



مقایسه کارایی مدل فرسایش دامنه‌ای (HEM) در اراضی کشت دیم و آیش

(مطالعه موردی ایستگاه تحقیقات کشاورزی خسیبجان اراک)

سمیه فضلی^{۱*}، حمزه نور^۲ و ذکریا اسدالهی^۲

^۱ دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اراک، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، اراک، ایران

^۲ گروه مهندسی آبخیزداری دانشگاه تربیت مدرس

تاریخچه مقاله:

چکیده

دریافت: ۹۳/۱۱/۲۷

اصلاح: ۹۴/۰۷/۲۵

پذیرش: ۹۴/۰۸/۲۰

فرسایش خاک و تولید رسوب در سطح حوزه‌های آبخیز از جمله مشکلات موجود در زمینه بهره‌برداری از منابع طبیعی بوده و هم‌چنین از مهمترین معضلات زیست محیطی کنونی جهان به‌شمار می‌آید. بنابراین تخمین میزان فرسایش خاک و تولید رسوب دارای اهمیت فراوانی می‌باشد. این امر در مناطق نیمه خشک به دلیل تعداد کم رگبارها و در عین حال شدت بالای آن‌ها ضرورت بیش‌تر دارد. در این راستا ارزیابی فرسایش خاک با استفاده از مدل‌های موجود به‌عنوان یکی از ابزارهای مهم مدیریتی و تبیین شیوه‌های صحیح حفاظت منابع آب و خاک ضروری است. با این حال در بسیاری از موارد مدل‌های هیدرولوژی بدون واسنجی در شرایط مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرند. این پژوهش با هدف ارزیابی کارایی مدل فرسایش دامنه‌ای (HEM) در دو کاربری موجود در مناطق نیمه خشک شامل اراضی دیم و اراضی شخم‌خورده در ایستگاه تحقیقات منابع طبیعی خسیبجان طرح ریزی شده است. به‌منظور اجرای مدل کلیه اطلاعات ورودی مورد نیاز آن شامل عمق روان‌آب، درصد پوشش زمینی، بافت خاک، طول و تندی شیب برای ۱۶ رگبار تعیین شد. در مرحله واسنجی و اعتبارسنجی به‌ترتیب از ۷۵ و ۲۵ درصد داده‌ها استفاده شد. با این حال توانایی مدل مذکور در کاربری‌های دیم‌زار و اراضی شخم‌خورده با واسنجی عامل فرسایش‌پذیری با ضریب تبیین به‌ترتیب ۰/۶۱ و ۰/۷۸ و خطای تخمین به‌ترتیب ۳۸ و ۲۵ درصد قابل قبول و خوب ارزیابی شد. هم‌چنین نتایج به‌روشنی نشان‌دهنده دقت بیش‌تر مدل فرسایش دامنه‌ای در اراضی شخم‌خورده می‌باشد.

واژگان کلیدی:

فرسایش دامنه‌ای

کاربری اراضی

مدل فرسایش خاک

واسنجی مدل

مقدمه

فرسایش خاک از مهم‌ترین معضلات زیست‌محیطی، کشاورزی و تولید غذا در جهان است که تأثیرات مخربی بر زیست‌بوم‌های طبیعی و تحت مدیریت انسان دارد. هر چند فرسایش خاک در طول تاریخ وجود داشته، ولی در سال‌های اخیر به دلیل کاربری

نامناسب اراضی شدت یافته است. این امر در کشورهای در حال توسعه بسیار مهم‌تر می‌باشد، زیرا در این کشورها فرسایش خاک خطر جدی برای توسعه پایدار به حساب می‌آید (حسینی و قربانی، ۱۳۸۴؛ نور و همکاران، ۱۳۸۹). این پدیده نتیجه فرآیندهای پیچیده‌ای است که دربرگیرنده تعداد زیادی از متغیرها مانند بارش، خاک، توپوگرافی، پوشش گیاهی و عملیات مدیریتی می‌باشد (Fazli and Noor, 2013). رسوب حاصل از فرسایش خاک حجم مفید مخازن را کاهش می‌دهد و از قابلیت استفاده از آن برای نیروگاه‌های برق، آبیاری، کاربردهای صنعتی و خانگی، شرب، کشاورزی و پرورش آبزیان می‌کاهد (Kothyari et al, 2008; Lee and Singh, 2005; Singh et al, 2008). نوع بهره‌برداری از اراضی عامل بسیار مهمی در فرسایش و تولید رسوب حوزه‌های آبخیز به شمار می‌رود. از این رو پیش نیاز هرگونه برنامه‌ریزی به‌منظور مدیریت اراضی، آگاهی از اثرات کاربری اراضی فعلی و آینده بر منابع آب و خاک می‌باشد. از سوی دیگر اهمیت برآورد فرسایش در سطح دامنه، به عنوان نقطه آغازین فرسایش در حوزه‌های آبخیز، از جایگاه خاصی برخوردار است (گلکاریان و همکاران، ۱۳۹۲؛ Cogle et al, 2003; Noor, 2013). از این رو لازم است اطلاعات مناسبی از مقدار تولید رسوب در مقیاس رگبار در اختیار باشد. تخمین دقیق رسوب تولیدی در هر رگبار مستلزم داشتن تعداد کافی نمونه در هر واقعه است (Das, 2000). با توجه به این‌که محاسبه مقادیر رسوب از طریق ایستگاه‌های رسوب سنجی و اندازه‌گیری‌های مستقیم فرسایش بر روی دامنه فرایندی هزینه‌بر و مشکل است، بنابراین اطلاعات دقیقی در مورد رسوب‌دهی حوزه‌های آبخیز کشور طی رگبارها وجود ندارد و مدیریت حوزه‌های آبخیز و طراحی اغلب سازه‌های حفاظت آب و خاک با دقت کافی انجام نمی‌شود. لذا ضرورت دارد مطالعات در زمینه برآورد رسوب‌دهی در حوزه‌های آبخیز تمرکز یابد (نور و همکاران، ۱۳۹۱؛ گلکاریان و همکاران، ۱۳۹۲).

