

بررسی چند روش تلفیق لایه‌های اطلاعاتی برای تهیه نقشه شدت چهره‌های فرسایش آبی در مناطق کوهستانی (مطالعه موردی: حوزه آبخیز کن و سولقان)

دکتر علی محمدی ترکاشوند

استادیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد رشت

E-mail: Mohammadi_t_a@yahoo.com

چکیده

با توجه به اهمیت نقشه سیمای فرسایش در مدیریت و برنامه‌ریزی حوزه‌های آبخیز، همچنین گستردگی کشور و تنوع شرایط آب و هوایی، فیزیوگرافی، زمین‌شناسی، خاک‌شناسی، کاربری و پوشش گیاهی، تفاوت‌های بسیاری از نظر انواع فرسایش قابل انتظار است و سبب می‌شود در شرایط مختلف، بررسی اشکال فرسایش متفاوت باشد. به منظور بررسی روش تهیه نقشه اشکال فرسایش با مقیاس ۱: ۲۵۰۰۰۰ در مناطق کوهستانی، یک مطالعه در حوضه رودخانه‌های کن و سولقان در شمال غربی شهر تهران انجام گرفت. در فاز اول مطالعه، چهار نقشه واحدهای کاری از تلفیق لایه‌های اطلاعاتی به دست آمد که شامل: ۱- زمین‌شناسی، پوشش گیاهی و شیب، ۲- زمین‌شناسی، کاربری و شیب، ۳- حساسیت سنگ‌ها به فرسایش، کاربری و شیب و ۴- حساسیت سنگ‌ها به فرسایش، کاربری و واحدهای اراضی بود. در فاز دوم، عرصه ۵۳ نقطه کنترل زمینی از نظر انواع فرسایش آبی و شدت آن‌ها، کنترل و موقعیت دقیق نقاط با GPS ثبت گردید. نقشه نقاط کنترل زمینی با هر یک از نقشه‌های واحدهای کاری روی هم‌گذاری شد. نتایج نشان داد که نقشه واحدهای کاری ۱، ۲ و تا حدودی نقشه ۳، روش‌های مناسبی برای جداسازی واحدهای همگن از نظر سیمای فرسایش نمی‌باشند، چرا که تعداد واحدها بسیار زیاد و خیلی از واحدهای مجاور از نظر اشکال فرسایش تفاوتی ندارند. همچنین تعداد زیاد واحدها و کنترل آن‌ها در صحرا مستلزم هزینه و نیروی کار زیاد بوده و مقرون به صرفه نیست. نقشه واحدهای کاری ۴، تنها شامل ۶ واحد بود که در ۲ واحد، ۶/۶۶ درصد و در ۱ واحد، ۸۵ درصد نقاط کنترل زمینی دارای فرسایش مشابه بودند. در واحدهای دیگر که شامل اراضی کشاورزی و برونزدگی‌های سنگی بودند، تقریباً اشکال فرسایش در تمام نقاط یکسان بود. در کل، تلفیق لایه‌های کاربری، حساسیت سنگ‌ها به فرسایش و واحدهای اراضی در تهیه نقشه اشکال فرسایش از روش‌های دیگر بهتر جواب داده است.

واژگان کلیدی: نقشه، اشکال فرسایش، سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)

۱. مقدمه

فرسایش خاک یک معضل محیطی است که به تخریب خاک منجر می‌گردد (بوخیر و همکاران، ۲۰۰۶) و دارای اثرات منفی مستقیم و غیرمستقیم است شامل: از دست رفتن خاک و پوشش گیاهی، کاهش حاصل‌خیزی اراضی کشاورزی، بیابانی شدن و البته بازتاب‌های اقتصادی (کاولی و همکاران، ۲۰۰۲). فرسایش آبی با چهره‌های مختلفی بروز می‌کند و تهیه نقشه اشکال فرسایش در مطالعات فرسایش و رسوب حایز اهمیت می‌باشد. این نقشه‌ها بر اساس شواهد ظاهری فرسایش در منطقه تهیه و ارائه می‌گردند و اولویت برنامه‌های حفاظت خاک را مشخص می‌سازند (محمدی ترکاشوند و همکاران، ۱۳۸۵). نظر به گستردگی کشور و تنوع شرایط آب و هوایی، فیزیوگرافی، زمین‌شناسی، خاک‌شناسی، کاربری و پوشش گیاهی، بررسی اشکال فرسایش در مناطق مختلف، متفاوت می‌باشد. بیشتر بررسی‌های مربوط به فرسایش و رسوب معطوف به تهیه نقشه‌های کمی فرسایش و رسوب بوده (سینگ و همکاران، ۱۹۹۲؛ مارتینز کاسانوواس، ۲۰۰۳؛ یگاردن، ۲۰۰۳؛ اسا، ۲۰۰۴ و محمد ریونز، ۲۰۰۵) و کم‌تر به تهیه نقشه‌های اشکال فرسایش توجه شده است (فلوجل و همکاران، ۱۹۹۹). مطالعات معدودی در مورد تهیه نقشه اشکال فرسایش صورت گرفته، مثل مطالعات GLASOD^۱ که فرسایش را به انواع آبی، بادی، فیزیکی و شیمیایی تقسیم‌بندی می‌کند (الدمن و همکاران، ۱۹۸۸ و ۱۹۹۱) و کاری به انواع فرسایش آبی ندارد.

