

## 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 تکتونیک 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 پرآو - 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 پرآو - 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.

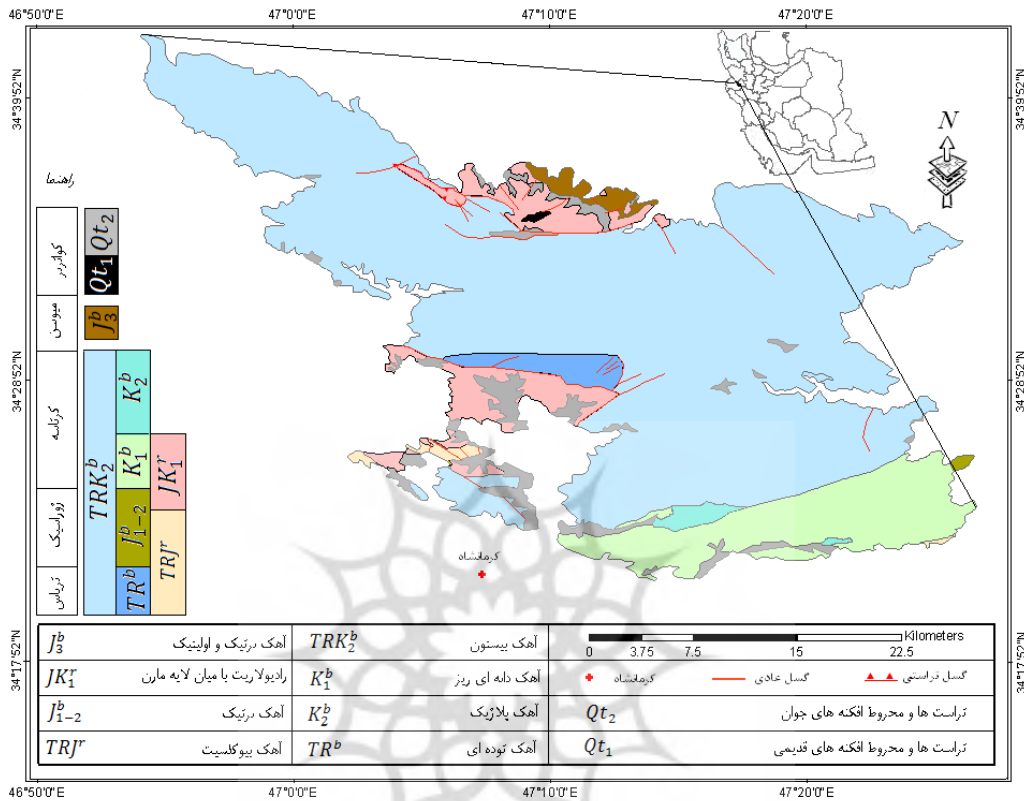
نتایج این تحقیق نشان دهنده تنوع و گسترش اشکال کارستی در منطقه است و فروچاله‌ها به عنوان مهمترین اشکال آگروکارستی ناحیه در نتیجه فرایندهای انحلالی و ریزشی و متأثر از شکستگی‌های منطقه توسعه است. امتداد و روند قرارگیری این اشکال از جهت درزه‌ها و گسل‌های منطقه تبعیت کرده است.

