

## تعیین آستانه مؤثرترین عوامل بر افزایش طول خندق‌ها با استفاده از

# الگوریتم‌های داده‌کاوی و درخت تصمیم CART

## (بررسی موردی: حوزه آبخیز قاضیان، استان فارس)

- ❖ **سید مسعود سلیمان‌پور\***: 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.
- ❖ **بهرام هدایتی**: دانش‌آموخته دوره کارشناسی ارشد مهندسی کامپیوتر، دانشگاه پیام نور تهران، ایران.
- ❖ **مجید صوفی**: دانشیار بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران.
- ❖ **محمدجواد روستا**: دانشیار بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران.
- ❖ **صمد شادفر**: دانشیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.

### چکیده

یکی از روابط مهم در فرسایش خندقی، بررسی آستانه‌های ایجاد و گسترش این فرسایش است. این روابط کمک می‌کند تا بتوان با شناخت دقیق، راهکار مناسبی را پیش‌بینی نمود و از تخریب اراضی به نحو مطلوب جلوگیری به عمل آورد. طی دهه اخیر، ظهور دانش‌های نوین در تعیین رابطه بین متغیرها موجب توسعه روش‌های پیش‌بینی در علوم مختلف شده است و در نتیجه، بررسی قابلیت استفاده از آن‌ها در مباحث فرسایش و حفاظت خاک، ضروری است. همچنین با توجه به این که لازم است به منظور کنترل فرسایش خندقی، مکانیسم رشد و گسترش ابعاد خندق‌ها، به ویژه رشد طولی آن‌ها، به دقت بررسی و شناخته شود، به این منظور، پژوهش حاضر اقدام به تعیین آستانه مؤثرترین عوامل بر افزایش طول خندق‌ها با استفاده از الگوریتم‌های داده‌کاوی K-Means و درخت تصمیم CART در حوزه آبخیز قاضیان واقع در شمال استان فارس نموده است. نتایج این پژوهش که شامل اندازه‌گیری متغیرهای مختلف خندق‌ها در عملیات میدانی و آزمایشگاهی و استفاده از تکنیک‌های داده‌کاوی است نشان داد افزایش طول خندق‌ها در این منطقه، تابع عوامل مساحت آبخیز گسترش، هدایت الکتریکی عصاره اشباع، شیب پیشانی، درصد پوشش گیاهی و نسبت جذب سدیم می‌باشد. توصیه می‌شود در کاهش گسترش طولی خندق‌ها و تولید رسوب، به کنترل فرسایش در پیشانی آن‌ها توجه بیشتری شود. همچنین اصلاح خاک‌های این منطقه به کمک اصلاح‌کننده‌ها و/حیای پوشش گیاهی سازگار و افزایش ماده آلی خاک، در اولویت اقدامات مؤثر در کنترل گسترش طولی خندق‌ها قرار گیرد.

**کلید واژگان:** آستانه، خندق، داده‌کاوی، درخت تصمیم، طول، فرسایش

## ۱. مقدمه

امروزه کمتر منطقه‌ای را در سطح زمین می‌توان یافت که در معرض تخریب و فرسایش قرار نگرفته باشد و به همین دلیل این پدیده در حال حاضر به یکی از مشکل‌سازترین و در عین حال حساس‌ترین معضلات بشر تبدیل گردیده است [۳۹]. هر ساله حدود ۲۶ میلیارد تن خاک در دنیا بر اثر فرسایش از دست می‌رود که این میزان بیشتر از خاکی است که تشکیل می‌شود [۲۲]. بالاترین میزان این فرسایش‌ها در کشورهای در حال توسعه رخ داده است و این امر خطری جدی برای توسعه پایدار و متوازن کشاورزی به حساب می‌آید [۳۱]. یکی از مهم‌ترین انواع فرسایش آبی، فرسایش خندقی است. این نوع فرسایش، به عنوان یک فرآیند بزرگ تخریب اراضی شناخته شده است [۷]؛ و در بسیاری از موارد به طور مستقیم با مدیریت ناپایدار زمین ارتباط دارد [۵] و از پدیده‌های مهم و مشکل‌ساز در حوزه‌های آبخیز هستند، زیرا این نوع فرسایش باعث هدر رفت زیاد خاک و افزایش رواناب می‌شود [۱۱] و به همین دلایل امروزه در سرتاسر جهان، به عنوان یکی از مهم‌ترین و مخرب‌ترین شکل تخریب زمین و هدر رفت خاک شناخته شده است [۱۵].

[۱] در تعریف خندق، مکان به وجود آمدن آن را مدنظر می‌گیرد و براین عقیده است که این نوع فرسایش در روی شیب‌های حداکثر تا ۱۵ درصد و در دشت‌ها و دشت سرها و کمتر در روی دامنه‌ها ایجاد می‌گردد. [۴۶]

ابعاد خندق را مورد توجه قرار داده است و خندق را کانالی با عمق ۰/۵ تا ۳ متر معرفی می‌نماید که توسط ادوات معمول از بین نرود. آنچه توسط اکثریت قریب به اتفاق پژوهشگران فرسایش و حفاظت خاک درباره فرسایش خندقی مهم جلوه می‌کند پیچیده بودن چگونگی شکل‌گیری و روند گسترش و کنترل آن‌ها در شرایط مختلف محیطی و اقدام‌های متفاوت انسان در بهره‌برداری از منابع آب و خاک است [۴۵] به طوری که این نوع فرسایش خاک را نمی‌توان تنها و محدود به نوع معینی از

سازندهای زمین‌شناسی، وضعیت توپوگرافی، خصوصیات خاک، استفاده از اراضی، شرایط اقلیمی، ویژگی‌های آب و هوایی نمود [۴]. از آغاز قرن بیستم، مطالب زیادی در مورد فرسایش خندقی به چاپ رسیده است که بیشتر آن‌ها، در خصوص مراحل، فرآیندها، و تعیین اثرات مضر این نوع فرسایش بوده است [۲۹]. اما امروزه فرسایش خندقی به رغم سؤالات و ابهامات زیاد روند شکل‌گیری، رشد، و کنترل آن، به عنوان زمینه‌ای از علاقه‌مندی در میان محققان و جامعه پژوهشی تبدیل شده است [۵].

یکی از روابط مهم در فرسایش خندقی، بررسی آستانه‌های ایجاد و گسترش این فرسایش است. این روابط کمک می‌کند تا بتوان با شناخت دقیق، راهکار مناسبی را پیش‌بینی نمود و از تخریب اراضی به نحو مطلوب جلوگیری به عمل آورد [۳۹]. در ساده‌ترین تعریف، آستانه عبارت از نقطه‌ای است که پس از آن رفتار سیستم تغییر می‌کند [۲۸]. بنابراین یکی از سؤالات مهم در مورد خندق‌ها این است که آستانه ایجاد و گسترش آن‌ها در چه شرایطی تأمین می‌گردد. تعیین این شرایط از این لحاظ مهم است که در یک منطقه می‌توان شرایط موجود را با شرایط آستانه مقایسه و تعیین نمود که این شرایط تا چه حد به شرایط آستانه ایجاد و یا گسترش خندق نزدیک است. این آستانه می‌تواند به عوامل داخل سیستم مانند سازند، خاک، فیزیوگرافی و یا عوامل خارج از سیستم مانند اقلیم و کاربری و مدیریت اراضی مرتبط باشد [۴۳ و ۴۴].

بررسی پژوهش‌های پیشین نشان‌دهنده یک رویکرد عمومی در فرسایش خندقی است که با تمرکز بر توصیف فرآیندهای کلی ارائه شده است، اما امروزه با توجه به رشد روزافزون تکنولوژی و ظهور دانش‌های نوین، ضرورت استفاده و بکارگیری این ابزارها در همه زمینه‌ها و به ویژه در مباحث فرسایش و حفاظت خاک، به شدت احساس می‌گردد. همچنین با توجه به این که لازم است به منظور کنترل فرسایش خندقی، مکانیسم رشد و گسترش ابعاد خندق‌ها، به ویژه رشد طولی آن‌ها، به دقت بررسی و شناخته شود [۴۹]. به این منظور، پژوهش حاضر اقدام به

حوزه‌های مختلف از جمله صنعتی، پزشکی، ارتباطات، کشاورزی، انرژی، علوم اجتماعی، اقتصادی، و ... دارد، به گونه‌ای که امروزه مرز و محدودیتی برای کاربرد این دانش در نظر گرفته نشده و زمینه‌های کاری این دانش را از ذرات کف اقیانوس تا اعماق فضا می‌دانند [۳۶].

