نقش شکستگی‌ها در توسعه کارست – محدوده تاقدیس پابده از زاگرس چین خورده: کاربرد داده‌های ماهواره‌ای و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)

دکتر سعید پیراسته
عضو هیات علمی بخش سنجش از دور و GIS دانشکده مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول

چکیده
توسعه کارست (karstification) از جمله پدیده‌های زمین‌شناسی است که به دلیل هوازدگی و یا فرسایش شیمیایی همراه آب در مواد حل می‌شود، همانند سنگ آهک، دولومیت، ژیپس یا نمک در نزدیک سطح زمین. توسعه کارست غالبا در مناطقی که پوشش عظیمی از سنگ آهک، درز و شکاف وجود دارد و مناطق مرطوب به وجود می‌آید. محدوده تاقدیس پابده لالی بخشی از رشته کوه زاگرس در جنوب غرب ایران جهت مطالعه ارتباط کارست و شکستگی‌های موجود در منطقه انتخاب شد. در این مطالعه کاربرد داده‌های ماهواره‌ای و تحلیل‌های فضایی در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی جهت استخراج اطلاعات و بررسی ارتباط ساختاری-تکتونیک با کارست مورد تاکید قرارگرفت. این بررسی نشان داد که توسعه کارست در منطقه تحت تاثیر عوامل مختلفی قبیل شکستگی ها و تکتونیک می‌باشد. همچنین شکستگی‌ها براساس مطالعات صحرایی و تکنیک‌های سنجش از دور روی تصویر ماهواره‌ای لندست ۷ شناسایی و به‌صورت رقومی ترسیم شد. این مطالعه همچنین بیانگر ارتباط دولین‌های موجود در منطقه با شکستگی‌های غالب می‌باشد. در این بررسی نیز دیده شد که دولین‌ها و زهکش‌ها از شکستگی‌های منطقه تبعیت می‌کنند.

واژگان کلیدی: کارست، سیستم اطلاعات جغرافیایی، داده‌های ماهواره‌ای، سنجش از دور.

مقدمه

سنگ‌های قابل حل در نزدیک و یا روی سطح زمین(همانند ژیپس، سنگ آهک)، شیب هیدرولیکی زیاد که به‌وسیله توپوگرافی خشن و شیب رودخانه و زهکش‌های طبیعی، بارندگی زیاد، فعالیت‌های بیولوژیکی شدید (هوموس)، دما، و فشار از جمله فاکتورهایی هستند که باعث توسعه کارست در مناطق می گردد (www.member.aol.comt). اشکالی که عموما در مناطق کارست ممکن است به وجود آیند شبیه ریز شکل‌ها، زهکش‌های کارستی، دولین‌ها و چاله‌ها، دره‌های کارستی، مخروطه‌ها هستند. مسئله کارست از جمله مسائلی بوده که محققین جهان را در فکر و تحقیق وا داشته است. افراد زیادی از قبیل:
(Jennings,197), (Sweeting, 1972), (Chorly etal, 1984), (Trudgill, 1985), (White,1988), Ford etal, 1989), (Bloom,1998), (Dreybrodt, 1998), (Blair, 2003).

با توجه به مطالعاتی که در مناطق مختلف دنیا صورت گرفته و اهمیتی که رشته کوه زاگرس از نظر توسعه کارستی دارد. (شکل ۱) لذا بخشی از آن جهت مطالعه تاثیر عوامل تکتونیکی در توسعه کارست و ارتباط با شکستگی‌ها انتخاب شد. مورفولوژی مناطق کارست می‌تواند به وسیله اشکالی شبیه دولین ها، غارها و زهکش‌های پیچیده‌ای که در سطح زمین به وجود می‌آید مشخص شود.

اساسا در توسعه کارست عوامل موثری از قبیل لیتولوژی، ساختار، برجستگی‌ها، هیدرولوژی، گیاهان، دما، فشار هواشناسی و زمان وجود دارند که بایستی در نظر گرفته شوند. توسعه کارست زمانی که میزان کربنات افزایش یابد بهتر انجام می‌پذیرد. کربنات زمانی خالص خواهد بود که شامل۹۰٪ کانی‌های کربن دار باشد، اما کارست زمانی شروع می‌شود که حدود۶۰٪ کانی‌های کربن دار وجود داشته باشد (1985, Jenning). توسعه کارست می‌تواند حل شدگی با دی اکسید کربن و ترکیبی از آب باشد که اسید کربنیک تشکیل می‌شود. فرمول زیر این رابطه را نشان می‌دهد(www.showcave.com).

الف) $CO_2+H_2 \Leftrightarrow H_2\ CO_3$

در فرمول ب نشان داده می‌شود که اسید کربنیک چگونه در سنگ اهک حل می‌شود و کارست را تشکیل می‌دهد(White, 1988).

ب) $CaCO_3+CO_2+H_2O \Leftrightarrow Ca^{2+}+2HCO^3$

تاقدیس پابده در شمال خوزستان در محدوده لالی از رشته کوه زاگرس از جمله مناطق کارستی ایران است که توسط داده‌های ماهواره‌ای و تکنیک‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و تلفیق با داده های زمینی و نمونه‌هایی که در آزمایشگاه انجام گرفته، مورد بررسی قرار گرفت. استفاده از داده‌های ماهواره ای

شکل۱) چشم انداز نمونه کارست در منطقه طاقدیس یابده لالی

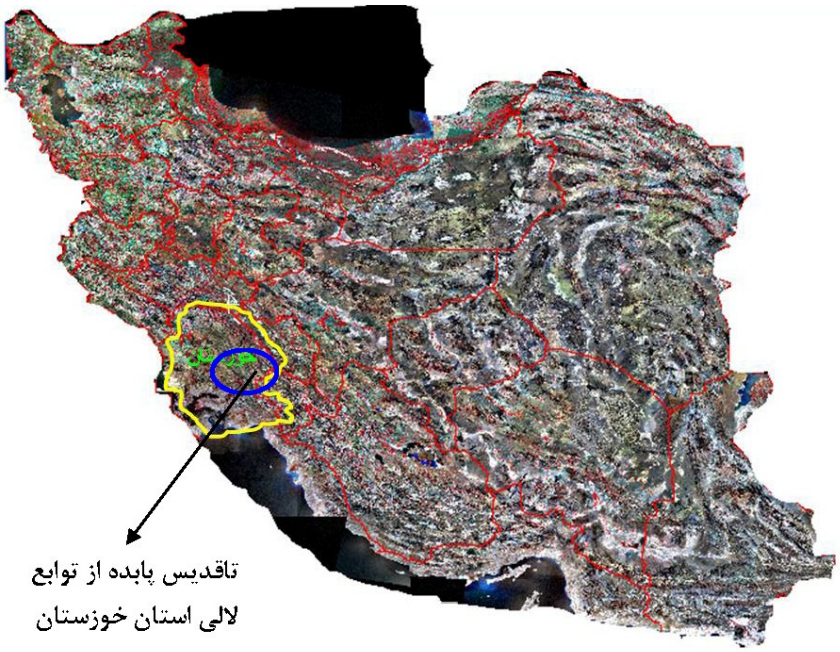
لندست ۷ با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر (باند ۱و۲و۳و۴و۵و۷) و ۱۵ متر (باند ۸) امکان بررسی دقیق تر عوارض روی سطح زمین و وسعت بیشتری را در مدت زمان کمتری داد. تکنیک‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی و تحلیل‌هایی که در آن محیط صورت گرفت باعث بالا بردن دقت در مطالعات شناخت منابع آب شد. اهمیت استفاده از این تکنیک‌ها با توجه به کنار گذاشتن روش‌های سنتی و استفاده از فن مدرن دنیا از جمله موضوعاتی است که در این مطالعه مد نظر بود و جایگاه این علم و تکنیک در مطالعات منابع آب مشخص گشت که نهایتاً کلیه داده‌های رقومی در بانک اطلاعاتی GIS ذخیره شده و به آسانی قابل دسترسی می‌باشند. به‌طور کلی هدف از این مطالعه در موارد زیر بیان شده است:

۱- ارتباط شکستگی‌ها و فعالیت‌های تکتونیکی در توسعه کارست
۲- تهیه نقشه‌های متنوع رقومی در محیط GIS در توجیه توسعه کارست
۳- تهیه نقشه زمین‌شناسی رقومی در مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ منطقه و ترسیم رقومی شکستگی‌ها
۴- ارتباط دولین‌های موجود در منطقه و علت ارتباط آن‌ها با همدیگر.

