

## برآورد توان تولید رسوب در حوضه شادگان با استفاده از مدل اریفر و پایگانی

### چکیده

فرسایش خاک به عنوان مسأله‌ای اساسی برای کشورهای در حال توسعه و توسعه یافته با آب و هواهای مختلف، مطرح است. فرسایش از دو طریق آبی و بادی امکان پذیر است. در این مقاله، با استفاده از دو روش اریفر و روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی<sup>۱</sup> (پایگانی)، میزان و شدت فرسایش خاک در حوضه شادگان در استان خوزستان برآورد شده است. برای این منظور، از نقشه‌های مختلف مانند مدل رقومی ارتفاعی<sup>۲</sup>، بارش، کاربری اراضی، شاخص پوشش گیاهی<sup>۳</sup> و زمین‌شناسی در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی استفاده شده است. نقشه نهایی برآورد فرسایش حاصل از دو روش به پنج گروه فرسایشی بسیار زیاد، زیاد، متوسط، کم و بسیار کم، بازطبقه‌بندی شده است. نتایج این پژوهش نشان داد که حدود ۱۲/۲ درصد از مساحت حوضه دارای شرایط بحرانی و میزان فرسایش بسیار شدید و شدید است. متوسط فرسایش خاک در سطح حوضه برابر با ۲۱۴۳/۸ تن بر هکتار در سال برآورد شده است. معادله رگرسیونی دو مدل، ( $R^2=0/96$ ) را نشان داده است. روش پایگانی همراه با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی، رویه و ابزار توانمندی برای برآورد، نمایش و پهنه‌بندی میزان فرسایش خاک است؛ با این وصف، در این رابطه می‌توان از روش‌های جدیدتری نیز بهره گرفت.

**واژه‌های کلیدی:** تحلیل سلسله مراتبی (پایگانی)، حوضه شادگان، فرسایش خاک، مدل اریفر، همبستگی

### مقدمه

دانشمندان تاکنون پژوهش‌های بسیاری در زمینه فرسایش انجام داده‌اند. در سال‌های اخیر توجه روزافزونی به بهبود و حفظ منابع طبیعی و جلوگیری از، از دست رفتن آنها و کاهش خسارات ناشی از نابودی این منابع شده است. فرسایش بادی یکی از عوامل هدررفت منابع خاک در نواحی خشک و نیمه خشک است. با توجه به قرارگیری بخش وسیعی از ایران در نواحی خشک و نیمه خشک، شناسایی کانون‌های فرسایش بادی و اندازه‌گیری آن از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. فرسایش بادی توان تولیدی خاک را با جابه‌جا کردن ذرات لای و رس و مواد غذایی از خاک با

1- Analytical Hierarchy process (AHP)

2- Digital Elevation Model (DEM)

3- Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

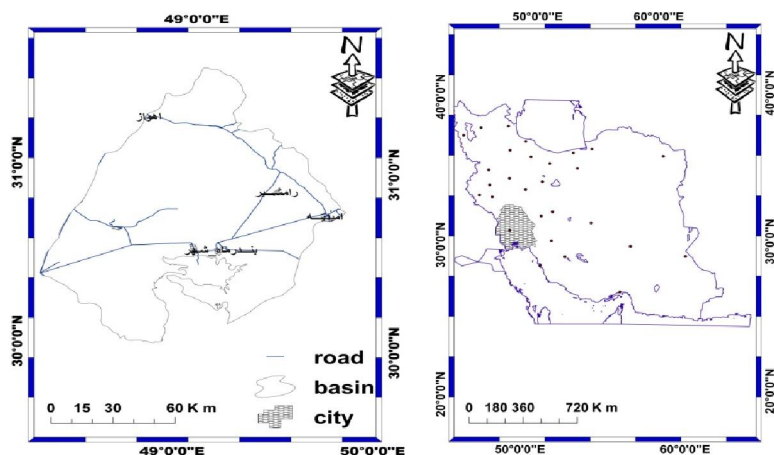
وارد نمودن خسارت به گیاهان جوان کاهش می‌دهد. از جمله مدل‌های سازگار و مناسب برای برآورد فرسایش بادی در آب و هوای خشک و نیمه‌خشک در ایران، مدل اریفر بر اساس مدل‌سازی تجربی است. این مدل با روشی، مشابه روش پسیاک در فرسایش آبی، برای برآورد فرسایش بادی استفاده شده است. برای اجرای این مدل که از نوع تجربی شاخصی بوده است، نه عامل مؤثر در برآورد فرسایش بادی مشخص شده است. سپس با جمع امتیازهای نه‌گانه در هر رخساره، کلاس‌های فرسایش و توان رسوبدهی بادی اراضی در طول سال برآورد شده است. از آنجا که غالب پژوهش‌های مرتبط با این روش با همکاری مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع ایران انجام شده است، با نام اختصاری اریفر، معرفی شده است. به منظور کاربردی نمودن روش مذکور، ابتدا به کمک نقشه‌های پایه مطالعاتی؛ از جمله نقشه‌های زمین‌شناسی، شیب، تراکم پوشش گیاهی و... رخساره‌های ژئومورفولوژی در حوضه آبخیز تفکیک شده است. سپس با مراجعه به محل و تکمیل فرم‌های امتیازدهی در هر رخساره، با تکنیک‌های مورفومتری نسبت به برآورد کلاس رسوبدهی، تهیه و تدوین نقشه شدت رسوبدهی اراضی اقدام شده است. روش اریفر، نخستین مدلی است که به صورت گسترده برای پیش‌بینی فرسایش بادی درون و بیرون دشت‌های وسیع به کار گرفته شده است. پژوهش‌هایی با بهره‌گیری از این روش انجام شده که می‌توان به (طهماسبی، ۱۳۷۹)، (زهتابیان، ۱۳۸۱)، (احمدی، ۱۳۸۶)، (اخضری، ۱۳۸۸)، (سعدالدین، ۱۳۸۹)، (زارعی، ۱۳۸۹)، (شاکریان، ۱۳۸۹)، (فرجی، ۱۳۸۹)، (رضایی راد، ۱۳۸۹)، (نادری، ۱۳۹۱)، (جواهری، ۱۳۹۱) اشاره نمود.

روش پایگانی، گرچه روش نسبتاً جدیدی نبوده؛ اما کاربرد آن در مطالعات فرسایش خاک نسبتاً جدید است. کارهای زیادی در سطح جهان؛ به‌ویژه ایران در این زمینه با استفاده از این روش، انجام نشده است. وانگ و وو (۲۰۰۶) از روش پایگانی و یکپارچه‌سازی آن با دیگر تکنیک‌ها برای برآورد فرسایش خاک استفاده کرده‌اند. همچنین، مجدداً وو و میتگی (۲۰۰۷) در چین از روش پایگانی برای تخمین شدت فرسایش استفاده کرده‌اند. هدف از پژوهش حاضر، این است که میزان و شدت فرسایش خاک در منطقه پژوهش از طریق مدل‌های اریفر و پایگانی برآورد و مقایسه و نقشه پهنه‌بندی شدت فرسایش نیز تهیه می‌گردد. در نهایت، محدوده‌های دارای وضعیت بحرانی یا با توان بالای فرسایش تعیین و معرفی می‌شود.