[۶ و ۲۳] در پژوهش‌های خود اعلام داشتند طول خندق به عنوان عامل مهمی در برآورد و ارزیابی فرسایش خندقی مطرح می‌باشد. [۱۰] با استفاده از تکنیک‌های داده‌کاوی، اقدام به مدل‌سازی توزیع پتانسیل رشد خندق‌ها در شبه‌جزیره ایبریا پرداختند و استفاده از این دانش را برای این منظور، مفید ارزیابی کردند. [۴۱] در پژوهشی اقدام به تعیین عوامل مؤثر بر گسترش خندق‌ها در منطقه کنار تخته استان فارس کردند. نتایج نشان داد رسوب تولیدی ناشی از فرسایش خندقی در این منطقه تابع پنج متغیر درصد رس، سیلت، شن، شیب پیشانی، و پوشش گیاهی می‌باشد. [۴۲] در پژوهشی به بررسی عوامل مؤثر بر رسوب‌زایی و گسترش خندق‌ها در منطقه نیریز استان فارس اقدام کردند. نتایج ایشان نشان داد سه متغیر مساحت آبخیز، درصد سیلت و شن، مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار در تولید رسوب و گسترش خندق‌ها در این منطقه می‌باشند. [۲۶] نسبت به تعیین عوامل مؤثر بر رشد طولی فرسایش خندقی با استفاده از آنالیزهای رگرسیونی در حوزه آبخیز دره کره اقدام نمودند و عوامل مساحت حوزه آبخیز بالادست خندق، فاصله بالاکنند تا مرز حوزه آبخیز، ارتفاع بالاکنند و نسبت جذبی سدیم را به عنوان مهم‌ترین عوامل مؤثر بر رشد طولی خندق‌ها معرفی کردند. نتایج پژوهش [۳۳] در شهرستان دره شهر نشان می‌دهد که گسترش طولی خندق تابعی از نسبت جذبی سدیم، درصد شن و میزان انحنا می‌باشد. [۴۵] اقدام به تعیین آستانه عوامل مؤثر بر گسترش طولی خندق‌ها با استفاده از تکنیک‌های داده‌کاوی در منطقه ماهورمیلاتی استان فارس کردند. نتایج نشان داد گسترش طولی خندق‌ها در این منطقه، تابع عوامل نسبت جذبی سدیم، اسیدیته خاک و مساحت خروجی می‌باشد. ایشان

تعیین آستانه مؤثرترین عوامل در افزایش طول خندق‌ها با استفاده از الگوریتم‌های داده‌کاوی K-Means و درخت تصمیم CART در حوزه آبخیز قاضیان واقع در شمال استان فارس نموده است. به نظر می‌رسد 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 نماید. داده‌کاوی فرآیندی است که در آغاز دهه ۱۹۹۰ پا به عرصه ظهور گذاشته و با نگرشی نو، به مسأله استخراج اطلاعات از پایگاه داده‌ها می‌پردازد [۳۶]. در حال حاضر، داده‌کاوی مهم‌ترین فن‌آوری جهت بهره‌برداری از داده‌های حجیم است و اهمیت آن رو به فزونی است [۳۶]. به بیان دیگر، این فرآیند، مجموعه‌ای از روش‌ها در فرآیند کشف دانش است که برای تشخیص الگوها و رابطه‌های نامعلوم، پنهان و غیرمنتظره در داده‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد [۲۴ و ۳۷]. زیرا امروزه افزایش سریع حجم پایگاه داده‌ها به شکلی است که توانایی انسان برای درک این داده‌ها بدون ابزارهای قدرتمند میسر نیست [۳۴]. در این وضعیت، تصمیم‌گیری‌ها به جای تکیه بر اطلاعات، بر درک مدیران و کاربران تکیه دارند، زیرا تصمیم‌گیرندگان ابزار قوی برای استخراج اطلاعات با ارزش را در دست ندارند [۳۶]. در واقع شرایط فعلی توصیف‌کننده حالتی است که ما از لحاظ داده غنی، اما از لحاظ اطلاعات ضعیف هستیم. حال با توجه به شدت رقابت‌ها در عرصه‌های مختلف، استفاده مؤثر از داده‌ها توسط مدیران، یک هدف عمده برای بهبود وضعیت موجود محسوب می‌شود [۲۴]. این دانش، یکی از ده دانش در حال توسعه است که دهه آینده را با انقلاب تکنولوژیک مواجه خواهد ساخت و از این رو در سال‌های اخیر در دنیا گسترش فوق‌العاده سریعی داشته است [۳۶]؛ به عبارتی دانش داده‌کاوی فرآیند کشف دانش پنهان درون داده‌ها است که با برخورداری از دامنه وسیع تشریح، پیش‌بینی و کنترل پدیده‌های گوناگون، دارای کاربرد بسیار وسیع در

رخداد فرسایش خندقی تا حدودی مشابه باشد، اما رشد و گسترش فرسایش خندقی از ناحیه‌ای به ناحیه دیگر متفاوت بوده و تابع عوامل یکسان و مشترک نباشد.

## ۲. روش شناسی

### ۱،۲. معرفی منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز قاضیان واقع در شهرستان خرم‌بید و شمال استان فارس، در محدوده طول جغرافیایی  $50^{\circ} 04' 50''$  تا  $53^{\circ} 11' 30''$  شرقی، و عرض جغرافیایی  $30^{\circ} 25' 30''$  تا  $30^{\circ} 30' 00''$  شمالی قرار دارد (شکل ۱). سازند زمین‌شناسی این حوضه، آبرفت‌های دوره کواترنر می‌باشد و تیپ غالب اراضی، تپه‌ماهور است. اقلیم منطقه بر اساس روش دومارتن اصلاح شده در رده اقلیم نیمه‌خشک سرد قرار می‌گیرد. متوسط دمای سالانه معادل  $12/5$  درجه سانتی‌گراد و مقدار متوسط بارندگی طبق آمار ۳۱ ساله ایستگاه ده‌بید، برابر با ۲۳۹ میلی‌متر برآورد شده است. عمده کاربری اراضی در گذشته مرتع و در حال حاضر زراعت می‌باشد [۴۶]. شایان ذکر است دلیل اصلی انتخاب حوزه آبخیز قاضیان جهت انجام تحقیق به سبب رشد و پیشروی خندق‌ها و به تبع آن ایجاد مشکل در اراضی کشاورزی بود. (شکل ۲).

### ۲،۲. روش تحقیق

روش تحقیق در این پژوهش شامل اندازه‌گیری متغیرهای مختلف خندق‌ها در عملیات میدانی و آزمایشگاهی و استفاده از تکنیک‌های داده‌کاوی به شرح زیر می‌باشد:

- انتخاب ۶۵ خندق در منطقه: با توجه به بررسی‌های به عمل آمده، مشخص گردید که در این منطقه حدود ۱۱۰ خندق اصلی و فرعی وجود دارد. بنابراین طبق فرمول کوکران<sup>۱</sup> و به منظور تعیین صحیح و اصولی

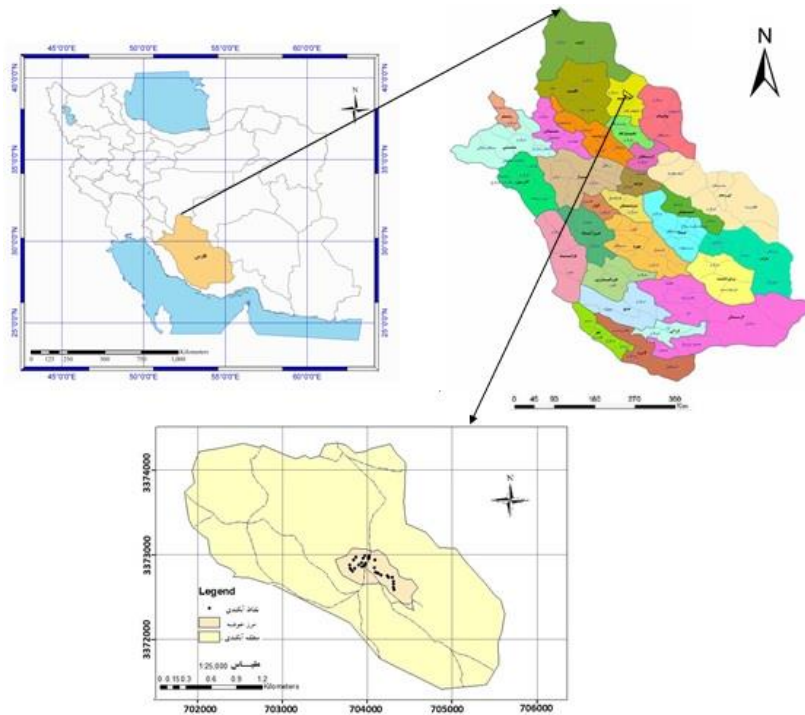
اصلاح خاک‌های این منطقه به کمک اصلاح‌کننده‌ها، احیای پوشش گیاهی و افزایش ماده آلی خاک را به عنوان اقدام‌های مؤثر در کنترل گسترش طولی خندق‌ها معرفی کردند. [۳۵] استفاده از دانش داده‌کاوی را به عنوان روشی مناسب در تخمین وضعیت خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک معرفی نمودند. [۳] در پژوهشی به بررسی کاربرد دو روش ناپارامتریک در تعیین آستانه عوامل مؤثر بر رشد طولی خندق‌ها با استفاده از تکنیک‌های داده‌کاوی در حوزه آبخیز سنگانه کلات پرداخت. نتایج این تحقیق نشان داد عوامل عرض خندق، نسبت جذبی سدیم، شیب پیشانی خندق و درصد سیلت، مهم‌ترین عوامل مؤثر بر گسترش طولی خندق‌ها در این منطقه هستند. [۱۴] در پژوهشی در نیجریه، سه راهکار ایجاد سیستم زهکش مناسب، کنترل رواناب‌های سطحی و حفظ پایداری خاک در شیب‌ها را به عنوان مهم‌ترین موارد در کنترل فرسایش خندقی اعلام نمودند. [۲۷] مقدار سدیم محلول، هدایت الکتریکی عصاره اشباع و میزان مواد آلی را به عنوان مهم‌ترین عوامل در رشد طولی خندق‌ها در حوزه آبخیز درب‌خزینه خوزستان اعلام کردند. [۵۲] به بررسی سهم فرسایش خندقی در تولید کل رسوب در جنوب‌غربی چین اقدام کردند. نتایج نشان داد در شرایطی که نسبت تحویل رسوب ۱۰۰ درصد باشد فرسایش خندقی بیش از ۲۵ درصد کل رسوب را به خود اختصاص داده است. ایشان تعیین و اندازه‌گیری عوامل مؤثر در گسترش خندق‌ها را برای کنترل رسوبات مهم ارزیابی کردند.