محدوده مورد مطالعه

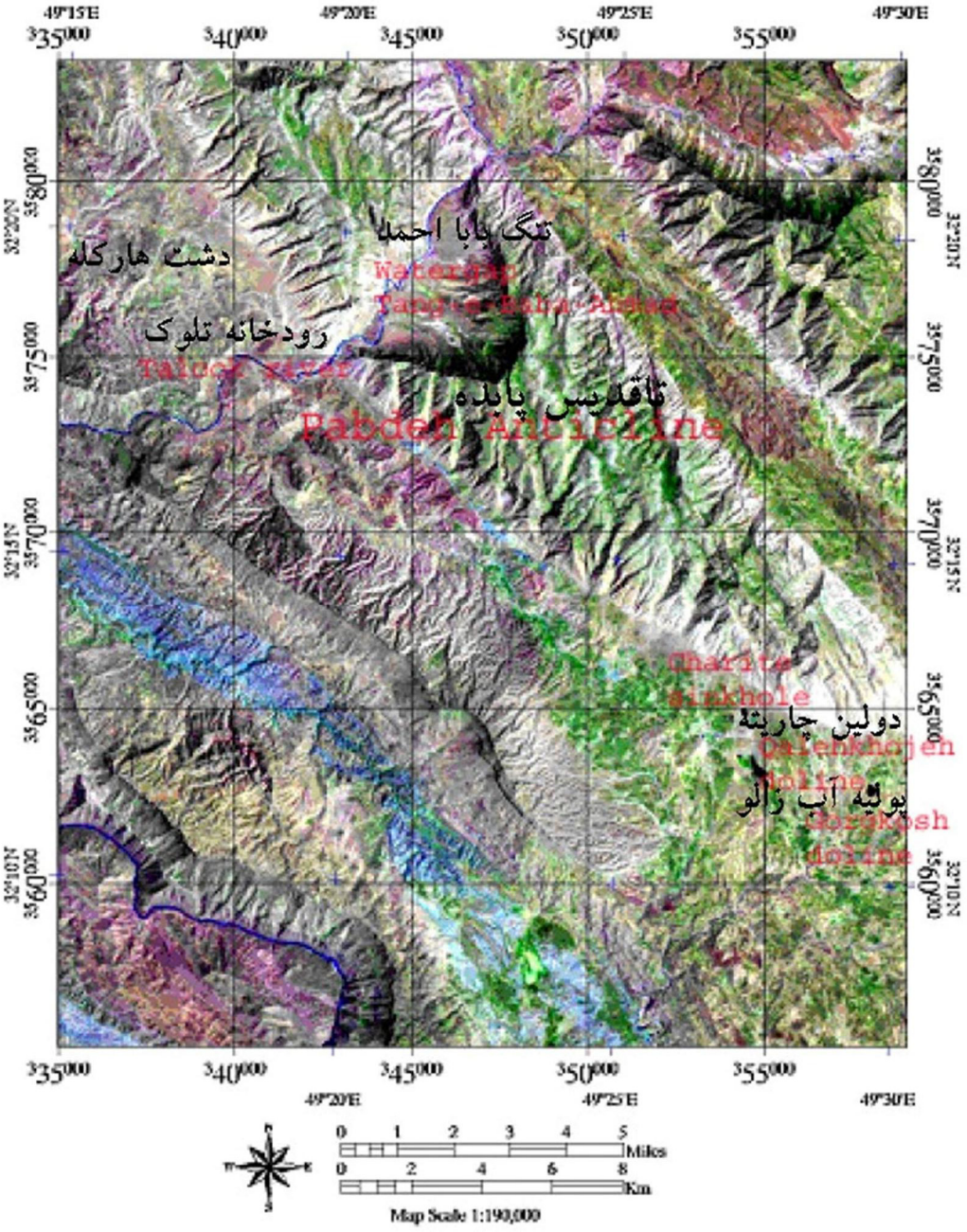
استان خوزستان ایران (شکل ۲) با مساحتی بالغ بر۶۸ هزار کیلومتر مربع در جنوب غربی ایران واقع گردیده است. این استان از شمال به استان لرستان، از شمال شرقی به استان اصفهان، از شمال غربی به استان ایلام از طرف مشرق و جنوب شرق به استان‌های چهارمحال و بختیاری، کهگیلویه و بویر احمد و بوشهر از جنوب به خلیج فارس و از مغرب به کشور عراق محدود است.

محدوده مورد مطالعه تاقدیس پابده در طول جغرافیایی ۴۹ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۴۹ درجه و ۳۰ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۳۲ درجه و ۳۰ دقیقه شمالی در سلسله جبال زاگرس واقع



شکل۲- موقعیت استان خوزستان و منطقه مورد مطالعه در کشور

گردیده است (شکل ۳). تاقدیس مورد مطالعه از شرق به بخش اندیکا و از غرب به شهرستان لالی منتهی می‌گردد. بلندترین نقطه تاقدیس با ارتفاع تقریبی ۱۵۰۰ متر و پست‌ترین نقطه آن ارتفاعی حدود ۷۰۰ متر را در بر می‌گیرد. همچنین تاقدیس مذکور در شمال شرق شهرستان لالی و در شمال غرب شهرستان مسجد سلیمان قرار دارد.



شکل ۳- تصویر ماهواره‌ای ۲-۴-۷ منطقه تاقدیس پابده لالی

روش تحقیق

پس از مطالعات میدانی و بازدیدهای مکرر صحرایی برای استخراج اطلاعات به کمک داده های ماهواره‌ای و تکنیک‌های GIS از نرم افزارها و نقشه‌های متفاوت بهره‌گیری شد. نرم افزارها شامل:
۱- ENVI (Environmental Visualization Image) ۳,۶ -۲ Arcview ۳,۲ -۳ ArcInfo -۴
ER-Mapper ۶,۲-۷ Microsoft Office ۲۰۰۰ -۶ Microstation J -۵ Rivertools۲,۴

نقشه‌ها و سایر داده‌ها شامل: ۱- نقشه‌های زمین‌شناسی ۱۰۰۰۰۰: ۱ شرکت نفت ایران ۲- نقشه های توپوگرافی ۲۵۰۰۰: ۱ سازمان نقشه برداری کشور ۳- تصویر ماهواره‌ای منطقه ردیف/ گذر (۰۳۸/۱۶۵)، ماهواره LANDSAT سری۷ که در این مطالعه ازداده‌های رقومی سنجنده +ETM این ماهواره مربوط به مورخ ۲۰۰۲-۰۵-۲۸ تهیه شده از سازمان سنجش از دور ایران استفاده شده است۴- بازدیدهای مکرر صحرایی ۵- دستگاه سیستم موقعیت جهانی Global Positioning System (GPS) جهت نمونه برداری موقعیت چشمه‌ها.

