

هیدروژنومورفولوژی، شماره ۱۲، پاییز ۱۳۹۶، صص ۱۵۲-۱۳۱

وصول مقاله: ۱۳۹۶/۰۲/۲۲ تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۶/۰۸/۲۲

کاربرد دو روش ناپارامتریک در تعیین آستانه‌ی عوامل مؤثر بر رشد طولی آبکندها با استفاده از تکنیک‌های داده‌کاوی (مطالعه موردی: حوضه‌ی آبخیز سنگانه‌ی کلات)

ابوالقاسم امیراحمدی^۱

چکیده

تعیین آستانه‌ی عوامل مؤثر بر رشد طولی آبکندها می‌تواند به مدیران و تصمیم‌گیران کمک کند تا بتوانند با شناخت دقیق، راه‌کار مناسبی را پیش‌بینی و از تخریب اراضی به نحو مطلوب جلوگیری به عمل آورند. هدف از انجام پژوهش حاضر در حوضه‌ی آبخیز سنگانه‌ی کلات تعیین آستانه‌ی عوامل مؤثر بر رشد طولی آبکندها با استفاده از تکنیک‌های داده‌کاوی می‌باشد. در این پژوهش ابتدا بر اساس مطالعات میدانی مشخصات مورفومتری ۲۳ آبکند همراه با نمونه‌برداری از خاک شامل تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مؤثر خاک اندازه‌گیری گردید. سپس با بهره‌گیری از روش‌های ناپارامتریک الگوریتم خوشه‌بندی K-Means و درخت تصمیم CART به تعیین آستانه‌ی عوامل مؤثر بر گسترش طولی آبکندها پرداخته شد. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که مهم‌ترین عوامل مؤثر بر گسترش طولی آبکندها در این منطقه عرض آبکند، نسبت جذب سدیم، شیب پیشانی آبکند و درصد سیلت می‌باشد. همچنین مهم‌ترین عامل شکل‌گیری فرسایش آبکندهی در منطقه‌ی مورد مطالعه و گسترش آن سبب سیر سوس، سیمی، ریب سرب - باعث ایجاد رواناب و تغییر در میزان نفوذپذیری، و از طرف دیگر تحت تأثیر ویژگی‌ها و

۱- دانشیار گروه ژئومورفولوژی و اقلیم‌شناسی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزواری. amirahmdi1388@gmail.com

خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های منطقه می‌باشد. بنابراین ارائه و اعمال راه‌کارهایی جهت اصلاح خاک و حوضه‌ی آبخیز بالادست آبکنده‌های این منطقه می‌تواند در کاهش گسترش آبکنده‌ها تأثیرگذار باشد.

کلمات کلیدی: آبکند، آستانه، داده‌کاوی، ناپارامتریک، رشد طولی، سنگانه.

مقدمه

فرسایش آبکندی یک مشکل بزرگ برای مدیریت منابع طبیعی است، که منجر به تخریب زمین و زیان‌های اقتصادی در سراسر جهان شده است (آگون و تورک^۱، ۱۱: ۱۵۱۶؛ چاپلوت^۲، ۲۰۱۳: ۲؛ ذاکرنژاد و مارکر^۳، ۲۰۱۵: ۲۶). برای مبارزه با فرسایش آبکندی می‌بایست مکانیزم رشد و گسترش ابعاد آبکنده‌ها به ویژه رشد طولی آن‌ها شناخته شود (وان مارچک^۴ و همکاران، ۲۰۱۶: ۳۴۰). با توجه به گستره‌های نسبتاً وسیع تحت فرسایش آبکندی، لازم است راهکارهای مناسب در انطباق کامل با عوامل مؤثر در شکل‌گیری، رشد و گسترش فرسایش آبکندی و مدل کاربردی برای پیش‌بینی رشد طولی آبکنده‌ها تبیین و معرفی شود (پوزن^۵ و همکاران، ۲۰۰۳؛ وان والگم^۶ و همکاران، ۲۰۰۳؛ توری و پوزن^۷، ۲۰۱۴). شناسایی مناطق مولد رسوب و تعیین سهم آن‌ها در تولید رسوب از مهم‌ترین مصادیق مدیریت خاک به منظور بهره‌برداری مطلوب آن می‌باشد (نوحه‌گر و همکاران، ۱۳۹۶: ۹۹). تعیین آستانه^۸ در تحقیقات مربوط به ژئومورفولوژی و اکوسیستم‌های طبیعی دارای اهمیت

1-Akgün and Türk

2- Chaplot

3- Zakerinejad and Maerker

4- Vanmaercke

5- Poesen

6- Vanwallegem

7- Torri and Poesen

8- Threshold

بسیاری است که توسط بسیاری از دانشمندان و نیز بسیاری از متون تخصصی در بیست ساله اخیر بحث و بررسی شده است (زارع و همکاران، ۱۳۹۳: ۳۲۴؛ سلیمان پور و همکاران، ۱۳۹۴: ۴۸). پاتون و شام^۱ برای اولین بار مفهوم آستانه را در ایجاد آبکندها به کار بردند (پاتون و شام، ۱۹۷۵). در ساده‌ترین تعریف، آستانه عبارت از نقطه‌ای است که پس از آن رفتار سیستم تغییر می‌کند (فیلیپس^۲، ۲۰۰۶). با توجه به اهمیت فرسایش آبکندهی و چگونگی ایجاد و گسترش و کنترل آن نیاز به مطالعات بیشتر و جامع‌تری در این رابطه احساس می‌گردد. مطالعات چندی در این ارتباط صورت گرفته است که برخی از آن‌ها به شرح زیر می‌باشد:

قوش و ماجی^۳ (۲۰۱۱)، به برآورد آستانه‌ی ژئومورفیک فرسایش آبکندهی در منطقه‌ی بیربهم^۴ هند پرداختند. نتایج نشان داد که عوامل خاکی مؤثر بر آستانه‌ی آبکندها نسبت جذب سدیم، درصد سیلت و ماسه می‌باشند، که با سطح تأمین کننده‌ی رواناب دارای ارتباط معکوسی هستند. گاتیرز^۵ و همکاران (۲۰۰۹)، در مقاله خود تحت عنوان استفاده و مقایسه‌ی دو روش ناپارامتریک (CART^۶ و MARS^۷) به مدل‌سازی توزیع پتانسیل آبکندها در شبه‌جزیره‌ی ایبری^۸ پرداختند. پرداختند. عملکرد مدل با استفاده از روش آستانه‌ی غیروابسته مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که روش MARS دقت بالاتری برای پیش‌بینی وقوع آبکندها داشته است. زارع و همکاران (۱۳۹۳)، در مطالعه‌ی خود به منظور تعیین آستانه‌ی توپوگرافی، دو منطقه در علامرودشت لامرد و فداغ لارستان را انتخاب و مورد

