

ارتقاء مدل اسلمسا با ترفندی تکنیکی در سهم گذاری عوامل فرسایشی

محمدحسین رامشت^۱ - استاد گروه جغرافیا دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران
مژگان انتظاری - استادیار دانشکده علوم جغرافیایی و برنامه ریزی دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران
سوسن دلسوز - دانشجوی دکتری ژئومرفولوژی دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۰/۰۶ تاریخ تصویب: ۱۳۹۴/۸/۱

چکیده

اسلمسا^۲ یکی از مدل های تخمین فرسایشی است که توسط استوکینگ^۳ در سال ۱۹۷۸ ارائه شد. این مدل به خاطر بکارگیری روش های رابطه سنجی غیر خطی از توانمندی های دقیقی در برآورد میزان فرسایش از یکسو و بکارگیری اعداد کسر پذیر واقعی در محاسبه برخورداری و از دیدگاه آموزشی دارای مزیت های فراوانی است. سؤال اساسی درباره این مدل آن است که آیا می توان با اعمال ترفندی تکنیکی قابلیت جدیدی به این مدل افزود تا سهم هریک از عوامل مؤثر در مدل را در هر نقطه به ما نشان دهد. این مسئله سبب شد تا در قالب یک طرح پژوهشی و با انتخاب حوضه آبریز گلپایگان و اجرای مدل مذکور، نسبت به محاسبه میزان عوامل فرسایش مدل اسلمسا در ۲۱۴ سلول چهار کیلومتری اقدام و سپس با استفاده از روش بی بعد سازی برداری^۴ مقادیر اصلی در مدل، یعنی عناصر X, K, C بی مقیاس و آنگاه با واکاوی لگاریتمی سهم هریک از عوامل در هر سلول محاسبه گردد. این روش به خوبی نشان داد که می توان سهم هریک از عوامل را تعیین و عاملی که دارای تأثیرگذاری بیشتری است در هر واحد کاری (پیکسل) مشخص نمود و نقشه فرسایش منطقه بر مبنای عامل برتر را ترسیم کرد. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که ۱- با اعمال تکنیک بی بعد سازی آماری در مدل

$$R_{IJ} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m a_{ij}^2}}$$

اسلمسا سهم عوامل سه گانه فرسایش را می‌توان مشخص کرد؛ ۲- با اعمال این روش می‌توان به نقشه اولویت مناطق برای اجرای طرح‌های کنترل فرسایش دست یافت، به طوری که این اولویت بر اساس سهم عامل برتر در برآورد و تخمین فرسایش استوار شده باشد؛ ۳- با سهم گذاری عوامل فرسایشی در مدل می‌توان تکنیک‌های مبارزه با فرسایش را در مناطق مختلف تعیین نمود و از یک روش یکسان برای مبارزه و کنترل آن پرهیز نمود.

کلیدواژه‌ها: فرسایش، گلپایگان، مدل اسلمسا، بی بعد سازی برداری.

۱. مقدمه

پوسته جامد زمین همواره بر اثر فرایندهای مختلف از قبیل فرسایش، انحلال، فعالیت‌های آتشفشانی، رسوب گذاری و بالاخره تغییرات ناشی از فعالیت‌های بشری به صورت مستمر در حال تغییر و تحول است. می‌توان گفت فرسایش از جمله فرایندهای چشم‌انداز ساز در طبیعت بشمار می‌رود که می‌تواند بسیاری از اشکال و فرم‌ها را چهره‌پردازی کند و اگر چنین فرایندی رخ نمی‌داد تکوین خاک میسر نبود. به عبارت دیگر برخلاف نوشته‌ها و ادبیات موجود در کتب فرسایشی که از آن به عنوان یک عنصر نامطلوب یاد می‌شود این فرایند عامل یا مسبب اصلی به وجود آمدن بسیاری از تمدن‌های بشری است؛ زیرا دشت‌های حاصلخیزی که مهد تمدن بشری به حساب می‌آیند، چون جلگه بین‌النهرین و سند و گنگ همه هدیه و حاصل چنین فرایندی در طبیعت است. با این تفصیل چون وقوع این پدیده برای مهندسان و طراحان سدها همیشه به عنوان یک رقیب و مزاحم تلقی شده، تلاش‌های گسترده‌ای برای بوجود آوردن تکنیک‌های محاسباتی ارزیابی و مهار و کنترل آن صورت می‌گیرد و از آن جمله است مدل‌های پسیاک، مدل ای پی‌ام^۱، مدل جهانی^۲ و....

مدل‌های ارائه شده با همه مزیت‌ها و تنگناهایی که برای آن‌ها مترتب است می‌توانند در برآورد احتمالی میزان فرسایش به ما کمک کنند و البته این گونه مطالعات در ابتدا تعیین الگو و سیستم فرسایشی که در آن به وقوع می‌پیوندد حائز اهمیت است، زیرا با تغییر الگوها و سیستم‌های فرسایشی، مدل‌های ارزیابی نیز تغییر کرده و نحوه برآورد توسط آن‌ها دچار تحول می‌شود. مدل اسلمسا، یک مدل، برای برآورد فرسایش در مقیاس منطقه‌ای و در چهارچوب فرسایش بارانی است.

