

# شناسایی خطواره‌های گسلی کمر بند چین خورده - راندگی زاگرس بر پایه تفسیر تصاویر ماهواره‌ای و تعیین ارتباط آنها با موقعیت گنبد های نمکی رخنمون یافته سری هرمز با استفاده از تحلیل های GIS

علی مهرابی<sup>۱\*</sup>، محمد داستانبور<sup>۲</sup>، شهباز رادفر<sup>۳</sup>، محمدرضا وزیری<sup>۴</sup> و رضا درخشانی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی دکترا، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه شهید باهنر، کرمان، ایران

<sup>۲</sup> استاد، مؤسسه آموزش عالی کرمان، کرمان، ایران

<sup>۳</sup> استادیار، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه شهید باهنر، کرمان، ایران

<sup>۴</sup> دانشیار، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه شهید باهنر، کرمان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۹/۲۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۲/۰۶

## چکیده

در پهنه ساختاری زاگرس ایران، محدوده گسترده‌ای از گنبد های نمکی رخنمون یافته است که ساختاری ویژه در جهان دارند و در شرایط زمین‌ساختی ایجاد شده‌اند. گنبد های نمکی رخنمون یافته در کمر بند چین خورده - راندگی زاگرس، الگوهای خطی ایجاد کرده‌اند. چنین روندهایی به نظر می‌رسد که وابسته به ساختارهای خطی است که در تصاویر ماهواره لندست دیده می‌شود. تشخیص خطواره های گسلی و ارتباط آنها با موقعیت گنبد های نمکی از دیدگاه آماری، موضوع این مطالعه است. بر پایه تجزیه و تحلیل های سنجش از دور، جابه‌جایی های افقی در بخش هایی از ساختار چین ها و پراکنش گنبد های نمکی سری هرمز، ۳۴ خطواره گسلی در منطقه تشخیص داده شد. به منظور تعیین ارتباط میان محل گنبد های نمکی و راستای خطواره های گسلی، روشی آماری به نام وزن های نشانگر به کار برده شد. بدین منظور، نقشه خطواره های گسلی و نقشه مرکز گنبد های نمکی به مدل رستر تبدیل و حریم هایی در پیرامون گسل ها استخراج شد؛ سپس ارتباط مکانی میان گنبد های نمکی و خطواره های گسلی به طور کمی با استفاده از روش وزن های نشانگر به دست آمد. بیشترین ارتباط گنبد های نمکی در فاصله افقی یک کیلومتری از خطواره هاست. روش وزن های نشانگر، نشان می‌دهد که خطواره های گسلی مرتبط با زمین ساخت منطقه، مهم ترین عامل در جایگیری گنبد های نمکی در منطقه مورد مطالعه هستند.

**کلیدواژه‌ها:** خطواره های گسلی، گنبد های نمکی، تصاویر ماهواره ای لندست، ارتباط مکانی، زاگرس.

\*نویسنده مسئول: علی مهرابی

E-mail: alimehrabi225@yahoo.com

## ۱- پیش‌نوشتار

کمر بند چین خورده - راندگی زاگرس با روند شمال باختری - جنوب خاوری و با طول نزدیک به ۲۰۰۰ کیلومتر در بخش میانی رشته کوه های آلپ - هیمالیا قرار گرفته است (Jaros, 1981). از دید ساختاری، این کمر بند از چین ها و گسل های رورانه تشکیل شده است. به طور کلی بیشتر گسل های این منطقه پنهان هستند و توسط رسوبات بالایی پوشیده شده‌اند و کمتر به سطح زمین می‌رسند (Leturmy et al., 2010). در نتیجه، شناسایی این گسل ها نیازمند شناخت شواهد مرتبط با آنها، همچون تغییر در توپوگرافی منطقه است (Farzipour-Saein et al., 2013). با این حال با وجود مطالعات فراوانی که در این باره انجام گرفته است (Player, 1969; Talbot & Jarvis, 1984; McQuillan, 1991; Berberian, 1995; McQuarrie, 2004; Authemayou et al., 2006; Rahnama-Rad et al., 2008; Jahani et al., 2009; Leturmy et al., 2010; Farzipour-Saein et al., 2013)، شناسایی دقیق تر خطواره های گسلی با روش های مدرن و پیشرفته کاملاً ضروری به نظر می‌رسد. در کمر بند چین خورده - راندگی زاگرس شمار زیادی گنبد نمکی رخنمون یافته است که آنها را جزو سری هرمز می‌دانند. حوضه نمکی هرمز شامل دیابیرهایی با سن کامبرین است که به مرور زمان از ژرفا به سوی بالا حرکت کرده تا اینکه به سطح زمین رسیده و گنبد های نمکی را تشکیل داده‌اند (Ala, 1974). این حوضه رسوبی در دوره زمانی پر کامبرین تا کامبرین، بر اثر برخورد دو صفحه عربی و ایران ایجاد می‌شود (Waltham, 2008; Farhoudi et al., 2008). نظریات مختلفی در ارتباط با چرایی و چگونگی بالا آمدن نمک ها ارائه شده است که از این میان عامل زمین ساخت بسیار مؤثر دانسته شده است به گونه ای که سبب ایجاد پهنه های شکستگی در رسوبات بالایی می‌شود و راه عبور نمک را آسان می‌کند (Koyi et al., 2008; Motamedi et al., 2011). امروزه با پیشرفت روزافزون

علوم، ماهواره ها و تصاویر ماهواره ای نیز پیشرفت کرده‌اند؛ از این رو استفاده از روش های سنجش از دور و پردازش تصاویر ماهواره ای برای شناسایی و بررسی پدیده های زمین شناسی از جمله گسل ها و خطواره ها بسیار کارآمد به نظر می‌رسد (Yassaghi, 2006). بر این اساس هدف از این پژوهش شناسایی خطواره های گسلی موجود در منطقه مورد مطالعه با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره ای و تعیین ارتباط مکانی میان این خطواره ها و موقعیت گنبد های نمکی رخنمون یافته با استفاده از روشی آماری به نام روش وزن های نشانگر بوده که در محیط GIS قابل کار و اندازه گیری است.

## ۲- موقعیت جغرافیایی و زمین شناسی منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه شامل بخش های پهنای از پهنه ساختاری زاگرس میان عرض جغرافیایی ۲۶°۳۰' تا ۲۹°۳۰' شمالی و طول جغرافیایی ۵۱°۳۰' تا ۵۷°۰۰' خاوری است منطقه مورد مطالعه بخش های زیادی از استان های هرمزگان، فارس و بوشهر را شامل می‌شود. مساحت محدوده مورد مطالعه ۱۰۰۰۰۰ کیلومتر مربع است. شکل ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

کمر بند چین خورده - راندگی زاگرس را از دید ساختاری می‌توان به دو زیر پهنه تقسیم کرد؛ ۱) زیر پهنه چین خورده با پهنای ۱۵۰ تا ۲۵۰ کیلومتر، ناهه حاشیه ای و کراتونی سپر عربستان است که در مزوزویک و سنوزویک در حال نشست پیوسته بوده و ترادف های ستر رسوبی در آن انباشته می‌شده است. در این زیر پهنه، پوشش رسوبی روی پی سنگ، به صورت تاقدیس ها و ناودیس های کشیده، در راستای NW - SE است که صفحه های محوری آنها مارپیچ مانند تاب خورده و به چین ها، سیمای زیگموئیدال باز داده‌اند. اگرچه روند عمومی ساختارها، NW - SE هستند و روندی همانند زاگرس دارند ولی رسوب های شکل پذیر میوسن، عملکرد

### ۲-۲. روش وزن‌های نشانگر

روش وزن‌های نشانگر ابتدا توسط Bonham-Carter (1994) طرح‌ریزی شد. پایه 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 پایه وزن‌دهی میان این نقاط و محدوده‌ها رفتار می‌کند و این وزن‌ها به صورت  $W^+$  (وزن‌دهی به پدیده‌های درون محدوده  $(D_p)$ ) و  $W^-$  (وزن‌دهی به پدیده‌های بیرون از محدوده  $(D_A)$ ) است. باید توجه کرد که مجموع نقاط و محدوده‌های دوتایی را می‌توان با توجه به رابطه زیر مشخص کرد:

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

$$1 < \text{درصد کل مساحت درون محدوده} // \text{درصد رخنمون‌های قرار گرفته درون محدوده} = \text{ارتباط مکانی منفی} \quad (2)$$

$$1 = \text{درصد کل مساحت درون محدوده} // \text{درصد رخنمون‌های قرار گرفته درون محدوده} = \text{بدون ارتباط مکانی} \quad (3)$$

ولی به دلیل اینکه مساحت رخنمون گنبد‌های نمکی کوچک‌تر از محدوده‌هایی است که درون آن قرار دارند، برای نمایش تغییرات، روابط بالا به صورت لگاریتمی ارائه می‌شوند.

$$W^+ = \text{درصد کل مساحت درون محدوده} // \text{درصد رخدادهای درون محدوده} \text{ لگاریتم} \quad (4)$$

$$W^- = \text{درصد کل مساحت بیرون محدوده} // \text{درصد رخدادهای بیرون محدوده} \text{ لگاریتم} \quad (5)$$

که پس از وزن‌دهی، واریانس وزن‌ها از فرمول‌های زیر به دست می‌آید:

$$s^2(w^+) = \frac{1}{mD_p} + \frac{1}{bD_p} \quad (6)$$

$$s^2(w^-) = \frac{1}{mD_A} + \frac{1}{bD_A} \quad (7)$$

در فرمول‌های بالا  $mD_p$  تعداد پیکسل‌های (کوچک‌ترین واحد سازنده تصویر) درون محدوده و شامل رخداد مورد نظر است و  $bD_p$  تعداد پیکسل‌های بدون رخداد مورد نظر و درون محدوده است.

سپس برای هر محدوده دوتایی ضریب تباین (C) از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$C = (W^+) - (W^-) \quad (8)$$

بنابراین برای یک ارتباط مکانی مثبت، مقدار ضریب C مثبت و برای ارتباط مکانی منفی، مقدار ضریب C منفی است. سپس انحراف معیار از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$s(C) = \sqrt{s^2(W^+) + s^2(W^-)} \quad (9)$$

در مواردی که نقاط و رخنمون‌ها به نسبت کم باشند (مانند این پژوهش) نسبت  $C/s(C)$  Studentised Contrast ((Cs)) مبنای کار قرار می‌گیرد. این نسبت به عنوان آزمون غیر رسمی با فرض  $C = \text{صفر}$  رفتار می‌کند. تا زمانی که این نسبت به‌طور نسبی زیاد باشد نشان‌دهنده این است که کنتراست در مقایسه با انحراف استاندارد زیاد است. در نتیجه کنتراست به واقعیت نزدیک‌تر است. از دید تئوری، مشاهده مقدار Studentised که بزرگ‌تر از  $1/5$  یا حتی  $2$  باشد، مطلوب است. به دلیل فرض‌های لازم برای آزمون آماری رسمی، به‌ویژه مسئله وابستگی Cs روی واحدهای اندازه‌گیری، بهترین راه استفاده از این تناسب نه به‌طور مطلق بلکه به‌طور نسبی است. بر این اساس هر چه نسبت به دست آمده در بالا بزرگ‌تر باشد ارتباط مکانی مطلوب‌تر است؛ به گونه‌ای که با بیشترین نسبت به دست آمده برای یک محدوده، می‌توان ارتباط مکانی مطلوب‌تری را برای آن محدوده در نظر گرفت.

