Archive of SID

مرتع و آبخیزداری، مجله منابع طبیعی ایران
دوره ۶۹، شماره ۱، بهار ۱۳۹۵

ص ۱۴۰-۱۲۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۶/۰۹
تاریخ پذیرش:۱۳۹۳/۱۰/۲۲

بررسی تأثیر زمان وقوع رگبار بر اولویت‌بندی عوامل مؤثر در فرسایش با استفاده از آنالیز حساسیت مدل WEPP (مطالعه موردی: حوزه آبخیز سنگانه، استان خراسان رضوی)

❖ **علی طالبی؛** دانشیار، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی دانشگاه یزد، ایران

❖ **شهربانو عباسی جندانی*؛** دانشجوی دکترای علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران

چکیده

مدل WEPP، به حجم زیادی از داده‌های ورودی نیاز دارد. شناسایی پارامترهای حساس مدل و اولویت‌بندی آنها سبب افزایش دقت و کارایی مدل می‌شود. از طرفی مدل WEPP می‌تواند فرایندهای مؤثر در رواناب، فرسایش و رسوب را در طول سال شبیه‌سازی کند، از این‌رو، حساسیت مدل با توجه به زمان وقوع رگبار و مقدار پارامترها در مقاطع مختلف از سال باید متفاوت باشد. برای اثبات این فرض، دو رگبار بهاره و پاییزه مربوط به سال ۲۰۰۸ انتخاب شده و مدل WEPP برای سه پلات با شرایط متفاوت از حوزه آبخیز سنگانه مورد آنالیز حساسیت قرار گرفته است. برای آنالیز حساسیت از روش OAT استفاده شده و درجه حساسیت پارامترها محاسبه شده است. نتایج حاصل نشان می‌دهد که درصد شن حساس‌ترین پارامتر مدل WEPP می‌باشد. پس از این پارامتر، پارامترهای درصد رس، هدایت هیدرولیکی مؤثر، مقدار و شدت بارش، درجه روز جوانه زدن، درجه روز فصل رشد و نیز درصدی از فصل رشد که LAI کاهش می‌یابد، به ترتیب جزو پارامترهای حساس مدل می‌باشند. بیشترین تغییرات در اولویت‌بندی پارامترهای حساس نیز در فایل گیاه/ مدیریت دیده می‌شود. درجه حساسیت مدل به این پارامترها در بیشتر موارد در هر سه پلات در رگبار پاییزه نسبت به رگبار بهاره، کاهش قابل ملاحظه‌ای داشته است. به‌طور کلی نتایج حاصل نشان می‌دهد که میزان حساسیت مدل WEPP به پارامترهای مختلف در طی زمان تغییر می‌کند. از این‌رو برای استفاده از این مدل پیچیده به‌ویژه در مناطق با محدودیت داده، کاربر باید نسبت به این موضوع آگاهی داشته باشد که با توجه به زمان وقوع رگبار، کدام پارامتر در منطقه مطالعاتی بیشتر حساس بوده و باید با دقت بیشتری برداشت شود.

واژه‌های کلیدی: مدل دامنه WEPP، آنالیز حساسیت، روش OAT، درجه حساسیت، اولویت‌بندی، حوزه آبخیز سنگانه.

* نویسنده مسئول: شماره تماس: ۰۹۱۳۸۰۲۳۰۵۴
Email: sh.abbasi@ut.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

۱. مقدمه

امروزه فرسایش خاک به عنوان عاملی برای از دست رفتن سرمایه ملی از یکسو و مشکلات ناشی از تهنشست رسوبات در مخازن سدها و کانال‌های کشاورزی از سوی دیگر، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در کشور ما نیز فرسایش هر ساله خسارت‌های جبران‌ناپذیری را به اکوسیستم‌های حوزه‌های آبخیز و اقتصاد کشور وارد می‌سازد [۱۶]. با وجود این، در بیشتر حوزه‌های آبخیز، داده‌های مورد نیاز برای برآورد فرسایش و رسوب در پایین‌دست دامنه‌ها وجود ندارد و به دلیل مشکلات اجرایی و وسعت حوزه‌های آبخیز، امکان استفاده از روش‌های مستقیم مانند پلات‌گذاری، روش‌های هیدرولیکی و هیدرولوژیکی نیز برای محاسبه فرسایش در دامنه‌ها بجز موارد محدود و برای حوزه‌های آبخیز کوچک، نیست. راه مناسب دیگری که برای برآورد فرسایش و رسوب وجود دارد، اندازه‌گیری غیرمستقیم به کمک روابط و مدل‌های ارائه شده، است [۱۰]. مدل‌ها در اصطلاحات پیچیدگی، فرایندهای در نظر گرفته شده و داده‌های مورد نیاز برای کالیبراسیون و استفاده مدل، با یکدیگر متفاوتند. به‌طور کلی بهترین مدل برای همه کاربردها وجود ندارد. متناسب‌ترین مدل نیز به استفاده مورد انتظار و مشخصات حوزه آبخیز در نظر گرفته شده بستگی خواهد داشت [۱۷]. مدل پروژه پیش‌بینی فرسایش آبی[1] (WEPP) [۱۸] یکی از مشهورترین مدل‌های فرایند محور است که با پایه فیزیکی می‌تواند هدررفت خاک و رسوبگذاری را با استفاده از سازوکارها و فرایندهای توزیعی زمانی و مکانی روی دامنه‌ها و در داخل آبراهه‌ها پیش‌بینی کند [۹، ۱۸]. در این مدل فرایندهایی که در سطح دامنه در اثر تعامل بارندگی با خصوصیات سطحی دامنه ایجاد می‌شوند، مورد توجه قرار گرفته است. این مدل برای برطرف کردن محدودیت مکانی و زمانی بسیاری از مدل‌های قبلی مثل USLE و RUSLE توسعه یافته است. مدل WEPP بر اساس مهارت‌های اصولی تولید داده‌های آماری هواشناسی، تئوری نفوذ، هیدرولوژی، فیزیک خاک، علوم گیاهی، هیدرولیک و سازوکارهای فرسایش بنا شده است [۸]. مدل دامنه WEPP دارای چهار بخش اقلیم، خاک، مدیریت و توپوگرافی است. در مدل حوزه آبخیز علاوه بر این چهار فایل، داده‌های مربوط به تأسیسات آبخیزداری، کانال و مخازن نیز اضافه می‌شود [۹].

به دلیل اینکه مدل WEPP بیشتر فرایندهای مؤثر در فرسایش را در نظر گرفته است، بطور گسترده‌ای در سراسر جهان استفاده می‌شود [۱، ۲، ۶، ۷، ۱۱، ۱۳، ۱۴، ۱۹، ۲۰، ۲۱، ۲۲، ۲۶، ۲۷، ۲۸، ۳۰]. مدل WEPP یک مدل با کارایی بالا در برآورد فرسایش است ولی عواملی همانند پیچیدگی استفاده از این مدل و همچنین نیاز به داده‌های ورودی زیاد، کاربرد این مدل را به‌ویژه در بسیاری از حوزه‌های آبخیز فاقد آمار محدود کرده است. از این‌رو در مطالعات متعددی آنالیز حساسیت مدل WEPP انجام شده تا پارامترهای حساس این مدل شناسایی شوند که با توجه به شرایط منطقه مطالعاتی نتایج متفاوتی نیز ارائه شده است. به‌عنوان نمونه، [۱۹] مدل دامنه WEPP را آنالیز حساسیت کردند. طبق نتایج به‌دست آمده در این مطالعه، پارامترهای حساس مدل شامل بارش، فرسایش‌پذیری شیاری، پوشش بقایای گیاهی در بین تاج پوشش و تنش برشی هیدرولیکی شیار بوده‌اند. [۲۵] مدل حوزه آبخیز WEPP را برای کاربردهای مرتعی آنالیز حساسیت کردند. نتایج حاصل نشان داد که مدل به مشخصات تعریف شده برای واقعه رگبار (مقدار، مدت و زمان تا پیک و شدت) و به هدایت هیدرولیکی اشباع، حساسیت بالایی دارد. [۲۴] اشاره کردند که مدل WEPP به پارامترهای خاک یعنی فرسایش‌پذیری شیاری، فرسایش‌پذیری بین شیاری، هدایت هیدرولیکی، تنش برشی بحرانی و ضریب زبری مانینگ با سطوح متغیر، کاملاً حساس است. در معدود مطالعاتی که در ایران بر روی مدل WEPP انجام شده

[1] Water Erosion Prediction Project model

www.SID.ir

Archive of SID

است، کمتر به آنالیز حساسیت این مدل پیچیده توجه شده است [۳، ۱۲، ۱۵، ۱۶].