در دهه ۱۹۷۰ فوستر^۱ توانایی مدل‌ها در تشریح متغیرهای مکانی فرسایش در سطح دامنه و تفکیک فرسایش شیاری و بین شیاری را به اثبات رساند (Cogle et al, 2003). شرلی و لین^۲ (۱۹۷۸) از انطباق جریان بالا دست با معادله موج سینماتیک و رابطه آن با فرسایش شیاری و بین شیاری برای تهیه مدل فرسایش و رسوب استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که رسوب به‌دست آمده با تغییر پارامتر ضریب حمل رسوب و ضریب فرسایش بین شیاری رابطه خطی و با تغییر ضریب عمق-دبی رابطه غیر خطی دارد. در سال ۱۹۹۸ مدل WEPP پایه‌گذاری شد، در این مدل تلفات خاک در طول شیب و تولید رسوب را در انتهای شیب یک دامنه محاسبه می‌کند. مدل فرسایش دامنه‌ای HEM توزیعی و در مقیاس رگبار می‌باشد این مدل بر اساس رابطه ریاضی میان مقدار رسوب، روان‌آب، خصوصیات دامنه و عامل فرسایش‌پذیری خاک عمل می‌کند (Lane et al, 1995a). به‌منظور برآورد فرسایش و رسوب در مقیاس دامنه مدل RHEM توسط نرینگ^۳ و همکاران (۲۰۱۱) ارائه شد. از سوی دیگر ارزیابی و کاربرد مدل‌های موجود در زمینه برآورد فرسایش و تولید رسوب در مقیاس دامنه کاربرد وسیعی داشته است (گلکاریان و همکاران، ۱۳۹۲؛ Liu and Lee, 2008؛ Merritt et al, 2003).

باید توجه داشت که با وجود مطالعات زیاد در زمینه مدل‌سازی فرسایش و رسوب، هنوز انتخاب مدل مورد قبول جهانی برای فرسایش و رسوب‌دهی به‌سادگی صورت نمی‌گیرد (Kothyari et al, 2002). به‌گونه‌ای که اغلب مدل‌ها در شرایط خاص ایجاد شده‌اند و کاربرد آن‌ها در مناطق دیگر بدون واسنجی باعث ایجاد خطای بالا در میزان رسوب برآوردی می‌گردد، هم‌چنین ممکن است یک مدل با مفهوم‌سازی صحیح فرآیند فرسایش و رسوب به‌دلیل در دسترس نبودن اطلاعات ورودی در بسیاری از مناطق

¹ Foster

² Shirley and Lane

³ Nearing

کاربردی نداشته باشد (Merritt et al, 2003). از این رو واسنجی مدل‌های برآورد فرسایش و رسوب موجود با ورودی‌های زود یافت، منجر به ارزیابی‌های بهتر بار رسوبی و در نتیجه دقت بیش‌تر در طراحی سازه‌های هیدرولیکی و حفاظت خاک و آب می‌گردد.

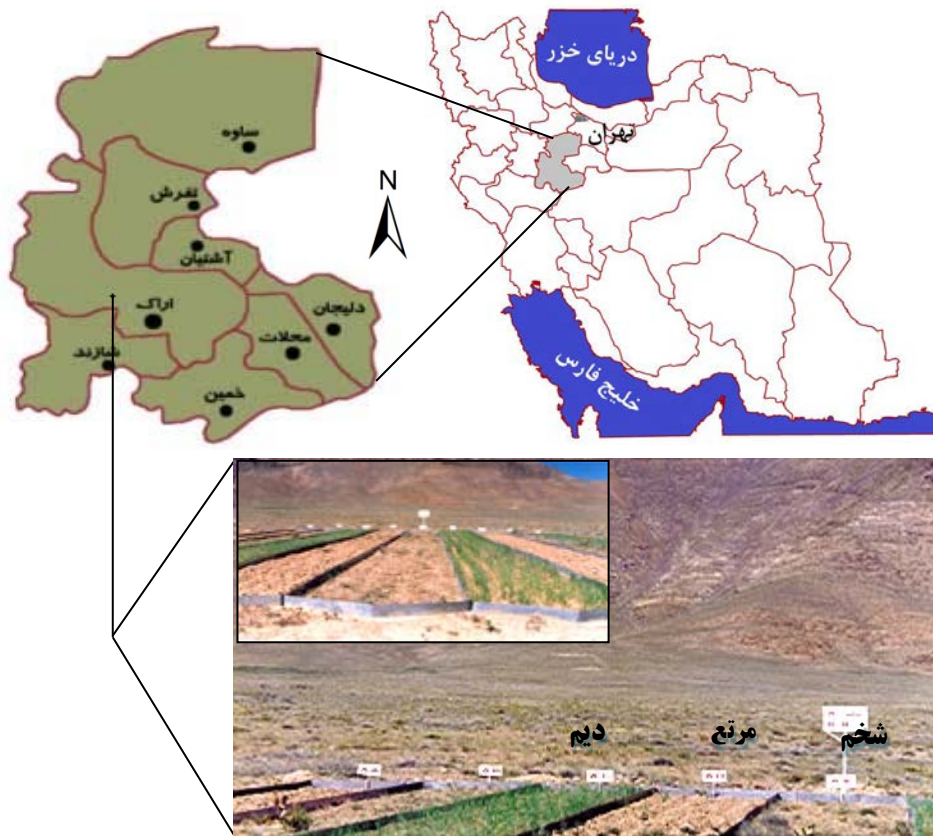
باید توجه داشت که تخمین تولید رسوب در مقیاس رگبار به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک به دلیل تعداد کم و در عین حال شدت زیاد رگبارها بسیار حائز اهمیت بوده و بعضاً استفاده از مدل نامناسب، تخمین بسیار بالا و یا پایین را به دنبال خواهد داشت. به‌طور کلی به‌منظور بررسی کارایی مدل‌های فرسایش و رسوب در بیش‌تر مناطق از پلات‌های استاندارد واقع در یک کاربری اراضی استفاده و نتایج حاصله به کل منطقه تعمیم داده می‌شود. حال آن‌که کارایی این مدل‌ها در کاربری‌های مختلف ممکن است نتایج متفاوتی در برداشته باشد و کاربرد آن را محدود کند به‌گونه‌ای که کارایی مدل‌های فرسایش و رسوب در کاربری‌های اراضی مختلف یکسان نمی‌باشد و لازم است دقت این مدل‌ها در شرایط مختلف آبخیز مورد ارزیابی قرار گیرد. از این رو پژوهش حاضر با در نظر گرفتن کاربرد محدود و موفق مدل فرسایش دامنه‌ای (HEM)، تعداد کم و در دسترس بودن داده‌های ورودی در ایران، اقدام به ارزیابی مدل مذکور در برآورد رسوب دو کاربری مهم تحت مدیریت انسان در مناطق نیمه خشک شامل دیم‌زار و اراضی شخم خورده (دیم‌زار رها شده) نموده است.

