

کاربرد تصاویر سنجنده Sentinel-1 برای استخراج عوارض و پدیده‌های زمینی

محمد ملکی (کارشناس ارشد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی)

سید محمد توکلی صبور* (استادیار گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی دانشگاه خوارزمی)

چکیده

امروزه دسترسی به انواع نقشه‌های پایه برای مطالعات اولیه و استفاده در طرحهای عمرانی و خدماتی بسیار ضروری است. یکی از انواع این نقشه‌های پایه، نقشه‌های ژئومورفولوژی هستند که نشان دهنده اشکال و عوارض زمینی و فرآیندهای حاکم است. از اینرو و با گسترش همه‌جانبه علم سنجش از دور، ضرورت ارزیابی تصاویر مختلف برای دستیابی منبعی مطمئن برای تهیه این نقشه‌ها واضح است. با این پیش زمینه، در این مطالعه از تصاویر باند C سنجنده Sentinel-1 استفاده شد. برای بررسی اثر جهت دید در تشخیص اشکال، دو تصویر از دو جهت دید متفاوت مورد بررسی قرار گرفت و برای بررسی تصحیح اثر ناهمواری‌ها بر تصاویر رادار و در نهایت موفقیت تشخیص عوارض ژئومورفولوژی از مدل رقومی ۳ ثانیه USGS استفاده شد. در نهایت چهار عارضه دره، تیغه، مخروط افکنه و واریزه استخراج گردیدند، برای داده‌های مرجع زمینی از تصاویر لایه World Imagery از Arc GIS Online استفاده شد. و پارامترهای صحت، دقت، کیفیت، ضریب کاپا و در نهایت آزمون Z محاسبه شد. نتایج نشان دهنده این موضوع بود که تصاویر رادار تصحیح پستی و بلندی نشده قابلیت کمتری در استخراج عوارض داشتند. همچنین تفاوت در جهت دید سنجنده و به طبع آن، تفاوت در زاویه دید، در موفقیت تشخیص عوارض موثر است. همچنین مشخص شد که در بین عوارض، تشخیص مخروط افکنه از همه موفقیت آمیزتر بوده است.

کلیدواژه: رادار تصویربرداری، مخروط افکنه، عارضه، دره، Sentinel-1

ایمیل نویسنده مسئول: Tavakkoli.khu_ac@yahoo.com

ژئومورفولوژی علمی است که چگونگی شکل‌گیری اشکال زمین (لندفرم) را بررسی می‌کند (Singh and Kashal; ۲۰۰۶; ۳۰۱). نقشه‌ها، در مطالعات جغرافیایی طبیعی نقش کلیدی را بازی می‌کنند، چراکه بسیاری از اطلاعات جغرافیایی بر روی نقشه ذخیره و نمایش داده می‌شود (Strahler and Strahler ۲۰۰۵: ۵۶). این رشته شاخه‌ای از جغرافیای طبیعی است که خود به دو بخش ژئومورفولوژی دینامیک و ژئومورفولوژی ساختمانی (تکتونیک) قابل تقسیم است. امروزه با توجه به گسترش فن‌آوری سنجش از دور، تهیه نقشه‌های ژئومورفولوژی بسیار آسانتر شده است. دانش ژئومورفولوژی به عنوان یکی از شاخه‌های علم جغرافیای طبیعی همواره سعی در حل مشکلات زیست محیطی بشر دارد (کامرانی دلیر و رمضان زاده لسبویی ۱۳۸۸: ۱۲۲). نقشه‌های ژئومورفولوژی در مقایسه با نقشه‌های توپوگرافی به طور اساسی مفصل‌ترند و نیازمند یک درک پیچیده از طبیعت اشکال زمین و فرآیندهای تشکیل دهنده آنها هستند (قربانیان و شمسایی ۱۳۸۷: ۱۲۶). یک نقشه ژئومورفولوژی پدیده‌های سطحی یا اشکال زمین را به تصویر می‌کشد که فرآیندهای زمین‌شناسی بر روی زمین ثبت می‌کنند (شایان و همکاران ۱۳۹۰: ۳۹). البته فقط عوامل زمین‌شناسی در تشکیل اشکال زمین موثر نیستند، بلکه دینامیک بیرون مانند باد، رودخانه‌ها، سیلاب‌ها و... در شکل‌گیری اشکال زمین موثرند. این نقشه‌ها به عنوان روش تحقیق اصلی در ژئومورفولوژی هستند که نشان دهنده منشأ و سن اشکال زمین و توزیع فضایی اشکال زمین می‌باشند (Hubbard and Glasser ۲۰۰۵; ۲۸۷). اخیراً پیشرفت در فن‌آوری سنجش از دور به اینکه ابعاد جدیدی از مطالعات ژئومورفولوژیک انجام شود کمک می‌کند (Singh and Kashal; ۲۰۰۶: ۳۰۲). امروزه در حدود ۸۰ درصد تصمیماتی که هر فرد می‌گیرد به‌نحوی با مکان در ارتباط است، از این‌رو توجه به نقشه‌کشی ژئومورفولوژی یکی از شاخه‌های مربوط به علوم مکانی یکی از ضرورت‌ها می‌باشد.

فرآیند تهیه نقشه‌ها برای ژئومورفولوژیست‌ها روش بی‌نظیری است تا از طریق آن با زمین‌شکل‌های یک ناحیه بیشتر آشنا شوند، و محرک بزرگی برای تفکر درباره‌ی درک روابط بین اشکال، مواد و فرآیندها و نحوه تحول زمین‌شکل‌هاست (کوک و دورکمب ۱۳۷۷: ۵۶).

اولین نقشه ژئومورفولوژی در سال ۱۹۱۴ توسط پاسارگ تهیه شد (Rao, ۲۰۰۲: ۵۲). برای نخستین بار نقشه ژئومورفولوژی در ایران در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰۰ در زمره مجموعه‌ای از نقشه‌های خاور نزدیک در دانشگاه توپینگن آلمان در سال ۱۹۹۰ توسط ثروتی و با همکاری بورشه و گرونت تهیه و منتشر گردید (شایان و همکاران ۱۳۹۰: ۳۸). از برخی کارها در این راستا می‌توان اشاره کرده به؛ (Shingh and Kaushal. ۲۰۰۶).