استفاده و آزمایش مدل WEPP در شرایط ایران و مقایسه نتایج حاصل از آن با مقادیر واقعی می‌تواند گامی مؤثر در افزایش دامنه استفاده از این مدل پیچیده باشد. از طرفی با توجه به پارامترهای ورودی بسیار زیاد مدل WEPP و با نظر به اینکه به دست آوردن همه این پارامترها، نیازمند صرف وقت و هزینه زیادی است، لازم است تا مهمترین و تأثیرگذارترین پارامترهای ورودی مدل شناسایی شده و این پارامترها با دقت بیشتری برداشت شوند تا کارایی مدل افزایش یابد. در واقع آنالیز حساسیت مدل، راهنمایی برای جمع‌آوری داده در منطقه‌ای است که برای اجرای مدل انتخاب می‌شود. از طرفی با توجه به تغییرات شرایط محیطی در طول سال، تأثیر عوامل مختلف بر روی فرایندهای هیدرولوژیک و فرسایش، با زمان تغییر خواهد کرد. پس مدلی می‌تواند کارایی بالاتری داشته باشد که بتواند با تغییرات طبیعت هماهنگ باشد. پوشش گیاهی و پارامترهای مرتبط با آن نسبت به سایر اجزای طبیعت بیشتر تحت تأثیر تغییرات زمانی قرار می‌گیرند. در حوزه سنگانه واقع در استان خراسان رضوی این مورد به وضوح دیده می‌شود. حوزه سنگانه، یک منطقه قشلاقی است که دوره رشد گیاهان یکساله در آن از اسفند تا اردیبهشت می‌باشد و بعد از اردیبهشت‌ماه، پوشش گیاهی از بین می‌رود. در واقع طول دوره رشد در منطقه مطالعاتی کمتر از دو ماه است و باید این تغییرات در نظر گرفته شود. مدل فرایندمحور WEPP که از لحاظ زمانی نیز پیوسته است می‌تواند پارامترهای مختلف را بر اساس اطلاعات دریافتی از فایل‌های ورودی، در طول سال شبیه‌سازی کند، از این‌رو باید اولویت‌بندی پارامترهای حساس مدل با زمان تغییر کند. بنابراین در این مطالعه مدل WEPP بر اساس داده‌های پلات‌های شماره ۱۱، ۱۶ و ۲۸ واقع در ایستگاه تحقیقاتی سنگانه، آنالیز حساسیت شده است. علاوه بر این، برای بررسی تغییر اولویت پارامترهای حساس با تغییر زمان رگبار، این مدل برای دو رگبار بهاره و پاییزه آنالیز حساست شده و نتایج آن با هم مقایسه شده است. از آنالیز حساسیت مدل‌های فرایند محور برای ارزیابی معقولانه مدل، فراهم کردن بینشی در مورد کلیت سیستم‌های فیزیکی و کمک به شناسایی نیازهای تحقیقاتی استفاده می‌شود. نتایج این تحقیق می‌تواند راهگشای استفاده از مدل WEPP در سایر مناطق مشابه باشد.

۲. روش‌شناسی

۱.۲. خصوصیات عرصه پایگاه تحقیقاتی سنگانه

در سال ۱۳۷۵ برای بررسی پارامترهای مؤثر در تولید رسوب در عرصه‌های طبیعی و از طریق پلات‌های آزمایشی، پایگاه تحقیقات حفاظت خاک سنگانه به مساحت بیش از ۵۰ هکتار در ۱۰۰ کیلومتری شمال‌شرق مشهد ایجاد شد. این حوزه آبخیز تقریباً معرف تیپ غالب مراتع مناطق خشک استان خراسان رضوی بوده و دربرگیرنده شرایط مختلف زمین‌شناسی، پوشش‌گیاهی، عمق خاک، توپوگرافی و سایر عوامل احتمالی مؤثر در فرسایش خاک است. در این پایگاه تعداد ۹۲ پلات آزمایشی در شرایط مختلف نصب شده و اطلاعات رواناب و رسوب از سال ۱۳۷۵ تاکنون جمع‌آوری شده است. برای اطلاعات شدت، مدت و مقدار مربوط به هر واقعه بارندگی، دو دستگاه باران‌نگار نیز در پایگاه نصب شده است [۲۳]. متوسط بارندگی سالانه پایگاه بر اساس آمار ۱۰ ساله باران‌نگارهای پایگاه کمتر از ۱۸۰ میلی‌متر می‌باشد. شکل ۱ موقعیّت پایگاه تحقیقاتی سنگانه را در کشور نشان می‌دهد.

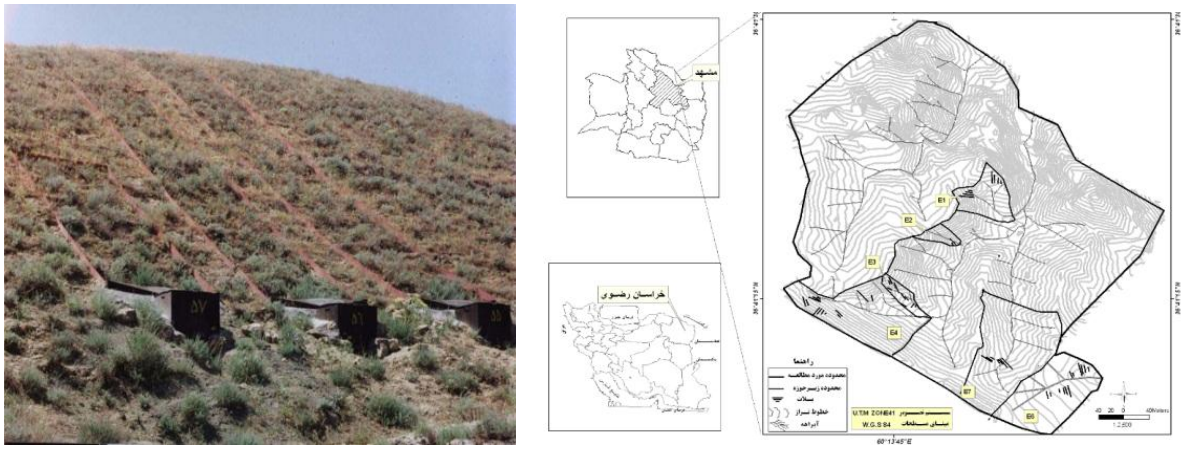
۲.۲. روش کار

در این مطالعه پلات شماره ۱۶ از زیر حوزه دو، پلات شماره ۲۸ از زیر حوزه سه و پلات شماره ۱۱ از زیر حوزه پنج در پایگاه تحقیقاتی سنگانه انتخاب شده است (جدول ۱). برای آنالیز حساسیت از دو رگبار استفاده شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

رگبار اول، در اردیبهشت ماه رخ داده است که مصادف با دوره رشد گیاهان در منطقه مطالعاتی می‌باشد. رگبار دوم در آبان‌ماه رخ داده که پوشش گیاهی منطقه تقریباً از بین رفته، از این‌رو این رگبار نماینده شرایط خارج از دوره رشد در منطقه مطالعاتی است (جدول ۲). مدل دامنه WEPP برای اجرا به چهار فایل ورودی نیاز دارد: اقلیم، توپوگرافی، خاک و گیاه/مدیریت. در این مطالعه مدل WEPP در حالت رگبار به رگبار اجرا شده است.



شکل ۱. موقعیّت پایگاه تحقیقاتی سنگانه در کشور (سمت راست)، نمونه‌ای از پلات‌های احداثی فلزی (سمت چپ) (Rangavar, 2004).

اقلیم از اصلی‌ترین بخش‌های مدل WEPP است. برای تهیه فایل اقلیم از برنامه BPCDG[1] [۲۹] استفاده شده است. این برنامه به چهار فایل ورودی نیاز دارد. فایل اول شامل اطلاعاتی در مورد زمان شروع رگبار، زمان پایان رگبار، مقدار رگبار و شدت رگبار می‌باشد. فایل دوم شامل دمای بیشینه و کمینه روزانه، داده‌های کیفی سرعت و جهت باد در دو ساعت هشت صبح و ۱۸ بعد از ظهر است. در فایل سوم اطلاعاتی مربوط به جدول‌های تبدیل داده باد از حالت کیفی به کمی، تابش خورشیدی و دمای نقطه شبنم به مدل معرفی می‌شود. فایل چهارم نیز مربوط به مشخصات ایستگاه می‌باشد. داده‌های مورد نیاز این بخش از ایستگاه تبخیرسنجی و دستگاه‌های باران‌نگار موجود در پایگاه تحقیقاتی سنگانه به‌دست آمده است. نواقص موجود در مجموعه داده مورد نیاز نیز با استفاده از ایستگاه سینوپتیک مشهد و با توسعه روابط آماری تکمیل شده است. فایل توپوگرافی برای پلات‌های شماره ۱۶، ۲۸ و ۱۱ با اطلاعاتی مانند درصد شیب، طول، جهت و عرض پروفیل تکمیل شده است. اطلاعات مورد نیاز فایل خاک با استفاده از برداشت صحرایی و آزمایشگاهی، روابط توسعه داده شده توسط مدل WEPP و داده‌های برداشت شده برای خاک‌های مشابه در آمریکا به‌دست آمده است. فایل گیاه/مدیریت نیز با استفاده از داده‌های به‌دست آمده در برداشت صحرایی، داده‌های پیش‌فرض مدل و ضرایب تعیین شده برای روابط مربوط به پارامترهای گیاهی تکمیل شده است. این ضرایب بر اساس شرایط منطقه مطالعاتی واسنجی و بعد اعتبارسنجی شده‌اند. بهترین ضریب معادلات گیاهی ضریبی است که نمودار پارامتر مورد نظر آن در طول سال با آنچه در واقعیت منطقه وجود دارد، بیشترین تطابق را داشته باشد. از آنجاییکه پارامترهای گیاهی باید در طول سال مقداردهی شوند، از این‌رو ابتدا دوره رشد گیاه در منطقه مطالعاتی با استفاده از اطلاعاتی مانند کمینه دمای مورد نیاز برای شروع رشد، کمینه و بیشینه دمای پایدار بحرانی آغازگر پیری، دمای بهینه برای رشد گیاه، درجه روز جوانه زدن و درجه روز فصل رشد شبیه‌سازی

