پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمّی، سال چهارم، شماره ٤، بهار ١٣٩٥
صص. ١٦٥-١٥٠

# مقایسه کارایی مدلWEPP 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: ١٣٩٤/٠٥/١٥ تأیید نهایی: ١٣٩٤/١٢/٠٧

## 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 ازجمله محدودیت‌های اساسی در استفاده از منابع آب‌وخاک به شمار می‌رود. این تحقیق در حوضه گوجان چال نمد از زیر حوضه‌های زاینده‌رود اجرا گردید. هدف از این پژوهش، ارزیابی کارایی مدل‌های WEPP وMPSIAC در برآورد فرسایش و رسوب می‌باشد. در این تحقیق ابتدا کلیه عوامل موردنیاز در هر دو مدل، به ترتیب پس از ساختن فایل‌های مربوط به پارامترها، و تعیین امتیاز ٩ 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 ٤/١٤ و ٩/١ تن در هکتار در سال می‌باشد. با در دست داشتن مقدار رسوب مشاهده‌ای( ٥/٢٧ 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 ٢١ درصد خطای نسبی در برآورد رسوب، دارای خطای کمتر و مدل MPSIAC با ٧٢ درصد خطای نسبی در برآورد رسوب، دارای خطای بیش برآوردی می‌باشد. به‌طورکلی نتایج نشان داد که مدل WEPP کارایی بهتری نسبت به مدل MPSIAC در برآورد رسوب منطقه موردمطالعه دارد.**

***واژگان کلیدی:*** *فرسایش و رسوب، مدلWEPP ، مدلMPSIAC،گوجان چال نمد، رسوب مشاهده‌ای*

* نویسنده مسئول: E-mail:drpajoohesh@gmail.com

**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 آب‌وخاک 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 به‌وسیله عوامل فرساینده از بستر اصلی خود جداشده 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، ۲۳۶،۲۰۰۹). این پدیده یک مشکل جهانی است که به‌طورجدی منابع آب‌وخاک 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 به‌وسیله 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،۵۵۱،۱۳۹۰). عمده‌ترین دلیل تخریب منابع آب‌وخاک بر هم خوردن تعادل طبیعی در یک منطقه است که علت اصلی آن دست‌کاری و دخالت انسان در آن است (احمدی،۶۸۸،۱۳۷۸). به‌طورکلی 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 به‌شدت افزایش می‌یابد (صادقی و همکاران، ۲۰۰۸،۴۶۳). در دهه‌های اخیر بررسی فرسایش تشدیدی 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، ۳۵،۲۰۰۶ و رز و همکاران، ۶۶،۱۹۹۷). 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. ازآنجایی‌که 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 می‌نمایید، اما این مدل فرایندی نبوده، حال‌آنکه فرسایش و تولید رسوب به‌صورت یک فرایند اتفاق می‌افتاد. دو نظریه متفاوت در تعیین مدل‌های فرایندی در زمینه نحوه فرسایش آبی و ترسیب ذرات جداشده 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، ازجمله WEPP ایفا می‌کند (فوستر و همکاران،۳۵۱،۱۹۹۵). مدل WEPP یک محصول جدید فناوری برآورد فرسایش است که علاوه بر توانایی‌های معادله جهانی، قابلیت‌های زیادی نیز به آن افزوده‌شده 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 قابل‌استفاده می‌باشد (رزمجو،۱۳۷،۱۳۸۳). مدل WEPP در دو مکان دامنه و حوضه‌آبخیز قابل‌استفاده 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 جداشده و میزان جدایش، مکان‌هایی که ذرات رسوب نهشته می‌شوند و درنهایت مکان‌هایی که تنها عمل حمل رسوبات انجام می‌شود را بر روی

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

در دهه‌های اخیر بررسی فرسایش تشدیدی 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، ۳۵،۲۰۰۶ و رز 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 ارائه‌شده‌اند (هارجی وان و همکاران، ۲۰۰۵، ۳۱۵) که کاربرد آن‌ها در سایر مناطق را با خصوصیات متفاوت محدود می‌سازد، لذا ارزیابی مدل‌ها ضروری است.

