

تأثیر ضریب چسبندگی قاعده‌ای در سبک دگرشکلی پهنه گسل منقارک با به‌کارگیری روش مدل سازی آنالوگ

نوشته: مرتضی پیروز*، دکتر محمد رضا قاسمی**،

دکتر عباس بحرودی*** و دکتر عبدالله سعیدی****

The Effect of Basal Cohesion Coefficient in Structural Style Mangharak Fault Zone with Use Analogue Modeling Method

By: M. Pirouz*, Dr. M. R. Ghassemi**,

Dr. A. Baroudi*** & Dr. A. Saeidi****

چکیده

پهنه شمالی - جنوبی گسل راستالغز منقارک در کمربند ساده چین خورده زاگرس قرار دارد که از ۳۰ کیلومتری باختر شیراز شروع شده و تا جنوب شهرستان دهرم به طول ۱۴۰ کیلومتر ادامه دارد. ساختهای نمکی متعددی همانند جهانی، فیروزآباد و گچ از داخل پهنه گسل منقارک و ساخت نمکی کوچک دیگری در راستای راندگی کیلاق بیرون زده است. وجود ساختهای نمکی در منطقه می‌تواند بیانگر لایه جدا کننده و گرانرو در توالی رسوبی باشد. وجود و یا تغییر در توزیع لایه‌های جدا کننده گرانرو در افقهای مختلف، می‌تواند بر چگونگی سبک دگرشکلی در بخشهای بالایی و پایینی تأثیرگذار باشد. در این نوشتار، تغییرات فضایی افقهای جدا کننده گرانرو و تأثیر آن در سبک دگرشکلی پهنه گسل منقارک با استفاده از همانند سازی مدرج آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفته است. در یک کمربند چین خورده - رانده، هر چه قدر ضریب چسبندگی پی سنگ و توالی رسوبی پوشاننده بیشتر باشد، پهنای دگرشکلی کم و شیب انباشتگی زیاد بوده و هر چه ضریب چسبندگی کم باشد، پهنای دگرشکلی زیاد و شیب انباشتگی یا شیب توپوگرافی ملایم است. وجود و ستبرای زیاد سری نمکی هرمز بین پی سنگ و رسوبات پوشاننده، باعث کاهش ضریب چسبندگی پی سنگ و رسوبات بالایی شده و نبود آن یا ستبرای کم آن بیانگر ضریب چسبندگی بالا بین پی سنگ و رسوبات بالایی است. نتایج این بررسی نشان می‌دهد که شیب انباشته دگرشکلی در منطقه متغیر بوده و به‌خوبی با نحوه توزیع لایه‌های جدا کننده گرانرو در ارتباط بوده و از آن پیروی می‌کند. در باختر پهنه گسل منقارک، ضریب چسبندگی و شیب انباشتگی زیاد، پهنای دگرشکلی کم و در خاور پهنه، ضریب چسبندگی و شیب انباشتگی کم، پهنای دگرشکلی زیاد است.

کلید واژه‌ها: کوهزاد زاگرس، پهنه گسل راستالغز منقارک، دکلمان قاعده‌ای، مدل‌سازی آنالوگ، نمک هرمز، شیب انباشتگی

Abstract

The N-S strike-slip Mangharak fault zone is located in Zagros simply folded belt, and continuous from about Shiraz to south of Dehram for about 140 km. Various large salt plugs such as Jahani, Firuzabad, Gach in the middle part of Mangharak fault zone, and small salt plug in Kaylag thrust pierce the cover layers. Existence of salt plugs in this area indicates the presence of viscous basal decollement layers at depth, which may cause variation in structural style above and below the decollement. Spatial distribution of decollement layers are analyzed through experimental analogue modeling method. As a result when cohesion coefficient between basement rocks and sedimentary sequence is high, taper angle of the thrust and fold belt is high and width of deformation is narrow. Existence of Hormoz salt Formation has decreased the cohesion coefficient between basement and cover sequence. Consequently, in the studied area the taper angle of deformed belt is variable and closely related to the spatial

distribution of the decollement layers. In the west of Mangharak fault zone, cohesion coefficient and taper angle are high, width of deformed zone is low, however in the east of Mangharak fault zone, cohesion coefficient and taper angle are low, and width of deformed zone is high.

Keywords: Zagros, Mangharak Strike-slip fault zone, Basal decollement, Analogue modeling, Hormoz salt Formation, Taper angle.

۱- مقدمه

کمر بند چین خورده - رانده زاگرس پل ارتباطی رشته کوه‌های هیمالیا و آلپ است که به طول ۲۰۰۰ کیلومتر از جنوب، جنوب باختر ایران به سمت عراق، جنوب ترکیه و شمال سوریه کشیده شده است. این کمر بند از لحاظ دگرشکلی همگن نبوده و از این رو تقسیم‌بندی‌های متفاوتی توسط زمین‌شناسان پیشین ارائه شده است. کمر بند چین و رانده زاگرس شامل پهنه راندگی زاگرس یا زاگرس مرتفع (Zagros Imbricate zone)، کمر بند ساده چین خورده زاگرس (Zagros Simply Folded belt)، زاگرس فروافتاده (Zagros Foredeep)، حوضه پیش‌بوم بین‌النهرین - خلیج فارس (Mesopotamian and Persian Gulf foreland basins) یا پیش‌بوم عربستان (platform or foreland in Arabia) است (Stocklin, 1968; Falcon, 1967, 1969, 1974; Haynes & McQuillan, 1974; Berberian, 1995).

دگرشکلی در این کمر بند توسط گسل‌های راندگی و امتداد لغز به ترتیب به صورت کوتاه‌شدگی و چرخش رخ می‌دهد. در کمر بند ساده چین خورده زاگرس، چندین پهنه گسل امتداد لغز باروند شمالی-جنوبی وجود دارد که در این بین می‌توان به خطواره قطر-کازرون، منقارک، سبزپوشان و سروستان اشاره کرد. با توجه به نتایج برداشتهای صحرایی می‌توان ستون سنگ‌شناسی را به هفت بخش تقسیم کرد. بخش پر قوام زیرین، شامل پی سنگ متشکل از سنگهای آذرین و دگرگونی (Harrison, 1930; Kent, 1970; Haynes & McQuillan, 1974)، بخش کم قوام پایینی شامل رسوبات سری هرمز (Stocklin, 1968; Kent, 1970)، بخش پر قوام پایینی شامل رسوبات پالئوزویک که بیشتر شامل رسوبات کربناتی، ماسه‌سنگی و شیلی است، بخش کم قوام میانی شامل رسوبات تبخیری دشتک به سن تریاس، بخش پر قوام میانی شامل رسوبات کربناتی گروه‌های خامی و بنگستان، بخش نیمه کم قوام بالایی شامل رسوبات مارنی سازند پابده - گورپی و رسوبات گچی و گاهی نمکی سازند گچساران است، بخش پر قوام بالایی شامل رسوبات آواری شیلی، ماسه‌سنگی و کنگلومرایی سازندهای میشان، آغاچاری و بختیاری است. ستبرای هر یک از سازندها در منطقه مورد مطالعه در جدول ۱ آورده شده است. هدف از انجام این مطالعه بررسی تأثیرات لایه‌های گرانرو بر روی الگوی دگرشکلی و شیب انباشتگی

(taper angle) حاصل از دگرشکلی است. روش مطالعه، به کارگیری روش مدل سازی آنالوگ بوده است.

