

مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، سال ۲۲، شماره پیاپی ۴۴، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۰
وصول: ۱۳۸۹/۵/۸ پذیرش: ۱۳۹۰/۸/۲۲
صص ۷۳-۹۰

تحلیل و طبقه‌بندی چند متغیره برای مدلسازی متغیرهای موثر بر شکل هندسی مخروط افکنه‌های دامنه شمالی کوهستان باقران (جنوب شهر بیرجند)

ابوالقاسم امیر احمدی: دانشیار ژئومورفولوژی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزواری، ایران*
مه‌هدی تقفوسی: استادیار ژئومورفولوژی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران
مریم ربیعی: کارشناس ارشد ژئومورفولوژی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزواری، ایران

چکیده

مطالعات گسترده‌ای در مورد زمین شناسی و ژئومورفولوژی مناطق خشک و نیمه خشک بیابان‌های ایران انجام شده است. اما در این بین مخروط افکنه‌ها به عنوان یکی از اشکال ژئومورفیک نادیده گرفته شده و یا کمتر به طور تخصصی مورد مطالعه قرار گرفته است. در این مقاله مخروط افکنه‌های رشته کوه باقران در جنوب شهر بیرجند از نظر شکل هندسی مورد بررسی قرار گرفته، بطوریکه در ابتدا ۱۷ مخروط افکنه شناسایی و نقشه برداری شده است. اندازه گیری‌های مربوط به پارامترهای تعیین کننده شکل هندسی مخروط افکنه‌های منطقه به طور مجزا صورت گرفته است. در مرحله بعدی این اندازه گیری‌ها برای بررسی روابط و مقایسه شکل هندسی این لندفرم‌ها با یکدیگر مورد استفاده قرار گرفته است. برای این منظور از مدل‌های مختلف و نرم افزارهای ویژه برای تحلیل‌های چند متغیره مانند: تحلیل‌های عامل و تحلیل‌های خوشه ای و در نهایت، برازش منحنی‌ها رگرسیونی استفاده شده است. بر اساس نتایج حاصله مهمترین متغیر موثر در شکل مخروط افکنه‌های منطقه مساحت حوضه زهکشی در بالا دست هر مخروط افکنه است که با عامل اول حاصل از تحلیل عاملی همبستگی در حدود ۸۸ درصد را نشان می دهد. با کمک تحلیل خوشه مخروط افکنه‌های منطقه در ۵ گروه طبقه بندی شده است. بر این اساس در گروه اول، تعداد ۱۰ مخروط افکنه با میزان تشابه ۷۰/۳۵ درصد، در گروه دوم تعداد ۳ مخروط افکنه با میزان تشابه ۷۶/۶۲ درصد، در گروه سوم تعداد ۲ مخروط افکنه با میزان تشابه ۷۳/۸۶ درصد و در گروه‌های چهارم و پنجم هر کدام یک مخروط افکنه با میزان تشابه به ترتیب ۶۰/۴۵، ۱۲/۷۶ درصد قرار گرفته است. برازش‌های مختلفی که به شیوه‌های گوناگون بین دو متغیر اصلی موثر در شکل هندسی مخروط افکنه‌ها (مساحت حوضه زهکشی و مساحت مخروط افکنه‌ها در منطقه) انجام گرفته با توجه به مقدار ضریب تعیین مدل‌های مختلف (R^2) تبیین کننده مناسب‌تر بودن مدل نمایی برای تخمین ارتباط بین این دو متغیر در منطقه است.

واژه‌های کلیدی: تحلیل و طبقه بندی چند متغیره، مدل سازی، مخروط افکنه، کوهستان باقران شهر بیرجند

۱- مقدمه

یافتگی خصوصیات ژئومورفولوژیکی یک یا گروهی از سیستم‌های ژئومورفیک مورد استفاده قرار می گیرند. از این رو مدل‌های آماری مورفومتری سیستم‌های ژئومورفیک نیز برای

مورفومتری نمایانگر توصیفات کمی از سطوح مورفولوژی سیستم‌های ژئومورفولوژیکی است که غالباً برای تخمین نسبت درجه توسعه

با وجود این که مطالعات گسترده‌ای در خصوص زمین‌شناسی و ژئومورفولوژی مناطق خشک و نیمه خشک بیابان‌های ایران انجام شده است، مخروط افکنه‌ها در این مناطق به عنوان یکی از مهمترین اشکال ژئومورفیک نادیده گرفته شده‌اند و یا این که کمتر بطور تخصصی مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. از اینرو تحقیقات ویژه‌اندکی در خصوص مخروط افکنه‌های تشکیل شده صورت گرفته که غالباً جنبه توصیفی در زمینه شرایط ژئومورفولوژی و یا زمین‌شناسی دارند. بنابراین، هدف از این مطالعه بررسی مورفومتری خصوصیات ژئومورفیک مخروط افکنه‌ها در دامنه شمالی کوه‌های باقران (بخش جنوبی دشت بیرجند) است. در این راستا توصیف مورفولوژی و تجزیه و تحلیل‌های مورفومتری مخروط افکنه‌های این منطقه مورد توجه قرار گرفته است. این بررسی بر پایه سه محور قرار گرفته که عبارتند از: - توصیف شرایط ژئومورفولوژیکی و زمین‌شناسی مخروط افکنه‌های منطقه. - تخمین فاکتورهای تاثیرگذار در مورفولوژی و مورفومتری مخروط افکنه‌ها و طبقه‌بندی مخروط افکنه‌های منطقه بر اساس میزان اثر متغیرهای اندازه‌گیری شده و - ارائه مدل مناسب در خصوص رشد و توسعه مخروط افکنه‌های منطقه و مقایسه آن با نتایج حاصل از تحقیقات مشابه.

تخمین مورفومتری سیستم‌های مشابه می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. علاوه بر آن، توصیفات کمی و آنالیزهای مورفومتری سیستم‌های ژئومورفیک باعث می‌شود تا ژئومورفولوژیست‌ها با شیوه‌های عاری از پیش‌داوری لندفرم‌های مشابه را در محیط‌های مختلف طبیعی با هم مقایسه کنند (Strahler, 1957, 915, Horton, 1945, 284 Smith, 402, 1983).

تحقیقات اندکی در زمینه برآوردهای کمی از نحوه فعالیت فرایندهای شکل‌گیری مخروط افکنه‌ها و مورفولوژی آنها انجام شده است (Blissenbach, 1954, 171). با انتشار اولین تحقیقات در زمینه مخروط افکنه‌ها توسط Surell (۱۸۴۱) و استفاده از اصطلاح مخروط افکنه برای اولین بار توسط Drew (۱۸۷۳)، مخروط افکنه‌ها بطور اساسی موضوع تحقیق قرار گرفتند. در میان محققینی که در خصوص مخروط افکنه‌ها مطالعاتی انجام داده‌اند، Eckis (۱۹۲۸) و Blackwelder (۱۹۲۸) اولین کسانی بودند که با جزئیات بیشتر فرایندهای تشکیل مخروط افکنه‌ها را تشریح کرده‌اند. بر اساس نظر Eckis (۱۹۲۸) مخروط افکنه‌ها پدیده‌های موقتی هستند که در چشم اندازه‌های جغرافیایی نشان دهنده جوانی چرخه جغرافیایی دیویس هستند (Davis, 1899, 216).