مدل‌هایPSIAC وMPSIAC طی تحقیقات مختلفی در سطح ایران و جهان ارزیابی‌شده‌اند. 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 موردمطالعه به روشMPSIAC، معادل۸۵ درصد متوسط رسوب‌دهی حوضه بر اساس اندازه‌گیری مقادیر رسوب‌گذاری در مخزن سد است (طهماسبی پور،۱۳۷۳،۲۷۹). در منطقه تیگری کشور اتیوپی، مدلPSIAC از طریق رسوب سنجی مخازن هشت سد ارزیابی شد، نتایج این تحقیق نشان داد که مدلPSIAC دارای تطابق خوب با مقادیر مشاهداتی است(هارجی 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 مدلMPSIAC 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 بارارید نیشابور با سه روش موجود در مدلWEPP یعنی روش‌های دامنه، حوضه آبخیز و مسیرهای جریان برآورد و میزان رسوب به ترتیب ۸/۲۵، ۴/۰۸و۱۴/۲۴ 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 موردمطالعه هستند. (محسنی و همکاران، ۲۰۱۱ ،۱۰۷) در تحقیقی به مقایسه مدل‌های، EPM،MPSIAC، ژئومورفولوژی و هیدروفیزیکی در برآورد فرسایش و رسوب حوضه کسیلیان استان مازندران پرداختند، نتایج نشان داد مدل ژئومورفولوژی نسبت به سه مدل دیگر دارای دقت و کارایی بهتری است. (باقرزاده و منصوری دانشور، ۲۰۱۱، ۲۰۷) میزان بار رسوب تولیدشده را با استفاده از مدل‌های MPSIAC وEPM و سیستم اطلاعات جغرافیایی در مناطق نیمه‌خشک موردبررسی قراردادند.

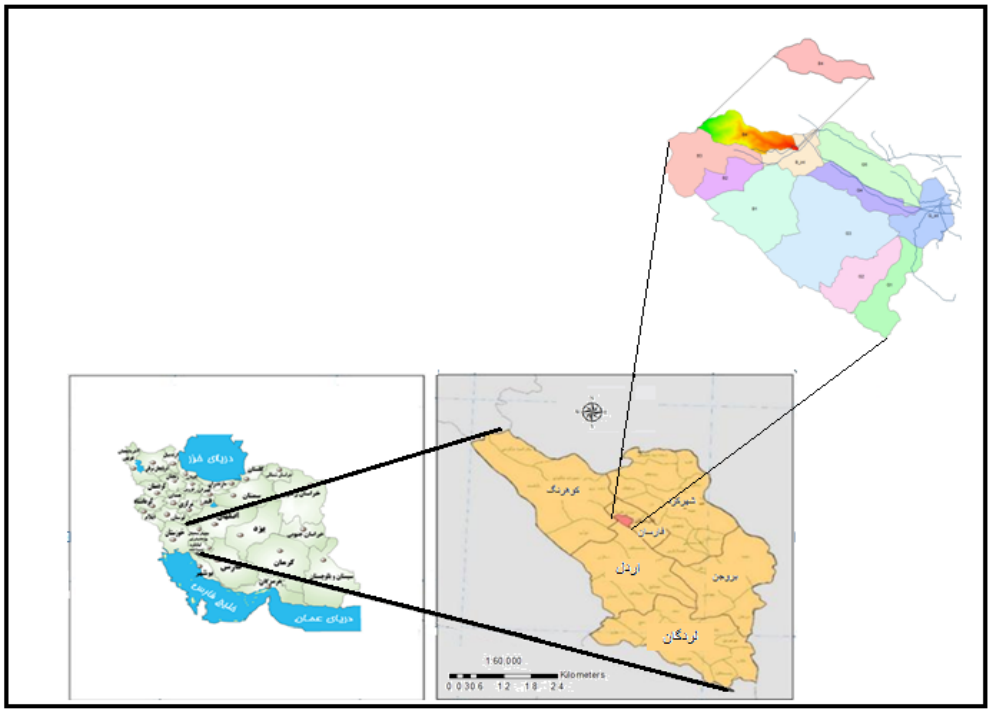
عابدینی(۱۳۹۲) در تحقیق بیان داشت که از میان این سه روش، روش‌های دامنه و حوضه آبخیز و مسیرهای جریان، روش‌های دامنه به مقدار رسوب مشاهده‌ای نزدیک‌تر بوده و نسبت بهروش‌های دیگر نتایج قابل‌قبول‌تری را ارائه داده‌اند. (تیواری و همکاران،۱۲۹،۲۰۰۰) مدل WEPP را در ایالات‌متحده و در ۲۰ مکان مختلف به کمک پلات‌هایی که بر روی دامنه‌های مختلف ایجادشده بود اجرا کردند، در این تحقیق میزان فرسایش برآورد شده در ۱۲ مکان در محدوده اعتماد ۹۵ درصد قرار گرفت. همچنین(کینکید،۵۴،۲۰۰۸) ابراز داشت که این مدل، تمایل به بیش برآورد شدت رواناب و فرسایش دارد. (دفرشا و همکاران ۷۲،۲۰۱۲)، به بررسی پتانسیل رسوب و جریان رواناب حوضه رودخانه مارا با مدل‌های وWEPP وEROSION 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، ازآنجاکه بسیاری از این مدل‌ها در سایر مناطق و با خصوصیات منطقه‌ای خاص خود ارائه‌شده‌اند ( 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 مدلMPSIAC و ارزیابی دقت این مدل‌ها در استفاده در مکان‌های فاقد ایستگاه رسوب سنجی و فاقد آمار انجام‌گرفته است.

