

مقایسه مدل‌های WEPP و هیدروفیزیکی برای برآورد میزان فرسایش خاک و تولید رسوب (مطالعه موردی: حوضه‌ی آبخیز چرداول)

مهدی احمدی*: دانشجوی دکتری گروه ژئومورفولوژی، دانشکده‌ی جغرافیا و برنامه‌ریزی، دانشگاه تبریز

داود مختاری: استاد گروه ژئومورفولوژی، دانشکده‌ی جغرافیا و برنامه‌ریزی، دانشگاه تبریز

سید اسداله حجازی: دانشیار گروه ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا و برنامه ریزی، دانشگاه تبریز

مهدی نیک‌سرشت: مربی گروه جغرافیا، دانشگاه پیام نور ایلام

تاریخچه مقاله (تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۰/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۷/۲۹)

چکیده

حوضه‌ی آبخیز چرداول با مساحت ۹۹۳ کیلومترمربع و متوسط ارتفاع ۱۳۵۱ متر، در شمال استان ایلام واقع شده است. در این تحقیق، از دو مدل وپ و هیدروفیزیکی برای تخمین میزان فرسایش خاک و رسوب در حوضه‌ی چرداول استفاده شد. اطلاعات موردنیاز برای اجرای مدل وپ در شش سطح وارد شد که شامل فایل خاک، اقلیم، مدیریت، شیب، آبراهه و مخزن است. بر این اساس، اطلاعات موردنیاز برای ساخت فایل‌های خاک و مدیریت استخراج شد. در فایل خاک اطلاعاتی مانند بافت، ظرفیت تبادل کاتیونی، ماده آلی، مقدار سنگریزه، جریان هیدرولیکی مؤثر و تنش برشی بحرانی وارد شد. در فایل مدیریت نیز اطلاعاتی مانند کاربری اراضی، اعمال مدیریتی انجام شده، خصوصیات پوشش گیاهی، خصوصیات فیزیوگرافی و فنولوژیکی گیاهان غالب وارد شد. پس از ساخت کلیه‌ی فایل‌های موردنیاز، مدل وپ از طریق نرم‌افزار ژئو وپ اجرا شد. در این نرم‌افزار میزان فرسایش و رسوب به سه روش دامنه، حوضه‌ی آبخیز و مسیر جریان برآورد گردید که بر مبنای آن میزان رسوب سالانه در حوضه‌ی رودخانه‌ی چرداول به ترتیب ۷/۶۴، ۶/۰۱ و ۱۱/۸۷ تن در هکتار است. بر این اساس، دو روش دامنه و مسیر جریان با ۷/۶۴ و ۱۱/۸۷ تن در هکتار در سال، به عدد مشاهده‌ای ۱۰/۵ نزدیک‌تر و برای برآورد میزان فرسایش و رسوب در منطقه‌ی مورد مطالعه مناسب می‌باشد. در مدل هیدروفیزیکی، تجزیه و تحلیل داده‌ها و یافته‌های تحقیق برای بررسی توان رسوب‌دهی و فرسایش خاک در حوضه‌ی چرداول، نشان داد که میزان تولید رسوب ۸/۰۶۶ تن در هکتار است. نتایج به‌دست‌آمده در روش هیدروفیزیکی، با احتساب R^2 نتایج بهتری نسبت به R به دست آورد و مقایسه‌ی روش هیدروفیزیکی با احتساب R^2 ، ضریب همبستگی بیشتری نسبت به R در مقایسه با آمار رسوب‌سنجی ایستگاه هیدرومتری چرداول نشان داد. در نهایت، نتایج به‌دست‌آمده از برآورد میزان فرسایش خاک و تولید رسوب در حوضه‌ی آبخیز چرداول نشان داد که مدل WEPP در برآورد میزان فرسایش خاک و تولید رسوب 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.

واژگان کلیدی: فرسایش خاک، رسوب، مدل WEPP، مدل هیدروفیزیکی، حوضه‌ی چرداول.

۱- مقدمه

فرسایش خاک و تولید رسوب در کاهش حاصلخیزی خاک، هدر رفتن آن و پر شدن مخازن سدها تأثیر زیادی دارد. این امر از تخریب محیط زیست به سبب فشار انسان بر کاربری زمین نشأت می‌گیرد که اینک به یک مشکل بزرگ جهانی تبدیل شده است (Erlach, 1998 & Wilson, 1992). به دلیل میزان بالای رشد جمعیت و تخریب سریع منابع طبیعی، اثرات این تخریب در کشورهای در حال توسعه بیش از کشورهای پیشرفته احساس می‌شود (Feoli et al, 2000). فرسایش خاک، موسوم به سرطان خاک فرایندی پیچیده همراه با اثرات زیست محیطی است که خطری بالقوه برای حیات بشری به شمار می‌آید (Owengh, 2003). شناخت نوع فرسایش، علت و مکانیسم به وجود آمدن آن، کمک بزرگی به مهار فرسایش و مبارزه با آن می‌کند (Grauso et al, 2007)؛ بنابراین مطالعه‌ی رفتار و ماهیت رودخانه و حوضه‌های آبخیز و به تبع آن مطالعه‌ی حوضه‌های آبخیز از جهات متعدد از قبیل کنترل سیلاب، فرسایش و رسوب‌گذاری قابل توجه است (Brierley et al, 2006). از مدل‌های فرسایش می‌توان برای مطالعه و ارزیابی فرسایش خاک در زمینه‌ی تغییرات زمین و شناخت منابع رسوبی استفاده کرد (Feng et al, 2010). همچنین با استفاده از این روش‌ها و مدل‌ها می‌توان نقشه‌ی فرسایش خاک را تهیه کرد. از مدل‌های فرسایش می‌توان برای مطالعه و بررسی فرایندهای فرسایش خاک، در زمینه‌ی دگرگونی زمین و چگونگی استفاده از آن در بسیاری از نقاط جهان، همچنین تهیه‌ی نقشه‌های خطر فرسایش خاک در مناطقی که برنامه‌های حفاظت منابع آب و خاک مطرح است، استفاده کرد (Fox et al, 2006 & Khan et al, 2001 & Jain et al, 2002).

معمولاً در شرایط دست‌نخورده، ۳۰۰ سال طول می‌کشد تا ۲۵ میلی‌متر خاک سطحی تشکیل شود؛ درحالی‌که این مقدار خاک تشکیل شده، به مراتب کمتر از خاک فرسایش یافته است (Refahi, 2003)؛ بنابراین برای جلوگیری و کاهش این اثرات، باید اقداماتی برای حفاظت خاک، آبخیزداری و کنترل رسوب انجام داد (Hakim Khani, 2002). شناخت نوع فرسایش، علت و مکانیسم به وجود آمدن آن کمک بزرگی به مهار فرسایش و مبارزه با آن می‌کند (Grauso et al, 2007)؛ بنابراین مطالعه‌ی علت و عوامل تأثیرگذار بر فرسایش خاک مهم است (Brierley and Fryirs, 2006). همچنین از مدل‌های فرسایش خاک می‌توان برای شناسایی عوامل ایجادکننده‌ی فرسایش و تولید رسوب استفاده کرد (Feng et al, 2010). فرسایش خاک با تأثیرات محیطی (Clark et al, 1985)، همچنین کاهش و از بین رفتن خاک و محصولات مرتبط است (Ial, 1995 & Pimentel et al, 1995) که داشتن فهمی مهم را در زمینه‌ی فرایندهای اصلی که بر روی فرسایش خاک تأثیر می‌گذارند، ضمانت امنیت غذایی (Daily et al, 1998) و تأمین امنیت محیطی طبیعی را لازم و مهم می‌کند (Matson et al, 1997).

فرایند فرسایش خاک به‌عنوان بزرگ‌ترین تأثیراتی که فرایندهای هیدرولوژیکی و انسانی بر روی سطح زمین می‌گذارند، بررسی می‌شود. برآورد فرسایش خاک به وسیله‌ی روش‌هایی مانند مدل WEPP، به دقت بالایی برای تخمین روان آب وابسته هستند؛ زیرا روان آب عامل حمل رسوب است (Hergarten et al, 2000)؛ بنابراین، نقشی عمده و کلیدی در بررسی فرسایش خاک و تولید رسوب ایفا می‌کند (Pielke, 1999)؛ زیرا مواد فرسایش‌یافته ممکن است به‌صورت ذرات محلول، به وسیله‌ی روان آب حمل و از حوضه خارج شود (Ghadiri et al, 1993 & Burgoa et al, 1995). طراحی تأسیسات و ساختارها در مهندسی هیدرولوژیک، به تخمین و برآورد دقیق روان آب وابسته است

(Yanmaz et al, 1995 & McCuen et al, 2002). مدل تخمین فرسایش WEPP، در اساس مدلی فیزیکی است که میزان فرسایش و از دست رفتن خاک را با استفاده از رویکردهای توسعه‌ی مکانی محاسبه می‌کند (Foster et al, 1995) و در مقایسه با معادله‌ی جهانی فرسایش (USLE) و دیگر انواع مدل‌های آن که اخیراً استفاده شده‌اند، مدل WEPP بیانگر نوعی رویکرد جدید در زمینه‌ی محاسبه و برآورد میزان فرسایش و از دست رفتن خاک در یک حوضه‌ی آبخیز است (Yu et al, 2000). این مدل علاوه بر اینکه همه توانایی‌های مدل USLE و دیگر مدل‌های تخمین میزان فرسایش و برآورد رسوب را دارد، با ابزارهای قابل ملاحظه و بنیادی‌تر به محاسبه‌ی فرسایش می‌پردازد. مدل WEPP می‌تواند نه تنها میزان روان آب و فرایند فرسایش در یک حوضه را ارزیابی کند، بلکه می‌تواند به ارزیابی تأثیرات مدیریت و مداخلات بپردازد، همچنین تغییرات محیطی را که در حوضه اتفاق افتاده است، در مقیاس‌های مکانی بررسی می‌کند (Yu and Rosewell, 2001). محققان زیادی در دنیا، مدل WEPP را به کار برده‌اند (Pandey et al, 2011 & Shen et al, 2009 & Singh et al, 2007 & Pieri et al, 2008 and 2009). بعضی از این مطالعات فقط برای آزمایش و اعتبارسنجی مدل WEPP در برآورد میزان فرسایش و رواناب انجام شده‌است (Acharya et al, 2011) و دیگر مطالعات، شامل اعتبارسنجی در زمینه‌ی مدل‌هایی است که در سطح پلات به کار رفته‌است (Pieri et al, 2007) (& Yu and Rosewell, 2001).

روشی که امروزه در برخی از کشورها براساس آن، وضعیت رسوب در حوضه‌های آبخیز (حوضه‌های آبخیز بزرگ و نسبتاً بزرگ) محاسبه می‌شود به روش هیدروفیزیکی معروف است (Ahmadi, 2009). در این روش، یک حوضه‌ی آبخیز بزرگ به زیر حوضه‌هایی تقسیم و در هر زیر حوضه، پتانسیل رسوبی محاسبه می‌شود و در نهایت پتانسیل رسوبی کل حوضه به دست می‌آید. به دلیل اینکه با مدل هیدروفیزیکی، رسوب‌دهی در زیر حوضه‌های یک حوضه‌ی آبخیز برحسب اولویت قابل محاسبه است؛ از این رو، می‌توان از این مدل برای برنامه‌ریزی‌های مطالعاتی و اجرایی و مبارزه و مهار فرسایش و طرح‌های آبخیزداری، به نحو مطلوب استفاده کرد. همچنین مدل هیدروفیزیکی در بررسی پتانسیل رسوب‌دهی یک حوضه‌ی آبخیز، فقط درصد پتانسیل رسوب‌دهی هر یک از واحدهای هیدرولوژیکی یا زیر حوضه‌ها را نسبت به کل حوضه نشان می‌دهد و بدین طریق نمی‌توان میزان رسوب را برآورد کرد. اما اگر میزان رسوب‌دهی یکی از واحدهای هیدرولوژیکی از طریق اندازه‌گیری‌های مستقیم در دست باشد، رسوب‌دهی کل حوضه را می‌توان با استفاده از درصد رسوب‌دهی آن به دست آورد. این روش از صحت نسبتاً قابل قبولی برخوردار است؛ زیرا برآوردها جنبه‌ی مقایسه‌ای دارند. در نتیجه خطاهای احتمالی، اثرات نسبتاً مشابهی در کلیه‌ی زیر حوضه‌ها دارد و در نتایج پیش‌بینی، تأثیر اساسی نخواهند داشت (Refahi, 2003).