با عنایت به نتایج پژوهشگران و محققان مختلف، می‌توان بیان داشت نظرات متفاوتی درباره شکل‌گیری، گسترش و کنترل خندق‌ها برحسب خصوصیات مناطق مختلف ارائه شده است که در برخی موارد نیز در تضاد با یکدیگر هستند، ولی با جمع‌بندی نتایج حاصل از پژوهش‌های انجام شده می‌توان استنباط نمود که در بسیاری از نقاط کره زمین ممکن است عوامل مؤثر در

<sup>1</sup> - Cochran

خروجی و پیشانی هر خندق، پس از برداشت میدانی و ثبت نقاط ارتفاعی (تقسیم آب) توسط دستگاه GPS (مدل ماژلان) در سال ۱۳۹۶ در صحرا، این نقاط به محیط GIS منتقل شد و با رعایت اصول کارتوگرافی، مرز هر حوزه آبخیز خندقی در دو حالت ایجاد و گسترش ترسیم و مقادیر مساحت آن استخراج گردید (شکل ۳).

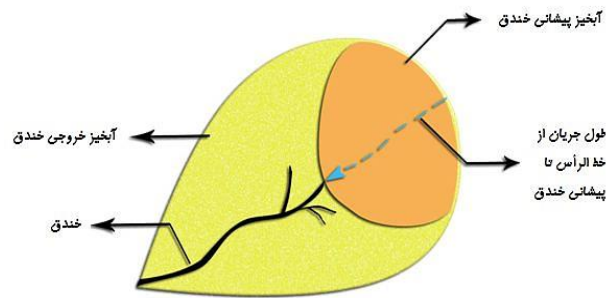
نمونه‌ها، با خطای ۱۰ درصد، تعداد ۶۵ خندق به طور تصادفی در صحرا (سال ۱۳۹۶) انتخاب شدند.  
 - اندازه‌گیری طول خندق‌ها در صحرا (سال ۱۳۹۶) توسط متر نواری.  
 - اندازه‌گیری مساحت آبخیز در نقطه ایجاد (خروجی) و پیشانی خندق‌ها: به منظور ترسیم حوزه آبخیز واقع در



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران و استان فارس



شکل ۲. نمونه‌هایی از آبکندها در حوزه آبخیز قاضیان استان فارس



شکل ۳. نمایی شماتیک از مساحت آبخیز خروجی و پیشانی هر خندق

SPSS Clementine 12.0 گردیدند تا مدل سازی به منظور شناسایی مؤثرترین عوامل بر افزایش طول خندق ها مشخص شود.

### ۱،۲،۲. مدل سازی

در این پژوهش به منظور تعیین مهم ترین عوامل مؤثر بر افزایش طول خندق ها از تکنیک های داده کاوی خوشه بندی و درخت تصمیم استفاده شد. این تکنیک ها در نرم افزار Clementine 12.0 پیاده سازی شده اند. نرم افزار یاد شده ساخت شرکت SPSS است و امکان ایجاد مدل های متعددی را بر اساس تئوری های آماری، هوش مصنوعی و یادگیری ماشین ارائه می دهد. شکل ۴ نمایی از مدل سازی انجام شده با استفاده از این نرم افزار را نشان می دهد.

در این نرم افزار، کلیه فرآیندها به صورت جریان<sup>۱</sup> طراحی می شوند. یک جریان، شامل مجموعه ای از گره ها<sup>۲</sup> است که به ترتیب به یکدیگر متصل می شوند، به گونه ای که خروجی هر گره، ورودی گره بعدی باشد تا در نهایت هدفی را برآورده سازند. هر گره در جریان، وظیفه ای بر عهده دارد و مانند یک دستگاه عمل می کند، یعنی مجموعه ای از ورودی ها را می پذیرد و یک یا چند خروجی تولید می نماید. مدل تولید شده به رنگ زرد است و پس از تولید شدن در بخش Models قابل مشاهده است (مدل تولید شده در این تحقیق و الگوهای استخراج شده توسط

اندازه گیری شیب در نقطه ایجاد و پیشانی هر خندق، با استفاده از شیب سنج سنتو.

اندازه گیری درصد سنگ ریزه، خاک لخت، پوشش گیاهی، لا شبرگ در پیشانی، خروجی و کناره های چپ و راست خندق های منتخب، با قرار دادن تصادفی حداقل ۱۰ پلات یک متر مربعی و تعیین میانگین آن ها.

اندازه گیری میزان نفوذ پذیری در بالای پیشانی و خروجی هر خندق با استفاده از دستگاه نفوذ سنج (دابل رینگ) تعیین میانگین آن ها.

اندازه گیری ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک: به این منظور از خروجی، پیشانی، دیواره های چپ و راست هر خندق نمونه ای مخلوط برداشت شد و کلیه ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک، در آزمایشگاه اندازه گیری گردید. ویژگی های شیمیایی خاک در برگرفته هدایت الکتریکی عصاره اشباع، اسیدیته خاک، درصد ماده آلی خاک و نسبت جذب سدیم و ویژگی های فیزیکی خاک شامل بافت خاک (درصد رس، سیلت، و شن به روش هیدرومتری) بود.

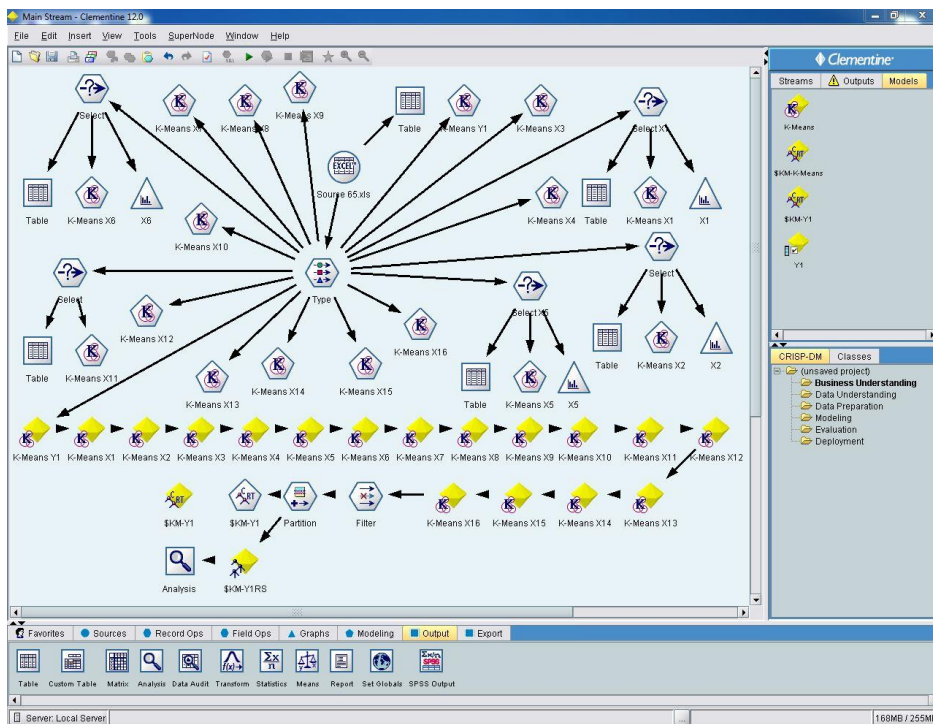
استفاده از تکنیک های داده کاوی (خوشه بندی و درخت تصمیم) جهت تعیین عوامل مؤثر در افزایش طول خندق ها: به این منظور طول خندق به عنوان متغیر وابسته و کلیه پارامترهای اندازه گیری شده به عنوان متغیر مستقل وارد یک نرم افزار تخصصی داده کاوی به نام

<sup>۱</sup>- Stream

<sup>۲</sup>- Node

تولید شده (الگوهای کشف شده) را انجام می‌دهد و درصد رکوردهایی که به طور صحیح پیش‌بینی شده‌اند را نمایش می‌دهد. پیش‌بینی، بر مبنای متغیر هدف مشخص شده (که در این تحقیق، طول خندق‌ها متغیر هدف می‌باشد) انجام می‌پذیرد.

