

تمایز مورفولوژیک سازندهای زمین شناسی با استفاده از مدلسازی زبری سطح در مقابل ضریب بازپراکنش مایکروویو در تصاویر رادار روزنه مصنوعی (SAR)

علی غفوری*^۱، جلال امینی^۲، مجتبی دهملابیان^۳، محمدعلی کاووسی^۴

۱- دانشجوی دکتری فتوگرامتری - دانشکده فنی دانشگاه تهران

۲- دانشیار گروه نقشه برداری - دانشکده فنی دانشگاه تهران

۳- استادیار دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر - دانشکده فنی دانشگاه تهران

۴- رئیس چینه شناسی و رسوب شناسی مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت ایران

چکیده:

تهیه اطلاعات مورفولوژی (زبری سطح) از طریق تشخیص بافت در تصاویر اپتیکی - با توجه به لزوم تهیه تصاویر دارای توان تفکیک مکانی بالا - برای پهنه های وسیع زمین شناسی در فرآیند تهیه نقشه های زمین شناسی مقرون به صرفه نمی باشد، از سوی دیگر پردازش تصاویر اپتیکی فراطیفی که روش متداول در تهیه نقشه های زمین شناسی است، قابلیت تهیه اطلاعات مورفولوژی زمین را ندارد و همواره برنامه های بازدید میدانی امری اجتناب ناپذیر است. تصاویر رادار روزنه مصنوعی (SAR)، بدلیل برخورداری از اطلاعات فاز و اطلاعات پلاریزاسیون، امکان تشخیص و تمایز زبری سطوح و در زمین شناسی، ژئومورفولوژی را فراهم می سازند. برای این منظور لازم است بازپراکنش امواج مایکروویو از سطح زمین بر اساس جنس و زبری سطح مدلسازی گردد. در صورت استفاده از این قابلیت از لزوم بازدید میدانی جهت ثبت اطلاعات مورفولوژی کاسته می شود. در این مقاله میزان کارائی معادله انتگرالی (IEM) و همچنین میزان بهبود دقت تفکیک زونهای دگرسانی در ساختمان زمین شناسی اناران (واقع در استان ایلام) مورد بررسی قرار می گیرد. بر اساس محاسبات انجام شده، میزان اختلاف نتایج محاسبات با اندازه گیری های زمینی زبری سطح، کمتر از ۱۵٪ می باشد؛ البته این موضوع در مورد سطح صاف آبرفتهای کوتاهتری اختلاف ۳۵٪ را نشان می دهد.

واژه های کلیدی: رادار روزنه مصنوعی، مدل معادله انتگرالی، نقشه های زمین شناسی



۱- مقدمه

امروزه نقشه‌های زمین شناسی در مقیاسهای مختلف با استفاده از دانش و فناوری های جدید تهیه می‌شود و روشهای سنتی تهیه نقشه‌های زمین شناسی تقریباً منسوخ شده اند. استفاده از فناوری سنجش از دور و بهره گیری از روشهای پردازش تصاویر ماهواره‌ای در دهه‌های اخیر یکی از روشهای تهیه و تدقیق نقشه‌های زمین شناسی قلمداد می‌گردد [۱]. توان تفکیک طیفی در کنار کتابخانه‌های طیفی^۱ در حوزه زمین شناسی [۲]، پردازش داده‌های سنجش از دور و بخصوص تصاویر فراطیفی^۲ را به اصلی ترین روش تهیه نقشه‌های زمین شناسی بدل ساخته است [۲].

تصاویر فراطیفی بدلیل برخورداری از توان تفکیک مکانی بسیار پایین، قابلیت تشخیص جنس سطح زمین یا به عبارتی بافت تصویر را فراهم نمی‌کنند. بازتاب طیفی بسیاری از واحدهای زمین شناسی^۳ که عموماً دارای مورفولوژی متفاوت هستند در تصاویر اپتیکی بسیار نزدیک به هم می باشد. این موضوع می تواند مربوط به نزدیک بودن ترکیب سنگ شناسی آنها نیز باشد؛ لذا برای تمایز آنها در نقشه های زمین شناسی، نمی توان به پردازشهای طیفی اکتفا نموده و بطور متداول، بایستی بازدید میدانی با هدف تکمیل اطلاعات مکانی مرز سازندها صورت پذیرد.

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 پهنه‌های وسیع سطوح سرسازندهای زمین شناسی مقرون بصره نمی باشد [۳].

