

## مقایسه کارایی مدل WEPP و MPSIAC با مقدار رسوب مشاهده‌ای در برآورد فرسایش خاک و میزان رسوب مطالعه موردی: (حوضه آبخیز گوجان چال نمد استان چهارمحال و بختیاری)

مهدی پژوهش\* - استادیار دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد

پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۰۵/۱۵      تأیید نهایی: ۱۳۹۴/۱۲/۰۷

### چکیده

با توجه به اهمیت منابع آبی در مناطق خشک و نیمه‌خشک، و همچنین مشکلات مربوط به فرسایش و رسوب، تبیین شیوه‌های مدیریتی مناسب ضروری است. فرسایش خاک و تولید رسوب از جمله محدودیت‌های اساسی در استفاده از منابع آب‌و خاک به شمار می‌رود. این تحقیق در حوضه گوجان چال نمد از زیر حوضه‌های زاینده‌رود اجرا گردید. هدف از این پژوهش، ارزیابی کارایی مدل‌های WEPP و MPSIAC در برآورد فرسایش و رسوب می‌باشد. در این تحقیق ابتدا کلیه عوامل مورد نیاز در هر دو مدل، به ترتیب پس از ساختن فایل‌های مربوط به پارامترها، و تعیین امتیاز ۹ عامل مؤثر در هر واحد کاری، جمع‌آوری، و در صورت نیاز اندازه‌گیری، و نهایتاً میزان رسوب ویژه برآورد گردید. خروجی هر دو مدل نشان داد که مقدار رسوب برآورد شده توسط مدل‌های WEPP و MPSIAC به ترتیب ۴/۱۴ و ۹/۱ تن در هکتار در سال می‌باشد. با در دست داشتن مقدار رسوب مشاهده‌ای (۵/۲۷ تن در هکتار در سال) و مقایسه آن با مقدار رسوب برآورد شده توسط دو مدل فوق، و انجام آنالیزهای آماری، نتایج نشان داد که مدل WEPP با داشتن ۲۱ درصد خطای نسبی در برآورد رسوب، دارای خطای کمتر و مدل MPSIAC با ۷۲ درصد خطای نسبی در برآورد رسوب، دارای خطای بیش برآوردی می‌باشد. به‌طور کلی نتایج نشان داد که مدل WEPP کارایی بهتری نسبت به مدل MPSIAC در برآورد رسوب منطقه مورد مطالعه دارد.

واژگان کلیدی: فرسایش و رسوب، مدل WEPP، مدل MPSIAC، گوجان چال نمد، رسوب مشاهده‌ای

## مقدمه

خاک طی فرآیندهای پیچیده‌ای که تحت تأثیر پنج عامل اصلی اقلیم، توپوگرافی، سنگ مادر، پوشش گیاهی و زمان است تشکیل می‌شود در صورت مساعد بودن چهار عامل اولی، زمان طولانی برای تشکیل خاک نیاز است. با توجه به اینکه آب و خاک مهم‌ترین عوامل در تأمین مایحتاج بشری می‌باشند، کوچک‌ترین کم‌توجهی در حفظ و نگهداری این دو خسارات جبران‌ناپذیری را وارد خواهد کرد. فرسایش فرایندی است که در آن، ذرات خاک به وسیله عوامل فرساینده از بستر اصلی خود جدا شده و به کمک یکی از عوامل انتقال‌دهنده به مکان دیگری حمل می‌شود (امیدوار، ۲۰۱۰، ۲۸۸). فرسایش خاک و پیامدهای ناشی از آن، امروزه یکی از مهم‌ترین مشکلات محیطی به شمار می‌رود (ایکوان و همکاران، ۲۰۰۹، ۲۳۶). این پدیده یک مشکل جهانی است که به‌طور جدی منابع آب و خاک را تهدید کرده و در اراضی کشاورزی، به‌عنوان یک بحران زیست‌محیطی جهانی شناخته می‌شود (گیانق دنج و همکاران، ۲۰۰۸، ۵۴). سالیانه مقدار زیادی خاک از سطح حوضه‌های آبخیز به وسیله آب شسته شده و از محل اصلی خود جابجا می‌شود. حجم زیادی از این رسوبات در پشت سدها، آب‌های ساکن، چاله‌های داخلی و یا دریاها و اقیانوس‌ها ته‌نشین می‌گردد. بخش زیادی از این رسوبات در اثر فرسایش خاک حاصلخیز سطحی ایجاد می‌شود که با بررسی و توجه بیشتر به چگونگی پیدایش خاک اهمیت این عنصر طبیعی مشخص خواهد شد (رفاهی، ۱۳۹۰، ۵۵۱). عمده‌ترین دلیل تخریب منابع آب و خاک بر هم خوردن تعادل طبیعی در یک منطقه است که علت اصلی آن دست‌کاری و دخالت انسان در آن است (احمدی، ۱۳۷۸، ۶۸۸). به‌طور کلی باید گفت که نوع بهره‌برداری از زمین و فرسایش رابطه نزدیکی با یکدیگر دارد (مولینا و همکاران، ۲۰۰۷، ۳۵۷) و چنانچه استفاده نامعقولی از زمین به عمل آید، میزان فرسایش به شدت افزایش می‌یابد (صادقی و همکاران، ۲۰۰۸، ۴۶۳). در دهه‌های اخیر بررسی فرسایش تشدید شده، به دلیل پیامدهای نامطلوب زیست‌محیطی و اقتصادی، هدر رفت منابع خاک و اثرات سوء بر کشاورزی پایدار و مدیریت اراضی، اهمیت بسیاری یافته است. مطالعات پیش‌بینی شدت فرسایش خاک، به‌منظور برنامه‌ریزی تعیین کاربری اراضی و حفاظت خاک، بررسی خطرات فرسایش و ارزیابی اثرات تغییر کاربری‌ها اهمیت شایانی دارد (کرک و نیسری، ۲۰۰۶، ۳۵ و رز و همکاران، ۱۹۹۷، ۶۶). برآورد میزان فرسایش و رسوب و اعمال مدیریت مناسب در یک منطقه همانند هر پدیده طبیعی دیگر نیازمند شناخت کامل عوامل تأثیرگذار بر آن است. از آنجایی که پدیده فرسایش و رسوب یکی از پیچیده‌ترین فرآیندهای طبیعی بوده و عوامل زیادی در آن دخیل می‌باشد، شناخت کامل عوامل مؤثر در این پدیده، کاری بسیار مشکل است. مدل MPSIAC یک مدل تجربی می‌باشد که مقدار فرسایش و رسوب را به‌صورت کمی با استفاده از نقش ۹ عامل مهم و مؤثر در فرسایش خاک و تولید رسوب در حوزه آبخیز ارزیابی می‌نماید، اما این مدل فرایندی نبوده، حال آنکه فرسایش و تولید رسوب به‌صورت یک فرایند اتفاق می‌افتاد. دو نظریه متفاوت در تعیین مدل‌های فرایندی در زمینه نحوه فرسایش آبی و ترسیب ذرات جدا شده وجود دارد. دیدگاه اول بر اساس ظرفیت حمل رسوب است، یعنی ته‌نشست رسوب، تنها زمانی رخ می‌دهد که بار رسوب از گنجایش حمل بیشتر باشد. نظریه گنجایش حمل نقش اساسی در ابداع مدل‌های فرسایش و ته‌نشست، از جمله WEPP ایفا می‌کند (فوستر و همکاران، ۱۹۹۵، ۳۵۱). مدل WEPP یک محصول جدید فناوری برآورد فرسایش است که علاوه بر توانایی‌های معادله جهانی، قابلیت‌های زیادی نیز به آن افزوده شده است (یو و رزول، ۱۳۱، ۲۰۰۱). WEPP به معنی پروژه پیش‌بینی فرسایش آبی می‌باشد، مدل WEPP یک مدل کامپیوتری پیشرفته است که می‌تواند میزان فرسایش و رسوب را روی دامنه‌ها و در داخل آبراهه‌ها برآورد کند. این مدل در کاربری‌های کشاورزی، مرتع، جنگل و راه‌ها قابل استفاده می‌باشد (رزمجو، ۱۳۷، ۱۳۸۳). مدل WEPP در دو مکان دامنه و حوضه آبخیز قابل استفاده بوده و قادر است میزان فرسایش، رسوب و روان آب را به‌صورت سال‌های متوالی و یا برای یک رگبار برآورد کند. مدل WEPP یک مدل فرآیندیاب است یعنی مکان‌هایی که ذرات خاک از سطح زمین جدا شده و میزان جدایش، مکان‌هایی که ذرات رسوب نهشته می‌شوند و در نهایت مکان‌هایی که تنها عمل حمل رسوبات انجام می‌شود را بر روی

دامنه و آبراهه مشخص می‌کند. داده‌های اصلی در مدل WEPP (داده‌های موردنیاز برای اجرای دامنه) عبارت‌اند از اقلیم، خاک، مدیریت و شیب، می‌باشند.