۲- زمین شناسی پهنه گسل راستالغز منقارک

پهنه گسل راستالغز شمالی - جنوبی منقارک (کره بس) از ۳۰ کیلومتری باختر شیراز شروع شده و تا جنوب دهرم به طول ۱۴۰ کیلومتر ادامه دارد و دارای جابه‌جایی راستالغز راستگرد است (شکل ۱). میزان جابه‌جایی راستالغز این پهنه ۶ کیلومتر بوده که در انتهای پهنه به ۲ کیلومتر کاهش می‌یابد (Evers et al., 1977)، این پهنه، یک گسل پی‌سنگی (Kent, 1979; Bahroudi and Talbot 2004) با فعالیت‌های لرزه‌ای است و در حال حاضر نیز فعال است. بر اساس مطالعات انجام شده بر روی کمر بند چین خورده - رانده زاگرس با استفاده از عکسهای هوایی (McQuillan, 1991)، تصاویر ماهواره‌ای (Furst, 1990; Barzegar, 1994)، ریخت‌شناسی، رسوب‌شناسی و شواهد لرزه‌ای، ۱۴ پهنه گسل اصلی تشخیص داده شده است که ناشی از فعالیت دوباره گسل‌های قدیمی پی‌سنگ است (Murriss, 1980; Koop & Stoneley, 1982; Motiei, 1995). بیشتر این پهنه‌ها در حاشیه پهنه ساده چین خورده و یا (Berberian, 1995). در آن قرار دارد و به نوعی نحوه توزیع سری گرانرو هرمز را کنترل کرده‌اند (Bahroudi & Koyi, 2003). برای مثال، می‌توان به پهنه‌های گسل کازرون، منقارک یا کره بس، هند یجان، خانگین و سروستان با روند شمالی-جنوبی و پهنه گسل رازک با روند شمال، شمال خاور-جنوب، جنوب باختر اشاره کرد. همه این پهنه‌ها دارای شیب بسیار زیاد بوده و جابه‌جایی راستالغز نشان می‌دهند (Kent, 1979; Barzegar, 1994; Berberian, 1995; Hessami et al., 2001; Bahroudi & Talbot, 2003).

۳- همانند سازی

۳-۱- دستگاه جعبه ماسه

جعبه ماسه دستگاهی است که برای بازسازی الگوی زمین‌ساختی نواحی فشارشی یا کششی به کار می‌رود و به دلیل استفاده از ماسه به عنوان معادل

مقایسه طول اولیه رسوبات (پیش از چین خوردگی) و طول ثانویه رسوبات (پس از چین خوردگی) به دست آورد.

۳-۳-۳- سرعت کوتاه‌شدگی: در واقع مقدار کرنشی است که در یک بازه زمانی خاص به وسیله بک استاپ به مدل وارد می‌شود. سرعت کوتاه‌شدگی مدل باید با سرعت کوتاه‌شدگی منطقه همخوانی داشته باشد.

۳-۳-۴- ابعاد مدل: ابعاد مدل به دلخواه انتخاب می‌شود اما اگر اندازه مدل 10^{-4} تا 10^{-7} برابر ابعاد واقعی باشد، نتیجه به دست آمده بهتر است.

۳-۳-۵- جنس مواد مورد استفاده: برای سازندهای پر قوام از ماسه (شب انباشتگی ماسه با سطح افق باید ۳۰ درجه باشد)، برای سازندهای نمکی کم قوام از سیلیکون (PDMS) و برای سازندهای نیمه کم قوام، از میکا استفاده می‌شود. ستبرای واقعی سازندها، ستبرای سازندها در مدل، خصوصیات مکانیکی و جنس مواد مصرفی در جدول ۱ آورده شده است.

۳-۳-۶- نحوه توزیع لایه‌های سنگی: شکل هندسی واحدهای سنگی می‌تواند در نحوه دگرشکلی تأثیر بسیار مهمی داشته باشد، به گونه‌ای که تأثیر لایه‌های سنگی کم قوام در الگوی دگرشکلی بسیار تأثیر گذار است. ملاک انتخاب زوایای پیشانی سیلیکون (شکل ۴) براساس زوایای بین پهنه گسل منقارک و شکستگی‌های موجود در پی سنگ برپایه داده‌های ژئوفیزیکی با محور کوتاه‌شدگی کوه‌زاد زاگرس بوده است. پهنه گسل منقارک با محور کوتاه‌شدگی زاویه ۴۵ درجه و خطواره امتداد شمال خاور- جنوب باختر در خاور منطقه مورد مطالعه با محور اصلی کوتاه‌شدگی زاگرس زاویه ۳۰ درجه می‌سازد (شکل ۱). محور اصلی کوتاه‌شدگی، محوری است که عمود بر محور ساختارهای چین خورده در نظر گرفته می‌شود و در واقع محور فشارش همان محور کوتاه‌شدگی است.

۳-۳-۷- نقش پی سنگ: نقش پی سنگ در دگرشکلی مؤثر است، به گونه‌ای که وجود یا نبود شکستگی در پی سنگ، می‌تواند در الگوی دگرشکلی تأثیر گذار باشد. گسل پی سنگی منقارک می‌تواند به‌عنوان یک پله جانبی (lateral ramp) در نحوه دگرشکلی منطقه تأثیر گذار باشد. با توجه به اینکه نشان دادن نقش پی سنگ در مدل، محدودیتها و پیچیدگیهایی را به وجود می‌آورد، در این مدل، از نقش پی سنگ چشم‌پوشی شده است و فقط تأثیر توزیع مختلف نمک در نحوه دگرشکلی مد نظر بوده است.