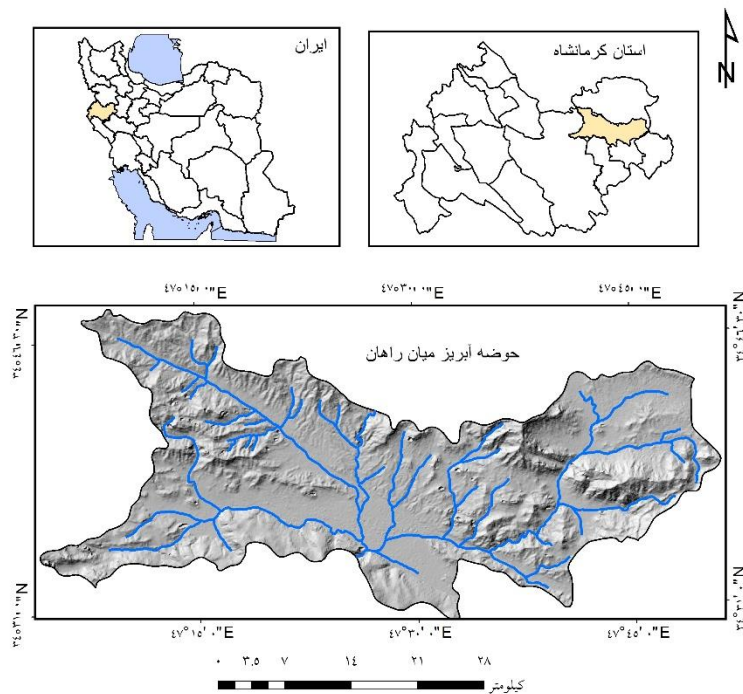
عوارض ژئومورفولوژیک را از داده‌های Radarsat استخراج کردند. در این تحقیق از داده‌های رادارست (SAR) یعنی داده‌های (Standard-۷ و Wide-۲) و آنالیز مولفه‌های اصلی (PCA) استفاده شد، و پنج واحد ژئومورفولوژی استخراج گردید. Wide-۲ توانایی بیشتری برای تشخیص عوارض سطح فلات داشت اما Standard-۷ پتانسیل بهتری برای تشخیص عوارض دارای پستی و بلندی داشت. Vyas and Pandey., (۲۰۱۳) از داده‌های ۱ cartosat ، IRS ، TM ، ETM+ و STRM برای استخراج عوارض هیدروژئومورفولوژیک در منطقه ماندساور هند استفاده کردند و توپوگرافی، خطوط زهکشی، اشکال زمین، دره‌ها و خاکها را از داده‌های مورد استفاده استخراج کردند. Lee and Moon. (۲۰۱۲) خطوطاره‌ها را از تصاویر TM لندست و SAR-۱ JERS و DEM برای کاربردهای زمین‌شناسی را استخراج کردند. ؛ (۲۰۰۸) chueca et al., با استفاده از عکس‌های هوایی نقشه ژئومورفولوژی ریبازگورازی در پیرنه اسپانیا را تهیه کردند. روستایی و همکاران (۱۳۹۲) با استفاده از تداخل سنجی تفاضلی راداری در حوزه آبخیز گرم‌چای میانه با استفاده از سنجنده‌های PALSAR و ALOS در یک دوره ۹۴ روزه به پایش زمین‌لغزش پرداختند که در طول این مدت بیشترین جابجایی صورت گرفته ۵/۸ سانتی‌متر برآورد شد. ملکی و همکاران (۱۳۹۲) در کلات نادری برای استخراج خطوطاره‌ها و شکستگیها از تصاویر SAR و ETM+ استفاده کردند که نتایج نشان دهنده عملکرد خوب الگوریتم کشف لبه‌ی کنی در شناخت شکستگی‌های موجود، اصلی، تراستها و... بود. احسانی(۱۳۸۹) با استفاده از داده‌های SRTM با قدرت تفکیک ۹۰ متر و شبکه عصبی به پهنه‌بندی یاردانگ-های لوت پرداخت.

منطقه مورد مطالعه

حوضه میانراهان در غرب ایران و استان کرمانشاه قرار دارد. بطورکلی این حوضه در حدود ۷۵ درصد از شهرستان صحنه را دربر گرفته است و بطور جزئی در شهرستانهای کرمانشاه و سنقر نیز امتداد یافته است. مساحت حوضه بیش از ۱۱۷۲ کیلومتر مربع می‌باشد. طول جغرافیایی مرکز هندسی حوضه در حدود ۴۷ درجه و ۲۷ دقیقه و عرض جغرافیایی آن ۳۶ درجه و ۳۷ دقیقه و ۳۰ ثانیه می‌باشد. این حوضه از نظر ژئومورفولوژی محل تلاقی دو واحد ژئومورفولوژی زاگرس شکسته (زاگرس مرتفع) و واحد سنندج سیرجان می‌باشد. واحد سنندج - سیرجان با کوه‌های اطراف مریوان شروع شده و مستقیماً در جهت جنوبشرق تا کوه‌های پراکنده بین چاله‌های سیرجان تا جازموریان امتداد می‌یابد. کوه‌های این واحد از سمت جنوبغرب به زاگرس مرتفع چسپیده است. بنحوی که تنها از نقطه نظر ژئوفیزیکی به وسیله خط شکستگی اصلی زاگرس (تراست زاگرس) از آن قابل تفکیک است. در طبیعت تنها در بعضی مسیره‌ها، دشت‌ها و دره‌های وسیع مانند دشت میانراهان - کامیاران،

کنگاور، دره نهاوند و دشت بروجرد که امتداد گسل زاگرس را مشخص کرده‌اند، واحد سنندج - سیرجان را از واحد زاگرس جدا کرده‌اند (علایی طالقانی، ۱۳۹۰، ص ۲۳۵).

شکل شماره (۱): منطقه مورد مطالعه



داده‌های مورد استفاده:

در این مطالعه از تصاویر رادار ماهواره سنتینل-۱^۱ استفاده شد. تصاویر مورد استفاده در این مطالعه از جهت دید متفاوت برداشته شده است. تصویر اول در ۲۱/۰۵/۲۰۱۵ و در ساعت ۱۴ و ۵۱ دقیقه ۴۴ ثانیه تا ساعت ۱۴ و ۵۲ دقیقه و ۹ ثانیه به وقت گرینویچ، به مدت ۲۵ ثانیه برداشته شده است (از این پس در این مطالعه از این تصویر در مراحل پردازش و نتایج با عنوان رادار ۱ نام برده خواهد شد). تصویر دوم در ۲۲/۰۵/۲۰۱۵ در بین ساعت ۲ و ۵۳ و ۲۷ تا ۲ و ۵۳ و ۵۲ ثانیه به وقت گرینویچ و به مدت ۲۵ ثانیه برداشت شده است (از این پس در این مطالعه از این تصویر در مراحل پردازش و نتایج با عنوان رادار ۲ نام برده خواهد شد). عرض برداشت آن ۲۵۰ کیلومتر و توان تفکیک آزیموت ۲۲ متر، همچنین توان تفکیک برد ۲۰ متر دارد، تصاویر در باند C برداشت شده‌اند. ACQ Mode تصاویر IW و قطبش تصاویر نیز VV است. توان تفکیک این تصاویر ۲۰*۲۲ متر است.

^۱ Sentinel

روش شناسی

تشخیص عوارض از دو جهت دید

از آن جهت که رادار یک سیستم پهلونگر است. در این مطالعه برای اینکه اثر جهت دید رادار را در موفقیت استخراج عوارض سطح زمین را بسنجیم از دو تصویر رادار در دو جهت برداشت از منطقه استفاده شد. به نحوی که ابتدا به صورت کاملاً مستقل ابتدا از یکی از تصاویر عوارض تشخیص داده شده و سپس تصویر دوم مورد تفسیر قرار گرفت. این امر بدین لحاظ بود که چون روش استخراج عوارض در این مطالعه به صورت بصری بود، تشخیص عوارض همسان (بعنوان مثال دره) با فاصله زمانی از هم صورت گرفته است تا تجربه تشخیص مفسر از تصویر قبل به میزان خاصی کم شود.