۲- مواد و روش تحقیق

تمرکز اصلی در این بررسی بطور خاص بر روی اشکال ژئومورفولوژیک مخروط افکنه‌ای می‌باشد. در ابتدا برای شناسایی و مشخص نمودن محدوده مخروط افکنه‌های مورد مطالعه از تصاویر سنجنده‌های TM و ETM ماهواره‌ای لندست که برای این منظور از قدرت تفکیک مکانی خوبی برخوردار هستند و ایجاد تصاویر رنگی کاذب استفاده شده است. برای این منظور از نرم افزار پردازش داده‌های ماهواره‌ای Erdas و انجام کلیه مراحل قبل از پردازش^۱ و بعد از پردازش^۲ داده‌های ماهواره‌ای استفاده شده است. در این بخش برای افزایش قدرت تفکیک تصاویر ماهواره‌ای از تصویر بانند Pan سنجنده ETM ماهواره لندست با قدرت تفکیک ۱۵ متر و با استفاده از شیوه تلفیق تصاویر^۳ استفاده شده است. موزائیک عکس‌های هوایی با مقیاس ۱:۲۰۰۰۰ و نقشه‌های توپوگرافی رقومی شده (DEM) با قدرت تفکیک ۱۰ متر با تلفیق اطلاعات حاصل از مرحله قبل باعث بارزتر شدن لندفرمهای مخروط افکنه‌ای و تهیه نقشه مقدماتی از این لندفرمها در منطقه در سیستم اطلاعات جغرافیا گردید. سپس برای تدقیق حدود مخروط افکنه‌های مورد مطالعه و بررسی

صحت حدود تعیین شده برای آنها با استفاده از GPS و پیمایش میدانی، نقاط کنترلی از نقاط راس مخروط افکنه‌ها، حواشی و انتهای آنها برداشت شد. سپس با تکمیل و اصلاح اطلاعات قبلی در نهایت نقشه مخروط افکنه‌های محدوده مورد مطالعه با دقت مناسب ترسیم شد که مشتمل بر تعداد ۱۷ مخروط افکنه است.

در مرحله بعدی پس از تهیه نقشه از لندفرم‌های مخروط افکنه‌ای منطقه اندازه گیریهای مربوط به پارامترهای تعیین کننده شکل مخروط افکنه‌های ۱۷ گانه منطقه به طور مجزا صورت گرفت این اندازه گیری‌ها در مرحله بعدی برای بررسی روابط و مقایسه مورفومتری این لندفرم‌ها با یکدیگر مورد استفاده قرار گرفتند.

متغیر مهم دیگری که در این بررسی ویژگی‌های آن مورد اندازه گیری قرار گرفته است، خصوصیات فیزیوگرافی حوضه‌های آبریزی است که در محل خروجی خود تشکیل مخروط افکنه‌ها را سبب شده‌اند.

بررسی نحوه ارتباط بین مورفولوژی مخروط افکنه‌ها و خصوصیات فیزیوگرافی حوضه‌های آبریز تشکیل دهنده آنها و مقایسه این لندفرم‌ها با یکدیگر برای بررسی روند تحولات ژئومورفولوژیک آنها، در واقع هدف اصلی این مطالعه است. برای این منظور از مدل‌های

¹ Pre processing

² Post processing

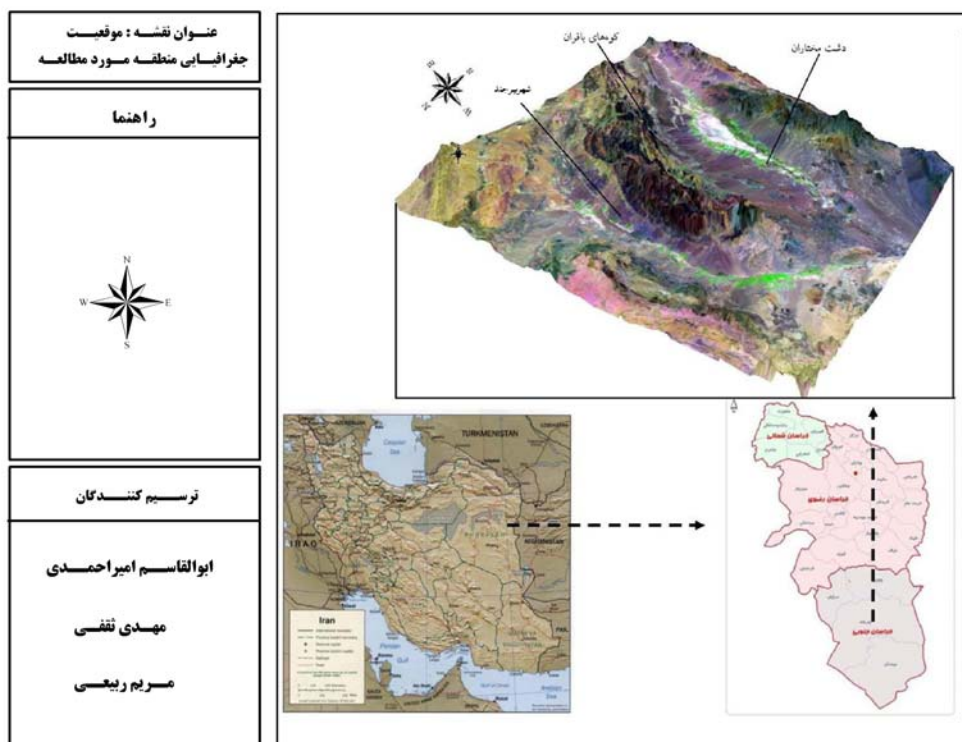
³ Image fusion

مختلف و نرم افزارهای ویژه برای تحلیل‌های چند متغیره مانند: تحلیل‌های عامل و تحلیل‌های خوشه‌ای و در نهایت برآزش منحنی‌ها استفاده شده است. در نهایت ارائه مدل مناسب برای بررسی نحوه توسعه مخروط افکنه‌های منطقه و مقایسه آنها با یکدیگر و بررسی شرایط ژئومورفیک تاثیرگذار بر رشد و توسعه آنها و مقایسه تحلیلی آنها با مخروط افکنه‌های نمونه مربوط به مناطق دیگر در این تحقیق مورد توجه قرار گرفته است.

۳- منطقه مورد مطالعه

محدوده مطالعاتی دشت بیرجند در مختصات جغرافیایی ۳۲ درجه و ۴۲ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۸ دقیقه عرض جغرافیایی شمالی و ۵۸ درجه و ۴۱ دقیقه تا ۵۹ درجه و ۴۴ دقیقه طول شرقی واقع شده است. منطقه مورد مطالعه، ناهمواری ساختمانی را در امتداد مداری تشکیل داده و منجر به تفکیک دو دشت هموار در مجاورت هم با روندی مشابه شده است. تحدب شمالی واحد ناهموار مورد مطالعه کاهش عرض دشت شمالی را نسبت به دشت جنوبی سبب شده است (شکل ۱). از اینرو از لحاظ هیدرولوژی خط الراس این واحد ساختمانی ناهموار مرز تقسیم آب در دو حوضه آبریز شمالی و جنوبی است.

واحد هیدرولوژیک شمالی تحت عنوان حوضه آبریز دشت بیرجند نامیده می‌شود که وسعت کل آن در حدود ۳۴۲۵ کیلومتر مربع بوده و از این میان ۹۸۰ کیلومتر را دشت و مابقی آن را ارتفاعات تشکیل می‌دهد. شکل این دشت به صورت مستطیل بوده و تمامی پیرامون آن را ارتفاعات و بخش مرکزی آن را آبخوانی آبرفتی تشکیل می‌دهد. این دشت از شمال به ارتفاعات مولی، مادرکوه و شکرآب، از جنوب به ارتفاعات باقران و کوه رچ، از شرق به کوه بندر و مین آباد و از غرب به ارتفاعات کرونک و چنگ محدود می‌شود. حداکثر ارتفاع حوضه از سطح دریا ۲۷۲۰ متر در ارتفاعات باقران (کوه شاه) و حداقل ارتفاع نیز ۱۱۸۰ متر در خروجی دشت قرار گرفته است. متوسط بارش سالانه در آن ۱۷۷ میلیمتر (میانگین ۴۰ ساله) و متوسط درجه حرارت سالانه ۱۶/۵ درجه سانتیگراد در آن تخمین زده شده است. شیب زمین در دشت بیرجند در قسمت‌های شرقی زیاد و هرچه به سمت غرب و قسمت‌های انتهایی دشت حرکت می‌کنیم شیب آن کم و سطح زمین تقریباً حالت مسطح دارد و رود شور بیرجند مهمترین زهکش سطح دشت بیرجند است (شکل ۱).