نقشه‌برداری زمینی و یا استفاده از عکس‌های هوایی شاید روش‌های مناسبی در تهیه نقشه‌های اشکال فرسایش باشند، اما به دلیل هزینه‌ها و زمان زیادی که صرف می‌کنند، تهیه آن را در عمل با مشکل مواجه می‌سازند (رتوفی و همکاران، ۱۳۸۲). در سال ۱۳۷۹، 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 لایه‌های خاک، شیب، لیتولوژی، 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. رهنما (۱۳۸۱) بنا به درخواست معاونت آبخیزداری وزارت جهاد سازندگی امکان تهیه نقشه سیمای فرسایش را به صورت پایلوت در استان اصفهان بررسی نمود. ایشان استفاده از عکس‌های هوایی به منظور تهیه نقشه سیمای فرسایش برای کل کشور را کاری بسیار مشکل و پر هزینه ارزیابی نمود. 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 اشکال فرسایش اقدام نمود (فتولی و

همکاران، ۲۰۰۲). رهنما (۱۳۸۱) نیز به منظور تسریع در تهیه نقشه اشکال فرسایش، استفاده از سیستم‌های سنجش از دور را توصیه نموده است. گلبابایی (۱۳۷۵) برای جداسازی واحدهای حساس به فرسایش از روی هم‌گذاری لایه‌های شیب، لیتولوژی و جهت شیب در زیر حوضه لوآرک سد لتیان استفاده نمود. عبدی و میرقاسمی (۱۳۷۶) ضمن تحقیقی در حوضه باروت آغاجی استان زنجان و با استفاده از GIS، نقشه خطر فرسایش حوضه را تهیه نمودند. جداسازی واحدها با تلفیق نقشه‌های سنگ‌شناسی، شیب، سطوح سنگ‌ریزه‌دار و پوشش گیاهی صورت گرفت. سامانه اطلاعات جغرافیایی به منظور تلفیق لایه‌های اطلاعاتی در تهیه نقشه‌های مختلف فرسایش توسط محققان زیادی به کار گرفته شده است که می‌توان به مطالعات اسمعیلی و احمدی (۲۰۰۳) در تهیه نقشه زمین‌لغزش، کاولی و همکاران (۲۰۰۲) و بایرامین و همکاران (۲۰۰۳) در تهیه نقشه خطر فرسایش اشاره نمود. مطالعات تهیه نقشه سیمای فرسایش بیشتر روی یک چهره خاص از فرسایش و با یک روش خاص متمرکز بوده که در این مطالعه، چند روش تلفیق لایه‌های اطلاعاتی مختلف برای تهیه نقشه واحدهای کاری (همگن) در تهیه نقشه سیمای فرسایش آبی در مناطق کوهستانی بررسی شده است.

۲. مواد و روش‌ها

حوضه رودخانه کن و سولقان در شمال غربی شهر تهران بین طول‌های شرقی $51^{\circ} 9'$ و $51^{\circ} 22'$ و عرض‌های شمالی $35^{\circ} 46'$ و $35^{\circ} 57'$ به وسعت ۲۰۵۸۹ هکتار، به‌عنوان حوضه مطالعاتی در نظر گرفته شد. منطقه‌ای کوهستانی که دربرگیرنده بخش کوچکی از رشته کوه‌های البرز است. ارتفاع بلندترین نقطه، ۳۶۸۷ متر و ارتفاع پست‌ترین نقطه ۱۴۵۸ متر در خروجی حوضه می‌باشد. اقلیم منطقه در روش پهنه‌بندی دومارتن، نیمه خشک سرد است.

قسمت اعظم حوضه را تیپ‌های مرتعی پوشش می‌دهند که در جدول ۱ به همراه مساحت آن‌ها نشان داده شده است (حبیبی، ۱۳۸۲). علاوه بر این تیپ‌های گیاهی، بخش بزرگی نیز توسط صخره‌ها و برونزدگی‌های سنگی پوشش یافته و اراضی کشاورزی، $491/6$ هکتار مساحت دارند.

مشخصات واحدهای سنگی و مساحت آن‌ها در جدول ۲ ذکر گردیده است. منطقه عموماً دارای خاک‌های بسیار کم عمق تا کم عمق سنگریزه‌دار با بافت متوسط تا سنگین و یا بدون پوشش خاکی است. خاک‌ها طبق طبقه‌بندی FAO، عموماً Lithic and Eutric Leptosols و Calcaric Regosols می‌باشند و در حاشیه رودخانه‌ها، عمدتاً باغداری رونق دارد.

نقشه‌های زمین‌شناسی، پوشش گیاهی، واحدهای اراضی و عملیات مشترک زمینی در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ و لایه رقومی توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰، و نرم افزار ILWIS 3.2 Academic

جدول ۱: نوع پوشش زمین در حوضه مطالعاتی و مساحت آن‌ها

نوع پوشش اراضی	نوع کاربری	مساحت (هکتار)
Agropyron tauri-leucopoa sclerophyla	مرتع	۹۵۲۴/۳
Astragalus spp-stipa arabica	مرتع	۱۲۸۱/۲
Bromus persica-Thymus Kotschy-anus	مرتع	۱۲۷۹/۶
Cultivation	اراضی کشاورزی	۴۹۱/۶
Rock	برونزدگی‌های سنگی	۸۰۱۲/۲