تصحیح هندسی پستی و بلندی‌ها:

هیچ یک از دو روش تصحیح هندسی، استفاده از نقاط کنترل زمینی و تصحیح هندسی با استفاده از مشخصات سنجنده اثر جابجایی ارتفاعی عوارض را از بین نخواهد برد. برای این مورد تصحیح هندسی از مدل رقومی ارتفاع استفاده می‌شود. برای این مطالعه نیز برای سنجش تاثیر جابجایی ارتفاع در میزان تشخیص عوارض سطح زمین با استفاده از رادار، تصحیح هندسی تصویر رادار بار دیگر با استفاده از مدل رقومی ارتفاع^۱ ۳ ثانیه، USGS به همراه نقاط کنترل زمینی انجام گرفت.

روش استخراج عوارض

همانطور که بیان شد برای استخراج عوارض از برای این مطالعه از باند C تصاویر سنتینل-۱ استفاده شد. برای تصحیح هندسی، ۱۳ نقطه کنترل زمینی از Arc GIS Online و لایه World Imagery انتخاب شد و از روش باز نمونه‌گیری پیچش مکعبی (به دلیل اینکه این روش برای تفسیر چشمی مناسب است) استفاده شد. برای استخراج عوارض از روش تفسیر بصری استفاده شد که این روش متکی بر دانش مفسر از تصاویر ماهواره‌ای و عملی که راجع به آن استخراج اطلاعات می‌نماید است. این روش متکی بر هشت کلید اصلی تفسیر، یعنی شکل، اندازه، تن، مکان، الگو، تجمیع، بافت و سایه است (درویش صفت و همکاران ۱۳۹۰: ۳۸۶-۳۹۰). ابتدا برای داده‌ها مرجع زمینی از کل منطقه بازدید شده بود و شناخت خوبی وجود داشت، سپس از تصاویر لایه World Imagery که توان تفکیک مکانی در حدود یک متر دارند به روش تفسیر بصری داده‌های صحت سنجی مرجع زمینی آماده شدند. در نهایت چهار عارضه تیغه، دره، مخروط افکنه و واریزه از تصاویر استخراج گردید.

^۱ SRTM

ارزیابی صحت عوارض ژنومورفولوژیک

مطالعات بسیاری در خصوص قطعه‌بندی تصاویر انجام گرفته است. با نگاهی به این مطالعات متوجه خواهیم شد که برای ارزیابی صحت قطعه‌بندی بیشتر بر نسبت مساحت قطعه‌های صحیح تشخیص داده شده بر مساحت کل قطعات مورد نظر متکی است. تعدادی از این مطالعات برای مطالعه بیشتر عبارتند از Benz, et al. ۲۰۰۴, Zhan et al. ۲۰۰۵, Möller et al. ۲۰۰۷, Weidner ۲۰۰۸, Clinton et al. ۲۰۱۰. گفته شد ارزیابی صحت آنها متکی بر تقسیم مساحت قطعات صحیح تشخیص داده شده بر مساحت کل قطعات مورد نظر است. اما بنا به دلایلی از جمله اینکه در ارزیابی صحت قطعه‌بندی عوارض ژنومورفولوژی تشخیص واحد عارضه مهمتر از مساحت آن است (البته میزان مساحت عوارض نیز مهم است، اما در درجه اهمیت پایتتر از تشخیص واحد آن دارد، چراکه ابتدا باید عارضه تشخیص داده شود سپس مساحت آن اهمیت پیدا خواهد کرد). دلیل دوم این است که تفاوت توان تفکیک تصاویر با داده‌های مرجع زیاد می‌باشد و برای این مورد باید از طبقه‌بندی یا قطعه‌بندی از نوع فازی استفاده کرد (بدین دلیل در پیکسل‌های مرزی، اختصاص دادن یا ندادن پیکسل به عارضه مورد نظر می‌تواند تفاوت زیادی در نتیجه بوجود آورد). دلیل سوم نیز می‌توان اینگونه بیان کرد که، ارزیابی صحت فاکتور مساحت برخی از عوارض استخراج شده در این مطالعه از جمله تیغه و تا حدودی نیز دره ضروری نمی‌باشد. برای این منظور و بنا به دلایلی که گفته شد از روش دیگری برای این مطالعه استفاده که مبنای آن صرفاً بر تشخیص یا عدم تشخیص عوارض و تشخیص اشتباه عوارض بنا شده است.

شاخص‌های ارزیابی:

جهت ارزیابی کمی نتایج این تحقیق از شاخص‌های عارضه مبنای^۱ استفاده شد. شاخص‌های مورد استفاده در این مطالعه کامل بودن یا کاملیت^۲ (دقت)، صحیح بودن یا صحت^۳، کیفیت^۴ و ضریب کاپا هستند. برای استفاده از این شاخص‌ها باید فاکتورهای مورد استفاده در هر شاخص معرفی گردند.

۱. درست - مثبت: تعداد واحد عارضی که هم در داده‌های مرجع وجود دارد و هم در نتایج کار وجود دارد. به بیان دیگر یعنی تعداد واحد عارضه‌ای که موفق به تشخیص درست آن به عنوان عارضه ژنومورفولوژیک شده‌ایم. در این در این تحقیق فاکتور با علامت اختصاری TP نشان داده می‌شود.

^۱ Feature base

^۲ Completeness

^۳ correctness

^۴ Quality

۲. غلط - مثبت: تعداد واحد عوارضی که در داده‌های مرجع وجود ندارد ولی در نتیجه کار به عنوان عارضه ژئومورفولوژیک موردنظر تشخیص داده شده است. در این تحقیق این فاکتور با علامت اختصاری FP نشان داده می‌شود.

۳. غلط - منفی: تعداد واحد عوارضی که در داده‌های مرجع وجود دارد ولی در نتایج کار تشخیص داده نشده است. در این تحقیق این فاکتور با علامت اختصاری FN نشان داده می‌شود.

کامل بودن یا کاملیت (دقت): این شاخص به این مفهوم است که چند درصد از عوارض که در داده‌های مرجع بعنوان عوارض ژئومورفولوژیک وجود داشته و در نتیجه کار بعنوان عوارض ژئومورفولوژیک موردنظر تشخیص داده شده است. در این شاخص واحد عوارضی که مربوط به عوارض دیگر هستند و به اشتباه تشخیص داده شده‌اند، تاثیری در مقدار این شاخص ندارند؛ بنابراین این شاخص بصورت رابطه زیر تعریف می‌شود.

$$\text{Completeness} = \frac{TP}{(TP + FN)} * 100$$

صحیح بودن یا صحت: این شاخص به منظور درستی و صحت قطعه‌بندی و طبقه‌بندی بکار گرفته می‌شود. این شاخص بدین مفهوم است که چند درصد عوارض که در نتایج بعنوان عوارض ژئومورفولوژیک تشخیص داده شده‌اند و در داده‌های مرجع هم همان عوارض هستند. در این شاخص واحد عوارضی که در داده‌های مرجع بودند اما در نتیجه کار تشخیص داده نشده‌اند، تاثیری بر مقدار این شاخص ندارند؛ این شاخص بصورت رابطه زیر قابل تعریف است.