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه (با کمی اغراق در نمای سه بعدی حاصل از تصویر ماهواره‌ای)

بخش غرب توسط سیستم گسل عادی راستگرد از لوت جدا می‌شود. از سمت شرق نیز با گسل شمالی- جنوبی هیرمند از بلوک افغان متمایز است (خطیب، ۱۳۶۸، ۲۲). این پهنه یک واحد آمیزه‌ای- فلیشی است که به شدت خرد شده و بهم ریخته و در دو گروه رسوبات فلیشی- آذرآواری با دگرریختی شدید و منشورهای به هم افزوده ملانژی- فلیشی برش خورده مشاهده می‌شود. گروه ملانژی فلیشی متعلق به کرتاسه پسین و گروه فلیشی آتشفشانی متعلق به ترشیری است (خطیب، ۱۳۶۸، ۱۸).

آمیزه فیولیتی منطقه بیرجند یکی از مناطق مهم آمیزه فیولیتی در شرق کشور است که به طور گسترده‌ای در ارتفاعات باقران مشاهده می‌

رشته کوه‌های جنوب شهر بیرجند (موسوم به باقران) با ترکیب درهم ریخته پوسته اقیانوسی با سن کرتاسه پیشین تا فوقانی و رسوبات فلیشی کرتاسه فوقانی تا پالئوسن و سنگهای آذرآواری رسوبی ائوسن تا نئوژن پایانی یک کمر بند کوهزایی بسیار پیچیده بوده که در طی رخداد‌های دگرشکلی تدریجی بر پیچیدگی آن افزوده شده است.

منطقه مورد مطالعه از جهت زمین‌شناسی در ایالت ساختاری زابل- بلوچ قرار گرفته است. ایالت مذکور دارای روند کلی شمالی- جنوبی بوده که بخش انتهائی آن در شمال غرب به صورت بین انگشتی وارد پهنه لوت شده و در

این دره‌ها اغلب ۷ شکل هستند. پادگانه‌های آبرفتی در این منطقه گسترش خوبی داشته‌اند. واحد کوهستانی در مجموع حدود ۷۴ درصد و واحد دشت سر حدود ۲۶ درصد از مساحت کل منطقه را در اشغال خود دارند.

ریخت زمین در ناحیه جنوب بیرجند تابع فرایندهای زمین‌شناسی و زمین‌ساختی است. در بخش کوهستانی، رشته کوه بلندی در جنوب بیرجند واقع شده است که دارای روندی تقریباً غرب شمال غرب به شرق جنوب شرق می باشد که مهمترین رشته کوه در منطقه به شمار رفته و به نام رشته کوه باقران نامیده می شود. بلندترین قله موجود در این رشته کوه در حدود ۲۷۵۰ متر ارتفاع دارد. این رشته کوه را دره‌های بسیار زیادی که عمدتاً امتداد شمالی- جنوبی دارند بریده است و درون این دره‌ها رودخانه‌های فصلی و موقتی جریان دارند. تعداد دره‌های طولی (به موازات روند این رشته کوه) بسیار اندک بوده و در موارد نادری هم که وجود دارند طول این دره‌ها کوتاه است.

گسترش عرضی این رشته کوه حدود ۱۶ کیلومتر بوده و در بعضی نقاط طول دره‌های شمالی- جنوبی در آن به ۸-۷ کیلومتر نیز می‌رسد. بخش کوهستانی را اغلب واحدهای آمیزه افیولیتی تشکیل داده که به علت خردشدگی شدید و همچنین نداشتن مقاومت یکسان در برابر عوامل فرسایش از نظر ریختی دارای سطحی بسیار ناهموار می باشند و معمولا

شود. رخنمون‌های سنگی در این منطقه شامل: مجموعه افیولیتی به عنوان قدیمی ترین واحد سنگی و نهشته‌های بعد از جای گیری مجموعه افیولیتی است. این مجموعه شامل: سنگهای اولترابازیک، مافیک و گدازه‌های بازی همراه سنگ آهک‌های پلاژیک کرم رنگ، شیل‌ها، مادستون ارغوانی و سرخ رنگ رادیولار است. سن این مجموعه به قبل از کرتاسه برمی گردد. این مجموعه توسط ولکانیک‌ها و سنگهای رسوبی ترشیری به صورت دگرشیب پوشیده شده است (درویش زاده، ۱۳۷۷، ۳۰۹).

۳-۱ ژئومورفولوژی منطقه مورد مطالعه

بر اساس مطالعات میدانی حوضه آبخیز رشته کوه باقران از جنبه مورفولوژیکی از دو واحد کوهستان و دشت سر تشکیل شده است. ویژگی‌های ریخت‌شناسی این حوضه تا حد بسیار زیادی متأثر از فعالیت‌های ماگمایی و عملکرد تکتونیک فشاری حاکم بر حوضه در قبل و بعد از فرایندهای رسوب گذاری است، گسلش و شکستگی‌ها به طور ویژه‌ای سیمای رخنمون‌های سنگی آن را متأثر نموده است، ریزش‌های سنگی از مظاهر این عملکرد به حساب می آیند. شیب توپوگرافی به خصوص در قسمت‌های میانی به نحوه چشمگیری افزایش یافته و در مجموع قله نسبتاً مرتفعی را در حوضه بوجود می آورد. دره‌ها در این منطقه باریک بوده و با شیب تند مشخص می شوند.

در ارتفاعات به همدیگر پیوسته نیستند بلکه به صورت قله منفردی در کنار یکدیگر قرار دارند. گاهی حتی در مناطق بسیار بلند نیز زمین‌های نسبتاً مسطح در اثر فرسایش سنگهای اولترابازیک تشکیل شده که بر روی آنها مراتع و یا زمین‌های کشاورزی ایجاد شده است (خطیب، ۱۳۶۸، ۱۱).

طرح آبراهه‌ها در رشته کوه جنوب بیرجند به صورت دندردیتی و راست گوشه است. طرح آبراهه‌های دندردیتی را عموماً در بخشهایی که سنگهای رسوبی و فلیش‌ها گسترش دارند می‌توان مشاهده نمود. در حالی که طرح آبراهه‌های راست گوشه بیشتر در سنگهای مقاوم و سخت نظیر بازالت‌ها دیده می‌شود.

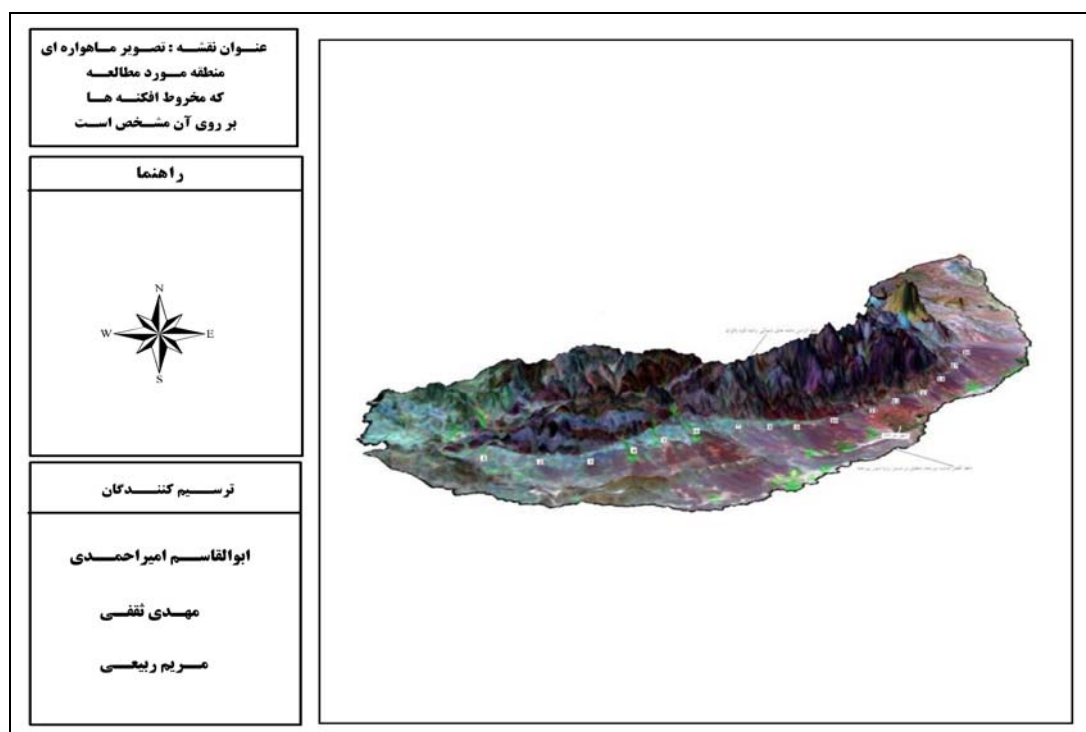
مخروط افکنه‌ها به لحاظ گسترش و وسعت مهم ترین لندفرمها در تیپ دشت سر فرسایشی است زیرا تقریباً در تمام محدوده‌های دشت سر فرسایشی واقع در پای ارتفاعات حوضه گسترش یافته است هر چند که در مناطق غربی وسعت بیشتری دارد. بافت رسوبات تشکیل دهنده رخساره فوق سنگ ریزه ای درشت دانه بوده که به صورت آبرفت‌های مخروطی و باد بزنی شکل دیده می‌شوند. جنس رسوبات آنها در تمام مناطق گسترش یکسان نبوده و در نقاط مختلف متفاوت می‌باشد و در بیشتر مناطق از نوع پرویدوتیتی و کالردملائز می‌باشند. شیب عمومی این رخساره معمولاً بیش از ۳ درصد و به طور متوسط حدود ۷-۵ درصد تغییر می‌نماید. از

