

## جدایش واحدهای زمین شناسی با تهیه نقشه ژئومورفولوژی به کمک تصاویر رادار روزنه مصنوعی

علی غفوری، محمدعلی کاووسی، محمدعلی گنجویان، مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت ایران  
جلال امینی، مجتبی دهملائیان، دانشکده فنی-دانشگاه تهران

### چکیده

تهیه نقشه‌های سازندهای زمین شناسی که از پردازش و تفسیر تصاویر ماهواره‌ای بدست می‌آید، نیازمند انجام بازبدهای میدانی است. اما سنجش از دور و از طریق تصاویر رادار روزنه مصنوعی<sup>۱</sup>، قابلیت کسب اطلاعات مورفولوژی و جدایش زونهای دگرسانی براساس بافت سنگ شناسی را فراهم می‌کند تا میزان بازبدهای زمین شناسان را به حداقل رساند. بنابراین باید از مدل‌های پس‌پراکندگی سیگنال راداری نظیر مدل معادله انتگرالی (IEM) استفاده کرد که اندازه زبری سطح را در مقابل پس‌پراکندگی راداری مدلسازی می‌کنند. در مدل IEM، اندازه زبری سطح با استفاده از پارامتر rms ارتفاعی<sup>۲</sup> محاسبه می‌شود. نقشه زبری سطح از روش پیشنهادی برای تأقدیس اناران (استان ایلام) از طریق پردازش تصویر راداری TerraSAR محاسبه شد که با طبقه‌بندی آن، نقشه مورفولوژی به دست می‌آید. به منظور آموزش مدل ریاضی و همچنین مقایسه و ارزیابی نتایج، اندازه‌گیری میدانی زبری سطح در سه سایت با سنگ شناسی‌های اصلی منطقه مورد مطالعه توسط دوربین توتال استیشن انجام شد. در مقایسه نقشه واقعیت‌های زمینی عملیات میدانی با نقشه زبری سطح محاسبه شده با استفاده از مدل IEM، مشخص شد، میزان دقت و صحت کلی نقشه بدست آمده از روش پیشنهادی بیش از ۸۰٪ است. این خطا برای کاهش و حتی حذف بازبدهای زمین شناسان در بسیاری موارد، مقداری قابل قبول است.

### اطلاعات مقاله

تاریخ ارسال نویسنده: ۹۶/۰۸/۱۲

تاریخ ارسال به بازبین: ۹۶/۰۹/۲۲

تاریخ پذیرش بازبین: ۹۶/۱۱/۲۶

### واژگان کلیدی:

نقشه‌های زمین شناسی، رادار روزنه مصنوعی، مدل معادله انتگرالی

### مقدمه

تهیه نقشه‌های زمین شناسی همواره با مشکلات خاصی همراه است و از آنجا که یکی از روش‌های جدایش سازندها در نقشه زمین شناسی، براساس ویژگی‌های سنگ شناسی است، از پردازش تصاویر ماهواره‌ای به این منظور استفاده می‌شود [۱ و ۲]. اما تصاویر ماهواره‌ای که به این منظور استفاده می‌شوند، معمولاً تصاویر فراطیفی و فاقد قابلیت جدایش بافت سنگ شناسی است و امکان تمایز مورفولوژی سازندها را ندارد و بنابراین اندازه‌گیری‌های میدانی با هدف ثبت اطلاعات ژئومورفولوژی امری گریزناپذیر است [۳].

از سوی دیگر با توجه به پرتگاه‌های گسلی و نقاط صعب‌العبور، امکان عملیات صحرائی برای بازدید همه نواحی در چارچوب یک نقشه زمین شناسی وجود ندارد [۴ و ۵]. بررسی نقشه‌های زمین شناسی و عوارض موجود در زمین نشان می‌دهد که نه تنها تصاویر ماهواره‌ای بلکه در برخی موارد، زمین شناسان با تجربه نیز قادر نیستند تمام عوارض و پدیده‌های زمین شناسی را به نقشه در آورند و از لحاظ اقتصادی نیز صرف دقت و هزینه زیاد نیز توجیه ندارد [۶].