آن در شکل‌های ۱۰ تا ۱۲ (قانون استخراجی) نشان داده شده‌اند. به منظور اعتبارسنجی مدل تولید شده و به دست آوردن میزان اطمینان آن، بایستی مدل تولید شده از پنل مذکور به صفحه اصلی برنامه منتقل شود و خروجی آن وارد گره Analysis گردد. این گره بر اساس مجموعه داده‌های آزمایشی و ارزیابی، اعتبارسنجی مدل



شکل ۴. مدل‌سازی انجام شده با استفاده از نرم‌افزار SPSS Clementine 12.0

## ۲،۲،۲. خوشه‌بندی

هدف از خوشه‌بندی یافتن گروه‌هایی از داده‌ها است که به هم شباهت دارند، لذا با کشف این شباهت‌ها می‌توان رفتارها را بهتر شناسایی کرد و بر مبنای آن‌ها طوری عمل نمود که نتیجه بهتری حاصل شود. به این منظور از الگوریتم‌های خوشه‌بندی K-Means که یکی از معروف‌ترین دستورات عمل‌های خوشه‌بندی است استفاده گردید. این الگوریتم تلاش می‌کند که بر اساس یک معیار فاصله، داده‌ها را به K خوشه تقسیم نماید. مراحل الگوریتم K-Means به شرح زیر است [۴۷]:

با عنایت به تشریح مراحل مدل‌سازی و با توجه به این که در مبحث داده‌کاوی، مهم‌ترین موضوع دستیابی به داده‌هایی است که بتوان بر اساس آن‌ها به نتایج مفیدی دست یافت، در این پژوهش، ۱۷ عامل (۱۶ متغیر پیشگو، و ۱ متغیر هدف)، مربوط به ۶۵ خندق منتخب موجود در منطقه پس از خوشه‌بندی به عنوان ورودی الگوریتم CART تعیین شدند. جدول ۱، عوامل گروه‌بندی شده مناسب جهت تعیین مؤثرترین عوامل در افزایش طول خندق‌ها را نشان می‌دهد.

جدول ۱. مقادیر عوامل اندازه‌گیری شده در خندق‌های منتخب حوزه آبخیز قاضیان

عوامل	حداقل	میانگین	حداکثر
Y: طول خندق (متر)	۲۳/۲	۶۵/۵۸	۱۳۹
X <sub>1</sub> : مساحت آبخیز ایجاد خندق (متر مربع)	۳۲۰/۷	۸۹۱	۱۸۰۸
X <sub>2</sub> : مساحت آبخیز گسترش خندق (متر مربع)	۹۴	۳۸۶/۹	۸۹۳
X <sub>3</sub> : شیب ایجاد خندق (درصد)	۳/۴	۴/۹۶۶	۶/۳
X <sub>4</sub> : شیب پیشانی خندق (درصد)	۴	۷/۳۶۹	۱۱
X <sub>5</sub> : درصد سنگ‌ریزه‌ی سطحی	۰	۶/۷۰۸	۵۰
X <sub>6</sub> : درصد خاک لخت	۴۴	۸۷/۱۴	۹۹
X <sub>7</sub> : درصد پوشش گیاهی	۱	۵/۲۷۷	۱۰
X <sub>8</sub> : درصد لاشبرگ سطحی	۰	۰/۸۷	۴
X <sub>9</sub> : هدایت الکتریکی عصاره اشباع (دسی‌زیمنس بر متر)	۰/۷۱	۱/۵۳۸	۲/۲۳
X <sub>10</sub> : اسیدپته	۷/۵	۷/۸۲۴	۸/۱۴
X <sub>11</sub> : نسبت جذبی سدیم	۶/۳۶	۸/۱۹۶	۱۱/۲۸
X <sub>12</sub> : درصد ماده‌ی آلی	۰/۲۱	۰/۳۸۱	۰/۵۸
X <sub>13</sub> : درصد رس	۱۵/۳	۲۳/۹۸	۳۲/۷۲
X <sub>14</sub> : درصد سیلت	۲۰/۰۲	۳۰/۲	۴۱/۰۲
X <sub>15</sub> : درصد شن	۳۸/۶	۴۵/۷۳	۶۱/۱۵
X <sub>16</sub> : میزان نفوذپذیری (میلی‌متر بر ساعت)	۳/۴۵	۶/۴۵۵	۱۰/۳

اقلیدسی است [۹].

### ۳،۲،۲. دسته‌بندی

در الگوریتم‌های دسته‌بندی<sup>۲</sup>، کل مجموعه داده‌ها به دو قسمت مجموعه داده‌های آموزشی و مجموعه داده‌های آزمایشی تقسیم‌بندی می‌شوند [۴۷]. همان‌طور که در شکل ۵ نشان داده می‌شود الگوریتم‌های دسته‌بندی شامل دو مرحله آموزش و آزمایش هستند. در مرحله آموزش، الگوریتم یادگیرنده بر اساس مجموعه داده‌های آموزشی، یک مدل را تولید می‌کند [۳۴]. لازم به ذکر است که شکل مدل ساخته شده به الگوریتم یادگیرنده مورد استفاده بستگی دارد که در این پژوهش از الگوریتم درخت تصمیم CART استفاده شده است. بنابراین مدل ساخته شده، یک درخت تصمیم خواهد بود. در مرحله ارزیابی (آزمایشی)، بر

الف - K مرکز خوشه اولیه، توسط کاربر تعیین می‌گردد.

ب- هر نمونه به نزدیک‌ترین مرکز خوشه اختصاص می‌یابد به طوری که مجموعه‌ای از نقاط اختصاص یافته به یک مرکز، یک خوشه محسوب می‌شود.

پ- مرکز هر خوشه بر اساس نمونه‌های اختصاص یافته 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.

به منظور 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

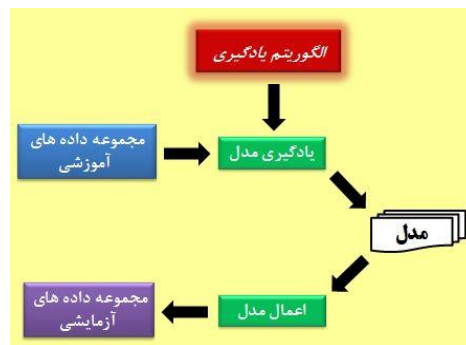
<sup>1</sup> - Euclidean Distance

<sup>2</sup> - Classification

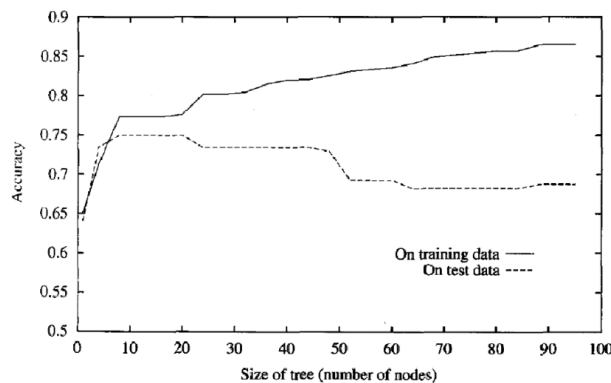


هنگام انجام مدل سازی، دقت مدل ساخته شده بر روی مجموعه داده های آموزشی به طور مرتب در حال افزایش است. به علاوه، دقت مدل ساخته شده بر روی مجموعه داده های آزمایشی تا یک نقطه مشخص افزایش و از آن نقطه به بعد کاهش می یابد. در واقع تا قبل از رسیدن به این نقطه، الگوریتم در حال یادگیری و کلی سازی<sup>۱</sup> است و از آن نقطه به بعد در حال به خاطر سپاری<sup>۲</sup> مجموعه داده های آموزشی است [۲۰]. این موضوع در شکل ۶ نشان داده شده است.

اساس مجموعه داده های آزمایشی دقت و کارایی مدل ساخته شده ارزیابی خواهند شد. داده هایی که در مرحله ارزیابی مورد استفاده قرار می گیرند در مرحله آموزش و برای ساخت مدل استفاده نشده اند. در واقع، این داده ها برای مدل ساخته شده، پیش از این ناشناخته هستند. یعنی با وجود این که الگوریتم دسته بندی برچسب رکوردهای آزمایشی را در اختیار دارد (جهت محاسبه دقت مدل ساخته شده پس از فرآیند یادگیری مدل)، ولی اجازه استفاده از این رکوردها را در مرحله آموزش ندارد. این روال در شکل ۵ نشان داده شده است.