### معرفی منطقه پژوهش

منطقه مورد مطالعه با مختصات ۴۸ درجه و ۱۷ دقیقه تا ۴۹ درجه و ۴۸ دقیقه عرض شمالی و ۳۰ درجه و ۱ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۳۴ دقیقه طول شرقی واقع شده است. حوضه شادگان با شهرهای شادگان، ماهشهر، امیدیه و رامشیر در استان خوزستان هم‌مرز است. منطقه مورد مطالعه در تقسیمات تمام درحوضه آبریز خلیج فارس و دریای عمان با کد ۲۴۱۱۱ و مساحتی برابر با ۱۳۲۶۸/۵۴ کیلومتر مربع واقع شده است. از لحاظ زمین‌شناسی بیشترین سطح حوضه را رسوبات کواترنری و باقیمانده را سازند آغاچاری با رسوبات آهکی و سیلستون و سندستون تشکیل داده است. از لحاظ ژئومورفولوژی با بررسی‌های میدانی شاهد آن بودیم که بیشترین تیپ ژئومورفولوژی منطقه را جلگه‌های رسی ۷۴/۲٪ برابر ۹۷۳۵۳۴/۴ هکتار و کویرها با ۱۴/۲٪ از سطح حوضه را شامل شده است. سه نوع دشت سر در سطح حوضه شناسایی شده است. به ترتیب دشت سرپانداژ، فرسایشی و پوشیده است. بیشترین پوشش گیاهی منطقه را گیاهان خاص

مناطق شور مانند گیاهان هالوفیل ( نمک دوست ) و گیاه مرتعی شن دوست<sup>۱</sup> تشکیل داده است. میزان بارش ثبت شده از داده‌های ۱۷ ایستگاه منطقه برابر با ۲۲۵ میلیمتر است. دمای هوا بین ۲۴ تا ۲۷ درجه در نوسان است. حداقل و حداکثر میزان تبخیر، مابین ۲۷۵۰-۴۰۰۰ را نشان داده است. متوسط شاخص پوشش گیاهی محاسبه شده عدد ۰,۱۱ با انحراف معیار ۰,۰۶ را نشان داده است.



شکل (۱) موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

## داده ها و روش پژوهش

در پژوهش حاضر از گزارش‌های موجود و نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰,۰۰۰، مدل رقومی ارتفاعی ۳۰ متر<sup>۲</sup>، زمین شناسی ۱:۱۰۰,۰۰۰، نقشه ارزیابی منابع و قابلیت اراضی مؤسسه خاک و آب ۱:۲۵۰,۰۰۰، تصاویر ماهواره‌ای<sup>۳</sup>، شاخص پوشش گیاهی تهیه شده در پژوهشکده آبخیزداری و داده‌های بارش ایستگاه‌های هواشناسی استفاده شده است. برای اجرای مدل از فاکتورهای مورد نیاز هر مدل در قالب لایه‌های نقشه‌ای در محیط نرم افزار<sup>۴</sup> استفاده شده است. ابتدا لایه‌ها دارای فرمت برداری رقومی به فرمت رستری برای تحلیل، تبدیل شده است. نقشه نهایی شدت فرسایش حاصل از دو مدل اریفر و پایگانی در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی تهیه شده است. در هر دو مدل، نقشه نهایی به روش شکستگی‌های طبیعی به پنج کلاس بسیار زیاد، زیاد، متوسط، کم و بسیار کم فرسایشی باز طبقه‌بندی شده است. برای ارزیابی رابطه دو مدل از روش تحلیل جداول متقاطع استفاده شده است. برای ارزیابی دقت پژوهش از مشاهدات میدانی رخساره‌ها و نمونه‌برداری استفاده شده است. با استفاده از نرم افزار آماری<sup>۵</sup> میزان همبستگی آزمون شده است. در نهایت پیشنهادها و توصیه‌هایی مطرح شده است.

## - تعیین امتیاز عوامل مدل فرسایش بادی (مدل اریفر)

به منظور کاربرد روش مذکور، ابتدا به کمک نقشه‌های پایه مطالعاتی؛ از جمله نقشه‌های زمین‌شناسی، شیب، کاربری

1 -Psammophile  
2-DEM ASTER  
3-ETM2007  
4-ARCGIS9  
5-SPSS20

اراضی، تراکم پوشش گیاهی تیپ‌های ژئومرفولوژی در منطقه تفکیک شده است. با برآورد کلاس رسوبدهی، نسبت به تهیه و تدوین نقشه شدت رسوبدهی اراضی اقدام شده است. عوامل مورد بررسی و نحوه امتیازدهی آنها در جداول (۱) و (۲) نشان داده شده است.

جدول (۱) نحوه امتیازدهی معیارهای مؤثر در فرسایش بادی (اختصاصی - احمدی به نقل از احمدی، ۱۳۷۴: ۳۸۸-۳۹۳).

| عوامل فرسایش خاک و تولید رسوب   | حدود امتیازات عوامل فرسایش خاک | عوامل فرسایش خاک و تولید رسوب | حدود امتیازات عوامل فرسایش خاک |
|---------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| سنگ شناسی                       | ۰-۱۰                           | آثار فرسایش سطح خاک           | ۰-۲۰                           |
| پستی و بلندی و شکل اراضی        | ۰-۱۰                           | رطوبت خاک                     | ۱۵-(-۵)                        |
| سرعت و وضعیت باد                | ۰-۲۰                           | نوع و پراکنش نهشته‌های بادی   | ۰-۱۰                           |
| بافت خاک و پوشش غیر زنده سطح آن | ۱۵-(-۵)                        | مدیریت و استفاده از زمین      | ۱۵-(-۵)                        |
| انبوهی پوشش گیاهی               | ۱۵-(-۵)                        |                               |                                |

برای اجرای مدل اریفر، سهم هر یک از عوامل در فرسایش مشخص شده است. با روش میانگین وزنی، امتیاز هر یک از عوامل در منطقه مورد پژوهش و زیرحوضه‌ها محاسبه شده است. امتیاز عوامل مؤثر در فرسایش بادی با به دست آوردن جمع نمرات (درجه رسوبدهی)، از معادله (۱) استفاده شده است. هدف تعیین شدت فرسایش بادی و توان نهشته‌گذاری برای هر یک از رخساره‌هاست. برای برآورد توان نهشته‌گذاری در حوضه مورد مطالعه از رابطه ارائه شده بین درجه رسوبدهی و میزان نهشته‌گذاری استفاده شده است (طهماسبی، ۱۳۷۹).