مواد و روش

منطقه مورد مطالعه

پژوهش حاضر در ایستگاه تحقیقات منابع طبیعی خسیبجان واقع در ۶۰ کیلومتری شهرستان اراک در طول شرقی ۴۹ درجه و ۲۲ دقیقه تا ۴۹ درجه و ۲۴ دقیقه و عرض شمالی ۳۴ درجه و ۸ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۱۰ دقیقه و به دلیل وجود داده‌های بارش، روان‌آب و رسوب در مقیاس رگبار اجرا شده است. ارتفاع آن از سطح دریا ۱۸۵۰ متر و در دامنه شمالی، بارش سالانه ۳۲۱ میلی‌متر، متوسط درجه حرارت ۱۳/۲ درجه سانتی‌گراد، تبخیر و تعرق ۱۵۸۸ میلی‌متر و اقلیم منطقه طبق روش آمبرژه، خشک و سرد می‌باشد (آقارزی، ۱۳۸۴). موقعیت کلی منطقه در شکل ۱ نشان داده شده است.

تیپ گیاهی غالب منطقه مورد بررسی *Astragalus hultemia* بوده که در حدود ۵۰ درصد از سطح ایستگاه و عمدتاً اراضی دشتی و دامنه‌ای را پوشانده است. در پلات‌های تیمار کشت دیم مطابق با دوره کشت منطقه، اقدام به کشت گندم گردید. هم‌چنین در تیمار اراضی شخم خورده اقدام به شخم اراضی در امتداد شیب در هر سال زراعی و مطابق با شرایط موجود در منطقه شد. به‌منظور اندازه‌گیری فرسایش خاک، در این منطقه از سه پلات فرسایشی به طول ۲۲/۱۷ و عرض ۱/۸۳ (Bennett, 2001; Morgan, 2009) در هر کاربری استفاده شد. اطراف کرت‌ها با ورق‌های گالوانیزه محصور گردید. ۱۵ سانتی‌متر از ورق‌ها در زمین فرورفته و ۱۵ سانتی‌متر به‌عنوان دیوار بود. در انتهای هر پلات لوله خروجی روان‌آب تعبیه گردید که به ظروف مدرج جمع‌آوری کننده روان‌آب و رسوب هدایت می‌شد (آقارزی، ۱۳۸۴).



شکل ۱: موقعیت کلی منطقه مورد مطالعه و شمای کلی پلات‌های آزمایشی

مدل HEM

مدل فرسایش دامنه‌ای (HEM) مدلی توزیعی و در مقیاس رگبار می‌باشد که توسط لین^۱ و همکاران (۲۰۰۱) در مرکز تحقیقات حوزه آبخیز توسعه کشاورزی ایالات متحده آمریکا و در مراتع خشک و نیمه‌خشک آمریکا تهیه و ارائه شده است. مدل بر اساس رابطه ریاضی میان مقدار رسوب، روان‌آب، خصوصیات دامنه و عامل فرسایش‌پذیری خاک عمل می‌کند. این مدل مقدار فرسایش و تولید رسوب در سطح یک دامنه و در مقیاس رگبار را تخمین می‌زند. مدل بر پایه حل معادلات موج سینماتیک برای معادلات پیوسته جریان سطحی و روان‌آب در نیم‌رخ دامنه برای یک واقع روان‌آب استوار است. HEM فرسایش شیاری، بین شیاری، فرآیندهای حمل و رسوب‌گذاری را ارزیابی می‌نماید. این مدل در پایگاه <http://eisnr.tucson.ars.ag.gov/hillslope> قابل دسترس بوده و اطلاعات ورودی آن شامل حجم روان‌آب در واحد سطح بر حسب میلی‌متر، بافت خاک، ویژگی‌های دامنه شامل شیب دامنه بر حسب درصد، طول شیب بر حسب متر، درصد پوشش گیاهی و درصد پوشش زمینی می‌باشد. در HEM معادلات پیوسته روان‌آب و رسوب به‌منظور تخمین مقدار رسوب برای هر واقعه روان‌آب ترکیب می‌شود. روان‌آب به‌وسیله معادلات موج سینماتیک برای جریان‌های سطحی در واحد عرض نمایش داده می‌شود (معادله‌های ۱ و ۲):

$$\frac{\partial(h)}{\partial(t)} + \frac{\partial(q)}{\partial(x)} = r \quad (1)$$

¹ Lane

² USDA ARS

$$q = kh^m \quad (۲)$$

در این معادلات h عمق جریان بر حسب متر، t زمان بر حسب ثانیه، q دبی بر حسب متر مربع بر ثانیه در واحد عرض، x فاصله از رأس دامنه بر حسب متر، r بارش مازاد بر حسب متر مربع بر ثانیه، k ضریب دبی - عمق و m برابر $1/5$ می‌باشد (Lane et al, 1995a) زمانی که:

$$k = c\sqrt{s} \quad (۳)$$

که در این رابطه c ضریب مقاومت هیدرولیکی شزی برای جریان گل‌آلود و s شیب بدون بعد سطح زمین می‌باشد (Lane et al, 1995a).

معادله پیوسته رسوب برای جریان سطحی با در اختیار داشتن c غلظت رسوب بر حسب کیلوگرم بر مترمکعب، E_i میزان فرسایش بین شیبی در واحد سطح در واحد زمان بر حسب کیلوگرم بر متر مربع بر ثانیه و E_r میزان رسوب‌گذاری یا فرسایش شیبی خالص بر حسب کیلوگرم بر متر مربع بر ثانیه و به صورت معادله (۴) می‌باشد:

$$\frac{\partial(ch)}{\partial(t)} + \frac{\partial(cq)}{\partial(x)} = E_i + E_r \quad (۴)$$

به منظور ساده کردن معادله برای E_i و E_r رابطه‌های (۵) و (۶) جای‌گزین می‌شود (Lane et al, 1995b).

$$E_i = k_i r \quad (۵)$$

$$E_r = k_r (T_c - C_q) = k_r \left[\left(\frac{B}{K} \right) q - C_q \right] \quad (۶)$$

k_i ضریب فرسایش بین‌شیب بر حسب کیلوگرم بر مترمکعب، Kr ضریب فرسایش شیبی در واحد طول، T_c ظرفیت حمل بر حسب کیلوگرم بر ثانیه بر متر و B ضریب ظرفیت حمل بر حسب کیلوگرم بر ثانیه بر متر به توان $2/5$ می‌باشد (Lane et al, 1995a).