شاخص ترین مخروط افکنه‌های حوضه می‌توان به مخروط افکنه خوسف (پادگان ولی عصر) اشاره کرد که این مخروط افکنه با طول قاعده ۷۶۹۸/۷۲ متر بزرگترین مخروط افکنه منطقه است (شکل ۲). هر چه به طرف شرق منطقه پیش می‌رویم از وسعت مخروط افکنه‌ها کاسته می‌شود به عنوان مثال مخروط افکنه مرکزی (ساختمان دانشگاه) با طول قاعده ۵۱۴۴/۵۷ متر و همچنین مخروط افکنه سلیم آباد با طول قاعده ۳۸۱۶/۸۳ متر هستند. زمین‌های کشاورزی که بر سطح مخروط افکنه‌های این منطقه وجود دارد دارای اهمیت بسیاری برای اهالی می‌باشد که متأسفانه بر اثر ایجاد ساخت و ساز در منطقه و پایین آمدن سطح آبهای زیرزمینی از وسعت این اراضی کاسته شده است هر چند با ایجاد بندهای خاکی در بعضی مناطق سعی در مهار آب و احیای این اراضی شده است (ثقفی، ۱۳۸۹، ۱۱۴). ایجاد شهر بیرجند بر روی این مخروط افکنه‌ها و توسعه آن باعث شده که در برخی موارد آب بارندگی، فاضلاب خانگی و صنعتی که در راس مخروط افکنه‌ها نفوذ می‌کنند، مجدداً در پایین دست آن بالا آمده و مسائلی نظیر آب گرفتگی، نم کشیدگی و تخریب تدریجی بناهای پایین دست و همچنین آلودگی محیط زیست و بیماری‌های نظیر رماتیسم را به دنبال آورد (زمردیان، ۱۳۷۸، ۲۰۹).

مخروط افکنه‌ها دارای شیبی ثابت با میزان کمی تقعر هستند که میزان شیب در نمونه‌های

می‌نمایند که باجادا نامیده می‌شود (Blair and McPherson, 1994, 352). بر این اساس در منطقه مورد مطالعه حداقل زاویه راس مخروط در حدود ۲۶/۵ درجه و حداکثر مقدار آن ۹۲/۱ درجه محاسبه شده است که در مواردی نیز خصوصا در بخش غربی توده کوهستانی باقران مخروط افکنه‌ها به طور جانبی به یکدیگر متصل شده و تشکیل باجادا داده‌اند. بخش انتهایی همه مخروط افکنه‌های منطقه مورد مطالعه (قاعده مخروط افکنه‌ها) به محیط آبرفتی ناشی از فعالیت رودخانه اتفافی بیرجند منتهی می‌شوند (ثقفی، ۱۳۸۹، ۵۶).

مشخص آنها از کمتر از ۲۵ درجه در راس مخروط افکنه تا کمتر از یک درجه در بخش انتهایی (قاعده مخروط افکنه) تغییر می‌کند (Denny, 1965, 28; Bull, 1977, 264). این رو متوسط شیب مخروط افکنه‌های منطقه مورد مطالعه در حدود ۳ درصد محاسبه شده است. همچنین مخروط افکنه‌ها در صورتی که مانعی در جهت توسعه جانبی آنها حضور نداشته باشد می‌توانند تا ۱۸۰ درجه گسترده شوند اما گاهی اوقات قرار گرفتن چند مخروط افکنه در کنار هم گسترش جانبی مخروط افکنه‌ها را محدود می‌کند در چنین حالتی مخروط افکنه‌هایی که به طور جانبی به هم متصل شده‌اند، شکلی شبیه به دامن چیندار را ایجاد



شکل ۲- دامنه شمالی توده کوهستان باقران در جنوب شهر بیرجند و مخروط افکنه‌های آن

۴- تحلیل نتایج

نتایج این مطالعه در سه سطح ارائه شده است. ابتدا با کمک شیوه‌های تحلیل عاملی متغیرهای عمده موثر بر شکل هندسی مخروط افکنه‌ها تعیین شده است. سپس با کمک شیوه‌های تحلیل خوشه‌ای مخروط افکنه‌های منطقه مورد مطالعه با توجه به میزان مشابهت عملکرد متغیرهای مورد بررسی بر روی مخروط افکنه‌های منطقه طبقه بندی شده اند. در پایان این بخش مدل مناسبی با در نظر گرفتن مهمترین متغیرهای موثر بر شکل مخروط افکنه‌های منطقه ارائه شده است.

۴-۱ استخراج مهمترین عوامل موثر بر شکل مخروط افکنه‌های منطقه

در این بررسی عوامل تعیین کننده شکل مخروط افکنه‌ها در دو گروه عوامل داخلی و عوامل خارجی طبقه بندی شده است. عوامل داخلی که در واقع همان متغیرهای شکل هندسی مخروط افکنه‌ها می باشند عبارتند از: زاویه راس مخروط افکنه‌ها، طول قاعده مخروط افکنه‌ها، امتداد طولی مخروط افکنه‌ها، طول ضلع شرقی، طول ضلع غربی، شیب متوسط سطح مخروط افکنه‌ها و ضریب تقعر سطح آنها. عوامل خارجی موثر در شکل هندسی مخروط افکنه‌ها در واقع شامل مجموعه‌ای از متغیرهای مرتبط با فیزیوگرافی حوضه‌های آبریزی است که در انتهای محل خروجی آنها مخروط افکنه‌های

منطقه تشکیل شده است. این متغیرها شامل: تراکم زهکش حوضه آبریز، مساحت حوضه‌های آبریز، محیط حوضه‌های آبریز، شیب متوسط حوضه‌ها، طول بلندترین شبکه زهکشی در هر حوضه و مجموع طول کل شبکه زهکشی هر حوضه آبریز است. برای تعیین میزان و اهمیت نقش هر یک از متغیرهای گروه عوامل داخلی و خارجی در شکل مخروط افکنه‌ها از روش تحلیل عاملی استفاده شده است. تحلیل عاملی روشی است برای تقلیل تعداد زیاد متغیرها به تعداد کمی از متغیرهای مفروض زیربنایی که عامل خوانده می شوند. عامل‌ها معمولاً از همبستگی‌های متقابل موجود میان متغیرها استخراج می شوند.

ماتریس همبستگی متغیرهای عوامل داخلی و خارجی موثر بر شکل مخروط افکنه‌ها نشان می‌دهد که در غالب موارد ضرائب همبستگی به دست آمده در سطح معنی داری قرار گرفته اند و در برخی موارد نیز مقادیر همبستگی در سطح معنی داری تعیین شده قرار ندارند. در تحلیل عاملی از ماتریس همبستگی برای تشخیص خوشه‌های متغیرها استفاده می‌شود (منصوری، ۱۳۸۸). در ماتریس همبستگی محاسبه شده بین متغیرهای این تحقیق با توجه به سطح معنی داری ($P < 001$) و تراکم آنها در قسمت‌های مختلف ماتریس دست کم چهار خوشه قابل تشخیص است (جدول ۱).