$$QS = 41 [EXP (0.05 R)] \quad (1)$$

QS = میزان رسوبدهی سالانه (T/h/y): R درجه رسوبدهی

جدول (۲) برآورد توان رسوبدهی اراضی نسبت به فرسایش بادی به روش تجربی اریفر

| علامت کلاس فرسایشی | مقدار کیفی فرسایش | کل امتیاز     | برآورد توان رسوبدهی (ton/km <sup>2</sup> /yr) |
|--------------------|-------------------|---------------|---|
| I                  | خیلی کم           | کمتر از ۲۵    | کمتر از ۲۵۰                                   |
| II                 | کم                | ۲۵-۵۰         | ۲۵۰-۵۰۰                                       |
| III                | متوسط             | ۵۰-۷۵         | ۵۰۰-۱۵۰۰                                      |
| IV                 | زیاد              | ۷۵-۱۰۰        | ۱۵۰۰-۶۰۰۰                                     |
| V                  | خیلی زیاد         | بزرگتر از ۱۰۰ | بیشتر از ۶۰۰۰                                 |

## – تعیین امتیاز عوامل مدل پایگانی

روش مقایسه دو به دو به دلیل داشتن مبنای نظری قوی، دقت بالا و سهولت استفاده، دارا بودن ارزش و اعتبار و درستی و دقت نتیجه، یکی از معتبرترین و پرکاربردترین روش‌هاست (مالکسواز کی، ۱۹۹۹). از نقاط مثبت این پژوهش استفاده از مدل پایگانی و ارزیابی آن با مدل اریفر است. در این روش، ابتدا ماتریس مقایسه‌ای تشکیل شده و مشخصه‌ها به صورت زوجی مقایسه و وزن (ارزش) نسبی آنها به طور نظری تعیین شده است. نسبت‌های یاد شده با مقادیر کمی بین ۱ تا ۹ بیان شده است (ساعتی، ۱۹۸۰). برای تعیین درجه دقت و صحت وزن دهی از شاخص سازگاری استفاده شده است. چنانچه شاخص سازگاری معادل ۰/۱ یا کمتر باشد، وزن‌دهی صحیح بوده و در غیر این صورت وزن‌های نسبی داده شده به معیارها باید تغییر یابند و وزن‌دهی مجدد باید انجام گردد (کرم، ۱۳۸۳). با توجه به اینکه شاخص سازگاری ۰/۰۸۹۱ محاسبه شده و کمتر از ۰/۱ است، نشان‌دهنده دقت و صحت وزن‌دهی به معیارهاست. برای محاسبه وزن نسبی لایه‌ها از روش مقایسه دوتایی با استفاده از الحاقیه در نرم افزار<sup>۱</sup> استفاده شده است.

جدول ۴) ماتریس ارزش‌گذاری معیارها و وزن نهایی محاسبه شده

| وزن نهایی | سنگ شناسی | کاربری راضی | پوشش گیاهی | آب و هوا | ماتریس ارزش لایه |
|-----------|-----------|-------------|------------|----------|------------------|
| ۰/۰۲۵۸۹   | ۵         | ۳           | ۰/۳۳۳      | ۱        | آب و هوا         |
| ۰/۵۵۵۵۸   | ۷         | ۵           | ۱          | ۳        | پوشش گیاهی       |
| ۰/۱۱۳۶۴   | ۵         | ۱           | ۰/۲        | ۰/۳۳۳    | کاربری اراضی     |
| ۰/۰۰۴۸۹   | ۱         | ۰/۲         | ۰/۱۴۲۹     | ۰/۲      | زمین شناسی       |

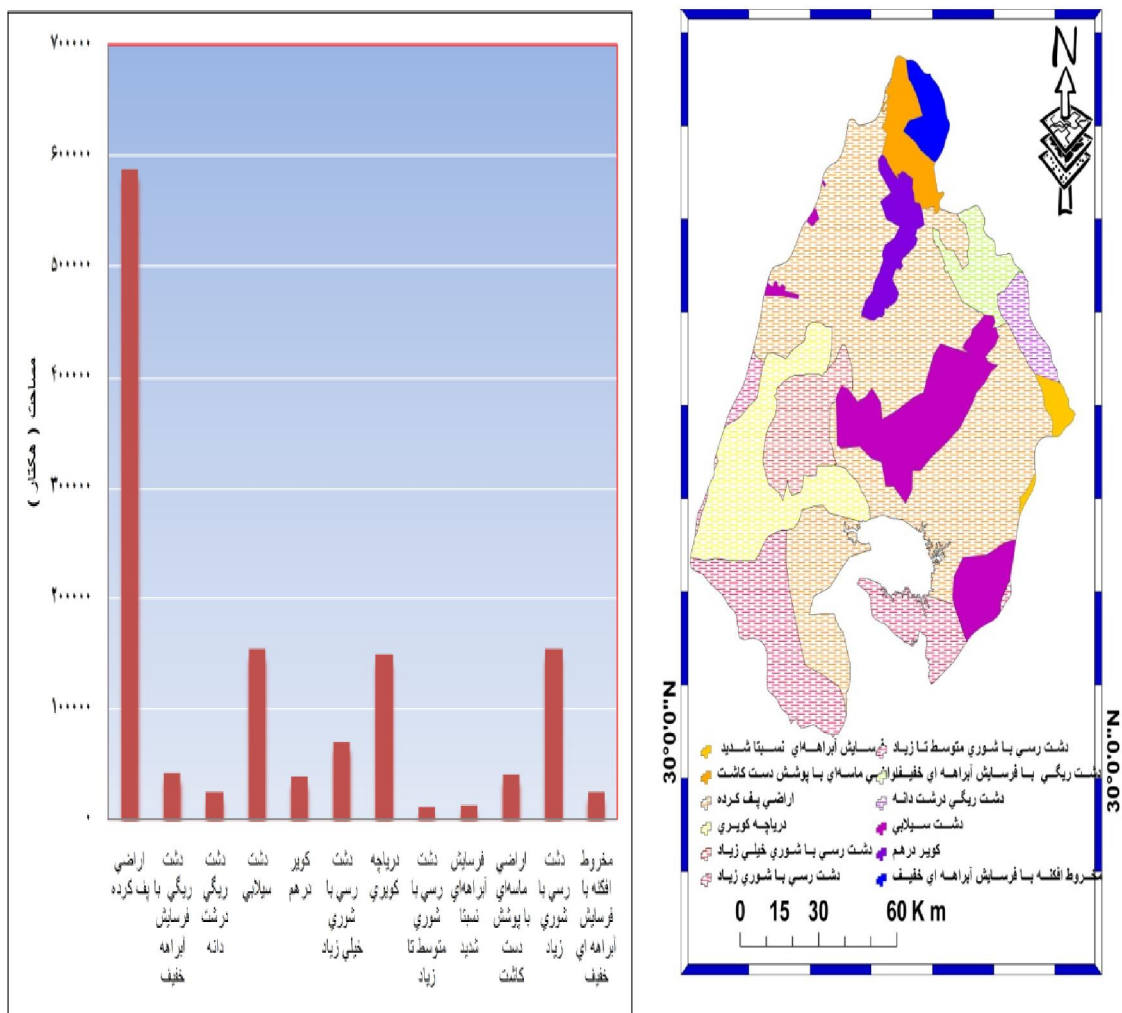
لایه‌های نقشه‌ای ابتدا طبقه‌بندی شده و به هر طبقه از هر نقشه، در رابطه با حساسیت نسبت به فرسایش بادی امتیازی از ۱۰ (کمترین حساسیت) تا ۱۰۰ (بیشترین حساسیت) تعلق گرفته است. سپس وزن‌های حاصل از اعمال مدل پایگانی در این امتیازها ضرب می‌گردد. در نتیجه، برای هر پیکسل (واحد نقشه‌ای) در هر لایه یک ارزش کمی به دست آمده است. در نهایت، همه لایه‌های امتیاز دار و وزن‌دار شده نقشه با هم جمع جبری شده است. نقشه خروجی امتیاز کل هر پیکسل را در رابطه با حساسیت نسبت به فرسایش بادی نشان داده است. ارقام بالا بیشترین و ارقام پایین، کمترین شدت به فرسایش را نشان داده است.

