بررسی صحت و دقت چند روش تهیه نقشه شکل‌های فرسایش خاک

علی محمدی ترکاشوند[1*] و داود نیک کامی[2]

(تاریخ دریافت: ۸۵/۷/۲۶ ؛ تاریخ پذیرش: ۸۶/۳/۳۰)

چکیده

نقشه شکل‌های فرسایش خاک از نقشه‌های پایه در مطالعات فرسایش و رسوب است که در مدیریت و برنامه‌ریزی حوزه‌های آبخیز حائز اهمیت است. برای تهیه نقشه ۲۵۰۰۰۰ :۱ شکل‌های فرسایش خاک، مطالعه‌ای در حوزه آبخیز جاجرود در استان تهران انجام شد. از ترکیب لایه‌های زیر به عنوان روش‌های مختلف تهیه نقشه واحدهای کاری استفاده گردید: الف- پوشش گیاهی، زمین‌شناسی و شیب ب- کاربری، زمین‌شناسی و شیب ج- کاربری، حساسیت سنگ‌ها به فرسایش و شیب و د- کاربری، حساسیت سنگ‌ها به فرسایش و واحدهای اراضی. نقشه واحدهای کاری حاصل از تلفیق لایه‌های اطلاعاتی به همراه سه روش دیگر شامل نقشه‌های واحدهای کاری مبتنی بر ه- واحدهای اراضی و- واحدهای حساسیت سنگ‌ها و ز- واحدهای فتومورفیک حاصل از تفسیر تصاویر ماهواره‌ای، در حوزه مورد بررسی قرار گرفتند. با تعیین شدت و نوع شکل‌های مختلف فرسایش خاک در ۳۱۴ نقطه و به کمک روش تیسن و بهره گرفتن از تصاویر ماهواره‌ای در تفکیک و تلفیق مرز واحدها، نقشه شکل‌های فرسایش تهیه شد. این نقشه با هر یک از نقشه‌های واحدهای کاری الف تا ز مقایسه شد. نتایج نشان داد که از روش‌های تلفیق لایه‌ای با توجه به ملاحظات اقتصادی، روش د، بهتر جواب داده است. روش واحدهای اراضی و حساسیت سنگ‌ها با صحت‌های ۵۳/۰ و ۴۲/۹ درصد روش‌های مناسبی در تهیه نقشه شکل‌های فرسایش نبودند. روش تفسیر تصاویر ماهواره‌ای دارای صحت ۷۲/۰ درصد در تهیه نقشه شکل‌های فرسایش بود. جذر میانگین مربعات خطاهای واحدهای کاری نشان داد که روش‌های واحدهای اراضی و حساسیت سنگ‌ها دارای خطای بیشتری نسبت به روش‌های تلفیق لایه‌ای و تفسیر تصاویر ماهواره‌ای بودند. بیشترین ضریب تغییرات صحت واحدهای کاری مربوط به روش‌های واحدهای اراضی و حساسیت سنگ‌ها و کمترین ضریب تغییرات صحت واحدهای کاری و در نتیجه بالاترین دقت مربوط به روش تفسیر تصاویر ماهواره‌ای و تلفیق لایه‌ای بود. در کل، نقشه واحدهای کاری حاصل از تفسیر تصاویر ماهواره‌ای، بهترین روش در تهیه نقشه شکل‌های فرسایش معرفی می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: نقشه شکل‌های فرسایش خاک، صحت و دقت نقشه‌های تولیدی، GIS، RS

مقدمه

نقشه شکل‌های فرسایش خاک، یک نقشه پایه و مهم در مطالعات فرسایش و رسوب است. نقشه‌برداری زمینی و یا استفاده از عکس‌های هوایی شاید روش مناسبی در تهیه نقشه شکل‌های فرسایش باشد، اما به دلیل هزینه‌ها و زمان زیادی که صرف می‌کند، تهیه آن را در عمل با مشکل مواجه می‌سازد (۳).

۱. استادیار خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد رشت

۲. استادیار پژوهش مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، تهران

* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: mohammadit_a@yahoo.com

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2025-12-06]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1386.11.42.45.9]

بنابراین تحقیقات به این سمت گرایش یافته که بتوان از پردازش تصاویر ماهواره‌ای و یا تلفیق لایه‌های اطلاعاتی مؤثر در فرسایش در محیط سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی نسبت به تهیه نقشه شکل‌های فرسایش اقدام نمود (۷). بیشتر بررسی‌های مربوط به فرسایش و رسوب معطوف به تهیه نقشه‌های کمی فرسایش و رسوب بوده (۱۳) و کمتر به تهیه نقشه‌های کیفی از جمله نقشه شکل‌های فرسایش خاک توجه شده است. مطالعات محدودی در مورد تهیه نقشه شکل‌های فرسایش خاک صورت گرفته مثل مطالعات GLASOD (Global Assessment Soil Degradation) که فرسایش خاک را به انواع آبی، بادی، فیزیکی و شیمیایی تقسیم‌بندی می‌کند (۱۵). نقشه‌های شکل‌های فرسایش خاک بر اساس شواهد ظاهری فرسایش در منطقه تهیه و ارائه می‌گردند. وجود این نقشه‌ها در برنامه‌ریزی حفاظت خاک و آبخیزداری مهم است.

حاجی قلیزاده از روش تفسیر و پردازش رقومی تصاویر ماهواره‌ای +ETM سال ۲۰۰۲ برای تهیه نقشه شکل‌های فرسایش خاک در پنج حوزه استان تهران استفاده نمود. طبق تحقیق وی، تشخیص فرسایش‌های سطحی و شیاری با توجه به مقیاس شکل و نیز قدرت تفکیک تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده، کار بسیار دشواری ارزیابی شد و لذا در انجام تحقیق، در محیط GIS (Geographic Information System) اقدام به جداسازی پلی‌گون‌های فرسایش خندقی با شدت کم، متوسط و زیاد نمود و در صحرا پلی‌گون‌های تفکیک شده با شرایط طبیعی تطبیق داده شد، و در صورت عدم تطابق با شرایط واقعی، اصلاح گردیدند (۱). نجابت امکان‌سنجی پردازش رقومی تصاویر ماهواره‌ای در تهیه نقشه فرسایش سطحی خاک در استان فارس را بررسی و تأیید نمود. مقایسه نتایج حاصل از این روش و نقشه موجود از مطالعات صحرایی، دقت ۶۸ درصد را نشان داده است (۹). طی تحقیقی در منطقه تیتا در جنوب شرقی کنیا، سیرویو و همکاران (۱۸) به منظور تشخیص فرسایش خندقی در دو مقیاس بزرگ و کوچک، از سنجش از دور (تفسیر عکس‌های هوایی) و GIS استفاده نمودند. شدت و پراکنش فرسایش خندقی و تغییرات آن در طول ۵۰ سال گذشته را با تفسیر عکس‌های هوایی، و عوامل اصلی موثر بر فرسایش خندقی را توسط عملیات میدانی مشخص نمودند.

سیدورچوک و همکاران در حوزه امبولوزی آفریقای جنوبی، بر طبق نوع فرسایش، درجه، گسترش و تراکم شکل‌های آن بر روی عکس‌های هوایی سال ۱۹۹۶ نسبت به جداسازی واحدهای فرسایشی اقدام نمودند. آنها سپس طبق روش وان‌زوی‌دام (۱۹)، با توجه به درصد پوشش گیاهی نسبت به طبقه‌بندی انواع فرسایش اقدام نمودند. با توجه به این که میزان هدر رفت خاک از طریق فرسایش شیاری و بین شیاری به وسیله مدل USLE تخمین زده می‌شد، برای تخمین فرسایش خندقی از مدل پایدار فرسایش خندقی (۱۶) استفاده کردند.

