پژوهش‌های آبخیزداری
(پژوهش و سازندگی)
دوره ۳۰، شماره ۱، شماره پیاپی ۱۱۴، بهار ۱۳۹۶، صفحات ۵۳-۴۵
شناسه‌ی دیجیتال: 10.22092/WMEJ.2017.115563

ارزیابی دقت و کارایی معادله‌ی جهانی فرسایش خاک و نسخه‌های مختلف آن در تخمین رسوب رگبار منفرد در مراتع نیمه‌خشک (مطالعه‌ی موردی: پایگاه تحقیقات حفاظت خاک سنگانه- مشهد)

• **محمدرضا جوادی** *
(نویسنده‌ی مسئول) استادیارگروه منابع طبیعی دانشگاه آزاد اسلامی واحد نور
• **سعید رحمتی**
دانشجوی کارشناسی‌ارشد آبخیزداری دانشگاه آزاد اسلامی واحد نور
• **عبدالصالح رنگ‌آور**
استادیار پژوهشی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی

تاریخ دریافت: آبان ۱۳۹۲ تاریخ پذیرش: اسفند ۱۳۹۳

* **Corresponding Email:** javadi.desert@gmail.com

چکیده
توسعه و بهبود روش‌های برآورد فرسایش خاک با فراهم آوردن ابزاری برای آزمایش تأثیر راهبردهای مختلف مدیریت زمین روی تلفات خاک و طراحی استفاده بهینه از اراضی، برای متخصصین علوم زمین لازم و ضروری می‌باشند. معادله جهانی فرسایش خاک یکی از قدیمی‌ترین مدل‌های تجربی برآورد فرسایش می‌باشد که به‌طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار گرفته است. دراین تحقیق، میزان کارایی معادله جهانی فرسایش خاک و برخی نسخه‌های آن شامل AUSLE، MUSLE-S، MUSLE-E، USLEM، MUSLT و AOF درمقیاس رگبار درمراتع نیمه‌خشک خراسان ارزیابی شد. بدین منظور مقادیر رسوب اندازه‌گیری شده ناشی از ۲۰ مورد رگبار در۳ قطعه با خصوصیات یکسان، کاربری مرتعی و بدون انجام هیچ‌گونه عملیات حفاظتی با مقادیر برآوردی هر یک از نسخه‌هابررسی و مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج بیانگر آن است که مقادیر برآوردی چهار روش MUSLE-S، MUSLE-E، MUSLT و USLEM همبستگی معنی‌داری با رسوب مشاهداتی داشته و مدل‌سازی فرسایش در این روش‌ها منطقی‌تر می‌باشد.از بین روش‌ها روش MUSLTدارای کمترین مقدار میانگین نسبی مجذور مربعات خطا (RRMSE= ۲۵۷/۴)و بیشترین میانگین کارایی (ME= ۰/۰۱۱) بوده و در برآورد مقدار رسوب مشاهداتی در مقیاس رگبار در منطقه مورد تحقیق دارای کارایی نسبی بیشتریمی‌باشد. سایر روش‌های مورد بررسی برآوردهای غیرمنطقی از مقدار رسوب ارائه می‌دهند.

واژه‌های کلیدی: قطعه‌ی آزمایشی، تولید رسوب، نسخه‌های معادله جهانی فرسایش خاک، مشهد

Assessment ofEfficiency and Accuracy of USLE and its Versions for Estimating Event Base Sediment in the Semi-Arid Rangelands (Case study: Sanganeh soil conservation research Institute of Mashhad)

- Mohammad Reza Javadi

(Corresponding Author) Assistant professor, Department of Natural Resources, Islamic Azad University, Nour Branch

- Said Rahmaty

Msc Student of watershed management, Department of Natural Resources, Islamic Azad University, Nour Branch

- Abdolsaleh Ragavar

Assistant professor, Agricultural and Natural Resources Research Center of KhorasanRazavi Province

Abstract

Development and improvement of soil erosion estimation schemes with providing feature to examine various strategies effects of land management on soil losses is essential to land science experts. The Universal Soil Loss Equation (USLE) is one of the primitive empirical models in estimation of erosion that is used continuously. In this study, the efficiency amount of USLE and some of its versions include MUSLT,USLEM,MUSLE-E,MUSLE-S, AUSLE and AOF are evaluated in North Khorasan semi-arid rangelands in event base and for 20 selected events. For this goal, the measured sediments due to 20 events in three plots with same characteristics include range land use and without protective measures are considered and compared with estimated values for each version. The results show that the estimated obtained from MUSLT, MUSLE-E, MUSLE-S and USLEM methods have significant correlation with the observed sediment and the modeling procedure in these methods is logical than others. The MUSLT has the lowest Relative Root Mean Square Errors (RRMSE=4.257) and greatest Mean Efficiency(ME=0.011) has a relative efficiency in estimating of observed sediment in event base in the studied area. Other considered methods estimate non-reasonable sediment values.

Keywords: Experimental Plot, Sediment yield, Universal Soil Loss Equation Versions, Mashhad

مقدمه

نابــودی وتخریب خاک براثربارش وعمل آب‌هــای روان یکی از جدی‌ترین مشکلات زیست محیطی عصر حاضر است.باروند روزافزون فرسایش،مناطق زیادیکه امروزه کشت می‌شــوند،درآینده نه چندان دور،ممکن است حاصل-خیزی خود را از دســت بدهند. اثرات درون منطقه‌ایفرســایش بخصوص در اراضی کشــاورزی که اتلاف خاک مزرعه،تجزیه ســاختمان خاک و کاهش مــواد آلی ومغذی منجر به کاهش عمقخاک قابل کشــت و کاهش حاصل-خیــزی خاک می‌گردد، بعدها ممکن اســت منجر به متروکه شــدن اراضی گردد(Pimental و همکاران، ۱۹۹۵).