جدول ۳- میزان اشتراک متغیرهای داخلی و خارجی

موثر بر شکل مخروط افکنه‌ها

متغیرهای تحقیق	درصد اشتراک متغیرها در مولفه‌ها
قاعده مخروط	۰/۹۷۲
ضلع شرقی	۰/۹۷۷
ضلع غربی	۰/۹۷۸
امتداد طولی	۰/۹۷۳
زاویه مخروط	۰/۹۴۶
مساحت مخروط	۰/۹۹۶
محیط مخروط	۰/۹۸۵
شیب مخروط	۰/۵۷۳
تقعر مخروط	۰/۶۷۷
مساحت حوضه	۰/۹۶۴
محیط حوضه	۰/۹۵۰
شیب حوضه	۰/۸۸۵
طولیت‌ترین جریان	۰/۹۶۱
سینوسیته جریان	۰/۷۰۹
شیب جریان	۰/۸۶۶
طول کل شبکه	۰/۹۳۷

نتایج تحلیل عوامل متغیرهای این بررسی انتخاب ۴ عامل اصلی را با توجه به مقادیر ویژه محاسبه شده نشان می‌دهد. برای انتخاب عوامل اصلی این متغیرها با توجه به مقادیر ویژه عمل شده است به این ترتیب که عاملهایی که مقادیر ویژه بیش از یک دارند به عنوان عوامل اصلی انتخاب شده و مورد استفاده قرار می‌گیرند و سایر عوامل حذف می‌شوند. در تحلیل عاملی متغیرهای این تحقیق عامل اول ۵۷ درصد از واریانس متغیرها، عامل دوم ۱۵/۹ درصد از واریانس متغیرها، عامل سوم ۹/۸ درصد از واریانس متغیرها و عامل چهارم ۶/۹ درصد از واریانس متغیرها را دربر گرفته‌اند. در مجموع عوامل اول تا چهارم انتخاب شده ۸۹/۷ درصد از واریانس کل متغیرها را شامل می‌شوند که این

نتایج حاصل از آزمون^۱ K.M.O و بارتلت در سطح معنی داری ($P < /001$) نشان دهنده تناسب قابل قبول متغیرهای انتخاب شده برای اجرای تحلیل عاملی است. مقدار K.M.O محاسبه شده (معادل ۰/۷۹۲) با توجه به حداقل و حداکثر مقدار آن نشان دهنده سطح خیلی خوب برای متغیرهای انتخاب شده برای تحلیل عاملی است (جدول ۲).

جدول ۲- نتایج آزمون K.M.O و آزمون بارتلت

Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy.		۰/۷۹۲
Bartlett's Test of Sphericity	Approx. Chi-Square	۵۷۷/۰۷۴
	df	۱۲۰
	Sig.	۰

مقادیر محاسبه شده میزان اشتراک^۲ متغیرهای داخلی و خارجی موثر بر شکل مخروط افکنه‌ها در عوامل نشان می‌دهد که غالب متغیرهای انتخاب شده از میزان اشتراک بسیار بالایی در واریانس عامل‌ها برخوردارند. بر این اساس بیشترین اشتراک در واریانس عاملها از میان متغیرهای خارجی در نظر گرفته شده مربوط به متغیرهای: مساحت حوضه زهکشی و طول کل شبکه آبراهه‌های هر حوضه می‌باشد و از میان متغیرهای داخلی موثر در شکل هندسی مخروط افکنه‌ها بیشترین میزان اشتراک در واریانس عامل‌ها مربوط به متغیرهای: مساحت مخروط و طول اضلاع شرقی و غربی آن است (جدول ۳).

^۱ Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy

^۲ Communalities

خود نیز نشان دهنده مناسب بودن متغیرهای انتخاب شده برای تحلیل عاملی است (جدول ۴).

جدول ۴- مقادیر ویژه محاسبه شده برای هر کدام از متغیرها و واریانس جز و واریانس کل آنها

مؤلفه‌های تحقیق	درصد واریانس تجمع مؤلفه‌ها	درصد واریانس مؤلفه	درصد واریانس تجمع مؤلفه‌ها	مقادیر ویژه انتخاب شده	درصد واریانس مؤلفه	درصد واریانس تجمع مؤلفه‌ها
۱	۵۷/۰۴۱	۵۷/۰۴۱	۵۷/۰۴۱	۹/۱۲۶	۵۷/۰۴۱	۵۷/۰۴۱
۲	۷۲/۹۹۵	۱۵/۹۵۵	۷۲/۹۹۵	۲/۵۵۳	۱۵/۹۵۵	۷۲/۹۹۵
۳	۸۲/۸۲۸	۹/۸۳۳	۸۲/۸۲۸	۱/۵۷۳	۹/۸۳۳	۸۲/۸۲۸
۴	۸۹/۷۴۱	۶/۹۱۳	۸۹/۷۴۱	۱/۱۰۶	۶/۹۱۳	۸۹/۷۴۱
۵		۴/۴۲۷	۹۴/۱۶۷			
۶		۳/۵۴۱	۹۷/۷۰۹			
۷		۰/۹۹۹	۹۸/۷۰۸			
۸		۰/۶۶۰	۹۹/۳۶۷			
۹		۰/۲۵۲	۹۹/۶۲۰			
۱۰		۰/۲۳۰	۹۹/۸۴۹			
۱۱		۰/۰۹۷۹۹	۹۹/۹۴۷			
۱۲		۰/۰۳۴۴۷	۹۹/۹۸۲			
۱۳		۰/۰۱۱	۹۹/۹۹۳			
۱۴		۰/۰۰۷۰۸۸	۱۰۰/۰۰۰			
۱۵		۰/۰۰۰۰۴۸۷۴	۱۰۰/۰۰۰			
۱۶		۰/۰۰۰۰۰۳۷۱۶	۱۰۰/۰۰۰			

متغیر مساحت حوضه زهکشی مربوط به هر یک از مخروط افکنه‌ها می‌تواند به عنوان مهمترین متغیر خارجی (ناشی از عوامل فیزیوگرافی) تاثیرگذار بر شکل مخروط افکنه‌های منطقه در نظر گرفته شود. به همین دلیل در این تحقیق برای ارائه مدل تخمین رشد و توسعه مخروط افکنه‌های منطقه از مساحت حوضه زهکشی بالادست به عنوان متغیر مستقل و موثر بر شکل مخروط افکنه‌ها استفاده شده است. همچنین براساس این محاسبات بیشترین تاثیر از میان متغیرهای داخلی در عامل اول به میزان ۰/۹۱۵

ماتریس همبستگی بین متغیرهای تحقیق و عوامل تعیین شده معرف و تعیین کننده مهمترین متغیرهای موثر بر شکل مخروط افکنه‌های است. بر این اساس بارهای عاملی متغیرها تعیین می‌شود. نتایج این ماتریس همبستگی نشان می‌دهد که مهمترین متغیر موثر بر شکل مخروط افکنه‌های منطقه مساحت حوضه زهکشی در بالادست هر مخروط افکنه است که با اولین عامل انتخاب شده دارای ۵۷ درصد از واریانس کل متغیرها (بیشترین میزان واریانس در تحلیل عاملی مربوط به عامل اول است)، همبستگی در حدود ۰/۸۸ نشان می‌دهد (جدول ۵). از این‌رو

مربوط به متغیر مساحت مخروط افکنه‌ها است (جدول ۵).

