



شماره ۱۱۴، بهار ۱۳۹۶

پژوهش‌های آبخیزداری

(پژوهش و سازندگی)

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) استادیار گروه 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. در این تحقیق، میزان کارایی معادله جهانی فرسایش خاک و برخی نسخه‌های آن شامل AOF، MUSLT، USLEM، MUSLE-E، MUSLE-S، AUSLE در مقیاس رگبار در مراتع نیمه‌خشک خراسان ارزیابی شد. بدین منظور مقادیر رسوب اندازه‌گیری شده ناشی از ۲۰ مورد رگبار در ۳ قطعه با خصوصیات یکسان، کاربری مرتعی و بدون انجام هیچ‌گونه عملیات حفاظتی با مقادیر برآوردی هر یک از نسخه‌ها بررسی و مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج بیانگر آن است که مقادیر برآوردی چهار روش MUSLT، MUSLE-E، MUSLE-S و USLEM همبستگی معنی‌داری با رسوب مشاهداتی داشته و مدل‌سازی فرسایش در این روش‌ها منطقی‌تر می‌باشد. از بین روش‌ها روش MUSLT دارای کمترین مقدار میانگین نسبی مجذور مربعات خطا ($RRMSE = 4/257$) و بیشترین میانگین کارایی ($ME = 0/11$) بوده و در برآورد مقدار رسوب مشاهداتی در مقیاس رگبار در منطقه مورد تحقیق دارای کارایی نسبی بیشتری می‌باشد. سایر روش‌های مورد بررسی برآوردهای غیرمنطقی از مقدار رسوب ارائه می‌دهند.

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

Assessment of Efficiency 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 Khorasan Razavi 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

نابودی و تخریب خاک بر اثر بارش و عمل آب‌های روان یکی از جدی‌ترین مشکلات زیست محیطی عصر حاضر است. باروند روزافزون فرسایش، مناطق زیادیکه امروزه کشت می‌شوند، در آینده نه چندان دور، ممکن است حاصل-خیزی خود را از دست بدهند. اثرات درون منطقه ایفرسایش بخصوص در اراضی کشاورزی که اتلاف خاک مزرعه، تجزیه ساختمان خاک و کاهش مواد آلی و مغذی منجر به کاهش عمق خاک قابل کشت و کاهش حاصل-خیزی خاک می‌گردد، بعدها ممکن است منجر به متروکه شدن اراضی گردد (Pimental و همکاران، ۱۹۹۵).

مشکلات برون منطقه ایفرسایش نتیجه رسوب گذاری در پایین دست می‌باشد که ظرفیت حمل رودخانه و ظرفیت نگهداری مخازن سدها را کاهش می‌دهد

و خطر سیلاب و جریان گلی را افزایش داده و باعث کوتاه شدن عمر مفید طراحی مخازن می‌گردد (Clark، ۱۹۸۰، De: Boardman, Ligneau, و Roo، ۱۹۹۴). در شرایط نبود اطلاعات و اندازه‌گیری‌های دراز مدت برای منطقه مورد نظر، شاید توسعه و بسط داده‌های کوتاه مدت ثبت شده در دیگر حوزه‌های آبخیز با خصوصیات زهکشی مشابه برای حوزه‌ی مورد نظر امکان‌پذیر باشد. از آنجا که مدل USLE و نسخه‌های مختلف آن برای شرایط خاک‌های ایالات متحده توسعه یافته‌اند، استفاده از آنها در مناطقی غیر از ایالات متحده ممکن است منجر به اشتباهات بزرگی گردد، مگر اینکه مقادیر توسعه داده شده برای ایالات متحده برای شرایط سایر مناطق تطبیق داده شده و با مطالعات میدانی تأیید گردد (Morris و Fan، ۱۹۹۸).

