

هیدروژئومورفولوژی، شماره‌ی ۱۰ بهار ۱۳۹۶، صص ۹۹-۱۱۹

وصول مقاله: ۱۳۹۵/۰۷/۱۳ تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۵/۱۰/۲۷

بررسی میزان رسوب‌زایی با استفاده از واحدهای همگن روی کاربری‌های اراضی و سازندهای زمین-شناسی  
(مطالعه‌ی موردی: حوضه‌ی آبخیز تنگ بستانک، استان فارس)

احمد نوحه‌گر<sup>۱</sup>

محمد کاظمی<sup>۲\*</sup>

سیدجواد احمدی<sup>۳</sup>

حمید غلامی<sup>۴</sup>

رسول مهدوی<sup>۵</sup>

## چکیده

شناسایی مناطق مولد رسوب و تعیین سهم آن‌ها در تولید رسوب از مهم‌ترین مصادیق مدیریت خاک به منظور بهره‌برداری مطلوب آن می‌باشد. هدف از تحقیق حاضر تعیین واحدهای همگن بر روی کاربری‌های اراضی و سازندهای زمین‌شناسی جهت اندازه‌گیری میزان مشارکت و اهمیت نسبی آن‌ها بر رسوب خروجی بود. بر این اساس از مدل‌های BLM, Fargas و اندازه‌گیری مستقیم رسوب استفاده شد. سپس با استفاده از نقشه‌ی سیمای فرسایش واحدهای همگن روی نقشه‌ی کاربری‌های اراضی و سازندهای زمین‌شناسی استخراج شد و میزان رسوبات تولیدی حاصل از فرسایش سطحی، شیب‌اری و خندقی

۱- استاد دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران، تهران

۲- دانشجوی دکتری آبخیزداری دانشگاه هرمزگان، بندر عباس (نویسنده‌ی مسئول)\*

Email:mohamad.kazemi86@Gmail.com

۳- دانشیار پژوهشکده‌ی چرخه‌ی سوخت سازمان انرژی اتمی، تهران

۴- استادیار گروه مرتع و آبخیزداری دانشگاه هرمزگان، بندر عباس

۵- استادیار گروه مرتع و آبخیزداری دانشگاه هرمزگان، بندرعباس

اندازه‌گیری شد. با احتساب مجموع میانگین رسوب اندازه‌گیری شده در هر کاربری، سازند و نیز احتساب مساحت هر کدام، میزان مشارکت از کل رسوب تولیدی مشخص شد. نتایج نشان داد کاربری اراضی مرتع با کدهای  $B S_{33}R_{42}G_{21}$ ،  $C S_{34}R_{43}G_{32}$  و  $D S_{34}R_{43}G_{32}$  با مجموع میانگین  $38/73$  تن در هکتار و سازند رازک با کدهای  $C S_{43}R_{42}G_{21}$  و  $D S_{44}R_{43}G_{32}$  با مجموع میانگین  $17/83$  تن در هکتار بیشترین مقدار تولید رسوب داشتند. بیشترین سهم تولید رسوب مربوط به کاربری اراضی مرتع با مقدار  $64/9\%$  و سازند آسماری با مقدار  $55/43\%$  می‌باشد. سازند بختیاری و اراضی زراعی کمترین اهمیت نسبی را در فرسایش و تولید رسوب دارند.

**کلمات کلیدی:** سهم تولید رسوب، واحد همگن، فارگاس، شدت فرسایش، تنگ بستانک.

## مقدمه

فرسایش خاک یکی از مشکلات محیطی است که تهدیدی برای منابع طبیعی، کشاورزی و محیط زیست به شمار می‌رود (رحمان و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۰۹: ۱۷۲۴). اطلاعات زمانی و مکانی از فرسایش خاک در اقدامات مدیریتی، کنترل فرسایش و مدیریت حوضه‌های آبخیز نقش مؤثری دارد (هاشمی و عرب‌خدری، ۱۳۸۶؛ ۴۵، راستگو و همکاران، ۱۳۸۵؛ ۹۹). امروزه کمتر منطقه‌ای را در سطح زمین می‌توان یافت که در معرض تخریب و فرسایش قرار نگرفته باشد (احمدی، ۱۳۷۸؛ ۱۹۵). لذا جبران خاک فرسایش یافته برای طبیعت، به ویژه در مناطق خشک که شرایط برای تشکیل خاک بسیار نامساعد است، بسیار دشوار و طولانی می‌باشد (کردوانی، ۱۳۷۷؛ ۷). بدین ترتیب شناخت مناطق حساس به فرسایش و رسوب‌زا و پهنه‌بندی آن در قسمت‌های مختلف یک حوضه‌ی آبخیز یکی از موارد اساسی در اولویت‌بندی مناطق جهت کارهای اجرایی حفاظت خاک و آبخیزداری می‌باشد. اگر بتوان با دقت

قابل قبول فرسایش سازندها را به دست آورد می‌توان برای کنترل فرسایش نیز راه‌های مؤثرتر و اقتصادی‌تری ارائه کرد (فیض‌نیا و همکاران، ۱۳۸۲؛ ۳۴). از مدل‌های فرسایش خاک می‌توان برای مطالعه و بررسی روش‌های فرسایش در رابطه با تغییرات زمین و چگونگی استفاده از آن و شناخت منابع رسوبی استفاده کرد (فنگ و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۱۰؛ ۲۳۹). در این باره نوجوان و همکاران (۱۳۹۱) با استفاده از مدل‌های Fargas و BLM<sup>۲</sup> به بررسی شدت فرسایش در حوضه‌ی آبخیز بندره استان آذربایجان غربی اقدام کردند. نامبردگان به این نتیجه رسیدند که روش Fargas و BLM دارای توافق با یکدیگر از نظر شدت فرسایش می‌باشند. بر اساس مطالعات عبدی و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۱۴) در حوضه‌ی آبخیز آق‌بلاق آذربایجان با استفاده از دو مدل Fargas و BLM، ۸۲٪ مساحت حوضه بر اساس مدل فارگاس در طبقه خیلی شدید و مدل BLM نیز حدود ۸۰٪ مساحت حوضه را در طبقات فرسایش متوسط و خیلی ناچیز طبقه‌بندی کرده که عدم تطابق بین نتایج پهنه‌بندی خطر فرسایش را نشان می‌دهد. همچنین صدوق و همکاران (۱۳۹۴) در حوضه‌ی آبخیز کهمان از سه مدل Fargas، BLM و EPM استفاده کردند که نتایج تحقیق نامبردگان نشان داد نتایج پهنه‌بندی خطر فرسایش دو مدل کیفی Fargas و BLM با هم تطابق ندارند و مدل BLM تطابق بیشتری با فرسایش منطقه دارد. نجفی و صادقی (۱۳۹۲) در تحقیقی جهت اعتبارسنجی سهم‌های فرسایش و رسوبزایی سازندهای زمین‌شناسی حوضه‌ی آبخیز ایده‌لو از روش انگشت‌نگاری رسوب و اندازه‌گیری میدانی بر اساس واحدهای همگن مدل BLM استفاده کردند. نتایج حاصل از اندازه‌گیری مستقیم نشان داد که وضعیت فرسایشی شدید حاصل از نقشه‌ی سیمای فرسایش با کد C S<sub>23</sub>R<sub>41</sub>G<sub>42</sub> و میزان میزان فرسایش ۳۴/۴ تن در