پردازش تصویر

الف) **تصحیحات هندسی:** در این تحقیق داده‌های ماهواره‌ای Landsat 7-ETM + که به صورت تصحیح نشده بود، با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی رقومی به مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ و برداشت ۵۰ نقطه کنترل زمینی Ground Control Points (GCPs) در نرم افزار ERMapper ۶,۱، تصحیح گردید. روش کار بدین صورت بود که تصویر ماهواره‌ای به عنوان نقشه تصحیح نشده و نقشه‌های رقومی به عنوان نقشه پایه معرفی شد، سپس به کمک ۵۰ نقطه کنترل زمینی در کنار بازدیدهای صحرایی به کمک GPS معرفی شده به تصویر، تصحیحات هندسی اعمال و تصویر تصحیح شده به‌دست آمد.

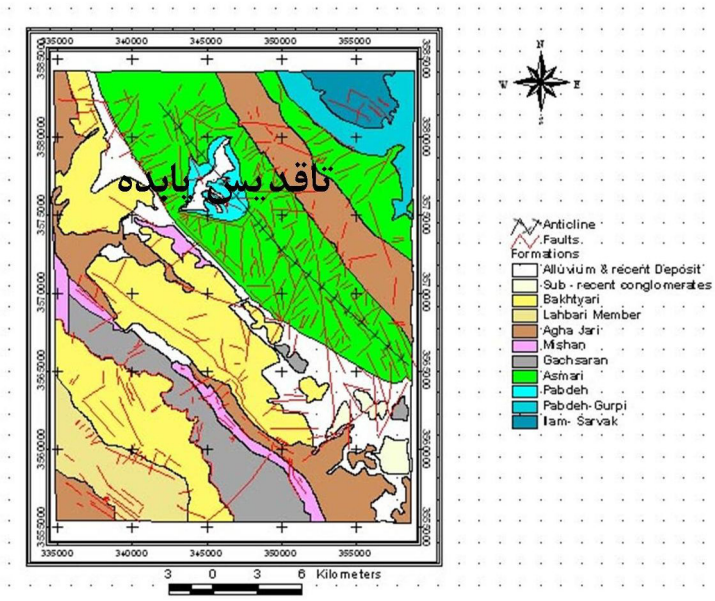
ب) **واضح سازی تصاویر:** بررسی خطواره‌ها در روش سنجش از دور بیشترین کاربرد را در مورد حوضه های کارستی و سنگ‌های کریستالین و به‌عبارت دیگر سنگ‌های سفت شده‌ای که دارای نفوذپذیری اولیه پایینی هستند دارا می‌باشند. واضح سازی به منظور بارزسازی عوارض روی تصویر و ارتقای تفسیر با استفاده از نرم‌افزار Envi3.6 به روش linear 2% انجام گرفت. سپس در این مطالعه از تصویر ماهواره‌ای تصحیح شده در باندهای مختلف با استفاده از نرم افزار ENVI ۳,۶ برای ساخت ترکیب کاذب رنگ‌ها False Color Composite (FCC) به منظور واضح‌سازی و تفسیر بهتر بعضی عوارض استفاده شد. با توجه به مطالعات زمین‌شناسی و ساختاری، ترکیب‌های کاذب رنگی مختلفی تهیه و مقایسه گردید. به کمک بارزسازی عوارض خطی در محیط ENVI ارزش‌های طیفی خاصی برای ایجاد تصویر جدید انتخاب شد. در این تحقیق فیلتر خطی با اندازه کرنل ۳*۳ روی تصویر انجام گرفت. این فیلتر بهترین بارزسازی را در طول موج ۰/۷۵ تا ۰/۹۰ میکرومتر (Ali and Pirasteh,2004) را دارا است. با استفاده از این تکنیک کلیه شکستگی‌ها ظاهر و رقومی شدند.

نقشه رقومی زمین‌شناسی

در مطالعه حاضرنقشه زمین‌شناسی اسکن شده پابده لالی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ تهیه شده توسط شرکت ملی نفت ایران مورد استفاده قرار گرفته است. تصویر ماهواره‌ای با ساخت FCC ۲-۳-۴ پردازش شده قدرت تفکیک را در جهت تشخیص لیتولوژی و مرز سازندها بالا برد و همچنین با استفاده از مشاهدات صحرایی پی

در پی از کنتاکت واضح بین لایه‌ها (شکل۴) و نقشه زمین‌شناسی تهیه شده از منطقه مرز سازندها مشخص شد، سپس از طریق عملیات رقومی‌سازی برداری روی تصویر لیتولوژی‌ها تفکیک شده و بردارها در محیط GIS در نرم افزار Arc Info جهت ساخت توپولوژی انتقال داده شد. سپس در محیط Arcview3.2 نقشه سازندها تهیه گردید. اساس و معیار شناسایی سازندهای متفاوت در منطقه با استفاده از عناصر فتوگرافیکی و ژئوتکنیکی تصویر (Ali and Pirasteh,2004) صورت گرفت. سپس با اعمال فیلتر خطی انجام گرفته روی باند۴ در نرم افزار ENVI بسیاری از پدیده‌های ساختاری از جمله گسل‌ها و خطواره و چین‌ها شناسایی شدند و لایه‌های برداری بر روی تصویر رقومی شدند و به صورت file Shap به Arcview منتقل و بر روی نقشه سازند اضافه گردید و نهایتا نقشه رقومی زمین‌شناسی منطقه با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ از منطقه تهیه گردید (شکل ۵). در این نقشه تعداد زیادی از شکستگی‌ها که در مطالعات زمینی به سختی قابل دسترسی و شناسایی است از طریق تکنیک‌های سنجش از دور (Pirasteh, 2004) روی تصویر ماهواره‌ای شناسایی و ترسیم شدند.

شکل ۴- کنتاکت لیتولوژی



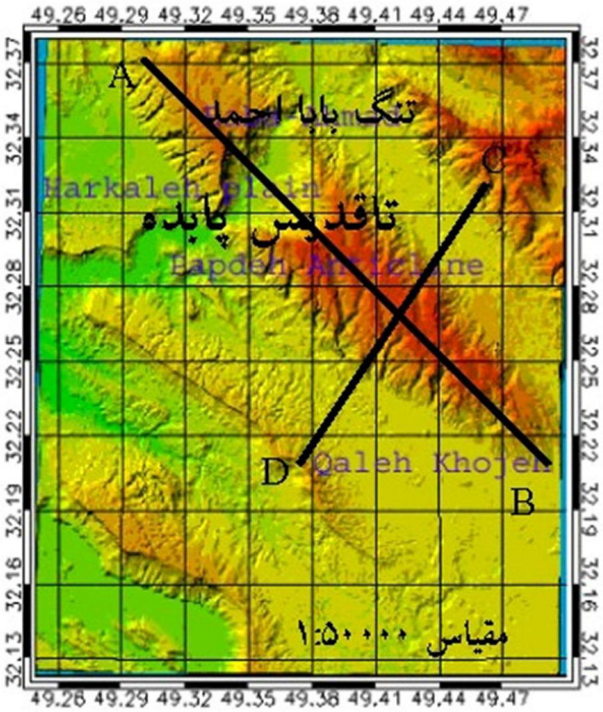
شکل ۵- نقشه زمین‌شناسی رقومی تاقدیس پابده لالی جنوب غرب ایران رشته کوه زاگرس

ساخت مدل ارتفاعی رقومی Digital Elevation Model(DEM)

نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری با استفاده از نرم افزار MicrostationJ تبدیل به داده‌های خصیصه‌ای x,y,z شدند. داده‌های خصیصه‌ای جهت آماده‌سازی GIS و از بین بردن خطاهای موجود از نقشه‌های موجود سازمان نقشه‌برداری کشور تصحیح و به نرم افزار Rivertools جهت ساخت شبکه و نهایتا مدل ارتفاعی رقومی معرفی شد (شکل ۶). در تهیه مدل ارتفاعی رقومی اندازه جزء تصویر(Pixel size) ۲۰ متر به جهت بالا بردن دقت به‌کار برده شد.