گسل‌های پی‌سنگی، تغییر سوی بُردار حرکتی صفحه عربستان نسبت به صفحه ایران و سرانجام حرکت گنبد‌های نمکی، تغییراتی را در سامانه و روند کلی چین‌ها به وجود آورده است؛ (۲) زیرپهنه راندگی زاگرس با پهنای ۱۰ تا ۶۵ کیلومتر، به‌صورت نواری کم‌پهناست که بلندترین بخش کوه‌های زاگرس را تشکیل می‌دهد و از همین رو گاهی به آن زاگرس مرتفع گفته می‌شود (مطیعی، ۱۳۷۴؛ Agard et al., 2011). در جنوب خاوری زاگرس، به‌ویژه در حد فاصل میان گسل کازرون در باختر و گسل میناب در خاور، سنگ‌های پرکامبرین پسین، رخساره کولابی- تبخیری دارند (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 گرانت‌زایی کاتانگایی در آن انباشته شده‌اند. رسوب‌های تبخیری و سنگ‌های ماگمایی این حوضه به‌صورت گنبد‌های نمکی بروز دارند (شکل ۲). سری هرمز شامل سنگ نمک (به رنگ‌های گوناگون)، انیدریت، ژپس، سنگ‌آهک سیاه رنگ، دولومیت بودار چرتی، ماسه‌سنگ سُرخ، شیل رنگارنگ، سنگ‌های آذرین (درونی- بیرونی) و کانی‌های آهن و آپاتیت‌دار است (احمدزاده هروی و همکاران، ۱۳۶۹؛ Bosak et al., 1998؛ Dastanpour et al., 2012؛ Bruthans et al., 2006).

### ۳- روش کار

با توجه به اینکه استفاده از روش‌های سنجنش از دور و پردازش تصاویر ماهواره‌ای در شناسایی الگوهای خطی بسیار کارآمد است و این الگوهای خطی سطحی می‌توانند مرتبط با رژیم‌های زمین‌ساختی منطقه باشند (Mitra & Mount, 1998؛ Hessami et al., 2001؛ Talebian & Jackson, 2004؛ Rahnama-Rad et al., 2008؛ Leturmy et al., 2010)، در این پژوهش تصمیم گرفته شد که با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای منطقه مورد مطالعه و انجام پردازش‌های مختلف روی آنها، خطواره‌های گسلی با دقت شناسایی شود و در ادامه در محیط GIS و با استفاده از روش‌هایی مانند روش وزن‌های نشانگر ارتباط این خطواره‌ها با رخنمون گنبد‌های نمکی منطقه مورد بررسی قرار گیرد.

#### ۳-۱- پردازش تصاویر ماهواره‌ای

به منظور انجام مطالعات دورسنجی از تصاویر ETM خریداری شده مربوط به سال ۲۰۰۸ در مرکز سنجنش از دور ایران استفاده شد؛ همچنین پردازش تصاویر در نرم‌افزار Envi 4.7 صورت گرفت. برای شناسایی خطواره‌ها افزون بر بررسی و استفاده از ترکیب‌های باندی متفاوت از جمله ترکیب باندی ۲، ۳ و ۴ که برای تحلیل ساختاری بسیار مفید است، از روش‌های مختلف دیگری نیز استفاده شد. یکی از روش‌های معمول برای استخراج ساختارهای خطی استفاده از تصویر سایه- برجسته (Shaded-Relief) مربوط به مدل ارتفاع رقومی (DEM) است؛ بدین صورت که با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی رقومی با مقیاس  $1/25000$  مربوط به منطقه، مدل ارتفاعی آن در نرم‌افزار Rivertools 2.4 تهیه می‌شود. آنگاه از روی مدل ارتفاع رقومی تهیه شده، تصویر سایه - برجسته استخراج می‌شود. حال برای نمایش خطواره‌ها در جهت‌های مختلف (۸ جهت) به‌طور مجازی نور تابانده شد؛ با این کار، برخی از ساختارهای خطی شناسایی و رقومی شد (شکل ۳).

افزون بر آن، از روش‌های آشکارسازی لبه (Edge detection) و اعمال فیلتر نیز برای شناسایی این عوارض بهره گرفته شد؛ آشکارسازی در جهت‌های مختلف (۸ جهت) صورت گرفت تا خطواره‌های موجود در همه جهت‌ها در منطقه مشخص شوند. افزون بر آن، از فیلتر حلقوی لاپلاسی N و از P نیز برای آشکارسازی عوارض خطی استفاده شد. به این ترتیب علائم خطی و شکستگی‌های موجود در منطقه شناسایی و رقومی شد.

به منظور تعیین ارتباط میان خطواره‌های گسلی و گنبد‌های نمکی مراحل زیر در محیط GIS انجام شد:

- (۱) تبدیل نقشه خطواره‌های گسلی منطقه به لایه وکتوری خطی.
- (۲) تهیه مرکز گنبد‌های نمکی منطقه به صورت یک لایه نقطه‌ای.
- (۳) تبدیل نقشه وکتوری خطواره‌های گسلی منطقه به رستر و سپس تهیه نقشه فواصل مشخص (بافرهای ۱۰۰۰ متری) از آن.
- (۴) تبدیل وکتور به رستر نقشه نقاط گنبد‌های نمکی.
- (۵) اندازه‌گیری تعداد نقاط درون هر محدوده دوتایی با روی هم‌اندازی لایه رستری نقاط گنبد نمکی و لایه رستری محدوده‌های دوتایی خطواره‌های گسلی.
- (۶) محاسبه وزن‌ها و ضرایب بر پایه معادلات ۱ تا ۴.
- (۷) محاسبه ضریب C و Studentised C.

در ادامه ارتباط میان عوامل تعیین می‌شود. قابل توجه است که مراحل کار در نرم‌افزار ArcGIS 9.3 انجام می‌گیرد. همچنین اندازه پیکسلی استفاده شده در تحلیل‌های رستری GIS ۱۰۰×۱۰۰ متر است.

#### ۴- بحث

به نقشه در آوردن خطواره‌های گسلی یکی از اهداف بنیادین این پژوهش به شمار می‌آید. شناسایی خطواره‌های گسلی فرایندی حساس است که نیاز به تخصص و مهارت دارد و این دست‌نیافتنی است جز با استفاده از روش‌های سنجش از دور همچون پردازش تصاویر ماهواره‌ای، فیلترینگ و شناسایی الگوها. افزون بر این، شواهد ریخت‌شناختی و ساختاری زیادی نیز به شناسایی آنها کمک می‌کند؛ مانند خمش‌های رخ داده در روند محور چین‌ها و یا در امتداد هم قرار گرفتن گنبد‌های نمکی در منطقه (یساقی و داوودی، ۱۳۸۴؛ مهشادینیا، ۱۳۸۱؛ Furst, 1990; Berberian, 1995; Bahroudi & Koyi, 2003; Jahani et al., 2007 & 2009). بر این اساس، ۳۴ خطواره در منطقه مورد مطالعه شناسایی و با نقشه گسل‌های پی‌سنگی (Nogol-e-Sadat et al., 1993; Player, 1969; N.I.O.C., 1977) و خطواره‌های مغناطیسی (Yousefi & Friedberg, 1978) منطقه مقایسه و ارتباط آنها تحلیل شد (شکل ۴) که در ادامه به تک‌تک آنها پرداخته می‌شود.

#### ۴-۱. خطواره شماره ۱

این گسل با امتداد NE-SW و دارای زاویه آزیموت ۲۶ درجه، از گنبد نمکی‌های لارک و هرمز عبور می‌کند و سبب ایجاد انحراف و یک جابه‌جایی چپ‌گرد در بخش خاوری محور تاقدیس نمک می‌شود. این خطواره منطبق بر گسل اصلی پی‌سنگی (N.I.O.C., 1977) است (شکل‌های ۴ و ۵).

#### ۴-۲. خطواره شماره ۲

گسل شماره ۲ یک گسل امتدادلغز با آزیموت ۱۲۹ درجه و در امتداد NW-SE است. در نتیجه عملکرد این گسل سطح محوری تاقدیس‌های فراقون و نمک، دچار خمش شده است (شکل ۵). گنبد‌های نمکی داربست، تخو، کوشک کوه غرب و گهکم در امتداد این گسل رخنمون یافته‌اند. طول این گسل ۱۳۰ کیلومتر است. این خطواره منطبق بر خطواره مغناطیسی (Yousefi & Friedberg, 1978) است (شکل ۴).

#### ۴-۳. خطواره شماره ۳

این گسل به عنوان گسل میناب شناخته می‌شود، از اثرات این گسل می‌توان به عامل جهت‌گیری خاص تاقدیس میناب اشاره کرد. گسل میناب یک گسل امتدادلغز راست‌گرد با آزیموت ۱۶۵ درجه است. طول این گسل ۳۰۰ کیلومتر است. این خطواره هم توسط نقشه خطواره‌های مغناطیسی (Yousefi & Friedberg, 1978) و هم توسط نقشه گسل‌های پی‌سنگی (Nogol-e-Sadat et al., 1993) مورد تأیید است (شکل‌های ۴ و ۵).

#### ۴-۴. خطواره شماره ۴

این گسل با طول ۱۵ کیلومتر یک گسل امتدادلغز راست‌گرد است که سبب جابه‌جایی در بخش خاوری محور تاقدیس هندون شده است (شکل ۶). این خطواره منطبق بر گسل اصلی پی‌سنگی (Player, 1969) است (شکل ۴).

#### ۴-۵. خطواره شماره ۵

گسل شماره ۵ یک گسل امتدادلغز راست‌گرد با آزیموت ۱۲۷ درجه است، این گسل از باختر تاقدیس نمک آغاز می‌شود و تاقدیس‌های نمک، هندون، باز و موران را برش می‌دهد و سبب ایجاد جابه‌جایی راست‌گرد در این تاقدیس‌ها می‌شود (شکل ۶). طول این گسل ۹۰ کیلومتر است. همچنین دو گنبد نمکی آراین و خورگو روی این گسل رخنمون یافته‌اند.

#### ۴-۶. خطواره شماره ۶

این گسل با آزیموت ۲۹ درجه و با طول ۷۰ کیلومتر سبب ایجاد ساختارهای فروریزی در تاقدیس گنو شده است. گنبد‌های نمکی گچین، کلات بالا و خورگو روی این گسل قرار دارند (شکل ۶).

#### ۴-۷. خطواره شماره ۷

گسل شماره ۷ یک گسل امتدادلغز راست‌گرد با آزیموت ۵۸ درجه است. این گسل از شمال تاقدیس گاشو آغاز و سبب ایجاد خمش در محور تاقدیس فراقون شده است. طول این گسل ۱۸۰ کیلومتر است (شکل ۶).

#### ۴-۸. خطواره شماره ۸

گسل شماره ۸ یک گسل امتدادلغز راست‌گرد با آزیموت ۱۸۳ درجه و در امتداد N-S است. در نتیجه عملکرد این گسل سطح محوری تاقدیس هندون دچار برش و جابه‌جایی شده است (شکل ۶). ایجاد گنبد نمکی آراین را می‌توان نتیجه عمل این گسل پی‌سنگی دانست. طول این گسل ۳۰ کیلومتر است.