[1] Breakpoint Climate Data Generator

www.SID.ir

Archive of SID

شده است. پارامترهای مورد نظر برای شبیه‌سازی دوره رشد گیاه با استفاده از داده‌های اقلیمی به‌دست آمده و به مدل معرفی شده‌اند. سپس با استفاده از دوره رشد شبیه‌سازی شده و ضرایب تعیین شده، پارامترهای گیاهی در طول سال مقداردهی شده‌اند. پس از جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز، فایل‌های ورودی با برنامه Notpad تهیه شده و به فرمت قابل قبول توسط مدل WEPP تبدیل شده و مدل اجرا شده است.

جدول ۱. مشخصات پلات‌های منتخب در منطقه تحقیقاتی سنگانه

توپوگرافی			خاک			گیاه/ مدیریت		
پلات	٪ شیب	طول شیب (m)	٪شن	٪ رس	٪ سنگریزه	نوع مدیریت	٪ تاج پوشش	٪ لاشبرگ	٪ خاک لخت
۱۶	۶۷	۱۰	۵۹	۱۴	۰	مرتع	۱۴	۱	۸۵
۲۸	۶۵	۲۰	۵۴	۱۶	۰	مرتع	۱۶	۱	۸۳
۱۱	۲۳	۵	۵۶	۱۲	۰	مرتع	۷۱	۳	۲۶

جدول ۲. مشخصات رگبارهای استفاده شده برای آنالیز حساسیت

تاریخ وقوع	مقدار (mm)	شدت متوسط (mm/hr)	حداکثر شدت نیم ساعته (mm/hr)
۲۰۰۸/۰۵/۰۴	۶/۶	۳۰/۸۷	۳۰/۸۷
۲۰۰۸/۱۱/۰۷	۹/۲	۱۳/۸۶	۲۰

برای انجام آنالیز حساسیت، از روش "یک پارامتر در هر بار[1]" (OAT) استفاده شده است. در روش OAT در هر بار اجرای مدل یک پارامتر تغییر کرده و بقیه ثابت می‌مانند و اثر این تغییر بر خروجی مدل، حساسیت پارامتر را مشخص می‌کند. پس از اجرای مدل WEPP، مدل با تغییرات ۲۰- تا ۲۰+ درصد در ورودی‌ها اجرا و تغییرات رواناب و فرسایش و رسوب متناظر با آن محاسبه شده است. در این تحقیق ۴۶ پارامتر موجود در چهار فایل اقلیم، توپوگرافی، خاک و گیاه/ مدیریت مورد آنالیز حساسیت قرار گرفته است. برای محاسبه درجه حساسیت هر پارامتر از رابطه (۱) استفاده شده است تا میزان حساسیت پارامترها مشخص شود. بعبارت دیگر، آنالیز حساسیت مقادیر نسبی مشاهده شده در خروجی مدل را با استفاده از تغییر در پارامترهای ورودی ارزیابی می‌کند.

[1] One At a Time

نسبت حساسیت بصورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$S = \frac{(Y_2 - Y_1)/\bar{Y}}{(X_2 - X_1)/\bar{X}} \qquad (۱)$$

که در آن، X_1 و X_2 کوچکترین و بزرگترین مقادیر ورودی و $\bar{X}$ میانگین X_1 و X_2، Y_1 و Y_2 کوچکترین و بزرگترین مقادیر خروجی و $\bar{Y}$ متوسط Y_1 و Y_2 هستند. پارامتر S تابعی از دامنه تغییرات داده‌های ورودی برای جواب‌های غیرخطی است [۱۹].

۳. نتایج

آنالیز حساسیت در سه پلات و در هر پلات برای ۴۶ پارامتر و بر اساس دو رگبار انجام شده است. بر اساس نتایج به‌دست آمده در پلات ۱۶، مدل WEPP نسبت به پارامترهای توپوگرافی برای پیش‌بینی رواناب و فرسایش

www.SID.ir

Archive of SID

حساس نیست و حساسیت مدل در پیش‌بینی رسوب به طول پلات در رگبار پاییزه کمی بیشتر از رگبار بهاره است. در فایل خاک، حساس‌ترین پارامتر، درصد شن می‌باشد (درجه حساسیت ۷/۸۷-، ۱۰/۷۵- و ۱۰/۱۲- در رگبار بهاره و ۱۰/۱۱-، ۱۲/۴۶- و ۱۱/۳۰- در رگبار پاییزه به‌ترتیب برای رواناب، فرسایش و رسوب) و پس از آن، درصد رس (درجه حساسیت ۷/۵۷، ۹/۲۳ و ۸/۰۹ در رگبار بهاره و ۶/۷۹، ۶/۷۱ و ۷/۵۳ در رگبار پاییزه به‌ترتیب برای رواناب، فرسایش و رسوب) و هدایت هیدرولیکی مؤثر (درجه حساسیت ۶/۳۳-، ۶/۲۰- و ۶/۸۰- در رگبار بهاره و ۴/۰۴-، ۵/۴۶- و ۶/۶۰- در رگبار پاییزه به‌ترتیب برای رواناب، فرسایش و رسوب) در اولویت‌های بعدی قرار می‌گیرند. در فایل اقلیم، در مورد نتایج رواناب، حساسیت مدل به شدت بارش در رگبار بهاره بیشتر از مقدار بارش است، اما در رگبار پاییزه، حساسیت به مقدار بارش بیشتر از شدت بارش است. از طرفی، درجه حساسیت به مقدار بارش در رگبار پاییزه ۶۳ درصد بیشتر از رگبار بهاره و درجه حساسیت به شدت بارش ۱۱ درصد کمتر از رگبار بهاره است. در مورد نتایج فرسایش نیز حساسیت مدل در هر دو رگبار به مقدار بارش بیشتر از شدت بارش است اما درجه حساسیت مدل به شدت بارش در رگبار پاییزه ۲۱ درصد بیشتر از رگبار بهاره می‌باشد. در مورد نتایج رسوب نیز اولویت‌بندی پارامترها همانند نتایج فرسایش است، با این تفاوت که درجه حساسیت به مقدار بارش در رگبار بهاره هشت درصد بیشتر از رگبار پاییزه است و در عوض درجه حساسیت در رگبار پاییزه به شدت بارش، ۱۰ درصد بیشتر از رگبار بهاره می‌باشد. این بدان معنا می‌باشد که در دوره بدون رشد به دلیل بدون حفاظ شدن زمین رگبارهایی با شدت کمتر از رگبارهای بهاره نیز قادر به کنش خاک می‌باشند. بیشترین تغییرات در اولویت‌بندی پارامترها هم از لحاظ زمانی و هم از لحاظ تأثیر بر نتایج رواناب، فرسایش و رسوب در فایل گیاه/ مدیریت دیده می‌شود (شکل‌های ۲ تا ۷). در مورد تأثیر بر نتایج رواناب و فرسایش، در رگبار بهاره، درصدی از فصل رشد که LAI (شاخص سطح برگ) شروع به کاهش می‌کند و در رگبار پاییزه درجه روز برای فصل رشد، حساس‌ترین پارامتر می‌باشند. پارامتر درصدی از فصل رشد که LAI شروع به کاهش می‌کند یکی از پارامترهای تعیین‌کننده میزان بیوماس بالای سطح زمین و نیز درصد پوشش گیاهی می‌باشد. درجه روز برای فصل رشد نیز تعیین‌کننده طول دوره رشد می‌باشد. در مورد نتایج رسوب، حساس‌ترین پارامتر برای رگبار بهاره، همانند حساس‌ترین پارامتر برای نتایج رواناب و فرسایش است، اما برای رگبار پاییزه، حساس‌ترین پارامتر، درجه روز رشد تا جوانه زدن می‌باشد که در واقع تعیین‌کننده زمان شروع جوانه‌زنی در منطقه مطالعاتی می‌باشد. موضوع قابل توجه در فایل گیاه/ مدیریت، تغییر قابل توجه درجه حساسیت پارامترهای مدل می‌باشد. درجه حساسیت پارامتر درصدی از فصل رشد که LAI شروع به کاهش می‌کند، در رگبار پاییزه نسبت به رگبار بهاره برای پیش بینی رواناب، فرسایش و رسوب به‌ترتیب ۸۴، ۹۰ و ۸۱ درصد کاهش داشته است. در مورد پارامتر درجه روز رشد برای فصل رشد، درجه حساسیت برای پیش‌بینی رواناب، فرسایش و رسوب به‌ترتیب ۴۸، ۸۹ و ۷۹ درصد و در مورد پارامتر درجه روز رشد تا جوانه زدن، این مقادیر به‌ترتیب ۶۶، ۷۸ و ۵۹ درصد در رگبار پاییزه نسبت به رگبار بهاره کاهش یافته است.

