

پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال هشتم، شماره ۳، زمستان ۱۳۹۸  
صص. ۱۶۵-۱۸۲

## ارزیابی نقش تکتونیک در برونزد گنبد‌های نمکی منطقه زاگرس

علی مهرابی- استادیار، گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران.  
محسن پورخسروانی\*- استادیار، گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران.  
امیرتکین محبی- کارشناس ارشد رشته مخاطرات طبیعی، دانشگاه شهید باهنر کرمان.

پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۱۲/۱۴      تأیید نهایی: ۱۳۹۸/۱۰/۱۷

### چکیده

در زون ساختاری زاگرس تعداد ۱۲۳ گنبد نمکی رخنمون یافته است، وجود گسل‌های فراوان در این محدوده از ایران احتمال تاثیر و نقش این ساختارهای تکتونیکی در رخنمون یافتن گنبد‌های نمکی را افزایش می‌دهد. در این تحقیق سعی شده است تا با استفاده از سنجش از دور و روش وزن‌های نشانگر میزان تاثیر و نقش تکتونیک در برونزد این ساختارهای ژئومورفولوژیکی منحصر به فرد بر روی سطح زمین، مورد مطالعه قرار گیرد. بدین منظور بر اساس تجزیه و تحلیل‌های سنجش از دور شامل اعمال فیلترهای جهت دار، استفاده از مدل سایه-برجسته و شواهد ژئومورفولوژیکی نظیر ایجاد خمش و جابجایی در راستای چین‌ها، تعداد ۳۴ خطواره گسلی در منطقه زاگرس شناسایی شد، که از این بین تعداد ۱۴ گسل برای اولین بار مورد شناسایی قرار گرفت. برای تعیین ارتباط بین این ساختارهای تکتونیکی و برونزد گنبد‌های نمکی از روش آماری به نام وزن‌های نشانگر در محیط GIS استفاده شد. بطوری که با اعمال بافرهای مختلف در اطراف گسل‌ها و روی هم اندازی آن با لایه رستری موقعیت گنبد‌های نمکی منطقه، ضرایب مربوطه محاسبه شد به طوری که فاصله هزار متری از امتداد گسل‌ها، بالاترین میزان ضرایب را به خود اختصاص می‌دهد. در نتیجه بر مبنای روش وزن‌های نشانگر بین گنبد‌های نمکی و گسل‌های منطقه در فاصله یک کیلومتری بیشترین ارتباط وجود دارد، این ارتباط هر چند ضعیفتر تا فاصله ۹ کیلومتری نیز ادامه دارد. بنابراین می‌توان عامل تکتونیک را یکی از عوامل بسیار موثر و مهم در جایگیری و رخنمون یافتن گنبد‌های نمکی بر روی سطح زمین قلمداد کرد.

واژگان کلیدی: تکتونیک، گنبد نمکی، سنجش از دور، روش وزن‌های نشانگر.

## مقدمه

زون ساختاری زاگرس با روند شمال غربی- جنوب شرقی و با طول نزدیک به ۲۰۰۰ کیلومتر در بخش میانی رشته کوه های آلپ-همیالیا قرار دارد. به لحاظ ساختاری این کمربند از چین ها و گسل های رورانده تشکیل شده به طور کلی اکثر گسل های این منطقه پنهان بوده و توسط رسوبات فوقانی پوشیده شده است و به ندرت به سطح زمین می‌رسند (لتورمی و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۱۰). در نتیجه، شناسایی این گسل‌ها مستلزم شناخت شواهد مرتبط با آنها، همچون تغییر در توپوگرافی منطقه می‌باشد ( فرزین پور و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۱۳؛ چودری و همکاران<sup>۳</sup>، ۲۰۱۷). با این حال با وجود مطالعات فراوانی که در اینباره انجام گرفته است (مکوری<sup>۴</sup>، ۲۰۰۴؛ رهنما و همکاران<sup>۵</sup>، ۲۰۰۸؛ جهانی و همکاران<sup>۶</sup>، ۲۰۰۹؛ فرزین پور و همکاران<sup>۷</sup>، ۲۰۱۳؛ کوی و همکاران<sup>۸</sup>، ۲۰۱۶؛ قاسمی روزوها و همکاران<sup>۹</sup>، ۲۰۱۷) ولیکن شناسایی دقیقتر خطواره‌های گسلی با روش‌های مدرن و پیشرفته کاملاً ضروری به نظر می‌آید.

در کمربند چین خورده- تراستی زاگرس تعداد زیادی گنبد نمکی رخنمون یافته است، که آنها را جزء سری هرمز یاد می‌کنند. حوضه نمکی هرمز شامل دیابیرهایی است با سن کامبرین که از اعماق به مرور زمان به سمت بالا حرکت کرده تا اینکه به سطح زمین رسیده و گنبدهای نمکی را تشکیل می‌دهند. این حوضه رسوبی در دوره زمانی پر کامبرین تا کامبرین، بر اثر برخورد دو صفحه عربی و ایران ایجاد شده است (فرهودی و همکاران<sup>۹</sup>، ۲۰۰۸؛ والتام<sup>۱۰</sup>، ۲۰۰۸؛ پورسلطانی<sup>۱۱</sup> و همکاران<sup>۱۲</sup>، ۲۰۱۶). نظریات مختلفی در ارتباط با چرایی و چگونگی بالآمدن نمکها ارائه شده است که از این بین عامل زمین ساخت را بسیار موثر دانسته بطوری که باعث ایجاد زونهای شکستگی در رسوبات بالایی شده و راه عبور نمک را تسهیل می‌نماید (قربانی ارجنلی و قاسمی، ۱۳۹۴؛ کوی<sup>۱۲</sup>، ۲۰۰۸؛ معتمدی<sup>۱۳</sup>، ۲۰۱۱).

امروزه با پیشرفت روزافزون علوم، ماهواره‌ها و تصاویر ماهواره‌ای نیز پیشرفت نموده بدین سبب استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور و پردازش تصاویر ماهواره‌ای در جهت شناسایی و بررسی پدیده‌های زمین‌شناسی از جمله گسل‌ها و خطواره‌ها بسیار کارآمد به نظر می‌رسد (یساقی<sup>۱۴</sup>، ۲۰۰۶؛ چودری و همکاران<sup>۱۵</sup>، ۲۰۱۷) کمربند چین خورده- تراستی زاگرس را به لحاظ ساختاری می‌توان به دو زیرپهنه تقسیم کرد، ۱: زیر پهنه چین خورده با پهنای ۱۵۰ تا ۲۵۰ کیلومتر، که در مزوزوییک و سنوزوییک در حال نشست پیوسته بوده و ترادف‌های ستبر رسوبی در آن انباشته می‌شده است. در این زیر پهنه، پوشش رسوبی روی پی‌سنگ، به صورت تاقدیس‌ها و ناودیس‌های کشیده، در راستای NW - SE است که صفحه‌های محوری آنها منحرف شده و به چین‌ها سیمای سینوسی داده است. اگرچه روند عمومی ساختارها، NW - SE هستند و

۱ . Leturmy et al.

۲ . Farzipour-Saein et al.

۳ . Chowdari et al.

۴ . McQuarrie

۵ . Rahnama-Rad et al.

۶ . Jahani et al.

۷ . Koyi et al.

۸ . Ghasemi-Rozveha et al.

۹ . Farhoudi et al.

۱۰ . Waltham,

۱۱ . Poursoltani et al.

۱۲ . Koyi et al.

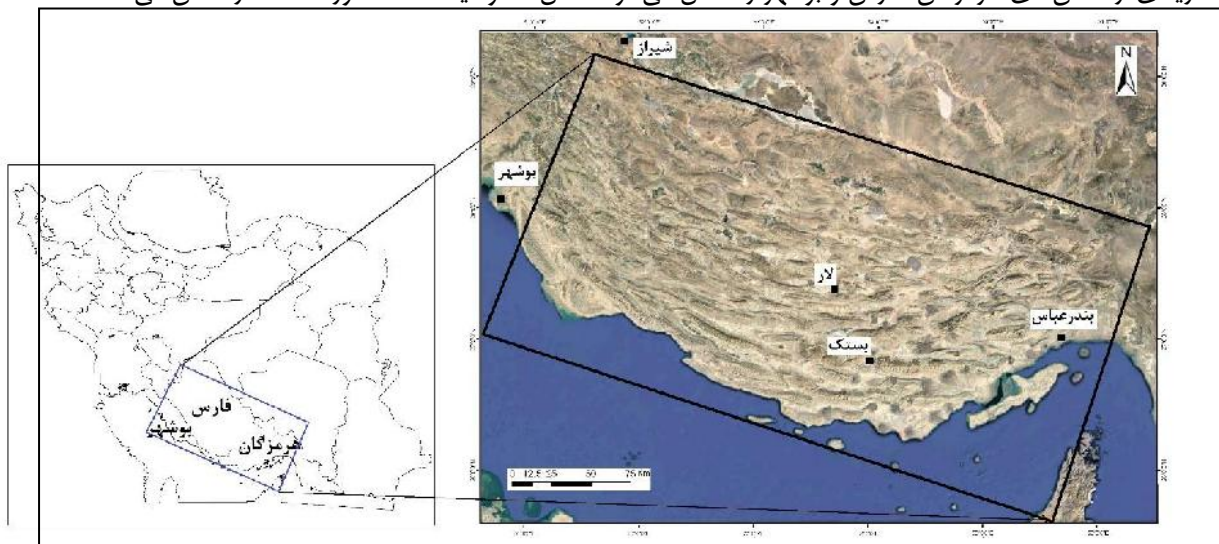
۱۳ . Motamedi et al.