جدول ۵- ماتریس همبستگی بین ۴ عامل انتخاب شده و متغیرهای این تحقیق

متغیرها	مولفه‌های اصلی			
	۱	۲	۳	۴
قاعده مخروط	۰/۸۷۳	۰/۴۱۷	-۰/۱۷۵	-۰/۰۶۹۴۸
ضلع شرقی	۰/۹۱۳	۰/۳۱۱	-۰/۱۸۳	/۱۱۳
ضلع غربی	۰/۸۷۵	/۳۵۷	-۰/۲۹۰	۰/۰۳۰۹۴
امتداد طولی	/۹۶۹	۰/۰۶۷۴۸	۰/۰۰۶۶۴۷	۰/۱۷۰
زاویه مخروط	-۰/۷۱۰	۰/۱۸۰	۰/۲۳۴	-۰/۰۵۹۵
مساحت مخروط	۰/۹۱۵	۰/۳۲۳	-۰/۲۲۹	۰/۰۳۰۸
محیط مخروط	۰/۹۴۱	۰/۲۹۸	-۰/۱۰۶	۰/۰۱۲۴
شیب مخروط	-۰/۵۸۷	۰/۲۹۸	۰/۱۵۹	۰/۳۳۸
تقعر مخروط	۰/۱۸۳	-۰/۳۱۲	۰/۵۵۸	۰/۴۹۴
مساحت حوضه	۰/۸۸۸	-۰/۱۴۲	۰/۳۷۹	-۰/۱۰۵
محیط حوضه	۰/۷۹۲	-۰/۲۶۴	۰/۴۹۵	-۰/۰۹۲۸۵
شیب حوضه	-۰/۱۷۴	۰/۸۴۲	۰/۳۷۸	-۰/۰۵۸۱۵
طولترین جریان	۰/۸۸۷	-۰/۱۴۷	۰/۳۶۲	-۰/۱۴۶
سینوسیته جریان	-۰/۴۳۱	۰/۴۷۵	۰/۲۶۹	۰/۴۷۴
شیب جریان	-۰/۲۴۴	۰/۷۸۶	۰/۳۷۹	-۰/۲۱۳
طول کل شبکه	۰/۸۶۱	-۰/۲۷۴	۰/۳۰۱	-۰/۱۷۵

۴-۲ طبقه‌بندی مخروط افکنه‌های منطقه مورد

مطالعه

با در نظر گرفتن متغیرهای اندازه‌گیری شده در ارتباط با شکل هندسی مخروط افکنه و با این آگاهی که مهمترین متغیر موثر از میان متغیرهای اندازه‌گیر شده در شکل مخروط افکنه‌های منطقه بر اساس تحلیل‌های عاملی، مساحت حوضه زهکشی بالادست هر مخروط افکنه است، برای تعیین نقش این متغیرها در طبقه‌بندی انواع اشکال مخروط افکنه‌ای موجود در منطقه از شیوه تحلیل خوشه‌ای استفاده شده است. از اینرو، پس از تعیین عامل‌های اصلی، با استفاده از تکنیک‌های چند متغیره که هدف آنها

گروه‌بندی افراد یا مواد بر اساس صفات آنها است، مخروط افکنه‌های با صفات مشابه را با زبان ریاضی در یک خوشه قرار داده ایم. در واقع در این تجزیه که خوشه بندی نامیده می‌شود افراد داخل یک خوشه بیشترین شباهت و یکنواختی را دارند و بین خوشه‌ها حداکثر تفاوت و غیر یکنواختی وجود دارد (منصوف‌فر، ۱۳۸۸، ۱۱۲). برای تعیین خوشه‌ها از ترسیم نمودار دندروگرام مخروط افکنه‌ها استفاده شده است.

پس از دست‌یابی به دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ها برش دندروگرام از ناحیه‌ای ایجاد شد که ۵ گروه مخروط افکنه در منطقه مورد مطالعه تعیین شده است. بر این اساس در گروه اول، تعداد ۱۰ مخروط افکنه با میزان تشابه ۷۰/۳۵ درصد، در گروه دوم تعداد ۳ مخروط افکنه با میزان تشابه ۷۶/۶۲ درصد، در گروه سوم تعداد ۲ مخروط افکنه با میزان تشابه ۷۳/۸۶ درصد و در گروه‌های چهارم و پنجم هر کدام یک مخروط افکنه با میزان تشابه به ترتیب ۶۰/۴۵ و ۱۲/۷۶ درصد، قرار گرفته است (جدول ۶). بطوریکه ملاحظه می‌شود کمترین تشابه مربوط به مخروط افکنه شماره ۱۷ است که در منتهی الیه غرب دامنه‌های شمالی توده کوهستانی باقران واقع شده است. به طور کلی، می‌توان استنباط نموده که متغیرهای مورد بررسی این تحقیق (متغیرهای ۱۶ گانه عوامل داخلی و خارجی) بیشترین میزان تشابه را از نظر تاثیرگذاری بر روی شکل مخروط افکنه‌های مورد مطالعه واقع در گروه‌های اول، دوم و سوم

خط القعر دشت بیرجند (ساحل رود شور بیرجند) امتداد طولی مخروط افکنه‌های این بخش با محدودیت توپوگرافیکی روبرو شده است.

بر این اساس ملاحظه می‌شود، که در یک تقسیم‌بندی با توجه به مورفولوژی ساختمان توده کوهستانی باقران، مخروط افکنه‌های حاشیه شمالی این توده کوهستانی به ۳ گروه قابل تقسیم است، اما با در نظر گرفتن میزان تشابه اثرگذاری متغیرهای موثر بر شکل این مخروط افکنه‌ها و در نتیجه تحلیل خوشه‌ای ۵ گروه تشخیص داده شد که درصد تشابه در ۴ گروه از آنها بیش از ۶۰ درصد می‌باشد. از طرفی با بررسی شواهد ژئومورفیک مخروط افکنه‌های منطقه می‌توان ملاحظه نمود که برخی از مخروط افکنه‌ها خصوصاً در بخش غربی توده قوسی شکل کوهستان باقران بطور جانبی به همدیگر متصل شده‌اند به طوری که تشخیص دقیق حدود و تفکیک آنها به طور جانبی از یکدیگر کاملاً امکانپذیر نیست و تشکیل باجادا داده‌اند. بر این اساس از نظر شواهد مورفولوژیک و عوامل و محدودیت‌های ناشی از ساختار قوسی شکل کوهستان باقران سه گروه مخروط افکنه شامل: مخروط افکنه‌های شرقی، مرکزی (شهر بیرجند) و مخروط افکنه‌های غربی و نیز بر اساس شواهد ژئومورفولوژیک دو گروه مخروط افکنه شامل مخروط‌های کاملاً مشخص و متمایز و مخروط‌های به هم پیوسته (باجادا) را می‌توان در منطقه تشخیص داد. از این میان صرفاً مخروط افکنه شماره ۱۷ به دلیل در اختیار

داشته‌اند که در این میان نقش متغیر مساحت حوضه زهکشی بالادست هر مخروط افکنه در فرایند تحلیل خوشه‌ای کاملاً مشهود می‌باشد. شکل هندسی مخروط افکنه‌های شماره ۱۴ و ۱۷ که در گروه‌های مجزای چهارم و پنجم واقع شده‌اند در مقایسه کمتر تحت تاثیر متغیرهایی واقع شده‌اند که شکل سایر مخروط افکنه‌های واقع در دیگر گروه‌ها را تحت تاثیر قرار داده است (شکل ۳).