نتایج آنالیر حساسیت مدل دامنه WEPP برای پلات ۲۸ نیز تقریباً مشابه نتایج به‌دست آمده برای پلات ۱۶ می‌باشد (جدول ۴). در این پلات حساس‌ترین پارامتر فایل توپوگرافی برای برآورد رواناب در رگبار بهاره طول شیب و برای فرسایش و بار رسوبی درصد شیب می‌باشد. در این فایل در رگبار پاییزه طول شیب حساس‌ترین پارامتر برای برآورد فرسایش و رسوب می‌باشد. حساس‌ترین پارامترها در فایل خاک برای هر دو رگبار بهاره و پاییزه در برآورد رواناب، فرسایش و رسوب به‌ترتیب درصد شن، درصد رس و هدایت هیدرولیکی

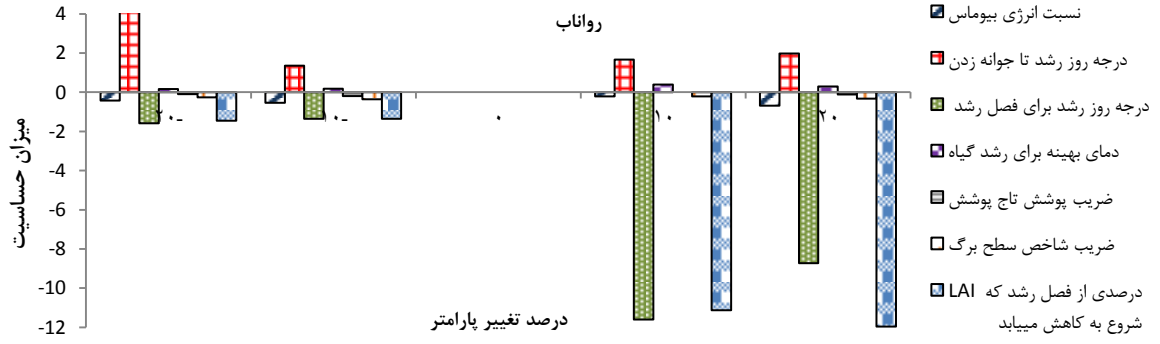
www.SID.ir

Archive of SID

مؤثر می‌باشند. در فایل اقلیم، حساس‌ترین پارامترها در برآورد رواناب و فرسایش در هر دو رگبار بهاره و پاییزه مقدار بارش و شدت بارش می‌باشند. اولویت‌بندی پارامترها در برآورد رسوب در رگبار بهاره نیز به همین صورت می‌باشد، اما در رگبار پاییزه شدت بارش در اولویت اول قرار می‌گیرد. حساس‌ترین پارامترها در برآورد رواناب، فرسایش و رسوب در فایل گیاه/ مدیریت در هر دو رگبار بهاره و پاییزه سه پارامتر درصدی از فصل رشد که LAI شروع به کاهش می‌کند، درجه روز فصل رشد و درجه روز جوانه زدن بوده‌اند. نکته قابل توجه در این فایل برای پلات ۲۸ همانند نتایج به‌دست آمده برای پلات ۱۶، کاهش قابل ملاحظه درجه حساسیت پارامترهای گیاهی در رگبار پاییزه می‌باشد. به‌طوریکه درجه حساسیت پارامتر درجه روز جوانه زدن در رگبار پاییزه نسبت به رگبار بهاره برای رواناب، تلفات خاک و رسوب به‌ترتیب ۸۸، ۶۸ و ۵۸ درصد کاهش داشته است. این مقادیر کاهش برای پارامتر درجه روز فصل رشد به‌ترتیب ۹۰، ۶۶ و ۶۷ و برای پارامتر درصدی از فصل رشد که LAI شروع به کاهش می‌کند به‌ترتیب ۹۰، ۶۸ و ۶۸ بوده است.

آنالیز حساسیت با همین دو رگبار برای پلات شماره ۱۱ در زیرحوزه پنج نیز انجام شده است (جدول ۵). مشخصه اصلی این پلات پوشش گیاهی بالا و درصد شیب کم آن می‌باشد. نتایج به‌دست آمده برای این پلات نیز نشان می‌دهد که حساس‌ترین پارامترها در فایل توپوگرافی درصد شیب و طول شیب، در فایل خاک درصد شن، درصد رس و هدایت هیدرولیکی مؤثر، در فایل اقلیم مقدار و شدت بارش و در فایل گیاه/مدیریت، درجه روز جوانه زدن، درجه روز فصل رشد و درصدی از فصل رشد که LAI شروع به کاهش می‌کند می‌باشند. در این پلات نیز درجه حساسیت به پارامترهای گیاهی در رگبار پاییزه نسبت به رگبار بهاره در بیشتر موارد کاهش قابل توجهی داشته است.

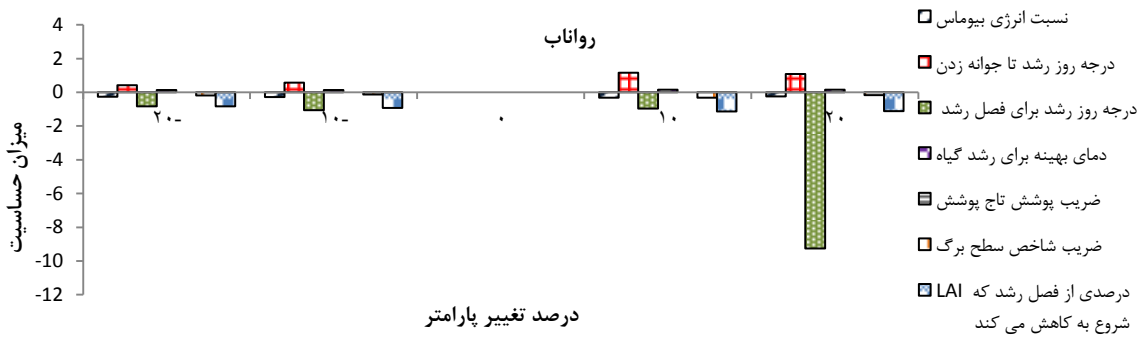
برای نمونه درجه حساسیت به پارامتر درجه روز رشد تا جوانه زدن، درجه روز فصل رشد و درصدی از فصل رشد که LAI شروع به کاهش می‌کند در مورد رواناب به‌ترتیب ۸۶، ۸۶ و ۸۵ درصد و در مورد رسوب به‌ترتیب ۷۳، ۶۴ و ۵۹ درصد کاهش یافته است. با وجود این، درجه حساسیت این پارامترها در مورد فرسایش کمی افزایش یافته است. نکته دیگری که می‌توان به آن اشاره کرد این است که درجه حساسیت نسبت به مشخصات خاک، بارش و پارامترهای گیاهی در پلات ۱۱ نسبت به پلات ۱۶ و ۲۸ در هر دو رگبار بهاره و پاییزه کاهش قابل توجهی داشته است. برای نمونه درجه حساسیت نسبت به پارامتر درصدی از فصل رشد که LAI شروع به کاهش می‌کند در رگبار بهاره و پاییزه در مورد رواناب در پلات ۱۱ نسبت به پلات ۱۶ به‌ترتیب ۷۹ و ۸۰ درصد و نسبت به پلات ۲۸ به‌ترتیب ۷۱ و ۷۰ درصد کاهش یافته است که علت آن پوشش بالای این پلات می‌باشد. اولویت‌بندی نهایی پارامترهای مدل WEPP برای هر سه پلات در جدول‌های ۳ تا ۵ نشان داده شده است.