۱۴ . Yassaghi

روند زاگرس دارند ولی رسوب‌های شکل‌پذیر میوسن، عملکرد گسل‌های پی‌سنگی، تغییر جهت بردار حرکتی صفحه عربستان نسبت به ورق ایران و سرانجام حرکت گنبد‌های نمکی، تغییراتی را در سیستم و روند کلی چین‌ها به وجود آورده‌اند. ۲: زیرپهنه تراستی زاگرس، این زون با پهنای ۱۰ تا ۶۵ کیلومتر، به صورت نواری کم پهنای است که بلندترین قسمت کوه‌های زاگرس را تشکیل می‌دهد و به همین رو گاهی به آن زاگرس مرتفع گفته می‌شود (مطیعی، ۱۳۷۴) (آگارد و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۱۱). در جنوب خاوری زاگرس، به ویژه در حدفاصل میان گسل کازرون در باختر و گسل میناب در خاور، سنگ‌های پرکامبرین پسین رخساره کولابی - تبخیری دارند (علوی<sup>۲</sup>، ۲۰۰۴؛ پیروز و همکاران<sup>۳</sup>، ۲۰۱۱؛ کویی و همکاران، ۲۰۱۶). بنابراین و با توجه به تکتونیک فعال این ناحیه از زاگرس (مطیعی، ۱۳۷۴؛ کویی و همکاران، ۲۰۱۶) می‌توان این عامل را یکی از عوامل موثر در رخنمون یافتن گنبد‌های نمکی در محدوده زاگرس چین‌خورده، در نظر گرفت. علاوه بر این، مطالعات زیادی بصورت کیفی به نقش تکتونیک بر بالآمدگی توده‌های نمکی اشاره دارند (فرهودی و همکاران، ۲۰۰۸؛ جهانی و همکاران<sup>۴</sup>، ۲۰۰۹؛ معتمدی و همکاران، ۲۰۱۱). ولیکن این پژوهش سعی دارد ضمن شناسایی گسل‌های منطقه، ارتباط گنبد‌های نمکی رخنمون‌یافته در محدوده مورد مطالعه را بصورت کمی و آماری با این ساختارهای تکتونیک بررسی نماید. در این راستا از تکنیک‌های سنجش از دور و روش وزن‌های نشانگر استفاده می‌شود.

### موقعیت منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه با وسعت ۱۰۰۰۰۰ کیلومتر مربع، بخش‌های وسیعی از پهنه ساختاری زاگرس را در بر می‌گیرد که ما بین عرض ۲۶° ۳۰' تا ۲۹° ۳۰' عرض شمالی و ۵۱° ۳۰' تا ۵۷° طول شرقی واقع شده است. این منطقه بخش‌های زیادی از استان‌های هرمزگان، فارس و بوشهر را شامل می‌شود. شکل ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه در پهنه ساختاری زاگرس

بر اساس شواهد موجود به نظر می‌رسد که در پی فازهای کششی رخداد کوهزایی کاتانگایی در نیمه جنوب خاوری زاگرس، حوضه‌های تبخیری تشکیل شده و رسوبات کولابی به همراه روانه‌های آذرین مربوط به فاز گرانیته‌زایی کاتانگایی در آن

<sup>۱</sup>. Agard et al

<sup>۲</sup>. Alavi

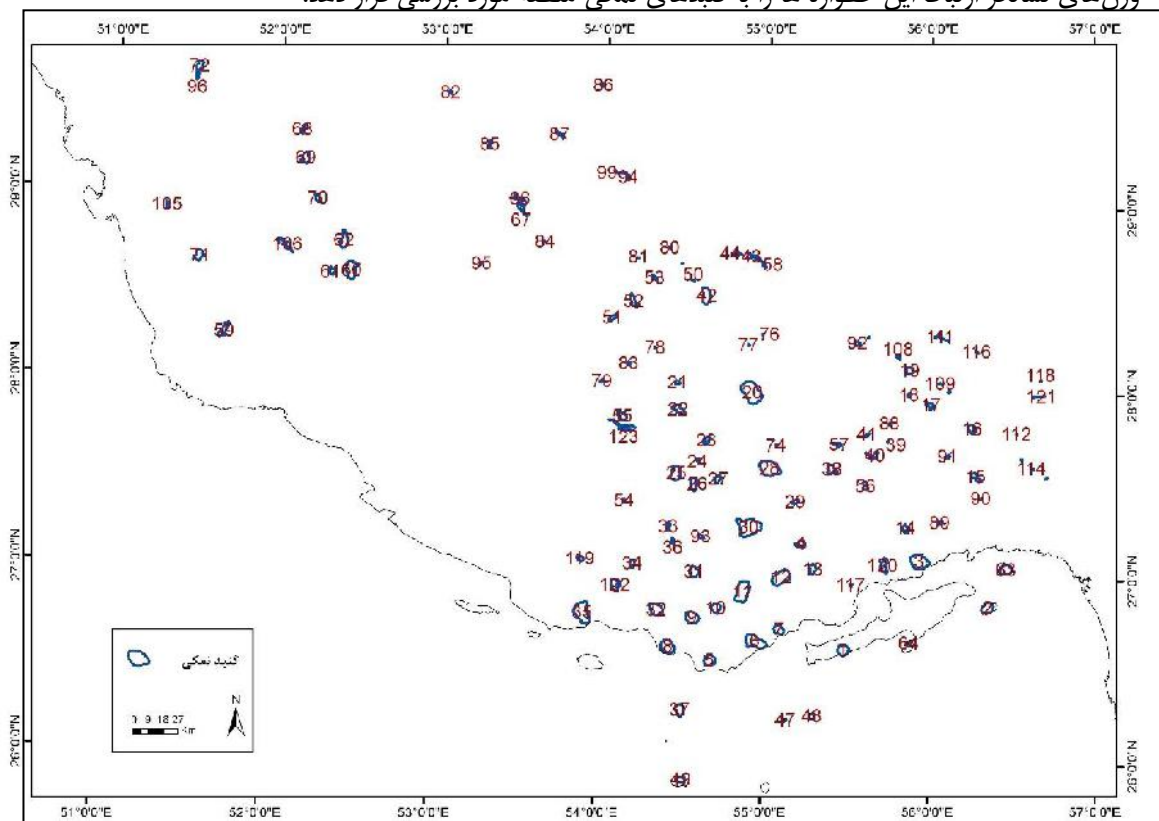
<sup>۳</sup>. Pirouz et al

<sup>۴</sup>. Jahani et al.

انباشته شده است، رسوب‌های تبخیری و سنگ‌های ماگمایی این حوضه به صورت گنبد‌های نمکی برونزد دارند (شکل ۲) (جدول ۱). سری هرمز، شامل سنگ نمک (به رنگ‌های گوناگون)، انیدریت، ژپس، سنگ‌آهک سیاه‌رنگ، دولومیت بودار چرتی، ماسه‌سنگ سُرخ، شیل رنگارنگ، سنگ‌های آذرین (درونی - بیرونی)، کانی‌های آهن و آپاتیت‌دار است (احمدزاده هروی و همکاران، ۱۳۶۹؛ داستانیور و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۱۲).

### مواد و روش‌ها

با توجه به اینکه استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور در شناسایی الگوهای خطی بسیار کارآمد بوده و این الگوهای خطی سطحی می‌تواند مرتبط با رژیم‌های زمین‌ساختی منطقه باشد (لتورمی و همکاران، ۲۰۱۰؛ رهنماد و همکاران، ۲۰۰۸؛ چودری و همکاران، ۲۰۱۷)، به همین علت این پژوهش سعی دارد با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای منطقه مورد مطالعه و انجام پردازش‌های مختلف بر روی آنها، گسل‌ها را با دقت شناسایی کرده و در ادامه در محیط GIS و با استفاده از روش وزن‌های نشانگر ارتباط این خطواره‌ها را با گنبد‌های نمکی منطقه مورد بررسی قرار دهد.



شکل ۲: نقشه پراکنش گنبد‌های نمکی منطقه مورد مطالعه، نام هر یک در جدول شماره ۱ آمده است.

جدول ۱: لیست گنبد‌های نمکی رخنمون یافته در محدوده مورد مطالعه

شماره	نام	شماره	نام	شماره	نام	شماره	نام	شماره	نام
۱	نمکدان	۲۷	چهل	۵۳	SP25	۷۹	جلال آباد	۱۰۵	SP27
۲	لارک	۲۸	چاه بانو	۵۴	پشکند	۸۰	SP28	۱۰۶	فراشبند
۳	گچین	۲۹	شو	۵۵	نمکی	۸۱	SP29	۱۰۷	SP30
۴	ایلچن	۳۰	بم	۵۶	گردو سیاه	۸۲	داریان	۱۰۸	گهکم

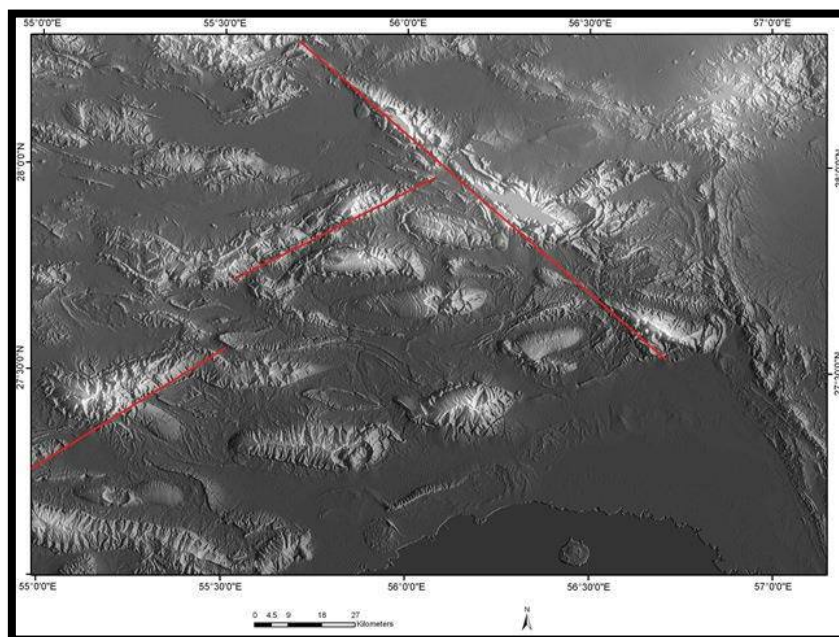
<sup>۱</sup>. Dastanpour et al.

