

## تعیین عوامل مؤثر بر ایجاد فرسایش آبکندی با استفاده از روش‌های داده‌کاوی در حوزه آبخیز بیان، استان فارس

محمد هدایت‌فرد<sup>۱</sup>، حمید غلامی<sup>۲\*</sup>، سید مسعود سلیمان‌پور<sup>۳</sup> و ارشک حلی‌ساز<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی دکتری گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، <sup>۲</sup> دانشیار گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، <sup>۳</sup> استادیار بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران و <sup>۴</sup> استادیار گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۶/۱۷

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۳/۱۳

### چکیده

فرسایش آبکندی یکی از پدیده‌های مهم در تخریب سرزمین و بیابان‌زایی است که باعث برهم زدن تعادل منابع زیست‌محیطی و پایداری آن می‌شود. این پژوهش، با هدف تعیین عوامل مؤثر بر ایجاد فرسایش آبکندی، با استفاده از روش‌های داده‌کاوی در حوزه آبخیز بیان در شمال استان فارس انجام شد. به‌منظور مدل‌سازی فرسایش آبکندی، از الگوریتم‌های خوشه‌بندی K-Means و درخت تصمیم CART بهره‌برده شد. دقت تخمین زده شده بر اساس پارامترهای مؤثر بر مساحت آبخیز ایجاد آبکندها در مدل نهایی، برای مجموعه داده‌های آموزشی برابر با ۱۰۰ درصد و برای مجموعه داده‌های آزمایشی ۷۱/۴۳ درصد می‌باشد. نتایج این پژوهش که منتج از اندازه‌گیری متغیرهای مختلف از ۴۰ آبکند منتخب، شامل یک متغیر هدف (مساحت آبخیز ایجاد) و ۱۲ متغیر پیشگو شامل شیب ایجاد، پوشش گیاهی، خاک لخت، سنگ‌ریزه سطحی، لاشبرگ سطحی، هدایت الکتریکی عصاره اشباع، اسیدیته، نسبت جذبی سدیم، ماده آلی، رس، سیلت و شن، در عملیات میدانی و آزمایشگاهی و استفاده از فناوری‌های داده‌کاوی است، نشان می‌دهد که ایجاد آبکندها در این حوزه آبخیز تابع عوامل سیلت، اسیدیته، خاک لخت، سنگ‌ریزه و ماده آلی می‌باشد. این نتایج تأثیر پوشش گیاهی و به تبع آن، وجود ماده آلی مناسب در خاک به‌عنوان مناسب‌ترین روش در امر کنترل آبکندها و اثر مخرب و تشدید اراضی لخت و فاقد پوشش گیاهی در تشدید فرسایش آبکندی را نشان می‌دهد. بنابراین، ضروری است، حتی‌المقدور با ایجاد و استقرار پوشش گیاهی دائم و سازگار، اقدام به پایداری و بهبود ساختمان خاک و افزایش ماده آلی شود و برنامه‌های کنترلی و مدیریتی، در اراضی که دارای مقدار سیلت بیشتری هستند، با دقت بیشتری عملیاتی شود.

واژه‌های کلیدی: بیابان‌زایی، پوشش گیاهی، تخریب سرزمین، خاک لخت، منابع زیست‌محیطی

### مقدمه

محسوب می‌شود (Arabameri و همکاران، ۲۰۱۷).  
هدرفت طبیعی خاک، به عواملی مانند اقلیم،  
توپوگرافی و خصوصیات خاک وابسته است (Ochoa و

فرسایش خاک، یکی از مهمترین چالش‌ها در  
زمینه توسعه پایدار مناطق خشک و نیمه‌خشک

پردازش تحلیل برخط، مدل‌سازی مبتنی بر نظریه و مدل‌سازی مبتنی بر داده، وجود دارد. در این بین، مدل‌سازی مبتنی بر داده، عمده‌ترین روش و وجه تمایز داده‌کاوی محسوب می‌شود (Soleimanpour و همکاران، ۲۰۱۵).

در پژوهش‌های صورت گرفته، Arabghashghaei و همکاران (۲۰۱۱)، به بررسی عوامل مؤثر بر وقوع فرسایش آبکندی حوضه‌ی طرود پرداختند. نتایج نشان داد که عوامل طبقه شیب، جهت شیب، نوع واحد سنگی، کاربری اراضی، تاج پوشش گیاهی و شخم در جهت شیب در اراضی کشاورزی از مهمترین عوامل مؤثر بر وقوع فرسایش آبکندی در این منطقه است. Zamanzade و Ahmadi (۲۰۱۲)، با بررسی تأثیر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در شکل‌گیری و گسترش در منطقه دشت کهور لامرد فارس به این نتیجه دست یافته‌اند که رسوب تولیدی ناشی از گسترش آبکندها تابع متغیرهای مساحت آبخیز، درصد سیلت و شن در آبخیز بالای پیشانی آبکندها بوده است. این نتایج، بیانگر تأثیر ویژگی حوزه آبخیز و سازند زمین‌شناسی در تولید رسوب ناشی از فرسایش آبکندی است. Akbari و همکاران (۲۰۱۶)، با استفاده از الگوریتم‌های داده‌کاوی شامل الگوریتم‌های درخت تصمیم، جنگل تصادفی، تجمیعی بوستینگ، ماشین‌بردار پشتیبان و شبکه عصبی در محیط نرم‌افزار R، عوامل مؤثر بر تولید آبکند را معرفی کردند. نتایج حاصل از الگوریتم‌های داده‌کاوی نشان داد که متغیرهای فاصله از جاده، سنگ‌شناسی، شیب، جهت شیب، شاخص قدرت جریان، شاخص انتقال رسوب و شاخص رطوبت توپوگرافی، مهمترین عوامل در وقوع فرسایش آبکندی هستند. Soleimanpour و همکاران (۲۰۱۵)، در پژوهشی، اقدام به تعیین آستانه عوامل مؤثر بر گسترش طولی آبکندها با استفاده از روش‌های داده‌کاوی در جنوب غرب استان فارس کردند و به این نتیجه رسیدند که گسترش طولی آبکندها در این منطقه تابع عوامل نسبت جذبی سدیم، اسیدیته خاک و مساحت خروجی می‌باشد. Pourghasemi و Gayen (۲۰۱۹)، روش‌های داده‌کاوی در فرسایش آبکندی را در حوضه‌ای با شرایط اقلیمی نیمه‌خشک در هند انجام دادند. نتایج نشان داد، وقایع باران با شدت بالا