واحدهای سنگی به این نام شناخته می‌شود. جعبه ماسه آرایش ساده‌ای دارد (شکل ۲) و دارای سه جداره شیشه‌ای ثابت و یک دیواره متحرک است. دیواره متحرک به وسیله پیچ به یک دینام متصل است و در اثر چرخش دینام در جهت فشارش یا کشش، فضای داخل دستگاه کوچک‌تر یا بزرگ‌تر می‌شود. سرعت چرخش دینام یا سرعت کوتاه‌شدگی قابل تنظیم است تا بتوان متغیر سرعت کوتاه‌شدگی را در آزمایشها منظور کرد.

۳-۲- مواد مورد استفاده برای مدل سازی

مواد مورد استفاده برای مدل سازی، عموماً شامل ماسه، ورقه‌های میکا، گل‌بتونه و سیلیکون (PDMS) است. سیلیکون ماده‌ای نیوتنی است که آهنگ کرنش آن متناسب با میزان تنش اعمالی است. با توجه به اینکه نمک در ژرفای بیش از ۲ کیلومتر به صورت شاره عمل می‌کند، لذا در مدل‌های آزمایشگاهی از ماده سیلیکون به‌عنوان معادل نمک استفاده می‌شود. از ورقه‌های میکا برای معادل‌سازی سازندهای شیل و مارنی و گچی و معادل واحدهای سنگی آهکی و پر قوام از ماسه استفاده می‌شود. هر ماده در شرایط دما و فشار خاصی می‌تواند نقش سیال را داشته باشد. در این خصوص، به چند مثال اشاره شده است که در شرایط خاص به صورت شاره عمل می‌کنند (شکل ۳).

۳-۳- پارامترهای ضروری برای انجام آزمایش

برای مدل سازی به روش جعبه ماسه، نیاز به رعایت چندین اصل است که هر کدام به سهم خود نقش اصلی در نتایج به دست آمده دارد و می‌توان آنها را به صورت زیر تقسیم کرد (Bahroudi, 2003).

۳-۳-۱- ستبرای مدل: اگر حدود ۱ تا ۲ سانتی‌متر باشد، آرمانی است. اگر ستبرای مدل از این مقدار بیشتر باشد، ساختارهای شکل گرفته در حین انجام آزمایش، از گویایی کمتری برخوردار است. برای رعایت این ستبرای برای مدل، لازم است تناسبی بین ستبرای کل رسوبات موجود در منطقه مورد مطالعه و مدل و سهم هر یک از واحدهای سنگی را محاسبه کرد. برای مثال اگر ستبرای سری هرمز ۱۵۰۰ متر از یک توالی ۸۰۰۰ متری باشد، و در نظر داشته باشیم که ستبرای کل مدل ۲ سانتی‌متر باشد، سهم هرمز از مقدار ۲ سانتی‌متر کل، $3/75$ میلی‌متر خواهد بود.

۳-۳-۲- میزان کوتاه‌شدگی: دانستن میزان کوتاه‌شدگی منطقه مورد مطالعه، برای درصد کوتاه‌شدگی مدل لازم است. این پارامتر را میتوان از

(شکل‌های ۷ و ۶). ضریب چسبندگی قاعده ارتباط مستقیم با شیب انباشتگی دارد به نحوی که اگر ضریب چسبندگی قاعده بالا باشد، توپوگرافی مربوطه پرشیب و اگر ضریب چسبندگی پایین باشد، توپوگرافی کم شیب خواهد بود (Liu et al., 1992; Cotton, 2000; Bahroudi, 2003). با توجه به شکل ۴ در بخش B وسعت سیلیکون نسبت به بخش‌های A و C بیشتر بوده و در نتیجه ضریب چسبندگی کمتر است. توزیع تنش در ناحیه‌های A, B, C به دلیل متغیر بودن وسعت سیلیکون متفاوت است، لذا نوع و مقدار دگرشکلی حاصل از تنش، متفاوت بوده و از موقعیت مکانی لایه‌های کم قوام و یا کژپیشانی پیروی می‌کند. گسل‌های پیشانی بخش‌های A و C نسبت به بخش B به بک استاپ نزدیکتر بوده و جابه‌جایی بر روی آنها بیشتر است. در بخش‌هایی که ضریب چسبندگی کم باشد شیب توپوگرافی کم، تعداد پسراندگی‌ها (Back thrust) زیاد و جابه‌جایی بر روی گسل‌ها کمتر از حالتی است که ضریب چسبندگی قاعده بالاست (Liu & Dixon, 1991; Liu et al., 1992; Cotton & Koyi, 2000; Claudio et al., 2001; Bahroudi, 2003).

• شیب گسل‌ها به محض ورود به لایه‌های کم قوام کاهش می‌یابد. با توجه به شکل‌ها میتوان نتیجه‌گیری کرد که کژها (Ramp) در سازندهای پرقوام و تختها (Flat) در واحدهای کم قوام شکل می‌گیرد (شکل‌های ۵ و ۸) (Liu & Dixon, 1991; Liu et al., 1992).

• وجود لایه سیلیکون در مدل، باعث تغییر نوع دگرشکلی بخش‌های بالایی و زیرین خود می‌شود. هر چه تفاوت قوام بین لایه‌ها زیاد باشد، تفاوت دگرشکلی در جهت قائم نیز بیشتر است (شکل ۸) (Liu & Dixon, 1991; Liu et al., 1992).

• اگر در جهت افق، تغییر جنس یا تغییر ستبرا وجود داشته باشد، در اثر کوتاه‌شدگی بخش‌های مختلف لایه ویژگی‌های متفاوتی از خود نشان می‌دهند و معمولاً در چنین مرزهایی احتمال تشکیل گسل زیاد است.

• لایه‌های کم قوام که بین لایه‌های پرقوام محصور شده‌اند، اگر تحت تأثیر نیروی فشارشی قرار گیرند، در اثر چین خوردگی در هسته تاقدیسها متمرکز شده و در زیر ناودیسها نازک می‌شود. نازک‌شدگی آن قدر ادامه می‌یابد تا گسیخته شود. با توجه به نتایج آزمایشها، در منطقه مورد مطالعه می‌توان چنین ساختارهایی را در سری هرمز و سازند دشتک انتظار داشت (شکل ۸).