جدول ۲: نوع واحدهای سنگی و مساحت آن‌ها در حوضه مورد مطالعه

نوع واحد سنگی	مساحت (هکتار)	کلاس حساسیت سنگ‌ها به فرسایش	کد حساسیت
Middle tuff member, dacite, pyroclastic, minor lava shale, konglomerata	۶۰۰۸/۹	مقاوم به فرسایش	۱
Upper tuff member andesite dacite lava pyroclastics shale marl sandstone	۴۷۶۵/۹	مقاوم به فرسایش	۱
Asara shale member	۵۳۳۵/۰	حساسیت متوسط به فرسایش	۲
Lower shale member	۳۵۵۷/۰	حساسیت متوسط به فرسایش	۲
Basaltic andesite	۲۸۴/۵	مقاوم به فرسایش	۱
Basic intermediate sill	۱۲۶/۸	مقاوم به فرسایش	۱
Monzonite porphyry	۲۳۳/۵	مقاوم به فرسایش	۱
Limestone numulitic gypsum konglomerata	۲۷۲/۸	حساسیت متوسط به فرسایش	۲

تهیه شدند. بعد از تهیه نقشه‌ها و مقدمات کار، تحقیق در دو مرحله انجام گرفت:

الف) تهیه نقشه واحدهای کاری

به‌منظور تهیه نقشه واحدهای کاری^۲ مراحل زیر انجام گرفت:

- ۱- رقوم‌سازی نقشه‌های زمین‌شناسی، پوشش گیاهی و واحدهای اراضی و تهیه لایه‌های رقوم از آنها،
- ۲- تدقیق نقشه‌ها و رفع خطاهای هندسی،
- ۳- تهیه تصویر رنگی مرکب با استفاده از باندهای ۴، ۳ و ۲ سنجنده ETM+،
- ۴- جدا نمودن مرز حوضه با توجه به ستیغ کوه‌ها و حوضه آبریز رودخانه کن از روی تصویر مرکب رنگی،
- ۵- جداسازی حوضه مطالعاتی فوق از هر یک از نقشه‌های زمین‌شناسی، پوشش گیاهی و واحدهای اراضی،
- ۶- تهیه DEM^۳ از نقشه توپوگرافی و تهیه نقشه شیب از آن طبق استاندارد موسسه تحقیقات خاک و آب کشور (ماهلر، ۱۹۷۹). جدول ۳ کلاس‌های شیب را طبق این استاندارد نشان می‌دهد.
- ۷- قطع^۴ لایه‌های زمین‌شناسی (لیتولوژی)، پوشش گیاهی و شیب و تهیه نقشه واحدهای کاری ۱.
- ۸- تهیه نقشه کاربری اراضی از نقشه پوشش گیاهی.
- ۹- قطع لایه‌های زمین‌شناسی، کاربری و شیب و تهیه نقشه واحدهای کاری ۲.
- ۱۰- تهیه نقشه حساسیت سنگ‌ها به فرسایش از نقشه زمین‌شناسی بر طبق رده‌بندی فیض‌نیا (۱۳۷۴).
- ۱۱- قطع لایه‌های کاربری، حساسیت سنگ‌ها به فرسایش و شیب و تهیه نقشه واحدهای کاری ۳.
- ۱۲- قطع لایه‌های کاربری، حساسیت سنگ‌ها به فرسایش و واحدهای اراضی و تهیه نقشه واحدهای کاری ۴.

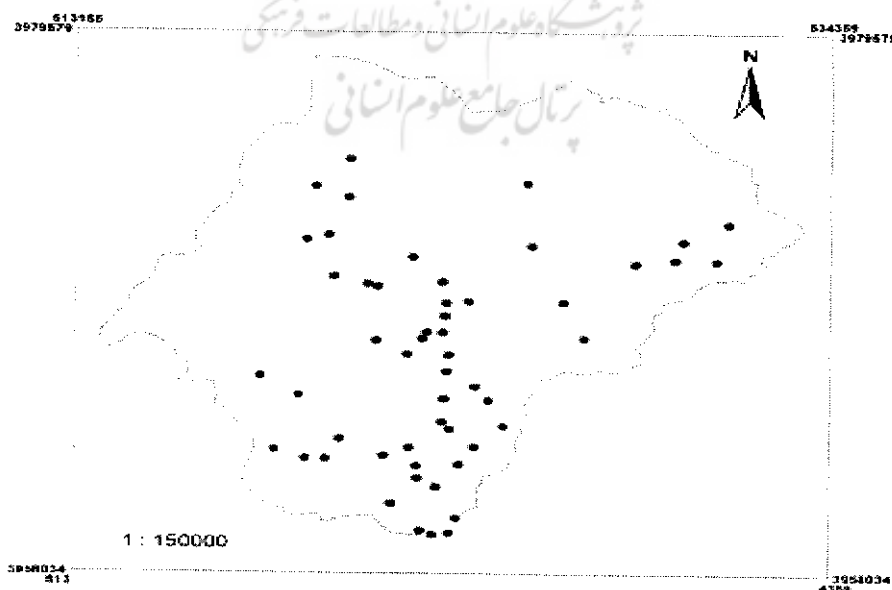
ب) عملیات میدانی (صحرائی)