وزارت جهاد سازندگی اقدام به تهیه طرحی برای نقشه سیمای فرسایش نمود. به همین دلیل طرحی به وسیله دفتر مطالعات و ارزیابی آبخیزهای سازمان جنگل‌ها و مراتع پیشنهاد شد که در آن روشی برای تهیه نقشه سیمای فرسایش خاک کشور توصیه شد. در این روش قرار بود به کمک وضعیت خاک، شیب، سنگ-شناسی، تیپ اراضی، CN و کاربری اراضی، نقشه‌ای در مقیاس ۵۰۰۰۰ : ۱ تهیه شود (طرح ملی تهیه نقشه سیمای فرسایش خاک کشور، ۱۳۷۹)، اما به دلیل حجم کار، هزینه (۱۶ میلیارد ریال در سال ۱۳۷۹) و زمان طولانی انجام آن (۳۵ سال)، عملی‌بودن روش زیر سؤال رفت (۲). نوبل و فلتچر نقشه شکل‌های فرسایش خاک نیوزیلند را تهیه نمودند (۱۴). واحدهای کاری آنها از تلفیق لایه‌های سنگ‌شناسی، خاک، شیب، شدت فرسایش، نوع پوشش گیاهی، آب و هوا و کاربری اراضی به دست آمده بودند. در این روش، فرسایش‌های سطحی، شیاری، خندقی، آبراهه‌ای و توده‌ای و شدت آنها با کار میدانی در واحدهای کاری بررسی و کنترل شد. یولیانگ و یوم از RS و GIS برای طبقه‌بندی شدت و انواع فرسایش خاک در استان شانکسی چین استفاده نمودند (۲۰). برای این کار واحدهای مختلف فرسایش بر روی تصاویر لندست TM و عکس‌های هوایی رنگی، جدا گردیده و با کنترل زمینی تصحیح

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2025-12-06]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1386.11.42.45.9]

شدند. رئوفی و همکاران با استفاده از روش‌های پردازش تصاویر ماهواره‌ای به شناسایی و تهیه نقشه فرسایش در حوزه آبخیز طالقان در استان تهران پرداختند(۳). این محققان طبقه‌بندی تصویر را بر حسب فرسایش شیاری، خندقی و مناطق بدون فرسایش انجام داده و مساحت محدوده‌های هریک را محاسبه نمودند.

با توجه به بررسی‌های به عمل آمده طرح‌های تهیه نقشه‌های شکل‌های فرسایش مبتنی بر یک روش خاص بوده و پلی‌گون‌ها یا واحدهای کاری از نظر شکل‌های فرسایش در صحرا کنترل شده‌اند و به نظر می‌رسد تحقیقی که به صورت روش‌شناسی و با لحاظ مقایسه روش‌های مختلف از نظر صحت، دقت و خطای برآورد شکل‌های فرسایش باشد، انجام نشده است. در تحقیق حاضر، از تلفیق لایه‌های اطلاعاتی مختلف و هم‌چنین تفسیر تصاویرماهواره‌ای، نقشه‌های واحدهای کاری تهیه شد. فرض بر این بود که این واحدها از نظر شکل‌های فرسایش همگن هستند. با فرض همگن بودن شکل‌های فرسایش در واحدهای اراضی و واحدهای نقشه حساسیت سنگ‌ها، این دو نقشه نیز به عنوان نقشه واحدهای کاری در تهیه نقشه شکل‌های فرسایش بررسی شدند. بنابرین اهداف تحقیق بررسی صحت، خطا و دقت روش‌های ۱- تلفیق لایه‌های اطلاعاتی، ۲- پردازش تصاویر ماهواره‌ای، ۳- واحدهای اراضی و ۴- حساسیت سنگ‌ها به فرسایش در تهیه نقشه شکل‌های فرسایش خاک است.

مواد و روش‌ها

حوزه جاجرود با مساحت ۱۶۲۵۵۸ هکتار بین طول‌های شرقی ′۳۴ °۵۱ و ′۶ °۵۲ و عرض‌های شمالی ′۱۳ °۳۵ و ′۴۸ °۳۵ به عنوان حوزهٔ مطالعاتی در نظر گرفته شد. این حوزه، شامل اراضی مرتعی، کشاورزی، معادن قرضه شن و ماسه، هزاردره‌ها و مناطق شهری است. واحدهای سنگی مختلفی در این حوزه وجود دارند که عمدتاً شامل سنگ‌های آذرآواری، توف‌ها، آندزیت، شیل، کنگلومرا، سنگ گچ و سنگ آهک است. نهشته‌های کواترنری نیز بخش وسیعی از حوزه به ویژه در دشت ورامین را در بر می‌گیرند.

تهیه لایه‌های اطلاعاتی

نقشه‌های موردنیاز (زمین‌شناسی، پوشش گیاهی و واحدهای اراضی) در مقیاس ۲۵۰۰۰۰: ۱، اسکن و زمین مرجع شدند. از فایل رقومی توپوگرافی ۲۵۰۰۰۰ :۱، مدل رقومی ارتفاع (DEM) تهیه و سپس از آن طبق استاندارد مؤسسه تحقیقات خاک و آب کشور لایه شیب تهیه شد(۱۳). لایه کاربری اراضی از طبقه‌بندی چشمی تصاویر کاذب رنگی ۵-۳-۱ و ۴-۳-۲ ماهواره +ETM و لایه حساسیت سنگ‌ها به فرسایش، از نقشه زمین‌شناسی طبق روش فیض‌نیا تهیه شد(۶).

تهیه نقشه‌های واحدهای کاری

از ترکیب لایه‌های اطلاعاتی مختلف در سیستم اطلاعات جغرافیایی، نقشه واحدهای کاری تهیه گردید که در ذیل اشاره می‌شود: الف- پوشش گیاهی، زمین‌شناسی و شیب ب- کاربری اراضی، زمین‌شناسی و شیب ج- کاربری اراضی، حساسیت سنگ‌ها به فرسایش و شیب، و د- کاربری اراضی، حساسیت سنگ‌ها به فرسایش و واحدهای اراضی. بجز روش‌های فوق، سه روش دیگر برای تهیه نقشه شکل‌های فرسایش بررسی شدند که شامل نقشه‌های واحدهای کاری مبتنی بر: هـ- واحدهای نقشه واحدهای اراضی و- واحدهای نقشه حساسیت سنگ‌ها به فرسایش و ز- واحدهای فتومورفیک حاصل از تفسیر تصاویر ماهواره‌ای بود. برای تهیه نقشه واحدهای کاری حاصل از تفسیر تصاویر، عملیات مختلف پردازش تصاویر انجام گرفت که به طور خلاصه شامل انتخاب بهترین باندها برای ایجاد ترکیب مرکب رنگی با توجه به شاخص O.I.F، ساختن مؤلفه‌های اصلی ۱ ، ۲ و ۳ ، بازچینی باندهای طیفی و مؤلفه‌های اصلی به زمین مرجع باند پانکروماتیک به روش نزدیک‌ترین همسایه، ساختن تصاویر مختلف رنگی با استفاده از باندهای طیفی، مؤلفه‌های اصلی و باند پانکروماتیک، بسط

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2025-12-06]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1386.11.42.45.9]

خطی و فیلترگذاری در مراحل مختلف تهیه تصاویر رنگی بود. در نهایت همهٔ تصاویر با هم مقایسه شدند و بهترین تصویر و یا تصاویر برای تفسیر انتخاب شدند. سپس از DEM ، لایه سایه تپه‌ها تهیه و با تصویر رنگی روی هم گذاشته شد تا امکان دید سه بعدی فراهم گردد. با توجه به این که به‌جز خندق‌ها و آبراهه‌های بزرگ، تشخیص فرسایش‌های سطحی، شیاری و خندق‌ها و آبراهه‌های کوچک روی تصویر ممکن نبود، اقدام به جداسازی واحدهای فتومورفیک با توجه به رنگ، تن، نقش، الگوهای زه‌کشی و خصوصیات دیگر تصویر به روش ترسیم روی نمایش‌گر (On Screen Digitizing) شد. (۵)