## موقعیت منطقه مورد مطالعه

محدوده موردمطالعه یکی از زیر حوضه‌های منطقه گوجان چال نمد می‌باشد. شکل ۱ نقشه‌ی موقعیت جغرافیایی حوضه گوجان چال نمد و محدوده منطقه موردمطالعه را نشان می‌دهد. منطقه موردمطالعه دارای مساحت ۳۳۰/۶ هکتار در ۳ کیلومتری جنوب غربی شهرستان فارسان در استان چهارمحال و بختیاری واقع گردیده است. مختصات جغرافیایی این منطقه از۵۰ درجه،۲۴دقیقه و ۴۶ ثانیه تا ۵۰ درجه، ۳۲دقیقه و ۱۱ ثانیه طول شرقی و ۳۲ درجه، ۱۱ دقیقه و ۲۶ثانیه تا ۳۲درجه، ۱۶ دقیقه و ۳۴ ثانیه عرض شمالی می‌باشد، میانگین ارتفاع این منطقه از سطح دریا ۲۷۳۳ متر می‌باشد. آب‌وهوای منطقه مرطوب سرد تا بسیار مرطوب فراسرد با متوسط بارش سالیانه ۹۰۰/۲میلی‌متر است که حداقل آن مربوط به تیرماه و حداکثر آن مربوط به آذرماه می‌باشد. سردترین ماه سال دی‌ماه با متوسط حداقل دمای ۱۵- درجه سانتی‌گراد و گرم‌ترین ماه سال تیرماه با متوسط حداکثر دمای۳۱/۹ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. رژیم رطوبتی و حرارتی منطقه موردمطالعه با استفاده از نرم‌افزار نیوهال به ترتیب زریک و مزیک همچنین طبقه‌بندی خاک بر اساس سیستم طبقه‌بندی آمریکایی انتیسول و اینسپتیسول تعیین گردید.




**شکل۱: نقشه‌ی موقعیت جغرافیایی حوضه گوجان چال نمد و محدوده منطقه موردمطالعه**

**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 مدلWEPP و MPSIAC استفاده گردید.

## روش کار

**- برآورد فرسایش و رسوب با استفاده از مدلWEPP**

درروش اجرای مدل WEPP بعد از گردآوری و آماده‌سازی نقشه‌ها و اطلاعات و همچنین کارهای صحرایی موردنیاز، در مرحله نخست اقدام به ایجاد فایل‌های موردنیاز مدل گردید. فرایند شبیه‌سازی در سطح منطقه در قالب شیب دامنه ( Hill slope ) و در بازه‌ی زمانی یک سال صورت گرفت. در مدلWEPP برای برداشت هیچ‌یک از پارامترها عمل متوسط گیری انجام نمی‌شود و پارامترها به‌صورت 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 به‌وسیله آب رسوب، و یا به یک نهر یا آب‌برگردان وارد شود. برای تهیه نقشه طول شیب ابتدا نقشه مدل رقومی ارتفاع منطقه موردمطالعه را پس از فیلتر نمودن آن، با دستورFill، همسطح می‌نماییم، سپس با دستور Flow direction مسیر جریان را پیکسل به پیکسل مشخص و در انتها با استفاده از دستور Flow Accomulationطول 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 وسیلهٔ نقشهٔ مدل رقومی ارتفاع و به‌صورت پروفیل طولی به جدول موجود در فایل شیب وارد نرم‌افزار گردید.

– **عامل خاک:** در مدل وپ شاخص‌های خاکی موردنیاز 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 شیاری، فرسایش‌پذیری بین شیاری، 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 موردمطالعه می‌باشد، دریافت، و بعد از تبدیل آن به فرمت موردنیاز برنامه کلیژن، مورداستفاده قرار گرفتند.