۴- بحث و نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از مدل، بیان‌کننده این است که الگوی دگرشکلی از چگونگی گسترش لایه‌های کم قوام پیروی می‌کند و به صورت الگوی متفاوت

گسل پی‌سنگی متقارک در زمان رسوبگذاری نمک هرمز فعال بوده و احتمالاً باعث تغییر رخساره رسوبی در دو سوی خود شده است. در مدل آزمایشگاهی نیز موقعیت پهنه گسل متقارک به صورت مرزی اعمال شده است که در دو سوی این مرز، مواد مصرفی با ویژگی‌های فیزیکی متفاوت به کار برده شده است.

۳-۴- نحوه اجرای آزمایش و مقاطع حاصل از مدل و طبیعت

در مدل معادل سری هرمز، سازند دشتک و بخشی از سازند گچساران از سیلیکون، معادل عضو تبخیری نار، سازند پابده گورپی و بخش دیگر سازند گچساران از میکا و معادل بقیه سازندها از ماسه استفاده شده است. پس از اینکه تمام واحدها به ترتیب چینه‌شناسی و با توجه به نسبت ستبرای 2×10^{-4} در داخل دستگاه قرار داده شد، با سرعت کوتاه‌شدگی $1/2$ سانتی‌متر در ساعت آزمایش شروع شده و تا 30 درصد کوتاه‌شدگی ادامه یافت. پس از گذشت 15 ساعت و اتمام کوتاه‌شدگی 30 درصدی مقاطعی از مدل به دست آمد (شکل‌های ۵، ۶ و ۸). نیمرخ‌های توپوگرافی براساس داده‌های SRTM و با استفاده از نرم‌افزار ER Mapper از طبیعت رسم شد (شکل ۷) که طول هر یک از آنها حدود 150 کیلومتر است. موقعیت مقطع‌ها در شکل ۱ آورده شده است. محور افقی مقاطع بر اساس عرض جغرافیایی و محور قائم آنها نشان‌دهنده ارتفاع نقاط است. برای نمایش بهتر نسبت مقیاس در محور قائم 9 برابر محور افقی در نظر گرفته شده است. با توجه به شکل‌های ۶ و ۷ از مقایسه سه مقطع تهیه شده به خوبی مشاهده می‌شود که شیب مقطع شماره ۲ در پیشانی دگرشکلی میانی به طور یکنواخت و با شیب کم تغییر می‌کند ولی این در حالی است که در مقاطع شماره ۱ و ۳ کاهش شیب ناگهانی و تند است.

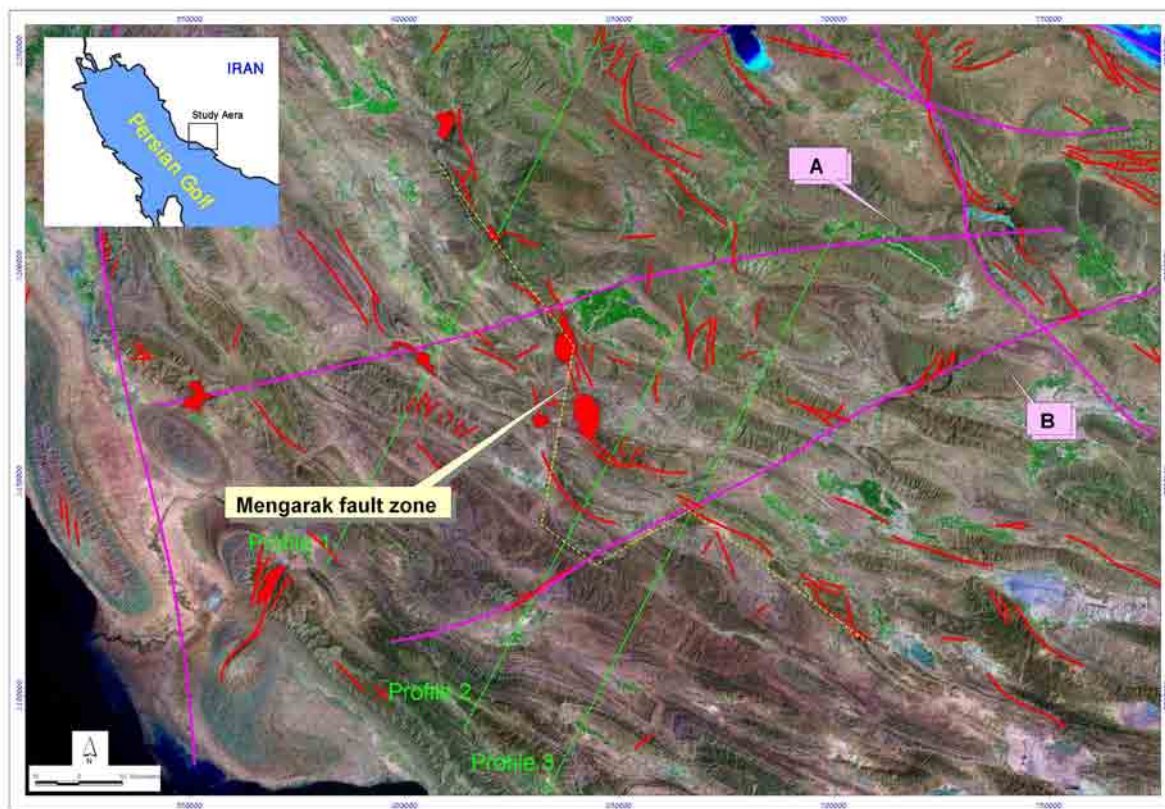
۳-۵- نتایج حاصل از مدل آزمایشگاهی

• الگوی کلی دگرشکلی در سطح توپوگرافی از نحوه گسترش هندسی واحدهای کم قوام در توالی رسوبی پیروی می‌کند. در مدل همانندسازی شده الگوی دگرشکلی حاصل از نحوه گسترش لایه سیلیکون معادل سری هرمز پیروی کرده است (شکل ۴).

