

Potential Erosion Assessment of Mahidasht Basin using SLEMSA Model

Tayyebeh Kiani ^{1*}, Farideh Safakish ², Monireh Lotfi ³

¹ PhD Student of Geomorphology, Faculty of Geography and Planning, University of Isfahan, Isfahan, Iran

² Ph.D. Student of Geomorphology, Faculty of Geosciences, Kharazmi University, Tehran, Iran

³ Graduate Student of Geomorphology, Faculty of Geography and Planning, University of Isfahan, Isfahan, Iran

Abstract

Considering the importance of erosion and the lack of erosion and sedimentation stations in the region, using a model that has the ability to estimate erosion and sedimentation at certain times and places seems to be necessary. So, in this study, the experimental models of SLEMSA and GIS have been used to investigate the efficacy of these models, to simulate and estimate soil losses, and to identify areas susceptible to erosion in the northern part of Mahidasht basin of Kermanshah and its effective factors with an area of 81400 hectares. For this purpose, maps and values of the main parameters needed for the SLEMSA model, including topographic data, rainfall erosion and soil erosion, as well as atmospheric temperature, rainfall, vegetation, and geology maps were prepared. The results show that the topographic factor (slope and slope length) has the most effect on the erosion of the Mahidasht basin. The total amount of erosion in the studied area is estimated at 2494910 tons per year and the erosion value per hectare is estimated at 30.65 tons per year.

Key words: SLEMSA, Soil Conservation, Erosion, Mahidasht, GIS.

ارزیابی پتانسیل‌های فرسایشی حوضه ماهیدشت با استفاده از مدل اسلمسا

طیبه کیانی^{*}: دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشکده علوم جغرافیایی و برنامه‌ریزی، دانشگاه اصفهان، ایران
فریده صفاکیش: دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران
منیره لطفی: دانشجوی کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی، دانشکده علوم جغرافیایی و برنامه‌ریزی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

وصول: ۱۳۹۳/۰۸/۱۹ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۵/۲۷، صص ۶۸-۵۵

چکیده

با توجه به اهمیت مسئله فرسایش و نبود ایستگاه‌های اندازه‌گیری فرسایش و رسوب در منطقه ماهیدشت، استفاده از مدلی که توانایی برآورد فرسایش و رسوب را در زمان‌ها و مکان‌های معین داشته باشد، ضروری به نظر می‌رسد؛ بنابراین در این پژوهش از مدل تجربی اسلمسا^۱ و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) با هدف بررسی کارایی این مدل در شبیه‌سازی و برآورد تلفات خاک و شناسایی نواحی حساس به فرسایش حوضه ماهیدشت استان کرمانشاه با مساحت ۸۱۴۰۰ هکتار استفاده شده است. نتایج نشان داد عامل توپوگرافی (شیب و طول دامنه) بیشترین تأثیر را در ایجاد فرسایش حوضه ماهیدشت داشته است. مقدار کل فرسایش در منطقه مطالعاتی برابر با ۲۴۹۴۹۱۰ تن در سال و مقدار فرسایش برای هر هکتار در سال ۳۰/۶۵ تن برآورد شد.

واژه‌های کلیدی: اسلمسا، حفاظت از خاک، فرسایش، ماهیدشت، GIS.

^۱ SLEMSA

مقدمه

منتهی می‌شود که مستقیم و غیرمستقیم بر کیفیت و آلودگی آب اثر می‌گذارد (Park et al, 2011: 263). از سوی دیگر با توجه به تغییرات جهانی و فعالیت‌های انسانی پیش‌بینی می‌شود فرایند فرسایش خاک افزایش یابد (Zhou et al, 2013: 371). بنا بر آمار و اطلاعات موجود، قاره آسیا بیش از هر قاره دیگری مشکل فرسایش دارد (Dregne, 1992: 8). ایران نیز از این قاعده مستثنی نیست؛ زیرا آمار موجود نشان می‌دهد ۵۹ درصد از ۱۷ حوضه از حوضه‌های مطالعه‌شده در ایران به شدت تخریب شده است (ژاله، ۱۳۸۵: ۱)؛ از جمله حوضه‌های آبریز حاشیه کوه‌های زاگرس که از مهم‌ترین عوامل تشدید فرسایش و تخریب آنها تغییر کاربری زمین، پوشش ضعیف گیاهی و سازندهای حساس به فرسایش مثل مارن و شیل‌اند که سالیانه باعث تولید میلیون‌ها تن رسوب می‌شوند (Tangestani, 2006: 585)؛ بنابراین از آنجا که تخمین مقدار فرسایش، ابزاری برای شناخت مناطق حساس و تدوین برنامه‌های عملی حفاظت از آب و خاک است، شناخت عوامل تأثیرگذار بر روی آن در هر منطقه امری ضروری به شمار می‌آید (Pimentel et al, 1995: 1117)؛ با توجه به اینکه فرسایش خاک موجب فقیر شدن خاک، متروک شدن زمین‌های کشاورزی، رسوب‌گذاری در آبراهه‌ها، مخازن سدها و بندرها و کاهش ظرفیت آبرگیری آنها می‌شود (صالحی و همکاران، ۱۳۹۰: ۲).

پیشینه پژوهش

پژوهشگران در سراسر جهان از دیرباز در پی این بوده‌اند که با بهره‌گیری از روش‌های مختلف میزان فرسایش را در زمین‌ها محاسبه کنند. محاسبه میزان فرسایش در یک حوضه آبریز در صورت موجود بودن آمار کافی از دبی و رسوب با به‌کارگیری روش‌های

خاک از مهم‌ترین منابع طبیعی هر کشور محسوب می‌شود. بشر طی تاریخ تکاملی خود همواره از آن به‌منزله بستری برای تأمین نیازهایش بهره برده است تا ادامه حیات خود را تضمین کند. یکی از عواملی که سبب نابودی بسیاری از زمین‌های حاصلخیز کشاورزی و تبدیل آنها به مکان‌های غیرقابل کشت می‌شود، پدیده «فرسایش خاک» است (صالحی و همکاران، ۱۳۹۰: ۱)؛ فرسایش، فرایندی پیچیده و یک خطر ژئومورفولوژیکی بالقوه است (سرطان زمین) که مقدار آن، شاخصی جامع برای ارزیابی درجه توسعه برنامه‌های مدیریت کشورها به شمار می‌آید (Ownegh et al, 2004: 1). در واقع هنگامی که زمین با پوشش گیاهی و دیگر عوامل پوشش‌دهنده خاک محافظت نشده باشد، رواناب‌های سطحی به فرسایش آبی در آن منجر می‌شوند (Vrieling, 2014: 33).