تصاویر سنجش از دور میکروویو بدلیل برخورداری از قابلیت قطبیت سیگنال امواج رادار، امکان تفکیک جنس بر مبنای زبری سطح را فراهم آورده و می توان اطلاعات حاصل از تفکیک زونهای دگرسانی زمین شناسی که از پردازش تصاویر فراطیفی بدست می آیند را با اطلاعات بدست آمده از تفکیک مبتنی بر مورفولوژی سطح، بدست آمده از پردازش داده های میکروویو تکمیل نمود. این امر سبب می شود تا از دفعات بازدیدهای میدانی زمین شناسان جهت ثبت اطلاعات مورفولوژی سطح بطور قابل ملاحظه ای کاسته شود.

هدف نهایی این مقاله بهبود روال تفکیک و تفسیر مذکور در مطالعات سازندهای زمین شناسی است. در این مقاله، برای تمایز مورفولوژیک سازندهای 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 روزه مصنوعی (SAR) ساختمان زمین شناسی اناران ارائه می گردد. همچنین، میزان تشخیص مورفولوژی و تفکیک زونهای دگرسانی با استفاده از داده های راداری مورد بررسی واقع می گردد.

۲- مدلسازی بازپراکنش و متغیرهای سطح زمین

هندسه زبری و نرمی^۶ سطح و همچنین جنس و خاصیت دی الکتریک^۷ سطح دو عامل اصلی در تمایز بازپراکنش امواج راداری از سطوحی است که به آنها برخورد می‌نماید [۴]. در ادامه ضمن توضیح مدل تئوریک IEM، به عنوان رایجترین مدل بازپراکنش میکروویو، نحوه محاسبه متغیرهای سطح از مدل وارون آنها نیز توضیح داده می شوند.

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



۲-۱- مدل بازپراکنش مایکروویو IEM

این مدل، رابطه‌ی ضریب بازپراکنش راداری را با پارامترهای زبری سطح، اندازه ثابت دی الکتریک و همچنین زاویه برخورد موضعی سیگنال راداری را بیان می‌دارد. مدل IEM نخستین بار توسط Fung و همکاران (۱۹۹۲) با توضیحات تکمیلی ایشان (۱۹۹۴) تشریح گردید. ضریب بازپراکنش همپلاریزه بر اساس تعریف بروزرسانی شده Fung و همکاران (۲۰۰۴) عبارتست از [۵، ۶ و ۷]:

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

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 ($k = \frac{2\pi}{\lambda}$ ؛ λ طول موج)، θ زاویه برخورد موضعی، σ اندازه rms ارتفاعی زبری سطح، $W^{(n)}$ تبدیل فوریه توان ln تابع همبستگی سطح که در [۶ و ۷] تشریح گردیده است و F_{vv} ، F_{hh} ، f_{vv} ، f_{hh} عبارتند از:

$$f_{hh} = \frac{-2R_h}{\cos\theta}$$

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

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

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

ضرایب افقی و قائم انعکاس فرزنل یعنی R_h و R_v را می‌توان به صورت ذیل تعریف نمود:

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

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

که ε ضریب دی الکتریک سطح است.