بررسی تجربیات قبلی نشان می‌دهد که استفاده از پردازش داده‌های رادار روزنه مصنوعی برای جدایش مرز سازندها تاکنون چندان انجام نشده و مقاله دیگری پیش‌تر در همین نشریه این موضوع را بررسی و زمینه کار در آن را تشریح کرده بود [۷]. در این پژوهش سعی کردیم تا با پردازش تصاویر رادار روزنه مصنوعی و کسب اطلاعات مورفولوژی سطح، جدایش بهتر واحدهای زمین شناسی را انجام دهیم. این روش، خطاهای فردی را به حداقل رسانده و از نظر اقتصادی خیلی ارزان است. همچنین این روش می‌تواند کمک زیادی به زمین شناسان در عرصه‌های نفت، معادن و فلزات، جهاد کشاورزی، انرژی اتمی و آب شناسی کند [۸]. هدف این مطالعه، تکمیل روند پردازش طیفی با افزودن

اطلاعات مورفولوژی سطح- قابل استخراج از مدل‌های راداری- است. در این مطالعه با تشریح مختصری از مدل IEM و معرفی زمین شناسی منطقه، نتایج حاصل از پیاده‌سازی مدل بر داده رادار روزنه مصنوعی (SAR) تأقدیس اناران ارائه می‌شود. برای ارزیابی نتایج، نقشه واقعیت‌های زمینی تهیه شده از محدوده مورد مطالعه به روش نقشه برداری میدانی ملاک دقت نقشه زبری سطح یا نقشه مورفولوژی محاسبه شده است. برای ارزیابی نتایج از مقایسه نتایج محاسبات با اندازه‌گیری‌های زمینی و تشکیل ماتریس تطابق استفاده می‌شود.

### ۱- روش انجام کار

برای استفاده از قابلیت تفکیک الگوی هندسی و امکان تشخیص شکل و بافت سطوح زمین شناسی با استفاده از روش سنجش از دور مایکروویو، لازم است ضمن اطلاع از خواص دی الکتریک سطح، هندسه زبری و صافی سطح مطالعه و مدلسازی شود. چرا که پس‌پراکندگی امواج مایکروویو از سطوحی که به آنها برخورد می‌کند، غیر از پارامترهای آنتن، تحت تأثیر دو عامل هندسه زبری و صافی<sup>۴</sup> و جنس و خاصیت دی الکتریک<sup>۵</sup> سطح نیز است [۹].

مدل معادله انتگرالی<sup>۶</sup> IEM، رایج‌ترین مدل در این مورد است که از پارامتر rms-height و طول همبستگی به عنوان ویژگی هندسه سطح استفاده می‌کند [۱۰]. بنابراین در صورت امکان اجرای مدل می‌توان آن را معیاری برای تشکیل نقشه زبری سطح قرار داد و بر میزان تشخیص مورفولوژی سطح افزود و دقت جدایش زون‌های آلتراسیون در زمین شناسی را بهبود داد. از این خصوصیت می‌توان برای ارتقاء دقت نقشه‌های زمین شناسی موجود و بهبود مقیاس آنها نیز استفاده کرد [۲].

مدلسازی زبری سطح براساس پس‌پراکندگی راداری در سه سایت مختلف

\* نویسنده‌ی عهده‌دار مکاتبات (ali.ghafouri@niocexp.ir)

## ۳- نتایج پیاده‌سازی

تأقدیس انسان واقع در کمربند چین خوردگی زاگرس بدلیل دارا بودن سازندهای زمین‌شناسی مختلف، موضوع بررسی دگرریختگی سنگ‌ها بوده [۱۷ و ۱۸] و در این مطالعه به عنوان منطقه مورد مطالعه جهت پیاده‌سازی روش تشخیص مورفولوژی به کمک رادار مورد مطالعه قرار گرفت.

ارزیابی نتیجه پیاده‌سازی مدل IEM که در قالب نقشه زبری سطح بدست می‌آید، نیازمند داشتن نقشه واقعیت‌های زمینی است. داده‌های میدانی زبری سطح در سه سایت به کمک دوربین توتال استیشن برداشت شد. این سایت‌ها که در نقشه واقعیت‌های زمینی (شکل ۲) نشان داده شده چهار نوع سنگ‌شناسی موجود در منطقه را دارد که دارای مورفولوژی متفاوت است. برداشت میدانی در قالب شبکه‌ای ۱۰×۱۰ از نقاط با فواصل ۱۰ پیکسل تصویر SAR انجام و با ترکیب این اطلاعات و تفسیرهای زمین‌شناسی، نقشه مورفولوژی به عنوان نقشه واقعیت‌های زمینی ترسیم شد و پارامترهای هندسی مورد نیاز مدل IEM بر روی پروفایل‌های متعدد در مدل ارتفاع رقومی متشکل از اندازه‌گیری، محاسبه شد. هدف از این اقدام، جدایش مورفولوژیک سطح زمین منطقه در سه سایت انتخابی بود. این سه سایت در دامنه‌های کوه اناران واقع شده و دارای تنوع زبری سطح و مشتمل بر ۴ نوع سنگ‌شناسی است.