#### ۴-۹. خطواره شماره ۹

این گسل با امتداد NW-SE یک گسل امتدادلغز با آزیموت ۱۲۹ درجه است که سبب یک جابه‌جایی راست‌گرد در محور تاقدیس سرخون شده است. گسل شماره ۹ از گنبد نمکی گنو عبور کرده و طول آن ۶۰ کیلومتر است. این خطواره روی نقشه گسل‌های پی‌سنگی (Nogol-e-Sadat et al., 1993) منطبق است (شکل‌های ۴ و ۶).

#### ۴-۱۰. خطواره شماره ۱۰

این گسل با آزیموت ۱۳۳ درجه و با طول ۱۵۰ کیلومتر یک گسل چپ‌گرد است که از بخش خاوری تاقدیس گاشو شروع و سبب 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 ۷).

#### ۴-۱۱. خطواره شماره ۱۱

گسل شماره ۱۱ یک گسل امتدادلغز راست‌گرد با آزیموت ۱۳۷ درجه است. این گسل سبب جابه‌جایی راست‌گرد در محور تاقدیس‌های سورو، گاشو و دزدونو شده است (شکل ۷). ۷ گنبد نمکی در مسیر این گسل پی‌سنگی قرار دارند. این گسل یکی از بزرگ‌ترین گسل‌های منطقه است؛ به گونه‌ای که طول آن ۳۲۰ کیلومتر است. این گسل کمانی به سمت باختر دارد. این خطواره منطبق بر گسل اصلی پی‌سنگی (N.I.O.C., 1977) است (شکل ۴).

#### ۴-۱۲. خطواره شماره ۱۲

این گسل با امتداد NE-SW و با آزیموت ۳۵ درجه سبب ایجاد برش در بخش خاوری تاقدیس باز و بخش باختری تاقدیس هندون شده است. طول این گسل ۲۵ کیلومتر است (شکل ۷).

#### ۴-۱۳. خطواره شماره ۱۳

این گسل با آزیموت ۵۸ درجه و با طول ۲۱۰ کیلومتر سبب انحراف و خمش

شده است. این گسل دارای طولی ۶۰ کیلومتری است (شکل ۹). این خطواره منطبق بر خطواره مغناطیسی (1978) Yousefi & Friedberg است (شکل ۴).

#### ۴-۲۲. خطواره شماره ۲۲

این گسل با امتداد NE-SW و با آزمون ۳۹ درجه گنبد نمکی کجاق را قطع می‌کند. طول این گسل ۳۰ کیلومتر است (شکل ۴).

#### ۴-۲۳. خطواره شماره ۲۳

گسل شماره ۲۳ با آزمون ۳۵ درجه یک گسل امتدادلغز چپ‌گرد است (شکل ۱۰). این گسل از گنبد نمکی مسیجون شروع و سبب ایجاد انحراف در بخش خاوری محور تاقدیس گچ و همچنین ایجاد انحراف در بخش خاوری محور گاوپیست، گزه، نمکی و چپرو شده است. ۷ گنبد نمکی در امتداد این گسل پی‌سنگی رخنمون دارد. طول این گسل ۱۸۰ کیلومتر است. این خطواره منطبق بر گسل اصلی پی‌سنگی (1969) Player است (شکل ۴).

#### ۴-۲۴. خطواره شماره ۲۴

این گسل با امتداد NE-SW و با آزمون ۳۷ درجه به موازات گسل شماره ۲۳ است. از گنبد نمکی چپرو و آغاز و سبب انحراف در محور تاقدیس‌های چپرو، نمکی، گزه، گاوپیست، گچ و کورده شده است. همچنین ۵ گنبد نمکی در طول این گسل قرار دارد. طول این گسل ۲۴۰ کیلومتر است (شکل ۱۰). این خطواره هم توسط نقشه خطواره‌های مغناطیسی (1978) Yousefi & Friedberg و هم توسط نقشه گسل‌های پی‌سنگی (1977) N.I.O.C. مورد تأیید است (شکل ۴).

#### ۴-۲۵. خطواره شماره ۲۵

این گسل امتدادلغز، راست‌گرد و با آزمون ۴۵ درجه است. از اثرات آن می‌توان به انحراف راست‌گرد در محورهای تاقدیس‌های هور، کهنه، گچ، بورخ، نخ و چمپه اشاره کرد (شکل ۱۰). ۷ گنبد نمکی، مانند گنبد نمکی گچ در تاقدیس گچ، گنبد نمکی بم و گنبد نمکی نمکدان در جزیره قشم در راستا و امتداد این گسل رخنمون یافته‌اند. طول این گسل ۲۲۰ کیلومتر است.

#### ۴-۲۶. خطواره شماره ۲۶

این گسل با امتداد NW-SE و با آزمون ۱۴۵ درجه از گنبد نمکی بم در جنوب خاور منطقه شروع می‌شود و گنبد‌های نمکی چهل، علی‌آباد و SP32 را در شمال باختر منطقه، قطع می‌کند. این گسل سبب انحراف در محور تاقدیس‌های گته، گچال، گچ، کورده، بونارویه، نصرآباد، دره نار و دوهو می‌شود (شکل ۱۰). این گسل با طول ۳۳۰ کیلومتر یکی از بزرگ‌ترین گسل‌های موجود در منطقه است. این خطواره هم توسط نقشه خطواره‌های مغناطیسی (1978) Yousefi & Friedberg و هم توسط نقشه گسل‌های پی‌سنگی (1977) N.I.O.C. مورد تأیید است (شکل ۴).

#### ۴-۲۷. خطواره شماره ۲۷

این گسل امتدادلغز و چپ‌گرد با آزمون ۵۷ درجه است و سبب جابه‌جایی چپ‌گرد در محور تاقدیس‌های گوم، گار و قندیل شده است. طول آن ۴۰ کیلومتر است (شکل ۱۱). این خطواره منطبق بر نقشه گسل‌های پی‌سنگی (1993) Nogol-e-Sadat et al. است (شکل ۴).

#### ۴-۲۸. خطواره شماره ۲۸

این یک گسل امتدادلغز و راست‌گرد با آزمون ۱۶۲ درجه بوده که گنبد نمکی جهانی را قطع کرده و موجب انحراف در محور تاقدیس‌های افزار، میمند و بالاده شده است. ۶ گنبد نمکی در راستای این گسل قرار دارند. طول این گسل ۱۱۰ کیلومتر است (شکل ۱۱). این خطواره منطبق بر نقشه گسل‌های پی‌سنگی (1993) Nogol-e-Sadat et al. است (شکل ۴).

#### ۴-۲۹. خطواره شماره ۲۹

این گسل با آزمون ۱۱۶ درجه گنبد‌های نمکی خوراب و فراشمن را قطع می‌کند و طول آن ۹۵ کیلومتر است (شکل ۱۱).

در محور تاقدیس خمیر شده و گنبد‌های نمکی بوستانه، بندر معلم، حمیران، پل، گچین و گنو در امتداد این گسل قرار گرفته است. این خطواره روی نقشه گسل‌های پی‌سنگی (1993) Nogol-e-Sadat et al. منطبق است (شکل‌های ۴ و ۸).

#### ۴-۱۴. خطواره شماره ۱۴

این گسل با امتداد NE-SW و با آزمون ۲۵ درجه از گنبد نمکی هنگام در جزیره هنگام شروع و سبب ایجاد انحراف در محور تاقدیس سوزا در جزیره قشم شده است (شکل ۸). طول این گسل ۲۸ کیلومتر است. این خطواره توسط نقشه گسل‌های پی‌سنگی (1993) Nogol-e-Sadat et al. تأیید است (شکل ۴).

#### ۴-۱۵. خطواره شماره ۱۵

انتهای خاوری محور تاقدیس خمیر توسط فعالیت گسلی امتدادلغز با مؤلفه راست‌گرد و با آزمون ۲۷ درجه، منحرف شده است. این گسل با طول ۱۵۰ کیلومتر از گنبد نمکی نمکدان، پل و انگورو می‌گذرد (شکل ۸). این خطواره منطبق بر گسل اصلی پی‌سنگی (1977) N.I.O.C. است (شکل ۴).

#### ۴-۱۶. خطواره شماره ۱۶

گسل شماره ۱۶ با آزمون ۱۹ درجه و تحدب کم به سوی خاور از سوی باختر تاقدیس شمیلو در شمال شروع و سبب انحراف در محور تاقدیس‌های شولز، باویون، هرنگ، چمپه و بوستانه شده است (شکل ۸). در طول این گسل ۷ گنبد نمکی رخنمون دارند. جهت یافتگی طولی گنبد نمکی زندان را می‌توان ناشی از عملکرد این گسل دانست. امتداد این گسل تا جزایر فارور بزرگ و کوچک نیز کشیده می‌شود. طول این گسل ۱۸۰ کیلومتر است. این خطواره منطبق بر گسل اصلی پی‌سنگی (1969) Player است (شکل ۴).

#### ۴-۱۷. خطواره شماره ۱۷

این گسل با امتداد NE-SW و با آزمون ۶۴ درجه از گنبد نمکی موفویه شروع می‌شود. از ویژگی‌های بی‌همتای این گسل می‌توان به رخنمون ۶ گنبد نمکی با فواصل منظم در امتداد این گسل پی‌سنگی اشاره کرد. این گسل سبب جابه‌جایی چپ‌گرد در محور تاقدیس‌های هرنگ، باویون و چمپه شده است (شکل ۸). این خطواره هم توسط نقشه خطواره‌های مغناطیسی (1978) Yousefi & Friedberg و هم توسط نقشه گسل‌های پی‌سنگی (1969) Player و (1993) Nogol-e-Sadat et al. مورد تأیید است (شکل ۴).

#### ۴-۱۸. خطواره شماره ۱۸

گسل شماره ۱۸ با آزمون ۵۳ درجه یک گسل امتدادلغز چپ‌گرد است (شکل ۸). این گسل سبب انحراف چپ‌گرد در محور تاقدیس‌های هرنگ، نمک و نخ شده است. طول آن ۱۵۰ کیلومتر است و گنبد‌های نمکی چهارک، چهار برکه و بم در امتداد این گسل قرار دارند. این خطواره هم توسط نقشه خطواره‌های مغناطیسی (1978) Yousefi & Friedberg و هم توسط نقشه گسل‌های پی‌سنگی (1969) Player و (1993) Nogol-e-Sadat et al. مورد تأیید است (شکل ۴).

#### ۴-۱۹. خطواره شماره ۱۹

این گسل با آزمون ۶۰ درجه و با طول ۸۰ کیلومتر سبب انحراف و خمش در محور تاقدیس دزدونو و موران شده است و گنبد‌های نمکی شمیلو، خاین، موران و تنگه زاغ در امتداد این گسل قرار گرفته‌اند (شکل ۸). این خطواره منطبق بر نقشه گسل‌های پی‌سنگی (1993) Nogol-e-Sadat et al. است (شکل ۴).

#### ۴-۲۰. خطواره شماره ۲۰

گسل امتدادلغز راست‌گرد با آزمون ۵۱ درجه سبب ایجاد جابه‌جایی در محور تاقدیس دشت کنار شده است. طول این گسل ۵۰ کیلومتر است (شکل ۹).