زمین‌شناسی

تاقدیس پابده از لحاظ زمین‌شناسی ناحیه‌ای براساس تقسیم‌بندی در ناحیه زاگرس چین خورده یا زاگرس خارجی و بر پایه تقسیم‌بندی Berberian (1995) در ناحیه کمربند ساده چین خورده قرار می گیرد. سن سازندهای مورد مطالعه در منطقه عمدتاً از کرتاسه زیرین تا عهد حاضر می‌باشد. آهک‌های نازک لایه ایلام – سروک قدیمی‌ترین سنگ‌های منطقه هستند که بر روی آن‌ها سازند شیلی مارنی پابده و گوریی، سازند آهکی آسماری، لایه‌های گچی و مارنی سازند گچساران، مارن و آهکی سازند میشان، ماسه سنگ‌ها مارن‌های سازند آغاجاری، کنگلومرای بختیاری و رسوبات آبرفتی به ترتیب قدمت قرار می‌گیرند(شکل ۵). طول محور تاقدیس مذکور ۲۷ کیلومتر است و روند عمومی تاقدیس شمال غرب – جنوب شرق می‌باشد و قسمت اعظم این تاقدیس از لایه‌های آهکی درز و شکاف دار سازند آسماری تشکیل گردیده است. در منطقه مذکور پدیده‌های ژئومورفولوژیک کارست به خوبی قابل مشاهده است.

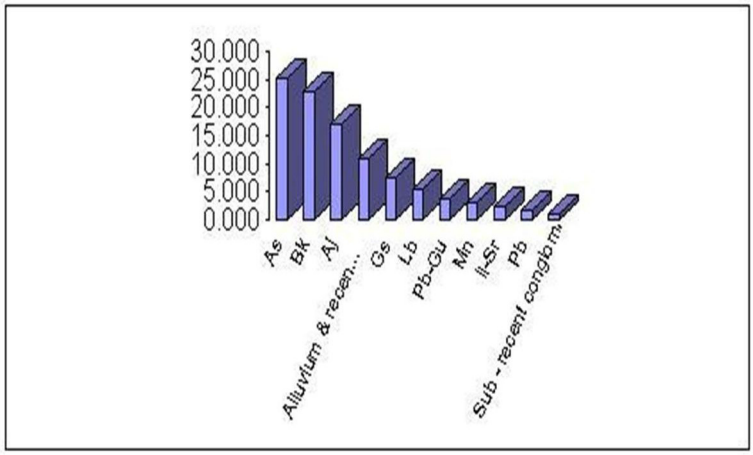


شکل۶- مدل ارتفاعی رقومی

گسل‌های متعددی در لایه‌های سنگی تاقدیس مذکور وجود دارد (شکل ۵) که نقش اصلی در افزایش میزان خرد شدگی و نفوذ پذیری را دارا می‌باشند. این گسل‌ها عمدتا به موازات محور تاقدیس و در امتداد لایه‌های سنگی می‌باشند (شکل ۱۴). تفاوت شیب لایه‌ها در دو طرف گسل‌های مذکور به خوبی مشخص است. شیب عمومی لایه‌بندی در قسمت شمال محل گسل‌ها عموما بین ۱۰ تا ۲۵ درجه متغیر است در حالی‌که در قسمت جنوبی گسل‌ها بین ۴۰ تا ۷۰ درجه متغیر می‌باشد، که محل ظهور چشمه بی بی تلخون (شکل ۷) در امتداد تغییر شیب لایه‌ها در اثر گسل‌های موازی با محور تاقدیس می‌باشد.

سارندهای زمین‌شناسی که در منطقه مورد مطالعه رخنمون دارند، با هدف شناخت و ارزیابی وضعیت چینه شناسی و میزان درصد هر سازند برروی سیستم هیدروژئولوژیکی در مناطق کارستی مورد مطالعه قرار گرفت. تحلیل‌های انجام شده با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، درصد لیتولوژی سازندهای مختلف در منطقه به‌صورت مجزا بررسی شد (شکل ۸).

شکل ۷ - عکس چشمه بی بی تلخون



As= سازند آسماری، Bk= سازند بختیاری، Aj= سازند آغاجاری، Gs= سازند گچساران، Pb= سازند پابده، Gu= سازند گورپی، Il= سازند ایلام، Sr= سازند سروک

تکتونیک و زمین‌شناسی ساختمانی

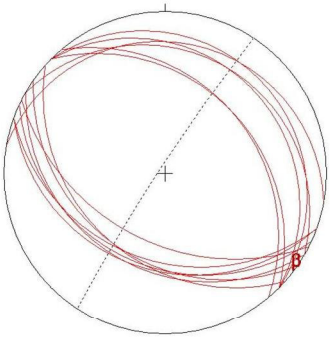
حوضه مطالعاتی پابده از نظر زمین‌شناسی ساختمانی دارای وضعیت پیچیده‌ای می‌باشد. به‌طوری‌که نیاز به مطالعات دقیقی دارد. این وضعیت ساختاری متاثر از حرکات تکتونیکی بعد از رسوبگذاری حوضه، که در تکوین روند رشته کوه‌های زاگرس نقش عمده‌ای داشته است، می‌باشد. به‌طور کلی خصوصیات یال های شمالی تاقدیس‌های موجود در زاگرس از نظر سیستم گسلش و شیب لایه‌ها با هم متفاوت بوده واین امر نشان‌دهنده نیروی فعال تکتونیکی قوی از یک طرف و مقاومت سپر عربستان از طرف دیگر است که باعث پیدایش چین خوردگی زاگرس می‌شود. تمامی حوضه رسوبی زاگرس در ادوار مختلف زمین‌شناسی مرتباً در حال رسوبگذاری، فرونشینی، کوهزایی، خشکی زایی و بالاخره فرسایش می‌باشد(Pirasteh, 2004). جنبش های کوهزایی زاگرس در دوره میوپلیوسن از قوی‌ترین حرکات تکتونیکی بوده است که در نواحی جنوب غربی ایران رخ داده است. پدیده‌های تکنونیکی نظیر سیستم‌های درزو شکاف، گسل‌ها، شیب تندلایه‌ها، لایه‌های برگشته و عادی، زمین لغزش‌ها و پدیده‌های کارستی نظیر غار، حفرات انحلالی، فرسایش‌های نوع کارن و غیره در سازند آسماری در منطقه لالی و تاقدیس پابده مشاهده می‌شوند. توسعهٔ کارست در قسمت‌های مختلف منطقه ناشی از اختلاف شرایط زمین‌شناسی می‌باشد.

باتوجه به آن‌که درزه‌ها درمطالعه آبخوان کارستی اهمیت به‌سزایی دارند وضعیت درزه‌ها در ارتباط با خصوصیات هیدروژئولوژیکی بیانگر این است که در منطقه مورد مطالعه مخزن اصلی کارستی، تاقدیس پلانژدار پابده می‌باشد. سازند آهکی آسماری به‌عنوان بیشترین سازند تشکیل دهنده در منطقه، ایجاد تاقدیس نموده وحرکات تکتونیکی که در منطقه موجب چین خوردگی این لایه‌ها شده و حرکات بعدی تکتونیکی که موجب خرد شدن و ایجاد درز و شکاف‌های ثانویه شده‌اند محیط مساعد ایجاد پدیده کارستی شدن بوده و مخزن اصلی کارست منطقه را تشکیل داده است.