شکل ۵. مراحل فرآیند دسته بندی



شکل ۶. مشکل به خاطر سپاری مجموعه داده های آموزشی در الگوریتم های دسته بندی

آزمایشی کاهش یابد. برای مقابله با این مشکل، در برخی موارد بخشی از مجموعه داده های آموزشی را از آن جدا

به خاطر سپاری باعث می شود دقت مدل برای مجموعه داده های آموزشی افزایش و برای مجموعه داده های

<sup>۱</sup>- Generalization

<sup>۲</sup>- Memorization

عددی و دسته‌ای است [۱۸]. به منظور استفاده از الگوریتم CART، بایستی ابتدا یک فیلد هدف را در مجموعه داده‌ها مشخص کنیم. این الگوریتم کار خود را از گره ریشه آغاز می‌کند، داده‌ها به دو گره فرزند و سپس هر گره فرزند به ترتیب به دو گره نوه تقسیم می‌شوند. فرآیند رشد درخت تا هنگام رسیدن به درختی با اندازه ماکزیمم و تا زمانی که عملیات تقسیم به دلیل کمبود داده‌ها متوقف نشود، ادامه خواهد داشت [۱۷]. پس از ساخت درخت، عملیات هرس کردن درخت با اندازه ماکزیمم توسط 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 شده‌ی تو در تو را ایجاد نماید به طوری که هر یک از آن‌ها کاندیدهای هستند که می‌توانند در نهایت به عنوان درخت بهینه انتخاب شوند. یک درخت خوب به وسیله ارزیابی کارایی آن بر روی داده‌های آزمایشی مستقل شناسایی می‌گردد. در نهایت می‌توان درخت تصمیم ساخته شده را بر روی مجموعه داده‌های آزمایشی اعمال نمود. منظور از اعمال کردن مدل، پیش‌بینی مقدار ویژگی دسته برای یک رکورد آزمایشی بر اساس مدل ساخته شده است [۱۶]. شایان ذکر است این روند ارزیابی که شامل مقایسه هر یک از مقادیر موجود در ویژگی‌های هر رکورد آزمایشی با قواعد موجود در مدل ساخته شده است نیز در نرم‌افزار کلمنتاین (نسخه‌ی ۱۲) موجود است تا این عملیات زمان‌بر به صورت خودکار و به سرعت انجام پذیرد. با عنایت به موارد فوق‌الذکر و به منظور ایجاد مدل، داده‌های این پژوهش به طور تصادفی به سه بخش مجموعه داده‌های آموزشی، آزمایشی و ارزیابی با تناسب به ترتیب ۶۰، ۲۰ و ۲۰ درصد تقسیم شدند و پس از اجرای مدل، با استفاده از درخت تصمیم‌گیری CART، مجموعه‌ای از مؤثرترین قوانین کشف شده از نظر نرم‌افزار ارائه گردید.

نموده و مجموعه داده جدیدی را با عنوان مجموعه داده‌های ارزیابی ایجاد می‌کند. نحوه استفاده از این مجموعه داده‌های جدید به این صورت است که در انتهای حلقه اصلی الگوریتم دسته‌بندی که در آن برای ادامه فرآیند یادگیری تصمیم‌گیری می‌شود، مجموعه داده‌های ارزیابی بر روی آخرین مدلی که یاد گرفته شده است مورد آزمایش قرار خواهد گرفت. این کار برای محاسبه دقت آخرین نسخه دسته‌بندی ساخته شده با توجه به این مجموعه داده (که در زمان ساخت مدل از آن استفاده نشده است) می‌باشد. در صورتی که دقت مدل نسبت به حلقه قبلی بهبود یافته باشد، فرآیند یادگیری ادامه می‌یابد. در غیر این صورت فرآیند یادگیری متوقف شده و مدل ساخته شده در دور قبلی به عنوان مدل نهایی تلقی خواهد شد [۱۳]. همان‌گونه که بیان شد مجموعه داده‌های ارزیابی باعث می‌شود که مدل ساخته شده، مجموعه داده‌های آموزشی را حقیقتاً یاد بگیرد و به دنبال به‌خاطر سپاری و حفظ آن نباشد. به این ترتیب بدیهی است که انتظار داشته باشیم مدلی که مفهومی را از داده‌های آموزشی فرا گرفته است، نسبت به مدلی که صرفاً داده‌های آموزشی را به خوبی حفظ کرده است، برای مجموعه داده‌های آزمایشی دقتی به مراتب بیشتر داشته باشد. این حقیقت در بیشتر فرآیندهای آموزشی که از مجموعه داده‌های ارزیابی بهره می‌گیرند، دیده می‌شود.

#### ۴،۲،۲. درخت تصمیم

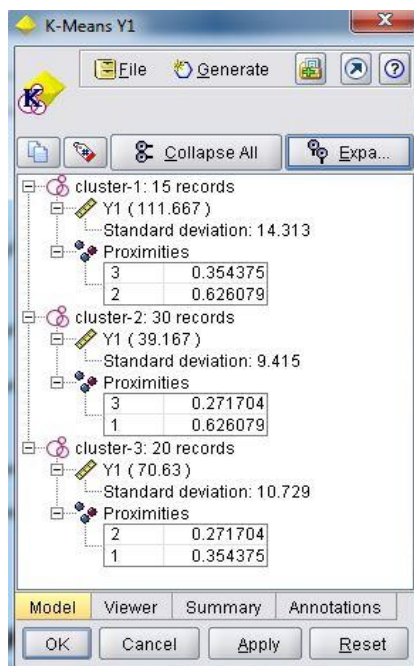
درخت‌های دسته‌بندی و رگرسیون در سال ۱۹۸۴ توسط برایمن و همکاران معرفی شدند. ایده اصلی این روش، افراز داده‌ها به بخش‌های کوچکتر است، به طوری که این بخش‌ها حاوی اطلاعات تا حد امکان تفکیک شده باشند [۱۲]. الگوریتم درخت تصمیم CART روشی برای ساخت مدل‌های پیش‌بینی از داده‌ها است. این الگوریتم داده‌های ورودی به خود را به صورت بازگشتی افراز می‌نماید و قادر به پردازش متغیرهای پیشگو و هدف

## ۳. نتایج

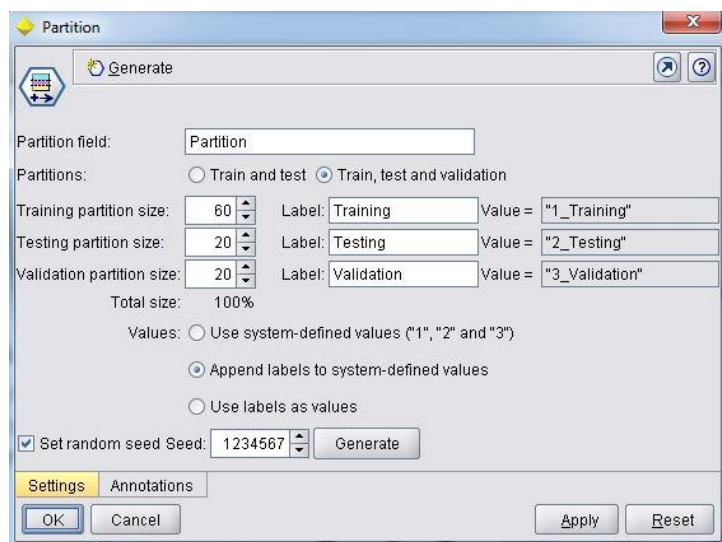
مساحت حوزه آبخیز مورد مطالعه ۶/۲۱ کیلومتر مربع می‌باشد که از این مقدار، ۰/۳۱ کیلومتر مربع آن را مناطق خندقی اشغال نموده است (۴/۹۹ درصد). کلیه خندق‌ها بر روی واحد ژئومورفولوژی دشت‌سر و خط‌القعر تپه‌ماهورها واقع شده‌اند و شکل عمومی آن‌ها خطی-پنجه‌ای، مقطع عرضی عمدتاً U شکل، و پلان پیشانی آن‌ها نقطه‌ای و نوک‌دار می‌باشد. مقدار متوسط طول خندق‌ها ۶۵/۵۸ متر است (جدول ۱)، و طبق طبقه‌بندی خندق‌ها از نظر طول، که به وسیله [۱] ارائه شده است، خندق‌های این منطقه

جزء خندق‌های کوچک محسوب می‌شوند.

همان‌طور که در بخش روش تحقیق (بخش درخت تصمیم) بیان شد، پیش از ورود داده‌ها به الگوریتم درخت تصمیم، تفکیک داده‌ها به سه مجموعه داده‌های آموزشی، آزمایشی و ارزیابی انجام شد. در این مرحله و به طور تصادفی ۶۰ درصد از نمونه‌ها در مجموعه داده‌های آموزشی، ۲۰ درصد از نمونه‌ها در مجموعه داده‌های آزمایشی و ۲۰ درصد از نمونه‌ها در مجموعه داده‌های ارزیابی قرار گرفتند (شکل ۷). نتایج خوشه‌بندی داده‌ها بر اساس طول خندق‌ها با استفاده از الگوریتم K-Means در شکل ۸ و جدول ۲ نشان داده شده است.



شکل ۸. نتایج خوشه‌بندی داده‌ها بر اساس طول خندق‌ها با استفاده از الگوریتم K-Means



شکل ۷. افراز مجموعه داده‌ها به دو مجموعه داده‌های آموزشی و آزمایشی

جدول ۲. نتایج خوشه‌بندی داده‌ها بر اساس طول خندق‌ها با استفاده از الگوریتم K-Means

مفهوم	cluster-1 طول زیاد	cluster-2 طول کم	cluster-3 طول متوسط
کمترین طول	۹۳/۶	۲۳/۲	۵۷
بیشترین طول	۱۳۹	۵۴	۸۸
میانگین	۱۱۱/۶۶۷	۳۹/۱۶۷	۷۰/۶۳
انحراف معیار	۱۴/۳۱۳	۹/۴۱۵	۱۰/۷۲۹
تعداد خندق	۱۵	۳۰	۲۰

به علاوه، نتیجه خوشه‌بندی بر روی هر یک از متغیرهای پیشگو در جدول ۳ نشان داده شده است.