در دهه‌های اخیر بررسی فرسایش تشدید شده، خاک، به دلیل پیامدهای نامطلوب زیست‌محیطی و اقتصادی، هدر رفت منابع خاک و اثرات سوء بر کشاورزی پایدار و مدیریت اراضی، اهمیت بسیاری یافته است. مطالعات پیش‌بینی شدت فرسایش خاک، به‌منظور برنامه‌ریزی تعیین کاربری اراضی و حفاظت خاک، بررسی خطرات فرسایش و ارزیابی اثرات تغییر کاربری‌ها اهمیت شایانی دارد (کرک و نیسری، ۲۰۰۶، ۳۵ و همکاران، ۱۹۹۷، ۶۶). کمبود آمار رسوب‌دهی حوضه‌های آبخیز و نیاز کارشناسان به آگاهی از وضعیت فرسایش و رسوب‌دهی حوضه‌ها در نقاط مختلف کشور، استفاده از مدل‌های تجربی را اجتناب‌ناپذیر ساخته است. بسیاری از این مدل‌ها در سایر مناطق و با خصوصیات منطقه‌ای خاص خود ارائه شده‌اند (হারجی وان و همکاران، ۲۰۰۵، ۳۱۵) که کاربرد آن‌ها در سایر مناطق را با خصوصیات متفاوت محدود می‌سازد، لذا ارزیابی مدل‌ها ضروری است.

مدل‌های PSIAC و MPSIAC طی تحقیقات مختلفی در سطح ایران و جهان ارزیابی شده‌اند. در تحقیقی که در حوضه آبخیز لوارک در بالادست سد لتیان در استان تهران به انجام رسید، مشخص شد که متوسط رسوب‌دهی برآوردی از حوضه مورد مطالعه به روش MPSIAC، معادل ۸۵ درصد متوسط رسوب‌دهی حوضه بر اساس اندازه‌گیری مقادیر رسوب‌گذاری در مخزن سد است (طهماسبی پور، ۲۷۹، ۱۳۷۳). در منطقه تیگری کشور اتیوپی، مدل PSIAC از طریق رسوب سنجی مخازن هشت سد ارزیابی شد، نتایج این تحقیق نشان داد که مدل PSIAC دارای تطابق خوب با مقادیر مشاهداتی است (হারجی وان و همکاران، ۲۰۰۵، ۳۱۵). ارزیابی مدل در برآورد رسوب‌دهی شش حوضه آبخیز کوچک و متوسط نشان داد که در سطح ۱٪، اختلاف بین میانگین آمار رسوب به‌دست‌آمده از ایستگاه‌های رسوب‌سنجی و مدل MPSIAC برای چهار حوضه آبخیز معنی‌دار نبوده ولی برای دو حوضه دیگر معنی‌دار است؛ دلیل این اختلاف، دو عامل پستی‌وبلندی و کاربری اراضی بوده است (رزمجو و همکاران، ۱۳۷، ۱۳۸۳).

بررسی منابع نشان می‌دهد که در داخل کشور احمدی و همکاران، ۱۳۸۶ میزان فرسایش و رسوب حوضه آبخیز باراربه نیشابور با سه روش موجود در مدل WEPP یعنی روش‌های دامنه، حوضه آبخیز و مسیرهای جریان برآورد و میزان رسوب به ترتیب ۸/۲۵، ۴/۰۸ و ۱۴/۲۴ تن در هکتار در سال برآورد، و با مقایسه مقدار رسوب برآورد شده با مقدار رسوب مشاهده‌ای (۱۱/۲ تن در هکتار در سال) به این نتیجه رسیدند که دو روش دامنه و مسیرهای جریان، به عدد رسوب مشاهده‌ای نزدیک‌تر بوده و روش‌هایی مناسب برای برآورد فرسایش و رسوب منطقه مورد مطالعه هستند. (محسنی و همکاران، ۲۰۱۱، ۱۰۷) در تحقیقی به مقایسه مدل‌های EPM، MPSIAC، ژئومورفولوژی و هیدروفیزیکی در برآورد فرسایش و رسوب حوضه کسلیان استان مازندران پرداختند، نتایج نشان داد مدل ژئومورفولوژی نسبت به سه مدل دیگر دارای دقت و کارایی بهتری است. (باقرزاده و منصور، ۲۰۱۱، ۲۰۷) میزان بار رسوب تولیدشده را با استفاده از مدل‌های MPSIAC و EPM و سیستم اطلاعات جغرافیایی در مناطق نیمه‌خشک مورد بررسی قرار دادند.

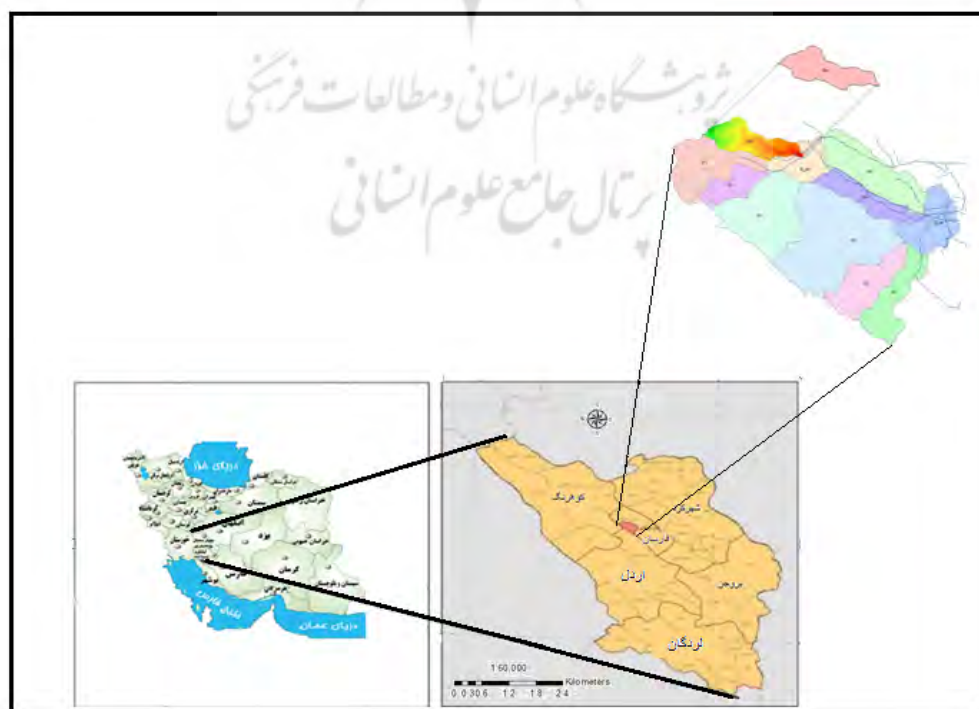
عابدینی (۱۳۹۲) در تحقیق بیان داشت که از میان این سه روش، روش‌های دامنه و حوضه آبخیز و مسیرهای جریان، روش‌های دامنه به مقدار رسوب مشاهده‌ای نزدیک‌تر بوده و نسبت به روش‌های دیگر نتایج قابل‌قبول‌تری را ارائه داده‌اند. (تیواری و همکاران، ۱۳۹، ۲۰۰) مدل WEPP را در ایالات متحده و در ۲۰ مکان مختلف به کمک پلات‌هایی که بر روی دامنه‌های مختلف ایجاد شده بود اجرا کردند، در این تحقیق میزان فرسایش برآورد شده در ۱۲ مکان در محدوده اعتماد ۹۵ درصد قرار گرفت. همچنین (کینکید، ۲۰۰۸، ۵۴) ابراز داشت که این مدل، تمایل به بیش برآورد شدت رواناب و فرسایش دارد. (دفرشا و همکاران، ۲۰۱۲، ۷۲)، به بررسی پتانسیل رسوب و جریان رواناب حوضه رودخانه مارا با مدل‌های WEPP و EROSION 3D پرداختند.