## یافته‌های پژوهش

بدین منظور، ابتدا نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ منطقه مورد مطالعه تهیه و محدوده مورد نظر بر روی آن مشخص و رقمی شده است. بعد با استفاده از نقشه‌های وکتوری، نقشه مدل رقمی ارتفاع زمین تهیه شده است. با استفاده از آن، نقشه شیب ایجاد شده است. با استفاده از روش احمدی (۱۳۷۴، ۴۰۳) واحدها و تیپ‌های ژئومورفولوژیک جدا شده است. پروفیل دشت سر ۱ تا ۲۰ درصد بوده، که شامل دشت سر پوشیده ۱ تا ۴٪، دشت سر اپانداژ (انتهایی) تا ۸٪

و فرسایشی تا ۲۰٪ است. برای تهیه نقشه رخساره‌ها از عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای و همچنین تصاویر حاصل از گوگل ارث<sup>۱</sup> استفاده شده است.

مناطق برداشت، حمل و رسوبگذاری مشخص شده است. نقشه رخساره‌های مقدماتی تهیه شده با رخساره‌های فعلی موجود در عرصه ارزیابی شده و اصلاحات لازم انجام و رقومی شده است. بررسی مواد سازنده لندفرم‌ها و فرایندهای موثر با استفاده از تکنیک‌های کمی ژئومورفولوژیک و خاک شناختی، استفاده شده است. در این مرحله ۱۲ رخساره در منطقه شناسایی شده است (شکل ۲).



شکل ۲) نقشه ژئومورفولوژی منطقه به همراه مساحت رخساره‌ها (هکتار)

جدول ۴) خصوصیات شیمیایی خاک و تطبیق با نقشه باز طبقه بندی شده روش پایگانی

| محل نمونه برداری                            | هدایت الکتریکی (µmhos/cm) | مواد آلی حاکی | درصد سنگریزه سطح | محل نمونه ها با کلاسه بندی مدل پایگانی |
|---|---------------------------|---------------|------------------|--|
| دشت رسی با شوری زیاد                        | ۸۷                        | ۰/۲۳          | ٪۹               | خیلی زیاد                              |
| اراضی پف کرده                               | ۱۴۷/۸                     | ۰/۱۲          | ٪۳               | خیلی زیاد                              |
| دشت رسی با شوری خیلی زیاد                   | ۱۱۲/۴                     | ۰/۱۹          | ٪۷               | خیلی زیاد                              |
| دشت ریگی درشت دانه                          | ۳۹/۱                      | ۰/۴۶          | ٪۷۵              | زیاد                                   |
| دشت سرفسایشی (فرسایش آبراهه‌ای نسبتاً شدید) | ۱۲                        | ۰/۸۲          | ٪۴۹              | متوسط                                  |
| دشت رسی شوری متوسط                          | ۵۷                        | ۰/۳۸          | ٪۱۶              | زیاد                                   |

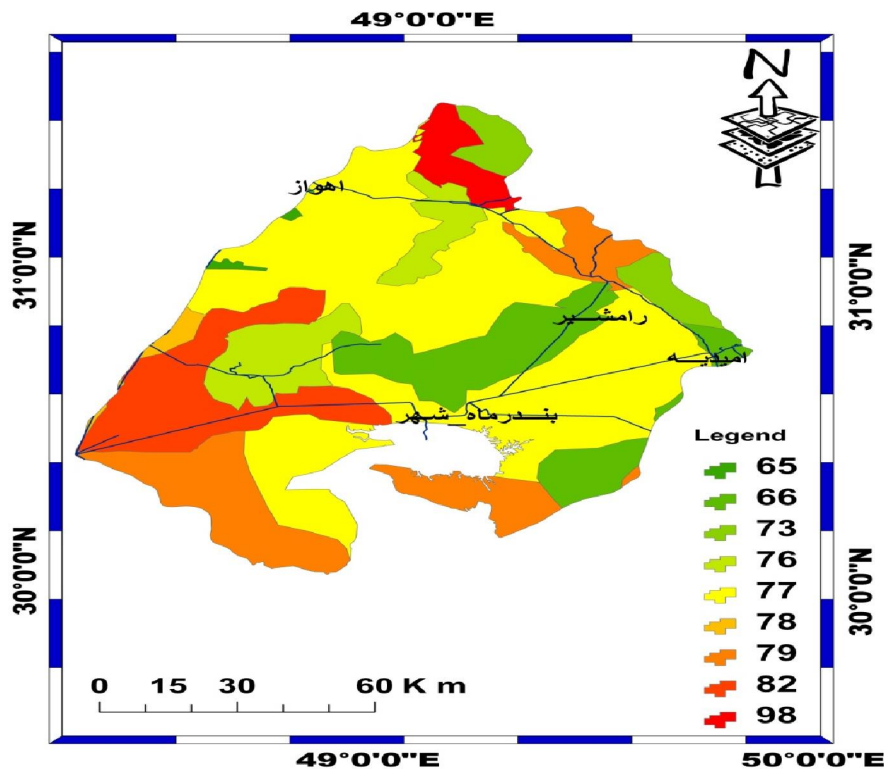
به منظور ارزیابی میزان فرسایش بادی در مدل اریفر نه عامل بررسی می‌شود. این عوامل عبارتند از:

- سنگ شناسی: این عامل به منظور تعیین حساسیت سنگ نسبت به فرسایش بررسی شد. جنس سازندهای منطقه اغلب آبرفت درشت دانه تا ریزدانه است. با توجه به جدول امتیازدهی، دامنه امتیاز این عامل در واحدهای کاری ۱ تا ۷ است
- واحد زمین ریخت: چنانکه در نقشه ژئومرفولوژی منطقه مشخص است، این منطقه شامل پلایا، دشت سرپوشیده، دشت سر اپانداژ و دشت سر فرسایشی و سطوح کوچک کوهستانی است؛ لذا امتیاز این عامل با توجه به نوع ناهمواری بین ۶ تا ۸ متغیر است. امتیاز این عامل در قسمت رخساره‌های جلگه رسی بیشتر است.
- سرعت و وضعیت باد: باد اصلی‌ترین عامل تخریب و فرسایش در مناطق بیابانی محسوب می‌شود. به همین جهت بر اساس سرعت و مدت تداوم باد، امتیازدهی این عامل انجام می‌گیرد. در منطقه مورد مطالعه، درصد فراوانی بادهای فرساینده در تمام منطقه مطالعاتی از ۴۰ درصد بالاتر است. بادهای توان بالای حمل ماسه هستند. با توجه به این موضوع، امتیاز این عامل در تمام واحدهای کاری ۱۷ در نظر گرفته شد.
- خاک و پوشش سطح آن: این عامل با توجه به بافت، ساختمان، میزان پوشش سنگی، چسبندگی و سیمانی شدن امتیازدهی می‌شود. به واحدهای کاری منطبق بر رخساره‌های ماسه‌ای به سبب ساختمان و بافت مستعد برای فرسایش بادی امتیاز بالایی تعلق گرفت. دامنه امتیاز بین منفی ۵ تا ۱۳ متغیر است.
- انبوهی پوشش گیاهی: تراکم پوشش گیاهی از جمله عوامل مؤثر در کاهش سرعت باد و جلوگیری از فرسایش بادی است. به طور کلی، سطح این منطقه از جهت تراکم پوشش گیاهی در بسیاری از واحدهای کاری فقیر است؛ لذا امتیاز این عامل در اکثر واحدهای کاری بالاست. دامنه امتیاز از ۱۰ تا ۱۳ تغییر می‌کند.

- آثار فرسایشی سطح خاک: در سطح وسیعی از منطقه، آثار فرسایش به شکل نهشته گذاری به چشم می خورد. بر این اساس و با توجه به جدول امتیازدهی این مدل، امتیاز هر رخساره تعیین شده است. این امتیازات بین ۸ تا ۲۰ متغیر است.

- رطوبت خاک: اصلی ترین عامل تأمین رطوبت خاک، ریزش های جوی و جریان های سطحی است که منطقه مورد مطالعه از جنبه این دو عامل در وضعیت نسبتاً خوبی است؛ اما به دلیل تبخیر و تعرق بالا در تمام منطقه و همچنین به دلیل نفوذپذیری بالای خاک و بافت سیلتی رسی در تعدادی از واحدهای کاری این منطقه، ظرفیت نگهداری آب در این خاک ها محدود و رطوبت این خاک ها پایین است. لذا با توجه به این مسائل، امتیاز این عامل در سطح وسیعی از منطقه بالاست. دامنه امتیاز از منفی ۵ تا ۱۰ است.

- نوع و پراکنش نهشته های بادی: با توجه به آثار و شواهد موجود می توان گفت که این منطقه در فرایند فرسایش بادی به عنوان منطقه حمل و نهشته گذاری، بیشتر ترسیب عمل نموده و شواهدی که از ترسیب در این ناحیه دیده می شود، سفره های پرضخامت ماسه بادی و توفان های گرد و غبار است. دامنه امتیاز این عامل از ۲ تا ۱۰ تغییر می کند.  
- مدیریت و استفاده از زمین: این عامل نیز با توجه به نوع و تناسب کاربری اراضی امتیازدهی شده است. محدوده امتیاز این عامل نیز بین ۹ تا ۱۵ متغیر است.

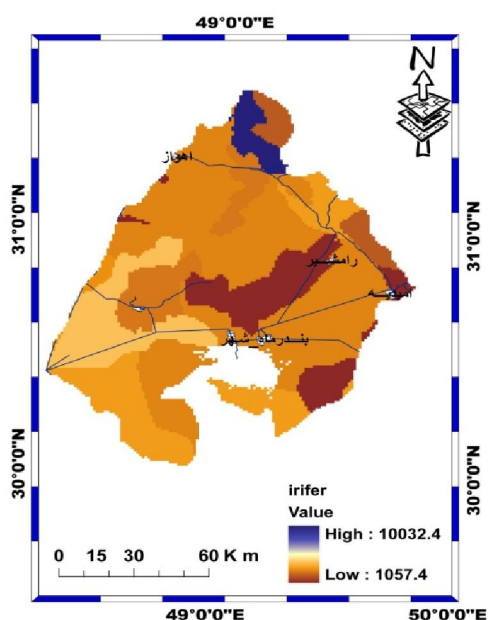


شکل ۳) نقشه ضریب فرسایشی و درجه رسوبدهی

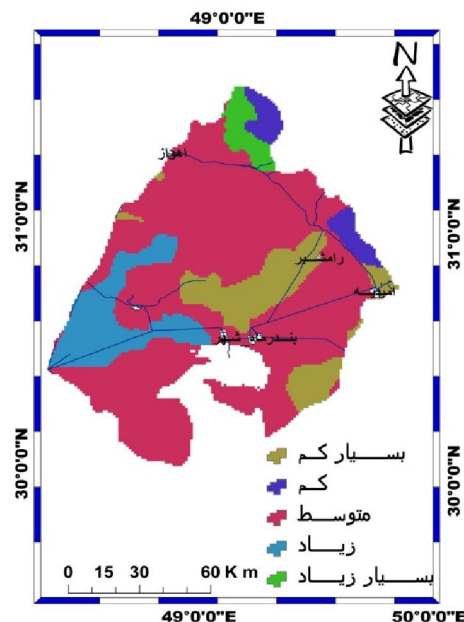
پس از محاسبه درجه رسوبدهی در هر واحد کاری می توان به رخساره های ژئومورفولوژیک اراضی پف کرده با درجه رسوبدهی ۷۷ در واحد پلایا اشاره گردد. بر اساس جدول (۲) پیش بینی میزان نهشته گذاری بین ۱۵۰۰-۶۰۰۰ تن /



کیلومتر مربع / سال و در کلاس زیاد قرار گرفته است. رخساره‌های دشت ریگی، کویر درهم، دشت رسی با شوری خیلی زیاد، زیاد و متوسط، همگی دارای تیپ جلگه رسی در کلاس زیاد طبقه بندی شده است. رخساره‌های دشت ریگی درشت دانه، دشت سیلابی و فرسایش آبراهه‌ای نسبتاً شدید در کلاس شدت متوسط با امتیاز بین ۵۰-۷۵ و میزان نهشته‌گذاری سالیانه ۵۰۰-۱۵۰۰ تن / کیلومتر مربع / سال را داراست. نقشه نهایی برآورد فرسایش خاک به پنج طبقه بسیار زیاد، زیاد، متوسط، کم و بسیار کم فرسایشی باز طبقه‌بندی شده است (شکل ۴ و ۵).