مشکلات برون منطقه‌ایفرسایش نتیجه رسوب‌گذاری در پایین دست می‌باشد که ظرفیت حمل رودخانه و ظرفیت نگهداری مخازن سدها را کاهش می‌دهد و خطر ســیلاب و جریان گلی را افزایش داده و باعث کوتاه شدن عمر مفید طراحی مخازن می‌گردد (Boardman,Ligneau, De؛۱۹۸۰،Clark Rooو Vandal، ۱۹۹۴). در شــرایط نبود اطلاعات و اندازه‌گیری‌های دراز مدت برای منطقه مورد نظر، شــاید توسعه و بسط داده‌های کوتاه مدت ثبت شــده در دیگر حوزه‌های آبخیز با خصوصیات زهکشی مشابه برای حوزه‌ی مورد نظر امکان‌پذیر باشــد. از آنجا که مدل USLE و نسخه‌های مختلف آن برای شــرایط خاک‌های ایالات متحده توسعه یافته‌اند، استفاده از آنها در مناطقی غیر از ایالات متحده ممکن اســت منجر به اشتباهات بزرگی گردد، مگر اینکه مقادیر توســعه داده شــده برای ایالات متحده برای شرایط سایر مناطق تطبیق داده شــده و با مطالعات میدانی تأیید گردد(Morris و Fan ، ۱۹۹۸).

در ایـــن زمینـــهSadeghi, Pour ghasemi,Mohamadiو Agharazi(۱۳۸۷)میـــزان کارایی معادله جهانی فرســـایش خاک و برخی نســـخه‌هایآن را در قطعه‌ی معیار در تیمارهای دیم، شـــخم رها شده و مرتع در مقیاس رگبار در ایســـتگاه منابع طبیعی خسبیجان اراک ارزیابی نموده و به این نتیجه رسیدند که بین برآورد رسوب بسیاری از نسخه‌ها با یکدیگر ارتباط آماری مناسبی وجود دارد، اما مدل‌های مذکور بجز مدل MUSLE-E آن هم در کاربری مرتعی، در برآورد رســـوب ناشی از رگبارها در تیمارهای مورد مقایسه کارایی نداشته‌اند.

Kargar (۱۳۹۰) به بررســـی کارایی معادله جهانی فرسایش خاک و برخی از نســـخه‌ها آن در رســـوب تولیدی رخدادهای بارشـــی در کرت‌های معیار در حوزه‌ی آبخیز جاشـــلو بار ســـمنان پرداخته و بیان کـــرد که نتایج ۳ مدل MUSLT ،MUSLE-S و MUSLE-E برای تخمین رســـوب ناشی از تک رخدادهای بارشی در مقایسه با سایر روش‌ها از دقت بالاتری برخوردار بوده و سایر مدل‌ها کارایی لازم را ندارند.

Kinnell(۲۰۰۱)با مقایســـه روش‌های USLE و USLE-M در برآورد مقدار فرســـایش در زیـــر حوضه‌های حوزه‌ی آبخیـــزRocky Creek در کوینزلنداسترالیا به این نتیجه رسید که به دلیل لحاظ کردن رواناب بالادست منطقه در مدل اصلاحی USLE-M این مدل بر مدل USLEبرتری دارد. Sadeghi و Mizuyama (۲۰۰۷) معادله جهانی فرسایش خاک اصلاح شـــده را برای برآورد بار رســـوب حوزه‌ی آبخیز خان میرزا در غرب ایران به کار بردند. مقایســـه مقادیر برآوردی با مقادیر اندازه‌گیری شـــده نشان داد که این مدل قابلیت مناســـبی در برآورد بار رســـوب در حـــوزه‌ی مورد نظر دارد و بیـــن میانگین برآوردها با مقادیر اندازه‌گیری شـــده در منطقه مورد مطالعه تفاوت معنـــی‌داری وجود نـــدارد.Olivares, Vargas و Silva (۲۰۱۱) قابلیت معادله جهانی فرسایش خاک در برآورد فرسایش خاک‌های آلفی سول واقع درSan Pedro در کشور هندوراس را با استفاده از اندازه‌گیری مقادیر رســـوب ناشی از رگبارها در قطعه‌های آزمایشی در ۳ تیمار مرتع طبیعی،خاک شـــخم خورده ودیم و مقایســـه آنها با مقادیر برآوردی فرسایش مورد ارزیابی قرار داده و در نهایت این گونـــه نتیجه‌گیری کردند که مقادیر برآوردی مدل USLE دارای ارتباط آماری مناســـب با مقادیر مشاهداتی بوده ولی برآوردها معمولاً کم‌تر از واقعیت می‌باشند.

Miguel و همـــکاران (۲۰۱۱) بـــرای پیش‌بینی فرســـایش خاک حوزه‌ی آبخیزی با مساحت ۱۸۹۵ هکتار واقع در جنوب برزیلاز معادله جهانی فرسایش خاک اســـتفاده کرده و بیان نمودند که عامل‌های پســـتی و بلندی،پوشـــش گیاهی،بارش و فرســـایش‌پذیری خاک به ترتیب عاملهای اصلی مهارکردن کننده توان فرسایش خاک هســـتند و بیش‌ترین تلفات خاک در مناطقی که در آن افزایش طول دامنه توأم با افزایش درجه شـــیب اســـت، دیده می‌شود. نتایج این مطالعه واطلاعات موجود از مطالعات قبلی نشـــان داد که پیش‌بینی تلفات خاک با معادله جهانی فرسایش خاک در حوزه‌های آبخیز کوچک دارای محدودیت است.

از آنجا که معادله جهانی فرســـایش خاک یک مدل تجربی توســـعه یافته در خارج از ایران می باشـــد، در این تحقیق سعی شد میزان دقّت این معادله در برآورد فرســـایش خاک در مقیاس رگبار در مناطق نیمه خشک شمال شرق کشـــور مورد ارزیابی قرار گرفته و با برخی از نسخه‌ها اصلاح شده این معادله مقایسه گردد.