#### ۴-۲۱. خطواره شماره ۲۱

گسل شماره ۲۱ با آزمون ۷۱ درجه سبب کنترل گنبد‌های نمکی SP34 و SP36

#### ۴-۳۰. خطواره شماره ۳۰

این گسل با امتداد NE-SW یک گسل امتدادلغز راست گرد با آزیموت ۳۵ درجه است و سبب ایجاد برش در تاقدیس آبدان شده است (شکل ۱۱).

#### ۴-۳۱. خطواره شماره ۳۱

این گسل امتدادلغز و چپ گرد با آزیموت آن ۵۵ درجه است و سبب جابه‌جایی چپ گرد در محور تاقدیس خورموج شده است. طول آن ۲۰ کیلومتر است (شکل ۱۱).

#### ۴-۳۲. خطواره شماره ۳۲

این گسل با روند NE-SW امتدادلغز و چپ گرد است، آزیموت آن ۵۱ درجه و سبب جابه‌جایی چپ گرد در محور تاقدیس سیاه شده است. طول آن ۲۰ کیلومتر است (شکل ۱۱).

#### ۴-۳۳. خطواره شماره ۳۳

این گسل معروف به گسل قطر - کازرون است (Sepehr & Cosgrove., 2005; Zadeh & Sarkarinejad, 2013). گسلی از نوع امتدادلغز و راست گرد با روند تقریبی شمالی - جنوبی است و طول آن به ۲۷۰ کیلومتر می‌رسد. در حقیقت این گسل کنترل‌کننده بخش باختری حوضه نمکی هرمز است. در مسیر خود سبب جابه‌جایی و خمش در محور تاقدیس‌های ناخه، سربالش و مرغ شده است. گنبد نمکی خورموج روی این گسل رخنمون دارد (۱۱). این خطواره منطبق بر نقشه گسل‌های پی‌سنگی Nogol-e-Sadat et al. (1993) است (شکل ۴).

#### ۴-۳۴. خطواره شماره ۳۴

این گسل معروف به گسل رازک است. گسلی از نوع امتدادلغز و راست گرد با روند تقریبی NE-SW است و طول آن به ۲۶۰ کیلومتر می‌رسد. این گسل در مسیر خود سبب جابه‌جایی و خمش در محور تاقدیس‌های مختلفی شده است که در شکل ۱۲ مشخص است. این خطواره منطبق بر نقشه گسل‌های پی‌سنگی Nogol-e-Sadat et al. (1993) است (شکل ۴).

گفتنی است که از میان خطواره‌های گسلی نامبرده، ۱۹ گسل برای اولین معرفی می‌شود که این گسل‌ها شامل گسل‌های شماره ۲ تا ۸، ۱۰، ۱۲، ۱۴، ۲۰ تا ۲۲، ۲۵، ۲۷ و ۲۹ تا ۳۲ هستند.

#### ۵- تعیین ارتباط میان خطواره‌های گسلی و گنبد‌های نمکی سری هرمز

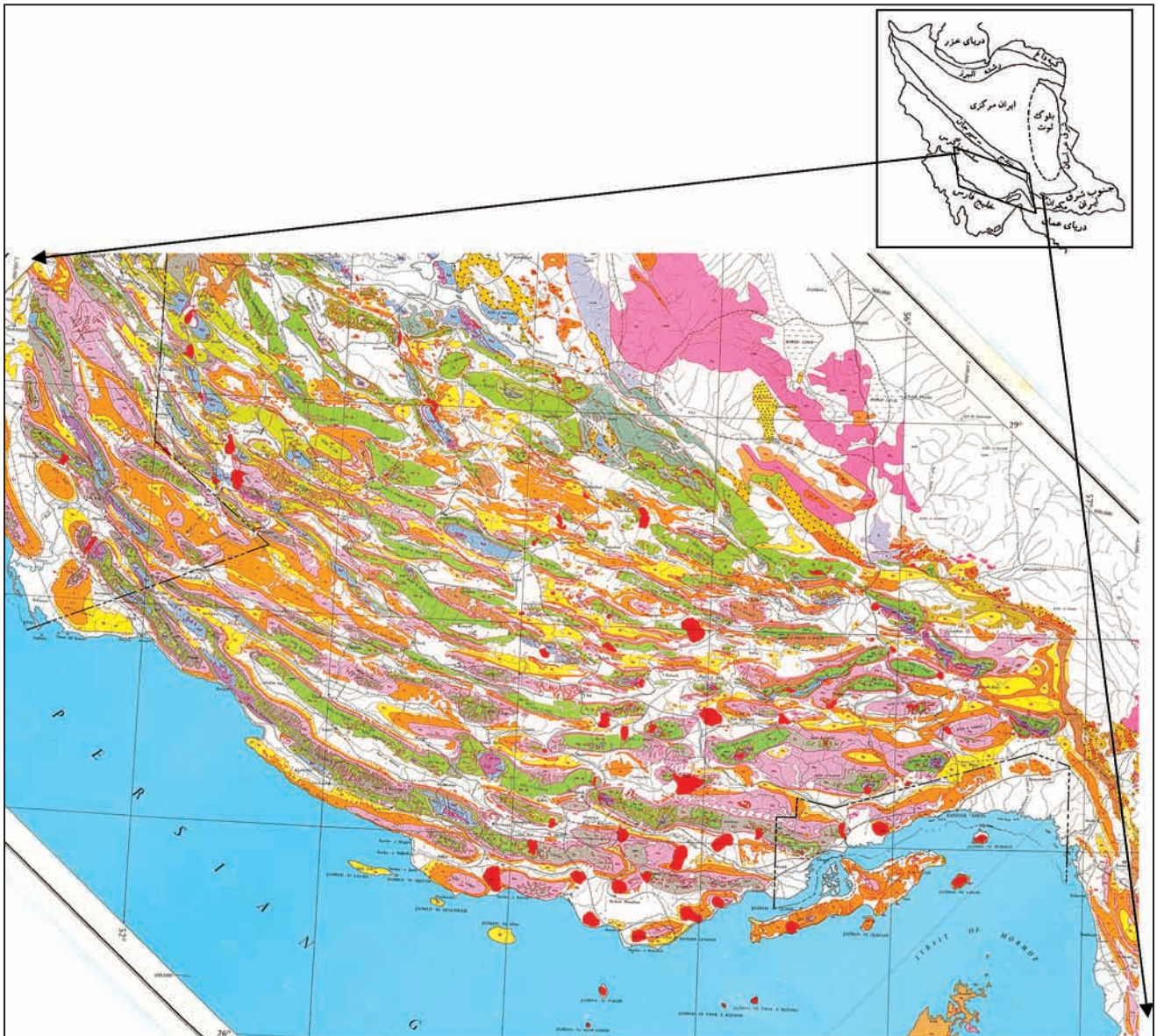
همان‌گونه که در روش کار توضیح داده شد در ابتدا روی نقشه خطواره‌های گسلی بافرهایی به فواصل ۱۰۰۰ متری طراحی می‌شود و سپس نقشه مراکز گنبد‌های نمکی روی آن قرار می‌گیرد و ضرایب مربوطه محاسبه می‌شود. با توجه به شکل ۱۳، فاصله مطلوب گنبد‌های نمکی از امتداد خطواره‌ها بر پایه نتایج روش وزن‌های نشانگر (جدول ۱) دیده می‌شود. همان‌گونه که در جدول 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 میان این دو پدیده را در این فاصله عنوان کرد؛ حال هر چه این فاصله از گسل بیشتر شود میزان ارتباط نیز کمتر می‌شود. بر پایه تنوری روش وزن‌های نشانگر، هر چه میزان عدد به دست آمده برای ستون آخر بزرگ‌تر باشد ارتباط میان دو پدیده بیشتر است و به هر میزان که این عدد کمتر شود ارتباط نیز کمتر خواهد شد؛ این ارتباط تا عدد ۲ ادامه دارد؛ یعنی این که اگر نسبت عددی  $C/s(C)$  کمتر از ۲ بشود دیگر هیچ گونه ارتباطی را نمی‌توان مشخص کرد. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که اگر چه بیشترین ارتباط میان گنبد‌های نمکی و گسل‌ها در فاصله ۱ کیلومتری به دست آمده است، ولی این ارتباط تا فاصله ۹ کیلومتری نیز ادامه دارد؛ هر چند ضعیف‌تر. از این موضوع می‌توان نتیجه گرفت که در هر صورت زمین‌ساخت منطقه و گسل‌ها عوامل مهم و تأثیرگذاری در رخنمون‌یابی گنبد‌های نمکی و پراکنش آنها در منطقه مورد مطالعه هستند. افزون بر این از میان گنبد‌های نمکی رخنمون یافته در منطقه مورد مطالعه ۴۵ عدد آنها دقیقاً روی گسل‌ها قرار دارند یعنی ۳۶ درصد از گنبد‌های نمکی را می‌توان نتیجه عملکرد مستقیم گسل‌ها دانست.