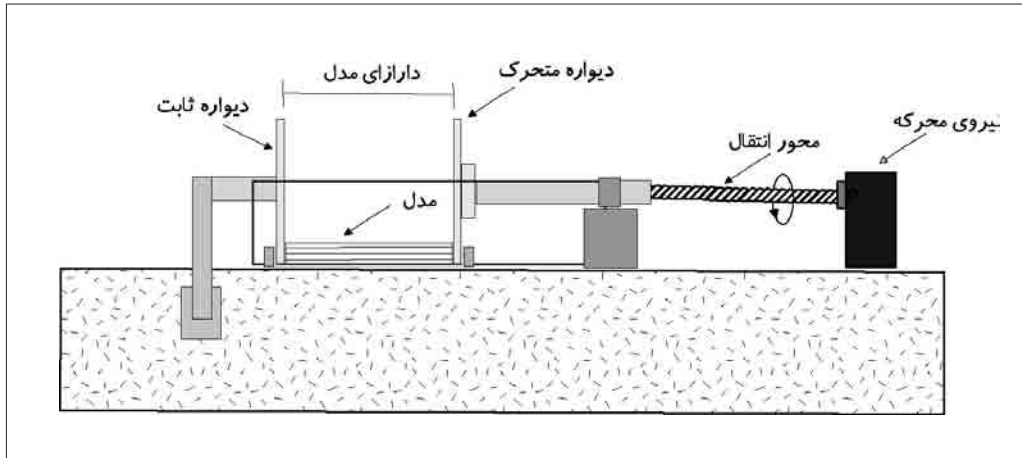
• توپوگرافی منطقه بسیار تأثیر پذیر از هندسه گسترش سیلیکون است. منطقه‌ای که در حال کوتاه‌شدگی است اگر از واحدهای کم قوام تشکیل شده باشد، تنش اعمالی صرف ستبرشدگی لایه سیلیکون می‌شود و توپوگرافی ناحیه به طور یکنواخت افزایش یافته و شیب انباشتگی ملایم‌تر می‌شود. در صورت نبود لایه‌های کم قوام، جابه‌جایی بر روی گسل‌ها بیشتر و بنابراین شیب انباشتگی نیز افزایش خواهد یافت (Liu et al., 1991; Claudio et al., 2001; Bahroudi, 2003).

دگرشکلی بیشتر از خاور پهنه گسل منقارک است، این در حالی است که در بخشهای خاوری تر دوباره شیب انباشتگی افزایش می‌یابد. ضریب چسبندگی قاعده در باختر پهنه گسل منقارک بیشتر از خاور پهنه گسل بوده و تغییر ضریب چسبندگی قاعده به خاطر متفاوت بودن ویژگیهای فیزیکی سری هرمز در دو سوی پهنه بوده است. با توجه به موارد یاد شده، سری هرمز در حد فاصل بین پهنه گسل منقارک و خطواره ژئوفیزیکی B گسترش زیادی نسبت به طرفین به سمت جنوب باختر داشته و مرز دگرشکلی میانی، در این حد فاصل در بخشهای جنوبی تر تشکیل شده است (شکل ۹). لایه‌های کم‌قوام علاوه بر تأثیرگذاری بر الگوی دگرشکلی و تغییر در هندسه دگرشکلی در جهت قائم، باعث کاهش شیب گسلها می‌شوند. شیب گسلهایی که از سری هرمز ریشه گرفته و به طرف بالا رشد می‌کنند در توالیهای رسوبی دشتک، پابده - گورپی و گچساران کاهش می‌یابد و تختها (Flat) را تشکیل می‌دهند. کژها (Ramp) در سایر توالی‌های رسوبی که قوام بیشتری دارند تشکیل می‌شود.

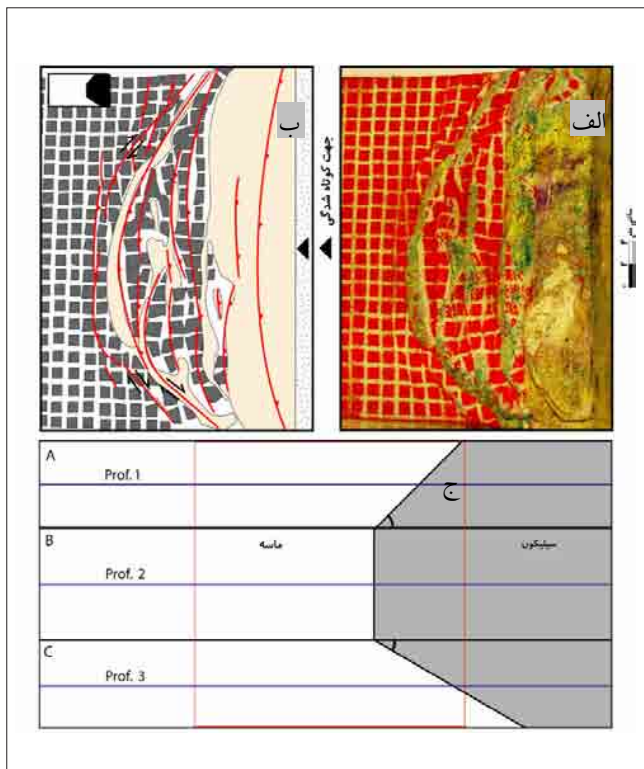
چین خورده - رانده، نمود می‌یابد. همچنین تعداد راند گیها، پس‌راند گیها و شیب انباشتگی متأثر از گسترش لایه‌های کم‌قوام است. مقاطع توپوگرافی رسم شده از منطقه مورد مطالعه و مدل، همخوانی بسیار خوبی از دیدگاه شیب انباشتگی دارد (شکل‌های ۶ و ۷). گسترش بیشتر سیلیکون باعث کاهش شیب انباشتگی و افزایش پهنای دگرشکلی در مدل می‌شود که قابل مقایسه با بخش خاوری پهنه گسل منقارک و گسترش بیشتر نمک هرمز است. البته لازم به ذکر است تفاوت شدت دگرشکلی در دو سوی پهنه تنها در ارتباط با گسترش لایه‌های کم‌قوام هرمز نیست بلکه وجود گسل پی سنگی منقارک می‌تواند تأثیرگذار باشد، اما به دلیل محدودیت در مدل‌سازی آنالوگ نتوانستیم تأثیرات پی‌سنگ را در مدل اعمال کنیم. همان‌طور که پیشتر اشاره شد، نحوه دگرشکلی از چگونگی گسترش لایه‌های کم‌قوام، مقدار تنش اعمالی، ضریب چسبندگی قاعده و ستیرای لایه‌ها پیروی می‌کند. در باختر پهنه گسل منقارک به دلیل بالا بودن ضریب چسبندگی، شیب انباشتگی