۲- پیشینه تحقیق

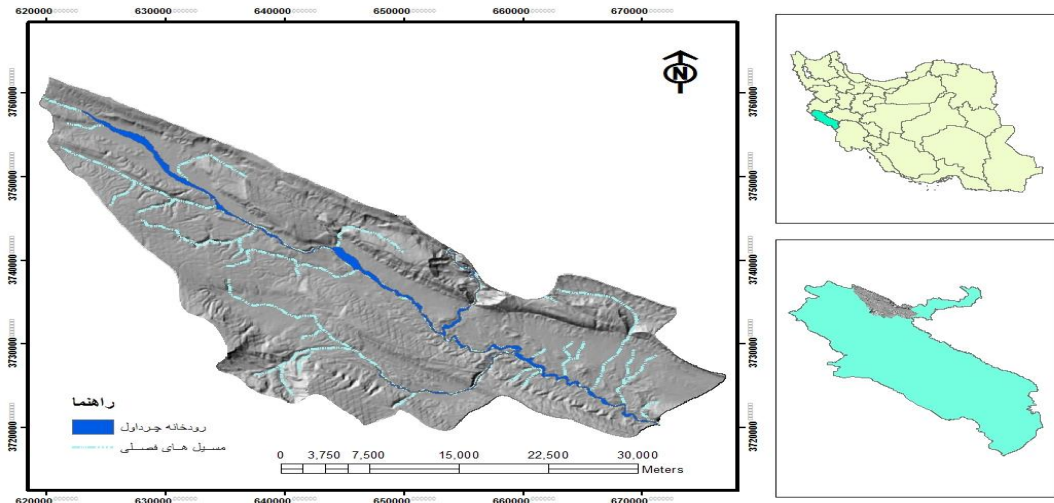
Weltz و همکاران (1998) در تحقیق خود در آریزونا، از مدل WEPP به‌عنوان یک شبیه‌ساز پیوسته و یک مدل ریاضی بر پایه‌ی داده‌های قوی استفاده کردند. یافته‌های تحقیق نشان داد که مدل WEPP، نتایج خوب و قابل قبولی را در پیش‌بینی حجم روان آب، حداکثر دبی، تخلیه‌ی آب و وضعیت از دست‌رفته‌ی خاک از کل زیر حوضه‌ها و حوضه، در اختیار محقق قرار می‌دهد. Joan و همکاران (2001)، برای بررسی تأثیر شیوه‌های مدیریتی مختلف در یک حوضه‌ی آبخیز در شمال غرب آمریکا، از مدل WEPP استفاده کردند. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که می‌توان از این

مدل، به‌عنوان ابزاری برای تعیین BMPs در حوضه‌های آبخیز مختلف و در راستای مدیریت پایدار حوضه‌های آبخیز استفاده کرد. در همین راستا، Jefferson (2003) از مدل WEPP برای برآورد فرسایش و تأثیر شیوه‌های مدیریتی استفاده کرد. نتایج تحقیق نشان داد که اصولاً استفاده از این مدل با روش GIS، این کمک را به کاربران می‌کند که به سرعت به میزان آلودگی ناشی از وقوع فرسایش از انواع مختلف روش‌های توسعه و مدیریت اراضی مانند چراهای شدید، پی ببرند. Pandey و همکاران (2008)، از مدل WEPP برای بررسی فرسایش خاک و رسوب در حوضه‌های هند استفاده کردند. نتایج تحقیق آنها نشان داد که رسوب برآورد شده با مقادیر ارائه‌شده به‌وسیله‌ی مدل، همبستگی بالایی دارد. Shen و همکاران (2009)، میزان فرسایش خاک حوضه‌ی آبخیز ژانگ‌جیاچونگ چین را با دو مدل WEPP و SWAT بررسی کردند. نتایج تحقیق نشان داد که مدل WEPP نسبت به مدل SWAT در برآورد فرسایش خاک، نتایج بهتری ارائه می‌دهد. Kincaid (2002) بیان کرد که مدل WEPP، به پیش برآورد شدت رواناب و فرسایش تمایل دارد. Singh و همکاران (2011)، مقدار رسوب و روان‌آب یک حوضه‌ی آبخیز در هیمالیای شرقی هند را با استفاده از مدل WEPP شبیه‌سازی کردند. نتایج تحقیق نشان داد که مدل WEPP می‌تواند برای توسعه دادن شیوه‌های مدیریتی در شرایط بارندگی و شیب زیاد در هیمالیای شرقی استفاده شود. صمدی (1996) با استفاده از مدل هیدروفیزیکی در حوضه‌ی آبخیز میانکوه یزد، نتیجه گرفت که روش هیدروفیزیکی برای برآورد رسوب مناسب است؛ اما برای تعیین شدت فرسایش، روش ژئومورفولوژی روشی مناسب‌تر است. همچنین مطالعه در میانکوه یزد نشان داد که روش هیدروفیزیکی برای برآورد رسوب مناسب‌تر است؛ چون هر چه حوضه‌ی آبخیز طولانی‌تر باشد، ضریب رسوب-زایی کاهش می‌یابد و کاهش ضریب رسوب‌زایی دلیلی بر کاهش فرسایش نیست (Esmaeili, 2010). رحمتی (2000)، نتایج پتانسیل رسوب‌دهی حوضه‌های فرعی نوژیان در استان لرستان را با استفاده از مدل هیدروفیزیکی، با نتایج حاصل از برآورد رسوب‌دهی با استفاده از مدل پسیاک - که قبلاً به‌وسیله‌ی سایر محققان انجام شده بود - مقایسه کرد و نتایج همخوانی قابل قبولی را نشان داد. میرزایی (2009) با استفاده از مدل هیدروفیزیکی، به برآورد میزان فرسایش در حوضه‌ی سد کرج پرداخت و به این نتیجه رسید که متغیرهای فرسایش، بارندگی و پوشش گیاهی به ترتیب ۲۷/۹، ۱۸ و ۱۰/۹ درصد از تغییرات رسوب را تخمین می‌زنند. در این تحقیق هدف و ضرورت انجام آن، بررسی میزان فرسایش خاک و تولید رسوب در حوضه‌ی چرداول با استفاده از مدل‌هایی است که قبلاً در این حوضه مورد استفاده قرار نگرفته‌اند. از طرفی، بیشتر مطالعات فرسایش با روش‌های مثل پسیاک و EPM انجام گرفته‌است؛ بنابراین، در این تحقیق سعی شد از روش‌های دیگری مانند روش هیدروفیزیکی و WEPP استفاده شود تا عامل فرسایش، بیشتر ارزیابی و کم و کاستی‌ها و نقاط قوت آن مشخص شود.

۳- منطقه مورد مطالعه

حوضه‌ی آبخیز چرداول در شمال شرقی استان ایلام و در موقعیت جغرافیایی $46^{\circ}17'16''$ تا $46^{\circ}40'11''$ طول شرقی و $33^{\circ}41'25''$ تا $33^{\circ}59'32''$ عرض شمالی قرار دارد. حدود حوضه را از شمال، کوه قلاج، از شرق، منطقه‌ی حفاظت‌شده‌ی مانشت و قلا رنگ؛ از جنوب، کوه چرمین و از غرب کوه قلاج و روستای آسمان‌آباد محدود کرده‌است (شکل ۱). کمترین ارتفاع حوضه‌ی مورد مطالعه، ۷۳۳ متر و بیشترین ارتفاع نیز در کوه مانشت واقع در غرب حوضه با ۲۶۲۵ متر می‌باشد. مساحت حوضه نیز با استفاده از GIS و نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ سازمان جغرافیایی ارتش، ۹۹۳۰

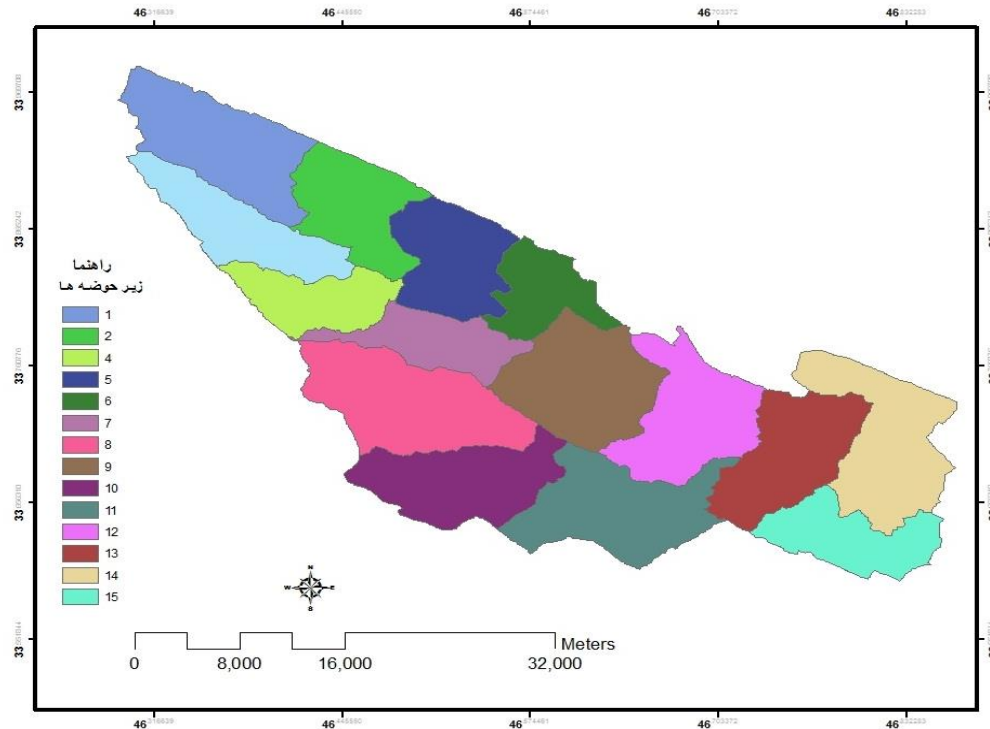
هکتار محاسبه شد (شکل ۱). کل حوضه‌ی آبخیز مورد مطالعه، به ۱۵ زیر حوضه تقسیم شد که با علایم (A1, A2, A3...A15) مشخص گردید (جدول ۱) (شکل ۲).