با توجه به وسعت حوضه و حداقل امکان دسترسی به نقاط مختلف آن، ۵۳ نقطه کنترل زمینی انتخاب و علائم سیمای فرسایش اعم از سطحی، شیاری، خندقی، و همچنین پراکنش واریزه‌ها و برونزدگی‌های سنگی، بررسی شد. مختصات دقیق نقاط توسط GPS یادداشت گردید. شکل ۱ موقعیت نقاط کنترل زمینی را نشان می‌دهد. در هر نقطه، عرصه مورد بررسی

جدول ۳: کلاس‌های شیب طبق استاندارد موسسه خاک و آب کشور

کلاس شیب	توضیح شیب	شیب (درصد)
۱	صاف تا شیب خیلی ملایم	۰-۲
۲	شیب ملایم	۲-۵
۳	شیب دار	۵-۸
۴	پرشیب	۸-۱۲
۵	شیب نسبتاً تند	۱۲-۲۵
۶	شیب تند	>۲۵

قرار گرفت نه یک نقطه خاص، به همین خاطر در هر نقطه، مناطق مجاور آن نیز بازدید به عمل آمد و در صورت بروز تفاوت شکل فرسایش، موقعیت و علائم آن ثبت گردید. علائم فرسایش‌های سطحی، شیاری، خندقی، و پراکنش واریزه و برونزدگی‌های سنگی کنترل و ثبت شد. روشی که برای طبقه‌بندی شدت اشکال فرسایش به کار رفت، تلفیقی از مطالعات مختلف بود (فلوجل و همکاران، ۱۹۹۹؛ رفاهی، ۱۳۸۲؛ بوردمن و همکاران، ۲۰۰۳ و سیرویو و همکاران، ۲۰۰۴).



شکل ۱: موقعیت نقاط کنترل زمینی

در فرسایش سطحی دو فاکتور شدت فرسایش و درصد پراکنش فرسایش سطحی در منطقه مدنظر قرار گرفت که جدول ۴ طبقه‌بندی شدت فرسایش سطحی را نشان می‌دهد. طبقه‌بندی فرسایش شیاری با تکیه بر فاصله شیارها طبق جدول ۵ صورت پذیرفت.

جدول ۴: طبقه‌بندی شدت فرسایش سطحی

درصد پراکنش کلاس شدت	$25 <$	۲۵-۵۰	۷۵-۵۰	> 75
A	کم	متوسط	شدید	شدید
B	کم	متوسط	شدید	خیلی شدید
C	متوسط	شدید	خیلی شدید	خیلی شدید

A: پوشش خوب گیاهی نسبت به پتانسیل منطقه، انباشت یا انتقال خاک مشاهده نمی‌شود.
 B: پوشش متوسط گیاهی نسبت به پتانسیل منطقه، انباشته شدن خاک پای گیاهان با ضخامت کم‌تر از ۱۰ سانتی‌متر، سله در سطح خاک با ضخامت کم‌تر از یک سانتی‌متر.
 C: پوشش ضعیف گیاهی نسبت به پتانسیل منطقه، انباشته شدن خاک پای گیاهان با ضخامت کم‌تر از ۱۰ سانتی‌متر و یا در معرض قرار گرفتن ریشه‌های گیاه، سله در سطح خاک با ضخامت بیشتر از ۱۰ سانتی‌متر.

جدول ۵: طبقه‌بندی شدت فرسایش شیاری

فاصله شیارها (متر)		عمق شیار (cm)	
$100 - 500$	$25 - 100$	۳-۲۵	$3 <$
کم	متوسط	شدید	خیلی شدید
۵-۳۰			

طبقه‌بندی فرسایش خندقی با توجه به عمق خندق، فاصله خندق‌ها از هم و فعالیت فرسایشی در طول خندق طبق جدول ۶ انجام شد. طبقه‌بندی شدت واریزه‌های سنگی نیز بر طبق جدول ۷ انجام گرفت (کلاس‌های برونزدگی نیز طبق همین جدول به دست آمد).

جدول ۶: طبقه بندی شدت فرسایش خندقی

عمق خندق (cm)	فاصله خندقها (متر)	فعالیت فرسایشی	۲۵ <	۲۵ - ۵۰	۵۰ - ۱۵۰	۱۵۰ - ۵۰۰	> ۵۰۰
	A	شدید	متوسط	کم	-	-	-
۳۰ - ۱۵۰	B	شدید	شدید	متوسط	کم	-	-
	C	خیلی شدید	خیلی	شدید	متوسط	کم	-
	A	شدید	شدید	متوسط	کم	-	-
۱۵۰ - ۵۰۰	B	شدید	خیلی	شدید	متوسط	کم	-
	C	شدید	خیلی	خیلی	شدید	متوسط	کم
	A	شدید	خیلی	شدید	متوسط	کم	-
> ۵۰۰	B	شدید	خیلی	خیلی	شدید	متوسط	کم
	C	شدید	خیلی	خیلی	خیلی شدید	شدید	متوسط

A: خندق‌های پایدار که فعالیت فرسایشی در کم‌تر از ۱۰ درصد طول آنها وجود دارد.

B: خندق‌ها در ۱۰-۵۰ درصد طول دارای فعالیت فرسایشی هستند.

C: بیش از ۵۰ درصد طول خندق فعالیت وجود دارد.

