بررسی فرسایش خاک و تولید رسوب با استفاده از مدل WEPP
مطالعه موردی: حوضه آبریز قنبرلو

موسی عابدینی [۱*]، سید احد صفری [۲]

*۱- دانشگاه محقق اردبیلی، دانشکده علوم اجتماعی، استاد گروه جغرافیای طبیعی (گرایش ژئومورفولوژی)

۲- دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشگاه محقق اردبیلی، دانشکده علوم اجتماعی، گروه جغرافیای طبیعی(گرایش ژئومورفولوژی)

ایمیل نویسنده مسئول: Abedini@uma.ac.ir

تاریخ دریافت:۱۴۰۲/۰۶/۰۶ تاریخ پذیرش:۱۴۰۲/۰۶/۲۷

چکیده

فرسایش خاک یکی از معضلات مهم در حوضه‌های آبخیز بشمار می‌رود که هر ساله موجب هدر رفتن هزاران تن خاک زراعی می‌شود. مدل WEPP یک مدل رایانه‌ای است که می‌تواند فرسایش و رسوب را بر روی دامنه‌ها و در حوضه آبخیز بر اساس هر واقعه بارش و یا سالهای متوالی برآورد کند. حوضه آبخیز قنبرلو به دلیل کوهستانی و تپه‌ماهوری بودن و اقلیم نیمه‌خشک شرایط شکننده‌ای از لحاظ فرسایش و رسوب‌زایی دارد به نحوی که در سالهای اخیر با دخالت‌های بیش از حد انسان در مسائلی مانند تبدیل مراتع با شیب تند در دامنه‌ها به اراضی کشاورزی یا بهره‌برداری بیش از حد از مراتع مانند چرا، افزایش یافته است،که نشانه بارز آن افزایش حجم سیلاب‌ها در موقع بارندگی‌ها بدلیل کاهش میزان پوشش گیاهی است. در این تحقیق میزان فرسایش و رسوب در کل حوضه آبخیز قنبرلو واقع در شمال‌غرب ایران برآورد گردیده است. اطلاعات مورد نیاز در این مدل بطور کلی در شش فایل رایانه‌ای که شامل خاک، اقلیم، مدیریت، توپوگرافی، مخزن و آبراهه می‌باشند، که در نرم‌افزار وارد کردیم. در منطقه مورد مطالعه ۲ نوع خاک، ۵ نوع مدیریت و ۵ نوع آبراهه وجود دارد. پس از ساختن فایل‌های مورد نیاز، مدل WEPP از طریق نرم‌افزار GeoWEPP اجرا شد. در این نرم‌افزار میزان فرسایش و رسوب به سه روش دامنه، حوضه آبخیز و مسیر جریان برآورد گردید. میزان رسوب حوضه قنبرلو به ترتیب ۰/۱۱۹، ۰/۰۷۳ و ۰/۱۶۸ تن در هکتار در سال می‌باشد. نتایج نشان دهنده آن است که مدل WEPP با استفاده از روش دامنه قادر است تا میزان رسوب‌دهی حوضه‌آبخیز قنبرلو را نسبت به روش حوضه آبخیز با دقت بالا برآورد کند و روش دامنه WEPP در حوضه‌های کوهستانی نتایج بهتری می‌تواند ارائه دهد.

کلمات کلیدی

" فرسایش خاک " تولید رسوب "، " حوضه قنبرلو "، " مدل WEPP " ،

مقدمه

فرسایش خاک، یک فرآیند طبیعی است که سطح از دست رفتگی خاک توسط عوامل محیطی مختلف نظیر آب و هوا، خاک، توپوگرافی و پوشش گیاهی را موجب می‌شود (عابدینی و همکاران، ۱۴۰۲: ۱۱۵). این پدیده یکی از بحرانی‌ترین مشکلاتی است که باعث تخریب اراضی سطح زمین در سراسر جهان می شود. این پدیده در نتیجه فعل و انفعالات پیچیده‌ای که بین عوامل طبیعی و ناشی از انسان وجود دارد رخ می دهد(السون و همکاران[۱]، ۲۰۲۲). فرسایش عبارت است از جابه جائی مواد از نقطه‌ای به نقطه دیگر، پس از تخریب سنگ و یا خاک، مواد حاصل به علت از دست دادن چسبندگی و تراکم خود به وسیله عوامل گوناگون مانند آب، باد و برف حمل و بسته به میزان قدرت عامل حمل انتقال و رسوب‌گذاری می‌نماید (احمدی،۱۳۸۶:۲۱۲). فرسایش خاک یکی از مهمترین عامل تخریب و کاهش باروری خاک می‌باشد که در طول سال در حال افزایش است و منجر به از دست رفتن خاک مرغوب کشاورزی می‌شود (بایزیز[۲] و همکاران،۲۰۱۱:۲۳۸). افزایش روزافزون جمعیت جهانی خصوصا از نیم قرن گذشته، دخالت شدید در منابع آب و خاک(فشار بر زمین)، موجب شده که مطالعات فرسایش خاک به عنوان یکی از مهمترین مسائل در ابعاد مختلف آن مانند عوارض زیست محیطی، توسعه پایدار کشاورزی و تولید غذا و غیره، هر چه بیشتر مورد توجه قرارگیرد(عابدینی،۱۴۰۰ و ۱۴۰۱). از طرفی موضوع فرسایش خاک یک در طول ۴۰ سال گذشته، تقریبا یک سوم زمین‌های قابل کشت جهان در اثر فرسایش از بین رفته است و هم‌چنین بیش از ۱۰ میلیون هکتار در سال از بین می‌رود (Pmental et al., ۱۹۹۵). بنابراین برآوردهای صحیح از خطر فرسایش و مشخص کردن مناطق حساس به فرسایش در بهبود توصیه‌های مدیریت اراضی و مقابله با فرسایش با روش‌های مختلف نقش مهمی دارد(Talebi khiavi and Mostafazadeh, ۲۰۲۲). افزون بر این، فرسایش خاک خطری برای رفاه و حیات انسان به‌شمار می‌آید، و نیز یکی از مهم‌ترین مسائل زیست‌محیطی، کشاورزی و تولید غذا در جهان است که اثرات مخربی بر تمام اکوسیستم‌های طبیعی و تحت مدیریت انسان دارد. در مواردی که فعالیت‌های انسانی تعادل طبیعت را برهم می‌زند، پدیده فرسایش خاک شدت می‌گیرد (عابدینی، ۱۳۸۴، رفاهی، ۱۳۹۶). لذا داشتن اطلاعات دقیق در مورد منابع رسوب معلق در سامانه‌های رودخانه‌ای ضروری است، زیرا افزایش ورود رسوبات ریزدانه به یک رودخانه- ها از طریق فعالیت‌های انسانی منجر به بارگذاری بیش از حد رسوب معلق در رودخانه‌ها می‌شود که شدیدا بر کیفیت آب و سلامت بوم سازگان تأثیر منفی می‌گذارد. مدیریت پایدار خاک و استفاده از شیوه‌های صحیح مدیریتی به منظور حفاظت محیط زیست سبب شده است که از مدل‌ها و تکنولوژی‌های نوین، جهت بررسی تأثیر شیوه‌های مدیریتی مختلف برخصوصیات خاک استفاده شود. از جمله این مدل‌ها، WEPP می‌باشد. اساس این مدل شناخت عوامل مؤثرفرسایش(اقلیم، خاک، شیب و مدیریت) در هرمنطقه و تعیین نقش هریک از آن‌ها می- باشد و برای هرجزء مدلهای مناسب ارائه می‌گردد. حوضه آبخیز قنبرلو در استان اردبیل در غرب دشت مغان در دامنه‌های شمالی کوه خروسلو واقع شده ویکی از زیر حوضه‌های دره‌رود مغان می‌باشد. و درآن پدیده فرسایش مانند سایر حوضه‌های آبخیز کشور مشهود می‌باشدکه برروی منابع خاک منطقه تأثیرگذار است. برآورد دقیق مقدار فرسایش و رسوب‌گذاری و شناسایی مناطق تولید این عوامل برای جلوگیری و مهارآن ازلحاظ اقتصادی برای کشاورزان منطقه حائز اهمیت می‌باشد.حوضه آبخیز قنبر لو بدلیل کوهستانی بودن، شیب زیاد دامنه‌ها، دخالت شدید انسانها طرق مختلف زمینه را برای فرسایش خاک فراهم کرده است. گاهی اوقات شرایط بارندگی در حوضه به گونه‌ای است که سیلاب ایجاد شده و طغیان آبها موجب فرسایش خاک در بعضی قسمتها می‌شوند. علاوه بر این، بر اثر چرای دام‌های روستاییان منطقه و کاهش پوشش گیاهی حوضه‌ی مذکور، فرسایش خاک در حوضه‌ی مورد نظر افزایش یافته است. علاوه بر موارد مذکور، شخم زنی- های نامناسب و نادرست روستاییان منطقه در جهت شیب خاک مزارع، موجب حرکت آب در مزارع و در نتیجه شستشوی لایه سطحی خاک شده است. به دلیل موارد فوق الذکر بر آن شدیم که حوضه آبخیز قنبر لو را از نظر فرسایش خاک با استفاده از مدل WEPP[۲]، مورد مطالعه قرار دادیم. بررسی منابع نشان داد که هیچگونه تحقیقی با موضوع کنونی در حوضه مورد تحقیق بعمل نیامده است. با وجود این در داخل کشور و در مقیاس جهانی پژوهش‌هایی پیرامون برآورد فرسایش و رسوب با مدل WEPP، در حوضه‌های مختلف انجام گرفته است، از جمله:احمدی و همکاران (۱۳۸۶)میزان فرسایش و رسوب حوضه آبخیز بارارید نیشابور را با سه روش موجود در مدل WEPP یعنی روش‌های دامنه، حوضه آبخیز به ترتیب ۸/۲۵، ۴/۰۸ و ۱۴/۲۴ تن در هکتار در سال برآورد نمودند. مقدار رسوب مشاهده‌ای ۱۱/۲ تن در هکتار در سال محاسبه شده بود،

[۱] Allois et al.