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه‌ی مورد مطالعه

جدول ۱: مشخصات فیزیکی زیرحوضه‌های چرداول

حوضه	مساحت (km ²)	اختلاف بلندترین نقطه (m)	ارتفاع محل خروجی (m)	اختلاف ارتفاع نقطه (m)
A1	۸۰/۳	۲۰۰۰	۱۲۳۰	۷۷۰
A2	۵۸/۷	۱۸۳۰	۱۲۲۱	۶۰۹
A3	۵۳/۲	۱۸۱۰	۱۴۳۸	۳۷۲
A4	۶۰/۷	۱۷۵۰	۱۱۹۳	۵۵۷
A5	۴۰/۹	۲۱۰۰	۱۰۳۵	۱۰۶۵
A6	۴۱/۳	۱۸۹۰	۱۳۱۵	۵۷۵
A7	۴۶/۶	۱۷۱۲	۱۰۶۹	۶۴۴
A8	۸۲/۷	۱۹۷۰	۹۷۲	۹۹۸
A9	۹۱/۵	۲۶۰۰	۱۲۸۰	۱۳۲۰
A10	۷۴/۱	۱۷۴۴	۹۱۸	۸۲۶
A11	۶۹/۴	۱۷۰۰	۹۱۰	۷۹۰
A12	۷۱/۵	۲۴۲۹	۱۱۸۰	۱۲۴۹
A13	۸۳/۶	۱۶۱۵	۹۳۱	۶۸۴
A14	۸۷/۲	۲۲۰۰	۱۱۰۰	۱۱۰۰
A15	۵۱/۵	۱۵۰۰	۷۸۰	۷۲۰
کل حوضه	۹۹۳			



شکل ۲: واحدهای هیدرولوژیکی در حوضه چرداول

۴- مواد و روش

۴-۱- مدل WEPP

مدل WEPP در سال 1985 به وسیلهی دپارتمان کشاورزی امریکا ابداع و به منظور افزایش حفاظت آب و خاک، همچنین مدیریت حوضه‌های آبخیز در زمینه‌ی فرسایش خاک و تولید رسوب استفاده شد. این مدل جزء مدل‌های تعیینی و از لحاظ پارامتری، جزء مدل‌های پخشی است (Kinnell et al, 2000). مدل WEPP بر هیدرولوژی جریان سطحی و فرایندهای فرسایش آبی استوار است و فرسایش را بر اساس اصول و مبانی نفوذ، هرز آب سطحی، پوشش گیاهی و بقایای زمینی، هیدرولیک، کشت و کار، مدیریت خاک و سازوکار فرسایشی بررسی می‌کند. مدل وپ می‌تواند منطقه را به دو روش دامنه و حوزه‌ی آبخیز شبیه‌سازی کند. از آنجایی که برای اجرای مدل وپ نرم‌افزاری تهیه شده‌است، کلیه‌ی داده‌های ورودی باید بر اساس فرمت خواسته‌شده در نرم‌افزار وارد شود. برای بررسی منطقه به روش دامنه، به اطلاعاتی در قالب چهار فایل مجزای خاک، اقلیم، توپوگرافی و مدیریت نیاز است؛ بنابراین عامل توپوگرافی، هم در تعیین واحد کاری نقش دارد و هم در مدل وپ به‌عنوان فایلی مجزا وارد می‌شود؛ از این رو برای اینکه این عامل دو بار محاسبه نشود، همچنین به دلیل اینکه عامل شیب در مدل وپ به‌صورت پروفیل طولی دامنه وارد می‌شود، در این تحقیق از تلفیق عوامل زمین‌شناسی و رخساره‌های ژئومورفولوژی واحد کاری به دست آمد و در مرحله‌ی بعد در مدل وپ، عامل توپوگرافی به‌صورت یک لایه‌ی مجزا به آن اضافه شد. در مدل وپ برای ورود عوامل مختلف، پنجره‌های خاصی وجود دارد که بر اساس دستورالعمل نرم‌افزار باید اطلاعات این پنجره‌ها تکمیل و عوامل موجود در هر فایل بررسی شود که شامل موارد زیر است:

فایل شیب: در مدل وپ عوامل توپوگرافی از طریق فایل شیب وارد می‌شود. از بین عوامل توپوگرافی، عامل شیب و جهت باید در پنجره‌ی مربوطه وارد شود. تخمین طول شیب از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$SL = (L/22.1)^{0.7} * (6.432 \sin(S)^{0.79}) \cos(S) \quad \text{رابطه‌ی (۱)}$$

در اینجا L : طول شیب و S : بیشترین درصد شیب است. برای شیب ۲۱ درصد و بیشتر، از رابطه‌ی زیر استفاده می‌شود:

$$SL = (L/72.6)(65.41 \sin(S) + 4.56 \sin(S) + 0065) \quad \text{رابطه‌ی (۲)}$$

فایل خاک: در مدل وپ خصوصیات خاک حداکثر تا عمق ۱/۸ متر بررسی می‌شود. پارامترهایی که باید در پنجره مربوط به خاک وارد شوند، عبارتند از: عمق هر افق، میزان رس و ماسه، ماده آلی، ظرفیت تبادل کاتیونی، درصد سنگ و سنگ‌ریزه، آلیدو، سطح اشباع اولیه‌ی خاک، فرسایش‌پذیری بین شیاری، تنش برشی بحرانی و جریان هیدرولیکی مؤثر. در مدل وپ، شدت فرسایش بین شیاری از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$Di = K_{iadj} I_e Q_{ir} SDR_{RR} F_{nozzle} \left[\frac{R_s}{W} \right] (kgm^{-2} s^{-1}) \quad \text{رابطه‌ی (۳)}$$

در اینجا Di : شدت فرسایش بین شیاری با جریان عرضی رسوب، K_{iadj} : فرسایش بین شیاری اصلاح‌شده، I_e : شدت بارندگی مؤثر، Q_{ir} : شدت جریان رواناب بین شیاری، SDR_{RR} : نسبت تحویل رسوب از نواحی بین شیاری، F_{nozzle} : فاکتور اصلاحی برای در نظر گرفتن تغییرات انرژی برخورد قطرات باران در نازل‌های آبیاری بارانی، R_s : فاصله‌ی بین شیارها و W شیار (m) است (Foster, 1995) و از رابطه‌ی زیر قابل محاسبه است:

$$D_i = K_i I^2 \quad \text{رابطه‌ی (۴)}$$

که در اینجا D_i : نرخ رسوب بین شیاری به شیارها، K_i : عامل فرسایش‌پذیری بین شیاری و I میانگین شدت بارش است (Mahmoodabadi and Artemi, 2013).

مدل WEPP، همچنین برای شرح فرایندهای فرسایش شیاری از رابطه‌ی (۵) استفاده می‌کند (Mahmoodabadi and Artemi, 2013).

$$D_c = K_r (t - t_c) \quad \text{رابطه‌ی (۵)}$$

در اینجا D_c : ظرفیت جداسازی ذرات آب به‌وسیله‌ی جریان آب شفاف، K_r : ضریب فرسایش‌پذیری شیاری، t : تنش برشی جریان و t_c : تنش برشی بحرانی خاک است.

فایل اقلیم: در این تحقیق برای تهیه‌ی فایل اقلیم، از نرم‌افزاری به نام کلیژن استفاده شد. مهمترین اطلاعات موردنیاز برای اجرای کلیژن عبارت است از: درجه حرارت و بارندگی روزانه. مواردی که برای عامل بارندگی باید محاسبه شود، عبارتند از: متوسط بارندگی ماهانه، انحراف معیار بارندگی، ضریب چولگی بارندگی، احتمال یک روز مرطوب بعد از

یک روز مرطوب و یک روز خشک. مواردی که برای عامل درجه حرارت باید محاسبه شود، عبارتند از: متوسط دمای حداکثر ماهانه، متوسط دمای حداقل ماهانه، انحراف معیار دمای حداکثر ماهانه و انحراف معیار دمای حداقل ماهانه. **فایل مدیریت:** برای ساختن فایل مدیریت باید اطلاعات سه پنجره‌ی اصلی تکمیل شود، اولین پنجره‌ی اطلاعات مربوط به مدیریت و اعمال انجام شده بر روی زمین است.

فایل کانال: پنجره‌ی مربوط به این فایل دارای چهار بخش است؛ خاک کانال، شیب کانال، مدیریت آبراهه و نوع آن. برای تعیین نوع آبراهه باید اطلاعاتی شامل شکل کانال، شیب اصطکاک، نوع بخش کنترلی در خروجی آبراهه (در صورت وجود) و شیب کناره، در پنجره‌ای مخصوص وارد شود.

فایل مخزن: به‌طور کلی در مدل وپ به هرگونه سازه‌ای که سبب تجمع آب و در نتیجه ته‌نشین شدن رسوب شود، مخزن می‌گویند؛ از جمله این مخازن می‌توان به حوضچه‌های کشاورزی، مخازن رسوب گیر و حوضچه‌هایی که در محل مجاری جریان در زیر جاده‌ها ایجاد می‌شود، اشاره کرد. پس از ساخت دو فایل اخیر، لازم است ابتدا شبکه‌ی آبراهه‌ای ترسیم و در مرحله‌ی بعد، حدود کلیه‌ی دامنه‌های منتهی به هر آبراهه تعیین شود.

۲-۴- مدل هیدروفیزیکی

روشی که امروزه در برخی از کشورها براساس آن، وضعیت رسوب در حوضه‌های آبخیز (حوضه‌های آبخیز بزرگ و نسبتاً بزرگ) محاسبه می‌شود، به روش هیدروفیزیکی معروف است (Ahmadi, 2009). در این روش، یک حوضه‌ی آبخیز بزرگ به زیر حوضه‌هایی تقسیم و در هر زیرحوضه، پتانسیل رسوبی محاسبه می‌شود و در نهایت پتانسیل رسوبی کل حوضه به دست می‌آید. به دلیل اینکه با مدل هیدروفیزیکی، رسوب‌دهی در زیرحوضه‌های یک حوضه‌ی آبخیز، برحسب اولویت قابل محاسبه است؛ بنابراین، از این مدل می‌توان برای برنامه‌ریزی‌های مطالعاتی و اجرایی و مبارزه و مهار فرسایش و طرح‌های آبخیزداری، به نحو مطلوب استفاده کرد. ضریب پتانسیل رسوبی در مدل هیدروفیزیکی از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$GSY = A^S RVEP$$

رابطه‌ی (۶)

در اینجا GSY : پتانسیل رسوبی حوضه‌ی آبخیز، A^S : عامل مساحت، V : عامل پوشش گیاهی، E : کمیت قابلیت فرسایش (حساسیت به فرسایش)، P : عامل هیدرولوژیکی و R : توپوگرافی است (جدول ۲).

جدول ۲: بررسی روش کار با مدل هیدروفیزیکی

عامل	ابزار	روش	ملاحظات
سطح حوضه‌های فرعی	نقشه توپوگرافی	$a = A^S$	a : عامل مساحت، A: مساحت آبخیز، S: ضریب تناسب که بستگی به اختلاف وسعت حوضه‌های فرعی یک حوضه آبریز دارد.
برجستگی	نقشه توپوگرافی	$R = \frac{H}{L}$	R: نسبت برجستگی، H: اختلاف ارتفاع به متر، L: بزرگ‌ترین محور طولی حوضه به متر.
قابلیت فرسایش سنگ‌شناسی	نقشه سنگ‌شناسی	$E = \frac{1}{A} \sum e_n a_n$	E: عامل قابلیت فرسایش، A: وسعت حوضه، e _n : کمیت قابلیت فرسایش، a: مساحت هر واحد سنگ‌شناسی.
پوشش گیاهی ماهواره‌ای	تصاویر ماهواره‌ای	$v = \frac{A}{\sum v_n A_n}$	V: عامل پوشش گیاهی، A: مساحت حوضه، A _n : مساحت تیپ‌های گیاهی با درصد تراکم و v _n ، درصد تراکم گیاهی در تیپ گیاهی.
نزولات جوی	نقشه هم‌باران	$p = \frac{p_i + p_{i+1}}{2} . a$	P: میانگین بارش
پتانسیل رسوب‌دهی حوضه‌های فرعی			GSY=A^SRVEP درصد پتانسیل رسوب‌دهی هر حوضه فرعی $SY\% = \frac{csy}{\sum csy} . 100$

۵- نتایج

۵-۱- نتایج حاصل از شبیه‌سازی پارامترها در مدل WEPP

فایل اقلیم: به دلیل اینکه ایستگاه هواشناسی سینوپتیک سرابله و ایستگاه‌های هواشناسی شباب و آسمان‌آباد، تازه تأسیس و فاقد اطلاعات لازم و تکمیلی برای دوره آماری بود؛ بنابراین، اطلاعات مربوط به فایل اقلیم از ایستگاه ایلام - که به لحاظ توپوگرافی و موقعیت جغرافیایی، نزدیک‌ترین ایستگاه به منطقه مورد مطالعه بود - حاصل شد. در این تحقیق، شاخص‌های مورداستفاده برای اقلیم عبارتند از: متوسط بارندگی ماهانه، انحراف معیار بارندگی، ضریب چولگی بارندگی، احتمال یک روز مرطوب بعد از یک روز مرطوب دیگر، احتمال یک روز مرطوب بعد از یک روز خشک، میانگین دمای حداقل، انحراف از معیاردمای حداقل، میانگین دمای حداکثر و انحراف از معیار دمای حداکثر. این آمار براساس آمار نزدیک‌ترین ایستگاه یعنی ایلام به دست آمد (جدول ۳).