1- Feng et al.,

2- Bureau of Land management

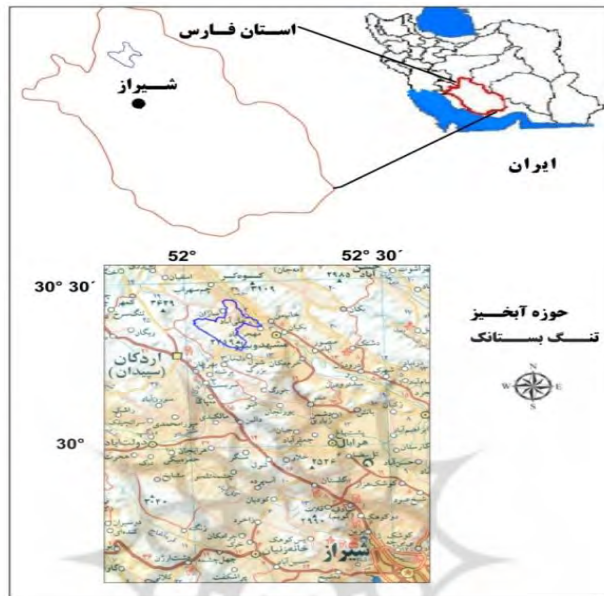
3- Abdi et al.,

هکتار در سال در رتبه‌ی نخست قرار می‌گیرد. فارگاس و همکاران<sup>۱</sup> (۱۹۹۷، ۳۵۹-۳۵۷)، روشی را ارائه نمودند که در آن با استفاده از دو عامل فرسایش‌پذیری نوع سنگ و تراکم زهکشی سعی در شناخت منابع منطقه‌ای رسوب‌زا (شدت فرسایش) در سطح منطقه‌ای نمودند. در منطقه تنگ‌بستانک لازم بود تا سهم مشارکت کاربری‌های اراضی و سازندهای زمین‌شناسی جهت مدیریت صحیح حفاظت خاک مشخص گردد. براین اساس هدف از تحقیق حاضر پهنه‌بندی خطر فرسایش خاک بر اساس نقشه کاربری اراضی (طبق مدل BLM) و سازندهای زمین‌شناسی (طبق مدل Fargas) و تشکیل واحدهای همگن (روش صادقی، ۲۰۰۵) بود، که با استفاده از این واحدها اندازه‌گیری مستقیم مقدار رسوب تولیدی (بر اساس اندازه‌گیری فرسایش‌های سطحی، شیلیاری و خندقی) و تعیین سهم مشارکت کاربری‌ها و سازندها بر رسوب خروجی حوضه انجام گرفت.

#### معرفی منطقه‌ی مورد مطالعه

حوضه‌ی مورد مطالعه در این بررسی، تحت عنوان حوضه‌ی آبخیز تنگ بستانک در حدود ۸۰ کیلومتری شمال غرب شهرستان شیراز و در موقعیت جغرافیایی  $30^{\circ}16'33''$  تا  $30^{\circ}25'18''$  شمالی و  $52^{\circ}13'36''$  تا  $52^{\circ}03'43''$  شرقی واقع شده است. شکل (۱)، موقعیت منطقه و راه‌های دسترسی به آن را نشان می‌دهد.

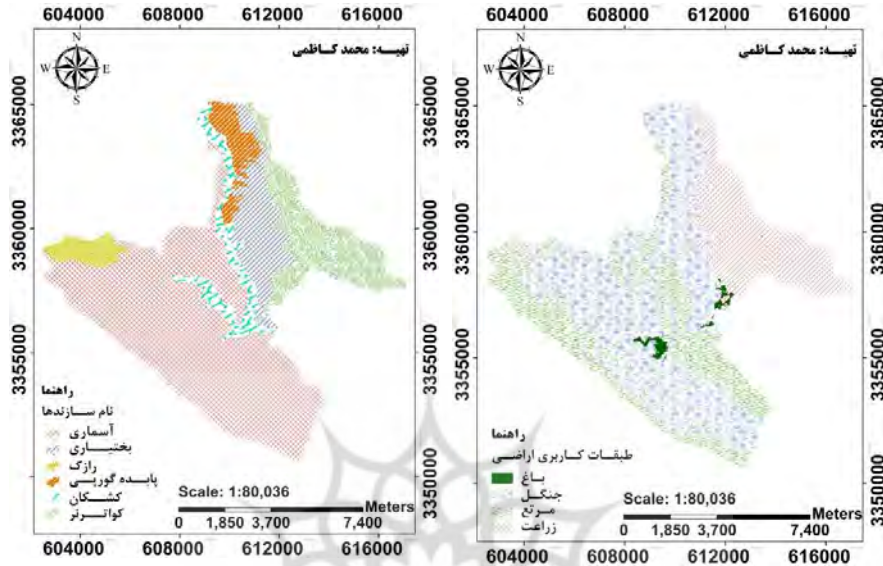
1- Fargas et al.,



شکل (۱) موقعیت حوضه آبخیز تنگ بستانک و راه‌های دسترسی به آن

### مواد و روش‌ها

۱- تهیه نقشه‌ی زمین‌شناسی منطقه با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ بر اساس روش SFM حاصل از تصویر ماهواره لندست سنجنده OLI (شکل ۲) - ۲- تهیه نقشه‌ی توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ حاصل از DGN فایل‌ها - ۳- تهیه نقشه‌ی کاربری اراضی با تکنیک بیشترین تشابه (ML) (شکل ۲) و همچنین تهیه فایل KML از شبکه‌ی آبراهه‌ها و مرز حوضه.