شکل ۵) برآورد میزان فرسایش خاک به روش اریفر



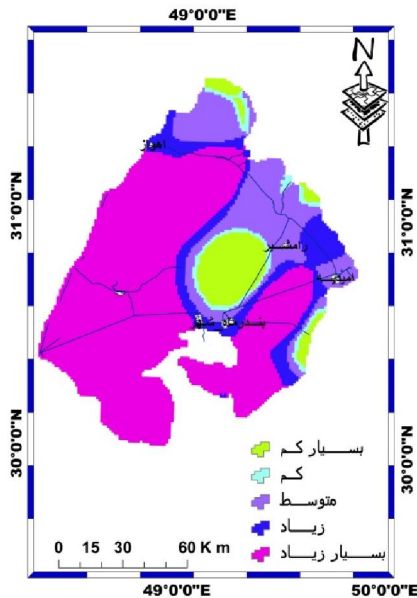
شکل ۴) باز طبقه‌بندی روش اریفر شکل

نقشه وضعیت کیفی فرسایش حاصل از این مدل نشان داده شده است. براساس این نقشه ۹۰۶۷۱۹ هکتار در طبقه متوسط با ۶۹/۲٪ کل منطقه را شامل شده است. ۱۴۷۶۶۰ هکتار در طبقه زیاد و ۴۰۲۱۷ هکتار در طبقه بسیار زیاد از نظر شدت فرسایش قرار گرفته است. نتایج حاصل از اجرای مدل اریفر نشان داد که مقدار متوسط فرسایش خاک در سطح حوضه معادل ۲۱۴۳/۸ تن و حداکثر آن برابر ۱۰۰۳۲ تن در هکتار در سال برآورد شده است.

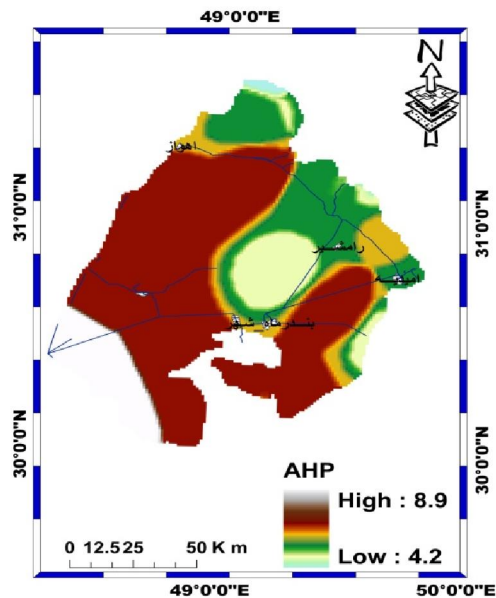
جدول ۵) برآورد میزان فرسایش خاک به روش اریفر در حوضه شادگان

| درصد مساحت | مساحت (هکتار) | مقدار فرسایش (تن در هکتار در سال) | طبقات شدت فرسایش |
|------------|---------------|-----------------------------------|------------------|
| ۱۲/۶       | ۱۶۵۷۰۵        | کمتر از ۱۱۰۰                      | بسیار کم         |
| ۳/۸        | ۵۰۵۹۶         | ۱۱۰۰-۱۵۵۰                         | کم               |
| ۶۹/۲       | ۹۰۶۷۱۹        | ۱۵۵۰-۲۱۰۰                         | متوسط            |
| ۱۱/۳       | ۱۴۷۶۶۰        | ۲۱۰۰-۲۵۰۰                         | زیاد             |
| ۳/۰۶       | ۴۰۲۱۷         | ۲۵۰۰-۱۰۰۰۰                        | بسیار زیاد       |

با اجرای روش پایگانی، نقشه‌های معیار ابتدا براساس میزان حساسیت کلاسه‌بندی و وزن‌دهی شده است. نقشه حاصل از جمع جبری لایه‌ها، جدول (۳) نقشه نهایی حوضه با مدل پایگانی را نشان داده است (شکل ۶). نقشه حاصل با استفاده از روش شکستگی‌های طبیعی به پنج طبقه بسیار زیاد، زیاد، متوسط، کم و بسیار کم فرسایشی باز طبقه‌بندی شده است (شکل ۷). نتیجه نشان داد که ۸۵۷۴۷۱ هکتار در طبقه بسیار زیاد فرسایشی و ۱۵۲۲۴۰ هکتار در طبقه زیاد و ۱۷,۲ درصد برابر ۲۴۲۶۲۹ هکتار در طبقه متوسط فرسایشی باز طبقه‌بندی شده است.