جدول ۳: نتایج عوامل محاسبه شده برای فایل اقلیم در حوضه‌ی آبخیز چرداول طی دوره‌ی آماری (۱۳۸۰ - ۱۳۹۳).

پارامترها	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	جولای	آگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
متوسط بارندگی ماهانه mm	۸۶/۳	۱۰۸/۱	۹۴/۲	۸۰/۷	۶۸/۳	۹/۸	۱/۵	۰/۴	۰/۱	۱/۲	۳۶/۴	۸۰/۲
انحراف از معیار بارندگی ماهانه	۰/۳	۰/۲۳	۰/۳۳	۰/۴۴	۰/۵۴	۰/۲۲	۰/۱۷	۰/۵۵	۰/۲	۰/۶۵	۰/۳۳	۰/۳۴
ضریب چولگی بارندگی ماهانه	۰/۲	۰/۴۳	۰/۲۴	۰/۳۹	۰/۲۷	۰/۱۶	۰/۵۳	۰/۴۴	۰/۲۲	۰/۱۵	۰/۵۲	۰/۳۲
احتمال یک روز مرطوب بعد از یک روز مرطوب	۰/۴۴	۰/۳۶	۰/۲۲	۰/۱۱	۰/۱	۰/۰۹	۰/۰۸	۰/۱۲	۰/۱	۰/۱۳	۰/۲۹	۰/۴۱
احتمال یک روز مرطوب بعد از یک روز خشک	۰/۲۰	۰/۲۲	۰/۱۷	۰/۲۵	۰/۱۱	۰/۰۶	۰/۰۷	۰/۱۵	۰/۰۹	۰/۱۳	۰/۲۴	۰/۲۷
میانگین دمای حداکثر ماهانه F	۵۵/۵۸	۴۸/۵۶	۴۹/۴	۵۵/۲۲	۶۶/۰۲	۸۱/۱۴	۹۱/۲۲	۹۷/۵۲	۹۵/۵۴	۸۸/۳۴	۷۵/۵۶	۶۴/۲۲
انحراف از معیار دمای حداکثر ماهانه F	۵/۴۲	۶/۷۷	۴/۳۳	۲/۷۱	۱/۷۸	۱/۶۷	۱/۲۴	۲/۱۳	۲/۶۱	۳/۳۳	۳/۹۸	۴/۵۷
میانگین دمای حداقل ماهانه F	۳۷/۵۸	۳۲/۹	۳۳/۲۶	۳۷/۹۴	۴۷/۳	۵۸/۸۲	۶۶/۹۲	۷۳/۰۴	۷۰/۸۸	۶۴/۵۸	۵۴/۸۶	۴۵/۳۲
انحراف از معیار دمای حداقل ماهانه F	۴/۹۲	۵/۳۷	۵/۴۳	۳/۶۱	۲/۹۸	۲/۶	۲/۴	۱/۹	۳/۱۱	۴/۰۸	۵/۳۱	۶/۳۵

فایل خاک: برای عامل خاک مواردی چون درصد رس، سنگریزه و مواد آلی، ظرفیت تبادل کاتیونی، بافت خاک، جریان هیدرولوژیکی مؤثر، تنش برشی جریانی، فرسایش پذیری شیاری، فرسایش پذیری بین شیاری، درصد سطح اشباع اولیه و آلبیدو در نمونه‌ها بررسی شد (جدول ۴).

جدول ۴: نتایج عوامل محاسبه شده برای فایل خاک در حوضه‌ی آبخیز چرداول طی دوره‌ی آماری (۱۳۸۰ - ۱۳۹۳).

نام زیر حوضه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	عمق افق خاک (میلی متر)	ماسه (درصد)	رس (درصد)	مواد آلی (درصد)	ظرفیت تبادل کاتیونی (NFR/ 100HS)	سنگریزه (درصد)
A ₁	۳۳/۲۹/۴۶	۴۶/۲۹/۳۹	۲۹۰	۳۱/۷۱	۲۷/۵۴	۰/۵۱	۳۴/۵۱	۱
	۳۳/۳۸/۵۴	۴۶/۳۸/۱۰						
A ₂	۳۳/۲۶/۲۸	۴۶/۲۷/۳۹	۳۰۰	۳۵/۴	۲۶/۱۴	۱	۱۶/۷۱	۱/۲
	۳۳/۳۱/۰۸	۴۶/۳۸/۳۲						
A ₃	۳۳/۲۵/۱۴	۴۶/۲۳/۵۹	۴۰۰	۵۰/۰۷	۲۱/۳۳	۰/۷۶	۱۸/۷۲	۱/۳
	۳۳/۳۰/۲۳	۴۶/۳۵/۱۶						
A ₄	۳۳/۲۳/۵۵	۴۶/۲۳/۲۵	۲۰۰	۲۰/۱	۳۰/۰۷	۰/۱۶	۵۱/۲۹	۲/۱
	۳۳/۲۸/۵۹	۴۶/۳۱/۲۲						
A ₅	۳۳/۲۹/۴۶	۴۶/۲۴/۵۰	۵۰۰	۴۹/۷	۴۱/۶۵	۰/۴۶	۳۱/۴۲	۱
	۳۳/۳۶/۵۶	۴۶/۳۱/۱۱						
A ₆	۳۳/۲۹/۰۷	۴۶/۲۰/۳۳	۴۵۰	۵۸/۳	۴۷/۱۱	۳۰/۳	۴۶/۷۱	۱/۶
	۳۳/۳۷/۱۰	۴۶/۲۸/۰۲						
A ₇	۳۳/۲۳/۲۷	۴۶/۱۶/۳۶	۲۰۰	۲۰/۳	۵۵/۹۸	۰/۱۹	۶۰/۰۸	۲/۷
	۳۳/۲۹/۵۸	۴۶/۲۴/۴۹						
کل حوضه	۳۳/۳۸/۵۴	۴۶/۳۸/۳۲						

پس از نمونه برداری، کل حوضه‌ی آبخیز چرداول از نظر نوع خاک به ۲۱ واحد تقسیم شد.

فایل مدیریت: در حوضه‌ی آبخیز چرداول پنج نوع کاربری مرتع، باغ، جنگل، کشاورزی و مسکونی وجود دارد. قسمت اعظم منطقه را جنگل و مرتع تشکیل می‌دهد که خود به دو دسته تقسیم می‌شود: مراتع حریم روستا و مراتع بالادست حوضه. در مراتع تنها عمل چرا انجام می‌شود، در باغ‌ها اعمالی همچون درو گیاهان سطح باغ (در سال دو بار)، آبیاری و بیل زدن اطراف درختان انجام می‌شود. پس از نمونه برداری از منطقه و با توجه به نوع کاربری، تعداد ۲۳ نوع مدیریت در منطقه شناسایی شد.

فایل شیب: در این تحقیق، عامل شیب در دو فایل وارد شد: یکی در فایل شیب (اندازه‌ی شیب دامنه) و دیگری فایل آبراهه (مقدار شیب آبراهه). اطلاعات شیب به وسیله‌ی نقشه‌ی مدل رقومی ارتفاعی و به صورت پروفیل طولی در نرم افزار وارد شد؛ بنابراین برای این کار ابتدا مسیر آبراهه مشخص، سپس مقطع مناسبی برای هر دامنه روی نقشه توپوگرافی انتخاب و بعد از آن به کمک نرم افزار ARC GIS 10.2 به ترسیم پروفیل مربوط پرداخته شد. در نهایت اعداد حاصل شده، در جدول مربوط به فایل شیب وارد شد. اطلاعات مربوط به این فایل به کمک نرم افزار ژئو وپ تهیه شد. این نرم افزار پس از رسم شبکه‌ی آبراهه‌ای و دامنه‌های منتهی به هر آبراهه، پروفیل طولی هر دامنه را نیز ترسیم می‌کند. شیب به افزایش سرعت آب (چه جریان‌های سطحی و چه جریان‌های رودخانه‌ای) منجر می‌شود و نیروی

جنبشی آب و قدرت تخریب و حمل آن را افزایش می‌دهد. در نتیجه حجم سیلاب و جریان‌های سطحی به صورت مستقیم به شیب حوضه بستگی دارد (جدول ۵).

جدول ۵: توزیع شیب حوضه‌ی آبخیز چرداول

درصد کلاس شیب	مساحت درصد
۰-۵	۱۸/۱
۵-۱۰	۲۶/۹
۱۰-۲۰	۲۱/۳
۲۰-۳۰	۱۱/۳
۳۰-۵۰	۱۷/۳
۵۰<	۵/۱
	۱۰۰

فایل کانال: آبراهه‌های موجود در منطقه را می‌توان به سه دسته‌ی اصلی تقسیم کرد:

۱- آبراهه‌هایی با کف پوشیده از سنگ و کناره‌های خاکی از جنس سازندهای اطراف؛

۲- آبراهه‌هایی با کف و کناره‌های خاکی از جنس دامنه‌های اطراف؛

۳- آبراهه‌هایی با کف و کناره‌ی پوشیده از سنگریزه‌هایی با قطر حداکثر دو سانتی‌متر.

با توجه به مطلب فوق، برداشت سه نوع آبراهه کافی به نظر می‌رسد؛ ولی برای افزایش دقت، اطلاعات مربوط به آبراهه در هر یک از واحدهای مدیریتی استخراج شد، تعداد ۲۱ فایل آبراهه برای این منطقه ساخته و با نام همان واحد مدیریت ذخیره شد.

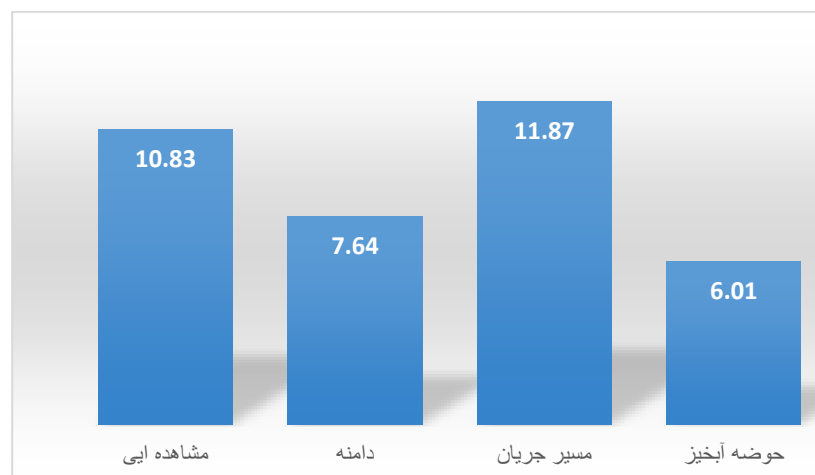
در نرم‌افزار ژئو وپ دو روش شبیه‌سازی وجود دارد: ۱- روش حوزه‌ی آبخیز؛ ۲- روش مسیرهای جریان.