فرسایش خاک امروزه یکی از مهم‌ترین چالش‌های زیست‌محیطی (Ekwue, 2009: 236) و از عوامل تهدیدکننده آن به شمار می‌رود که پیامدهای زیست‌محیطی و اقتصادی متعددی به همراه دارد (Lacoste, 2014: 344 & 2009: 78 Chartier). در واقع چالشی جهانی است که به‌طور جدی منابع آب و خاک را تهدید می‌کند (Deng, 2008: 54) و پیامدهای ناخواسته آن، از بزرگ‌ترین مشکلات امروزی زیست‌بوم‌های مختلف تلقی می‌شود (صادقی، ۱۳۸۹: ۴۹)؛ زیرا به کاهش کیفیت خاک و زیست‌توده (Wang, 2014: 7)، از دست رفتن مواد غذایی خاک و ۷۵-۸۰ درصد کربن و انتشار آن در جو (Morgan, 2009: 1) می‌انجامد. همه این عوامل به زیان‌های کشاورزی، بیابان‌زایی، آلودگی آب و افزایش رسوب در مخازن

شمالی منطقه تشخیص دادند و اصلی‌ترین عامل فرسایش را در کانون‌های پرخطر، انرژی جنبشی باران و سپس شیب زمین و پوشش گیاهی عنوان کردند و نشان دادند مقدار متوسط فرسایش ۰/۱۹ تن در هکتار است که نسبت به میزان متوسط فرسایش کشور کم است.

اهمیت و هدف پژوهش

بر این اساس جلوگیری از فرسایش خاک، هدف مهمی در مدیریت و حفاظت از منابع طبیعی به شمار می‌رود (Hudson, 1995: 11 & Agassi, 1996: 25) و ما را به این مسئله رهنمون می‌کند که ارزیابی فرسایش خاک، جزء کلیدی در مدیریت یکپارچه حوضه آبریز تلقی می‌شود (Bussi, 2014: i)؛ بدین سبب با توجه به اهمیت مسئله فرسایش خاک، این پژوهش با هدف بررسی کارایی مدل فرسایشی اسلمسا در حوضه ماهیدشت انجام شده است.

روش پژوهش

مدل‌های تجربی اسلمسا

مدل‌های فرسایش، ابزارهای پیش‌بینی برای فرسایش و فرایندها و آثار آنهاست. مدل‌های تجربی بر مبنای مشاهدات پایه‌گذاری شده‌اند و به‌طور معمول آماری‌اند. این مدل‌ها بیشتر برای پیش‌بینی متوسط فرسایش به کار می‌روند و بعضی از آنها برای پیش‌بینی رسوب هم استفاده می‌شوند. این مدل‌ها تقریباً همانند مدل‌های جعبه سفیدند (صالحی و همکاران، ۱۳۹۰: ۴۲). مدل SLEMSA (soil loos Estimation model) (For Southern Africa)، یکی از مدل‌های تجربی است. این مدل را ال ول^۳ (۱۹۷۸) برای نواحی جنوبی آفریقا

آماري امکان‌پذیر است؛ ولی نبود یا کمبود داده‌ها در زمینه فرسایش خاک و تولید رسوب در بسیاری از حوضه‌های کشور، کاربرد روش‌های تجربی را برای برآورد فرسایش خاک الزامی می‌کند (خدابخش، ۱۳۸۸: ۵۱)؛ زیرا با توجه به آثار جانبی مرتبط با آن، مدل‌سازی برآورد میزان فرسایش، گامی مهم در ارزیابی آن است (Mullan, 2013: 7). بر این اساس روش‌های مختلفی از جمله مدل‌های فیزیکی و روابط تجربی برای رسیدن به این هدف ابداع و در نقاط مختلف جهان به بوتۀ آزمایش گذاشته شده‌اند که هریک محاسن و معایبی دارند (اسدی و همکاران، ۱۳۹۰: ۹۵). مدل تجربی اسلمسا با توجه به سادگی و نیاز اطلاعاتی کم در پژوهش‌های داخل و خارج از کشور به کار گرفته شده است؛ از جمله آیگیو^۱ (۲۰۰۲) کیفیت خطر فرسایش آبی را در دشت بنین با استفاده از دو مدل اسلمسا و USLE ارزیابی کرده و نتیجه گرفته است مدل اسلمسا به دلیل تشابه نتایج آن با نتایج طرح‌های صورت‌گرفته، انطباق بهتری با شرایط گرمسیری دارد.

ورین^۲ (۲۰۰۳) در مقاله‌ای سه مدل USLE/ RUSLE/ SLEMSA را بررسی کرده و به اهمیت انتخاب مدل براساس اثبات کیفیت آن معتقد است.

گندمکار و همکاران (۱۳۸۷) با بهره‌گیری از مدل اسلمسا میزان خطر فرسایش را در حوضه آبریز موسی‌آباد تیران محاسبه کردند و در پایان دریافتند این منطقه با مقدار حداکثر ۷۰۷ تن در هکتار در زمره مناطق با میزان فرسایشی زیاد قرار می‌گیرد.

انتظاری و همکاران (۱۳۹۱) با بهره‌گیری از مدل اسلمسا در منطقه دستکن، پنج کانون فرسایش را در نیمه

¹ Igue

² vorin

³ El Well

ارائه کرد که در آن فرسایش خاک تابع سیستم‌های فیزیکی نظیر اقلیم، خاک، پوشش گیاهی و توپوگرافی است (رابطه ۱).

$$z = k.x.c \quad \text{رابطه (۱)}$$

در این رابطه Z میانگین سالیانه هدررفت خاک (تن در هکتار در سال)، X توپوگرافی، K عامل فرساینده و قابلیت فرسودگی خاک و C زراعت است. عوامل متغیرهای این مدل در جدول (۱) دیده می‌شود.

ارائه کرد که در واقع اصلاحی بر مدل USLE و به‌منظور سازگار کردن آن با شرایط آگرواقلیمی جنوب آفریقا صورت گرفته است (انتظاری و حیدری، ۱۳۹۳: ۳). این روش ضمن تلفیق داده‌ای اساسی و ساده با یکدیگر، بر پاره‌ای روابط مهم محیطی به‌ویژه روابط پوشش گیاهی، ریزش باران و فرساینده تأکید دارد. در واقع این مدل پتانسیل‌های بالقوه مطلوبی دارد و ما را قادر می‌سازد برای تصحیح ضعف‌های روش‌های دیگر ارزیابی خطرات فرسایشی اقدام کنیم (رامشت و شاهزیدی، ۱۳۹۰: ۵۴)؛ بنابراین ال ول مدل جدیدی

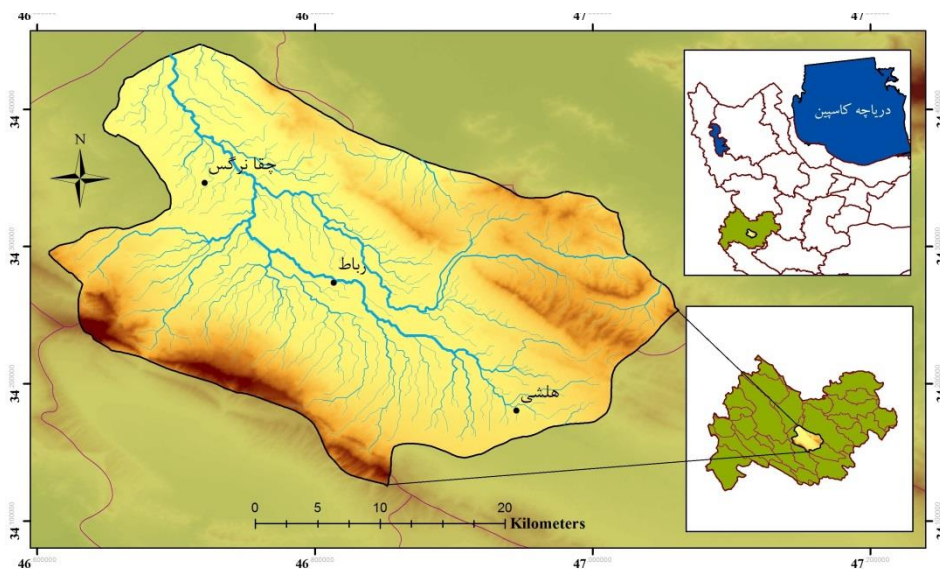
جدول ۱. عوامل و متغیرهای مؤثر در ارزیابی خطرات فرسایشی

عامل	متغیر	واحد	روش اندازه‌گیری
پستی و بلندی	شیب متوسط	درصد	ونت ورث
بارندگی	انرژی جنبشی	ژول به متر	با استفاده از باران‌نگار
پوشش گیاهی	پوشش گیاهی	درصد	با توجه به اطلاعات نوع کشت و بهره‌برداری زمین
خاک	شاخص قابلیت فرسودگی	درصد	این شاخص برحسب شرایط محلی و نوع مدیریت اعمالی در اراضی محاسبه می‌شود.