ابوریحان بیرونی را شاید بتوان اولین محقق دانست که مکتوبه آن در زمینه فرسایش (ماللهند) به دست ما رسیده است (آرام، احمد ۱۳۳۶: ۶۱-۸۷) وی موضوع فرسایش را با روشی تجربی درباره جلگه سند

1 EPM model

2 USLE model

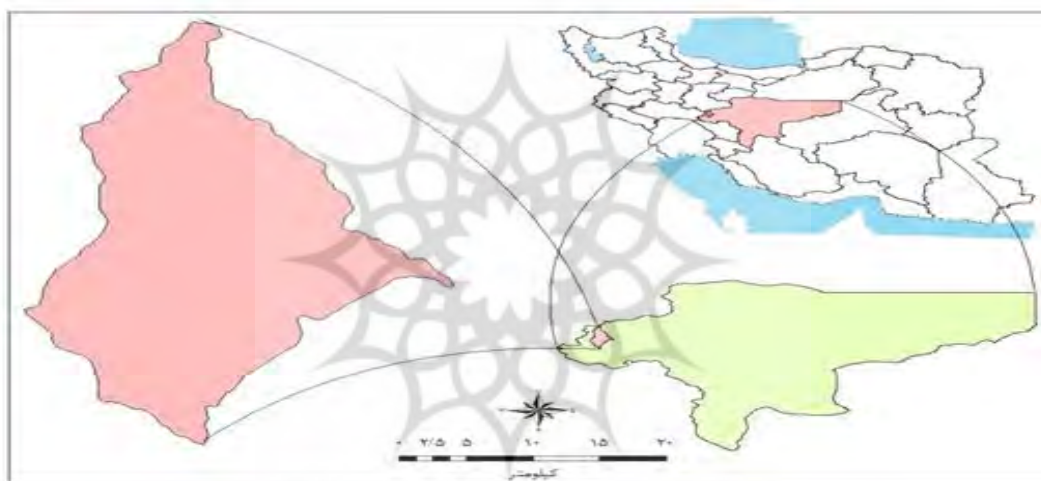
بیان داشته است ولی تفکر اساسی و شروع پژوهش‌های جدی در زمینه برآورد فرسایش را می‌توان به دو قرن اخیر نسبت داد. تحقیقات علمی در زمینه فرسایش بین سال‌های ۱۸۷۷ و ۱۸۹۵ به وسیله ولونی^۱ دانشمند آلمانی انجام گرفت و آزمایش‌های کمی در فرسایش نیز از سال ۱۹۱۵ در آمریکا آغاز شد. یکی از روش‌های ارزیابی خطرات فرسایش مدل اسلمسا می‌باشد که توسط الول استوکینگ^۲ ابداع و در افریقا به اجرا گذارده شده است. این روش ضمن تلفیق داده‌های اساسی و ساده با یکدیگر بر پاره‌ای روابط مهم محیطی به‌ویژه روابط پوشش گیاهی، ریزش باران و فرسایش تأکید دارد و در کشور زیمبابوه در سال ۱۹۸۲ و ۱۹۸۴ مورد استفاده قرار گرفت. آتاندا^۳ (۲۰۰۲: ۷۷) کیفیت خطر فرسایش آبی در دشت مرطوب بنین را با استفاده از مدل جهانی^۴ و اسلمسا مورد ارزیابی قرار داده و نتیجه گرفت که این مدل به دلیل تشابه نتایج طرح‌های صورت گرفته انطباق بهتری با شرایط مناطق گرم دارد. آجی وی^۵ و همکاران (۱۹۹۷: ۲۲) به بررسی کاربرد مدل‌های برآورد فرسایش جهانی، اسلمسا در ارزیابی پتانسیل خطر فرسایش در جنوب غرب نیجریه پرداختند.

اسورین^۶ (۲۰۰۳: ۸۶) نیز در مقاله‌ای به بررسی مدل اسلمسا، راسل^۷/جهانی پرداخته و به اهمیت مدل بر اساس اثبات کیفیت آن معتقد است. صارمی (۱۳۷۵: ۶۷) در بررسی پتانسیل فرسایش و رسوب در حوضه مرکزی سد درودزن با استفاده از مدل‌های تجربی و ریاضی اسلمسا به این نتیجه رسید که اطلاعات این مدل می‌تواند ما را در طراحی سازه‌های آبی و راه‌های کنترل یاری دهد. هم‌چنین کیان ارشی (۱۳۷۹: ۵۰) در رساله خود تحت عنوان اثرات شدت-مدت بارش در حوضه آبریز سد پانزده خرداد با استفاده از این مدل ضمن برآورد میزان رسوب پشت سد به تهیه نقشه‌های فرسایشی و عوامل مؤثر بر آن پرداخته و آن‌ها را تحلیل نمود. اسکندری (۱۳۸۰: ۴۴) نیز در بررسی و کارآیی مدل اسلمسا در برآورد و فرسایش رسوب در حوضه سد زاینده رود اقدام و با بکارگیری سیستم اطلاعات جغرافیایی به تهیه نقشه‌های عوامل این مدل مبادرت کرده است. هدف اصلی این مقاله که بر گرفته از یک طرح تحقیقی در دانشگاه اصفهان است، ارتقا و کارآیی این مدل به نحوی است که سهم هر یک از عوامل اصلی آن را بتوان تعیین و نسبت اثرگذاری آن‌ها را در مجموع برآوردهای فرسایشی مشخص نمود.

