



ارتقاء دقت در تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی با استفاده از اطلاعات مورفولوژی سرسازندها از طریق محاسبه زبری سطح در سنجش از دور مایکروویو

جلال امینی، مجتبی دهملانیان • دانشگاه تهران

علی غفوری*، محمدعلی کاووسی، محمدعلی گنجویان • مدیریت اکتشاف

چکیده

مطالعه سطح زمین و تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی از پهنه‌های وسیع صرفاً از طریق پردازش‌های سنجش از دور و تفسیر بر روی تصاویر ماهواره‌ای مقدور می‌گردد. تصاویری که برای این منظور استفاده می‌شود باید از توان تفکیک طیفی قابل توجهی برخوردار باشند. تصاویر ماهواره‌ای اپتیکی که در خصوص تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی، به‌طور معمول، تصاویر فراطیفی می‌باشند، امکان تفکیک بافت سنگ‌شناسی و تعیین متغیرهای زبری و نرمی آن‌ها را در اختیار نمی‌گذارند. سنجش از دور مایکروویو یا سنجش از دور راداری با استفاده از تصاویر رادار روزنه مصنوعی، امکان به‌دست آوردن ریختار سطح و تفکیک زون‌های دگرسانی بر اساس جنس را در اختیار می‌گذارند. برای این منظور لازم است بازپراکنش امواج مایکروویو از سطح زمین بر اساس جنس و زبری سطح مدل‌سازی گردد. تاکنون مدلی برای این منظور ارائه گردیده‌اند که برخی نظری و برخی نیمه‌تجربی هستند. در این مقاله میزان کارایی معادله انتگرالی (IEM) و همچنین، میزان بهبود دقت تفکیک زون‌های دگرسانی در ساختمان زمین‌شناسی اناران (واقع در استان ایلام) مورد بررسی قرار می‌گیرد. بر اساس محاسبات انجام شده، میزان اختلاف نتایج محاسبات با اندازه‌گیری‌های زمینی زبری سطح، کمتر از ۱۵ درصد است؛ البته این موضوع در مورد سطح صاف آبرفت‌های کوتاه‌تری اختلاف ۳۵ درصد را نشان می‌دهد.

اطلاعات مقاله

* دریافت:

۱۳۹۳/۱۰/۱۶

* ارسال برای داوری:

۱۳۹۳/۱۱/۸

* پذیرش:

۱۳۹۴/۴/۲۲

واژگان کلیدی

رادار روزنه مصنوعی
مدل معادله انتگرالی
نقشه‌های زمین‌شناسی

سرسازندهای زمین شناسی بر اساس فرسایش، جنس و واکنش در مقابل هوازگی با استفاده از تصاویر اپتیکی، هدف نهایی این مقاله بهبود روال تفکیک و تفسیر مذکور در مطالعات سازندهای زمین شناسی است. برای استفاده از قابلیت تفکیک الگوی هندسی و امکان تشخیص شکل و بافت سطوح زمین شناسی با استفاده از سنجش از دور مایکروویو، لازم است ضمن اطلاع از خواص دی الکتریک سطح، هندسه زبری و نرمی سطح مورد مطالعه و مدل سازی قرار گیرد.

در این مقاله، برای ارتقاء دقت نقشه های زمین شناسی، ابتدا شرح مختصری از مدل معادله انتگرالی (IEM)^۵ داده می شود و سپس، نتایج حاصل از پیاده سازی آن بر روی داده رادار روزنه مصنوعی (SAR) ساختمان زمین شناسی اناران ارائه می گردد. همچنین، میزان بهبود تفکیک زون های دگرسانی و ارتقاء دقت نقشه های زمین شناسی با استفاده از داده های راداری مورد بحث و بررسی قرار می گیرد.