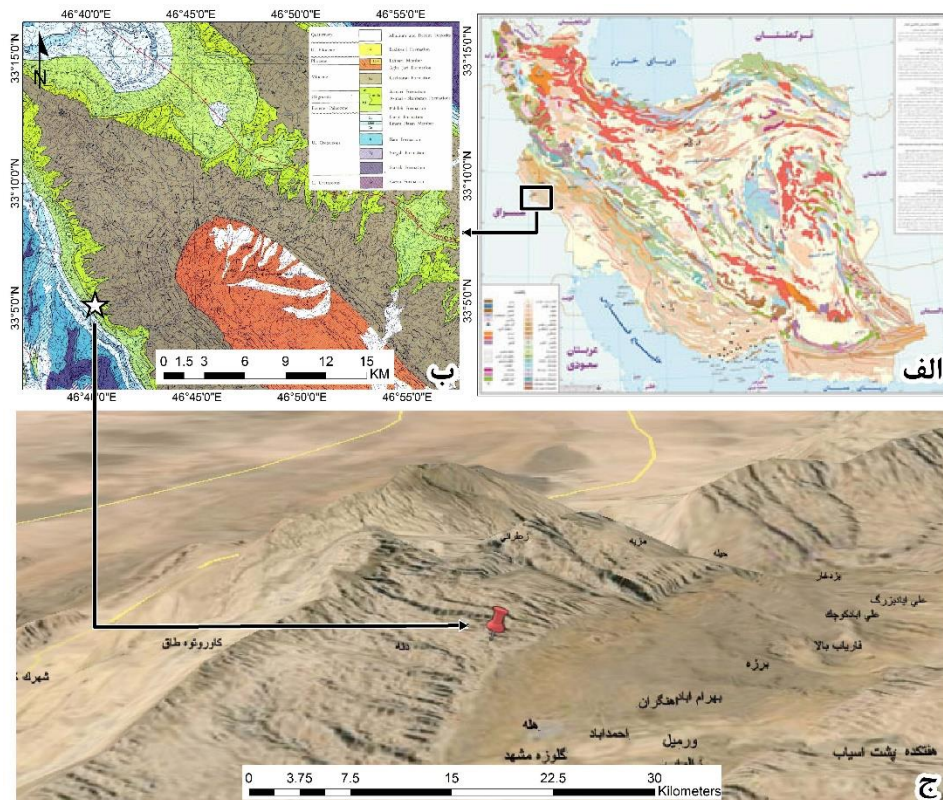
با توجه به غیرخطی بودن معادله (۱)، امکان وارون سازی معادله از روش تحلیلی برای محاسبه متغیرهای سطح وجود ندارد، لذا بایستی از روشهایی که برای این کار پیشنهاد گردیده است استفاده نمود تا با داشتن متغیرهای تصویربرداری رادار و ضریب بازپراکنش بتوان متغیرهای سطح را محاسبه نمود؛ نظیر روشهای شبکه عصبی و بی‌زین^۸ [۸ و ۹]. از بهترین روشها در این خصوص محاسبه از روی جدول واسط می‌باشد [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 می‌گردد تا پس از آن بتوان با تناظرایی معکوس متغیرهای سطح را از آن جدول استخراج نمود.

⁸ Bayesian Methods



۳- منطقه مورد مطالعه و داده های استفاده شده

بمنظور پیاده سازی روش ذکر شده و با هدف تمایز مورفولوژیک سازندهای زمین شناسی و زونهای دگرسانی، بخشی از ساختمان زمین شناسی «اناران»، مابین شهرستانهای دهلران و ایلام انتخاب گردید. شکل ۱ محدوده جغرافیایی و زمین شناسی منطقه مورد مطالعه را 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، و همچنین موقعیت تقریبی محل اندازه گیری زمینی را بر روی تصویر گوگل نشان می دهد.



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.

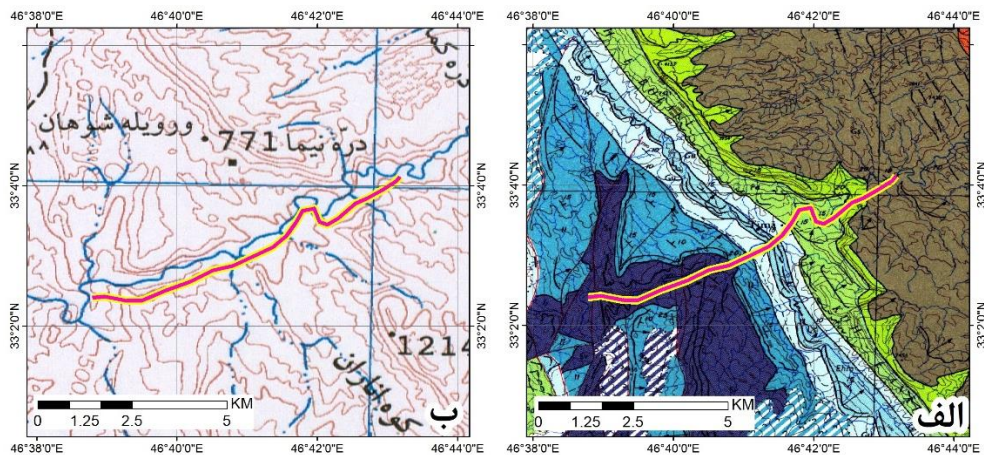
تصویر رادار روزنه مصنوعی سنجنده PALSAR از ماهواره ALOS از آژانس فضایی ژاپن (JAXA) با دو پلاریزاسیون افقی (hh) و عمودی (vv) که برای این مطالعه انتخاب گردیده است حاوی مقادیر مختلط بوده و جهت محاسبه مقدار بازپراکنش رابطه ارائه شده توسط [۱۱] استفاده می گردد. جهت اطلاع از وضعیت زمین شناسی منطقه، علاوه بر ثبت اطلاعات چینه شناسی با حضور کارشناس خبره حین برداشت میدانی، از نقشه های ۱:۵۰,۰۰۰ و اطلاعات چینه شناسی مکتوب منطقه استفاده گردید.