همکاران، ۲۰۱۶). اما فعالیت‌های انسانی مانند توسعه شهری و کشاورزی، منجر به حذف پوشش گیاهی شده، در نتیجه، فرسایش و تخریب خاک را تشدید و جریان‌های رسوب را افزایش می‌دهد (Ferreira و همکاران، ۲۰۱۲؛ Leh و همکاران، ۲۰۱۳). در ایران نیز این روند به‌عنوان یک معضل مهم وجود دارد. به‌طوری‌که در هر سال، ۹۰ هزار هکتار زمین زراعی از دست می‌رود و سالانه معادل ۱۱۲ میلیون دلار خسارت از طریق فرسایش خاک به کشور تحمیل می‌شود. این در حالی است که در حالت بسیار مناسب زراعی در دنیا، دست‌کم ۵۰۰ سال طول می‌کشد تا ۲/۵ سانتی‌متر خاک تولید شود (Pimentel، ۲۰۰۶).

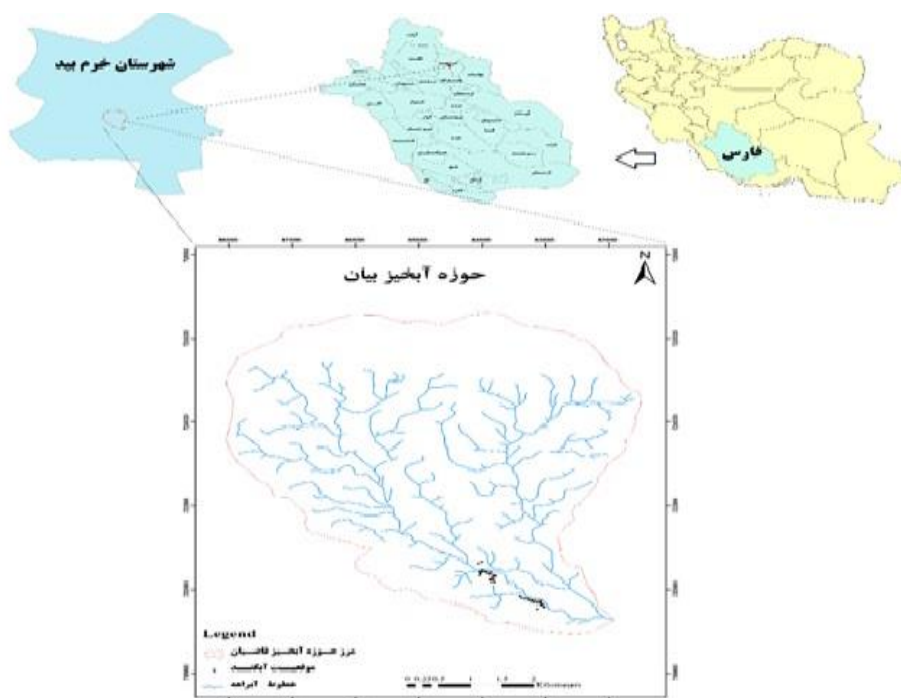
فرسایش آبکندی یکی از بارزترین انواع فرسایش آبی است و اغلب در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان در مواردی که بهره‌برداری از منابع آب و خاک مبتنی بر اصول صحیح و متناسب با توان طبیعی و شرایط محیطی نباشد، موجب تغییرات قابل ملاحظه‌ای در اراضی و تولید رسوب فراوان و هدررفت خاک می‌شود (Soleimanpour و همکاران، ۲۰۲۰ به نقل از De Luna و همکاران، ۲۰۰۰؛ Ezechi، ۲۰۰۰). وقوع فرسایش آبکندی در یک منطقه، سبب بروز اثرات تخریبی زیادی می‌شود و از عوامل مهم و تهدیدکننده تعادل منابع زیست‌محیطی محسوب می‌شود (Ghodoosi و Davari، ۲۰۰۵). Soufi (۲۰۰۴)، آبکند دائم را کانالی به عمق ۰/۵ تا سه متر معرفی می‌کند که به‌وسیله ادوات معمول از بین نرود و آبکند موقت را با عمق کمتر از ۰/۵ متر دانسته که با ادوات معمول شخم، قابل حذف است.

داده‌کاوی ابزاری است که در آغاز دهه ۱۹۹۰ پا به عرصه ظهور گذاشته و با نگرشی نو، به مسأله استخراج اطلاعات از پایگاه داده‌ها می‌پردازد و در حال حاضر، مهمترین فناوری به‌منظور بهره‌برداری از داده‌های حجیم است و اهمیت آن رو به فزونی است (Sharabi، ۲۰۱۶). در فرایند داده‌کاوی، با توجه به متغیرها و اهداف داده‌کاوی از ابزارها و روش‌های مختلفی استفاده می‌شود. متغیرها می‌توانند وابسته یا مستقل، گسسته یا پیوسته بوده، با مقیاس‌های اسمی، فاصله‌ای، رتبه‌ای و یا نسبی اندازه‌گیری شوند. با توجه به اهداف داده‌کاوی، روش‌های مختلف گزارش‌دهی و

فرسایش و حفاظت خاک، به شدت احساس می‌شود. به این منظور پژوهش حاضر، اقدام به تعیین عوامل مؤثر بر ایجاد فرسایش آبکندی با استفاده از روش‌های داده‌کاوی در حوزه آبخیز بیان استان فارس کرده است. به نظر می‌رسد که معرفی، ترویج و استفاده از دانش داده‌کاوی در پژوهش‌های فرسایش و حفاظت آب و خاک و بررسی و تعیین عوامل مؤثر در این حیطة، کمک بسیار زیادی به تعیین راه‌کارهای کنترلی و اجرای موفقیت‌آمیزتر طرح‌های حفاظت آب و خاک خواهد کرد.