شکل ۲- محدوده جغرافیایی و زمین‌شناسی منطقه و موقعیت سایت‌های مورد مطالعه و نقشه واقعیت‌های زمینی هر کدام از سایت‌ها - با جزئیات وضعیت قرارگیری سازندها در هر سایت - را نشان می‌دهد.

همانطور که گفته شد، سایت‌ها به نحوی انتخاب شد تا موقعیت آنها در مرز چند واحد زمین‌شناسی قرار گیرد. از لحاظ زمین‌شناسی، سازندهای گورپی و پابده دارای تشابه سنگ‌شناسی بوده و جدایش آنها در محل‌هایی با شیب توپوگرافی زیاد، امکانپذیر نیست. همچنین امکان جدایش مرز بالایی سازند پابده با مرز

انجام شد. اندازه‌گیری میدانی زبری سطح از روش نقشه‌برداری و مقدار ثابت دی الکتریک از جداول Martinez و همکاران (۲۰۰۰) برای این سایت‌های به دست آمد [۱۱]. شکل ۱- روند اجرایی این مقاله را نشان می‌دهد.

ابتدا پارامترهای ورودی مدل IEM و سپس ضریب باز پراکنش از داده‌های تصویر رادار روزنه محاسبه می‌شود. با استفاده از پارامترهای زمینی که از اندازه‌گیری میدانی و جداول ثابت دی الکتریک بدست می‌آید، مدل IEM آموزش دیده و قابلیت وارون‌سازی به روش جدول واسط تهیه می‌شود که می‌توان مقدار rms زبری سطح را برای هر پیکسل از تصویر رادار با استفاده از روش درون‌یابی در جدول واسط محاسبه کرده و نقشه مورفولوژی سطح ترسیم می‌شود. در پایان با مقایسه نقشه برداشت زمینی و نقشه محاسبه شده می‌توان دقت روش را ارزیابی کرد.

## ۲- مدل پس‌پراکندهی سطح IEM

ضریب پس‌پراکندهی سطح که با نشان داده می‌شود، مقدار پراکنش سیگنال بر واحد سطح است [۱۲] که نحوه محاسبه این مقدار برای تصاویر ماهواره‌های مختلف متفاوت است. بر اساس تعریف Fung و همکاران (۱۹۹۲) و تشریح خودشان (۱۹۹۴)، مدل IEM رابطه ضریب پس‌پراکندهی راداری را با پارامترهای زبری سطح، اندازه ثابت دی الکتریک و همچنین زاویه برخورد موضعی سیگنال راداری را بیان می‌کند. ضریب پس‌پراکندهی هم‌پلازیه بر اساس تعریف بروزسانی شده Fung و همکاران (۲۰۰۴) از معادله ۱ محاسبه می‌شود [۱۲-۱۴].

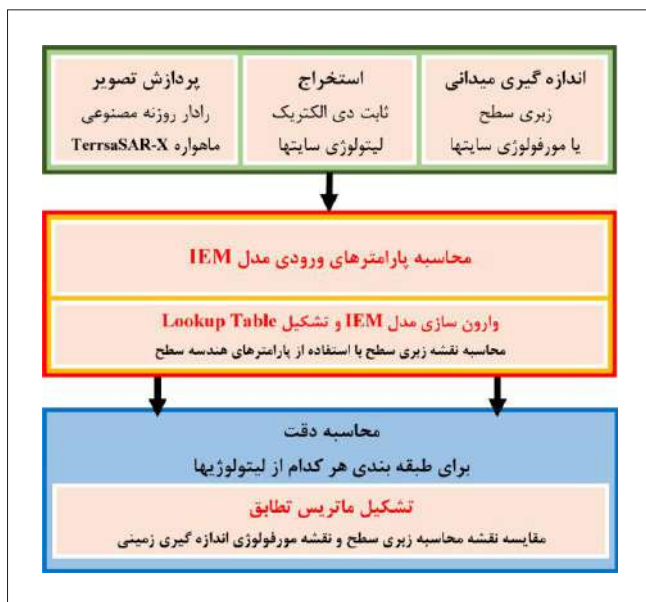
$$\sigma_{pp}^0 = \frac{k^2}{4\pi} e^{-2k^2 s^2 \cos^2 \theta} \sum_{n=1}^{+\infty} |I_{pp}^n|^2 \frac{W^{(n)}(2k s \sin \theta, 0)}{n!} \quad (1)$$

