

مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، سال ۲۲، شماره پیاپی ۴۴، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۰
وصول: ۱۳۸۹/۴/۸ پذیرش: ۱۳۹۰/۲/۲۴
صص ۱۸-۱

استفاده از DEM در تحلیل مورفوتکتونیک فروچاله‌های کارستی توده پرآو - بیستون

منصور جعفریگلو: استادیار ژئومورفولوژی، دانشگاه تهران، تهران، ایران*
ابراهیم مقیمی: استاد ژئومورفولوژی، دانشگاه تهران، تهران، ایران
فرشاد صفری: کارشناس ارشد ژئومورفولوژی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

چکیده

توده پرآو - بیستون با وسعت ۸۸۰ کیلومتر مربع در زون زاگرس رورانده و در استان کرمانشاه واقع شده است. در این ناهمواری‌ها اشکال متنوعی از چشم‌انداز کارست همچون کارن‌ها، اولاه‌ها، دولین‌ها، غارها و ... پدید آمده است. شکل‌گیری و توسعه فروچاله‌های کارستی متأثر از رورانندگی، گسل‌ها و شکستگی‌های منطقه، شرایط مناسبی را برای تغذیه و گسترش منابع آب زیرزمینی به عنوان اصلی‌ترین منبع آب آشامیدنی شهر کرمانشاه فراهم آورده و هیدروژئولوژی منطقه را تحت تأثیر قرار داده است. بنابراین، شناخت مورفوتکتونیک فروچاله‌ها در بررسی‌های کارستی منطقه جایگاه و اهمیت بالایی دارد. در این تحقیق با استفاده از مدل رقمی ارتفاع (DEM) و پردازش داده‌های رقمی شده نسبت به استخراج اطلاعات توپوگرافی و هیدرولوژی اقدام گردید. همچنین با انجام عملیات میدانی و به کارگیری دستگاه موقعیت‌یاب جهانی (GPS) و کمپاس، ویژگی و موقعیت فروچاله‌ها و امتداد درزه‌ها و شکستگی‌های منطقه اندازه‌گیری و در ارتباط با سایر داده‌های مکانی مورد ارزیابی قرار گرفت. یافته‌های تحقیق نشان می‌دهد در توده پرآو - بیستون اشکال آگروکارست در فرم‌ها و ابعاد مختلف توسعه یافته و تیبیک‌ترین این اشکال یعنی فروچاله‌ها در امتداد درزه‌ها و گسل‌های کششی ناحیه قرار گرفته و فروچاله‌های مستخرج از DEM نیز نشان دهنده چنین امتداد و روندی است.

واژه‌های کلیدی: پرآو-بیستون، فروچاله، مورفوتکتونیک، مدل رقمی ارتفاع

مقدمه

کارستی شدن منتج از نفوذ آب به درون توده سنگ‌های انحلال پذیر و نفوذپذیر است. فاکتور نفوذپذیری و انحلال به لحاظ اهمیت از درجه همسانی برخوردارند (میلانکوویچ، ۲۰۰۴، ص ۶). اما مهمترین فاکتور در قابلیت نفوذپذیری سنگ‌های کربناته شکستگی‌ها هستند. بنابراین، شکستگی‌های ناشی از فعالیت‌های تکنونیک به عنوان مهمترین عامل کارستی شدن به صورت

عوارض پایدار ثانویه همچون شکاف‌ها و گسل‌ها به علت دگرشکلی‌شکننده سنگ‌های آهکی در حین بالایی و جابجایی‌های بسیار است (فلوریسا، ۲۰۰۵، ص ۱۲۴-۱۲۰). وجود شکستگی‌ها و سیستم درزه‌ها، نفوذ و دسترسی آب به بخش‌های عمیق تر را فراهم و فرایند کارستی شدن را در امتداد آنها توسعه می‌دهد.

GPS نسبت به برداشت موقعییت و امتداد درزه‌ها و فروچاله‌ها اقدام شد. و با استفاده از نقشه‌های ۱/۱۰۰۰۰۰ زمین شناسی اطلاعات مربوط به امتداد گسل‌های منطقه مشخص و رقومی سازی شد. سپس داده‌های گردآوری شده در محیط نرم افزار rock work پردازش و نمودار گلسرخی مربوط به آنها تهیه گردید. در محیط نرم افزار GIS نیز با پردازش مدل رقومی ارتفاع، فروچاله‌ها و میزان تراکم زهکشی منطقه استخراج و شناسایی گردید. در پایان با تلفیق اطلاعات بدست آمده به ارزیابی ارتباط بین فرایندهای کارستی و شکستگی‌ها مبادرت شد و نتایج آن به ارائه شناختی بهتر از کارست منطقه منجر گردید.

زمین شناسی

ناهمواری پراو - بیستون با طول ۶۰ و عرض متوسط ۱۵ کیلومتر در شمال کرمانشاه واقع شده است. این توده کوهستانی با قرار گیری در محدوده زیرراندگی پلیت عربی به زیر ایران مرکزی، تحت تأثیر وضعیت خاص زمین ساخت منطقه‌ای دچار روراندگی شدید شده است. شکنندگی لایه‌های آهکی در ارتباط با فعالیت‌های تکتونیکی و فشارهای وارده باعث ظهور توپوگرافی خشن، مژرس، توده ای و غالباً بدون لایه بندی مشخص در آن شده است. سازند غالب منطقه را آهک بیستون با ضخامت بیش از ۲۰۰۰ متر با خلوص بالا تشکیل می‌دهد. این توده کوهستانی در انتهای کرتاسه بر روی زاگرس چین خورده رانده شده و در دامنه

افقی و عمودی عمل می‌کنند بنابراین، تنوع مورفولوژی کارست را موجب می‌شوند. در توده پراو - بیستون لیتولوژی و زمین ساخت شرایط لازم را برای توسعه انواع اشکال کارستی همچون فروچاله‌ها، اووالها، غارها، لایه‌ها و طاق‌ها فراهم کرده و وضعیت هیدرولوژیکی پیچیده‌ای را بر آن تحمیل کرده است. در این میان فروچاله‌ها با تأثیرپذیری شدید از شکستگی‌ها و به واسطه ارتباط مستقیم با آبهای زیرزمینی، از نظر هیدرولوژیکی و نیز خطراتی که متوجه انسان می‌سازند از اهمیت بیشتری برخوردارند. بنابراین در این تحقیق بررسی مورفوتکتونیکی فروچاله‌ها به عنوان بخش مهمی از مطالعات کارستی مورد توجه قرار گرفته است. بنابراین، ضمن بررسی کلی اشکال کارست در منطقه، اقدام به شناخت مورفوتکتونیکی فروچاله‌ها با تلفیقی از نتایج کارهای میدانی، سیستمی و پردازش DEM شده است.

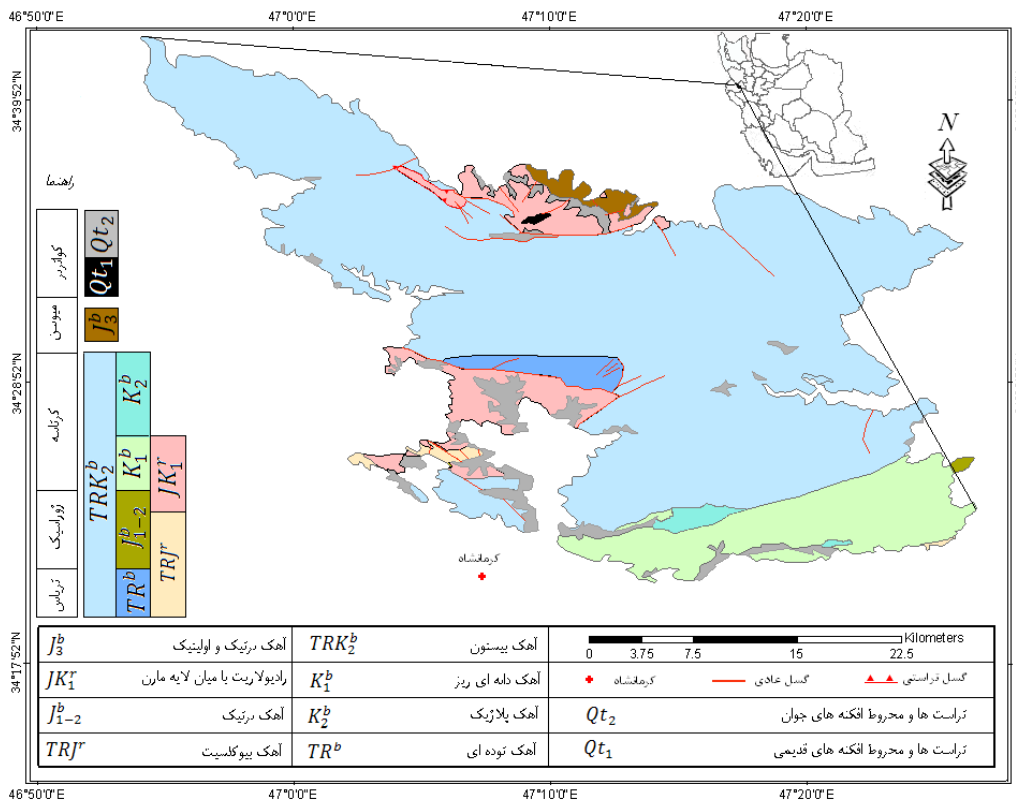
نتایج این تحقیق نشان دهنده تنوع و گسترش اشکال کارستی در منطقه است و فروچاله‌ها به عنوان مهمترین اشکال آگروکارستی ناحیه در نتیجه فرایندهای انحلالی و ریزشی و متأثر از شکستگی‌های منطقه توسعه است. امتداد و روند قرارگیری این اشکال از جهت درزه‌ها و گسل‌های منطقه تبعیت کرده است.