جدول ۷: طبقه بندی شدت واریزه سنگی (فرسایش مکانیکی)

مساحتی از منطقه که واریزه سنگی مشاهده می‌شود (بر حسب درصد)			
> ۵۰	۲۵ - ۵۰	۵ - ۲۵	۵ <
شدید	متوسط	کم	-

۳. نتایج و بحث

جدول ۸ نتایج قطع لایه‌های اطلاعاتی را نشان می‌دهد. تلفیق سه لایه زمین‌شناسی، پوشش گیاهی و شیب منجر به ایجاد ۱۷۱ واحد کاری گردید. تعداد ۴۲ واحد کاری مساحت کم‌تر از ۲۵/۶ هکتار دارند که از نظر کارتوگرافی امکان نمایش آن‌ها در نقشه‌ای با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ وجود ندارد. اگر مساحت عارضه‌ای کم‌تر از $1mm^2$ باشد، نمایش آن در نقشه حذف می‌گردد (دانشگاه کرنل، ۱۹۹۶).

جدول ۸: نتایج قطع لایه‌های اطلاعاتی

نقشه واحدهای کاری	لایه‌های اطلاعاتی تلفیق شده	تعداد واحد کاری	مساحت بزرگ‌ترین واحد (هکتار)	مساحت کوچک‌ترین واحد (هکتار)	تعداد واحدهای کوچک‌تر از ۶/۲۵ هکتار
۱	زمین‌شناسی، پوشش گیاهی و شیب	۱۷۱	۱۵۷۹	۰/۱۸	۴۲
۲	زمین‌شناسی، کاربری و شیب	۱۲۰	۱۶۰۸/۷	۰/۱۸	۲۷
۳	حساسیت سنگ‌ها به فرسایش، کاربری و شیب	۴۹	۲۶۵۹/۹	۳/۹۵	۲
۴	حساسیت سنگ‌ها به فرسایش، کاربری و واحدهای اراضی	۶	۶۹۹۵/۳	۲۰/۱۳	-

هدف این است که واحدهایی همگن از نظر اشکال فرسایش داشته باشیم، اما در کنترل سیمای فرسایش در اراضی منطقه مشاهده شد که بسیاری از این واحدها، یکی هستند. در واقع بسیاری از واحدهای مجاور در کنار هم، اشکال فرسایشی مشابه دارند. بنابراین تلفیق این سه لایه به جداسازی واحدها از نظر اشکال فرسایش منجر نشد که ملاحظات اقتصادی نیز، امکان اجرای آن را زیر سؤال می‌برد. وجود واحدهای کاری بسیار زیاد در این مقیاس و کنترل آن‌ها در صحرا که بالطبع دقت نقشه‌های بزرگ مقیاس‌تر را ندارد، مستلزم صرف وقت، نیروی کار و هزینه بسیار زیاد است. همچنین با توجه به دینامیک بودن اشکال فرسایش و امکان تغییر آن‌ها در طول زمان، نیاز است که هر چند سال یک بار نقشه‌های اشکال فرسایش به روز گردند و همین امر ملاحظات اقتصادی را دو چندان می‌کند.

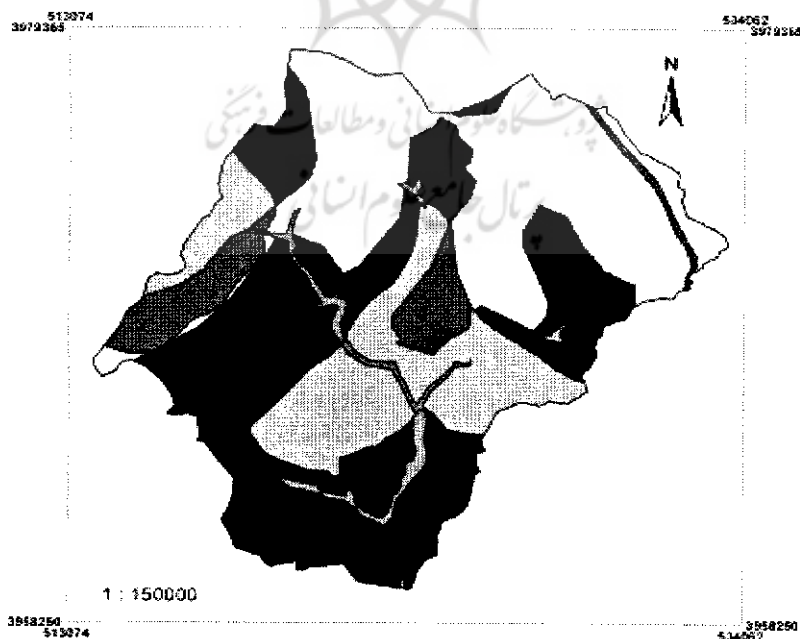
با توجه به نکات مطرح شده، به جای نقشه پوشش گیاهی، در تلفیق لایه‌ها، نقشه کاربری

اراضی مورد استفاده قرار گرفت. به همین خاطر، سه تیپ گیاهی حوضه در کاربری مرتع (Rangeland) قرار گرفتند (جدول ۱). قطع سه نقشه زمین شناسی، کاربری و شیب منجر به ایجاد ۱۲۰ واحد کاری گردید که امکان نمایش ۲۷ واحد آن در نقشه وجود ندارد. بازدیدهای صحرایی باز مؤید این نکته بود که بسیاری از واحدهای مجاور هم از نظر سیمای فرسایش با یکدیگر تفاوتی ندارند. با توجه به تعداد بسیار زیاد واحدها و عدم تفاوت بسیار از آن‌ها از نظر سیمای فرسایش در حوضه‌ای با این مساحت، این روش برای جداسازی واحدهای فرسایشی مناسب تشخیص داده نشد.