است. مساحت حوضه برابر با ۸۱۴ کیلومتر مربع است و از ۳۴/۱۲ تا ۳۴/۴۴ درجه شمالی و از ۴۶/۵۹ تا ۴۷/۰۶ درجه شرقی گسترده شده است (شکل ۱).

موقعیت جغرافیایی محدوده پژوهش

محدوده انتخاب‌شده حوضه ماهیدشت در مرکز استان کرمانشاه واقع شده و از زیرحوضه‌های کرخه



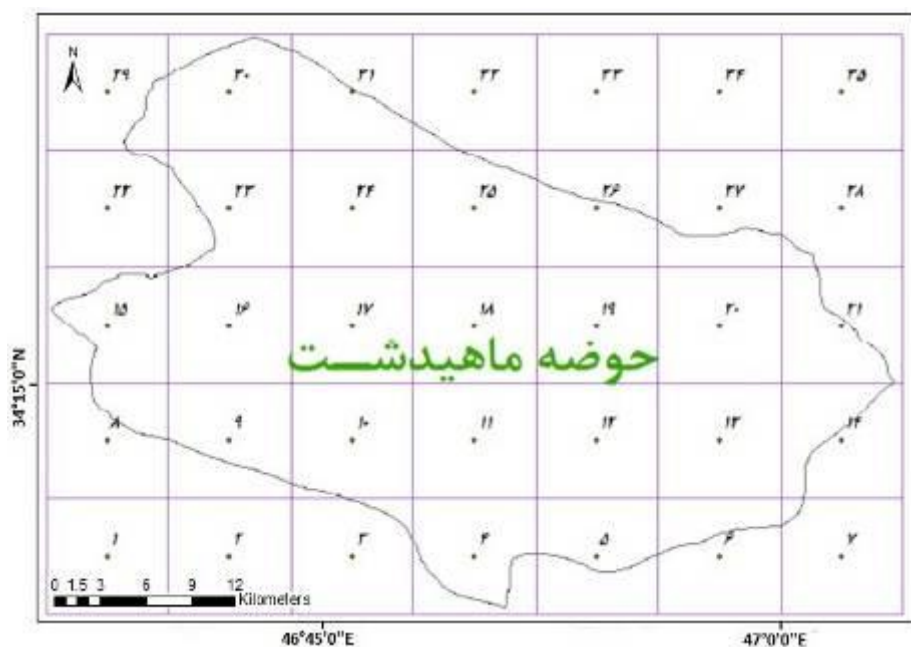
شکل ۱. موقعیت محدوده پژوهش

یافته‌های پژوهش

ایجاد شبکه بر حوضه پژوهشی

در مدل اسلمسا باید بر سطح حوضه، شبکه ایجاد و هریک از مؤلفه‌های لازم مدل اسلمسا برای هریک از خانه‌ها محاسبه شود. برای این کار در نرم‌افزار GIS از ابزار Create Fishnet استفاده شد. با توجه به اینکه در مدل اسلمسا محدوده پژوهشی باید در زیر شبکه قرار داده و در ادامه هریک از مؤلفه‌های مدل برای هریک از مربع‌های ایجادشده ناشی از

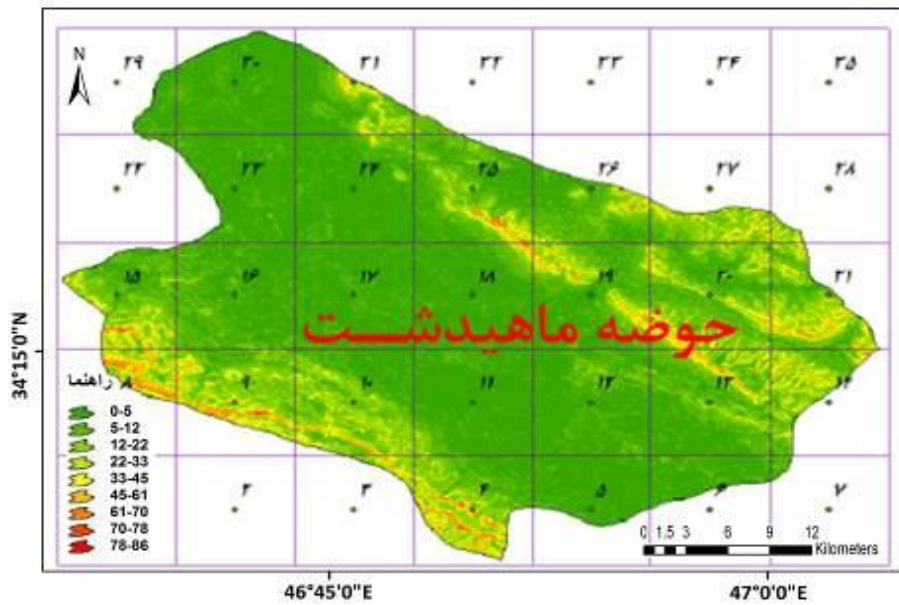
شبکه توری محاسبه شود، بنابراین در محیط نرم‌افزار Arc GIS شبکه‌ای توری با تعداد ۷ ستون و ۵ سطر ایجاد شد؛ به بیان دیگر محدوده پژوهش به تعداد ۳۵ مربع تقسیم شد؛ به طوری که ابعاد هر مربع برابر با ۶ کیلومتر در ۷ کیلومتر است (۳۵۰۰۰۰۰ مترمربع یا ۳۵۰۰ هکتار). از ۳۵ مربع مربوط به شبکه توری تهیه‌شده، تعداد ۳۰ مربع آن به طور کامل یا ناقص بر محدوده حوضه ماهیدشت قرار گرفت (شکل ۲).