[۲] Water Erosion Prediction Project

بنابراین 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 می‌باشند. بهرامی و رحیمی (۱۳۸۷) حجم رسوب ناشی از فرسایش حوضه آبخیز رودخانه کردشیخ را با استفاده از روش Fournier و ابزار GIS برآورد نمودند، در نتیجه مقدار رسوب ۲۰۷/۹۱ تن در کیلومترمربع در سال به دست آمد. صادق‌زاده ریحان فرسایش و رسوب اراضی مارنی منطقه خواجه تبریز را با استفاده از مدل WEPP شبیه‌سازی نمودند و به این نتیجه رسیدند که، این مدل برای برآورد فرسایش و رسوب در منطقه مورد مطالعه مناسب می‌باشد. صادقلو و همکاران (۱۳۹۰) با استفاده از مدل WEPP و نرم‌افزار GIS فرسایش و رسوب حوضه صوفی‌چای مراغه را ارزیابی و پهنه‌بندی نمودند. نتایج نشان داده که مدل WEPP قابلیت بالایی برای برآورد رسوب معلق دارد.. محمودآبادی‌و سیردا[۵] (۲۰۱۳)، میزان فرسایش را درمناطق خشک و نیمه‌خشک بامدلWEPP بررسی کرده و به این نتیجه رسید که این مدل میزان فرسایش را کمتر از میزان واقعی نشان می‌دهد که علت آن وابسته به پارامترهای خاک مورد استفاده در پیش‌بینی‌های تجربی اجزای زیر مدل بود، که از طریق کالیبراسیون پارامترهای خاک می‌توان کارایی بهتر این مدل را برای خشک و نیمه‌خشک شاهد بود. آمور و همکاران(۲۰۰۴) در مورد برآورد رسوب با مدلهای WEPP و USLE کار کرده-اند. مقایسه مقدار رسوب محاسبه شده با رسوبات ته نشین شده در مخزن، نشان داد که مدل WEPP نتیجه بهتری را نسبت به مدل USLE دارد. ژانگ[۱] و همکاران (۲۰۱٤)،میزان فرسایش و رسوب را در حوضه‌ای از چین در مناطق دارای فرسایش شیاری و خندقی با مدلWEPP مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج حاصل از اجزای مدل نشان داد که مدلWEPP میزان فرسایش و رسوبدهی را در نقاط دارای فرسایش خندقی و شیاری به خوبی برآورد می‌کند.

عابدینی و یعقوب‌نژاد (۱۳۹٦)در مورد پهنه‌بندی فرسایش خاک حوضه رودخانه بالخلوچای پژوهشی انجام داده‌اند که نتایج آن نشان داده که حدود ۲٦/۹۳ درصد از مساحت حوضه در محدوده با خطر فرسایش بسیار زیاد و زیاد و حدود ۳۰/۸۸ در محدوده با خطر فرسایش‌کم و بسیارکم قرار گرفته اند. آب وخاک، پایه و اساس حیات بشر به‌شمار می‌آیند

تیموری(۱۳۹۹) در مورد ارزیابی کارایی مدل‌های WEPP و RUSLE در تخمین میزان فرسایش و رسوب در حوزه آبخیز سولدی، نتایج مدل نشان داد که میزان فرسایش خاک به ترتیب برابر ۱/۱۱، ۳/۱۷ و ۳/۱٤ تن در هکتار در سال بدست آمد. در مدل جهانی فرسایش خاک نیز متغیرهای مورد نیاز به صورت رقومی رویهم گذاری شده که در نهایت مقدار متوسط ۷/۲۳ تن در هکتار در سال تعیین گردید که فرسایش حوضه را در سطح بسیار شدید ارزیابی می کند. سامانتاری و گوس از روش شبکه عصبی و هوش مصنوعی در برآورد رسوب استفاده نموده‌اند.مشرام و همکاران (۲۰۲۰) به‌منظور اولویت‌بندی منطقه حساس در معرض خطر فرسایش، بیست حوضه آبریز بامانی را با استفاده از مدل VIKOR اولویت‌بندی کردند. نتایج نشان داد که زیر حوضه ۱۱ در رتبه اول قرار دارد هم‌چنین نتایج نشان دهنده برتری مدل VIKOR نسبت به مدل CF و ELECTREبود. با توجه به اینکه حوضه کوزه‌توپراقی در استان اردبیل، یک حوضه کوهستانی شیب‌دار است و در اثر دخالت انسان‌ها به روش‌های مختلف نظیر، چرای بی‌رویه مراتع، تبدیل اراضی جنگلی به اراضی کشاورزی و هم‌چنین توسعه مناطق شهری میزان فرسایش خاک در این حوضه تشدید می‌شود.کریمی و همکاران(۱٤۰۱) در مورد تعیین سهم ویژه منابع رسوب معلق در آبخیز واز با استفاده از ویژگی‌های ژئوشیمیایی تحقیق را انجام داده‌اند. نتایج نشان داد کناره‌های آبراهه و جنگل با سهم ویژه ۰/۵۱۳ و ۰/۰۰۰۷ درصد به ازای هر هکتار به‌ترتیب بیشترین و کمترین مشارکت را در تولید رسوب معلق در هر هکتار دارند. نتایج همچنین نشان داد سهم ویژهٔ اراضی کنار آبراهه به‌ترتیب ۳۲۰/٦۲، ۳۹٤/٦۱ و ۷۳۲/۸۵ برابر سهم ویژهٔ کاربری‌های کشاورزی، مرتع و جنگل است..یوسف و همکاران [۳](۲۰۲۲)در مورد پیش‌بینی فرسایش خاک با استفاده از مدل GeoWEPP در زیر حوضه سمنوک هالو کار کرده اند. نتایج نشان داد که مقدار رواناب در شرایط موجود به عنوان عامل شدید است که بر فرسایش و رسوب زیاد در زیرحوضه Cimanuk Hulu تأثیر می گذارد. شبیه‌سازی مدیریت حوضه نشان داد که سناریوی ۳ برای کاهش رواناب، فرسایش و رسوب در زیرحوضه Cimanuk Hulu بهترین است. عابدینی و همکاران(۱٤۰۲)در مورد پهنه‌بندی مخاطرات زیست محیطی حوضه آبریز ویرمونی استان گیلان کارکرده‌اند و نتایج نشان داده که اکثراً دامنه‌های حوضه شیب‌شان به جهت شرقی است و عمدتا در شیب‌های بین ۱۵-۳۰ درجه به دلیل غلبه با هوازدگی شیمیایی، رطوبت زیاد و مواد ریز و نرم سطحی(خاکهای ضخیم‌لایه)، پتانسیل وقوع حرکات دامنه‌ای(خصوصا زمین‌لغزش) و فرسایش خاک بالاست.

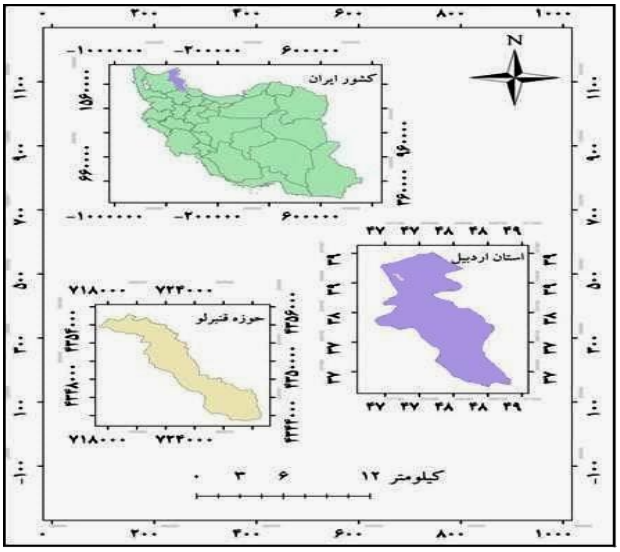
مواد (داده‌ها) و روش پژوهش

[۳] Yusuf et al

- معرفی حوضه مورد تحقیق

حوضه آبخیز قنبرلو با وسعتی معادل ۳٤/۵۰کیلومتر مربع ۳٤۵۰ هکتار یکی از زیر حوضه‌های دره‌رود در شهرستان پارس‌آباد مغان واقع شده است. این حوضه در ۳۰ کیلومتری جنوب غرب پارس‌آباد و ۱۷ کیلومتری جنوب‌شرقی اصلاندوز در طول جغرافیایی "۰ ′ ۳۹ ۴۷°-" ۰ ′ ۳۱ ۴۷° شرقی وعرض جغرافیایی "۳۰ ′ ۱۹ ۳۹°-" ۳۰ ′ ۱۲ ۳۹° شمالی قرار گرفته است(شکل ۱). حداکثر ارتفاع حوضه۱۰۱۱ متر در سمت جنوب و نزدیک روستای بهمن لو، و حداقل ارتفاع آن ۲۲٦متر در سمت شمال و محل روستای بران بالا در محل خروجی حوضه واقع است و حوضه مورد مطالعه حدود۷۸۵ مترنسبت بهم اختلاف ارتفاع دارد. روستاهایی بران بالا و قشلاق های کلش، قنبرلو، قابانلو و بهمن‌لو است در این حوضه قرار داند و عمدتا به دامپروری و کشاورزی اشتغال دارند. متوسط بارندگی در این حوضه ۲۹٤/٤۳ میلیمتر و شیب متوسط ۲۱/۵۰در صد می‌باشد. مهم‌ترین رودخانه موجود در منطقه رودخانه قنبرلو می باشد که از ارتفاعات۱۰۱۱متری در جنوب‌شرقی حوضه سرچشمه گرفته و تا شمال‌غربی حوضه امتداد می‌یابد و در ارتفاع ۲۲٦ متری به دره رود مغان می‌ریزد. این حوضه بخشی از حوضه‌های استان (اردبیل) محسوب شده که روآناب حاصل از نزولات جوی را در ابتدا به رودخانه دره رود مغان و پس از پیمودن مسافتی نهایتا به رودخانه مرزی ارس در شمال استان اردبیل می‌پیوندد

.



شکل۱ : نقشه موقعیت جغرافیایی حوضه قنبرلو

هدف اصلی این پژوهش، برآورد فرسایش خاک و میزان رسوبدهی حوضه آبخیز قنبرلو با مدل WEPP می‌باشد. در این تحقیق با توجه به موضوع از انواع کتابها، مقالات، نشریات رسمی، پایان‌نامه‌ها و سایت‌های مرتبط با موضوع استفاده شده است. برای جمع‌آوری داده‌های هوا شناسی و آمار دبی و رسوب حوضه از سازمان هواشناسی و آب منطقه‌ای استان اردبیل استفاده گردیده است. سپس جهت مشاهده مستقیم و بررسی مسائل فرسایش و شناسایی پدیده‌های موجود در منطقه و نمونه‌برداری از خاک، چندین مرحله بازدید میدانی از منطقه به عمل آمده است. هم چنین از آزمایشگاه خاک دانشکده کشاورزی و آزمایشگاه شرکت خاک‌آزمای مغان برای بدست آوردن پارامترهای مدل فرآیندیWEPP در برآورد میزان فرسایش و رسوب استفاده شده است. مدل WEPP دارای سه حالت حوضه آبخیز، مسیرهای جریان و دامنه می‌باشد. در حالت حوضه آبخیز، میزان رسوب در دامنه‌ها و آبراهه‌ها برآورد می‌شود. در حالت دامنه مقدار رسوب در دامنه‌ها برآورد می‌شود و در حالت مسیرهای جریان نیز مقدار رسوب در دامنه‌ها برآورد می‌شود و آبراهه‌ها تنها انتقال دهنده رسوب ورودی هستند(عابدینی و طولابی،۱۳۹٦). در این پژوهش مقدار رسوب با سه حالت فوق برآورد گردید. برآورد رسوب تولید شده با استفاده از مدل WEPP طی دو مرحله محاسبه عوامل مورد نیاز مدل و ورود داده‌ها به نرم‌افزار و محاسبه رسوب صورت گرفت. در این تحقیق از روش دامنه، مسیرهای جریان و حوضه آبخیز برای پیش‌بینی رسوب‌دهی توسط مدل استفاده شده است. داده‌های مدل WEPP عبارتند از: اقلیم، خاک، مدیریت، توپوگرافی و آبراهه و پارامترهای مورد نیاز خاک نیز عبارتند از: عمق خاک، درصد رس، سیلت و ماسه، درصد ماده آلی، ظرفیت تبادل کاتیونی،فرسایش‌پذیری شیاری، فرسایش‌پذیری بین‌شیاری، درصد آلبیدو، درصد سطح اشباع اولیه، تنش برش بحرانی و درصد سنگ‌ریزه در نمونه‌های خاک مورد بررسی قرار گرفتند.

