۳-۲- روش انتخاب ویژگی ترتیبی

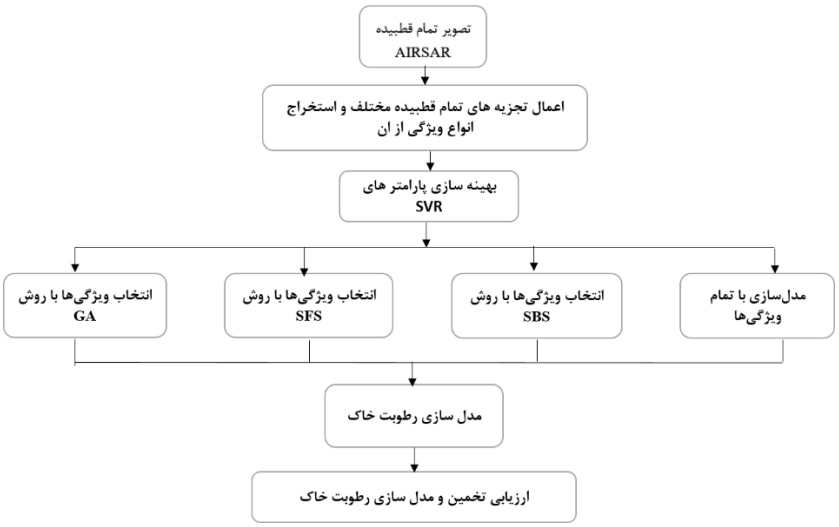
الگوریتم *SFS* یک الگوریتم جستجوی حریصانه است که به‌منظور کاهش فضایی ویژگی d بعدی اولیه به یک زیر مجموعه فضایی ویژگی k بعدی که دران $d>k$ استفاده می‌شود. هدف از کاهش فضایی ویژگی به این شیوه عبارت است از، (۱) بهبود بهره‌وری محاسباتی (۲) کاهش خطای تعمیم مدل‌ها به روش حذف ویژگی‌های بی‌ربط و نویز [۱۳]. به‌طورکلی الگوریتم *SFS*، حذف یا اضافه کردن ویژگی‌هایی که عملکرد آن روی مدل نهایی تأثیر دارد را می‌گویند. این عملیات تا زمانی که یک زیرمجموعه ویژگی k بعدی به‌دست بیاید، ادامه می‌یابد. الگوریتم *SFS* به دو دسته تقسیم می‌شود: (۱) الگوریتم روبه‌جلو انتخاب ویژگی (انتخاب ویژگی‌های مناسب به‌منظور مدل‌سازی) (۲) الگوریتم رو به عقب انتخاب ویژگی (حذف ویژگی‌های زائد به‌منظور مدل‌سازی) [۲۳].

۳- روش پیشنهادی

مدل‌سازی با استفاده از ویژگی‌های تصاویر تمام قطبیده راداری ازجمله روش‌های سنجش‌ازدوری محاسبه رطوبت خاک محسوب می‌شود. تاکنون تحقیقات مختلفی درزمینه رطوبت خاک با استفاده از ویژگی‌های راداری انجام‌شده است [۷]. با توجه به حجم بالای ویژگی‌های به‌کار گرفته‌شده در این تحقیق لازم است

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-25]
[DOI: 10.29252/jgit.6.3.59]

که داده‌ها/ویژگی‌های مناسب به‌منظور مدل‌سازی رطوبت خاک از بین ویژگی‌های موجود انتخاب شود. لذا طبق رویه پیشنهادشده در شکل (۱)، دو سناریو به‌کار گرفته‌شده است. سناریو اول، ابتدا به‌دلیل 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 انتخاب‌کننده بهینه مانند *GA*، *SFS* و *SBS* بهترین ویژگی‌ها انتخاب و نتایج این روش‌ها باهم مقایسه می‌شود. همچنین در این مقاله روش‌های پیشنهادشده با روش‌های قبلی بررسی‌شده در مطالعات پیشین هم مقایسه شده است. درنتیجه روند کلی این تحقیق از سه جزء اصلی تشکیل‌شده است ۱) تولید ویژگی‌ها از داده *AIRSAR*، ۲) مدل‌سازی رطوبت خاک با استفاده از ویژگی‌های که به روش سعی و خطا به‌دست‌آمده (کل ویژگی‌ها) و ویژگی‌های که با روش‌های بهینه کننده *GA*، *SFS* و *SBS* انتخاب‌شده‌اند و ۳) مقایسه دقت مدل‌های مختلف ارائه‌شده.