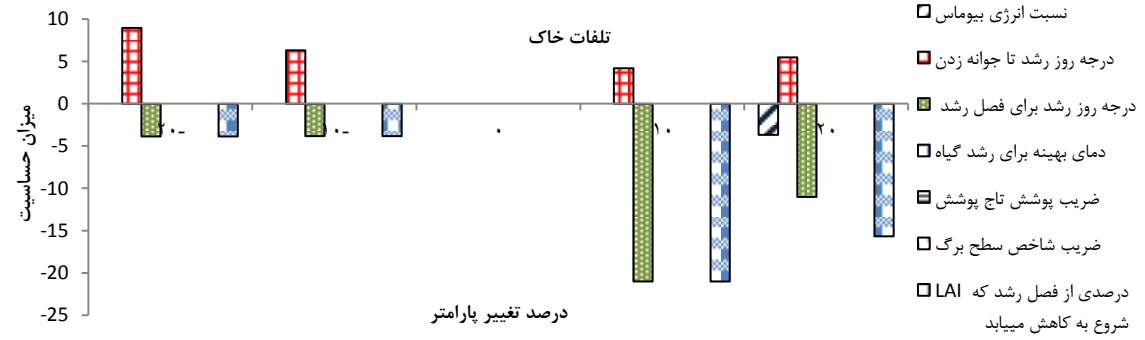
شکل ۲. آنالیز حساسیت فایل گیاه مدل WEPP (رگبار بهاره- پلات ۱۶)

www.SID.ir

Archive of SID

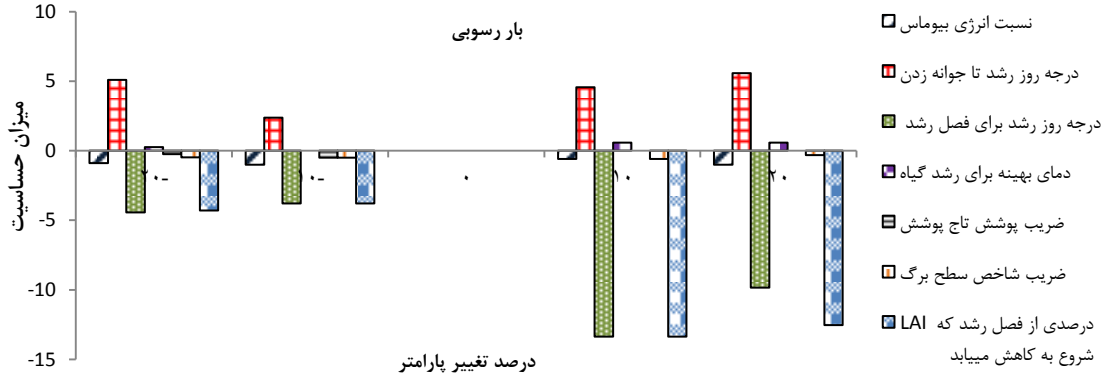


شکل ۳. آنالیز حساسیت فایل گیاه مدل WEPP (رگبار پاییزه- پلات ۱۶)



شکل ۴. آنالیز حساسیت فایل گیاه مدل WEPP (رگبار بهاره- پلات ۱۶)

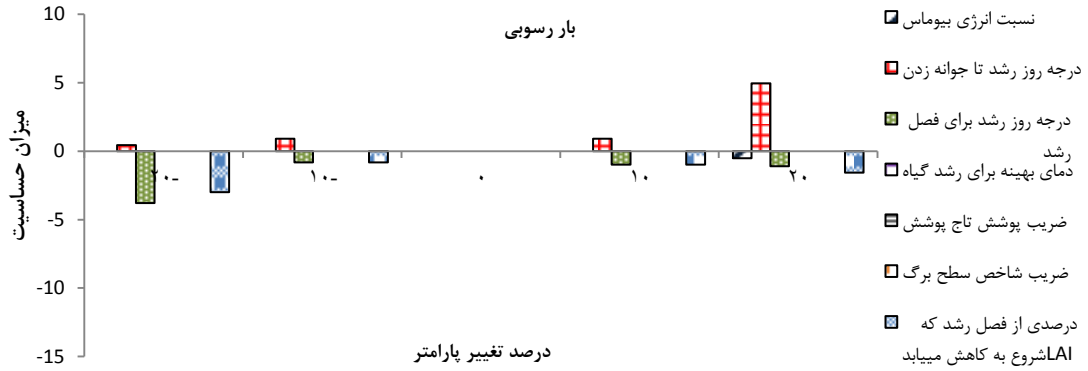
شکل ۵. آنالیز حساسیت فایل گیاه مدل WEPP (رگبار پاییزه- پلات ۱۶)



شکل ۶. آنالیز حساسیت فایل گیاه مدل WEPP (رگبار بهاره- پلات ۱۶)

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۷. آنالیز حساسیت فایل گیاه مدل WEPP (رگبار پاییزه- پلات ۱۶)

همانگونه که در جدول ۳ نیز نشان داده شده است، در پلات ۱۶، میزان حساسیت به پارامترهای گیاهی در رگبار بهاره بیشتر از رگبار پاییزه می‌باشد و در عوض در رگبار پاییزه میزان حساسیت به مشخصات بارش بالاتر از رگبار بهاره است که مشابه نتایج به‌دست آمده برای پلات ۲۸ می‌باشد (جدول ۵). در پلات ۱۱ به علت پوشش گیاهی بالا در فصل رشد و به‌تبع آن پوشش بقایای بالا در فصل خارج از رشد اولویت پارامترهای مربوط به خاک و بارش در هر دو رگبار بالاتر است، اما درجه حساسیت پارامترهای گیاهی در رگبار پاییزه نسبت به رگبار بهاره کاهش یافته است (جدول ۴). علاوه بر اینکه میزان حساسیت پارامترهای گیاهی در رگبار پاییزه کمتر از رگبار بهاره است، در پلات ۱۱ نیز نسبت به پلات‌های ۱۶ و ۲۸ در هر دو رگبار کاهش قابل توجهی داشته‌اند. این امر نشان‌دهنده قابلیت بالای مدل WEPP در شبیه‌سازی فرایندهای مؤثر بر فرایندهای هیدرولوژیکی و فرسایشی است که در واقع نشانه سازگاری مدل با تغییرات زمانی در شرایط طبیعی می‌باشد.

جدول ۳. اولویت‌بندی نهایی پارامترهای مدل WEPP به‌ترتیب حساسیت- روش Sen- پلات ۱۶

رگبار بهاره			رگبار پاییزه		
رواناب	تلفات خاک	رسوب	رواناب	تلفات خاک	رسوب
درصد شن	درصدی از فصل رشد که LAI شروع به کاهش می‌کند	درصد شن	درصد شن	درصد شن	درصد شن
درصد رس	درصد شن	مقدار بارش	مقدار بارش	مقدار بارش	مقدار بارش
درصدی از فصل رشد که LAI شروع به کاهش می‌کند	درجه روز رشد برای فصل رشد	درصدی از فصل رشد که LAI شروع به کاهش می‌کند	درصد رس	شدت بارش	درصد رس
هدایت هیدرولیکی مؤثر	مقدار بارش	درصد رس	شدت بارش	درصد رس	شدت بارش
درجه روز رشد برای فصل رشد	درصد رس	درجه روز رشد برای فصل رشد	هدایت هیدرولیکی مؤثر	هدایت هیدرولیکی مؤثر	هدایت هیدرولیکی مؤثر
شدت بارش	درجه روز رشد تا جوانه زدن	هدایت هیدرولیکی مؤثر	درجه روز رشد برای فصل رشد	درجه روز رشد تا جوانه زدن	درجه روز رشد تا جوانه زدن
مقدار بارش	هدایت هیدرولیکی مؤثر	شدت بارش	درصدی از فصل رشد که LAI شروع به کاهش می‌کند	درجه روز رشد برای فصل رشد	درجه روز رشد برای فصل رشد
درجه روز رشد تا جوانه زدن	شدت بارش	درجه روز رشد تا جوانه زدن	درجه روز رشد تا جوانه زدن	درصدی از فصل رشد که LAI شروع به کاهش می‌کند	درصدی از فصل رشد که LAI شروع به کاهش می‌کند

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۴. اولویت‌بندی پارامترهای مدل WEPP به‌ترتیب حساسیت- روش Sen- پلات ۱۱

رگبار بهاره			رگبار پاییزه		
رواناب	تلفات خاک	رسوب	رواناب	تلفات خاک	رسوب
درصد شن	درصد شن	درصد شن	درصد شن	درصد شن	درصد شن
مقدار بارش	هدایت هیدرولیکی مؤثر	مقدار بارش	مقدار بارش	شدت بارش	شدت بارش
شدت بارش	مقدار بارش	شدت بارش	هدایت هیدرولیکی مؤثر	مقدار بارش	مقدار بارش
هدایت هیدرولیکی مؤثر	شدت بارش	هدایت هیدرولیکی مؤثر	شدت بارش	درصد رس	هدایت هیدرولیکی مؤثر
درصد رس	درصد رس	درجه روز رشد تا جوانه زدن	درصد رس	فرسایش‌پذیری بین شیاری	درصد رس
درجه روز رشد تا جوانه زدن	درجه روز رشد تا جوانه زدن	درصد رس	درجه روز رشد تا جوانه زدن	درجه روز رشد تا جوانه زدن	فرسایش‌پذیری بین شیاری
درجه روز رشد برای فصل رشد	-	درجه روز رشد برای فصل رشد	درجه روز رشد برای فصل رشد	هدایت هیدرولیکی مؤثر	طول شیب
درصدی از فصل رشد که LAI شروع به کاهش می‌کند	-	درصدی از فصل رشد که LAI شروع به کاهش می‌کند	درصدی از فصل رشد که LAI شروع به کاهش می‌کند	درجه روز رشد برای فصل رشد	درجه روز رشد تا جوانه زدن