شکل (۲) نقشه‌ی کاربری اراضی و زمین‌شناسی حوضه‌ی آبخیز تنگ بستانک

جدول (۱) معیار تعیین کلاس خطر فرسایش و رسوب‌زایی

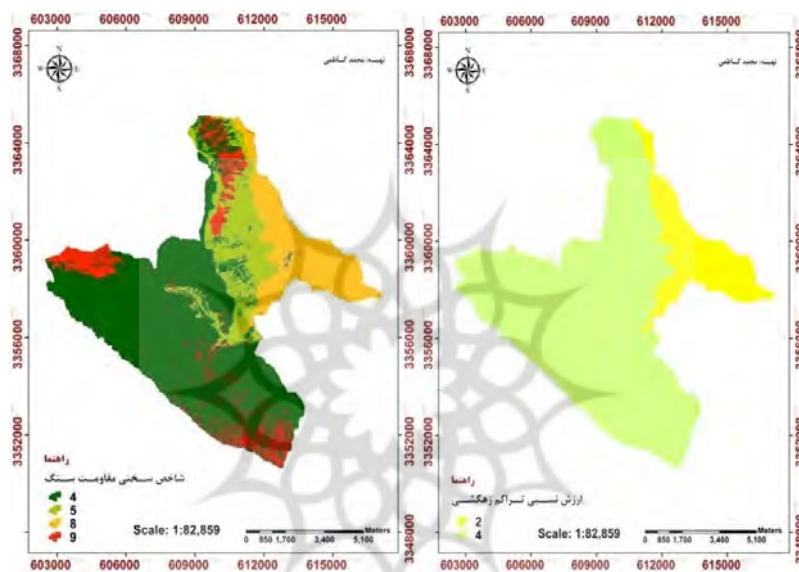
کلاس	میزان خطر	ارزش نسبی
۱	کم	<۱۰
۲	متوسط	۱۰-۲۰
۳	زیاد	۲۰-۳۰
۴	شدید	۳۰-۴۰
۵	بسیار شدید	>۴۰

مأخذ: فارگاس و همکاران (۱۹۹۷: ۳۴۷)

مدل فارگاس<sup>۱</sup> در سال ۱۹۹۷ توسط فارگاس و همکاران ابداع شده است. اجرای اجرای این مدل شامل مراحل ذیل می‌باشد. ۱- تعیین شاخص فرسایش‌پذیری حوضه: در این مرحله برای هر واحد سنگی میزان فرسایش‌پذیری مشخص می‌شود.

1- Fargas

۲- روی هم اندازی نقشه‌ی آبراهه‌ها و نقشه‌ی واحدهای سنگی و ارزش‌گذاری میزان تراکم زهکشی در هر واحد سنگی. ۳- در نهایت تعیین خطر فرسایش با استفاده از ضریب ارزیابی (جدول ۱) ارائه شده توسط فارگاس و همکاران (۱۹۹۷).



شکل (۳) تراکم زهکشی و سختی سازند بر اساس مدل Fargas

#### – مدل BLM

این روش توسط دفتر مدیریت اراضی آمریکا ابداع شده است و مراحل اجرای این مدل نیز شامل مراحل ذیل می‌باشد: ۱- تهیه نقشه‌ی تیپ فرسایش با استفاده از عکس‌های هوایی و بازدیدهای صحرائی. ۲- تعیین امتیاز عامل فرسایش سطحی (توسط آب، باد، نیروی ثقل و...) با دامنه‌ی عددی ۰-۱۴. ۳- تعیین امتیاز عامل وجود لاشبرگ سطحی در خاک با دامنه‌ی عددی ۰-۱۴. ۴- تعیین امتیاز عامل

پوشش سنگی سطح زمین با دامنه‌ی عددی ۱۴-۰.۵- تعیین امتیاز عامل آثار تخریب در سطح زمین با دامنه‌ی عددی ۱۴-۰.۶- تعیین امتیاز عامل وجود فرسایش شیاری با دامنه‌ی عددی ۱۴-۰.۷- تعیین امتیاز عامل آثار رسوب‌گذاری حاصل از جریان با دامنه‌ی عددی ۱۵-۰.۸- تعیین امتیاز عامل وجود فرسایش خندقی با دامنه‌ی عددی ۱۵-۰ (رفاهی، ۱۳۷۹: ۲۷۱-۲۶۹). وضعیت فرسایش را برحسب جمع نمرات عوامل هفت‌گانه عرضه شده است (جدول ۴) و طبق این جدول وضعیت کلی فرسایش برای هر تیپ فرسایشی مشخص می‌شود.

جدول (۴) وضعیت فرسایش برحسب جمع نمرات هفت عامل

وضعیت فرسایش	جمع نمرات عوامل هفت‌گانه
جزئی	۰-۲۰
کم	۲۱-۴۰
متوسط	۴۱-۶۰
زیاد	۶۱-۸۰
خیلی زیاد	۸۱-۱۰۰

مأخذ: رفاهی، ۱۳۷۹: ۲۷۱

جهت تهیه واحدهای همگن از روش صادقی (۲۰۰۵) استفاده شد، به طوری که برای هر کاربری و هر سازند با توجه به موقعیت آن‌ها در پهنه‌های مختلف فرسایشی، هر واحد از مقاوم به فرسایش (امتیاز ۰ تا ۲۰) تا فرسایش خیلی شدید (امتیاز ۸۰ تا ۱۰۰) طبقه‌بندی شد. بر اساس شدت فرسایش واحدهای کاری (کاربری‌های اراضی و سازندهای زمین‌شناسی) حروف A تا E اختصاص داده شده که این حروف شدت فرسایش در حالت کلی را برای واحد مربوطه بیان می‌کند. برای دقیق‌تر شدن نتایج و اندازه‌گیری‌ها سه پدیده فرسایش سطحی (S)، شیاری (R) و خندقی (G) مدنظر قرار گرفتند که دو زیرنویس را به خود اختصاص می‌دهند.