شکل ۱: روند کلی مدل‌سازی رطوبت خاک

۴- منطقه مورد مطالعه

منطقه موردمطالعه در جنوب اوکلاهما[1] واقع در ایالات‌متحده آمریکا است. پوشش این ناحیه علفزار می‌باشد این منطقه تابستان‌ها گرم و خشک و زمستان‌های معمولاً معتدل دارد . داده‌های زمینی و هوایی از این منطقه در طول دوره آزمایش رطوبت خاک در سال ۲۰۰۳ جمع‌آوری و اخذشده است [۲۴]. اطلاعات موقعیتی این منطقه در جدول (۳) ارائه‌شده است و همچنین شکل (۲-الف)، که برگرفته از گوگل ارث می‌باشد، نمای کلی از منطقه موردمطالعه نشان داده‌شده است.

[1] Oklahoma

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-25]
[DOI: 10.29252/jgit.6.3.59]

جدول ۳: اطلاعات از منطقه موردمطالعه

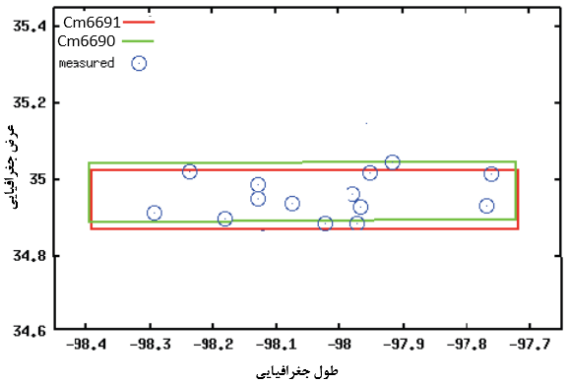
پوشش گیاهی	وضعیت آب‌وهوا	موقعیت		منطقه موردمطالعه
علفزار	نیمه مرطوب	35.0239N 98.385W	بالا سمت راست	اوکلاهما جنوبی
		34.8693N 97.7197W	پایین سمت چپ	

۴-۱-داده‌های مورد استفاده

به‌منظور استفاده از داده‌های میدانی از داده‌های *SMEX03* جمع‌آوری‌شده در تاریخ ۱۰ جولای ۲۰۰۳ استفاده‌شده است [۲۵]. مقدار رطوبت خاک در ۱۴ نقطه در جنوب اوکلاهما اندازه‌گیری شده است به‌دلیل محدود بودن نقاط میدانی ما از دو تصویر هوابرد *AIRSAR* راداری با توان تفکیک مکانی حدود ۶/۶ متر در راستای برد مایل که به‌طور همزمان از این منطقه استفاده کردیم که به‌ترتیب در تصویر *Cm6690* و *Cm6691* ۱۲ و ۱۴ نقطه قرار دارند با این تفاسیر در این تحقیق ما 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 رادار 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* *(5/31 GHZ)*، *L (1/26 GHZ)*، *P (0/45 GHZ)* است؛



الف)



ب)

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

۵- پیاده‌سازی و نتایج

نظر به این‌که مدل‌سازی رطوبت خاک تحت تأثیر ویژگی‌های انتخاب‌شده 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* انتخاب‌شده است، موردبررسی و تحلیل قرار می‌گیرد.

۵-۱- روش تخمین رطوبت خاک با تمام ویژگی‌ها

همان‌طور که قبلاً گفته 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 راداری همان‌طور که در جدول (۲) نشان دادیم این ترکیب ویژگی دارای بهترین دقت برای مدل تحلیلی خطی برای سه کانال مایکروویو تصویر *AIRSAR* می‌باشد. مطابق جدول (۴) انتخاب‌شده است.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-25]
[DOI: 10.29252/jgit.6.3.59]