حل معادله پیوسته رسوب برای میزان بارش مازاد ثابت از طریق انتگرال‌گیری نسبت به زمان (Shirely and Lane, 1978) سبب پدید آمدن معادله میزان رسوب برای یک واقعه روان‌آب به شکل رابطه (۷) می‌گردد.

$$Q_s(x) = QC_b = Q \left\{ \frac{B}{K} + \left(K_i - \frac{B}{K} \right) [1 - \exp(-k_r x)] / k_r \right\} \quad (۷)$$

در این رابطه Q_s کل میزان بار رسوب برای یک روان‌آب در واحد عرض بر حسب کیلوگرم بر متر، Q حجم روان‌آب در واحد عرض بر حسب مترمکعب بر متر، C_b میانگین غلظت رسوب در هیدروگراف کل بر حسب کیلوگرم بر مترمکعب و x فاصله در جهت جریان روان‌آب بر حسب متر می‌باشد. ضرایب مربوط به حمل رسوب (B)، عمق-دبی (K)، فرسایش شیبی (Kr) و فرسایش بین شیبی (K_i) با استفاده از متغیرهای تاج پوشش، طول شیب، پوشش گیاهی و شیب، بر اساس معادلات حاکم بر محاسبه فرسایش شیبی و بین شیبی و به‌طور خودکار توسط مدل محاسبه می‌شود. معادله ۷ برای محاسبه مقدار رسوب برآوردی یک سطح یک‌نواخت دامنه ارائه شده که برای شیب‌های نامنظم (ویژگی‌های متفاوت) بسط داده شده است. حجم

روان آب در واحد سطح و فاکتور فرسایش پذیری خاک ورودی‌های اصلی مدل مذکور بوده و بقیه پارامترها ورودی مورد نیاز برای هر قطعه از دامنه می‌باشند (Lane et al, 1995a, Willson et al, 2001, Cogle et al, 2003, Sadeghi et al, 2008). (Fazli and Noor, 2013; ۲۰۰۸).

روش

به منظور انجام پژوهش حاضر تعداد ۱۶ واقعه بارش به همراه روان آب و رسوب حاصل از آن‌ها طی سال‌های ۱۳۷۴-۱۳۷۷ جمع‌آوری گردید. پس از هر رگبار نمونه‌های رسوب جمع‌آوری شده از کاغذ صافی عبور داده شد. کاغذ و رسوب حاصل سپس در داخل آون با دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد و به مدت یک روز خشک گردید. در نهایت وزن رسوب با ترازوی دقیق تعیین و مقادیر به دست آمده در مقیاس سطح استفاده شدند. مقادیر به دست آمده فرسایش با توجه به مساحت کوچک کرت‌ها برابر با رسوب فرض شده (Bennett, 2001; Fazli and Noor, 2013) و برای ارزیابی کارایی مدل، مقایسه این مقادیر با مقادیر رسوب تخمینی مدل در هر رگبار انجام پذیرفت. از این تعداد، ۱۲ رگبار جهت ارزیابی و واسنجی مدل استفاده گردید و ۴ رگبار برای اعتبارسنجی مدل کنار گذاشته شد. در ابتدا بر اساس مقدار پیشنهادی مدل برای عامل فرسایش پذیری خاک و مقادیر درصد پوشش زمینی، درصد پوشش تاجی، طول و تندی شیب مدل اجرا گردید. به منظور واسنجی مدل، نظر به ثبات نسبی خصوصیات دامنه و امکان تغییر عامل فرسایش پذیری خاک (Cogle et al, 2003)، نسبت به تغییر مقدار این عامل در دامنه پیشنهادی مدل اقدام گردید. این کار تا جایی ادامه یافت که میانگین رسوب مشاهده‌ای و تخمینی دارای کم‌ترین اختلاف باشند. در نهایت برای دستیابی به بهترین ارتباط (تهیه مدل)، بین مقادیر رسوب مشاهده‌ای و برآوردی، از انواع رگرسیون خطی، نمایی، لگاریتمی، معکوس، توانی، ترکیبی، درجه دوم و پلی‌نومیال در شکل اصلی و تغییر یافته داده‌ها (ریشه‌های دوم، سوم، پنجم، توان‌های دو، سه، لگاریتم در پایه‌های دو، پنج و ده) استفاده شد. قابلیت اعتماد روابط به دست آمده با توجه به درجه آزادی $n-2$ و در سطح اطمینان ۱ و ۵ درصد مورد بررسی قرار گرفت و مدل‌های با ضریب همبستگی بالاتر به عنوان مدل نهایی در این مرحله انتخاب شدند. به منظور ارزیابی تطابق نتایج برآوردی و واقعی، و تأیید کاربرد آن‌ها از شاخص خطای نسبی به صورت رابطه (۸) و لحاظ سطح قابل قبول خطای نسبی ۴۰٪ برای مدل‌سازی مقوله‌های منابع طبیعی (Das, 2000; Liu and Li, 2008) استفاده شد.

$$RE = \left| \frac{S_o - S_e}{S_o} \right| \quad (8)$$

که در آن RE درصد خطای نسبی، S_o و S_e به ترتیب مقدار رسوب مشاهده‌ای و مقدار رسوب برآوردی می‌باشد. تمامی مراحل آماری توسط صفحه گسترده EXCEL و نرم افزار SPSS.11.5 صورت گرفت.

یافته‌ها (نتایج)

برای ارزیابی کارایی مدل HEM در پلات‌های آزمایشی مستقر در منطقه خسیبجان، کلیه ورودی‌های مورد نیاز مدل تعیین شد. مقادیر طول و تندی شیب پلات‌های مورد استفاده به ترتیب ۲۲/۱۳ متر و ۲۱ درصد و وضعیت بافت خاک لومی شنی تهیه شد.

جدول (۱) مقادیر ورودی مدل، رسوب مشاهده‌ای و نتایج به‌دست آمده از کاربرد مدل برای رگبارهای مورد استفاده در این پژوهش را نشان می‌دهد.