روش تحقیق

در این تحقیق جهت تحلیل روند و امتداد قرارگیری فروچاله‌ها در ارتباط با سیستم درزه‌ها با انجام عملیات میدانی و استفاده از کمپاس و

(دیواره بیستون) منطبق با دامنه جنوبی و شرقی این ناهمواری پدید آمده است.

جنوبی دچار شکستگی‌ها و گسل آن بسیار با جهت شمالغربی - جنوب شرقی شده است. بنابراین، بزرگترین دیواره گسلی زاگرس رورانده



شکل ۱- نقشه زمین شناسی پرآو - بیستون

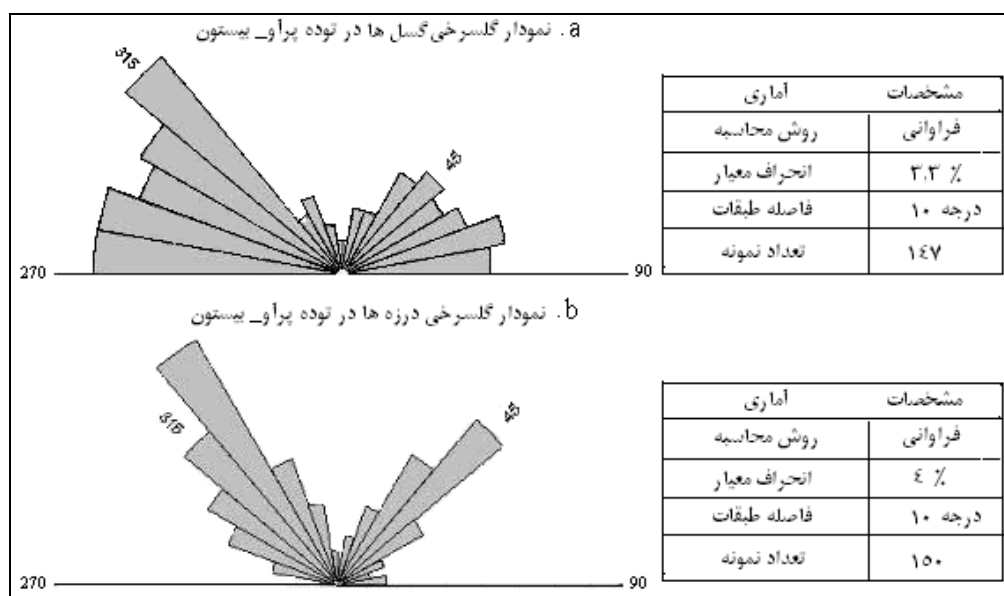
سطح تماس بیشتر با آن دارد و موجب توسعه فرایند کارست و ایجاد سینک هول‌های متعدد با ابعاد بزرگتر در آن امتداد می‌شود.

بنابراین، جهت نمایش صریح ارتباط بین فروچاله‌ها و گسل‌ها و درزه‌های موجود اقدام به تهیه نمودار گلسرخ‌ی از امتدادهای بدست آمده از نقشه‌های ۱/۱۰۰۰۰۰ و کارهای صحرايي مربوط به درزه برداری منطقه گردید (شکل ۲ و ۳). بر این اساس در توده پرآو- بیستون جهت تنش‌ها تقریباً شمالی- جنوبی است و گسل‌های

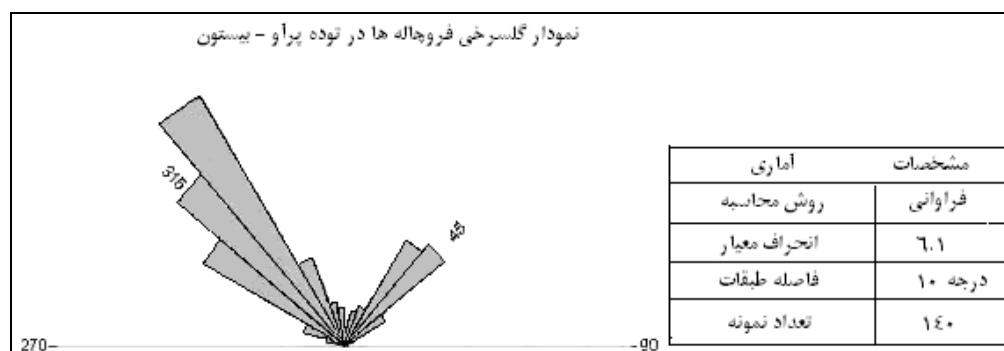
تحلیل سیستم درزها و گسل‌ها و اثر آن در منطقه

شکندگی بالا و قابلیت انعطاف پذیری کم در سازندهای ضخیم آهکی، افزایش تأثیر تنش‌ها در منطقه را به دنبال داشته است. در نتیجه گسل‌های متعدد با جهات مختلف و متعامد (کششی) و برشی در این ناهمواریها پدید آمده است. تعامد گسلها با ایجاد خردشدگی در امتداد مشخص نقش مهمی در نفوذ بیشتر آب و ایجاد

منطقه امتداد آزیموتی ۴۵، ۷۵ و ۳۱۵ درجه را با روند مشابهی امتداد آزیموتی ۴۵ و ۳۲۵ درجه نشان می‌دهند. درزه‌ها و خطواره‌های منطقه نیز را نشان می‌دهند.



شکل ۲- نمودار گلسرخی گسل‌ها و درزه‌ها (a). امتداد گسل‌ها (b). امتداد درزه برداریها).



شکل ۳ نمودار گلسرخی امتداد فروچاله‌های کارستی

فروچاله‌ها و به طور کلی، توسعه کارستی منطقه از وضعیت زمین ساختی و فعالیت‌های تکتونیکی آن تأثیر زیادی پذیرفته است.

- مورفولوژی کارست در نواحی مورد مطالعه

بررسی اشکال آگزوکارستیک در پراو- بیستون نشان می‌دهد که اشکال کارستی منتج از

ترسیم نمودار گلسرخی امتداد طولی فروچاله‌ها نشان می‌دهد که این اشکال دارای امتداد N۳۵ W هستند. بنابراین فروچاله‌ها با امتداد کلی ۳۳۰-۳۲۰ درجه آزیموتی منطبق با امتداد حداکثری درزه‌ها هستند و ماکزیمم اختلاف آن با گسل‌های منطقه ۱۰ درجه است. بر این اساس می‌توان گفت توسعه و گسترش

سینک هول‌ها، دولین‌ها، کارن‌ها، غارها، اووالاها و ... هستند که در ارتباط با شرایط مستعد کارستی ابعاد و تمرکز مکانی متفاوتی را نشان می‌دهند.