### مواد و روش‌ها

**منطقه مورد پژوهش:** حوزه آبخیز بیان در شمال استان فارس و در نزدیکی شهرستان خرم‌بید، در محدوده جغرافیایی  $53^{\circ} 10' 16''$  تا  $53^{\circ} 09' 43''$  شرقی و عرض جغرافیایی  $30^{\circ} 26' 13''$  تا  $27' 15''$  شمالی قرار دارد (شکل ۱).



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی حوزه آبخیز بیان

منطقه بر اساس روش دومارتن اصلاح شده، در رده اقلیم نیمه‌خشک سرد قرار می‌گیرد. سازند زمین‌شناسی منطقه، آبرفت دوران چهارم است. مساحت این حوزه آبخیز ۳۴۷۸/۱۱ هکتار و ارتفاع

عامل مهمی برای فرسایش آبکندی است. به‌طور کلی، میزان بالایی از جنگل‌زدایی و توسعه آبکند، به‌عنوان عوامل مهمی از تخریب اراضی در این حوضه هستند. به‌وجود یافته‌های پژوهشی نسبتاً زیاد درباره فرسایش آبکندی و مشخص شدن مشارکت این نوع فرسایش در تخریب و پس‌رفت اراضی و تولید رسوب، محققان بسیاری به این نتیجه رسیده‌اند که هنوز نکات فراوان ناشناخته‌ای در مورد این نوع فرسایش وجود دارد که مستلزم انجام بررسی و پژوهش‌های تکمیلی است (Harvey, ۱۹۹۷؛ Foster و Lees, ۲۰۰۰).

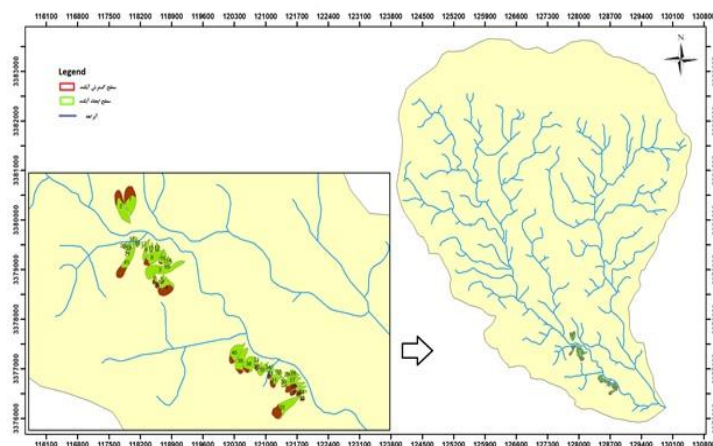
با عنایت به موارد فوق، بیان این نکته ضروری است که بررسی پژوهش‌های پیشین نشان‌دهنده یک رویکرد عمومی در مباحث مرتبط با فرسایش آبکندی است که با تمرکز بر توصیف فرایندهای کلی ارائه شده است، اما امروزه با توجه به رشد روزافزون تکنولوژی و ظهور دانش‌های نوین، ضرورت استفاده و به‌کارگیری این ابزارها در تمام زمینه‌ها و به‌ویژه در مباحث

زمستان‌های بسیار سرد و یخبندان و تابستان‌های معتدل و خنک دارد. میانگین درجه حرارت در این منطقه ۱۲ درجه سانتی‌گراد است. همچنین، متوسط مقدار بارندگی سالانه ۲۷۵ میلی‌متر است. اقلیم

## روش پژوهش

موقعیت مکانی آبکندها: شیب پیشانی و انتهای آبکند از با استفاده از DEM و اندازه‌گیری میدانی (با استفاده از شیب‌سنج) به‌دست آمد. مساحت به‌صورت میدانی (سال ۱۳۹۸) با استفاده از GPS اندازه‌گیری شد. شکل ۲، موقعیت مکانی آبکندها را نشان می‌دهد.

متوسط آن از سطح دریا، ۱۱۵۶/۵ متر می‌باشد (Soufi, ۲۰۰۴). ضریب گردی این حوضه ۰/۶۴، و شکل آن بادبزی است. شبکه آبراه‌های حوضه به‌طور کلی شبکه‌ای درختی، تکامل‌یافته تا کاملاً مترکم است. از این نظر، تخلیه رواناب در حوضه و به‌ویژه بخش کوهستانی و ناهموار آن، به‌خوبی صورت می‌گیرد.



شکل ۲- نقشه موقعیت آبکندهای در حوزه آبخیز بیان

اندازه‌گیری پارامترهای مؤثر بر فرسایش آبکندی: به‌منظور ترسیم حوزه آبخیز واقع در خروجی و پیشانی هر آبکند، پس از برداشت میدانی و ثبت نقاط ارتفاعی (تقسیم آب) به‌وسیله دستگاه GPS در سال ۱۳۹۸ در صحرا، این نقاط به محیط GIS منتقل شد و با رعایت اصول کارتوگرافی، مرز هر حوزه آبخیز آبکندی در دو حالت ایجاد و گسترش ترسیم و مقادیر مساحت آن استخراج شد (Soleimanpour و همکاران، ۲۰۱۵؛ Soleimanpour و همکاران، ۲۰۱۹). همچنین، به‌منظور اندازه‌گیری شیب سر و انتهای هر آبکند، از دو روش DEM و اندازه‌گیری میدانی با استفاده از شیب‌سنج استفاده شد. اندازه‌گیری درصد سنگ‌ریزه، خاک لخت، پوشش گیاهی، لاشبرگ در پیشانی، خروجی و کناره‌های چپ و راست آبکندهای منتخب، با قرار دادن تصادفی دست‌کم ۱۰ کرت یک متر مربعی و تعیین میانگین آن‌ها تعیین شد. برای اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، از عمق صفر تا ۵۰ سانتی‌متری در سر هر آبکند و خروجی هر آبکند، نمونه‌ای مخلوط برداشت شد.