۱- مدل سازی بازپراکنش و متغیرهای سطح زمین

بازپراکنش امواج راداری از سطوحی که به آن ها برخورد می کند، تحت تأثیر دو عامل قرار دارد؛ یکی هندسه زبری و نرمی^۶ سطح و دیگری، جنس و خاصیت دی الکتریک^۷ سطح. ارتباط سیگنال بازپراکنده شده با متغیرهای سطح در قالب مدل های تجربی، نیمه تجربی و تئوریک قابل پیاده سازی است [۴]. در ادامه، ضمن توضیح مدل تئوریک IEM، به عنوان رایج ترین مدل بازپراکنش مایکروویو، نحوه محاسبه متغیرهای سطح از مدل وارون آن ها نیز توضیح داده می شود.

مدل بازپراکنش سطح IEM

طبق تعریف Fung و همکاران (۱۹۹۲) و تشریح خودشان (۱۹۹۴)، مدل IEM رابطه ی ضریب بازپراکنش راداری را با پارامترهای زبری سطح، اندازه ثابت دی الکتریک و همچنین، زاویه برخورد موضعی سیگنال راداری بیان می دارد. ضریب بازپراکنش هم پلازیه بر اساس تعریف به روزرسانی شده Fung و همکاران (۲۰۰۴) عبارت است از [۵، ۶ و ۷]:

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

امروزه روش های سنتی تهیه نقشه های زمین شناسی تقریباً منسوخ شده و نقشه های زمین شناسی در مقیاس های مختلف با استفاده از دانش و فناوری های جدید تهیه می شود. سنجش از دور و استفاده از پردازش تصاویر ماهواره ای اهمیت و کاربرد بسیار بالایی در این حوزه دارد و استفاده از فناوری سنجش از دور و بهره گیری از روش های پردازش تصاویر ماهواره ای در دهه های اخیر یکی از روش های تهیه و تدقیق نقشه های زمین شناسی قلمداد می گردد [۱]. توان تفکیک طیفی^۱ در کنار کتابخانه های طیفی در حوزه زمین شناسی [۲]، پردازش داده های سنجش از دور و به خصوص تصاویر فراطیفی^۲ را به اصلی ترین روش تهیه نقشه های زمین شناسی بدل ساخته است [۲].

بازتاب طیفی بسیاری از واحدهای زمین شناسی^۳ در تصاویر اپتیکی بسیار نزدیک به هم است. این موضوع می تواند مربوط به نزدیک بودن ترکیب سنگ شناسی آن ها نیز باشد؛ لذا برای تمایز آن ها در نقشه های زمین شناسی، نمی توان به پردازش تصاویر طیفی اکتفا نمود. در روش سنتی تهیه نقشه های زمین شناسی، می بایست بازدید میدانی با هدف تکمیل اطلاعات مکانی مرز سازندها صورت می پذیرفت.

با ظهور فناوری سنجش از دور، روش مطالعات سطح زمین و به ویژه تهیه نقشه های زمین شناسی با استفاده از تصاویر سنجش از دور فراطیفی رواج یافت؛ اما این تصاویر به دلیل برخورداری از توان تفکیک مکانی بسیار پایین، قابلیت تشخیص جنس سطح زمین یا به عبارتی بافت تصویر را فراهم نمی کردند. طی فرآیند تشخیص و تمایز بافت تصویر^۴، تفکیک زبری و نرمی سرسازندها از طریق تصاویر دارای توان تفکیک مکانی بسیار بالا مقدور است در حالی که این روش برای پهنه های وسیع سطوح سرسازندهای زمین شناسی مقرون به صرفه نیست [۳].

تصاویر سنجش از دور مایکروویو به دلیل برخورداری از قابلیت قطبیت سیگنال امواج رادار، امکان تفکیک جنس بر مبنای زبری سطح را فراهم می آورد. لذا می توان اطلاعات حاصل از تفکیک زون های دگرسانی زمین شناسی که از پردازش تصاویر فراطیفی به دست می آیند را با اطلاعات به دست آمده از تفکیک مبتنی بر مورفولوژی سطح، به دست آمده از پردازش داده های مایکروویو تکمیل نمود.