عملیات صحرایی

روشی که برای طبقه‌بندی شدت شکل‌های فرسایش در صحرا به کار رفت، تلفیقی از روش‌های مختلف (۴، ۱۰ و ۱۱) و اعمال تغییرات بر اساس نظرات کارشناسی و تجربه بوده است. در حوزه، ۳۱۴ نقطه برای کنترل زمینی روی تصویر ماهواره‌ای مشخص و به روش تیسن (Thiessen)، برای هر نقطه برداشت یک پلی‌گون اولیه تعیین شد. سپس مرزهای هر پلی‌گون با توجه به مشاهدات صحرایی از نظر هر یک از فرسایش‌های سطحی، شیاری، خندقی و آبراهه‌ای، اصلاح شد. در نهایت، هر محدوده با توجه به شدت هر یک از شکل‌های فرسایش (در صحرا)، برچسب گذاری شد و محدوده‌های دارای یک شدت در هم ادغام شدند و چهار نقشه واقعی از فرسایش‌های سطحی، شیاری، خندقی و آبراهه‌ای تهیه شد. از روی هم گذاری این نقشه‌ها، نقشه شکل‌های فرسایش به دست آمد. نقشه شکل‌های فرسایش با نقشه‌های واحدهای کاری الف تا ز روی هم گذاری شد. برای بررسی صحت هر یک از روش‌های فوق در تهیه نقشه شکل‌های فرسایش، طبق معادله ۱ از روش میانگین وزنی استفاده شد.

$$A = \frac{\sum_{i=1}^{n} a_i c_i}{\sum_{i=1}^{n} a_i} \qquad [1]$$

A صحت نقشه (درصد انطباق نقشه با شرایط واقعی)، a_i مساحت هر واحد کاری (مساحت واحد در مدل برآورد شده) و c_i ماکزیمم مساحتی از هر واحد (بر حسب درصد) که از نظر شدت شکل‌های فرسایش همگن می‌باشد (مساحت واحد در مدل مشاهده‌ای).

برای بررسی صحت واحدهای کاری از شاخص خطای مطلق (AE) (Absolute Error) از معادله ۲، و خطای هریک از روش‌ها از شاخص ریشه دوم میانگین مربعات خطای واحدهای کاری (RMSE) (Root Mean Squared Error) از معادله ۳ استفاده شد.

$$AE = \left| Z_{(x_i)} - Z^*_{(x_i)} \right| \qquad [2]$$

AE قدر مطلق خطا، $Z^*_{(x_i)}$ مساحت واحد در مدل برآورد شده (واحدهای کاری) و $Z_{(x_i)}$ مساحت واحد در مدل مشاهده‌ای (ماکزیمم درصد همگنی هر واحد در شرایط واقعی) می‌باشند.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} \left[Z_{(x_i)} - Z^*_{(x_i)} \right]^2}{n}} \qquad [3]$$

RSME ریشه دوم میانگین مربعات خطای واحدهای کاری است.

هر کدام از مدل‌های برآورد شکل‌های فرسایش که جذر میانگین مربعات خطای کمتری داشته باشد، دارای خطای کمتر و صحت بیشتر است. برای بررسی دقت روش‌ها از ضریب تغییرات صحت واحدها (معادله ۴) استفاده شد.

$$CV = \frac{S}{\overline{X}} * 100 \qquad [4]$$

S انحراف معیار صحت واحدهای برآورد شده و $\overline{X}$ صحت کل مدل (A در معادله ۱) می‌باشد. هر روشی که ضریب تغییرات صحت کمتری داشته باشد، از دقت بیشتری برخوردار است.

نتایج و بحث

جدول ۱ نتایج روی هم گذاری لایه‌های مختلف در حوزهٔ جاجرود را نشان می‌دهد. روی هم گذاری سه لایه شیب،

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2025-12-06]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1386.11.42.45.9]

جدول ۱. نتایج روی هم گذاری لایه‌های اطلاعاتی در حوزه جاجرود

نقشه واحدهای کاری	لایه‌های تلفیق شده	تعداد واحدهای کاری	مساحت واحدهای کاری (km^2)				
			< ۰/۱	۰/۱ – ۱	۱ – ۱۰	۱۰ – ۱۰۰	> ۱۰۰
			تعداد واحدهای کاری				
الف	شیب، پوشش گیاهی و زمین شناسی	۹۰۲	۳۵۲	۳۳۵	۲۹۶	۱۷	۱
ب	شیب، کاربری و زمین شناسی	۴۳۶	۱۷۵	۱۳۷	۹۶	۲۷	۱
ج	شیب، کاربری و حساسیت سنگ‌ها	۱۴۹	۳۹	۴۴	۲۹	–	۲
د	کاربری، حساسیت سنگ‌ها و واحدهای اراضی	۸۶	۱۲	۲۳	۲۶	۲۲	۳

جدول ۲. نتایج مقایسه نقشه واقعی شکل‌های فرسایش با نقشه واحدهای کاری حاصل از تلفیق لایه‌های اطلاعاتی

نقشه	شاخص / لایه‌های تلفیق شده	صحت (٪)	خطا (٪)	ضریب تغییرات صحت (٪)	جذر میانگین مربعات خطا (هکتار)
الف	شیب، زمین‌شناسی و پوشش گیاهی	۶۹/۳	۳۰/۷	۳۴/۸	۱۶۸۶/۸
ب	شیب، کاربری و زمین‌شناسی	۶۷/۴	۳۲/۶	۴۰/۱	۷۱۶/۰
ج	شیب، کاربری و حساسیت سنگ‌ها	۵۳/۴	۴۶/۶	۳۰/۹	۱۹۳۳/۸
د	کاربری، حساسیت سنگ‌ها و واحدهای اراضی	۶۶/۶	۳۳/۴	۳۸/۵	۱۷۳۲/۵

پوشش گیاهی و زمین‌شناسی منجر به ایجاد ۹۰۲ واحد کاری گردید. پراکنش مساحت واحدهای کاری نشان می‌دهد که عمدتاً واحدها، مساحت ناچیزی داشته و تنها تعداد کمی از آنها مساحت زیادی دارند. از روی هم گذاری لایه‌های شیب، کاربری و زمین‌شناسی نیز، ۴۳۶ واحد کاری به وجود آمد که بسیاری از آنها مساحت کمی دارند. از روی هم گذاری لایه‌های شیب، کاربری و حساسیت سنگ‌ها به فرسایش، ۱۴۹ واحد کاری ایجاد شد که نسبت به دو روش فوق، واحدهای کاری کمتری دارد. روی هم گذاری لایه‌های کاربری، حساسیت سنگ‌ها و واحدهای اراضی نیز سبب ایجاد ۸۶ واحد کاری شد که کمترین تعداد واحد کاری را در بین روش‌های مختلف تلفیق لایه‌های اطلاعاتی دارد.

نتایج مقایسه چهار روش تلفیق لایه‌های اطلاعاتی با نقشه واقعی شکل‌های فرسایش از نظر صحت، خطا و دقت (ضریب تغییرات صحت) در جدول ۲ دیده می‌شود. همان گونه که ملاحظه می‌شود بیشترین صحت مربوط به تلفیق لایه‌های شیب، زمین‌شناسی و پوشش گیاهی است که ۶۹/۳ درصد است. کمترین صحت نیز مربوط به تلفیق لایه‌های شیب، کاربری و حساسیت سنگ‌ها است که ۵۳/۴ درصد می‌باشد. میزان صحت در تلفیق لایه‌های شیب، کاربری و زمین‌شناسی، ۶۷/۴ درصد و در تلفیق لایه‌های کاربری، حساسیت سنگ‌ها و واحدهای اراضی نیز ۶۶/۶ درصد است. با این که روش تلفیق لایه‌های شیب، کاربری و حساسیت سنگ‌ها، کمترین صحت را در تهیه نقشه شکل‌های فرسایش دارند، لیکن بیشترین دقت را در بین چهار روش داراست (با ضریب تغییرات صحت ۳۰/۹ درصد). اما همین روش بیشترین خطا را دارد و جذر میانگین مربعات خطای واحدهای کاری، ۱۹۳۳/۸ هکتار می‌باشد. روش تلفیق لایه‌های شیب، کاربری و زمین‌شناسی دارای کمترین دقت می‌باشد (ضریب تغییرات صحت ۴۰/۱ درصد)، اما جذر میانگین مربعات خطای واحدهای کاری کمتری از روش‌های دیگر داشته و ۷۱۶/۰ هکتار می‌باشد. ضریب تغییرات صحت روش تلفیق لایه‌های کاربری،

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2025-12-06]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1386.11.42.45.9]

حساسیت سنگ‌ها و واحدهای اراضی نیز ۴۰/۵ درصد است.