شکل ۷) باز طبقه‌بندی به روش پایگانی

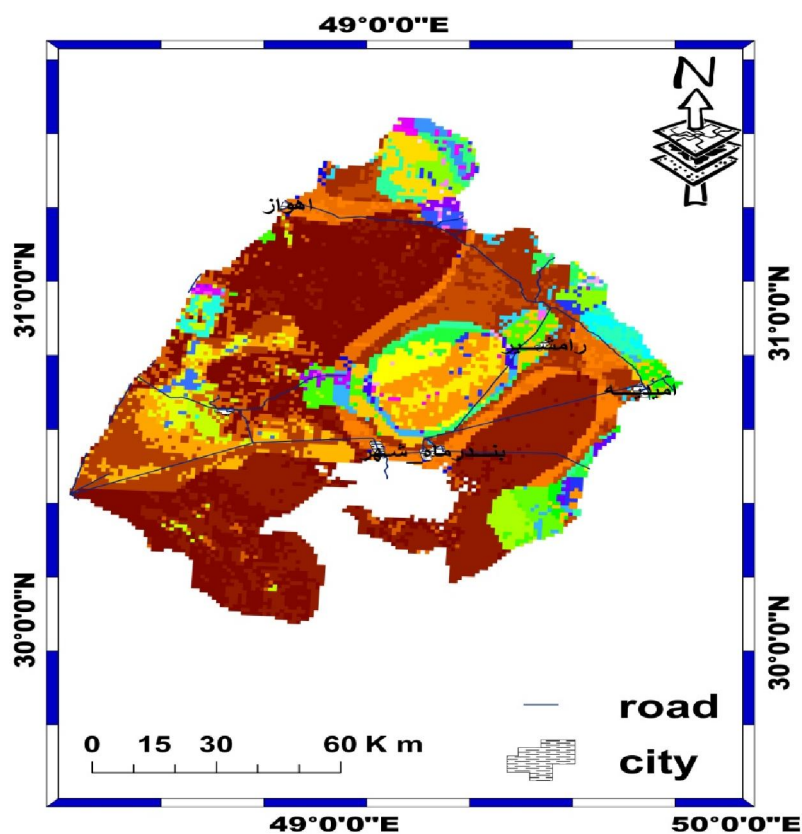


شکل ۶) برآورد شدت فرسایش خاک با روش پایگانی

جدول ۶) برآورد میزان فرسایش خاک به روش پایگانی در حوضه شادگان

| درصد مساحت | مساحت (هکتار) | طبقات شدت فرسایش |
|------------|---------------|------------------|
| ۷/۸        | ۱۱۰۹۶۵        | بسیار کم         |
| ۲/۹        | ۴۱۷۶۵         | کم               |
| ۱۷/۲       | ۲۴۲۶۲۹        | متوسط            |
| ۱۰/۸       | ۱۵۲۲۴۰        | زیاد             |
| ۶۱/۰۲      | ۸۵۷۴۷۱        | بسیار زیاد       |

برای به دست آوردن میزان همپوشانی لایه‌های باز طبقه‌بندی شده، دو نقشه رستری با استفاده از دستور<sup>۱</sup> در محیط نرم افزار روی هم اندازی شده است (شکل ۸).



شکل ۸) ماتریس برآورد میزان فرسایش خاک با دو روش اریفر و پایگانی

نتایج ماتریس نشان داده است که پیش‌بینی فرسایش خیلی ضعیف و ضعیف در هر دو مدل ۴/۸۷٪ برابر ۶۳۸۱۱ هکتار و ۹۰۶۳ است. پیش‌بینی هر دو مدل در خصوص فرسایش متوسط ۱۴۱۷۰۷ هکتار معادل ۱۰/۸ است. همچنین، پیش‌بینی نشان داد که فرسایش زیاد و خیلی زیاد در هر دو مدل برابر ۱۵۷۳۸۳ هکتار ۱۲/۲٪ از کل منطقه را شامل شده است. بررسی ضریب همبستگی پیرسون که با استفاده از نرم افزار آماری به دست آمده است، در پیش‌بینی فرسایش خیلی زیاد باد و روش پایگانی و اریفر ( $R^2 = ۰/۹۶$ ) را نشان داده است. این آماره حکایت از همبستگی بسیار قوی دو مدل است و معادله رگرسیونی مدل عبارت است از:

$$y = ۰/۰۳۸۱x + ۱۵۴۵/۶R^2 = ۰/۹۶۵۸$$

### نتیجه‌گیری

با توجه به مقدار برآورد شده نهشته‌گذاری با استفاده از مدل اریفر در سطح حوضه؛ یعنی متوسط ۲۱۴۳/۸ تن در هکتار در سال می‌توان گفت که شدت نهشته‌گذاری در سطح حوضه شادگان زیاد و در برخی نواحی بحرانی و بسیار زیاد است. لذا لزوم توجه به مساله خاک با انجام مطالعات جامع آبخیزداری، مبارزه با فرسایش بادی با استفاده از روش‌های بیولوژیک و مالچ‌پاشی و اجرای روش‌های حفاظت خاک و آبخیزداری در سطح حوضه و بویژه در بخش‌ها و واحدهای کاری دارای شرایط بحرانی بسیار ضروری است. تجزیه و تحلیل خصوصیات شیمیایی خاک منطقه در محل نمونه برداری از انطباق قابل قبولی بین عوامل اندازه‌گیری شده مانند هدایت الکتریکی، درصد مواد آلی خاک و درصد

سنگریزه سطح با طبقه‌بندی انجام شده با استفاده از مدل پایگانی دارا بوده است. مناطق دارای درصد سنگریزه سطحی کمتر و نسبت جذب سدیم بیشتر (انفصال خاکدانه‌ها) و درصد مواد آلی خاک کمتر (پیوستگی کلوئیدهای خاک) و هدایت الکتریکی بیشتر از لحاظ میزان نهشته‌گذاری در اولویت است. این موضوع با نقشه ارائه شده از مدل پایگانی کاملاً منطبق است. نتایج نشان می‌دهد که شرایط بحرانی در جلگه رسی و پلایاها بیشتر مشهود است. این منطقه باید در اولویت اجرای برنامه‌های مطالعاتی، حفاظتی و آبخیزداری قرار بگیرد. تحلیل جداول متقاطع بین هر دو روش نشان داد که هر دو مدل در برآورد شدت فرسایش بسیار زیاد و زیاد همبستگی بالایی را داراست. همچنین، مشاهدات میدانی و تصاویر ماهواره‌ای تطابق خوبی را داراست. مقایسه دو نقشه برآوردی نشان داد که در هر دو مدل سطوح برآورد شده مربوط به نواحی با نهشته‌گذاری زیاد و بسیار زیاد تقریباً معادل هم و برابر ۱۲٫۲٪ از مساحت حوضه است. مقایسه جداول متقاطع و تجزیه شیمیایی خاک به همراه بررسی بصری تصویر ماهواره‌ای حوضه با نقشه‌های نهایی در دو روش برآورد میزان نهشته‌گذاری گویای آن است. پراکنش فضایی نیز، روش پایگانی همخوانی و دقت قابل قبولی در برآورد شدت نهشته‌گذاری داشته است؛ زیرا بخش قابل توجهی از نواحی دارای توان نهشته‌گذاری زیاد و بسیار زیاد در نقشه حاصل از این روش دقیقاً منطبق بر نواحی موجود دارای نهشته‌گذاری زیاد است. معادله همبستگی نیز می‌تواند موکد استفاده از این روش در برآورد میزان نهشته‌گذاری باشد. پیشنهاد می‌گردد از روش‌های دیگری چون منطق فازی و شبکه عصبی نیز در مطالعات آتی استفاده گردد.