۵	بوستانه	۳۱	چهاربرکه	۵۷	درمندان	۸۳	بنارویه	۱۰۹	گهک‌مشرق
۶	بندر معلم	۳۲	چارک	۵۸	SP40	۸۴	SP31	۱۱۰	سرمند
۷	حمیران	۳۳	گاوبست	۵۹	SP5	۸۵	سروستان	۱۱۱	SP34
۸	مغویه	۳۴	گزه	۶۰	جهانی	۸۶	چاه گز	۱۱۲	SP35
۹	چاه مسلم	۳۵	چیرو	۶۱	خوراب	۸۷	قشنگویه	۱۱۳	کوشک
۱۰	چمپه	۳۶	بستک	۶۲	کنارسیاه	۸۸	موران	۱۱۴	تاخو
۱۱	زندان	۳۷	SP1	۶۳	هرمز	۸۹	قلات بالا	۱۱۵	دربست
۱۲	دوآبی	۳۸	شمیلو	۶۴	هنگام	۹۰	گنو	۱۱۶	SP36
۱۳	میلتون	۳۹	تاربو	۶۵	SP6	۹۱	آرین	۱۱۷	خمیر
۱۴	انگورو	۴۰	تاشکند	۶۶	SP32	۹۲	SP8	۱۱۸	کجاق
۱۵	خورگو	۴۱	خابین	۶۷	SP41	۹۳	زنگار	۱۱۹	خمشک
۱۶	فینو،	۴۲	SP19	۶۸	رونقون	۹۴	گردنه نیریز	۱۲۰	پل
۱۷	تنگ زاغ	۴۳	SP18	۶۹	تل نمکدون	۹۵	SP33	۱۲۱	بنگود
۱۸	پلنگو	۴۴	SP37	۷۰	SP42	۹۶	SP9	۱۲۲	گنه
۱۹	سعادت آباد	۴۵	SP38	۷۱	SP7	۹۷	SP10	۱۲۳	نینا
۲۰	مسیجون	۴۶	SP39	۷۲	کمارج	۹۸	SP11		
۲۱	بناکوه	۴۷	SP2	۷۳	SP24	۹۹	SP14		
۲۲	ده کویه	۴۸	SP3	۷۴	گورو	۱۰۰	SP15		
۲۳	کورده	۴۹	SP4	۷۵	قلعه شور	۱۰۱	SP16		
۲۴	علی آباد	۵۰	SP22	۷۶	SP13	۱۰۲	SP17		
۲۵	گج	۵۱	شاه علمدار	۷۷	SP12	۱۰۳	SP21		
۲۶	سیاه تاق	۵۲	SP26	۷۸	SP20	۱۰۴	SP23		

### پردازش تصاویر ماهواره‌ای

به منظور انجام مطالعات دورسنجی از تصاویر ETM مربوط به سال ۲۰۱۴ استفاده شد، همچنین پردازش تصاویر در نرم افزار ENVI 4.8 صورت پذیرفت. برای شناسایی خطواره‌ها علاوه بر بررسی و استفاده از ترکیب باندی ۲،۳،۴ که برای تحلیل ساختاری بسیار مفید می‌باشد (مهشادینیا، ۱۳۸۱)، از روش تحلیل مدل سایه- برجسته<sup>۱</sup> بدست آمده از مدل ارتفاع رقومی (DEM) استفاده شد، بدین صورت که پس از تهیه مدل ارتفاع رقومی ۳۰ متری منطقه از سایت سازمان زمین شناسی آمریکا (USGS) با استفاده از نرم افزار ArcGIS تصویر سایه- برجسته از منطقه مورد مطالعه تهیه شد. برای نمایش خطواره ها، در جهات مختلف (۸ جهت) بطور مجازی نورتابیده شد، با این عمل بسیاری از ساختارهای خطی شناسایی و رقومی گردید (شکل ۳).

۱. Shaded-Relief Image



شکل ۳: تصویر Shaded-relief با نورپردازی شمال باختری بدست آمده از روی DEM

علاوه بر آن از روش‌های بارز سازی لبه<sup>۱</sup> و اعمال فیلتر نیز برای شناسایی این عوارض بهره گرفته شد، بارزسازی در جهات مختلف (۸ جهت) صورت گرفت تا خطواره‌های موجود در تمام جهات در منطقه مشخص گردند. به این ترتیب علائم خطی و شکستگی‌های موجود در منطقه شناسایی و رقومی گردید. علاوه بر آن شواهد ژئومورفولوژیکی و ساختاری زیادی مانند خمش‌های اتفاق افتاده در روند محور چین‌ها و یا در امتداد هم قرار گرفتن گنبد‌های نمکی در منطقه، نیز در شناسایی گسل‌ها کمک می‌کند (جهانی و همکاران، ۲۰۰۷؛ جهانی و همکاران، ۲۰۰۹؛ بهرودی و کویی، ۲۰۰۳؛ یساقی و داوودی، ۱۳۸۴؛ مهشادینیا، ۱۳۸۱؛ جودکی و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۱۶). در این تحقیق علاوه بر روش‌های ذکر شده، از مدل مفهومی ارائه شده توسط لترمی و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۱۰) برای نحوه تکامل مورفولوژی چین‌های تاثیر یافته از گسل‌ها استفاده شد (شکل ۴). این مدل شامل بالآمدگی و امتدادیافتگی چین‌های شرقی-غربی چندگانه، ایجاد انحراف در راستای چین‌ها و ایجاد برش مایل در امتداد چین‌ها می‌شود.

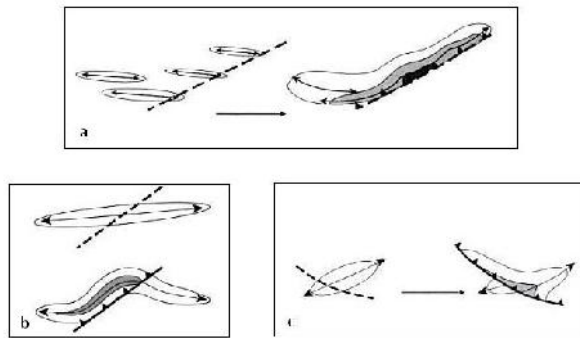
جدول ۲: روش‌های به کار گرفته جهت شناسایی گسل‌های منطقه مورد مطالعه

۱	ترکیب باندی ۲،۳،۴ (مهشادینیا، ۱۳۸۱)
۲	تحلیل مدل سایه-برجسته (یساقی، ۲۰۰۶)
۳	فیلترهای بارزسازی لبه (رهنما راد، ۲۰۰۸)
۴	تحلیل شواهد ژئومورفولوژیکی (لترمی و همکاران، ۲۰۱۰).

۱. Edge detection

۲. Joudaki et al.

۳. Leturmy et al.



شکل ۴: مدل مفهومی نحوه تاثیر گسل‌ها بر تکامل مورفولوژی چین‌ها (a): بالآمدگی و امتداد یافتگی چین‌های با راستای شرقی-غربی (b): ایجاد انحراف در راستای چین‌ها (c): ایجاد برش مایل در امتداد چین‌ها (لترمی و همکاران، ۲۰۱۰).

### روش وزن‌های نشانگر

روش وزن‌های نشانگر ابتدا توسط بونهام کارتر<sup>۱</sup> (۱۹۹۴) طرح ریزی شد. مبنای این روش بر حضور یا عدم حضور یک پدیده نقطه‌ای (مانند مرکز گنبد‌های نمکی رخنمون یافته) در یک محدوده است که این محدوده می‌تواند فواصل مشخص از خطواره‌های گسلی منطقه باشد، و بر اساس وزن‌دهی بین این نقاط و محدوده‌ها عمل می‌کند. و این وزنها بصورت  $W^+$  (وزن دهی به پدیده‌های درون محدوده (DP) و  $W^-$  (وزن دهی به پدیده‌های بیرون از محدوده (DA) می‌باشد. باید توجه کرد که  $T = DP + DA$  و  $T$  کل محدوده‌ایست که مطالعه شده است. ارتباط مکانی بین مجموعه نقاط و محدوده‌های دو تایی را با توجه به رابطه زیر می‌توان مشخص نمود:

$$1 > \text{(درصد کل مساحت درون محدوده)} / \text{(درصد رخنمون‌های قرار گرفته در درون محدوده)} = \text{ارتباط مکانی مثبت}$$

$$1 < \text{(درصد کل مساحت درون محدوده)} / \text{(درصد رخنمون‌های قرار گرفته در درون محدوده)} = \text{ارتباط مکانی منفی}$$

$$1 = \text{(درصد کل مساحت درون محدوده)} / \text{(درصد رخنمون‌های قرار گرفته در درون محدوده)} = \text{بدون ارتباط مکانی}$$

اما به دلیل اینکه مساحت رخنمون گنبد‌های نمکی کوچکتر از محدوده‌هایست که درون آن قرار دارند، برای نمایش تغییرات، روابط بالا بصورت لگاریتمی ارائه می‌شود.

$$R_{W^+} = \frac{\ln(\text{درصد کل مساحت درون محدوده})}{\ln(\text{درصد رخداد های درون محدوده})} \text{ لگاریتم}$$

$$R_{W^-} = \frac{\ln(\text{درصد کل مساحت برون محدوده})}{\ln(\text{درصد رخداد های برون محدوده})} \text{ لگاریتم}$$

که پس از وزن دهی، واریانس وزنها از طریق فرمول زیر محاسبه می‌گردد:

$$s^2(W^+) = \frac{1}{mD_p} + \frac{1}{bD_p} \quad \text{رابطه (۳)}$$

$$s^2(W^-) = \frac{1}{mD_A} + \frac{1}{bD_A} \quad \text{رابطه (۴)}$$

در فرمول‌های بالا  $m$  تعداد پیکسل‌های (کوچکترین واحد سازنده تصویر) درون محدوده و شامل رخداد مورد نظر، می‌باشد. و  $b$  تعداد پیکسل‌های بدون رخداد مورد نظر و درون محدوده می‌باشد.