باید توجه داشت که در تهیه نقشه شکل‌های فرسایش، علاوه بر صحت، دقت و خطای هر یک از روش‌ها، تعداد واحدهای کاری و مساحت آنها بسیار حائز اهمیت است. یکی از عوامل مورد نظر در تهیه نقشه ۲۵۰۰۰۰ :۱ شکل‌های فرسایش، ملاحظات اقتصادی و اجرایی است (۸). زیاد بودن تعداد واحدهای کاری که هر واحد نیز ممکن است در چندین محل حوزه وجود داشته باشد، هزینه‌های کنترل صحرایی و در نتیجه هزینه‌های تهیه نقشه را به شدت افزایش می‌دهد و مقرون به صرفه نیست. هم‌چنین در چنین مقیاسی امکان نمایش واحدهای کوچک از نظر شکل‌های فرسایش حتی به صورت رنگ نیز در نقشه فراهم نیست و از نظر کارتوگرافی منجر به شلوغ شدن نقشه، تداخل رنگ‌ها و کیفیت پایین آن می‌شود. ضمناً طبیعی است که واحدهای کوچک از نظر شکل‌های فرسایش همگن‌تر از واحدهای بزرگ هستند و همین موضوع سبب شده است که در تلفیق لایه‌های شیب، کاربری و زمین‌شناسی، میزان صحت از دو روش دیگر بیشتر است.

در کل، با توجه به نتایج مقایسه نقشه شکل‌های فرسایش با نقشه‌های واحدهای کاری حاصل از تلفیق لایه‌های مختلف، و هم‌چنین ملاحظات اقتصادی و هزینه‌های تهیه نقشه شکل‌های فرسایش، روش تلفیق لایه‌های کاربری، حساسیت سنگ‌ها و واحدهای اراضی، به عنوان یکی از روش‌های تهیه نقشه شکل‌های فرسایش با سه روش ۱- استفاده از نقشه واحدهای اراضی به عنوان نقشه واحدهای کاری ۲- استفاده از نقشه حساسیت سنگ‌ها به فرسایش به عنوان نقشه واحدهای کاری ۳- استفاده از واحدهای حاصل از تفسیر چشمی تصاویر ماهواره‌ای به عنوان نقشه واحدهای کاری، از نظر صحت، دقت و خطا، بررسی و مقایسه شدند. از این پس این روش‌ها به اختصار روش‌های واحدهای اراضی، حساسیت سنگ‌ها، تلفیق لایه‌ها (لایه‌های کاربری، حساسیت سنگ‌ها و واحدهای اراضی) و تفسیر تصاویر گفته می‌شود.

روش واحدهای اراضی

جدول ۳ نتیجه مقایسه نقشه واقعی شکل‌های فرسایش با نقشه واحدهای اراضی را نشان می‌دهد. همان گونه که از این جدول ملاحظه می‌شود، صحت واحد 1.1 که مساحت قابل توجهی از حوزه را به خود اختصاص داده فقط ۳۵/۹ درصد می‌باشد و ۶۴/۱ درصد در برآورد فرسایش سطحی خطا دارد. واحد اراضی 1.6 نیز ۲۷/۸ درصد صحت دارد و ۷۲/۲ درصد خطا دارد. صحت واحدهای 1.8،2.12 و 2.7 به ترتیب ۹۸/۸، ۶۸/۶ و ۳۷/۲ درصد است. واحدهای اراضی 2.9، 2.1 و 2.10 نیز ۷۴/۴ و ۸۴/۲ درصد صحت دارند.

ملاحظه می‌شود که در واحدهای اراضی واقع در فیزیوگرافی کوهستان و تپه‌ها، صحت واحدها در برآورد شکل‌های فرسایش پایین است. هر چه مساحت واحدها بزرگ‌تر باشد به علت تفاوت عوامل مؤثر بر فرسایش مثل حساسیت سنگ‌ها، کاربری، شیب، ناهمواری، برونزدگی‌های سنگی و غیره، صحت واحدها کمتر است. در واحدهای اراضی 1.1، 1.6 و 2.7 که مساحت زیادی در حوزه دارند، صحت بسیار کم و خطای برآورد بسیار زیاد است و عملاً نمی‌توانند در تهیه نقشه شکل‌های فرسایش به عنوان واحدهای همگن در نظر گرفته شوند، حتی در واحد اراضی 3.26 که مساحت زیادی ندارد، صحت ۴۵/۳ بوده و خطا بیش از ۵۰ درصد است. صحت در واحد اراضی 4.21، ۴۳/۵ درصد، اما در واحد اراضی 4.27 که دومین واحد بزرگ حوزه است، ۹۳/۳ درصد است. زیر کشت بودن اراضی و شیب کم، حساسیت یک‌نواخت رسوبات به فرسایش، شرایط یک‌نواختی را از نظر فرسایش در واحد 4.27 فراهم آورده که منجر به صحت بالای آن شده است. صحت واحد اراضی 4.8 نیز بالا است و ۸۸/۷ درصد است. این واحد نیز تقریباً تحت کشت محصولات کشاورزی است و همگنی از نظر فرسایش‌های مختلف سبب صحت بالای آن شده است. واحد اراضی 6.5، صحت ۴۰/۰ درصد دارد. ناهمگونی فرسایش‌های سطحی، شیاری و خندقی منجر به کاهش صحت واحد شده است. در این واحد اراضی

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2025-12-06]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1386.11.42.45.9]