(سینگ و همکاران، ۲۰۱۱، ۲۶۱)، با استفاده از مدل WEPP مقدار رسوب و رواناب یک حوضه آبخیز در هیمالیای شرقی هند برآورد و شبیه‌سازی کردند، نتایج نشان داد که این مدل می‌تواند برای توسعه دادن شیوه‌های مدیریتی در مناطق با بارش‌های زیاد استفاده گردد.

با توجه به این مهم، از آنجاکه بسیاری از این مدل‌ها در سایر مناطق و با خصوصیات منطقه‌ای خاص خود ارائه شده‌اند (هارجی وان و همکاران، ۲۰۰۵، ۳۱۵) که کاربرد آن‌ها در سایر مناطق را با خصوصیات متفاوت محدود می‌سازد، لذا ارزیابی مدل‌ها ضروری است. پژوهش پیش رو باهدف شبیه‌سازی فرسایش و رسوب با استفاده از مدل فرآیندی WEPP و مدل MPSIAC و ارزیابی دقت این مدل‌ها در استفاده در مکان‌های فاقد ایستگاه رسوب سنجی و فاقد آمار انجام گرفته است.

### موقعیت منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه یکی از زیر حوضه‌های منطقه گوجان چال نمد می‌باشد. شکل ۱ نقشه‌ی موقعیت جغرافیایی حوضه گوجان چال نمد و محدوده منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. منطقه مورد مطالعه دارای مساحت  $330/6$  هکتار در ۳ کیلومتری جنوب غربی شهرستان فارس در استان چهارمحال و بختیاری واقع گردیده است. مختصات جغرافیایی این منطقه از  $50$  درجه،  $24$  دقیقه و  $46$  ثانیه تا  $50$  درجه،  $32$  دقیقه و  $11$  ثانیه طول شرقی و  $32$  درجه،  $11$  دقیقه و  $26$  ثانیه تا  $32$  درجه،  $16$  دقیقه و  $34$  ثانیه عرض شمالی می‌باشد، میانگین ارتفاع این منطقه از سطح دریا  $2733$  متر می‌باشد. آب‌وهوای منطقه مرطوب سرد تا بسیار مرطوب فراسرد با متوسط بارش سالیانه  $900/2$  میلی‌متر است که حداقل آن مربوط به تیرماه و حداکثر آن مربوط به آذرماه می‌باشد. سردترین ماه سال دی‌ماه با متوسط حداقل دمای  $15-$  درجه سانتی‌گراد و گرم‌ترین ماه سال تیرماه با متوسط حداکثر دمای  $31/9$  درجه سانتی‌گراد می‌باشد. رژیم رطوبتی و حرارتی منطقه مورد مطالعه با استفاده از نرم‌افزار نیوهال به ترتیب زیریک و مزیک همچنین طبقه‌بندی خاک بر اساس سیستم طبقه‌بندی آمریکایی انتیسول و اینسپتیسول تعیین گردید.



شکل ۱: نقشه‌ی موقعیت جغرافیایی حوضه گوجان چال نمد و محدوده منطقه مورد مطالعه

## مواد و روش‌ها

در این تحقیق از روش ژئومورفولوژی با تلفیق اطلاعات زمین‌شناسی، توپوگرافی و رخساره‌های ژئومورفولوژی (تهیه از طریق تفسیر عکس‌های هوایی و بازدید صحرایی) برای تعیین واحدهای کاری و برداشت اطلاعات مربوط به عوامل مدل WEPP و MPSIAC استفاده گردید.

## روش کار

### - برآورد فرسایش و رسوب با استفاده از مدل WEPP

در روش اجرای مدل WEPP بعد از گردآوری و آماده‌سازی نقشه‌ها و اطلاعات و همچنین کارهای صحرایی مورد نیاز، در مرحله نخست اقدام به ایجاد فایل‌های مورد نیاز مدل گردید. فرایند شبیه‌سازی در سطح منطقه در قالب شیب دامنه (Hill slope) و در بازه‌ی زمانی یک سال صورت گرفت. در مدل WEPP برای برداشت هیچ‌یک از پارامترها عمل متوسط‌گیری انجام نمی‌شود و پارامترها به صورت مطلق اندازه‌گیری می‌شوند. عوامل موجود در مدل WEPP به ترتیب شامل موارد زیر می‌باشد.

- **عامل توپوگرافی:** برای ورود اطلاعات توپوگرافی به مدل از نرم‌افزار GeoWEPP استفاده می‌گردد. از بین عوامل توپوگرافی عامل جهت و درصد شیب انتخاب گردیدند. طول شیب عبارت است از فاصله از نقطه شروع آبدوی تا نقطه‌ای که در آن درجه شیب بحدی کاهش یابد که مواد منتقله به وسیله آب رسوب، و یا به یک نهر یا آب‌برگردان وارد شود. برای تهیه نقشه طول شیب ابتدا نقشه مدل رقومی ارتفاع منطقه مورد مطالعه را پس از فیلتر نمودن آن، با دستور Fill، همسطح می‌نماییم، سپس با دستور Flow direction مسیر جریان را پیکسل به پیکسل مشخص و در انتها با استفاده از دستور Flow Accumulation طول جریان مشخص گردید. پس از رسم شبکه آبراه‌های و دامنه‌های منتهی به آن توسط نرم‌افزار GeoWEPP کل حوضه به چندین دامنه و آبراهه تقسیم شد، اطلاعات شیب به وسیله نقشه مدل رقومی ارتفاع و به صورت پروفیل طولی به جدول موجود در فایل شیب وارد نرم‌افزار گردید.

- **عامل خاک:** در مدل وپ شاخص‌های خاکی مورد نیاز این مدل بر اساس حفر پروفیل تا عمق ۱۲۰ سانتیمتری و مطالعه افق‌های ژنتیکی خاک محاسبه گردیدند سپس مدل وپ یک‌لایه درونی از مشخصات خاک بر اساس اطلاعات اصلی خاک تهیه نموده، که این اطلاعات اصلی عبارت‌اند از: بافت خاک (با نمونه‌گیری از خاک و به روش هیدرومتر)، توان بازتاب یا ضریب البیدو (بر اساس نوع بافت خاک و جداول مربوط به آن در داخل مدل)، سطح اشباع اولیه خاک (بر اساس نوع بافت خاک و دستورالعمل مدل) تعیین می‌گردند، عمق افق‌های خاک، درصد‌های ماسه و رس و مواد آلی و سنگ و سنگریزه، ظرفیت تبادل کاتیونی، که در این تحقیق از تشریح پروفیل و آزمایشات فیزیکی و شیمیایی خاک به دست آمدند. همچنین فرسایش‌پذیری شیلی، فرسایش‌پذیری بین شیلی، نیروی برش بحرانی، قابلیت هدایت هیدرولیکی خاک توسط دستورالعمل‌های موجود در مدل محاسبه شدند.

- **عامل اقلیم:** برای ساختن فایل اقلیم از نرم‌افزاری به نام کلیژن استفاده می‌شود. برای اجرای نرم‌افزار مذکور بایستی اطلاعات مربوط به میزان بارندگی و دمای روزانه شامل متوسط بارندگی ماهانه، انحراف معیار بارندگی، ضریب چولگی بارندگی، احتمال یک روز مرطوب بعد از یک روز خشک، متوسط دمای حداکثر ماهانه، متوسط دمای حداقل ماهانه، انحراف معیار دمای حداکثر ماهانه و انحراف معیار دمای حداقل ماهانه را به دست آورد.

تمام این موارد از داده‌های آماری ایستگاه هواشناسی کلیماتولوژی جونقان که نزدیک‌ترین ایستگاه به حوضه مورد مطالعه می‌باشد، دریافت، و بعد از تبدیل آن به فرمت مورد نیاز برنامه کلپشن، مورد استفاده قرار گرفتند.