۳-۱- اندازه گیری میدانی پروفیل مورفولوژی و برداشت اطلاعات سنگ شناسی

اندازه گیری میدانی زبری سطح در کنار ثبت اطلاعات سنگ شناسی سرسازندها در قالب یک پروفیل انجام می شود. پروفیل ها الزاماً بصورت خط مستقیم نیستند و می توانند در چند نقطه دارای شکستگی نیز باشد. به این ترتیب، تفکیک جنس و توالی سازندها روی زمین و همچنین، مورفولوژی سرسازندها در طول پروفیل شناسایی و همزمان،



وضعیت مورفولوژیک، یعنی زبری و نرمی سطح نیز برای هر لیتولوژی اندازه گیری و ثبت می گردد. شکل ۲، موقعیت مکانی پروفیل مذکور را بر روی نقشه زمین شناسی و نقشه توپوگرافی نشان می دهد.



شکل ۲- موقعیت برداشت میدانی پروفیل جهت اندازه گیری مورفولوژی و اطلاعات سنگ شناسی بر روی: نقشه (الف) ۱:۱۰۰,۰۰۰ زمین شناسی. (ب) نقشه ۱:۲۵۰,۰۰۰ توپوگرافی.

اندازه تقریبی $rms\text{-}height$ زبری سطح حاصل از برداشت میدانی هر سرسازند در طول پروفیل مورد اشاره، طی جدول ۱ مشخص گردیده است.

جدول ۱- سرسازندهای زمین شناسی موجود بر پروفیل در اندازه گیری میدانی [۱۴،۱۳،۱۲]

ردیف	سرسازند زمین شناسی	لیتولوژی غالب	اندازه میانگین $rms\text{-}height$ زبری سطح (cm.)
۱	سروک	سنگ آهک ریز (Limestone, Fine Grained)	۲۰
۲	ایلام	سنگ آهک مارنی (Mrly Limestone)	۲۵
۳	گورپی	سنگ آهک / مارن (Limestone/Marl)	۱۵
۴	کواترنری	آبرفت (Alluvium)	۵
۵	پابده	مارن (Marl)	۱۵
۶	آسماری	سنگ آهک (Limestone)	۴۰
۷	گچساران	سنگ گچ (Gypsum)	۳۰

در میان سازندهای جدول ۱، مرز برخی از سازندها از جمله سروک و ایلام بدلیل ترکیب شیمیایی بسیار نزدیک، از روی تصاویر اپتیکی قابل تشخیص نیست؛ چرا که طیف بازپراکنده شده این سرسازندها کاملاً مشابه بوده و قابل تفکیک نمی باشد. این در حالیست که مورفولوژی این سازندها تفاوت داشته و این موضوع از اندازه rms ارتفاعی زبری سطح آنها نیز قابل دریافت می باشد.



۳-۲- پیاده سازی مدل بازپراکنش و محاسبه زبری سطح

همانطور که پیشتر نیز توضیح داده شد، مدلسازی بازپراکنش میکروویو همواره در مقابل پارامتر زبری سطح و ثابت دی الکتریک صورت می گیرد. با توجه به اقلیم خشک زمان تصویر برداری سنجنده و بدلیل مشخص بودن لیتولوژیهای منطقه، مقادیر ثابت دی الکتریک (E) بر اساس مراجع حاوی اندازه گیریهای ثابت دی الکتریک [۱۵ و ۱۶] در محاسبات استفاده می گردد. جدول ۲ مقادیر این ثابت را برای لیتولوژیهای غالب ارائه می نماید.

جدول ۲- اندازه ثابت دی الکتریک (E) برای لیتولوژیهای موجود در منطقه مورد مطالعه براساس مراجع مختلف.