با توجه به عدم امکان جدایش سنگ شناسی (لیتولوژی)



که

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

pp پلاریزاسیون hh یا vv؛ k عدد موج
 θ زاویه برخورد موضعی، σ اندازه rms ارتفاعی زبری سطح، $W^{(n)}$
 تبدیل فوریه توان n ام تابع همبستگی سطح که در [۷۶] تشریح
 گردیده است و F_{hh} ، f_{vv} ، f_{hh} و F_{vv} عبارتند از:

$$f_{hh} = \frac{-2R_h}{\cos\theta} \quad (3)$$

$$f_{vv} = \frac{2R_v}{\cos\theta}$$

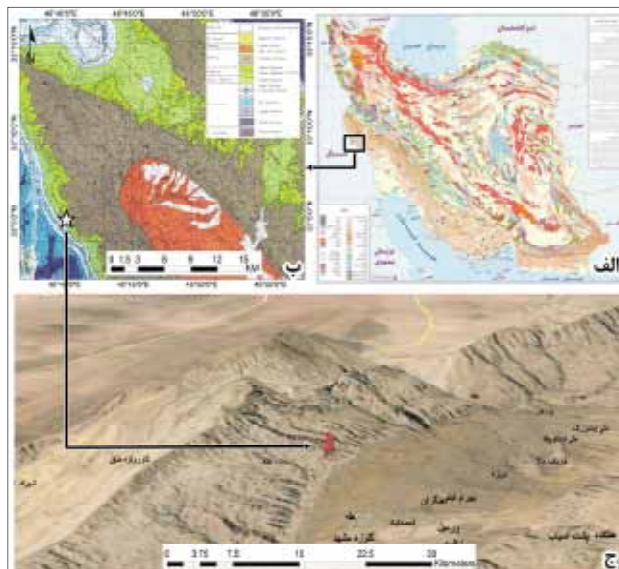
$$F_{hh} = 2 \frac{\sin^2\theta}{\cos\theta} \left[4R_h - \left(1 - \frac{1}{\varepsilon}\right) (1 + R_h)^2 \right]$$

$$F_{vv} = 2 \frac{\sin^2\theta}{\cos\theta} \left[\left(1 - \frac{\varepsilon \cos^2\theta}{\varepsilon - \sin^2\theta}\right) (1 - R_v)^2 - \left(1 - \frac{1}{\varepsilon}\right) (1 + R_v)^2 \right]$$

ضرایب افقی و قائم انعکاس فرزنل یعنی R_h و R_v را می توان
 به صورت زیر تعریف نمود:

$$R_h = \frac{\cos\theta - \sqrt{\varepsilon - \sin^2\theta}}{\cos\theta + \sqrt{\varepsilon - \sin^2\theta}} \quad (4)$$

$$R_v = \frac{\varepsilon \cos\theta - \sqrt{\varepsilon - \sin^2\theta}}{\varepsilon \cos\theta + \sqrt{\varepsilon - \sin^2\theta}}$$



شکل ۱ | موقعیت منطقه مورد مطالعه بر روی ساختمان زمین شناسی «اناران» بر روی نقشه های توپوگرافی و زمین شناسی. الف) محدوده مورد مطالعه روی نقشه زمین شناسی ایران. ب) سایت اندازه گیری زمینی روی نقشه زمین شناسی. ج) سایت اندازه گیری زمینی روی تصاویر ماهواره ای گوگل.

که ε ضریب دی الکتریک سطح است.

با توجه به غیرخطی بودن معادله-۱، امکان وارون سازی معادله از روش تحلیلی برای محاسبه متغیرهای سطح وجود ندارد، لذا باید از روش هایی که برای این کار پیشنهاد گردیده است، استفاده نمود تا با داشتن متغیرهای تصویربرداری رادار و ضریب بازپراکنش بتوان متغیرهای سطح را محاسبه کرد؛ نظیر روش های شبکه عصبی و بیزین ^۸ [۹ و ۸]. از بهترین روش ها در این خصوص محاسبه از روی جدول واسط می باشد [۱۰]، که برای این منظور مقادیر بازپراکنش به ازاء میزان زبری سطح و ثابت دی الکتریک در مقادیر مختلف با استفاده از معادله-۱، محاسبه می گردد تا پس از آن بتوان با تناظر یابی معکوس، متغیرهای سطح را از آن جدول استخراج نمود.