مواد و ابزار های مورد نیاز که در فرایند پژوهش استفاده شد عبارتند از:

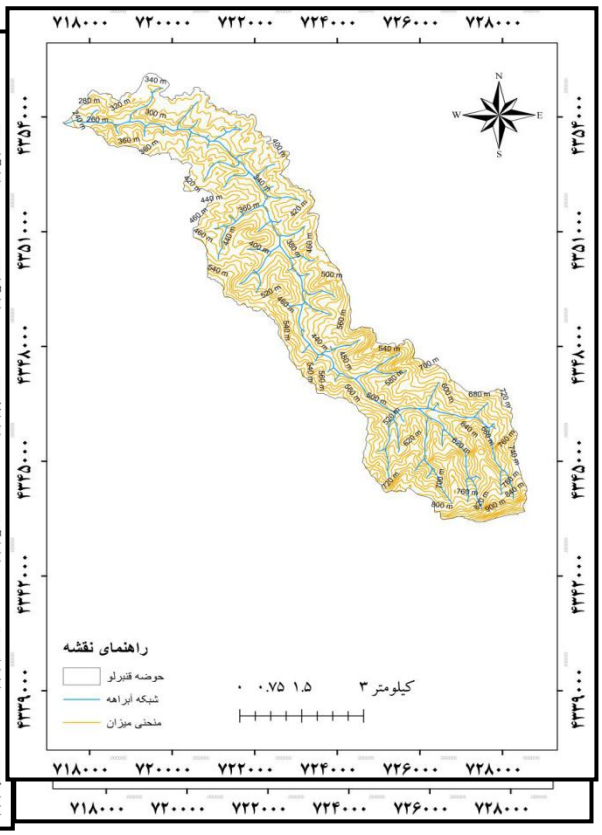
۱- استفاده از نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ برای مشخص نمودن مرز محدوده مورد مطالعه، تهیه نقشه‌های موضوعی، نقشه مدل رقومی.ارتفاع، نقشه شیب و نقشه جهت شیب.

۲- تهیه داده‌های اقلیمی از اداره‌ی هواشناسی و سازمان آب منطقه‌ای شهرستان اردبیل. ۳- تهیه داده‌های هیدرولوژی از سازمان آب منطقه‌ای شهرستان اردبیل ٤- استفاده از نرم‌افزار ArcGIS برای رقومی‌سازی نقشه‌های استفاده‌شده و ارتباط با نرم‌افزار GeoWEPP. ٥- استفاده از نرم‌افزار GeoWEPP برای ساختن فایل‌های مورد نیاز مدل WEPP و ارتباط با نرم‌افزار ArcGIS. ٦- اجرای نرم‌افزار CLIGEN برای ساختن فایل اقلیم. ۷- استفاده از نرم‌افزار Excel و SPSS جهت انجام تحلیل‌های آماری. ۸- استفاده از نرم‌افزار Google Earth، برای تهیه نقشه-های فرسایش و کاربری اراضی حوضه. نمودن،۹- استفاده از دستگاه GPS موقعیت دقیق خروجی حوضه، کنترل مختصات قسمتهای مختلف حوضه و ثبت نقاط نمونه برداری خاک. درنهایت استفاده از مدل WEPP برای برآورد رسوب حوضه قنبرلو شکلهای ۲ تا ۱۰، نقشه‌های پایه حوضه مورد تحقیق.

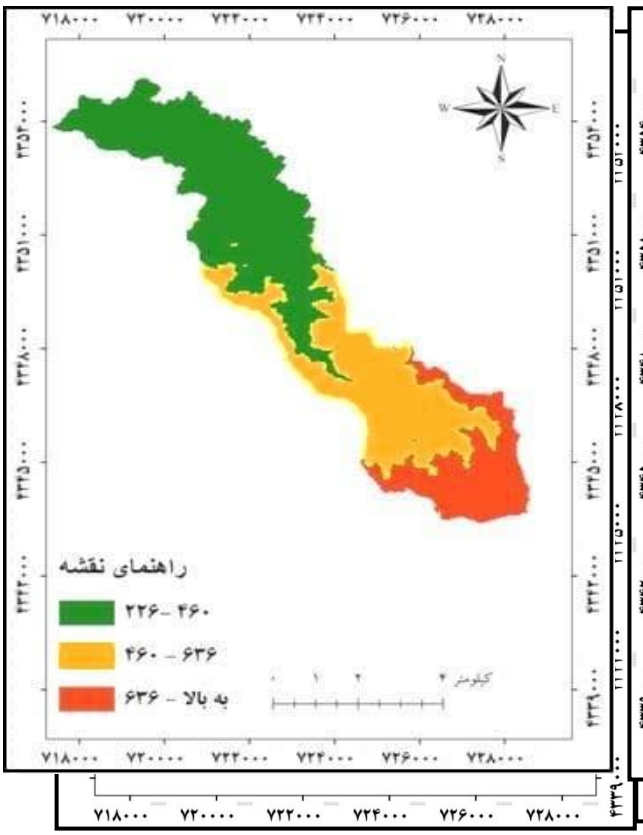
معرفی مدل:

مدل WEPP،[٤] یک تکنولوژی جدید برای پیش‌بینی فرسایش است که برای اولین‌بار در سال ۱۹۸۵ توسط سازمان حفاظت خاک آمریکا پایه‌گذاری شده است(رفاهی،۱۳۹٦). این مدل دارای سه روش حوضه آبخیز، دامنه و مسیرهای جریان می‌باشد. میزان فرسایش خاک و تولید رسوب در روش حوضه آبخیز، در دامنه‌ها و آبراهه‌ها، در روش دامنه، در دامنه و در روش مسیرهای جریان نیز در دامنه برآورد می‌شود. در روش اخیر میزان فرسایش و رسوب‌گذاری در آبراهه‌ها برآورد نمی‌شود و آبراهه تنها انتقال‌دهنده رسوب ورودی می‌باشد. عوامل مورد نیاز مدل WEPP عبارتند از: توپوگرافی، خاک، اقلیم، مدیریت و آبراهه. برای عامل توپوگرافی دو عامل شیب و جهت شیب در نظر گرفته و برای ورود اطلاعات آن‌ها به داخل مدل از نرم‌افزار GeoWEPP استفاده می‌شود. عامل شیب در دو فایل وارد شد: یکی در فایل شیب که شیب دامنه و دیگری فایل آبراهه که شیب آبراهه در آن وارد شد. اطلاعات شیب به وسیله نقشه مدل رقومی ارتفاع (به فرمت GISASCII) و به صورت پروفیل طولی وارد نرم‌افزار شد. بنابراین برای این کار ابتدا مسیر آبراهه‌ها را مشخص و مقطع مناسبی برای هر دامنه در روی نقشه توپوگرافی انتخاب و سپس به کمک نرم‌افزار ArcGIS اقدام به رسم پروفیل مربوطه گردید. نقشه های مورد نیاز در شکل‌های(۲ الی ۱۰) نشان داده شده است.

[٤] . Water Erosion Prediction Project

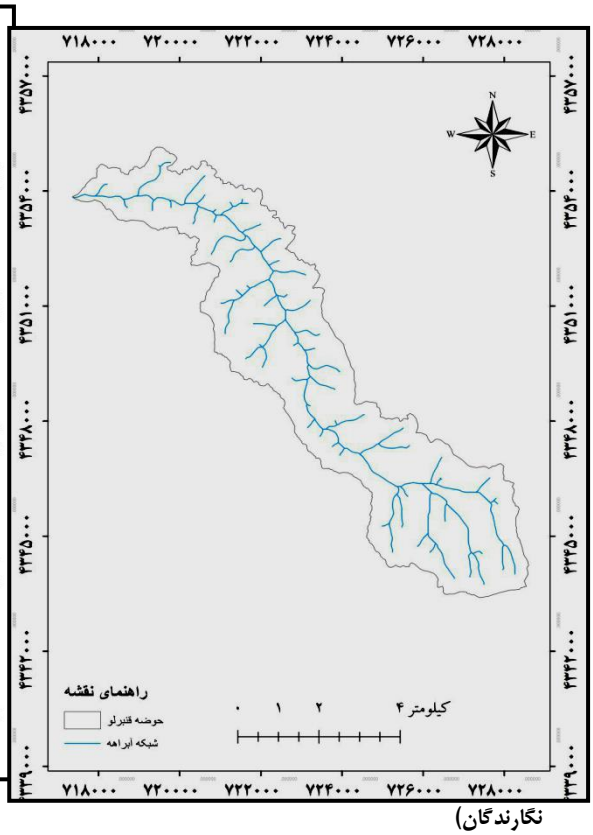


شکل۲- : نقشه اوروهیدروگرافی حوضه قنبرلو منبع : نگارندگان)



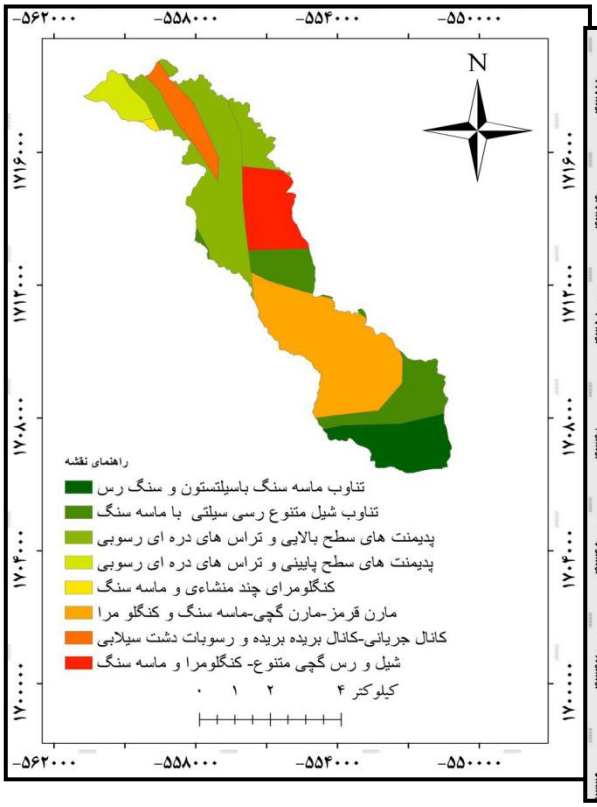
شکل۳- نقشه طبقات ارتفاعی حوضه قنبرلو منبع : نگارندگان)