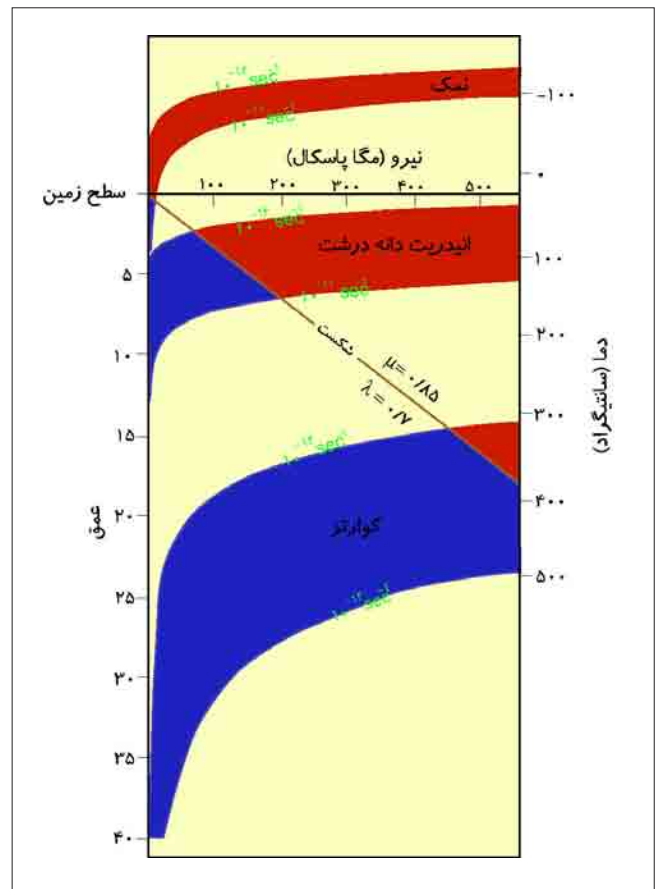
شکل ۱- تصویر ماهواره‌های منطقه مورد مطالعه، خطوط سرخ‌رنگ گسلهای اصلی، خطوط بنفش‌رنگ گسلهای پی سنگی بر اساس داده‌های ژئوفیزیکی، خطوط سبز رنگ نمایانگر محل مقاطع توپوگرافی و خط چین زرد رنگ نشان‌دهنده پیشانی دگرشکلی و بخشهای سرخ‌رنگ نشان‌دهنده ساختهای نمکی است.



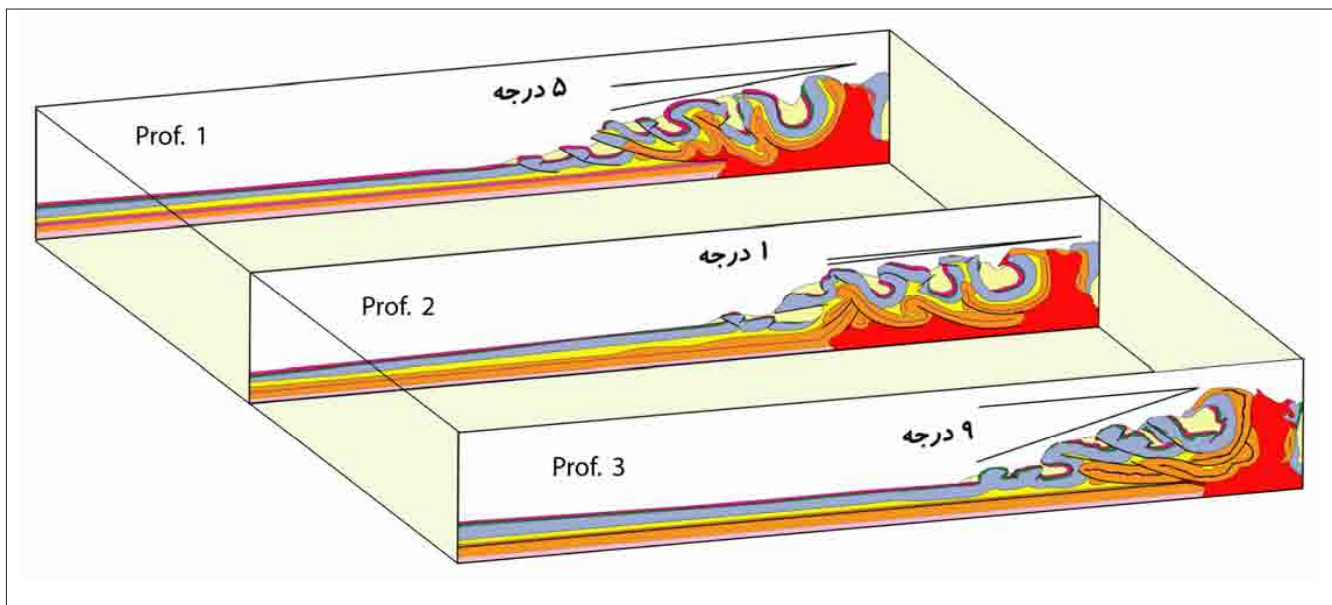
شکل ۲- طرح شماتیک از یک دستگاه جعبه ماسه که شامل دیواره‌های شیشه‌ای است. یکی از دیواره‌ها متحرک بوده و به وسیله اهرم متصل به نیروی محرکه است.



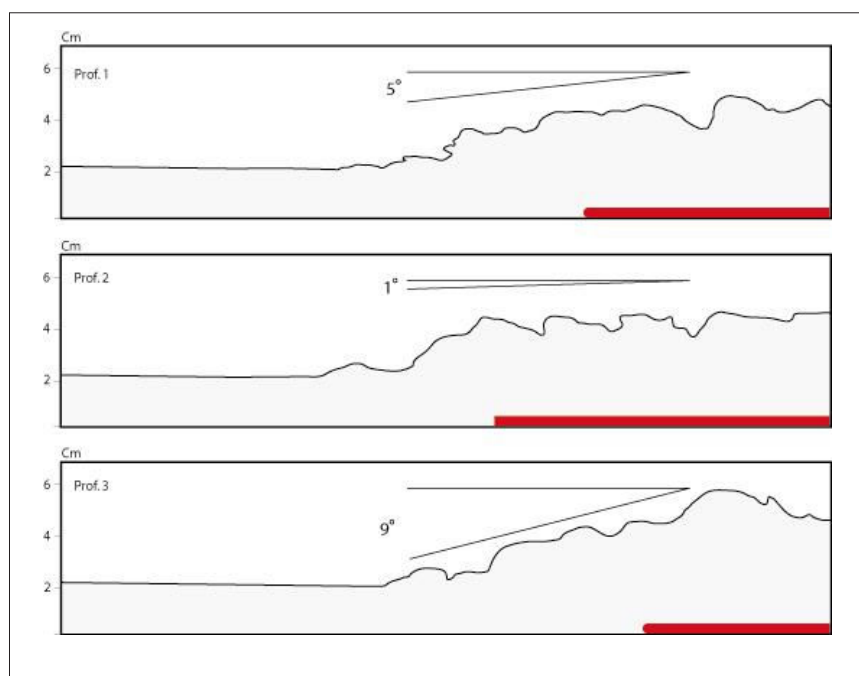
شکل ۴- الف) سطح مدل پس از ۳۰ درصد کوتاه‌شدگی. ب) سطح ترسیمی شکل الف، امتداد، شیب و سازوکار گسلها نمایش داده شده است. ج) گسترش سیلیکون در قاعده مدل نمایانگر بخش نمکی کمپلکس هرمز است. کادر سرخ‌رنگ نشان‌دهنده محل شکل‌های الف و ب است. خطوط آبی رنگ نشان‌دهنده محل نیم‌رخهای ساختاری است.