در مرحله سوم، نقشه حساسیت سنگ‌ها به فرسایش از نقشه زمین شناسی تهیه شد، چرا که سنگ‌ها از نظر مقاومت در برابر فرسایش و حساسیت به آن در کلاس‌های مختلفی قرار می‌گیرند و احتمال دارد دو یا چند واحد سنگی از نظر حساسیت به فرسایش تفاوتی نداشته و در یک کلاس قرار گیرند. به همین خاطر طبق روش فیض نیا (۱۳۷۴)، سنگ‌های موجود در حوضه در دو کلاس مقاوم به فرسایش و حساسیت متوسط به فرسایش طبقه‌بندی شدند (جدول ۲). قطع سه لایه کاربری، حساسیت سنگ‌ها به فرسایش و شیب منجر به ایجاد ۴۹ واحد کاری گردید. در نقشه واحدهای کاری تنها دو واحد امکان نمایش نداشتند. مطالب فوق‌الذکر در مورد نقشه‌های واحدهای کاری قبلی در مورد این نقشه با شدت کم‌تر نیز صدق می‌کند. به این نکته هم باید اشاره کرد که منظور ۴۹ واحد کاری منفرد نیست، بلکه هر واحد ممکن است در چند مکان حوضه تکرار شده باشد.

مقایسه نقشه واحدهای کاری فوق با یکدیگر و با نتایج به دست آمده از بازدیدهای صحرایی در نهایت منتج به این شد که نقشه شیب به‌عنوان یک لایه اطلاعاتی حذف شود. مطالعات صحرایی نشان داد که فیزیوگرافی یا مورفولوژی منطقه بیشتر اشکال فرسایش را تحت تأثیر قرار می‌دهد و شیب عمومی منطقه مهم است. به‌عنوان مثال در نظر گرفتن شیب به‌عنوان یک لایه سبب می‌شود خندق‌ها و یا شیارها که در یک دامنه در کلاس‌های مختلفی از شیب قرار می‌گیرند، در واحدهای کاری مختلفی قرار گیرند، درحالی‌که تنها یک شکل فرسایشی هستند. بنابراین شیب کلی زمین در سیمای فرسایش مهم است که در تهیه نقشه ارزیابی منابع و قابلیت اراضی، اراضی بر طبق شیب کلی منطقه به چند تیپ اراضی^۵ تقسیم شده‌اند. همچنین هر تیپ اراضی با توجه به خاک، توپوگرافی، وضعیت پوشش زمین و لیتولوژی به چند واحد اراضی^۶ تقسیم‌بندی شده‌اند که این فاکتورها خود در فرسایش مهم هستند. بنابراین به جای نقشه شیب از نقشه ارزیابی منابع و قابلیت اراضی استفاده شد. از قطع سه لایه کاربری، حساسیت سنگ‌ها به فرسایش و واحدهای اراضی، فقط ۶ واحد کاری ایجاد شد. موضوع مهم، تعداد واحد کاری می‌باشد که از نظر کنترل‌های صحرایی، هزینه و عملیات اجرایی ایده‌آل است.

شکل ۲ واحدهای ایجاد شده در حوضه را نشان می‌دهد. نقشه نقاط کنترل زمینی با نقشه واحدهای کاری ۴ روی هم گذاری شد. اشکال فرسایش و شدت آنها با توجه به علائم ثبت شده در صحرا از روی جداول ۴، ۵، ۶ و ۷ برای هر نقطه مشخص گردید. در هر واحد کاری، نقاطی که دارای اشکال مشابهی از فرسایش بودند، مشخص شدند. جدول ۹ وضعیت فرسایش واحدهای حاصل از تلفیق سه لایه کاربری، حساسیت سنگ‌ها به فرسایش و واحدهای اراضی را نشان می‌دهد. نتایج این جدول نشان می‌دهد که حدود ۶۷ درصد نقاط برداشت در واحد کاری ۱، دارای اشکال فرسایش مشابهی می‌باشند. اشکال فرسایش به گونه‌ای است که به جز فرسایش خندقی که شدت کمی دارد، عمدتاً شدت متوسط دارند. ۱۶/۶ درصد نقاط برداشت دارای فرسایش سطحی، شیاری و خندقی شدید می‌باشند. ۱۱/۱ درصد نقاط برداشت دارای فرسایش سطحی و شیاری خیلی شدید و در یکی از نقاط کنترلی، فرسایش‌های بسیار شدید سطحی، شیاری و خندقی وجود داشت. دقت در سیمای فرسایش مناطق کنترلی نشان داد که بین خاک دامنه‌ها، میزان واریزه سنگی و اشکال دیگر فرسایش ارتباط وجود دارد. در واقع در بیشتر عرصه این واحد، میزان برونزدگی و واریزه سنگی متوسط بوده و خاک‌ها دارای سنگ‌ریزه بسیار زیاد و یا پوشیده از سنگ‌های خرد شده بودند. به همین خاطر فرسایش‌های شیاری و



شکل ۲: نقشه واحدهای کاری ۴ حاصل از تلفیق لایه‌های کاربری، حساسیت سنگ‌ها واحدهای اراضی

خندقی با شدت متوسط بروز کرده بودند، اما در دامنه‌های خاک‌دار که عمق بیشتری داشتند و میزان واریزه سنگی کم‌تر بود، به دلیل فیزیوگرافی کوهستان و شیب کلی زیاد، فرسایش‌های سطحی، شیاری و خندقی با شدت بیشتری رخ داده بودند. در کل، بیشتر عرصه (۶۶/۶ درصد نقاط کنترل زمینی) سیمای یکسانی از نظر فرسایش داشت و شدت اشکال فرسایش متوسط بود. اختلافات اشکال فرسایش می‌تواند معلول اختلاف خاک، عمق و خصوصیات آن باشد.