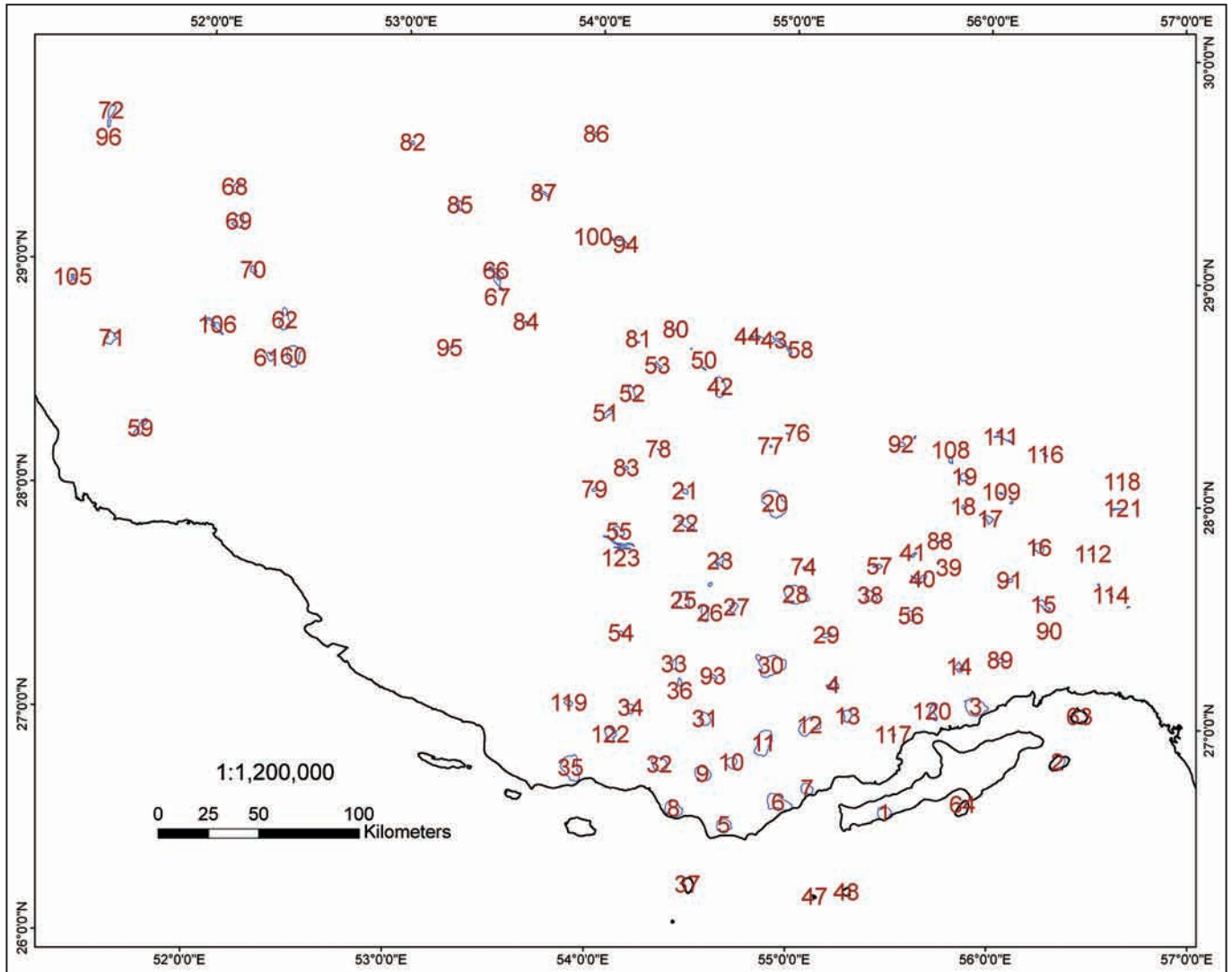
#### ۶- نتیجه‌گیری

مطالعات سنجش از دور و پردازش‌های مختلف روی تصاویر ماهواره‌ای همچون تجزیه تصاویر سایه - برجسته، فیلترگذاری و ایجاد خمش در روند محور چین‌ها نشان‌دهنده روندهای خطی ساختاری مشخصی در منطقه است. بر این اساس ۳۴ خطواره مشخص شد که از این میان ۱۹ تا از آنها برای اولین بار معرفی شده است. با بررسی نقشه‌های گسل‌های اصلی پی‌سنگی (Player (1969)، N.I.O.C. (1977) و Nogol-e-Sadat et al. (1993) و خطواره‌های مغناطیسی (Yousefi & Friedberg (1978) و مقایسه آن با خطواره‌های شناسایی شده در این مطالعه (شکل ۴)، دیده می‌شود که برخی از خطواره‌ها و پهنه‌های شناسایی شده منطبق با برخی از گسل‌های اصلی پی‌سنگی و خطواره‌های مغناطیسی هستند. برای نمونه خطواره‌های ۲ و ۳ به موازات خطواره‌های مغناطیسی در شکل ۴ و یا خطواره‌های ۱۸ و ۱۹ منطبق بر خطواره‌های مغناطیسی و گسل‌های پی‌سنگی هستند. این انطباق‌ها می‌تواند بیانگر پی‌سنگی بودن خطواره‌های شناسایی شده باشد. همچنین الگوی جایگیری گنبد‌های نمکی نیز بیشتر به صورت خطی است و از روند خطواره‌ها پیروی می‌کنند. بر پایه روش آماری وزن‌های نشانگر، بیشترین ارتباط مکانی از دید کمی، میان خطواره‌های گسلی و گنبد‌های نمکی در فاصله ۱ کیلومتری به دست آمد. بنابراین می‌توان عامل زمین‌ساخت را یکی از مهم‌ترین عوامل در جایگیری و رخنمون یافتن گنبد‌های نمکی در سطح زمین دانست.



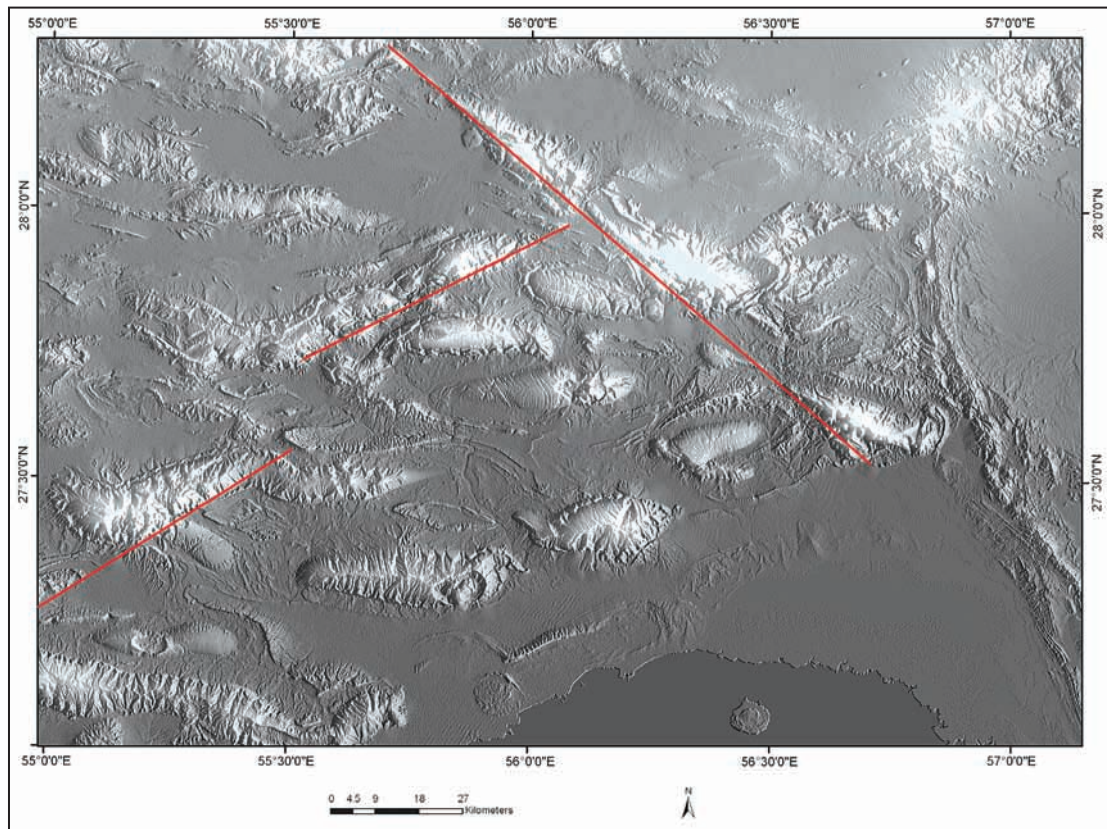


شکل ۱- محدوده مورد مطالعه.

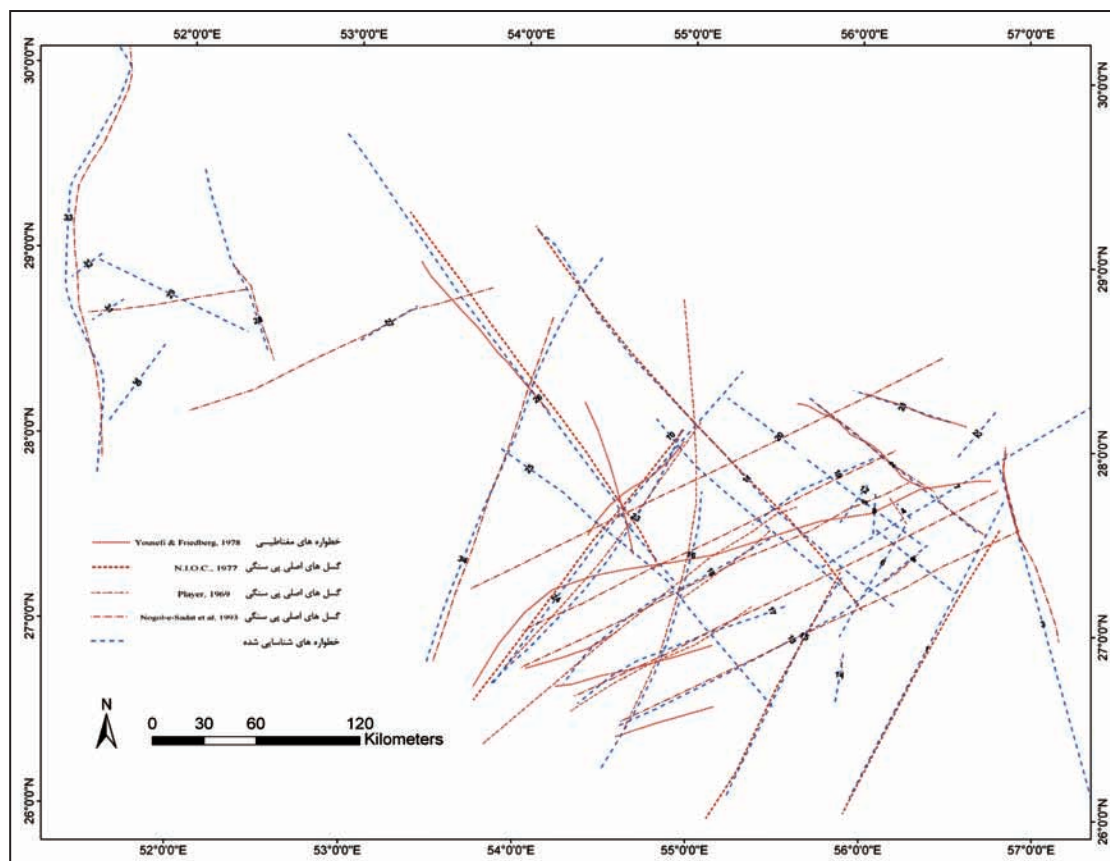


شکل ۲- نقشه پراکنش گنبد‌های نمکی منطقه مورد مطالعه و نام آنها: ۱- نمکدان، ۲- لارک، ۳- گچین، ۴- ایلچین، ۵- بوستانه، ۶- بندر معلم، ۷- حمیران، ۸- مغویه، ۹- چاه مسلم، ۱۰- چمپه، ۱۱- زندان، ۱۲- دواوو (دوآبی)، ۱۳- میلتون، ۱۴- انگورو، ۱۵- خورگو، ۱۶- فینو، ۱۷- تنگ زاغ، ۱۸- پلنگو، ۱۹- سعادت آباد، ۲۰- مسیجون، ۲۱- بناکوه، ۲۲- ده کویه، ۲۳- کورده، ۲۴- علی آباد، ۲۵- گچ، ۲۶- سیاه‌تاق، ۲۷- چهل، ۲۸- چاه بانو، ۲۹- شو، ۳۰- بم، ۳۱- چهاربرکه، ۳۲- چارک (دهنو)، ۳۳- گاو‌بست (بستک ۲)، ۳۴- گزه، ۳۵- چيرو (کلات)، ۳۶- پر دلاور (بستک ۱)، ۳۷- SP1، ۳۸- شمیلو، ۳۹- تاربو، ۴۰- تاشکند، ۴۱- خاین، ۴۲- SP19، ۴۳- SP18، ۴۴- SP37، ۴۵- SP38، ۴۶- SP39، ۴۷- SP2، ۴۸- SP3، ۴۹- SP4، ۵۰- SP22، ۵۱- شاه علمدار، ۵۲- SP26، ۵۳- SP25، ۵۴- پشکند، ۵۵- نمکی، ۵۶- گردو سیاه، ۵۷- درمندان، ۵۸- SP40، ۵۹- SP5، ۶۰- جهانی، ۶۱- خوراب، ۶۲- کنارسیاه، ۶۳- هرمز، ۶۴- هنگام، ۶۵- SP6، ۶۶- SP32، ۶۷- SP41، ۶۸- رونقون، ۶۹- تل نمکدون، ۷۰- SP42، ۷۱- SP7، ۷۲- کمارج، ۷۳- SP24، ۷۴- گورو، ۷۵- قلعه‌شور، ۷۶- SP13، ۷۷- SP12، SP20، SP78، SP79، جلال آباد، ۸۰- SP28، ۸۱- SP29، ۸۲- داریان، ۸۳- بنارویه، ۸۴- SP31، ۸۵- سروستان، ۸۶- چاه گز، ۸۷- قشنگویه، ۸۸- موران، ۸۹- قلات بالا، ۹۰- گنو، ۹۱- آراین، ۹۲- SP8، ۹۳- زنگار، ۹۴- گردنه نیریز، ۹۵- SP33، ۹۶- SP9، ۹۷- SP10، ۹۸- SP11، ۹۹- SP14، ۱۰۰- SP15، ۱۰۱- SP16، ۱۰۲- SP17، ۱۰۳- SP21، ۱۰۴- SP23، SP27، SP105، ۱۰۶- فراشبند، ۱۰۷- SP30، ۱۰۸- گهکم، ۱۰۹- گهکم شرق، ۱۱۰- سرمند، ۱۱۱- SP34، ۱۱۲- SP35، ۱۱۳- کوشک کوه غرب، ۱۱۴- تاخو، ۱۱۵- دربست، SP36، ۱۱۷- خمیر، ۱۱۸- کجاق، ۱۱۹- خمشک، ۱۲۰- پل، ۱۲۱- بنگود احمدی، ۱۲۲- گنه، ۱۲۳- نینا.