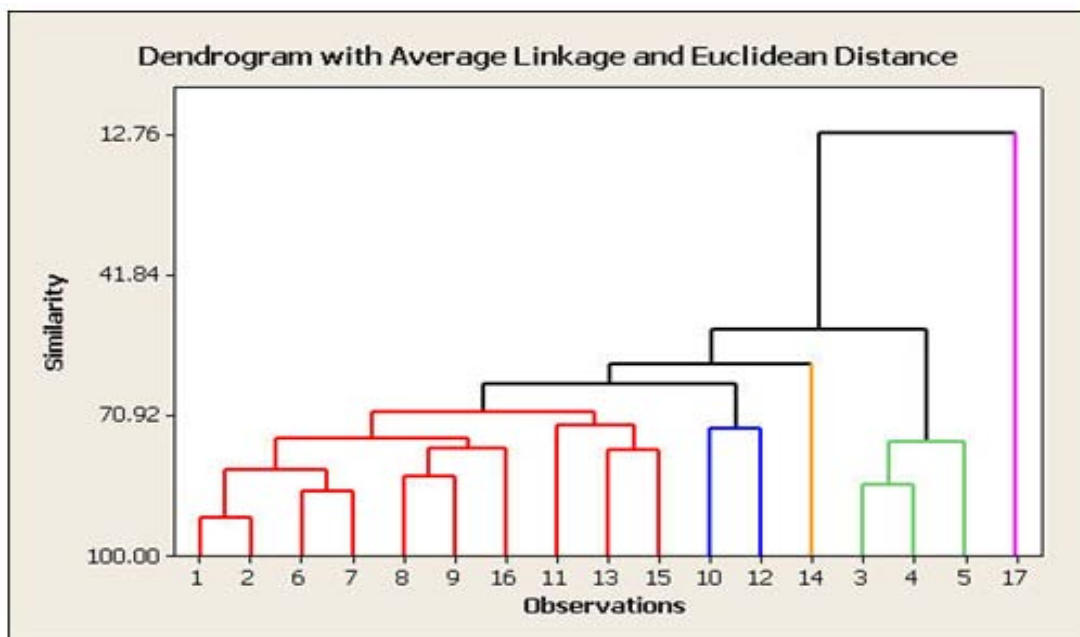
به منظور بررسی نتایج حاصل از طبقه‌بندی مخروط افکنه‌های منطقه به شیوه تحلیل خوشه‌ای در این قسمت نتایج حاصل شده با شواهد ناشی از خصوصیات مورفولوژیک و ژئومورفولوژیک منطقه انطباق داده شده است. بر این اساس با توجه به شکل ساختمانی کوه‌های باقران که قوس شمالی را در روند خود ایجاد نموده‌اند، ملاحظه می‌شود که از سمت غرب و شرق به سمت مرکز این توده کوهستانی که شهر بیرجند در آن قسمت واقع شده، فضای لازم برای رشد و گسترش مخروط افکنه‌ها چه از نظر جانبی و چه از نظر امتداد طولی محدودتر می‌شود. بطوریکه بیشترین فضاها برای رشد و توسعه مخروط افکنه‌های منطقه در منتهی‌الیه شرق و غرب این توده کوهستانی وجود دارد که در مقایسه بخش غربی محدوده مورد مطالعه فضای مناسب تری را از جنبه توپوگرافی برای رشد و توسعه مخروط افکنه‌ها فراهم آورده است. چرا که در بخش شرقی به دلیل حضور رشته‌ای از تپه ماهورها که در واقع تراس‌های آبرفتی دوران چهارم هستند، در محل نزدیک به

به عنوان یک مخروط افکنه متمایز و کاملاً متفاوت با سایر مخروط افکنه‌ها طبقه‌بندی شده است. این موضوع در نهایت، مبین نتایج بسیار خوب حاصل از تحلیل خوشه‌ای و انطباق آن با شرایط ژئومورفولوژیکی منطقه است.

داشتن بیشترین وسعت و تشکیل مخروطی کامل نسبت به سایر مخروط افکنه‌ها در گروه جداگانه‌ای چه از نظر خصوصیات ژئومورفولوژیکی و چه از نظر متغیرهای تاثیرگذار بر شکل آن که در تحلیل خوشه‌ای بررسی شده،

جدول ۶- نتایج حاصل از خوشه‌بندی مخروط افکنه‌های منطقه مورد مطالعه

خوشه ها	تعداد مخروط افکنه در هر خوشه	شماره مخروط افکنه‌های مشابه	درصد مشابهت مخروط افکنه‌های هر طبقه	متوسط فاصله اقلیدسی از مرکز	حداکثر فاصله اقلیدسی از مرکز
خوشه ۱	۱۰	۱-۲-۶-۷-۸-۹ ۱۶-۱۱-۱۳-۱۵	۷۰/۳۵	۲/۰۶۲۲۳	۳/۰۳۶۲۳
خوشه ۲	۳	۳-۴-۵	۷۶/۶۲	۱/۴۱۹۴۷	۱/۷۷۵۱۶
خوشه ۳	۲	۱۰-۱۲	۷۳/۸۶	۱/۵۶۵۳۴	۱/۵۶۵۳۴
خوشه ۴	۱	۱۴	۶۰/۴۵	۰	۰
خوشه ۵	۱	۱۷	۱۲/۷۶	۰	۰



شکل ۳- نمودار دندروگرام حاصل از طبقه‌بندی مخروط افکنه‌های منطقه بر اساس متغیرهای اندازه‌گیری شده

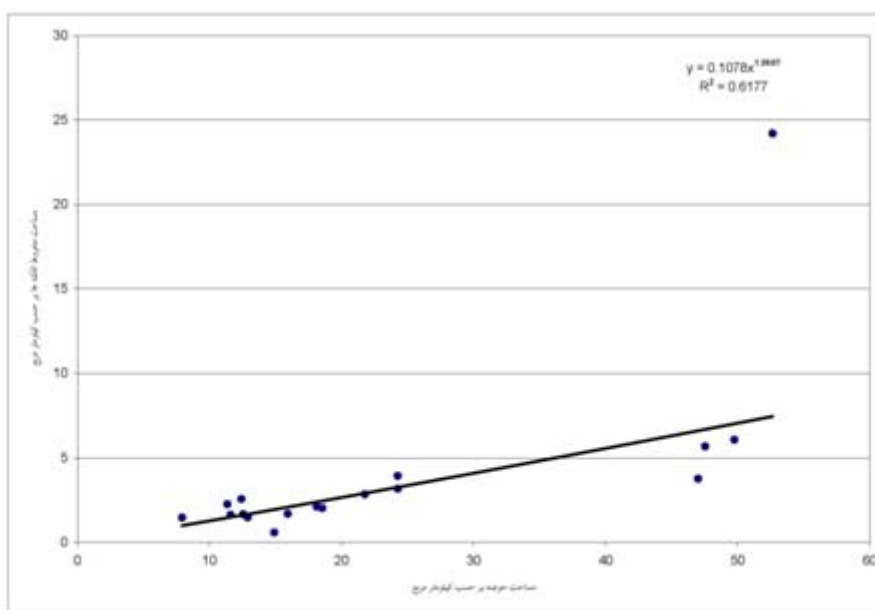
مساحت حوضه زهکشی تعیین گردید به طوری که در فرایند تحلیل خوشه‌ای مخروط افکنه‌های منطقه نیز نقش این متغیر در ارائه خوشه‌های مشابه که حداقل ۶۰ درصد دارای تشابه بوده اند،

۳-۴ ارائه مدل مناسب رشد و توسعه مخروط افکنه‌ها در منطقه مطالعه در فرایند تحلیل عاملی مهمترین متغیر موثر بر شکل هندسی مخروط افکنه‌ها، متغیر

در منطقه به عنوان متغیر وابسته برای ارائه مدل انتخاب شده‌اند.

برازش‌های مختلفی که به شیوه‌های گوناگون بین این دو متغیر انجام شده در نهایت، با توجه به مقدار ضریب تعیین مدل‌های مختلف (R^2)، تبیین کننده مناسب‌تر بودن مدل نمایی برای تخمین ارتباط بین این دو متغیر در منطقه است. از این رو مدل ارائه شده برای بررسی و تخمین رشد و توسعه شکل مخروط افکنه‌های منطقه و تغییرات شکل آنها در قالب مدل نمایی ارائه شده است (شکل ۴).

مشخص گردید. از اینرو، در این قسمت متغیر مساحت حوضه‌های زهکشی منطقه به عنوان متغیر مستقل در فرایند مدلسازی مورد توجه قرار گرفته است. از سوی دیگر از میان متغیرهای داخلی موثر بر شکل مخروط افکنه‌ها چنانکه در بررسی تحلیل عاملی مشخص گردید مهمترین متغیر مساحت مخروط افکنه‌ها است که برای ارائه مدل تخمینی به عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته شده است. به این ترتیب رابطه بین دو متغیر مساحت حوضه زهکشی بالادست به عنوان متغیر مستقل و مساحت مخروط افکنه‌ها



شکل ۴- نمودار پراکنش داده‌های مساحت حوضه‌های زهکشی منطقه در برابر داده‌های مربوط به مساحت مخروط افکنه‌های منطقه و مدل نهایی حاصل از برازش این داده‌ها را نشان می‌دهد

مخروط افکنه با خصوصیات فیزیوگرافی حوضه زهکشی به صورت یک رابطه اساسی مورد بررسی قرار گرفت و بر اساس این بررسی‌ها مدل‌های تجربی برای توضیح مقادیر تغییر بین ویژگی‌های معین مخروط افکنه‌ها و حوضه زهکشی آنها ارائه گردید (Lecce, 1990,6).