که

$$I_{pp}^n = (2k s \cos \theta) f_{pp} \exp(-k^2 s^2 \cos^2 \theta) + (k s \cos \theta)^n F_{pp} \quad (2)$$

pp پلازاسیون hh؛ vv؛ عدد موج  $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ ؛ طول موج  $\lambda$ ؛  $\theta$  زاویه برخورد موضعی، s، اندازه rms ارتفاع زبری سطح،  $W^{(n)}$  تبدیل فوریه توان nام تابع همبستگی سطح [۱۲ و ۱۳] است. در مدل IEM، اندازه s و تابع همبستگی سطح دو مؤلفه هندسی معادله است.

معادله IEM مقدار پس‌پراکندهی را از مقادیر پارامترهای سطح محاسبه می‌کند. با توجه به غیرخطی بودن این معادله، امکان وارون‌سازی معادله از روش تحلیلی برای محاسبه پارامترهای سطح وجود ندارد، بنابراین باید از روش‌های پیشنهادی مانند روش‌های شبکه عصبی و بیزین<sup>۷</sup> استفاده کرد تا با در اختیار داشتن پارامترهای تصویربرداری رادار و ضریب پس‌پراکندهی، بتوان پارامترهای سطح را محاسبه کرد [۱۰]. یکی از بهترین روش‌ها در این خصوص، محاسبه بر اساس جدول واسط است [۱۵، ۱۶]، که مقادیر پس‌پراکندهی به ازاء میزان زبری سطح و ثابت دی الکتریک در مقادیر مختلف را با استفاده از معادله ۱- محاسبه می‌کند تا بتوان با تناظر یابی معکوس، پارامترهای سطح را از جدول استخراج کرد.



شکل ۱ | فرآیند اجرایی مطالعه

در جدول-۱، ارایه شده است. در جدول-۲، براساس تمامی اندازه گیری‌های میدانی و براساس تفاسیر زمین شناسی، اندازه متوسط و حدود تغییرات rms-height و طول همبستگی در هر سازند تعیین شده است. در این مقاله برای مطالعه زبری سطح از میزان پس پراکندگی رادار روزنه مصنوعی ماهواره TerraSAR-X جهت پردازش استفاده شد.

#### ۴- نتایج پیاده‌سازی و اجراء

از وارون مدل IEM به روش جدول واسطه، اندازه rms-height زبری سطح در هر پیکسل از تصویر SAR محاسبه و براساس محدوده مقادیر زبری سطح سنگ شناسی‌ها در جدول-۲، به روش برآورد بیشترین شباهت<sup>۹</sup> طبقه‌بندی نقشه زبری سطح انجام می‌شود. بمنظور ارزیابی دقت نقشه زبری سطح محاسبه شده، نتایج طبقه‌بندی زبری سطح که نشان‌دهنده تغییرات مورفولوژی است، با نقشه واقعیت‌های زمینی رستری مقایسه می‌شود.

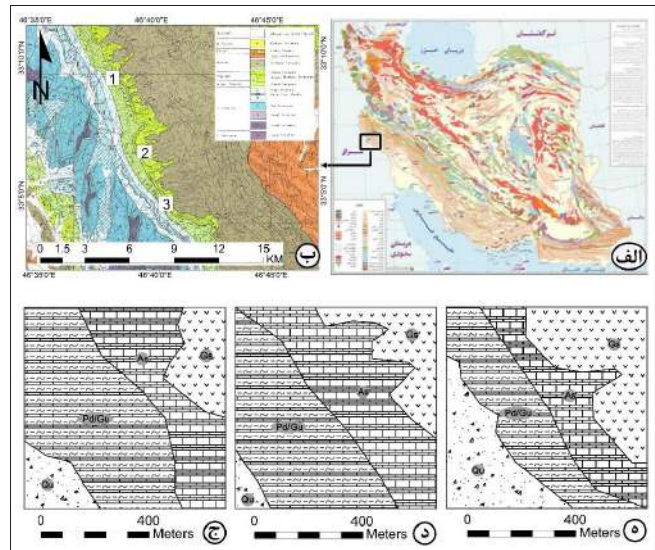
روش ارزیابی نتایج محاسبه نقشه زبری سطح، تشکیل ماتریس تطابق<sup>۹</sup> است. ماتریس تطابق همواره برای ارزیابی روش‌های طبقه‌بندی<sup>۱۱</sup> استفاده می‌شود و مقادیر پیکسل‌ها در روش طبقه‌بندی با مقادیر پیکسل متناظر در نقشه واقعیت‌های زمینی مقایسه می‌شود.