-
- 1 wollony
 - 2 Elwell, Stocking
 - 3 Attanda
 - 4 USLE
 - 5 IGWE
 - 6 SVORIN
 - 7 RUSE

۲. منطقه مورد مطالعه

برای اجرای طرح فوق لازم بود منطقه‌ای به‌عنوان محل اجرای مدل انتخاب شود لذا حوضه آبریز گلپایگان به مختصات طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۲ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۱۸ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۳ درجه تا ۳۳ درجه و ۳۳ دقیقه شمالی انتخاب گردید این منطقه که در شمال غربی استان اصفهان قرار دارد حدوداً شانزده دقیقه عرض جغرافیایی و سی‌وسه طول جغرافیایی را در برمی‌گیرد از شمال به خمین، از جنوب به خوانسار و فریدن، از مشرق به میمه و اصفهان و از مغرب به الیگودرز محدود می‌شود. این منطقه بر اساس تقسیمات بارکر (موحد دانش) در مجموعه حوضه مرکزی ایران قرار گرفته و در محدوده حوضه آبریز دریاچه حوض سلطان واقع می‌شود. از دید زمین‌شناسی نیز این حوضه آبی جز زون سندج سیرجان بوده و وسعتی معادل ۱۰۴۵ کیلومترمربع را شامل می‌شود. شکل (شماره ۱-)



شکل ۱ موقعیت جغرافیایی محدوده مطالعاتی حوضه آبریز گلپایگان

۳. مواد روش‌ها

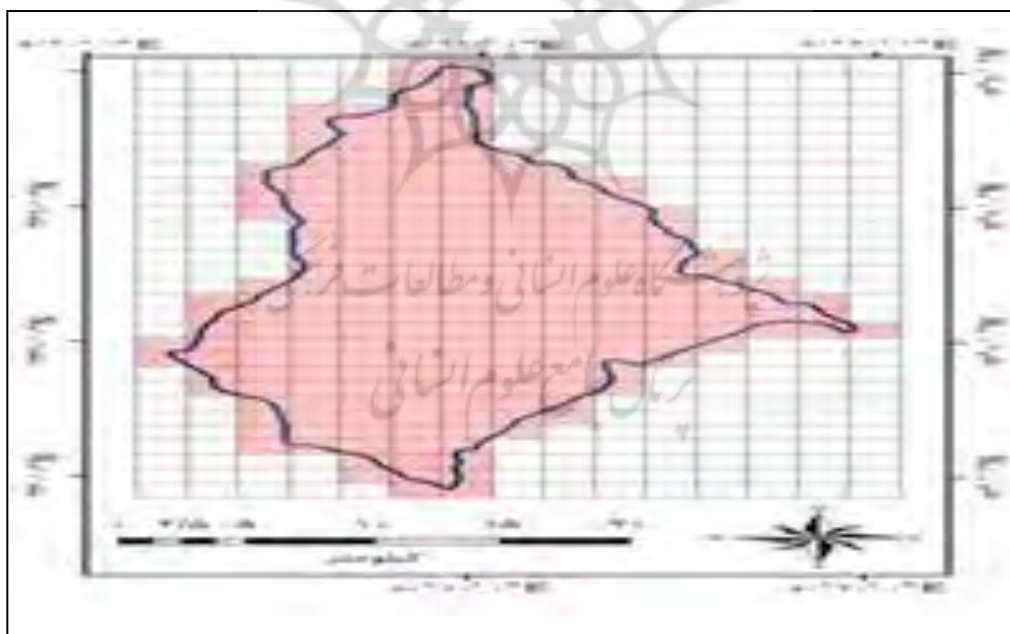
مواد لازم برای انجام طرح عبارت بود از نقشه‌های ۱/۵۰۰۰۰ توپوگرافی منطقه و داده‌های رقومی ارتفاعی ۹۰ متری^۱ ایران (برای محاسبه نقشه شیب و طول دامنه‌ها)، آمار سی ساله ایستگاه‌های هواشناسی در منطقه برای محاسبه عوامل مدل اسلمسا (بارش سالیانه)، نقشه پوشش گیاهی منطقه و کاربری اراضی (برای محاسبه مؤلفه C در مدل اسلمسا) و نرم‌افزار سورفر^۲ (برای ترسیم نقشه‌های هم‌ارزش به روش همجواری). این مواد در سیستم اطلاعات جغرافیایی تجزیه و تحلیل و نقشه‌های لازم ترسیم و تولید گردید. روش کار در این طرح بر مبنای تولید داده‌های مؤلفه‌های مدل اسلمسا در مرحله اول استوار شده بدین نحو که ابتدا شبکه‌ای به ابعاد ۲ در ۲ کیلومتر با استفاده از

1 Dem90m

2 surfer

نوارابزار گریت فیش نت^۱ در نرم افزار آرک مپ^۲ بر روی حوضه ایجاد شکل (شماره ۲-) و نسبت به عناصر مدل برای هر یک از مربعات شبکه اقدام گردید و بدین وسیله برآورد فرسایش بر اساس الگوریتم مدل مبادرت شد. با به دست آمدن نرخ فرسایشی برای هر مربع از شبکه، با استفاده از تکنیک کریجینگ^۵ امکان ترسیم نقشه برآورد فرسایش بر اساس خطوط هم فرسایش فراهم آمد.

در مرحله دوم کار که ترنند آماری برای سهم گذاری عوامل مدل نامیده می شود، با مشخص نمودن رقوم هر یک از عوامل X, C, K برای هر پیکسل با استفاده از روش بی بعد سازی برداری اعداد برآورد شده بی بعد شدند. این کار به خاطر از میان بردن تفاوت مبنای عددی عوامل مدل و فراهم آوردن شرایط مقایسه عناصر در سهم گذاری صورت گرفت؛ زیرا واحد عناصر مدل دارای ماهیت متفاوتی بوده و امکان مقایسه آنها وجود نمی داشت. مرحله سوم کار به جداسازی هر یک از عوامل برتر در هر پیکسل اختصاص یافت (واکاوی لگاریتمی) در این مرحله با انتخاب سه رنگ متفاوت عامل برتر در هر پیکسل کدگذاری و بدین ترتیب عامل برتر در هر یک از پیکسل ها بارز سازی شدند. در آخرین مرحله با توجه به سهم بیشتر هر یک از عوامل که رنگ خاصی به آنها داده شده بود نقشه ای به دست می آمد که دارای سه طیف رنگی متفاوت است و هر رنگ بیانگر یکی از عوامل مدل است که در آن پیکسل سهم برتری در نرخ فرسایش برآورد شده دارد. فرایند کلی تحقیق به طور خلاصه در شکل (شماره ۳-) ترسیم شده است.