انتخاب تعداد واقعی و استاندارد نمونه‌ها (آبکند-ها) به‌منظور اندازه‌گیری پارامترهای مورد نظر: از رابطه کوکران<sup>۱</sup>، به‌منظور تعیین صحیح و اصولی نمونه‌ها، با خطای ۱۰ درصد استفاده شد. با ملاحظه میدانی، تعداد ۴۱ آبکند به‌منظور اندازه‌گیری‌های لازم تعیین شد.

تهیه نقشه‌های حوزه آبخیز مربوط به هر آبکند: موقعیت آبکندها، زمین‌شناسی، کاربری اراضی، و شیب مناطق انتخابی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ در نرم‌افزار ArcGIS، (با مبنا قرار دادن مطالعات Soufi, ۲۰۰۴؛ Soleimanpour و همکاران، ۲۰۱۹) و به کمک تصاویر ماهواره‌ای IRS (۲۰۰۸)، پایگاه اطلاعاتی Google Earth و برداشت‌های زمینی با حضور در حوزه آبخیز انتخابی و ثبت شواهد به‌وسیله GPS، همچنین، مدل رقومی ارتفاعی<sup>۲</sup> استفاده شده برای تعیین شیب، دارای دقت ۱۰ متری بوده، با استفاده از نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰ رقومی در محیط ArcGIS تهیه شده است.

<sup>1</sup> Cochran

<sup>2</sup> Digital Elevation Model



مؤثرترین قوانین کشف شده از نظر نرم‌افزار ارائه شد. پس از ساخته شدن مدل دسته‌بندی مبتنی بر درخت تصمیم بهینه، می‌توان آن را بر روی مجموعه داده‌های آزمایشی اعمال کرد. به‌منظور ارزیابی نتایج حاصل از اعمال الگوریتم‌های داده‌کاوی بر روی مجموعه داده‌ها از معیار داوینس-بولدین<sup>۲</sup> که یک معیار ارزیابی داخلی خوشه‌بندی است، استفاده شد. این معیار مشابهت<sup>۳</sup> خوشه‌هایی را که تراکم داده‌ای دارند (متراکم هستند) را نشان می‌دهد و برای پی‌بردن به تناسب تقسیم‌بندی داده‌ها استفاده می‌شود. بنابراین، می‌تواند برای مقایسه تناسب نسبی قسمت‌های مختلف داده‌ها استفاده شود. این معیار به یکی از موارد تعداد خوشه‌های تجزیه و تحلیل شده، یا روش‌های تقسیم‌بندی داده‌ها بستگی ندارد و می‌تواند برای هدایت یک الگوریتم جستجوی خوشه مورد استفاده قرار گیرد (Soleimanpour و همکاران، ۲۰۱۵).

#### نتایج و بحث

**عوامل مؤثر بر ایجاد فرسایش آبکندی:** در این پژوهش، ۱۳ عامل (۱۲ متغیر پیشگو و یک متغیر هدف)، مربوط به ۴۱ آبکند منتخب موجود در منطقه پس از خوشه‌بندی به‌عنوان ورودی الگوریتم K-Means تعیین شدند. جدول ۱، عوامل گروه‌بندی شده مناسب به‌منظور تعیین مؤثرترین عوامل بر ایجاد آبکندهای حوزه آبخیز بیان را نشان می‌دهد.

**ایجاد آبکندها:** با توجه به تعداد نمونه‌های موجود در مجموعه داده‌ها و همچنین، هدف ذکر شده برای انجام این پژوهش، تعداد سه خوشه با عنوان آبکندها با مساحت آبخیز ایجاد کم، متوسط و زیاد در نظر گرفته شدند. مبنای این خوشه‌بندی، الگوریتم K-Means است که بر اساس روش میانگین‌گیری، اقدام به آن می‌کند. نتایج خوشه‌بندی داده‌ها بر اساس متغیر مربوط به مساحت آبخیز ایجاد آبکندها با استفاده از الگوریتم K-Means در شکل ۴ و جدول ۲ نشان داده شده است و بیانگر این مطلب است که مرکز خوشه شماره ۲، برابر با ۶۲۸/۸۴ متر مربع می‌باشد. بنابراین، تعداد ۲۵ نمونه (آبکند) قرار گرفته در این خوشه، جزء

اختصاص یافته به یک مرکز، یک خوشه محسوب می‌شود. پ- مرکز هر خوشه بر اساس نمونه‌های اختصاص‌یافته به آن خوشه، به‌روزرسانی می‌شود تا زمانی که مراکز خوشه‌ها یکسان باقی بمانند، یا هیچ نمونه‌ای از خوشه‌ها تغییر نکند، گام‌های اختصاص و به‌روزرسانی (مراحل ب و پ) تکرار می‌شوند. به‌منظور اختصاص یک نمونه به نزدیک‌ترین مرکز خوشه، به یک معیار نزدیکی نیاز است تا بتوان مفهوم نزدیک‌ترین را برای داده‌های مورد نظر تعیین کرد. این معیار نزدیکی برای الگوریتم K-Means، عموماً فاصله اقلیدسی<sup>۱</sup> است (Ghazanfari و همکاران، ۲۰۱۱).

**الگوریتم درخت تصمیم CART:** الگوریتم درخت تصمیم CART روشی برای ساخت مدل‌های پیش‌بینی از داده‌ها است. این الگوریتم داده‌های ورودی به خود را به‌صورت بازگشتی افراز می‌کند و قادر به پردازش متغیرهای پیشگو و هدف عددی و دسته‌ای است. به‌منظور استفاده از الگوریتم CART، بایستی ابتدا یک فیلد هدف در مجموعه داده‌ها مشخص شود. این الگوریتم کار خود را از گره ریشه آغاز می‌کند، داده‌ها به دو گره فرزند و سپس، هر گره فرزند به‌ترتیب به دو گره نوه تقسیم می‌شوند. فرایند رشد درخت تا هنگام رسیدن به درختی با اندازه بیشینه و تا زمانی که عملیات تقسیم به‌دلیل کمبود داده‌ها متوقف نشود، ادامه خواهد داشت. پس از ساخت درخت، عملیات هرس کردن درخت با اندازه بیشینه به‌وسیله یکی از روش‌های هرس کردن با شروع از برگ‌ها به سمت ریشه انجام می‌شود. مکانیسم CART قصد تولید تنها یک درخت را ندارد، بلکه تلاش می‌کند تا یک توالی از درخت‌های هرس شده تو در تو را ایجاد کند، به‌طوری که هر یک از آن‌ها کاندیدهایی هستند که می‌توانند در نهایت، به‌عنوان درخت بهینه انتخاب شوند (Larose, ۲۰۰۵). با عنایت به موارد فوق‌الذکر و به‌منظور ایجاد مدل، داده‌های این پژوهش، به‌طور تصادفی به سه بخش مجموعه داده‌های آموزشی و آزمایشی با تناسب به‌ترتیب ۷۰ و ۳۰ درصد تقسیم شدند و پس از اجرای مدل، با استفاده از درخت تصمیم‌گیری CART، مجموعه‌ای از