1- Paton and Schumm

2- Phillips

3- Ghosh and Maji

4- Birbhum

5- Gutiérrez et al.,

6- Classification And Regression Trees

7- Multivariate Adaptive Regression Splines

8- Iberian

بررسی قرار دادند. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که در هر دو منطقه‌ی مورد مطالعه، عامل هیدرولوژیک مؤثر در گسترش آبکندها، رواناب سطحی می‌باشد و افزایش نسبت جذب سدیم و لخت و بدون پوشش ماندن زمین سبب کاهش آستانه توپوگرافی می‌شود. محمدابراهیمی و همکاران (۱۳۹۵)، در مطالعه خود با عنوان تعیین عوامل مؤثر در رخداد فرسایش آبکند پنجه‌ای به این نتیجه دست یافتند که متغیر درصد سیلت، درصد رس، هدایت الکتریکی، نسبت جذب سدیم و نوع لیتولوژی (سازند لسی) از مهم‌ترین عوامل مؤثر در ایجاد فرسایش آبکندها در منطقه-ی مورد مطالعه هستند.

روش‌های ناپارامتریک خوشه‌بندی K-Means و درخت تصمیم CART به عنوان الگوریتم‌هایی از تکنیک داده‌کاوی به شمار می‌آیند. (لاروس^۱، ۲۰۰۵). در الگوریتم خوشه‌بندی K-Means عملاً مجموعه داده‌ها به تعداد خوشه‌های از پیش تعیین شده تقسیم می‌شوند. در واقع فرض می‌شود که تعداد خوشه‌ها از ابتدا مشخص می‌باشند. ایده‌ی اصلی در این الگوریتم تعریف K مرکز برای هر یک از خوشه‌ها است (صنّعی‌آباده و همکاران، ۱۳۹۱). بهترین انتخاب برای مراکز خوشه‌ها قرار دادن آنها (مراکز) در فاصله هر چه بیشتر از یکدیگر می‌باشد. درخت تصمیم CART از مشهورترین روش‌های ساخت مدل دسته‌بندی می‌باشد که دانش خروجی را به صورت یک درخت از حالات مختلف مقادیر ویژگی‌ها ارائه می‌کند. بدین ترتیب دسته‌بندی‌های مبتنی بر درخت تصمیم کاملاً قابل تفسیر می‌باشند (گاتیرز، ۲۰۰۹).

تلف شدن خاک در اثر انواع فرسایش، به‌ویژه فرسایش آبکندی در اثر رواناب‌های جاری در سطوح شیب‌دار، از جدی‌ترین مسائل ژئومورفولوژیکی، هیدرولوژیکی و

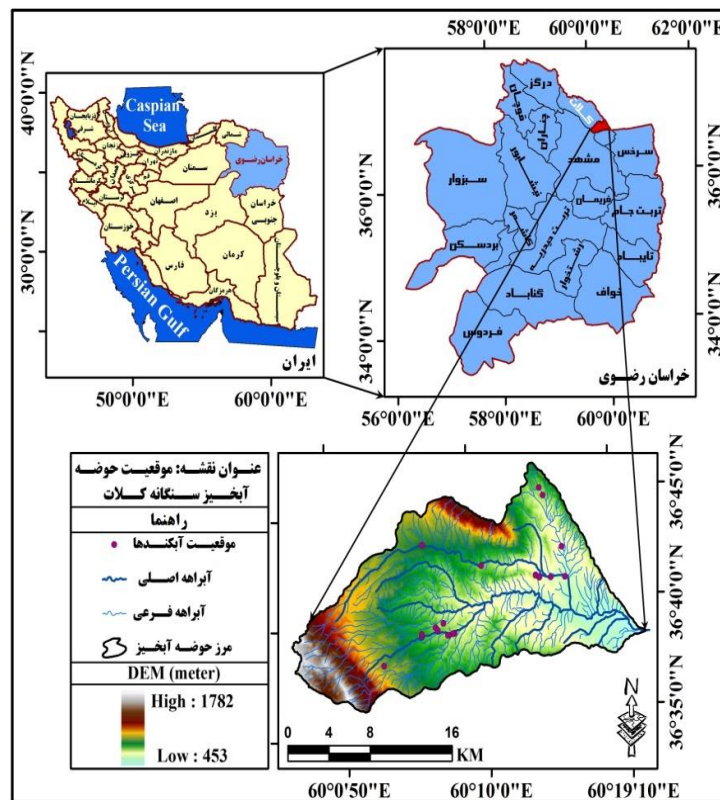
انسانی در تلف شدن خاک در دهه‌های اخیر محسوب می‌شود (بیاتی‌خطیبی و کرمی، ۱۳۹۵: ۸۷). در منطقه‌ی مورد مطالعه این نوع فرسایش باعث تخریب اراضی بسیاری گردیده و با جاری شدن رواناب و سیل، حجم قابل توجهی از رسوبات را به دنبال دارد که این امر باعث غیرقابل استفاده شدن اراضی شده است. به نظر می‌رسد بررسی این عوامل و تعیین آستانه‌ی آن‌ها کمک بسیار زیادی به تعیین راه‌کارهای کنترلی و اجرای موفقیت‌آمیزتر پروژه‌های حفاظت آب و خاک نماید. هدف از پژوهش حاضر تعیین آستانه‌ی عوامل مؤثر بر رشد طولی آبکندها با استفاده از تکنیک‌های داده‌کاوی^۱ در حوضه‌ی آبخیز سنگانه‌ی کلات واقع در قسمت شمالی استان خراسان رضوی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