#### 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



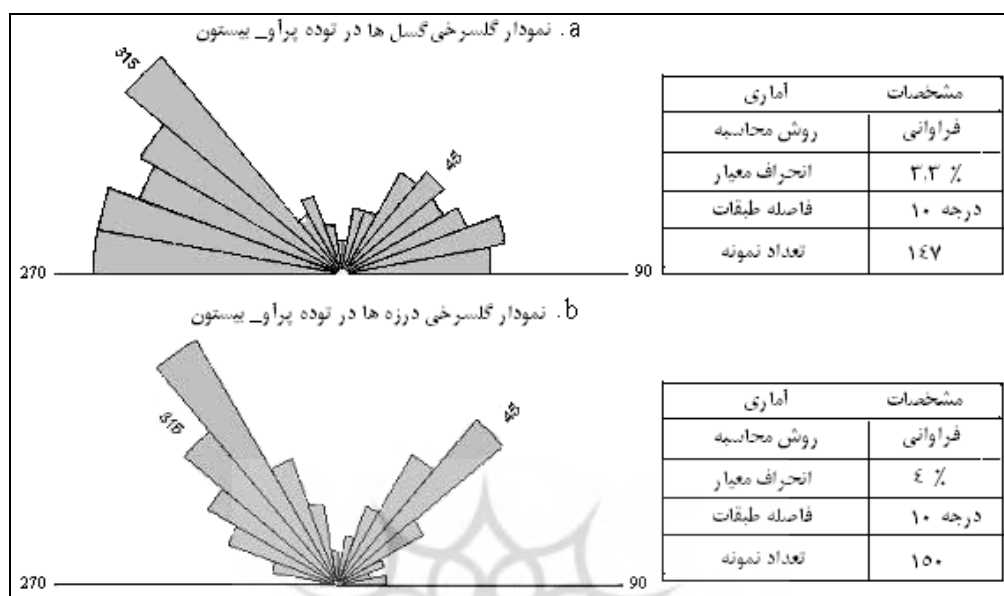
شکل ۱- نقشه زمین شناسی پرآو - بیستون

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

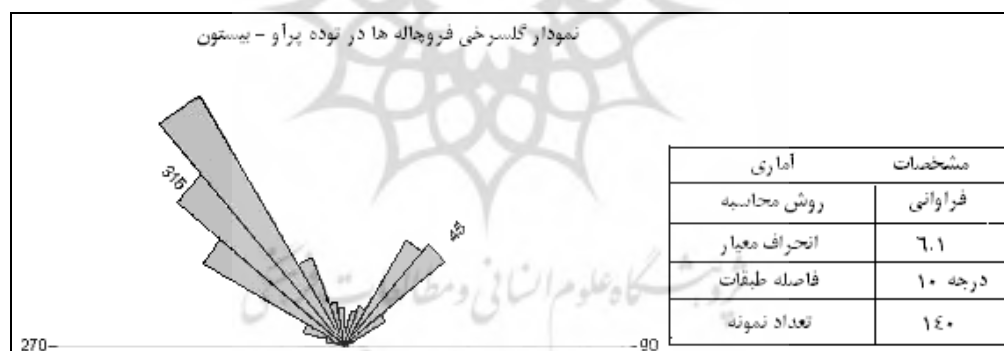
بنابراین، جهت نمایش صریح ارتباط بین فروچاله‌ها و گسل‌ها و درزهای موجود اقدام به تهیه نمودار گلسرخ‌ی از امتدادهای بدست آمده از نقشه‌های ۱/۱۰۰۰۰۰ و کارهای صحرایی مربوط به درزه برداری منطقه گردید (شکل ۲ و ۳). بر این اساس در توده پرآو- بیستون جهت تنش‌ها تقریباً شمالی- جنوبی است و گسل‌های

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 نشان می‌دهند. درزه‌ها و خطواره‌های منطقه نیز با روند مشابهی امتداد آزیموتی ۴۵ و ۳۲۵ درجه 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 پراو- بیستون

فروچاله‌ها شکل دیگری از مورفولوژی کارست در منطقه می‌باشند. فروچاله‌ها به واسطه ابعاد وسیع 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.

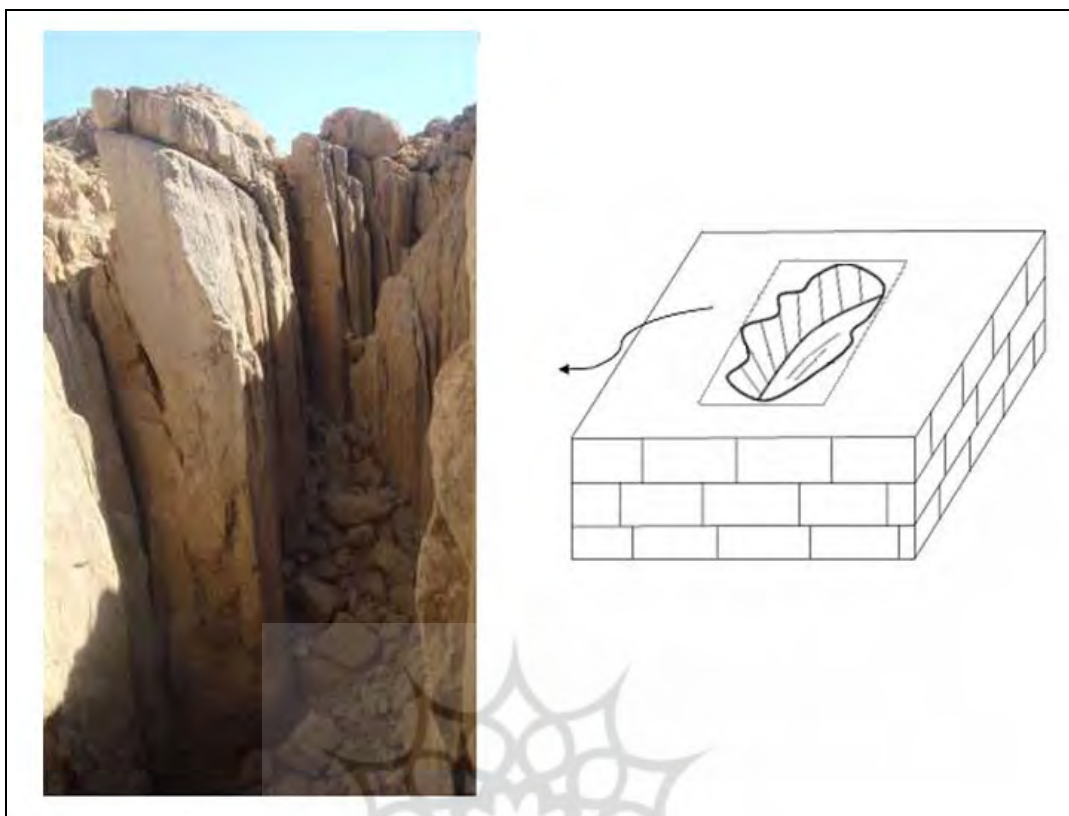
کارن‌ها به طور خطی در امتداد درزه‌ها و شکاف‌های ریز توسعه پیدا می‌کنند و به هنگام توسعه بیشتر در عمق دریافت کننده زهکشی بخش‌های سطحی تر هستند. بنابراین توسعه کارن‌ها نشان دهنده توسعه اپی کارستی شدید و تغذیه بالای آب‌های زیرزمینی هستند. در منطقه دو نوع عمده کارن‌های شیاری و کندوئی (حفره‌ای) شکل گرفته‌اند.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

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 ورودی 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).