جدول ۳ . نتایج مقایسه نقشه واقعی شکل‌های فرسایش با نقشه واحدهای اراضی

واحد اراضی	شدت فرسایش	$Z^*(x_i)$ (هکتار)	$Z(x_i)$ (هکتار)	صحت (٪)	خطا (٪)	قدر مطلق خطا (هکتار)
1.1	S2 * R1 * G0 * Ch1	۴۷۷۱۸/۱	۱۷۱۲۶/۱۲	۳۵/۹	۶۴/۱	۳۰۵۹۲/۰
1.6	S4 * R4 * G4 * Ch0	۱۴۳۳۳/۸	۳۹۸۹/۵۷	۲۷/۸	۷۲/۲	۱۰۳۴۴/۲
1.8	S4 * R4 * G4 * Ch0	۳۶۹۱/۱	۳۶۴۷/۷۲	۹۸/۸	۱/۲	۴۳/۴
2.12	S2 * R1 * G0 * Ch1	۷۹۳	۵۴۳/۸۱	۶۸/۶	۳۱/۴	۲۴۹/۲
2.7	S2 * R1 * G0 * Ch1	۱۲۵۹۷/۹	۴۶۸۲/۵۳	۳۷/۲	۶۲/۸	۷۹۱۵/۴
2.9	S4 * R2 * G2 * Ch1	۳۹۸۶/۷	۲۸۸۷/۲۳	۷۲/۴	۲۷/۶	۱۰۹۹/۵
2.10	S2 * R1 * G0 * Ch1	۴۹۴/۳	۴۱۵/۹۹	۸۴/۲	۱۵/۸	۷۸/۳
3.26	S2 * R1 * G1 * Ch0	۱۴۳۶/۵	۶۵۱/۲۳	۴۵/۳	۵۴/۷	۷۸۵/۳
4.21	S2 * R1 * G1 * Ch0	۱۹۰۶/۳	۸۲۸/۸۵	۴۳/۵	۵۶/۵	۱۰۷۷/۵
4.27	S1 * R0 * G0 * Ch0	۳۴۵۸۷/۲	۳۲۲۵۳/۹۸	۹۳/۳	۶/۷	۲۳۳۳/۲
4.8	S1 * R1 * G1 * Ch0	۴۷۳۴/۴	۴۱۹۸/۵۱	۸۸/۷	۱۱/۳	۵۳۵/۹
6.5	S4 * R2 * G4 * Ch0	۷۵۶۳/۳	۳۰۲۸/۶۶	۴۰/۰	۶۰/۰	۴۵۳۴/۶
8.1	S3 * R0 * G2 * Ch2	۶۱۰۴	۱۹۴۱/۴۲	۳۱/۸	۶۸/۲	۴۱۶۲/۶
8.2	S2 * R2 * G0 * Ch2	۴۱۱۸/۴	۱۲۸۲/۳۰	۳۱/۱	۶۸/۹	۲۸۳۶/۱
9.1	S1 * R0 * G0 * Ch0	۹۹۵۰/۱	۴۷۷۸/۲۹	۴۸/۱	۵۱/۹	۵۱۷۱/۸
9.7	S3 * R2 * G1 * Ch0	۸۳۷/۳	۳۳۰/۷۳	۳۹/۵	۶۰/۵	۵۰۶/۶
9.8	S2 * R2 * G0 * Ch2	۱۹۹۶	۴۸۸/۷۲	۲۴/۵	۷۵/۵	۱۵۰۷/۳

S ، R ، G و Ch : به ترتیب بیانگر فرسایش‌های سطحی، شیاری، خندقی و آبراهه‌ای

1، 2، 3 و 4 : به ترتیب فرسایش با شدت‌های کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد

(اراضی پست)، شوری اراضی، پوشش ضعیف گیاهی، ریز بافت بودن خاک و تمرکز جریانات آبی منجر به بروز فرسایش‌های شدید شده است. صحت واحدهای اراضی 8.1 و 8.2 بسیار پایین بوده و به ترتیب ۳۱/۸ و ۳۷/۲ درصد می‌باشد. در واحدهای اراضی در فیزیوگرافی آبرفت‌های بادبزنی شکل نیز صحت بسیار پایین است به طوری که صحت واحدهای اراضی 9.1، 9.7 و 9.8 به ترتیب ۴۸/۱، ۳۹/۵ و ۲۴/۵ درصد است. بجز واحدهای اراضی 4.27، 4.8، 2.10 و1.8 ، بقیه واحدهای اراضی، صحت بالایی ندارند و در نتیجه از صحت لازم در تهیه نقشه شکل‌های فرسایش برخوردار نیستند، که البته همگنی بالادر واحد 2.10 به دلیل مساحت کم آن و در واحد 1.8 به دلیل بدلند بودن اراضی (وجود فرسایش هزار دره) است.

روش حساسیت سنگ‌ها

همان گونه که نتایج نشان می‌دهد، صحت واحد حساسیت خیلی زیاد فقط ۲۳/۵ درصد است که در نتیجه در برآورد فرسایش، ۷۶/۵ درصد خطا دارد جدول ۴). بروز فرسایش‌های مختلف سطحی، شیاری و خندقی با شدت‌های متفاوت در این واحد منجر به کاهش بسیار زیاد صحت شده است. صحت در واحد حساس نیز پایین است و ۳۱/۸ درصد است. بنابراین، این واحدها در تهیه نقشه شکل‌های فرسایش از صحت لازم برخوردار نیستند. حساسیت سنگ‌ها به فرسایش و بروز فرسایش‌های مختلف با شدت‌های متفاوت در این واحدها، سبب کاهش بسیار زیاد صحت شده است.

واحدهای حساسیت متوسط و حساسیت متوسط

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2025-12-06]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1386.11.42.45.9]

جدول ۴ . نتایج مقایسه نقشه واقعی شکل‌های فرسایش با نقشه حساسیت سنگ‌ها به فرسایش

واحد	شدت فرسایش	$Z^*(x_i)$(هکتار)	$Z(x_i)$(هکتار)	صحت (٪)	خطا (٪)	قدر مطلق خطا (هکتار)
خیلی حساس	S4 * R4 * G4 * Ch0	۳۲۷۱۴/۹	۷۶۷۲/۳	۲۳/۵	۷۶/۵	۲۵۰۴۲/۶
حساس	S2 * R1 * G0 * Ch1	۲۲۸۲۰	۷۲۵۱/۶	۳۱/۸	۶۸/۲	۱۵۵۶۸/۴
حساسیت متوسط	S1 * R1 * G0 * Ch1	۳۷۳۸/۹	۱۴۲۰/۱	۳۸/۰	۶۲/۰	۲۳۱۸/۸
مقاومت متوسط	S3 * R2 * G0 * Ch2	۱۰۳/۸	۱۰۱/۰	۹۷/۳	۲/۷	۲/۸
مقاوم	S2 * R1 * G0 * Ch1	۱۸۳۷۵/۹	۸۸۷۳/۱	۴۸/۳	۵۱/۷	۹۵۰۲/۸
حساسیت متوسط (نهشته‌های کواترنری)	S1 * R0 * G0 * Ch0	۷۸۰۷۶/۱	۴۱۴۵۰/۰	۵۳/۱	۴۶/۹	۳۶۶۲۶/۱

(نهشته‌های کواترنری) به ترتیب ۳۸/۰ و ۵۳/۱ درصد صحت دارند. همگنی بیشتر واحد دارای نهشته‌های کواترنری از نظر فرسایش‌های سطحی، شیاری، خندقی و آبراهه‌ای سبب شده که صحت آن بیشتر از واحدهای دیگر باشد. صحت واحد سنگ‌های مقاوم به فرسایش نیز کمتر از ۵۰ درصد است و ۴۸/۳ درصد می‌باشد. واحد مقاومت متوسط سنگ‌ها به فرسایش، ۹۷/۳ درصد دارد که صحت بسیار بالایی در تهیه نقشه شکل‌های فرسایش است. این واحد به دلیل مساحت اندک از نظر فرسایش‌های مختلف، همگن بوده که در نتیجه صحت واحد افزایش یافته که البته با توجه به مساحت آن نسبت به حوزه، این موضوع اهمیتی ندارد.

روش تلفیق لایه‌ای

نتایج جدول ۵ نشان می‌دهد که ۶۰/۸ و ۶۳/۰ درصد مساحت واحدهای کاری دارای واحد اراضی 1.1 و 1.6 صحت کمتر از ۵۰ درصد دارند. واحدهای کاری در واحد اراضی1.8 همگی صحت بیشتر از ۹۰ درصد دارند که به دلیل بدلند بودن اراضی می‌باشد. با توجه به مساحت زیاد واحدهای 1.1 و 1.6، روش تلفیق لایه‌ها در فیزیوگرافی کوهستان، صحت لازم را در برآورد شکل‌های فرسایش ندارد. نتایج نشان می‌دهد که واحدهای کاری در بخش اعظم از مساحت فیزیوگرافی تپه‌ها (2) و تراس‌ها (3)، صحت بالایی نداشته و در تلفیق با لایه‌های کاربری و حساسیت سنگ‌ها، از صحت لازم در برآورد شکل‌های فرسایش برخوردار نیست.