:

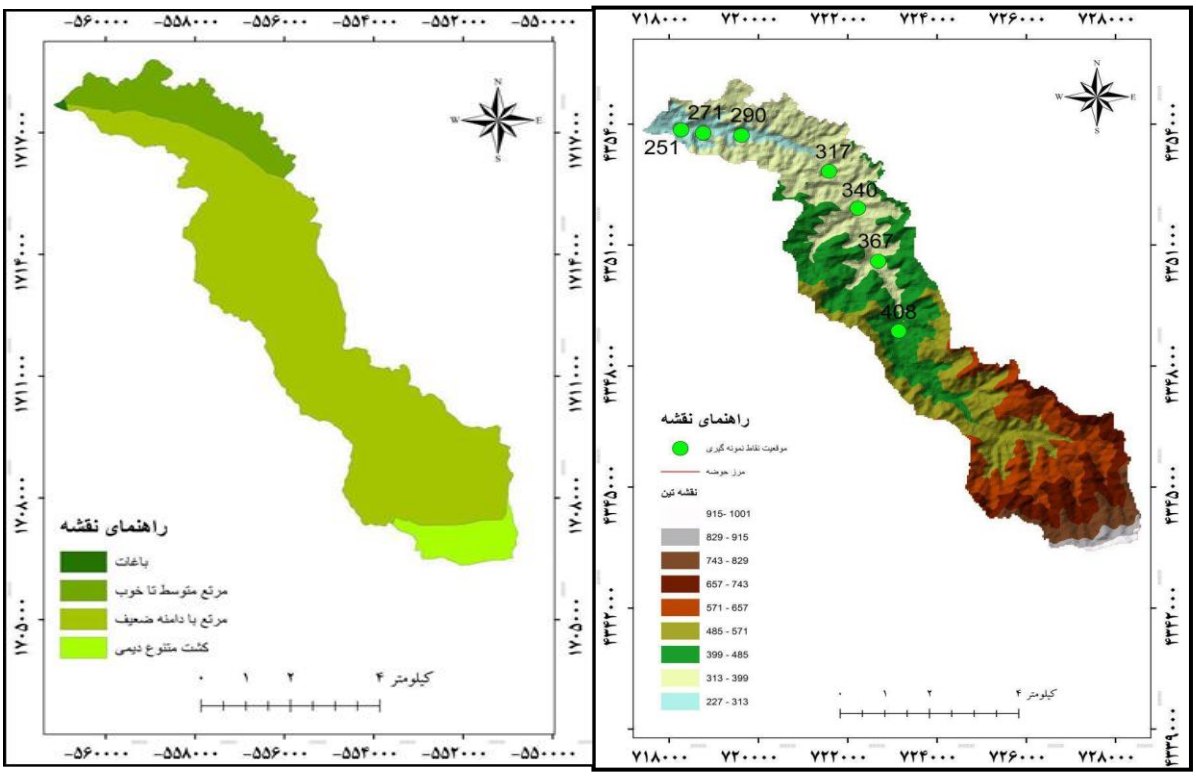


نگارندگان)

شکل۶- نقشه شبکه آبراهه حوضه قنبرلو منبع : نگارندگان)



شکل۷-نقشه لیتولوژی حوضه آبخیز قنبرلو منبع : نگارندگان)



(منبع : نگارندگان)

شکل ۸: نقشه موقعیت نقاط نمونه‌برداری شده حوضه قنبرلو منبع : نگارندگان) شکل۹: نقشه کاربری اراضی حوضه قنبرلو منبع : نگارندگان)

ازم به ذکر است که زمان تمرکز حوضه آبخیز قنبرلو به روش کرپیچ ۲/۰۲ ساعت بدست آمد. برای مطالعه و بررسی اکثر پارامترهای فیزیوگرافی تأثیرگذار در فرسایش و رسوبدهی حوضه قنبرلو سعی شده است تا یکسری از خصوصیات فیزیوگرافی مهم و مؤثر بر فرسایش خاک مورد محاسبه و بررسی قرار گرفت(جدول۱).

جدول ۱ برخی مشخصات فیزیوگرافی حوضه آبخیز قنبرلو (منبع : نگارندگان)

مشخصات فیزیکی	واحداندازه‌گیری شده
مساحت حوضه به کیلومترمربع	۳٤/۵۰کیلومترمربع
محیط حوضه	۵۹کیلومتر
طول ابراهه اصلی	۱۷/۷کیلومتر
میانگین شیب حوضه	۲۱/۵۰درصد
ارتفاع بلندترین نقطه	۱۰۱۱متر
ارتفاع خروجی حوضه	۲۲٦متر
اختلاف ارتفاع	۷۸۵ متر
طول کل آبراهه‌ها به کیلو متر	L=۱۹٤/۸
نسبت انشعاب	BR=٤/٤۳
تراکم زهکشی	۵/٦
زمان تمرکز به ساعت	۲/۰۱

- ساخت فایل خاک

بعد از تعیین واحدهای کاری، در نهایت از ۷ نقطه حوضه مورد تحقیق نمونه‌برداری خاک شد. در شکل(۸) نقاط نمونه برداری نشان داده شده است. سپس ویژگیهای لازم مورد نیاز برای مدل WEPP در آزمایشگاه برای هر یک از نمونه‌ها در جدول زیر آمده است (جدول ۲).

جدول (۲) آزمایشات انجام شده برای فایل خاک۰(منبع : نگارندگان)

نمونه ها	بافت خاک	عمق خاک (cm)	ماسه(Sand) (%)	رس(Clay) (%)	سلیت Silt(%)	مواد آلی (OM) (%)	ماسه خیلی ریز VFS(%)	تبادل کاتیونی CEC Meg/۱۰۰.gr	درصد رطوبت خاک	سنگریزه(٪)
۱	لوم شنی	۷۰	۷۰	۱۱	۱۶	۰/۱۹	۴۵	۱۸/۵	۳/۴۵	۱۵
۲	لوم شنی	۵۰	۶۵	۱۵	۲۰	۰/۲۹	۵۰	۲۱/۸	۴.۲۵	۱۷
۳	لوم رسی شنی	۳۰	۵۱	۲۱	۲۸	۰/۳۰	۲۰	۱۷/۲	۵/۱۵	۱۴
۴	رس	۴۰	۱۴	۵۲	۳۴	۰/۵۹	۱۵	۳۱/۵	۵/۷۵	۱۴
۵	لوم رسی	۹۰	۲۸	۲۵	۴۷	۰/۴۷	۴۰	۲۶/۸	۶/۵	۱۵
۶	لوم شنی	۶۵	۵۹	۱۸	۲۳	۰/۲۰	۳۵	۱۴/۶	۳/۴	۱۶
۷	لوم شنی	۸۵	۴۲	۱۹	۳۹	۰/۱۴	۳۵	۱۱/۷	۴/۲	۱۷

بر اساس داده‌های محاسبه شده در آزمایشگاه خاک، ما با استفاده از این داده‌ها سایر پارامترهای مورد نیاز فایل خاک برای مدل WEEPرا با استفاده از فرمول‌های ارائه شده بدست آوردیم (جدول۳).

جدول (۳) عوامل محاسبه شده برای فایل خاک۰(منبع : نگارندگان)

نمونه	آلبیدو(٪)	سطح اشباع اولیه (٪)	فرسایش پذیری بین شیاری(kg*s/m۳)	فرسایش پذیری شیاری(sm)	تنش برشی بحرانی (n/m)	جریان هیدررولوژی موثر (mm/hr)
۱	۴/۲۵	۴/۳۰	۱۱۳۷۲۵۰۰	۰/۰۰۲۲	۲/۵۸	۲/۴۱
۲	۳/۹۴	۵/۴۸	۱۲۳۳۳۰۰۰	۰/۰۰۱۹	۲/۶۱	۴/۲۲
۳	۲/۷۴	۵/۲۶	۶۵۷۰۰۰۰	۰/۰۲۱۶	۳/۶۲	۱۶/۲۱
۴	۴/۴۸	۴/۸۹	۳۱۸۷۲۴۰	۰/۰۱۲۹	۳/۵	۷/۷۰
۵	۳/۵۴	۴/۶۸	۴۶۷۵۷۵۰	۰/۰۰۵۴	۲/۸۰	۸/۸۱
۶	۲/۱۸	۵/۱۲	۹۴۵۱۵۰۰	۰/۰۱۲۱	۲/۳۴	۱۱/۴۸
۷	۲/۶۸	۴/۴۴	۹۴۵۱۵۰۰	۰/۰۰۷۱	۱/۸۸	۱۴/۳۵

برای ساخت فایل اقلیم تنها دو داده اقلیمی دما و بارندگی روزانه مورد نیاز است. مواردی که برای عامل بارندگی محاسبه شوند شامل: متوسط بارندگی ماهانه، انحراف معیار بارندگی، ضریب چولگی بارندگی، احتمال یک روز مرطوب بعد از یک روز مرطوب و احتمال یک روز مرطوب بعد از یک روز خشک.(جدول، ۴).