<sup>2</sup> Davies-Bouldin

<sup>3</sup> Similarity

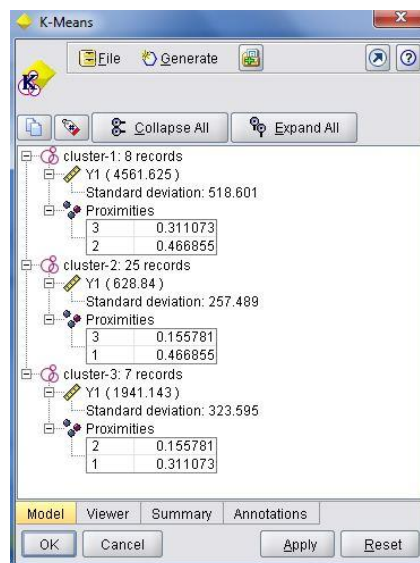
<sup>1</sup> Euclidean distance

تعداد هفت نمونه (آبکند)، نشان‌دهنده آبکندهایی با مساحت آبخیز ایجاد متوسط است. شکل ۵، مقادیر آماری محاسبه شده برای مقادیر متغیر هدف (مساحت آبخیز ایجاد آبکندها) را به ترتیب در خوشه‌های شماره ۱ تا ۳ نشان می‌دهند.

آبکندهایی هستند که مساحت آبخیز کمتری دارند. به‌علاوه، خوشه شماره ۱، با هشت نمونه (آبکند) و مقدار مرکز خوشه ۴۵۶۱/۶۲۵ متر مربع بیانگر آبکندهایی با مساحت آبخیز ایجاد زیاد می‌باشد. خوشه شماره ۳ نیز با مرکز خوشه ۱۹۴۱/۱۴۳ متر مربع و

جدول ۱- مقادیر اندازه‌گیری شده به‌منظور تعیین مؤثرترین عوامل بر ایجاد آبکندهای حوزه آبخیز بیان

عوامل	کمینه	میانگین	بیشینه
مساحت آبخیز ایجاد آبکند (متر مربع)	۲۳۱	۱۸۱۶/۰۲	۸۶۵۵
شیب ایجاد آبکند (درصد)	۳	۷/۷	۱۰/۴
درصد پوشش گیاهی	۴	۱۷/۱۷	۶۷
درصد خاک لخت	۱۹	۷۱/۳۱	۸۹
درصد سنگ‌ریزه سطحی	۱	۵/۵۱	۳۰
درصد لاشیرگ سطحی	۱	۳/۰۵	۱۰
هدایت الکتریکی عصاره اشباع (دسی‌زیمنس بر متر)	۱/۰۸	۲/۱۸	۳/۴۵
اسیدیته	۷/۵	۷/۸۹	۸/۴۷
نسبت جذبی سدیم	۶/۳۶	۸/۳۹	۱۱/۲۸
درصد ماده‌ی آلی	۰/۲۴	۰/۴۱	۰/۶۴
درصد رس	۱۴/۸۲	۲۴/۳۱	۳۲/۷۲
درصد سیلت	۲۴/۱۰	۳۱/۹۵	۴۱/۰۲
درصد شن	۳۳/۶۸	۴۳/۶۶	۵۱/۱۵

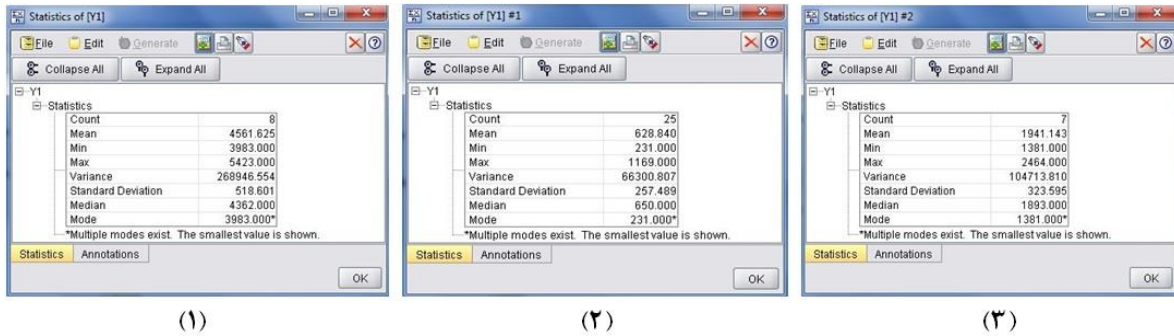


شکل ۴- نتایج خوشه‌بندی داده‌ها بر اساس مقادیر مساحت آبخیز ایجاد آبکندها با استفاده از الگوریتم K-Means در حوزه آبخیز بیان

جدول ۲- نتایج خوشه‌بندی داده‌ها بر اساس مساحت آبخیز ایجاد آبکندها با استفاده از الگوریتم K-Means در حوزه آبخیز بیان