صحت واحدهای کاری در واحد اراضی 4.21 بالا نیست، اما صحت واحدهای کاری در واحدهای اراضی 4.27 و 4.8 بالا بوده و به ترتیب ۹۳/۷ و ۹۱/۷ درصد مساحت آنها صحت بیشتر از ۹۰ درصد دارند که با نتایج نقشه واحدهای اراضی همخوانی دارد. واحدهای کاری در واحد اراضی 6.5 نیز صحت پایینی دارند. ۶۹/۰ و ۷۲/۰ درصد از مساحت واحدهای کاری در واحدهای اراضی 8.1 و 8.2 صحت کمتر از ۵۰ درصد دارند. واحدهای کاری دارای واحد اراضی 9.1 صحت بالایی دارند (۹۴/۰ درصد مساحت صحت بیشتر از ۹۰ درصد دارند)، لیکن در واحدهای اراضی 9.7 و 9.8 صحت پایین است. در مجموع بجز واحدهای کاری در چند واحد و اجزای اراضی شامل واحدهای 4.27، 4.8 و 9.7، در بقیه واحدهای کاری، صحت پایین است. بنابراین در روش تلفیق لایه‌ای باید لایه‌های دیگری علاوه بر سه لایه واحدهای اراضی، حساسیت سنگ‌ها و کاربری روی هم گذاری شوند.

با توجه به نتایج جدول ۵، صحت واحدهای کاری دارای کاربری بدلند و معادن قرضه شن و ماسه، ۱۰۰ درصد است. در واحدهای کاری دارای کاربری کشاورزی، صحت بالاست و ۹۳/۶ درصد از مساحت آنها، صحت بیشتر از ۹۰ درصد دارند. اما در کاربری مرتع، ناهمگونی شکل‌های فرسایش بسیار زیاد است. در واحدهای کاری دارای کاربری مرتع، ۶۶/۸ درصد از مساحت واحدهای کاری، صحت کمتر از ۵۰ درصد دارند. بنابراین در تهیه نقشه شکل‌های فرسایش، ناهمگونی در کاربری

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2025-12-06]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1386.11.42.45.9]

جدول ۵. مساحت (٪) مربوط به صحت‌های مختلف نسبت به مساحت هر واحد اراضی، کاربری و یا هر واحد حساسیت سنگ‌ها به فرسایش در روش تلفیق لایه‌ای

واحد اراضی	مساحت در حوزه (هکتار)	صحت (٪)			
		< 50	50 - 70	70 - 90	> 90
		مساحت واحدهای کاری در هر واحد اراضی به مساحت کل آن واحد اراضی (٪)			
1.1	47718/1	۶۰/۸	۳۲/۵	–	۶/۷
1.6	14333/4	۶۳/۰	۵/۷	–	۳۱/۳
1.8	3691/1	–	–	–	۱۰۰
2.10	494/3	–	–	۹۹/۷	۰/۳
2.12	793/0	–	۳۹/۴	۵۷/۴	۳/۲
2.7	12598/3	۹۶/۲	۱/۸	–	۲/۰
2.9	3986/7	–	۰/۲	۸۸/۸	۱۱/۰
3.26	1436/5	۹۱/۹	–	۸/۱	–
4.21	1906/3	۳۴/۰	۵۵/۲	۹/۸	۰/۶
4.27	34587/4	۶/۰	–	۰/۳	۹۳/۷
4.8	4734/4	–	–	۸/۳	۹۱/۷
6.5	7563/3	–	۷۵/۰	۲۵/۰	–
8.1	6103/9	۶۹/۰	–	–	۳۱/۰
8.2	4118/7	۷۲/۲	–	۲۷/۰	۱/۸
9.1	9942/7	–	–	۶/۰	۹۴/۰
9.7	837/3	–	۶۳/۱	–	۳۶/۹
9.8	1992/5	۷۱/۳	–	۲۸/۷	–
کاربری		مساحت واحدهای کاری در هر کاربری به مساحت کل آن کاربری (٪)			
کشاورزی	50064/5	–	۰/۶	۵/۸	۹۳/۶
مرتع	93037/7	۶۶/۸	۲۵/۶	۷/۳	۰/۳
بدلند	7804/2	–	–	–	۱۰۰
معادن قرضه شن و ماسه	4449/3	–	–	–	۱۰۰
حساسیت سنگ‌ها		مساحت واحدهای کاری در هر واحد حساسیت به مساحت کل آن واحد حساسیت (٪)			
خیلی حساس	۳۲۷۱۳/۵	۵۹/۷	–	۱۴/۵	۲۵/۸
حساس	۲۲۸۱۹/۸	۸۴/۷	۷/۹	۴/۴	۳/۱
حساسیت متوسط	۳۷۳۸/۹	۹۷/۵	–	–	۲/۵
مقاومت متوسط	۱۰۳/۸	–	۴/۲	–	۹۵/۸
مقاوم	۱۸۳۷۵/۹	۶/۵	۸۶/۰	–	۷/۵
حساسیت متوسط (نهشته‌های کواترنری)	۷۸۰۸۴/۰	۲۳/۵	۸/۳	۵/۱	۶۳/۱

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2025-12-06]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1386.11.42.45.9]

شکل ۱. صحت روش‌های مورد استفاده در تهیه نقشه شکل‌های مختلف فرسایش

مرتع حتی در تلفیق با دو لایه واحدهای اراضی و حساسیت سنگ‌ها به فرسایش، بسیار زیاد است و لازم است روی هم گذری لایه‌های مختلف مؤثر در فرسایش بررسی گردد.

نتایج جدول ۵ نشان می‌دهد که ۵۹/۷ درصد از مساحت واحدهای کاری دارای حساسیت خیلی زیاد صحت کمتر از ۵۰ درصد دارند و تنها ۲۵/۸ درصد مساحت، صحت بیشتر از ۹۰ درصد دارند. در واحدهای کاری دارای حساسیت زیاد سنگ‌ها به فرسایش، صحت خیلی کمتر است و ۸۴/۷ درصد از مساحت آنها صحت کمتر از ۵۰ درصد دارند. واحدهای کاری در این دو حساسیت در روش تلفیق لایه‌ها از صحت لازم در برآورد شکل‌های فرسایش برخوردار نیستند. در واحد حساسیت متوسط، ۹۷/۵ درصد مساحت واحدهای کاری دارای صحت کمتر از ۵۰ درصد است.

واحدهای کاری دارای حساسیت متوسط سنگ‌ها به فرسایش (نهشته‌های کواترنری) نسبت به واحدهای کاری در حساسیت زیاد و خیلی زیاد و واحد مقاوم، صحت بیشتری دارند و ۶۳/۱ درصد مساحت آنها صحت بیشتر از ۹۰ درصد دارند. واحد مقاومت متوسط، صحت بالایی دارد و ۹۵/۸ درصد از مساحت واحدهای کاری صحت بیشتر از ۹۰ درصد دارند که البته تعداد و مساحت کم این واحدها منجر به افزایش صحت شده است. در مجموع، نتایج از صحت بسیار کم واحدهای کاری در حساسیت‌های مختلف سنگ‌ها حکایت می‌کند که منجر به خطای زیاد در برآورد شکل‌های فرسایش می‌شود.

تفسیر تصاویر

نقشه واحدهای کاری حاصل از تفسیر تصاویر ماهواره‌ای، شامل ۷۶ واحد کاری بود. نتایج مقایسه نقشه واقعی شکل‌های فرسایش با نقشه واحدهای کاری حاصل از تفسیر تصاویر ماهواره‌ای نشان داد که همگنی واحدهای کاری نسبت به روش‌های دیگر از نظر شکل‌های فرسایش بیشتر است. در روش تفسیر تصاویر برخی از واحدها با مساحت زیاد نیز از نظر شکل‌های فرسایش کاملاً همگن بوده و خطایی ندارند که قابل توجه است.