سپس برای هر محدوده دو تایی ضریب تباین (C) از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$C = (W^+) - (W^-)$$

رابطه (۵)

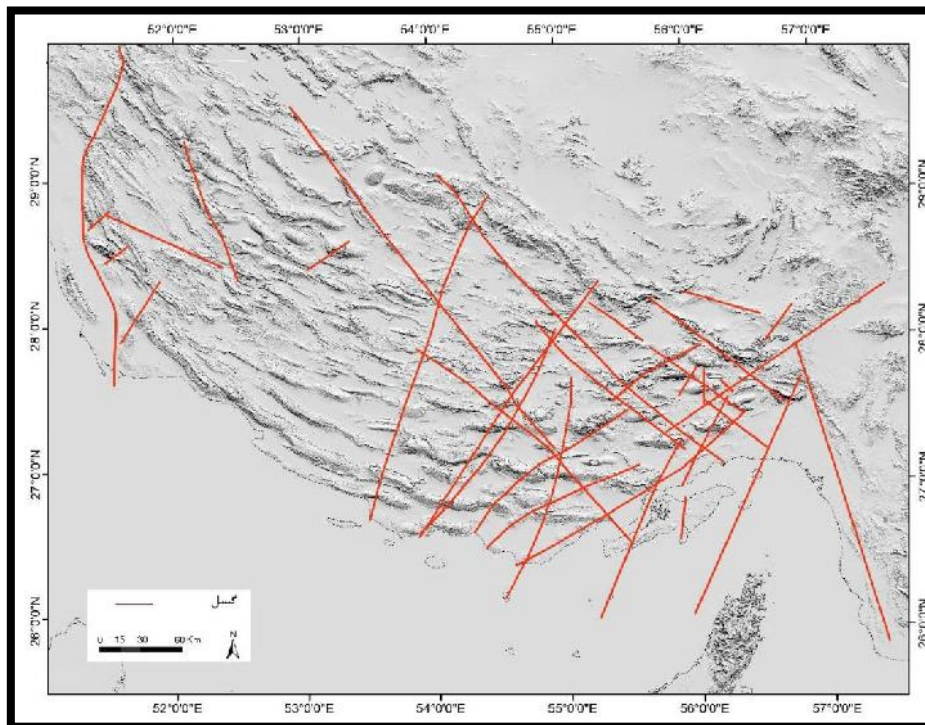
بنابراین برای یک ارتباط مکانی مثبت، مقدار ضریب  $C$  مثبت و برای ارتباط مکانی منفی، مقدار ضریب  $C$  منفی می‌باشد. سپس انحراف معیار را محاسبه نموده:

$$s(C) = \sqrt{s^2(W+) + s^2(W-)} \quad \text{رابطه (۶)}$$

در مواردی که نقاط و رخنمون‌ها نسبتاً کم باشند (مانند این تحقیق) نسبت  $C/s(C)$  Studentised Contrast ((Cs)) مبنای کار قرار می‌گیرد. این نسبت به عنوان آزمون غیر رسمی با فرض صفر  $C = 0$  عمل می‌کند تا زمانی که این نسبت به طور نسبی زیاد باشد دال بر این است که کنتراست در مقایسه با انحراف استاندارد زیاد است در نتیجه کنتراست به واقعیت نزدیکتر است. از نظر تئوری، مشاهده مقدار Studentised که بزرگتر از  $1/5$  یا حتی  $2$  باشد، مطلوب است. به خاطر فرض‌های لازم برای آزمون آماری رسمی، به ویژه مساله وابستگی (Cs) بر روی واحد‌های اندازه‌گیری بهترین راه استفاده از این تناسب نه به طور مطلق بلکه بطور نسبی است. براین اساس هر چه نسبت بدست آمده بالا، بزرگتر باشد ارتباط مکانی مطلوبتر بوده، بطوری که با حداکثر نسبت بدست آمده برای یک محدوده ارتباط مکانی مطلوبتری را برای آن محدوده می‌توان در نظر گرفت (کارتز، ۱۹۹۴)

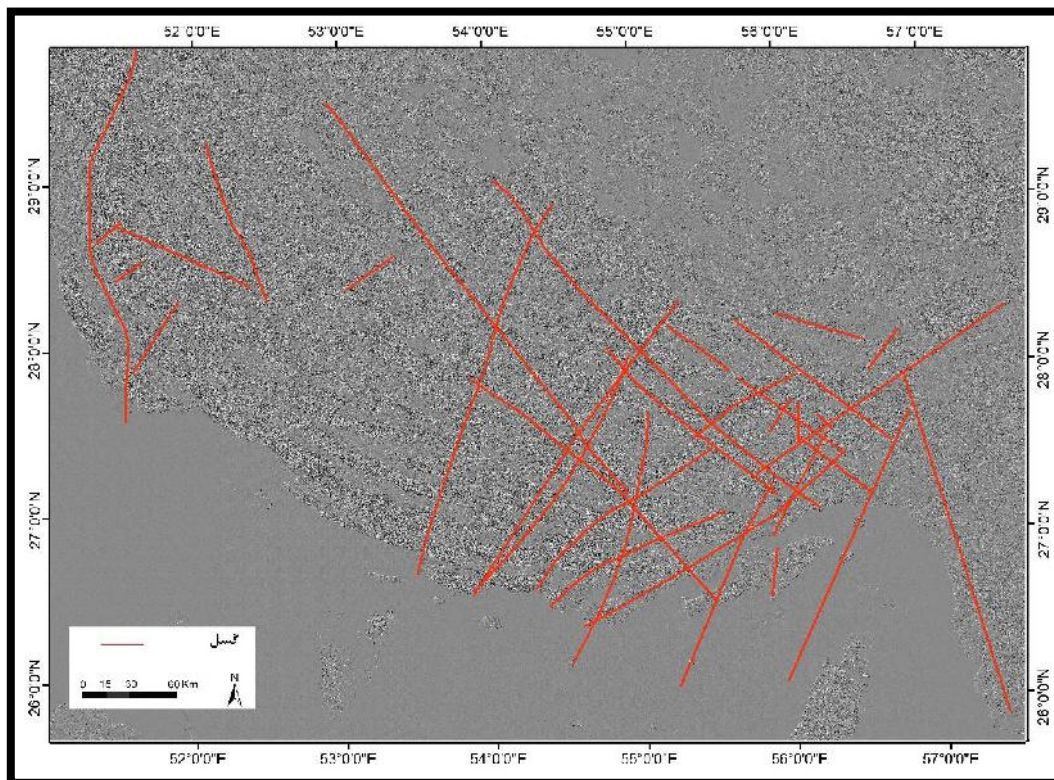
### نتایج و بحث

اشکال شماره ۵ و ۶ تصاویر حاصل از روش تحلیل مدل سایه-برجسته و اعمال فیلترهای بارزسازی لبه را نمایش می‌دهد. و تصاویر حاصل از روش ترکیب باندی و همچنین تصاویر مورد استفاده در تحلیل شواهد ژئومورفولوژیکی، در اشکال شماره ۸ تا ۱۱ قابل مشاهده است. بر اساس روش‌ها و تحلیل‌های اشاره شده در جدول شماره ۲، ۳۴ خطواره گسلی در منطقه مورد مطالعه شناسایی شد. در شکل شماره ۷ موقعیت تمامی گسل‌ها و گنبد‌های نمکی، ترسیم شده است. ویژگی هر یک از گسل‌ها در جدول شماره ۳ ارائه شده است.



شکل ۵: تصویر مدل سایه-برجسته با نورپردازی شمال غربی مربوط به کل منطقه مورد مطالعه همراه با موقعیت گسل‌های شناخته شده



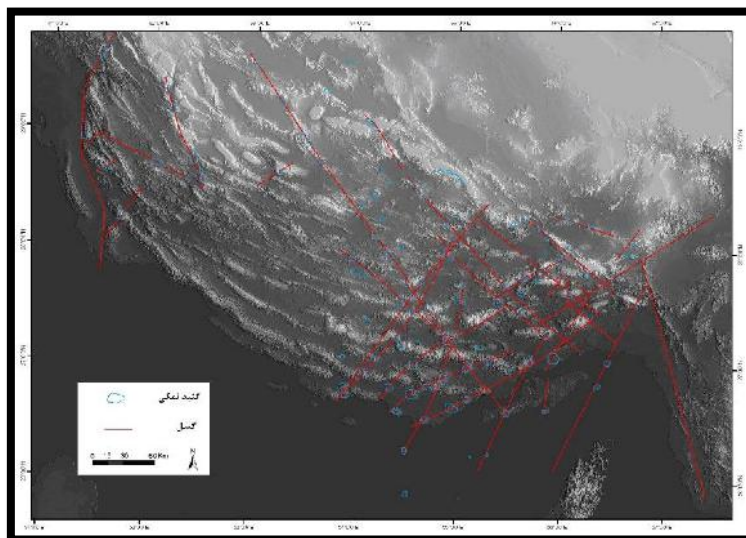


شکل ۶: تصویر حاصل از اعمال فیلترهای بارزسازی لبه همراه با موقعیت گسل های شناخته شده جدول ۳: ویژگی گسل های شناسایی شده در منطقه مورد مطالعه