رابطه ۲:

$$\text{Correctness} = \frac{TP}{(TP + FP)} * 100$$

کیفیت: این شاخص معیاری است برای ارزیابی نتایج که هم شاخص صحیح بودن و هم شاخص کامل بودن را در نظر می‌گیرد (طالبی، ۱۳۹۳، ۸۳-۸۴).

رابطه ۳:

$$\text{Quality} = \frac{TP}{(TP + FP + FN)} * 100$$

ضریب کاپا: دقت کلی فقط نشان دهنده سازگاری بین داده‌های طبقه‌بندی شده با داده‌های مرجع است. و هیچ اطلاعاتی از سطح اطمینان بدست نمی‌دهد که نشان دهنده اندازه سازگاری بین مقیاس‌های مکرر باشد. همچنین با استفاده از دقت کل نمی‌توان دو ماتریس اختلاط متفاوت را باهم مقایسه کرد که آمار کاپا این مشکلات را حل می‌کنند. اگر یکی از ماتریس‌های اختلاط بطور معناداری با سایرین اختلاف داشته باشد، در اینصورت می‌توان از ضریب کاپا که یک تکنیک چند متغیره مجرا برای تصمیم‌گیری‌های آماری است استفاده

کرد. کاپا براساس دقت کلی و سازگاری تصادفی شکل می‌گیرد. و نشان دهنده این است که یک طبقه‌بندی تا چه اندازه می‌تواند بهتر از یک طبقه‌بندی تصادفی باشد (Tavakkoli Sabour: ۲۰۱۱: ۶۷ and Congalton and Green. ۱۹۹۹: ۱۰۵-۱۰۶). برای بدست آوردن ضریب کاپا باید محاسبات براساس روابط زیر انجام گیرد.

$$P_{ij} = n_{ij} / \quad \text{رابطه ۴:}$$

نحوه محاسبه این رابطه بدین گونه است که تک تک سلول‌های ماتریس اختلاط بر مجموع کل تقسیم گردد.

$$P_{i+} = \sum_{j=1}^k P_{ij}$$

رابطه ۵:

P_{i+} نشان دهنده مجموعه نمونه‌هایی است که برای یک کلاس طبقه بندی شده است. P_{i+} برابر با مجموع P_{ij} های هر سطر است.

رابطه ۶:

P_{+j} نشان دهنده مجموعه نمونه‌هایی است که به یک کلاس تعلق دارد. P_{+j} برابر با مجموع P_{ij} های هر ستون است.

$$P_{\cdot} = \sum_{i=1}^k P_{ii}$$

رابطه ۷:

P_{\cdot} بیان کننده میانگین کاملیت‌ها یا همان دقت کلی است.

رابطه ۸:

$$P_c = \sum_{i=1}^k P_i + * P_j +$$

P_c همان چیزی است که به عنوان نماینده یک طبقه‌بندی تصادفی است. و از حاصل جمع ضرب متناظر P_{+j} در P_{i+} بدست می‌آید.

$$K = \frac{P_0 - P_c}{1 - P_c} \quad \text{رابطه ۹:}$$

K نشان دهنده ضریب کاپا است که تمام فاکتورهای آن قبلاً معرفی گشته‌اند.

همانطور که گفته شد با استفاده از ضریب کاپا می‌توان ماتریس‌های اختلاط متفاوت را باهم بررسی کرد. با در دست داشتن ضریب کاپا، می‌توان نمره استاندارد (Z) دو ماتریس اختلاط مختلف را بدست آورد. نمره استاندارد (Z) با استفاده از رابطه ۱۰ بدست می‌آید. که برای بدست آوردن میزان آن، نتیجه بدست آمده را در جدول آزمون Z قرار داده تا میزان آن مشخص شود.

رابطه ۱۰:

$$Z = |K_1 - K_2| / \sqrt{\text{var}(K_1) + \text{var}(K_2)}$$

برای بدست آوردن var از رابطه زیر استفاده می‌کنیم:

رابطه ۱۱:

$$\text{var}(k) = \frac{1}{n} \cdot \left\{ \frac{\theta_1(1-\theta_1)}{(1-\theta_2)^2} + \frac{2(1-\theta_1) \cdot (2\theta_1\theta_2 - \theta_3)}{(1-\theta_2)^3} + \frac{(1-\theta_1)^2 \cdot (\theta_4 - 4\theta_2)}{(1-\theta_2)^4} \right\}$$

$$\Theta_1 = 1/N \sum_{i=1}^k Nii \quad \text{رابطه: ۱۲}$$

Θ_1 برابر با دقت کل یا همان کاملیت است

$$\Theta_2 = 1/N^2 \sum_{i=1}^k N i + .N+i$$

Θ_2 از تقسیم Pc بر توان دوم مجموع نمونه‌ها (تعداد کل پیکسل‌ها یا عوارض طبقه‌بندی شده در تصویر) بدست می‌آید.

رابطه: ۱۴

$$\sum_{i=1}^k$$

برای بدست آوردن Θ_3 تعداد درست طبقه‌بندی شده‌های هر کلاس را در توان دوم حاصل جمع تعداد کل طبقه‌بندی شده‌های هر کلاس و تعداد نمونه‌های زمینی (تعداد کل پیکسل‌ها یا عوارض طبقه‌بندی شده) در تصویر ضرب کرده و نتایج همه کلاس‌ها را باهم جمع می‌کنیم. و در نهایت بر توان دوم مجموعه نمونه‌ها (تعداد کل پیکسل‌ها یا عوارض طبقه‌بندی شده در تصویر) تقسیم می‌کنیم.

$$\Theta_4 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k Nij (N+i + Nj +)^2$$

برای بدست آوردن Θ_4 هر سلول ماتریس را در توان دوم حاصل جمع تعداد کل طبقه‌بندی شده‌های و تعداد نمونه‌های زمینی (تعداد کل پیکسل‌ها یا عوارض طبقه‌بندی شده) در تصویر ضرب کرده و نتایج همه سلول‌ها را باهم جمع می‌کنیم. و در نهایت بر توان سوم مجموعه نمونه‌ها (تعداد کل پیکسل‌ها یا عوارض طبقه‌بندی شده) در تصویر تقسیم می‌کنیم.

برای صحت سنجی کار انجام شده، به دلیل اینکه هم داده‌های مرجع زمینی و داده‌های حاصل از استخراج عوارض از تصویر به صورت برداری بودند از روش روهام قراردادن^۱ لایه‌ها استفاده شد. در جدول ۱ تعداد واحدهای تشخیص داده شده از لایه World Imagery آورده شده است. که براساس آن میزان موفقیت تصاویر سنتینل-۱ در استخراج عوارض سطح زمین سنجیده خواهد شد.

جدول شماره (۱): تعداد واحدهای عارضه تشخیص داده شده مبناء از World Imagery

تعداد	عارضه
۱۵۰	دره
۱۲۹	تیغه
۶۴	مخروط‌افکنه
۵۴	واریزه

ارزیابی کمی استخراج عوارض از تصویر رادار ۱

جدول ۲ نشان دهنده نتایج اولیه استخراج عوارض ژئومورفولوژیک از تصاویر رادار ۱ است. در جدول ۳ نیز نتایج صحت، دقت و کیفیت حاصل از تشخیص عوارض ژئومورفولوژیک از تصویر رادار ۱ آورده شده است.