در روش حوزه‌ی آبخیز، آبراهه‌ها و دامنه‌های معرف، شبیه‌سازی می‌شود و تأثیر بیرونی این آبراهه‌ها و دامنه‌ها در داخل یک حوضه‌ی آبخیز ارزیابی می‌گردد. در روش مسیرهای جریان، کلیه‌ی مسیرهای جریان به‌طور مجزا شبیه‌سازی می‌شود. این شبیه‌سازی بر اساس تجزیه و تحلیل‌های مکانی، به کمک وزن و ارزش نتایج حاصل از هر سلول (پیکسل) و برای تمام مسیرهای جریان انجام می‌شود. در این تحقیق غیر از این دو روش با انتقال تک‌تک دامنه‌ها در مدل وپ، شبیه‌سازی به روش دامنه نیز انجام شد. بعد از تهیه‌ی میزان رسوب‌دهی حوضه، با انداختن لایه‌ی مرز زیرحوضه‌ها بر روی این نقشه می‌توان شدت رسوب‌دهی، مساحت، بار رسوبی و میزان رسوبی را - که در یک مقطع زمانی مثلاً سال، از حوضه خارج می‌شود - محاسبه کرد؛ به عبارتی، خاک‌هایی که از بستر طبیعی خود جدا می‌شود همگی همراه با جریان آب به حرکت در نمی‌آید، بلکه قسمتی از رسوبات در جای دیگر ته‌نشین می‌شود. موادی که همراه با آب حرکت می‌کند و به مخزن سد یا هر نقطه‌ی کنترل دیگری می‌رسد، بار رسوبی یا میزان تولید رسوب گفته می‌شود. رسوب ویژه (میزان رسوبی که در یک مقطع زمانی در واحد سطح از حوضه خارج می‌شود) و میزان رسوب هر کلاس را برحسب تن در هکتار در سال، می‌توان در هر یک از زیرحوضه‌ها به دست آورد. مدل WEPP، فرسایش را به‌صورت کمی برآورد نمی‌کند، اما ضریب نسبت تحویل رسوب (SDR) را با توجه به ویژگی‌های خاک و

هیدرولیک رسوب حوضه محاسبه می‌کند؛ بنابراین رسوب ویژه و کل، از روی ضریب (SDR) محاسبه می‌شود که برای روش‌های حوضه‌ی آبخیز، مسیرهای جریان و دامنه به ترتیب ۷/۶۴، ۶/۰۱ و ۱۱/۸۷ تن در هکتار در سال به دست آمد (شکل ۳). در ادامه با تقسیم این مقادیر بر رسوب ویژه، فرسایش ویژه حاصل شد. فرسایش کل نیز با توجه به فرسایش ویژه و مساحت منطقه‌ی مورد مطالعه به دست آمد (جدول ۶). مقایسه‌ی ضریب همبستگی با منحنی سنجه رسوب در ایستگاه هیدرومتری و نتایج به دست آمده، بیانگر این مسئله بود که مدل WEPP در برآورد میزان فرسایش و رسوب در حوضه مورد مطالعه، نتایج قابل قبولی دارد. فقدان اطلاعات آماری از منطقه‌ی مورد مطالعه، محدودیت‌هایی را در اجرای تحقیق ایجاد کرد؛ بنابراین در اجرای پروژه‌های تحقیقاتی و حتی مطالعاتی، به ویژه پروژه‌های تحقیقاتی که در راستای فعالیت‌های اجرایی باشد، روش‌ها و فنون به کار برده شده در جمع‌آوری آمار و اطلاعات مورد نیاز، از مسائل مهمی هستند که در نیل به اهداف تعیین شده نقش به سزایی دارند. با توجه به ماهیت این گونه پروژه‌ها بکارگیری روش‌ها و فنون خاص، در افزایش سرعت و دقت نتایج حاصل اثرات انکارناپذیری دارند.

جدول ۶: مقادیر فرسایش و رسوب حاصل از سه روش موجود در مدل وپ

مشاهده‌ای	روش‌ها			نوع پارامتر
	دامنه	مسیر جریان	حوضه آبخیز	
-	۸/۹۳	۱۲/۴۷	۵/۳	فرسایش ویژه (t/ha/yr)
-	۸۸۶۸۱	۱۲۳۸۳۰	۵۲۶۳۱	فرسایش کل (t/yr)
۱۰/۵	۷/۶۴	۱۱/۸۷	۶/۰۱	رسوب ویژه (t/ha/yr)
۱۰۴۲۷۱/۳	۷۵۸۷۱	۱۱۷۸۷۰	۵۹۶۸۵	رسوب کل (t/yr)



شکل ۳: رسوب ویژه حاصل از روش‌های مختلف برآورد رسوب در مدل وپ

۲-۵- بررسی پتانسیل رسوب دهی و فرسایش در واحد سطح در مدل هیدروفیزیکی

مدل هیدروفیزیکی در بررسی پتانسیل رسوب دهی یک حوضه‌ی آبخیز، فقط درصد پتانسیل رسوب دهی هر یک از واحدهای هیدرولوژیکی یا زیر حوضه‌ها را نسبت به کل حوضه نشان می‌دهد و به این طریق نمی‌توان میزان رسوب را برآورد کرد؛ اما اگر میزان رسوب دهی یکی از واحدهای هیدرولوژیکی از طریق اندازه‌گیری‌های مستقیم حاصل شود،

رسوب‌دهی کل حوضه را می‌توان با استفاده از درصد رسوب‌دهی آن محاسبه کرد. برای فراهم آوردن امکان مقایسه‌ی زیر حوضه‌ها از نظر شدت فرسایش، ارقام پتانسیل رسوبی هر زیرحوضه به مساحت همان زیرحوضه به کیلومتر مربع تقسیم شد و پتانسیل رسوب‌دهی در کیلومتر مربع به دست آمد. نتایج حاصل از این محاسبات، در جدول ۷ و ۸ ارائه شده‌است. ارقام مربوط به پتانسیل رسوبی در واحد سطح (کیلومتر مربع)، معیار سنجش و ارزیابی شدت فرسایش به روش هیدروفیزیکی است. در پهنه‌بندی پتانسیل فرسایش در حوضه‌ی آبخیز چرداول، مشخص شد که در نقشه‌ی پتانسیل رواناب حدود ۵۱ درصد از سطح حوضه، دارای پتانسیل رواناب سطحی است. دلیل این پتانسیل، وجود دامنه‌هایی با شیب زیاد و روش‌های سنتی در بهره‌برداری از زمین است که به بالا بودن پتانسیل رواناب سطحی منجر شده‌است. با توجه به نقشه‌های اولویت‌بندی فرسایش، شدت فرسایش و پتانسیل رسوب را می‌توان در مناطقی از حوضه مشاهده کرد که روش‌های سنتی استفاده از اراضی، تخریب جنگل برای توسعه‌ی کشاورزی دیم و چرای بیش از حد بر روی عرصه‌های منطقه - که یکی از پیامدهای آن تخریب پوشش گیاهی و از بین رفتن آن در طول چند سال گذشته بوده‌است - وجود دارد. گسترش رسوبات کواترنری در سطح حوضه و تأثیرات انسانی و طبیعی بر روی این سازندهای حساس به فرسایش، سبب شده‌است این مناطق نسبت به فرسایش بسیار آسیب‌پذیر باشند. بیش از ۵۲ درصد از کل اراضی حوضه‌ی مورد مطالعه، زیر کشت دیم هستند که این خود عامل اصلی فرسایش‌پذیری حوضه و ایجاد رسوب به شمار می‌رود.

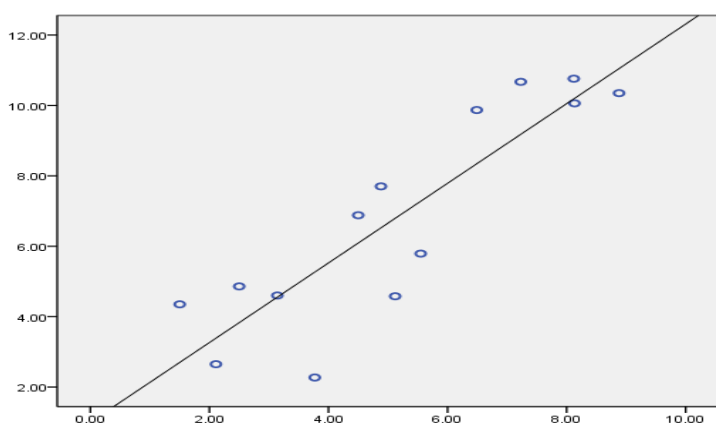
جدول ۷: وضعیت عوامل هیدروفیزیکی و پتانسیل رسوبی زیر حوضه‌های چرداول بر اساس R

ترتیب شدت فرسایش	درصد پتانسیل رسوب‌دهی (SY)	پتانسیل رسوب‌دهی (GSY)	عوامل هیدروفیزیکی				مساحت (A ^s)	مساحت km ²	نام زیر حوضه	کد زیر حوضه
			هیدرولوژی (P)	پوشش گیاهی (V)	کمیت قابل فرسایش (E)	توپوگرافی (R)				
۶	۷/۷	۶۵۹	۵۶۲	۰/۰۳۵۴	۵۳/۳	۰/۰۴۵	۱۳/۸	۱۳/۸	A1	۱
۱۰	۴/۵۸	۳۹۰/۸	۵۳۴	۰/۰۲۲۴	۴۹/۸	۰/۰۵۷	۱۱/۵۱	۱۱/۵۱	A2	۲
۱۵	۲/۲۷	۱۹۳/۶	۵۵۱	۰/۰۳۶۱	۳۹/۲	۰/۰۲۳	۱۰/۸	۱۰/۸	A3	۳
۸	۵/۷۹	۴۹۳/۵	۵۱۱	۰/۰۳۴۲	۴۰/۱۱	۰/۰۶۰	۱۱/۷	۱۱/۷	A4	۴
۵	۱۰/۳۵	۸۸۲/۴	۵۲۷	۰/۰۳۱۱	۵۵/۲۱	۰/۱۰۶	۹/۲	۹/۲	A5	۵
۱۲	۴/۵۵	۳۸۸	۵۱۹	۰/۰۳۹۶	۳۲/۱۴	۰/۰۶۶	۸/۹	۸/۹	A6	۶
۱۴	۲/۶۵	۲۲۲/۶	۵۰۲	۰/۰۴۱۲	۲۴/۶۵	۰/۰۴۴	۹/۹	۹/۹	A7	۷
۳	۱۰/۶۷	۹۰۹/۶	۴۹۱	۰/۰۳۵۵	۳۳/۷۲	۰/۱۰۵	۱۴/۰۶	۱۴/۰۶	A8	۸
۴	۹/۸۷	۸۴۱	۵۵۳	۰/۰۳۰۲	۳۸/۴۴	۰/۰۸۸	۱۴/۹	۱۴/۹	A9	۹
۷	۶/۸۸	۵۸۶/۴	۴۶۷	۰/۰۳۱۱	۴۵/۶۶	۰/۰۶۷	۱۳/۲	۱۳/۲	A10	۱۰
۹	۴/۸۶	۴۱۲/۲	۴۵۳	۰/۰۳۰۶	۴۳/۱۲	۰/۰۵۵	۱۲/۶	۱۲/۶	A11	۱۱
۲	۱۰/۷۶	۹۱۷/۱	۵۴۳	۰/۰۴۱۲	۴۴/۷۶	۰/۰۷۱	۱۲/۹	۱۲/۹	A12	۱۲
۱۳	۴/۳۵	۳۷۰/۷	۴۳۱	۰/۰۳۰۹	۴۳/۸۷	۰/۰۴۵	۱۴/۱	۱۴/۱	A13	۱۳
۱۱	۴/۶۰	۳۹۲/۶	۵۰۹	۰/۰۴۰۷	۲۷/۸۱	۰/۰۴۷	۱۴/۵	۱۴/۵	A14	۱۴
۱	۱۱/۰۳	۸۵۷/۷	۴۸۷	۰/۰۴۰۳	۴۲/۹۱	۰/۰۹۳	۱۰/۵	۱۰/۵	A15	۱۵
	۶/۶۶	۵۶۷/۹۴	۵۰۹/۳۳							کل حوضه