فرایند انحلال در سطوح مختلف، چشم انداز و توپوگرافی خاصی را نشان می‌دهد که دارای تنوع مورفیک نیز است. از عمده‌ترین اشکال کارستی موجود در نواحی مورد مطالعه وجود



شکل ۴- نمونه‌ای از لایپه‌ها در پرآو- بیستون

فروچاله‌ها شکل دیگری از مورفولوژی کارست در منطقه می‌باشند. فروچاله‌ها به واسطه ابعاد و سبب و به خاطر ارتباط مستقیم با آب‌های زیرزمینی و خطراتی که متوجه انسان و فعالیت‌های انسانی می‌سازند، مورد توجه هستند. فروچاله‌ها به طور کلی، در اثر فعالیت انحلالی آب و فروریزش ناشی از عدم استحکام لایه‌های سطحی که منتج از ایجاد تخلخل‌های ثانویه سطحی و زیرسطحی است، شکل می‌گیرند.

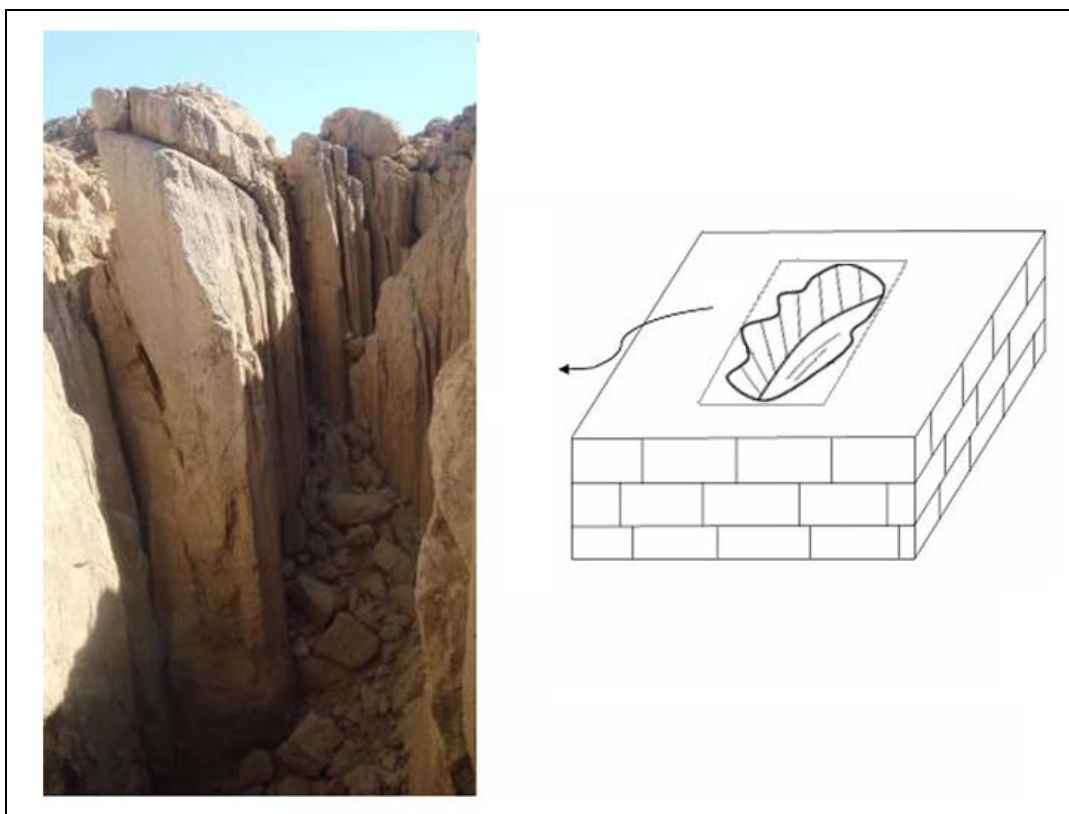
کارن‌ها به طور خطی در امتداد درزه‌ها و شکاف‌های ریز توسعه پیدا می‌کنند و به هنگام توسعه بیشتر در عمق دریافت کننده زهکشی بخش‌های سطحی تر هستند. بنابراین توسعه کارن‌ها نشان دهنده توسعه اپی کارستی شدید و تغذیه بالای آب‌های زیرزمینی هستند. در منطقه دو نوع عمده کارن‌های شیاری و کندوئی (حفره‌ای) شکل گرفته‌اند. با توجه به شیب توپوگرافی بسیار، نوع کارن‌های شیاری دارای توسعه بیشتری هستند (شکل ۵).

از لحاظ ژنز و نحوه تشکیل، فروچاله‌ها در دو گروه انحلالی با فرایند تدریجی نشست، بدون گسیختگی سطحی مشهود، و ریزشی با شکستگی‌ها و گسیختگی‌های سطحی و عمقی تقسیم می‌شوند (فوررد و ویلیام، ۲۰۰۷، ص ۳۴۲). فروچاله‌های انحلالی در صورت نفوذ آب به درون شکاف‌ها و افزایش میزان جریان آن در شکافهای تعریض شده نسبت به محیط اطراف و در اثر خوردگی رخ می‌دهند. در مراحل اولیه نیز آغاز شکل‌گیری فروچاله‌های ریزشی در ارتباط با انحلال‌های زیرسطحی می‌باشد. به عبارتی فروچاله‌های سطحی به واسطه توسعه غارها و منتج از عامل خوردگی و کاهش استحکام سطحی رخ می‌دهند (کوچل و دیگران، ۱۹۹۵ به نقل از میلانکوویچ).

براساس تعریف فوق و با توجه به شواهد ژئومورفولوژیکی منطقه (وجود غار پرآو با عمق ۷۵۱ متر و سطوح فرسایش محلی همچون میادین پایین دستی کارست) و همچنین ضخامت آهک بیستون با درجه خلوص بسیار که پتانسیل بالایی جهت انحلال دارا است، فروچاله‌های ناحیه پرآو- بیستون در رده فروچاله‌های انحلالی و ریزشی از طبقات شش گانه (فوررد و ویلیام، ۲۰۰۷، ص ۳۴۱) قرار می‌گیرند. در ناهمواری پرآو - بیستون فروچاله‌های متنوعی با ابعاد

متفاوت شکل گرفته‌اند (فروچاله‌های عمیق بدون پوشش رسوبات سطحی (جاماها و سینک هول‌ها) و فروچاله‌های با ابعاد کوچکتر به همراه پوشش رسوبات سطحی (که به صورت موضعی عمل تغذیه را انجام می‌دهند). بزرگترین فروچاله منطقه دارای ابعادی به عمق ۱۱۵ و قطر ۱۸۰ متر است که امتداد طولی ۳۰ W N را نشان می‌دهد (جدول ۱ و شکل ۴). غالب فروچاله‌های عمده و بزرگ منطقه به صورت کشیده با دیواره‌های گاهاً عمودی و عمیق بوده امتداد طولی آنها منطبق با خطواره‌ها و شکستگی‌های منطقه است (شکل ۴).

از دیگر اشکال کارستی منطقه غارها هستند. در ناحیه پرآو- بیستون شکل‌گیری غارهای بزرگ و توسعه یافته‌ای همچون غار پرآو با طول ۱۳۶۱ و عمق ۷۵۱ متر را شاهد هستیم که مسیر و امتداد اصلی غار فوق‌الذکر منطبق با امتداد گسل اصلی زاگرس است که بر اساس ردیابی‌های صورت گرفته توسط وزارت نیرو این امر تأیید شده است بر اساس کار صورت گرفته و رودی غار پرآو به عنوان محل تغذیه و انجام عملیات ردیابی، تخلیه آب در سراب طاق بستان را به دنبال داشته است (ملکی، ۱۳۸۰، ص ۱۳۱).



