

## مدل سازی خطی رطوبت خاک با استفاده از تجزیه و انتخاب ویژگی های تمام قطبیده راداری

اسماعیل خدری<sup>۱</sup>، مهدی حسنلو<sup>۲\*</sup>

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 هییدرولوژی 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 چنین هدفی تصاویر تمام قطبیده راداری (PolSAR) یک ابزار مناسب و قدرتمند می‌باشد. همچنین این تصاویر هم پوشش وسیع و هم توان تفکیک مکانی مناسب را تضمین می‌نمایند. در این مطالعه، یک مدل تحلیلی خطی برای تخمین رطوبت خاک با استفاده از داده‌های اخذ شده توسط سنجنده ایرسار 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 مدل سازی اقدام شده است. همچنین برآورد انجام شده رطوبت خاک با اندازه گیری‌های زمینی مقایسه شده است. نتایج به دست 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 مدل سازی می‌کند. پارامترهای آماری به دست آمده با استفاده از این روش  $R^2$  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 باندهای  $C$  رطوبت خاک با دقت بالاتری نسبت به مدل تحلیلی خطی ویژگی‌های باندهای  $L$  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 کارگر شمالی، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران

تلفن: ۶۱۱۱۴۵۲۵

## ۱- مقدمه

آب قابل دسترس برای گیاهان که به طور معمول در  $cm$  ۲۰۰ بالای خاک می باشد، را رطوبت خاک<sup>۱</sup> 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<sup>۲</sup>، بیولوژی<sup>۳</sup> و زیست محیطی<sup>۴</sup> از اهمیت زیادی برخوردار می باشد [۲]. محققان نشان داده اند که بازخورد قوی بین آنامولی رطوبت خاک و آب و هوا منطقه مورد نظر وجود دارد، در نتیجه تهیه نقشه های رطوبت خاک با دقت بالا درک ما را از آب و هوای منطقه مورد نظر بهبود می بخشد [۱]. بررسی و پیاده سازی الگوریتم ها برای بازیابی پارامترهای سطح خاک مانند زبری<sup>۵</sup> می تواند کمک شایانی در بسیاری از کاربردها داشته باشد. پتانسیل رادار با روزه مجازی<sup>۶</sup> برای اندازه گیری 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 داده های رادار با روزه مجازی از اهمیت خاصی برخوردار است. خصوصیات تصاویر تمام قطبیده راداری (PolSAR) برای حصول اطمینان هم در پوشش گسترده و هم توان تفکیک مکانی بالا، آن را به یک ابزار کارآمد برای تخمین رطوبت خاک در مقایسه با داده های غیرفعال<sup>۷</sup> بسیار قوی تر می سازد [۳]. اثرات پوشش گیاهی و زبری سطح شدت سیگنال داده های فعال<sup>۸</sup> را در مقایسه با داده های غیرفعال تحت تأثیر قرار می دهد و از همین خصوصیت برای تخمین رطوبت خاک استفاده می شود [۳].

رابطه بین پارامترهای سطح خاک و سیگنال رادار از طریق مدل های باز پراکنش بیان می گردد که اصول کلی این مدل ها بدین شکل است که  $\sigma^0$  ضریب باز پراکنش<sup>۹</sup> تابعی از پارامترهای سنجنده مانند زاویه برخورد<sup>۱۰</sup> طول موج و قطبش<sup>۱۱</sup> و پارامترهای هدف که به خصوصیات سطح مانند زبری و رطوبت خاک و غیره مربوط است [۴]. در نتیجه رادار با روزه مجازی و با خصوصیت تمام قطبیده، پتانسیل بالایی در بازیابی پارامترهای فیزیکی سطح مانند رطوبت و زبری سطح دارد [۴].

برای محاسبه پارامترهای سطح مدل های بسیاری از باز پراکنش توسط آه و همکاران که با استفاده از نسبت ضرایب باز پراکنش در پلاریزاسیون های مختلف رطوبت خاک را تخمین می زند [۴].