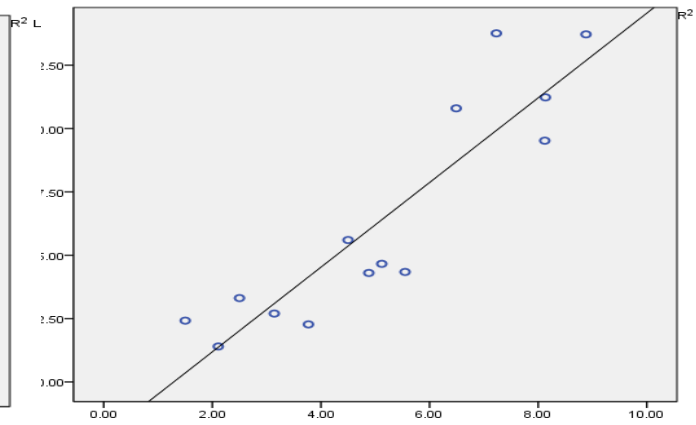
با توجه به تجزیه و تحلیل داده‌ها در مورد پتانسیل رسوبی در حوضه‌ی چرداول، حوضه‌ی A8 با پتانسیل رسوب‌دهی ۱۳/۷۶ تن در کیلومتر مربع، بیشترین میزان تولید رسوب و فرسایش را دارد و کمترین میزان رسوب‌دهی، مربوط به زیرحوضه‌ی A3 با پتانسیل رسوب‌دهی سالانه ۲/۶۴ تن در کیلومتر مربع است (جدول ۸). بیشترین میزان فرسایش در قسمت جنوب شرقی حوضه‌ی آبخیز چرداول قرار دارد؛ در این محدوده شیب زیاد و پوشش گیاهی ضعیف - که بیشتر به صورت مرتع پراکنده است - سبب فرسایش زیاد است. دخالت‌های انسانی در این محدوده به سبب ایجاد زیرساخت‌ها و جاده‌سازی‌ها، سبب شده این محدوده دارای بیشترین میزان تولید رسوب در کل حوضه‌های مورد مطالعه باشد. این مناطق از نظر طبقه‌بندی درجه‌ی فرسایش‌پذیری، دربرگیرنده مناطقی است با فرسایش بالا. در این تحقیق، کمترین میزان فرسایش در حوضه‌های غربی و شمالی محدوده محاسبه شد که این مناطق دارای پوشش جنگلی انبوه و نیمه انبوه، پوشش گیاهی متراکم همراه با برنامه‌های حفاظتی است. نتایج محاسبات پتانسیل رسوب‌دهی زیرحوضه چرداول، در جدول شماره‌ی ۷ و ۸ ارائه شد. در مورد عامل توپوگرافی نیز محاسبات، با R^2 و R انجام گرفت. همان طوری که در جدول ۷ و ۸ مشاهده می‌شود، در ترتیب اولویت‌بندی شدت فرسایش با دو شاخص R^2 و R ، تغییراتی ایجاد شد و نتایج به دست آمده در روش هیدروفیزیکی با احتساب R^2 ، نتایج بهتری نسبت به R نشان داد. در کل، مقایسه‌ی نتایج روش هیدروفیزیکی با احتساب R^2 ، ضریب همبستگی بیشتری نسبت به R در مقایسه با آمار رسوب‌سنجی ایستگاه هیدرومتری چرداول نشان داد (شکل ۴ و ۵). تجزیه و تحلیل عاملی بر روی متغیرهای پنج‌گانه‌ی دخیل در مدل هیدروفیزیکی - که براساس معیار ریشه پنهان، ماتریس همبستگی و ماتریس دوران متعامد اجرا شد - نشان داد که متغیرهای مساحت و شیب که بیانگر ویژگی‌های هندسی و توپوگرافی زیرحوضه‌ها هستند، به‌عنوان یکی از عوامل تولید رسوب در جایگاه اول نقش دارند. مقایسه‌ی مقدار بار رسوب ایستگاه منحنی سنج چرداول با نتایج به دست آمده از مدل هیدروفیزیکی، بیانگر دقت بالای مدل هیدروفیزیکی در برآورد میزان رسوب در این حوضه است، ولی نسبت به مدل WEPP دقت کمتری دارد. شکل ۶ و ۷ نقشه‌ی پتانسیل رسوب‌دهی را در دو مدل WEPP و هیدروفیزیکی در حوضه‌ی آبخیز چرداول نشان می‌دهد.

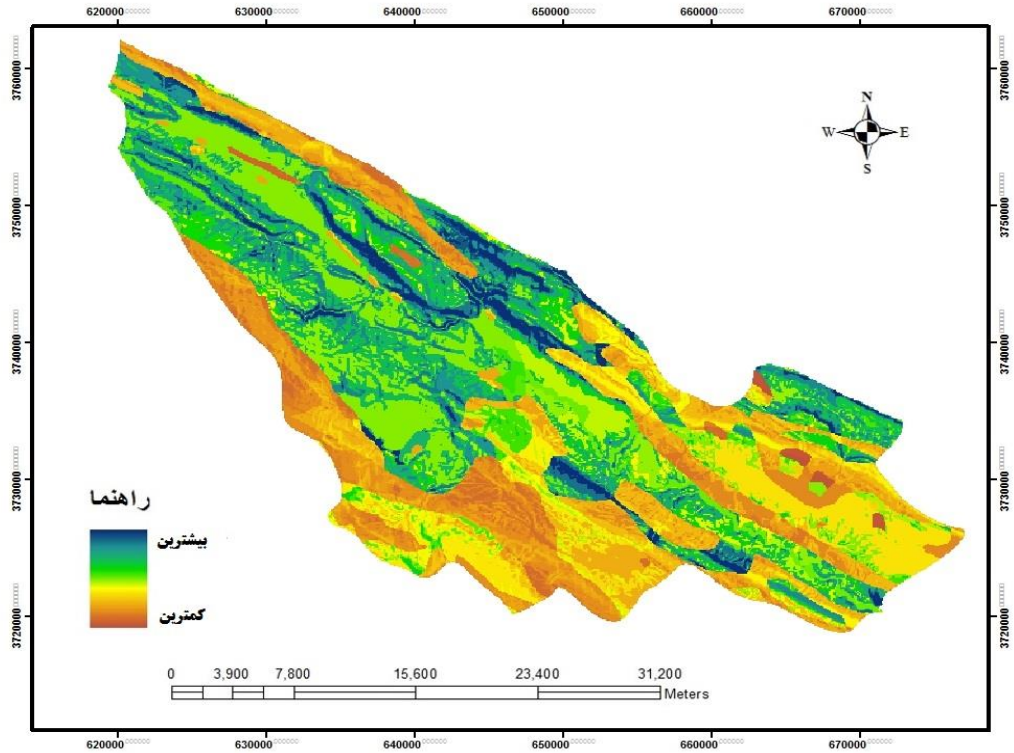
جدول ۸: وضعیت عوامل هیدروفیزیکی و پتانسیل رسوبی زیرحوضه‌های چرداول بر اساس R^2

ترتیب	پتانسیل رسوب دهی به درصد SYx%	پتانسیل رسوب دهی (GSY)	عوامل هیدروفیزیکی				مساحت مساحت (As)	نام زیر حوضه مساحت km^2	کد زیر حوضه	
			هیدرولوژی (P)	پوشش گیاهی (V)	کمیست فرسایش (E)	توپوگرافی (R)				
۹	۱۰/۳	۲۹/۲۶	۵۶۲	۰/۰۳۵۴	۵۳/۳	۰/۰۲۰۰	۱۳/۸	۱۳/۸	A1	۱
۱۰	۶/۶۶	۳۱/۷۳	۵۳۴	۰/۰۲۲۴	۴۹/۸	۰/۰۰۳۲	۱۱/۵۱	۱۱/۵۱	A2	۲
۱۱	۲/۶۴	۴۲/۵۷	۵۵۱	۰/۰۳۶۱	۳۹/۲	۰/۰۰۵۲	۱۰/۸	۱۰/۸	A3	۳
۶	۵/۳۴	۲۹/۵۲	۵۱۱	۰/۰۳۴۲	۴۰/۱۱	۰/۰۰۳۶	۱۱/۷	۱۱/۷	A4	۴
۱	۱۳/۷۲	۹۳/۳۱	۵۲۷	۰/۰۳۱۱	۵۵/۲۱	۰/۰۱۱	۹/۲	۹/۲	A5	۵
۸	۵/۸۶	۳۹/۸۹	۵۱۹	۰/۰۳۹۶	۳۲/۱۴	۰/۰۰۴۳	۸/۹	۸/۹	A6	۶
۱۳	۳/۴	۹/۹	۵۰۲	۰/۰۴۱۳	۲۴/۶۵	۰/۰۰۱۹	۹/۹	۹/۹	A7	۷
۲	۱۳/۷۶	۹۳/۰۶	۴۹۱	۰/۰۳۵۵	۳۳/۷۲	۰/۰۱۱	۱۴/۰۶	۱۴/۰۶	A8	۸
۳	۱۰/۸	۷۳/۸۹	۵۵۳	۰/۰۳۰۳	۳۸/۴۴	۰/۰۰۷	۱۴/۹	۱۴/۹	A9	۹
۷	۹/۷۳	۳۸/۵۱	۴۶۷	۰/۰۳۱۱	۴۵/۶۶	۰/۰۰۴۴	۱۳/۲	۱۳/۲	A10	۱۰
۱۲	۷/۹۲	۲۲/۵۹	۴۵۳	۰/۰۳۰۶	۴۳/۱۲	۰/۰۰۳۰	۱۲/۶	۱۲/۶	A11	۱۱
۵	۹/۵۲	۶۴/۷۴	۵۴۳	۰/۰۴۱۳	۴۴/۷۶	۰/۰۰۵۰	۱۲/۹	۱۲/۹	A12	۱۲
۱۴	۲/۴۲	۱۶/۴۷	۴۳۱	۰/۰۳۰۹	۴۳/۸۷	۰/۰۰۲۰	۱۴/۱	۱۴/۱	A13	۱۳
۱۵	۵/۷۰	۱۸/۳۷	۵۰۹	۰/۰۴۰۷	۲۷/۸۱	۰/۰۰۲۲	۱۴/۵	۱۴/۵	A14	۱۴
۴	۱۳/۲۳	۷۶/۰۴	۴۸۷	۰/۰۴۰۳	۴۲/۹۱	۰/۰۰۸۶	۱۰/۵	۱۰/۵	A15	۱۵
	۸/۰۴۲	۶۷۹/۸۵	۵۰۹/۳							کل حوضه

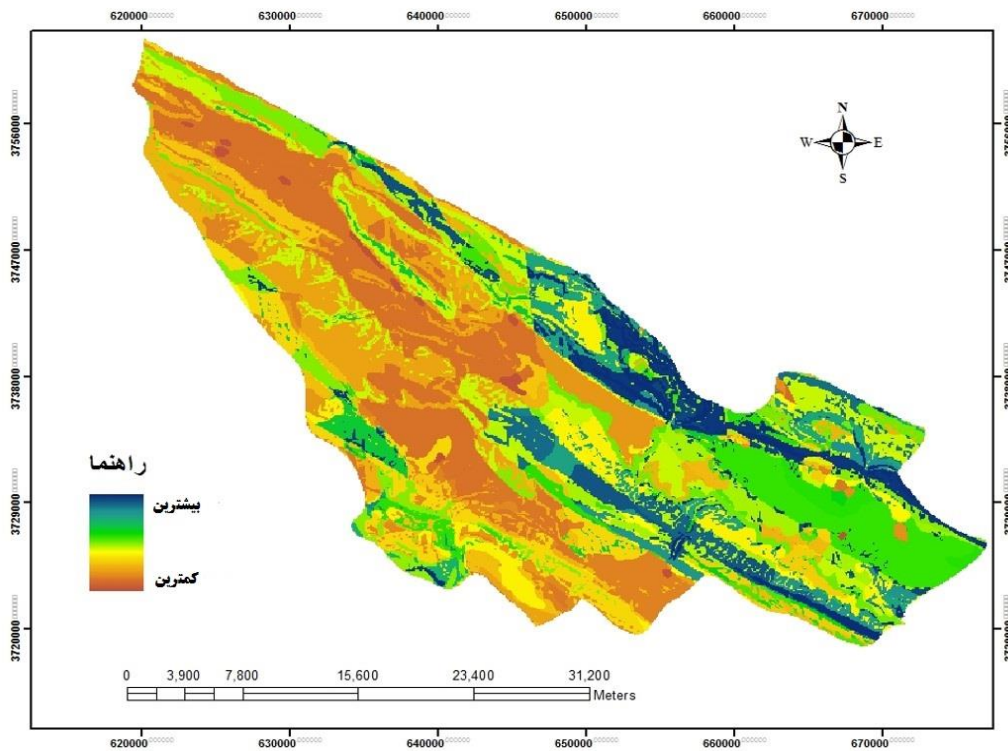


شکل ۵: ضریب همبستگی R با آمار منحنی سنج رسوب

شکل ۴: ضریب همبستگی R^2 با آمار منحنی سنج رسوب



شکل ۶: نقشه‌ی پتانسیل رسوب‌دهی در حوضه‌ی آبخیز چرداول به روش WEPP



شکل ۷: نقشه‌ی پتانسیل رسوب‌دهی در حوضه‌ی آبخیز چرداول به روش هیدروفیزیکی

۳-۵- مقایسه‌ی مدل‌های WEPP و هیدروفیزیکی، با مقدار بار رسوب ایستگاه هیدرومتری چرداول