جدول ۱: مقادیر ورودی مدل، رسوب مشاهده‌ای و نتایج به‌دست آمده از کاربرد مدل در پژوهش حاضر

تیمار اراضی شخم خورده			تیمار اراضی دیم			واقعه بارش
رسوب برآوردی (kg/h)	رسوب مشاهده‌ای (kg/h)	روان‌آب (mm)	رسوب برآوردی (kg/h)	رسوب مشاهده‌ای (kg/h)	روان‌آب (mm)	
۹/۷۵	۹/۶	۰/۴۵۲	۱۶۷/۷۵	۱۳	۰/۳۶۷	۱
۴/۲۵	۲/۸۵	۰/۲۰	۹۷/۵۰	۳	۰/۲۱۴	۲
۱۶/۲۵	۳/۹	۰/۷۴۷	۳۵۹/۲۵	۵	۰/۷۸۸	۳
۲/۷۵	۰/۶۶	۰/۱۲۸	۳۸	۵/۱	۰/۱۳۲	۴
۶/۵۰	۲/۸	۰/۲۹۷	۳۸/۲۵	۱	۰/۲۳۴	۵
۲/۵۰	۲/۷	۰/۱۱۴	۳۴/۷۵	۱/۵	۰/۰۷۶	۶
۴/۵۰	۲/۴	۰/۲۰۴	۸۷/۵	۱/۴	۰/۱۹۲	۷
۱۵/۰	۲	۰/۶۸۹	۱۵۲/۵	۱۶	۰/۴۶۷	۸
۸/۷۵	۲/۵	۰/۴۰۸	۱۷/۷۵	۱/۷	۰/۰۹۸	۹
۱/۷۵	۸/۷	۰/۰۸۵	۱۰/۷۵	۱/۵	۰/۰۷۸	۱۰
۰/۷۵	۲	۰/۰۲۹	۷	۱/۴	۰/۰۶۶	۱۱
۱/۷۵	۱	۰/۰۵۲	۷۰۲	۹/۴	۱/۵۴۰	۱۲
۳۲/۲۵	۵/۲	۱/۴۹	۱۴۰/۲۵	۲	۰/۴۳۰	۱۳
۴/۷۵	۱/۱	۰/۲۲	۹۴/۲۵	۳/۸	۰/۲۰۷	۱۴
۰/۲۵	۰/۶	۰/۰۱۴	۹۹	۱/۲۵	۰/۲۱۷	۱۵
۰/۲۵	۰/۴	۰/۰۱۱	۳۴/۷۵	۱	۰/۱۹۱	۱۶

نتایج ارائه شده در جدول ۱ نشان دهنده آن است که مدل در تمامی رگبارهای مورد استفاده در پژوهش حاضر مقدار رسوب را بیش‌تر از مقدار مشاهده‌ای تخمین زده است. که با نتایج صادقی^۱ و همکاران (۲۰۰۸) و فضل‌ی و نور^۲ (۲۰۱۳) در زمینه بیش تخمین مدل فرسایش دامنه‌ای با مقدار پیشنهادی فرسایش‌پذیری خاک (بدون واسنجی) هم‌خوانی دارد. با این حال مقایسه نتایج تخمین رسوب در دو کاربری دیم و اراضی شخم خورده دلالت بر دقت بیش‌تر مدل HEM در برآورد رسوب کاربری اراضی شخم خورده می‌باشد.

^۱ Sadeghi

^۲ Fazli and Noor

در ادامه و به منظور واسنجی مدل و با توجه به بیش تخمینی مدل HEM، اعداد کم‌تر از ۱/۳۸ (مقدار پیشنهادی مدل) به پارامتر فرسایش پذیری خاک تخصیص داده شد که نتایج به ترتیب برای کاربری‌های دیم و اراضی شخم خورده در جدول‌های ۲ و ۳ ارائه شده است. در این مرحله داده‌های مربوط به ۴ رگبار برای مرحله اعتبارسنجی مدل کنار گذاشته شدند.

جدول ۲: نتایج به‌دست آمده از کاربرد مدل HEM در مرحله واسنجی در تیمار اراضی دیم منطقه خسیبجان

۱	۰/۸	۰/۵	۰/۲۵	۰/۱۵	فرسایش‌پذیری خاک
					واقعه بارش
رسوب برآوردی (Kg)					
۵۷/۲۵	۲۱/۲۵	۸/۲۵	۶/۲۵	۴/۲۵	۱
۲۱۴/۰۰	۷۹/۰۰	۳۰/۷۵	۲۳/۲۵	۱۶/۲۵	۲
۳۶/۷۵	۱۳/۵۰	۵/۲۵	۴/۰۰	۲/۷۵	۳
۳۲/۷۵	۱۲/۰۰	۴/۷۵	۳/۵۰	۲/۵۰	۴
۵۸/۵۰	۲۱/۵۰	۸/۵۰	۶/۲۵	۴/۵۰	۵
۱۹۷/۵۰	۷۳/۰۰	۲۸/۵۰	۲۱/۲۵	۱۵/۰۰	۶
۱۱۷/۰۰	۴۳/۲۵	۱۶/۷۵	۱۲/۷۵	۸/۷۵	۷
۸/۲۵	۳/۰۰	۱/۲۵	۱/۰۰	۰/۷۵	۸
۱۵/۰۰	۵/۵۰	۲/۲۵	۱/۵۰	۱/۲۵	۹
۴۲۶/۷۵	۱۵۷/۷۵	۶۱/۷۵	۴۶/۲۵	۳۲/۲۵	۱۰
۶۳/۰۰	۲۳/۲۵	۹/۰۰	۶/۷۵	۴/۷۵	۱۱
۳/۲۵	۱/۲۵	۰/۵۰	۰/۲۵	۰/۲۵	۱۲

جدول ۳: نتایج به‌دست آمده از کاربرد مدل HEM در مرحله واسنجی در تیمار اراضی شخم خورده منطقه خسیبجان

۱	۰/۸	۰/۵	۰/۲۵	۰/۱۵	فرسایش‌پذیری خاک
					واقعه بارش
رسوب برآوردی (Kg)					
۶/۷۵	۱۱/۲۵	۱۶/۵۰	۴۴/۵۰	۶۱/۲۵	۱
۲۴/۵۰	۴۱/۲۵	۶۱/۲۵	۱۶۳/۵۰	۲۲۵/۷۵	۲
۳/۷۵	۶/۰۰	۸/۷۵	۲۲/۷۵	۳۱/۵۰	۳
۲/۲۵	۴/۰۰	۶/۰۰	۱۵/۷۵	۲۱/۷۵	۴
۶/۰۰	۱۰/۰۰	۱۵/۰۰	۳۹/۷۵	۵۵/۰۰	۵
۱/۲۵	۲/۲۵	۳/۰۰	۸/۰۰	۱۱/۰۰	۶
۰/۷۵	۱/۲۵	۲/۰۰	۵/۰۰	۶/۷۵	۷
۰/۵۰	۰/۷۵	۱/۲۵	۳/۲۵	۴/۵۰	۸
۴۷/۷۵	۸۰/۷۵	۱۱۹/۵۰	۳۱۹/۲۵	۴۴۱/۲۵	۹
۱۰/۰۰	۱۶/۵۰	۲۴/۲۵	۶۳/۷۵	۸۸/۰۰	۱۰
۶/۷۵	۱۱/۵۰	۱۶/۷۵	۴۵/۰۰	۶۲/۲۵	۱۱
۲/۵۰	۴/۲۵	۶/۰۰	۱۵/۷۵	۲۱/۷۵	۱۲