جدول شماره (۲): ماتریس اختلاط استخراج عوارض از تصویر رادار ۱

مجموع	غیره	واریزه	مخروط‌افکنه	تیغه	دره
۱۰۸	۴۷	۰	۰	۰	۶۱
۱۰۶	۴۱	۰	۰	۶۵	۰
۴۴	۱۱	۰	۳۳	۰	۰
۳۸	۹	۲۹	۰	۰	۰
۲۰۹	۰	۲۵	۳۱	۶۴	۸۹
۳۸۷	۰	۵۴	۶۴	۱۲۹	۱۵۰

^۱ Overlay

جدول شماره (۳): ارائه صحت، دقت و کیفیت استخراج عوارض ژئومورفولوژیک از تصویر رادار ۱

عارضه	صحت	کاملیت (دقت)	کیفیت
دره	۵۶/۵۵٪	۴۰/۶۶٪	۳۰/۹۶٪
تیغه	۶۷/۷۱٪	۵۰/۳۹٪	۳۸/۲۴٪
مخروطافکنه	۷۵٪	۵۱/۵۶٪	٪۴۴
واریزه	۷۶/۳۲٪	۵۳/۷٪	۴۶/۰۳٪

ارزیابی کمی استخراج عوارض از تصویر رادار ۲

جدول ۴ نشان دهنده نتایج اولیه استخراج عوارض ژئومورفولوژیک از تصاویر رادار ۲ است. در جدول ۵ نیز نتایج صحت، دقت و کیفیت حاصل از تشخیص عوارض ژئومورفولوژیک از تصویر رادار ۲ آورده شده است.

جدول شماره (۴): ماتریس اختلاط استخراج عوارض از تصویر رادار ۲

مجموع	غیره	واریزه	مخروطافکنه	تیغه	دره
دره	۵۲	۰	۰	۰	۸۳
تیغه	۳۹	۰	۰	۶۲	۰
مخروطافکنه	۹	۰	۳۶	۰	۰
واریزه	۹	۲۶	۰	۰	۰
غیره	۰	۲۸	۲۸	۶۷	۶۷
مجموع	۰	۵۴	۶۴	۱۲۹	۱۵۰

جدول شماره (۵): ارائه صحت، دقت و کیفیت استخراج عوارض ژئومورفولوژیک از تصویر رادار ۲

عارضه	صحت	کاملیت (دقت)	کیفیت
دره	۶۱/۴۸٪	۵۳/۳۳٪	۴۱/۰۹٪
تیغه	۶۱/۳۹٪	۴۸/۰۶٪	۳۶/۹٪
مخروطافکنه	۸۰٪	۵۶/۲۵٪	۴۹/۳۲٪
واریزه	۷۴/۲۹٪	۴۸/۱۵٪	۴۱/۲۷٪

ارزیابی کمی استخراج عوارض از تصویر رادار تصحیح پستی و بلندی شده جدول ۶ نشان دهنده نتایج اولیه استخراج عوارض ژئومورفولوژیک از تصویر رادار تصحیح شده است. در جدول ۷ نیز نتایج صحت، دقت و کیفیت حاصل از تشخیص عوارض ژئومورفولوژیک از تصویر رادار تصحیح شده آورده شده است.

جدول شماره (۶): ماتریس اختلاط استخراج عوارض از تصویر رادار تصحیح شده

مجموع	غیره	واریزه	مخروط افکنه	تیغه	دره
۱۲۳	۲۹	۰	۰	۰	۹۴
۱۰۰	۱۷	۰	۰	۸۳	۰
۴۶	۱۰	۰	۴۶	۰	۰
۴۳	۷	۳۶	۰	۰	۰
۱۳۶	۰	۱۸	۱۸	۴۶	۵۶
۳۸۷	۰	۵۴	۶۴	۱۲۹	۱۵۰

جدول شماره (۷): ارائه صحت، دقت و کیفیت استخراج عوارض ژئومورفولوژیک از تصویر رادار تصحیح شده

عارضه	صحت	کاملیت (دقت)	کیفیت
دره	۷۶/۴۲٪	۶۲/۶۷٪	۵۲/۵۱٪
تیغه	۸۳٪	۶۴/۳۴٪	۵۶/۸۵٪
مخروط افکنه	۸۲/۷۶٪	٪۷۵	۶۴/۸۴٪
واریزه	۸۳/۷۲٪	۶۶/۶۷٪	۵۹/۰۱٪

شاخص‌های کل:

در این قسمت نتایج شاخص‌های کل‌های صحت کل، دقت کل، کیفیت کل و ضریب کاپا برای هر سه تصویر آورده شده است.

جدول شماره (۸): ارائه شخص‌های کل حاصل از استخراج عوارض از تصاویر

تصویر	صحت کل	دقت کل	کیفیت کل	ضریب کاپا
رادار ۱	۶۸/۸۹	۴۹/۰۸	۳۹/۸۱	۳۳/۷۱
رادار ۲	۶۹/۲۹	۵۱/۴۵	۴۲/۱۵	۳۴/۹۱
رادار تصحیح شده	۸۱/۴۷۵	۶۱/۱۷	۵۸/۳	۵۴/۷۲

آزمون Z حاصل مقایسه ضریب کاپا

در این بخش نتایج آزمون Z حاصل از مقایسه ضرایب کاپا بدست آمده در مرحله قبل آورده شده است. نتایج این قسمت در جدول ۹ آورده شده است.