بر اساس 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



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).

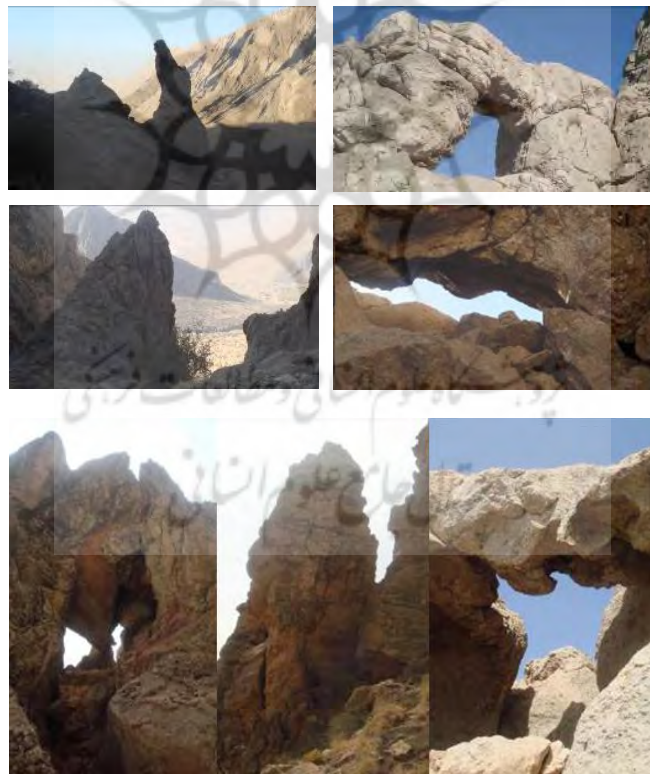
طاق‌های طبیعی اشکال کارستی هستند که علاوه بر انحلال از تخریب مکانیکی گسل‌ها نیز متأثر شده‌اند. طاق‌ها بقایای سقف غارهایی هستند که در اثر فرایندهای مختلف فرسایشی که بر منطقه حاکم است فرو ریخته‌اند و وجود طاق‌های مختلف در کنار اشکال دیگر کارستی نشان از تأثیرپذیری این اشکال از فرایندهای انحلالی است که معمولاً در متداد خطواره‌ها 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<sup>۳</sup>، 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<sup>۱</sup> 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.

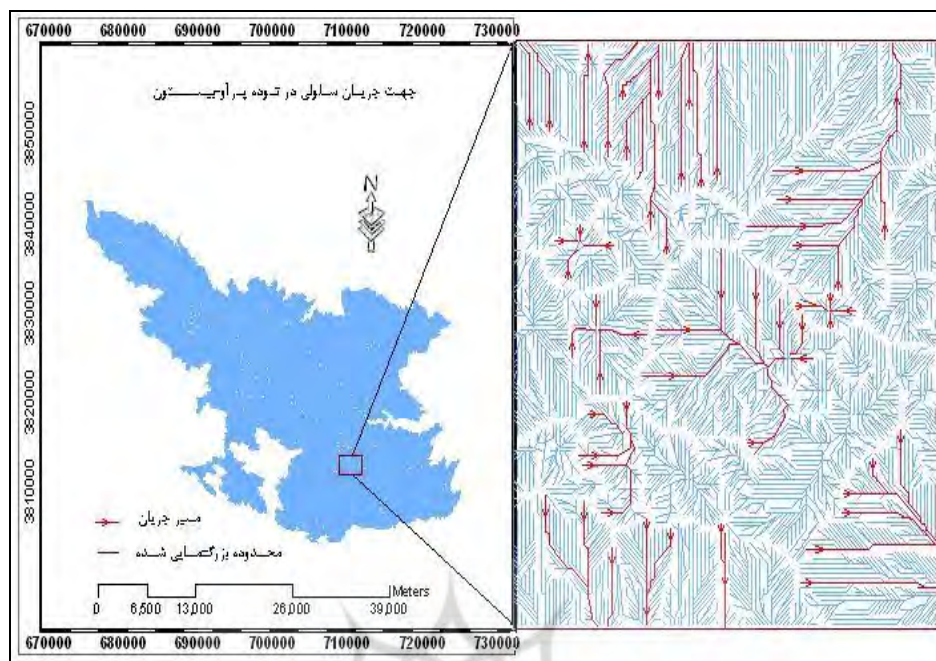
اولین مرحله برای اجرای مدل رقومی ارتفاع پردازش DEM است. در این مرحله از روش DEDNM<sup>۲</sup> (مارتز و گاربریج، ۱۹۹۸، ص ۸۴۷) استفاده شده است این روش به طور دقیقی به سلول‌های نشان دهنده‌ی مکان فروافتادگی‌ها و نواحی مسطح به منظور به حداقل رساندن تأثیر جنرالیزه شدن داده‌های ارتفاعی منطقه می‌پردازد. فرورفتگی‌ها 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 می‌باشند. 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