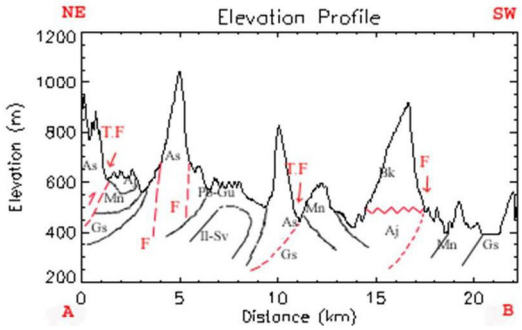
چین‌ها

چین‌خوردگی‌ها به‌دلیل نقشی که در هدایت آب و بروز سیماهای کارستی دارند و مطالعات هیدروژئولوژیکی حائز اهمیت می‌باشند. حرکت و چرخه آب در امتداد عمود بر لایه‌های چین‌خوردگی محدود و به موازات آن افزایش می‌یابد. پدیده‌های انحلالی در هسته چین‌ها که تحت شرایط فشاری هستند به ندرت شکل می‌گیرند و چنین پدیده‌هایی عموماً به موازات محور چین و در دامنه‌های آن تشکیل می‌گردند.

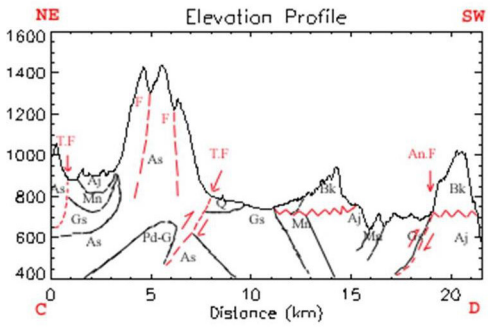
محور تاقدیس پابده با جهت‌گیری موازی با ساختار اصلی زاگرس یعنی در جهت شمال غرب–جنوب شرق می‌باشد. شیب یال‌های جنوب غربی حدود ۴۵ درجه می‌باشد که به سمت پلانژ تاقدیس مقدار آن کاهش می‌یابد. چین‌خوردگی‌ها به‌دلیل نقشی که در هدایت آب و بروز سیستم کارستی دارند در مطالعات هیدرولوژیکی دارای اهمیت است.حرکت و چرخه آب در امتداد عمود بر لایه‌های چین خوردگی محدود و به موازات آن افزایش می‌یابد. پدیده‌های انحلالی در هسته چین‌ها که تحت شرایط نیروی فشارشی هستند به‌ندرت شکل می‌گیرد و چنین پدیده‌هایی عموما به موازات محور چین و در دامنه آن‌ها تشکیل می‌شود. در منطقه لالی تاقدیس‌های پابده و گورپی از مهم‌ترین سیماهای چین خورده می‌باشند که یال‌ها و مغزه‌های آن‌ها عمدتا از سازندهای آهکی است. تاقدیس‌های مذکور آبخوان‌های کارستی را در منطقه به وجود می‌آورند. از فرسایش سازندهای ناپایدار پابده و گورپی در دو طرف و به موازات محورهای این تاقدیس، دره‌های U شکل شبیه تنگ بابا احمد (شکل۳) تشکیل شده است. تأثیر جهات نیروهای تکتونیکی بر لایه‌های مقاوم سازند آسماری و



شکل ۹ - نمودار تاقدیس پابده با پلانژ جنوب شرقی محور و یال‌هایی که شیب شمال شرقی و پر شیب جنوب غربی



شکل ۱۰ الف- مقطع عرضی زمین‌شناسی(A-B)



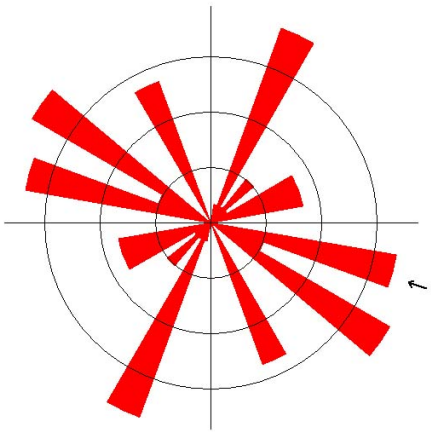
شکل ۱۰ ب- مقطع عرضی زمین‌شناسی (C-D)

شکل۱۱- تنگ بابا احمد، رخنمون‌های طبقات سازند آسماری و سازند پابده گورپی در هسته تاقدیس پابده (دید NE)

گسلش پی سنگ، ایجاد چینی با اعوجاج و حالت سینوس با تکرارهای خاص آن شده است که نتیجه این عمل شکستگی‌ها یا گسلش در تاقدیس بوده است. جهت‌گیری محور تاقدیس پابده همانند سایر ساختارهای اصلی زاگرس در جهت شمال غرب – جنوب شرق می‌باشد. شیب یال جنوبی تاقدیس حدود ۴۵ درجه می‌باشد که به سمت پلانژ کاهش می‌یابد. جهت شیب یال‌های تاقدیس پابده در یال شمالی به سمت شمال شرق و در یال جنوبی به سمت جنوب غرب است که پلانژ تاقدیس نیز جنوب شرق می‌باشد. شکل۹ موقعیت فضایی تاقدیس پابده را نشان می‌دهد.

از آن‌جایی که در تاقدیس‌ها حرکت آب از دو یال به سمت پلانژ در شرایطی که تراز پلانژ پایین‌تر از تراز یال‌ها باشد وجود دارد، پلانژ تاقدیس‌ها مساعدترین نقاط جهت حفر چاه می‌باشند. ولی با توجه به شکل ۱۰ الف و ۱۰ ب در این منطقه محدوده شمال شرقی پلانژ تاقدیس از لحاظ تراز ارتفاعی در موقعیت بالاتری نسبت به سایر نقاط قرار دارد که این مطلب نشان‌دهنده بالاآمدگی محور تاقدیس در محدوده فوق و جهت شیب آن به سمت دره تنگ بابا احمد (شکل ۱۱و۶) می‌باشد.

از دیگر موارد مهم و قابل توجه در حوضه کارستی زاگرس اختلاف توپوگرافی یک یال تاقدیس نسبت به یال دیگر می‌باشد که باعث عدم تقارن تاقدیس می‌گردد و یال دارای ارتفاع کمتر از نظر تشکیل آبخوان کارستی از اهمیت بیشتری برخوردار است. این موضوع در تاقدیس پابده کاملاً واضح است. یال شمال شرق این تاقدیس از لحاظ موقعیت ارتفاعی نسبت به یال جنوب غربی بالاتر است که خود در تشکیل چشمه بی بی تلخون در یال جنوب غربی (شکل ۷) مؤثر بوده است و مبین توسعه یافتگی بیشتر آبخوان کارستی در یال جنوب غربی است. در جنوب غرب تاقدیس پابده ساختار ناودیسی با روند شمال غرب–جنوب شرق وجود دارد که در مرکز آن سازند بختیاری یعنی جوان‌ترین سازند منطقه مورد مطالعه رخنمون داشته و دشت هارکله (شکل۳) در آن واقع می‌شود. در صورتی‌که در شمال شرق تاقدیس پابده، ناودیسی با روند شمال غرب – جنوب شرق و پلانژ جنوب شرق وجود دارد که دارای عرض کمتری نسبت به ناودیس جنوب غربی بوده و در ضمن در مرکز آن سازند آغاجاری رخنمون دارد که بسیاری از خروجی‌های چشمه‌های یال شمال شرق تاقدیس پابده از این سازند می‌باشد.