جدول (٤): عوامل محاسبه شده برای بارندگی منطقه طی یک دوره آماری ۱۱ ساله (۱۳۸٤تا۱٤۰۰)۰(منبع : نگارندگان)

متوسطبارندگی ماهانه (اینچ)	۱/۰۹	۱/۵۲	۱/۳۰	۰/۵۸	۰/۳۹	۰/٤۵	۱/۲۰	۱/٦۷	۱/۵۱	۱/۱۱	۰/۸۵	۰/٦۳
انحرافمعیار بارندگی (ماهانه)	۰/۷۳	۱/۰۱	۰/۹۰	۰/٦۹	۰/۲۱	۰/٤۸	۱/۱۲	۰/۸۵	۰/۸٤	۰/٦٤	۰/٦۲	۰/۵۳
ضریبچولگی بارندگی (ماهانه)	۰/۷۲	۰/٦۲	۰/۸۵	۱/٤۵	۰/٤۵	۱/۰٤	۷۹/۰	۰/۸۱	۰/۹۵	۰/۸۰	۰/٦۸	۰/۵۱
P(w,w)	۰/۳۵	۰/۳۲	۰/۳۹	۰/۲۵	۰/۱۱	۰/۲٦	۰/۲۸	۰/۵۱	۰/۵۵	۰/۳۷	۰/۲۵	۰/۲٦
P(w,d)	۰/۱٤	۰/۲۱	۰/۲۰	۰/۱۸	۰/۰۵	۰/۰٤	۰/۱۷	۰/٤۲	۰/۳۲	۰/۲۸	۰/۲۱	۰/۱۵

جهت محاسبه فاکتورهای مربوط به دما باید متوسط دمای حداکثر روزانه و متوسط دمای حداقل روزانه در هر ماه، در طی دوره آماری به صورت جداگانه استخراج شود، سپس متوسط دمای حداکثر و حداقل ماهانه و انحراف معیار هر کدام جداگانه محاسبه گردد (جدول۵)

جدول (۵): عوامل محاسبه شده برای دمای منطقه طی یک دوره آماری ۱٦ ساله (۱۳۸٤تا۱٤۰۰)

پارامتر های دما	Dec	Nov	Oct	Sep	Aug	JuI	Jun	May	Apr	Mar	Feb	Jan
میانگین دمای حداکثر (فارنهایت)	۷۰/۳۰	۷۰/۷۰	۸۳/۸٤	۸٦/۸٦	۹۰/۸۲	۹۵/۷۲	۱۰۱/۳۳	۹۷/۵۲	۹٤/۱۳	۸۳/۳۳	۷٦/۷۱	۷٦/۷٦
انحراف معیار دمای حداکثر	۳/٤٤	۳/۱۱	۲/۰۵	۱/۲۳	۱/۳۷	۱/٤۸	۱/۲۱	۱/۸۱	۲/۹۵	۳/۳۵	۳/۰۱	۲/۷۹
میانگین دمای حداقل(فارنهایت)	۱۰/۱۸	٦/۱۸	۱۸/۵۳	۲۰/۵۵	٤۰/۷۸	٤۹/٤۹	۵۵/٤۷	۵۳/٤۵	٤٤/٤۵	۳۵/۰۲	۱۷/۲۳	۱٤/۲۱
انحراف معیار دمای حداقل	۲/۸۵	۲/۳٦	۱/۷۲	۱/٦٤	۱/۰۱	۲/۰٦	۱/۹٤	۱/۸۹	۳/۳٦	۲/۹۲	۳/۵۱	۳/۲۵

از آنجا که حوضه مورد نظر فاقد ایستگاه هواشناسی بود. داده-های مورد نیاز فایل اقلیم مانند دما و بارندگی از ایستگاه تبخیرسنجی و باران‌سنجی پارس‌آباد و قره‌خانبیگلو که نزدیک-ترین ایستگاه به حوضه آبخیز قنبرلو بود استفاده شد، داده‌های مربوط به اقلیم توسط نرم افزارCLIGEN تهیه شد. بر اساس این مدل حوضه مورد مطالعه دارای ٦۰ زیر حوضه شد البته مدل زیر حوضه‌های بیشتری را انتخاب کرده بود که بدلیل راحتی کار زیر حوضه‌های کوچکتر از یک هکتار به نفع زیر حوضه‌های بزرگتر حذف گردید. همچنین در حوضه قنبرلو ۵ نوع مدیریت، ۲ نوع خاک و ۵ نوع آبراهه توسط مدل تشخیص داده شد. در

مدل WEPP داده‌های مربوط به خاک و اقلیم و شیب حوضه را وارد کرده و بر اساس ا ین داده‌ها مدل WEPP در حوضه مورد مطالعه ۵ نوع مدیریت، ۲نوع خاک و ۵ نوع آبراهه شناسایی کرده است. هم چنین مقادیر بدست آمده برای فرسایش و تولید رسوب حوضه آبریز قنبرلو بصورت زیر می‌باشد(جدول ٦). در روش دامنه مدل WEPPمیزان فرسایش و رسوب در دامنه ها و بر روی تپه‌ها برآورد می‌شود ولی در روش حوضه آبخیز میزان فرسایش و رسوب در سطح یک حوضه آبخیز محاسبه می‌گردد و در مسیر جریان میزان فرسایش و رسوب در مسیر حرکت آب در قسمت‌های مختلف برآورد می‌شود. مقادیر مربوط به فرسایش ویژه و کل از روی SDR نسبت تحویل رسوب محاسبه گردید. بر این اساس مقدار رسوب تولید شده در روش‌های مختلف مدل WEPPیعنی روش حوضه آبخیز، مسیرهای جریان و دامنه به ترتیب برابر با ۰/۱٦۸، ۰/۰۷۳ و۰/۱۱۹ تن ذر هکتار در سال می باشد، نتایج نشان می‌دهد روش دامنه مدل قادر است تا با دقت بالا میزان رسوبدهی حوضه آبخیز قنبرلو را برآورد نماید. مدل WEPP که ابتدا در سال ۱۹۸۵ پایه‌گذاری شده است، یک تکنولوژی جدید پیش-بینی فرسایش است که بر پایه مفاهیم اساسی اقلیمی، تئوری نفوذ هیدرولیکی، فیزیکی خاک، علوم گیاهی، هیدرولیک و مکانیسم‌های فرسایشی بناء شده است(رفاهی،۱۳۹٦). در سال ۱۹۸٦ توسط سازمان حفاظت خاک آمریکا، سرویس تحقیقات کشاورزی از بخش کشاورزی ایالات متحده آمریکا برای پیش-بینی فرسایش خاک در شرایط مختلف ارائه شده است. اساس این مدل شناخت عوامل موثر فرسایش در هر منطقه و تعیین نقش هریک از آن‌ها می‌باشد وبرای هر جزء مدل‌های مناسب ارائه می‌گردد. در این مدل یک حوضه آبخیز به اجزای کوچکتر تقسیم‌بندی شده و برای هر جزء مدل‌های مناسب ارائه می-گردد. در مدل وپ فرآیندهای فرسایش شیاری و بین‌شیاری، انتقال و ترسیم و ذرات، نفوذپذیری، تراکم خاک، اثرات بقایای گیاهی بر جدا شدن ذرات خاک و نفوذپذیری، سله بستن سطحی، هیدرولیک جریان در درون شیار، رواناب سطحی، رشد گیاه، تجزیه بقایای گیاهی، نفوذ عمقی، تبخیر، تعرق، ذوب برف، اثرات یخ بستن خاک بر نفوذپذیری و فرسایش‌پذیری، اقلیم، اثرات شخم بر خواص خاک، اثرات زبری و تصادفی خاک برای برآورد رواناب، فرسایش و رسوب در نظر گرفته می‌شود. در این تحقیق، با به کارگیری مجموعه‌ای از نرم‌افزارها، مدل‌ها و ابزار موجود اقدام به استفاده از مدل ریاضی WEPP گردید. فایل ورودی مربوط به اقلیم مدل WEPP به کمک نرم افزار CLIGEN اجرا گردید. فایل خاک، شامل لایه‌های خاک، عمق، در صد شن ریز و درشت، درصد رس، درصد مواد آلی، ظرفیت تبادل کاتیونی خاک، درصد سنگ و سنگ ریزه، ضریب آلبیدو برای منطقه مورد مطالعه ایجاد گردید. فایل توپوگرافی، شامل طول شیب، درجه شیب و شکل شیب تهیه شده و در نهایت فایل مدیریت و پوشش گیاهی که این بخش ااز مدل WEPP بسیار گسترده است و مجموعه‌ای از شیوه‌های مدیریتی و خصوصیات گیاه و خاکورزی مورد استفاده در منطقه را در ارتباط با تأثیرات زیست محیطی و بار رسوب در بر می‌گیرد، ایجاد گردید. بعد از تعیین واحدهای کاری، در نهایت با توجه به شرایط موجود منطقه مورد مطالعه نمونه‌برداری از ۷ نقطه نمونه خاک برداشت شد. خصوصیات محاسبه شده در آآزمایشگاه برای هر یک از نمونه‌ها در جدول زیر آمده است (جدول ٦).

جدول (٦) آزمایشات انجام شده برای فایل خاک

نمونه ها	بافت خاک	عمق خاک (cm)	ماسه(Sand) (%)	رس(Clay) (%)	سلیت Silt(%)	مواد آلی (OM) (%)	ماسه خیلی ریز VFS(%)	تبادل کاتیونی CEC Meg/۱۰۰.gr	درصد رطوبت خاک	سنگریزه(%)
۱	لوم شنی	۷۰	۷۰	۱۱	۱٦	۰/۱۹	٤٥	۱۸/٥	۳/٤٥	۱٥
۲	لوم شنی	٥۰	٦٥	۱٥	۲۰	۰/۲۹	٥۰	۲۱/۸	٤.۲٥	۱۷
۳	لوم رسی شنی	۳۰	٥۱	۲۱	۲۸	۰/۳۰	۲۰	۱۷/۲	٥/۱٥	۱٤
٤	رس	٤۰	۱٤	٥۲	۳٤	۰/٥۹	۱٥	۳۱/٥	٥/۷٥	۱٤

۱۵	٦/٥	۲٦/۸	٤۰	۰/٤۷	٤۷	۲٥	۲۸	۹۰	لوم رسی	٥
۱٦	۳/٤	۱٤/٦	۳٥	۰/۲۰	۲۳	۱۸	٥۹	٦٥	لوم شنی	٦
۱۷	٤/۲	۱۱/۷	۳٥	۰/۱٤	۳۹	۱۹	٤۲	۸٥	لوم شنی	۷

بر اساس داده‌های محاسبه شده در آزمایشگاه خاک، ما با استفاده از این داده‌ها سایر پارامترهای مورد نیاز فایل خاک برای مدل WEEPرا با استفاده از فرمول‌های ارائه شده در ز یر بدست آوردیم (جدول۷)و (شکل۸).

معادله بر آورد حرکت رسوب در شیارها عبارت است از :

رابطه(۱)

$$\frac{dG}{dx} = D_F + D_I$$

G: دبی رسوب در واحد ارز جریان ($Kgm^{-1}\ s^{-1}$)

D_F: فرسایش شیاری یا شدت ته‌نشست ($Kgm^{-2}\ s^{-1}$)

D_i: شدت تحویل رسوب بین شیاری ($Kgm^{-2}\ s^{-1}$)

X: فاصله درجهت پائین دست شیب (m)

معادله ۲-۱براساس موازنه جرم رسوب در شیارها می‌باشد. فرسایش واقعی در شیارها طبق مدل‌بندی WEPP با معادله زیر بیان می‌شود:

رابطه(۲) $\left(۱ - \frac{G}{TC}\right)$

$$D_F = k_r\left(t_{f-}t_c\right)$$

K_r: پارامتر فرسایش پذیری شیار ($m^{-1}s$)

t_f : تنش برشی جریان (pc)

t_c: تنش برشی بحرانی (pc)

T_c: ظرفیت حمل رسوب ($Kgm^{-1}\ s^{-1}$)

معادله (٤-۲) فقط زمانی که $G< TC$ است کاربرد دارد. وقتی ته‌نشست خالص روی می‌دهد که $G >TC$ باشد.. D_F با معادله ذیل نیز بیان می‌شود:

رابطه(۳) $(T_C - G)$

$$D_F = \frac{\beta vF}{q}$$

B: ضریب موجبی ناشی از قطره باران

V_f: سرعت سقوط مؤثر رسوب(ms^{-1}) **که از قطره مؤثر ذره و ثقل ویژه محاسبه می‌شود.**

q: دبی واحد که عبارت است از شدت جریان در واحد عرض ($m^2\ s^{-1}$)