آبخیزی با مساحت ۱۸۹۵ هکتار واقع در جنوب برزیلاز معادله جهانی فرسایش خاک استفاده کرده و بیان نمودند که عامل‌های پستی و بلندی، پوشش گیاهی، بارش و فرسایش‌پذیری خاک به ترتیب عامل‌های اصلی مهار کردن کننده توان فرسایش خاک هستند و بیش‌ترین تلفات خاک در مناطقی که در آن افزایش طول دامنه توأم با افزایش درجه شیب است، دیده می‌شود. نتایج این مطالعه و اطلاعات موجود از مطالعات قبلی نشان داد که پیش‌بینی تلفات خاک با معادله جهانی فرسایش خاک در حوزه‌های آبخیز کوچک دارای محدودیت است.

از آنجا که معادله جهانی فرسایش خاک یک مدل تجربی توسعه یافته در خارج از ایران می باشد، در این تحقیق سعی شد میزان دقت این معادله در برآورد فرسایش خاک در مقیاس رگبار در مناطق نیمه خشک شمال شرق کشور 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 آزمایشی پایگاه تحقیقات حفاظت خاک سنگانه مشهد واقع در استان خراسان رضوی در شمال شرق ایران صورت پذیرفت (شکل ۱). ارتفاع متوسط منطقه از سطح دریا حدود ۷۰۰ متر و متوسط بارندگی سالیانه ۲۵۷ میلی‌متر می‌باشد.

روش تحقیق

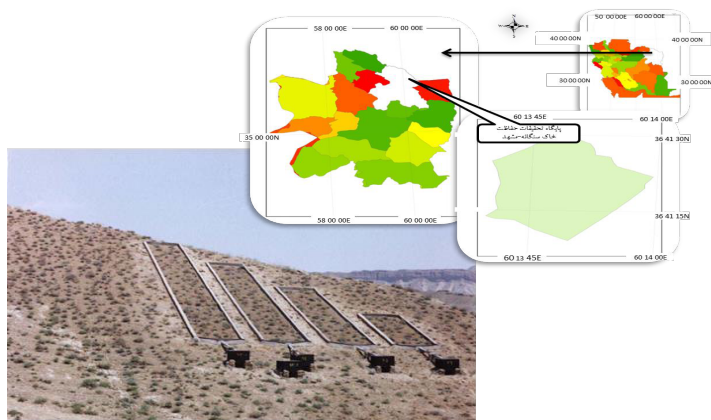
در این بررسی مقدار فرسایش خاک در هر قطعه با استفاده از حجم و غلظت رواناب تولیدی هر قطعه که بعد از هر بار وقوع بارندگی ثبت شده بودند، برآورد گردید. اندازه‌گیری و نمونه‌برداری از رواناب و رسوب قطعه‌ها یا حداث شده در داخل عرصه، از سال ۱۳۸۵ و با استفاده از نیروی آموزش دیده آغاز شد، به نحوی که پس از هر نوبت بارندگی ارتفاع رواناب جمع‌آوری شده در مخزن هر قطعه به وسیله‌ی خط‌کش معیار اندازه‌گیری و سپس حجم رواناب بر حسب متر مکعب و غلظت هر نمونه نیز بر حسب میلی‌گرم در لیتر اندازه‌گیری و ثبت شده است. در این پژوهش از میان کلیه داده‌های ثبت شده، تعداد ۲۰ مورد بارش مناسب که منجر به تولید رواناب و رسوب شده بودند، انتخاب گردید.

در این زمینه Sadeghi, Pour ghasemi, Mohamadi و Agharazi (۱۳۸۷) میزان کارایی معادله جهانی فرسایش خاک و برخی نسخه‌ها آن را در قطعه‌ی معیار در تیمارهای دیم، شخم رها شده و مرتع در مقیاس رگبار در ایستگاه منابع طبیعی خسیبجان 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 رسوب ناشی از رگبارها در تیمارهای مورد مقایسه کارایی نداشته‌اند.