موقعیت جغرافیایی منطقه‌ی مورد مطالعه

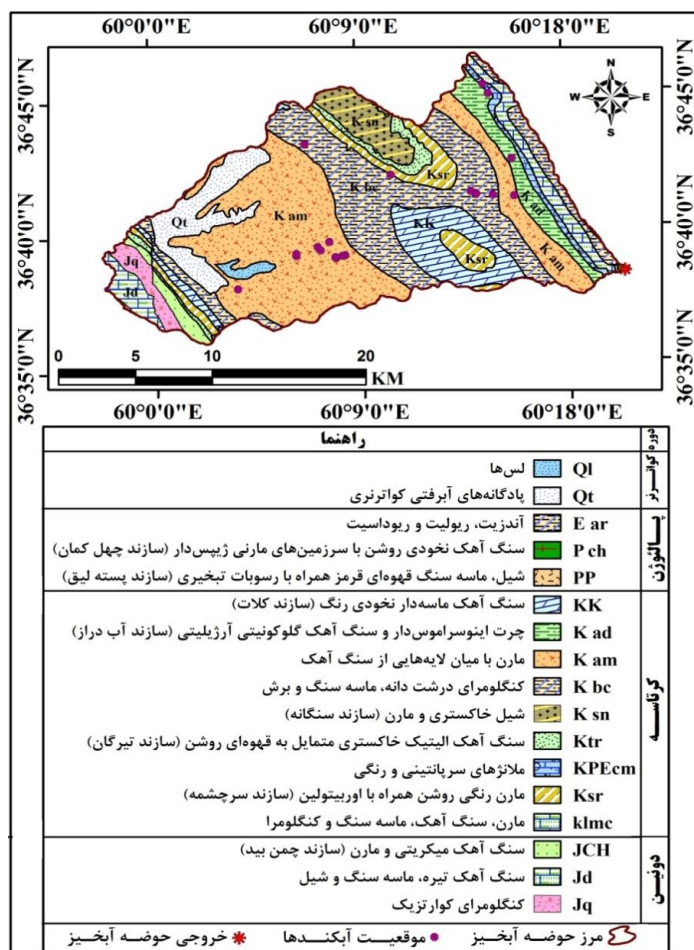
حوضه‌ی آبخیز سنگانه‌ی کلات به عنوان یکی از مناطق شاخص فرسایش آبکندی در قسمت شمالی استان خراسان رضوی واقع گردیده است. حوضه‌ی آبخیز سنگانه در ۱۲۰ کیلومتری شمال شرق مشهد و در نوار مرزی ایران و ترکمنستان قرار داشته و در حوضه‌ی آبخیز قره‌قوم واقع شده است. محدوده مورد مطالعه از نظر تقسیمات زمین‌شناسی جزو پهنه ساختاری رسوبی کپه‌داغ در شمال شرق ایران می‌باشد. به لحاظ موقعیت جغرافیایی این حوضه در ۵۶° ۵۷ تا ۵۹° ۵۷ تا ۶۰° ۲۰ طول شرقی و ۱۴° ۲۷ تا ۳۵° ۳۶ تا ۴۷° ۳۶ عرض شمالی قرار دارد و مساحت این حوضه ۳۶۳/۸۰ کیلومترمربع می‌باشد (شکل ۱). متوسط ارتفاع منطقه از سطح دریا ۸۳۳ متر و میانگین دمای سالانه آن برابر ۱۵ درجه سانتی‌گراد و ضریب دوماستن آن برابر ۱۰/۲ است که با متوسط بارندگی سالانه ۲۵۷ میلی‌متر در اقلیم

نیمه خشک سرد قرار می گیرد (بشری و همکاران، ۱۳۹۱: ۱۳۵). خاک های منطقه در گروه خاک های فلات ها بوده و در رده آنتی سول^۱ و اریدی سول^۲ قرار دارد. سازندهای رخنمون یافته در گستره مورد مطالعه در شکل (۲) قابل مشاهده است.



شکل (۱) موقعیت جغرافیایی منطقه ی مورد مطالعه

- 1- Entisols
- 2- Aridisols



شکل (۲) نقشه زمین‌شناسی حوضه‌ی سنگانه

روش تحقیق

روش تحقیق در این پژوهش به منظور تعیین آستانه‌ی عوامل مؤثر بر گسترش طولی آبکندها با استفاده از تکنیک داده‌کاوی به شرح زیر می‌باشد:

در ابتدا موقعیت مکانی ۲۳ آبکند شاخص با استفاده از دستگاه موقعیت‌یاب جهانی^۱ گارمین مدل (Garmin 76CSX) ثبت و نقشه پراکنش آبکندها در منطقه‌ی مورد مطالعه به دست آمد (شکل ۱). سپس اقدام به تهیه نقشه‌های حوضه‌ی آبخیز و زمین‌شناسی در نرم‌افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) گردید، به منظور تهیه‌ی این نقشه‌ها از تصاویر SPOT-5 (سال ۲۰۰۹)؛ نقشه‌های زمین‌شناسی به شماره‌های (NJ41-13 (سرخس)، NJ41-16 (مشهد))؛ نقشه‌های توپوگرافی به شماره‌های (7963II, 8063II, 8063III, 8063IV) استفاده گردید (شکل ۲).

در مرحله‌ی بعد، شاخه‌ی درجه یک هر آبکند منتخب مشخص و طول و عرض متوسط هر آبکند به وسیله‌ی متر نواری اندازه‌گیری و ویژگی‌های حوضه‌ی آبخیز آبکند از قبیل مساحت آبخیز خروجی و مساحت آبخیز واقع پیشانی هر آبکند، پس از مشخص شدن نقاط ارتفاعی، ثبت نقاط مرزی آبخیز خروجی و آبخیز بالادست هر آبکند توسط نرم‌افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) تعیین و شیب پیشانی هر آبکند توسط شیب‌سنج دیجیتال (Clinometer) محاسبه شد (شکل ۴). سپس اقدام به اندازه‌گیری درصد سنگ‌ریزه^۲، خاک لخت^۳، درصد پوشش گیاهی^۴ و لاشبرگ^۵ در پیشانی آبکندهای منتخب گردید، بدین منظور با قرار دادن ۱۵ پلات یک متر مربعی و تعیین میانگین آن‌ها مقادیر درصد سنگ و سنگ‌ریزه، خاک لخت، درصد پوشش گیاهی و لاشبرگ تعیین شد (شکل ۵C). به منظور اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک از نقطه‌ای در سر هر آبکند نمونه‌ی خاک برداشت (شکل ۵B) و پس از انتقال به آزمایشگاه تخصصی فرسایش و رسوب،

1- GPS (Global Positioning System)