شکل ۵- نمونه‌ای از فروچاله‌ها در توده پرآو- بیستون با امتداد مشخص به تبعیت از شکستگی‌های منطقه

جدول ۱- مشخصات فیزیکی تعدادی از فروچاله‌ها که طی بازدید از منطقه ثبت گردیده است

نام عارضه کارستی	ابعاد به متر		X(UTM)	Y(UTM)	ارتفاع از سطح دریا(متر)	ردیف
	عمق	قطر				
فروچاله	۲۵	۱۵	۷۱۰۷۹۷	۳۸۱۰۹۲۹	۲۸۶۸	۱
	۱۸۰	۱۱۵	۷۱۰۸۳۷	۳۸۱۰۹۶۲	۲۸۶۱	۲
	۴	۲	۷۱۰۸۸۷	۳۸۱۰۸۷۳	۲۸۷۲	۳
	۳.۵	۱.۵	۷۱۰۹۰۱	۳۸۱۰۸۷۷	۲۸۶۸	۴
	۳	۱	۷۱۰۹۱۰	۳۸۱۰۸۸۱	۲۸۶۵	۵
	۵۰	۲۰	۷۱۰۸۵۶	۳۸۱۰۹۵۴	۲۸۶۷	۶
	۱۵	۱۰	۷۱۰۷۱۶	۳۸۱۰۹۸۸	۲۸۷۵	۷
	۱۰	۵	۷۱۱۰۶۵	۳۸۱۰۹۴۶	۲۸۱۹	۸
	۶	۰.۵	۷۱۱۰۷۳	۳۸۱۰۹۷۰	۲۸۱۸	۹
	۲	۱	۷۱۱۴۱۵	۳۸۱۱۰۶۷	۲۶۹۹	۱۰
	۲.۵	۱	۷۱۱۴۸۹	۳۸۱۱۰۶۲	۲۶۶۵	۱۱
	۳	۱.۵	۷۱۱۶۰۵	۳۸۱۰۹۶۶	۲۶۱۸	۱۲
	۲	۱.۵	۷۱۱۶۵۳	۳۸۱۰۹۱۸	۲۵۹۳	۱۳
	۱	۰.۵	۷۱۱۶۶۱	۳۸۱۰۹۰۳	۲۵۷۷	۱۴

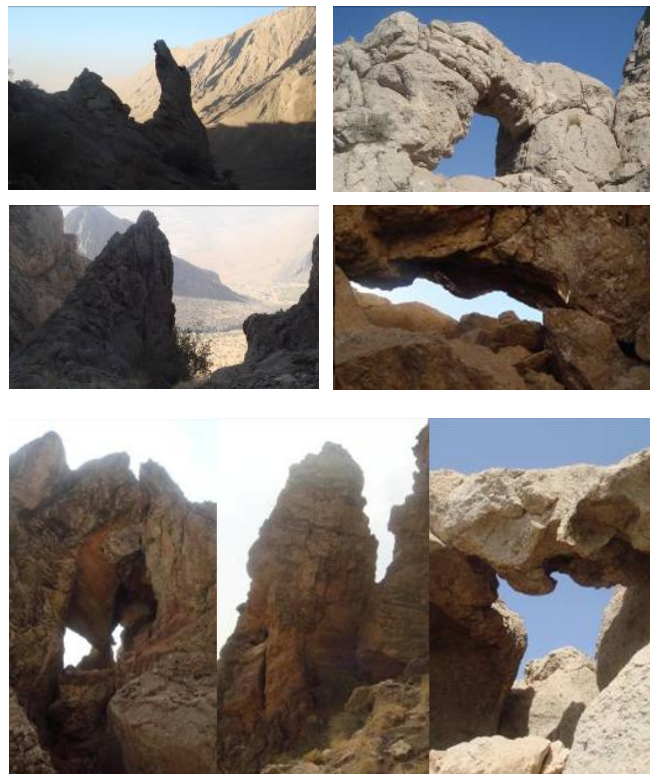
فروچاله‌های بزرگ با بستری هموار، منتج از فرایندهای انحلالی وسیع در زیر بستر، بوسیله آبهای نفوذی در فروچاله‌های بزرگ ارتفاعات به وجود آمده‌اند (شکل ۶).

طاق‌های طبیعی اشکال کارستی هستند که علاوه بر انحلال از تخریب مکانیکی گسل‌ها نیز متأثر شده‌اند. طاق‌ها بقایای سقف غارهایی هستند که در اثر فرایندهای مختلف فرسایشی که بر منطقه حاکم است فرو ریخته‌اند و وجود طاق‌های مختلف در کنار اشکال دیگر کارستی نشان از تأثیرپذیری این اشکال از فرایندهای انحلالی است که معمولاً در متداد خطوطاره‌ها و شکاف‌هایی که وجود داشته‌اند، رخ داده‌اند (شکل ۷).

اووالاها از دیگر اشکال کارستی منطقه هستند که در نتیجه توسعه شدید کارستی و بهم پیوستگی فروچاله‌های متعدد پدید آمده‌اند. شکل گیری یک اووالا نیازمند ایجاد شرایط انحلالی وسیع و بهم پیوستگی شبکه‌ای از مجاری و کانالهای زیرزمینی است در نهایت پدیده ریزش یا نشست در سطحی وسیع منجر به ظهور سطحی این نوع خاص از مورفولوژی می‌شود. براین اساس شکل گیری اووالاها در نواحی با شرایط مستعد توسعه فرایند کارستی و در پهنه‌های هولوکارستی دارای امکان بیشتری است. در منطقه پراو _ بیستون وجود چنین اشکالی با تعدد بسیار به چشم می‌خورد که گاهاً در ارتفاعات و در منطقه توسعه فروچاله‌ها با بستری مژرس و در هم و گاهاً در پایین دست



شکل ۶- نمونه‌ای از اووالاهای توده پرآو - بیستون که در نتیجه انحلال و فرونشست‌های بزرگ پدید آمده و در نقش سطح اساس محلی ظاهر شده است (جریان موقت آب ارتفاعات به داخل اووالا و نفوذ مجدد آن)



شکل ۷- نمونه‌ای از طاق‌ها و ستون‌های شکل گرفته در توده پرآو - بیستون که در ارتباط با وجود درزه‌ها و انحلال شدید سنگ آهک پدید آمده‌اند

- بررسی کارستی منطقه براساس مدل رقومی ارتفاع، DEM

- پردازش DEM

استخراج داده‌های توپوگرافی با کارهای میدانی و دستی خسته کننده، زمان بر و پر خطاست. گرایش مطالعات یک دهه گذشته به سمت تشریح، کمیت پذیری و تفسیر فرایندهای حاکم بر زمین همچون آب، انرژی جریان و فرسایش بر اساس استخراج داده‌های توپوگرافیک از مدل رقومی ارتفاع بوده است. تحقیقات صورت گرفته نشان می دهد که به طور خاصی استفاده از داده‌های رقومی در زمینه بررسی توسعه کارستی بر روی شناسایی مهمترین نوع اشکال آگزوکارستیک یعنی فروچاله‌ها و اووالاها متمرکز شده است. البته این مطالعات گاهاً در ارتباط با ویژگی‌های توپوگرافیک و براساس بررسی شبکه زهکشی نواحی بوده است. در اینجا به بررسی روش‌های هیدرولوژیکی نواحی در ارتباط با فروچاله‌ها و اووالاها پرداخته‌ایم. استخراج خودکار شبکه زهکشی و ویژگی‌های حوضه از طریق DEM ارائه دهنده یک روش مناسب و سریع جهت پارامتری کردن حوضه است (گاربریچ و کمپل، ۱۹۹۷ به نقل از لیلیانگ، ص ۲۰۵).

بنابراین، بررسی تراکم زهکشی نواحی نیز از آن حیث که در نواحی مختلف، تراکم متفاوت

است می تواند شاخصی برای بررسی توسعه کارست نواحی باشد.

با توجه به آنکه توزیع فضایی ویژگی‌های سطح زمین همچون توپوگرافی، مرز حوضه‌ها، شبکه زهکشی و مساحت آنها به طور رقومی کمی قابل بیان است بنابراین، مدل رقومی هیدرولوژی قابل استخراج است (Ren ۲۰۰۰).

and Liu,

مدل رقومی هیدرولوژی روشی جدید است که به طور فیزیکی بر اساس تکنیک مدل سازی در برگیرنده اطلاعات زیادی می باشد. مدل فوق برپایه DEM استوار بوده و ترکیبی از دو مدل ایجاد رتبه ای رواناب و مسیر جریان است که در جهت برآوردهای هیدرولوژیکی حوضه‌ها به کار گرفته شده است.

هیدرولوژی رقومی تلفیقی از بکارگیری علوم کامپیوتر و هیدرولوژی می باشد به طور دقیق تری می توان گفت که هیدرولوژی رقومی بر روی تقسیم فضایی یک حوضه به عنوان شبکه ای از سلول‌ها و یا زیرحوضه‌ها و روند جریان در هر سلول یا زیرحوضه متمرکز می شود. به طور کلی، چارچوب این مدل بر اساس ترسیم مسیر جریان از یک سلول مرکزی با شیب کم به سلول حاشیه ای با بیشترین شیب است. با این اوصاف ذیلاً اقدام به اجرای یکسری کارهای ابزاری نظیر، filling کردن، ایجاد رستر فایل مربوط به جهت جریان، ایجاد رستر فایل تراکم

روش فرورفتگی‌هایی به عنوان فروافتادگی آبگیرمانند و غیر واقعی تشخیص داده می‌شود که پهنای باند باریک سلول‌های رستری با ارتفاع زیاد، معادل با طول سلول است. علاوه بر این، برنامه فوق از طریق تسطیح^۳، ارتفاع سدی را به منظور عبور جریان از عامل سدی کاهش می‌دهد. بعد از تسطیح کردن، فروافتادگی‌هایی که باقی می‌مانند سینک‌هول‌ها می‌باشند که به طور معمول و منطبق با سلول مرکزی فروچاله‌ها است و محدوده آن تا جایی که ارزش ارتفاعی سلول‌ها رو به افزایش است تعریف می‌شود.