زیرنویس اول یکی از طبقات ۱ تا ۵ را شامل می‌شود و بیانگر شدت فرسایش واقع بر این پدیده‌ها می‌باشد و زیرنویس دوم حاصل از سطح پوشش هر پدیده بوده و یکی از کدهای ۱ تا ۴ را به خود اختصاص می‌دهد که به ترتیب برای سطوح پوششی ۰ تا ۲۵، ۲۵ تا ۵۰، ۵۰ تا ۷۵ و ۷۵ تا ۱۰۰ درصد استفاده شد. به‌طور کلی یک واحد کاری با کدی مثل  $B S_{23}R_{22}G_{41}$  نمایش داده می‌شود (صادقی و نجفی، ۱۳۹۲؛ ۱۶۸) که B بیانگر طبقه شدت فرسایش، S فرسایش سطحی، R فرسایش شیاری، G فرسایش خندقی، زیرنویس اول شدت فرسایش روی پدیده و زیرنویس دوم سطح پدیده را نشان می‌دهند. برای اندازه‌گیری صحرائی اقدام به پیکه‌کوبی جهت اندازه‌گیری فرسایش سطحی شد. در مطالعه‌ی شیاریها نقشه‌ی شیب و جهت شیب منطقه استخراج شد. طول هر شیاری از نقطه‌ی آغازین تا پایین‌ترین نقطه آن با استفاده از متر در هر دامنه‌ی اندازه‌گیری شد. عرض و عمق هر شیاری در سه نقطه (پایین‌دست، میان‌دست و بالادست) با استفاده از متر اندازه‌گیری شد. مساحت مقطع شیاری که به عنوان مشخصه‌ای مهم در ارزیابی فرسایش شیاری بر آن تأکید شده‌است (واعظی و قره‌داغی، ۱۳۹۲؛ ۸۷۴)، بر مبنای شکل مقطع با استفاده از داده‌های عرض و عمق شیاری در سه نقطه در طول شیاری تعیین و میانگین آن محاسبه گشت. حجم شیاری نیز که از مشخصه‌های مهم در پیش‌بینی فرسایش شیاری بیان شده‌است (کسالی و همکاران، ۲۰۰۶؛ ۱۳۵)، از ضرب طول شیاری در میانگین سطح مقطع آن به دست آمد. مقدار هدررفت خاک در هر شیاری (تن در هکتار) که بیانگر سهم این فرسایش در تخریب خاک در زمین‌های شیب‌دار می‌باشد بر مبنای حجم شیاری و چگالی ظاهری خاک محاسبه شد. همچنین برای بسط سهم شیاریها در هدررفت خاک در هر هکتار تعداد شیاریها در واحد سطح لحاظ شدند. فرسایش شیاری بر اساس هدررفت خاک (تن) در واحد سطح

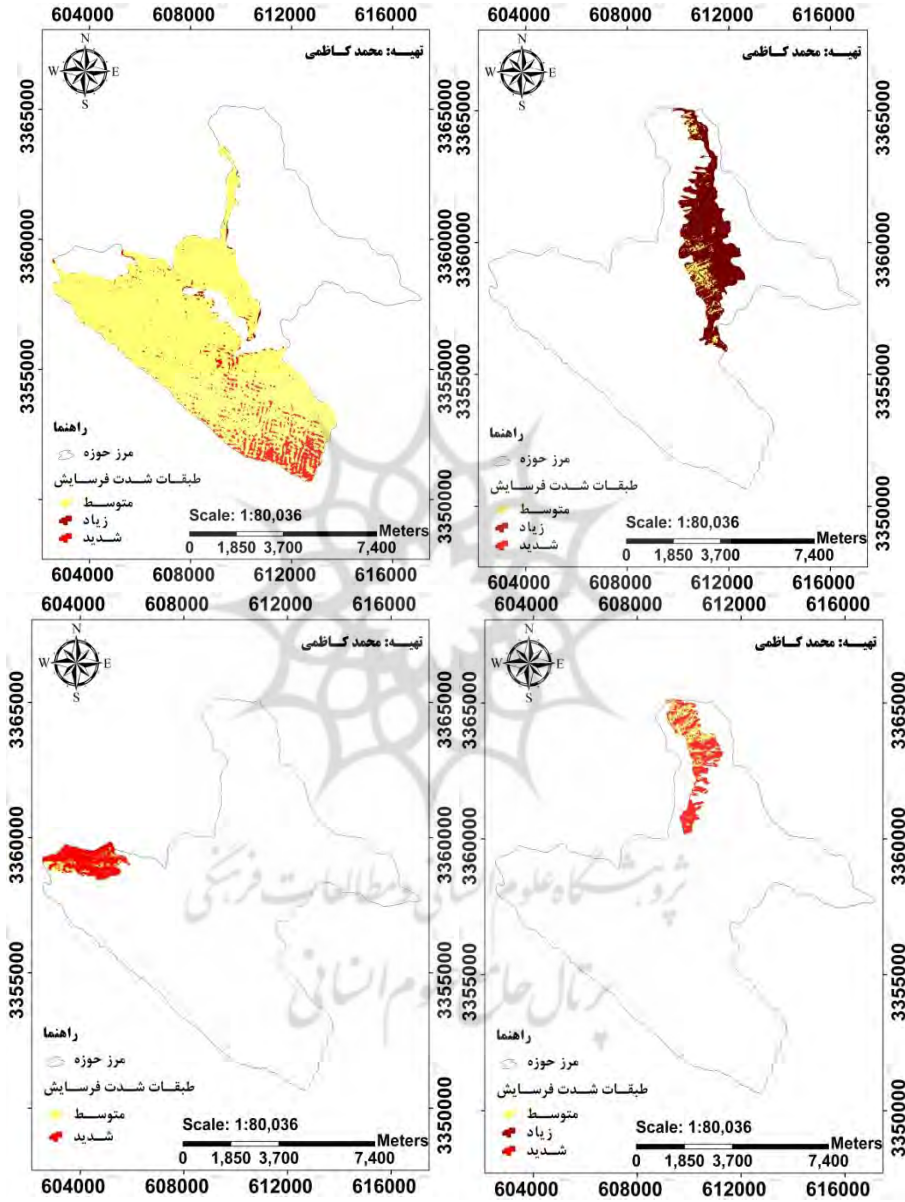
محدوده‌ی زهکش شیپارها (هکتار) بر حسب تن در هکتار به دست آمد. برای اندازه‌گیری فرسایش خندقی در هر آبکند سه مقطع بالادست، میانی و پایین دست تعیین و مقاطع مورد نظر با پیکه‌های چوبی نصب شده در طرفین مقطع، مشخص گردید. سپس فاکتورهای مختلف شکل‌شناسی آبکندها مثل عرض بالا و پایین، عمق هر مقطع، سطح مقطع، ارتفاع رأس، و میزان عقب‌نشینی پیشانی آبکند (رأس)، به کمک نخ با فواصل مدرج ۲۵ سانتی‌متری و نصب‌شده روی پیکه‌ها اندازه‌گیری گردید. علاوه بر این فاصله مقطع بالادست تا پیشانی آبکند نیز اندازه‌گیری و ثبت می‌شود. در ادامه‌ی اطلاعات ثبت‌شده از هر آبکند در محیط اتوکد<sup>۱</sup> ترسیم و پلان مقطع مورد نظر تعیین می‌شود. در پلان عمومی هر مقطع طولانی‌ترین خط عمودی که عرض بالا و تالوگ را به هم وصل می‌کند حداکثر عمق آن را نشان می‌دهد. در مرحله بعد تعیین اختلاف مساحت مربوط به هر مقطع پس از هراندازه‌گیری محاسبه، سپس میانگین اختلاف سطح دو مقطع کناری در فاصله بین آن دو ضرب شده و به حجم هدررفت خاک ناشی از فرسایش آبکندی طی مقاطع زمانی نسبت داده می‌شود. پس از آن در محیط Excel مجموع حجم خاک فرسایش یافته از تمامی آبکندهای سطح هر واحد همگن به دست می‌آید (مهدوی و همکاران، ۱۳۸۸: ۵۴).