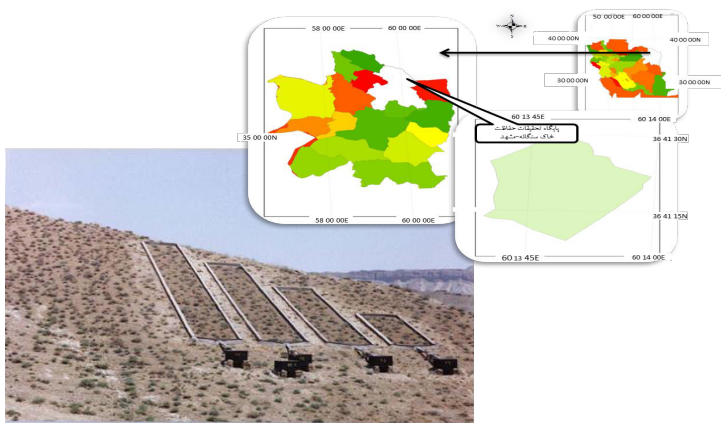
مواد و روش‌ها

منطقه‌ی مورد مطالعه

این تحقیق در قطعه‌های آزمایشـــی پایگاه تحقیقات حفاظت خاک ســـنگانه مشهد واقع در اســـتان خراسان رضوی در شمال شرق ایران صورت پذیرفت (شـــکل ۱). ارتفاع متوســـط منطقه از ســـطح دریا حدود ۷۰۰ متر و متوسط بارندگی سالیانه ۲۵۷ میلی‌متر می‌باشد.

روش تحقیق

در این بررسی مقدار فرسایش خاک درهر قطعه با استفاده از حجم و غلظت روانـــاب تولیدی هر قطعه که بعد از هر بار وقوع بارندگی ثبت شـــده بودند، برآوردگردید. اندازه‌گیری و نمونه‌برداری از رواناب و رســـوب قطعه‌ها یاحداث شـــده در داخل عرصه، از سال ۱۳۸۵و با استفاده از نیروی آموزش دیده آغاز شـــد، به نحوی‌که پـــس از هر نوبت بارندگی ارتفاع رواناب جمع‌آوری شـــده در مخزن هر قطعه به وســـیله‌ی خط‌کش معیار اندازه‌گیری و ســـپس حجم رواناب بر حسب متر مکعب و غلظت هر نمونه نیز بر حسب میلی‌گرم در لیتر اندازه‌گیری و ثبت شـــده اســـت. در این پژوهش از میان کلیه داده‌های ثبت شـــده، تعداد۲۰ مورد بارش مناســـب که منجر به تولید رواناب و رسوب شده بودند، انتخاب گردید.



شکل ۱. موقعیت پایگاه تحقیقات حفاظت خاک سنگانه- مشهد

در ادامه نسبت به تعیین پارامترهای معادله جهانی فرسایش خاک و نسخه‌ها مورد بررسی آن اقدام و در نهایت مقادیر رسوب اندازه‌گیری شده در ۳ قطعه‌یدارای خصوصیات یکسان (طول ۲۰ متر، عرض ۲ متر و کاربری مرتعی و بدون انجام هیچ‌گونه عملیات حفاظتی) با مقادیر برآوردی هر یک از نسخه‌ها معادله جهانی فرسایش خاک با استفاده ازماتریس همبستگی و آزمون تحلیل واریانس در محیط نرم افزارهای SPSSوEXCEL مقایسه شد.

برای بررسی دقّت و کارایی مدل‌های مورد استفاده از روش ناش- ساتکلیف و آماره RRMSE استفاده شد که معادلات آنها به صورت زیر می‌باشد(۱۰) .

$$ME = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(Q_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(Q_i - Q_{mean})^2}$$

که در آن:ME کارایی مدل، n تعداد مشاهدات، Qmean میانگین مقادیر رسوب مشاهده‌ای، Qi مقدار رسوب مشاهده‌ای وPi مقدار رسوب برآوردی است. دامنه تغییرات ME از منفی بی‌نهایت تا یک می‌باشد و مقادیر نزدیک‌تر به یک نشان‌دهنده کارایی بالاتر مدل و مقادیر منفی ME نشان دهنده عدم کفایت مدل هستند.

$$RRMSE = \frac{\sqrt{\frac{1}{N}\sum(Q_i - P_i)^2}}{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} Q_i}$$

RRMSE یا میانگین نسبی مجذور مربعات خطا که در آن Pi: مقدار برآوردی، Qi: مقدار مشاهده‌ای و N: تعداد داده می‌باشد. دامنه تغییرات RRMSE مقداری بین صفر و بی‌نهایت بوده و مقادیر نزدیک‌تر به صفر، نشان‌دهنده کارایی بیشتر مدل می‌باشد.

جدول ۱. خصوصیات رگبارهای منتخب در تحقیق پایگاه تحقیقات حفاظت خاک سنگانه-مشهد.

خصوصیات رگبار					خصوصیات رگبار			
ردیف	تاریخ	حداکثر شدت نیم‌ساعته (میلی‌متر در ساعت)	شدت‌متوسط(میلی‌متر در ساعت)	مقدار(میلی‌متر)	ردیف	تاریخ	حداکثر شدت نیم‌ساعته (میلی‌متر در ساعت)	شدت‌متوسط(میلی‌متر در ساعت)	مقدار (میلی‌متر)
۱	۸۵/۸/۲۵	۵/۲	۱/۰۳	۹/۲	۱۱	۸۶/۹/۲۹	۲/۸	۰/۴۵	۲/۴
۲	۸۵/۹/۲۸	۶/۴	۲/۴	۷	۱۲	۸۷/۲/۱۵	۳۰/۸۷	۳۰/۸۷	۶/۶
۳	۸۵/۱۰/۱۱	۵/۶	۰/۷۹	۱۶/۲	۱۳	۸۷/۱۱/۲۴	۴	۱/۱	۴/۴
۴	۸۵/۱۱/۳۰	۳/۶	۰/۴۲	۱۲/۶	۱۴	۸۷/۱۲/۱۲	۳/۶	۰/۶	۸/۸
۵	۸۵/۱۲/۸	۱/۲	۰/۳۷	۱	۱۵	۸۷/۱۲/۱۵	۴	۰/۷	۱۳/۶
۶	۸۵/۱۲/۲۶	۶/۸	۰/۵۶	۱۲/۴	۱۶	۸۸/۱/۵	۳/۶	۱/۵	۹/۸
۷	۸۶/۱/۳	۴/۱	۳/۷۷	۴/۴	۱۷	۸۸/۱/۱۱	۳/۲	۲	۹/۲
۸	۸۶/۱/۸	۴/۷	۱/۱۳	۵۱	۱۸	۸۸/۱/۱۷	۲/۴	۱/۳	۶/۸
۹	۸۶/۱/۱۰	۴	۰/۸۱	۱۷	۱۹	۸۸/۱/۳۱	۱۳/۶	۶/۹	۹
۱۰	۸۶/۹/۲۶	۲	۰/۵۴	۱۴/۲	۲۰	۸۸/۲/۲۲	۱۱/۲	۶/۲	۶/۴