بنابراین، با پردازش DEM به روش فوق میزان خطاها و احتمال خطا در پردازش داده‌ها کاهش می‌یابد.

- ایجاد شبکه زهکشی و پتانسیل تراکم زهکشی (PDD):

روش‌های مختلفی برای مسیریابی در یک DEM رستری وجود دارد که رایج‌ترین آنها انتخاب هر سلول رستری در مقایسه با ارتفاع یکسری هشت تایی از سلول‌های مجاور آن است (فایر چیلد و لی ماری به نقل از مارتز و گاربریج، ۱۹۹۸، ص ۸۴۴).

در این تحقیق نیز از روش فوق استفاده شده و پس از پردازش DEM اقدام به ایجاد فایل رستری مربوط به مسیر جریان شده است. سپس

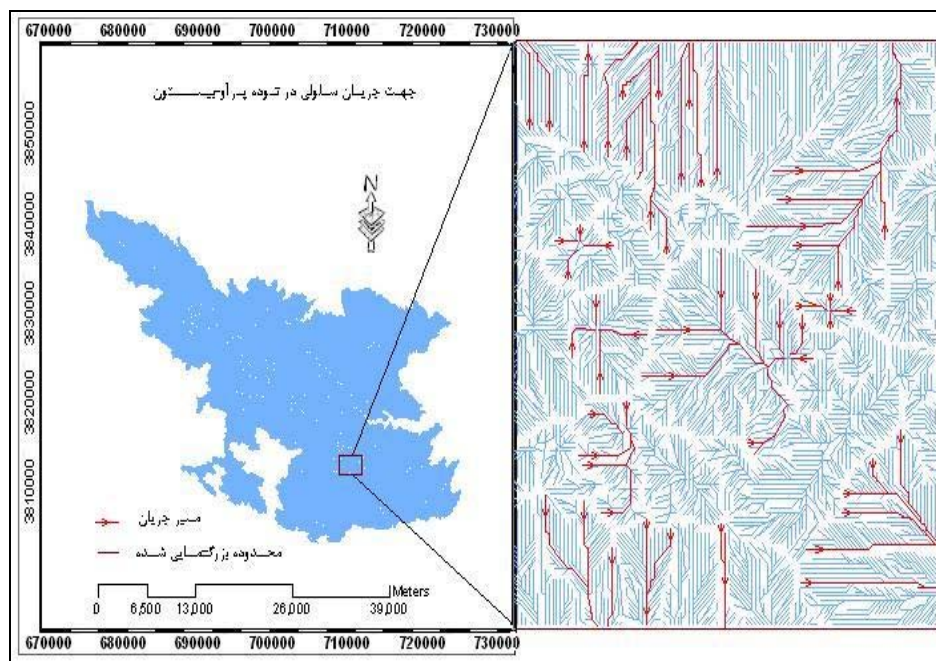
جریان در هر سلول و نقشه مربوط به شبکه زهکشی بر اساس روش استرالر، ایجاد لایه وکتوری مربوط به شبکه جریان و در نهایت تهیه PDD^۱ نواحی شده است. لازم به ذکر است که با ایجاد لایه PDD زمینه‌ای فراهم شد تا علاوه بر بررسی تراکم زهکشی نواحی، فروچاله‌ها را شناسایی و استخراج کنیم.

اولین مرحله برای اجرای مدل رقومی ارتفاع پردازش DEM است. در این مرحله از روش DEDNM^۲ (مارتز و گاربریج، ۱۹۹۸، ص ۸۴۷) استفاده شده است این روش به طور دقیقی به سلول‌های نشان دهنده ی مکان فروافتادگی‌ها و نواحی مسطح به منظور به حداقل رساندن تأثیر جنرالیزه شدن داده‌های ارتفاعی منطقه می‌پردازد. فرورفتگی‌ها احتمالاً مکان‌های تغذیه‌ای همچون آب انبارها و چاله‌ها هستند اگر چه ممکن است که بعضی‌ها ساخته و پرداخته خود DEM باشند (مارتز و گاربریج، بنا به گفته سینگ و فریورت، ۲۰۰۵، ص ۱۸۳). مارتز و گاربریج بیان داشتند که از لحاظ ماهیتی دو نوع فروافتادگی؛ سینک‌هول‌ها و آبگیرها قابل تشخیص می‌باشد. فرورفتگی‌های آبگیرمانند بوسیله باند باریکی از سلول‌های رستری مرتفع تر که آبراهه‌ها را قطع و همانند سدی در مقابل آبراهه عمل می‌کند، به وجود می‌آیند. در این

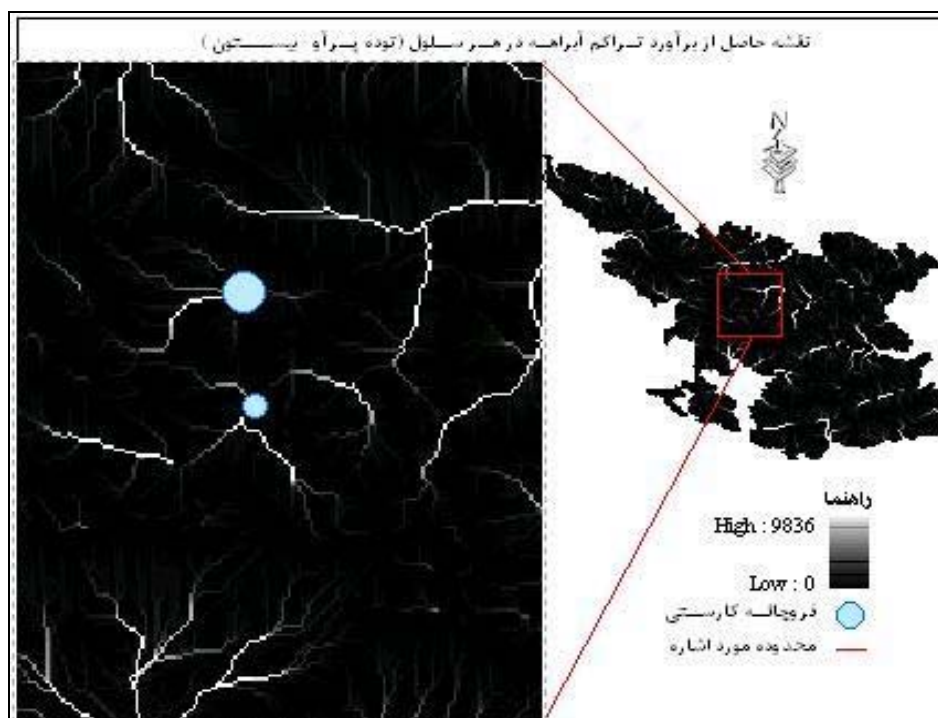
1-Potential Drainage Density

2- Digital Elevation Drainage Network Model

لایه جهت جریان سلولی به صورت وکتوری استخراج گردیده است (شکل ۸).