شکل ۲ ایجاد شبکه تور بر روی حوضه آبریز



شکل ۳ فرایند تحقیق

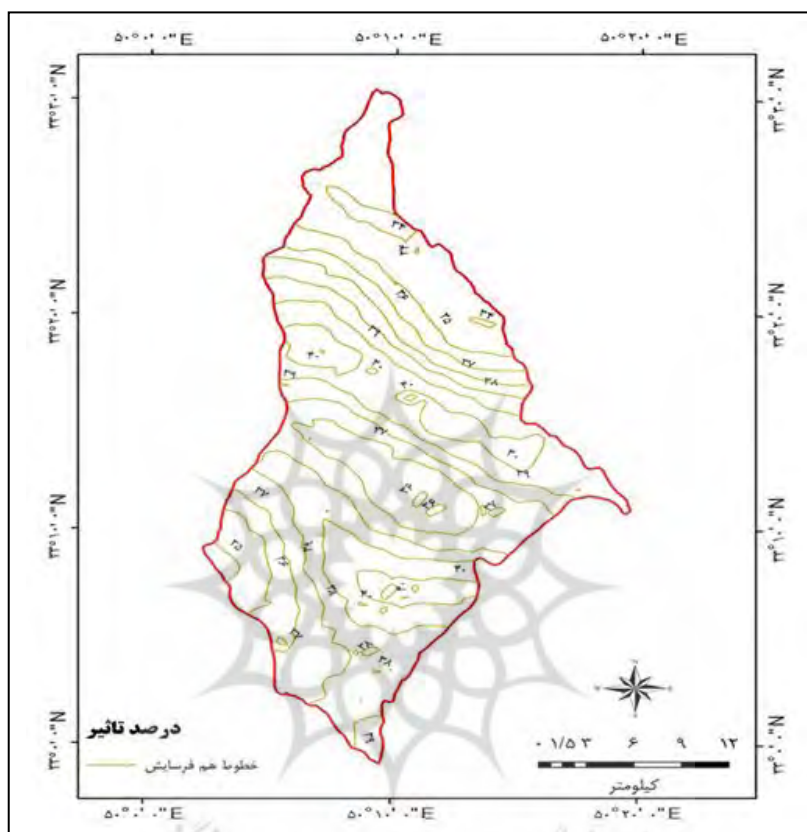
۴. بحث و نتایج

مدل اسلمسا دارای چهارچوبه خاصی است که در استوکینگ ابتدا به معرفی عوامل فرسایش و سپس با بسط آن و تعریف و تبیین مقیاس و نحوه برآورد کمیت هر یک از عوامل با روابط غیرخطی به تلفیق و کوچک سازی آن در فرمول $Z=K.C.X$ پرداخته است. شکل (شماره ۴-)



شکل ۴ چهارچوب مدل اسلمسا

با توجه به چهارچوب مدل اسلمسا سه عامل توپوگرافیک (X)، فرساینده‌گی و قابلیت فرسودگی خاک (k) و عامل مدیریت زراعت (C) برای هریک از پیکسل‌ها محاسبه و میزان فرسایش خاک از دست‌رفته به تن در هکتار در سال بر اساس رابطه $Z=k.C.X$ برای منطقه مطالعاتی محاسبه و حاصل انجام برآوردها با استفاده از تکنیک همجواری در برنامه سورفر تبدیل به شکل شماره (۵) گردید.



شکل شماره ۵ برآورد میزان فرسایش بر اساس مدل اسلمسا

این شکل تبدیل شده جدولی با دویست و چهارده پیکسل است که مقادیر (Z) را برای منطقه مطالعاتی دربردارد؛ لذا برای اعمال عملیات بهسازی و افزایش قابلیت‌های آن جدول عناصر اصلی در مدل اسلمسا (X, K, C) برای اعمال ترفند بی بعد سازی به روش برداری فراخوان گردید (جدول ۱). عملیات بی بعد سازی بر روی داده‌های این جدول که به‌عنوان ترفند آماری در این مقاله از آن یاد شده است رکن و محور اصلی ارتقاء در مدل استوکینگ بشمار می‌آید. علت اصلی اجرای این فاز به خاطر روبرو بودن با سه عامل متفاوت و مختلف البعد و هم استاندارد نمودن ارزش سه عنصر (X, K, C) بود. برای بی بعد کردن عناصر، تمامی اعداد هر یک از ستون‌های جدول ابتدا به توان دو رسید. جدول (۲) و سپس اعداد

مجذور شده هر ستون با هم جمع و از حاصل جمع مجذورها، جذر گرفته شد. عدد به دست آمده منجر فرمول بی بعد سازی برداری خواهد بود.

رابطه ۱-

$$R_{IJ} = \frac{aij}{\sqrt{\sum_{i=1}^n aij^2}}$$

در این فرمول R_{IJ} بی بعد سازی برداری است و aij ستون ماتریس

اعداد خام است که در منجر به توان دو رسیده است.