جدول ۳. آمار مربوط به نتایج استخراج شده از خوشه‌بندی متغیرهای پیشگوی تأثیرگذار در افزایش طول خندق‌ها

تعداد آبکند	انحراف معیار	میانگین	حداکثر	حداقل	شماره‌ی خوشه	عامل تأثیرگذار
۱۵	۱۴/۱۳۱	۱۱/۶۶۷	۱۳۹	۹۳/۶	۱	Y: طول خندق (متر)
۳۰	۹/۴۱۵	۳۹/۱۶۷	۵۴	۲۳/۲	۲	
۲۰	۱۰/۷۲۹	۷۰/۶۳	۸۸	۵۷	۳	
۲۰	۳۵/۷۹۵	۳۷۶/۹۸	۴۲۱	۳۱۰	۱	X <sub>2</sub> : مساحت آبخیز گسترش خندق (متر مربع)
۲۲	۵۳/۶۸۵	۱۸۷/۱۱۸	۲۶۵	۹۴	۲	
۲۳	۱۵۷/۱۸۸	۵۸۶/۷۳	۸۹۳	۴۵۷	۳	
۳۷	۰/۷۵۱	۶/۶۵۹	۸	۵/۸	۱	X <sub>4</sub> : شیب پیشانی خندق (درصد)
۲۰	۰/۷۹	۹/۷۸	۱۱	۸/۹	۲	
۸	۰/۶۹۴	۴/۶۲۵	۵/۵	۴	۳	
۱۵	۰/۷۵۶	۹	۱۰	۸	۱	X <sub>7</sub> : درصد پوشش گیاهی
۲۰	۰/۸۰۱	۲/۳	۳	۱	۲	
۳۰	۱/۳۸	۵/۴	۷	۴	۳	
۲۳	۰/۱۳۹	۲/۰۲۹	۲/۲۳	۱/۷۸	۱	X <sub>9</sub> : هدایت الکتریکی عصاره‌ی اشباع (دسی‌زیمنس بر متر)
۱۶	۰/۱۵۵	۰/۹۴۷	۱/۱۵	۰/۷۱	۲	
۲۶	۰/۱۵۴	۱/۴۶۸	۱/۷۴	۱/۲۴	۳	
۲۷	۰/۶۰۶	۹/۳۵۲	۱۱/۲۸	۸/۷۶	۱	X <sub>11</sub> : نسبت جذبی سدیم
۲۶	۰/۳۲۶	۶/۹۴۵	۷/۴۸	۶/۳۶	۲	
۱۲	۰/۳۳۶	۸/۳۰۸	۸/۶۲	۷/۷۶	۳	

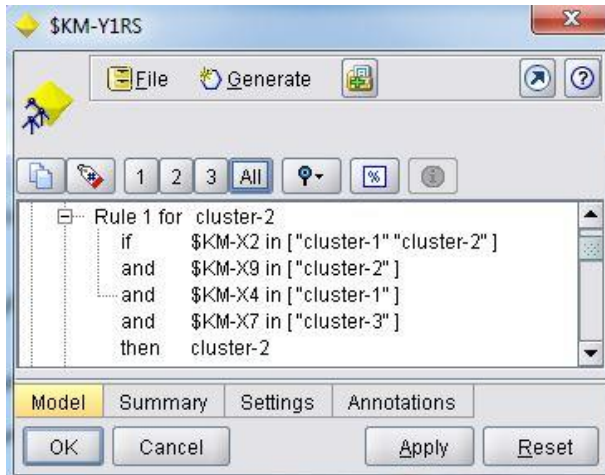
در مدل نهایی، برای مجموعه داده‌های آموزشی برابر با ۱۰۰ درصد، برای مجموعه داده‌های آزمایشی ۹۰ درصد و برای مجموعه داده‌های ارزیابی برابر با ۸۲/۳۵ درصد می‌باشد (شکل ۹).

همان‌گونه که از موارد مندرج در جدول ۳ مشخص است از مجموع ۶۵ خندق مورد مطالعه، تمام خندق‌ها توسط مدل انتخاب گردید. همچنین دقت تخمین زده شده بر اساس پارامترهای مؤثر بر افزایش طول خندق‌ها

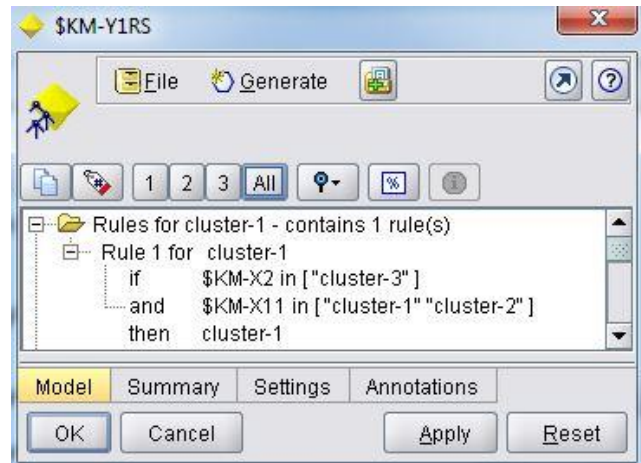
Partition	1_Training	2_Testing	3_Validation
Correct	38 100%	9 90%	14 82.35%
Wrong	0 0%	1 10%	3 17.65%
Total	38	10	17

شکل ۹. ارزیابی انجام شده از الگوریتم CART

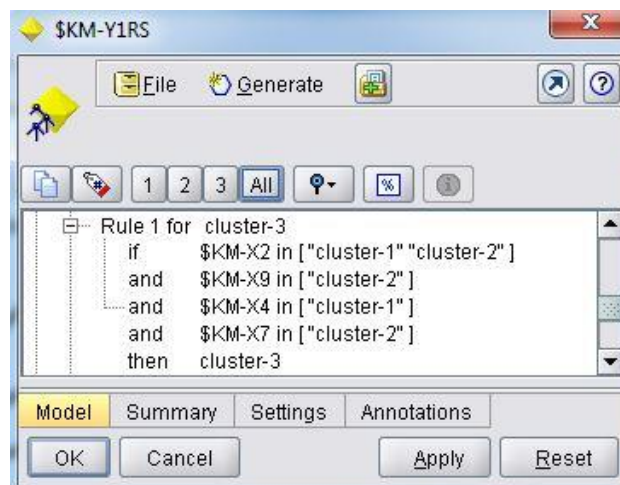
بر اساس خوشه‌بندی طول خندق‌ها که در شکل‌های ۱۰ تا ۱۲ ارائه شده است، مؤثرترین عوامل در افزایش طول خندق‌ها را می‌توان به شرح زیر استخراج کرد.



شکل ۱۱. الگوی استخراج شده برای خندق‌هایی با طول کم



شکل ۱۰: الگوی استخراج شده برای خندق‌هایی با طول زیاد



شکل ۱۲. الگوی استخراج شده برای خندق‌هایی با طول متوسط

مساحت آبخیز گسترش، و نسبت جذبی سدیم (شکل ۱۰). به این ترتیب در خوشه شماره ۱ (خندق‌هایی با طول زیاد)، در صورتی که مساحت آبخیز گسترش خندق‌ها ۴۵۷ تا ۸۹۳ متر مربع و نسبت جذبی سدیم ۶/۳۶ تا ۱۱/۲۸ باشد، خندق‌هایی با طول ۹۳/۶ تا ۱۳۹ متر ایجاد می‌شوند.

جدول ۳ مقادیر مربوط به پارامترهای تأثیرگذار را ارائه می‌دهد. با توجه به مقادیر مندرج در این جدول و مؤثرترین قوانین استخراج شده از درخت تصمیم CART

تفسیر قوانین نشان داده شده در شکل‌های ۱۰ تا ۱۲ از بالا به پایین و با توجه به اعداد مندرج در جدول ۳، به شرح زیر می‌باشد:

- مؤثرترین عوامل مؤثر در افزایش طول خندق‌هایی با طول زیاد (طول ۹۳/۶ تا ۱۳۹ متر)، از بین پارامترهای اندازه‌گیری شده در حوزه آبخیز قاضیان عبارتند از:

[۲۶، ۳۰ و ۳۲] منطبق است. تأثیر فقدان پوشش گیاهی در افزایش طول خندق‌ها، بسیار شایان توجه است، دلیل این امر را می‌توان به درصد پوشش گیاهی اندک (۵/۲ درصد)، و به تبع آن درصد کم ماده آلی (۰/۳۸ درصد)، و لومی بودن بافت خاک منطقه نسبت داد. بنابراین بایستی از راهکارهای مدیریتی افزایش مقاومت خاک در برابر فرسایش شامل: افزایش پوشش گیاهی سازگار و مقاوم با شرایط طبیعی منطقه و قرق به منظور احیاء پوشش گیاهی در اولویت برنامه‌های مدیریتی و اجرایی قرار گیرد، این نتایج با یافته‌های [۱۵، ۴۰ و ۵۰] مطابقت دارد. همچنین علاوه بر عامل "درصد پوشش گیاهی"، نظر به تأثیر دو عامل "مساحت آبخیز گسترش"، و "درصد شیب پیشانی خندق"، می‌توان نتیجه گرفت که این سه عامل مستقیماً بر سرعت جریان (رواناب) و زمان تمرکز حوضه اثرگذار است، به طوری که هر چه مساحت آبخیز گسترش در بالای پیشانی خندق‌ها وسیع‌تر باشد و به تبع آن این عرصه دارای پوشش گیاهی کمتری باشد، رواناب تولیدی فرصت و قدرت بیشتری برای تخریب و هدر رفت خاک دارد. دلیل این امر، وجود فضای کافی برای گسترش طولی خندق‌ها به سمت بالادست آبخیز است. این مطلب نشانگر این واقعیت است که در حوزه‌های کشیده‌تر (ضریب فرم کمتر) مقدار طول خندق‌ها بیشتر است، لذا با کشیده‌تر شدن آبخیزها و به تبع آن گسترش محدوده مساحتی تحت اشغال خندق، فضای بیشتری برای گسترش آن‌ها فراهم می‌گردد. در حالی که از نظر هیدرولوژی، آبخیزهای گرد با کشیدگی کمتر دارای خطر بیشتری از بابت سیل هستند، اما در مبحث گسترش خندق‌ها و تولید رسوب در صورتی که خندق‌ها دارای گسترش طولی از ناحیه پیشانی باشند، نیاز به فضای بیشتر برای پیشروی دارند و در نتیجه، این امر در آبخیزهای کشیده‌تر اتفاق می‌افتد. این یافته‌ها با نتایج سایر پژوهشگران از جمله [۲، ۸، ۱۹، ۲۶، ۲۹، ۳۷، ۴۱، ۴۳ و ۵۱] مطابقت و هم‌خوانی دارد.