ایبل و همکاران مدل نیمه تحلیلی  $WCM$ <sup>۱۲</sup> 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 زمین های با ناهمواری بسیار کم مناسب می باشد. در این راستا حسینی و سراجیان مدل  $WCM$  را توسعه دادند و به منظور حذف توأم اثر پوشش گیاهی و زبری سطح از روی ضریب باز پراکنش رادار و مدل  $IWCM$ <sup>۱۳</sup> را پیشنهاد دادند [۶]. همچنین ماریزین و همکاران با استفاده از تکنیک تجزیه پلاریمتری داده های  $AIRSAR$ <sup>۱۴</sup> در باند  $C$  و  $L$  رطوبت خاک را با دقت بالای محاسبه کرده اند. در این تحقیق با فیلتر کردن زبری سطح و تفاوت قائل شدن

<sup>1</sup> Soil Moisture<sup>2</sup> Hydrology<sup>3</sup> Biology<sup>4</sup> Environmental<sup>5</sup> Roughness<sup>6</sup> Synthetic aperture radar<sup>7</sup> Passive<sup>8</sup> Active<sup>9</sup> Backscattering Coefficients<sup>10</sup> Incident angle<sup>11</sup> Polarization<sup>12</sup> Water Cloud Model<sup>13</sup> Improved Water Cloud Model<sup>14</sup> 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 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<sup>۲</sup> در تخمین رطوبت خاک بوده است [۱، ۴ و ۵].

همان‌طور که بیان شد تاکنون تعداد زیادی مدل‌های تجربی و تئوری محاسبه رطوبت خاک پیشنهاد شده است که هر کدام دارای یک سری معایب و مزایا برای محاسبه رطوبت خاک بودند از طرفی با توجه به قابلیت‌های تصویر رادار در استخراج ویژگی‌های<sup>۳</sup> 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.

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

لین هو 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  $SLPRM$ <sup>۱</sup> 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 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

<sup>۲</sup> Vegetation<sup>۳</sup> Features<sup>۱</sup> Simultaneous Land Parameters Retrieval Model

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<sup>۷</sup>، دوسطحی<sup>۸</sup> و حجمی<sup>۹</sup> 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 از جمله روش‌های سنجش‌ازدوری محاسبه رطوبت خاک محسوب می‌شود. تاکنون تحقیقات مختلفی در زمینه رطوبت خاک با استفاده از ویژگی‌های راداری انجام شده است [۷]. در این تحقیق هدف ارائه یک مدل تحلیلی خطی برای تخمین رطوبت خاک مطابق رابطه (۱) می‌باشد.

رابطه (۱)

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

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* تولید شده است (جدول (۱)) و به دلیل 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

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 استفاده شده است [۱۶].

با در نظر گرفتن موارد مورد 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 ( $SFS^4$ ) 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 دودسته همدوس<sup>۵</sup> و غیر همدوس<sup>۶</sup> (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

<sup>1</sup> Genetic Algorithm

<sup>2</sup> Sequential Forward Selection

<sup>3</sup> Sequential Backward Selection

<sup>4</sup> Sequential Feature Selector

<sup>5</sup> Coherent

<sup>6</sup> Incoherent

<sup>7</sup> Single(Odd)-Bounce

<sup>8</sup> Double(Even)-Bounce

<sup>9</sup> Volume

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

مورد آزمایش قرار می گیرد و به منظور ارزیابی دقت نتایج، کورلیشن بین ویژگی ها محاسبه شده اند. مطابق جدول (۲) و با توجه به کورلیشن بین بهترین ترکیب

جدول ۱: نمونه ای از تجزیه های 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

ویژگی های مختلف تمام قطبیده راداری استفاده شده است.