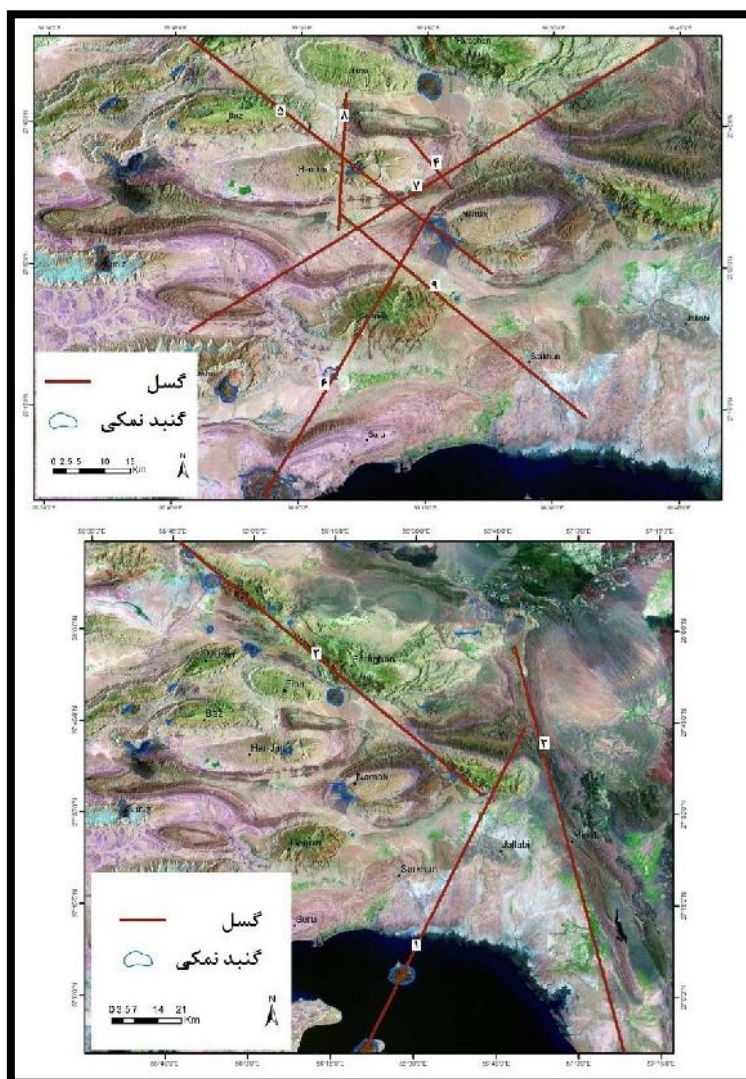
شماره	نوع	آزیموت	طول (کیلومتر)	شواهد و اثرات
۱	امتداد لغز چپ گرد	۲۶ درجه	۲۶۰	باعث ایجاد انحراف و یک جابجایی چپ گرد در بخش خاوری محور تاقدیس نمک شده است (شکل ۸).
۲	امتداد لغز چپ گرد	۱۲۹ درجه	۱۳۰	سطح محوری تاقدیس های فراقون و نمک، دچار خمش شده است. گنبد های نمکی داربست، تخو، کوشک کوه غرب و گهکم در امتداد این گسل رخنمون یافته اند (شکل ۸).
۳	امتداد لغز راست گرد	۱۶۵ درجه	۳۰۰	باعث جابجایی در تاقدیس میناب شده است و به عنوان گسل میناب شناخته می شود (فرزین پور و همکاران، ۲۰۱۳) (شکل ۸).
۴	امتداد لغز راست گرد	۱۳۰ درجه	۱۵	باعث جابجایی در بخش خاوری محور تاقدیس هندون شده است (شکل ۸).
۵	امتداد لغز راست گرد	۱۲۷ درجه	۹۰	این گسل از باختر تاقدیس نمک آغاز شده و تاقدیس های نمک، هندون، باز و موران را برش می دهد و باعث ایجاد جابجایی راست گرد در این تاقدیس ها شده است. همچنین دو گنبد نمکی آراین و خورگو بر روی این گسل رخنمون یافته اند (شکل ۸).
۶	امتداد لغز چپ گرد	۲۹ درجه	۷۰	باعث ایجاد ساختارهای فروریزی در تاقدیس گنو شده است. گنبد های نمکی گچین، کلات بالا و خورگو بر روی این گسل قرار دارند (شکل ۸).
۷	امتداد لغز راست گرد	۵۸ درجه	۱۸۰	از شمال تاقدیس گاشو آغاز شده و باعث ایجاد خمش در محور تاقدیس فراقون شده است (شکل ۸).

۸	امتداد لغز راست‌گرد	۱۸۳ درجه	۳۰	در نتیجه عملکرد این گسل سطح محوری تاقدیس هندون دچار برش و جابجایی شده است (شکل ۸).
۹	امتداد لغز راست‌گرد	۱۲۹ درجه	۶۰	باعث شده تا یک جابجایی راست‌گرد در محور تاقدیس سرخون اتفاق بیافتد. این گسل از گنبد نمکی گنو عبور کرده است (شکل ۸).
۱۰	امتداد لغز چپ‌گرد	۱۳۳ درجه	۱۵۰	از بخش خاوری تاقدیس گاشو شروع شده و باعث انحراف و خمش در بخش باختری محور تاقدیس گونیز و محور تاقدیس دزدونو شده است. در طول این گسل چهار گنبد نمکی قرار گرفته است (شکل ۹).
۱۱	امتداد لغز راست‌گرد	۱۳۷ درجه	۳۲۰	باعث جا بجایی راست‌گرد در محور تاقدیس های سورو، گاشو و دزدونو شده است. تعداد ۷ کنبه نمکی در مسیر این گسل پی سنگی قرار دارند (شکل ۹).
۱۲	امتداد لغز راست‌گرد	۳۵ درجه	۲۵	باعث ایجاد برش در بخش خاوری تاقدیس باز و بخش باختری تاقدیس هندون شده است (شکل ۹).
۱۳	امتداد لغز چپ‌گرد	۵۸ درجه	۲۱۰	باعث انحراف و خمش در محور تاقدیس خمیر شده و گنبدهای نمکی بوستانه، بندر معلم، حمیران، پل، گچین و گنو در امتداد این گسل قرار گرفته است (شکل ۹).
۱۴	امتداد لغز چپ‌گرد	۲۵ درجه	۲۸	از گنبد نمکی هنگام در جزیره هنگام شروع شده باعث ایجاد انحراف در محور تاقدیس سوزا در جزیره قشم شده است (شکل ۹).
۱۵	امتداد لغز راست‌گرد	۲۷ درجه	۱۵۰	انتهای خاوری محور تاقدیس خمیر توسط این گسل منحرف شده و از گنبد نمکی نمکدان، پل و انگورو می گذرد (شکل ۹).
۱۶	امتداد لغز چپ‌گرد	۱۹ درجه	۱۸۰	باعث انحراف در محور تاقدیس های شولز، باویون، هرنگ، چمپه و بوستانه شده است. در طول این گسل تعداد ۷ گنبد نمکی رخنمون دارند. جهت یافتگی طولی گنبد نمکی زندان را می‌توان ناشی از عملکرد این گسل دانست (شکل ۹).
۱۷	امتداد لغز چپ‌گرد	۶۴ درجه	۱۴۰	از ویژگی های منحصر به فرد این گسل می‌توان به رخنمون ۶ گنبد نمکی با فواصل منظم در امتداد این گسل پی سنگی اشاره نمود. این گسل باعث جابه جایی چپ‌گرد در محور تاقدیس های هرنگ، باویون و چمپه شده است (شکل ۹).
۱۸	امتداد لغز چپ‌گرد	۵۳ درجه	۱۵۰	انحراف چپ‌گرد در محور تاقدیس های هرنگ، نمک و نخ شده است. گنبدهای نمکی چهارک، چهاربرکه و بم در امتداد این گسل قرار دارند (شکل ۹).
۱۹	امتداد لغز راست‌گرد	۶۰ درجه	۸۰	باعث انحراف و خمش در محور تاقدیس دزدونو و موران شده و گنبدهای نمکی شمیلو، خاین، موران و تنگه زاغ در امتداد این گسل قرار گرفته است (شکل ۹).
۲۰	امتداد لغز راست‌گرد	۵۱ درجه	۵۰	باعث ایجاد جابجایی در محور تاقدیس دشت کنار شده است (شکل ۱۰).
۲۱	امتداد لغز راست‌گرد	۷۱ درجه	۶۰	گنبدهای نمکی SP34 و SP36 در امتداد این گسل قرار دارند (شکل ۱۰).
۲۲	امتداد لغز چپ‌گرد	۳۹ درجه	۳۰	گنبد نمکی کجاق را قطع می کند (شکل ۱۰).
۲۳	امتداد لغز چپ‌گرد	۳۵ درجه	۱۸۰	این گسل از گنبد نمکی مسیجون شروع شده و باعث ایجاد انحراف در بخش خاوری محور تاقدیس گچ و همچنین باعث ایجاد انحراف در بخش خاوری محور گاوبست، گزه، نمکی و چیرو می‌شود. تعداد