شکل ۸- جهت جریان سلولی در توده پرآو- بیستون



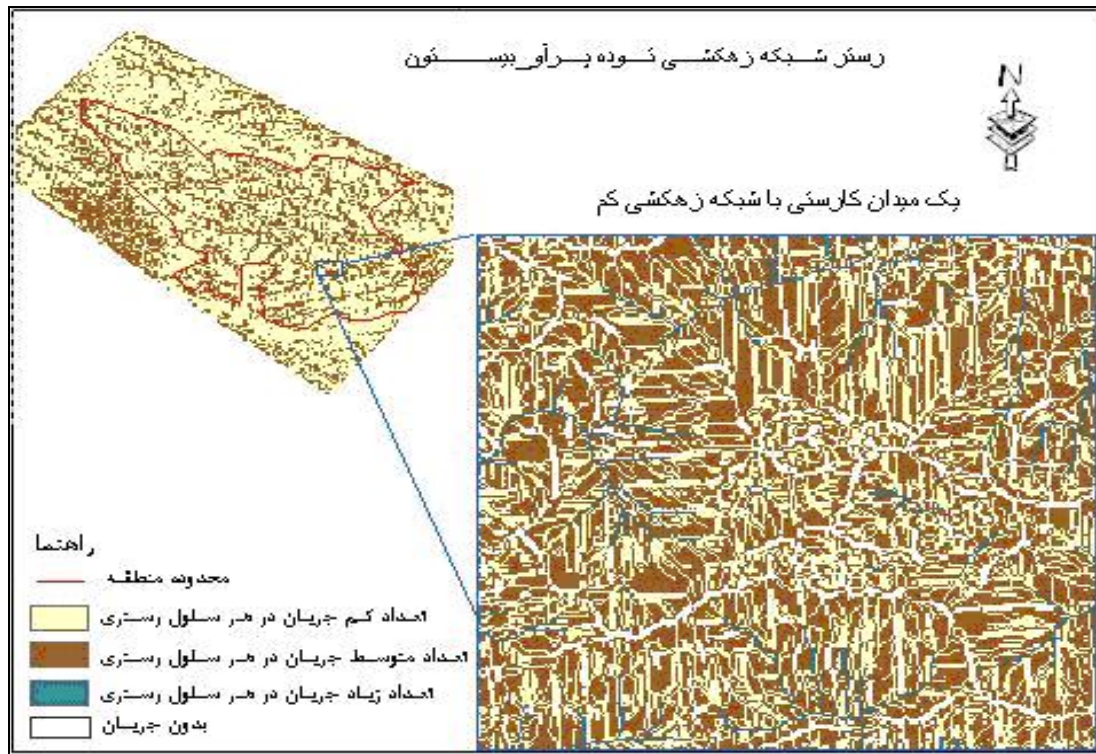
شکل ۹- نقشه تجمعی جریان از سلول‌های اطراف به یک سلول مرکزی (پرآو- بیستون)

هشت‌تایی از سلول‌ها به سلول مرکزی، میزان تجمعی جریان را برای سلول‌ها در سطح حوضه

از طرفی دیگر، براساس فایل رستری برای جریان با در نظر گرفتن جریان از یکسری

رستری آبراهه‌ها استخراج گردیده است (شکل ۱۰).

محاسبه کرده‌ایم به عبارتی اقدام به محاسبه تجمعی جریان در سلول‌ها کرده ایم که در (شکل ۹) آمده است. در مرحله بعد شبکه



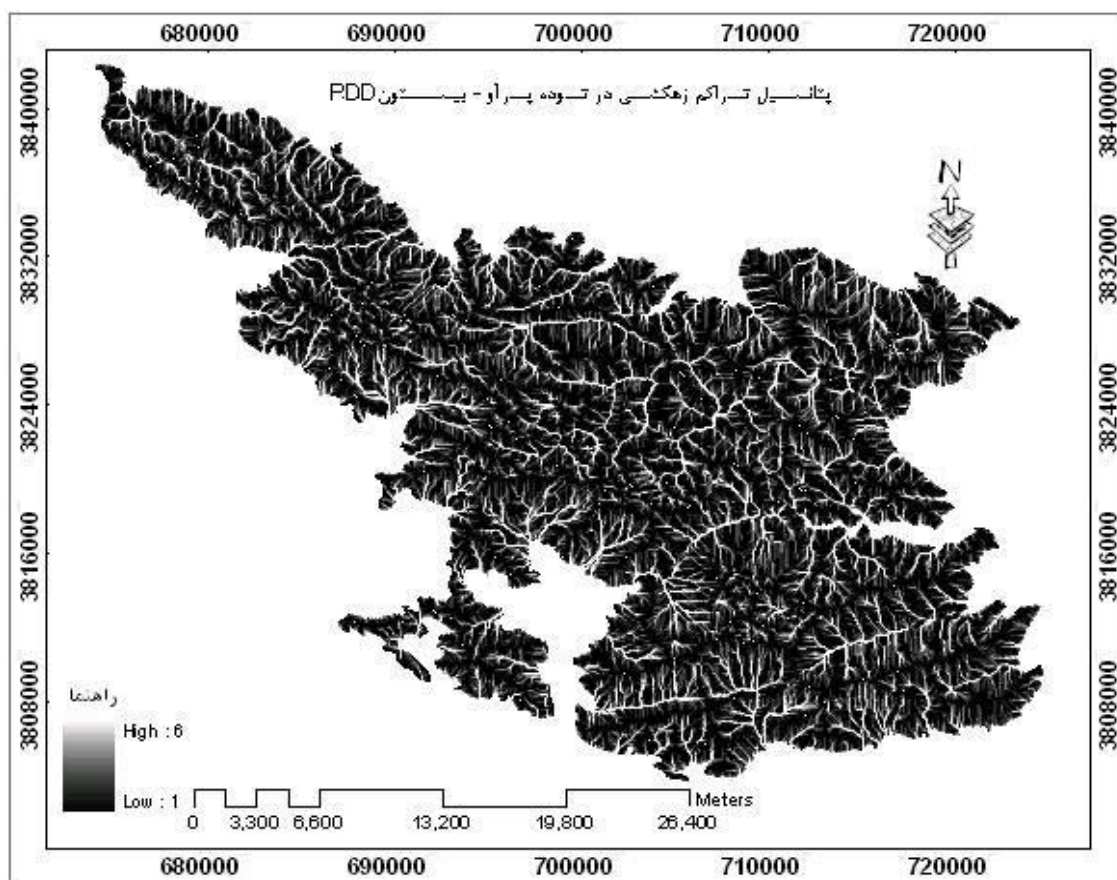
شکل ۱۰- رستر فایل شبکه زهکشی در پراو- بیستون

در ارتباط با توسعه کارستی مدنظر است. بنابراین جهت استخراج داده‌های مربوط به تراکم زهکشی از نقشه پتانسیل تراکم زهکشی استفاده کرده‌ایم. بررسی نتایج کمی مربوط به تراکم زهکشی ناحیه نشان می‌دهد که نزدیک به ۷۷ درصد از توده پراو- بیستون دارای تراکم زهکشی کم یا خیلی کم است که نشان دهنده نفوذ پذیری بالا و توسعه کارستی بیشتر در منطقه است (جدول ۲).

در مرحله پایانی نیز مدل P.D.D ناحیه استخراج گردیده است (شکل ۱۱).

لازم به ذکر است که پتانسیل تراکم زهکشی اصطلاحی است به منظور تفکیک این شاخص در معنای عام از تراکم زهکشی واقعی. به بیان دیگر و به معنای واقعی تفاوتی با تراکم زهکشی واقعی ندارد.

تراکم زهکشی به عنوان شاخصی برای شناخت نواحی از لحاظ نفوذپذیری و تخلخل



شکل ۱۱- پتانسیل تراکم زهکشی در توده پرآو- بیستون

شناسایی فروچاله‌ها و میادین بزرگ کارست در اینجا از طریق مدل هیدرولوژی رقومی فروچاله‌ها را که دارای زهکشی همگرا (بدون جریان خروجی مشخص) بوده و به طور غالب و منطبق با چاه اصلی که بدون زهکشی مشخص و فاقد داده اطلاعاتی سلولی بودند با عنوان فروچاله‌ها برداشت شده‌اند. با توجه به قدرت تفکیک ۵۰ متری DEM مورد استفاده، تعداد فروچاله‌ها و میادین کارستی شناسایی شده بر اساس این مدل در پرآو _ بیستون به ۲۰ عدد

جدول ۲- درصد مساحت تراکم‌های متفاوت زهکشی (کاهش مساحت در اینجا ناشی از عملیات نرم افزاری و filling کردن ناحیه است و اجتناب ناپذیر است).