بر اساس روش کار ارائه شده در بخش قبل، برای اطمینان از کاربرد مدل فرسایش دامنه ای در منطقه مورد مطالعه، اقدام به برقراری رابطه رگرسیونی بین مقادیر برآوردی مدل به عنوان متغیر مستقل و مقادیر مشاهده‌ای به عنوان متغیر وابسته گردید. همچنین روابط درجه دو و بیش تر علی‌رغم برخورداری نسبی از عمل‌کرد بهتر در مقایسه با سایر مدل‌ها به دلیل عدم ارائه روند مشخص و نیز تغییرات نوسانی آن‌ها از مجموع روابط حذف و در در جدول‌های ۴ و ۵ ارائه نگردیدند.

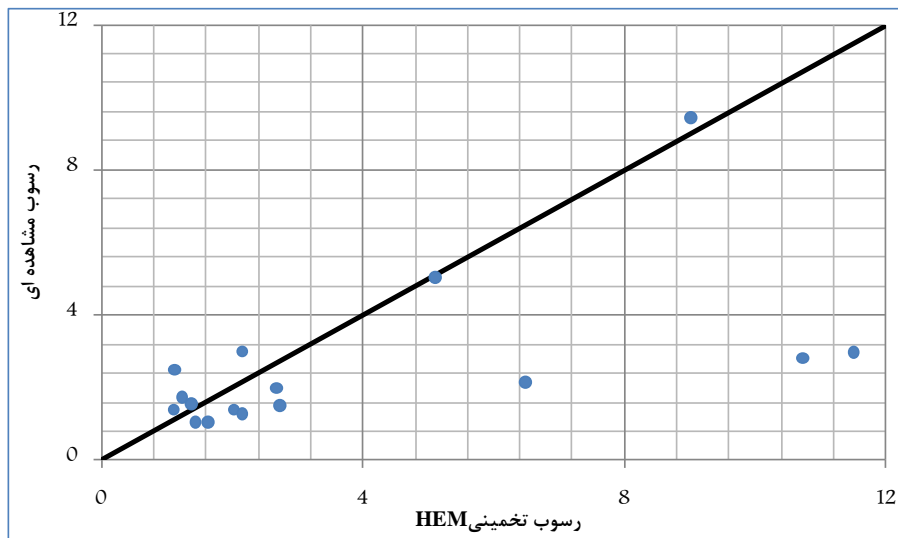
جدول ۴: روابط منتخب بین مقادیر رسوب مشاهده‌ای (y) و تخمینی HEM (x) در تیمار اراضی دیم منطقه خسیبجان

شماره	فرسایش‌پذیری خاک	معادله	R ² (%)	RE (%)
۹	۱	$Y = 1.080(\log X)1.203$	۶۱	۳۸
۱۰	۰/۱۵	$Y = 1.078(\sqrt{X})0.803$	۶۱	۳۷
۱۱	۰/۱۵	$Y = 0.730 (\sqrt{X}) + 0.510$	۶۶	۴۴
۱۲	۰/۱۵	$Y = 1.493 (X 0.33) - 0.291$	۶۴	۴۰
۱۳	۰/۱۵	$Y = 0.532e0.731 (X 0.33)$	۵۶	۳۸

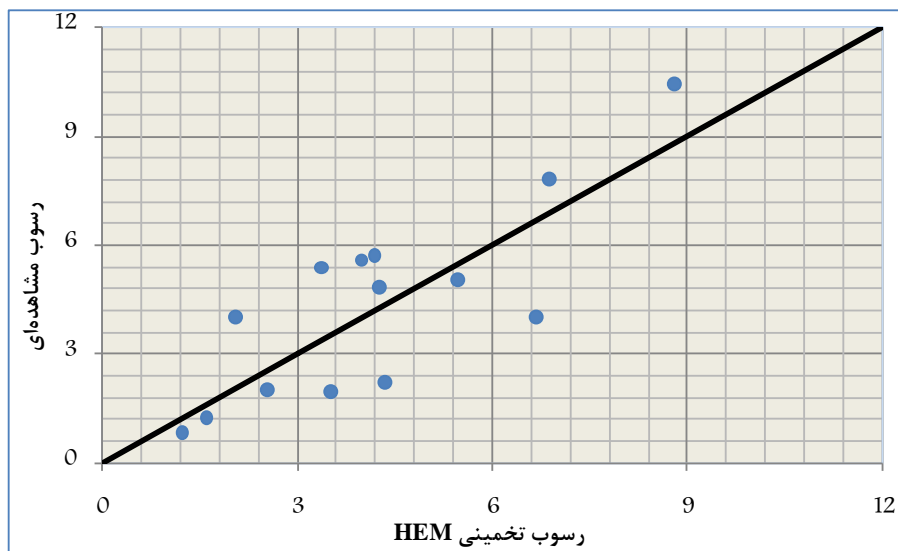
جدول ۵: روابط منتخب بین مقادیر مشاهده‌ای (y) و تخمینی HEM (x) در تیمار اراضی شخم خورده منطقه خسیبجان

شماره	فرسایش‌پذیری خاک	معادله	R ² (%)	RE (%)
۱۴	۰/۲	$y = 1.353e 0.042x$	۷۸	۲۵
۱۵	۰/۲	$y = 0.168x + 1.012$	۸۱	۲۹
۱۶	۰/۲	$y = 0.933e 0.303\sqrt{x}$	۶۶	۳۳
۱۷	۰/۲	$y = 1.184\sqrt{x} - 0.401$	۷۸	۵۲
۱۸	۰/۴	$y = 1.107e 0.364(\log x)^2$	۶۲	۳۶
۱۹	۰/۴	$y = 1.404(\log x)^2 + 0.291$	۷۰	۵۶

بر اساس نتایج ارائه شده در جدول‌های ۴ و ۵ به ترتیب رابطه ۹ و ۱۴ با توجه به معیارهای ارزیابی برای تخمین رسوب در کاربری‌های اراضی دیم و اراضی شخم خورده پیشنهاد می‌گردند. همچنین در شکل‌های ۲ و ۳ مقادیر رسوب مشاهده‌ای برای ۱۶ رگبار منتخب و مقادیر تخمینی بر اساس روابط ۹ و ۱۴ ارائه شده است.