2- Soil gravel

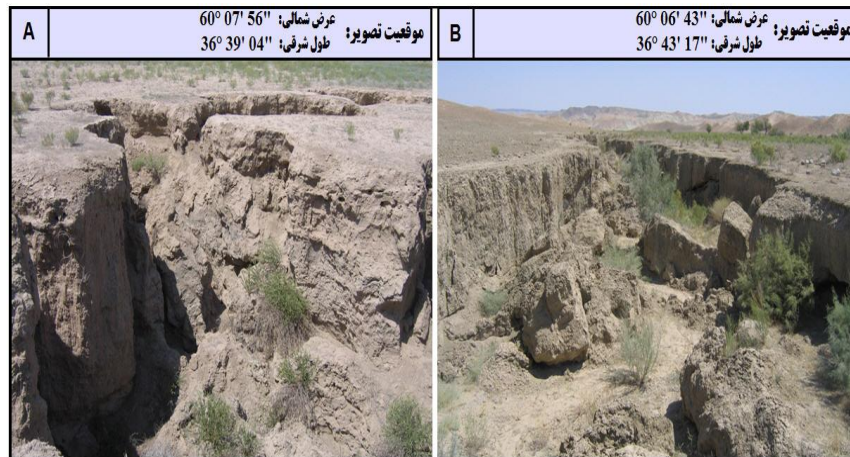
3- Bare soil

4-Cover

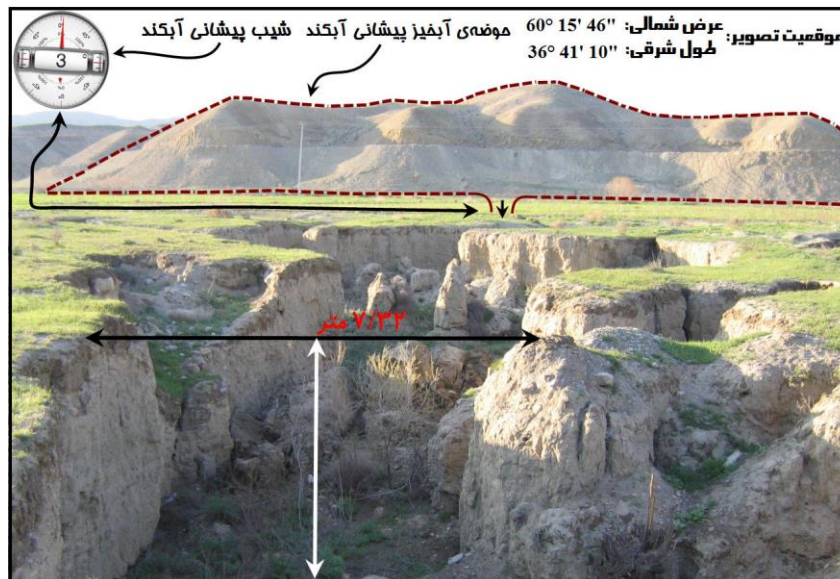
5- Litter

مقادیر هدایت الکتریکی عصاره‌ی اشباع^۱، اسیدیته^۲ خاک، درصد ماده آلی^۳، نسبت جذب سدیم^۴، درصد رس^۵، سیلت^۶ و شن^۷ اندازه‌گیری گردید. همچنین میزان نفوذ نفوذپذیری^۸ در بالای پیشانی هر آبکند با استفاده از استوانه‌های مضاعف^۹ محاسبه و میزان نفوذ آب در خاک به برنامه‌ی اکسلی^{۱۰} که به همین منظور طراحی شده است وارد و سرعت نفوذپذیری بر حسب میلی‌متر در ساعت محاسبه شد (شکل ۵A). در پایان با استفاده از تکنیک داده‌کاوی (خوشه‌بندی^{۱۱} K-Means و درخت تصمیم^{۱۲} CART) آستانه‌ی عوامل مؤثر بر رشد طولی آبکندها در منطقه مورد مطالعه مشخص گردید. طول آبکند به‌عنوان متغیر وابسته و کلیه‌ی پارامترهای اندازه‌گیری شده به‌عنوان متغیر مستقل وارد نرم‌افزار Clementine12 شده و آستانه عوامل مؤثر بر گسترش طولی آبکندها مشخص گردید. نرم‌افزار یاد شده ساخت شرکت SPSS^{۱۳} است و امکان ایجاد مدل‌های متعددی را بر اساس تئوری های آماری، هوش مصنوعی و یادگیری ماشین ارائه می‌دهد.

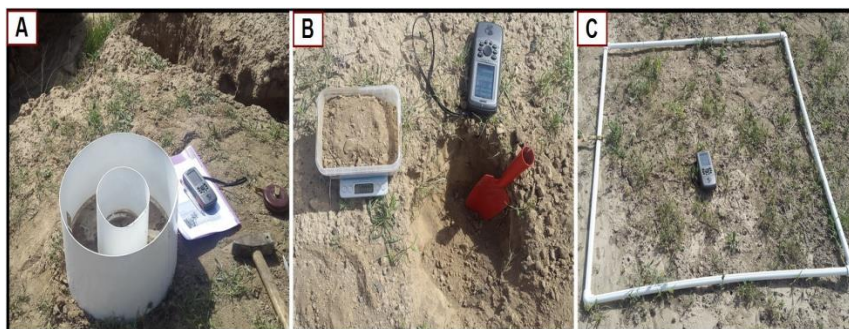
-
- 1- ECe
 - 2- PH
 - 3- OM
 - 4- SAR
 - 5- Clay
 - 6- Silt
 - 7- Sand
 - 8- Permeability
 - 9- Double ring
 - 10- Excel
 - 11- Clustering
 - 12- Decision Tree
 - 13- Statistical Package for the Social Sciences



شکل (۳) نمایی از فرسایش آبکندی در منطقه‌ی مورد مطالعه (مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۶)



شکل (۴) نمایی شماتیک از چگونگی اندازه‌گیری شیب، عرض و حوضه‌ی آبخیز پیشانی آبکند (مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۶)



شکل (۵) A: اندازه‌گیری نفوذپذیری توسط استوانه‌های مضاعف؛ B: برداشت نمونه خاک از پیشانی آبکند جهت بررسی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک؛ C: پلات گذاری جهت اندازه‌گیری درصد سنگ‌ریزه، خاک لخت، پوشش گیاهی و لاشبرگ (مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۶).