جدول ۱ اعداد اصلی برآورد شده در مدل اسلمسا

| داده‌های خام | | | |
|--------------|----------|----------|---------|
| ۱ | ۴/۱۲۸۹۲ | K | C |
| ۲ | ۷/۶۱۸۳۹ | ۵/۸۰۶۸۶ | ۶/۳۳۳۳۳ |
| ۳ | ۱۷/۹۱۱۷۲ | ۵/۱۲۶۲۸ | ۵/۳۳۳۳۳ |
| ۴ | ۷/۲۵۸۹۰ | ۵/۸۳۷۱۵ | ۶/۳۳۳۳۳ |
| ۵ | ۲۸/۱۰۵۹۶ | ۵/۱۴۰۹۵ | ۵/۳۳۳۳۳ |
| . | . | ۵/۹۳۰۰۵ | ۶/۳۳۳۳۳ |
| . | . | . | . |
| . | . | . | . |
| ۲۱۴ | ۱/۶۰۱۵۲ | . | . |
| ۱ | ۴/۱۲۸۹۲ | ۸۲/۳۷۶۴۳ | ۵/۳۳۳۳۳ |

جدول ۲ اعداد مجذور شده

| شماره پیکسل | جذر حاصل جمع (H) سطرها | جمع سطرها | X ^۲ | K ^۲ | C ^۲ |
|-------------|------------------------|-----------|----------------|----------------|----------------|
| ۱ | ۹/۵۳۳۰۳ | ۹۰/۸۷۸۷۷ | ۱۷/۰۴۸۰۱ | ۳۳/۷۱۹۵۶ | ۴۰/۱۱۱۱۱ |
| ۲ | ۱۰/۶۱۹ | ۱۱۲/۷۶۳۲ | ۵۸/۰۳۹۹۱ | ۲۶/۲۷۸۸۴ | ۲۸/۴۴۴۴۴ |
| ۳ | ۱۹/۸۷۴۹۴ | ۳۹۵/۰۱۳۱ | ۳۲۰/۸۲۹۷ | ۳۴/۰۷۲۳۷ | ۴۰/۱۱۱۱۱ |
| ۴ | ۱۰/۳۷۱۳۸ | ۱۰۷/۵۶۵۵ | ۵۲/۶۹۱۶۵ | ۲۶/۴۲۹۳۷ | ۲۸/۴۴۴۴۴ |
| ۵ | ۲۹/۴۱۴۶۵ | ۸۶۵/۲۲۱۶ | ۷۸۹/۹۴۵ | ۳۵/۱۵۵۶ | ۴۰/۱۱۱۱۱ |
| . | . | . | . | . | . |
| . | . | . | . | . | . |
| . | . | . | . | . | . |
| ۲۱۴ | ۸۲/۵۶۴۴۳ | ۶۸۱۶/۸۸۵ | ۲/۵۶۴۸۹ | ۶۷۸۵/۸۷۶ | ۲۸/۴۴۴۴۴ |

اکنون اعداد اولیه هر یک از خانه‌های جدول (۱) را بر عدد به دست آمده تقسیم و نتیجه در جدول شماره (۳) قرار داده می‌شود. لذا اعداد جدول شماره (۳) همان اعداد بی بعد شده برآورد فرسایش در مدل اسلمسا در منطقه مطالعاتی است.

جدول ۳ اعداد بی بعد شده

| شماره پیکسل | Aij/X | Aij/K | Aij/C | Zs* |
|-------------|-----------|-----------|----------|-------------|
| ۱ | ۰/۴۳۳۱۱۷۴ | ۰/۶۰۹۱۳۰۴ | ۰/۶۶۴۳۵۶ | ۰/۱۷۵۲۷۳۷ |
| ۲ | ۰/۷۱۷۴۳ | ۰/۴۸۲۷۴۷ | ۰/۵۰۲۲۴۴ | ۰/۱۷۳۹۴۵۷ |
| ۳ | ۰/۹۰۱۲۲۱ | ۰/۲۹۳۶۹۴ | ۰/۳۱۸۶۵۹ | ۰/۰۸۴۳۴۳۶۸ |
| ۴ | ۰/۶۹۹۸۹۸ | ۰/۴۹۵۶۸۶ | ۰/۵۱۴۲۳۶ | ۰/۱۷۸۴۰۳۷۱ |
| ۵ | ۰/۹۵۵۵۰۹ | ۰/۲۰۱۶۰۲ | ۰/۲۱۵۳۱۲ | ۰/۰۴۱۴۷۶۰۹ |
| ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ |
| ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ |
| ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ |
| ۲۱۴ | ۰/۰۱۹۳۹۷ | ۰/۹۹۷۷۲۳ | ۰/۰۶۴۵۹۶ | ۰/۰۰۱۲۵۰۱۱۵ |

حاصل ضرب اعداد جدول (۳) که هر یک از عناصر بی بعد شده مدل اسلمسا در آن درج شده بیانگر عدد بی بعد فرسایش برای هر یک از پیکسل ها را به ما نشان خواهد داد (Zs) و برای به دست آوردن سهم هر یک کافی است از طرفین معادله، لگاریتم گرفته شود تا بتوان سهم برتر هر یک از عناصر در برآورد کل مشخص گردد.

$$Zs = Xe.Ke.Ce \quad \text{رابطه ۲-}$$

و لذا در این فاز با لگاریتم گرفتن از طرفین معادله (رابطه ۳) شرایط برای محاسبه نسبت تأثیر هر یک از عوامل مدل به دست می آید. جدول شماره (۴)

$$\text{Log}Zs = \text{log}Xe + \text{log}Ke + \text{Log}Ce \quad \text{رابطه ۳-}$$