شکل ۱۲ – نمودار شکستگی‌ها و گسل‌های اصلی در منطقه بی بی ترخون

گسل‌ها

مطالعه گسل‌ها به‌دلیل اهمیتی که در هدایت و نفوذ آب، ایجاد تخلخل ثانویه، تشکیل چشمه‌ها و پونورها دارند، ضروری می‌باشد لذا گسل‌های منطقه مورد مطالعه، با توجه به بررسی داده‌های ماهواره ای و مدل ارتفاعی رقومی و بازدیدهای صحرایی برداشت گردیده‌اند. گسل‌های موجود در منطقه غالباً از نوع تراستی می‌باشند. در یال جنوب غربی تاقدیس پابده یک گسل سرتاسری به موازات محور تاقدیس وجود دارد و با توجه به بازدیدهای صحرایی این گسل، گسل تراستی با امتداد $^{\circ}$۱۳۰-$^{\circ}$۱۱۰ می‌باشد (شکل ۱۲). گسل های عرضی عمود بر محور تاقدیس با امتداد $^{\circ}$۰۴۰ - $^{\circ}$۲۰ ۰ به وفور در منطقه دیده می‌شوند که نقش و اهمیت به‌سزایی در توسعه آبخوان کارستی دارند (شکل ۱۴و ۱۳). اظهار نظر در مورد عملکرد دقیق این گسل ها نیازمند وجود داده‌های پیزومتری در اطراف این گسل‌ها می‌باشد. از آن‌جایی‌که گسل‌های راندگی نسبت به گسل‌های نرمال مجاری انحلالی کمتری ایجاد می‌کنند لذا ظهور این گسل‌های عرضی تحت تأثیر نیروهای تکتونیکی بعدی نقش قطعی را در ایجاد جهات مسیرهای غالب حرکت آب ایفاد می‌کند. همچنین به نظر می‌رسد که دو سیمای ژئومورفولوژیکی پولیه آب زالو و دولین چاریته (شکل ۳) از نظر آبخوان و ساختاری تکتونیکی داشته باشند.

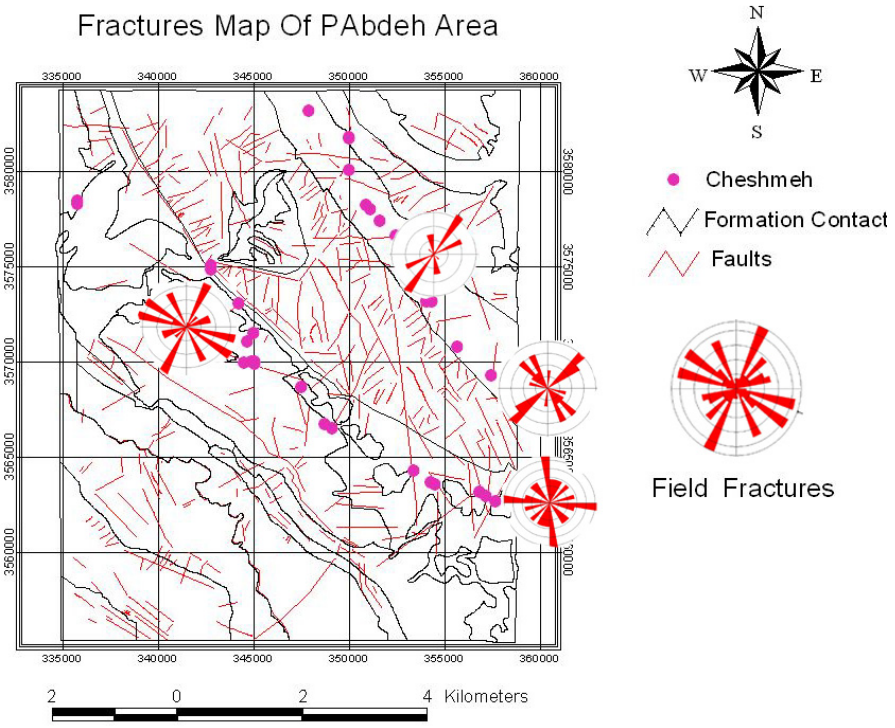
علاوه بر گسل‌های موجود در تاقدیس پابده، گسل راندگی اندیکا در فاصله ۹ کیلومتری جنوب غرب تاقدیس پابده وجود دارد که این گسل با طولی حدود ۵۰ کیلومتر از شمال شرق لالی عبور کرده و به سمت جنوب شرق از شمال گدارلندر (محل سد کارون مسجد سلیمان) عبور می‌کند. عملکرد این گسل باعث راندگی گچساران (فرادیواره) بر روی سازند بختیاری (فرو دیواره) گشته و دگر شکلی‌های شدید و پرتگاه گسلی شدید ایجاد کرده است. در واقع می‌توان دو پلکان گسلی عمده در منطقه مورد نظر را ارائه داد. یکی در شمال منطقه یعنی در یال جنوب غربی پابده و دیگری در جنوب غرب منطقه که گسل اندیکا می‌باشد نقش اساسی در مورفولوژی منطقه از شمال شرق به سمت جنوب غرب را ایفا می‌کند.

شکل ۱۳ - نمایی از شکستگی‌های غالب موجود درمنطقه از یال شمالی تاقدیس پابده

شکستگی‌ها و خطواره‌ها

شکستگی‌ها سطوح انفصال در طبقات سنگی می‌باشند که در امتداد آن‌ها سنگ‌ها مقاومت خود را از دست می‌دهند. اگر در راستای شکستگی جابه‌جایی مشاهده شود،گسل نامیده می‌شود و در غیر این صورت تحت عنوان درزه‌ها مطرح می‌شوند. مطالعه شکستگی‌ها (شکل۱۳)، به‌دلیل اهمیتی که در هدایت و نفوذ آب، ایجاد تخلخل ثانویه، تشکیل چشمه‌ها، پونورها و به‌طور کلی توسعه کارست دارد ضروری می‌باشد. در یال جنوب غربی تاقدیس پابده، چندین گسل سرتاسری به موازات محور تاقدیس وجود دارد که از نوع گسل‌های تراستی باشد. در محل ظهور چشمه بی بی تلخون در تنگ بابا احمد گسل‌های عمود بر روند تاقدیس به‌وضوح مشخص می‌باشند. همچنین مظهر چشمه بی بی تلخون نمایانگر گسلی به‌موازات محور تاقدیس می باشد. بررسی اطلاعات ماهواره‌ای و مشاهدات صحرایی نشاندهنده عملکرد شدید گسل‌ها ودرزه‌ها بر توسعه کارست بوده وبه‌طور کلی دارای راستای طولی، عرضی و مورب می‌باشند (شکل۱۴).

درزها از فراوان‌ترین شکستگی‌هایی هستند که در محیط‌های کارستی مشاهده می‌شوند. چون وجود آب ثقلی در شکاف‌هایی با قطر ۱ تا ۲ میکرون هم امکان‌پذیر است. لذا درزهای موجود در سطح زمین می‌توانند معابر انتقال آب از سطح به اعماق باشند. اشکال کارستی نظیر کارن، شافت و غیره در امتداد درزها شکل می‌گیرند. درزهای کششی در ایجاد و توسعه کارست از اهمیت به‌سزایی برخوردارند. این نوع درزها دارای بازشدگی بیشتری نسبت به انواع برشی می‌باشند (Ford and et al, 1983). در این مورد وجود آب زیرزمین تابعی از نفوذپذیری ثانویه می‌باشد که حاصل عملکرد زون‌های شکستگی است. اگر چه در هر دو مورد حوضه‌های کارستی – سنگ‌های کریستالین پیدایش آبخوان ناشی از عملکرد تخلخل ثانویه ناشی از زون‌های شکستگی نفوذ پذیر می‌باشد. ولی یک تفاوت اساسی بین این دو وجود دارد. در سنگ‌های کربناته گسل‌ها و



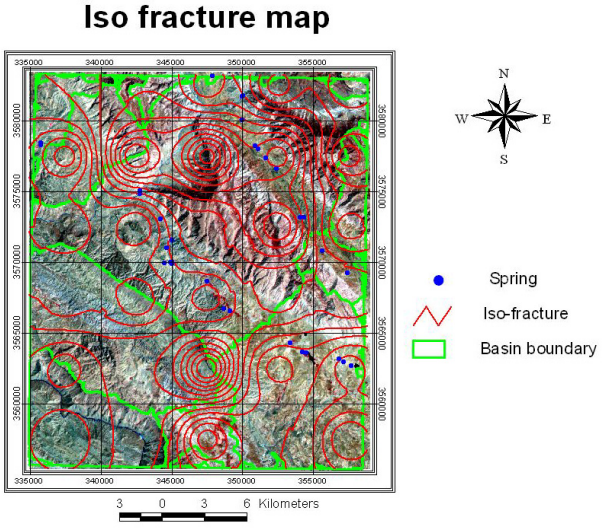
شکل ۱۴– نقشه شکستگی‌ها و گسل‌های موجود در منطقه تاقدیس پابده با موقعیت چشمه‌ها.