جدول ۵. اولویت‌بندی پارامترهای مدل WEPP به‌ترتیب حساسیت- روش Sen- پلات ۲۸

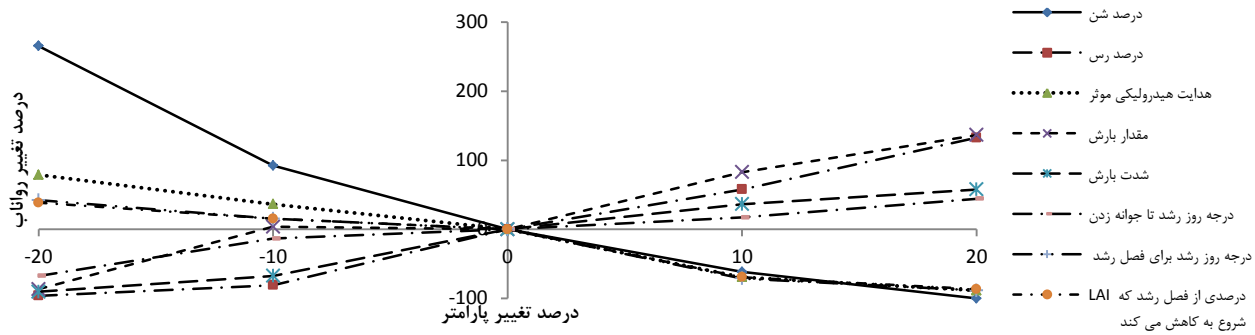
رگبار بهاره			رگبار پاییزه		
رواناب	فرسایش	رسوب	رواناب	فرسایش	رسوب
درصد شن	درصد شن	درصد شن	درصد شن	درصد شن	درصد شن
درصد رس	درصدی از فصل رشد که LAI شروع به کاهش می‌کند	درصدی از فصل رشد که LAI شروع به کاهش می‌کند	درصد رس	درصد رس	درصد رس
مقدار بارش	درجه روز رشد تا جوانه زدن	درجه روز رشد برای فصل رشد	مقدار بارش	مقدار بارش	شدت بارش
درجه روز رشد برای فصل رشد	درجه روز رشد برای فصل رشد	درصد رس	هدایت هیدرولیکی مؤثر	شدت بارش	مقدار بارش
درصدی از فصل رشد که LAI شروع به کاهش می‌کند	مقدار بارش	مقدار بارش	شدت بارش	درصدی از فصل رشد که LAI شروع به کاهش می‌کند	درجه روز رشد تا جوانه زدن
هدایت هیدرولیکی مؤثر	درصد رس	درجه روز رشد تا جوانه زدن	درجه روز رشد برای فصل رشد	درجه روز رشد برای فصل رشد	درصدی از فصل رشد که LAI شروع به کاهش می‌کند
شدت بارش	هدایت هیدرولیکی مؤثر	هدایت هیدرولیکی مؤثر	درصدی از فصل رشد که LAI شروع به کاهش می‌کند	هدایت هیدرولیکی مؤثر	درجه روز رشد برای فصل رشد
درجه روز رشد تا جوانه زدن	شدت بارش	شدت بارش	درجه روز رشد تا جوانه زدن	درجه روز رشد تا جوانه زدن	هدایت هیدرولیکی مؤثر

www.SID.ir

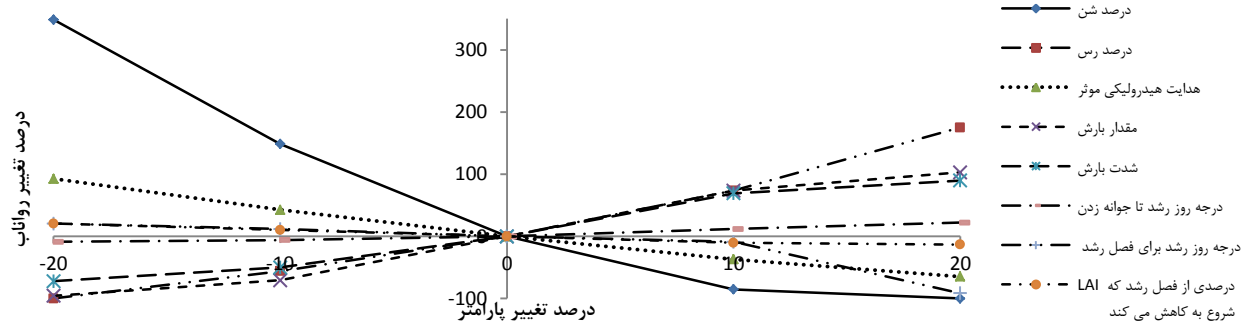
Archive of SID

یکی از دلایل حساسیت کمتر پارامترهای گیاهی در پلات ۱۱ در هر دو رگبار نسبت به پلات‌های ۱۶ و ۲۸، پوشش گیاهی بالا (۷۱ درصد) و به‌تبع آن پوشش بقایای بالاتر پلات ۱۱ نسبت به این پلات‌ها می‌باشد. در واقع در پلات‌های ۱۶ و ۲۸ که درصد پوشش گیاهی آنها پایین می‌باشد (به‌ترتیب ۱۴ و ۱۶ درصد)، تغییرات پوشش گیاهی تأثیر بیشتری روی رواناب، فرسایش و بار رسوبی خواهند گذاشت.

پارامترهای مدل WEPP برای پلات ۱۶ با استفاده از روش گرافیکی نیز اولویت‌بندی شده‌اند (شکل‌های ۸ تا ۱۳). همانگونه که در شکل‌ها نیز دیده می‌شود به‌طور کلی میزان حساسیت به درصد شن در اولویت اول قرار می‌گیرد و در واقع درصد شن حساس‌ترین پارامتر مدل WEPP برای شبیه‌سازی رواناب، فرسایش و رسوب می‌باشد که تغییرات آن می‌تواند نتایج مدل را به طور قابل توجهی تغییر دهد. درصد شن پارامتری با حساسیت منفی می‌باشد، یعنی با افزایش درصد شن تولید رواناب و به‌تبع آن فرسایش و رسوب کاهش می‌یابد. درصد رس رابطه مثبتی با رواناب، فرسایش و رسوب دارد. با افزایش درصد رس از میزان نفوذپذیری کاسته شده و رواناب بیشتری در سطح تولید خواهد شد. با کاهش هدایت هیدرولیکی مؤثر نیز تولید رواناب سطحی بیشتر خواهد شود. در واقع هدایت هیدرولیکی مؤثر رابطه معکوسی با تولید رواناب، فرسایش و بار رسوبی دارد. البته حساسیت مدل WEPP به پارامترهای مرتبط با بافت خاک در مطالعات دیگری نیز تأیید شده است. برای نمونه، [۵] نیز تغییرات عمودی خصوصیات خاک تا عمق ۴۰ سانتیمتری و در این بین بافت خاک را به‌عنوان پارامتر حساس معرفی کردند. [۴] نیز نشان دادند که خروجی‌های رواناب و تلفات خاک مدل WEPP بیشترین حساسیت را نسبت به تغییرات هدایت هیدرولیکی مؤثر و درصد شن دارد.



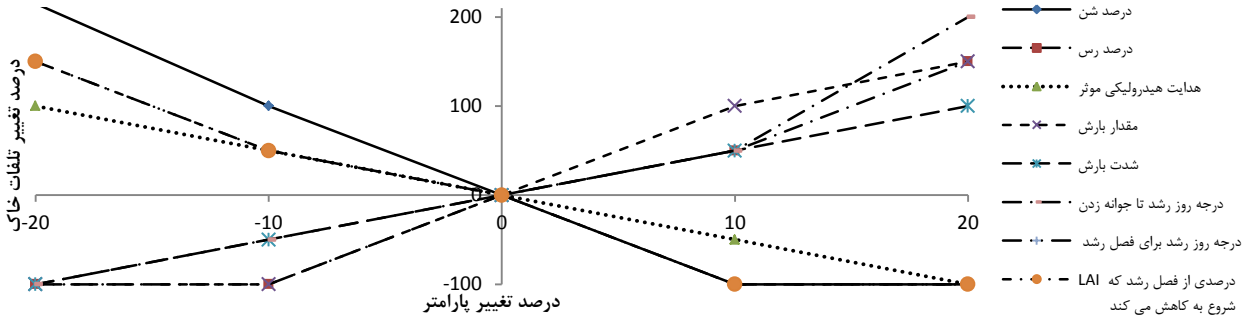
شکل ۸. آنالیز حساسیت مدل WEPP (رگبار بهاره- رواناب- پلات ۱۶)