جدول ۴ لگاریتم پایه ۱۰ ماتریس بی بعد

| شماره پیکسل | logxe | logke | logce | log Zs |
|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| ۱ | ۰/۳۶۳۳۹۴۳۶۸ | ۰/۲۱۵۲۸۹۷۲۵ | ۰/۱۷۷۵۹۹۱۳۸ | ۰/۷۵۶۲۸۳۲۳۱ |
| ۲ | ۰/۱۴۴۲۲۰۴۶۶ | ۰/۳۱۶۲۸۰۴۱۶ | ۰/۲۹۹۰۸۵۲۴۲ | ۰/۷۵۹۵۸۶۱۲۴ |
| ۳ | ۰/۰۴۵۱۶۸۶۹۷ | ۰/۵۳۲۱۰۴۹۲۵ | ۰/۴۹۶۶۷۳۸۱۱ | ۱/۰۷۳۹۴۷۴۳۳ |
| ۴ | ۰/۱۵۴۹۶۵۲۴۷ | ۰/۳۰۴۷۹۳۳۴۷ | ۰/۲۸۸۸۳۷۵۲۳ | ۰/۷۴۸۵۹۶۱۱۷ |
| ۵ | ۰/۰۱۹۷۶۵۲۱۷ | ۰/۶۹۵۵۰۵۱۶۳ | ۰/۶۶۶۹۳۱۷۶۴ | ۰/۳۸۲۲۰۲۱۴۴ |
| ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ |
| ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ |
| ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ |
| ۲۱۴ | ۱/۷۱۲۲۶۵۴۳۴ | ۰/۰۰۰۹۹۰۰۱۶ | ۰/۱۸۹۷۹۴۳۷۴ | ۱/۹۰۳۰۵۰۰۳۴ |

در پایان نسبت سهم هریک از عوامل به کل مقدار Z به درصد به دست می آید که در جدول شماره (۵) نمایش داده شده است. برای مثال سهم عوامل مدل در میزان کل فرسایش پیکسل شماره یک از چپ به راست تقریباً عبارت است از ۴۸ درصد، ۲۸ درصد و ۲۳ درصد.

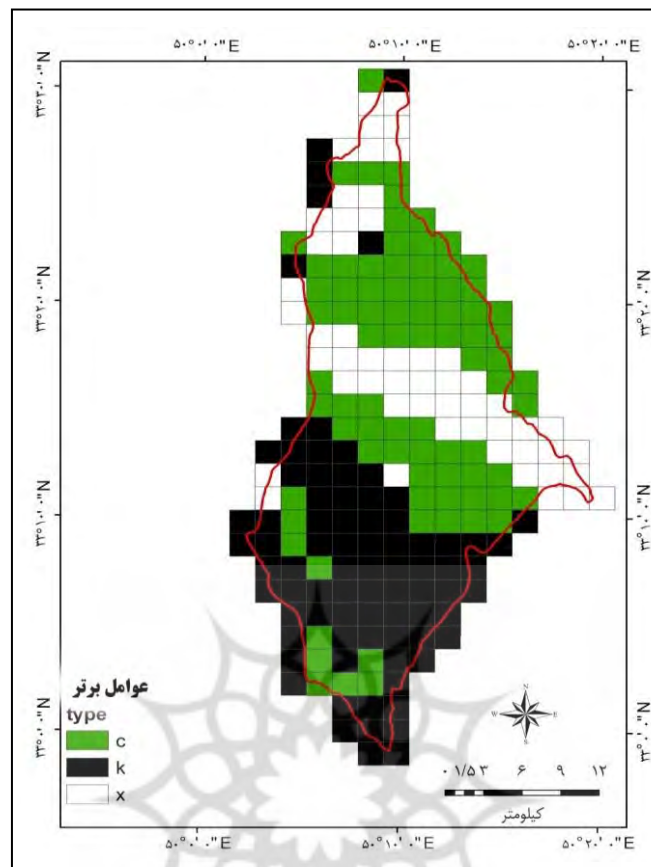
جدول ۵ نسبت سهم هر یک از لگاریتم اعداد بی بعد شده

| شماره پیکسل | Logz | logx | logk | Logc |
|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| ۱ | ۰/۷۵۶۲۸۳۲۳۱ | ۰/۳۶۳۳۹۴۳۶۸ | ۰/۲۱۵۲۸۹۷۲۵ | ۰/۱۷۷۵۹۹۱۳۸ |
| | ۱۰۰ | ۴۸/۰۵۰۰۱ | ۲۸/۴۶۶۸۱ | ۲۳/۴۸۳۱۵ |
| ۲ | ۰/۷۵۹۵۷۶۱۲۴ | ۰/۱۴۴۲۲۰۴۶۶ | ۰/۳۱۶۲۸،۴۱۶ | ۰/۲۹۹۰۸۵۲۴۲ |
| | ۱۰۰ | ۱۸/۹۸۶۷۱ | ۴۱/۶۳۸۵۱ | ۳۹/۳۷۴۷۶ |
| ۳ | ۱/۰۷۳۹۴۷۴۳۳ | ۰/۰۴۵۱۶۸۶۹۷ | ۰/۵۳۲۱۰۴۹۲۵ | ۰/۴۹۶۶۷۳۸۱۱ |
| | ۱۰۰ | ۴/۲۰۵۸۵ | ۴۹/۵۴۶۶۴ | ۴۶/۲۴۷۴۹ |
| ۴ | ۰/۷۴۸۵۹۶۱۱۷ | ۰/۱۵۴۹۶۵۲۴۷ | ۰/۳۰۴۷۹۳۳۴۷ | ۰/۲۸۸۸۳۷۵۲۳ |
| | ۱۰۰ | ۲۰/۷۰۰۷۸ | ۴۰/۷۱۵۳۲ | ۳۸/۵۸۳۸۹ |
| ۵ | ۱/۳۸۲۲۰۲۱۴۴ | ۰/۰۱۹۷۶۵۲۱۷ | ۰/۶۹۵۰۵۱۶۳ | ۰/۶۶۶۹۳۱۷۶۴ |
| | ۱۰۰ | ۰/۱۴۲۹۹۸ | ۵۰/۳۱۸۶۲ | ۴۸/۲۵۱۳۹ |
| | . | . | . | . |
| | . | . | . | . |
| | . | . | . | . |
| ۲۱۴ | ۱/۹۰۳۰۵۰۰۳۴ | ۱/۷۱۲۲۶۵۴۳۴ | ۰/۰۰۰۹۹۰۰۱۶ | ۰/۱۸۹۷۹۴۳۷۴ |
| | ۱۰۰ | ۸۹/۹۷۴۷۹ | ۰/۰۵۲۰۲۲ | ۹/۹۷۳۱۶ |