معادله جهانی فرسایش خاک و نحوه تعیین پارامترهای آن

معادله جهانی فرسایش خاک روشی است که به طور گسترده در سرتاسر جهان برای پیش‌بینی مقادیر بلند مدت فرسایش شیاری و بین شیاری در مزارع یا واحدهای در حد مزارع با عملیات مختلف مدیریتی مورد استفاده قرار گرفته استWishmeier) و Smith،۱۹۶۵)، معادله جهانی فرسایش خاک را بر مبنای داده‌های مربوط به تعداد زیادی قطعه‌یآزمایشی در شرایط شرق و مرکز ایالات متحده تنظیم کرده‌اندولی معادله جهانی فرسایش خاک توسعه یافته و در سرتاسر جهان مورد استفاده قرار گرفته است(Morris و Fan ، ۱۹۹۸).

رابطه (۱) $$A=R\times K\times LS\times C\times P$$

که در آن:

A: میزان خاک فرسایش یافته محاسبه شده (تن در هکتار در سال)

K: عامل فرسایش‌پذیری خاک: مقدار خاکی که به طور ذاتی در معرض فرسایش می‌باشد را اندازه‌گیری می‌کند. این برابر میزان فرسایش در هر واحد از شاخص فرسایش برای هر خاک مخصوص در اراضی زراعی و شخم خورده می‌باشد که تا شیب‌های ۹ درصد و طول شیب ۲۲/۱ متر ادامه پیدا می‌کند (Talebbidokhtiوهمکاران،۱۳۸۲). در این تحقیق با توجه به نمونه‌برداری‌های صورت گرفته از خاک قطعه‌های مورد بررسی و استخراج اطلاعات بدست آمده شامل درصد لای و شن خیلی ریز، درصدشن، ماده آلی،ردیف ساختمان خاک و نفوذپذیری خاک، مقادیرKبا توجه به نمودار

Wishmeirو Smith(۱۹۷۸)تعیین گردید.

LS: (عامل پســتی و بلندی): در تمامی نسخه‌ها مورد بررسی معادله جهانی فرســایش خاک به‌جزء روش AUSLE از طریق رابطه زیر تعیین می‌گردد (صادقی و همکاران، ۱۳۸۷):

رابطه (۲) $$LS = \left(\frac{\lambda}{22.1}\right)^{m} (0.065 + 0.045S + 0/006S^{2})$$

رابطه (۳) $$m = \frac{\sin\propto}{\sin\propto+0.269(\sin\propto)^{0.8}+0.5}$$

ودر روش AUSLE

رابطه (۴) $$LS_{AUSLE} = \left(\frac{As}{22.13}\right) 0.4 \left(\frac{sin\,\alpha}{0.896}\right) 1.3$$

که در آنها : λ: طول شــیب (متر)، As: مســاحتقطعه (متر مربع)، α: تندی شیب (درجه) می‌باشند.

C:عامل مدیریت کشت:
عبارت اســت از فرسایش حاصل در زمینی با پوشش گیاهی مشخص نسبت به مقدار فرسایش در شــرایط پوشش و مدیریت کرت استاندارد(Esmaeli وAbdolahi، ۱۳۸۹).در این تحقیق با توجه به وضعیت پوشــش گیاهی، درصد لاشــبرگ و سنگریزه در هرقطعه و زمان بارش، مقدار عاملC برابر با ۰/۲ تعیین شد.

P:عامل شیوه مهارکردن فرسایش:
این عامل تأثیر عملیات حفاظتی مانند جوی تراز، کشت ردیفی و تراس‌بندی را در میزان فرســایش خاک نشان می‌دهد. در صورتی که هیچ‌گونه عملیات حفاظتی صورت نگیرد p=۱، اگر عملیات حفاظتی ســکوبندی انجام شــود p=۰/۵، اگر کشت درروی خطوط ترازصورت گیرد p=۰/۸و درصورت کشت نواری، p=۰/۴ در نظر گرفته می شود (Esmaeli وAbdolahi، ۱۳۸۹). با توجه به عدم انجام هر گونه عملیات حفاظتی در قطعه‌های آزمایشــی این تحقیق این مقدار در تمامی قطعه‌های آزمایشی برابر یک در نظر گرفته شد.

R :عامل فرسایندگی باران:
این عامل تنها عاملی اســت که در روش‌های مختلف مورد بررســی در این تحقیــق با یکدیگر متفاوت بوده و به عبارت دیگر وجه مشــخصه هر یک از معادلات تعیین مقدار فرســایش و رسوب می‌باشــد که از روابط زیر محاسبه می-گردد(صادقی و همکاران، ۱۳۸۷).