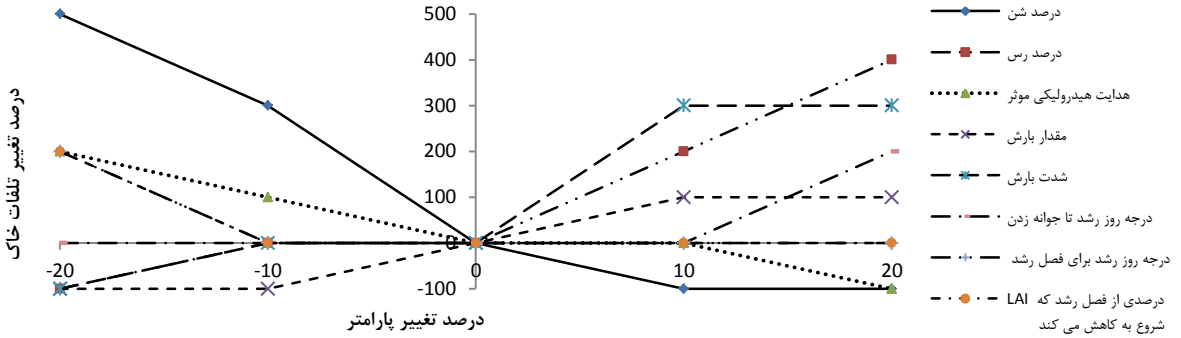
شکل ۹. آنالیز حساسیت مدل WEPP (رگبار پاییزه- رواناب- پلات ۱۶)

www.SID.ir

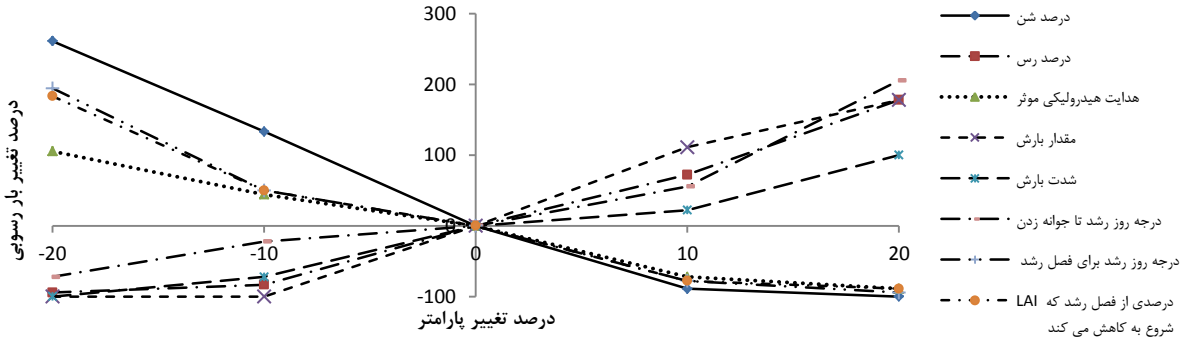
Archive of SID



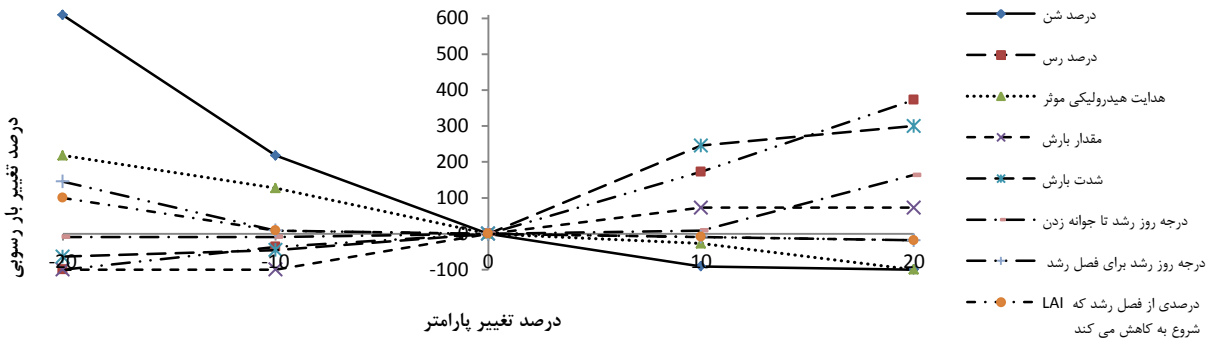
شکل ۱۰. آنالیز حساسیت مدل WEPP (رگبار بهاره- تلفات خاک- پلات ۱۶)



شکل ۱۱. آنالیز حساسیت مدل WEPP (رگبار پاییزه- تلفات خاک- پلات ۱۶)



شکل ۱۲. آنالیز حساسیت مدل WEPP (رگبار بهاره- بار رسوبی- پلات ۱۶)



شکل ۱۳. آنالیز حساسیت مدل WEPP (رگبار پاییزه- بار رسوبی- پلات ۱۶)

www.SID.ir

Archive of SID

علاوه بر بافت خاک و هدایت هیدرولیکی مؤثر، مشخصات بارش (مقدار و شدت بارش) نیز از پارامترهای حساس مدل WEPP هم در رگبار بهاره و هم در رگبار پاییزه می‌باشند که این حساسیت به مشخصات بارش نیز در مطالعات دیگری اثبات شده است. برای نمونه، [۱۹] نشان دادند که بارش از جمله پارامترهای حساس مدل WEPP می‌باشد. [۲۵] نیز نشان دادند که مدل به مشخصات تعریف شده برای واقعه رگبار (مقدار، مدت و زمان تا پیک و شدت) و به هدایت هیدرولیکی اشباع، حساسیت بالایی دارد.

همانگونه که در شکل‌های ۸ تا ۱۳ نیز دیده می‌شود، بیشتر پارامترهای گیاهی رابطه معکوسی با تولید رواناب، فرسایش و بار رسوبی دارند. در این بین تنها رابطه درجه روز رشد تا جوانه زدن مثبت است (درجه حساسیت ۲/۴۰، ۶/۲۶ و ۴/۴۰ در رگبار بهاره و ۰/۸۱، ۱/۳۷ و ۱/۸۰ در رگبار پاییزه به‌ترتیب برای رواناب، فرسایش و رسوب). زیرا با کاهش این پارامتر دوره رشد کاهش می‌یابد. اما افزایش پارامتری مانند درجه روز رشد باعث افزایش دوره رشد گیاه می‌شود که سبب ماندگاری بیشتر گیاه در محیط می‌شود.

۴. بحث و نتیجه‌گیری

به‌طور کلی، نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که حساسیت مدل به پارامترهای ورودی و اولویت‌بندی پارامترها بر حسب زمان تغییر می‌کند که نشان‌دهنده توانایی مدل WEPP برای شبیه سازی عوامل مؤثر بر فرایندهای فرسایشی در طول سال و در واقع سازگاری با تغییرات زمانی در شرایط طبیعی می‌باشد. علاوه بر این، نتایج نشان می‌دهد که درصد شن حساس‌ترین پارامتر مدل WEPP می‌باشد. پس از درصد شن پارامترهایی مانند درصد رس، هدایت هیدرولیکی مؤثر، مقدار بارش، شدت بارش، درصدی از فصل رشد که شاخص سطح برگ کاهش می‌یابد، درجه روز رشد برای جوانه زدن و درجه روز رشد برای فصل رشد نیز جزو پارامترهای حساس مدل WEPP می‌باشند. از این‌رو پیشنهاد می‌شود که برای اجرای مدل WEPP پارامترهای حساس با دقت بیشتری برداشت شوند و درصورت امکان حد کفایت نمونه برای این پارامترها و به‌ویژه برای بافت خاک رعایت شود. بیشترین تغییرات در اولویت‌بندی پارامترها در فایل گیاه/ مدیریت، دیده می‌شود. دلیل این مورد تغییرات زمانی پارامترهای گیاهی در طول سال می‌باشد که با در نظر گرفتن دوره رشد به مدل معرفی می‌شوند. پارامترهای مشخص کننده دوره رشد گیاه حساس‌ترین پارامترهای مرتبط با گیاه بوده‌اند که با توجه به دوره رشد کوتاه در منطقه مطالعاتی (حدود دو ماه) نسبت به سایر پارامترهای گیاهی تأثیر بیشتری بر نتایج مدل داشته‌اند. از این‌رو درجه حساسیت پارامترهای مرتبط با گیاه در بیشتر موارد در رگبار پاییزه نسبت به رگبار بهاره، کاهش قابل توجهی داشته است. علاوه بر این، میزان حساسیت به این پارامترها در پلات‌هایی با درصد پوشش گیاهی بالا نسبت به پلات‌هایی با درصد پوشش گیاهی کم نیز کاهش قابل توجهی داشته است. در واقع پوشش گیاهی تا رسیدن به حد آستانه بیشترین تأثیر را روی حفاظت خاک دارد و بعد از این حد آستانه تغییرات آن تأثیر قابل توجهی در حفاظت خاک نخواهد داشت.