## ۲-۳- روش انتخاب ویژگی

مدل تحلیلی یک روش یادگیری به منظور دسته بندی، رگرسیون و دیگر کارهای آموزشی است [۲۰]. یکی از کاربردهای مدل تحلیلی رگرسیون می باشد که در حالت کلی شامل دو دسته است [۲۰]. (۱) استفاده از داده های آموزشی برای به دست آوردن مدل، (۲) استفاده از مدل پیش بینی اطلاعات داده های تست. البته در قسمت دسته بندی و رگرسیون می توان مقادیر آماری را نیز تعیین کرد [۲۰]. کیفیت مدل تحلیلی وابسته به ویژگی های مورد استفاده در آن می باشد. در روش رگرسیون هدف برآورد یک تابع نامعلوم بر مبنای تعداد محدودی از مشاهدات و نمونه ها می باشد. مطابق رابطه (۱) که در این مدل ورودی  $X$  در یک فضا با تعداد  $m$  عدد ویژگی مختلف می باشد. همان طور که قبلاً گفته شد کیفیت نتایج مدل تحلیلی وابسته به ویژگی های انتخاب شده می باشد که در این پژوهش با استفاده از الگوریتم های بهینه کننده به انتخاب ویژگی های منحصر به فرد می پردازیم تا با استفاده از این ویژگی ها 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

## ۲-۳-۱- روش انتخاب ویژگی ژنتیک

الگوریتم ژنتیک جزء تکنیک های بهینه سازی فرا ابتکاری می باشد و متداول ترین نوع الگوریتم های تکاملی است که رویه واحدی برای آن وجود نداشته و دارای رویه ای 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<sup>۱</sup>، تقاطع<sup>۲</sup> و جهش<sup>۳</sup>، جمعیت جدیدی از راه حل ها تولید می گردد. این رویه تا زمان برقراری شرط خاتمه الگوریتم ادامه می یابد [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.

<sup>1</sup> Select

<sup>2</sup> Crossover

<sup>3</sup> 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 به‌منظور مدل‌سازی) (۲) الگوریتم رو به عقب انتخاب ویژگی (حذف ویژگی‌های زائد به‌منظور مدل‌سازی) [۲۳].

### ۳- روش پیشنهادی

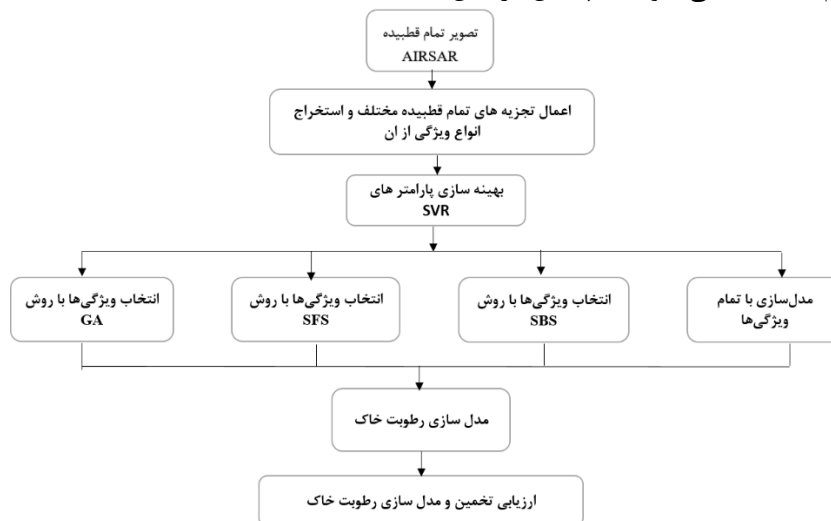
مدل‌سازی با استفاده از ویژگی‌های تصاویر تمام قطبیده راداری از جمله روش‌های سنجش‌ازدوری محاسبه رطوبت خاک محسوب می‌شود. تاکنون تحقیقات مختلفی در زمینه رطوبت خاک با استفاده از ویژگی‌های راداری انجام شده است [۷]. با توجه به حجم بالای ویژگی‌های به‌کار گرفته‌شده در این تحقیق لازم است

### 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 در آن  $d > k$  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]. به‌طور کلی 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

مقاله روش‌های پیشنهادشده با روش‌های قبلی بررسی شده در مطالعات پیشین هم مقایسه شده است. در نتیجه روند کلی این تحقیق از سه جزء اصلی 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 ویژگی‌های که با روش‌های بهینه کننده GA، SFS و SBS انتخاب شده‌اند و (۳) مقایسه دقت مدل‌های مختلف ارائه شده.