قوانین استخراج شده از درخت تصمیم CART در سه

- مؤثرترین عوامل مؤثر در افزایش طول خندق‌هایی با طول کم (طول ۲۳/۲ تا ۵۴ متر)، از بین پارامترهای اندازه‌گیری شده در حوزه آبخیز قاضیان عبارتند از: مساحت آبخیز گسترش، هدایت الکتریکی عصاره اشباع، شیب گسترش، درصد پوشش گیاهی (شکل ۱۱). به این ترتیب در صورتی که مساحت آبخیز گسترش خندق‌ها در این حوزه آبخیز ۹۴ تا ۴۲۱ متر مربع، مقدار هدایت الکتریکی عصاره اشباع ۰/۷۱ تا ۱/۱۵ دسی‌زیمنس بر متر مربع، شیب پیشانی خندق‌ها ۵/۸ تا ۸ درصد، و میزان پوشش گیاهی ۴ تا ۷ درصد باشد، خندق‌هایی با طول ۲۳/۲ تا ۵۴ متر ایجاد می‌شوند.

- مؤثرترین عوامل مؤثر در افزایش طول خندق‌هایی با طول متوسط (طول ۵۷ تا ۸۸ متر)، از بین پارامترهای اندازه‌گیری شده در حوزه آبخیز قاضیان عبارتند از: مساحت آبخیز گسترش، هدایت الکتریکی عصاره اشباع، شیب گسترش، درصد پوشش گیاهی (شکل ۱۲). به این ترتیب در صورتی که مساحت آبخیز گسترش خندق‌ها در این حوزه آبخیز ۹۴ تا ۴۲۱ متر مربع، مقدار هدایت الکتریکی عصاره اشباع ۰/۷۱ تا ۱/۱۵ دسی‌زیمنس بر متر مربع، شیب پیشانی خندق‌ها ۵/۸ تا ۸ درصد، و میزان پوشش گیاهی ۱ تا ۳ درصد باشد، خندق‌هایی با طول ۵۷ تا ۸۸ متر ایجاد می‌شوند.

#### ۴. بحث و نتیجه‌گیری

با عنایت به نتایج این پژوهش می‌توان بیان داشت تأثیر عامل نسبت جذبی سدیم، نشان از حساسیت خاک منطقه به فرسایش دارد، زیرا افزایش مقدار یون سدیم در خاک‌ها، باعث انتشار ذرات ریز (به ویژه رس)، تخریب ساختمان خاک، حساسیت در مقابل نیروی کنش، از هم پاشیدگی خاکدانه‌ها و به تبع آن کاهش نفوذ پذیری می‌گردد و آمادگی بیشتری برای فرسایش (به ویژه فرسایش خندقی)، ایجاد می‌نماید که با نتایج تحقیق

ماده آلی خاک، در اولویت اقدامات مؤثر در کنترل گسترش طولی خندق‌ها قرار گیرد. زیرا هر چه دیم‌زارهای کم‌بازده به مراتع تبدیل گردند، احتمال ایجاد و گسترش طولی خندق‌ها کمتر خواهد شد.

در پایان بیان این نکته ضروری به نظر می‌رسد که باید پژوهش‌های بیشتری به صورت جزئی‌تر، بر روی ساختار خاک، پوشش، جریان هیدرولوژی، رژیم و شدت بارش، ویژگی‌های مورفومتریک، نوع شیب، پوشش، مکانیسم ایجاد و گسترش خندق‌ها از نظر ایجاد پدیده انحلال و راه‌های کنترل آن، در آینده صورت گیرد تا با اطلاعات آن‌ها و استفاده از تکنیک‌های نوینی چون داده‌کاوی، بتوان عوامل مؤثر در ایجاد و گسترش خندق‌ها را پیش‌بینی نمود و به نتایج قابل قبولی از نظر پیشگویی رسید.

گروه خندق‌ها در این منطقه نیز، حکایت از این واقعیت دارد که با افزایش میزان مقادیر مساحت حوزه آبخیز، بر مقدار طول خندق‌ها اضافه می‌گردد، زیرا با گسترش محدوده مساحتی تحت اشغال خندق، سطح گیرنده بارندگی و مقدار رواناب، بیشتر خواهد شد و به تبع آن فضای بیشتری برای گسترش طولی خندق‌ها فراهم می‌گردد که با نتایج پژوهش [۲۱، ۲۵، ۲۹، ۴۲ و ۴۸] منطبق است.

این نتایج به مدیران و مهندسان حفاظت خاک و آبخیزداری توصیه می‌نماید که در کاهش گسترش طولی خندق‌ها و کم کردن تولید رسوب، باید به کنترل فرسایش در پیداشانی آن‌ها توجه بیشتری داشته باشند. بنابراین، توصیه می‌شود اصلاح خاک‌های این منطقه به کمک اصلاح‌کننده‌ها و احیای پوشش گیاهی سازگار و افزایش

## References

- [1] Ahmadi, H. (2011). Applied Geomorphology (Water Erosion), 5<sup>th</sup> Edition, University of Tehran press, Tehran. (In Persian)
- [2] Ahmadi, H., Mohammadi, A.A., Ghodousi, J. and Salajegheh, A. (2009). Investigation of effective factors and proposed model for define potential gully head advancement (study area: Hableh Roud drainage basin). Territory (Sarzamin), 5(18), 1-12. (In Persian)
- [3] Amir Ahmadi, A. (2017). The Application of Two Nonparametric Methods in Determination of the Threshold of Effective Factors in Length Expansion of Gullies Using Data Mining Techniques (Case Study: Sanganeh Kalat Basin). Journal of Hydrogeomorphology, 12(3), 131-152. (In Persian)
- [4] Bobrovitskaya, N.N. (2000). Hydrological meteorological and morphological aspects of studying gully erosion in period of global change. International symposium on gully erosion under global Change, Abstract of papers, 180p.
- [5] Castillo, C. and Gómez, J.A. (2016). A century of gully erosion research: Urgency, complexity and study approaches. Earth-Science Reviews, 160, 300-319.
- [6] Cheng, H., Zou, X., Wu, Y., Zhang, Q. and Jiang, Z. (2007). Morphology parameters of ephemeral gully in characteristics hill slopes on the loess plateau of China. Soil and Tillage Research, 94, 4-14.
- [7] Dotterweich, M., Rodzik, J., Zglobicki, W., Schmitt, A., Schmidtchen, G. and Bork, H.R. (2012). High resolution gully erosion and sedimentation processes, and land use changes since the Bronze Age and future trajectories in the Kazimierz Dolny area (Naleczow Plateau, SE-Poland). Catena, 95, 50-62.
- [8] Esseini, O.E. (2013). Effect of disturbed soil properties on gully growth. Journal of Earth Sciences and Geotechnical Engineering, 3(1), 27-39.
- [9] Ghazanfari, M., Alizadeh, S. and Teymourpour, B. (2011). Data Mining and Knowledge Discovery, 1<sup>th</sup> Edition, University of Science and Technology press. (In Persian)