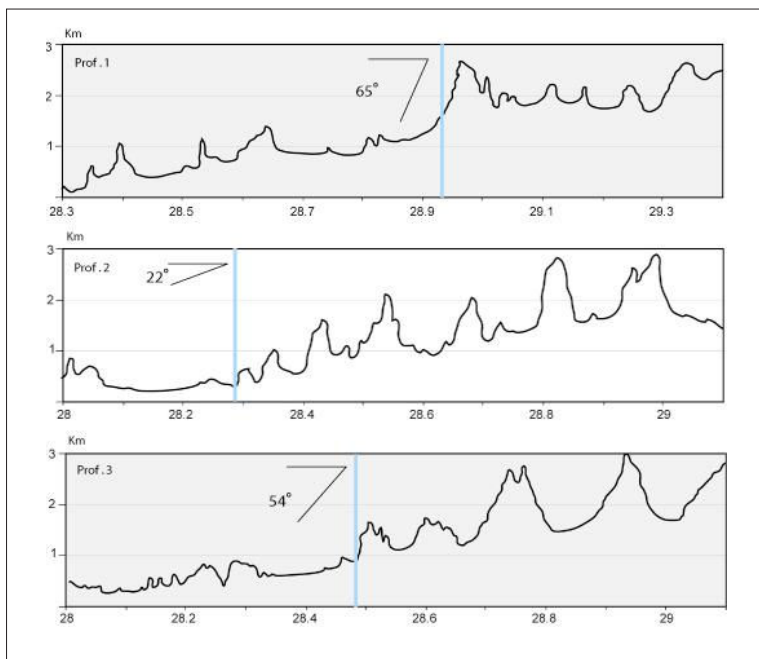
شکل ۳- نمودار ارتباط متقابل نیرو و ژرفا برای برخی از سنگها، نمک را با دیگر سنگها مقایسه کنید (Davis & Engelder, 1985).



شکل ۵- یک طرح سه بعدی از مدل ساخته شده که به وسیله سه نیمرخ ساختاری نمایش داده شده است. زاویه بین سطح مدل و سطح افق در سه ناحیه اندازه گیری شده است.



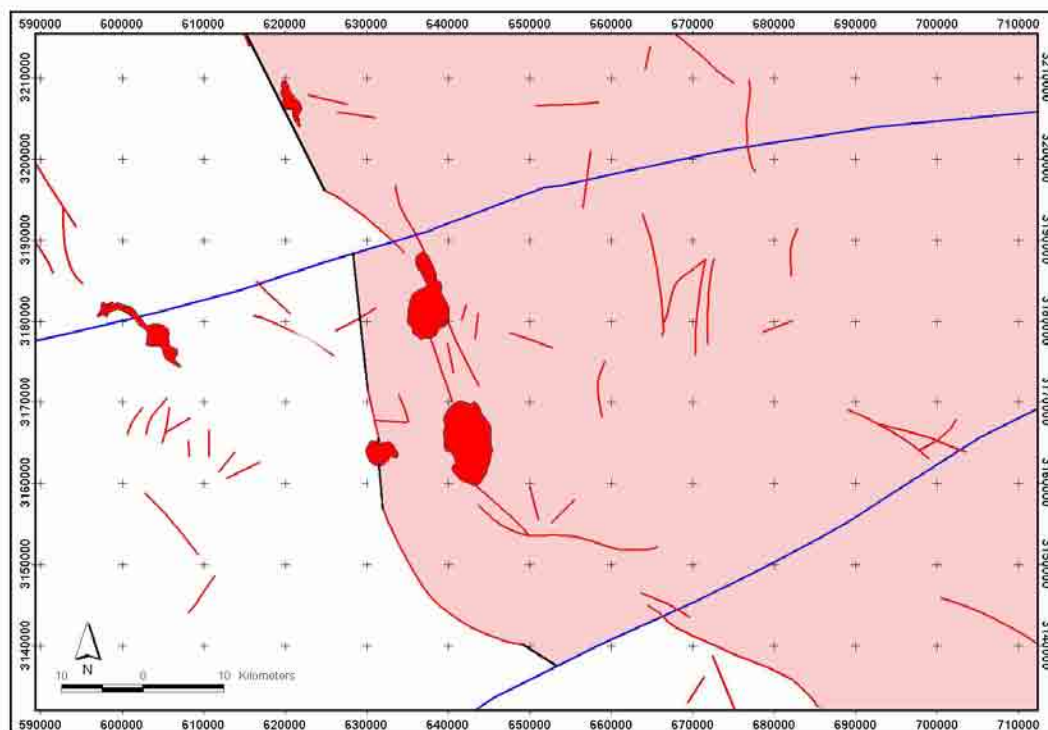
شکل ۶- مقاطع توپوگرافی تهیه شده از سطح مدل. بخشهای سرخ‌رنگ میزان گسترش سیلیکون را نشان می‌دهد. به میزان گسترش سیلیکون و ارتباط آن با شیب توپوگرافی توجه شود.



شکل ۷- مقاطع توپوگرافی به طول تقریبی ۱۵۰ کیلومتر، محل رسم مقاطع در شکل ۱ آورده شده است. خطوط آبی رنگ نشان‌دهنده پیشانی دگرشکلی است.