رديف	ليتولوژی	ثابت دی الکتریک (E) بر اساس [۱۵]	ثابت دی الکتریک (E) بر اساس [۱۶]
۱	سنگ آهک ریز (Limestone, Fine Grained)	4-6	-
۲	سنگ آهک مارنی (Mrly Limestone)	3-5	-
۳	سنگ آهک / مارن (Limestone/Marl)	4-6	-
۴	سنگ گچ (Gypsum)	-	6.5

با در اختیار داشتن مقدار ضریب بازپراکنش و با قراردعی مقدار ثابت دی الکتریک در معادله (۱) می توان با استفاده از روش جدول واسط که در قسمت ۱-۲ توضیح داده شد، اندازه rms ارتفاعی سطح را به عنوان شاخص مورفولوژی زمین در این مقاله محاسبه نمود. طبق محاسبات Verhoest و همکاران (۲۰۰۸)، میزان تأثیر ثابت دی الکتریک در مقابل تأثیر زبری سطح بر ضریب بازپراکنش در مناطق خشک که تغییرات ثابت دی الکتریک بسیار اندک است، قابل اغماض می باشد.

بنابراین، پارامتر مؤثری که موجب تفاوت بازپراکنش از سطوح سرسازندها می گردد، تفاوت میزان زبری سطح آنهاست که در اینجا با پارامتر σ (اندازه انحراف معیار استاندارد ارتفاعی سطح-rms-height) مشخص می گردد. با در اختیار داشتن تصویر در دو پلاریزاسیون، می توان دستگاه دو معادله برای دو مجهول را برای محدوده های ممکن هر کدام از پارامترهای معادله حل نمود و بدین ترتیب جدول واسط تشکیل می گردد. بر این اساس، اندازه پارامتر rms ارتفاعات زبری سطح برای مقادیر ضریب بازپراکنش در سایر پیکسلهای تصویر با درونیایی از روی جدول قابل محاسبه خواهد بود. با اعمال طبقه بندی بر مبنای مقادیر محاسبه شده پارامتر زبری سطح می توان نقشه ژئومورفولوژی را بدست آورد.

جدول ۳، نتایج طبقه بندی زبری سطح را برای پروفیل اشاره شده نشان می دهد. میزان اختلاف مقادیر زبری سطح محاسبه شده از مدل بازپراکنش راداری IEM با اندازه گیریهای تقریبی زمینی، بر طبق نسبتهای ارائه شده در این جدول، به استثناء آبرفتهای کواترنری که قریب به ۳۵٪ اختلاف را نشان می دهد، دارای اختلاف کمتر از ۱۵٪ می باشند.



جدول ۳- اندازه ثابت دی الکترونیک (E) برای لیتولوژیهای موجود در منطقه مورد مطالعه براساس مراجع مختلف.

گچساران	آسماری	پابده	کواترنری	گورپی	ایلام	سروک	سرسازند زمین شناسی
30	40	15	5	15	25	20	مقدار تقریبی اندازه گیری شده rms-height زبری سطح بر حسب سانتیمتر
31.2	46.6	13.8	3.7	14.9	27.1	18.3	مقدار محاسبه شده rms-height زبری سطح بر اساس مدل بازپراکنش IEM بر حسب سانتیمتر
3.8	14.2	8.7	35.1	0.7	7.7	9.2	درصد اختلاف

۴- بهبود تفکیک زونهای دگرسانی

علیرغم اینکه ارتباط مستقیمی میان زبری سطح و دقت محاسبه نمی توان یافت ولیکن قابلیت استفاده از مدل بازپراکنش بر روی تصویر مایکروویو قابل ملاحظه است. با انجام مدلسازی ذکر شده، امکان در نظر گرفتن مورفولوژی سازندها نیز علاوه بر طیف آنها با هزینه ای مقرون بصرفه تأمین می گردد. بنابراین، با تمایز مورفولوژیک سازندها و همچنین، تفکیک بهتر زونهای دگرسانی امکان ارتقاء دقت در تهیه نقشه های زمین شناسی تأمین می گردد. علاوه بر این، با روش حاضر می توان با اطلاعات بدست آمده از تنوع زبری سطح، امکان بهتر نمودن مقیاس نقشه ها را نیز در اختیار داشت.