بحث و نتیجه گیری

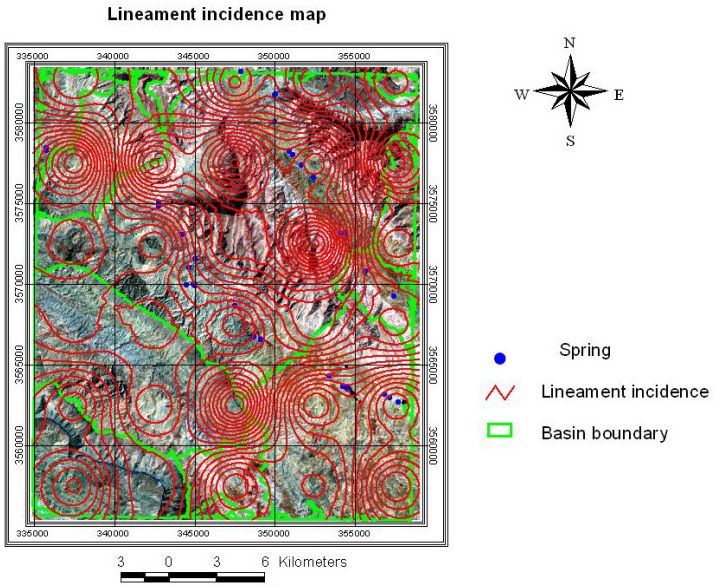
با استفاده از نقشه پایه پراکندگی اثر شکستگی‌ها (خطواره‌ها) نقشه‌های خطوط تراکم تعداد شکستگی‌ها (شکل ۱۶)، خطوط تراکم طول شکستگی‌ها (شکل۱۷) و نقشه خطوط تراکم تلاقی شکستگی‌ها (شکل ۱۸) ترسیم گردید. در این نقشه‌ها جهت محور ناهمگن بر اساس محل منحنی‌های بسته مشخص گردیده است که بر این اساس روند محورها در تاقدیس پابده به‌طور کلی منطبق بر روندهای ساختمانی زاگرس چین خورده است. بر این اساس در راستای محور تاقدیس پابده منحنی‌های تراز هم طول و منحنی‌های ترازهم تعداد و منحنی‌های نقاط تلاقی، منحنی‌های بسته‌ای را تشکیل داده‌اند که نشان‌دهنده تمرکز بالای شکستگی ها و خطواره‌ها در این تاقدیس بوده و روند این تمرکزها منطبق بر گسلش پی سنگ و تأثیر گسل‌های اصلی بر تاقدیس می‌باشد (Ford and et al, 1983). از جهت محورهای ناهمگنی در تفسیرهای مربوط به تعیین جهت جریان در آبخوان کارستی کمک گرفته شده است. بر این اساس در تاقدیس پابده، جهت جریان آب در آبخوان کارستی در جهت طولی از SE به سمت NW و در جهت عرض از NE به سمت SW بیشتر از جهات دیگر باشد.

بازدیدهای صحرایی در کنار مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که دو سیمای ژئومورفولوژیکی پولیه آب زالو و دولین چاریته (شکل ۳) در منطقه بر اثر توسعه کارست به‌وجود آمده است. این مطالعه ارتباط بین آن‌ها را از نظر آبخوان و ساختاری- تکتونیکی نشان داد. در این مطالعه نشان داده شد که پولیه آب زالو در مقایسه با دولین چاریته در ارتفاع پایین تری است لذا به نظر می‌رسد با توجه به هم روند بودن شکستگی‌های غالب و شیب توپوگرافی منطقه آب دولین چاریته وارد پولیه آب زالو (شکل ۳) می‌گردد. با توجه به این که دولین‌ها در کنار اماکن مسکونی قرار دارد لذا بایستی عوامل موثر در تغذیه آن‌ها در نظر گرفته شود. این مطالعه همچنین نشان داد که سیماهای کارستی در یال جنوبی تاقدیس پابده بعلت تراکم شکستگی‌ها بیشتر ظاهر می‌شوند.

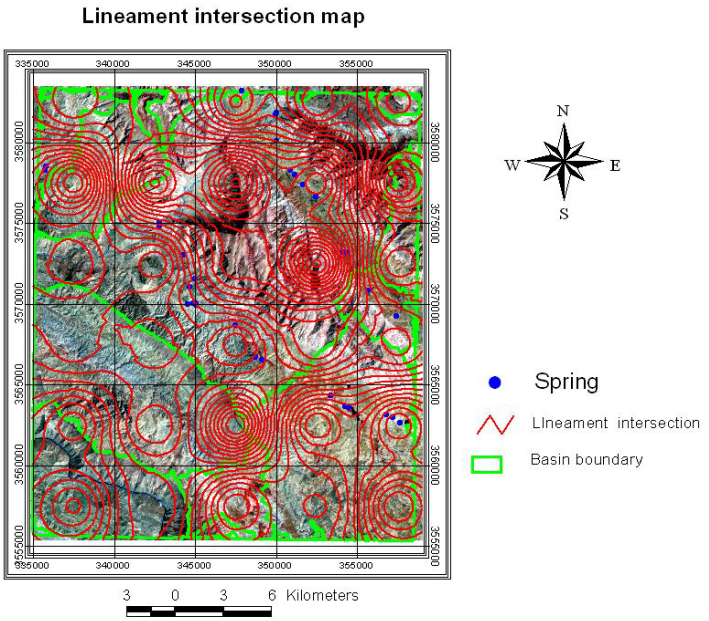
تنگ بابا احمد (شکل ۳) که عمود بر محور تاقدیس پابده قرار دارد از سمت شمال شرق با تناوبی از لایه‌های مارن و ماسه سنگ سازند آغاجاری شروع می‌شود که تحت تاثیر حرکت رودخانه تلوک (شکل۳) کاملاً فرسایش یافته‌اند و با مورفولوژی خاص خود و در انتهایی‌ترین نقطهٔ تنگ منطبق با چشمه بی‌بی تلخون ارتفاع دیواره کاهش می‌یابد. با توجه به روند غالب شکستگی‌ها در منطقه (شمال شرق ـ جنوب غرب) که این



شکل۱۶ - نقشه خطوط تراکم تعداد شکستگی‌ها



شکل ۱۷- نقشه خطوط تراکم طول شکستگی‌ها

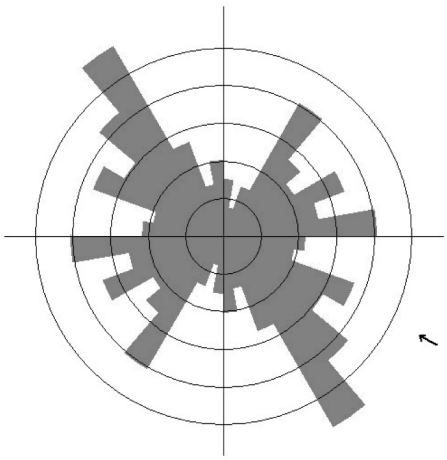


شکل ۱۸- نقشه خطوط تراکم تلاقی شکستگی‌ها

درزه‌ها همراه خلل و فرج اولیه و سطوح لایه‌بندی در طی عمل انحلال گسترش می‌یابند به‌طوری‌که با گذشت زمان، ضریب هدایت هیدرولیکی آبخوان افزایش می‌یابد. در یک سنگ آهک توده‌ای گاه بعضی از حفرات ممکن است به‌حدی وسعت یابند که تشکیل مجراهای غارشکل با قابلیت هیدرولیکی بالایی را بدهند که جریان آب زیرزمینی در آن‌ها آشفته است و آبخوان ناهمگن قابل توجهی را در ویژگی‌های هیدرولیکی خود نشان می‌دهد.