رابطه (۵) $$R_{USLE} = \frac{EI_{30}}{100}$$

رابطه(۶) $$R_{MUSLE-S} = 11.8(Q.q_p) * 0.56$$

رابطه(۷) $$R_{AOF} = 0.646 * E + 0.45(Q.q_p) * 0.33$$ رابطه(۸) $$R_{MUSLT} = 2.5(Q.q_p) * 0.5$$ رابطه(۹) $$R_{MUASLE-E} = 1.586(Q.q_p) * 0.56 * (D_A) * 0.12$$ رابطه(۱۰) $$R_{USLE-M} = Q_R.EI_{30}$$

که در این روابط:
Q_R:ضریب رواناب
E: کارمایه جنبشی رگبار (سانتی‌متر بر ساعت)
I_۳۰: حداکثر شدت نیم ساعته بارش(سانتی‌متر بر ساعت)
q_P: آبدهی اوج رواناب (متر مکعب بر ثانیه)
Q:حجم رواناب (متر مکعب)
q_O: آبدهی اوج رواناب (متر مکعب بر ثانیه) و
DA:مساحت منطقه زهکشی(هکتار)،می باشند.

نتایج

برای رســیدن به هدف تحقیق مبنی بر بررسی دقّت و کارایی معادله جهانی فرسایش خاک و برخی از نســخه‌ها آن در برآورد مقدار فرسایش در مقیاس رگبار، ابتدا به بررسی همبســتگی مقادیر رسوب برآوردی هریک از روش‌ها ورسوب مشاهداتی اقدام شد (جدول۲) .

جدول۲- ماتریس همبستگی بین مقادیر رسوب برآوردی نسخه‌ها مختلف معادله جهانی و مقادیر رسوب مشاهداتی

	USLE	MUSLT	MUSLEE	MUSLES	USLEM	AOF	AUSLE	رسوب مشاهداتی
USLE	۱							
MUSLT	۰/۱۱۴	۱						
MUSLEE	۰/۱۱۴	۱/۰۰۰**	۱					
MUSLES	۰/۱۱۴	۱/۰۰۰**	۱/۰۰۰**	۱				
USLEM	۰/۰۰۱	۰/۹۲۰**	۰/۹۲۰**	۰/۹۲۰**	۱			
AOF	-۰/۴۲۰**	-۰/۰۷۱	-۰/۰۷۱	-۰/۰۷۱	۰	۱		
AUSLE	۰/۹۵۴**	۰/۰۲۹	۰/۰۲۹	۰/۰۲۹	-۰/۰۵۳	-۰/۳۷۲**	۱	
رسوب مشاهداتی	۰/۱۲۵	۰/۵۳۹**	۰/۵۳۹**	۰/۵۳۹**	۰/۶۱۲**	-۰/۱۷۸	۰/۰۳۷	۱

**همبستگی در سطح یک درصد

نتایج نشـــانگر آن است که رسوب مشـــاهداتی با مقادیر برآوردی روش‌های USLEM (ضریـــب همبســـتگی۰/۶۱۲) وروش‌هـــای،MUSLE-E MUSLE-Sو MUSLT (با ضریب همبستگی مشترک ۰/۵۳۹) در سطح اطمینان ۹۹ درصد دارای همبستگی معنی‌دار می‌باشد که مؤید منطقی‌تر بودن مدل‌سازی در این مدل‌ها می‌باشد. اما نتایج نسخه‌هاUSLE،AUSLEvii و AOFviii با رســـوب مشاهداتی همبستگی معنی‌دار نداشته واین روش‌ها قادر به برآورد مناسب رسوب نمی‌باشند. این نتایج با تحقیقاتWilliams و Bernd (۱۹۷۷) وSadeghi و همکاران (۱۳۸۷(وSadeghi(۱۳۸۴) در بیان عدم کارایی معادله جهانی فرسایش خاک و برتری مدل‌های اصلاحی نسبت به مدل اصلی همخوانی دارد.

مقایســـه مقادیر رســـوب‌دهی واقعی قطعه‌ها با مقادیر برآورد شـــده هر یک از نســـخه‌ها معادله جهانی فرســـایش خاک مورد بررســـی در این تحقیق از طریق آزمون تحلیل واریانس انجام شـــد. نتایج نشان داد که مقادیر برآوردی روش‌هـــای MUSLE-S،MUSLE-E،MUSLT و USLEMدر ســـطح اطمینان ۹۵ درصد فاقد اختلاف معنی‌دار با مقادیر رسوب مشاهداتی می‌باشـــد، همچنین نتایج روش‌های AUSLE ،USLEوAOF با رسوب مشـــاهداتی اختلاف معنی‌داری دارند و برآوردهای آنها نمی‌تواند در محدوده قابل قبول قرار گیرد.

جدول۳. خلاصه نتایج تجزیه و تحلیل واریانس بین رسوب مشاهداتی و مقادیر رسوب برآوردی نسخه‌ها مختلف

		تفاوت مقایسه ها						
		میانگین	انحراف از معیار استاندارد	میانگین خطای استاندارد	اختلاف در برآورد با سطح اطمینان ۹۵٪		t	درجه آزادی	سطح معنی داری
					پایینحد	حد بالا			
رسوب مشاهداتی	USLE	۴۱/۱۶	۵/۸۹	۰/۷۸	۳۹/۶	۴۲/۷۳	۵۲/۸	۵۶	۰
	MUSLT	-۰/۰۲	۲/۴۵	۰/۳۲	-۰/۶۷	۰/۶۳	-۰/۱	۵۶	۰/۹۵۹
	MUSLE-E	۲/۸۲	۱۳/۹۱	۱/۸۴	-۰/۸۷	۶/۵۱	۱/۵۳	۵۶	۰/۱۳
	MUSLE-S	۴/۷۵	۲۲/۰۴	۲/۹۲	-۱/۱	۱۰/۶	۱/۶۳	۵۶	۰/۱۰۹
	USLE-M	۳۵۲۹۳/۹	۱۸۵۱۲۹/۰۹	۲۴۵۲۰/۹۵	-۱۳۸۲۷/۴۶	۸۴۴۱۵/۳	۱/۴۴	۵۶	۰/۱۵۶
	AOF	۶۳۴۴/۲۶	۴۰۶۰/۷۹	۵۳۷/۸۶	۵۲۶۶/۷۹	۷۴۲۱/۷۳	۱۱/۸	۵۶	۰
	AUSLE	۱۴/۳۱	۲/۹۴	۰/۳۹	۱۳/۵۳	۱۵/۰۹	۳۶/۷	۵۶	۰