۲- معرفی منطقه مورد مطالعه و داده های مورد استفاده

منطقه مورد مطالعه به منظور پیاده سازی روش ذکر شده، بخشی از ساختمان زمین شناسی اناران، مابین شهرستان های دهلران و ایلام است. شکل-۱ محدوده جغرافیایی و زمین شناسی منطقه مورد مطالعه را نشان می دهد که در محدوده طول جغرافیایی $46^{\circ} 45'$ E و $46^{\circ} 55'$ E و همینطور محدوده عرض جغرافیایی $32^{\circ} 55'$ N و $33^{\circ} 05'$ N واقع شده است. همچنین، موقعیت تقریبی محل اندازه گیری زمینی بر روی تصویر گوگل نشان داده شده است. تصویر رادار روزنه مصنوعی سنجنده PALSAR از ماهواره ALOS به شماره ALPSRP097110650 از آرآنس فضایی ژاپن (JAXA) با دو پلاریزاسیون افقی (hh) و عمودی (vv) تهیه گردیده و بر مبنای رابطه ارائه شده توسط [۱۱] می توان مقدار بازپراکنش را از روی تصویر محاسبه نمود. همچنین، از نقشه زمین شناسی $1:50,000$ و برش های چینه شناسی منطقه که در مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت ایران موجود است نیز برای مطالعه وضعیت سازندها استفاده شده است.

۲-۱- اندازه گیری میدانی و تهیه نیمرخ مورفولوژی

ضمن شناسایی انواع سنگ شناسی موجود در منطقه، اندازه گیری میدانی صورت گرفت. اندازه گیری زبری سطح در کنار ثبت اطلاعات سنگ شناسی سرسازندها در قالب یک نیمرخ انجام می شود. نیمرخ ها الزاماً به صورت خط مستقیم نیستند و می توانند در

رادار همواره در مقابل پارامتر زبری سطح و ثابت دی الکتریک صورت می گیرد. با توجه به اقلیم خشک زمان تصویربرداری سنجنده و به دلیل مشخص بودن لیتولوژی های منطقه بر مبنای نقشه های زمین شناسی موجود، مقادیر ثابت دی الکتریک (ε) بر اساس مراجعی که در آن، اندازه گیری های ثابت دی الکتریک وجود دارند (مانند مرجع [۱۵])، در محاسبات استفاده می گردد. با قراردادن مقدار این پارامتر در معادله ۱- می توان این پارامتر را از میان سه مجهول معادله حذف نمود.

بنابراین، پارامتر مؤثری که موجب تفاوت بازپراکنش از سطوح سرسازندها می گردد، تفاوت میزان زبری سطح آنهاست که با دو پارامتر σ (اندازه انحراف معیار استاندارد ارتفاعی سطح--rms height) و l (طول همبستگی به عنوان متغیر تابع همبستگی سطح) مشخص می گردد. با در اختیار داشتن تصویر در دو پلاریزاسیون، می توان دستگاه دو معادله- دو مجهول را حل نمود. به این ترتیب، متغیرهای زبری سطح محاسبه می گردد.

با اعمال طبقه بندی بر مبنای مقادیر محاسبه شده ی پارامتر زبری سطح می توان نقشه ژئومورفولوژی را به دست آورد. شکل- ۴، نتایج طبقه بندی زبری سطح را برای نیمرخ اشاره شده نشان