در حالت دیگر که آبخوان از شبکه شکستگی‌های متراکم تری تشکیل شده باشد پدیده انحلال ممکن است شبکه‌ای از مجراهای باریک را تشکیل دهد که به جریان افشان در حوضه منجرشده و لذا آبخوان از نظر ویژگی هیدرولیکی همگن باشد. با توجه به فرض بالا مناطقی که دارای فراوانی زیاد خطواره‌ها می‌باشند، دارای درجه بالایی از شکستگی‌ها هستند که این خود مبنای مطالعاتی است که تراکم خطواره‌ها را مورد بررسی قرار می‌دهد تا مناطق مناسبی را برای اکتشافات هیدروژئولوژیکی مشخص کند. نقشه تهیه شده با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای به کمک بازدیدهای صحرایی از کارست تاقدیس پابده (شکل۱۴) نشان می‌دهد که الگوی پراکندگی شکستگی‌ها و خطواره‌ها تحت تأثیر مستقیم و یا غیرمستقیم ویژگی‌های ساختاری، چینه سازی، سنگ شناسی و تکتونیک منطقه می‌باشد. الگوی پراکندگی شکستگی‌های مرتبط با چین در سازند آسماری بسیار منظم و یکنواخت است. آنچه که در این مطالعه حائز اهمیت است نقشی است که شکستگی ها و خطواره‌های تکتونیکی در هدایت و جهت دادن به جریان آب زیرزمینی در مناطق کارستی ایفا می‌کنند. لذا در بررسی آن‌ها، توجه اساسی به درزه‌ها و گسل‌ها به عنوان آثار شکست و خطواره‌های غالب در داده های ماهواره‌ای معطوف شده است.

برای تعیین امتداد غالب شکستگی‌ها در منطقه مورد مطالعه به تهیه نمودار گلسرخی شکستگی های منطقه اقدام شد. بر این اساس راستای غالب $N\ ۲۰^{\circ}$-۴۰° و $N\ ۱۳۰^{\circ}$ -۱۱۰° می‌باشد که نمایانگر غالب بودن شکستگی‌های عرضی و طولی نسبت به تاقدیس است. در ضمن شکستگی‌ها و خطواره‌های N-S و W-E مشاهده می‌شود که این روندها ناشی از گسل‌های پی سنگ مؤثر بر منطقه مورد نظراست (شکل ۱۵).



شکل ۱۵- نمودار گلی کلیه خطواره‌های تاقدیس پابده

خود اهمیت تاثیر فاکتورهای تکتونیکی را در تشکیل این تنگ نشان می‌دهد. با ایجاد این نقطه ضعف در تاقدیس پابده توسط حرکات تکتونیکی جهت‌گیری رودخانه تلوک و حرکت آن در این مسیر عامل فرسایش افزایش یافته و منجر به هر چه بیشتر گود شدن تنگ بابا احمد شده است.

در بخش‌های داخل تنگ، در قسمت شمال غربی سطوح نشست به‌خوبی دیده می‌شوند که نشان دهنده این موضوع است که آبخوان کارستی بخش شمال غربی تاقدیس پابده در مواقع بارندگی به‌دلیل پر شدن مخزن، سطح آب آبخوان کارستی بالا می‌آید و گرادیان هیدرولیکی به سمت تنگ بابا احمد برقرار می‌شود و آب به سمت تنگ باباحمد زهکش می‌شود.

داده‌های ماهواره‌ای و به‌کارگیری تکنیک‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی جهت تهیه نقشه‌های به‌هنگام و با دقت بالا در مناطقی مثل تاقدیس پابده که تردد مشکل دارد بسیار مفید و مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این مطالعه با استفاده از داده‌های ماهواره توانسته شد نقشه زمین‌شناسی رقومی که بسیاری از شکستگی‌ها روی آن معین شده است و ارتباط مستقیم با آبخوان منطقه دارد، ترسیم شود. در نقشه زمین‌شناسی و ساختاری رقومی به‌دست آمده بسیاری از شکستگی‌هایی که در گزارشات قبلی وجود ندارد نشان داده شده است. به‌هر حال تکنیک‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیای در بالا بردن کیفیت و تسریع کار سهم به‌سزایی ایفاد می‌کند به خصوص در مناطقی که از توپوگرافی خشن و غیر قابل دسترس استفاده شود. از این رو استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و سیستم اطلاعات جغرافیایی در مطالعات کارست و آب‌های زیرزمینی و سطحی به منظور ذخیره سازی و تشکیل بانک اطلاعاتی پیشنهاد می‌گردد با توجه به مطالعه کنونی، نتایج به‌دست آمده می‌تواند در شناخت منابع آبی، حفر چاه و اکتشافات آب‌های زیرزمینی بسیار مفید باشد.

تشکر و قدردانی

با توجه به اهمیت موضوع و تلاش همکاران محترم در دانشگاه چمران اهواز و سازمان آب و برق استان خوزستان در حین انجام تحقیق، به جا است که از کلیه همکاران محترم در گروه زمین‌شناسی دانشگاه چمران و سازمان آب و برق تقدیر و سپاسگزاری شود.

منابع :

1- Ali Syed Ahmad, Pirasteh Saied, 2004, Geological application of Landsat Etm for mapping structural geology and interpretation: Aided by Remote sensing and GIS, International journal of remote sensing, UK(under print)-Vol.25,issue 21, pp.4715-4727

2- Berberian M., 1995, master "blind" thrust faults hidden under the Zagros Folds: active basement and surface morphotectonics. Tectonophysics, 241,PP:193-224

3- Blair Robert Jr., 2003, Karst Landforms and Lakes: http://daac.gsfc.nasa.gov Septamber 21

Bloom Arther, 1998, geomorphology, A systematic Analysis of Late Cenozoic landform, (3rd edition): Prentice Hall, Uppe Saddle River, N.J., 482p

4- Chorley R.J., Schumm, S.A., Sugden, D.E., 1984, geomorphology,: Methuen and Co.Ltd.605p Dreybrodt, Wolfgang, 1998, Processes in Karst system: berlin, Springer-Verlag, 288.

5- Ford Derek and Williams, Paul, 1989, Karst Geomorphology and Hydrology: London, Unwin Hyman Ltd., 601.

6- Jenning J.N., 1971, Karst: MIT Press, Cambridge, MA, 252p
7- Ritter D.F., Kochel C.R., and Miller J.R., Process Geomorphology (3rd edition): Wm.C. Brown Publishers, Dubuque, IA, 554p.
8- Summerfield M.A., 1991, Global Geomorphology: John Wiley and Sons, New York, NY, 536p.
9- Pirasteh Saied, 2004, Use of remote sensing and GIS to interpret structural and tectonic of Zagros Mountains, SW Iran, Ph.D thesis, Department of Geology, Aligarh Muslim University, Aligarh, India , P.215
10- Pirasteh Saied, 2004, Use of remote sensing and GIS to interpret structural and tectonic of Zagros Mountains, SW Iran, Ph.D thesis, Deptt. of Geology, Aligarh Muslim University, Aligarh, India, p.210
11- Sweeting Marjorie M., 1972, Karst landform: London, Macmillian Press, 362.
12- Trudgill S., 1985, Limestone geomorphology: longman, London,196 p.
13- White William B., 1988, Geomorphology and Hydrology of Karst Terrain: Oxford, Oxford University Press, 464.
14- www.member.aol.com
15- www.showcave.com