- **فایل مدیریت و پوشش گیاهی**: این فایل نیز، شامل مجموعه‌ای از شیوه‌های مدیریتی و خصوصیات گیاه و روش‌های خاک‌ورزی مورداستفاده 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 WEPPگردید 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 جمع‌کردن 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

$$Q_S = 0/253 e^{0/0353 R}$$

R = درجه رسوب‌دهی یا مجموع نمرات عوامل نه گانه مدل

e= عدد نپرین

$Q_S$ : میزان تولید رسوب (تن در هکتار در سال)

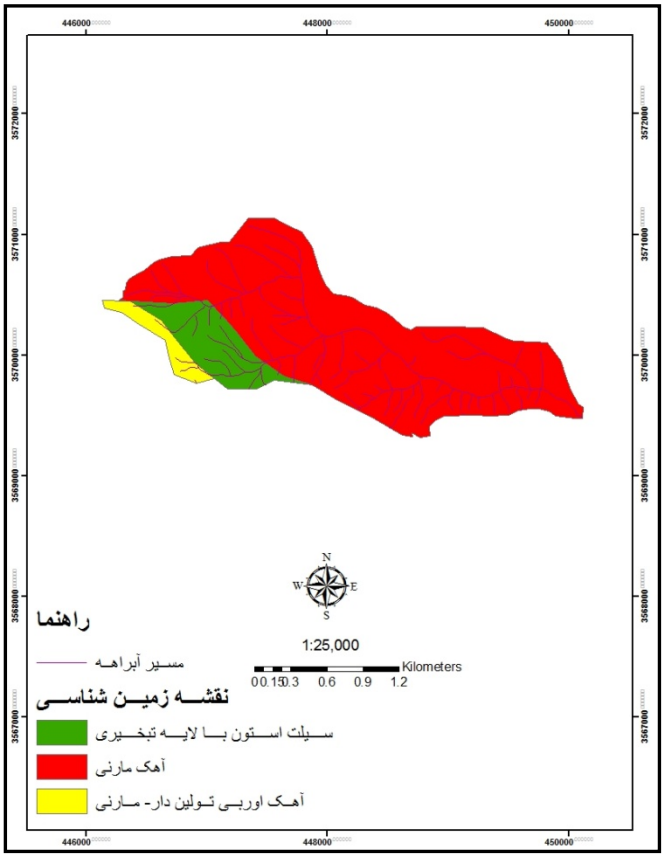
**جدول ۱: عوامل مدل MPSIAC و نحوه امتیازدهی به آن**

| ردیف | عوامل مؤثر در فرسایش خاک و تولید رسوب | نحوه محاسبه امتیاز به روش MPSIAC | شرح پارامتر |
|---|---|---|---|
| ۱ | **عامل زمین‌شناسی** | | $Y_1$: امتیازحساسیت 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 *۰/۳۰+ دبی پیک سالانه به مترمکعب بر ثانیه در کیلومترمربع*۵۰) |
| ۵ | **عامل پستی‌وبلندی** | | $S$ : شیب متوسط حوضه برحسب درصد |
| ۶ | **عامل پوشش زمین** | | $P_b$ : درصد زمین لخت |
| ۷ | **عامل کاربری اراضی** | | $P_c$ :درصد تاج پوشش |
| ۸ | **عامل وضعیت فعلی فرسایش** | | $s.s.f$ : وضعیت سطح خاک و فرسایش با استفاده از روش B.L.M انجام‌گرفته، جهت تعیین این ضریب هفت عامل دخالت داده شده‌اندکه عبارت‌اند از۱-فرسایش سطحی۲-لاشبرگ سطحی۳-پوشش گیاهی۴-آثارتخریب خاک و گیاه۵-فرسایش شیاری و ابعاد آن۶-جریان‌های سطحی و رسوبات آن۷-اشکال فرسایش خندقی (گالی) و درصد آن،به عبارت دیگرمجموع امتیازات مدل B.L.M |
| ۹ | **عامل فرسایش رودخانه‌ای** | | X۹= امتیاز فرسایش خندقی در مدت B.L.M |

پس از مشخص شدن ارزش کمی عوامل ۹ گانه در حوضه آبخیز موردمطالعه، امتیازهای هر عامل بـاهم جمـع و سـپس درجه رسوب‌دهی کل حوضه تعیین گردید.