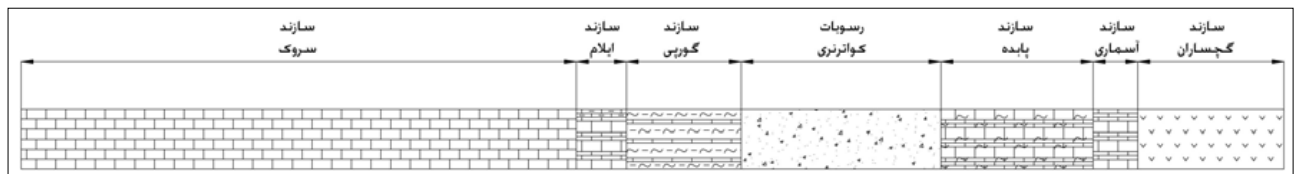
چند نقطه دارای شکستگی^۹ نیز باشند. به این ترتیب، تفکیک جنس و توالی سازندها روی زمین و همچنین، مورفولوژی سرسازندها در طول نیمرخ، شناسایی می گردد و همزمان، وضعیت بافت، یعنی زبری و نرمی سطح نیز برای هر لیتولوژی اندازه گیری و ثبت می شود. شکل- ۲، موقعیت مکانی نیمرخ مذکور را بر روی نقشه زمین شناسی، نقشه توپوگرافی و تصویر ماهواره SPOT نشان می دهد. شکل- ۳، ترتیب قرارگیری سرسازندها را در طول نیمرخ نمایش می دهد؛ همچنین، اندازه تقریبی rms-height زبری سطح هر سرسازند در طول نیمرخ در جدول ۱- مشخص گردیده است. در این میان، مرز برخی از سازندها از جمله سروک و ایلام به دلیل ترکیب شیمیایی بسیار نزدیک، از روی تصاویر اپتیکی قابل تشخیص نیست؛ چرا که طیف بازپراکنده شده ی این سرسازندها کاملاً مشابه بوده و قابل تفکیک نمی باشد. حال آنکه زبری این سازندها تفاوت دارد و این موضوع را از اندازه rms ارتفاعی زبری سطح آنها نیز می توان درک نمود.

۲-۲- محاسبه زبری سطح

همانطور که پیش تر نیز توضیح داده شد، مدل سازی بازپراکنش



شکل ۲ | موقعیت برش چینه شناسی ۴۵-۴۰۵۰۴ جهت اندازه گیری مورفولوژی با طول تقریبی ۸٫۵ کیلومتر بر روی: الف) نقشه ۱:۱۰۰,۰۰۰ زمین شناسی، ب) نقشه ۱:۲۵۰,۰۰۰ توپوگرافی، ج) تصویر ماهواره ای SPOT.



شکل ۳ | نیمرخ اندازه گیری مورفولوژی لیتولوژی ها در منطقه مورد مطالعه بر اساس برش چینه شناسی ۴۵-۴۰۵۰۴ [۱۲، ۱۳، ۱۴]



سازندها نیز علاوه بر طیف آن‌ها با هزینه‌ای مقرون به صرفه تأمین می‌گردد. بنابراین، با تفکیک بهتر زون‌های دگرسانی، امکان ارتقاء دقت در تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی تأمین می‌گردد. همچنین، با این روش می‌توان با اطلاعات به دست آمده از تنوع زبری سطح، امکان بهتر نمودن مقیاس نقشه‌ها را نیز در اختیار داشت.

نتیجه‌گیری

۱- برخلاف آنکه پردازش تصاویر ماهواره‌ای اپتیک، اصلی‌ترین روش تهیه و ارتقاء دقت نقشه‌های زمین‌شناسی به شمار می‌آید، امکان تفکیک بافت سنگ‌شناسی و ریختار سطح و تفکیک زون‌های دگرسانی بر اساس جنس، از آن قابل استخراج نبوده و در این راستا، می‌توان از سنجش از دور مایکروویو یا سنجش از دور راداری با استفاده از تصاویر رادار روزنه مصنوعی که امکان به دست آوردن این اطلاعات را از طریق محاسبه میزان زبری سطح فراهم می‌آورد، بهره جست. برای این منظور لازم است بازپراکنش امواج مایکروویو از سطح زمین بر اساس جنس و زبری سطح مدل‌سازی گردد که در این مقاله از متداول‌ترین مدل در این حوزه با عنوان معادله انتگرالی (IEM) استفاده گردیده است. قابلیت این مدل در تمایز زون‌های دگرسانی در ساختمان زمین‌شناسی اناران با اندازه‌گیری میدانی بر روی برش چینه‌شناسی ۲۰۵۰۴-۴۵ مورد بررسی

می‌دهد. اندازه زبری سطح برآورد شده با معادله IEM، به نسبت رنگ که در راهنما نیز مشخص است، در طول نیمرخ تغییر می‌کند. میزان اختلاف مقادیر زبری سطح محاسبه شده از مدل بازپراکنش راداری IEM با اندازه‌گیری‌های تقریبی زمینی، بر طبق نسبت‌های ارائه شده در جدول ۳، به استثناء آبرفت‌های کواترنری که قریب به ۳۵ درصد اختلاف را نشان می‌دهد، دارای اختلاف کمتر از ۱۵ درصد می‌باشند.