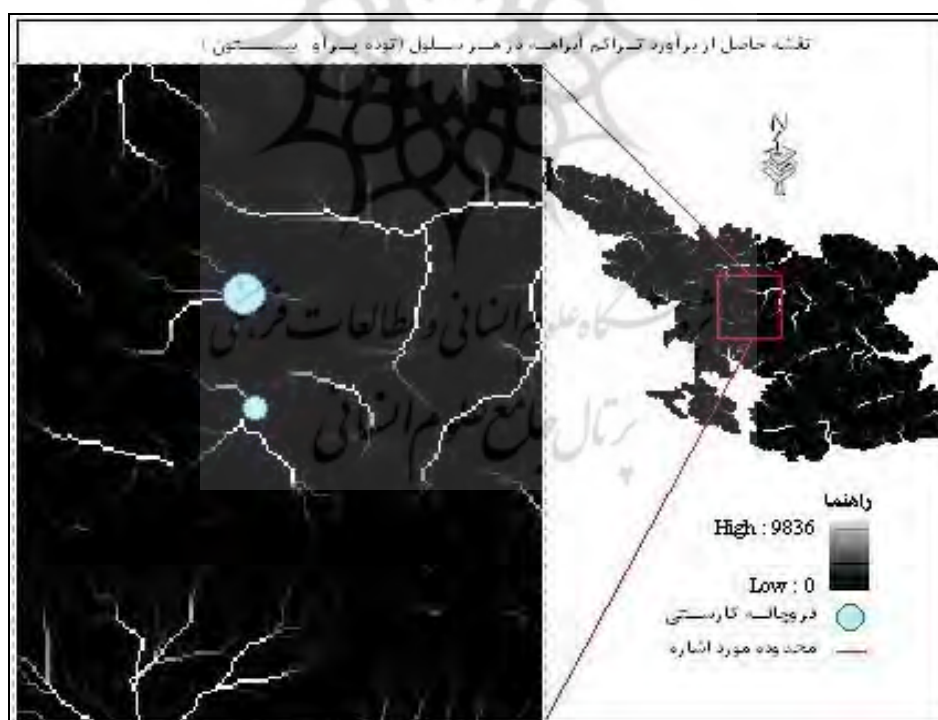
2- Digital Elevation Drainage Network Model

3 Breeching

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



شکل ۸- جهت جریان سلولی در توده پراو- بیستون



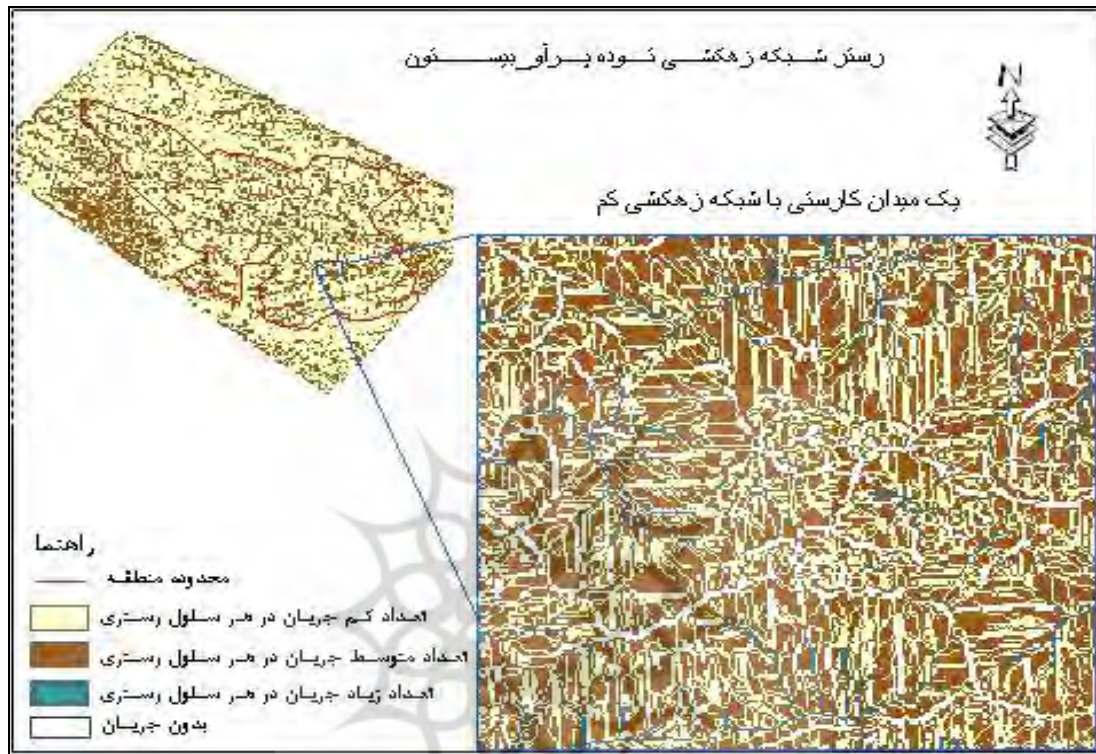
شکل ۹- نقشه تجمعی جریان از سلول‌های اطراف به یک سلول مرکزی (پراو- بیستون)