در واحد کاری ۲، ۶۶/۶ درصد نقاط برداشت دارای اشکال فرسایش یکسانی می‌باشند. نتایج نشان داد که اشکال فرسایشی مختلف و برونزدگی‌های سنگی در این نقاط با شدت متوسط رخ داده‌اند (جدول ۹). مقایسه اشکال فرسایش این نقاط با سیمای فرسایش ۶۶/۶ درصد نقاط کنترلی واحد کاری ۱ نشان داد که تقریباً شدت اشکال فرسایش یکسانی دارند، اما فرسایش خندقی با شدت متوسط رخ داده است. این شدت بیشتر می‌تواند به دلیل حساسیت بیشتر سنگ‌ها به فرسایش باشد. در نقاط دیگری در این واحد نیز شدت‌های دیگری از فرسایش وجود دارد، که باز دیده‌های صحرائی این احتمال را تقویت نمود که اختلاف سیمای فرسایش نسبت به سیمای غالب فرسایش در واحدها می‌تواند در اثر اختلاف خاک باشد.

در واحد کاری ۳، تقریباً شدت اشکال فرسایش یکسان است، اما ۲۸/۶ درصد نقاط از نظر فرسایش شیاری و خندقی متفاوتند و دارای فرسایش شیاری شدید و خندقی متوسط می‌باشند. در واحد کاری ۴، شدت کمی از فرسایش‌های سطحی و شیاری در تمام نقاط کنترلی مشاهده می‌شود. در واحدهای کاری ۵ و ۶ نیز اشکال مشخصی از فرسایش دیده نشد. میزان این اراضی نسبت به مساحت حوزه بسیار اندک بوده و عمدتاً باغات منطقه را تشکیل می‌دادند. کشاورزان با سکوندی، احداث بانکت و جمع‌آوری سنگ‌های داخل اراضی، نسبت به حفاظت آن‌ها اقدام کرده بودند.

جدول ۹: نتایج بررسی اشکال فرسایش در نقاط کنترل زمینی

واحد	A	B	فرسایش سطحی	فرسایش شیاری	فرسایش خندقی	واریزه سنگی	برونزدگی سنگی	C
۱	۱۸	۱۲	متوسط	متوسط	کم	متوسط	متوسط	۶۶/۶
		۳	شدید	شدید	شدید	کم	متوسط	۱۶/۶
		۲	شدید	شدید	متوسط	کم	کم	۱۱/۱
		۱	خیلی شدید	خیلی شدید	خیلی شدید	-	کم	۵/۵

۲	۱۵	۱۰	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	۶۶/۶
		۳	شدید	متوسط	خیلی شدید	متوسط	متوسط	۲۰
		۲	خیلی شدید	خیلی شدید	متوسط	کم	کم	۱۳/۳
۳	۷	۶	کم	کم	-	زیاد	زیاد	۸۵/۷
		۱	کم	شدید	کم	زیاد	زیاد	۱۴/۳
۴	۵	۵	کم	کم	-	زیاد	زیاد	۱۰۰
۵	۴	۴	-	-	-	-	-	۱۰۰
۶	۴	۴	-	-	-	-	-	۱۰۰

A: تعداد کل نقاط کنترل زمینی در هر واحد.

B: تعداد نقاط کنترل زمینی که دارای سیمای فرسایشی مشابه هستند.

C: درصد نقاط کنترلی با سیمای مشابه فرسایش به کل نقاط برداشت هر واحد.

۴. نتیجه‌گیری

مقایسه چهار نقشه واحدهای کاری نشان داد که سه نقشه واحدهای کاری حاصل از قطع لایه‌های شیب، زمین‌شناسی و پوشش گیاهی، شیب، زمین‌شناسی، کاربری، حساسیت سنگ‌ها به فرسایش، کاربری و شیب نمی‌توانند در جداسازی واحدهای همگن از نظر سیمای فرسایش به کار روند، چرا که واحدهایی کوچک و بسیار زیاد را ایجاد می‌کنند که بسیاری از واحدهای مجاور از نظر اشکال فرسایش یکی می‌باشند. همچنین تعداد زیاد این واحدها و کنترل‌های صحرائی نیازمند صرف هزینه بسیار زیاد بوده و از نظر اجرایی مقدور نمی‌باشد. نقشه واحدهای کاری حاصل از قطع لایه‌های کاربری، حساسیت سنگ‌ها به فرسایش و واحدهای اراضی به نحو بهتری توانسته است که سیمای فرسایش را بیان نماید، طوری که در واحدهای کاری ۱ و ۲، حدود ۶۷ درصد نقاط دارای فرسایش مشابه بودند. در واحدهای دیگر نیز بیشتر نقاط کنترل زمینی و یا همه این نقاط دارای فرسایش مشابهی بودند. نکته مهم دیگر این که تعداد واحدها اندک بوده و هزینه بازدیدهای صحرائی به مراتب کم‌تر است. برخی ناهمگونی‌های موجود در

شدت اشکال فرسایش در واحدهای کاری می تواند به دلیل نوع خاک، عمق و خصوصیات آن باشد. نقشه خاک با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ در ایران تهیه نشده است و نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰۰ خاک موجود در موسسه خاک و آب کشور نیز دقت کافی را برای تلفیق با لایه‌های اطلاعاتی ندارد، اما پیشنهاد می‌گردد در مطالعات آینده به طور موردی برای مناطقی که نقشه خاک با مقیاس بزرگ‌تر وجود دارد، این موضوع مدنظر قرار گیرد.