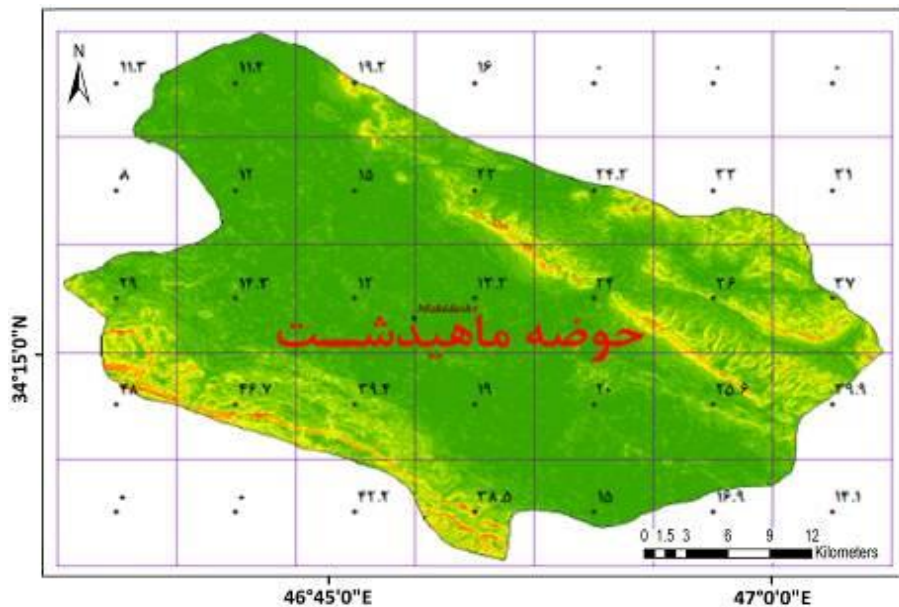
شکل ۲. شبکه توری ایجادشده بر حوضه ماهیدشت

بنابراین به منظور تهیه نقشه شیب، مدل رقومی ارتفاع محدوده پژوهش به کار رفت (شکل ۳) و پس از هم‌پوشانی شبکه توری بر روی نقشه شیب مقدار متوسط شیب مربوط به هر مربع به طور جداگانه در محیط نرم‌افزار Arc GIS و با استفاده از نوار ابزار Zonal statistic برآورد شد (شکل ۴).

پس از ایجاد شبکه توری براساس مدل اسلمسا لازم است میزان دخالت ۳ عامل توپوگرافی (X)، فرساینده‌گی و قابلیت فرسودگی خاک (K) و عامل زراعت (C) با بهره‌گیری از فرمول $Z=KCX$ محاسبه شود. به منظور محاسبه میزان تأثیر عامل توپوگرافی در ایجاد فرسایش خاک لازم است وضعیت دو عامل شیب دامنه (S) و طول دامنه (L) بررسی شود؛



شکل ۳. نقشه شیب حوضه ماهیدشت تهیه شده بر پایه نقشه مدل رقومی ارتفاع محدوده پژوهش



شکل ۴. نقشه شیب متوسط هر خانه، تهیه شده با استفاده از ابزار zonal statistic

عامل توپوگرافی در ایجاد فرسایش خاک در هریک از خانه‌های ایجاد شده بر حوضه ماهیدشت براساس رابطه (۲) برآورد شد:

$$X = \frac{L^{0.5}(0.76 + 0.53S + 0.076S^2)}{25.65} \quad \text{رابطه (۲)}$$

عامل دیگری که در بررسی نقش عامل توپوگرافی در مدل اسلمسا به آن توجه می‌شود، طول دامنه است که در محدوده پژوهش با توجه به ویژگی‌های توپوگرافی آن برای هریک از خانه‌ها به‌طور متوسط طول دامنه برابر با ۱۰۰ متر لحاظ شد. با توجه به مقادیر محاسبه شده برای شیب و طول دامنه مقدار تأثیر

فرسودگی خاک (F) و انرژی جنبشی باران (E) است. به‌منظور محاسبه میزان تأثیر بارش از میانگین بارش سالیانه ۸ ایستگاه سینوپتیک در داخل و اطراف حوضه پژوهش استفاده شد. جدول (۲) گویای اطلاعات مربوط به ایستگاه‌های مطالعاتی است.

در این رابطه (S)، شیب متوسط و (L)، طول دامنه است. عامل تأثیرگذار دیگر در محاسبه میزان فرسایش خاک با استفاده از مدل اسلمسا، قابلیت فرسودگی خاک (K) است که این عامل خود شامل قابلیت

جدول ۲. اطلاعات آماری مربوط به ایستگاه‌های سینوپتیک مطالعه‌شده

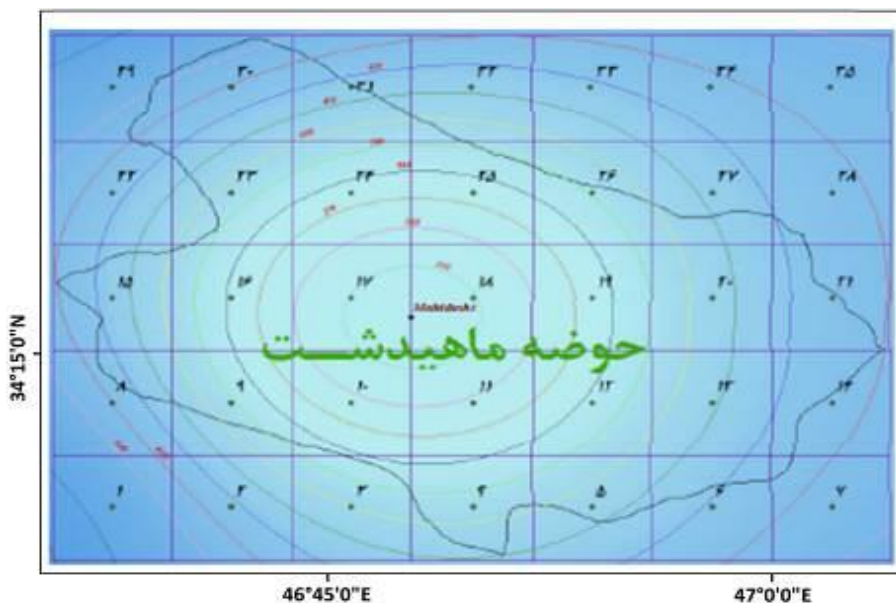
ایستگاه	نوع ایستگاه	طول	عرض	ارتفاع	متوسط بارش
کرمانشاه	سینوپتیک	۴۷° ۱	۳۴° ۷	۱۳۲۰	۴۳۲/۲
اسلام‌آباد	سینوپتیک	۴۶° ۵	۳۵° ۰۳	۱۳۵۰	۴۷۹/۸
روانسر	سینوپتیک	۴۶° ۷	۳۴° ۵	۱۳۸۰	۵۱۶/۲
سرارود	سینوپتیک	۴۷° ۱۸	۳۴° ۲	۱۳۶۰	۴۶۰/۲
پاوه	سینوپتیک	۴۶° ۳	۳۴° ۸	۱۴۸۵	۷۵۷/۲
ماهیدشت	سینوپتیک	۴۶° ۸۵	۳۴° ۲۷	۱۳۶۴	۳۴۴/۶
جوانرود	سینوپتیک	۴۶° ۴۵	۳۴° ۲۷	۱۳۷۵	۵۴۴/۹
سرپل	سینوپتیک	۴۵° ۹	۳۴° ۱۵	۵۴۵	۴۲۸

استفاده شد که در این معادله (P)، مقدار بارش هر خانه است.