تحول رسوب بین‌شیاری در مدل WEPP با معادله ذیل بیان می‌شود: رابطه (٤)

$$D_i = Kiadj\ .\ Ie\ .\ \sigma ir\ .\ SDRrr\ .\ Fnozzle\ .\ (Rs / W)$$

Kiadj: فرسایش‌پذیری بین شیاری اصلاح شده Kgm^{-4} (s^{-1})

Ie: شدت بارش موثر

ir: شدت رواناب بین‌شیاری ($m^{-1}\ s$)

SDRrr: شدت تحویل رسوب

Fnozzle: فاکتور اصلاح شده برای اندازه‌گیری تغییرات ناشی از آبیاری بارانی

Rs: فاصله بین شیارها (m)

W: عرض شیار(m)

فرسایش‌پذیری بین شیاری اصلاح شده در مدل WEPP در بر گیرنده اثرات پوشش گیاهی، پوشش زمین، ریشه‌ها، سله و پوسته‌های مربوط می‌باشد: شدت بارندگی مؤثر در مدل WEPP به عنوان شدت متوسط ارزیابی شده برای دوره‌ای که شدت باران بر شدت نفوذ غالب می‌شود. شدت تحویل رسوب بین‌شیاری در مدل WEPP به عنوان تابعی از زبری تصادفی سطح خاک، سرعت سقوط رسوب با کلاس اندازه ذرات معین و توزیع اندازه رسوب محاسبه می‌شود. برای مدل WEPP، غلظت رسوب C با گنجایش حمل رسوب و دبی واحد q مرتبط شده و qc به جای Tc در معادله‌ی (۲)جایگزین می‌شوند.

با در نظر گرفتن تغییرات مذکور، فرسایش واقعی عبارت است از:

رابطه (٥)

$$D\ (\ cq\ )\ /\ dx = kr\ (\ \tau f - \tau_c\ )\ (\ ۱ - C\ /\ Ct\ ) + kilc\ \sigma ir\ .\ Rs\ /\ W$$

و برای ته‌نشست واقعی: رابطه (۲-٦)

$$vfct\ (\ ۱ - C\ /\ Ct \diagup \beta wD\ (\ cq\ )\ /\ dx\ ) + kilc\sigma ir\ .\ Rs$$

جدول (۷) عوامل محاسبه شده برای فایل خاک

نمونه	آلبیدو(٪)	سطح اشباع اولیه (٪)	فرسایش پذیری بین شیاری($kg*s/m^3$)	فرسایش پدیری شیاری(sm)	تنش برشی بحرانی (n/m)	جریان هیدررولوژی موثر (mm/hr)
۱	٤/۲٥	٤/۳۰	۱۱۳۷۲٥۰۰	۰/۰۰۲۲	۲/٥۸	۲/٤۱
۲	۳/۹٤	٥/٤۸	۱۲۳۳۳۰۰۰	۰/۰۰۱۹	۲/٦۱	٤/۲۲
۳	۲/۷٤	٥/۲٦	٦٥۷۰۰۰۰	۰/۰۲۱٦	۳/٦۲	۱٦/۲۱
٤	٤/٤۸	٤/۸۹	۳۱۸۷۲٤۰	۰/۰۱۲۹	۳/٥	۷/۷۰
٥	۳/٥٤	٤/٦۸	٤٦۷٥۷٥۰	۰/۰۰٥٤	۲/۸۰	۸/۸۱
٦	۲/۱۸	٥/۱۲	۹٤٥۱٥۰۰	۰/۰۱۲۱	۲/۳٤	۱۱/٤۸
۷	۲/٦۸	٤/٤٤	۹٤٥۱٥۰۰	۰/۰۰۷۱	۱/۸۸	۱٤/۳٥

در نهایت پس از تکمیل کلیه داده‌های مورد نیاز مدل از قبیل فایل اقلیم، توپوگرافی، خاک، مدیریت و آبراهه مدل WEPP از طریق نرم‌افزارGeo WEPP اجراشد. در حوضه مورد مطالعه۵ نوع مدیریت ،۲نوع خاک و ۵ نوع آبراهه توسط مدل تشخیص داده شد. درنهایت بر اساس ۳روش مدل WEPPیعنی روش دامنه، مسیرهای جریان و حوضه آبخیز میزان مقادیر بدست آمده برای فرسایش و تولید رسوب حوضه آبریز قنبرلو بصورت زیر می‌باشد(جدول ۸)

جدول ۸ : آمار رسوب برآورد شده به وسیله مدل WEPP

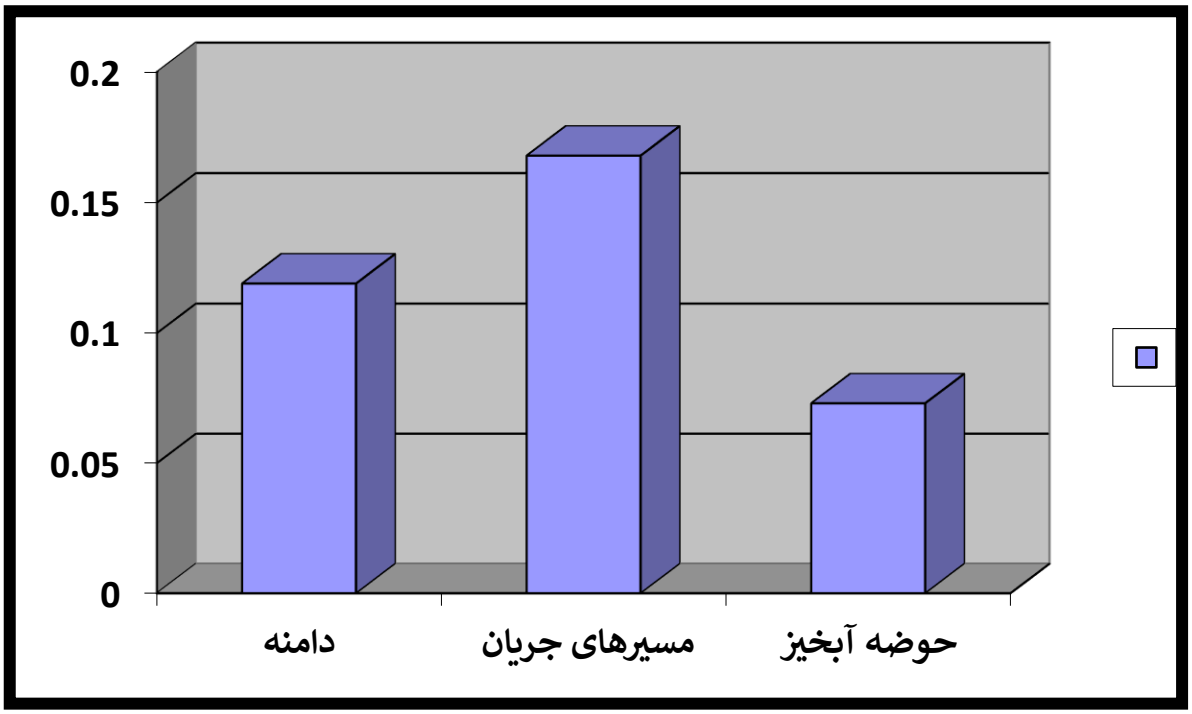
نوع پارامتر	روش های مدل WEPP		رسوب مشاهده‌ای
	حوضه آبخیز	Lمسیرهای جریان	دامنه	
رسوب ویژه (t/ha/year)	۰.۰۷۳	۰.۱٦۸	۰.۱۱۹	-
رسوب کل (t/year)	۲٥۱.۸٥	٥۷۹.٦	٤۱۰.٥٥	-
فرسایش ویزه (t/ha/year)	۰.۱۱٤	۰.۱٤۸	۰.۱۳۱	-
فرسایش کل (t/year)	۳۹۳.۳	٥۱۰.۷	٤٤٥.۹۱	-

در روش دامنه مدل WEPPمیزان فرسایش و رسوب در دامنه ها و بر روی تپه‌ها برآورد می‌شود ولی در روش حوضه آبخیز میزان فرسایش و رسوب در سطح یک حوضه آبخیز محاسبه می‌گردد و در مسیر جریان میزان فرسایش و رسوب در مسیر حرکت آب در قسمت‌های مختلف برآورد می‌شود. مقادیر مربوط به فرسایش ویژه و کل از روی SDR نسبت تحویل رسوب محاسبه گردید. بر این اساس مقدار رسوب تولید شده در روش‌های مختلف مدل WEPPیعنی روش حوضه آبخیز، مسیرهای جریان و دامنه به ترتیب برابر با ۰/۰۷۳، ۰/۱٦۸، و۰/۱۱۹ تن در هکتار در سال می باشد، نتایج نشان می‌دهد روش دامنه مدل قادر است تا با دقت بالا میزان رسوبدهی حوضه آبخیز قنبرلو را برآورد نماید.

- بحث و یافته‌ها

ژئومورفولوژی زمین با گذشت زمان در حال تغییر است و در این میان فرسایش خاک یکی از مهم‌ترین پدیده های تأثیر گذار در تغییرات مورفولوژی سطح زمین است (عابدینی و طولابی،۱۳۹٦). در واقع فرسایش خاک یک مشکل جهانی است که منابع آب و خاک را تهدید میکند و تغییرات کاربری اراضی یکی از عوامل مهم در آن است(عابدینی و همکاران،۱٤۰۱).جهت برآورد میزان فرسایش خاک از مدل WEPP که دارای سه حالت: حوضه آبخیز، مسیرهای جریان و دامنه می‌باشد، استفاده شد. در حالت حوضه آبخیز، میزان رسوب در دامنه‌ها و آبراهه‌ها برآورد می‌شود. در حالت دامنه مقدار رسوب در دامنه‌ها برآورد می‌شود و در حالت مسیرهای جریان نیز مقدار رسوب در دامنه‌ها برآورد می‌شود و آبراهه‌ها تنها انتقال دهنده رسوب ورودی هستند. در این پژوهش مقدار رسوب با سه حالت فوق برآورد گردید. برآورد رسوب تولید شده با استفاده از مدل WEPP طی دو مرحله محاسبه عوامل مورد نیاز مدل و ورود داده‌ها به نرم‌افزار و محاسبه رسوب صورت گرفت. در این تحقیق از روش دامنه، مسیرهای جریان و حوضه آبخیز برای پیش‌بینی رسوب دهی توسط مدل استفاده شده است. داده‌های مدل WEPP عبارتند از: اقلیم، خاک، مدیریت،