روش‌های مورد استفاده

K-Means خوشه‌بندی

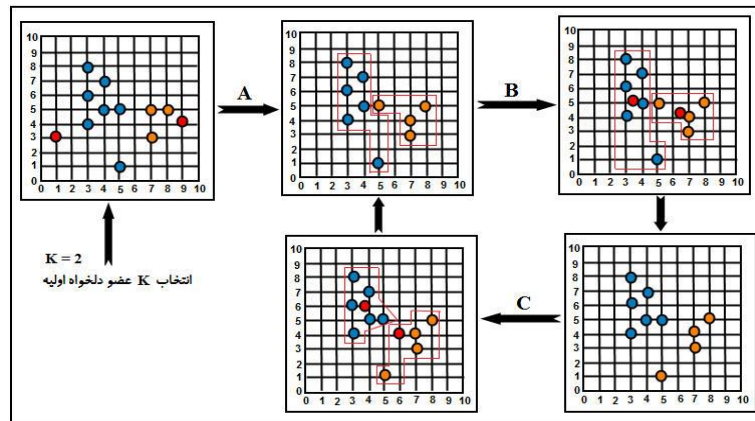
روش K-Means یکی از روش‌های خوشه‌بندی داده‌ها در داده‌کاوی است. خوشه‌بندی در آمار و یادگیری ماشینی^۱، یکی از شاخه‌های یادگیری بی‌نظارت^۲ می‌باشد و فرآیندی است که در طی آن، نمونه‌ها به دسته‌هایی که اعضای آن مشابه یکدیگر می‌باشند تقسیم می‌شوند که به این دسته‌ها خوشه گفته می‌شود. مراحل الگوریتم K-Means به شرح شکل (۶) است (صنّعی‌آباده و همکاران، ۱۳۹۱).

درخت تصمیم CART

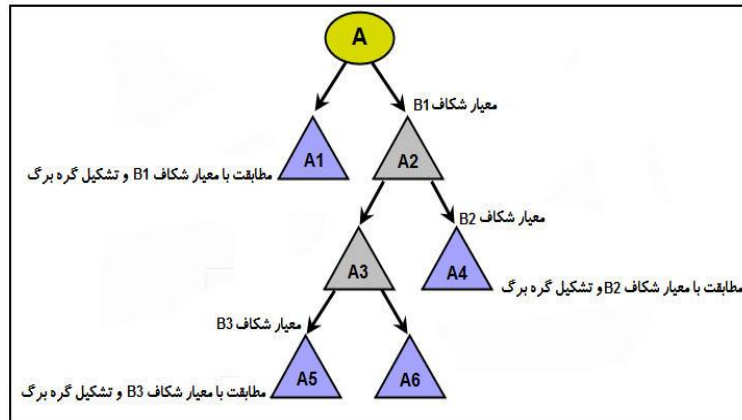
درخت تصمیم یکی از روش‌های داده‌کاوی و از ابزارهای قوی و متداول برای دسته‌بندی و پیش‌بینی است که برخلاف شبکه‌های عصبی به تولید قانون می‌پردازد.

1- Machine learning
2- Unsupervised learning

یعنی درخت تصمیم پیش‌بینی خود را در قالب یک سری قوانین توضیح می‌دهد (شکل ۷). یک الگوریتم کلی برای ساخت یک درخت تصمیم‌گیری به شرح شکل زیر است:



شکل (۶) مراحل تجزیه و تحلیل الگوریتم K-Means، مأخذ: Linoff and Berry, 2011



شکل (۷) نمونه‌ای از یک درخت تصمیم ساده، مأخذ: دستورانی و همکاران، ۱۳۹۱

در الگوریتم‌های دسته‌بندی CART، کل مجموعه‌ی داده‌ها به دو قسمت مجموعه داده‌های آموزشی^۱، و مجموعه داده‌های آزمایشی^۲ تقسیم‌بندی می‌شوند (تان^۳ و همکاران، ۲۰۰۵). 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 اندازه‌ی ماکزیمم و تا زمانی که عملیات تقسیم به دلیل کمبود داده‌ها متوقف نشود، ادامه خواهد داشت (لاروس، ۲۰۰۵). در این پژوهش ۷۰ درصد از کل داده‌ها به آموزش مدل تعلق گرفت و ۳۰ درصد باقیمانده به عنوان داده‌های آزمون به مدل معرفی گردید.

بحث و نتایج

جدول (۱) حداقل، حداکثر و میانگین مقادیر پارامترهای اندازه‌گیری شده در منطقه‌ی مورد مطالعه را نشان می‌دهد. مطابق این جدول متوسط طول آبکندها در این منطقه ۳۱۹/۸۳ متر می‌باشد. که بر اساس طبقه‌بندی احمدی از نظر طول، سه نوع آبکند قابل تشخیص است ($120m <$ آبکند کوچک؛ $120m - 240m$ آبکند متوسط؛ $240m >$ آبکند بزرگ) (احمدی، ۱۳۷۸: ۴۵۳). در جدول (۲) نتایج خوشه‌بندی طول آبکندها بر اساس الگوریتم خوشه‌بندی K-Means، نشان داده شده است. همانطور که در این جدول قابل مشاهده است در منطقه‌ی مورد مطالعه آبکندهایی با طول زیاد (خوشه‌ی ۱) دارای بیشترین تعداد آبکند (تعداد ۱۰ آبکند) با طول متوسط $301/24$ متر و بعد از آن آبکندهایی با طول متوسط (خوشه‌ی ۲)، به تعداد ۸ آبکند با متوسط طول $238/41$ متر قرار دارند و تنها ۵ آبکند با متوسط طول $105/18$ متر در خوشه‌ی ۳ یعنی آبکندهایی با طول کم قرار دارد. در نتیجه بر