۵. منابع

- ۱- حبیبی، ر.، ۱۳۸۲. تیپ‌های گیاهی منطقه تهران، سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی، موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع.
- 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. سرمیدان. ۱۳۸۳. بررسی کارایی روش‌های پردازش رقومی تصاویر ماهواره‌ای به منظور تهیه نقشه و شناسایی فرسایش خاک. مجله علوم کشاورزی ایران، ۳۵ (۴): ۷۹۷-۸۰۷.
- ۴- رفاهی، ح. ۱۳۸۲. فرسایش آبی و کنترل آن. انتشارات دانشگاه تهران.
- ۵- رهنما، ف.، ۱۳۸۱. طرح ملی تهیه نقشه سیمای فرسایش در قسمتی از استان اصفهان. اولین کارگاه آموزشی فن‌آوری‌های نوین در حفاظت خاک، مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، ۱ و ۲ بهمن ۱۳۸۱.
- ۶- عبدی، ع. و ا. میرقاسمی، ۱۳۷۶. کاربرد سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) در تهیه نقشه خطر فرسایش در حوزه باروت آغاجی استان زنجان، مجموعه مقالات چهارمین کنفرانس سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی، سازمان نقشه‌برداری کشور.
- ۷- فیض‌نیا، س. ۱۳۷۴. مقاومت سنگ‌ها در مقابل فرسایش در اقالیم مختلف ایران، مجله منابع طبیعی ایران، شماره ۴۷.
- ۸- گلبابایی، ح. ، ۱۳۷۵. تعیین نقاط حساس به فرسایش در زیر حوزه لوارک سد لتیان از طریق سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران.
- ۹- 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.
10. Bayramin J., O. Dengiz, O. Baskan and M. Parlak. 2003. Soil erosion risk assessment with ICONA model, case study: Bepazari area. Turk J. Agric For. 27: 105-116.
11. Boardman, J., A.J. Parsons, R. Holland, P.J. Holmes and R. Washington. 2003. Development of badlands and gullies in the sneeberg, Great Karoo, South Africa. Catena 50 (2-4): 165-184.
12. Bou Kheir, R., O. Cerdan and C. Abdallah. 2006. Regional soil erosion risk mapping in Lebanon. Geomorphology, 82: 347-359.
13. Cornel university, 1996. Glossary: Minimum legible delineation, Manual of concepts

- on land cover and land use information systems. Doc. ESTAT/LAND 31 rev. 1, p.83.
14. Essa, S. 2004. GIS modeling of land degradation in Northern Jordan using Landsat imagery. <http://www.isprs.org/istanbul2004/comm4/papers/401.pdf>.
 15. Feoli, E., L. G. Vuerich and W. Zerihun, 2002. Evaluation of environmental degradation in northern Ethiopia using GIS to integrate vegetation, geomorphological, erosion and socio- economic factors, *Agriculture Ecosystems and Environment*. 91 (1-3): 313-325.
 16. 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 für geologie und paläontologie; Teil I*, 3 (4): 641-653.
 17. Khawlie, M., M. Awad, A. Shaban, R. Bou Kheir and C. Abdallah. 2002. Remote sensing for environmental protection of the eastern Mediterranean rugged mountainous areas, Lebanon. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 57: 13-23.
 18. Mahler, P.J., 1979. Manual of land classification for irrigation, Soil Institute of Iran. Pub. No.205.
 19. Martinez-Casasnovas, J.A. 2003. A spatial information technology approach for the mapping and quantification of gully erosion, *Catena*, 50 (2-4): 293-308.
 20. Mohamed Rions, M. H. and S. P. Aggarwal, Ranjith Prema lala De silva, 2005. Application of remote sensing and GIS on soil erosion assessment at Bata river basin, India http://www.Gisdevelopment.net/application/natural_hazards/landslides/nhls_0007.htm.
 21. 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.
 22. Oldeman, L.R., R.T.A. Hakkeling and W.G. Sombroek, 1991. GLASOD classification of soil degradation. <http://www.unescap.org/stat/envstat/stwes-class-glosod.pdf>
 23. Singh, G., Babu, R., Narain, P., Bhushan, L. S. & Abrol, I. P. 1992. Soil erosion rates in India, *Journal of Soil and Water Conservation*, 47 (1): 97-99.
 24. 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.
 25. Ygarden, L. 2003. Rill and gully development during an extreme winter runoff event in Norway, *Catena*, 50 (2-4): 217-242.



پڙهه ۽ څيړنه
په ټول ښوونځيو او
په ټولو ښوونکو او
ښوونکو کې