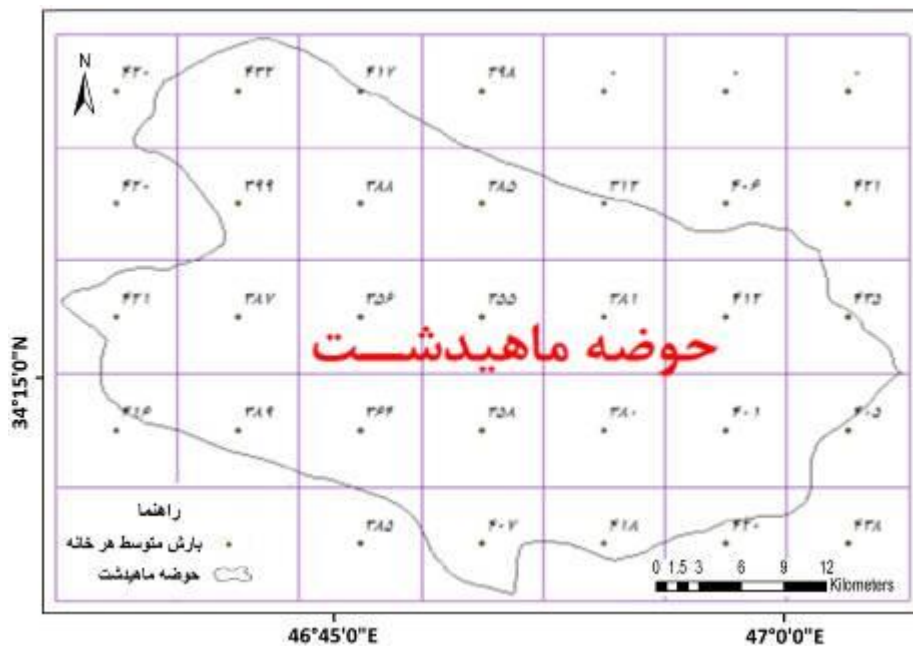
$$E = 17/37 P$$

رابطه (۳)

پس از مشخص کردن ایستگاه‌های سینوپتیک در محیط Arc GIS با بهره‌گیری از روش درونیابی، نقشه بارشی تهیه (شکل ۵) و در ادامه پس از به‌دست‌آوردن متوسط بارش هر خانه (شکل ۶) از رابطه (۳) به‌منظور برآورد مقدار انرژی جنبشی باران



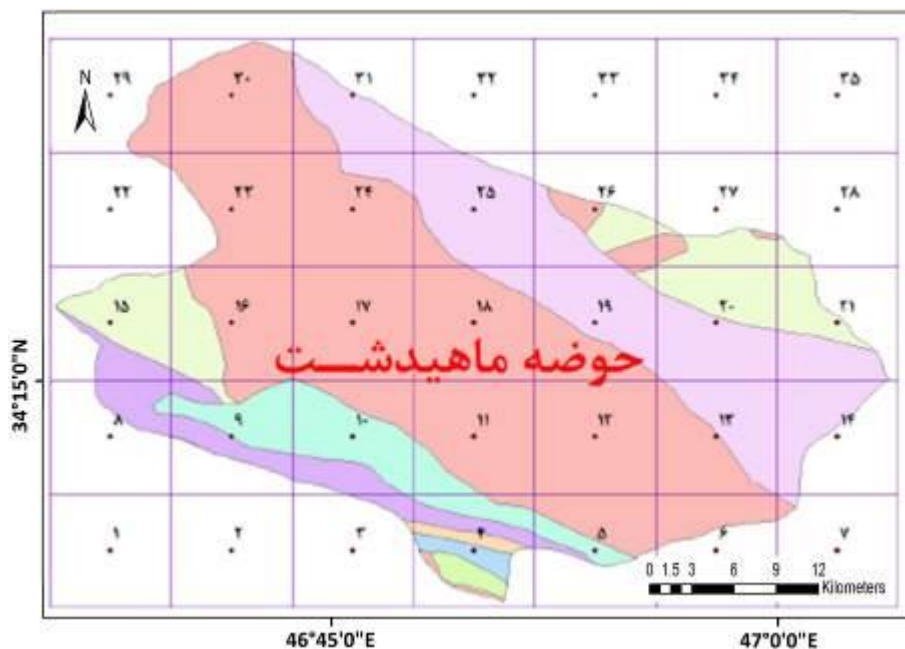
شکل ۵. هم‌پوشانی شبکه توری بر نقشه بارشی درونیابی شده



شکل ۶. متوسط بارش هر خانه، محاسبه شده براساس بارش درون‌یابی شده و استفاده از ابزار zonal

محدوده پژوهش استفاده شد (شکل ۷)؛ به طوری که به جنس‌های سخت بیشترین مقدار و به جنس‌های سست کمترین مقدار اختصاص داده شد (شکل ۷).

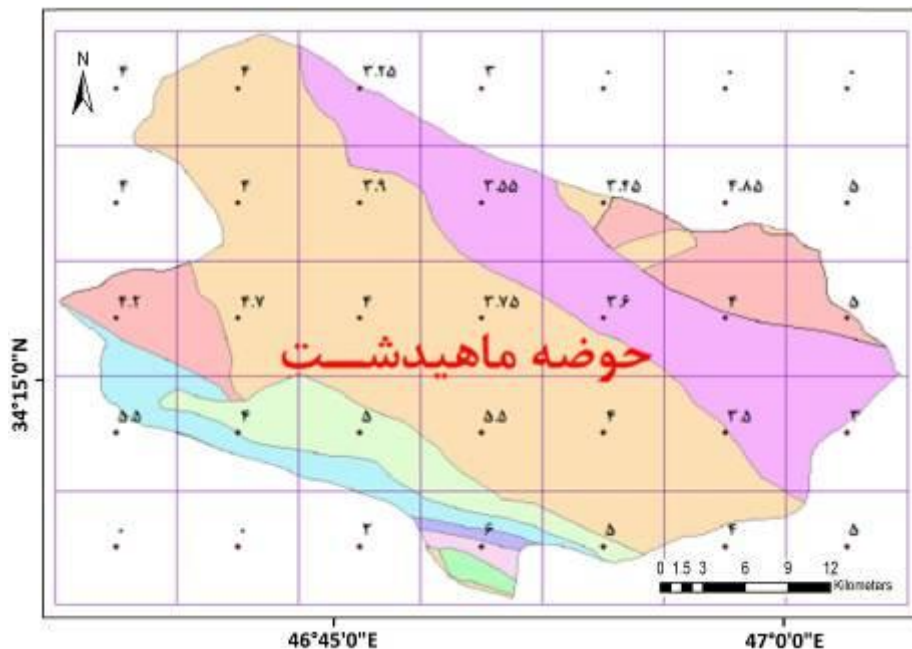
عامل دیگر در فرسایش خاک مربوط به قابلیت فرسودگی خاک (F) است که به منظور برآورد میزان تأثیر این عامل در ایجاد فرسایش از لایه زمین‌شناسی



شکل ۷. نقشه زمین‌شناسی حوضه ماهیدشت به منظور برآورد عامل (F)

میزان سختی جنس‌های زمین‌شناسی اختصاص داده شد (شکل ۸).