۵- نتیجه گیری

با وجود اینکه پردازش تصاویر ماهواره ای اپتیکی، اصلی ترین روش تهیه و ارتقاء دقت نقشه های زمین شناسی، بشمار می آید ولیکن امکان تفکیک بافت سنگ شناسی و مورفولوژی سطح و تفکیک زونهای دگرسانی بر اساس جنس از آن قابل استخراج نبوده و در این راستا می توان با استفاده از مدلسازی بازپراکنش در تصاویر رادار روزنه مصنوعی که امکان بدست آوردن این اطلاعات را از طریق محاسبه میزان زبری سطح فراهم می آورد، 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 و قابلیت این مدل در تمایز زونهای دگرسانی در ساختمان زمین شناسی اناران با اندازه گیری میدانی مورد بررسی قرار گرفت. اختلاف نتایج محاسبات مدل IEM با اندازه گیری های زمینی زبری سطح، به استثناء سطوح صاف آبرفتهای کواترنری (که تا ۳۵٪ اختلاف را در بر داشته است) کمتر از ۱۵٪ می باشد. این میزان دقت می تواند در روال تهیه و تکمیل نقشه های زمین شناسی لحاظ گردد. بدون شک، استفاده از تصاویر سنجنش از دور مایکروویو گام مؤثری در غنای مراحل تهیه نقشه های زمین شناسی به روش سنجنش از دور می باشد که حجم عملیات میدانی را بطور چشمگیری می کاهش دهد.

۶- مراجع

- [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, 25-29 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, 18-21 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, 9-11 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] A. Fung 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] B. Barrett, E. Dwyer, and P. Whelan, "Soil moisture retrieval from active spaceborne microwave observations: an evaluation of current techniques". In: Remote Sensing 1.3, pp. 210-242, 2009.
- [9] K. Chen, W. Kao, and Y. Tzeng, "Retrieval of surface parameters using dynamic learning neural network", In: International Journal of Remote Sensing 16.5, pp. 801-809, 1995.
- [10] H.Mazaheri T., "Soil Moisture Estimation with Polarimetric SAR Data", PhD. Thesis, University of Calgary, 2014.
- [11] M. Shimada, Isoguchi, O.; Tadono, T.; Isono, K., "PALSAR Radiometric and Geometric Calibration," IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., vol.47, no.12, pp.3915,3932, 2009.
- [12] S.A. Aghanabati , "Geology of Iran", Geological Survey of Iran (GSI), Tehran, Iran, 2014.
- [13] H. Motiei, "Geology of Iran : Stratigraphy Of Zagros", 2nd ed., Geological Survey of Iran (GSI), Tehran, Iran, 2003.
- [14] A. Kalantari, "Stratified Rock and Microfacies of Zagros", National Iranian Oil Company, Public Relations, 1992.
- [15] A. Martinez, and A. Byrnes, "Dielectric probe procedures: Kansas Geological Survey", Open-file Report 99-1, 17 p, 1999.
- [16] D. J.Daniels, , "Surface-penetrating radar—IEE Radar, Sonar, Navigation and Avionics Series 6: London", The Institute of Electrical Engineers, 320 p, 1996.
- [17] N. E.Verhoest, Lievens H., Wagner W., Álvarez Mozos J., Moran M. S., and Mattia F., "On the soil roughness parameterization problem in soil moisture retrieval of bare surfaces from synthetic aperture radar", *Sensors* 8.7, pp.4213,4248, 2008.



Morphologic Discrimination of Geological Formations using Surface Roughness Modeling against Microwave Backscattering Coefficient in SAR Images

A. Ghafouri^{*1}, J. Amiri², M. Dehmollaian³, M. A. Kavosi⁴

1- PhD Candidate of photogrammetry in Department of Geomatics, College of Engineering, University of Tehran

2- Associate professor in Department of Geomatics, College of Engineering, University of Tehran

3- Assistant professor in Department of Computer and Electronics, College of Engineering, University of Tehran

4- Head of Sedimentology Department, Exploration Directorate, National Iranian Oil Company

Abstract

Providing morphological information (surface roughness) using optical images texture, for vast areas is not reasonable for mapping, since for such application a large number of high resolution images must be provided. On the other hand, hyperspectral optical images processing which is the conventional mapping technique in geology cannot offer morphology of the land and always field visit is inevitable. Synthetic Aperture Radar (SAR) images, due to having phase and polarization information, are capable to detect surface roughness and in surface geology, geomorphology. For this purpose, it is necessary to model the microwave backscattering against surface roughness and even lithology. Utilizing this feature, field measurements could be simplified and in some cases eliminated. In this paper, the performance of the Integral Equation Model (IEM) as well as geological alteration zones detection in Anaran geological structure (located in Ilam province) is investigated. The difference between the results and ground measurements of surface roughness is less than 15%, although there is 35% of difference for Quaternary deposits.

Keywords: Integral Equation Model, Synthetic Aperture Radar, Geology Mapping.

Correspondence Address: Department of Geomatics, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran.

Tel: +98 9124594685.

Email: ali.ghafouri@ut.ac.ir