مقایسه پیکسل به پیکسل نقشه مورفولوژی محاسبه شده و نقشه واقعیت‌های زمینی ترسیم شده، تنها در صورت هم‌ثابت بودن<sup>۱۱</sup> آنها امکانپذیر است و به منظور توضیح کارائی یک فرآیند طبقه‌بندی، از ماتریس تطابق استفاده می‌شود. در شکل-۳ ورودی‌ها و خروجی‌های محاسبه از وارون IEM برای سایت‌های ۱، ۲ و ۳ نشان داده شده است. براین اساس در شکل‌های الف، ب، ج، پس پراکندگی راداری محاسبه شده از تصویر TerraSAR، ده، و) نتایج محاسبه مقادیر rms-height زبری سطح با استفاده از جدول LUT متناظر با پس پراکندگی‌های SAR؛ ز، ح، ط) مقادیر rms-height زبری سطح اندازه گیری شده نشان داده شده است.

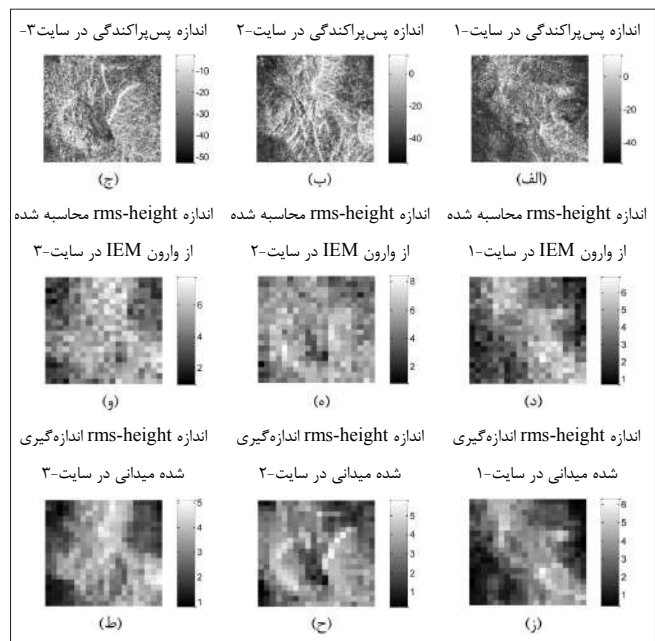
شماره سایت	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی
۱	۳۳°۰۹'۱۰"	۴۶°۳۸'۲۰"
۲	۳۳°۰۶'۳۰"	۴۶°۳۹'۴۰"
۳	۳۳°۰۴'۴۰"	۴۶°۴۰'۳۰"

نام سازند	rms-height	طول همبستگی
سازند پابده/گورپی	۲,۶ ± ۰,۲	۲۹ ± ۲,۲
سازند آسماری	۵,۳ ± ۰,۴	۱۰ ± ۳,۹
سازند گچساران	۳,۲ ± ۰,۳	۲۲ ± ۳,۱
رسوبات کواترنری	۱,۵ ± ۰,۱	۵۵ ± ۱,۵

زیرین سازند آسماری آسان نیست و نیاز به باز دیده‌های صحرائی دارد. استفاده از روش پردازش تصاویر رادار روزنه مصنوعی، برای کاهش باز دیده‌های میدانی زمین شناسان از مفیدترین روش‌های تهیه اطلاعات مورفولوژی سازندها است. مختصات محل استقرار جهت اندازه گیری زبری سطح در هر کدام از سه سایت