برای بررسی و مقایسه کارایی و دقت مدل‌های مورد نظر تحقیق، از ۳ روش ناش-ساتکلیف(ME)، آمارهRRMSE و نسبت رسوب برآوردی به مشاهداتی استفاده شد. در روش ناش و ساتکلیف،کم‌ترین مقدارMEمربوط به روش MUSLTو برابر ۰/۰۱۱ بوده که نشان‌دهنده کارایی نسبی این روش می‌باشد. همچنین مقدار آماره RRMSEمربوط به روش MUSLT نیز کم‌ترین مقدار را در بین نسخه‌ها مورد بررسی داشته است که نشان دهندهٔ توان بیشتر این مدل در برآورد بار رسوب ناشی از رگبارها در منطقه مورد بررسی است. سایر نسخه‌ها مورد بررسی با داشتن مقادیر منفی کارایی(ME) و مقادیر بزرگ آمارهRRMSE و نسبت رسوب برآوردی به رسوب مشاهداتی کارایی لازم را در منطقه تحقیق ندارند(جدول ۵).

جدول۴. مقادیر رسوب مشاهداتی و رسوب برآوردی نسخه‌ها مختلف

ردیف	تاریخ رگبار	رسوب مشاهداتی (گرم در متر مربع)	رسوب برآوردیبه وسیله‌ینسخه‌ها مختلف(گرم در متر مربع)						
			USLE	MUSLT	MUSLE-E	MUSLE-S	USLE-M	AOF	AUSLE
۱	۸۸/۲/۲۲	۱/۵۷۱۴	۴۷/۱۶۳۹	۰/۱۵۷۲	۰/۸۱۲۲	۱/۲۵۹۰	۴۶۴۴/۰۰۵۸	۲۷۲۰/۳۷۴۹	۱۶/۹۰۷۲
۲	۸۸/۱/۳۱	۵/۷۸۱۷	۴۸/۳۲۹۸	۰/۳۰۷۶	۱/۵۸۹۳	۲/۴۶۳۵	۷۶۶۸/۵۰۱۹	۲۲۹۵/۷۲۱۰	۱۷/۳۲۵۱
۳	۸۸/۱/۱۷	۰/۰۷۱۴	۳۷/۹۱۳۶	۰/۰۱۱۵	۰/۰۵۹۲	۰/۰۹۱۸	۱۲۷۰/۱۶۳۲	۱۰۲۰۵/۰۷۶۰	۱۳/۵۹۱۲
۴	۸۸/۱/۱۱	۰/۰۶۷۸	۳۹/۶۴۱۱	۰/۰۰۸۲	۰/۰۴۲۲	۰/۰۶۵۵	۷۱۰/۳۵۷۲	۸۰۰۲/۵۵۰۲	۱۴/۲۱۰۴
۵	۸۸/۱/۵	۰/۳۲۹۹	۴۰/۳۴۸۴	۰/۰۲۲۵	۰/۱۱۶۵	۰/۱۸۰۵	۱۷۷۲/۲۷۹۳	۷۲۴۰/۲۹۸۷	۱۴/۴۶۴۰
۶	۸۷/۱۲/۱۵	۳/۲۳۷۳	۴۰/۹۸۱۱	۶/۴۸۱۲	۳۳/۴۹۱۵	۵۱/۹۱۲۶	۴۶۵۸۹۱/۷۸۰۰	۶۶۱۹/۶۱۰۶	۱۴/۶۹۰۸
۷	۸۷/۱۲/۱۲	۰/۰۷۳۱	۴۰/۳۴۸۴	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۱۳	۰/۰۰۲۰	۱۹/۷۴۸۰	۷۲۴۰/۲۹۴۷	۱۴/۴۶۴۰
۸	۸۷/۱۱/۲۴	۰/۰۰۰۰	۴۰/۹۸۱۱	۰/۰۰۰۹	۰/۰۰۳۱	۰/۰۰۴۹	۱/۳۰۲۸	۸۳/۳۲۰۷	۱۴/۶۹۰۸
۹	۸۷/۲/۱۵	۰/۰۷۸۴	۵۳/۲۵۲۲	۳/۶۲۵۵	۱۸/۷۳۴۸	۲۹/۰۳۹۳	۴۳۸۸۰/۹۶۶۰	۱۱۱۵/۰۳۲۱	۱۹/۰۸۹۷
۱۰	۸۶/۹/۲۹	۰/۰۰۰۰	۳۸/۸۳۹۳	۰/۰۰۰۹	۰/۰۰۳۱	۰/۰۰۴۹	۱/۳۰۲۸	۸۳/۳۲۰۷	۱۳/۹۲۳۰
۱۱	۸۶/۹/۲۶	۰/۱۰۱۷	۳۶/۸۱۸۸	۰/۰۳۱۳	۰/۱۶۱۸	۰/۲۵۰۸	۴۰۴۵/۰۵۶۲	۱۱۸۹۲/۴۶۳۰	۱۳/۱۹۸۷
۱۲	۸۶/۱/۱۰	۰/۲۷۴۰	۴۰/۹۸۱۱	۰/۶۲۴۸	۳/۲۲۸۵	۵/۰۰۴۲	۴۴۹۱۰/۱۶۶۰	۶۶۱۸/۵۵۶۴	۱۴/۶۹۰۸
۱۳	۸۶/۱/۸	۰/۰۴۷۳	۴۱/۹۴۹۵	۰/۰۵۴۶	۰/۲۸۲۴	۰/۴۳۷۷	۳۴۲۲/۲۷۶۲	۵۷۶۵/۸۳۲۸	۱۵/۰۳۷۹
۱۴	۸۶/۱/۳	۰/۲۳۹۳	۴۱/۱۲۹۴	۰/۴۶۳۵	۲/۳۹۵۱	۳/۷۱۲۴	۳۲۶۲۱/۹۱۳۰	۶۴۸۰/۴۶۴۸	۱۴/۷۴۳۹
۱۵	۸۵/۱۲/۲۶	۰/۰۲۳۳	۴۴/۱۶۷۵	۰/۱۴۴۳	۰/۷۴۵۶	۱/۱۵۵۸	۶۵۷۵/۷۸۳۴	۴۱۹۵/۹۳۶۶	۱۵/۸۳۳۰
۱۶	۸۵/۱۲/۸	۰/۳۰۰۰	۳۳/۷۵۱۳	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۱۸۱۶۹/۴۳۱۰	۱۲/۰۹۹۱
۱۷	۸۵/۱۱/۳۰	۰/۰۳۳۰	۴۰/۳۴۸۴	۰/۱۰۰۵	۰/۵۱۹۵	۰/۸۰۵۳	۷۹۰۶/۳۵۹۳	۷۲۴۰/۳۱۲۷	۱۴/۴۶۴۰
۱۸	۸۵/۱۰/۱۱	۰/۶۰۶۰	۴۳/۰۰۱۶	۰/۱۶۸۹	۰/۸۷۲۹	۰/۳۵۳۱	۹۱۰۱/۳۲۴۱	۴۹۶۰/۵۶۹۸	۱۵/۴۱۵۱
۱۹	۸۵/۹/۲۸	۰/۱۶۲۰	۴۳/۸۰۳۴	۰/۵۳۱۴	۲/۷۴۶۱	۴/۲۵۶۵	۲۵۵۱۹/۳۸۲۰	۴۴۲۱/۵۰۴۵	۱۵/۷۰۲۵
۲۰	۸۵/۸/۲۵	۰/۲۳۷۷	۴۲/۵۵۶۶	۰/۱۸۵۲	۰/۹۵۷۲	۱/۴۸۳۶	۱۰۶۳۶/۰۳۸۰	۵۲۸۶/۸۶۸۱	۱۵/۲۵۵۶