پس از تهیه نقشه زمین‌شناسی و هم‌پوشانی شبکه توری بر آن مقادیر (F) مربوط به هر خانه براساس



شکل ۸. عامل (F) محاسبه‌شده برای هر خانه براساس درجه سختی سنگ‌های زمین‌شناسی

به‌طوری که مقادیر (I) برای هر خانه در دامنه عددی بین ۳۰ تا ۷۰ درصد محاسبه شد و در پایان با توجه به مقدار (I) به دست‌آمده برای هر خانه، مقدار (C) مربوط به آن خانه با استفاده از یکی از روابط (۵ و ۶) زیر به دست آمد:

$$C_1 = \exp(-0.06 i) \quad 0 \leq i \leq 50 \quad \text{رابطه (۵)}$$

برای زمین‌های کشاورزی و علفزارهای طبیعی وقتی $0 \leq i \leq 50$ است.

$$C_2 = (2.3 - 0.01 I)/30 \quad 50 \leq I \leq 100 \quad \text{رابطه (۶)}$$

برای زمین‌های کشاورزی و علفزارهای طبیعی وقتی $50 \leq i \leq 100$ است.

پس از محاسبه مقادیر دو عامل (E) و (F)، مقدار تأثیر عامل فرسایشی خاک (K) با رابطه (۴) برای هر خانه به‌طور جداگانه برآورد شد.

$$K = \exp\{(0.4661 + 0.7663 F) \cdot \ln E + 2.884 - 8 F\}$$

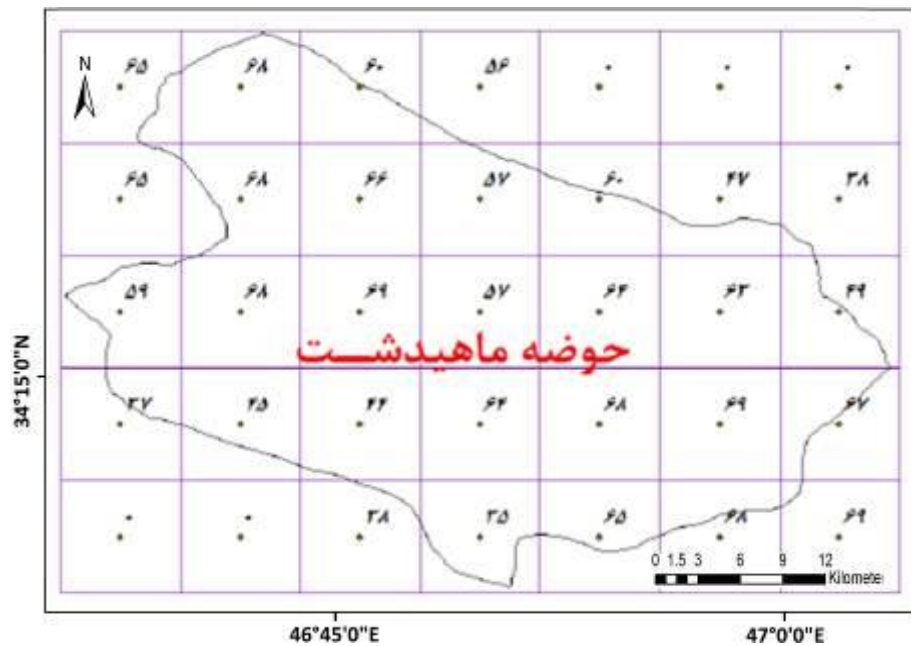
رابطه (۴)

در این رابطه (F)، قابلیت فرسودگی خاک و (E)، انرژی جنبشی باران است.

عامل تأثیرگذار دیگر در ایجاد فرسایش خاک براساس مدل اسلمسا، پوشش گیاهی است. به‌منظور مشخص کردن میزان تأثیر آن از دو عامل مقدار متوسط بارش (شکل ۶) و وضعیت پوشش گیاهی (I) (شکل ۹ و ۱۰) در هر خانه از شبکه توری استفاده شد؛



شکل ۹. وضعیت پوشش گیاهی و درختی حوضه ماهیدشت



شکل ۱۰. نقشه عامل (I) برآورده بر پایه نقشه متوسط بارش و نقشه پوشش گیاهی حوضه ماهیدشت

به بیان دیگر برای هر یک از این مربع‌ها مقادیر مربوط به عوامل تأثیرگذار مدل اسلمسا برآورد شد. چهار سطر آخر جدول (۳) نیز بیان‌کننده کمترین، بیشترین، میانگین و مجموع هر یک از عوامل مربوط به مدل اسلمسا در حوضه ماهیدشت است.

پس از محاسبه و برآورد میزان تأثیر عوامل تأثیرگذار در ایجاد فرسایش براساس مدل اسلمسا، نتایج به‌دست‌آمده در جدول (۳) ارائه شد. در این جدول ستون Number بیان‌کننده شماره مربع مربوط به شبکه توری ایجادشده بر حوضه ماهیدشت است؛