Kargar (۱۳۹۰) به بررسی کارایی معادله جهانی فرسایش خاک و برخی از نسخه‌ها آن در رسوب تولیدی رخدادهای بارشی در کرت‌های معیار در حوزه‌ی آبخیز جاشلو بار سمنان پرداخته و بیان کرد که نتایج ۳ مدل MUSLE-S، MUSLE-E و MUSLT برای تخمین رسوب 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 مقایسه روش‌های USLE و USLE-M در برآورد مقدار فرسایش در زیر حوضه‌های حوزه‌ی آبخیز Rocky Creek در کویزلند استرالیا به این نتیجه رسید که به دلیل لحاظ کردن رواناب بالادست منطقه در مدل اصلاحی USLE-M این مدل بر مدل USLE برتری دارد. Sadeghi و Mizuyama (۲۰۰۷) معادله جهانی فرسایش خاک اصلاح شده را برای برآورد بار رسوب حوزه‌ی آبخیز خان میرزا در غرب ایران به کار بردند. مقایسه مقادیر برآوردی با مقادیر اندازه‌گیری شده نشان داد که این مدل قابلیت مناسبی در برآورد بار رسوب در حوزه‌ی مورد نظر دارد و بین میانگین برآوردها با مقادیر اندازه‌گیری شده در منطقه مورد مطالعه تفاوت معنی‌داری وجود ندارد. Silva و Olivares, Vargas (۲۰۱۱) قابلیت معادله جهانی فرسایش خاک در برآورد فرسایش خاک‌های آلفی سول واقع در San Pedro در کشور هندوراس را با استفاده از اندازه‌گیری مقادیر رسوب ناشی از رگبارها در قطعه‌های آزمایشی در ۳ تیمار مرتع طبیعی، خاک شخم خورده و دیم و مقایسه آنها با مقادیر برآوردی فرسایش مورد ارزیابی قرار داده و در نهایت این گونه نتیجه‌گیری کردند که مقادیر برآوردی مدل USLE دارای ارتباط آماری مناسب با مقادیر مشاهداتی بوده ولی برآوردها معمولاً کم‌تر از واقعیت می‌باشند.

Miguel و همکاران (۲۰۱۱) برای پیش‌بینی فرسایش خاک حوزه‌ی



شکل ۱. موقعیت پایگاه تحقیقات حفاظت خاک سنگانه - مشهد

رسوب مشاهده‌ای، Q_i مقدار رسوب مشاهده‌ای و P_i 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 نشان‌دهنده عدم کفایت مدل هستند.

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

$RRMSE$ یا میانگین نسبی مجذور مربعات خطا که در آن P_i : مقدار برآوردی، Q_i : 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.

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 از ماتریس همبستگی و آزمون تحلیل واریانس در محیط نرم افزارهای SPSS و EXCEL مقایسه شد.

برای بررسی دقت 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، Q_{mean} میانگین مقادیر

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

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

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 (Talebbidokhti و همکاران، 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، درصد شن، ماده آلی، ردیف ساختمان خاک و نفوذپذیری خاک، مقادیر K با توجه به نمودار

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 است (Wishmeier و Smith، ۱۹۶۵)، معادله جهانی فرسایش خاک را بر مبنای داده‌های مربوط به تعداد زیادی قطعه‌آزمایشی در شرایط شرق و مرکز ایالات متحده تنظیم کرده‌اند ولی معادله جهانی فرسایش خاک توسعه یافته و در سرتاسر جهان مورد استفاده قرار گرفته است (Morris و Fan، ۱۹۹۸).

$$A = R \times K \times LS \times C \times P \quad \text{رابطه (۱)}$$

و Abdolahi (۱۳۸۹). در این تحقیق با توجه به وضعیت پوشش گیاهی، درصد لاشبرگ و سنگریزه در هر قطعه و زمان بارش، مقدار عامل C برابر با ۰/۲ تعیین شد.