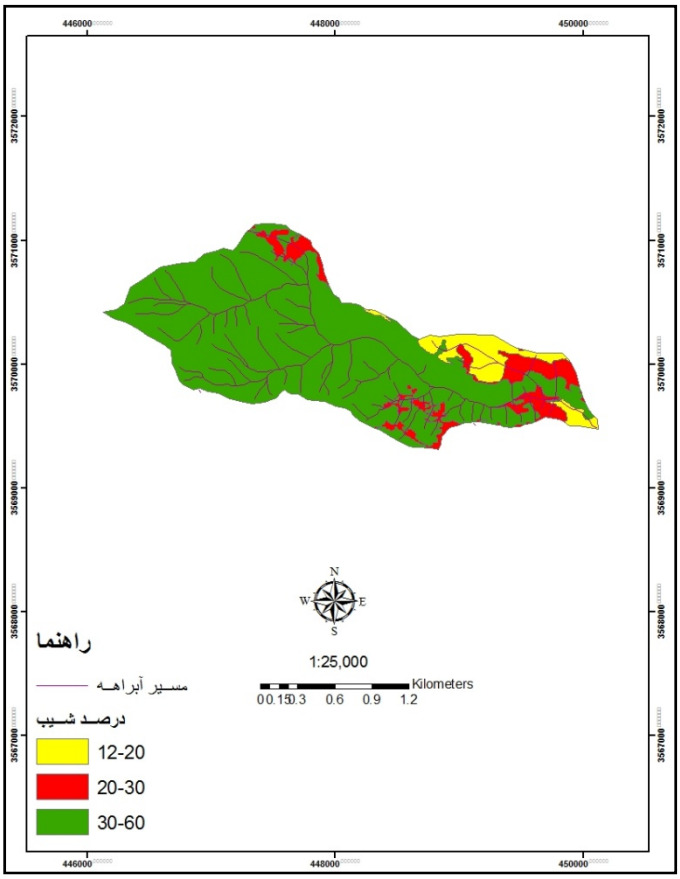
**یافته‌ها**

نقشه ۲ واحدهای زمین‌شناسی منطقه موردمطالعه 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 موردمطالعه مشاهده گردید که ۸۳/۵ درصد از منطقه موردمطالعه 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.




**شکل۲: نقشه زمین‌شناسی منطقه موردمطالعه**

شکل۳ نقشه شیب منطقه موردمطالعه نشان داده‌شده است. در منطقه سه کلاس شیب شامل شیب ۱۲تا ۲۰ درصد، ۲۰ تا۳۰ 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 حوزه۳۷/۷ درصد می‌باشد.



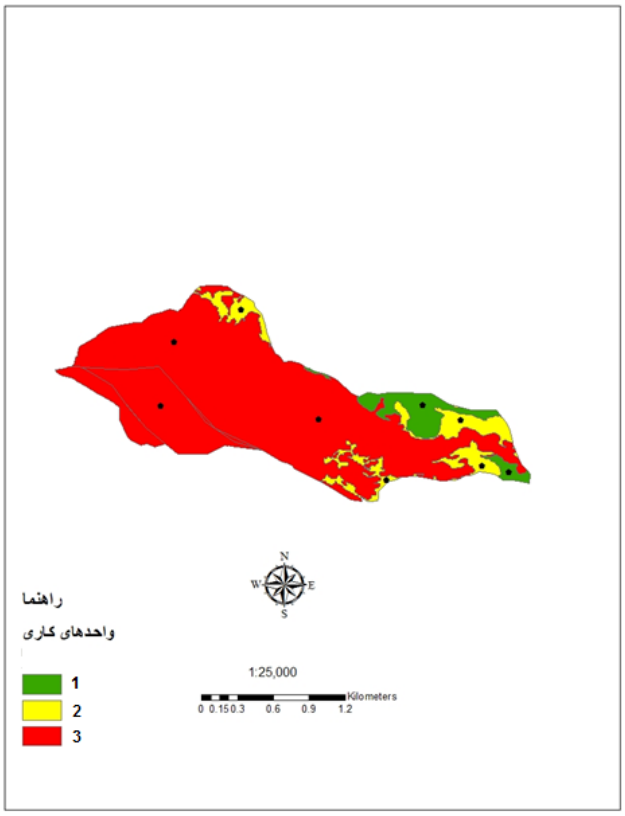

**شکل۳: شیب حوزه موردمطالعه**

در جدول۲ مشخصات فیزیوگرافی و توپوگرافی حوضه آبخیز گوجان چال نمد را نشان می‌دهد. این حوضه دارای شکل کشیده و زمان تمرکز حوزه ۲۵/۶ دقیقه می‌باشد.

**جدول۲: مشخصات فیزیوگرافی و توپوگرافی حوضه 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 | کرپیچ (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 موردمطالعه نشان می‌دهد به‌طورکلی 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 موردنیاز مدل‌ها اندازه‌گیری شد.