جدول ۳. میزان تأثیر عوامل مدل اسلمسا در ایجاد فرسایش خاک در حوضه ماهیدشت

Number	P	I	S	F	L	E	X	K	C	Z
۳	۳۸۵	۳۸	۴۲/۲	۲	۱۰۰	۶۶۸۷/۵	۶۱/۸	۸۸/۹۹	۰/۱۰۲	۵۶۲/۳۵۴
۴	۴۰۷	۳۵	۳۸/۵	۶	۱۰۰	۷۰۶۹/۶	۵۲/۲	۰/۷۹	۰/۱۲۲	۵/۰۶۶۶۴
۵	۴۱۸	۶۵	۱۵	۵	۱۰۰	۷۲۶۰/۷	۱۰/۱	۲/۹۸	۰/۰۵۵	۱/۶۴۷۱
۶	۴۲۰	۶۸	۱۶/۹	۴	۱۰۰	۷۲۹۵/۴	۱۲/۳	۹/۹۲	۰/۰۵۴	۶/۵۶۴۸۷
۷	۴۳۸	۶۹	۱۴/۱	۵	۱۰۰	۷۶۰۸/۱	۹/۱	۳/۶۴	۰/۰۵۴	۱/۷۷۶۸۷
۸	۴۱۶	۳۷	۴۸	۵/۵	۱۰۰	۷۲۲۵/۹	۷۸/۵	۱/۶۱	۰/۱۰۹	۱۳/۶۹۹۱
۹	۳۸۹	۴۵	۴۶/۷	۴	۱۰۰	۶۷۵۶/۹	۷۴/۶	۷/۵۷	۰/۰۶۷	۳۷/۹۳۲۸
۱۰	۳۶۴	۴۴	۳۹/۴	۵	۱۰۰	۶۳۲۲/۷	۵۴/۴	۱/۶۴	۰/۰۷۱	۶/۳۷۹۷۹
۱۱	۳۵۸	۶۴	۱۹	۵/۵	۱۰۰	۶۲۱۸/۵	۱۴/۹	۰/۸۰	۰/۰۵۵	۰/۶۵۶۹۶
۱۲	۳۸۰	۶۸	۲۰	۴	۱۰۰	۶۶۰۰/۶	۱۶/۳	۶/۹۷	۰/۰۵۴	۶/۱۲۶۹۴
۱۳	۴۰۱	۶۹	۲۵/۶	۳/۵	۱۰۰	۶۹۶۵/۴	۲۵/۰	۱۵/۵۰	۰/۰۵۴	۲۰/۸۰۳۶
۱۴	۴۰۵	۶۷	۳۹/۹	۳	۱۰۰	۷۰۳۴/۹	۵۵/۷	۲۹/۳۲	۰/۰۵۴	۸۸/۱۳۷۶
۱۵	۴۲۱	۵۹	۲۹	۴/۲	۱۰۰	۷۳۱۲/۸	۳۱/۲	۷/۹۰	۰/۰۵۷	۱۴/۰۵۳۳
۱۶	۳۸۷	۶۸	۱۴/۳	۴/۷	۱۰۰	۶۷۲۲/۲	۹/۳	۳/۱۱	۰/۰۵۴	۱/۵۶۱۶۴
۱۷	۳۵۶	۶۹	۱۲	۴	۱۰۰	۶۱۸۳/۷	۷/۰	۵/۵۴	۰/۰۵۴	۲/۰۹۱۹۶
۱۸	۳۵۵	۵۷	۱۳/۲	۳/۷۵	۱۰۰	۶۱۶۶/۴	۸/۲	۷/۶۱	۰/۰۵۸	۳/۵۹۲۰۶
۱۹	۳۸۱	۶۴	۲۴	۳/۶	۱۰۰	۶۶۱۸	۲۲/۳	۱۱/۶۴	۰/۰۵۵	۱۴/۳۷۲۸
۲۰	۴۱۲	۶۳	۳۶	۴	۱۰۰	۷۱۵۶/۴	۴۶/۱	۹/۲۷	۰/۰۵۶	۲۳/۸۱۲۱
۲۱	۴۳۵	۴۹	۳۷	۵	۱۰۰	۷۵۵۶	۴۸/۵	۳/۵۳	۰/۰۵۳	۹/۰۵۷۶۹
۲۲	۴۲۰	۶۵	۸	۴	۱۰۰	۷۲۹۵/۴	۳/۸	۹/۹۲	۰/۰۵۵	۲/۰۹۸۹۲
۲۳	۳۹۹	۶۸	۱۲	۴	۱۰۰	۶۹۳۰/۶	۷/۰	۸/۲۸	۰/۰۵۴	۳/۱۴۸۶۴
۲۴	۳۸۸	۶۶	۱۵	۳/۹	۱۰۰	۶۷۳۹/۶	۱۰/۱	۸/۵۰	۰/۰۵۵	۴/۶۷۳۰۴
۲۵	۳۸۵	۵۷	۲۳	۳/۵۵	۱۰۰	۶۶۸۷/۵	۲۰/۷	۱۲/۸۱	۰/۰۵۸	۱۵/۳۱
۲۶	۳۱۲	۶۰	۲۴/۲	۳/۴۵	۱۰۰	۵۴۱۹/۴	۲۲/۶	۷/۵۵	۰/۰۵۷	۹/۶۹۰۲۷
۲۷	۴۰۶	۴۷	۳۳	۴/۸۵	۱۰۰	۷۰۵۲/۲	۳۹/۴	۳/۱۵	۰/۰۶۰	۷/۳۹۰۶۵
۲۸	۴۲۱	۳۸	۳۱	۵	۱۰۰	۷۳۱۲/۸	۳۵/۲	۳/۰۷	۰/۱۰۲	۱۱/۰۴۲۲
۲۹	۴۲۰	۶۵	۱۱/۳	۴	۱۰۰	۷۲۹۵/۴	۶/۴	۹/۹۲	۰/۰۵۵	۳/۵۰۱۰۶
۳۰	۴۳۲	۶۸	۱۱/۴	۴	۱۰۰	۷۵۰۳/۸	۶/۵	۱۰/۹۶	۰/۰۵۴	۳/۸۴۸۹۸
۳۱	۴۱۷	۶۰	۱۹/۲	۳/۲۵	۱۰۰	۷۲۴۳/۳	۱۵/۲	۲۳/۶۱	۰/۰۵۷	۲۰/۳۱۵
۳۲	۳۹۸	۵۶	۱۶	۳	۱۰۰	۶۹۱۳/۳	۱۱/۲	۲۷/۹۴	۰/۰۵۸	۱۸/۱۲۶۹
			MIN				۳/۸۴۵۶۱	۰/۷۹۳۰۸	۰/۰۵۲۸۷	۰/۶۵۶۹۶
			MAX				۷۸/۴۸۱۱	۸۸/۹۹	۰/۱۲۲۴۶	۵۶۲/۳۵۴
			MEAN				۲۷/۱۸۷۹	۱۱/۴۶۷۴	۰/۰۶۳۳۹	۳۰/۶۴۷۸
			SUM				۸۱۵/۶	۳۴۴/۰۴	۱/۹	۹۱۹/۴۳۳

هر هکتار در سال برابر با ۳۰/۶۵ تن و برای کل محدوده ماهیدشت برابر با ۲۴۹۴۹۱۰ تن در کل منطقه در سال برآورد شد. نتایج نشان می‌دهد وضعیت یاخته‌های ۲۰، ۱۴، ۹، ۳ از لحاظ شدت فرسایش بحرانی‌تر از سایر یاخته‌هاست؛ به طور کلی نتایج جدول (۳) و اشکال (۳)، (۴) و (۷) در درجه اول حاکی از دخالت مؤثر عامل توپوگرافی (قرارگرفتن یاخته‌ها در محدوده کوهستانی و پرفراز و نشیب با شیب‌های تند و متفاوت) و در مراحل بعد قرارگرفتن در منطقه پرباران (بیشتر برای یاخته ۱۴ و ۲۰) و در نهایت کاهش پوشش گیاهی به دلیل افزایش ارتفاع است.

منابع

ابراهیمی محمدی، شیرکوه، صادقی، سید حمیدرضا و چپی، کامران، (۱۳۹۱). تحلیل آورد رواناب، رسوب معلق و مواد مغذی ورودی‌های مختلف به دریاچه زریوار در پایه زمانی رگبار و آب پایه، نشریه حفاظت منابع آب و خاک، دوره ۳، شماره ۱، ۹۴-۱۰۲.

انتظاری، مژگان و حیدری، غلامرضا، (۱۳۹۳). مقایسه مدل‌های SLEMSA و CORINE در تخمین فرسایش خاک (مطالعه موردی: حوضه تنگ‌سرخ شیراز)، فصلنامه مدرس علوم انسانی (برنامه‌ریزی و آمایش فضا)، دوره ۱۸، شماره ۳، ۲۸-۱.

انتظاری، مژگان، شریفی، رسول، ایزدی، زهرا و شاهزیدی، سمیه‌سادات، (۱۳۹۱). ارزیابی پتانسیل‌های فرسایشی منطقه دستکن با استفاده

براساس نتایج جدول (۳) میانگین رسوب برای هر یاخته، عدد ۳۰/۶۵ برآورد شد. مساحت هر یاخته ۴۲۰۰ هکتار (ابعاد یاخته ۷*۶ کیلومتر) است؛ به بیان دیگر مقدار رسوب برآوردشده برای هر یاخته برابر با ۱۲۸۷۳۰ تن (۳۰/۶۵*۴۲۰۰) در هکتار در سال است. مساحت محدوده پژوهش برابر با ۸۱۴ کیلومترمربع (۸۱۴۰۰ هکتار) و مساحت هر یاخته ۴۲۰۰ هکتار (ابعاد یاخته ۷*۶ کیلومتر) است؛ به بیان دیگر مساحت کل محدوده پژوهش برابر با مساحت تعداد ۱۹/۳۸ یاخته است (۴۲۰۰ * ۱۹/۳۸ = ۸۱۴۰۰).