P: عامل شیوه مهار کردن فرسایش:

این عامل تأثیر عملیات حفاظتی مانند جوی تراز، کشت ردیفی و تراس بندی را در میزان فرسایش خاک نشان می دهد. در صورتی که هیچ گونه عملیات حفاظتی صورت نگیرد $P=1$ ، اگر عملیات حفاظتی سکوبندی انجام شود $P=0.5$ ، اگر کشت درروی خطوط تراز صورت گیرد $P=0.8$ و در صورت کشت نواری، $P=0.4$ در نظر گرفته می شود (Abdolahi و Esmali، ۱۳۸۹). با توجه به عدم انجام هر گونه عملیات حفاظتی در قطعه های آزمایشی این تحقیق این مقدار در تمامی قطعه های آزمایشی برابر یک در نظر گرفته شد.

R: عامل فرساینده گی باران:

این عامل تنها عاملی است که در روش های مختلف مورد بررسی در این تحقیق با یکدیگر متفاوت بوده و به عبارت دیگر وجه مشخصه هر یک از معادلات تعیین مقدار فرسایش و رسوب می باشد که از روابط زیر محاسبه می گردد (صادقی و همکاران، ۱۳۸۷).

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

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

$$R_{AOF} = 0.646 * E + 0.45(Q \cdot q_p) * 0.33 \text{ رابطه (۷)} \quad R_{MUSLT} = 2.5(Q \cdot q_p) * 0.5 \text{ رابطه (۸)}$$

$$R_{USLE-M} = Q_R \cdot EI_{30} \text{ رابطه (۱۰)} \quad R_{USLE-M} = Q_R \cdot EI_{30} * 0.12 \text{ رابطه (۹)}$$

نتایج

برای رسیدن به هدف تحقیق مبنی بر بررسی دقت و کارایی معادله جهانی فرسایش خاک و برخی از نسخه ها آن در برآورد مقدار فرسایش در مقیاس رگبار، ابتدا به بررسی همبستگی مقادیر رسوب برآوردی هریک از روش ها و رسوب مشاهداتی اقدام شد (جدول ۲).

Smith و Wishmeir (۱۹۷۸) تعیین گردید.

LS: (عامل پستی و بلندی): در تمامی نسخه ها مورد بررسی معادله جهانی فرسایش خاک به جزء روش AUSLE از طریق رابطه زیر تعیین می گردد (صادقی و همکاران، ۱۳۸۷):

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

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

و در روش AUSLE

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

که در آنها: λ : طول شیب (متر)، As : مساحت قطعه (متر مربع)، α : تندی شیب (درجه) می باشند.

C: عامل مدیریت کشت:

عبارت است از فرسایش حاصل در زمینی با پوشش گیاهی مشخص نسبت به مقدار فرسایش در شرایط پوشش و مدیریت کرت استاندارد (Esmali

که در این روابط:

Q_R : ضریب رواناب

E: کارمایه جنبشی رگبار (سانتی متر بر ساعت)

I_{30} : حداکثر شدت نیم ساعته بارش (سانتی متر بر ساعت)

P: آبدهی اوج رواناب (متر مکعب بر ثانیه)

Q: حجم رواناب (متر مکعب)

Q_{30} : آبدهی اوج رواناب (متر مکعب بر ثانیه) و

DA: مساحت منطقه زهکشی (هکتار) می باشند.

جدول ۲- ماتریس همبستگی بین مقادیر رسوب برآوردی نسخه‌ها مختلف معادله جهانی و مقادیر رسوب مشاهداتی

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

** همبستگی در سطح یک درصد

نسبت به مدل اصلی همخوانی دارد. مقایسه مقادیر رسوب‌دهی واقعی قطعه‌ها با مقادیر برآورد شده هر یک از نسخه‌ها معادله جهانی فرسایش خاک مورد بررسی در این تحقیق از طریق آزمون تحلیل واریانس انجام شد. نتایج نشان داد که مقادیر برآوردی روش‌های MUSLE-S، MUSLE-E، MUSLT و USLEM در سطح اطمینان ۹۵ درصد فاقد اختلاف معنی‌دار با مقادیر رسوب مشاهداتی می‌باشد، همچنین نتایج روش‌های AUSLE، USLE و AOF با رسوب مشاهداتی اختلاف معنی‌داری دارند و برآوردهای آنها نمی‌تواند در محدوده قابل قبول قرار گیرد.