- [10] Gómez-Gutiérrez, A., Schnabel, S. and Contador, J.F.L. (2009). Using and comparing two nonparametric methods (CART and MARS) to model the potential distribution of gullies. *Ecological modeling*, 220(24), 330-363.
- [11] Gómez-Gutiérrez, A., Schnabel, S., Lavado-Contador, F., Sanjosé-Blasco, J.J., Atkinson, A.D.J., Pulido-Fernández, M., Sánchez-Fernández, M. and Alfonso-Torreño, A. (2018). Studying gully erosion processes in rangelands of SW Spain and guiding restoration strategies using the UAV+SfM workflow. *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 20, EGU2018-19157-1, 2018.
- [12] Gordon, L. (2013). Using classification and regression trees (CART) in SAS® enterprise miner™ for applications in public health. *SAS Global Forum. Data Mining and Text Analytics*, 89, 1-8.
- [13] Han, Zh., Kember, M. and Pee, Zh. 2017. *Data Concepts and Techniques*. Esmaeli, M. Translation, Third Edition, Neyazedanesh press, Tehran. (In Persian)
- [14] Ibrahim, A.H., Yaro, N.A. and Adebola, A.O. (2017). Assessing the social-economic impact of gully erosion in Chikun local government area, Kaduna state, Nigeria. *Science World Journal*, 12(1), 42-47.
- [15] Igwe, P.U., Chinedu, O.C., Nlem, E.U., Nwezi, C.C. and Ezekwu, J.C. (2018). A Review of Landscape Design as a Means of Controlling Gully Erosion. *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology (IJEAB)*, 3(1), 103-111.
- [16] Ji, Y., Lei, X., Cai, S. and Wang, X. (2016). Application of a Classifier Based on Data Mining Techniques in Water Supply Operation. *Water*, 8, 1-12.
- [17] Larose, D.T. (2005). *Discovering knowledge in data: an introduction to data mining*, 1<sup>th</sup> Edition, John Wiley & Sons, Inc press.
- [18] Loh, W.Y. (2011). *Classification and regression trees*. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery*, 1(1), 14-23.
- [19] Mirzaei, J., Nourmohammadi, F. and Yousefi, A. (2014). Assessment of the important Factors on Gully Erosion in Arid and Semi-arid Region in Ilam Province. *Environmental Erosion Researches*, 13, 17-28. (In Persian)
- [20] Moradi, M., Hasanzadeh, F. and Keyvanpour, M. (2018). *Advanced Issues in Data Mining*, 2ed Edition, Keyan Press, Tehran. (In Persian)
- [21] Mortezaei, Gh. (2005). Evaluation of the quantitative effects of environmental parameters on occurrence of gully erosion in order to introduce the most relevant estimation model for longitudinal development of gully, Ph.D., Thesis, Department of watershed management, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran. (In Persian)
- [22] MotieeLangharoudi, S.H. (2010). *Iran's Economic Geography*, 6<sup>th</sup> Edition, Jahadedaneshghahi press, Mashhad. (In Persian)
- [23] Munoz-Robles, C., Reid, N., Frazier, P., Tighe, M., Briggs, S.V. and Wilson, B. (2010). Factors related to gully erosion in woody encroachment in southeastern Australia. *Catena*, 83, 148-157.
- [24] Navi, M. (2008). *Discovering the components of forming load using data mining technology*, M.Sc. Thesis, Faculty of Engineering, TarbiaatModares University, Tehran. (In Persian)
- [25] Nazari Samani, A., Ahmadi, H., Mohammadi, A., Ghoddousi, J., Salajegheh, A. and Boggs, G. (2010). Factors controlling gully advancement and models evaluation for prediction of gully head advancement (case study: Hablehrood basin, Iran). *Water Resources Management*, 24, 1531-1549.
- [26] Nazari Samani, A.A., Avazadeh Tavakoli, F., Ahmadi, H. and Rahi, Gh.R. (2014). Determining of Effective Factors on Gully Longitudinal Advancement (Case study: Dareh Koreh Watershed). *Journal of Range and Watershed Management*, 67(1), 117-126. (In Persian)
- [27] Neisi, S., Khalilimoghadam, B. and Zoratipour, A. (2017). Modeling of the impact factors on the length development of the marl gullies and determined of the sediment contribution of them (case study: Darb Khazine Basin). *Journal of Range and Watershed Management*, 70(2), 531-541. (In Persian)
- [28] Phillips, J.D. (2006). *Evolotinary geomorphology: thresholds and nonlinrarity in landform response to environmental change*. Tobacco road team department of geology, University of kentucky, Lexington.KY 40506-0027 USA.



- [29] Poesen, J., Nachtergaele, J., Verstraeten, G. and Valentin, C. (2003). Gully erosion and environmental change: importance and research needs. *Catena*, 50, 91-133.
- [30] Poesen, J., Vandekerckhove, L., Nachtergaele, J., Oostwoud Wijdenes, D., Verstraeten, G. and Van Wesemael, B. (2002). Gully erosion in dry land environments. In: Bull, L.J., Kirkby, M.J. (Eds.), *Dry land rivers: Hydrology and Geomorphology of Semi-Arid Channels*. Wiley, Chichester, UK, pp. 229-262.
- [31] Refahi, H.Gh. (2009). *Soil erosion by water and conservation*, 2ed Edition, University of Tehran press, Tehran. (In Persian)
- [32] Romero Díaz, A., Marín Sanleandro, P., Sánchez Soriano, A., Belmonte Serrato, F. and Faulkner, H. (2007). The causes of piping in a set of abandoned agricultural terraces in southeast Spain. *Catena*, 69, 282-293.
- [33] Rostamizad, Gh., Salajegheh, A., NazariSamani, A.A. and Ghodoosi, J. (2015). Determination of Factors Affecting the Longitudinal Growth of the Gullies and Preventing Its Expansion (Case Study: Dareshahr County). *Journal of Quantitative Geomorphological Researches*, 4(1), 46-58. (In Persian)
- [34] Saniee Abadeh, M., Mahmoudi, S. and Taherparvar, M. (2017). *Applied Data Mining*, Third Edition, Niyazedanesh press, Tehran. (In Persian)
- [35] Sarmadian, F. and Keshavarzi, A. (2016). Application of CANFIS Model in Prediction of Soil Cation Exchange Capacity in Some Arid and Semi-Arid Regions of Iran. *Journal of Range and Watershed Management*, 69(2), 397-410. (In Persian)
- [36] Shahrabi, J. (2013). *Data Mining 2*, First Edition, Amir Kabir Industrial Unit of Jahadedaneshgahi press, Tehran. (In Persian)
- [37] Shoba, G. and Shobha, G. (2014). Water Quality Prediction Using Data Mining techniques: A Survey. *International Journal of Engineering and Computer Science*, 3(6), 6299-6306.
- [38] Soleimanpour, S.M. (2007). A comparison of sediment production from gullies in relation to catchment and geologic characteristics in different climates of Fars province, M.Sc., Thesis, Department of Watershed Management, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran. (In Persian)
- [39] Soleimanpour, S.M. (2012). Investigation and comparison of thresholds controlling gully erosion in different climates of Fars province, Ph.D., Thesis, Department of Watershed Management, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran. (In Persian)
- [40] Soleimanpour, S.M., Soufi, M. and Ahmadi, H. (2008). Investigating the Factors Affecting Gully Erosion of Sediment Production and Soil Waste in Gouresped region Fars province, proceeding of 5<sup>th</sup> Conference on Engineering Geology and Environment, Tehran. (In Persian)
- [41] Soleimanpour, S.M., Soufi, M. and Ahmadi, H. (2009). Determining Effective Factors on Gully Development in Konartakhte Region Fars Province. *Journal of Water and Soil*, 23(1), 131-141. (In Persian)
- [42] Soleimanpour, S.M., Soufi, M. and Ahmadi, H. (2010). A Study on the Topographic Threshold and Effective Factors on Sediment Production and Gully Development in Neyriz, Fars Province. *Journal of Range and Watershed Management*, 63(1), 41-52. (In Persian)
- [43] Soleimanpour, S.M., Soufi, M., Ahmadi, H. and Salajegheh, A. (2012). Survey of topographic threshold relations in gully erosion creation (case study: Fars province, southwest of I.R.Iran). *Archives Des Sciences*, 65(10), 105- 116.
- [44] Soleimanpour, S.M., Soufi, M., Zolfaghari, M. and Ahmadi, H. (2014). Investigation of topographic threshold relations of gully creation in various land use in Fars province, I.R.Iran. *Indian Journal of Scientific Research*, 3(1), 362-371.
- [45] Soleimanpour, S.M., Hedayati, B., Soufi, M. and Ahmadi, H. (2015). Determination of Threshold of Effective Factors on Length Expansion of Gullies Using Data Mining Techniques in Mahourmilati Region Fars Province. *Journal of Iran-Watershed Management Science & Engineering*, 9(29), 47-56. (In Persian)
- [46] Soufi, M. (2004). A survey on the morpho-climatic characteristics of gullies in Fars province, Final report of research, Soil conservation and watershed management institute, Tehran. (In Persian)
- [47] Tan, P.N., Steinbach, M. and Kumar, V. 2005. *Introduction to Data Mining*, First Edition, Addison-Wesley press.

- [48] Vandekerckhove, L., Poesen, J. and Govers, G. (2003). Medium term gully headcut rates in southeast Spain determined from aerial photographs and ground measurements. *Catena*, 50, 329-352.
- [49] Vanmaercke, M., Poesen, J., Van Mele, B., Demuzere, M., Bruynseels, A., Golosov, V. and Fuseina, Y. (2016). How fast do gully headcuts retreat?. *Earth-Science Reviews*, 154, 336-355.
- [50] Veysi Sartayereh, Ch. and Esfandeyari Darabadi, F. (2015). Investigating the role of slope in the formation and expansion of gully erosion (Case study: Salas Babajani city). *Proceeding of the First National Conference on New Achievements in Biosciences and Agriculture*, Tehran, I.R.Iran. (In Persian)
- [51] Zamanzadeh, S.M. and Ahmadi, M. (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)
- [52] Zhang, X., Fan, J., Liu, Q. and Xiong, D. (2018). The contribution of gully erosion to total sediment production in a small watershed in Southwest China. *Physical Geography*, 39(3), 246-263.