شکل ۸- بخشهای سرخ‌رنگ معادل سری نمکی هرمز، رنگ سبز معادل سری غیرنمکی هرمز، رنگ نارنجی معادل سازندهای پالئوزوئیک، رنگ زرد معادل سازند دشتک و نیریز، رنگ آبی معادل رسوبات بالای دشتک تا آغاچاری است، رنگ خاکستری معادل رسوبات بختیاری است. تفاوت دگرشکلی به وضوح در بالا و پایین سیلیکون میانی، رنگ زرد، دیده می‌شود. محل برش به صورت شماتیک نشان داده شده است. موقعیت تختها و کژها در بخشهای کم قوام و پر قوام. گسترش زیاد سیلیکون، شیب کم سطح توپوگرافی، جابه‌جایی کم بر روی گسلها از مشخصات دیگر این شکل است. محل برش به صورت شماتیک نشان داده شده است.



شکل ۹- نقشه تقریبی پراکندگی بخش نمکی کمپلکس هرمز بر اساس نحوه دگرشکلی منطقه، خطوط سرخ رنگ معرف گسلهای رخنمون یافته، خطوط آبی رنگ معرف گسلهای پی سنگی بر اساس داده‌های ژئوفیزیکی و ساختهای نمکی به رنگ نمایش داده شده است.

References

- Bahroudi, A., 2003- The effect of mechanical characteristics of basal decollement and basement structure on deformation of the Zagros Basin. Ph.D., Dissertation. Uppsala University, pp. 1-43.
- Bahroudi, A., Talbot, C.J., 2003- The effect of the basement beneath the Zagros basin. *Journal of petroleum geology*, vol.26, pp.257-282
- Bahroudi, A., Koyi, H. A., 2003- Effect of spatial distribution of Hormoz salt on deformation style in the Zagros fold and thrust belt: an analogue modeling approach. *Journal of the Geological Society, London*, vol. 160, pp. 719-733.
- Barzegar, F., 1994- Basement fault mapping of E Zagros folded belt (S.W. Iran) based on space born remotely sensed data. *Proceedings of the 10th Thematic conference on geologic remote sensing: exploration, environment, and engineering*. 10, 455-466, San Antonio, Texas, USA.
- Berberian, M., 1995- Master "blind" thrust faults hidden under the Zagros folds: Active tectonics and surface morphotectonics. *Tectonophysics* 241,193-224.
- Colman-Sadd, S. P., 1978- Fold development in Zagros simply folded belts. Southwest Iran. *American Association of Petroleum Geologist Bulletin* 62, 984-1003.
- Claudio, T., Antonio, R., Cesare, R. P., 2001- Compressional structure in a multilayered mechanical stratigraphy: Insights from sand box modeling with three-dimensional variations in basal geometry and friction. *Geological Society of America. Memoir* 193. pp. 153-179.
- Cotton, J., Koyi, H., 2000- Modeling of thrust fronts above ductile and frictional detachments: Application to structures in the Salt range and Plateau, Pakistan. *Geological Society of America Bulletin*, Vol. 112, No. 3, pp.351-363.

- Evers, H. J., Fakhari, M., Verrall, P., 1977- The geology of Surmeh and surrounding structures, Fars North Area. Iranian National Oil Company, Report No. 1251.
- Evers, H. J., Fakhari, M., 1978- Structural evaluation of the Kalagh anticline in Fars North. Iranian National Oil Company, Technical Note No. 31/1978.
- Falcon, N. L., 1967- The Geology of the North-East Margin of the Arabian Basement Shield. *Advancement Science*, 24, 1-12.
- Falcon, N. L., 1969- Problems of the relationship between surface structures and deep displacements illustrated by the Zagros Range, in: Kent, G. E., Satterthwaite and Spencer, A.M. (Eds.), *Time and Place Orogeny*. Geological Society of London, Special Publication 3, 9-22.
- Falcon, N. J., 1974- South Iran: Zagros Mountains. In: Spencer, A. M. (Ed.), *Mesozoic-Cenozoic Orogenic belts-Data for Orogenic studies*. Geol. Soc. London, Special Pub., 4, 199-211.
- Furst, N. L., 1990- Strike-slip faulting and Diapirism of the south-eastern Zagros ranges. *Proceeding of Symposium on Diapirism (Iran)*, 149-181.
- Harrison, J. V., 1930- The geology of some salt plugs in Laristan, South Persia. *Geol. Soc. London Quart. Jour, Geol. Soc. London*, vol. 86, pp. 463-522.
- Haynes, S. J., Mc Quillan, H., 1974- Evolution of the Zagros suture zone. *Southern Iran. Geol. Soc. Amer. Bull.*, 85, pp. 739-744.
- Hessami, K., Koyi, H. A., and Talbot, C.J., 2001- The significance of strike slip faulting in the basement of the Zagros fold-thrust belt. *Journal Petroleum Geology*, 24, 5-28.
- Kent, P. E., 1970- The salt Plugs of the Persian Gulf Region. *Leicester Literary and Philosophical Society Transactions* 64, 55-58.
- Kent, P. E., 1979- The emergent Hormoz salt plugs of southern Iran. *Journal of petroleum geology*, 2, pp. 117-144.
- Koop, W. J., Stoneley, R., 1982- Subsidence history of the Middle East Zagros basin, Permian to recent. In: Kent, P.E., Bott, M.P., McKenzie, D.P., and Williams, C.A. (Eds.), *Philosophical Transactions Royal Society London* 305, 149-168.
- Liu, S., Dixon, M., 1991- Centrifuge modeling of thrust faulting: structural variation along strike in fold thrust belt. *Tectonophysics*, 188, pp. 39-62.
- Liu, H., McClay, K. R., Powell, D., 1992- Physical models of thrust wedges, In: McClay, K.R., (ed.), *thrust tectonics*, London, Chapman and Hall, p. 71-81.
- Motiei, H., 1995- *Petroleum Geology of Zagros*. Geological Survey of Iran (in Farsi), 589p.
- McQuillan, H. L., 1991- The role of basement tectonics in the control of sedimentary facies, structural pattern and salt plug emplacements in the Zagros fold belt of southwest Iran. *Southwest Asian Earth Science* 5, 453-463.
- Murris, R. J., 1980- Middle East Stratigraphic Evolution and oil habitat. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin* 64, 597-618.
- Stocklin, J., 1968- Salt deposits of the Middle East. *Geol. Soc. Am. Special paper* 88, pp. 157-181.

* دانشکده زمین شناسی، پردیس علوم، دانشگاه تهران، ایران

** سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور

*** دانشکده فنی، پردیس فنی، دانشگاه تهران، ایران

**** پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور

* School of Geology, University College of Sciences, Tehran University, Iran

** Geological Survey of Iran

*** School of Technical Sciences, University College of Technical Sciences, Tehran University, Iran

**** Research Institute of Earth Sciences (GSI)