1- Training data
2- Testing data
3- Tan

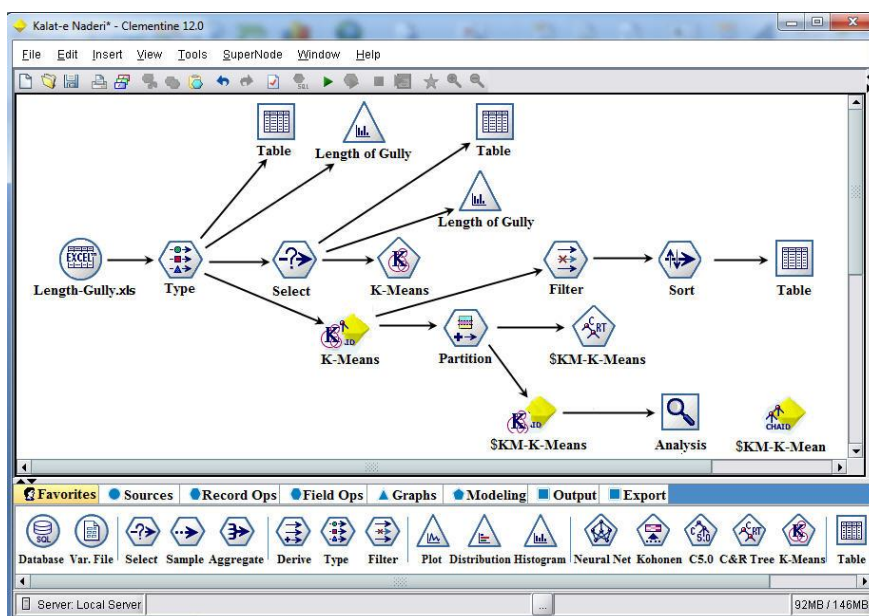
اساس الگوریتم خوشه‌بندی و طبقه‌بندی آبکندها از نظر طول توسط احمدی، آبکندهای منطقه مورد مطالعه در طبقه‌ی آبکندهایی با طول زیاد (خوشه‌ی ۱) قرار می‌گیرند. از مجموع ۲۳ آبکند مورد مطالعه در این پژوهش، دقت تخمین زده شده بر اساس پارامترهای مؤثر بر گسترش طولی آبکندها در مدل نهایی، برای مجموعه داده‌های آموزشی برابر با ۱۰۰ درصد و برای مجموعه داده‌های آزمایشی ۸۵ درصد می‌باشد. شکل (۹) مدل‌سازی انجام شده در محیط نرم‌افزار Clementine12 بر اساس الگوریتم K-Means را نشان می‌دهد.

جدول (۱) نتایج شاخص‌های آماری متغیرهای مورد بررسی در منطقه آبکندی سنگانه

متغیرها	حداقل	میانگین	حداکثر
طول آبکند (متر)	۱۰۱/۳۵	۳۱۹/۸۳	۶۴۸
عرض آبکند (متر)	۲/۲۳	۴/۹۰	۲/۳۳
مساحت آبخیز پیشانی آبکند (مترمربع)	۵۱۷/۴۴	۱۱۷۲/۱	۱۰۷/۸۷
مساحت آبخیز خروجی آبکند (مترمربع)	۱۶۵۲/۵۷	۴۶۷۰/۵۷	۳۸۶/۰۶
شیب بالای پیشانی آبکند (به درصد)	۰/۵۲	۱/۳۵	۱/۹۵
پوشش گیاهی (درصد)	۰	۱۴/۷۶	۵۰
لاشبرگ (درصد)	۰	۳۴/۰۴	۸۰
سنگ و سنگریزه (درصد)	۰	۱/۵۶	۳۰
خاک لخت (درصد)	۱۵	۴۹/۳۳	۸۰
ماده آلی (درصد)	۰	۱/۳۸	۴/۶۸
هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک (دسی‌زیمنس بر متر)	۱/۳۷	۸/۱۳	۳/۲۵
اسیدیته	۷/۵۰	۷/۷۳	۸/۰۱
نسبت جذب سدیم (میلی‌اکی‌والان بر لیتر)	۰/۱۳۱	۰/۶۳۲	۰/۲۹۳
نفوذپذیری (میلی‌متر در ساعت)	۲/۵۴	۴/۵۳	۷/۱۰
شن (درصد)	۱۲	۱/۳۸	۶۴/۵۰
سیلت (درصد)	۳۰/۵۰	۴۹/۳۳	۶۳
رس (درصد)	۵	۲۴	۳۶

جدول (۲) نتایج خوشه‌بندی داده‌ها بر اساس طول آبکندها در منطقه‌ی مورد مطالعه

خوشه	خوشه‌ی ۱ (طول زیاد)	خوشه‌ی ۲ (طول متوسط)	خوشه‌ی ۳ (طول کم)
حداقل	۲۹۲/۳۱	۲۰۳/۵۲	۱۰۱/۳۵
حداکثر	۴۴۱/۱۴	۲۸۰/۲۲	۱۶۳/۲۳
میانگین	۳۰۱/۲۴	۲۳۸/۴۱	۱۰۵/۱۸
تعداد	۱۰	۸	۵



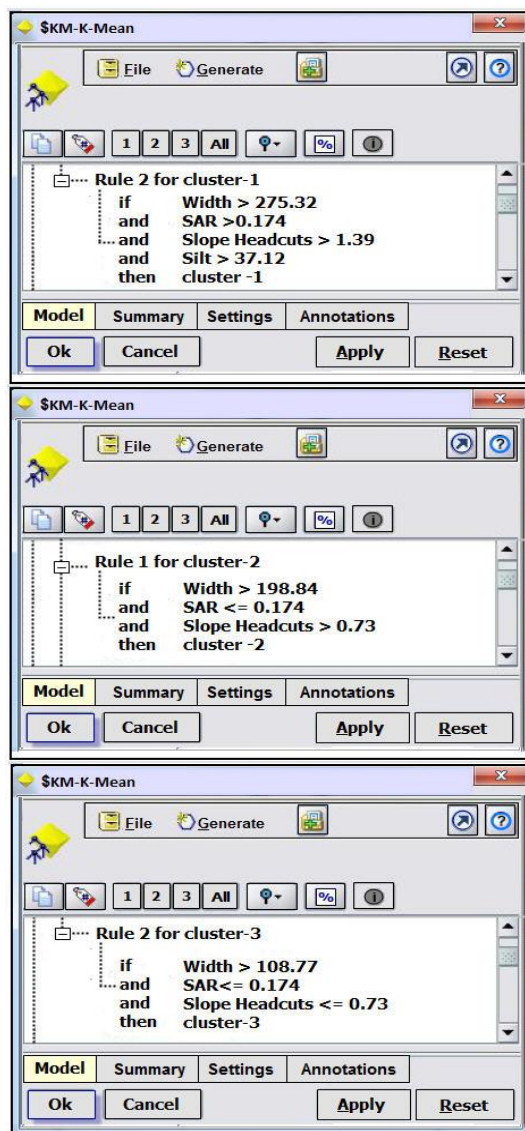
شکل (۸) مدل‌سازی انجام شده در نرم‌افزار Clementine12

مؤثرترین قوانین استخراج شده از درخت تصمیم CART بر اساس خوشه‌بندی طول آبکندها، در شکل (۹) نشان داده شده است. از این قوانین می‌توان به منظور تعیین آستانه‌ی عوامل مؤثر بر گسترش طولی آبکندها استفاده کرد. تفسیر قوانین در این شکل به ترتیب از بالا به پایین به شرح زیر است:

- با توجه به نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل حاصل از الگوریتم درخت تصمیم CART، مهم‌ترین عوامل مؤثر بر گسترش طولی آبکندها با طول زیاد (۲۹۲/۳۱ تا ۴۴۱/۱۴)، از بین پارامترهای اندازه‌گیری شده در منطقه‌ی مورد مطالعه شامل عرض آبکند، نسبت جذب سدیم، شیب بالای پیشانی آبکند و درصد سیلت می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد که در آبکندهایی با طول زیاد (خوشه‌ی ۱) چنانچه عرض آبکند از ۲۷۵/۳۲، نسبت جذب سدیم از ۰/۱۷۴، شیب پیشانی آبکند از ۱/۳۹ و درصد سیلت از ۳۷/۱۲ بیشتر گردد، آبکندهایی با طول زیاد ایجاد می‌گردند.

- مهم‌ترین عوامل مؤثر بر گسترش آبکندهایی با طول متوسط (۲۰۳/۵۲ تا ۲۸۰/۲۲ متر)، از بین پارامترهای اندازه‌گیری شده در منطقه‌ی سنگانه کلات عبارتند از: عرض آبکند، نسبت جذب سدیم و شیب پیشانی آبکند. بنابراین در تشکیل آبکندهایی با عرض متوسط چنانچه نسبت عرض آبکند از ۱۹۸/۸۴ بیشتر، نسبت جذب سدیم کوچک‌تر یا مساوی ۰/۱۷۴ و شیب پیشانی آبکند کمتر ۰/۷۳ باشد، آبکندهایی با طول متوسط (خوشه‌ی ۲) ایجاد می‌شود.

- مهم‌ترین عوامل مؤثر بر گسترش آبکندهایی با طول کم (۱۰۱/۳۵ تا ۱۶۳/۲۳ متر)، از بین پارامترها اندازه‌گیری شده در منطقه‌ی مورد مطالعه شامل: عرض آبکند، نسبت جذب سدیم و شیب پیشانی آبکند می‌باشد. اگر مقدار عرض آبکند از ۱۰۸/۷۷ متر، نسبت جذب سدیم کوچک‌تر یا مساوی ۰/۱۷۴ و شیب پیشانی آبکند کوچک‌تر یا مساوی ۰/۴۸۱ باشد، آبکندهایی با طول کم (۱۰۱/۳۵ تا ۱۶۳/۲۳ متر) ایجاد می‌گردند.



شکل (۹) مؤثرترین قوانین استخراج شده از درخت تصمیم بر اساس خوشه‌بندی طول آبکندها

نتیجه‌گیری

در این پژوهش به تعیین آستانه‌ی عوامل مؤثر بر رشد طولی آبکندها با استفاده از تکنیک‌های داده‌کاوی در حوضه‌ی آبخیز سنگانه‌ی کلات پرداخته شد. در ابتدا بر اساس مطالعات میدانی، مورفومتری ۲۳ آبکند همراه با نمونه‌برداری از خاک شامل تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مؤثر خاک اندازه‌گیری گردید. سپس با بهره‌گیری از روش‌های ناپارامتریک الگوریتم خوشه‌بندی K-Means و درخت تصمیم CART آستانه‌ی عوامل مؤثر بر گسترش طولی آبکندها مشخص شد. نتایج حاصل از درخت تصمیم‌گیری CART بر اساس خوشه‌بندی طول آبکندها نشان داد که مهمترین عوامل مؤثر بر گسترش طولی آبکندها در منطقه‌ی مورد مطالعه عرض آبکند، نسبت جذب سدیم، شیب پیشانی آبکند و درصد سیلت می‌باشد. در نتیجه عامل اصلی در گسترش طولی آبکندها، رواناب سطحی و دومین عامل حساسیت به فرسایش‌پذیری خاک در منطقه‌ی مورد مطالعه می‌باشد. که علت عمده‌ی این امر، فقر پوشش گیاهی و نفوذپذیری کم خاک است. در منطقه‌ی مورد مطالعه به علت پوشش گیاهی ضعیف که تغییرات آن بر حسب درصد از ۰ تا ۵۰ درصد می‌باشد، پوشش گیاهی هیچ‌گونه تأثیری بر شکل‌گیری و اثرات رواناب حاصله نداشته و مجموع اثر این دو پارامتر سبب ایجاد رواناب و اثرات منفی آن در فرسایش و به خصوص فرسایش آبکندی ظاهر می‌گردد. غالب بودن مقدار سیلت در بافت خاک به دلیل عدم چسبندگی، هدر رفت و انتقال رسوب بیشتری را به دنبال دارد و در نتیجه باعث گسترش طولی آبکندها می‌شود. با توجه به شناسایی عوامل مؤثر در گسترش طولی آبکندهای منطقه‌ی مورد مطالعه می‌توان از روش کاهش شیب، افزایش ضریب زبری و مقاومت سطح استفاده نمود، همچنین با تخلیه‌ی سریع جریان از طریق زهکشی مناسب، کاهش میزان رواناب و انحراف آن و اجرای پروژه‌های مکانیکی در مواقع اضطراری می‌توان از شدت فرسایش آبکندی کاست. با

توجه به اهمیت تندی شیب و درصد سیلت خاک در بروز فرسایش آبکندی، حفظ پوشش گیاهی با جلوگیری از چرای بی‌رویه برای مهار فرسایش آبکندی در دامنه‌هایی که دارای شیب بالایی بوده و خاک آن‌ها به فرآیندهایی فرسایشی حساس می‌باشد، بسیار ضروری است.