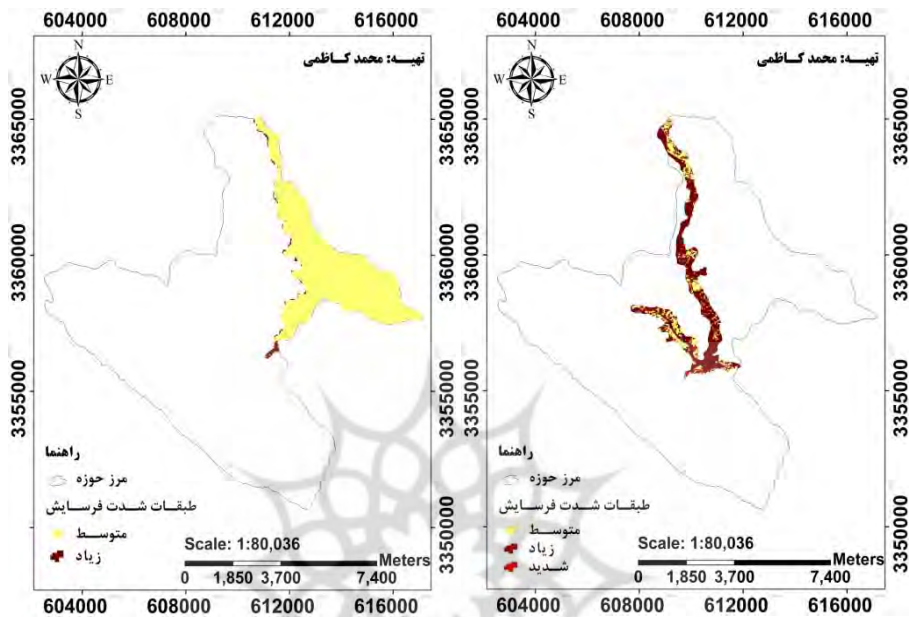
### بحث و نتایج

نقشه‌ی حاصل از پهنه‌بندی شدت فرسایش در روش فارگاس و همکاران (۱۹۹۷) روی سازندهای زمین‌شناسی در شکل (۳) نشان داده شده است. طبقه‌ی متوسط ۶۰۲۳/۱۲ هکتار، طبقه‌ی زیاد ۱۳۰۲/۱ هکتار و طبقه‌ی شدید ۸۴۸/۳۶ هکتار است. طبقات شدت فرسایش مدل BLM روی کاربری‌های اراضی در شکل (۴)

1- Autocad

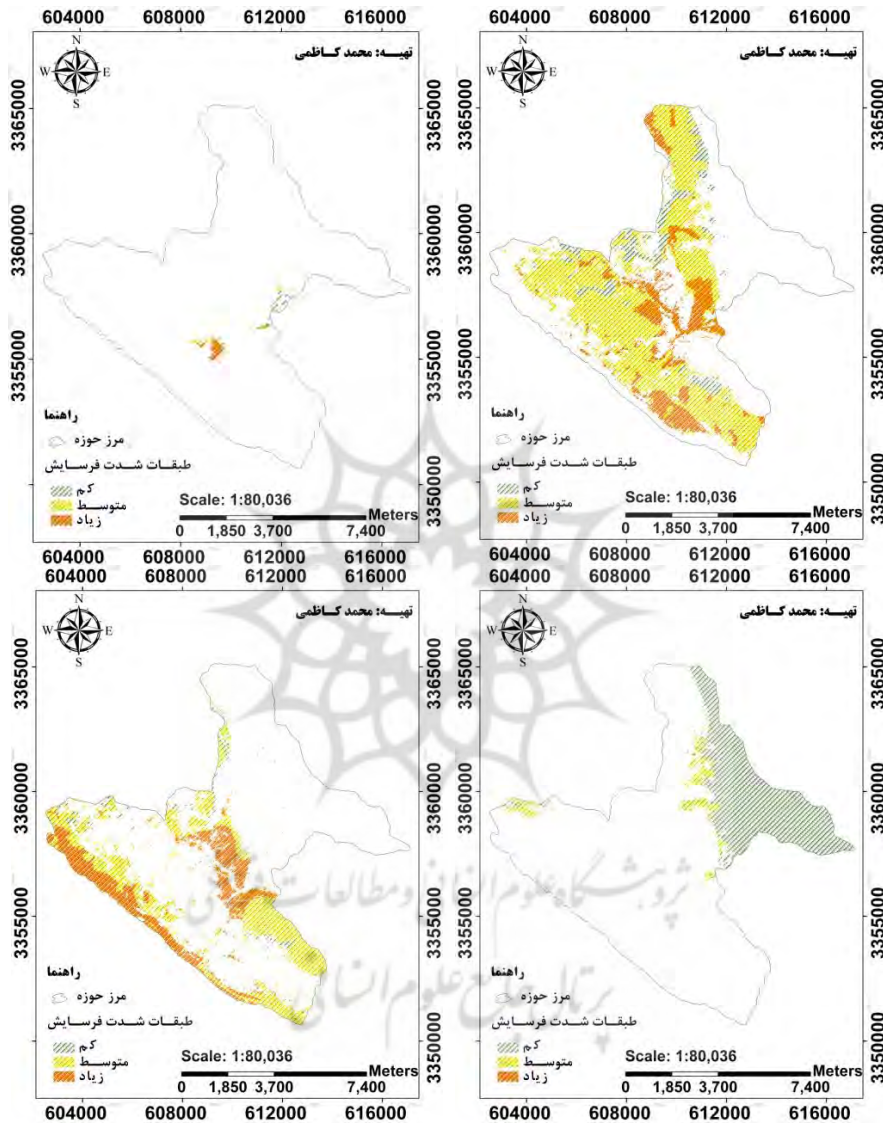
نشان داده شده است. مساحت طبقه‌ی شدت فرسایش کم ۲۰۷۸/۰۵ هکتار، طبقه‌ی شدت فرسایش متوسط ۴۵۰۲/۳۲ هکتار و طبقه‌ی شدت فرسایش زیاد ۱۵۹۲/۴۶ هکتار از سطح حوضه می‌باشند. همان‌گونه که مشخص هست در مدل فارگاس BLM ۷۳/۷۲٪ از سطح حوضه شدت فرسایش متوسط بوده و این شدت برای مدل BLM معادل ۵۵/۱٪ می‌باشد. طبقه‌ی شدت فرسایش متوسط در مدل فارگاس ۱۵/۹۳٪ از سطح حوضه هست، در صورتی‌که این طبقه در مدل BLM ۱۹/۴۹٪ هست. اختلاف مدل‌ها در این طبقات در مجموع حدود ۲۲/۱۸٪ می‌باشد و در طبقات فرسایشی دیگر به طور میانگین ۱۷/۸۵٪ با هم اختلاف دارند که این رقم در کل ۴۰/۰۳٪ اختلاف در پهنه‌بندی اراضی دارند. مدل Fargas بر پایه‌ی نقشه‌ی زمین‌شناسی می‌باشد، در صورتی‌که مدل BLM بر پایه‌ی نقشه‌ی تیپ‌های فرسایش است. از سوی دیگر مدل Fargas بر پایه‌ی اصول نظری دو عامل فرسایشی (عامل تراکم زهکشی) و عامل فرسایش‌پذیری (عامل حساسیت سنگ به فرسایش) پایه‌ریزی شده‌است، در صورتی‌که در مدل BLM هفت عامل در نظر گرفته شده و به مشاهدات صحرائی از جهت تعیین تیپ‌های فرسایشی توجه بیشتری صورت گرفته است. این دو مدل در پهنه‌بندی حدود ۶۰٪ اراضی مشترک هستند. نوجوان و همکاران (۱۳۹۱) بیان کردند که این دو مدل در پهنه‌بندی شدت فرسایش در ۷۳/۸۵٪ از سطح اراضی اشتراک دارند.