مفهوم	cluster1 مساحت زیاد	cluster-2 مساحت کم	cluster-3 مساحت متوسط
کمترین	۳۹۸۳/۰۰۰	۲۳۱/۰۰۰	۱۳۸۱/۰۰۰
بیشترین	۵۴۲۳/۰۰۰	۱۱۶۹/۰۰۰	۲۴۶۴/۰۰۰
میانگین	۴۵۶۱/۶۲۵	۶۲۸/۸۴۰	۱۹۴۱/۱۴۳
تعداد آبکند	۸	۲۵	۷

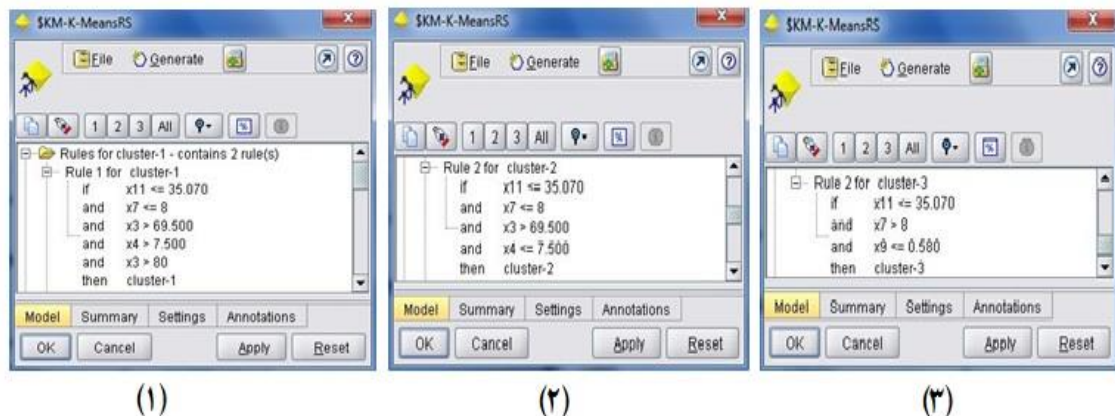




شکل ۵- مقادیر آماری محاسبه شده بر مبنای مساحت آبخیز ایجاد آبکندها در خوشه‌های ۱ تا ۳ در حوزه آبخیز بیان

سنگریزه. به این ترتیب در صورتی که مقدار سیلت کمتر یا مساوی ۳۵/۰۷ درصد و میزان اسیدیته کمتر یا معادل هشت و مقدار خاک لخت بیشتر از ۶۹/۵ درصد و میزان سنگریزه کمتر یا مساوی ۷/۵ درصد باشد، آبکندها در آبخیزهایی به مساحت ۲۳۱ تا ۱۱۶۹ مترمربع ایجاد می‌شوند (خوشه شماره ۲). همچنین، مؤثرترین عوامل به‌منظور تشکیل آبکندهایی با مساحت آبخیز ایجاد متوسط (۱۳۸۱ تا ۲۴۶۴ متر مربع)، از بین پارامترهای اندازه‌گیری شده در حوزه آبخیز بیان عبارتند از: درصد سیلت، اسیدیته و درصد ماده آلی. به این ترتیب، در صورتی که مقدار سیلت کمتر یا مساوی ۳۵/۰۷ درصد و میزان اسیدیته بیشتر از هشت و مقدار ماده آلی کمتر یا مساوی ۰/۵۸ درصد باشد، آبکندها در آبخیزهایی به مساحت ۱۳۸۱ تا ۲۴۶۴ متر مربع ایجاد می‌شوند (خوشه شماره ۳) (شکل ۶).

مؤثرترین قوانین استخراج شده از درخت تصمیم CART بر اساس خوشه‌بندی مساحت آبخیز ایجاد آبکندها: عوامل اثرگذار به‌منظور تشکیل آبکندهایی با مساحت آبخیز ایجاد زیاد (۳۹۸۳ تا ۵۴۲۳ متر مربع)، از بین پارامترهای اندازه‌گیری شده در حوزه آبخیز بیان عبارتند از: درصد سیلت، اسیدیته، درصد خاک لخت و سنگریزه. به این ترتیب، در صورتی که مقدار سیلت کمتر یا مساوی ۳۵/۰۷ درصد و میزان اسیدیته کمتر یا معادل هشت و مقدار خاک لخت بیشتر از ۸۰ درصد و میزان سنگریزه بیشتر از ۷/۵ درصد باشد، آبکندها در آبخیزهایی به مساحت ۳۹۸۳ تا ۵۴۲۳ متر مربع ایجاد می‌شوند (خوشه شماره ۱). به‌منظور تشکیل آبکندهایی با مساحت آبخیز ایجاد کم (۲۳۱ تا ۱۱۶۹ متر مربع)، از بین پارامترهای اندازه‌گیری شده در حوزه آبخیز بیان عبارتند از: درصد سیلت، اسیدیته، درصد خاک لخت و



شکل ۶- قواعد استخراج شده از نمونه‌های موجود در خوشه‌ها بر اساس مقادیر مساحت آبخیز ایجاد آبکندها در حوزه آبخیز بیان

تعداد ۴۰ آبکند به‌وسیله مدل انتخاب شد. همچنین، دقت تخمین زده شده بر اساس پارامترهای مؤثر بر

همان‌گونه که از نتایج مندرج در جدول ۲ نیز مشخص است، از مجموع ۴۱ آبکند مورد مطالعه،



مجموعه داده‌های آزمایشی ۷۱/۴۳ درصد می‌باشد (شکل ۷).