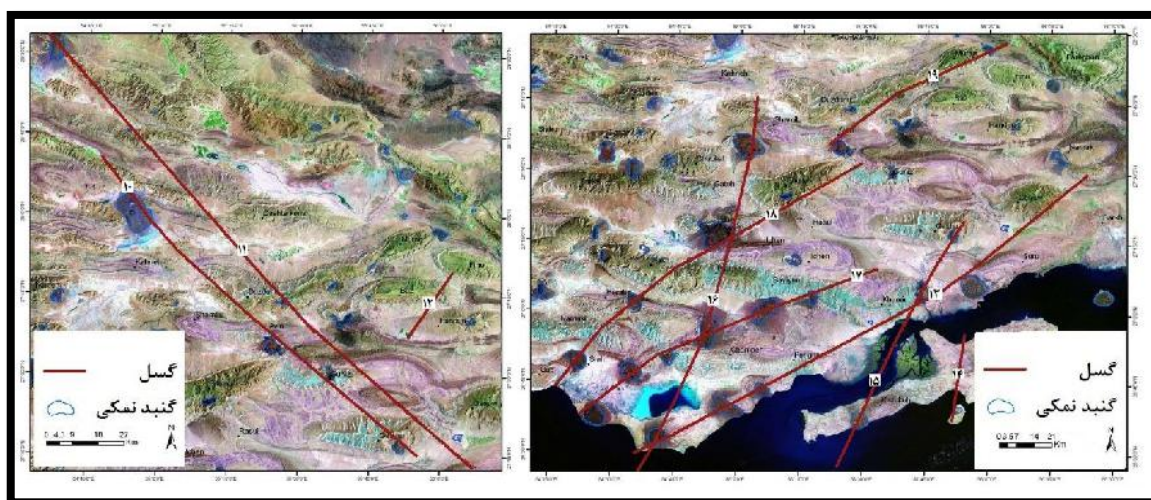
۷ گنبد نمکی در امتداد این گسل پی سنگی رخنمون دارد (شکل ۱۰).				
از گنبد نمکی چپرو آغاز شده و باعث انحراف در محور تاقدیس ۶-های چپرو، نمکی، گزه، گاوبست، گج و کورده شده است همچنین تعداد ۵ گنبدنمکی در طول این گسل قرار دارد (شکل ۱۰).	۲۴۰	۳۷ درجه	امتداد لغز چپ‌گرد	۲۴
باعث انحراف راست‌گرد در محورهای تاقدیس های هور، کهنه، گج، بورخ، نخ و چمپه شده. تعداد ۷ گنبد نمکی، مانند گنبد نمکی گج در تاقدیس گج، گنبد نمکی بم و گنبد نمکی نمکدان در جزیره قشم در راستا و امتداد این گسل رخنمون یافته‌اند (شکل ۱۰).	۲۲۰	۴۵ درجه	امتداد لغز راست‌گرد	۲۵
از گنبد نمکی بم در جنوب خاور منطقه شروع شده و گنبد‌های نمکی چپال، علی آباد و SP32 در شمال باختر منطقه، را قطع می‌کند، همچنین باعث انحراف در محور تاقدیس های گته، گچال، گج، کورده، بونارویه، نصرآباد، دره نار و دوهو شده است (شکل ۱۰).	۳۳۰	۱۴۵ درجه	امتداد لغز راست‌گرد	۲۶
باعث جابجای چپ‌گرد در محور تاقدیس های گوم، گار و قندیل شده است (شکل ۱۱).	۴۰	۵۷ درجه	امتداد لغز چپ‌گرد	۲۷
گنبد نمکی جهانی را قطع کرده و موجب انحراف در محور تاقدیس های افزار، میمند و بالاده شده است. تعداد ۶ گنبد نمکی در راستای این گسل قرار دارند (شکل ۱۱).	۱۱۰	۱۶۲ درجه	امتداد لغز راست‌گرد	۲۸
گنبد‌های نمکی خوراب و فراشمن را قطع می‌کند (شکل ۱۱).	۹۵	۱۱۶ درجه		۲۹
باعث ایجاد برش در تاقدیس آبدان شده است (شکل ۱۱).	۴۷	۳۵ درجه	امتداد لغز راست‌گرد	۳۰
باعث جابجای چپ‌گرد در محور تاقدیس خورموج شده است (شکل ۱۱).	۲۰	۵۵ درجه	امتداد لغز چپ‌گرد	۳۱
باعث جابجای چپ‌گرد در محور تاقدیس سیاه شده است (شکل ۱۱).	۲۰	۵۱ درجه	امتداد لغز چپ‌گرد	۳۲
باعث جابجایی و خمش در محور تاقدیس های ناخه، سربالش و مرغ شده است. گنبد نمکی خورموج بر روی این گسل رخنمون دارد. معروف به گسل قطر-کازرون می‌باشد (سپهر و همکاران، ۲۰۰۵؛ زاده و همکاران، ۲۰۱۳) (شکل ۱۱).	۲۷۰	۳۲۰ درجه	امتداد لغز راست‌گرد	۳۳
در مسیر خود باعث جابجایی و خمش در محور تاقدیس های مختلفی شده است. معروف به گسل رازک می‌باشد (شکل ۱۱).	۲۶۰	۳۶ درجه	امتداد لغز راست‌گرد	۳۴



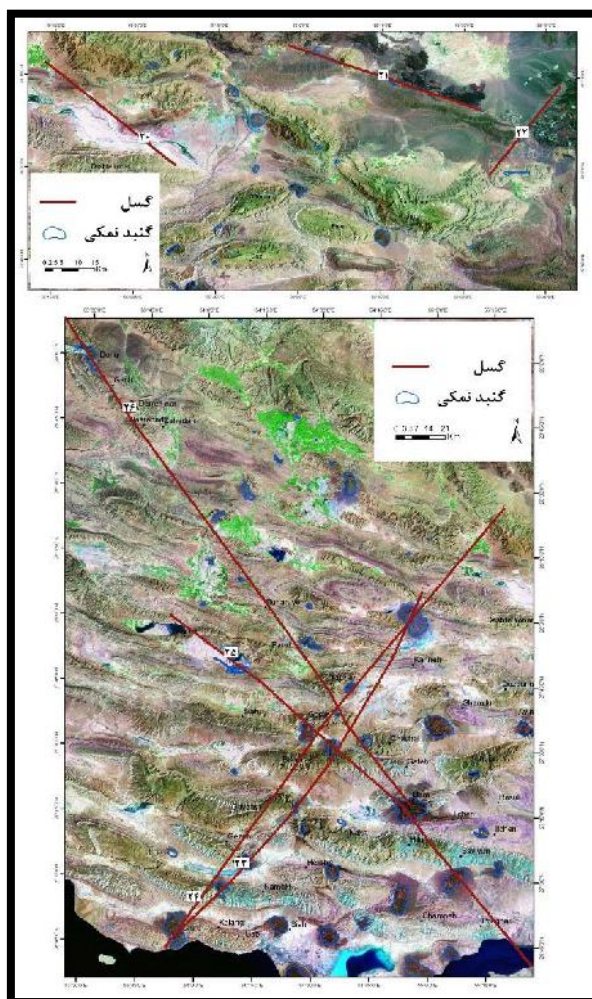
شکل ۷: موقعیت گنبد‌های نمکی و گسل‌های شناسایی شده در محدوده مورد مطالعه



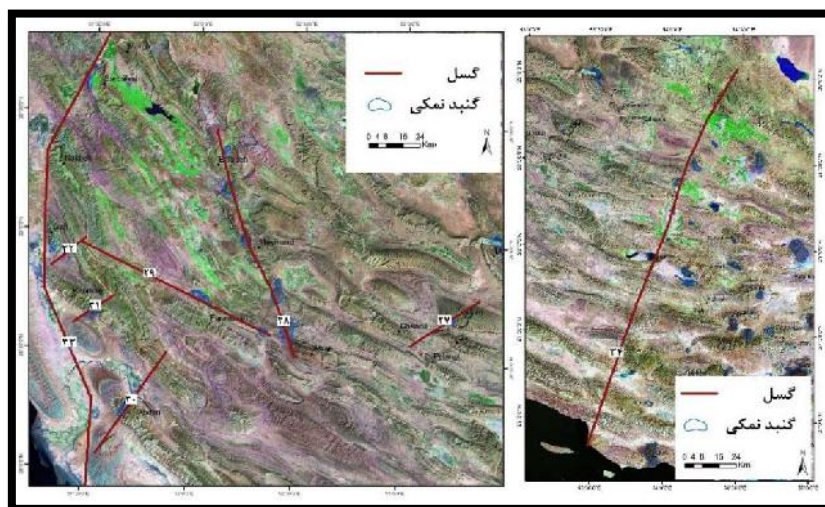
شکل ۸: موقعیت گسل‌های شماره ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸ و ۹



شکل ۹: موقعیت گسل‌های شماره ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴، ۱۵، ۱۶، ۱۷، ۱۸ و ۱۹

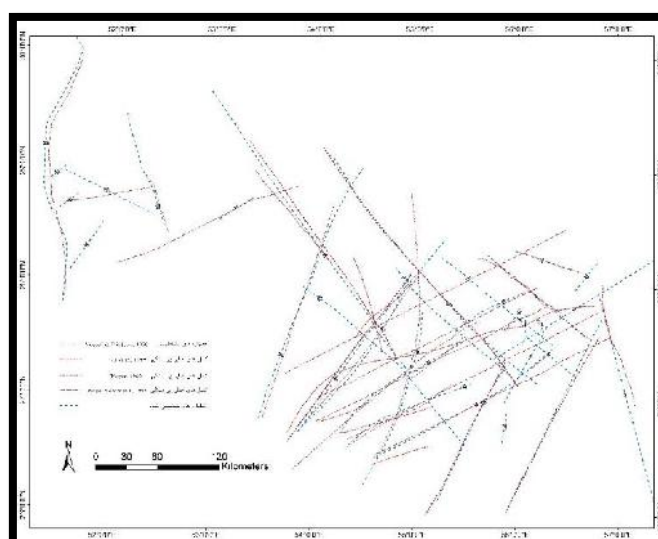


شکل ۱۰: موقعیت گسل‌های شماره ۲۰، ۲۱، ۲۲، ۲۳، ۲۴، ۲۵ و ۲۶



شکل ۱۱: موقعیت گسل‌های شماره ۲۷، ۲۸، ۲۹، ۳۰، ۳۱، ۳۲، ۳۳ و ۳۴

قابل ذکر است که از بین خطواره‌های گسلی نامبرده، ۱۴ گسل برای اولین معرفی می‌گردد که این گسلها شامل گسل‌های شماره ۵، ۶، ۷، ۸، ۱۰، ۱۲، ۱۴، ۲۰، ۲۲، ۲۵، ۲۹، ۳۰، ۳۱ و ۳۲ می‌باشند. گسل‌های شناخته شده با نقشه گسل‌های پی سنگی (پلیبر، ۱۹۶۹؛ نوگل سادات و همکاران، ۱۹۹۳؛ شرکت ملی نفت ایران، ۱۹۷۸) و خطواره‌های مغناطیسی (یوسفی و فریدبرگ، ۱۹۷۸) منطقه مقایسه شد (شکل ۱۰). همانطور که در شکل ۱۲ مشاهده می‌شود، گسل‌های شماره ۱، ۱۱، ۱۵، ۲۴ و ۲۶ منطبق با گسل‌های پی سنگی (شرکت ملی نفت ایران، ۱۹۷۸) است. گسل‌های ۲، ۳، ۱۷، ۱۸، ۲۱، ۲۴ و ۲۶ منطبق بر خطواره‌های مغناطیسی (یوسفی و فریدبرگ، ۱۹۷۸) است. گسل‌های شماره ۳، ۹، ۱۳، ۱۴، ۱۷، ۱۸، ۱۹، ۲۷، ۲۸، ۳۳ و ۳۴ منطبق بر گسل‌های پی سنگی (نوگل سادات و همکاران، ۱۹۹۳) بوده و گسل‌های ۴، ۱۶، ۱۷، ۱۸ و ۲۳ منطبق بر گسل‌های پی سنگی (پلیبر، ۱۹۶۹) می‌باشد.