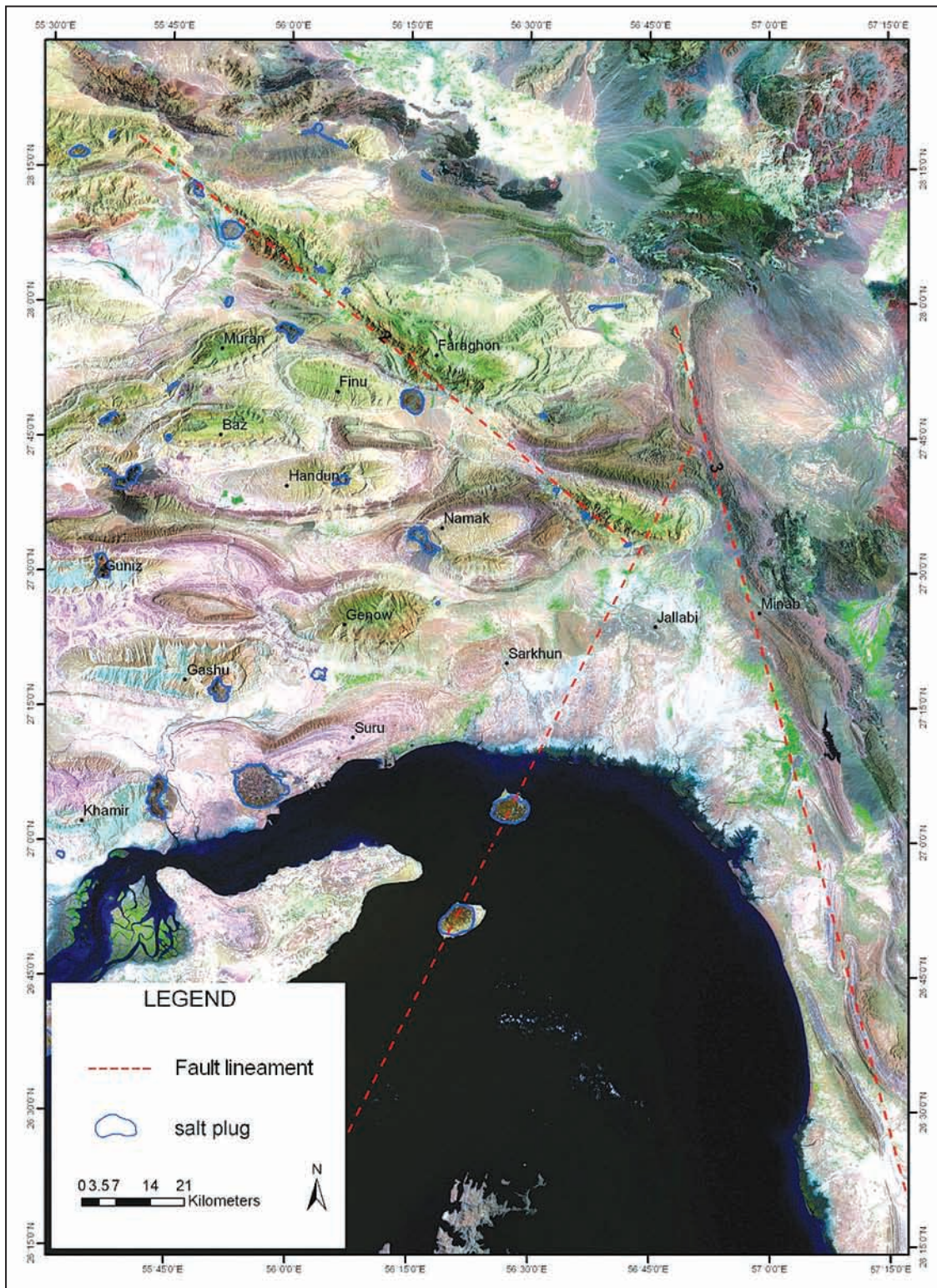


شکل ۳- تصویر Shaded-relief با نورپردازی شمال باختری برای استخراج خطواره‌ها. شماری از خطواره‌ها با رنگ سرخ مشخص هستند.



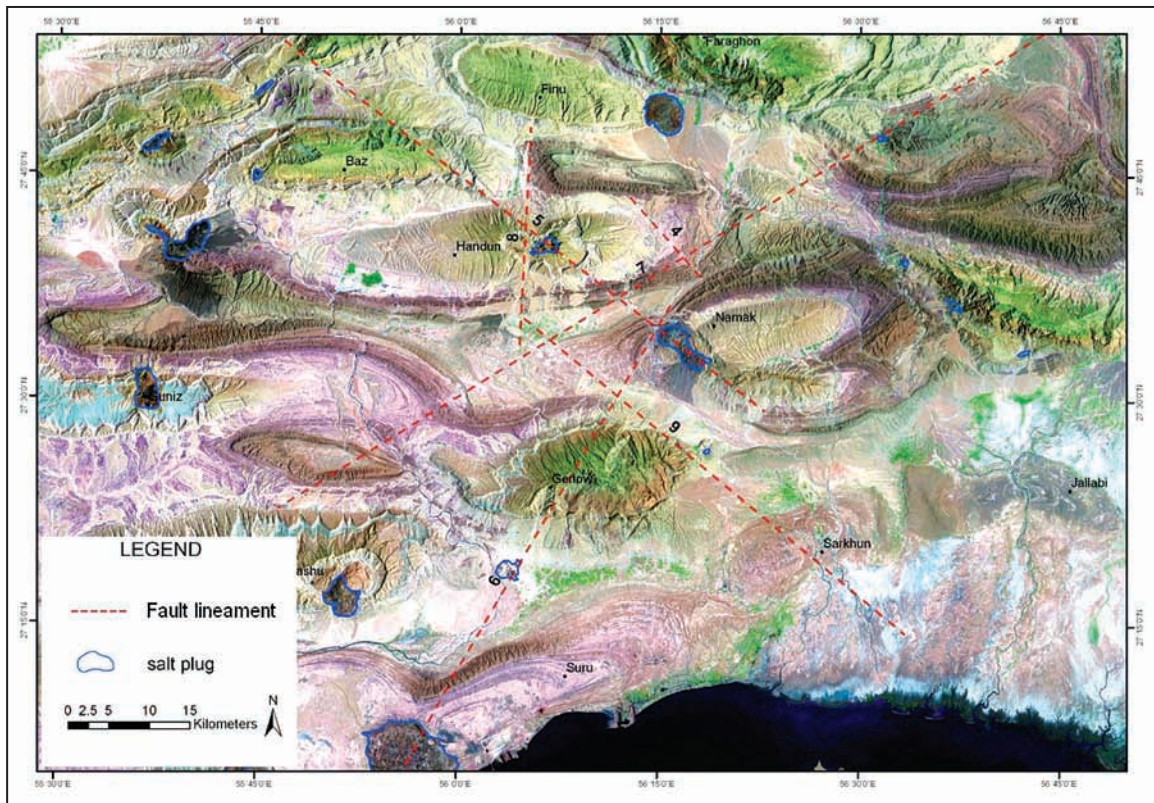
شکل ۴- خطواره‌های استخراج شده و مقایسه آنها با خطواره‌های مغناطیسی و گسل‌های اصلی پی سنگی.



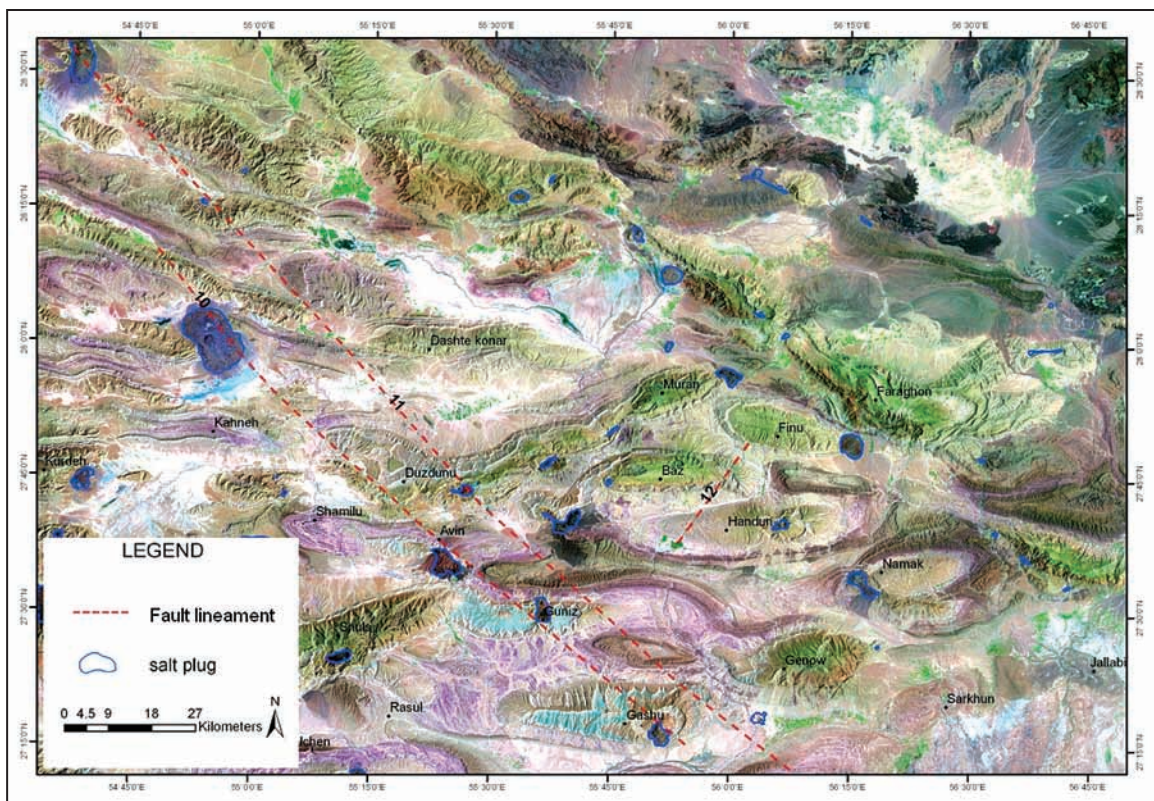


شکل ۵- موقعیت گسل‌های ۱، ۲ و ۳.