شکل ۲: برازش بهترین رگرسیون بر داده‌های رسوب مشاهده‌ای و تخمینی در تیمار اراضی دیم منطقه خسیبجان



شکل ۳: برازش بهترین رگرسیون بر داده‌های رسوب مشاهده‌ای و تخمینی در تیمار اراضی شخم منطقه خسیبجان

بحث و نتیجه‌گیری

پژوهش فعلی با هدف تخمین رسوب رگبار در مقیاس دامنه به‌عنوان نقطه آغازین فرسایش خاک و در پلات‌های استاندارد مستقر در دو کاربری مهم تحت مدیریت انسان شامل اراضی دیم و اراضی رها شده در منطقه خسیبجان اراک انجام شد. نتایج ارائه شده در جدول ۱ نشان‌دهنده آن است که HEM بدون واسنجی در تمامی کاربری‌های مورد نظر در این تحقیق قادر به برآورد دقیق میزان رسوب نمی‌باشد. واسنجی عامل فرسایش‌پذیری خاک و برازش رگرسیونی بین داده‌های مشاهده‌ای و تخمینی دلالت بر بهبود کارایی مدل مذکور دارد.

همان‌گونه که در جدول‌های ۲ و ۳ ملاحظه می‌گردد با کاهش میزان فرسایش‌پذیری اختصاصی، اختلاف نتایج مشاهداتی و تخمینی مدل کم‌تر گردید. با این حال هنوز اختلاف نتایج مدل با مقادیر مشاهداتی بسیار زیاد می‌باشد و ادامه کاهش پارامتر مذکور در بهبود چشم‌گیر نتایج چندان رضایت بخش نبوده است. در این ارتباط نتایج کوگل^۱ و همکاران (۲۰۰۳) نشان داد که پس از واسنجی عامل فرسایش‌پذیری خاک، مدل قادر به برآورد مناسب مقادیر مشاهداتی بوده است حال آن‌که صادقی و همکاران (۲۰۰۸) و فضلی و نور (۲۰۱۳) اعلام داشتند که واسنجی عامل فرسایش‌پذیری به تنهایی قادر به بهبود نتایج مدل نبوده است.

همان‌گونه که در شکل‌های ۲ و ۳ مشاهده می‌گردد، در این مرحله تخمین‌های مدل به مقادیر مشاهداتی نزدیک شد. برازش رگرسیونی بین داده‌های مشاهده‌ای و تخمینی دلالت بر کارایی مدل در هر دو کاربری اراضی دارد، حال آن‌که دقت مدل در اراضی شخم خورده بیش‌تر بوده است. دلیل این امر را می‌توان به حذف پوشش گیاهی در اراضی شخم خورده و در نتیجه عدم دخالت این عامل در برآوردهای مدل و همچنین حساسیت مدل به مقدار پوشش اراضی عنوان نمود.

کوگل و همکاران (۲۰۰۳) در تحقیقات خود عدم تخمین دقیق پوشش زمینی در تخمین‌های نادرست مدل را مؤثر می‌داند. همچنین صادقی و همکاران (۲۰۰۸) در آنالیز حساسیت این مدل اعلام داشتند که رسوب تولیدی به پوشش زمینی حساسیت بالایی دارد، که در عدم کارایی پایین این مدل در کاربری کشت دیم در منطقه مورد بررسی نیز می‌تواند تأثیر به‌سزایی داشته باشد. بر اساس نتایج بدست آمده از کاربرد مدل برآورد فرسایش HEM در ایستگاه تحقیقاتی خسیبجان می‌توان چنین جمع‌بندی نمود که مدل مذکور در تخمین رسوب ناشی از رگبارها در مقیاس مکانی کرت‌های آزمایشی کارایی مناسبی داشته که با گزارش کوگل و همکاران (۲۰۰۳) و نیز فضلی و نور (۲۰۱۳) مبنی بر توانایی مدل پس از تبیین روابط لازم بین مقادیر برآوردی و مشاهده‌ای هم‌خوانی دارد.

نتایج به‌دست آمده ضمن تأیید استفاده ساده و راحت مدل فرسایش دامنه‌ای (HEM) از طریق دست‌یابی به پایگاه مدل مذکور بر توانایی متفاوت آن در شبیه‌سازی تولید رسوب ناشی از رگبارهای مشاهده‌ای در منطقه مورد نظر دلالت داشته است.

پیشنهادها

- با توجه به نتایج حاصل از تحقیق فعلی و سوابق پیشین موجود علاوه بر دقت در تأمین و تهیه دقیق اطلاعات ورودی و پارامترهای مدل می‌تواند موضوعات زیر را برای پژوهش‌های آتی پیشنهاد نمود:
- تحلیل و بررسی مجدد مفهوم حاکم بر فرآیندهای مدل‌سازی مورد استفاده در مدل
- مقایسه بین نتایج حاصل از HEM و سایر مدل‌های مورد استفاده در کاربری و شرایط مشابه تحقیق فعلی
- تجدید پژوهش‌های مشابه در مقیاس‌های مختلف مکانی
- تعیین مقادیر بهینه منطقه‌ای عامل فرسایش‌پذیری مدل مذکور در کاربری‌ها و شرایط گوناگون

¹ Cogle

سپاسگزاری

مقاله حاضر مستخرج از طرح پژوهشی " کارایی مدل فرسایش دامنه‌ای در تخمین رسوب رگبار " مصوب باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، دانشگاه آزاد اسلامی اراک می‌باشد. همچنین داده‌های استفاده شده در این مقاله توسط آقای مهندس حشمت اله آقارضی از مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان مرکزی تهیه و در اختیار قرار گرفته است.