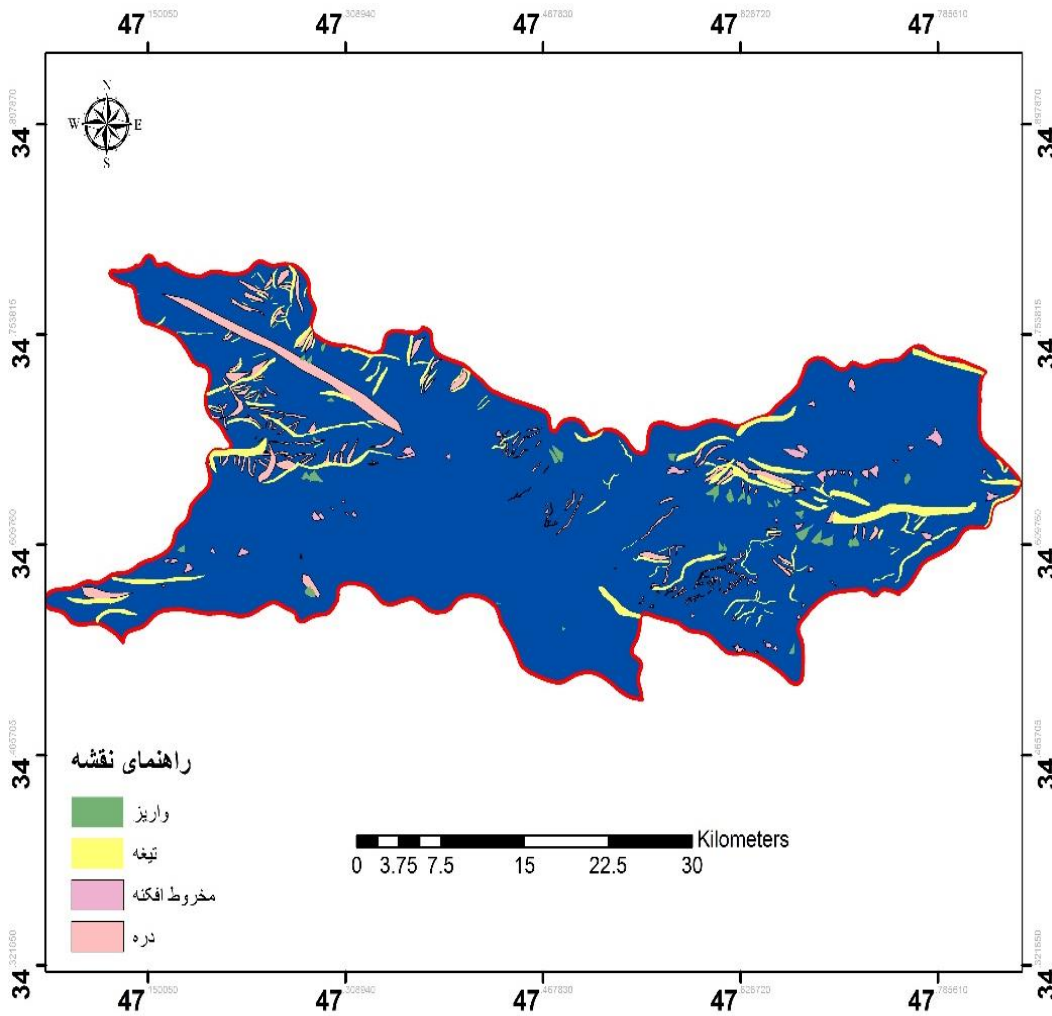
جدول شماره (۹): نتایج آزمون Z حاصل از مقایسه ضرایب کاپا

نتیجه آزمون Z	تصاویر
۰/۵۳۹۸	رادار ۱- رادار ۲
۰/۹۶۴۹	رادار ۱- رادار تصحیح شده
۰/۸۹۲۵	رادار ۲- رادار تصحیح شده

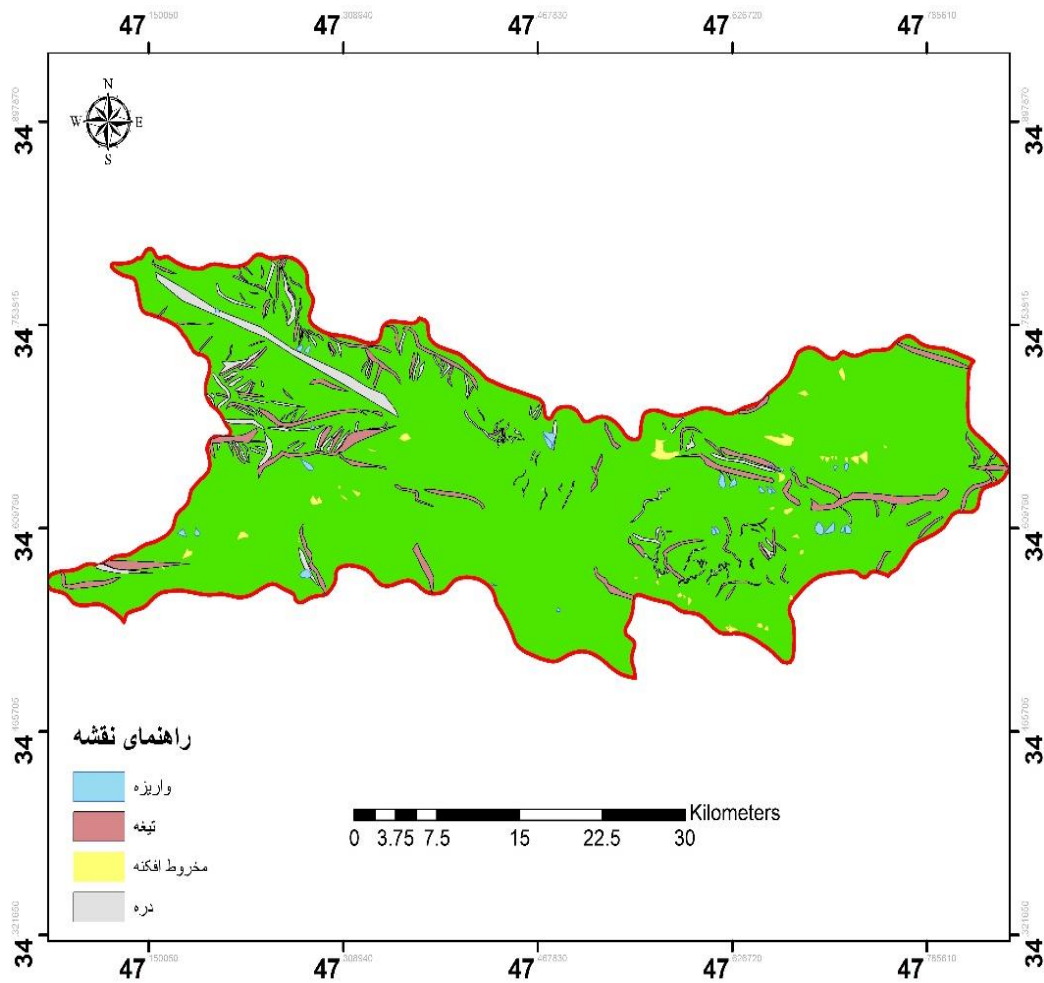
نقشه‌های خروجی

در شکل‌های ۲ تا ۵ که در صفحات پایین نمایش داده شده است به ترتیب نشان دهنده نقشه داده‌های مرجع زمینی از تصاویر لایه World Imagery، نقشه عوارض تشخیص داده شده از تصویر رادار ۱، نقشه عوارض تشخیص داده شده از تصویر رادار ۲ و نقشه عوارض تشخیص داده شده از تصویر رادار تصحیح شده است.