شکل ۱ | الف: موقعیت منطقه مورد مطالعه بر روی تقادیس «اناران»، جنوب غربی ایران ب: موقعیت سایت‌های مورد مطالعه بر روی نقشه ۱:۵۰,۰۰۰ زمین‌شناسی، ج، د و ه: نقشه حاصل از اندازه‌گیری زمینی در سایت‌های ۱، ۲ و ۳ (Pd/Gu-سازند پابده، As-سازند آسماری، Gs-سازند گچساران، Qu-رسوبات کواترنری)



شکل ۲ | ورودی‌ها و خروجی‌های محاسبه از وارون IEM برای سایت‌های ۱، ۲ و ۳

## ۵- پایش و ارزیابی نتایج

سازند سخت و خشن آسماری با بالاترین دقت در طبقه‌بندی زبری سطح تشخیص داده شد.

در سایت‌های ۱ و ۲، سازند پابده/گورپی با دقت بالایی تشخیص داده شد، اما در سایت ۳ بدلیل برخورداری از سنگ آهک بین لایه‌ای و سنگ آهک رسی قابل ملاحظه، دقت کمی پایین تر بود.

سازند گچساران به دلیل وجود دولومیت و شیل بین لایه‌ای با موفقیت نسبی پایین تر تشخیص داده شد.

میزان عدم دقت در جدایش رسوبات کواترنری، بدلیل اختلاف ضخامت رسوبات در نقاط مختلف است.

## نتیجه‌گیری

در این مقاله از مدل پس پراکندگی IEM به منظور مطالعه مورفولوژی زمین و با هدف تهیه اطلاعات ژئومورفولوژی از نقشه زبری سطح محاسبه شده از نتایج مدل IEM استفاده شد. با استفاده از مقادیر پس پراکندگی داده‌های ماهواره TerraSAR و اندازه‌گیری‌های زمینی، مدل IEM آموزش داده شد و با استفاده

جدول‌های ۳، ۴ و ۵ ماتریس تطابق را به ترتیب در سایت‌های شماره ۱، ۲ و ۳ و همچنین محاسبه دقت طبقه‌بندی هر سنگ‌شناسی را به همراه میزان صحت کلی در نقشه زبری سطح هر یک از سایت‌ها ارائه می‌کند. در هر جدول، تعداد پیکسل‌های متعلق به هر سنگ‌شناسی در نقشه زبری سطح در سطرها و تعداد پیکسل‌های آن سنگ‌شناسی در نقشه مورفولوژی برداشت شده، در ستون‌های ماتریس واقع شده‌اند. بنابراین اعداد روی قطر ماتریس نشان‌دهنده تعداد پیکسل‌هایی از لیتولوژی مربوطه است که مدل IEM اندازه rms-height را در آنها بدرستی محاسبه کرده است. دقت طبقه‌بندی یا همان دقت تشخیص صحیح هر سنگ‌شناسی، حاصل تقسیم تعداد پیکسل‌های قطری سنگ‌شناسی بر مجموع پیکسل‌های آن سطر است.

## ۶- بحث و بررسی نتایج

میزان کلی دقت طبقه‌بندی براساس معیار صحت کلی، در هر سه سایت بیش از ۸۰ درصد است.

۳ | ماتریس تطابق نقشه زبری سطح حاصل از پردازش تصویر رادار روزنه مصنوعی در مقابل نقشه مورفولوژی برداشت شده (سایت-۱)

نقشه مورفولوژی حاصل از اندازه‌گیری

جمع سطرها	کواترنری	گچساران	آسماری	پابده/گورپی	پابده/گورپی	صحت کلی:
۴۹۶۳	۵۴	۷۰	۵۱	۴۷۸۸	پابده/گورپی	دقت طبقه‌بندی:
۲۹۵۷	۶۶	۸۴	۲۷۳۱	۷۶	آسماری	
۱۳۵۸	۱۶۶	۱۰۲۰	۷۰	۱۰۲	گچساران	
۷۲۲	۵۰۷	۳۹	۱۰۸	۶۸	کواترنری	
۱۰۰۰۰	۷۹۳	۱۲۱۳	۲۹۶۰	۵۰۳۴	جمع ستونها	
			صحت کلی: $(4788 + 2731 + 1020 + 507) / 10000 = 90.5\%$			
			کواترنری: ۷۰%	گچساران: ۷۵%	آسماری: ۹۲%	پابده/گورپی: ۹۶%