جدول ۹ مقایسه‌ی نتایج دو مدل WEPP و هیدروفیزیکی را با مقدار بار رسوب ایستگاه منحنی سنج چرداول نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، مقدار رسوب سالانه‌ی برآورد شده با استفاده از مدل WEPP و هیدروفیزیکی در حوضه‌ی مورد مطالعه، به ترتیب ۱۱/۸۷ و ۸/۰۶۶ تن در هکتار به دست آمد. با مقایسه‌ی مقادیر رسوب ویژه به دست آمده از مدل‌های WEPP و هیدروفیزیکی، در مدل نخست دو روش دامنه و مسیر جریان با ۷/۶۴ و ۱۱/۸۷ تن در هکتار در سال، به عدد مشاهده‌ای ۱۰/۵ نزدیک‌تر و برای برآورد میزان فرسایش و رسوب در منطقه‌ی مورد مطالعه مناسب هستند. در مدل هیدروفیزیکی، میزان تولید رسوب ۸/۰۶۶ تن در هکتار است. در نهایت، نتایج به دست آمده از برآورد میزان فرسایش خاک و تولید رسوب در حوضه‌ی آبخیز چرداول، نشان داد که مدل WEPP در برآورد میزان فرسایش خاک و تولید رسوب 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.

جدول ۹: مقایسه‌ی آمار مشاهده‌ای رسوب با مقادیر برآورد شده با دو مدل WEPP و هیدروفیزیکی

نوع پارامتر	مدل WEPP			مدل هیدروفیزیکی	عدد مشاهده‌ای
	حوزه آبخیز	مسیر جریان	دامنه		
رسوب ویژه (t/ha/yr)	۶/۰۱	۱۱/۸۷	۷/۶۴	۸/۰۶۶	۱۰/۵

۳-۶- بحث و نتیجه‌گیری

اصولاً برای پیشگیری از وقوع پدیده‌ی فرسایش در حوضه‌های آبخیز، اعمال تنها یک روش ویژه مناسب نیست، بلکه باید مجموعه اقدامات و تمهیداتی را به کار برد که به نتایج مطلوب منجر شود. لذا با توجه به نتایج به دست آمده، حوضه‌ی چرداول از نظر شدت فرسایش و رسوب‌دهی در کلاس (بالا) قرار دارد؛ بنابراین برای جلوگیری و کنترل فرسایش، باید اقدامات احیاء و اصلاح مراتع برای مناطق با فرسایش کم، سکوبندی اراضی و به کارگیری روش‌های بیولوژیک برای مناطقی با فرسایش متوسط و عملیات بیولوژیک را برای مناطقی با فرسایش زیاد انجام داد. در کنار عملیات بیولوژیک، باید اقدامات مؤثر دیگر نیز مانند کنترل چرای بی‌رویه، آفت‌زدایی جنگل‌ها و مدیریت سازمان‌یافته‌ی منطقه برای جلوگیری از تخریب‌های انسانی صورت گیرد. با توجه به گسترش عرصه‌های منابع طبیعی، برای مدیریت صحیح آنها استفاده از مدل‌های مناسب برای تخمین فرسایش و تولید رسوب ضروری است. با توجه به نتایج حاصل از این تحقیق، می‌توان در مناطقی با شرایط یکسان و با بهره‌گیری از روش و مواد مورد استفاده، نسبت به مطالعات فرسایش خاک و تولید رسوب اقدام کرد.

در این تحقیق میزان فرسایش و رسوب به سه روش دامنه، حوضه‌ی آبخیز و مسیر جریان در مدل وپ برآورد شد که میزان رسوب به ترتیب ۷/۶۴، ۶/۰۱ و ۱۱/۸۷ تن در هکتار در سال در حوضه‌ی رودخانه چرداول است. بر این اساس، دو روش دامنه و مسیر جریان با ۷/۶۴ و ۱۱/۸۷ تن در هکتار در سال، به عدد مشاهده‌ای ۱۰/۵ نزدیک‌تر و برای برآورد میزان فرسایش و رسوب در منطقه‌ی مورد مطالعه مناسب است. در مدل هیدروفیزیکی، تجزیه و تحلیل داده‌ها و یافته‌های تحقیق برای بررسی پتانسیل رسوب‌دهی و فرسایش خاک در حوضه‌ی چرداول نشان داد که میزان تولید رسوب ۸/۰۶۶

تن در هکتار است. نتایج به دست آمده در روش هیدروفیزیکی با احتساب R^2 نتایج بهتری نسبت به R به دست آورد. در کل، مقایسه‌ی نتایج روش هیدروفیزیکی با احتساب R^2 ، ضریب همبستگی بیشتری نسبت به R در مقایسه با آمار رسوب‌سنجی ایستگاه هیدرومتری چرداول نشان داد. نتایج به دست آمده از برآورد میزان فرسایش خاک و تولید رسوب در این حوضه، نشان داد که مدل WEPP در برآورد میزان فرسایش خاک و تولید رسوب، نسبت به مدل هیدروفیزیکی 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.

در این پژوهش، استفاده از مدل وپ برای تخمین فرسایش خاک و تولید رسوب با نتایج تحقیقات Weltz و همکاران (2001) و Pandey و همکاران (2008) که از مدل وپ برای برآورد میزان از دست رفتن خاک در آریزونا، آمریکا و فرسایش خاک و رسوب در حوضه‌های هند استفاده کردند، مطابقت دارد و کارایی بالا و قابل قبول مدل وپ را در برآورد فرسایش خاک و تولید رسوب در این مناطق نشان می‌دهد. رسوب برآورد شده به وسیله‌ی مدل وپ نیز با عدد مشاهده‌ای همبستگی بالایی دارد. در این تحقیق استفاده از مدل هیدروفیزیکی برای برآورد میزان تولید رسوب و فرسایش خاک، بیانگر کارایی قابل قبول این مدل در برآورد میزان رسوب در منطقه‌ی مورد مطالعه است که با نتایج تحقیقات اسمعیلی (2010) که از این مدل برای برآورد میزان فرسایش خاک و تولید رسوب در حوضه‌ی نوژیان در استان لرستان استفاده کرد، مطابقت دارد. در این تحقیق مشخص شد که روش هیدروفیزیکی برای برآورد میزان رسوب مناسب‌تر است. نتایج به دست آمده در این پژوهش با تحقیقات صمدی (1996) که از مدل هیدروفیزیکی برای برآورد میزان رسوب در میانکوه یزد استفاده کرد، هم‌راستا است. همچنین نتایج تحقیق حاضر با نتایج پژوهش عابدینی (2013) در زمینه‌ی برآورد میزان فرسایش خاک و تولید رسوب در مدل وپ در سه روش دامنه، حوضه‌ی آبخیز و مسیرهای جریان شباهت داشت. براساس تحقیقات عابدینی، مقدار رسوب در این سه روش، به ترتیب $0/178$ و $0/785$ محاسبه شد و رسوب برآورد شده به وسیله‌ی مدل وپ، عدد نزدیک‌تری را نسبت به مقدار رسوب مشاهده‌ای نشان داد و این بیانگر کارایی بالایی مدل وپ در برآورد فرسایش خاک و رسوب در حوضه‌های مورد مطالعه‌ی چرداول و سولاچای اردبیل است. هر چند به دلیل فقدان مطالعات در حوضه‌ی مورد مطالعه، نتایج این پژوهش با دیگر تحقیقات مقایسه نشد، اما میزان رسوب برآورد شده با استفاده از مدل WEPP، نسبت مدل هیدروفیزیکی به رسوب مشاهده‌ای در ایستگاه هیدرومتری نزدیک‌تر بود و این امر دقت بیشتر مدل وپ را نسبت به مدل هیدروفیزیکی نشان می‌دهد. همچنین مشخص شد که میزان فرسایش و تولید رسوب در کل حوضه‌ی مورد مطالعه، در سطح بالایی قرار دارد؛ وجود بارش زیاد، سازندهای حساس به فرسایش در محدوده‌ی مورد مطالعه، دخالت انسانی نظیر ایجاد زیرساخت‌های غیرقانونی و تغییرات کاربری در طی بیست سال گذشته، سبب تشدید فرسایش شده و پیامد آن، افزایش رسوب‌دهی در کلیه‌ی زیرحوضه‌های منطقه‌ی مورد مطالعه است؛ از این رو حفاظت از عرصه‌های منطقه و اقدامات مدیریتی برای کاهش فرسایش، امری ضروری است.

منابع

1. Abedini, M., & S. Longbee., (2013). Comparison of WEPP and EPM models in estimating soil erosion and sediment yield in Solachay watershed. *Quantitative Geomorphology*. 2(1), 79-96.
2. Acharya, G.; Cochrane, T. A.; Davies, T.; & E. Bowman, 2011. Quantifying and modeling post failure sediment yields from laboratory scale soil erosion and shallow landslide experiments with silty loess, *Geomorphology* DOI 10.1016/j.geomorph.2011.01.012.
3. Ahmadi, H., 2009. Applied Geomorphology, 1nd edition, Tehran University, 300P.
4. Brierley, G. I., & K. L. Fryirs., (2006). "Geomorphology and River Management". Blackwell Publication. 387pp.
5. Burgoa, B., & R. D. Wauchope., 1995. Pesticides in run-off and surface waters. In: Roberts, T., Kearny, P.C. (Eds.). *Environmental Behavior of Agrochemicals*. vol. 9. Wiley, New York, pp. 221-255.
6. Clark, E. H.; Haverkamp, J. A.; & W. Chapman, 1985. Eroding Soils. The Off-farm Impacts, The Conservation Foundation, Washington DC 252pp.
7. Daily, G.; Dasgupta, P.; Bolin, B.; Crosson, P.; Guerny, J. d.; Ehrlich, P.; Folke, C.; Jansson, A. M.; Kautsky, N.; Kinzig, Levin, S.; Ma'ler, K. G.; Andersen, P. P.; Siniscalco, D.; & B. Walker, 1998. Food production, population growth, and the environment, *Science*, 281, 1291-1292.
8. Erlich, R. R., 1988. The Loss of diversity: causes and consequences. In: Wilson E. O. and Peter F. M. (Eds), Biodiversity. National Academic Press, Washington D. C., pp. 21-27.
9. Esmaeili, A., & K. Abdollahi., 2010. Watershed and Soil Conservation. 1nd edition. Mohaghegh Ardebil University. 70P.
10. Feng, X.; Wang, Y.; Cheng, L.; Fu, B.; & G. Bai, 2010. Modeling soil erosion and response to land – use change in hilly catchments of the Chinese loess plateau, 118.
11. Feoli, E.; Vuerich, L. G.; & W. Zerihun, 2000. Evaluation of environmental degradation in northern Ethiopia using GIS to integrate vegetation, geomorphological, erosion and socio-economic factors, *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 91, 313-325.
12. Foster, G. R.; Flanagan. D. C.; Nearing, M. A.; Lane, L. J.; Risse, L. M.; & S. C. Finkner, 1995. Hillslope erosion component, Chapter 11, In: Flanagan, D. C. and Nearing, M. A. (Eds.), USDA-Water Erosion Prediction Project, Technical Documentation, NSERL.
13. Fox, D.; Berolo, W.; Carrega, P.; & F. Darboux, 2006. Mapping erosion risk and selecting sites for simple erosion control measures after a forest fire in Mediterranean France, *Earth Surface Processes and Landforms*.
14. Ghadiri, H., & C. W. Rose, (1993). Water erosion processes and the enrichment of sorbed pesticides. Part 1. Enrichment mechanisms and degradation of applied pesticides. *Journal of Environmental Management*. 37, 23-35.
15. Grauso, S.; Fatloruso, G.; Crocetti, C.; & A. Montanaral, 2007, "A spatially distributed analysis of erosion susceptibility and sediment yield a river basin by means of geomorphic parameters and regression relationships", *Hydrol. Earth syst. Sci. Discuss.*, Vol. 4, 627-654.
16. Hakim Khani, S. H., 2002. A review of the studies and dissertation on the PSIAC experimental model in Iran and reviewing the disadvantages of them and providing instructions for their use (Ph.D. seminar), University of Tehran.
17. Hergarten, S.; Paul, G.; & H. J. Neugebauer, 2000. Modeling surface runoff. In: Schmidt, J. (Ed.), Soil Erosion, Application of Physically Based Models, Springer, Berlin, pp. 295-306.
18. Jain, S. K., & M. K. Goel., (2002). Assessing the vulnerability to soil erosion of the Ukai Dam catchments using remote sensing and GIS. *Hydrological Sciences Journal*. 47.