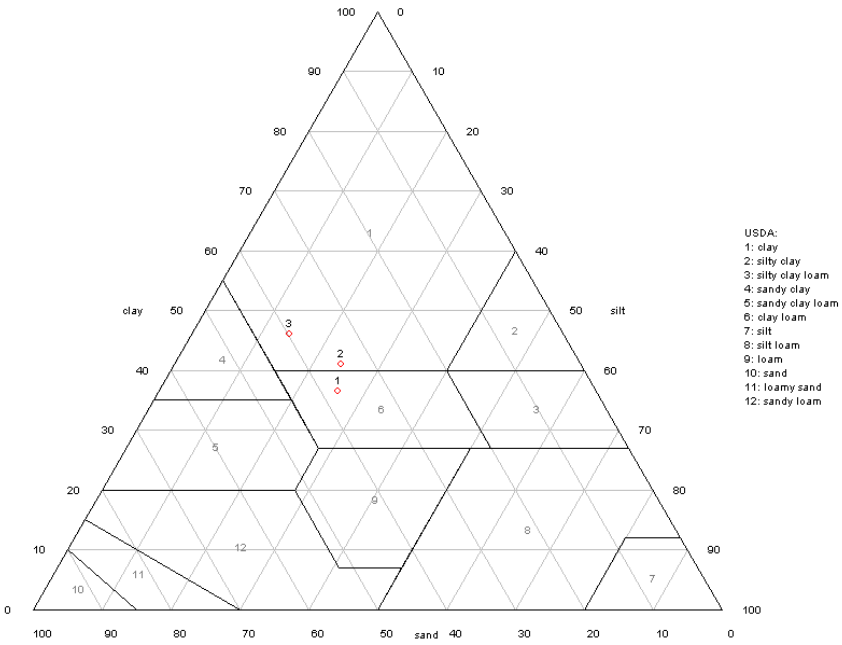

**شکل٤: محل حفر پروفیل‌های خاک در منطقه موردمطالعه**

جدول ۳ کلیه خصوصیات نمونه‌های خاک برداشته‌شده 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 موردمطالعه ۱/۴۴ درصد، متوسط درصد سنگ و سنگریزه ۱۳ درصد و متوسط ظرفیت تبادل کاتیونی ۳۹/۱ میلی اکی والان در ۱۰۰ گرم خاک به دست آمد.

**جدول۳: مشخصات خاک حوضه آبخیز گوجان چال نمد**

| واحدکاری | عمق(سانتی‌متر) | شن(٪) | رس(٪) | سیلت(٪) | بافت خاک | مواد آلی(٪) | ظرفیت تبادل کاتیونی (میلی اکی والان 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 جدول۲ نتایج آزمایش‌ها و عوامل محاسبه‌شده فایل خاک در حوضه آبخیز گوجان چال نمد نشان داده شده است.




**شکل۵: نوع بافت نمونه‌های خاک هر واحد کاری در مثلث بافت خاک**

در شکل۵ مثلث بافت خاک مربوط به منطقه موردمطالعه را نشان می‌دهد. نمونه خاک‌های واحد کاری ۲ و۳ دارای بافت رسی و سنگین و خاک واحد کاری۱ دارای بافت متوسط می‌باشند. با توجه به مثلث بافت خاک منطقه ازنظر وضعیت بافت خاک دارای نفوذپذیری ضعیف و ازنظر وضعیت فرسایش، حساس به فرسایش می‌باشد.

جدول۴ نتایج حاصل از محاسبات پارامترهای اقلیمی موردنیاز برای فایل اقلیم در حوضه آبخیزگوجان چال نمد را نشان می‌دهد. در منطقه موردمطالعه 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، و۴/۵۱ به درجه سانتی‌گراد می‌باشد.