- فایل مدیریت و پوشش گیاهی: این فایل نیز، شامل مجموعه‌ای از شیوه‌های مدیریتی و خصوصیات گیاه و روش‌های خاک‌ورزی مورد استفاده در منطقه است. در پنجره عامل مدیریت، نوع عملیات و تاریخ آن و توضیحات مربوطه را وارد، و گزینه‌های مربوط به مدیریت کشاورزی، مرتع، جنگل انتخاب گردید، هریک از عوامل فوق با توجه به نوع مدیریت و پوشش گیاهی غالب، وارد فایل مربوطه شده و به نام آن مدیریت ذخیره می‌شود. لایه‌های اطلاعاتی شامل: نقشه خاک، پوشش زمین (مدیریت)، اطلاعات اقلیمی، بعد از تهیه وارد محیط نرم‌افزاری WEPP گردید و سپس شبیه‌سازی فرسایش و رسوب صورت گرفت.

### برآورد فرسایش و رسوب با استفاده از مدل MPSIAC :

در مدل MPSIAC با استفاده از نقشه‌های پایه و سایر اطلاعات و نقشه‌های موجود و کنترل موقعیت‌های واحدهای کاری در طبیعت امتیاز ۹ عامل مؤثر مدل در هر واحد کاری تعیین و با جمع کردن عوامل، میزان درجه رسوب‌دهی (R) تعیین و نهایتاً با قرار دادن میزان درجه رسوب‌دهی تعیین و با استفاده از رابطه ۱ میزان رسوب حوزه برآورد گردید. عوامل مدل MPSIAC در جدول زیر ارائه گردیده است.

(۱)

$$R = 0.353 e^{0.253 Q_s}$$

R = درجه رسوب‌دهی یا مجموع نمرات عوامل نه گانه مدل

e = عدد نپرین

Q<sub>s</sub> : میزان تولید رسوب (تن در هکتار در سال)

جدول ۱: عوامل مدل MPSIAC و نحوه امتیازدهی به آن

ردیف	عوامل مؤثر در فرسایش خاک و تولید رسوب	نحوه محاسبه امتیاز به روش MPSIAC	شرح پارامتر
۱	عامل زمین‌شناسی		$Y_1$ : امتیاز حساسیت سنگ به فرسایش آبی
۲	عامل خاک		$K$ : همان عامل فرسایش‌پذیری خاک در معادله USLE می‌باشد.
۳	عامل آب‌وهوا		$P_2$ : بارندگی 6 ساعته با دوره برگشت 2 ساله
۴	عامل روان آب		$R$ و $Q_p$ : (حجم هرز آب سالانه * ۳۰/۱۰۰ + دبی پیک سالانه به مترمکعب بر ثانیه در کیلومتر مربع * ۵۰)
۵	عامل پستی و بلندی		$S$ : شیب متوسط حوضه بر حسب درصد
۶	عامل پوشش زمین		$P_b$ : درصد زمین لخت
۷	عامل کاربری اراضی		$P_c$ : درصد تاج پوشش
۸	عامل وضعیت فعلی فرسایش		$S, S_o, f$ : وضعیت سطح خاک و فرسایش با استفاده از روش B.L.M انجام گرفته، جهت تعیین این ضریب هفت عامل دخالت داده شده‌اند که عبارت‌اند از ۱- فرسایش سطحی ۲- لاشبرگ سطحی ۳- پوشش گیاهی ۴- آثار تخریب خاک و گیاه ۵- فرسایش شیبی و ابعاد آن ۶- جریان‌های سطحی و رسوبات آن ۷- اشکال فرسایش خندقی (گالی) و درصد آن، به عبارت دیگر مجموع امتیازات مدل B.L.M
۹	عامل فرسایش رودخانه‌ای		$X_9$ = امتیاز فرسایش خندقی در مدت B.L.M

پس از مشخص شدن ارزش کمی عوامل ۹ گانه در حوضه آبخیز مورد مطالعه، امتیازهای هر عامل باهم جمع و سپس درجه رسوب‌دهی کل حوضه تعیین گردید.

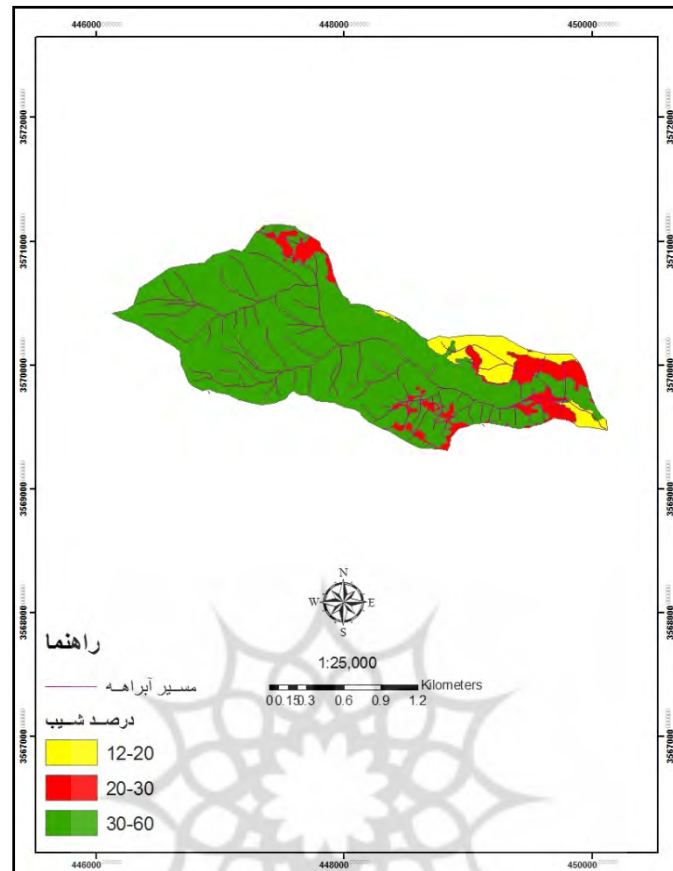
### یافته‌ها

نقشه ۲ واحدهای زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. با توجه به این نقشه، در منطقه، سه نوع واحد زمین‌شناسی شامل: سیلت استون با لایه تبخیری (E)، آهک مارنی (K)، و آهک اوربی تولین دار مارنی (EO)، در منطقه مورد مطالعه مشاهده گردید که ۸۳/۵ درصد از منطقه مورد مطالعه آهک مارنی، ۱۳/۵۵ درصد آهک اوربی تولین دار مارنی و ۱۲/۵ درصد سیلت استون با لایه تبخیری می‌باشد. با توجه به واحدهای فوق بخش اعظم منطقه حساس به فرسایش می‌باشد.



شکل ۲: نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

شکل ۳ نقشه شیب منطقه مورد مطالعه نشان داده شده است. در منطقه سه کلاس شیب شامل شیب ۱۲ تا ۲۰ درصد، ۲۰ تا ۳۰ درصد و ۳۰ تا ۶۰ درصد وجود دارد که به ترتیب ۶، ۱۰/۶، و ۸۳/۴ درصد از مساحت کل منطقه را به خود اختصاص داده است. شیب متوسط حوزه ۳۷/۷ درصد می‌باشد.



شکل ۳: شیب حوزه مورد مطالعه

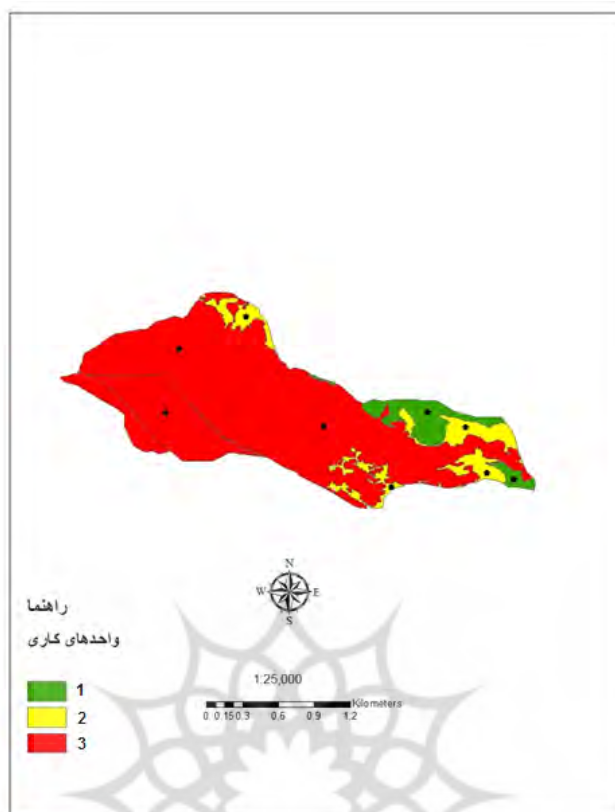
در جدول ۲ مشخصات فیزیوگرافی و توپوگرافی حوزه آبخیز گوجان چال نمد را نشان می‌دهد. این حوزه دارای شکل کشیده و زمان تمرکز حوزه ۲۵/۶ دقیقه می‌باشد.