۵- بحث و نتیجه‌گیری

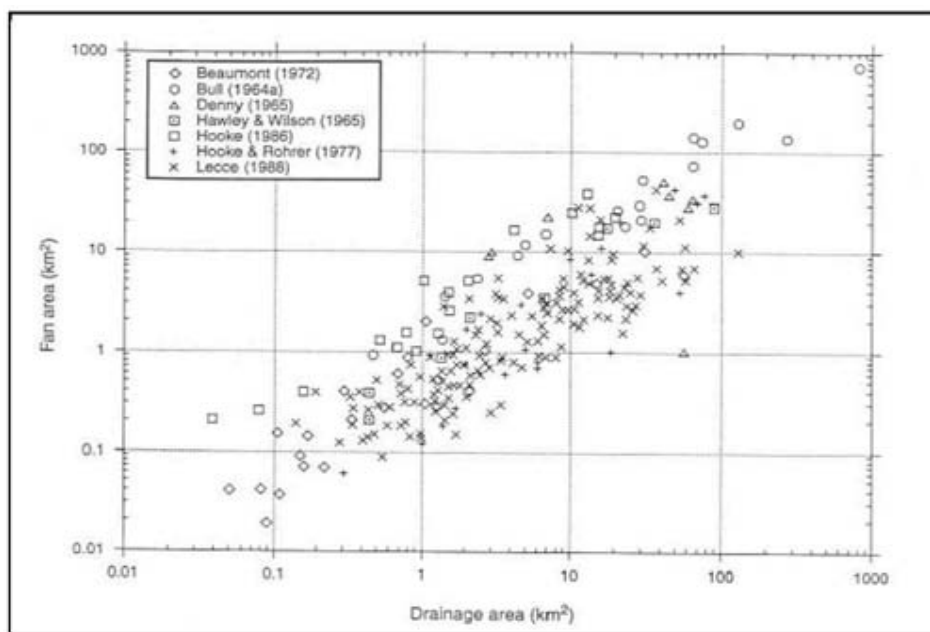
در ابتدای دهه ۱۹۶۰ تحقیقات در زمینه مخروط افکنه و بررسی فرایندهای کنترل کننده گسترش مخروط افکنه‌ها جنبه تحلیل‌های کمی به خود گرفت (Lecce, 1990, 4). در این تحقیقات روابط بین پارامترهای مورفولوژیکی

در این رابطه y شیب خط رگرسیونی حاصل از رابطه خطی این دو متغیر است که نشان دهنده میزان تغییر در مساحت مخروط افکنه‌ها در نتیجه افزایش مساحت حوضه زهکشی است. شمار زیادی از تحقیقات منتشر شده در زمینه مطالعه مخروط افکنه‌ها به بررسی مجزای متغیرهای x و y در رابطه مذکور پرداخته‌اند. بر اساس این مطالعات مقادیر x تابعی از شرایط جغرافیای طبیعی است و بین $0/1$ تا $2/2$ با توجه به تفاوت بودن شرایط محیط جغرافیایی محل تشکیل مخروط افکنه‌ها متفاوت است (Harvey, 1997, 16).

معمول‌ترین متغیری که در این تحقیقات برای مقایسه مخروط افکنه‌ها و حوضه زهکشی آنها مورد استفاده قرار می‌گرفت، متغیر مساحت این دو پدیده بود که نتایج حاصل از آن در شکل (۵) آمده است. Bull (۱۹۶۲) اولین کسی بود که نتیجه گرفت با افزایش مساحت حوضه زهکشی، مساحت مخروط افکنه نیز افزایش پیدا می‌کند و این موضوع را به صورت رابطه زیر ارائه نمود:

$$A_f = x(A_d)^y$$

A_f مساحت مخروط افکنه، A_d مساحت حوضه زهکشی و x ضریب ثابتی است که بطور تجربی حاصل می‌شود (Hooke, 1968, 618).



شکل ۵- نمودار پراکنش ارتباط مساحت حوضه زهکشی با مساحت مخروط افکنه‌ها (داده‌ها حاصل از مطالعات محققان مختلف در کشورهای مختلف است) (ماخذ: Blair and Mc Pherson, 1994, 358)

بر این اساس ضریب x که تحت تاثیر شرایط جغرافیای طبیعی هر منطقه بین $0/1$ تا $2/2$ متفاوت است در این مدل‌سازی و برای مخروط

مدل نهایی حاصل از بررسی‌های انجام شده در این مقاله به صورت زیر است:

$$A_f = 0.1078(A_d)^{1.06}$$

- Bull, W.B., (1962). Relations of alluvial fan size and slope to drainage basin size and lithology in western Fresno County, CA, U.S. Geological Survey Professional Paper 450-B, 51-53.
- Drew, F., (1873). Alluvial and lacustrine deposits and glacial records of the Upper Indus Basin. Geological Society of London Quarterly Journal, 29: 441-471.
- Davis, W.M., (1899). The geographical cycle. Geographical Journal, 14: 481-504.
- Denny, C.S., (1965). Alluvial fans in the Death Valley Region, California and Nevada. United States Geological Survey Professional Paper 466, 59 pp.
- Eckis, R., (1928). Alluvial fans in the Cucamonga district, southern California. Journal of Geology, 36: 111-141.
- Harvey, A.M., Silva, P.G., Mather, A.E., Goy, J.L., Stokes, M., Zazo, C., (1999). The impact of Quaternary sea level and climatic change on coastal alluvial fans in the Cabo de Gata Ranges, southeast Spain. Geomorphology, 28: 1-22.
- Horton, R.E., (1945). Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. Bulletin of the Geological Society of America, 56: 275-370.
- Hooke, R.L., (1968). Steady state relationships on arid-region alluvial fans in closed basins. American Journal of Science, 266: 609-629.
- Lecce, S.A., (1990). The alluvial fan problem. In: A.H. Rachocki and M. Church (Editors), Alluvial Fans: A Field Approach. Wiley, Chichester, pp. 3-24.
- Strahler, A.N., (1957). Quantitative analysis of watershed geomorphology. Transactions of the American Geophysical Union, 38: 913-920.
- Smith, L.M., (1983). Geomorphic development of alluvial fans in the Yazoo Basin, northwestern Mississippi. Ph.D. Dissertation, University of Illinois at Urbana. Champaign, 242 pp.
- Smith, G.A., (2000). Recognition and significance of streamflow-dominated piedmont facies in extensional basins. Basin Research, 12: 399-411.
- افکنه‌های منطقه مورد مطالعه مقدار ۰/۱۰۷۸ را نشان می‌دهد.
- منابع**
- ثقفی، مهدی، (۱۳۸۹). مطالعات ژئومورفولوژی حوضه‌های دامنه شمالی کوهستان باقران، مطالعات طرح پژوهشی دانشگاه پیام نور، ۲۸۴ صفحه.
- خطیب، محمدمهدی، (۱۳۸۶). تحلیل ساختاری کوههای جنوب بیرجند، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۸۸ صفحه.
- درویش زاده، علی، (۱۳۸۵). زمین شناسی ایران، چینه شناسی، تکتونیک، دگرگونی و ماگماتیسیم. انتشارات امیرکبیر، تهران. ۴۳۴ صفحه.
- زمردیان، محمدجعفر، (۱۳۷۴). کاربرد جغرافیای طبیعی در برنامه ریزی شهری و روستایی. انتشارات دانشگاه پیام نور. صفحه.
- منصورفر، کریم، (۱۳۸۸). روش‌های پیشرفته آماری همراه با برنامه‌های کامپیوتری، انتشارات دانشگاه تهران.
- Blackwelder, E., (1928). Mudflow as a geologic agent in semi-arid mountains. Bulletin of the Geological Society of America, 39: 465-484.
- Blair, T.C. and McPherson, J.G., (1994). Alluvial fan processes and forms. In: A.D. Abrahams and A.J. Parsons (Editors), Geomorphology of Desert Environments. Chapman and Hall, London, pp. 354-402.
- Blissenbach, E., (1954). Geology of alluvial fans in semi-arid regions. Bulletin of the Geological Society of America, 65: 170-190.
- Bull, W.B., (1977). The alluvial fan environment. Progress in Physical Geography, 1: 222-270.