**جدول٤: نتایج عوامل محاسبه‌شده برای فایل اقلیم در حوضه آبخیز گوجان**

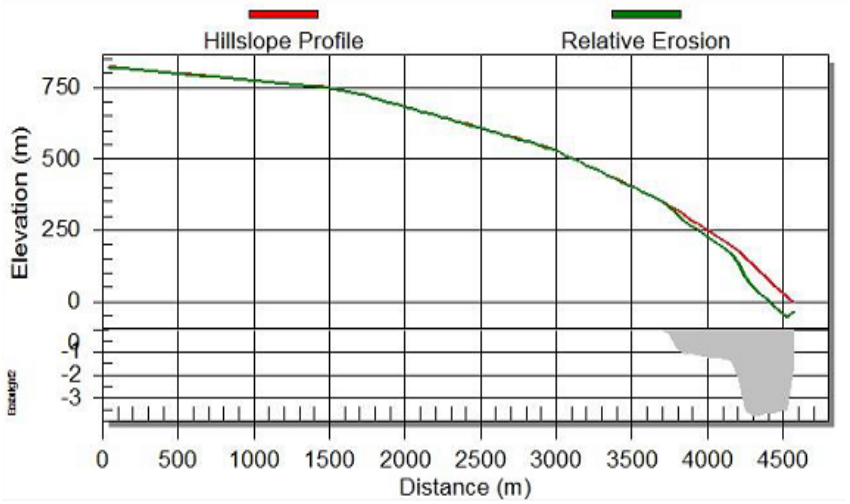
| پارامترها | مهر | آبان | آذر | دی | بهمن | اسفند | فروردین | اردیبهشت | خرداد | تیر | مرداد | شهریور | سالانه |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A | ۱۱/۰۲ | ۹۵/۲۸ | ۱۷۶/۲۷ | ۱۴۵/۴۶ | ۱۱۹/۶۱ | ۱۵۹/۷۶ | ۱۲۴/۶۴ | ۶۱/۶۲ | ۲/۸۳ | ۰/۱۵ | ۲/۲۳ | ۱/۳۵ | ۹۰۰/۲۱ |
| B | ۱۵/۷۷ | ۹/۲۱ | 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 موردمطالعه (مرتع) و همچنین بازدید به‌عمل‌آمده در منطقه هیچ‌گونه عملیات مدیریتی ازجمله: شخم و شیار، تراس، کاشت گیاه مشاهده نگردید. در منطقه مذکور تنها چرای دام به مدت ۴/۵ ماه که تاریخ شروع آن ۱۵ اردیبهشت‌ماه بود انجام گردیده است و با توجه به اطلاعات گیاه‌شناسی مناسب‌ترین گزینه مربوط به آن گراس های 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 روشWEPP

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.




**شکل۳: 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 به‌عبارتی‌دیگر 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 درنتیجه 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 مدلWEPP به ترتیب ۷/۷، ۴/۲۵۳۵،۴/۸ و۱۳۷۰/۴ به دست آمد.

**جدول۵: نتایج حاصل از برآورد فرسایش و رسوب حوضه آبخیز گوجان چال نمد با مدلWEPP**

| نوع پارامتر | درروش دامنه |
|---|---|
| فرسایش ویژه (t/ha/yr) | ۷/۷ |
| فرسایش کل (t/yr) | ۲۵۳۵/۸ |
| رسوب ویژه (t/ha/yr) | ۴/۱۴ |
| رسوب کل (t/yr) | ۱۳۷۰/۴ |

**شبیه‌سازی فرسایش و رسوب با استفاده از روشMPSIAC**

میزان فرسایش و رسوب منطقه بر اساس روش MPSIAC در جدول زیر ارائه‌شده است. لازم به ذکر است که با 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 ٦: امتیاز عوامل ۹گانه و رسوب ویژه در مدلMPSIAC**

| عوامل MPSIAC | Y1 | Y2 | Y3 | Y4 | Y5 | Y6 | Y7 | Y8 | Y9 | R | $Q_S$ | CF | P | $Q_{SW}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 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، QS: حجم رسوب ویژه برحسب مترمکعب در هکتار در سال، P : جرم حجمی رسوب برحسب تن در مترمکعب، $Q_{SW}$ : 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 جدول۷، کلاس شدت رسوب‌دهی زیر حوضه موردمطالعه در محدوده زیاد قرار می‌گیرد.

**جدول۷: تعیین میزان تولید رسوب سالانه و کلاس فرسایش خاک درروشMPSIAC**

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

**مقدار رسوب مشاهده‌ای**

برای اندازه‌گیری مقدار رسوب مشاهده‌ای از آمار نزدیک‌ترین ایستگاه که ازنظر خصوصیات زمین‌شناسی و توپوگرافی و فیزیوگرافی شبیه به منطقه موردمطالعه 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 انجام‌شده به کمک مدل‌های WEPP و MPSIAC یکی از مناسب‌ترین روش‌ها این است مدل که به کمک آمار مشاهده‌ای یک محدوده قابل‌قبول برای اعداد پیش‌بینی‌شده تعیین شود. چنانچه عدد برآورد شده در این محدوده قرار گرفت، صحت پیش‌بینی در محدوده اطمینان تعیین‌شده می‌باشد(۵و۱۲) این امر نیازمند وجود آمار از چندین ایستگاه هیدرومتری است. در منطقه موردمطالعه تنها یک ایستگاه هیدرومتری آن‌هم در خروجی حوضه اصلی ( منطقه موردمطالعه یکی از زیر حوضه آن