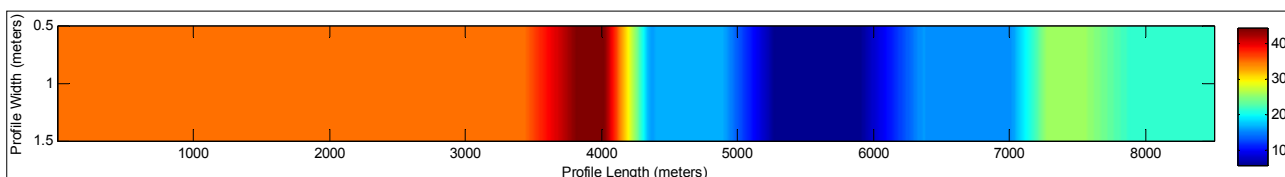
۳- بهبود تفکیک زون‌های دگرسانی

با انجام مدل‌سازی ذکر شده، امکان در نظر گرفتن مورفولوژی

ردیف	سرسازند زمین‌شناسی	طول در نیمرخ (m)	لیتولوژی غالب	اندازه تقریبی rms height زبری سطح (cm)
۱	سروک	۳۷۱۲	سنگ‌آهک ریز (Limestone, Fine Grained)	۲۰
۲	ایلام	۳۳۴	سنگ‌آهک مارنی (Mrly Limestone)	۲۵
۳	گورپی	۷۶۷	سنگ‌آهک / مارن (Limestone/Marl)	۱۵
۴	کواترنری	۱۳۳۶	آبرفت (Alluvium)	۵
۵	پابده	۱۰۱۶	مارن (Marl)	۱۵
۶	آسماری	۲۹۹	سنگ‌آهک (Limestone)	۴۰
۷	گچساران	۹۷۸	سنگ‌گچ (Gypsum)	۳۰

ردیف	لیتولوژی	ثابت دی‌الکتریک (ε) بر اساس [۱۵]	ثابت دی‌الکتریک (ε) بر اساس [۱۶]	ثابت دی‌الکتریک (ε) بر اساس [۱۷]
۱	سنگ‌آهک ریز (Fine Grained) (Limestone)	۶-۴	۶-۲	-
۲	سنگ‌آهک مارنی (Mrly) (Limestone)	۵-۳	۶-۴	-
۳	سنگ‌آهک / مارن (Limestone/Marl)	۶-۴	۸-۴	-
۴	سنگ‌گچ (Gypsum)	-	-	۶۵

سرسازند زمین‌شناسی	سروک	ایلام	گورپی	کواترنری	پابده	آسماری	گچساران
مقدار تقریبی اندازه‌گیری شده rms-height زبری سطح بر حسب سانتی‌متر	۲۰	۲۵	۱۵	۵	۱۵	۴۰	۳۰
مقدار محاسبه شده rms-height زبری سطح بر اساس مدل بازپراکنش IEM بر حسب سانتی‌متر	۱۸٫۳	۲۷٫۱	۱۴٫۹	۳٫۷	۱۳٫۸	۴۶٫۶	۳۱٫۲
درصد اختلاف	۹٫۲	۷٫۷	۰٫۷	۳۵٫۱	۸٫۷	۱۴٫۲	۳٫۸



۴ | نتایج طبقه‌بندی از مدل‌سازی زبری سطح در مقابل بازپراکنش راداری برای نیمرخ ریختار سنگ‌شناسی در منطقه مورد مطالعه. از مقایسه روند تغییرات اندازه زبری که تطابق بالایی با اندازه‌گیری‌های میدانی (جدول ۱) دارند و اسامی و مشخصات سازندهای شکل-۳ می‌توان به تأثیر نوع سنگ‌شناسی بر میزان زبری سطح پی‌برد.