نتایج نشانگر آن است که رسوب مشاهداتی با مقادیر برآوردی روش‌های USLEM (ضریب همبستگی ۰/۶۱۲) و روش‌های MUSLE-E، MUSLE-S و 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 نسخه‌ها AUSLE، USLE و AOFviii با رسوب مشاهداتی همبستگی معنی‌دار نداشته و این روش‌ها قادر به برآورد مناسب رسوب نمی‌باشند. این نتایج با تحقیقات Williams و Bernd (۱۹۷۷) و Sadeghi و همکاران (۱۳۸۷) و Sadeghi (۱۳۸۴) در بیان عدم کارایی معادله جهانی فرسایش خاک و برتری مدل‌های اصلاحی

جدول ۳. خلاصه نتایج تجزیه و تحلیل واریانس بین رسوب مشاهداتی و مقادیر رسوب برآوردی نسخه‌ها مختلف

سطح معنی‌داری	درجه آزادی	f	تفاوت مقایسه‌ها					
			اختلاف در برآورد با سطح اطمینان ۹۵٪		میانگین خطای استاندارد	انحراف از معیار استاندارد	میانگین	
			پایینحد	حد بالا				
۰	۵۶	۵۲/۸	۴۲/۷۳	۳۹/۶	۰/۷۸	۵/۸۹	۴۱/۱۶	USLE
۰/۹۵۹	۵۶	-۰/۱	۰/۶۳	-۰/۶۷	۰/۳۲	۲/۴۵	-۰/۰۲	MUSLT
۰/۱۳	۵۶	۱/۵۳	۶/۵۱	-۰/۸۷	۱/۸۴	۱۳/۹۱	۲/۸۲	MUSLE-E
۰/۱۰۹	۵۶	۱/۶۳	۱۰/۶	-۱/۱	۲/۹۲	۲۲/۰۴	۴/۷۵	MUSLE-S
۰/۱۵۶	۵۶	۱/۴۴	۸۴۴۱۵/۳	-۱۳۱۲۷/۴۶	۲۴۵۲۰/۹۵	۱۸۵۱۲۹/۰۹	۳۵۲۹۳/۹	USLE-M
۰	۵۶	۱۱/۸	۷۴۲۱/۷۳	۵۲۶۶/۷۹	۵۳۷/۸۶	۴۰۶۰/۷۹	۶۳۴۴/۲۶	AOF
۰	۵۶	۳۶/۷	۱۵/۰۹	۱۳/۵۳	۰/۳۹	۲/۹۴	۱۴/۳۱	AUSLE

نیز کم‌ترین مقدار را در بین نسخه‌ها مورد بررسی داشته است که نشان دهنده 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 آماره RRMSE و نسبت رسوب برآوردی به رسوب مشاهداتی کارایی لازم را در منطقه تحقیق ندارند (جدول ۵).

برای بررسی و مقایسه کارایی و دقت مدل‌های مورد نظر تحقیق، از روش ناش-ساتکلیف (ME)، آماره RRMSE و نسبت رسوب برآوردی به مشاهداتی استفاده شد. در روش ناش و ساتکلیف، کم‌ترین مقدار ME مربوط به روش MUSLT و برابر ۰/۰۱۱ بوده که نشان دهنده کارایی نسبی این روش می‌باشد. همچنین مقدار آماره RRMSE مربوط به روش MUSLT

جدول ۴. مقادیر رسوب مشاهداتی و رسوب برآوردی نسخه‌ها مختلف

رسوب برآوردی و سیله‌پس‌نسخه‌ها مختلف (گرم در متر مربع)									
ردیف	تاریخ رگبار	رسوب مشاهداتی (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	۸۰۲۰۲/۵۵۰۲	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	۷۲۴۰/۲۹۶۷	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	۴۳۸۰/۹۶۶۰	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	۰/۰۶۰۰	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

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

تیین مقدار عامل فرسایش گیوه همچنین شرایط تهیه مدل‌ها بر مبنای کوردر قالمطالع‌اتحوض هابویا کاربری-های مشخص نسبتاً با توجه به ساختار مدل‌های مورد بررسی، مدل‌هایی که در تعیین عامل فرسایش (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 مهندسی امریکا (۱۹۷۰) مبنی بر معرفی رواناب به عنوان مناسب‌ترین شاخص ارزیابی رسوب ناشی از رگبارها مورد تأیید قرار گرفته است.