جدول ۲: مشخصات فیزیوگرافی و توپوگرافی حوزه آبخیز گوجان چال نمد

مساحت (ha)	محیط (km)	ارتفاع مینیمم (m)	ارتفاع ماکزیمم (m)	ارتفاع متوسط (m)	شیب متوسط %	شیب متوسط آبراهه اصلی %	طول آبراهه اصلی (km)	ضریب هورتون F	ضریب گراولیوس	نسبت گردی میلر	نسبت طولی شوم	کریچ (دقیقه)
۳۳۰/۶	۱۳	۲۴۱۸/۲	۳۰۴۹	۲۶۷۰/۷	۳۷/۷	۱۷/۷	۴/۵۹	۰/۱۹	۱/۵۳	۰/۲۳	۰/۵	۲۵/۶

شکل ۴ محل پروفیل‌ها را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد به‌طور کلی در منطقه ۹ پروفیل حفر گردید که بعد از نمونه‌گیری از هر لایه خاک و تهیه نمونه مرکب از هر واحد همگن نمونه‌های خاک به آزمایشگاه منتقل گردیدند و کلیه عوامل مورد نیاز مدل‌ها اندازه‌گیری شد.





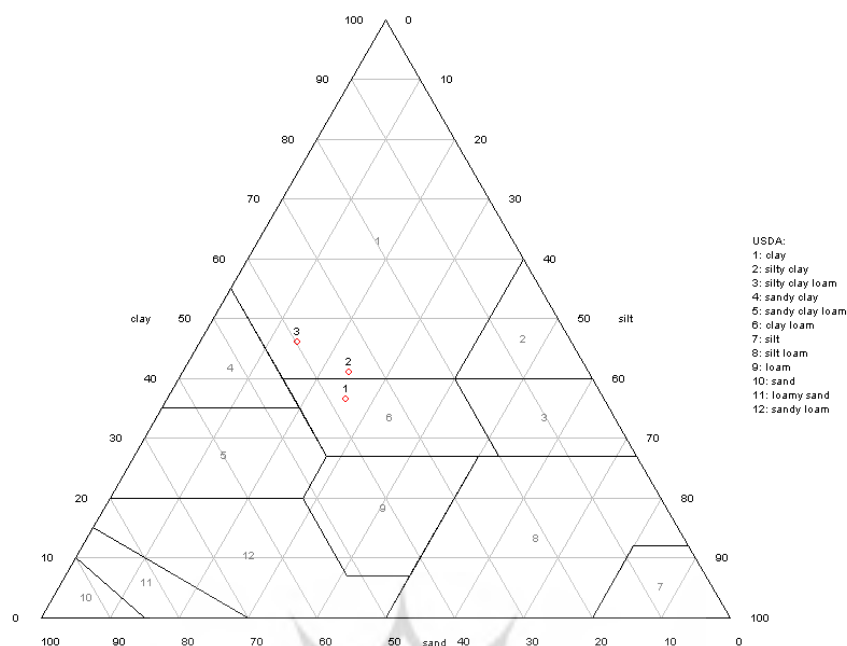
شکل ۴: محل حفر پروفیل‌های خاک در منطقه مورد مطالعه

جدول ۳ کلیه خصوصیات نمونه‌های خاک برداشته شده از محل پروفیل‌ها پس از اندازه‌گیری در آزمایشگاه نشان می‌دهد. در این منطقه بافت خاک از رسی در واحد کاری ۲ و ۳ تا لوم رسی در واحد کاری ۱ متغیر می‌باشد. متوسط درصد ماده آلی در منطقه مورد مطالعه ۱/۴۴ درصد، متوسط درصد سنگ و سنگریزه ۱۳ درصد و متوسط ظرفیت تبادل کاتیونی ۳۹/۱ میلی‌اکی‌والان در ۱۰۰ گرم خاک به دست آمد.

جدول ۳: مشخصات خاک حوضه آبخیز گوجان چال نمد

واحد‌کاری	عمق (سانتی‌متر)	شن (%)	رس (%)	سیلت (%)	بافت خاک	مواد آلی (%)	ظرفیت تبادل کاتیونی (میلی اکی‌والان در ۱۰۰ گرم خاک)	درصد سنگ و سنگریزه (%)
۱	۲۵/۴	۳۷/۴	۳۶/۵	۲۶/۱	لوم رسی	۳	۳۸/۵	۲/۵
۲	۱۱۴/۳	۳۴/۷	۴۱	۲۴/۳	رسی	۱	۳۹	۲/۹
۳	۱۷۲/۷	۳۹/۸	۴۶	۱۴/۲	رسی	۰/۳۳	۴۰	۳۴/۱

در جدول ۲ نتایج آزمایش‌ها و عوامل محاسبه شده فایل خاک در حوضه آبخیز گوجان چال نمد نشان داده شده است.



شکل ۵: نوع بافت نمونه‌های خاک هر واحد کاری در مثلث بافت خاک

در شکل ۵ مثلث بافت خاک مربوط به منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. نمونه خاک‌های واحد کاری ۲ و ۳ دارای بافت رسی و سنگین و خاک واحد کاری ۱ دارای بافت متوسط می‌باشند. با توجه به مثلث بافت خاک منطقه از نظر وضعیت بافت خاک دارای نفوذپذیری ضعیف و از نظر وضعیت فرسایش، حساس به فرسایش می‌باشد.

جدول ۴ نتایج حاصل از محاسبات پارامترهای اقلیمی مورد نیاز برای فایل اقلیم در حوضه آبخیز گوجان چال نمود را نشان می‌دهد. در منطقه مورد مطالعه با توجه به آمار هواشناسی دارای متوسط بارندگی سالانه، متوسط حداکثر دما، متوسط حداقل دما، متوسط دمای ماهانه، به ترتیب ۹۰۰/۲۱ میلی‌متر در سال، ۱۳/۰۳ به درجه سانتی‌گراد، ۳/۹ به درجه سانتی‌گراد، و ۴/۵۱ به درجه سانتی‌گراد می‌باشد.

جدول ۴: نتایج عوامل محاسبه شده برای فایل اقلیم در حوضه آبخیز گوجان

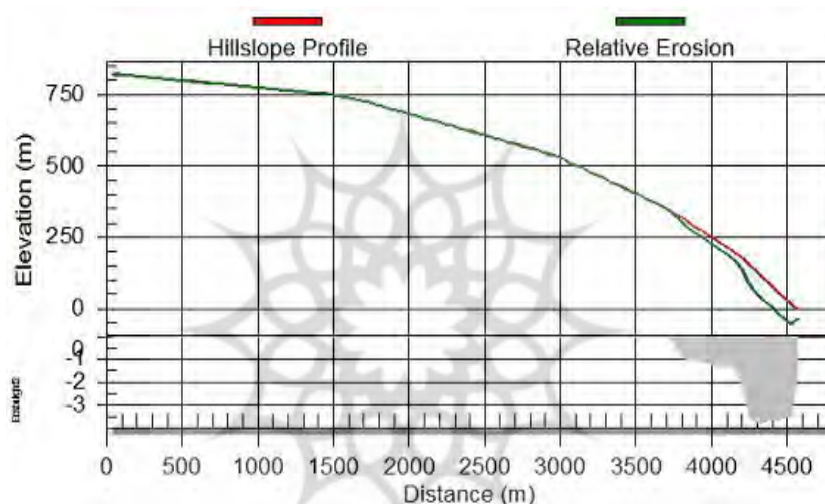
پارامترها	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	سالانه
A	۱۱/۰۲	۹۵/۲۸	۱۷۶/۲۷	۱۴۵/۴۶	۱۱۹/۶۱	۱۵۹/۷۶	۱۲۴/۶۴	۶۱/۶۲	۲/۸۳	۰/۱۵	۲/۲۳	۱/۳۵	۹۰۰/۲۱
B	۱۵/۷۷	۹/۲۱	۳/۵۲	۰/۶۵	۰/۸۶	۴/۹۵	۱۰/۷۸	۱۵/۹۷	۲۲	۲۵/۸	۲۵/۵۷	۲۲/۵۶	۱۳/۰۳
C	۳/۶۴	۶/۸۸	۱۰/۷۹	۱۴/۹۳	۱۳/۶۱	۸/۴۹	۳/۲۸	۰/۶۸	۲/۳۶	۶/۱۲	۵/۴۹	۱/۹۳	۳/۹
D	۵/۸۲	۱/۱۵	۳/۵۸	۷/۷	۶/۴	۱/۷۳	۳/۸۱	۸/۰۶	۱۲/۰۵	۱۵/۸۴	۱۵/۲۱	۱۱/۵۵	۴/۵۱