براساس بررسی‌های انجام‌شده مقدار رسوب برآوردشده برای کل محدوده پژوهش برابر با ۲۴۹۴۹۱۰ تن در کل منطقه در سال (۳۰/۶۵ * ۸۱۴۰۰ = ۲۴۹۴۹۱۰) و مقدار رسوب برای هر هکتار برابر با ۳۰/۶۵ تن در سال است (رابطه ۷).

$$\text{رابطه (۷)} \quad e^x = \frac{2494910}{81400} = 30.65$$

نتیجه‌گیری

مدل اسلمسا (جدول ۳) نشان داد عامل توپوگرافی (X) که از دو قسمت شیب و طول دامنه تشکیل می‌شود، با مقدار مجموع ۸۱۵/۶ بیشترین تأثیر را در ایجاد فرسایش حوضه ماهیدشت داشته است. پس از عامل توپوگرافی، عامل فرساینده‌گی و قابلیت فرسودگی خاک (K) که آن نیز از دو جزء انرژی جنبشی باران (E) و قابلیت فرسودگی خاک (F) تشکیل می‌شود، با مقدار مجموع ۳۴۴/۰۴ در رتبه دوم قرار و عامل پوشش گیاهی با مقدار ۱/۹ کمترین تأثیر را داشته است. مقدار مجموع رسوب تولیدشده در حوضه ماهیدشت نیز براساس نتایج مدل اسلمسا برای

گندمکار، امیر، شیخی، نفیسه و احمدی، سمیرا، (۱۳۸۷). فرسایش خاک در حوضه آبریز موسی‌آباد تیران با استفاده از مدل SLEMSA، فصلنامه چشم‌انداز جغرافیایی، دوره ۳، شماره ۶، ۹۵-۱۰۸.

Agassi, M., (1996). **Soil erosion, conservation and rehabilitation**, (No. 631.45 Ag16s Ej. 1 008589), Marcel Dekker, NewYork.

Boiffin, J., F. Papy and G. Monnier., (1988). **Some reflections on the prospect of modeling.**

Bussi, G., (2014). **Implementation of a distributed sediment model in different data availability scenarios**, (Doctoral dissertation, Universitat Politècnica de València).

Chartier, M. P., Rostagno, C. M., & Roig, F. A., (2009). **Soil erosion rates in rangelands of northeastern Patagonia: A dendrogeomorphological analysis using exposed shrub roots**, *Geomorphology*, Vol 106 (3), 344-351.

Csiro., (2003). *Australia advances, soil cancer*, Seri eight.

Deng, Z. Q., de Lima, J. L., & Jung, H. S., (2008). **Sediment transport rate-based model for rainfall-induced soil erosion**, *Catena*, Vol 76 (1), 54-62.

Dregne, H. E., (1992). **Erosion and soil productivity in Asia**, *Journal of Soil and Water Conservation*, Vol 47 (1), 8-13.

Ekwe, E. I., Bharat, C., & Samaroo, K., (2009). **Effect of soil type, peat and farmyard manure addition, slope and their interactions on wash erosion by overland flow of some Trinidadian soils**, *Biosystems engineering*, Vol 102 (2), 236-243.

Hudson, N., (1995). **Soil conservation**, (No 3. ed.), BT Batsford.

Igue, A. M., (2002). **The Qualitative Assessment of water erosion risk in moist**

از مدل SLEMSA. جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دوره ۲۳، شماره ۴، ۱۲۰-۱۰۹.

خدابخش، سعید، محمدی، اکبر، رفیعی، بهروز و بزرگزاده، عیسی، (۱۳۸۸). مقایسه برآورد میزان فرسایش و رسوب‌زدایی در زیرحوضه سزار (حوضه آبریز سد دز) با استفاده از مدل‌های تجربی ای‌پی‌ام و ام‌پسیاک با کمک دانش فازی، فصلنامه زمین‌شناسی ایران، دوره ۳، شماره ۱۲، ۵۱-۶۱.

رامشت، محمدحسین و شاهزیدی، سمیه‌سادات، (۱۳۹۰). کاربرد ژئومورفولوژی در برنامه‌ریزی (ملی - منطقه‌ای - اقتصادی - توریسم)، تک‌جلد، چاپ اول، اصفهان، دانشگاه اصفهان.

ژاله، اعظمه، (۱۳۸۵). ارزیابی تخمین رواناب و رسوب با استفاده از مدل SWAT2000 در زیرحوضه ونک از حوضه آبخیز کارون شمال، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، استاد راهنما: افیونی، مجید و جلالیان، احمد، دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده کشاورزی.

صادقی، سید حمیدرضا، (۱۳۸۹). مطالعه و اندازه‌گیری فرسایش آبی، تک‌جلد، چاپ اول، تهران، انتشارات دانشگاه تربیت مدرس.

صالحی، محمدحسن، اسفندارپور بروجنی، عیسی، مهاجر، رضا و باقری بداغ‌آبادی، محسن، (۱۳۹۰). حفاظت آب و خاک تکمیلی، تک‌جلد، چاپ دوم، تهران، دانشگاه پیام نور.

- Svorin, J., (2003). **A test of three soil erosion models incorporated into a geographical information system**, Hydrological processes, Vol 17 (5), 967-977.
- Tangestani, M. H., (2006). **Comparison of EPM and PSIAC models in GIS for erosion and sediment yield assessment in a semi-arid environment: Afzar Catchment, Fars Province, Iran**, Journal of Asian earth sciences, Vol 27 (5), 585-597.
- Vrieling, A., Hoedjes, J. C., & van der Velde, M., (2014). **Towards large-scale monitoring of soil erosion in Africa: Accounting for the dynamics of rainfall erosivity**, Global and Planetary Change.
- Wang, X., (2014). **Impacts of soil redistribution on the transport and fate of organic carbon in loess soils**, (Doctoral dissertation, University of Amsterdam).
- Zhou, F., Gou, X., Zhang, J., Zhao, Z., Chen, Q., & Cao, Z., (2013). **Application of Picea wilsonii roots to determine erosion rates in eastern Qilian Mountains, Northwest China**, Trees, Vol 27 (2), 371-378.
- savanna of Benin**, In 12th ISCO conference Beijing.
- Lacoste, M., Michot, D., Viaud, V., Evrard, O., & Walter, C., (2014). **Combining 137Cs measurements and a spatially distributed erosion model to assess soil redistribution in a hedgerow landscape in northwestern France (1960–2010)**, CATENA, Vol 119, 78-89.
- Morgan, R. P. C., (2009). **Soil erosion and conservation**, John Wiley & Sons.
- Mullan, D. J., (2013). **Modelling the impacts of climate change on future rates of soil erosion in Northern Ireland (Doctoral dissertation, Queen's University Belfast)**.
- Park, S., Oh, C., Jeon, S., Jung, H., & Choi, C., (2011). **Soil erosion risk in Korean watersheds**, assessed using the revised universal soil loss equation, Journal of hydrology, Vol 399 (3), 263-273.
- Pimentel, D., Harvey, C., Resosudarmo, P., Sinclair, K., Kurz, D., McNair, M., ... & Blair, R., (1995). **Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits**, Science-AAAS-Weekly Paper Edition, Vol 267 (5201), 1117-1122.