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



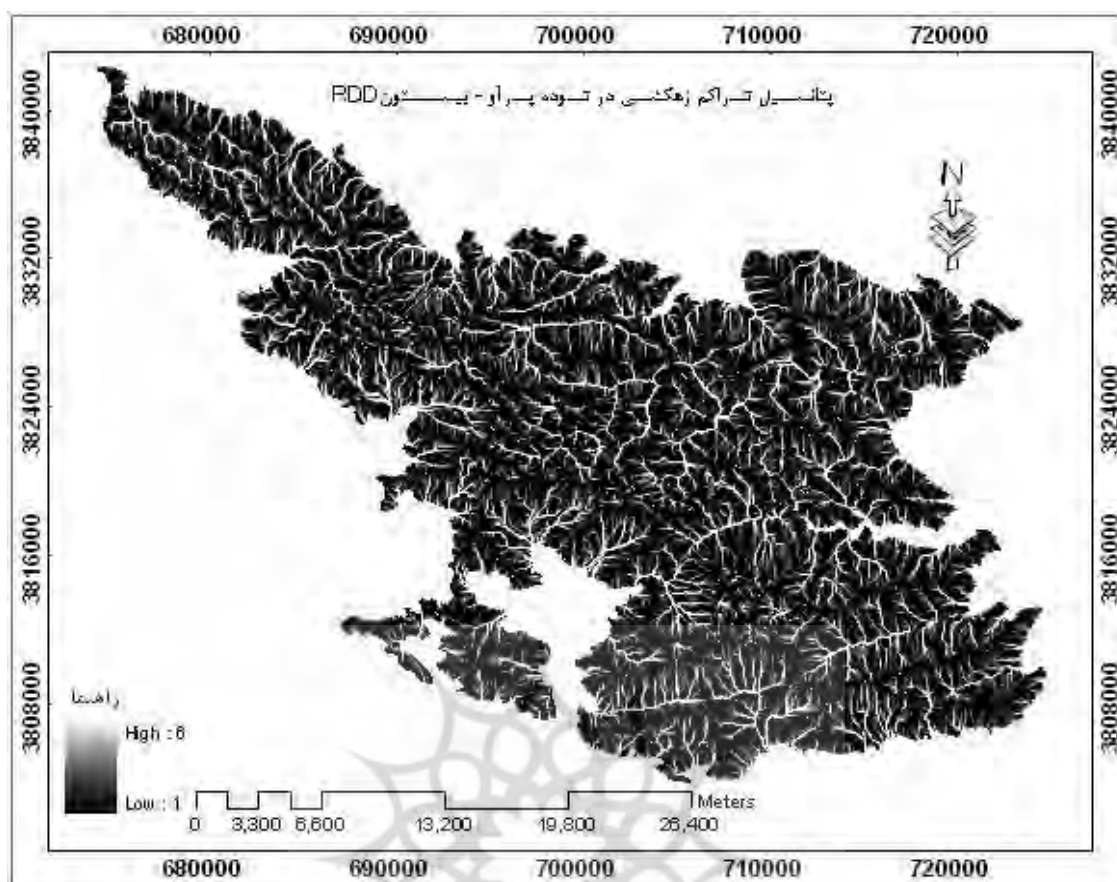
شکل ۱۰- رستر فایل شبکه زهکشی در پرآو- بیستون

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 پرآو- 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

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

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

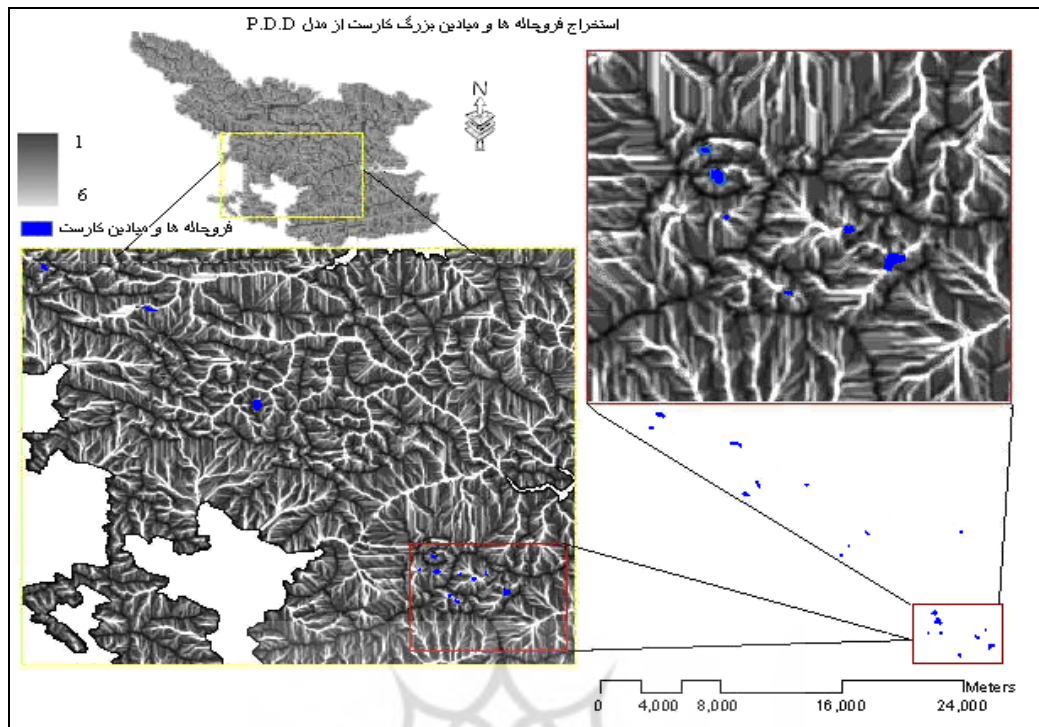
## جدول ۳- فروچاله‌های شناسایی شده از طریق DEM