توپوگرافی و آبراهه و پارامترهای مورد نیاز خاک نیز عبارتند از: عمق خاک، درصد رس، سیلت و ماسه، درصد ماده آلی، ظرفیت تبادل کاتیونی،فرسایش‌پذیری شیاری، فرسایش‌پذیری بین-شیاری، درصد آلبیدو،درصد سطح اشباع اولیه،تنش برش بحرانی و درصد سنگ‌ریزه در نمونه‌های خاک مورد بررسی قرار گرفتند. جدول (۶،۷و ۸) به ترتیب نتایج آزمایشات انجام شده در فایل خاک و عوامل محاسبه شده در فایل خاک را نشان می-دهد. اطلاعات مربوط به فایل اقلیم به علت این که منطقه فاقد ایستگاه هواشناسی بود، از ایستگاه تبخیرسنجی و باران‌سنجی پارس‌آباد و قره‌خانبیگلو(که به لحاظ توپوگرافی و موقعیت جغرافیایی نزدیک‌ترین ایستگاه به منطقه بوددند)بدست آمد. پارامترهای مورد نیاز برای فایل اقلیم عبارتند از: متوسط بارندگی ماهانه، انحراف معیار بارندگی، ضریب‌چولگی ماهانه، احتمال یک روز مرطوب بعد از یک روز مرطوب و احتمال یک روز مرطوب بعد از یک روز خشک (جدول٤) میانگین دمای حداقل، انحراف معیار دمای حداقل،میانگین دمای حداکثر و انحراف معیار دمای حداکثر (جدول۵)، نتایج حاصل از محاسبات پارامترهای اقلیمی مورد نیاز فایل اقلیم را نشان می‌دهد. پس از آماده‌سازی دیگر اطلاعات مورد نیاز جهت اجرای مدل از جمله اطلاعات مربوط به هیدرولوژی و پوشش گیاهی و اجرای نرم-افزار،در نهایت مقادیر فرسایش و رسوب مدل WEPP با سه حالت فوق به دست آمد. جدول ۸نتایج محاسبات را نشان می-دهد.فایل اقلیم، فایل مدیریت، فایل خاک، فیل شیب و آبراهه در این تحقیق پس از تعیین واحدهای کاری در قالب زیر حوضه‌ها اقدام به جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز شد در نهایت پس از آماده کردن کلیه داده‌ها و اجرای مدل WEPP مدل برای حوضه قنبرلو ۵ نوع مدیریت، ۲ نوع خاک و ۵ نوع آبراهه تشخیص داد. براین اساس میزان رسوب ویژه با ۳ روش حوضه آبخیز، مسیرهای جریان و دامنه با۰/۷۳، ۰/۱۶۸ و ۰/۱۱۹ تن در هکتار در سال به دست آمد و روش دامنه مدل WEPP با ۰/۱۱۹تن در هکتار در سال به دست آمد. نتایج نشان داده روش دامنه WEPP در حوضه‌های کوهستانی نتایج بهتری ارائه می‌دهد(شکل ۸).



شکل ۱۰: نمودار رسوب ویژه برآورد شده به وسیله مدلWEPP در حوضه قنبر لو

نتایج به دست آمده نسبت به نتایج پیشینه پژوهش همسو بوده و در اکثر مطالعات صورت گرفته روش دامنه نسبت به روشهای حوضه آبخیز و مسیر جریان نتایج بهتری را ارائه نموده زیرا روش دامنه با شرایط طبیعی حوضه مورد مطالعه تناسب بیشتری دارد لذا برآورد فرسایش خاک و تولید رسوب توسط روش دامنه بیشتر است و همچنین مدل WEPP نسبت به مدلهای تجربی دیگر با توجه عدم استفاده از میانگیری و برآورد فرسایش و رسوب به صورت مطلق نتایج بهتری ارائه می‌دهد. نتیجه‌گیری‌تاکنون برای برآورد فرسایش و رسوب از مدل‌های تجربی و فرآیندی زیادی استفاده شده است که هر کدام نقاط

ضعف و قوتی در پیش‌بینی داشته‌اند. مدل WEPPبه عنوان یک مدل فرآیندی قادر است میزان هدر رفت خاک را بر روی دامنه-ها ودر سطح یک حوضه آبخیز براساس هر واقعه بارش و یا برای سال های متوالی برآورد کند. اطلاعات مورد نیاز برای اجرای مدل WEPP در۵ فایل وارد نرم افزارهای مربوطه می-شود: فایل اقلیم، فایل مدیریت، فایل خاک، فیل شیب و آبراهه در این تحقیق پس از تعیین واحدهای کاری در قالب زیر حوضه‌ها اقدام به جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز شد در نهایت پس از آماده کردن کلیه داده‌ها و اجرای مدل WEPP مدل برای حوضه قنبرلو ۵ نوع مدیریت، ۲ نوع خاک و ۵ نوع آبراهه تشخیص داد. براین اساس میزان رسوب ویژه با ۳ روش حوضه آبخیز، مسیرهای جریان و دامنه با۰/۷۳، ۰/۱۶۸ و ۰/۱۱۹ تن در هکتار در سال به دست آمد و روش دامنه مدل WEPP با ۰/۱۱۹تن در هکتار در سال به دست آمد. نتایج نشان داده روش دامنه WEPP در حوضه‌های کوهستانی نتایج بهتری ارائه می‌دهد(شکل ۱۰). کار علمی مشابهی که توسط احمدی همکاران(۲۰۱۶) در حوضه چرداول، استان ایلام بعمل آمده و نتایج آن نیز نشان داده که مدل WEPP در مقایسه با روش هیدروفیزیکی، در برآورد میزان فرسایش خاک و تولید رسوب در حوضه آبخیز دقت بیشتری دارد. در این مدل، روش مسیر جریان برای برآورد میزان فرسایش خاک و تولید رسوب به عدد مشاهده‌ای در ایستگاه هیدرومتری نزدیک است ولی بدلیل اینکه روش دامنه با شرایط طبیعی حوضه مورد مطالعه تناسب دارد نتیجه درستی ارائه می‌دهد و در کل نتایج بیانگر این مسئله است که روش دامنه مدل WEPP از کارایی مناسبی در مناطق تپه ماهوری وکوهستانی برخوردار است.

منابع

- احمدی، ح.، جعفری، م.،گلکاریان، ع.، الهام‌السادات. ام.، لافلن، ج .، ۱۳۸٦. برآورد فرسایش و رسوب با استفاده از مدل WEPP (مطالعه موردی در حوضه‌ی باراریه نیشابور). مجله‌ی پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی. شماره ۷۵. تهران: سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی. صص ۱۷۲-۱٦۲.

- احمدی، ح. .،۱۳۹۱. ژئومورفولوژی کاربردی (فرسایش آبی). جلد اول. چاپ هشتم. انتشارات دانشگاه تهران.، ٦۸۸. صفحه.

- اسمعلی، .، عبدالهی، خ.، ۱۳۸۹، آبخیزداری وحفاظت خاک، انتشارات دانشگاه محقق اردبیلی. ۵۷٤ صفحه.

- تیموری، م.،۱۳۹۹. ارزیابی کارایی مدل های WEPP و RUSLE در تخمین میزان فرسایش و رسوب در حوزه آبخیز سولدی، سی و نهمین کنگره ملی و چهارمین کنگره بین المللی علوم زمین. صص ۱۳۳ -۱۱٤.

-رفاهی، حسینقلی.،۱۳۹٦. فرسایش آبی وکنترل آن، چاپ ششم، انتشارات دانشگاه تهران، ٦۷۱ صفحه.

-صادقلو، م.،ساعدی، س، یارمحمدی.، ج.، ۱۳۹۰، کاربردGISو مدل WEPPدر شناسایی، پهنه بندی و ارزیابی عرصه‌های فرسایش و رسوب و ته نشست‌های آن در حوضه‌ی صوفی چای، پنجمین همایش ملی و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط زیست، دانشگاه تهران، دانشکده محیط زیست.

-صادق‌زاده ریحان.، م. ا.،یار احمدی،ج .، ۱۳۹۲ . مطالعه روند فرسایش و رسوب با استفاده از شبیه‌سازی مدل فرآیندی WEPP در اراضی مارنی خواجه تبریز. پژوهشهای ژئومورفولوژی کمّی، شماره ۱. صص ۱۱۲ -۹۷.

-عابدینی، موسی .(۱۳۸٤)، پژوهشی در فرسایش خندقی ارتفاعات جنوب غرب دشت هادیشهر شمال غرب آذربایجان شرقی از طریق روشها و تکنیکهای جدید. جغرافیا و توسعه. ٦، ۱۳۳-۱۳۱.

-عابدینی، م.، طولابی، س .، ۱۳۹٦. مدلسازی فرسایش خاک و تولید رسوب با سه مدل WEPP، EPM و Fournier در محیط GIS (مطالعه موردی: حوضه آبخیز سولاچای- اردبیل)، تحقیقات جغرافیایی، ۱۲۵، ۱۰۵-۹۳.

-عابدینی، م.، یعقوب نژاد.، ن .، ۱۳۹٦. ارزیابی و پهنه‌بندی خطر فرسایش خاک در حوضه آبخیز رودخانه بالیخلو (سد¬یامچی) با استفاده از مدل-فازی، پژوهشهای ژئومورفولوژی کمّی، سال ششم، ۱، ۱۵۵-۱۳۷.

-عابدینی، م.، ابوالفتحی، د.، رئیسی، م.، ۱٤۰۱. پهنه‌بندی فرسایش حوضهٔ آبریز رزن با استفاده از مدل‌های منطق فازی، EPM و BLM در محیط GIS، نشریه جغرافیا و توسعه، ۲۰(٦۸)، ص۸٦-٦۲.

-عابدینی، م.، بهرام‌نیا، ف.، مصطفی‌زاده، ر.، پاسبان، ام، ۱٤۰۲. بررسی تاثیر تغییرات کاربری اراضی در یک دوره بیست سال بر میزان فرسایش و رسوب حوضه رضی‌چای، فصلنامه جغرافیا و مطالعات محیطی، سال دوازدهم، شماره ٤۵، صص ۱۳۳-۱٤٤.

-عابدینی، م.، جوادی، س.، مصطفی‌زاده، ر.، پاسبان، ا.، ۱۴۰۱. ارتباط شاخصهای پوشش گیاهی و ژئومورفیک با مقادیر فرسایش و رسوب در حوضه آبریز کوزه توپراقی، هیدروژئومورفولوژی، شماره‌ی ۳۲، سال نهم، صص ۱۲۸-۱۰۵.
-عابدینی، م.، شبرنگ، ش.، اسمعلی، ا.،۱۳۹۲. EPM بررسی میزان فرسایش خاک و رسوب دهی در حوضه ی آبخیز مشکینچای به روش، جغرافیا و توسعه، شماره ۳۰، صص ۱۰۰-۸۷.
عابدبنی، م.، بابایی‌اولم، ط.، پاسبان، امیرحسام.، ۱۴۰۲. پهنه‌بندی مخاطرات زیست محیطی حوضه آبریز ویرمونی استان گیلان، فصلنامه مطالعات علوم محیط زست، دوره ۸، شماره ٤. صص ۷۳۷۵ - ۷۳٤٤
-عابدینی، م، ۱۴۰۰. بررسی کمی فرسایش خندقی و رسوبدهی با استفاده از شاخصهای فرسایندگی باران، مورفومتری و رگرسیون خطی در حوضه آبخیز هرزندچای، تخریب و احیا اراضی طبیعی، سال دوم، شماره ۳، صص ۱۱۱-۱۰۰.
-کریمی، ن.، لیلا جی.، عطا اله.ک.، عبدالوحید ک.د. .، ۱۴۰۱. تعیین سهم ویژه منابع رسوب معلق در حوضه آبخیز واز با استفاده از خصوصیات ژئوشیمیایی، مجله اکوهیدرولوژی. . (٤): ۷۱۸-۷۰۵.
-محمودآبادی، مجید.، چرخابی، امیرحسین.، روحی پور، حسن.،۱۳۸۹. ارزیابی مدل فرایندی WEPP در برآورد فرسایش شیاری با استفاده از شبیه‌سازی رواناب، مجموعه مقالات ششمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری و چهارمین همایش ملی فرسایش و رسوب.