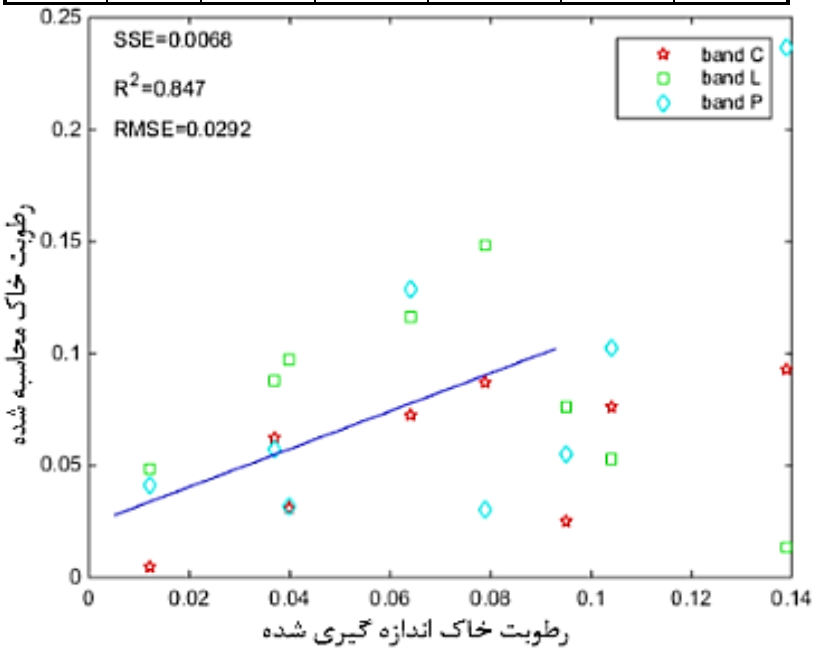
جدول ۴: ویژگی‌های که با روش سعی و خطا انتخاب‌شده‌اند

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

در این تحقیق، ۲۶ نقطه میدانی داریم که ۱۸ نقطه برای آموزش مدل تحلیلی خطی و ۸ نقطه برای تست این مدل استفاده‌شده است. نتایج به‌دست‌آمده برای سه کانال مایکروویو تصویر *AIRSAR* مطابق جدول (۵) می‌باشد و برای درک بهتر نتایج شکل (۳) ارائه شده است.

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 زده‌شده رطوبت خاک در باند **P,L,C** با استفاده از کل ویژگی‌ها.

نتایج به‌دست‌آمده در این قسمت نشان می‌دهد که مدل تحلیلی خطی ارائه‌شده با در نظر گرفتن ویژگی‌های کانال *C* تصویر *AIRSAR* رطوبت خاک را با دقت بهتری نسبت به کانال‌های *L* و *P* تصویر *AIRSAR* مدل‌سازی می‌کند.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-25]
[DOI: 10.29252/jgit.6.3.59]

۵-۲- 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 به‌دست‌آمده‌اند، بهترین ویژگی‌ها برای ارائه یک مدل تحلیلی خطی انتخاب می‌کنیم. پارامترهای *GA* مورداستفاده در این تحقیق مطابق جدول (۶) می‌باشد. با به‌کارگیری الگوریتم *GA*، ۱۰ ویژگی مناسب مطابق جدول (۷) انتخاب‌شده است. و معیار انتخاب جمعیت کمینه کردن مقدار *RMSE* می‌باشد.

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 انتخاب‌شده با استفاده از الگوریتم بهینه کننده GA.

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

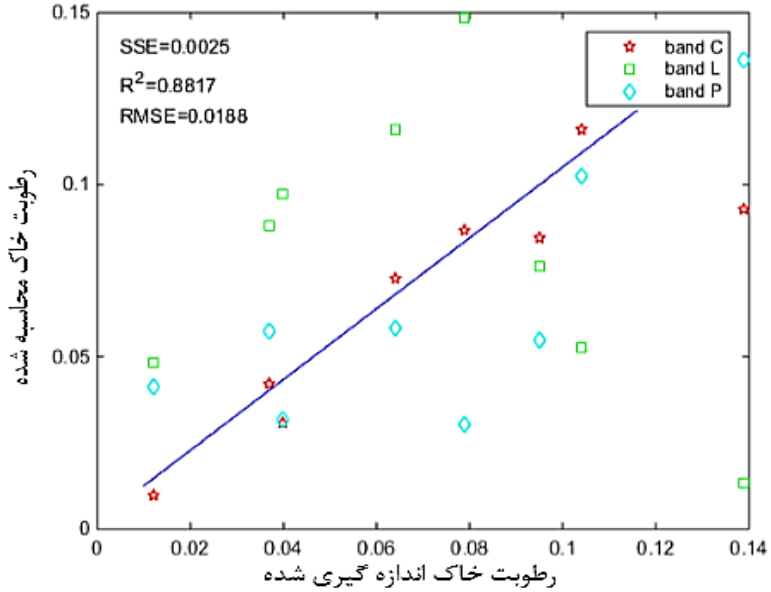
نتایج مدل تحلیلی خطی ارائه‌شده با در نظر گرفتن ویژگی‌های که با الگوریتم بهینه کننده *GA* انتخاب‌شده است مطابق جدول (۸) می‌باشد و برای درک بهتر از نتایج شکل (۴) ارائه‌شده است. همچنین گراف خروجی بهترین (*best*) و میانگین (*mean*) الگوریتم *GA* در شکل (۵) نشان داده‌شده است.