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 انتخاب‌کننده بهینه مانند GA، SFS و SBS 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<sup>۱</sup> واقع در ایالات متحده 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 اخذ شده است [۲۴]. اطلاعات موقعیتی این منطقه در جدول (۳) ارائه شده است و همچنین شکل (۲-الف)، که برگرفته از

<sup>1</sup> Oklahoma

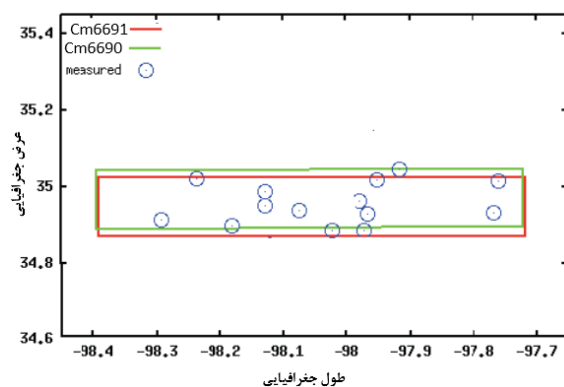
جدول ۳: اطلاعات از منطقه مورد مطالعه

پوشش گیاهی	وضعیت آب و هوا	موقعیت	منطقه مورد مطالعه
علفزار	نیمه مرطوب	35.0239N 98.385W	اوکلاهما جنوبی
		34.8693N 97.7197W	

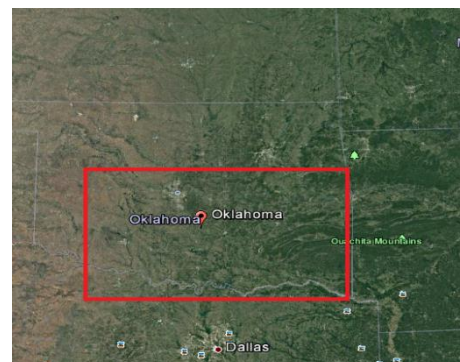
## ۴-۱- داده‌های مورد استفاده

به منظور 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 به دلیل محدود بودن نقاط میدانی ما از دو تصویر هوابرد *AIRSAR* راداری با توان تفکیک مکانی حدود ۶/۶ متر در راستای برد مایل که به طور همزمان از این منطقه استفاده کردیم که به ترتیب 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* (*0/45 GHZ*) *P*، (*1/26 GHZ*) *L*، (*5/31 GHZ*) است؛



(ب)



(الف)

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

## 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.

## ۵-۱- روش تخمین رطوبت خاک با تمام ویژگی‌ها

همان‌طور که قبلاً گفته شد در این قسمت به دلیل 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) انتخاب شده است.



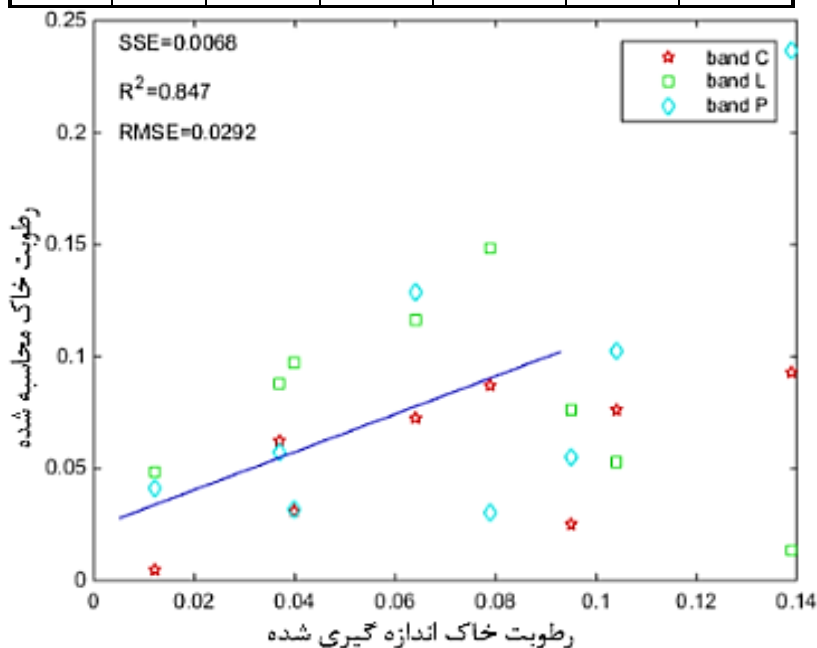
جدول ۴: ویژگی‌های که با روش سعی و خطا انتخاب شده‌اند