اکنون با مشخص شدن عامل برتر در هر پیکسل می توان نسبت به جدا سازی و بارز سازی آن ها با سه رنگ تفکیک شده اقدام کرد. لذا در این فاز سه رنگ سفید، مشکی و سبز به ترتیب به عنوان نماد برتر بودن X (سفید)، K (مشکی) و C (سبز) نمایه شده است (شکل ۶) و در نتیجه عامل برتر در هریک از پیکسل ها به صورت سه رنگ تعریف شده روی نقشه شکل (۷) ترسیم گردید.

| | |
|------|---|
| سفید | X |
| مشکی | K |
| سبز | C |

شکل ۶ رنگ گذاری پیکسل ها



شکل ۷ نقشه فرسایشی بر اساس سهم عوامل برتر در مدل اسلمسا

شکل (شماره ۶-) که با سه رنگ متفاوت نمایش داده شده بخوبی نشان می‌دهد که عامل C (رنگ سبز) در چه بخشی از منطقه مطالعاتی سهم بیشتری در فرسایش را بر عهده دارد و همین‌طور عوامل K (رنگ مشکی) و X (رنگ سفید) در کدام مناطق تأثیرگذاری برتری در نرخ فرسایش داشته‌اند.

۵. نتیجه‌گیری

مدل ابداعی استوگینگ اگرچه دارای مزیت‌های فراوانی به‌ویژه در حوزه روش و محاسبات رقومی واقعی است ولی باید به این نکته نیز اذعان داشت که برآوردهای مدل‌ها ضمن دادن تصویری روشن از میزان فرسایش پتانسیل مناطق می‌توانند با بهبود و اصلاح و یا افزودن روش‌های ترکیبی بر قابلیت‌های آنها افزود. مدل اسلمسا نیز از این قاعده مستثنا نبوده و افزودن قابلیت آن با اعمال تکنیک بی‌بعدسازی برداری و عملیات واکاوی لگاریتمی امکان‌پذیر گشت.

برآوردها در مدل اسلمسا به خطوط هم ارزش فرسایشی منجر می‌شود و البته این ارقام که به صورت خطوط هم ارزش فرسایشی نمایش داده می‌شود می‌تواند برای مخاطب بسیاری از مسائل فرسایشی را روشن سازد؛ برای مثال روند تغییر نرخ فرسایش برآورده در این نقشه‌ها قابل رؤیت و تحلیل است و رصدکننده هم می‌تواند به تحلیل کلی و چگونگی فرسایش در منطقه مبادرت کند و براساس میزان کل فرسایش در هرمنطقه اولویت عملیات کنترل را هدایت و مدیریت نماید. اگر به اعداد و ارقام به دست آمده در شکل (۵) دقت شود درمی‌یابیم منطقه مورد مطالعه دارای پنج سلول بسته فرسایشی است که دو سلول بسته رقم ۴۰ و سه سلول دیگر رقم ۳۴ تا ۳۶ را نشان می‌دهد به عبارتی می‌توان گفت که ما دارای دو منطقه حداکثر فرسایشی با ارقام متوسط ۳۵ و ۴۰ خواهیم بود. با این همه مخاطب قادر نیست بتواند علت غایی یا برتر فرسایش را در منطقه مطالعه بداند. با بهبود بخشی جداول سلول‌های فرسایشی این امکان فراهم آمد که مخاطب بتواند سهم هریک از عوامل اصلی در مدل اسلمسا را نیز به صورت نسبی بداند. این ویژگی تصمیم‌گیری در مورد اتخاذ روش‌های آبخیز داری را ممکن می‌سازد. با بررسی نتایج به دست آمده می‌توان چنین نتیجه گرفت که با اعمال یک ترفند آماری و توسل به عملیات ساده لوگ‌گیری می‌توان به نقشه‌هایی دسترسی پیدا کرد که ضمن محاسبه مقادیر برآورد شده فرسایش بر اساس واحدهای مدل، بتوان سهم هریک از عوامل را نیز تعیین نمود و نسبت به نماد گذاری آنها وضعیت عوامل فرسایشی و برتری آنها در منطقه مطالعاتی را به صورت ترسیمی نشان داد.