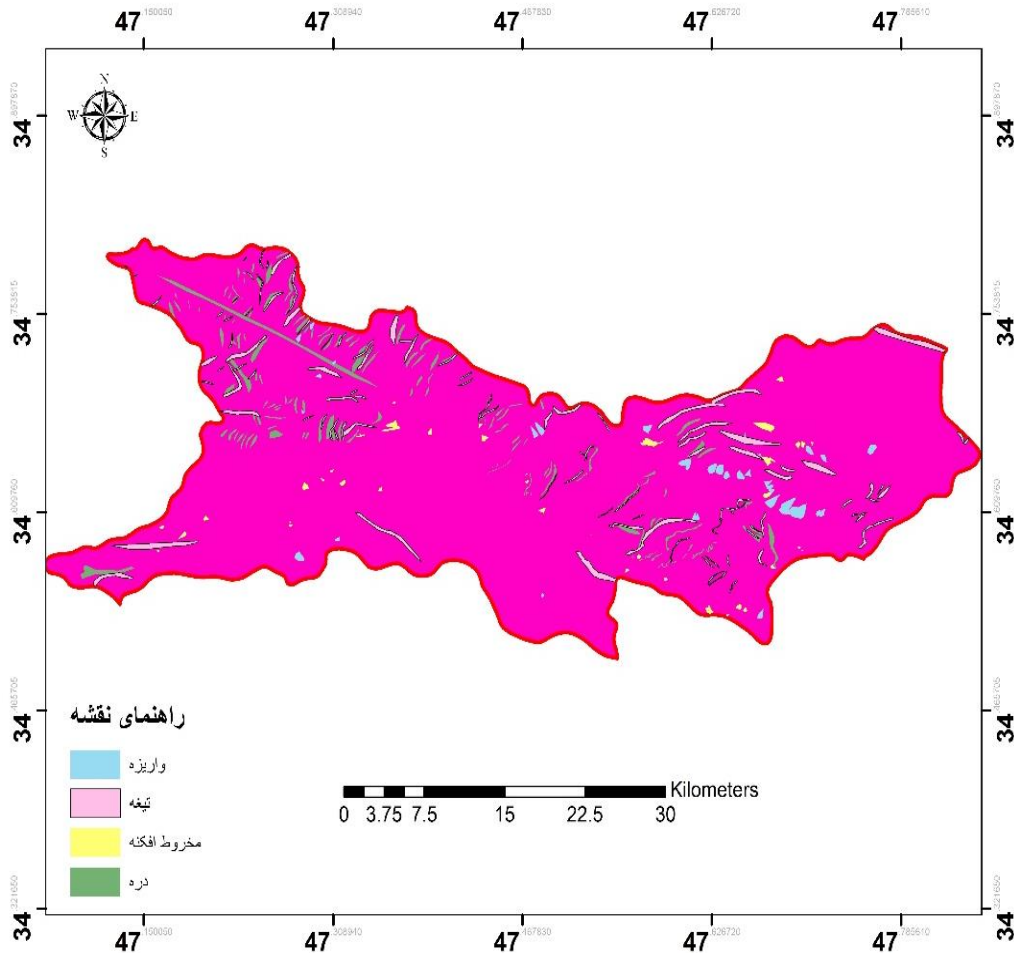
شکل شماره (۲): نقشه عوارض مبناء استخراج شده از لایه World Imagery



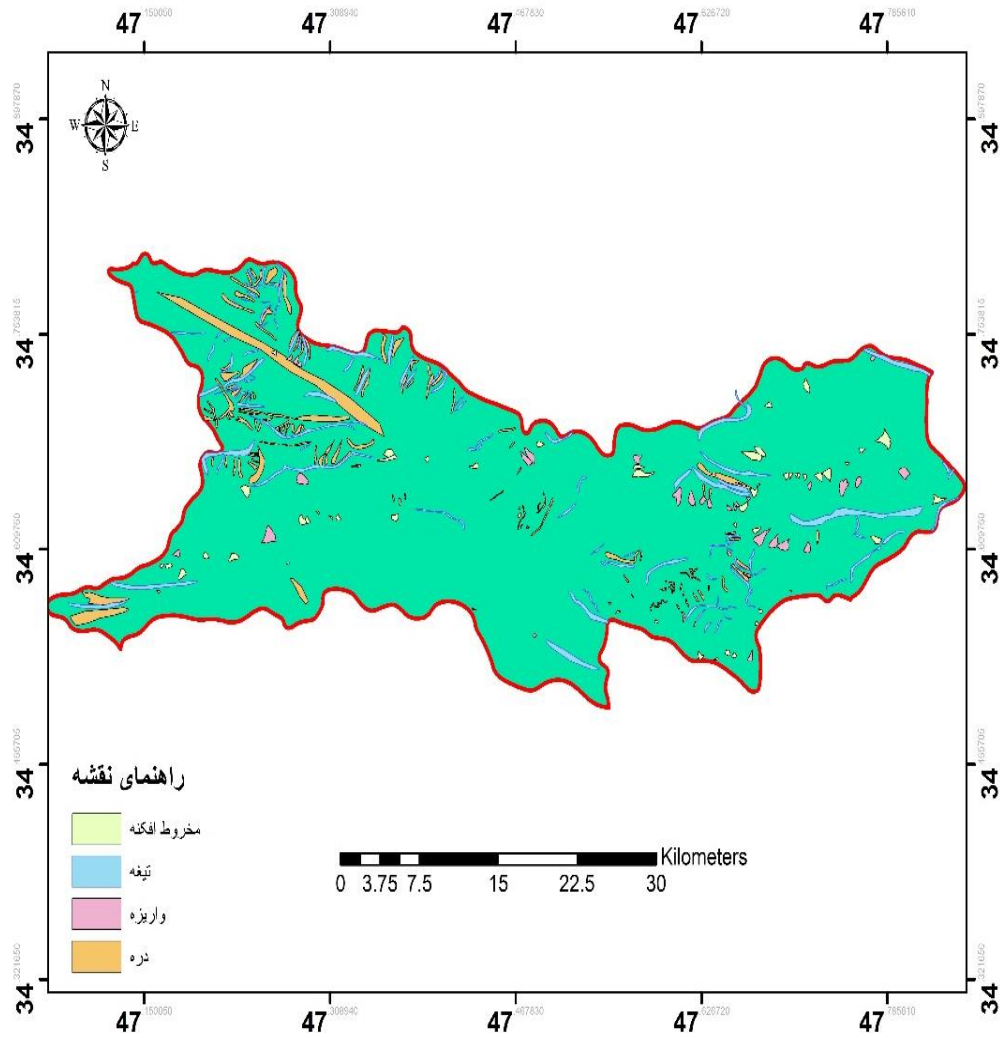
شکل شماره (۳): نقشه عوارض استخراج شده از تصویر رادار ۱



شکل شماره (۴): نقشه عوارض استخراج شده از تصویر رادار ۲



شکل شماره (۵): نقشه عوارض استخراج شده از تصویر رادار تصحیح هندسی پستی و بلندی شده



نتیجه گیری

نتایج بدست آمده از شاخص‌های مورد استفاده نشان دهنده این است که تصاویر رادار بدون تصحیح اثر پستی بلندی‌ها، از اعوجاج هندسی بسیار زیاد تاثیر می‌پذیرد. شاهد این امر نتایج شاخص‌های ارائه شده است که صحت کل تصاویر تصحیح نشده در حد ۶۹ درصد است و تصویر تصحیح شده بیش از ۸۱ درصد می‌باشد. این اختلاف در دقت کل با قدری کاهش در همان حد ۱۱-۱۲ درصد باقی مانده است. اما تفاوت در میزان کیفیت بیش از این دو مورد است و نزدیک به ۱۸ درصد از متوسط کیفیت کل دو تصویر تصحیح نشده بیش تر است. این

اختلاف درصدی در ضریب کاپا به بالاترین حد خود می‌رسد و بیش از ۲۰ درصد می‌شود. این نتایج بیان‌کننده این است که برای مطالعات ژئومورفولوژی، تصاویر رادار حتماً بایستی تصحیح هندسی پستی و بلندی شوند. با مقایسه نتایج حاصل از دو تصویر تصحیح نشده که از دو جهت دید مخالف از منطقه مورد مطالعه گرفته شده است و همین امر باعث این موضوع شده است که منطقه مورد مطالعه در دو تصویر در دامنه متفاوتی از زاویه دید قرار گرفته است. با بررسی نتایج این بخش متوجه خواهیم شد که تفاوت در جهت دید سنجنده و زاویه دید (تغییر در زاویه دید باعث میزان تاثیرات متفاوتی از همپوشی، چرخش و سایه می‌شود) بر میزان موفقیت تصاویر در استخراج عوارض موثر است (هرچند که دامنه زاویه دید دو تصویر در منطقه مورد مطالعه تقریباً نزدیک به هم بوده است، به همین دلیل این تفاوت زیاد نبوده است).