## در توده پرآو- بیستون

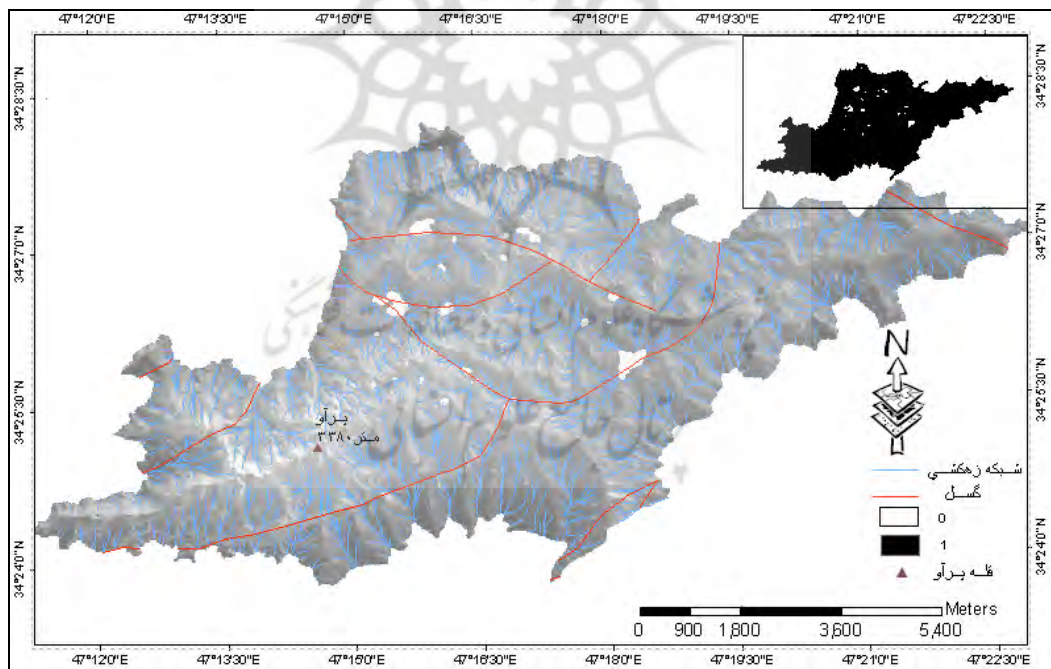
سینک هول	عرض جغرافیایی (utm)	طول جغرافیایی (utm)	مساحت (کیلومتر مربع)
۱	۳۸۲۸۸۷۳.۶	۶۸۹۹۳۲.۲۹	۰.۰۸۲۱
۲	۳۸۲۸۲۱۰.۸	۶۹۰۷۷۳.۸	۰.۰۰۰۴
۳	۳۸۲۷۹۷۴.۱	۶۸۹۳۲۷.۳	۰.۰۱۹۲
۴	۳۸۲۶۷۹۶.۴	۶۹۴۹۲۰.۸	۰.۰۹۵۴
۵	۳۸۲۳۸۷۳	۶۹۹۵۸۷.۹	۰.۰۱۲۹
۶	۳۸۲۳۹۲۲.۳	۶۹۶۳۵۶	۰.۰۲۵۴
۷	۳۸۲۳۶۸۱.۴	۷۱۵۹۸۷.۵	۰.۰۰۱۷
۸	۳۸۲۳۳۳۵.۶	۶۹۵۵۵۵.۵	۰.۰۴۲۹
۹	۳۸۲۰۴۵۶.۲	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	۷۰۷۶۵۸.۸۲	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	۷۰۹۷۰۱	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).