منابع

- 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.
- Clark, R.D. (1980). Erosion condition classification system. Bureau of Land Management, Denver Service Center, Denver, CO. Tech Note 346.
- Esmali, A. and Abdolahi, KH. (2010). Watershed Management and Soil Conservation. Mohaghegh Ardebili Co. Ardabil.
- 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.
- Gholami, L. (2007). Presentation of estimation of sediment production model for Gheshlagh watershed, Kordestan Province, Msc thesis of watershed management. Tarbiat Modares university.
- 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,

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. از آنجا که معادله جهانی فرسایش خاک مقدار فرسایش سالانه شیباری و بین شیباری را در شرایط قطعه‌ی معیار برآورد می‌نماید، استفاده از این مدل و نسخه‌ها مختلف آن در برآورد مقدار فرسایش در مقیاس رگبار و در شرایط متفاوت منجر به تغییرات وسیع مقادیر برآوردی و به طبع آن عدم تأیید کارایی برخی از مدل‌های مورد استفاده در این تحقیق شده است. نتایج تحقیق بیانگر همبستگی معنی‌دار رسوب مشاهداتی با مقادیر برآوردی روش‌های MUSLE-E، MUSLE-S، MUSLT 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 Shahoe (۱۹۹۲) در تأیید عدم کارایی معادله جهانی فرسایش خاک در برآورد مقدار فرسایش در مقیاس رگبار و تحقیق Riss و همکاران (۱۹۹۳) مبنی بر برآورد بیش از واقعیت معادله جهانی فرسایش خاک و تحقیق Sadeghi و همکاران (۱۳۸۷) در ایستگاه تحقیقات خسیجان- اراک در مورد همبستگی بالای این روش‌ها با رسوب مشاهداتی همخوانی دارد.

از طرف دیگر بین رسوب مشاهداتی و مقادیر برآوردی روش‌های MUSLE-E، MUSLE-S، MUSLT و USLEM اختلاف 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 نتایج Sadeghi و همکاران (۱۳۸۷) در مورد قابلیت مدل MUSLE-E در برآورد صحیح مقادیر فرسایش ناشی از رگبار در کاربری مرتعی همخوانی دارد. بررسی مقادیر مربوط به آماره RRMSE و کارایی (ME) نشان دهنده آن است که فقط روش MUSLT با داشتن مقادیر کوچک‌تر آماره RRMSE 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 مدل MUSLT و Kinnell و Risse (۱۹۹۸) و Kinnell (۲۰۰۱) نیز در تحقیق خود بر برتری مدل‌های اصلاحی نسبت به معادله جهانی فرسایش خاک در برآورد مقدار فرسایش در مقیاس رگبار تأکید داشتند. علت اختلاف چشمگیر مقادیر برآوردی برخی از روش‌ها از جمله USLEM و AOF را می‌توان به فرآیند مدل‌سازی آنها در خصوص مداخله عامل رواناب و بارندگی‌د

- 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. Shahoe, S.S. (1992). Relationship between Factors Associated With The Erosion Rate During a Storm. *Selected Papers Of The Third Congress Of Soil Science*, 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 - a guide 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 Efficiency USLE 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 catchments. 10th International soil Conservation Organization Meeting held, Purdue University 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 through runoff and sediment concentration. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, VOL 62. pp: 1667-1672.
10. Miguel, p., Samuel-Rosa, A., SimaoDinizDalmolin, R., de ArajoPedron, F., MouraBueno, 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.,