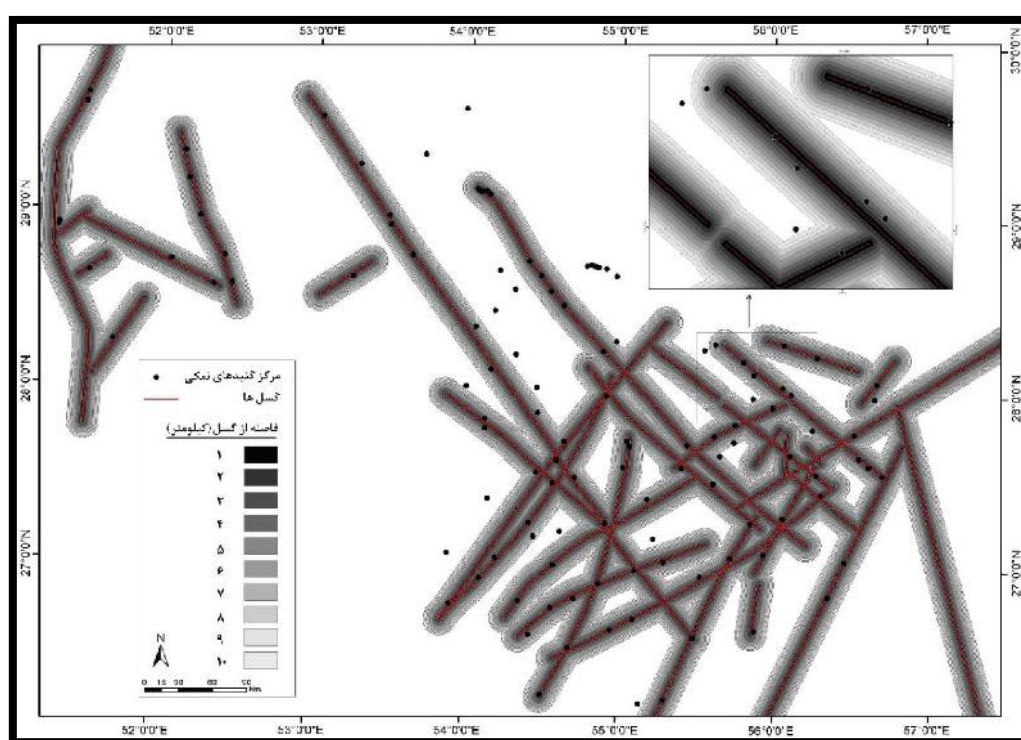


شکل ۱۲- خطواره‌های استخراج شده و مقایسه آنها با خطواره‌های مغناطیسی و گسل‌های اصلی پی سنگی

۱. Player
۲. Nogol-e-Sadat et al
۳. N.I.O.C.
۴. Yousefi & Friedberg

### تعیین ارتباط بین خطواره‌های گسلی و گنبد‌های نمکی سری هرمز

همانطور که در روش کار توضیح داده شد در ابتدا بر روی نقشه خطواره‌های گسلی بافره‌هایی به فواصل ۱۰۰۰ متری طراحی می‌شود و سپس نقشه مراکز گنبد‌های نمکی بر روی آن قرار گرفته و ضرایب مربوطه محاسبه می‌گردد، همانطور که در شکل (۱۳) مشاهده می‌کنید فاصله مطلوب گنبد‌های نمکی از امتداد خطواره ها بر اساس نتایج روش وزن های نشانگر (جدول ۴) قابل مشاهده می‌باشد. همانطور که در جدول شماره ۴ مشخص است با توجه به اینکه در فاصله ۱۰۰۰ متری، مقدار عددی  $C/s(C)$  ۹/۴۲۷ به دست آمده است، که این بیشترین عدد را نشان می‌دهد، می‌توان بیشترین ارتباط بین این دو پدیده را در این فاصله عنوان کرد، حال هرچه این فاصله از گسل بیشتر شود میزان ارتباط نیز کمتر می‌شود.



شکل ۱۳: ارتباط بین گنبد‌های نمکی و گسل‌های منطقه

بر اساس تئوری روش وزن های نشانگر، هرچه میزان عدد به دست آمده برای ستون آخر بزرگتر باشد ارتباط بین دو پدیده بیشتر می‌باشد و به هر میزان که این عدد کمتر شود ارتباط نیز کمتر خواهد شد و این ارتباط تا عدد ۲ ادامه دارد، یعنی اینکه اگر نسبت عددی  $C/s(C)$  کمتر از ۲ بشود دیگر هیچ گونه ارتباطی را نمی‌توان متصور شد. چیزی که در این تحقیق به دست آمده است نشان می‌دهد که اگرچه بیشترین ارتباط بین گنبد‌های نمکی و گسل‌ها در فاصله ۱ کیلومتری به دست آمده است ولیکن این ارتباط تا فاصله ۹ کیلومتری هر چند ضعیف تر نیز ادامه دارد، از این موضوع می‌توان اینطور نتیجه گرفت که در هر صورت زمین‌ساخت منطقه و گسل‌ها عامل مهم و تاثیرگذار در رخمون یابی گنبد‌های نمکی و پراکنش آنها در منطقه مورد مطالعه می‌باشند. علاوه بر این از بین گنبد‌های نمکی رخمون یافته در منطقه مورد مطالعه ۴۵ تای آنها دقیقاً بر روی گسل‌ها قرار دارند یعنی ۳۶ درصد از گنبد‌های نمکی را می‌توان نتیجه عملکرد مستقیم گسل‌ها دانست.

جدول ۴- تغییرات وزن ها و تباین ها برای فواصل تجمعی از امتداد گسل‌ها نسبت به مرکز گنبد‌های نمکی

فاصله از گسل (km)	مساحت تجمعی هر محدوده (Km <sup>2</sup> )	تعداد نقاط	W+	s(W+)	W-	s(W-)	C	s(C)	C/s(C)
۱	۸۳۴۶	۴۵	۱/۳۵	-۰/۱۴۹	-۰/۴۸	-۰/۱۳	۲/۰۸	-۰/۲۲	۹/۴۲
۲	۱۶۴۷۸	۷۰	۱/۱۱	-۰/۱۱۹	-۰/۹۶	-۰/۱۸	۱/۸۳	-۰/۲۰	۹/۰۹
۳	۲۴۳۱۷	۸۶	۰/۹۳	-۰/۱۰۸	-۱/۶۱	-۰/۲۷	۲/۵۴	-۰/۲۹	۸/۵۵
۴	۳۱۸۶۲	۸۸	-۰/۶۸	-۰/۱۰۶	-۱/۶۰	-۰/۳۰	۲/۲۹	-۰/۳۱	۷/۱۵
۵	۳۹۰۸۵	۹۰	۰/۵۰	-۰/۱۰۵	-۱/۶۰	-۰/۳۳	۲/۱۰	-۰/۳۴	۶/۰۲
۶	۴۵۹۵۱	۹۵	۰/۳۹	-۰/۱۰۲	-۲/۱۷	-۰/۵۰	۲/۵۶	-۰/۵۱	۵/۰۲
۷	۵۲۶۰۷	۹۵	۰/۲۶	-۰/۱۰۲	-۱/۸۶	-۰/۵۰	۲/۱۲	-۰/۵۱	۴/۱۶
۸	۵۹۰۴۲	۹۶	۰/۱۵	-۰/۱۰۲	-۱/۷۲	-۰/۵۷	۱/۸۷	-۰/۵۸	۳/۲۰
۹	۶۵۲۰۳	۹۸	۰/۰۷	-۰/۱۰۱	-۲/۱۰	۱/۰۰	۲/۱۸	۱/۰۰	۲/۱۷
۱۰	۷۱۱۰۴	۹۹							

### نتیجه گیری

مطالعات سنجش از دور و پردازش‌های مختلف بر روی تصاویر ماهواره‌ای همچون آنالیز تصاویر سایه-برجسته، فیلترگذاری و ایجاد خمش در روند محور چین‌ها نشان‌دهنده روندهای خطی ساختاری مشخصی در منطقه می‌باشد. بر این اساس ۳۴ خطواره مشخص گردید که از این بین ۱۴ مورد برای اولین بار معرفی می‌گردد. با بررسی نقشه‌های گسل‌های اصلی پی‌سنگی (پلیمر، ۱۹۶۹؛ نوگل سادات و همکاران، ۱۹۹۳؛ شرکت ملی نفت ایران، ۱۹۷۸) و خطواره‌های مغناطیسی (یوسفی و فریدبرگ، ۱۹۷۸) و مقایسه آن با خطواره‌های گسلی شناسایی شده در این مطالعه (شکل ۹)، مشاهده شد برخی از گسل‌های شناسایی شده منطبق با برخی از گسل‌های اصلی پی‌سنگی و خطواره‌های مغناطیسی می‌باشند. برای مثال خطواره‌های ۲ و ۳ بموازات خطواره‌های مغناطیسی در شکل ۱۲ می‌باشند و یا خطواره‌های ۱۸ و ۱۹ منطبق بر خطواره‌های مغناطیسی و گسل‌های پی‌سنگی هستند. این انطباقها می‌تواند بیانگر پی‌سنگی بودن گسل‌های شناسایی شده باشند. همچنین الگوی جایگیری گنبد‌های نمکی نیز اکثراً بصورت خطی بوده و از روند گسل‌ها تبعیت می‌کنند. بر اساس روش آماری وزن‌های نشانگر بیشترین ارتباط مکانی به لحاظ کمی بین خطواره‌های گسلی و گنبد‌های نمکی در فاصله ۱ کیلومتری به دست آمد. بنابراین می‌توان عامل تکتونیک را یکی از مهمترین عوامل در جایگیری و رخمون یافتن گنبد‌های نمکی در سطح زمین دانست.