A: متوسط بارندگی به میلی‌متر، B: متوسط حداکثر دما به درجه سانتی‌گراد، C: متوسط حداقل دما به درجه سانتی‌گراد و D: متوسط دمای ماهانه به درجه سانتی‌گراد

با توجه به شرایط منطقه مورد مطالعه (مرتج) و همچنین بازدید به عمل آمده در منطقه هیچ گونه عملیات مدیریتی از جمله: شخم و شیار، تراس، کاشت گیاه مشاهده نگردید. در منطقه مذکور تنها چرای دام به مدت ۴/۵ ماه که تاریخ شروع آن ۱۵ اردیبهشت ماه بود انجام گردیده است و با توجه به اطلاعات گیاه‌شناسی مناسب‌ترین گزینه مربوط به آن گراس‌های بلند انتخاب و درصد هضم پذیری برابر ۰/۵ در نظر گرفته و در فایل مربوط به مدیریت اعمال شد.

### شبیه‌سازی فرسایش و رسوب با استفاده از روش WEPP

نتایج شبیه‌سازی فرسایش و رسوب در سطح کل حوضه و در قالب شیب دامنه در شکل ۳ نمایش داده شده است. مقادیر کمی پارامترهای مرتبط با فرسایش و رسوب در سطح حوضه در جدول ۴ ارائه گردیده است.



شکل ۳: نتایج شبیه‌سازی فرسایش و رسوب در قالب یک Hill slope

در شکل بالا نمودار با خط قرمز پروفیل دامنه و نمودار پایین آن فرسایش نسبی را نشان می‌دهد. همان‌طور که نمایش داده شده است پروفیل دامنه به شکل محدب است و در قسمت‌های پایین‌تر دامنه میزان فرسایش و به عبارتی دیگر کنده شدن ذرات بیش‌تر می‌باشد. با توجه به محدب بودن دامنه، با افزایش شیب، در انتهای دامنه بیشترین فرسایش و رسوب مشاهده می‌گردد. در حقیقت بیشترین جداسازی در فاصله ۳۷۰۰ متری رأس دامنه اتفاق افتاده است. علت آن می‌تواند ناشی از افزایش حجم آب و افزایش سرعت آب و در نتیجه افزایش انرژی جنبشی آب در پایین‌دست دامنه باشد. با توجه به جدول ۵، مقدار فرسایش ویژه، فرسایش کل و رسوب ویژه و رسوب کل با استفاده از مدل WEPP به ترتیب ۷/۷، ۲۵۳۵/۸، ۴/۲۵۳۵، ۴/۸ و ۱۳۷۰/۴ به دست آمد.

جدول ۵: نتایج حاصل از برآورد فرسایش و رسوب حوضه آبخیز گوجان چال نمد با مدل WEPP

در روش دامنه	نوع پارامتر
۷/۷	فرسایش ویژه (t/ha/yr)
۲۵۳۵/۸	فرسایش کل (t/yr)
۴/۱۴	رسوب ویژه (t/ha/yr)
۱۳۷۰/۴	رسوب کل (t/yr)

## شبیه‌سازی فرسایش و رسوب با استفاده از روش MPSIAC

میزان فرسایش و رسوب منطقه بر اساس روش MPSIAC در جدول زیر ارائه شده است. لازم به ذکر است که به توجه به اینکه مدل MPSIAC در مناطق پوشیده از تخته‌سنگ عدد مناسبی را برآورد نمی‌نماید ولی این مناطق در فاکتورهای مانند دبی و سرعت آب حائز اهمیت می‌باشند، لذا عدد رسوب‌دهی اولیه (R) با لحاظ کلیه فاکتورها محاسبه و سپس این عدد در زیر حوضه برحسب قرارگیری درصد مساحت رخنمون سنگی و لحاظ فاکتورهای کارشناسی توسط ضریب اصلاحی (CF) مورد تصحیح قرار گرفت و عدد رسوب‌دهی نهایی (R total) تعیین گردید. در جدول ۶ امتیاز کلیه عوامل مدل MPSIAC، رسوب ویژه، مقدار رسوب ویژه حجمی برحسب تن در هکتار در سال و مقدار وزنی رسوب ویژه محاسبه شده است.

جدول ۶: امتیاز عوامل ۹گانه و رسوب ویژه در مدل MPSIAC

عوامل MPSIAC	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7	Y8	Y9	R	Q <sub>s</sub>	CF	P	Q <sub>sw</sub>
امتیاز	۵/۳	۴/۵	۴۲/۳	۵/۲	۱۲/۴	۴/۶	۱۲	۱۳/۳	۰	۹۹/۶	۷	۱	۱/۳۴	۹/۱

R: مجموع امتیازات، Q<sub>s</sub>: حجم رسوب ویژه برحسب مترمکعب در هکتار در سال، P: جرم حجمی رسوب برحسب تن در مترمکعب، Q<sub>sw</sub>: مقدار رسوب ویژه برحسب تن در هکتار در سال.

همان‌طور که از جدول ۶ مشاهده می‌گردد مقدار تولید رسوب سالانه ۷۰۰ مترمکعب در کیلومترمربع در سال می‌باشد، که مطابق جدول ۷، کلاس شدت رسوب‌دهی زیر حوضه مورد مطالعه در محدوده زیاد قرار می‌گیرد.

جدول ۷: تعیین میزان تولید رسوب سالانه و کلاس فرسایش خاک در روش MPSIAC

طبقه رسوب‌دهی و فرسایشی	شدت رسوب‌دهی	تولید رسوب سالانه (مترمکعب در کیلومترمربع)	مجموع امتیازات
V	خیلی زیاد	> ۱۴۲۹	> ۱۰۰
IV	زیاد	۴۷۶-۱۴۲۹	۷۵-۱۰۰
III	متوسط	۲۳۸-۴۷۶	۵۰-۷۵
II	کم	۹۵-۲۳۸	۲۵-۵۰
I	خیلی کم	< ۹۵	< ۲۵

## مقدار رسوب مشاهده‌ای

برای اندازه‌گیری مقدار رسوب مشاهده‌ای از آمار نزدیک‌ترین ایستگاه که از نظر خصوصیات زمین‌شناسی و توپوگرافی و فیزیوگرافی شبیه به منطقه مورد مطالعه استفاده گردید. مقدار رسوب ویژه مشاهده‌ای بر اساس آمار ۵ سال ایستگاه تنگ درکش ورکش، ۵/۲۷ تن در هکتار در سال محاسبه شد. برای بررسی صحت پیش‌بینی‌های انجام شده به کمک مدل‌های WEPP و MPSIAC یکی از مناسب‌ترین روش‌ها این است مدل که به کمک آمار مشاهده‌ای یک محدوده قابل قبول برای اعداد پیش‌بینی شده تعیین شود. چنانچه عدد برآورد شده در این محدوده قرار گرفت، صحت پیش‌بینی در محدوده اطمینان تعیین شده می‌باشد (۱۲ و ۵). این امر نیازمند وجود آمار از چندین ایستگاه هیدرومتری است. در منطقه مورد مطالعه تنها یک ایستگاه هیدرومتری آن‌هم در خروجی حوضه اصلی (منطقه مورد مطالعه یکی از زیر حوضه آن

می‌باشد) وجود دارد. بنابراین با وجود یک ایستگاه نمی‌توان از نظر آماری محدوده اطمینانی را مشخص کرد. از این رو در این تحقیق تنها ارقام پیش‌بینی شده با آمار مشاهده‌ای مقایسه شد. با توجه به هدف اصلی پژوهش که ارزیابی کارایی مدل‌های WEPP و MPSIAC در برآورد فرسایش و رسوب یکی از زیر حوضه آبخیز گوجان چال نمد می‌باشد، به همین دلیل ابتدا مقدار فرسایش خاک و تولید رسوب سالانه منطقه مورد مطالعه با دو مدل فوق برآورد شد و سپس نتایج این دو مدل با رسوب اندازه‌گیری شده در حوضه آبخیز مورد نظر برای ارزیابی کارایی هر یک از مدل‌های استفاده‌شده در پژوهش، مقایسه شد.