مساحت آبخیز ایجاد آبکندها در مدل نهایی، برای مجموعه داده‌های آموزشی برابر با ۱۰۰ درصد و برای

Partition	1_Training	2_Testing
Correct	12 100%	20 71.43%
Wrong	0 0%	8 28.57%
Total	12	28

شکل ۷- ارزیابی انجام شده از دسته‌بندی با استفاده از الگوریتم درخت تصمیم CAR

برای پیشروی آن‌ها فراهم می‌شود (Soleimanpour, ۲۰۱۲؛ Soleimanpour و همکاران، ۲۰۱۹). همچنین، با توجه به مقدار متوسط رس در این منطقه (۲۴/۳۱ درصد) و محدوده اعلام شده به وسیله (Evans, ۱۹۸۰)، برای خاک‌های فرسایش‌پذیر (بین نه تا ۳۰ درصد رس)، خاک‌های این مناطق دقیقاً در گروه خاک‌های فرسایش‌پذیر قرار دارند. میزان متوسط ماده آلی در این منطقه (۰/۴۱ درصد) می‌باشد که با در نظر گرفتن آستانه ۳/۵ درصدی ماده آلی برای تفکیک خاک‌های فرسایش‌پذیر طبق نظر Morgan و Mngomezulu (۲۰۰۳) مناطق مورد مطالعه دارای ماده آلی لازم به‌منظور مقاومت در برابر فرسایش آبی نیستند. همچنین، با توجه به میزان متوسط درصد پوشش گیاهی (۱۷/۱۷ درصد)، لاشبرگ سطحی (۳/۰۵ درصد)، سنگ‌ریزه سطحی (۵/۵۱ درصد) و خاک لخت (۷۱/۳۱ درصد) حوزه آبخیز مورد مطالعه دارای وضعیت پوشش گیاهی خیلی فقیر هستند. این یافته‌ها با نتایج سایر پژوهشگران از جمله، Zamanzade و Ahmadi (۲۰۱۲)، Esseini (۲۰۱۳)، Yasrebi و همکاران (۲۰۱۳)، Soleimanpour و همکاران (۲۰۱۵)، Zabihی و همکاران (۲۰۱۸) و Soleimanpour و همکاران (۲۰۱۹) مطابقت و هم‌خوانی دارد.

این یافته‌ها به‌وضوح نشان از تأثیر پوشش سطح زمین (گیاه مستقر، لاشبرگ و سنگ‌ریزه) در جلوگیری از ایجاد آبکندها و اثر مخرب و تشدید

نتایج این پژوهش نشان می‌دهد، منطقه مورد مطالعه دارای مقدار متوسط هدایت الکتریکی عصاره اشباع (۲/۱۸ دسی‌زیمنس بر متر) می‌باشد که در نتیجه خاک‌های این منطقه در گروه خاک‌های شور قرار ندارند، اما با توجه به درصد پوشش گیاهی اندک در این منطقه (۱۷/۱۷) و درصد کم ماده آلی (۰/۴۱) و درصد شن (۴۳/۶۶) و سیلت (۳۱/۹۵) بالای این خاک‌ها، می‌توان نتیجه گرفت که این منطقه در محدوده خاک‌های حساس به فرسایش قرار دارد (Morgan و Mngomezulu, ۲۰۰۳) و مستعد ایجاد و گسترش انواع فرسایش‌های آبی (به‌ویژه فرسایش آبکندی) و به تبع آن، تولید رسوب فراوان است. همچنین، نظر به تأثیر عامل درصد خاک لخت، می‌توان نتیجه گرفت که این عامل مستقیماً بر سرعت جریان (رواناب) اثرگذار است. به‌طوری‌که هر چه در محدوده مساحتی آبخیز ایجاد آبکندها خاک لخت بیشتری وجود داشته باشد، رواناب تولیدی فرصت و قدرت بیشتری برای تخریب و هدر رفت خاک و به‌تبع آن توسعه آبکندها دارد. دلیل این امر، وجود فضای کافی برای پیشروی (طولی و عرضی و عمقی) آبکندها به سمت بالادست آبخیز است. این مطلب، نشانگر این واقعیت است که در حوضه‌های کشیده‌تر (ضریب فرم کمتر) مقدار پیشروی آبکندها بیشتر است، لذا، با کشیده‌تر شدن آبخیزها و به‌تبع آن گسترش محدوده مساحتی تحت اشغال آبکند و فقدان پوشش گیاهی و افزایش خاک لخت در این محدوده، فضای بیشتری

گیاهی دائم و سازگار، اقدام به پایداری و بهبود ساختمان خاک و افزایش ماده آلی شود و برنامه‌های کنترلی و مدیریتی را در اراضی که دارای مقدار سیلت بیشتری هستند، با دقت بیشتری عملیاتی شود.

### سیاسگزاری

این مقاله برگرفته از بخشی از نتایج رساله دکتری تخصصی رشته بیابان‌زدایی، گروه مهندسی منابع طبیعی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه هرمزگان می‌باشد. به این منظور، نویسندگان این اثر، از حمایت‌های مادی و معنوی دانشگاه هرمزگان و همکاری‌های صمیمانه مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، نهایت تشکر و سپاس خود را اعلام می‌دارند.

خاک لخت و اراضی فاقد پوشش در تشدید فرسایش آبکندی دارد. با توجه به ساختار حساس مناطق (از نظر حساسیت خاک و سازند)، ایجاد آبکندها تسریع می‌شود. بنابراین، به مدیران عرصه‌های طبیعی توصیه می‌شود، ایجاد پوشش سطحی (حتی‌المقدور پوشش گیاهی دائم و سازگار)، در اراضی مستعد و آبکندی را در اولویت برنامه‌های مدیریتی خود قرار دهند. همچنین، نتایج نشان داد، وجود ماده آلی در خاک، اثر کنترلی و کاهش‌دهنده در ایجاد آبکندها دارد. این نتایج نیز، مجدداً تأثیر پوشش گیاهی و به تبع آن وجود ماده آلی مناسب در خاک به‌عنوان مناسب‌ترین روش در امر کنترل (ایجاد، گسترش و تولید رسوب) آبکندها و اثر مخرب و تشدید اراضی لخت و فاقد پوشش در تشدید فرسایش آبکندی را نشان می‌دهد. بنابراین، ضروری است، حتی‌المقدور با ایجاد و استقرار پوشش