با توجه به جدول ۷ مشخص می‌شود که بیشترین میزان صحت مربوط به واریزه‌ها و بیشترین میزان دقت و کیفیت مربوط به مخروط‌افکنه‌ها است. با توجه با این که صحت بیان‌کننده تعداد درصد تشخیص داده شده‌های محقق، نسبت به همه آن‌هایی است که خود محقق تشخیص داده است. اما دقت نشان‌دهنده تعداد درست تشخیص داده شده‌های محقق نسبت به همه داده‌های مرجع زمینی است و کیفیت نشان‌دهنده تعداد درست تشخیص داده‌ها نسبت به کل داده‌های مرجع زمینی به اضافه تعداد اشتباه تشخیص داده شده‌ها توسط محقق است. بنابراین شاخص‌های دقت و کیفیت در ارتباط با واقعیت زمینی ارتباط بیشتری دارند، بنابراین می‌توان گفت که در کل تصاویر در استخراج مخروط‌افکنه‌ها موفق‌تر از سایر عوارض هستند.

جدول آزمون Z برای این مورد است که نشان دهد که دو طبقه‌بندی از دو تصویر به چه میزان باهم متفاوت هستند. توجه به آن نشان‌دهنده آن است که کمترین تفاوت در طبقه‌بندی بین تصویر رادار ۱ و رادار ۲ است و بیشترین تفاوت بین رادار ۱ و رادار تصحیح شده می‌باشد.

منابع و ماخذ

- ۱- احسانی، ا.، (۱۳۸۹). ژئومورفومتری مگایاردانگ‌های لوت. پژوهش‌های جغرافیایی کمی، شماره ۳ (پیاپی ۷۴). ۶۳-۷۸.
 - ۲- درویش صفت، ع. ا.، پیر باوقار، م. پور رحمتی، م. (۱۳۹۰). سنجش از دور برای مدیران GIS. استن آرنف. انتشارات دانشگاه تهران.
 - ۳- روستایی، ش. روستایی، م. شریفی کیا، م. و یاراحمدی، ج. (۱۳۹۲). کاربرد تداخل سنجی تفاضلی راداری در شناسایی و پایش زمین لغزش‌ها مطالعه موردی حوزه گرم چای میانه. نشریه علمی پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیزداری، جلد ۵ شماره ۳، ۱۹۰-۱۹۸.
 - ۴- شابان، س.، زارع، غ.، امیری، ش. (۱۳۹۰). نقشه‌های ژئومورفولوژی، تاریخچه، ضرورت و کاربرد. سپهر ۲۰ (۷۹). ۳۷-۴۵.
 - ۵- کوک. آر. یو، جی. سی. کمب (۱۳۷۷). ژئومورفولوژی و مدیریت محیط، ترجمه: شاپور گودرزی نژاد، جلد اول، انتشار سمت.
 - ۶- علایی طالقانی، م. (۱۳۹۰). ژئومورفولوژی ایران. انتشارات قومس.
 - ۷- طالبی، م (۱۳۹۳) استخراج اتوماتیک جاده از تصاویر لیدار. پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه خوارزمی
 - ۸- ملکی، ر.، آبکار، ع. ا.، ولدان زوج، م. ج.، غفوری، ع.، ملکی، م. (۱۳۹۲). تهیه نقشه زمین شناسی شکستگی‌ها و خطواره‌ها از تصاویر چند طیفی و تصاویر رادار روزانه SAR (مطالعه مورد تصویر منطقه کلات نادری). اکتشافات و تولید نفت و گاز. ۱۰۸، ۹۲-۱۰۰.
- 9-BENZ, U.C., H OFMANN, P., WILLHAUCK, G., LINGENFELDER, I. and H EYNEN, M., 2004, Multi-resolution, object-oriented fuzzy analysis of remote sensing data for GIS-ready information. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, 58, pp. 239-258.
- 10-Chaouch, N., Temimi, M., Hagen, S., Weishampel, J., Medeiros, S., & Khanbilvardi, R. (2012). A synergetic use of satellite imagery from SAR and optical sensors to improve coastal flood mapping in the Gulf of Mexico. Hydrological Processes, 26(11), 1617-1628.
- 11-Congalton, R. and K. Green. 1999. "Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices". CRC/Lewis Press, Boca Raton, FL. 137 p.
- 12-Cía, J. C., & Andrés, A. J. (2008). Geomorphological map of the Alta Ribagorza (Central Pyrenees, Spain). Journal of Maps, 4(1), 235-247.

- 13-CLINTON, N., HOLT, A., SCARBOROUGH, J., YAN, L. and GONG, P. 2010, Accuracy assessment measures for object-based image segmentation goodness. *Photogrammetric & Remote Sensing*, 76, pp. 289-299. Engineering.
- 14-Hubbard, B., & Glasser, N. F. (2005). *Field techniques in glaciology and glacial geomorphology*. John Wiley & Sons. p 287
- 15-Kaushal, A., & Singh, Y. (2006). Extraction of geomorphological features using radarsat data. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 34(3), 299-307.
- 16-Lee, T. H., & Moon, W. M. (2002). Lineament extraction from Landsat TM, JERS-1 SAR, and DEM for geological applications. In *Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2002. IGARSS'02. 2002 IEEE International (Vol. 6, pp. 3276-3278)*. IEEE.
- 17-MÖLLER, M., LYMBURNER, L. and VOLK, M., 2007, the comparison index: a tool for assessing the accuracy of image segmentation. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 9, pp. 311-321.
- 18-Rao, D. P. (2002). Remote sensing application in geomorphology. *Tropical Ecology*, 43(1), 49-59.
- 19-Strahler, A.H & A. Strahler, 2005. *Physical Geography Science and systems of the human environment*, Boston university, by john Wiley sons, 794p
- 20- Tavakkoli Sabour, S. M. (2011). *Multi-Temporal Classification of Crops Using ENVISAT ASAR Data*. PhD thesis. Hannover University, Germany.
- 21-Vyas, R., & Pandey, T. K. (2013). Extraction of Hydro-Geomorphologic Features Using Satellite Data for Mandsaur District, Madhya Pradesh. *International Journal of Remote Sensing and Geoscience*, 2(3), 65-69.
- 22-Weidner, U. (2008). Contribution to the assessment of segmentation quality for remote sensing applications. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 37(B7), 479-484.
- 23-ZHAN, Q., MOLENAAR, M., TEMPFLI, K. and SHI, W., 2005, Quality assessment for geo-spatial objects derived from remotely sensed data. *International Journal of Remote Sensing*, 26, pp. 2953-2974.