### منابع

- احمد زاده هروی، محمد، هوشمندزاده، علی، نبوی، محمدحسن ۱۳۶۹، مفاهیم جدیدی از چینه شناسی سازند هرمز و مسئله دیابیریزم در گنبد‌های نمکی جنوب ایران. مجموعه مقالات سمپوزیوم دیابیریزم با نگرش ویژه به ایران، وزارت معادن و فلزات، جلد اول، ص ۲۲-۱.
- قربانی ارجنلی، موسی، قاسمی، محمدرضا ۱۳۹۴، نقش زمین‌ساخت گنبد‌های نمکی در تحول حوضه رسوبی زاگرس (حدفاصل گسل کازرون و گسل میناب)، مجله علوم زمین خوارزمی، جلد ۱ شماره ۲ ص. ۲۱۷-۲۳۴
- طبیعی، همایون ۱۳۷۴، زمین‌شناسی ایران: زمین‌شناسی نفت زاگرس-۱. سازمان زمین‌شناسی کشور. ۱۰۰۹ ص.



- مهشاد نیا، فاطمه ۱۳۸۱، استفاده از رهیافت دورسنجی در شناخت گسل های پنهان و دگرریختی های آنها در جنوب خاوری زاگرس. پایانامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس. ۲۳۴ ص.
- یساقی، علی، داوودی، زهرا ۱۳۸۴، شناسایی گسله ها و پهنه های عرضی-برشی زیرسطحی و تحلیل اثر دگرریختی های آن ها بر کمربند چین خورده- رانده شده زاگرس در پهنه دزفول. مجله علوم دانشگاه تهران، جلد سی و دوم، شماره ۲.
- Agard, P., Omrani, J., Jolivet, L., Whitechurch, H., Vrielynck, B., Spakman, W., Monie, P., Meyer, B. & Wortel, R., 2011, Zagros orogeny: a subduction dominated process, *Geological Magazine*, 148: 692–725.
- Alavi, M., 2004, *Regional stratigraphy of the Zagros fold-thrust belt of Iran and its proforeland evolution*, *American Journal of Science*, 34 (1): 1-20.
- Bahroudi, A. & Koyi, H. A., 2003, *Effect of spatial distribution of Hormuz salt on deformation style in the Zagros fold and thrust belt: An analogue modeling approach*, *J. Geol. Soc.*, 160: 719–733.
- Bonham-Carter, G. F., 1994, *Geographic Information Systems for Geoscientists: Modelling with GIS*, Pergamon Press, Oxford, 398 p.
- Chowdari, S., Singh, B., Rao, N., 2017, *Structural mapping based on potential field and remote sensing data, South Rewa Gondwana Basin, India*, *J. Earth Syst. Sci.* 126(84): 57-68.
- Dastanpour, M., Mehrabi, A., Derakhshani, R., Radfar, S. & Vaziri, M. R., 2012, *Stratigraphy of Hormoz Formation in Gachin salt dome in Iran*, *Proceedings of the Annual International Conference on Geological & Earth Sciences*, Singapore, 48-50.
- Farhoudi, G., Faghih, A., Mosleh, H., Keshavarz, T., Heyhat, M. R. & Rahnama-Rad J., 2008, *Using GIS/RS techniques to interpret different aspects of salt domes in southern Iran*, *Geophysical Research Abstracts*, 10: 652-661.
- Farzipour-Saein, A., Nilfouroushan, F. & Koyi, H., 2013, *The effect of basement step/topography on the geometry of the Zagros fold and thrust belt (SW Iran): an analog modeling approach*, *International Journal of Earth Sciences*, 102(8): 2117-2135.
- Ghasemi-Rozveha, T., Khatiba, M., Yassaghib, A., Gholamia E., 2017, *Using airborne geophysical data in identifying tectonic lineaments in east of Iran*, *Geotectonics*, 51(3): 331–339.
- Jahani, S., Callot, J. P., Frizon de Lamotte, D., Letouzey, J. & Leturmy, P., 2007, *The salt diapirs of the eastern Fars province (Zagros, Iran): A brief outline of their past and present*, in *Thrust Belt and Foreland Basin*, edited by O. Lacombe et al., pp. 287 – 306, Springer, Berlin.
- Jahani, S., Callot, J. P., Frizon de Lamotte & D., Letouzey, J., 2009, *The eastern termination of the Zagros Fold-and-Thrust Belt, Iran: Structures, evolution, and relationships between salt domes, folding, and faulting*, *Tectonics*, 28: TC6004.
- Joudaki, M., Farzipour-Saein, A., Nilfouroushan, F. 2016, *Kinematics and surface fracture pattern of the Anaran basement fault zone in NW of the Zagros fold-thrust belt*. *International Journal of Earth Sciences* 105, 869–83.
- Koyi, H. A., Nilfouroushan, F., Hessami, K. 2016, *Modelling role of basement block rotation and strike-slip faulting on structural pattern in cover units of fold-and-thrust belts*, *Geological Magazine*, 153 (5): 827-844.
- Koyi, H. A., Ghasemi, A., Hessami, K. & Dietl, C., 2008, *The mechanical relationship between strike-slip faults and salt diapirs in the Zagros fold–thrust belt*, *Journal of the Geological Society, London*, 165: 1031–1044.
- Leturmy, P., Molinaro, M. & Lamotte, D. F., 2010, *Structure, timing and morphological signature of hidden reverse basement faults in the Fars Arc of the Zagros (Iran)*, *Geological Society, London, Special Publications*, 330: 121-138.

- McQuarrie, N., 2004, *Crustal scale geometry of the Zagros fold–thrust belt, Iran*, *Journal of Structural Geology*, 26: 519–535.
- Motamedi, H., Sepehr, M., Sherhati, S. & Pourkermani, M., 2011, *Multi-phase hormoz salt diapirism in the southern zagros sw Iran*, *Journal of Petroleum Geology*, 34(1): 29-43.
- N.I.O.C. (National Iranian Oil Company), 1977, "Tectonic map of Iran", National Iranian Oil Company.
- Nogol-e-Sadat M. A., Ahmadzadeh Heravi, M., Almasian, M., Poshtkouhi, M., Hushmandzadeh, A., 1993, *Tectonic Map of Iran, Scale 1:1000000 Geological Survey of Iran*.
- Pirouz, M., Simpson, G., Bahroudi, A., Azhdari & A., 2011, *Neogene sediments and modern depositional environments of the Zagros foreland basin system*, *Geological Magazine*, 148: 838–53.
- Player, R.A., 1969, *The Hormuz Salt Domes of southern Iran*, MS, PhD. Thesis, Reading University, 300 pp.
- Poursoltani, R., Pourkermani, M., Yazdjerdi K., Almasian, M., 2016, *Investigating the Impress of the Active Tectonics and the Rate of Fractures in Ilam Formation, Fars Area, SW Iran*, *Earth & Environmental Sciences*, 6 (6): 498-515.
- Rahnema-Rad, J., Derakhshani, R., Farhoudi, G. & Ghorbani, M., 2008, *Basement Faults and Salt Plug Emplacement in the Arabian Platform in southern Iran*, *Journal of Applied Science*, 8(18): 3235-3241.
- Sabins, F. F., 2007, *Remote Sensing Principles and Interpretation*, Waveland Pr. Inc., New York, 512 p.
- Sepehr, M. & Cosgrove, J. W., 2005, *Role of the Kazerun Fault Zone in the formation and deformation of the Zagros Fold-Thrust Belt, Iran*, *Tectonics*, 24(5): 1-13.
- Sherhati, S., Molinaro, M., Lamotte, D. F. & Letouzey, J., 2005, *Detachment folding in the Central and Eastern Zagros fold-belt (Iran): salt mobility, multiple detachments and late basement control*, *Journal of Structural Geology*, 27: 1680–1696.
- Talebian, M. & Jackson, J. A., 2004, *reappraisal of earthquake focal mechanisms and active shortening in the Zagros mountains of Iran*, *Geophysical Journal International*, 156: 506-526.
- Waltham, T., 2008, *Salt terrains of Iran*, *Geology Today*, 24(5): 188-194.
- Yassaghi, A., 2006, *Integration of landsat imagery interpretation and geomagnetic data on verification of deep-seated transverse fault lineaments in SE Zagros, Iran*, *Int. J. of Remote Sensing*, 56(12): 152-167.
- Yousefi, E. & Friedberg J. L. 1978, *Aeromagnetic Map of Iran, Quadrangle No. G12, H11, H12, H13, H14, I12, I13, Scale 1:250000, Geological Survey of Iran*.
- Zadeh, R. M. & Sarkarinejad, K., 2013, *Webster R. Spatial Heterogeneity of Tectonic Features in the Area between the Qatar-Kazerun and the Minab Faults, the Southeast of the Zagros Fold-and-Thrust Belt, Iran*, *Geoinformatics & Geostatistics: An Overview* 1(3): 247-256.