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>HAAalpha_T33</i>	$X_{15}$	<i>Barnes2_T22</i>
$X_8$	<i>Anisotropy</i>	$X_{16}$	<i>Cloude_T33</i>

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 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	$R^2$		$RMSE$		$SSE$	
	<i>Test</i>	<i>Train</i>	<i>Test</i>	<i>Train</i>	<i>Test</i>	<i>Train</i>
<i>C</i>	84.73	80.12	0.0330	0.0394	0.0087	0.012
<i>L</i>	63.17	60.39	0.0773	0.0912	0.0189	0.0253
<i>P</i>	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 *P, L, C* با استفاده از کل ویژگی‌ها.

نتایج به دست آمده 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 کانال‌های *L* و *P* تصویر *AIRSAR* مدل‌سازی می‌کند.

## 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 به دست آمده‌اند، بهترین ویژگی‌ها برای ارائه یک مدل تحلیلی خطی

انتخاب می‌کنیم. پارامترهای GA مورد استفاده 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.

جدول ۶: پارامترهای اجرای الگوریتم GA

پارامترهای الگوریتم ژنتیک	مقدار پارامترها
<i>Population</i>	20
<i>Elitism</i>	1
<i>Crossover</i>	0.7
<i>Mutation</i>	0.05
<i>Max Iterations</i>	70
<i>Method Crossover</i>	2

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

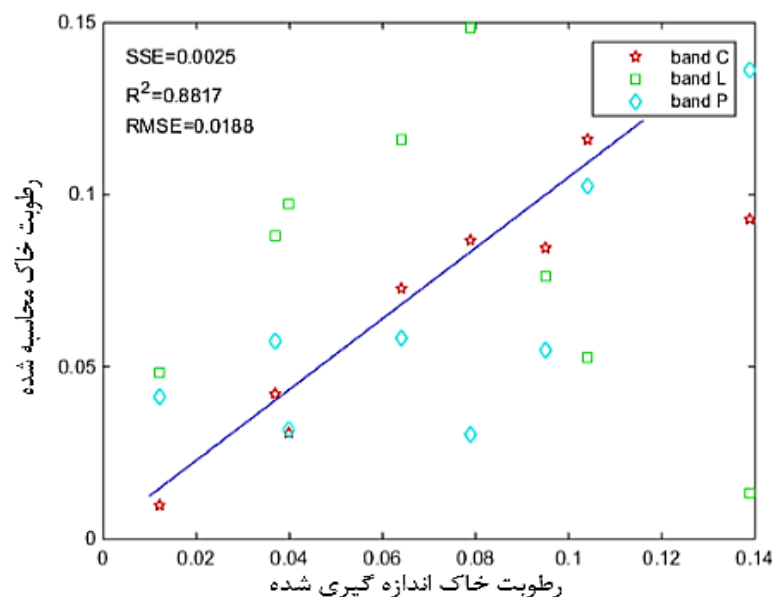
شماره	نام ویژگی	شماره	نام ویژگی
$X_2$	<i>Freeman_Vol</i>	$X_9$	<i>Beta</i>
$X_3$	<i>Barnes1_T22</i>	$X_{11}$	<i>Barnes1_T11</i>
$X_5$	<i>Holm2_T11</i>	$X_{14}$	<i>Barnes2_T33</i>
$X_6$	<i>Yamaguchi3_Odd</i>	$X_{15}$	<i>Barnes2_T22</i>
$X_7$	<i>HAAalpha_T33</i>	$X_{16}$	<i>Cloude_T33</i>

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.