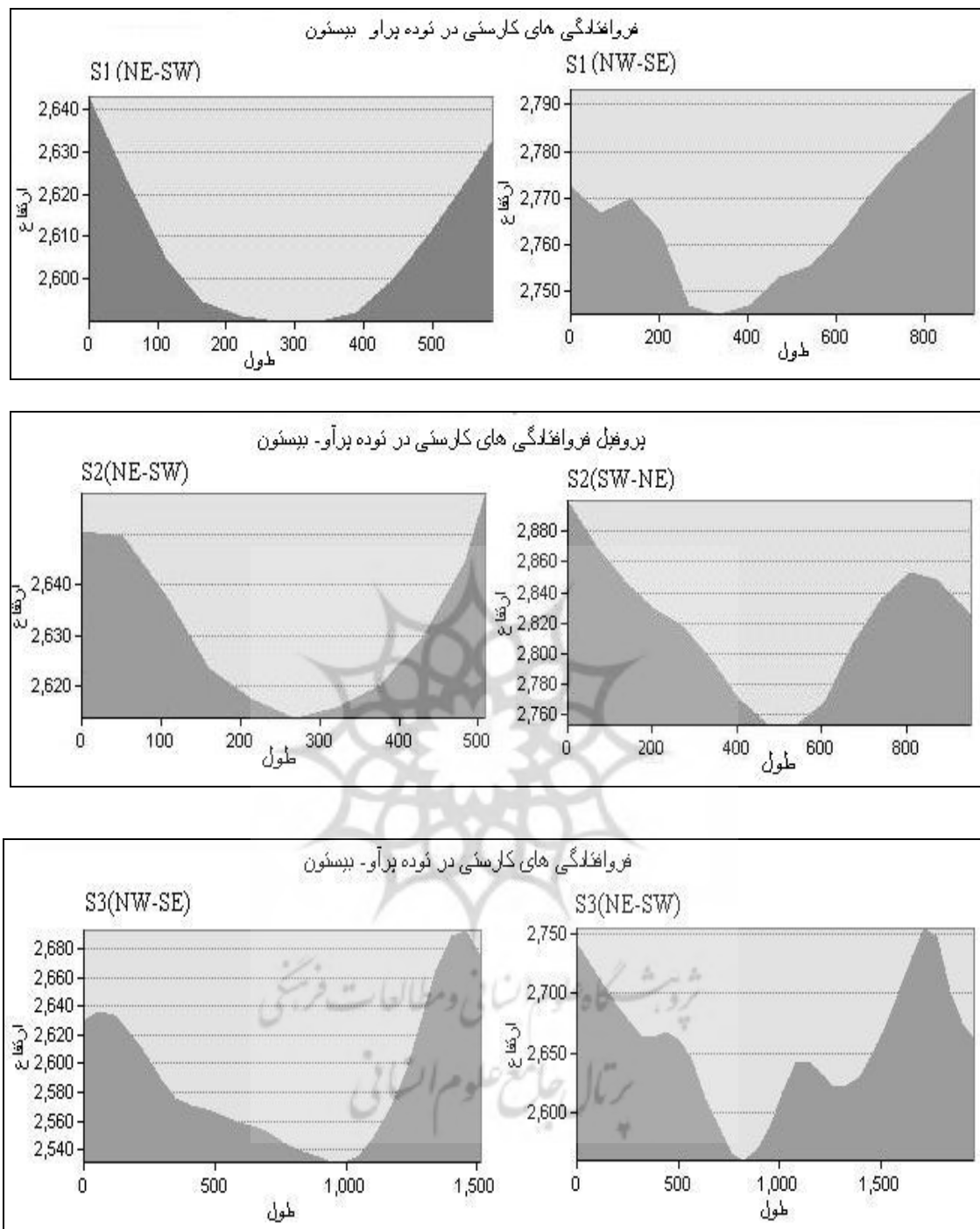


شکل ۱۲- فرجاله‌ها و میداین کارست (مستخرج از مدل P.D.D)



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 ملکعی (۱۳۸۰، ص ۹۹)

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

## منابع

محمودی، فرج الله و امجد ملکی، (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.

## Evaluating morphotectonic karst sinks in Parav - Bistoun mass using DEM

**M. Jafarbeyglou. E.Moghimi. F. Safari**

Received: June 29, 2010/ Accepted: May 14, 2011, 1-4 P

### Extended abstract

#### 1- Introduction

Fractures are one of the most important factors in capability of carbonate rocks permeability. System of fractures and joints bring about penetration and access of water into the deeper layers. Therefore, karstic processes can developed along them and result in variety of karst morphology. In mountainous massif of Parav - Bistoun, Various forms of the karst landscapes such as karrens, uvalas, dolines, caves and soon have emerged due to specific lithology and tectonic. The Depressions are interesting because of great influence of fractures on them and their dimensions. Thus, in this study, morphotectonic consideration of depressions an important part of karstic studies has been marked.

Besides, the study of karst morphology in the region, the morphotectonic recognition of depressions has proceeded in combined with results of fieldwork and processing of DEM.

#### 2- Methodology

In this study, accurate location and orientation of depressions and joints were provided using GPS and compass data collected during fieldwork. In addition, orientations of faults were recognized using a 1/100000 scaled geologic map of the study area and in the next step were digitized. This collected information was processed in Rock Work software and their rose diagrams provided. By processing of digital elevation models in GIS software, depressions location was recognized and drainage density index of the area was surveyed. At the end, after collecting all these data, relation between karstification process and tectonic was attended and karstification rate and its conditions in the area were studied.

Analysis of joints and faults system and its effect on the area:

High brittleness and low flexibility in the thick limestone formations has

---

#### Author(s)

**M. Jafarbeyglou** (✉)  
Assistante Professor of Geomorphology, University of Tehran,  
Tehran, Iran  
e-mail: mjbeglou@ut.ac.ir

**E.Moghimi.**  
Professor of Geomorphology, University of Tehran, Tehran, Iran

**F. Safari**  
M.A. of Geomorphology, University of Tehran, Tehran, Iran

followed the increase of stress effect resulted in creation of various faults with different directions and orthogonal (tensile) - shear in the relief.