می‌باشد) وجود دارد. بنابراین باوجود یک ایستگاه نمی‌توان ازنظر آماری محدوده اطمینانی را مشخص کرد. ازاین‌رو در این تحقیق تنها ارقام پیش‌بینی‌شده 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 موردمطالعه با دو مدل فوق برآورد شد و سپس نتایج این دو مدل با رسوب اندازه‌گیری شده در حوضه آبخیز موردنظر برای ارزیابی کارایی هریک از مدل‌های استفاده‌شده در پژوهش، مقایسه شد.

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

جدول ۸ نتایج مقایسهWEPP و MPSIAC، با مقدار بار رسوب مشاهده‌ای را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌گردد، مقدار رسوب برآورد شده با استفاده از مدلWEPP و MPSIAC در حوزه موردمطالعه به ترتیب ۴/۱۴و ۹/۴ تن در هکتار در سال به‌دست‌آمده است با مقایسه مقادیر رسوب ویژه اندازه‌گیری شده و به‌دست‌آمده 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.

**جدول۸: 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. ازآنجاکه 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 ازنظر آماری در برآورد مقدار رسوب ضروری است. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده 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. حال‌آنکه 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 به‌منظور 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 مد ل های مختلف ازجمله مدل WEPP را با مشکل مواجه می‌کند. دو نمونه از مشکلات ناشی از کمبود یا نامناسب بودن آمار در این تحقیق به‌قرار ذیل است.

به دلیل فقدان ایستگاه هواشناسی در ارتفاعات بالاتر، فایل اقلیم برای تمام منطقه با استفاده از اطلاعات ایستگاه کلیماتولوژی جونقان ساخته‌شده است.کمبود آمار در دبی‌های بالا و عدم کیفیت مناسب آمار رسوب که در بیشتر ایستگاه‌های هیدرومتری کشور ازجمله 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 مورداستفاده قرار می‌گیرد، بسیاری از پارامترها خصوصاً پارامتر شیب به‌صورت 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 به‌صورت 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 مدلWEPP 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 یک‌بار و ترجیحاً در فصل رویش، در منطقه حاضرشده و اطلاعات موردنیاز 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 درحالی‌که گیاهان بوته‌ای یا درختچه‌ای روند رشد متفاوتی دارند. بنابراین چنانچه پارامترهای گیاهی همانند درصد پوشش، ارتفاع پوشش، درصد لاشبرگ تنها یک‌بار در سال اندازه‌گیری شود وضعیت این پارامترها در سایر اوقات سال در نظر گرفته نمی‌شود و اعداد بد ست آمده در یک تاریخ به‌عنوان 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 مورداستفاده قرار می‌دهد. برآورد میزان فرسایش و رسوب در بخش‌های مختلف حوزه آبخیز به‌صورت مجزا و عدم دخالت سلیقه کارشناس در تعیین عوامل موردنیاز 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) انجام‌گرفته 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 جداشده‌اند و مکان‌هایی که ذرات رسوب نهشته می‌شوند و درنهایت مکان‌هایی که تنها عمل حمل رسوبات، انجام می‌شود را بر روی دامنه و آبراهه‌ها مشخص می‌کند. (احمدی و همکاران،۱۳۸۶ ،۷۲) نیز، نتیجه گرفتند که استفاده از روش دامنه مدلWEPP 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 بدین‌وسیله 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 مدلWEPP مطالعه مورد در حوزه آبخیز باراریه نیشابور، مجله پژوهش و سازندگی، ش۷۵، 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 سرمدیان، ۱۳۸۲ ؛ مبانی 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 بیرودیان امیرحسین چرخابی، ۱۳۸۳ ، بررسی کارآیی مدل پسیاک اصلاح‌شده در برآورد میزان رسوب‌دهی ناحیه البرز جنوبی. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، جلد ۱۱ ، شماره ۱، ص۱۳۷-۱۴۶.
- 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. مقایسهٔ کارایی مدل‌های *WEPP* و *EPM* در برآورد فرسایش خاک و میزان رسوب‌دهی حوضهٔ آبخیز سولاچای. مجله پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی سال دوم، شماره۱، 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 SedimentTransport 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.*