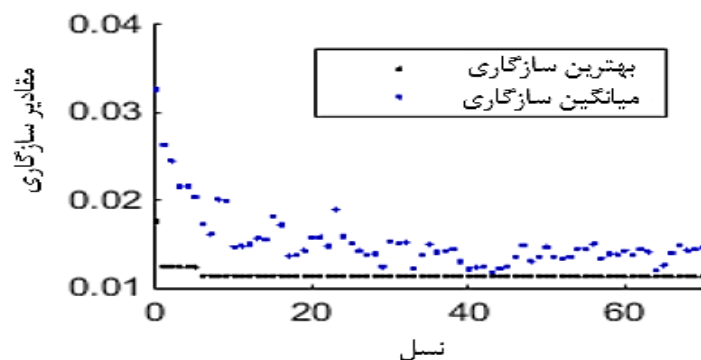
نتایج مدل تحلیلی خطی ارائه شده با در نظر گرفتن ویژگی‌های که با الگوریتم بهینه کننده GA انتخاب شده است مطابق جدول (۸) می‌باشد و برای

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>
<i>C</i>	88.17	85.73	0.0188	0.0263	0.0026	0.0092
<i>L</i>	87.29	79.13	0.0191	0.0301	0.0054	0.0101
<i>P</i>	83.03	55.21	0.028	0.0397	0.0335	0.094



شکل ۴: مقایسه مقدار اندازه گیری شده و تخمین زده شده رطوبت خاک در باند P, L, C با استفاده از ویژگی های انتخاب شده با GA.



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

انتخاب ویژگی های بهینه با الگوریتم ترتیبی به دو روش به صورت زیر می باشد:

### ۵-۳-۱- الگوریتم رو به جلو

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

همان گونه که ملاحظه می شود رطوبت خاک با دقت بیشتری با استفاده از ویژگی های بهینه ای که الگوریتم GA انتخاب کرده است مدل سازی می شود. همچنین نتایج به دست آمده در این قسمت نشان می دهد که مدل تحلیلی خطی ارائه شده با در نظر گرفتن ویژگی های کانال C تصویر AIRSAR رطوبت خاک را با دقت بهتری نسبت به کانال های L و P تصویر AIRSAR مدل سازی می کند.

### ۵-۳- روش تخمین رطوبت خاک با انتخاب

#### ویژگی های بهینه با الگوریتم ترتیبی

به طور کلی همانطور که در بخش های قبل ذکر شد

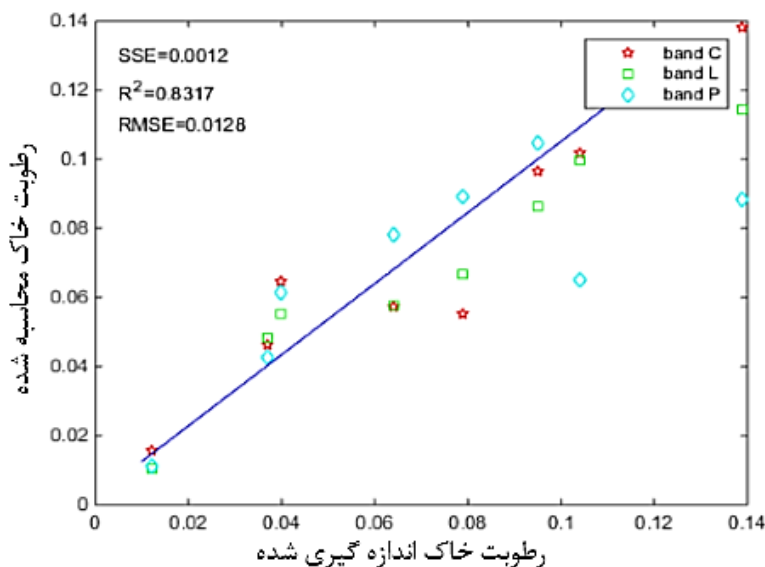
جدول ۹: ویژگی‌های انتخاب‌شده با استفاده از الگوریتم بهینه کننده SFS.