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

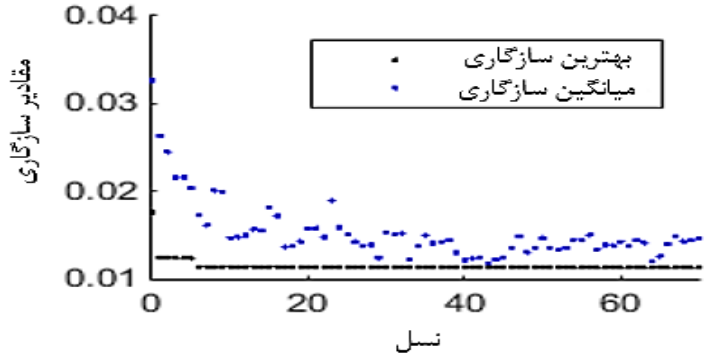
باند	R^2		*RMSE*		*SSE*	
	Test	*Train*	*Test*	*Train*	*Test*	*Train*
C	*88.17*	*85.73*	*0.0188*	*0.0263*	*0.0026*	*0.0092*
L	*87.29*	*79.13*	*0.0191*	*0.0301*	*0.0054*	*0.0101*
P	*83.03*	*55.21*	*0.028*	*0.0397*	*0.0335*	*0.094*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-25]

[DOI: 10.29252/jgit.6.3.59]



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



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

همان‌گونه که ملاحظه می‌شود رطوبت خاک با دقت بیشتری با استفاده از ویژگی‌های بهینه‌ای که الگوریتم *GA* انتخاب کرده است مدل‌سازی می‌شود. همچنین نتایج به‌دست‌آمده در این قسمت نشان می‌دهد که مدل تحلیلی خطی ارائه‌شده با در نظر گرفتن ویژگی‌های کانال *C* تصویر *AIRSAR* رطوبت خاک را با دقت بهتری نسبت به کانال‌های *L* و *P* تصویر *AIRSAR* مدل‌سازی می‌کند.

۵-۳- روش تخمین رطوبت خاک با انتخاب ویژگی‌های بهینه با الگوریتم ترتیبی

به‌طور کلی همانطور که در بخش‌های قبل ذکر شد انتخاب ویژگی‌های بهینه با الگوریتم ترتیبی به دو روش به‌صورت زیر می‌باشد:

۵-۳-۱- الگوریتم رو به جلو

در این قسمت با استفاده از الگوریتم *SFS* از بین فضایی ویژگی اولیه ۹ ویژگی به‌عنوان بهترین ویژگی‌ها برای ارائه یک مدل تحلیلی خطی مطابق جدول (۹) انتخاب‌شده است.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-25]
[DOI: 10.29252/jgit.6.3.59]