The creation of orthogonal faults and crashing in their direction have important role in further permeability of water and create further contact level with bed. It caused the development of karstification process and created of various depressions with bigger dimensions in direction of faults. Therefore, in order to survey relationship between faults & joints and depressions, in addition to tracing rose diagram of depressions resulted from digital elevation models and field work, was traced rose diagram of fault lines that had been divided from 1/100000 scale geologic map and field works.

### 3- Discussion

According to these results, the orientation of tensions in Parav - Bistoun mass is approximately Northern – Southern and faults show Azimuth angles of 45, 75 and 315 degrees.

Joints and fractures with a similar trend show up that the azimuth orientation 45 and 325 degrees in area. Tracing of lengthwise across of depressions shows trend of NW-SE. Thus, the longitudinal axis of the depressions with azimuth angle of 320-330 degrees are consistent with trend of maximum faults and their maximum different with faults of area is 10 degrees.

Therefore, this study shows the development of karstic depressions and development of karst has been fundamentally affected from tectonic situation and tectonic activity in the area.

-Morphology of karst in the study area.

The study of different forms of exokarstic in Parav - Bistoun indicated that, in the result of the dissolution

process at different levels, the karsts create a specific landscape and topography with a variety of forms. The most significant karst forms in the area are sinkholes, dolines, Karens, caves, uvalas and so on. This form indicated differences in dimensions and local dispersal in relationship to suitable circumstances for karstification.

According to the geomorphological evidence of the region (Parav cave with a depth of 751 m and local erosion levels such as great fields of karst in surfaces of low relief) the thickness of Bistoun limestone together with high purity that have potential for dissolution, Depressions of the area lie within dissolution - break down class from sextet categories that introduced by Ford & Williams (2007, p. 341).

The area has various depressions with different dimensions. The biggest depression has depth of 115 m and diameter of 180 m. It shows azimuth angle of 30 degrees. Other karstic forms of area are caves, which recognized as the deepest cave in the whole Middle East and have depth and length of about 751 and 1361m, respectively.

On the basis of studies that has performed by the Ministry of Energy of I.R.Iran

General trend of the cave is according to the main Zagros thrust fault trace.

Uvalas are others form from karst of area that have shaped as a result of great karst development and unifying contiguous depressions. Sometimes, these shapes have created in the realm of depressions development with unevenness bed and sometimes have shaped in downwards of big depressions with evenness bed, as a result of dissolution processes in beneath the earth's surface and have relationship with

infiltrated waters into higher elevations depressions.

Identify of depressions and big karst fields:

Studies have been focusing on more the recognition of exokarstic types in terms of depressions & uvalas using of digital data. In this study, we have surveyed hydrological methods related to depressions and uvalas of the area. Automatic extraction of network and watershed properties from a DEM represents a convenient and rapid way to parameterize a watershed (Garbrecht and Campbell, 1997, 205 p).

With the help of digital hydrological model, the locations that have convergent drainage (without distinct outlet) and frequently have main shaft (without distinct drainage and without cell data) have been extracted as depression. By applying 50 meters resolution DEM, about 20 depressions and karst fields were identified (table 4 and fig.12). Trend of depressions is according to fractures rose diagram that shows development of karst is effective from tension and tectonic activity in the region. Processing of DEM with resolution of 10 m and extract of Figure 13 helps to evoke a more vivid portrayal of karst big field wich indicated in figure 12.

Figure 13 shows depressions with zero cells ratio and blue color. This figure denotes relationship between depressions and faults.

Finally, proceeded toward trace of depressions profile in the area that have great area and depth shows karst field of depressions and identification were impossible because of low spatial resolution of DEM.

#### 4- Conclusion

Due to the specific tectonic & lithologic conditions of Parav - Bistoun mass the development of dissolution has

morphologically existed in surface and depth.

- existence of thick stratum of limestone with high purity has provided development of karst processes.

- raptures that are resultant of fault activities, has provided development of dissolution processes in depth and create depressions according to joints and fractures and also create vaults and columns.

- existence of caves (Parav cave that has depth of about 751) and uvalas that have created in different elevation surfaces and have role of local erosion bases shows that development of karst is extensive in the region.

- the major depressions extracted from 10 meters resolution DEM shows that trend of depressions is linear and is in relationship with lineaments and faults of the region.

**Key word:** Parav-Bistoun, sinkhole, morphotectonic, digital elevation models

#### References

- Florea. L, (2005), using state - wide gis data to identify the coincidence between 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.
- G.P.W. 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, p.205-211.
- Mahmoudi, Farajolah and maleki, Amjad, (2001), the evolution of karst and its role in groundwater resources in Parav-Bistoun (Kermanshah), Geographical Researches, 40, p. 105-93, university of Tehran.
- Martz. J. and Garbrecht. L, (1998), The treatment of flat 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.
- Petar. T, Milanovic, (1981), Karst Hydrogeology, Abdolvahid, Aghasi, Outline provision standards of country water engineering.