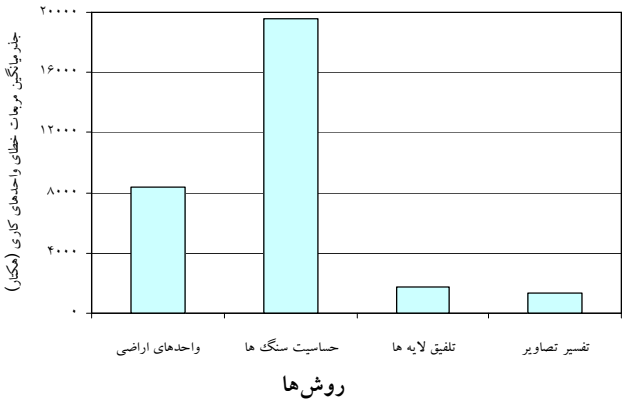
مقایسه روش‌ها

شکل ۱ صحت روش‌های مختلف تهیه نقشه شکل‌های مختلف فرسایش را نشان می‌دهد. همان طور که ملاحظه می‌شود بیشترین صحت مربوط به روش تفسیر تصاویر است که شکل‌های فرسایش، ۷۲ درصد با شرایط واقعی زمین انطباق دارند. بعد از روش تفسیر تصاویر ماهواره‌ای، روش تلفیق لایه‌ای است که در برآورد شکل‌های فرسایش، ۶۶/۰ درصد صحت دارد که با روش تفسیر تصاویر، شش درصد اختلاف دارد. صحت روش‌های واحدهای اراضی، ۵۳/۰ درصد و کمترین صحت مربوط به نقشه حساسیت سنگ‌ها به فرسایش است که فقط ۴۲/۹ درصد است. نتایج از انطباق بیشتر واحدهای فتومورفیک روی تصاویر ماهواره‌ای با شکل‌های واقعی فرسایش، حکایت دارد که برتری این روش را نسبت به روش‌های دیگر را می‌رساند.

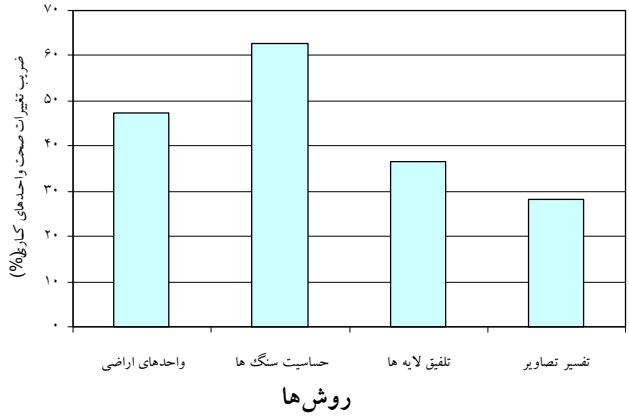
شکل ۲ جذر میانگین مربعات خطای واحدهای کاری را نشان می‌دهد. این شاخص نیز نشان می‌دهد که روش تفسیر تصاویر ماهواره‌ای از خطای کمتری در تهیه نقشه شکل‌های فرسایش برخوردار است. اختلاف خطا با روش واحدهای اراضی و حساسیت سنگ‌ها بسیار زیاد است اما با روش تلفیق لایه‌ای اختلاف بسیار کمتری دارد.

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2025-12-06]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1386.11.42.45.9]



شکل ۲. جذر میانگین مربعات خطای واحدهای کاری روش‌های تهیه نقشه شکل‌های فرسایش



شکل ۳. دقت روش‌های مورد استفاده در تهیه نقشه شکل‌های فرسایش

جدول ۶. مساحت اراضی (برحسب درصد نسبت به مساحت کل واحدهای کاری) در صحت‌های مختلف

صحت / روش	< ۵۰	۵۰– ۷۰	۷۰ – ۹۰	> ۹۰
واحدهای اراضی	۶۹/۲	۰/۵	۵/۹	۲۴/۴
حساسیت سنگ‌ها	۴۹/۸	۵۰/۱	–	۰/۰۷
تلفیق لایه‌ها	۳۹/۹	۱۵/۵	۶/۰	۳۸/۶
تفسیر تصاویر	۱۸/۹	۲۱/۷	۴۴/۴	۱۵/۰

شکل ۳ دقت روش‌های تهیه نقشه شکل‌های فرسایش را نشان می‌دهد. همان گونه که نتایج نشان می‌دهد دقت روش تفسیر تصاویر از روش‌های دیگر بسیار بیشتر بوده و ضریب تغییرات صحت واحدهای کاری کمتر از روش‌های دیگر است که ۲۸/۳ درصد می‌باشد. این ضریب برای روش‌های تلفیق لایه‌ای، واحدهای اراضی و حساسیت سنگ‌ها به ترتیب ۴۰/۵، ۴۷/۳ و ۶۲/۸ درصد است. بنابراین ضریب تغییرات صحت واحدهای کاری حتی با روش تلفیق لایه‌ای ، ۱۲/۲ درصد اختلاف دارد که قابل توجه است. ضریب تغییرات صحت واحدهای نقشه حساسیت سنگ‌ها بسیار زیاد بوده و دقت بسیار کمی در تهیه نقشه شکل‌های فرسایش دارد. بنابراین نتایج این نمودار نیز روش تفسیر تصاویر ماهواره‌ای را در تهیه نقشه شکل‌های فرسایش بسیار بهتر از روش‌های دیگر می‌داند.

نتایج جدول ۶ نشان می‌دهد که تقریباً نیمی از مساحت واحدهای کاری نقشه حساسیت سنگ‌ها (۴۹/۸ درصد)، صحت کمتر از ۵۰ درصد و نیمی دیگر صحت ۷۰ – ۵۰ درصد دارند. بیشترین مساحت در صحت کمتر از ۵۰ درصد مربوط به نقشه واحدهای اراضی است که ۶۹/۲ درصد از مساحت واحدها در این صحت قرار دارند، اما ۲۴/۴ درصد از مساحت اراضی صحت بیشتر از ۹۰ درصد دارند. بنابراین با در نظر گرفتن صحت بالا (بیشتر از ۹۰ درصد) و صحت پایین (کمتر از ۵۰ درصد)، می‌توان گفت که هر دو روش در تهیه نقشه شکل‌های فرسایش تقریباً یکسان هستند.

در روش تلفیق لایه‌ای، ۳۹/۹ درصد مساحت واحدهای کاری صحت کمتر از ۵۰ درصد دارند اما این مقدار در روش تفسیر تصاویر فقط ۱۸/۹ درصد است. هم‌چنین ۳۸/۶ درصد از

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2025-12-06]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1386.11.42.45.9]

مساحت واحدهای کاری در روش تلفیق لایه‌ای، صحت بیشتر از ۹۰ درصد دارند که این مقدار برای روش تفسیر تصاویر فقط ۱۵/۰ درصد است. ۴۴/۴ و ۶/۰ درصد از مساحت واحدهای کاری به ترتیب در روش‌های تفسیر تصاویر و تلفیق لایه‌ایا، صحت ۹۰ – ۷۰ درصد دارند. بنابراین هر دو روش تفسیر تصاویر ماهواره‌ای و تلفیق لایه‌ای از این نظر شرایط یکسانی دارند، چرا که در صحت کمتر از ۵۰ درصد، مساحت بیشتری از واحدهای کاری در روش تلفیق لایه‌ای نسبت به روش تفسیر تصاویر وجود دارد، در حالی که در صحت بیشتر از ۹۰ درصد، مساحت بیشتری در روش تلفیق لایه‌ای وجود دارد.

نتیجه‌گیری

بررسی صحت و دقت روش‌های مختلف تهیه نقشه شکل‌های فرسایش، نشان داد که روش تفسیر تصاویر بالاترین صحت را در تهیه نقشه شکل‌های فرسایش دارد. روش تلفیق لایه‌ها (تلفیق لایه-های کاربری، حساسیت سنگ‌ها و واحدهای اراضی) بعد از روش تفسیر تصاویر بالاترین انطباق را با شرایط واقعی زمین دارد. کمترین صحت نیز مربوط به نقشه حساسیت سنگ‌ها است. جذر میانگین مربعات خطاها نیز صحت بالای روش تفسیر تصاویر و صحت پایین نقشه حساسیت سنگ‌ها را نشان داد. بررسی ضریب تغییرات صحت واحدها نیز نشان داد که روش تفسیر تصاویر از دقت بالاتری نسبت به روش‌های دیگر برخوردار است. کمترین دقت مربوط به روش حساسیت سنگ‌ها به فرسایش بود.