### بررسی مدل‌های WEPP و MPSIAC، با مقدار بار رسوب مشاهده‌ای

جدول ۸ نتایج مقایسه WEPP و MPSIAC، با مقدار بار رسوب مشاهده‌ای را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌گردد، مقدار رسوب برآورد شده با استفاده از مدل WEPP و MPSIAC در حوزه مورد مطالعه به ترتیب ۹/۴ و ۴/۱۴ تن در هکتار در سال به دست آمده است با مقایسه مقادیر رسوب ویژه اندازه‌گیری شده و به دست آمده از مدل‌های WEPP و MPSIAC، مدل WEPP با داشتن ۲۱ درصد خطا در برآورد رسوب، برآورد نزدیکی به مقدار رسوب ویژه اندازه‌گیری شده دارد و مدل MPSIAC با ۷۸ درصد خطا در برآورد رسوب، دارای خطای بیش برآوردی می‌باشد.

جدول ۸: مقایسه آمار مشاهده‌ای رسوب با مقادیر برآورد شده با دو مدل WEPP و MPSIAC

نوع پارامتر	مقدار مشاهده‌ای (اندازه‌گیری)	روش دامنه	روش MPSIAC
رسوب ویژه (t/ha/y)	۵/۲۷	۴/۱۴	۹/۱
رسوب کل (t/y)	۱۷۴۲/۳۱	۱۳۷۰/۳۸	۳۱۰۷/۷۳
خطای نسبی	-	٪۲۱	٪۷۲

### بحث و نتیجه‌گیری کلی

فرسایش خاک یکی از معضلاتی است که در سالیان اخیر به علت عدم استفاده از روش‌های مدیریتی مناسب رو به افزایش می‌باشد. از آنجاکه بیشتر حوضه‌های آبخیز کشور فاقد ایستگاه‌های رسوب سنجی و یا کمبود و نامناسب بودن آمار می‌باشند، لذا استفاده از مدل‌های فرسایش و رسوب به علت سادگی و کم‌هزینه بودن معمول گردیده است. لذا نکته‌ای که در استفاده از مدل‌ها باید مدنظر قرار گیرد وارداتی بودن مدل‌ها و عدم اعتبار سنجی آن‌ها می‌باشد که بررسی صحت و دقت مدل‌ها از نظر آماری در برآورد مقدار رسوب ضروری است. با توجه به نتایج به دست آمده از این تحقیق، مشاهده می‌گردد مدل MPSIAC هرچند که از تعداد متغیر بیشتری در برآورد تولید رسوب استفاده می‌نماید اما مقدار رسوب برآوردی از این مدل ۱/۷ برابر مقدار رسوب مشاهده‌ای و در حدود ۷۲ درصد خطا نسبت به مقدار مشاهده‌ای می‌باشد. حال آنکه مدل WEPP با ۲۱ درصد خطا برآورد نزدیک‌تری به مقدار رسوب مشاهده‌ای دارد. که نتایج تحقیق، اسدی و همکاران (۱۳۸۶، ۵۵۳) تمایل مدل WEPP در بیش برآورد مقادیر کوچک و کم برآورد مقادیر بزرگ را گزارش کردند. برخی از این محققان به لزوم واسنجی این مدل به منظور برآورد مطلوب‌تر اشاره داشته‌اند (یو و همکاران، ۲۰۰۰، ۵۳۷؛ پیری و همکاران، ۲۰۰۷، ۸۴). کمبود و نامناسب بودن آمار یکی از مسائلی است که استفاده از مدل‌های مختلف از جمله مدل WEPP را با مشکل مواجه می‌کند. دو نمونه از مشکلات ناشی از کمبود یا نامناسب بودن آمار در این تحقیق به قرار ذیل است.

به دلیل فقدان ایستگاه هواشناسی در ارتفاعات بالاتر، فایل اقلیم برای تمام منطقه با استفاده از اطلاعات ایستگاه کلیماتولوژی جونقان ساخته شده است. کمبود آمار در دبی‌های بالا و عدم کیفیت مناسب آمار رسوب که در بیشتر ایستگاه‌های هیدرومتری کشور از جمله ایستگاه جونقان وجود دارد، امکان محاسبه دقیق میزان رسوب را فراهم نمی‌آورد. هرچند این مدل دارای محاسنی می‌باشد که آن را از دیگر مدل‌ها متمایز می‌نماید. در بسیاری از مدل‌هایی که هم‌اکنون برای اندازه‌گیری میزان فرسایش و رسوب مورد استفاده قرار می‌گیرد، بسیاری از پارامترها خصوصاً پارامتر شیب به صورت متوسط برای یک واحد کاری ارائه می‌شود (احمدی و همکاران، ۱۳۸۶، ۷۲). در بسیاری از موارد متوسط گیری باعث تعدیل یک پارامتر شده که خود موجب بروز خطا در برآورد فرسایش و رسوب می‌شود. همچنین ورود اطلاعات شیب به صورت پروفیل طولی سبب می‌شود مدل در هر بخش از دامنه میزان فرسایش یا نهشته شدن را مشخص کند. این مسئله در تعیین نوع و مکان اعمال مدیریت بر روی دامنه کمک شایانی می‌نماید. همچنین در مدل WEPP هیچ‌گونه محدودیتی برای مقیاس مطالعه، دقت اطلاعات ورودی و نوع منطقه مطالعاتی وجود ندارد. در اغلب مدل‌های موجود برای برآورد میزان فرسایش و رسوب چنانچه نیاز به پارامترهای پوشش گیاهی باشد، محقق معمولاً تنها یک بار و ترجیحاً در فصل رویش، در منطقه حاضر شده و اطلاعات مورد نیاز را جمع‌آوری می‌کند. این در حالی است که روند رشد گیاهان در مراتع، گوناگون است. دوران رشد برخی از گیاهان یک‌ساله ممکن است تنها دو یا سه ماه طول بکشد در حالی که گیاهان بوته‌ای یا درختچه‌ای روند رشد متفاوتی دارند. بنابراین چنانچه پارامترهای گیاهی همانند درصد پوشش، ارتفاع پوشش، درصد لاشبرگ تنها یک بار در سال اندازه‌گیری شود وضعیت این پارامترها در سایر اوقات سال در نظر گرفته نمی‌شود و اعداد بدست آمده در یک تاریخ به عنوان میزان پارامترهای اندازه‌گیری شده با استفاده از پاره‌ای در کل سال در نظر گرفته می‌شود. اما مدل WEPP اطلاعات گیاهی و اقلیمی روند رشد گیاهان را در تمام طول سال برآورد کرده و مورد استفاده قرار می‌دهد. برآورد میزان فرسایش و رسوب در بخش‌های مختلف حوزه آبخیز به صورت مجزا و عدم دخالت سلیقه کارشناس در تعیین عوامل مورد نیاز از ویژگی‌های دیگر مدل WEPP می‌باشد. نتایج این تحقیق با نتایج تحقیق (یوکسل و همکاران، ۲۰۰۷، ۱۱) و (لاندی و همکاران، ۲۰۱۱، ۷۶۱) که نشان از دقت بهتر مدل WEPP دارد همخوانی دارد. در تحقیقات دیگری که توسط (برون برگو همکاران، ۱۹۹۹، ۱۷۴۱) و (الیوت، ۲۰۰۴، ۲۹۹) انجام گرفته است نیز نشان از دقت مدل WEPP در سطح ۹۵ درصدی می‌باشد. زیرا مدل WEPP یک مدل فرایند یاب بوده، یعنی مکان‌هایی که ذرات خاک از سطح زمین جدا شده‌اند و مکان‌هایی که ذرات رسوب نهشته می‌شوند و در نهایت مکان‌هایی که تنها عمل حمل رسوبات، انجام می‌شود را بر روی دامنه و آبراه‌ها مشخص می‌کند. (احمدی و همکاران، ۱۳۸۶، ۷۲) نیز، نتیجه گرفتند که استفاده از روش دامنه مدل WEPP در برآورد مقدار فرسایش و رسوب نتایج نزدیک‌تری را به مقدار مشاهده‌ای ارائه می‌نماید.