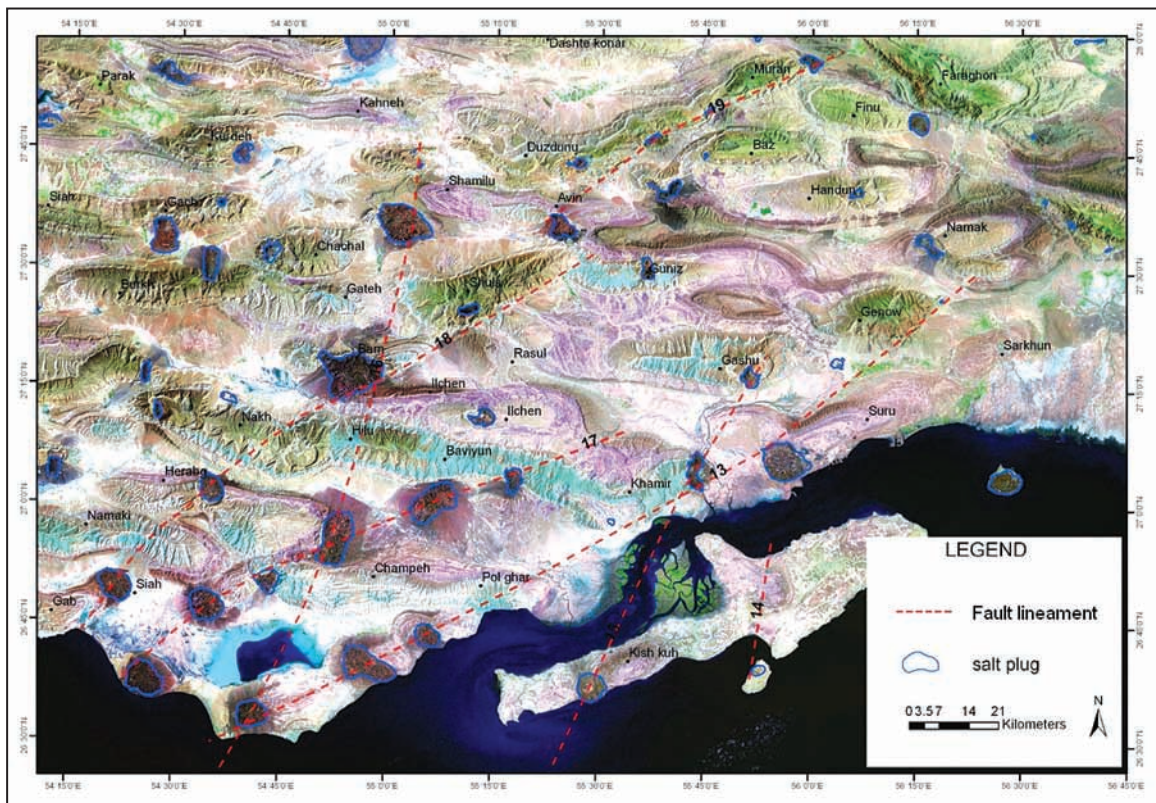


شکل ۶- موقعیت گسل‌های ۴، ۵، ۶، ۷، ۸ و ۹.

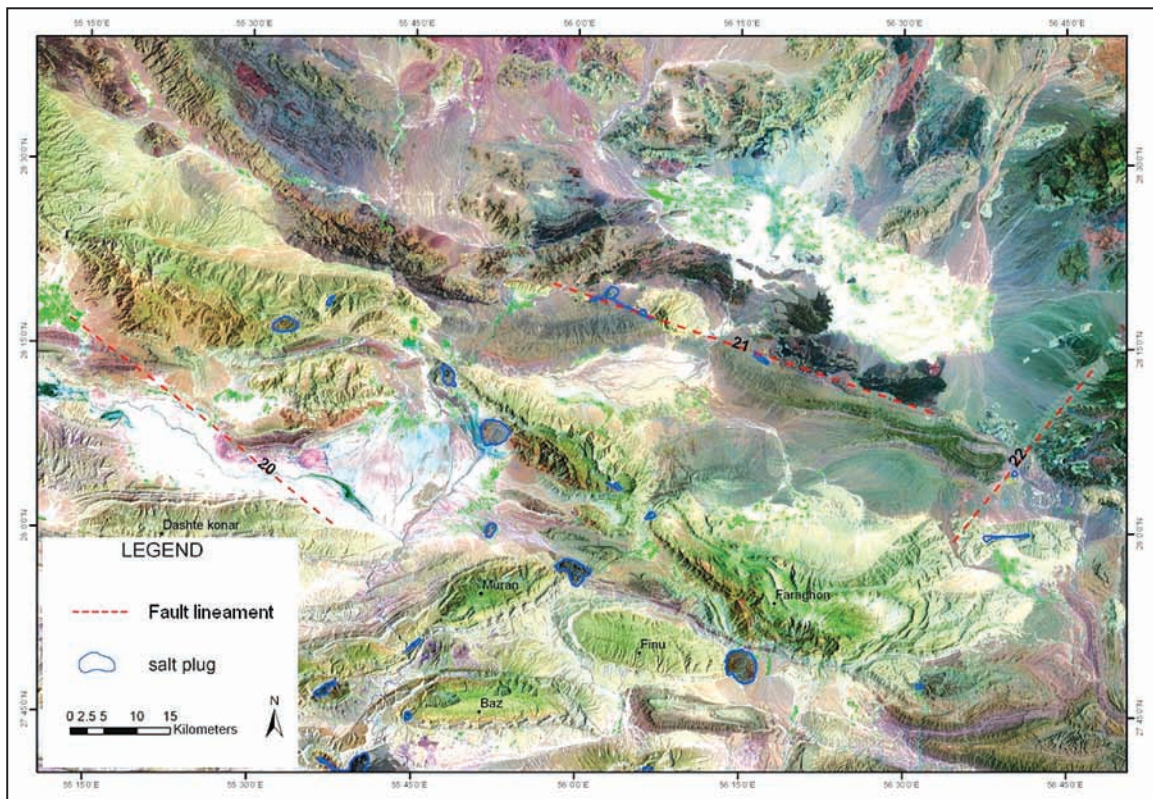


شکل ۷- موقعیت گسل‌های ۱۰، ۱۱ و ۱۲.



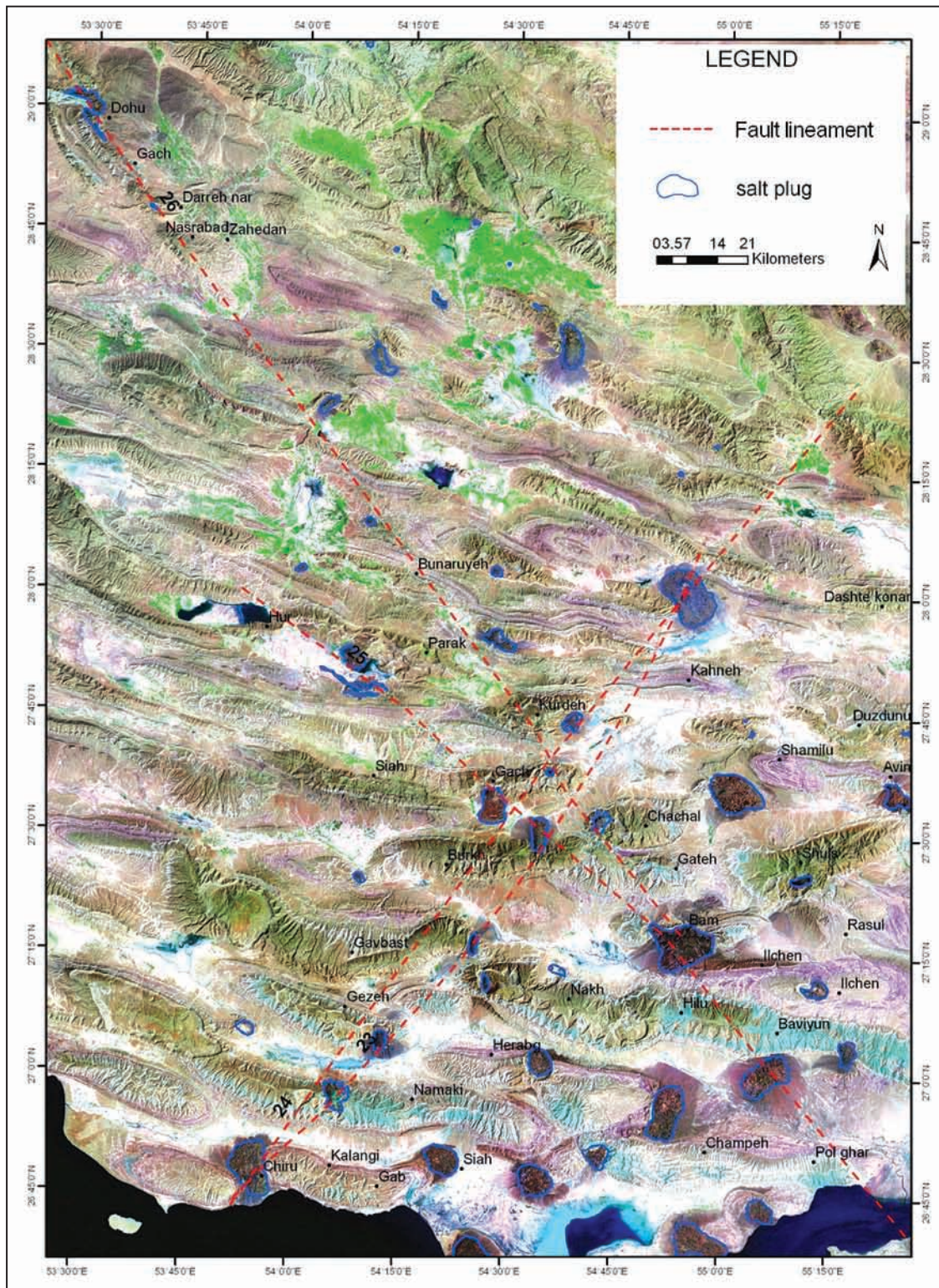


شکل ۸- موقعیت گسل‌های ۱۳، ۱۴، ۱۵، ۱۶، ۱۷، ۱۸ و ۱۹.



شکل ۹- موقعیت گسل‌های ۲۰، ۲۱ و ۲۲.