قرار گرفت.

لحاظ گردد.

بدون شک، استفاده از تصاویر سنجش از دور مایکروویو گام مؤثری در غنای مراحل تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی به روش سنجش از دور می‌باشد که حجم عملیات میدانی را به‌طور چشمگیری می‌کاهد. ■

۲- اختلاف نتایج محاسبات مدل IEM با اندازه‌گیری‌های زمینی زبری سطح، به استثناء سطوح صاف آبرفت‌های کوآترنری (که تا ۳۵ درصد اختلاف را در بر داشته است) کمتر از ۱۵ درصد می‌باشد. این میزان دقت می‌تواند در روال تهیه و تکمیل نقشه‌های زمین‌شناسی

پانویس‌ها

1. Spectral Libraries
2. Hyperspectral Imagery
3. Geological Units
4. Image Texture
5. Integral Equation Model (IEM)
6. Surface Roughness and Smoothness
7. Surface Dielectric Properties
8. Bayesian Methods
9. node

منابع

- [1] Hyun, C. U.; Park, H. D., "Geological classification of hyperspectral imagery in Hongseong Area, South Korea," Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2005. IGARSS '05. Proceedings. 2005 IEEE International, vol.4, no., pp.2914,2916, 2529- July 2005, doi: 10.1109/IGARSS.2005.1525678
- [2] Taranik, J.V.; Mouat, D.A.; Elvidge, C.D., "Hyperspectral technology for geologic applications," Geoscience and Remote Sensing Symposium, 1993. IGARSS '93. Better Understanding of Earth Environment, International, vol., no., pp.917,920 vol.2, 1821- Aug 1993, doi: 10.1109/IGARSS.1993.322188
- [3] Kasapoglu, N.G., "Synthetic aperture radar and passive microwave data analysis fusion," Recent Advances in Space Technologies (RAST), 2011 5th International Conference on, vol., no., pp.360,364, 911- June 2011, doi: 10.1109/RAST.2011.5966856
- [4] Hajnsek, G. I., "Inversion of Surface Parameters Using Polarimetric SAR", Friedrich-Schiller-Universität Jena, 2007
- [5] Fung, A., Z. Li, and K. Chen "Backscattering from a randomly rough dielectric surface", IEEE Geosci. Remote Sens. Letters vol.30, no.2, pp. 356,369, 1992.
- [6] Fung, A. K. "Microwave Scattering and Emission Models and Their Applications", Boston, MA, USA: Artech House, 1994.
- [7] Fung, A. and K. Chen, "An update on the IEM surface backscattering model", IEEE Geosci. Remote Sens. Letters vol.1, no.2, pp. 75,77, 2004.
- [8] Barrett, B., E. Dwyer, and P. Whelan, "Soil moisture retrieval from active spaceborne microwave observations: an evaluation of current techniques". In: Remote Sensing 1.3, pp. 2102009, 242-.
- [9] Chen, K., W. Kao, and Y. Tzeng, "Retrieval of surface parameters using dynamic learning neural network", In: International Journal of Remote Sensing 16.5, pp. 801-1995, 809.
- [10] Mazaheri T., H., "Soil Moisture Estimation with Polarimetric SAR Data", PhD. Thesis, University of Calgary, 2014.
- [11] Shimada, M.; Isoguchi, O.; Tadono, T.; Isono, K., "PALSAR Radiometric and Geometric Calibration," IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., vol.47, no.12, pp.3915,3932, 2009.
- [۱۲] آقائاتی، "زمین‌شناسی ایران" ۱۳۶۹.
- [۱۳] همایون مطیعی. "زمین‌شناسی نفت زاگرس". ۱۳۷۴.
- [۱۴] کلاتری. "سنگ‌چینه‌ای ورخساره‌های میکروسکوپی زاگرس". ۱۳۷۱.
- [15] Martinez, A., and Byrnes, A., "Dielectric probe procedures: Kansas Geological Survey", Open-file Report 9917, 1- p, 1999.