## منابع

- ۱- احمدی، حسن. (۱۳۷۴). ژئومرفولوژی کاربردی، جلد دوم، (بیابان فرسایش بادی)، انتشارات دانشگاه تهران.
- ۲- احمدی، حسن؛ اختصاصی، محمد رضا و همتی، نعمت ..... (۱۳۸۶). برآورد و مقایسه توان رسوبدهی فرسایش آبی و بادی با استفاده از مدل‌های MPSIACK و IRIFR در مناطق نیمه‌خشک (مطالعه موردی حوضه آبخیز نعمت‌آباد بیجار)، نشریه دانشکده منابع طبیعی، دوره ۶۰، ش ۱، صص ۳۴-۲۱.
- ۳- اخضری، داود؛ مصفاپی، جمال و لطفی اناری، پیمان. (۱۳۸۸). پهنه‌بندی شدت خطر فرسایش بادی با استفاده از مدل اریفر در دشت شهریار، پنجمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران.
- ۴- جواهری شیرازی، محمدعلی و خوشبخت، مهرانگیز. (۱۳۹۱). برآورد میزان فرسایش بادی در منطقه شرق کرخه با استفاده از مدل IRIFR، اولین کنفرانس ملی راهکارهای دستیابی به توسعه پایدار.
- ۵- رضایی راد، نظر؛ هاتفی، امیرحسین؛ صابری، موسی و برغمندی، منصور. (۱۳۸۹). برآورد توان رسوبدهی فرسایش بادی در منطقه بیابانی شهرستان اسفراین با استفاده از مدل اریفر، دومین همایش ملی فرسایش بادی و طوفان‌های گرد و غبار، انجمن علمی مدیریت و کنترل مناطق بیابانی ایران، یزد.
- ۶- زارعی محمودآبادی، هادی؛ چابک‌بلداجی، مسلم؛ ابراهیمی خوسفی، زهره و طباطبایی‌زاده، منیرالسادات. (۱۳۸۹). برآورد شدت فرسایش بادی با استفاده از مدل IRIFR مطالعه موردی: منطقه جمز طبس، دومین همایش ملی فرسایش بادی و طوفان‌های گرد و غبار، انجمن علمی مدیریت و کنترل مناطق بیابانی ایران، یزد.

- ۷- زهتابیان، غلامرضا؛ احمدی، حسن؛ اختصاصی، محمد رضا، جعفری، رضا. (۱۳۸۱). تعیین شدت فرسایش بادی در منطقه کاشان با استفاده از مدل بیابانزایی، *مجله منابع طبیعی ایران*، ج ۵۵، ش ۲.
- ۸- سعدالدین، امیر؛ اخصری، داوود؛ نورا، نادر. (۱۳۸۹). پیش‌بینی اثرات سناریوهای مدیریت پوشش گیاهی بر خطر فرسایش بادی (مطالعه موردی: جنوب دشت ورامین) پژوهش‌های حفاظت آب و خاک (علوم کشاورزی و منابع طبیعی).
- ۹- شاکریان، غلامرضا. (۱۳۸۹). محاسبه شدت فرسایش بادی و میزان رسوبدهی منطقه جرقویه اصفهان با استفاده از مدل I.R.I.F.R، دومین همایش ملی فرسایش بادی و طوفان‌های گرد و غبار، انجمن علمی مدیریت و کنترل مناطق بیابانی، ایران، یزد.
- ۱۰- طهماسبی بیرگانی، علی محمد؛ احمدی، حسن؛ رفاهی، حسینقلی، اختصاصی، محمد رضا. (۱۳۷۹). مقایسه توان رسوبدهی فرسایش‌های آبی و بادی با استفاده از مدل‌های MPSIACK و IRIFR در مناطق بیابانی ایران (مطالعه موردی حوضه آبخیز آب بخش‌های کرمان)، *مجله منابع طبیعی ایران*، ج ۵۳، ش ۱، صص ۷۲-۸۵.
- ۱۱- فرجی، محمدعلی؛ احمدی، حسن؛ اختصاصی، محمد رضا. (۱۳۸۹). ارزیابی شدت فرسایش بادی حوضه آبخیز مارون - ملائانی به روش اریفر ۱، دومین همایش ملی فرسایش بادی و طوفان‌های گرد و غبار، انجمن علمی مدیریت و کنترل مناطق بیابانی ایران، یزد.
- ۱۲- فتواتی، عزت اله. (۱۳۸۵). مکان‌یابی محل دفن بهداشتی مواد زائد جامد شهری با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) (مطالعه موردی شهر آبدانان)، *فصلنامه جغرافیایی سرزمین*، ش ۱، صص ۸۱-۶۸.
- ۱۳- کرم، امیر. (۱۳۸۳). کاربرد مدل ترکیب خطی وزین در پهنه‌بندی وقوع زمین لغزش، *جغرافیا و توسعه*، ش ۴، زاهدان.
- ۱۴- نادری، فتح الله؛ کریمی، حاجی؛ علیمراد، صادق و ناصری، بهروز. (۱۳۹۱). ارزیابی شدت فرسایش بادی در دشت چنگوله ایلام به روش تجربی IRIFR.E.A، *اولین همایش ملی بیابان (علوم، فنون و توسعه پایدار)*، مرکز تحقیقات بین‌المللی بیابان دانشگاه تهران، تهران.
- ۱۵- داده‌های ماهواره چندطیفی سنجنده ETM+ مربوط به مسیرهای ۱۶۵، ردیف ۳۸ و ۳۹ در سال ۲۰۰۷.
- ۱۶- نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰۰ سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح به شماره NH39-5 و سری K555 منطقه آبادان نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ به شماره ۵۷۵۱، ۵۸۵۱، سری K753 شادگان، رامشیر سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح.
- ۱۷- نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ به شماره ۵۷۵۱ و ۵۸۵۱ منصوری و ماهشهر سازمان زمین‌شناسی کشور.
- ۱۸- تهیه نقشه مدل رقمی ارتفاعی (ASTER DEM (Digital Elevation Model) ۳۰ متر.
- ۱۹- نقشه ارزیابی منابع و قابلیت اراضی مؤسسه خاک و آب ۱:۲۵۰۰۰۰ خوزستان.
- ۲۰- استفاده از نرم‌افزارهای ENVI4.5، ERDAS9.1، ARCGIS9.3 و SPSS20، Office 2007 و تهیه آمار و اطلاعات هواشناسی از اداره هواشناسی استان خوزستان.

- 21- Malczewski. J.( 1999). GIS & Multicriteria Decision Analysis. Jhon Weily & sons. Newyork. VSA, pp: 198- 204
- 22-Saaty. (1980). the analytical hierarchical process planning, priority setting, resource allocation. new york: mc graw- hill.
- 23-Wang,M.,and Wu,Q.(2006).” A framework for establishment of risk assessments model for soil erosion by integrating the AHP approach and modeling techniques”.American Geophysical Union,Fall Meeting.
- 24-Wu,Q.,and Mingyu.W.(2007).” A framework for risk assessment on soil erosion by water using an integrated and systematic approach “.Hydrology,v337,pp:11-21.