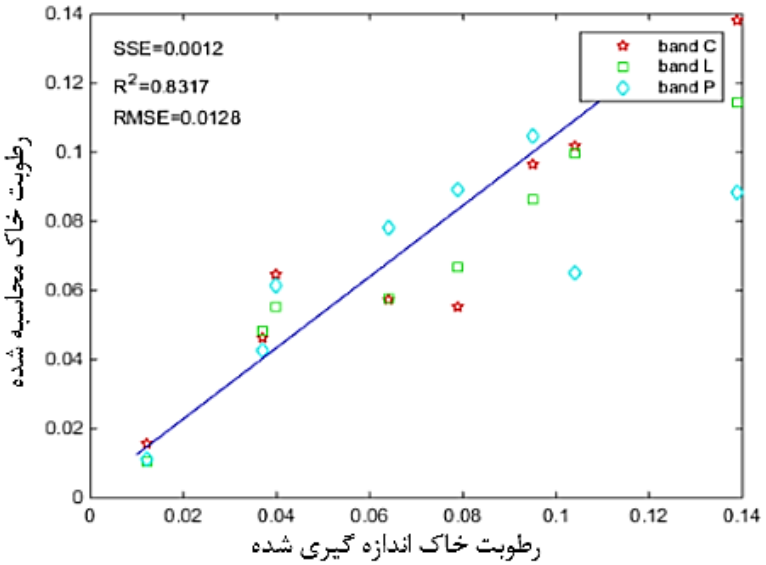
جدول ۹: ویژگی‌های انتخاب‌شده با استفاده از الگوریتم بهینه کننده **SFS**.

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

نتایج مدل تحلیلی خطی ارائه‌شده با در نظر گرفتن ویژگی‌های که با الگوریتم بهینه کننده *SFS* انتخاب‌شده است. مطابق جدول (۱۰) می‌باشد و برای درک بهتر از نتایج شکل (۶) ارائه‌شده است.

جدول ۱۰: نتایج حاصل از مدل تحلیلی خطی با ویژگی‌های انتخاب‌شده 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 زده‌شده رطوبت خاک در باند **P,L,C** با استفاده از ویژگی‌های انتخاب‌شده با **SFS**.

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 به‌دست‌آمده در این قسمت نشان می‌دهد که مدل تحلیلی خطی ارائه‌شده با در نظر گرفتن ویژگی‌های کانال *C* تصویر *AIRSAR* رطوبت خاک را با دقت بهتری نسبت به کانال‌های *L* و *P* تصویر *AIRSAR* مدل‌سازی می‌کند.

۵-۳-۲- الگوریتم رو به عقب

با استفاده از الگوریتم *SBS* از بین فضایی ویژگی اولیه ۱۲ ویژگی به‌عنوان بهترین ویژگی‌ها برای ارائه یک مدل تحلیلی خطی مطابق جدول (۱۱) انتخاب‌شده است.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-25]
[DOI: 10.29252/jgit.6.3.59]

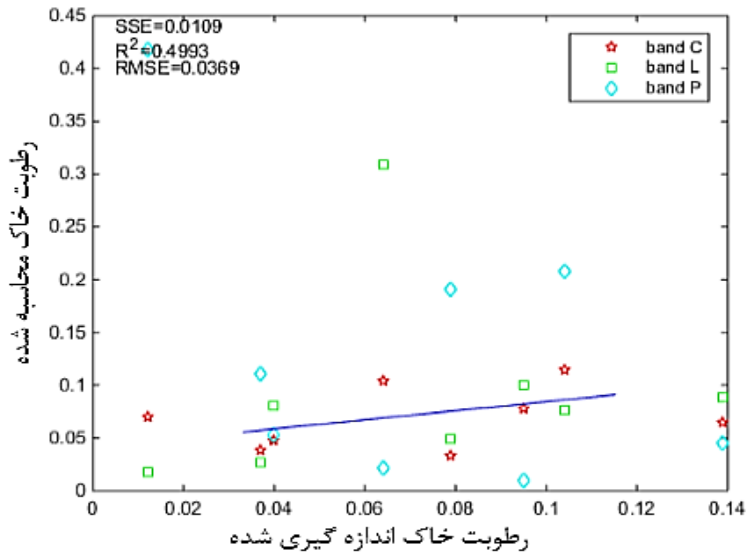
جدول ۱۱: ویژگی‌های انتخاب‌شده با استفاده از الگوریتم بهینه کننده SBS.

نام ویژگی	شماره	نام ویژگی	شماره
Barnes1_T11	X_{11}	*Barnes1_T22*	X_3
Barnes1_T33	X_{12}	*Freeman_Dbl*	X_4
Barnes2_T11	X_{13}	*Yamaguchi3_Odd*	X_6
Barnes2_T33	X_{14}	*HAAlpha_T33*	X_7
Barnes2_T22	X_{15}	*anisotropy*	X_8
Cloude_T33	X_{16}	*beta*	X_9

نتایج مدل تحلیلی خطی ارائه‌شده با در نظر گرفتن ویژگی‌های که با الگوریتم بهینه کننده *SBS* انتخاب‌شده است مطابق جدول (۱۲) می‌باشد و برای درک بهتر از نتایج شکل (۷) ارائه‌شده است.