شکل (۴) پهنه‌بندی شدت فرسایش روی سازندهای آسماری، بختیاری، پابده‌گورپی، رازک، کشکان و کواترنری (به ترتیب از بالاسمت راست)

مطابق شکل (۴) در سازند آسماری طبقات شدت فرسایش متوسط، زیاد و شدید به ترتیب ۴۳۴۵/۴۷، ۲۰/۷۴، ۳۶۷/۵۲ هکتار، در سازند بختیاری طبقات شدت فرسایش متوسط، زیاد و شدید به ترتیب ۱۳۹/۶، ۸۷۰/۹۱، ۱۲/۳۱ هکتار، در سازند کشکان طبقات شدت فرسایش متوسط، زیاد و شدید به ترتیب ۱۸۷/۱۵، ۴۲۹/۶۸، ۱۷/۳۲ هکتار، در سازند پابده‌گورپی طبقات شدت فرسایش متوسط، زیاد و شدید به ترتیب ۱۲۸/۵۳، ۱۶/۱۶، ۲۳۷/۷۸ هکتار، در سازند رازک طبقات شدت فرسایش متوسط و شدید به ترتیب ۵۲/۴۸ و ۲۳۳/۰۹ هکتار و در سازند کواترنری طبقات شدت فرسایش متوسط و زیاد به ترتیب ۱۳۲۱/۵۷ و ۲۸/۴ هکتار وسعت دارند.



جدول (۶) نتایج نسبی تولید رسوب حاصل از انواع فرسایش (تن در هکتار) کاربری

مجموع میانگین‌ها	کد واحدکاری	میانگین فرسایش خندقی	میانگین فرسایش شیاری	میانگین فرسایش سطحی	کاربری اراضی
۰/۳۱۷	B S23R11G21	۰/۰۷	۰/۰۹	۰/۰۷۵	زراعت
	C S22R22G21	۰/۱	۰/۲۰۲۵	۰/۰۹۷۵	
۵/۵۱۹	B S22R21G22	۰/۲۶۵	۲/۰۹	۲/۱۵	جنگل
	C S23R22G31	۰/۲۸۲	۲/۵۲	۲/۷۸	
	D S22R22G31	۰/۲۹۲	۳/۵	۲/۷۸	
۷/۹۹۳	B S23R21G11	-	۳/۳۵	۱/۹۶	باغ
	C S23R32G32	۰/۳۷۶	۴/۸۵	۳/۲۴	
	D S22R32G42	۰/۶۳	۵/۷۵	۳/۳۲	
۳۸/۷۳	B S33R42G21	۰/۶۵	۱۲/۰۳	۱۰/۰۸	مرتع
	C S34R43G32	۰/۹۲۵	۲۶/۱۷	۱۸/۶۷	
	D S34R43G32	۰/۹۵۵	۲۷/۶۶	۱۹/۱۲	

مطابق شکل (۵) در کاربری جنگل طبقات شدت فرسایش کم، متوسط، زیاد به ترتیب ۴۶۳/۶۱، ۳۰۷۶/۶۴، ۸۶۱/۳۹ هکتار، در کاربری زراعی طبقات شدت فرسایش کم، متوسط، زیاد به ترتیب ۱۶۰۵/۴، ۲۰۹/۸۴، ۴/۰۲ هکتار، در کاربری مرتع طبقات شدت فرسایش کم، متوسط، زیاد به ترتیب ۱۱۷/۷۴، ۱۳۱۸/۰۲، ۸۲۱/۶۱ هکتار و در کاربری باغات طبقات فرسایشی کم، متوسط و زیاد به ترتیب ۲۲/۲۴، ۲۸/۶ و ۳۹/۷ هکتار از وسعت هر کاربری را به خود اختصاص داده‌اند. با توجه به نتایج، مدل Fargas به دلیل در نظر گرفتن عوامل کمتر و در دسترس، جهت تعیین شدت فرسایش در مراحل شناسایی و توجیهی قابل پیشنهاد می‌باشد. احمدی و محمدی (۱۳۸۸: ۸) مساحت طبقات شدت فرسایش با مدل Fargas برای طبقات بسیار شدید، شدید و زیاد در حوضه‌ی آبخیز سنگاب به ترتیب ۰/۸۱/۰۶، ۹/۵۹٪ و ۹/۳۴٪ اعلام کردند. نامبردگان اظهار داشتند که جدول فرسایش‌پذیری را

می‌توان با جزئیات بیشتری (مطابق با روش فیض‌نیا) تکمیل کرد تا دقت مدل افزوده شود. همچنین نامبرندگان بیان کردند که در جدول فرساینده‌گی حدهای نهایی تراکم زهکشی را با در نظر گرفتن اعدادی بالاتر از آن اصلاح نمود و این فاکتور را با شیب اراضی در نظر گرفت. نتایج نسبی حاصل از اندازه‌گیری انواع فرسایش (تن بر هکتار) در هر واحد همگن در جداول ۶ و ۷ آورده شده است.