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

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

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 زده شده رطوبت خاک در باند P, L, C با استفاده از ویژگی‌های انتخاب‌شده با SFS.

P تصویر AIRSAR مدل سازی می‌کند.

### ۵-۳-۲- 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.

همان گونه که ملاحظه می‌شود رطوبت خاک با استفاده از ویژگی‌های بهینه‌ای که الگوریتم SFS انتخاب کرده است، با دقت پایین تری مدل سازی شده است. همچنین نتایج به دست آمده 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 کانال‌های L و

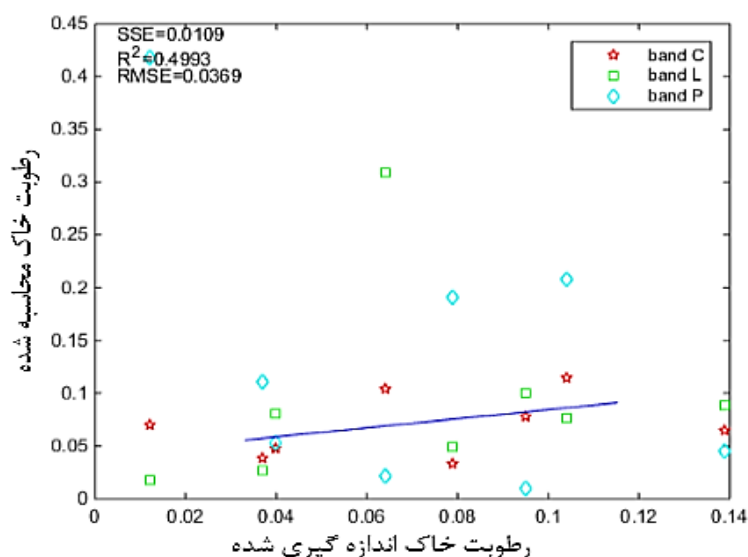
جدول ۱۱: ویژگی‌های انتخاب‌شده با استفاده از الگوریتم بهینه کننده SBS.

شماره	نام ویژگی	شماره	نام ویژگی
$X_3$	<i>Barnes1_T22</i>	$X_{11}$	<i>Barnes1_T11</i>
$X_4$	<i>Freeman_Dbl</i>	$X_{12}$	<i>Barnes1_T33</i>
$X_6$	<i>Yamaguchi3_Odd</i>	$X_{13}$	<i>Barnes2_T11</i>
$X_7$	<i>HAAAlpha_T33</i>	$X_{14}$	<i>Barnes2_T33</i>
$X_8$	<i>anisotropy</i>	$X_{15}$	<i>Barnes2_T22</i>
$X_9$	<i>beta</i>	$X_{16}$	<i>Cloude_T33</i>

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

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 C, L, P با استفاده از ویژگی‌های انتخاب‌شده 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 روش‌های دیگر مدل‌سازی می‌شود. همچنین نتایج به‌دست‌آمده در این قسمت نشان می‌دهد که مدل تحلیلی خطی ارائه‌شده با در نظر گرفتن ویژگی‌های کانال C تصویر AIRSAR

#### ۴-۵- بحث و مقایسه

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

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  $SBS$  و  $SFS$ ،  $GA$  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 پرداختیم. 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  $SBS$  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  $AIRSAR$  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. از جمله 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.

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 خطا ( $RMSE$ )، ضریب همبستگی ( $R^2$ ) و مجموعه مربعات خطا ( $SSE$ ) 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 داد. 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. 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. Tabatabaenejad, “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 ”, رده بندی, 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-mlxtend.” [Online]. Available: [http://rasbt.github.io/mlxtend/user\\_guide/feature\\_selection/SequentialFeatureSelector/](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 Data Center.” [Online]. Available: [http://nsidc.org/data/amsr\\_validation/soil\\_moisture/smex03/index.html](http://nsidc.org/data/amsr_validation/soil_moisture/smex03/index.html). [Accessed: 03-Jan-2017].
- [26] E. Khedri, M. Hasanlou, and A. Tabatabaenejad, “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 Khedri<sup>1</sup>, Mahdi Hasanlou <sup>\*2</sup>

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.