تراکم	مساحت در توده پرآو- بیستون به مترمربع	درصد مساحت
خیلی کم	۴۶۵	۵۳.۳۵
کم	۲۰۶	۲۳.۶۰
متوسط	۱۳۱	۱۴.۹۹
زیاد	۶۰	۶.۹۱
خیلی زیاد	۱۴	۱.۶۲
مجموع	۸۷۶	۱۰۰

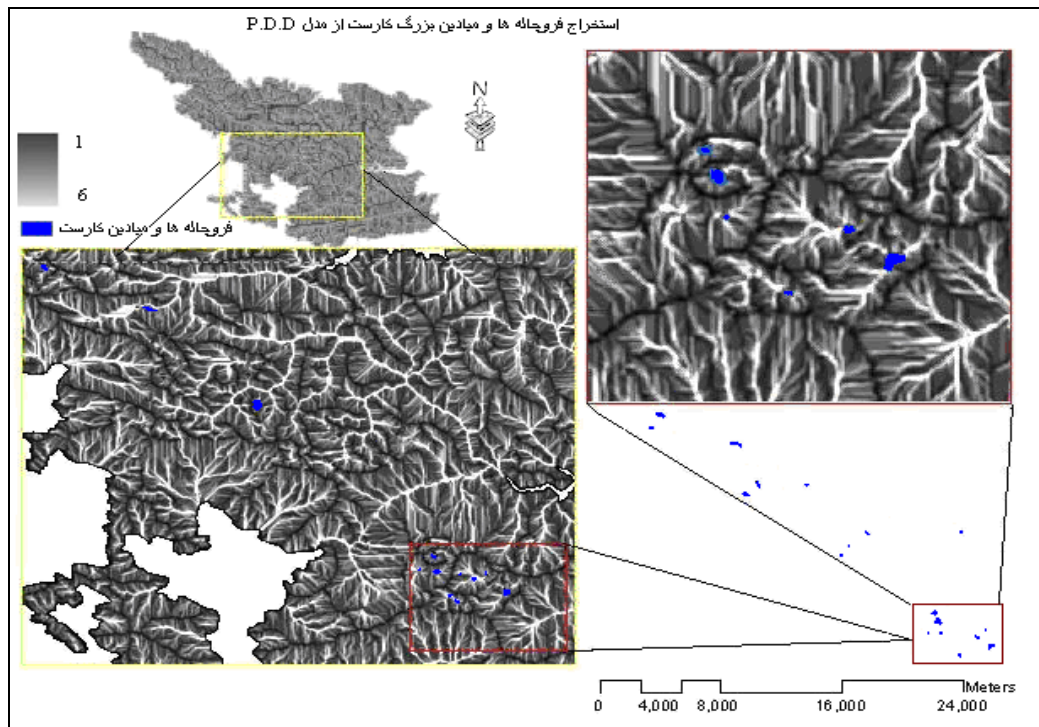
جدول ۳- فروچاله‌های شناسایی شده از طریق DEM

در توده پرآو- بیستون

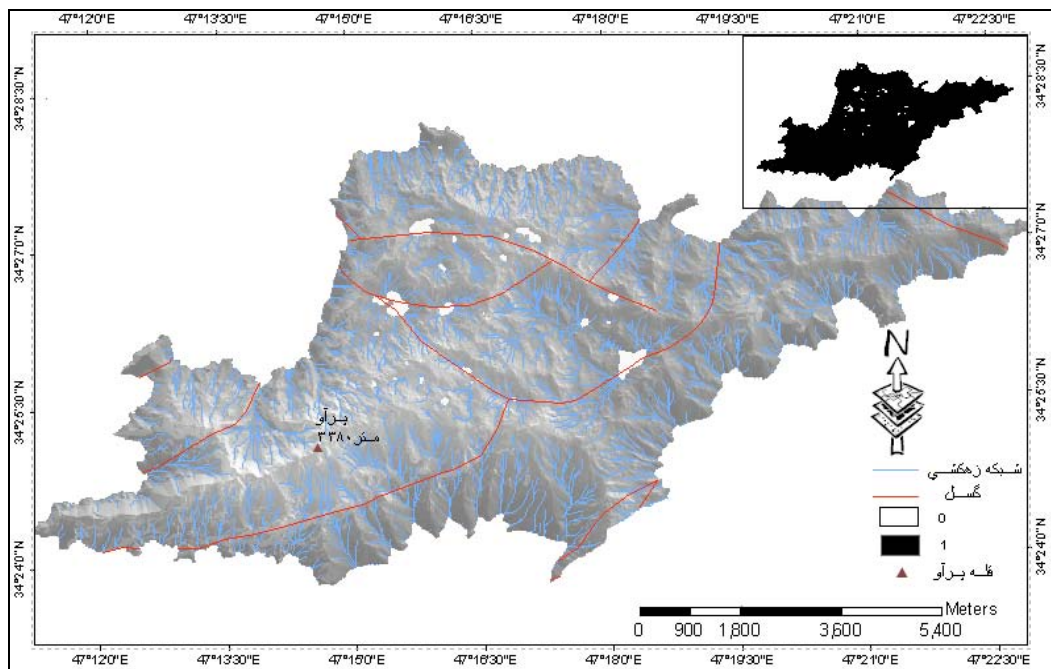
سینک هول	عرض جغرافیایی (utm)	طول جغرافیایی (utm)	مساحت (کیلومتر مربع)
۱	۳۸۲۸۸۷۳.۶	۶۸۹۹۳۲.۲۹	۰.۰۸۲۱
۲	۳۸۲۸۲۱۰.۸	۶۹۰۷۷۳.۸	۰.۰۰۰۴
۳	۳۸۲۷۹۷۴.۱	۶۸۹۳۲۷.۳	۰.۰۱۹۲
۴	۳۸۲۶۷۹۶.۴	۶۹۴۹۲۰.۸	۰.۰۹۵۴
۵	۳۸۲۳۸۷۳	۶۹۹۵۸۷.۹	۰.۰۱۲۹
۶	۳۸۲۳۹۲۲.۳	۶۹۶۳۵۶	۰.۰۲۵۴
۷	۳۸۲۳۶۸۱.۴	۷۱۵۹۸۷.۵	۰.۰۰۱۷
۸	۳۸۲۳۳۳۵.۶	۶۹۵۵۵۵.۵	۰.۰۴۲۹
۹	۳۸۲۰۴۵۶.۲	۷۰۹۸۵۵.۸	۰.۰۰۲۰
۱۰	۳۸۲۰۴۰۵.۴	۷۰۳۵۷۵.۹	۰.۰۲۷۶
۱۱	۳۸۱۹۴۶۹.۱	۷۰۲۴۱۵	۰.۰۰۳۹
۱۲	۳۸۱۸۷۹۵.۴	۷۰۱۸۸۱.۳	۰.۰۰۸۷
۱۳	۳۸۱۴۶۳۲.۶	۷۰۸۰۸۷.۲	۰.۰۴۷۷
۱۴	۳۸۱۴۰۴۶.۸	۷۰۸۳۲۴.۴	۰.۰۸۹۲
۱۵	۳۸۱۳۴۲۱.۱	۷۱۱۴۴۳.۵	۰.۰۰۴۴
۱۶	۳۸۱۳۲۲۵.۸	۷۰۷۶۵۸۸.۲	۰.۰۰۳۲
۱۷	۳۸۱۳۲۲۰.۲	۷۰۸۴۸۰.۸	۰.۰۱۹۳
۱۸	۳۸۱۲۹۴۰.۷	۷۱۰۸۹۸.۴	۰.۰۳۱۳
۱۹	۳۸۱۲۲۷۸.۵	۷۱۱۷۶۵.۵	۰.۰۷۷۲
۲۰	۳۸۱۱۶۰۷.۷	۷۰۹۷۰.۱	۰.۰۱۸۱

می‌رسد (جدول ۳ و شکل ۱۲). از سویی فروچاله‌های استخراجی از مدل فوق امتداد و جهتی منطبق با رزدياگرام شکستگی‌های منطقه نشان می‌دهند که تأییدی بر تبعیت قرارگیری و امتداد کلی فروچاله‌ها و توسعه کارستی از تنش‌ها و فعالیت‌های تکتونیکی منطقه است. نمایش بهتری از میدان کارستی بزرگ مورد اشاره در شکل ۱۲ با پردازش بر روی DEM با قدرت تفکیک ۱۰ متر در شکل ۱۳ نشان داده شده است. همانطور که در این شکل پیداست فروچاله‌ها با کمیت سلولی صفر و به رنگ آبی نشان داده شده و فروچاله‌های بزرگ در ارتباط با گسل‌ها پدید آمده‌اند. به علت استقرار پادگان‌های نظامی و مسائل امنیتی دسترسی به مدل رقومی ارتفاع با چنین قدرت تفکیکی برای کل منطقه فراهم نبود.