۴ | ماتریس تطابق نقشه زبری سطح حاصل از پردازش تصویر رادار روزنه مصنوعی در مقابل نقشه مورفولوژی برداشت شده (سایت-۲)

نقشه مورفولوژی حاصل از اندازه‌گیری

جمع سطرها	کواترنری	گچساران	آسماری	پابده/گورپی	پابده/گورپی	صحت کلی:
۴۰۴۵	۴۱	۷۱	۵۰	۳۸۸۳	پابده/گورپی	دقت طبقه‌بندی:
۳۵۳۴	۹	۷۹	۳۱۴۰	۳۰۶	آسماری	
۲۱۲۰	۱۱۳	۱۲۹۴	۶۵۷	۵۶	گچساران	
۳۰۱	۱۱۹	۱۱۷	۴۶	۱۹	کواترنری	
۱۰۰۰۰	۲۸۲	۱۵۶۱	۳۸۹۳	۴۲۶۴	جمع ستونها	
			صحت کلی: $(3883 + 3140 + 1294 + 119) / 10000 = 84.4\%$			
			کواترنری: ۴۰%	گچساران: ۶۱%	آسماری: ۸۹%	پابده/گورپی: ۹۶%

مختلف باشد. نقشه‌های مورفولوژی اندازه‌گیری شده با نقشه‌های زبری سطح محاسبه شده نسبت به یکدیگر مرجع بوده و امکان مقایسه هر پیکسل از نقشه زبری سطح با پیکسل متناظر در نقشه مورفولوژی وجود دارد. نتایج ارزیابی که در قالب ماتریس تطابق مابین نقشه زبری سطح محاسبه شده و نقشه مورفولوژی اندازه‌گیری شده ارائه شد، نشان می‌دهد که روش این مقاله با کارایی قابل توجهی دارای توانایی جدایش واحدهای زمین‌شناسی مختلف با مورفولوژی متفاوت است.

از محاسبه وارون مدل، نقشه rms-height سطح محاسبه شد. این نقشه به عنوان نقشه زبری سطح جهت مقایسه با نقشه ژئومورفولوژی حاصل از برداشت میدانی استفاده شد. اندازه‌گیری مورفولوژی در سه سایت انتخابی و محاسبه نقشه زبری سطح نیز با اجرای مدل IEM برای داده SAR همان سه سایت انجام شد. سایت‌ها در دامنه کوه اناران انتخاب شدند، به نحوی که هر سه سایت دارای چهار نوع سنگ‌شناسی

۵ | ماتریس تطابق نقشه زبری سطح حاصل از پردازش تصویر رادار روزنه مصنوعی در مقابل نقشه مورفولوژی برداشت شده (سایت-۳)

نقشه مورفولوژی حاصل از اندازه‌گیری					
جمع سطرها	کوآترنری	گچساران	آسماری	پابده/گورپی	سایر
۶۵۱۴	۱۴۲	۱۳۶	۷۳۰	۲۴۷۵	پابده/گورپی
۲۰۶۲	۱۷	۸	۱۵۱۵	۹۴	آسماری
۶۹۲	۱۶۴	۲۵۵۷	۶۴	۵۳	گچساران
۷۳۲	۱۷۹۳	۳	۱۱	۲۳۸	کوآترنری
۱۰۰۰۰	۲۱۱۶	۲۷۰۴	۲۳۲۰	۲۸۶۰	جمع ستونها
صحت کلی:			دقت طبقه‌بندی:		
$(2475 + 1515 + 2557 + 1793) / 10000 = 83.4\%$			کوآترنری: ۸۸%	گچساران: ۹۰%	آسماری: ۹۳%
			پابده/گورپی: ۷۱%		

### پانویس‌ها

- |                     |                                     |                       |                    |
|---------------------|-------------------------------------|-----------------------|--------------------|
| 1- SAR              | 4- Surface Roughness and Smoothness | 7- Bayesian Methods   | 10- Classification |
| 2- rms-height       | 5- Surface Dielectric Properties    | 8- Maximum Likelihood | 11- Co-Register    |
| 3- Confusion Matrix | 6- Integral Equation Model (IEM)    | 9- Confusion Matrix   |                    |