-.Alloisn L., John O and Christian O. Soil Loss Assessment Using the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) Modelois. Hindawi TApplied and Environmental Soil Science Volume ۲۰۲۲; Article ID ۲۱۲۲۵۵٤, . https://doi.org/۱۰,۱۱۵۵/۲۰۲۲/۲۱۲۲۵۵٤. : ۱ -۱٤.
-Amore,E.,Modica,C.,Nearing,M.A.,Santoro,V.C.(۲۰۰٤)ScaleeffectinUSLE and WEPP application for soil erosion comput from three sicilian basins.journal of Hydrology. ۲۰۰٤; (۲۹۳):۱۰۰-۱۱٤.
-Bouaziz,M.,Leidiy,M.,Gloaguen,R. Optimal parameter selection for qualitaive regional erosion risk monitoring: Aremotoe sensing study of sc ethiopia.Geosctence fron tiers. ۲۰۱۱; ۲ (۲): **۲۳۷-۲٤۵**.
-Geographical Organization of the Armed Forces, topographical map of Pars-Abad city with a scale of **۱:۵۰۰۰۰.**
-Geological Organization of the country, Geological map of Maghan, scale ۱:۱۰۰۰۰۰, Maghan, Ardabil province.

-Kaihura.F., Kullaya.I., Kilasara.M., Aune.J.,sing .B., Lal.R. Soil quality .Efects of accelerated erosion and managment systems in three ecoregions of tanzania. Soil & tillage research. ۱۹۹۹; ۵۳(۱):۵۹-۷۰.
-.Meshram, S.G., Singh,V.P., Kahya, E., Alvandi, E. Meshram, Ch. & Sharma, S.K. The feasibility of multi-criteria decision-making approach for prioritization of sensitive area at risk of water erosion. European Water Resources Association (EWRA), ۲۰۲۰; ۳٤(۱۵), . ٤٦٦۵-٤٦۸۵.
-.Pandey, A., Chowdary, V. M., Mal, B. C., Billib, M. ۲۰۰۸. Runoff and sediment yield modeling from a small agricultural watershed in India using the WEPP model. Journal of Hydrology, ۳٤۸; ۳۰۵-۳۱۹.
-Pmental, D., Harvay, C., Resosudarmo, P., Sinclair, K., Kurz, D., McNair, M., Crist, S., Shipritz, L., Fitton, L., Saffouri, R., & Bilar, R. Environmental and economic costs if Soilerosion and conservation benefits. College of Agriculture and life Sciences, Cornell University, Ithaca, USA. ۱۹۹۵; (۲٦۷): ۱۱۱۷-۱۱۲۳.
-Samantaray, S., & Ghose, D. Evaluation of suspended sediment concentration using descent neural networks. Procedia Computer Science. ۲۰۱۸;**۱۳۲: ۱۸۲٤-۱۸۳۱.**
-Shen, Z. Y., Gong, Y. W., Li, Y. H., Hong, Q., Xu, L., Liu, R. M. A comparison of WEPP and SWAT for modeling soil erosion of the Zhangjiachong Watershed in the Three Gorges Reservior Area. Agricultural Water Management, ۲۰۰۹; (۱۹٦) ۱۰ :**۱٤۳۵-۱٤٤۲.**
-Singh, R. K., Panda, R. K., Satapathy, k. k., Ngachan, S. V. Simulation of runoff and sediment yield from a hilly watershed in the eastern Himalya India using the WEPP model. Journal of Hydrology. ۲۰۱۱;٤۰۵: ۲٦۱-۲۷٦.

-Talebi Khiavi, H., & Mostafazadeh, R. The spatiotemporal dependencies of terrain indices with soil characteristics in a steep hillslope mountainous area. Arabian Journal of Geosciences, ۲۰۲۲; ۱۵, (۹۳۷). https://doi.org/۱۰,۱۰۰۷/s۱۲۵۱۷-۰۲۲-۱۰۲۲۰-٤

[۲۸].Yusuf, S. M., Wijayanto, A. K., Sudrajat. N. F . Soil erosion prediction using GeoWEPP model in Cimanuk Hulu sub-watershed Sudrajat٤Earth and Environmental Science. ۲۰۱٤; ۹۵۰ . ۰۱۲۱۰۵IOP Publishing. doi:۱۰,۱۰۸۸/۱۷۵۵-۱۳۱۵/۹۵۰/۱/۰۱۲۱۰۵

–Zhang, Q. Dong, Y. Li,F. Zang, A. Lei, T.Quantifying detachment rate of eroding rill or ephemeral gully for WEPP with flume experiments, hournal of Hydrology.۲۰۱٤; (۵۱۹), part B:**۲۰۱۲–۲۰۱۹.**

Investigating of the soil erosion and sediment production using the WEPP model Case study: Ghanbarlo watershed

Mousa Abedini[۱] , Seyyed Ahad Safari

[۱]Professor in Geomorphology, Department of physical Geography, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabili, Iran

[۲].. MSc., Department of physical Geography, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabili, Iran

Introduction

Soil erosion is a natural process that causes soil loss due to various environmental factors such as climate, soil, topography and vegetation (Abedini et al., ۱۴۰۲: ۱۱۵). This phenomenon is one of the most critical problems that cause the destruction of land on the earth's surface all over the world. This phenomenon occurs as a result of complex interactions between natural and human-caused factors (Elson et al., ۲۰۲۲). Erosion is the movement of materials from one point to another, after the destruction of rock or soil, the resulting materials due to the loss of adhesion and density by various factors such as water, wind and snow, and depending on the strength It acts as a transport and deposition agent (Ahmadi, ۲۱۲: ۱۳۸۶). Soil erosion is one of the most important factors of destruction and reduction of soil fertility, which is increasing throughout the year and leads to the loss of high-quality agricultural soil (Bayziz et al., ۲۰۱۱:۲۳۸). The ever-increasing increase in world population, especially since the last half century, severe interference in water and soil resources (pressure on the land), has caused the study of soil erosion as one of the most important issues in its various dimensions, such as environmental effects, sustainable development of agriculture and food production. and so on, the more attention is paid to it (Abdini, ۱۴۰۰ and ۱۴۰۱.)Ghanbarlu watershed with an area of ۳۴,۵۰ square kilometers and ۳۴۵۰ hectares is one of the sub-basins of Dareh-Rood in Pars-Abad, Moghan city.

Methodology

The WEPP model is a new technology for predicting erosion, which was established for the first time in ۱۹۸۵ by the US Soil Protection Organization (Refahi, ۲۰۱۶). This model has three methods of watershed, range and flow paths. The amount of soil erosion and sediment production is estimated in the watershed method, in slopes and waterways, in the slope method, in the slope and in the flow path method. In the recent method, the amount of erosion and deposition in waterways is not estimated and the waterway is the only transporter of incoming sediment. The required factors of the WEPP model are: topography, soil, climate, management and waterways. Two factors of slope and direction of slope are considered for the topography factor and GeoWEPP software is used to enter their information into the model. The slope factor was entered in two files: one in the slope file where the slope of the domain and the other in the waterway file where the slope of the waterway was entered. Slope information was entered into the software by means of a digital elevation model map (in GISASCII format) and as a longitudinal profile. Therefore, for this purpose, first the route of waterways was determined and a suitable cross-section for each domain was selected on the topographic map, and then the relevant profile was drawn with the help of ArcGIS software.The main goal of this research is to estimate the soil erosion and sedimentation rate of Ghanbarlo watershed with the WEPP model. In this research, according to the topic, various books, articles, official publications, theses and websites related to the topic have been used. Meteorological and regional water organization of Ardabil province was used to collect meteorological data and discharge and sediment statistics of the basin. Then, in order to directly observe and investigate erosion issues and identify existing phenomena in the area and take soil samples, several stages of field visit to the area have been carried out. Also, the soil laboratory of the Faculty of Agriculture and the laboratory of Moghan Soil Testing Company have been used to obtain the parameters of the WEPP process model in estimating the amount of erosion and sedimentation. WEPP model has three modes of watershed, flow paths and range. In the case of a watershed, the amount of sediment in the slopes and waterways is estimated. In the case of slopes, the amount of sediment is estimated in the slopes, and in the case of stream paths, the amount of sediment in the slopes is also estimated, and waterways are the only transporters of incoming sediment (Abadini and Toulabi, ۲۰۱۶). In this research, the amount of sediment was estimated with the above three modes. Estimating the sediment produced using the WEPP model was done in two steps: calculating the factors required by the model and entering the data into the software and calculating the sediment.

Conclusion

So far, many experimental and process models have been used to estimate erosion and sedimentation, each of which has strengths and weaknesses in prediction. As a process model, the WEPP model is able to estimate the amount of soil loss on the slopes and on the surface of a watershed based on each rainfall event or for consecutive years. The information required to implement the WEPP model is entered into the relevant software in ٥ files: climate file, management file, soil file, slope slope and waterway. Finally, after preparing all the data and implementing the WEPP model, the model identified ٥ types of management, ٢ types of soil, and ٥ types of waterways for the Canberra basin. Based on this, the amount of specific sediment was obtained with ٣ methods of watershed, flow paths and range with ٠,٧٣, ٠,١٦٨ and ٠,١١٩ tons per hectare per year and the range method of WEPP model was obtained with ٠,١١٩ tons per hectare per year. . The results show that the WEPP domain method provides better results in mountain basins (Figure ١٠.(A similar scientific work done by Ahmadi al (٢٠١٦) in Cherdavel basin, Ilam province, and its results also showed that the WEPP model is more accurate in estimating the amount of soil erosion and sediment production in the watershed compared to the hydrophysical method. In this model, the flow path method to estimate the amount of soil erosion and sediment production is close to the observed number in the hydrometric station, but because the range method is suitable with the natural conditions of the studied basin, it provides correct results and the results show this problem. That the domain method of the WEPP model has a suitable efficiency in the hilly and mountainous areas.

Keywords: Soil erosion; sediment yieldusing; Ghanbarlo basim; WEPP model.