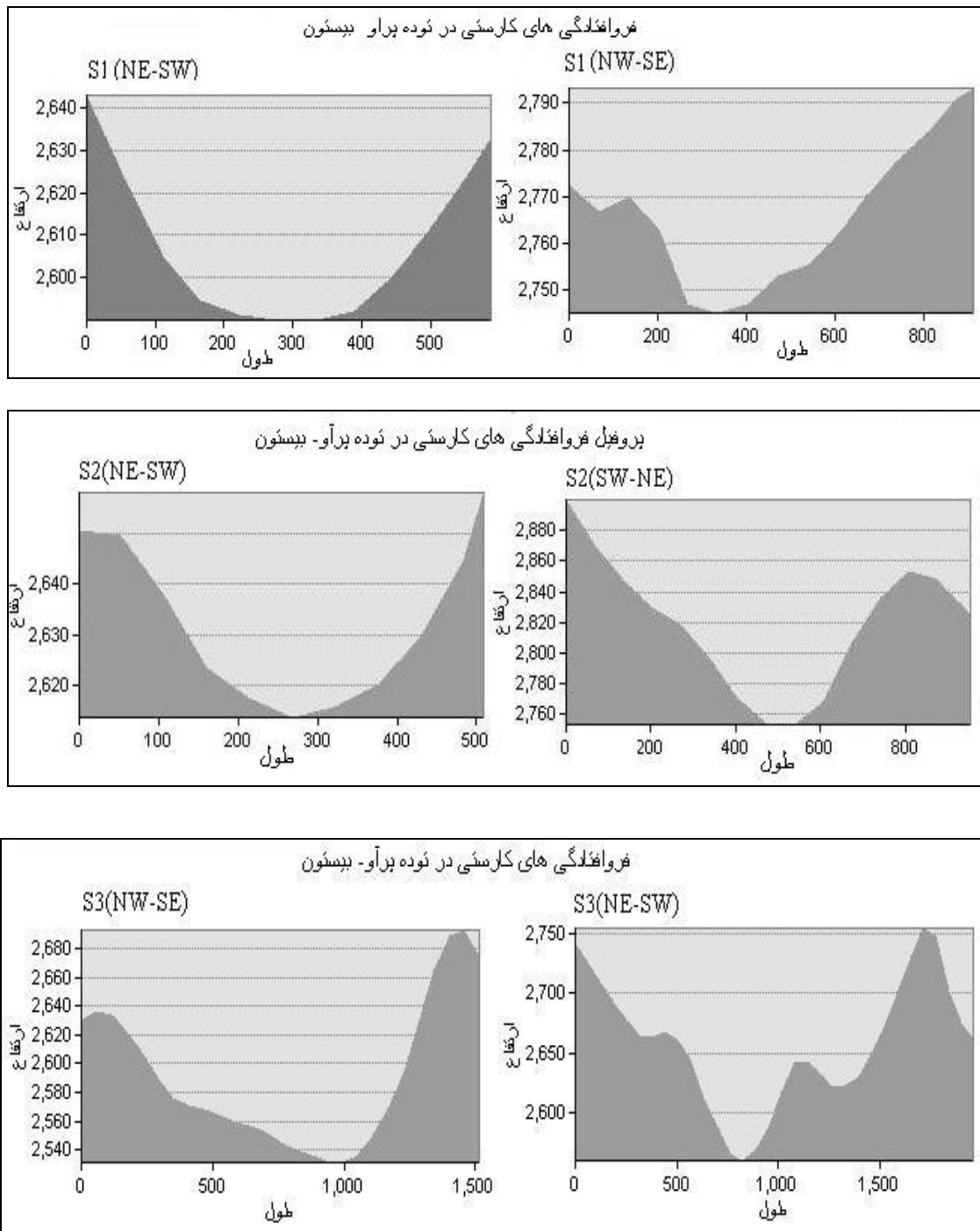
در پایان نسبت به ترسیم پروفیل فروچاله‌هایی در پرآو- بیستون اقدام شد که عمق و مساحت زیاد بعضی از آنها نشان دهنده یک میدان کارستی از فروچاله‌ها (اووالاها) است که به دلیل قدرت تفکیک پایین DEM شناسایی آنها مقدور نبوده است (شکل ۱۴).



شکل ۱۲- فرچه‌ها و میداین کارست (مستخرج از مدل P.D.D)



شکل ۱۳- توسعه میدان کارستی در ارتباط با گسل‌ها



شکل ۱۴- پروفیل سه فروافتادگی کارستی را در جهات مختلف نشان می دهد. وجود دیواره پرشیب در بعضی از این فروافتادگی ها نشان دهنده تأثیرپذیری از گسل ها و شکستگیهایی است که تعمیق و گسترش کارست را موجب شده‌اند.

نتیجه گیری

شرایط توسعه فرایندهای انحلالی و مورفولوژیکی در سطح و عمق وجود داشته و بر اساس تحقیقات ملک‌کی (۱۳۸۰، ص ۹۹)

در توده پراو- بیستون به علت شرایط زمین ساختی و لیتولوژیکی خاصی که بیان می‌شود،

منابع

محمودی، فرج الله و امجد ملک، (۱۳۸۰)، تحول کارست و نقش آن در منابع آب زیرزمینی در نهمواریه‌های بیستون - پراو (کرمانشاه)، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۴۰، ص ۱۰۵-۹۳.

میلانویچ، پتر، (۱۳۷۸)، هیدروژئولوژی کارست، ترجمه از: عبدالوحید آغاسی، انتشارات طرح تهیه استانداردهای مهندسی آب کشور.

Florea. L, (2005), using state- wide gis data to identify the coincidence etween sinkholes and geologic structure, Journal of Cave and Karst Studies, v. 67, no. 2, p.120-124.

Ford. D. and Williams. P, (2007), Karst Hydrogeology and Geomorphology, John Wiley & Sons Ltd1-562.

Frevert. D. K and Singh. V. P, (2005), Watershed Models, CRC Press is an imprint of Taylor & Francis Group, 1-653.

GPW.Jewitt, the eztraction of catchment characteristics from a digital elevation model using a geographic information system (GIS), umgeni water, P O Box9, Pietermaritzburg,3200.

Kenny .F and et al, (2008), Routing overland flow through sinks and flats in interpolated raster terrain surfaces, Computers & Geosciences, 1417- 143.

Liliang. R, (2003), Application of Radar-Measured Rain Data in Hydrological Processes Modeling during the Intensified Observation Period of HUBEX, advances in atmospheric sciences, vol.20,no.2, pp.205-211.

Martz. J. and Garbrecht. L, (1998), The treatment of at areas and depressions in automated drainage analysis of raster digital elevation models, Hydrol. Process. 12, 843-855.

Millanovic, P, T, 2004, water resources engineering in karst, Press LLC, 6, 1-306.

فرایندهای کارستی با شرایط اقلیمی کنونی نیز در ارتفاعات بالای ۲۵۰۰ متر هنوز ادامه دارد.

- وجود لایه‌های ضخیم آهکی با خلوص بالا شرایط توسعه فرایندهای کارستی را در عمق فراهم کرده است.

- گسیختگی‌ها و بهم ریختگی‌های ناشی از فعالیت‌های گسله‌ای شرایط را جهت سمت و سوبخشی به فرایندهای انحلالی در عمق و ایجاد فروچاله‌های منطبق با امتداد درزو شکاف‌ها فراهم کرده و شکل‌گیری ستون‌ها و تاق‌های متعدد و تعمیق هرچه بیشتر فرایندهای کارستی را موجب شده است.

- وجود غارها (غار پراو- بیستون با عمق بیش از ۷۵۰ متر و وجود اووالاها که در سطوح ارتفاعی مختلف در نقش سطح اساس فرسایش محلی ظاهر می‌شوند، نشان دهنده توسعه کارستی عمیق در منطقه است.

- امتداد خطواره‌ها و فروچاله‌ها از روندی یکسان تبعیت می‌کند. فروچاله‌های عمده ای که بر اساس مدل رقومی هیدرولوژی از تصاویر DEM با توان تفکیک ۵۰ متر بدست آمده نشان می‌دهد که روند کلی فروچاله‌ها روندی خطی و در ارتباط با خطواره‌ها و گسل‌ها در منطقه بوده است. پتانسیل تراکم زهکشی نیز وجود نفوذپذیری بالا و تراکم کم زهکشی را در توده پراو- بیستون نشان می‌دهد.