منابع

- بشری، مهدی؛ صادقی، سیدحمیدرضا و عبدالصالح رنگ‌آور (۱۳۹۱)، مقایسه تولید رسوب در دو جهت شمالی و جنوبی با استفاده از کرت کوچک، نشریه‌ی مهندسی و مدیریت آبخیز، شماره‌ی ۳، صص ۱۴۰-۱۳۴.
- بیاتی‌خطیبی، مریم و فریبا کرمی (۱۳۹۵)، برآورد میزان فرسایش آبی و خاک تلف شده از یک خندق در سطح حوضه‌ی آتش‌بیگ، مجله‌ی هیدروژئومورفولوژی، شماره‌ی ۷، صص ۱۰۶-۸۷.
- دستورانی، محمدتقی؛ حبیبی‌پور، اعظم؛ اختصاصی، محمدرضا و جواد محجوبی (۱۳۹۱)، بررسی کارایی مدل درخت تصمیم در پیش‌بینی بارش (مطالعه‌ی موردی: ایستگاه سینوپتیک یزد)، مجله‌ی تحقیقات منابع آب ایران، شماره‌ی ۳، صص ۲۷-۱۴.
- رستمی‌زاد، قباد؛ سلاجقه، علی؛ نظری‌سامانی، علی‌اکبر و جمال قدوسی (۱۳۹۴)، تعیین عوامل مؤثر بر رشد طولی خندق‌ها و پیش‌بینی گسترش آن (مطالعه‌ی موردی: شهرستان دره‌شهر)، مجله‌ی پژوهش‌های ژئومورفولوژی کتّی، شماره‌ی ۱، صص ۵۸-۴۶.
- زارع، مریم؛ صوفی، مجید؛ نجابت، مسعود و لادن جوکار (۱۳۹۳)، بررسی آستانه‌ی توپوگرافی فرسایش آب‌کندی در دو منطقه از استان فارس (مطالعه‌ی موردی: فداغ لارستان، علامرودشت لامرد)، مجله‌ی علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، شماره‌ی ۶۷، صص ۳۳۶-۳۲۳.
- زین‌العابدین، نرگس (۱۳۹۰)، داده‌کاوی و اکتشاف دانش، ماهنامه‌ی کارآفرین ناب، ماهنامه‌ی آموزشی، پژوهشی، خبری، تحلیلی، شماره‌ی ۱۹، صص ۲۸-۲۴.
- سلیمان‌پور، سیدمسعود؛ هدایتی، بهرام؛ صوفی، مجید و حسن احمدی (۱۳۹۴)، تعیین آستانه‌ی عوامل مؤثر بر گسترش طولی آب‌کندها با استفاده از تکنیک‌های داده‌کاوی

- در منطقه‌ی ماهورمیلاتی استان فارس، نشریه‌ی علمی- پژوهشی علوم و مهندسی
آبخیزداری ایران، شماره‌ی ۲۹، صص ۴۷-۵۶.
- محمدابراهیمی، مریم؛ جوادی، محمدرضا و مهدی وفاخواه (۱۳۹۵)، تعیین عوامل مؤثر
در رخداد فرسایش خندق پنجه‌ای در حوضه‌ی آبخیز آق امام، نشریه‌ی آب و خاک
(علوم و صنایع کشاورزی)، شماره‌ی ۶، صص ۱۹۹۲-۱۹۷۸.
- نظری‌سامانی، علی‌اکبر؛ توکلی، فاطمه؛ احمدی، حسن و غلام‌رضا راهی (۱۳۹۳)، تعیین
عوامل مؤثر بر رشد طولی فرسایش خندقی (مطالعه‌ی موردی: حوضه‌ی آبخیز دره
کره)، مجله‌ی مرتع و آبخیزداری، شماره ۱، صص ۱۲۶-۱۱۷.
- نوحه‌گر، احمد؛ کاظمی، محمد؛ احمدی، سیدجواد؛ غلامی، حمید و رسول مهدوی
(۱۳۹۶)، بررسی میزان رسوب‌زایی با استفاده از واحدهای همگن روی کاربری‌های
اراضی و سازنده‌های زمین‌شناسی (مطالعه‌ی موردی: حوضه‌ی آبخیز تنگ بستانک،
استان فارس)، مجله‌ی هیدروژئومورفولوژی، شماره ۱۰، صص ۱۱۹-۹۹.
- Akgün, A., Türk, N. (2011), **Mapping erosion susceptibility by a multivariate statistical method: a case study from the Ayvalık region, NW Turkey**, Computers and geosciences, Vol. 37(9). PP. 1515-1524.
- Chaplot., V. (2013), **Impact of terrain attributes, parent material and soil types on gully erosion**, Geomorphology, Vol. 186. PP. 1-11.
- Ghosh, S and Maji, T. (2011), **Pedo-Geomorphic analysis of soil loss in the lateritic region of Rampurhat I block of Birbhum district, West Bengal and Shikaripara block of Dumka district, Jharkhand**, International Journal of Environmental Sciences, Vol. 1(7). PP. 1734-1761.
- Gutiérrez, Á.G., Schnabel, S., Contador, J.F.L. (2009), **Using and comparing two nonparametric methods (CART and MARS) to model the potential distribution of gullies**, Ecological modelling, Vol. 220(24). PP. 3630-363.

- Patton, P.C and Schumm., S.A. (1975), **Gully erosion, Northwestern Colorado: a threshold phenomenon**, Geology, Vol. 3(2). PP. 88-90.
- Phillips., J.D. (2006), **Evolutionary geomorphology: thresholds and nonlinearity in landform response to environmental change**, Hydrology and Earth System Sciences, Vol. 10. PP. 731-742.
- Poesen, J., Nachtergaele, J., Verstraeten, G., Valentin, C. (2003), **Gully erosion and environmental change: importance and research needs**, Catena, Vol. 50(2). PP. 91-133.
- Romero Díaz, A.R., Sanleandro, P.M., Soriano, A.S., Serrato, F.B., Faulkner, H. (2007), **The causes of piping in a set of abandoned agricultural terraces in southeast Spain**, Catena, Vol.69, PP.282-293.
- Sneddon, J., Williams, B.G., Savage, J.V., Newman, C.T. (2005), **Erosion of a gully in duplex soils-Results of a long term photogrammetric monitoring program**, Soil Research, Vol.26(2), PP.401-408.
- Torri, D., Poesen, J. (2014), **A review of topographic threshold conditions for gully head development in different environments**, Earth-Science Reviews, Vol. 130. PP. 73-85.
- Vanmaercke, M., Poesen, J., Van Mele, B., Demuzere, M., Bruynseels, A., Golosov, V., Fuseina, Y. (2016), **How fast do gully headcuts retreat?**, Earth-Science Reviews, Vol. 154. PP. 336-355.
- Vanwalleghem, T., Van Den Eeckhaut, M., Poesen, J., Deckers, J., Nachtergaele, J., Van Oost, K., Slenters, C. (2003), **Characteristics and controlling factors of old gullies under forest in a temperate humid climate: a case study from the Meerdaal Forest (Central Belgium)**, Geomorphology, Vol. 56(1). PP. 15-29.