### منابع

- [1] Z. Li et al., "A review on the geological applications of hyperspectral remote sensing technology," in *Hyperspectral Image and Signal Processing: Evolution in Remote Sensing (WHISPERS)*, 2012 4th Workshop on, 2012, pp. 14.
- [2] A. Ghafouri, J. Amini, M. Dehmollaian, and M. Kavooosi, "Measuring Surface Roughness of Geological Rock Surfaces in SAR Data using Fractal Geometry," *Comptes Rendus Geosciences*, 2017.
- [۳] ع. غفوری، ج. امینی، م. دهملانان، م. ع. کاووسی، "هندسه فراکتال‌های تصادفی در مدلسازی زبری سطوح سرسازندهای زمین‌شناسی به کمک تصاویر رادار روزنه ترکیبی" *نشریه علمی پژوهشی علوم و فنون نقشه‌برداری*، vol. ۲، no. ۵، pp. ۹۷-۱۰۸، ۱۳۹۴.
- [4] F. K. Lutgens, *ESSENTIALS OF GEOLOGY/FREDERICK LUTGENS, EDWARD J. TARBUCK*. pp. 252006, 100-.
- [5] C. Du, F. Yang, X. Xu, X. Xu, and M. Peng, "Coal mine geological hazardous body detection using surface ground penetrating radar velocity tomography," in *Ground Penetrating Radar (GPR)*, 2014 15th International Conference on, 2014, pp. 339344-: IEEE.
- [6] N. E. Verhoest, H. Lievens, W. Wagner, J. Álvarez-Mozos, M. S. Moran, and F. Mattia, "On the soil roughness parameterization problem in soil moisture retrieval of bare surfaces from synthetic aperture radar," *Sensors*, vol. 8, no. 7, pp. 42132008, 4248-.
- [۷] ع. غفوری، م. ع. کاووسی، م. ع. گنجویان، ج. امینی، و م. دهملانان، "ارتقاء دقت در تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی با استفاده از اطلاعات مورفولوژی سرسازندهای از طریق محاسبه زبری سطح در سنجش از دور مایکروویو،" *ماهنامه علمی- ترویجی اکتشاف و تولید نفت و گاز*، vol. ۵، no. ۷۰-۷۵، pp. ۱۳۹۴.
- [۸] ع. غفوری، "مدلسازی زبری سطوح سرسازندهای زمین‌شناسی در تصاویر SAR،" *مهندسی نقشه‌برداری، دانشکده فنی دانشگاه تهران، رساله دکتری*، ۱۳۹۶.
- [9] A. Ghafouri, J. Amini, M. Dehmollaian, and M. A. Kavooosi, "Better Estimated IEM Input Parameters Using Random Fractal Geometry Applied on Multi-Frequency SAR Data," *Remote Sensing*, vol. 9, no. 5, p. 445, 2017.
- [10] H. Mazaheri Tehrani, "Soil Moisture Estimation with Polarimetric SAR Data," *Geomatics Engineering*, University of Calgary, Calgary, Alberta, Canada, PhD. Thesis, 2014.
- [11] A. Martinez and A. P. Byrnes, *Modeling dielectric-constant values of geologic materials: An aid to ground-penetrating radar data collection and interpretation*. Kansas Geological Survey, University of Kansas, 2001.
- [12] A. K. Fung and K. S. Chen, "An update on the IEM surface backscattering model," *Geoscience and Remote Sensing Letters, IEEE*, vol. 1, no. 2, pp. 752004, 77-.
- [13] A. K. Fung, *Microwave Scattering and Emission Models and Their Applications*. Artech House, 1994.
- [14] A. K. Fung, Z. Li, and K. Chen, "Backscattering from a randomly rough dielectric surface," *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*, vol. 30, no. 2, pp. 3561992, 369-.
- [15] B. W. Barrett, E. Dwyer, and P. Whelan, "Soil moisture retrieval from active spaceborne microwave observations: An evaluation of current techniques," *Remote Sensing*, vol. 1, no. 3, pp. 2102009, 242-.
- [16] K. Chen, W. Kao, and Y. Tzeng, "Retrieval of surface parameters using dynamic learning neural network," *Remote Sensing*, vol. 16, no. 5, pp. 801-1995, 809.
- [۱۷] ع. آقاباتی، زمین‌شناسی ایران. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی ایران، ۱۳۸۳.
- [۱۸] ه. مطیعی، چینه‌شناسی زاگرس (زمین‌شناسی ایران). سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی ایران، ۱۳۷۲، pp. ۶۰-۱۵۱.