### قدردانی

این مقاله بخشی از نتایج طرح پژوهشی دانشگاه شهرکرد است که بدین وسیله از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه شهرکرد برای حمایت مالی از این طرح تشکر می‌شود.

### منابع

- احمدی، حسن، ۱۳۷۸، ژئومورفولوژی کاربردی، فرسایش آبی، انتشارات دانشگاه تهران، ص ۶۸۸.
- احمدی، حسن، و محمد جعفری و علی گلکاریان، و الهام السادات ابریشم، و جان لافلن. ۱۳۸۶ برآورد فرسایش و رسوب با استفاده از مدل WEPP مطالعه مورد در حوزه آبخیز باراریه نیشابور، مجله پژوهش و سازندگی، ش ۷۵، ص ۱۶۱-۱۷۲

- اسدی، حسین و حسن روحی پور، حسینقلی رفاهی و مهدی شرفا. ۱۳۸۶. ارزیابی مدل *WEPP* برای برآورد فرسایش بین شیاری در شرایط آزمایشگاهی. مجله علوم کشاورزی ایران. جلد ۳۸، شماره ۴، ص. ۵۵۳-۵۶۳.
- جعفری، محمد و فریدون سرمیدیان، ۱۳۸۲؛ مبنای خاک‌شناسی و رده‌بندی خاک، انتشارات دانشگاه تهران، ص. ۷۸۸.
- رفاهی، حسینقلی ۱۳۹۰؛ فرسایش آبی و کنترل آن، انتشارات دانشگاه تهران ص ۵۵۱.
- مجله: رزمجو پیمان و نادر بیرویدیان امیرحسین چرخابی، ۱۳۸۳، بررسی کارایی مدل پسیاک اصلاح‌شده در برآورد میزان رسوبدهی ناحیه البرز جنوبی. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، جلد ۱۱، شماره ۱، ص ۱۳۷-۱۴۶.
- طهماسبی پور، ناصر، ۱۳۷۳، کاربرد و ارزیابی مدل جدید پسیاک برای تهیه نقشه فرسایش و رسوب در حوزه آبخیز جاجرود (لوارک) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و سیستم اطلاعات جغرافیایی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، استاد راهنما: محمد نجفی دیسفانی، استاد مشاور: محمد مهدوی، مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، ص ۲۷۹.
- عابدینی، موسی و سوسن طولابی. ۱۳۹۲. مقایسه کارایی مدل‌های *WEPP* و *EPM* در برآورد فرسایش خاک و میزان رسوبدهی حوضه آبخیز سولاچای. مجله پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی سال دوم، شماره ۱، ص ۷۹-۹۶
- Bagherzade, A., Mansouri Daneshvar, M. R, 2011, Sediment Yield Assessment by EPM and PSIAC Models Using GIS Data in Semi-Arid Region, *Front, Earth Sci*, Vol. 5, No. 2, PP. 207-216
- Bjorneberg, D.L., T.J. Trout, R.E. Sojka, and J.K. Aase, 1999; *Evaluating WEPP-Predicted infiltration, runoff, and soil erosion for furrow Irrigation. T. Am. Soc. Agric. Engr.* 42(6): 1733-1741.
- Croke, J. and Nethery, M., 2006, *Modelling Runoff and Soil Erosion in Logged Forests: Scope and Application of Some Existing Models*, *Catena*, Vol. 67, No. 1, PP. 35-49.
- Defersha, M. B., Melesse, A. M., McClain, M. E., 2012, Watershed Scale Application of WEPP and EROSION 3D Models For Assessment of Potential Sediment Source Areas and Runoff Flux in the Mara River Basin, Kenya, *Catena*, Vol. 95, PP. 63-72.
- Ekwue, E.I., Bharat, C., and Samaroo, K., 2009, *Effect of Soil Type, Peat and Farmyard Manure Addition, Slope and Their Interactions on Wash Erosion by Overland Flow of Some Trinidadian Soils*, *Biosystems Engineering*, Vol. 102, No. 2, PP. 236-243.
- Elliot, W.J., 2004; *WEPP internet interfaces for forest erosion prediction. Journal of the American Water Resources Association (JAWRA)* 40(2):299-309
- Foster, G.R., Flanagan, D.C., Nearing, M.A., Lane, L.J., Risse, L.M. and Finkner, S.C. 1995, *USDA-Water Erosion Prediction Project: Hillslope Profile and Watershed Model Documentation, NSERL Report No. 10, USDA-ARS National Soil Erosion Research Laboratory, West Lafayette, Indiana.*
- Haregeweyn, N., J. Poesen, J. Nyssen, G. Verstraeten, J.D. Vente, G. Govers, S. Deckers and J. Moeyersons. 2005. *Specific sediment yield in Tigray-Northern Ethiopia: Assessment and semi quantitative modeling. Geomorphology*, 69:315-331.
- Landi, A., Barzegar, J., Sayadi, L. and khademalrasoul, A., 2011, *Assessment of Soil Loss Using WEPP Model and Geographical Information System, Journal of SpatialHydrology*, Vol.11, No.1, PP. 40-51.

- Merrit, W.S., Letcher, R.A. and Jakeman, A.J. 2003, *A Review of Erosion and Sediment Transport Models, Environmental Modelling and Software*, Vol. 18, No. 8-9, PP. 761- 799.
- Mohseni, B., Ghodosi, J., Ahmadi, H., Tahmasebi, R., 2011, the Evaluation the Accuracy and Efficiency EPM, MPSIAC, Geomorphology and Hydrophysical Models in Estimate Erosion and Sediment (Reagent Watershed: Kasilian of Mazandaran Province), *Geography and Development Quarterly, Environment Hazards*, Vol. 9, No. 22, PP.107-127.
- Molina, A., Govers, G., and Vanacker, V., Poesen, J., Zeelmaekers, E., and Cisneros, F., 2007, *Runoff Generation in a Degraded Andean Ecosystem: Interaction of Vegetation Cover and Land Use, Catena*, Vol. 71, No. 2, PP. 357-370.
- Omidvar, K., 2010, *Introduction to Soil Conservation and Watershed, Second Edition, Yazd University Press, Yazd.* (in Persian)
- Qiang Deng, Z., De Lima, Joao, L.M.P., and Shin Jung, H. 2008. *Sedimenttransport Rate- Based Model For Rainfall-Induced Soil Erosion, Catena*, Vol. 76, No. 1, PP. 54-62.
- *Proceeding: Rose, C.W., Coughlan, K.J., Ciesiolka, L.A.A. and Fentie, B., 1997, a New Soil Conservation Methodology and Application to Cropping Systems in Tropical Steeplands, Australian Centre for International Agricultural Research, Canberra.*
- Pieri, L., M. Bittelli, J.Q. Wu, S. Dun, D.C. Flanagan, P.R. Pisa, F. Ventura, and F. Salvatorelli. 2007. *Using the water erosion prediction project (WEPP) model to simulate field-observed runoff and erosion in the Apennines mountain range, Italy. J. Hydro.*, 336: 84-97
- Sadegi, S., Hedayatizadeh, S., Nadri, H. and Hoseinalizadeh, M., 2008, *Comparison of Runoff and Sediment of Quaternary Formations in Birjandrangrland, Journal of Range Management*, Vol. 2, No. 4, PP. 463-449. (in Persian)
- Singh, R. K., Panda, R. K., Satapathy, K. K., Ngachan, S. V., 2011, *Simulation of Runoff and Sediment Yield From A Hilly Watershed in the Eastern Himalya India Using the WEPP Model, Journal of Hydrology*, Vol. 405, No. 3-4, PP. 261-276.
- Tiwari, A.K., L.M. Risse, and M.A. Nearing, 2000; *Evaluation of WEPP and its comparison with USLE and RUSLE. T. Am. Soc. Agric. Engr.* 43(5):1129-1135.
- Yu, B. and C.J. Rosewell. 2001. *Evaluation of WEPP for runoff and soil loss prediction at Gunnedah, NSW, Australia. Aust. J. Soil Res.*, 39: 1131-1145.
- Yuksel, A., Akay, A. E., Reis, M. and Gundogan, R., 2007, *Using the WEPP Model to Predict Sediment Yield in a Sample Watershed in Kahramanmaras Region, International Congress River Basin Management*, No. 2, PP.11-22.