با توجه به تعداد زیاد پارامترهای ورودی مورد نیاز مدل WEPP و محدودیت داده در کشور ایران، تمرکز بر روی برداشت پارامترهایی که بیشترین تأثیر را روی نتایج خروجی مدل WEPP دارند باعث افزایش دقت نتایج خواهد شد و از صرف زمان و هزینه اضافی برای کسب داده‌هایی که تأثیر زیادی روی نتایج مدل ندارند جلوگیری خواهد کرد. در واقع برای داده‌هایی با حساسیت کم می‌توان با اعتماد خوبی از داده‌های پیش‌فرض مدل‌ها استفاده کرد. علاوه بر این، در اجرای مدل‌های تک رخدادی کاربر باید با توجه به زمان وقوع رگبار، پارامترهای حساس را شناسایی و نسبت به برداشت آنها اقدام کند. نتایج این آنالیز حساسیت علاوه بر کمک به واسنجی مدل، راهنمایی برای جمع‌آوری بهتر

www.SID.ir

Archive of SID

داده در مطالعات بعدی و در مناطقی مشابه خواهد بود.

سپاسگزاری

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند تا از کارکنان مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی به‌علت در اختیار گذاشتن امکانات لازم برای بازدید میدانی و در اختیار نهادن داده‌های لازم، نهایت تشکر و قدردانی را داشته باشند.

www.SID.ir

Archive of SID

Reference

[1] Albaradeyia, I., Azzedine, H. and Shahrour, I. (2011). WEPP and ANN models for simulating soil loss and runoff in a semi-arid Mediterranean region. *Journal of Environ. Monit. Assess*., 180, 537–556.

[2] Amore, E., Modica, C., Nearing, M.A. and Santoro, V.C. (2004). Scale effect in USLE and WEPP application for soil erosion computation from three Sicilian basins. *Journal of Hydrology*, 293(1-4), 100-114.

[3] Asadi, H., Roohipoor, H., Refahi, H.G. and Ghadiri, H. (2007). Assessing of WEPP model for estimating of interrill erosion in the laboratory condition. *Journal of Agricalture Sciencs of IRAN*, 38(4), 552- 563.

[4] Ascough II, J.C., Flanagan, D.C., Nearing, M.A. and Engel, B.A. (2013). Sensitivity and first-order/Monte Carlo uncertainty analysis of the WEPP hillslope erosion model. *Transactions of the ASABE*, 56(2), 437-452.

[5] Brunner, A.C., Park, S.J., Ruecker, G.R., Dikau, R. and Vlek, L.G. (2004). Catenary soil development influencing erosion susceptibility along a hillslope in Uganda. *Catena*, 58(1), 1-22.

[6] Defersha, M.B., Melesse, A.M. and McClain, M.E. (2012). Watershed scale application of WEPP and EROSION 3D models for assessment of potential sediment source areas and runoff flux in the Mara River Basin, Kenya. *Catena*, 95, 63-72.

[7] Dun, S., Wu, J.Q., Elliot, W.J., Robichaud, P.R., Flanagan, D.C., Frankenberger, J.R., Brown, R.E. and Xu, A.C. (2009). Adapting the Water Erosion Prediction Project (WEPP) model for forest applications. *Journal of Hydrology*, 366(1-4), 46–54.

[8] Flanagan, D.C. and Livingston, S.J. (1995). USDA-Water Erosion Prediction Project: WEPP User Summary. *NSERL Report* 11, USDA-ARS National Soil Erosion Research Laboratory, West Lafayette, IN.

[9] Flanagan, D.C. and Nearing, M.A. (1995). USDA-Water Erosion Prediction Project: Hillslope profile and watershed model documentation. West Lafayette: *NSERL Report* 10.

[10] Felegari, M. (2011). Investigation of efficiency RHEM model in water erosion (case study: sangane watershed-khorasan razavy). *Tesis of master student, Yazd University*, 96.

[11] Fu, B., Wang, Y., Xu, P. and Yan, K. (2012). Assessment of the performance of WEPP in Purple Soil area with simulated rainfall experiments. *Journal of Mountain Science*, 9, 570-579.

[12] Golkariyan, A. (2005). Estimating water erosion and sediment using WEPP model (Case study: Bar- Erieh Watershed, Neyshabur). *Thesis of Master Student*, University of Theran, 287.

[13] Grønsten, H.A. and Lundekvam, H. (2006). Prediction of surface runoff and soil loss in southeastern Norway using the WEPP Hillslope model. *Journal of Soil and Tillage Research*, 85(1-2), 186–199.

[14] Jinjun, Z. and Chao, H. (2012). Modeling sediment yields in a small gully of the Sichuan Hilly Basin using Geowepp model. *National Conference on Information Technology and Computer Science (CITCS)*.

[15] Kelarestaghi, A., Ahmadi, H., Jafari, M., Jafariyan Jolodar, Z., Ghodosi, J. and Golkariyan, A. (2009). Assessing of WEPP Hillslope model in the predicting runoff and sediment from rangeland plot. *Journal of Rangeland*, 3(2), 317- 332.

[16] Kousari, M.R. (2008). Assessing of WEPP model in the estimating of sediment and water erosion (Case study: Timarjan Watershed, Eghlid, Fars). *Thesis of Master Student*, Yazd University, 287.

[17] Merritt, W.S., Letcher, R.A. and Jakeman, A.J. (2003). A review of erosion and sediment transport models. *Journal of Environmental Modeling & Software*, 18, 761-799.

[18] Nearing, M.A., Foster, G.R., Lanem, L.J. and Finkner, S.C. (1989). A process-based soil erosion model for USDA-Water Erosion Prediction Project Technology. *Transactions of the ASAE*, 32(5), 1587-1593.

[19] Nearing, M.A., Deer-Ascough, L. and Laflen, J.M. (1990). Sensitivity analysis of WEEP Hillslope profile erosion model. *Transactions of ASAE*, 33(3), 839- 849.

[20] Pandey, A., Chowdary, V.M., Mal, B.C. and Billib, M. (2008). Runoff and sediment yield modeling from a small agricultural watershed in India using the WEPP model. *Journal of Hydrology*, 348(3-4), 305- 319.

www.SID.ir

Archive of SID

[21] Pieri, L., Bittelli, M., Wu, J.Q., Dun, S., Flanagan, D.C., Pisa, P.R., Ventura, F. and Salvatorelli, F. (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(1-2), 84- 97.

[22] Raclot, D. and Albergel, J. (2006). Runoff and water erosion modelling using WEPP on a mediterranean cultivated catchment. *Journal of Physics and Chemistry of the Earth, Parta A/B/C*, 31(17), 1038–1047.

[23] Rangavar, A.S. (2004). Final report project, research in important elements in soil erosion in Khorasan rangelands. *Research Center for Agriculture and Natural Resources of Razavi Khorasan*. 92.

[24] Singh, R.K., Panda, R.K., Satapathy, K.K. and Ngachan, S.V. (2012). Runoff and sediment yield modelling for a Treated hilly watershed in eastern Himalaya using the Water Erosion Prediction Project Model. *Journal of Water Resource Management*, 26, 643-665.

[25] Tiscareno-Lopez, M., Lopes, V.L., Stone, J.J. and Lane, L.J. (1993). Sensitivity analysis of the WEPP watershed model for rangeland applications. I. Hillslope processes. *Transactions of the ASAE*, 36(6), 1659-1672.

[26] Tiwari, A.K., Risse, L.M. and Nearing, M.A. (2000). Evaluation of WEPP and its comparison with USLE and RUSLE. *Transactions of the ASAE*, 43(5), 1129-1135.

[27] Verma, A.K., Jha, M.K. and Mahana, R.K. (2010). Evaluation of HEC-HMS and WEPP for simulating watershed runoff using remote sensing and geographical information system. *Journal of Paddy Water Environ*, 8, 131–144.

[28] Zeleke, G. (2001). Application and adaptation of WEPP to the traditional farming systems of the Ethiopian highlands (with special emphasis on the new Breakpoint Climate Data Generator, BPCDG). Sustaining the global farm. *Selected papers from the 10th international Soil Conservation Organization Meeting held May 24-29*, 1999 at Purdue University and USDA-ARS National Soil Erosion Research Laboratory, 903-912.

[29] Zeleke, G., Winter, T. and Flanagan, D.C. (1999). *BPCDG: Breakpoint Climate Data Generator for WEPP Using observed standard weather data sets*. <http:// topsoil.nserl.purdue.edu/nserlweb/weppmain/BPCDG.html> (12/02/2013).

[30] Zhang, X.C., Nearing, M.A., Risse, L.M. and McGregor, K.V. (1996). Evaluation of WEPP runoff and soil loss predictions using natural runoff plot data. *Transactions of the ASAE*, 39(3), 855-863.

www.SID.ir