کتابنامه

- احمدی، حسن (۱۳۷۷): پتانسیل رسوب دهی با استفاده از روش MPSIAC، انتشارات دانشگاه تهران.
- آرام، احمد (۱۳۳۶): ماللهند، ص ۶۱-۸۷، تهران، شرکت انتشارات علمی و فرهنگی، چاپ چهارم.
- آقاخانی سوارانی، فرد، استاد راهنما، رامشت، محمد حسین، (۱۳۷۶): پایان‌نامه کارشناسی ارشد، بررسی روابط بارش و رواناب در حوضه آبریز گلپایگان، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف‌آباد.
- انصاری، ابراهیم (۱۳۴۳): اصول حفاظت خاک، سازمان جنگل‌بانی ایران، انتشارات دانشگاه تهران.
- بای‌بوردی، محمد (۱۳۵۰): اصول مهندسی زهکشی و بهسازی خاک، انتشارات دانشگاه تهران.
- برقی، محمدی (۱۳۷۰): ارزیابی پتانسیل‌های فرسایشی حوضه رودخانه زاینده‌رود، دانشگاه اصفهان.
- جداری عیوضی، جمشید (۱۳۷۴): ژئومورفولوژی ایران، دانشگاه پیام‌نور.
- جوانشیر، کریم (۱۳۵۴): گیاهان چوبی پوشش گیاهی ایران در معرض نابودی و نحوه حمایت آنها، نخستین سمینار مسائل پوشش گیاهی ایران.
- درویش‌زاده، علی (۱۳۷۰): زمین‌شناسی ایران، انتشارات دانش امروز تهران.
- صارمی، حسین (۱۳۷۵): پایان‌نامه کارشناسی ارشد، بررسی پتانسیل فرسایش رسوب در حوضه مرکزی سد درودزن با استفاده از مدل‌های تجربی و ریاضی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف‌آباد.

صالحی، محمد حسن، اسفندیار پور بروجنی، عیسی، باقریبداغ آبادی، محسن (۱۳۸۶) - حفاظت آب و خاک، انتشارات دانشگاه پیام نور.

عابدی، قدرت الله (۱۳۷۷): بررسی بلایای طبیعی و نقش آن در توسعه پایدار، مجله سپهر، شماره ۲۸.

علیزاده، امین (۱۳۷۹): فرسایش و حفاظت خاک، انتشارات آستان قدس رضوی.

علیزاده، امین (۱۳۷۴): اصول هیدرولوژی کاربردی، ناشر دانشگاه امام رضا (ع).

فضیلتی، ع و حسینی عراقی، ه (۱۳۶۴): مراتع کشور و روش های مدیریتی و اصلاح و احیاء آن، کمیته مشترک دفتر فنی مرتع و سازمان ترویج کشاورزی.

کاوینی، محمدرضا (۱۳۶۷): آب و هوای ایران، انتشارات دانشگاه اصفهان.

کردوانی، پرویز (۱۳۸۱): حفاظت خاک، انتشارات دانشگاه تهران.

کرمی، عیسی، استاد راهنما، رامشت، محمد حسین، (۱۳۷۲): بررسی و حفاظت خاک و مبارزه با فرسایش خاک، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی نجف آباد.

کیان ارثی، ناهید، استاد راهنما، رامشت، محمد حسین، (۱۳۷۹): اثرات شدت - مدت بارش حوضه آبریز سد پانزده خرداد، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد.

محمدی، منصور (۱۳۶۵): بررسی جنگل های زاگرس، محله جنگل و مرتع شماره اول و دوم.

محمودی، فرح الله (۱۳۷۳): جغرافیای ایران، شرکت چاپ و نشر ایران.

مخدوم، مجید (۱۳۹۲) شالوده آمایش سرزمین، چاپ چهاردهم، انتشارات دانشگاه تهران

میرزائی، مجید (۱۳۸۰): ارزیابی فرسایش خاک در سیستم آبخیز دشت نجف آباد با تاکید بر مدل SLEMSA، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد.

Beven, K. (1985). Distributed models. Hydrological Forecasting, John Wiley and Sons, New York, New York 1985. p 405-435, 9 fig, 2 tab, 57 ref.

Clark, W.A.V. et Hosking, P.L. (1986) Statistical Methods for Geographers. New York, John Wiley and Sons.

Cook, R. U., and J. C. Doornkamp, Geomorphology in *Environmental Management: An Introduction*, 413 pp., Clarendon Press, Oxford, 1974.

Elwell, H.A. & Stocking, M.A. (1984) Estimating soil life-span. Trop. Agric. (in press). Farm Management Handbook (1982) Department of Agricultural, Technical and Extension Services, Harare, Zimbabwe.

Furlan, A., Poussin, J. C., Mailhol, J. C., Le Bissonnais, Y., & Gumiere, S. J. (2012). Designing management options to reduce surface runoff and sediment yield with farmers: An experiment in south-western France. Journal of environmental management, 96(1), 74-85.

Gondwe, B. R., Merediz-Alonso, G., & Bauer-Gottwein, P. (2011). The influence of conceptual model uncertainty on management decisions for a groundwater-dependent ecosystem in karst. Journal of Hydrology, 400(1), 24-40.

Igue, A. M. (2002). The Qualitative Assessment of water erosion risk in moist savanna of Benin. In 12th ISCO conference Beijing.

- Matisoff, G., & Whiting, P. J. (2012). Measuring soil erosion rates using natural (^7Be , ^{210}Pb) and anthropogenic (^{137}Cs , $^{239,240}\text{Pu}$) radionuclides. In *Handbook of environmental isotope geochemistry* (pp. 487-519). Springer Berlin Heidelberg.
- Mudarra, M., & Andreo, B. (2011). Relative importance of the saturated and the unsaturated zones in the hydrogeological functioning of karst aquifers: The case of Alta Cadena (Southern Spain). *Journal of Hydrology*, 397(3), 263-280.
- Pimentel, D., Harvey, C., Resosudarmo, P., & Sinclair, K. (1995). Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits. *Science*, 267(5201), 1117.

پی نوشت

1-SLEMSA-Soil loos Estimation model for Southern Africa

اسلمسا

2- Dimensionless

بی بعد سازی