### منابع مورد استفاده

1. Akbari, M., M. Bashiri and A. Rangavar. 2017. Application of data-mining algorithms in the sensitivity analysis and zoning of areas prone to gully erosion in the indicator watersheds of Khorasan Razavi Province. *Environmental Erosion Research Journal*, 7(2): 16-42 (in Persian).
2. Arabameri, A., H.R. Pourghasemi and A. Cerda. 2017. Erodibility prioritization of sub-watersheds using morphometric parameters analysis and its mapping: a comparison among TOPSIS, VIKOR, SAW and CF multi-criteria decision making models. *Science of the Total Environment*, 613-614: 1385-1400.
3. Arabghashghaei, Z., D. Nikkami, S. Shadfar and A. Moeini. 2011. Gully erosion zonation in Torod, Firoozkooch Watershed. *Town and Country Planning*, 31(8): 107-119 (in Persian).
4. De Luna, E., K. Vanderlinden, J.M. De haro, A. Laguna, J. Poesen and J.V. Giraldez. 2000. Monitoring of long term gully head advance in south-east Spain using GIS. *International Symposium on Gully Erosion Under Global Change*, 53 pages.
5. Esseini, O.E. 2013. Effect of disturbed soil properties on gully growth. *Journal of Earth Sciences and Geotechnical Engineering*, 3(1): 27-39.
6. Evans, R. 1980. *Mechanics of water erosion and their spatial and temporal controls: an empirical view point*. Soil Erosion, Chichester, Wiley, 109-128.
7. Ezechi, J.I. 2000. The influence of runoff, lithology and water table on the dimensions and rates of gulling processes in Eastern Nigeria. *International Symposium on Gully Erosion Under Global Change*, 60 pages.
8. Ferreira, C.S.S., A.J.D. Ferreira, R.L. Pato, M.C. Magalhães, C.O. Coelh and C. Santos. 2012. Rainfall-runoff-erosion relationships study for different land uses, in a sub-urban area. *Zeitschrift für Geomorphologie Supplementary*, 56(3): 5-20.
9. Foster, I.D.L. and J.A. Lees. 2000. Tracers in geomorphology: theory and applications in tracing fine particulate sediments. *Tracers in Geomorphology*, 3(20): 23-42.
10. Gayen, A. and H.R. Pourghasemi. 2019. Spatial modeling of gully erosion: a new ensemble of CART and GLM data-mining algorithms. In book: *Spatial Modeling in GIS and RS for Earth and Environmental Sciences*, Elsevier, 653-669.
11. Ghazanfari, M., S. Alizadeh and B. Teymourpour. 2011. *Data mining and knowledge discovery*. University of Science and Technology Press, 403 pages (in Persian).
12. Ghodoosi, J. and M. Davari. 2005. The effect of soil physical and chemical properties on gully erosion and gully morphology. *Proceedings of the Third National Conference on Erosion and Sediment*, Tehran, 382-389 (in Persian).
13. Harvey, A.M. 1997. Coupling between hillslope gully systems and stream channels in the Howgill Fells, north-west England: temporal implications. *Géomorphologie*, 3(1): 3-20.

14. Larose, D.T. 2005. *Discovering knowledge in data: an introduction to data mining*. John Wiley and Sons, New York, 421 pages.
15. Leh, M., S. Bajwa and I. Chaubey. 2013. Impact of land use change on erosion risk: an integrated remote sensing. *Geographic Information System and Modeling Methodology*, 24(5): 409-421.
16. Morgan, R.P.C. and D. Mngomezulu. 2003. Threshold conditions for initiation of valley-side gullies in the middle veld of Swaziland. *Catena*, 50: 401-414.
17. Ochoa, P.A., A. Fries, D. Mejía, J.I. Burneo, J.D. Ruíz-Sinoga and A. Cerdà. 2016. Effects of climate, land cover and topography on soil erosion risk in a semiarid basin of the Andes. *Catena*, 10: 31-42.
18. Pimentel, D. 2006. Soil erosion: a food and environmental threat. *Environment Development and Sustainability*, 8: 119-137.
19. Shahrabi, J. 2016. *Data mining 2*. Amir Kabir Industrial Unit of Jahade Daneshgahi Press, Tehran, 300 pages (in Persian).
20. Soleimanpour, S.M. 2012. Investigation and comparison of thresholds controlling gully erosion in different climates of Fars Province. PhD Thesis, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, 595 pages (in Persian).
21. Soleimanpour, S.M., B. Hedayati, M. Soufi and H. Ahmadi. 2015. Determination of threshold of effective factors on length expansion of gullies using data mining techniques in Mahourmilati region, Fars Province, Iran. *Journal of Watershed Management Science and Engineering*, 29: 47-56 (in Persian).
22. Soleimanpoor, S.M., B. Hedayati, M. Soufi, M.J. Rousta and S. Shadfar. 2019. Determining the threshold of the most effective factors on increasing the length of gullies using data-mining algorithms and CART Decision Tree, case study: Ghazian Watershed in Fars Province. *Journal of Range and Watershed Management*, 72(2): 409-426 (in Persian).
23. Soleimanpoor, S.M., M. Soufi, M.J. Rousta, S. Shadfa, L. Jowkar and H. Keshavarzi. 2020. Investigation of permanent gullies extension trend in Khorrambid Watershed, Fars Province. *Journal of Watershed Engineering and Management*, 12(1): 318-329 (in Persian).
24. Soufi, M. 2004. Investigation of morphoclimatic characteristics of gully in Fars Province. Research Final Report, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, 130 pages (in Persian).
25. Tan, P.N., M. Steinbach, A. Karpatne and V. Kumar. 2014. *Introduction to data mining*. Second Edition, Addison-Wesley Press, 839 pages.
26. Yasrebi, B., M. Soufi, S.Kh. Mirnia and J. Mohamadi. 2013. Assessment the impact of topographic and soil characteristics on bank gullies advancement in croplands, case study: Ilam Province. *Journal of Watershed Engineering and Management*, 5(1): 31-40 (in Persian).
27. Zabihi, M., F. Mirchooli, A. Motevalli, A. Khaledi Darvishan, H.R. Pourghasemi, M.A. Zakeri and F. Sadighi. 2018. Spatial modelling of gully erosion in Mazandaran Province, northern Iran. *Catena*, 161: 1-13.
28. Zamanzadeh, S.M. and M. Ahmadi. 2013. The effect of soil physical and chemical properties on the formation and expansion of gully erosion, case study: Dashtekahoor region, Lamerd. *Journal of Quantitative Geomorphological Researches*, 2(2): 135-156 (in Persian).