جدول (۷) نتایج نسبی تولید رسوب حاصل از انواع فرسایش (تن در هکتار) سازندها

مجموع میانگین‌ها	کد واحدکاری	میانگین فرسایش خندقی	میانگین فرسایش شیاری	میانگین فرسایش سطحی	سازند
۱۷/۸۳	C S43R42G21	۰/۲۷	۷/۵۸	۵/۸۵	رازک
	D S44R43G32	۰/۶۵۱	۱۱/۰۶	۱۰/۲۸	
۸/۴۶	C S23R32G21	۰/۲۴	۳/۹۵	۳/۳۱	کشکان
	D S32R33G21	۰/۳	۴/۸۷	۴/۲۶	
۶/۸۲	B S33R21G11	-	۲/۱	۳/۹۲	بختیاری
	C S33R22G31	۰/۳	۲/۴۷	۴/۱۷	
	D S33R22G11	-	۲/۶۵	۴/۲۸	
۸/۰۷۴	C S33R21G33	۰/۷۵۲	۱/۹۴	۴/۹۷	کواترنر
	D S33R21G31	۰/۷۳۷	۲/۳۴	۵/۴۱	
۱۷/۷۹	C S43R33G32	۰/۶۵۲	۷/۸۲	۶/۱	پابده
	D S43R42G32	۰/۷۸۷	۱۰/۹۷	۹/۲۹	گورپی
۹/۱۶۷	C S33R31G22	۰/۲۸۵	۴/۳۴	۳/۷۸	آسماری
	D S33R32G32	۰/۳۹	۵/۰۹	۴/۴۷	

بر طبق اندازه‌گیری‌های میدانی سهم برآوردی در میزان فرسایش و تولید رسوب برای سازندهای رازک، کشکان، بختیاری، کواترنر، پابده گورپی و آسماری به ترتیب ۶/۵۲۴٪، ۶/۷۴۶٪، ۸/۷۷۸٪، ۱۳/۹۸۱٪، ۸/۵۳۹٪ و ۵۵/۴۳٪ می‌باشد. همچنین سهم برآوردی بر طبق اندازه‌گیری‌های میدانی برای کاربری‌های زراعت، جنگل، باغ



و مرتع در میزان فرسایش و رسوب حوضه‌ی آبخیز تنگ بستانک به ترتیب ۰/۷۱٪، ۳۱/۵۵٪، ۲/۸۳٪ و ۶۴/۹٪ می‌باشد. همان‌گونه که مشخص هست بیشترین میزان فرسایش و رسوب مربوط به سازند آسماری و کاربری مرتع می‌باشد. قابل ذکر است که مساحت کاربری‌های زراعت، جنگل، باغ و مرتع به ترتیب ۱۸۳۲/۶۱، ۴۶۷۶/۷۵، ۲۸۹/۹۵ و ۱۳۷۰/۶۸ هکتار می‌باشد. با در نظر گرفتن درصد مساحت هر کاربری و درصد تولید رسوب و فرسایش هر کدام و نسبت بین این دو می‌توان اهمیت نسبی هر کاربری را تولید رسوب و فرسایش محاسبه کرد. بر این اساس اهمیت نسبی این کاربری‌ها به ترتیب ۰/۰۳۱، ۰/۵۵۱، ۰/۷۹۹ و ۳/۸۷ می‌باشد. بنابر این کاربری اراضی مرتع بیشترین اهمیت نسبی و اراضی زراعی کمترین اهمیت نسبی در تولید رسوب و فرسایش را دارند. اهمیت نسبی سازندها نیز به ترتیب ۱/۹۱۳، ۰/۹۰۶، ۰/۷۳، ۰/۸۵۶، ۱/۹۱ و ۰/۹۸۱ می‌باشد. سازندهای رازک و پابده‌گورپی به ترتیب بیشترین اهمیت نسبی و سازند بختیاری کمترین اهمیت نسبی در فرسایش و رسوب دارند. مشاهدات صحرایی بیان‌گر آنست که سازندهای حاوی مقادیر زیاد مارن در حوضه از جمله سازند رازک و پابده‌گورپی با توجه به عامل مساحت، نقش بسیار پررنگی در تولید رسوب حوضه دارند. در این بین واحد  $D S_{44}R_{43}G_{32}$  روی سازند رازک و واحد  $D S_{43}R_{42}G_{32}$  روی سازند پابده‌گورپی بیشترین نقش را در تولید رسوب در بین سایر واحدها و سازندها در تولید رسوب داشتند. صادقی و نجفی (۱۳۹۲: ۱۷۴) نیز بیان کردند که واحدهای فرسایشی حاصل از روش تهیه‌ی نقشه‌ی سیمای فرسایش واقع در واحد سنگ‌شناسی مارن وضعیت فرسایشی شدیدتری نسبت به بقیه دارند که نتایج تحقیق حاضر نیز در راستای نتایج نامبردگان است. همچنین واحد  $D S_{34}R_{43}G_{32}$  روی کاربری اراضی مرتعی، بیشترین نقش را در تولید رسوب بر اساس نقشه‌ی کاربری‌های اراضی دارد. برای اجرای اقدامات حفاظت خاک و منابع آب لازم است تا اثرات مختلف فرساینده و روند تولید

رسوب شناسایی شده و اطلاعاتی در مورد شدت فرسایش و رسوب و میزان تولید آن اطلاعاتی به دست آید (صدوق و همکاران، ۱۳۹۴: ۱۴۰). در تحقیق حاضر نیز سعی بر آن بود تا ابتدا شدت فرسایش پهنه‌بندی شود و سپس بر اساس مناطق همگن روی کاربری‌های اراضی و سازندهای زمین‌شناسی میزان تولید رسوب اندازه‌گیری شود. جمع کل رسوب بر اساس اندازه‌گیری در واحد سازندها و مدل فارگاس ۷۶۳۱۷ تن و جمع کل رسوب بر اساس اندازه‌گیری در واحد کاربری اراضی و مدل BLM ۸۱۷۹۵/۹۱ تن می‌باشد که تقریباً نزدیک به یکدیگر می‌باشند و این اختلاف ناشی از ماهیت واحد مطالعاتی و ضرائب و عوامل مدل‌ها می‌باشد. نتایج اندازه‌گیری مقدار رسوب تولیدی در خروجی حوضه با استفاده از روش انتگرالسیون عمقی و استفاده از روش‌های اصلاحی برآورد رسوب معلق نشان داد میزان رسوب خروجی حوضه ۸۱۷۰۰ تن در هکتار در سال می‌باشد. همان‌گونه که مشخص هست روش BLM نتایج نزدیک‌تری به واقعیت ارائه کرده است.