19. Jefferson, A., 2003. Assessing the Transferability of a Water Erosion Model, Soil Conservation District Dear Creek Watershed Association.
20. Joan, Q., 2001. Modeling winter hydrology and Erosion in the Northwest wheat and Range Region (NWRR), Washington State University (WSU).
21. Khan, M. A.; Gupta, V. P.; & P. C. Moharana, 2001. Watershed prioritization using remote sensing and geographical information system: a case study from Guhiya, India, *Journal of Arid Environments*, 49.
22. Kincaid, D. C., 2002. The WEPP model for runoff and erosion prediction under sprinkler irrigation, *Trans. ASAE*, 45, 67-72.
23. Kinnell, P. I. A., 2000. The effect of slope length on sediment concentrations associated with side-slope erosion, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 64, 1004-1008.
24. Lal, R., 1995. Erosion-crop productivity relationships for soils of Africa, *Soil Science Society of America Journal*, 59, 661-667.
25. Mahmoodabadi, M., & C. Artemi., (2013). WEPP calibration for improved predictions of interrill erosion in Semi-arid to arid environments. *Geoderma*. 75-83.
26. Matson, P. A.; Parton, W. J.; Power, A. G.; & M. J. Swift, 1997. Agricultural intensification and ecosystem properties, *Science*, 277, 504-509.
27. McCuen, R. H., & O. Okunola., 2002. Extension of TR-55 for microwatersheds. *Journal of Hydrological Engineering*. 7, 319-325.
28. Mirzaee, A.; Shojaee, Z.; Jalali, N; & A. Islami, 2009. Estimation of erosion and sediment in Karaj watershed using hydrological model, *Engineering and Watershed Management*, 1 (1), 60-53.
29. Owengh, M., 2003. Landuse planning and integrated management of natural hazards in Golestan province, Seminar on floods hazard prevention and mitigation, Gorgan, Iran, Abstract.
30. Pandey, A.; Chowdary, V. M.; Mal, B. C.; & M. Billib, 2009. Application of the WEPP model for prioritization and evaluation of best management practices in an Indian watershed, *Hydrological Processing*, 23, 2997-3005.
31. Pandey, A.; Chowdary, V. M.; Mal, B. C.; & M. Billib, 2008. Runoff and sediment yield modelling from a small agricultural watershed in India using the WEPP model, *Journal of Hydrology*, 348, 305-319.
32. Pielke, R. A., 1999. Nine fallacies of floods, *Climate Change*, 42, 413-438.
33. Pieri, L.; Bittelli, M.; Wu, J. Q.; Dun, S.; Flanagan, D. C.; Pisa, P. R.; Ventura, F.; & F. Salvatorelli, 2007. Using the Water Erosion Prediction Project (WEPP) model to simulate field observed runoff and erosion in the Apennines mountain range, Italy, *Journal of Hydrology*, 336, 84-97.
34. Pimentel, D.; Harvey, C.; Resosudarmo, P.; Sinclair, K.; Kurz, D.; McNair, M.; Crist, S.; Shpritz, L.; Fitton, L.; Saffouri, R.; & R. Blair, 1995. Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits, *Science*, 267, 1117-1123.
35. Rahmati, A., 2000. Investigation of Sediment Potential in Sub-basins of Sorkhab (Nujian Basin) Using Hydrophysical Model, Conference of erosion and sedimentation, Lorestan University, Khorramabad, Iran.
36. Refahi, H., 2003. Erosion and its control, 3rd edition Tehran University, 160P.
37. Samadi, M., 1996. Determination of erosion and sediment by hydro physical method and geomorphological method, Master's degree in Watershed Management, Faculty of Natural Resources, University of Tehran.
38. Shen, Z. Y., Gong, Y. W., Li, Y. H.; Hong, Q.; Xu, L.; & R. M. Liu, 2009. A comparison of WEPP and SWAT for modeling soil erosion of the Zhangjiachong Watershed in the Three Gorges Reservoir Area, *Agricultural Water Management*, 96 (10), 1435-1442.

39. Singh, R. K.; Panda, R. K.; Satapathy, K. K.; & S. V. Ngachan, 2011. Simulation of runoff and sediment yield from a hilly watershed in the eastern Himalaya, India using the WEPP model, *Journal of Hydrology*, 405, 261–276.
40. Wetz, M. A.; Kidwelland, M. R.; & H. D. Fox, 1998. Influence of Abiotic and biotic factors in measuring and modeling Soil Erosion on Rangelands: State of Knowledge, *J. Range Mange*, 51, 482-495.
41. Wilson, E. O., 1992. The Diversity of life. Belknap Press, Cambridge, MA, USA. Yitayew, M., Pokrzy wka, S. J., Renard, K.G., 1999. - Using GIS for facilitating erosion estimation, *Appl. Eng. Agric*, 15, 295-301.
42. Yanmaz, A. M., & F. Coskun., (1995). Hydrological aspects of bridge design - case study. *Journal of Irrigation Drainage*. Division of American Society of Civil Engineer.
43. Yu, B., & J. Rosewell., (2001). Evaluation of WEPP for runoff and soil loss prediction at Gunnedah, NSW, Australia, *Australian Journal of Soil Research*, 39, 1131–1145.
44. Yu, B.; Ciesiolka, C. A. A.; Rose, C. W.; & K. J. Coughlan, 2000. A validation test of WEPP to predict runoff and soil loss from a pineapple farm on a sandy soil in subtropical Queensland, Australia, *Australian Journal of Soil Research*, 38, 537–554.

Comparing WEPP and Hydro Physical Models to Estimate Soil Erosion and Sediment Production: A Case Study of Chardavol Watershed

Mehdi Ahmadi¹: PhD Student of Geomorphology, Geomorphology Department, Faculty of Geography and planning, University of Tabriz.

Davood Mokhtari: professor, Geomorphology Department, Faculty of Geography and planning, University of Tabriz.

Sayed Asadallah Hejazi: Associate Professor, Geomorphology Department, Faculty of Geography and planning, University of Tabriz.

Mehdi Nikseresh: Geography Department, Faculty of Geography, University of payame noor ilam.

Article History (Received: January 7, 2017

Accepted: October 19, 2017)

Extended abstract

1- Introduction

Soil erosion and sediment production include fundamental limitations in the use of soil and water resources. The sediment yields watersheds in addition to the loss of soil fertility, causing water quality reduction. Therefore, evaluation processes that govern their behavior to better understand and assess the systems of watershed management practices are important. The role of soil erosion and sediment production in soil fertility decline and waste as well as in filling reservoirs dams is a global problem. This is due to the destruction of the environment and human factor on landuse cover. WEPP erosion model is a physical model that estimates the amount of erosion and loss of soil using the approach of local development assessment. WEPP model can assess the amount of runoff and erosion process in a watershed. Nearly 2 billion tons of resource soil is destroyed, and much damage equivalent to 18.5×10^{12} Rials enters the country of Iran. Therefore, to prevent this destruction of natural resources, suitable management for preventing erosion and sediment movement is needed. While erosion is a natural process, human activity is the cause of erosion. Also, erosion caused a devastating impact on the landscape and natural resource. These effects included decrease in the agricultural productivity resulting in ecological collapse. Water and wind erosion are the two primary causes of land degradation; both of them together are responsible for about 84% of the global extent of degraded land.

2- Methodology

In order to achieve the purpose of the research, a case was studied and identified based on the WEPP and Hydro physical Models. In this study, to estimate soil erosion and sediment production, the WEPP and Hydro physical models were used. In the research, to prepare database for estimating soil erosion and sediment production, suitable map, topography map, slop, and land use were produced. In the second step, in the environment of GIS software, all the layers were corrected and analyzed. Many data were collected through field work. In this study, WEPP and Hydro physical models were utilized for estimating soil erosion and sediment production in the watershed of Chardavol in the northern Ilam province. In the WEPP model, for data collection, geomorphology methods were used to determine the work units. In WEPP Model, the type of data collection run in six classes was classification, which contained the files of soil, climate, management, slope, drainage, and tank. In the soil class, information such as texture, action exchange capacity, organic matter, some pebbles, and effective hydraulic flow was used. In file management, information such as the type of landuse cover, vegetation, soil and plant phonological characteristics were dominant. Klyghen sowftware was used to build the climate file.

¹ Corresponding Author: M.Ahmadi@tabriz.ac.ir

Information required in this file included daily rainfall and temperature. For the stream slope and the slope of slope, the software of geo-WEPP was used.

3- Results

According to the results of weighting maps and the data about the potential of sedimentary basins, the basin A8, with a potential production of 13.76 tons of sediment per square hectare, was the highest rate of sedimentary and erosion. Also, the lowest sedimentary was located in the sub-basin A3 with a potential production of 2.64 tons of sediment per hectare. The highest erosion rates in the three sub-basins in the southeastern part of the basin Chardavol were located in this part of the basin due to slopes and high rainfall, low vegetation and poor pastures. The rate of erosion was very high due to natural and human destructive factors. These areas have the highest amount of sediment in the study area. In this study, the lowest rate of erosion in western and northern study areas is located in the areas covered with dense forest and semi-dense and high vegetation with protective programs.

4- Discussion and Conclusions

The results of the study based on the WEPP model showed that the amounts of sediment in the three methods of domain, watershed and flow direction were 7.64, 6.01, and 11.87 ton/ha/year, respectively. According to the estimated results, the domain and flow direction methods with 7.64 and 11.87 ton/ha/year were in good agreement with the actual amount (10.5), and were suitable for the erosion and sediment estimation in Chardavol watershed. Also, the results obtained in the Hydro physical method indicated that the amount of sediment was 8.066 ton/ha/year (Table 1).

Table 1: Comparing WEPP and hydro physical models for estimating soil erosion and sediment production

Hydrometric Station	Hydro physical Model	model WEPP			Type Parameter
		Domain	Flow direction	Watershed	
10/5	8/066	7/64	11/87	6/01	Sediment (t/ha/yr)

Key word: Erosion, Sediment, WEPP, Hydro physical, Chardavol Watershed.