نتایج نشان داد در دو روش واحدهای اراضی و حساسیت سنگ‌ها که تنها بیانگر یک لایه اطلاعاتی مؤثر بر فرسایش هستند، صحت و دقت پایین بوده و نمی‌توانند به عنوان نقشه واحدهای کاری در تهیه نقشه شکل‌های فرسایش به کار روند. واحدهای کاری در این دو نقشه به ویژه نقشه حساسیت سنگ‌ها دارای مساحت زیادی بوده و طبیعی است که ناهمگونی چهره‌های فرسایش در آنها بیشتر است که همین موضوع سبب کاهش صحت شده است. بنابراین تعداد واحدهای کاری و ملاحظات اقتصادی، تنها عوامل تعیین کننده در تهیه نقشه شکل‌های فرسایش نیستند، بلکه صحت، خطا و دقت روش‌ها نیز از عوامل بسیار مهم هستند. تلفیق لایه‌های واحدهای اراضی و حساسیت سنگ‌ها با لایه کاربری منجر به ایجاد نقشه واحدهای کاری با ۸۶ واحد شد که در این نقشه، بالطبع هزینه کنترل صحرایی و تهیه نقشه افزایش می‌یابد اما در نظر گرفتن سه لایه مهم در بروز فرسایش شیاری منجر به ایجاد واحدهای همگن‌تر شده که ۶۶/۰ درصد صحت داشته و از دقت بیشتری برخوردار است. در طبقه‌بندی چشمی تصاویر ماهواره‌ای، خصوصیات سطحی زمین بررسی می‌شوند که در فرسایش حائز اهمیت هستند. پدیده‌های مختلف سطحی به صورت رنگ، تن، نقش، الگوهای زهکشی و غیره خود را نشان می‌دهند و جداسازی واحدهای فتومورفیک و همگن از این حیث منجر به افزایش صحت روش در تهیه نقشه شکل‌های فرسایش شده است و این برتری سنجش از دور را در قیاس با روش‌های دیگر نشان می‌دهد. در مجموع مقایسه صحت، دقت، خطا و مساحت واحدهای کاری در صحت‌های مختلف در روش‌های تهیه نقشه شکل‌های فرسایش، برتری سنجش از دور و جداسازی واحدهای فتومورفیک به عنوان واحدهای کاری را نشان می‌دهد که از نظر شکل‌های فرسایش، صحت کل روش ۷۲/۰ درصد است. پیشنهاد می‌شود روش تلفیق لایه‌ها با لایه‌های دیگر مؤثر در فرسایش مورد ارزیابی قرار گیرد. هم‌چنین در لایه کاربری، کاربری مرتع به سه درجه ضعیف، متوسط و قوی تقسیم گردد و با لایه-های اطلاعاتی دیگر تلفیق شوند.

منابع مورد استفاده

۱. حاجی قلیزاده، م. ۱۳۸۴. بررسی قابلیت استفاده از تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک بالا در تشخیص برخی اشکال فرسایش در استان تهران. مجموعه مقالات سومین همایش ملی فرسایش و رسوب، ۹ – ۶ شهریور ۱۳۸۴، مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری کشور.

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2025-12-06]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1386.11.42.45.9]

۲. دفتر مطالعات و ارزیابی آبخیزها. ۱۳۷۹. طرح ملی تهیه نقشه سیمای فرسایش خاک کشور، معاونت آبخیزداری، وزارت جهاد سازندگی.

۳. رئوفی، م.، ح. رفاهی، ن. جلالی و ف. سرمدیان. ۱۳۸۳. بررسی کارائی روش‌های پردازش رقومی تصاویر ماهواره‌ای به منظور تهیه نقشه و شناسایی فرسایش خاک. مجله علوم کشاورزی ایران ۳۵(۴): ۷۹۷-۸۰۷.

۴. رفاهی، ح. ۱۳۷۹. *فرسایش آبی و کنترل آن*. انتشارات دانشگاه تهران.

۵. علوی پناه، س.ک. ۱۳۸۲. *کاربرد سنجش از دور در علوم زمین (علوم خاک)*، انتشارات دانشگاه تهران.

۶. فیض نیا، س. ۱۳۷۴. مقاومت سنگ‌ها در مقابل فرسایش در اقالیم مختلف ایران. مجله منابع طبیعی ایران ۴۷: ۹۵-۱۱۶.

۷. محمدی ترکاشوند، ع. و د. نیک‌کامی. ۱۳۸۵. نقشه اشکال فرسایش یک نقشه پایه در مدیریت پایدار خاک. همایش ملی خاک، محیط زیست و توسعه پایدار، دانشکده مهندسی آب و خاک، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج.

۸. محمدی ترکاشوند، ع.، د. نیک‌کامی و م. اسفندیاری. ۱۳۸۴. بررسی روش تهیه نقشه اشکال فرسایش ۲۵۰۰۰۰: ۱، مطالعه موردی: حوزه آبخیز کن و سولقان. سومین همایش ملی فرسایش و رسوب. مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری کشور، تهران.

۹. نجابت، م. ۱۳۸۱. امکان سنجی پردازش رقومی تصاویر ماهواره‌ای به منظور شناسایی و تهیه نقشه فرسایش سطحی خاک در استان فارس. اولین کارگاه آموزشی طرح‌های فن‌آوری‌های نوین (GIS-RS) در حفاظت خاک. مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، ۱ و ۲ بهمن ۱۳۸۱.

10. Boardman, J., A.J. Parsons, R. Holland, P.J.Holmes and R. Washington. 2003. Development of badlands and gullies in the sneeuberg, Great Karoo, South Africa. Catena 50(2-4): 165-184.
11. Flugel, W.A., M. Marker, S. Moretti, G. Rodolfi and H. Staudenrausch. 1999. Soil erosion hazard assessment in the Mkomazi river catchment (Kwazulu/Natal-south Africa) by aerial photo interpretation. In: Zentralblatt fur geologie und palaontologie; Teil 3(4): 641-653.
12. Mahler, P.J. 1979 Manual of land classification for irrigation, Soil Institute of Iran. Pub. No.205.
13. Martinez-Casasnovas, J.A. 2003. A spatial information technology approach for the mapping and quantification of gully erosion, Catena 50(2-4): 293-308.
14. Noble, K.E. and J.R. Fletcher. 1984. Sheet II Dannevirke "Erosion map of New Zealand" 1:250000 National Water and Soil Organization, Wellington, New Zealand.
15. Oldeman, L.R., R.T.A. Hakkeling and W.G. Sombroek. 1988. Guidelines for general assessment of the status of human- induced soil degradation (GLASOD). International Soil Reference and Information Center, Wageningen.
16. Sidorchuk, A. 1999. Dynamic and static models of gully erosion. Catena 37: 401-414.
17. Sidorchuk, A., M. Marker, S. Moretti and G. Rodolfi. 2003. Gully erosion modeling and landscape response in the Mbuluzi catchment of Swaziland. Catena 50 (2-4): 507-525.
18. Sirvio, T., A. Rebeiro-Hargrave and P. Pellikka. 2004. Geoinformation in gully erosion studies in Taita hills, SE-Kenya, preliminary results, In the proceedings of the 15th Africa association of remote sensing of environment conference, 17-22 Oct. 2004. Nairobi, Kenya.
19. Van Zuidam, R.A. 1985. Terrain analysis and classification using aerial photographs. International institute for aerial survey and earth sciences. ITC-Textbook VII-6, 2nd ed., Enschede.
20. Yuliang, Q. and Q. Yum. 2002. Fast soil erosion investigation and dynamic analysis in the loess plateau of china by using information composite technique. Adv. Space Res. 29(1): 85-88.

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2025-12-06]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1386.11.42.45.9]