جدول ۵. مقادیر RRMSE،ME و نسبت رسوب برآوردی به مشاهداتی

	AUSLE	AOF	USLE-M	MUSLE-S	MUSLE-E	MUSLT	USLE
RRMSE	۷/۹۰۲	۳۸۵۴/۶۹۶	۸۷۲۱۸/۸۴۸	۱۰/۴۷۰	۷/۱۸۰	۴/۲۵۷	۲۰/۳۵۴
ME	-۲/۴۰۵	-۸۱۰۴۴۳/۸۵۹	-۴۱۴۹۱۹۵۴۳/۴۹	-۴/۹۷۹	-۱/۸۱۲	۰/۰۱۱	-۲۱/۵۹۷
رسوب برآوردی به مشاهداتی	۷/۷۰۸	۳۳۴۴/۵۹۷	۱۹۶۶۶/۸۴۶	۲/۶۲۶	۱/۶۹۴	۰/۳۲۸	۲۱/۵۰۳

بحث و نتیجه‌گیری

این پژوهش با هدف بررسی دقت و کارایی معادله جهانی فرسایش خاک و برخی از نسخه‌ها آن در برآورد فرسایش در مقیاس رگبار در مراتع نیمه‌خشک خراسان در شمال شرق ایران انجام شده است. ازآنجا که معادله جهانی فرسایش خاک مقدار فرسایش سالانه شیاری و بین شیاری را در شرایط قطعه‌ی معیاربرآورد می-نماید،استفاده از این مدل و نسخه‌ها مختلف آن دربرآورد مقدار فرسایش در مقیاس رگبار و در شرایط متفاوت منجر به تغییرات وسیع مقادیر برآوردی و به طبع آن عدم تایید کارایی برخی از مدل‌های مورد استفاده در این تحقیق شده است. نتایج تحقیق بیانگر همبستگی معنی‌دار رسوب مشاهداتی با مقادیر برآوردی روش‌های-MUSLE، MUSLE-E، MUSLT،S و USLEM می‌باشد، در نتیجه این روش‌ها می‌توانند روند تغییرات رسوب برآوردی را به خوبی نشان دهند.این نتایج در تحقیق Williams و Bernd (۱۹۷۷) و Shahoee(۱۹۹۲)درتأیید عدم کارایی معادله جهانی فرسایش خاک در برآورد مقدار فرسایش در مقیاس رگبار و تحقیقRiss و همکاران (۱۹۹۳) مبنی بر برآورد بیش از واقعیت معادله جهانی فرسایش خاک وتحقیق Sadeghi و همکاران (۱۳۸۷(در ایستگاه تحقیقات خسبیجان- اراک در مورد همبستگی بالای این روش‌ها با رسوب مشاهداتی همخوانی دارد.

از طرف دیگر بین رسوب مشاهداتی و مقادیر برآوردیروش‌های ،MUSLE-E MUSLT،MUSLE-S وUSLEMاختلاف معنی‌داری وجود ندارد که این مورد می‌تواند بیانگر توانایی مدل‌های مذکور در برآورد مناسب مقدار فرسایش ناشی از رگبار در شرایط تحقیق باشد. این نتایج با نتایجSadeghi و همکاران (۱۳۸۷) در مورد قابلیت مدلMUSLE-E در برآورد صحیح مقادیر فرسایش ناشی از رگبار در کاربری مرتعیهمخوانی دارد. بررسی مقادیر مربوط به آماره RRMSE و کارایی(ME) نشان دهندۀ آن است که فقط روش MUSLT با داشتن مقادیر کوچک‌تر آمارهRRMSE و مقادیر مثبت ME دارای کارایی نسبی بوده و سایر نسخه‌ها برآوردهای غیر منطقی از مقدار رسوب در مقیاس رگبار ارائه می‌نمایند.Kargar (۱۳۹۰) بر کارایی مدلMUSLT و Kinnell وRisse (۱۹۹۸) وKinnell (۲۰۰۱) نیز در تحقیق خود بر برتری مدل‌های اصلاحی نسبت به معادله جهانی فرسایش خاک در برآورد مقدار فرسایش در مقیاس رگبار تأکید داشتند. علتاختلافچشمگیر مقادیر برآوردی برخی از روش‌ها از جمله USLEM و AOFرامی‌توانبه فرآیندمدل‌سازیآنهادرخصوص‌مداخلهعاملروانابو بارندگیدر تبیینمقدارعاملفرسایندگیوهمچنینشرایط تهیهمدل‌هایمذکوردرقالبمطالعاتحوض ه‌ایویا کاربری-هایمشخصنسبتداد.با توجه به ساختار مدل‌های مورد بررسی، مدل‌هایی که در تعیین عامل فرسایندگی(R) از خصوصیات رواناب بخصوص حجم رواناب و آبدهی اوج استفاده نموده‌اند، برآوردهای واقعی‌تری از مقدار رسوب ارائه می‌دهند.این موضوع در تحقیق Williams (۱۹۷۵) وانجمن مهندسین امریکا(۱۹۷۰)مبنی بر معرفی رواناب به عنوان مناسب‌ترین شاخص ارزیابی رسوب ناشی از رگبارها مورد تأیید قرار گرفته است.