### نتیجه‌گیری

ضرائب و عوامل لحاظ شده در مدل Fargas به طور کامل با شرایط ایران سازگاری و مطابقت ندارد و این موارد قابل اصلاح و ارتقاء می‌باشد. اما این مدل در برآوردهای اولیه و تفکیک واحدها به سادگی عمل کرده و به راحتی می‌تواند ارزیابی اولیه بر اساس سازندهای زمین‌شناسی از منطقه‌ی مورد مطالعه نشان دهد. علت اختلاف بین پهنه‌بندی مدل‌های به کار رفته در این تحقیق عوامل مورد استفاده و لحاظ شده در ساختار این دو روش می‌باشد. در مدل فارگاس تنها دو عامل هیدرولوژی و زمین‌شناسی مد نظر قرار گرفته‌است. با این مدل مناطق دارای فرسایش کم و جزئی به خوبی تفکیک نمی‌شوند و این از نقاط ضعف این مدل محسوب می‌شود. مدل BLM تصویر دقیق‌تر و مطابق با واقعیت بیشتری از منطقه ارائه می‌دهد. در تحقیق حاضر از این مشخصه‌های مختلف جهت برآورد هدررفت خاک استفاده شد.

نتایج نشان داد که بیش از نیمی از هدر رفت خاک حوضه به وسیله‌ی فرسایش شیاری صورت گرفته و فرسایش آبکندی نقش کم‌رنگی در تولید رسوب و فرسایش حوضه دارد. محمدپور و همکاران (۱۳۹۵؛ ۱۸) در کار تحقیقی خویش اعلام کردند که ۷۰-۵۰٪ کل فرسایش خاک ناشی از فرسایش شیاری است. در تحقیق حاضر نیز به نقش سه فرسایش سطحی، شیاری و خندقی در واحدهای همگن توجه شد. صادقی و نجفی (۱۳۹۲) برای ارزیابی نتایج حاصل از روش منشأیابی از داده‌های اندازه‌گیری مستقیم بر مبنای سیمای فرسایش حوضه استفاده کرد. در تحقیق حاضر نیز بر مبنای نقشه‌ی سیمای فرسایش بروی کاربری‌های اراضی و سازندهای زمین‌شناسی اقدام به اندازه‌گیری مستقیم رسوبات تولیدی شد.

## منابع

- احمدی، حسن و علی‌اصغر محمدی (۱۳۸۸)، شناخت مناطق حساس به فرسایش از طریق بررسی مدل **Fargas** (حوضه‌ی آبخیز سنگاب)، فصلنامه‌ی جغرافیای سرزمین، سال ششم، شماره‌ی ۲۲، صص ۱۰-۱.
- احمدی، حسن (۱۳۸۶)، ژئومورفولوژی کاربردی، چاپ پنجم، انتشارات دانشگاه تهران.
- راستگو، سعید؛ قهرمانی، بیژن؛ ثنایی، حسین؛ داوری، کامران و سعیدرضا خدانشناس (۱۳۸۵)، برآورد فرسایش و رسوب حوضه‌ی آبخیز تنگ کشت با مدل‌های تجربی **MPSIAC** و **EPM** به کمک **GIS**، مجله‌ی علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، سال دهم، شماره‌ی ۱، صص ۹۱-۱۰۵.
- رفاهی، حسینقلی (۱۳۷۹)، فرسایش آبی و کنترل آن، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ سوم.
- صدوق، سیدحسن، حسین‌زاده، محمدمهدی، آرتندی فهیمه، (۱۳۹۴)، پهنه‌بندی فرسایش در حوضه‌ی آبخیز کهمان با استفاده از سه مدل **Fargas**، **EPM** و **BLM**، هیدروژئومورفولوژی، شماره ۲، صص ۱۵۴-۱۳۷.
- کردوانی، پرویز (۱۳۷۷)، حفاظت خاک، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ ششم (با تجدید نظر).
- محمدپور، سوما؛ روحانی، حامد؛ قربانی واقعی، حجت و سیدمرتضی سیدیان (۱۳۹۵)، فهم فرسایش شیاری در شرایط خاک خشک و مرطوب، مجله‌ی پژوهش‌های فرسایش محیطی، ۱(۲۱): ۱۷-۲۹.
- نوجوان، مهدی؛ محمدی، علی‌اصغر و وحید غلامی (۱۳۹۱)، تعیین شدت فرسایش با استفاده از مدل‌های **Fargas** و **BLM** (مطالعه‌ی موردی: حوضه‌ی آبخیز بندره)، فصلنامه‌ی جغرافیا و توسعه، سال دهم، شماره‌ی ۲۹، صص ۲۶-۱۱.
- نجفی، سعید و سیدحمیدرضا صادقی (۱۳۹۲)، تعیین سهم منابع تولید رسوب از طریق مقایسه‌ی نتایج روش‌های تهیه‌ی نقشه‌ی سیمای فرسایش، انگشت نگاری و

- اندازه‌گیری میدانی، نشریه‌ی علم-پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز، جلد ۵، شماره ۳، صص ۱۶۵-۱۷۸.
- واعظی، علیرضا و حکیمه قره‌داغی (۱۳۹۲). کمی‌سازی گسترش فرسایش شیاری در خاک‌های مارنی در حوضه‌ی آبخیز زنجان‌رود در شمال غرب زنجان، نشریه‌ی آب و خاک، جلد ۲۷، شماره ۵، صص ۸۸۱-۸۷۲.
- Abdi, N. Mohammadi, A. (2014), **Assessment Fargas and BLM Models for Identification of Erosion Degree and Critical Sediment Sources (Case Study: Aghbolagh Drainage Basin, Hashtroud City)**, Research Journal of Environmental and Earth Sciences 6(8): ISSN: 2041-0484, PP. 408-415.
- Casali' J., Loizu J., Campo M.A., De Santisteban L.M. and Lvarez-Mozos J.A'. (2006). **Accuracy of Methods for Field Assessment of Rill and Ephemeral Gully Erosion**, Catena, 67: PP. 128-138.
- Fargas, D., Martinez, J.A, and Poch. R.M. (1997). **Identification of Critical Sediment Source Area at Regional Level**, Journal of Physics & Chemistry of the Earth, 22 (3-4).
- Feng, X. Wang, Y. Cheng, L. Fu, B. Bai, G. (2010). **Modeling Soil Erosion and Response to Land-use Change in Hilly Catchments of the Chinese Loess Plateau**, PP. 118.
- Mopt (1992), **Propuesta del Proyecto de Directrices**, Cuenca Del Ebro., Confederacion Hidrografica Del Ebro-MOPT.
- Rahman, M.R., Shi, Z.H., Chongf, C., (2009), **Soil Erosion Hazard Evaluation: an Integrated Use of Remote Sensing, GIS and Statistical Approaches with Biophysical Parameters towards Management Strategies**, Ecol., Modell, Vol. 220, PP. 1724-1734.
- Sadeghi, S.H.R., S. Aghabeigi Amin, B. Yasrebi, M. Vafakhah and A. Esmaili Saravi. (2005), **Temporal and Spatial Variation of Suspended Sediment Yield of Important Sub-watersheds in Haraz Basin**, Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources of the Caspian, 3: PP. 15-29 (in Persian).