فهرست منابع

۱. آقارضی، حشمت اله، ۱۳۸۴. اندازه‌گیری فرسایش خاک و برآورد آن با USLE در دیم‌زارها، سومین همایش ملی فرسایش و رسوب، ۶-۹ شهریور ۱۳۸۴، ۴۷۳-۴۷۵.
۲. حسینی، سیدصفدر و محمد قربانی، ۱۳۸۴. اقتصاد فرسایش خاک. انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، چاپ اول، ۱۲۶ص.
۳. گلکاریان ع.، داودی مقدم د.، نقیبی س. الف.، عشقی‌زاده م. ۱۳۹۲. کارایی مدل فرسایش و هیدرولوژی مرتع در برآورد میزان رسوب دامنه‌های مرتعی مناطق خشک (مطالعه موردی: حوزه آبخیز شهید نوری کاخک)، مرتع و آبخیز، ۶۶ (۳): ۴۵۷-۴۶۷.
۴. نور ح.، میرنیا س.خ.، رئیسی م.ب.، برآورد هدر رفت ماده آلی خاک در اکوسیستم‌های هیرکانی (مطالعه موردی: حوزه آبخیز کجور)، علوم محیطی، ۸(۱): ۱۰۷-۱۱۴.
۵. نور ح.، میرنیا س.خ.، ظریف م.، توانایی داده‌های دبی جریان و غلظت رسوب معلق در برآورد غلظت فسفر (مطالعه موردی: حوزه آبخیز کجور)، مرتع و آبخیزداری، ۶۵، (۳): ۱-۱۰.
6. Bennett H. H., 2001: Soil conservation, Agrobios, New Delhi, 993p.
7. Cogle A. L., Lane L. J., Basher L., 2003: Testing the Hillslope Erosion Model for Application in India, New Zealand and Australia, Environmental Modeling and Software, 18: 825-830.
8. Das G., 2000: Hydrology and Soil Conservation Engineering, Prentice-Hall of India Press, 486p.
9. Fazli S., Noor H. (2013): Storm-wise sediment yield prediction using hillslope erosion model in semi-arid abundant lands. Soil & Water Res., 8: 42-48.
10. Kothyari, U. C, M. Jain, K. Ranga Raju, 2002. Estimation of temporal variation of sediment yield using GIS. Journal of Hydrological Sciences, 693-706.
11. Lane L. J., Nichols H. M., Paige G. B., 1995a: Modelling Erosion on Hillslopes: Concepts, Theory and Data. In: Proceedings of the International Congress on Modelling and Simulation (MODSIM'9), Binning P, Bridgman H, Williams B (Eds), Perth, Australia, July, 1: 1-7.
12. Lane L. J., Nichols H. M., Simanton J. R., 1995b: Spatial Variability of Cover Affecting Erosion and Sediment Yield in Overland Flow, In: Effects of Scale on Interpretation and Management of Sediment and Water Quality, IAHS, 226:147-152.
13. Lane L. J., Nichols M. H., Levick L. R., Kidwell M. R., 2001: A Simulation Model for Erosion and Sediment Yield at the Hillslope Scale, In: Landscape Erosion and Evolution Modelling. Harmon R., Doe W. (eds). Kluwer Academic Publishers, New York: 201-237.
14. Lane L. J., Shirley E. D., Singh V. P., 1988: Modelling Erosion on Hillslopes. In: Modelling Geomorphological Systems, Anderson MG (Ed.), Wiley Chichester: 287-308.

15. Lee, Y. H & V. P. Singh, 1999. Prediction of Sediment Yield by Coupling Kalman Filter with Instantaneous Unit Sediment Graph, Hydrological Process. 13: 2861-2875.
16. Liu, X., & Li, J. (2008). Application of SCS model in estimation of runoff from small watershed in Loess Plateau of China. *Chinese Geographical Science*, 18(3), 235-241.
17. Merritt, W. S, R. A. Letcher & A. J. Jakeman, 2003. A Review of Erosion and Sediment Transport Models, Environmental Modelling & Software, 761-799.
18. Morgan, R. P. C. (2009). *Soil erosion and conservation*. John Wiley & Sons
19. Sadeghi S. H. R., Azari M., Ghaderi Vangah B., 2008: Field Evaluation of the Hillslope Erosion Model (HEM) in Iran, Biosystems Engineering, 99: 304-311.
20. Shirley E. D., Lane L. J., 1978: A Sediment Yield Equation from an Erosion Simulation Model, Hydrology and Water Resources in Arizona and the Southwest, 8: 90-96.
21. Singh, P. K, P. K. Bhunya, S. K. Mishra & U. C. Chaube, 2008. A Sediment Graph Model Based on SCS-CN Method, Journal of Hydrology, 349: 244-255.
22. Wilson C. J., Cary J. W., Beeson P. C., Grad M. O., Lane L. J., 2001: A GIS-Based Hillslope Erosion and Sediment Delivery Model and its Application in the Cerro Grande Burn Area, Hydrological Processes, 15: 2995-3010.



Environmental Erosion Research

journal homepage: <http://magazine.hormozgan.ac.ir>



Comparing Efficiency of Hill Slope Erosion Model (HEM) in Dry and Abandoned Land (Case Study: Khosbijan Research Center, Arak)

Fazli, S.^{1*}, Noor, H.², Asadolahi, Z.²

¹ Young Researchers and Elite Club, Arak Branch, Islamic Azad university, Arak, Iran

² Department of Watershed Management, Tarbiat Modares University

Abstract

Soil erosion and sediment yield from watersheds confine sustainable use of land resources and is supposed as one of the most critical environmental issues. Prediction of storm wise soil erosion and sediment yield is very important, especially in arid and semiarid regions due to small number of events and high intensity of rainfall. Evaluation of soil erosion by existing models is needed as an important tool for managerial purposes in designation proper water and soil conservation technique. Sometimes inappropriate use of the model causes very high or low estimate. The present study aimed to assess the applicability of Hillslope Erosion Model (HEM) for prediction of storm related sediment yield in Khosbijan by using soil erosion standard plots in two common land use in semi-arid region i.e. dry land and abandoned land. In order to run the model, runoff depth, land surface cover, soil texture, slope steepness and length were determined for 16 storm events. In calibration stage, 75% of data were used and 25% used in validation stage. The results showed that the uncalibrated HEM didn't simulate the observed sediment yields, properly in two selected land use. While it could successfully predict the soil erosion rate in plots on dry and abandoned land by calibrating soil erodibility parameter with determination coefficient of 0.61, 0.78 and estimate error of 38 and 25 percent, respectively. The results also, clearly showed that HEM better efficiency in abandoned land use.

Article History:

Received:

February 16, 2015

Revised:

October 17, 2015

Accepted:

November 11, 2015

Keywords:

Hillslope Erosion

Landuse

Soil Erosion Model

Model Calibration

* Corresponding Author Email: sfazli23@gmail.com