منابع

1. Boardman, J., Ligneau, L., De Roo, A.P.J. and Vandaele, K.)1994). Flooding of property by runoff from agricultural land in northwestern Europe. Geomorph, NO, 10. pp:183-196.

2. Clark, R.D. (1980). Erosion condition classification system.Bureau of Land Management, Denver Service Center, Denver, CO. Tech Note 346.

3. Esmaeli, A. and Abdolahi, KH. (2010). Watershed Managment and Soil Conservation. MohagheghArdebili Co. Ardabil.

4. Foster, G.R. and Meyer, L.D. (1977). Soil erosion and sedimentation by water and overview Process. National Symposium on Soil Erosion and Sedimentation by Water.Am.Soc. Of Agric. Eng, Michigan, pp: 1-13.

5. Gholami, L. (2007). Presentation of estimation of sediment production model for Gheshlagh watershed, KordestanProvince, Msc thesis of watershed management .TarbiatModares university.

6. Hashemi, S.A.A., Arabkhedri, M. (2007). Evaluating of EPM model using measurement method in small dam reservoirs.Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources, Vol,11,

McCool, D.K. and Yoder, D.C. (1997). Predicting soil erosion by water: A guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE).United States Department of Agriculture Co.

16. Sadeghi, S.H.R., Mizuyama, T. (2007). Applicability of the modified universal soil loss equation for prediction of sediment yield in Khanmirza watershed, Iran.Hydrological Sciences Journal, Vol, 52, No,5. PP: 1068-1075.

17. Sadeghi, S.H.R., Pour ghasemi, H.R., Mohamadi, M. and Agha razi, H. (2008). Assessment of efficiency of USLE and USLE different versions in storm-wise sediment estimation (khosbijan natural resource Research Site-arak). Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources, Vol,46, No,12. pp: 323-334.

18. Sadeghi, S.H.R., Singh, J.K. and Das, G. (2004). Efficacy of annual soil erosion models for storm-wise sediment prediction. Iran. Intl. Agric. Eng. J, Vol, 13,No,1&2.pp: 1-14.

19. Shahoee, S.S. (1992). Relationship between Factors Associated With The Erosion Rate During a Storm. Selected Papers Of The Third Congress Of SoilSience, Iran.pp: 41-56.

20. Talebbidokhti, N., Shahoei, S., Behnia, A.K., Behbodi, F., Sadeghi, S.H.R., Malek, A. and Sharifi, F. (2003). Special cultural erosion and sediment.national committee erosion and sediment. Iranian National Commission for UNESCO.Press,388p.

21. Williams, J.R. and Berndt, H.D. (1977). Sediment yield prediction based on watershed hydrology. Trans ASAE, Vol, 20,No,6.pp: 1100-1104.

22. Wischmeier, W.H., Smith, D.D. (1978). Predicting rainfall erosion losses - aguide to conservation planning.US Department of Agriculture, Agricultural Handbook 537. USDA Washington DC.

No,42. B. pp: 345-355.

7. Kargar, M. (2013). Comparison of EfficiencyUSLE model and some of its versions in standard plot in Event Based. Msc thesis of watershed management .Islamic Azad University –Nour Branch.

8. Kinnell, P.I.A. (2001). The USLE-M and modeling erosion within cachments.10th International soil Conservation Organization Meeting held, PurdueUniversity and the USDA-ARS National Soil Erosion Research Laboratory. pp:924-928.

9. Kinnell, P.I.A. and Risse, L.M. (1998). USLE-M: Empirical modeling rainfall erosion though runoff and sediment concentration. Soil Sci. Soc. Am. J.,VOL 62.pp: 1667-1672.

10. Miguel, p., Samuel-Rosa, A., SimaoDi-nizDalmolin, R., de ArajoPedron, F., MouraBue-no, J., Balbinot, A. (2011). The USLE model for estimating soil erosion in complex topography areas. Annals XV Brazilian Symposium on Remote Sensing, (SBSR), Brasil.pp: 9227-9230.

11. Morris, G.L., Fan, J. (1998). Reservoir Sedimentation Handbook, McGraw-Hill Book Co. New York.

12. Olivares, B.K., Vargas, D.L., and Silva, O. (2011). Evaluation of the USLE model to estimate water erosion in an Alfisol. J, Soil Sci. Plant Nature, 11 (2). PP: 73 - 86 .

13. Pimental, D., Harvey, C., Resosudarmo, p., Sinclair, K., Kurz, D., McNair ,M., et al. (1995). Environmental costs of soil erosion and conservation benefits. Science, NO. 267.pp: 1117-1123.

14. Pongsai, S., Schmidt, D.V, Rajendra, P., Shrestha, R., Clemente, S. and Eiumnoh, A . (2010). Calibration and validation of the Modified Universal Soil Loss Equation for estimating sediment yield on sloping plots: A case study in Khun Satan catchment of northern Thailand. J .Soil Sci, Vol, 90. pp: 585-596.

15. Renard, K.G., Foster, G.R., Weesies, G.A.,