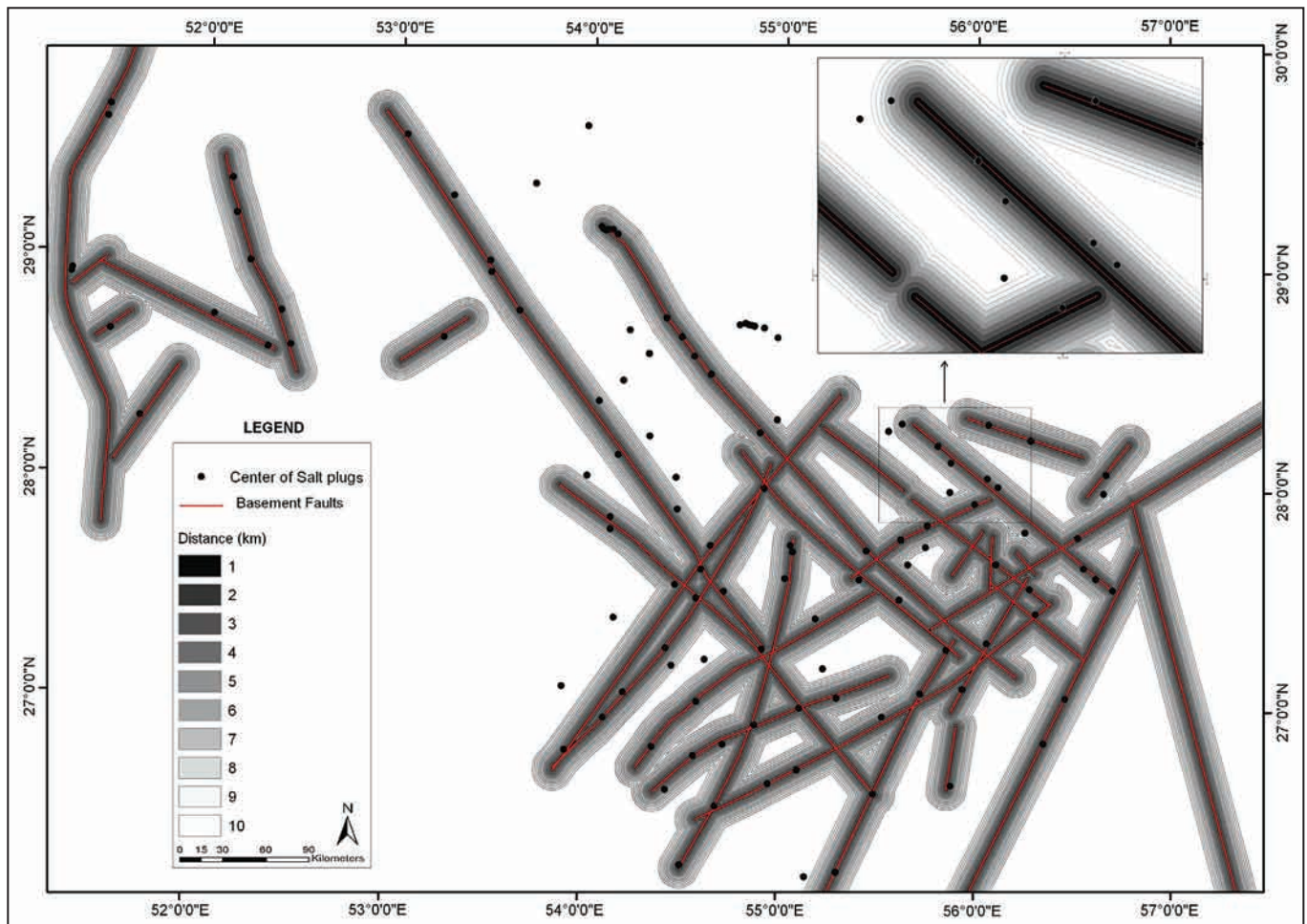


شکل ۱۰- موقعیت گسل‌های ۲۳، ۲۴، ۲۵ و ۲۶.









شکل ۱۳- ارتباط میان گنبد‌های نمکی و گسل‌های منطقه.

جدول ۱- تغییرات وزن‌ها و تباین‌ها برای فواصل تجمعی از امتداد گسل‌ها نسبت به مرکز گنبد‌های نمکی.

Distance buffer (km)	Area-Km <sup>2</sup>	No. points	W+	s(W+)	W-	s(W-)	C	s(C)	C/s(C)
1	8346	45	1.3579	0.1495	-0.4818	0.1361	2.0835	0.2210	9.4271
2	16476	70	1.1184	0.1198	-0.9651	0.1857	1.8397	0.2022	9.0991
3	24317	86	0.9343	0.1080	-1.6127	0.2774	2.5471	0.2977	8.5564
4	31862	88	0.6863	0.1067	-1.6039	0.3016	2.2903	0.3199	7.1595
5	39085	90	0.5040	0.1055	-1.6012	0.3334	2.1052	0.3497	6.0203
6	45951	95	0.3960	0.1027	-2.1709	0.5000	2.5669	0.5105	5.0283
7	52607	95	0.2605	0.1027	-1.8634	0.5001	2.1239	0.5105	4.1605
8	59042	96	0.1553	0.1021	-1.7235	0.5774	1.8789	0.5864	3.2041
9	65203	98	0.0766	0.1011	-2.1072	1.0001	2.1838	1.0052	2.1725
10	71104	99							



**کتابخانه**

احمدزاده هروی، م.، هوشمندزاده، ع. و نبوی، م. ح.، ۱۳۶۹- مفاهیم جدیدی از چینه‌شناسی سازند هرمز و مسئله دیاپیریسم در گنبد‌های نمکی جنوب ایران، مجموعه مقالات سمپوزیوم دیاپیریسم با نگرش ویژه به ایران، وزارت معادن و فلزات، جلد اول، ص ۱-۲۲.

مطیعی، ه.، ۱۳۷۴- زمین‌شناسی ایران، زمین‌شناسی نفت زاگرس- ۱، سازمان زمین‌شناسی کشور، ۱۰۰۹ ص.

مهشاد نیا، ف.، ۱۳۸۱- استفاده از رهیافت دورسنجی در شناخت گسل‌های پنهان و دگرریختی‌های آنها در جنوب خاوری زاگرس، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، ۲۳۴ ص.

یساقی، ع. و داوودی، ز.، ۱۳۸۴- شناسایی گسله‌ها و پهنه‌های عرضی- برشی زیرسطحی و تحلیل اثر دگرریختی‌های آنها بر کمربند چین خورده- رانده شده زاگرس در پهنه دزفول، مجله علوم دانشگاه تهران، جلد سی و دوم، شماره ۲.

**References**

- 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.
- Ala, M. A., 1974- Salt diapirism in southern Iran. *Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull.*, 58(9): 1758-1770.
- 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.
- Authemayou, C., Chardon, D., Bellier, O., Malekzadeh, Z., Shabanian, E. & Abbassi, M. R., 2006- Late Cenozoic partitioning of oblique plate convergence in Zagros fold-and-thrust belt (Iran). *Tectonics*, 25: TC3002.
- 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.
- Berberian, M., 1995- Master 'blind' thrust faults hidden under the Zagros folds: Active basement tectonics and surface morphotectonics. *Tectonophysics*, 241: 193–224.
- Bonham-Carter, G. F., 1994- *Geographic Information Systems for Geoscientists: Modelling with GIS*. Pergamon Press, Oxford, 398 p.
- Bosak, P., Jaros, J., Spudil, J., Sulovsky, P. & Vaclavek, V., 1998- Salt Domes in the Eastern Zagros, Iran: Results of Regional Geological Reconnaissance. *GeoLines (Praha)*, 7: 3-174.
- Bruthans, J., Filippi, M., Gerl, M., Zare, M., Melkov, J., Pazdur, A. & Bosak, P., 2006- Holocene marine terraces on two salt diapirs in the Persian Gulf, Iran: age, depositional history and uplift rates. *Journal of Quaternary Science*, 21(8): 843–857.
- 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.
- Furst, M., 1990- Strike-slip faults and diapirism of the southeastern Zagros ranges. *Proc. Symp. On Diapirism with Special Reference to Iran*, 2: 149-182.
- Hessami, K., Koyi, H. A. & Talbot, C. J., 2001- The significance of strike-slip faulting in the basement of the Zagros fold and thrust belt. *Journal of Petroleum Geology*, 24: 5-28.
- 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.
- 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.
- James, G. A. & Wynd, J. G., 1965- Stratigraphic nomenclature of Iranian oil consortium Agreement Area. *American Association petroleum Geologists Bulletin* 49: 2182-2245.
- Jaros, J., 1981- The Zagros Mountains, its development and analysis of tectonic styles. *Vist. Ústø. Úst. Geol.*, 56(2) 113-120.
- 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.
- McQuillan, H., 1991- The role of basement tectonics in the control of sedimentary facies, structural patterns and salt plug emplacements in the Zagros fold belt of Southwest Iran. *Journal of Southeast Asian Earth Sciences*, 5(4): 453-463.

- Mitra, S. & Mount, S. V., 1998- Foreland basement involved structures. AAPG Bulletin, 82: 70-109.
- Motamedi, H., Sepehr, M., Sherkati, 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.
- Rahnama-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.
- 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.
- Talbot, C. J. & Jarvis, R. J., 1984- Age, budget and dynamics of an active salt extrusion in Iran. Journal of Structural Geology, 6(5): 521-533.
- 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.

# Detection of Fault Lineaments of the Zagros Fold-Thrust Belt Based on Landsat Imagery Interpretation and their Relationship with Hormuz Series Salt Dome Locations Using GIS Analysis

A. Mehrabi<sup>1\*</sup>, M. Dastanpour<sup>2</sup>, Sh. Radfar<sup>3</sup>, M. R. Vaziri<sup>4</sup> & R. Derakhshani<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Ph.D. Student, Department of Geology, Shahid Bahonar University, Kerman, Iran

<sup>2</sup>Professor, Higher Education Institute, Kerman, Iran

<sup>3</sup>Assistant Professor, Department of Geology, Shahid Bahonar University, Kerman, Iran

<sup>4</sup>Associate Professor, Department of Geology, Shahid Bahonar University, Kerman, Iran

Received: 2014 December 14

Accepted: 2015 February 25

## Abstract

In the Zagros structural zone of Iran, there is a broad range of emergent salt domes, a unique morphology in the world that is developed in tectonic environment. In the Zagros fold-thrust belt, emergent salt domes exhibit linear patterns. Such trends appear to be related to linear structural features that are observable by Landsat imagery. Detection of fault lineaments and their spatial relationship with salt dome locations from statistics point of view have been the concerns of this study. Based on the remote sensing analyses, horizontal displacements of parts of folded structures and distribution of Hormuz series salt domes, 34 fault lineaments were detected. A statistical method called the weight of evidence method is used to determine the relationship between salt dome locations and fault lineament trends. For this purpose, a map of the fault lineaments and a map of the salt dome centers were converted to raster model and some buffers were extracted around the fault lineaments; then, the spatial relationship between the salt domes and fault lineaments were quantified using weights of evidence method. Results indicate that the salt domes are associated spatially with the fault lineaments within lateral distances of 1 km. Weights of evidence method shows that the fault lineaments related to tectonics of the region could be the most important factor in emplacement of the salt domes in the study area.

**Keywords:** Fault lineaments, Salt domes, Landsat imagery, Spatial relationship, Zagros.

For Persian Version see pages 17 to 32

\*Corresponding author: A. Mehrabi; E mail: [alimehrabi225@yahoo.com](mailto:alimehrabi225@yahoo.com)