جدول ۱۲: نتایج حاصل از مدل تحلیلی خطی با ویژگی‌های انتخاب‌شده

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 زده‌شده رطوبت خاک در باند P,L,C با استفاده از ویژگی‌های انتخاب‌شده با SBS.

همان‌گونه که ملاحظه می‌شود رطوبت خاک با استفاده از ویژگی‌های بهینه‌ای که الگوریتم *SBS* انتخاب کرده است، با دقت پایین تری نسبت به تمام روش های دیگر مدل‌سازی می‌شود. همچنین نتایج به‌دست‌آمده در این قسمت نشان می‌دهد که مدل تحلیلی خطی ارائه شده با در نظر گرفتن ویژگی‌های کانال *C* تصویر *AIRSAR* رطوبت خاک را با دقت بهتری نسبت به کانال های *L* و *P* تصویر *AIRSAR* مدل‌سازی می‌کند.

۵-۴- بحث و مقایسه

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

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-25]
[DOI: 10.29252/jgit.6.3.59]

خطی با استفاده از ویژگی‌های داده راداری در حالت تمام ویژگی‌ها و حالتی که ویژگی‌ها با استفاده از الگوریتم‌های بهینه کننده ژنتیک و ترتیبی انتخاب‌شده‌اند مقایسه قرارگرفته است. ویژگی‌های استفاده‌شده در این روش‌ها همه در جداول فوق آورده شده است. برای مقایسه روش‌ها از پارامترهای آماری مختلفی مانند مجذور میانگین مربع خطا *(RMSE)*، ضریب همبستگی (R^2) و مجموعه مربعات خطا *(SSE)* استفاده می‌شود. نتایج حاصل از مدل تحلیلی خطی برای چهار حالت استفاده‌شده از ویژگی‌های تصویر راداری در جدول (۶)، ۹، ۱۱و ۱۳ ارائه‌شده 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 می دهد. 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 نسب به سایر روش‌ها ارائه داده است و بعد از آن به ترتیب مدل حاصل از تمام ویژگی‌ها ، ویژگی‌های انتخاب‌شده توسط الگوریتم ترکیبی روبه‌جلو و ویژگی‌های حاصل از الگوریتم ترتیبی رو به عقب نتایج مناسب‌تری برای محاسبه رطوبت خاک ارائه دادن. از طرفی با توجه به تعداد ویژگی‌های استفاده‌شده در مدل تحلیلی خطی محاسبه رطوبت خاک الگوریتم ترتیبی روبه‌جلو با در نظر گرفتن ۹ ویژگی سرعت محاسباتی در این مدل بالاتر می‌باشد. درنتیجه می‌توان بیان کرد که مدل تحلیلی خطی با استفاده از ویژگی‌های انتخاب‌شده 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*، *SFS* و *SBS* در سه باند C، L و P که مربوط به پروژه 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 *SFS* و *SBS* انتخاب‌شده‌اند، 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* باند C 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. ازجمله نتایج این تحقیق می‌توان به نتایج نامناسب باند P اشاره کرد، که نتایج نامناسبی نسبت به سایر باندها دارد. هم‌چنین نتایج ضعیف‌تری در انتخاب ویژگی‌های بهینه الگوریتم *SBS* نسبت به سایر الگوریتم‌ها برای مدل‌سازی رطوبت خاک ارائه می‌دهد.

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.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-25]

[DOI: 10.29252/jgit.6.3.59]

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 ردهبندی," 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

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-25]

[DOI: 10.29252/jgit.6.3.59]

to Applications," 1stedition, February2009, 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-mlxtend."[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.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-25]

[DOI: 10.29252/jgit.6.3.59]

K. N. TOOSI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
FACULTY OF GEODESY AND GEOMATICS ENGINEERING

Journal of Geospatial Information Technology
Vol.6, No.3, Autumn 2018

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

Esmaeil Khedri[1], 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

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-25]

[DOI: 10.29252/jgit.6.3.59]