جغرافیا و توسعه شماره ۳۶ پاییز ۱۳۹۳
وصول مقاله : ۱۳۹۰/۶/۲۶
تأیید نهایی : ۱۳۹۱/۸/۹
صفحات : ۱۶-۱

مقایسه‌ی خصوصیات مورفومتری طاقدیس‌ها و کاربرد آن در اکتشاف نفت در زاگرس چین‌خورده

دکتر شهرام بهرامی[۱]، دکتر محمدعلی زنگنه‌اسدی[۲]، افروز بهروجه[۳]

چکیده

طاقدیس‌های ماله‌کوه در استان لرستان و نواکوه در استان کرمانشاه بخشی از زون ساختمانی زاگرس چین‌خورده محسوب می‌شوند. هدف این‌تحقیق بررسی مورفومتری طاقدیس نفتی ماله‌کوه و مقایسه‌ی آن با مورفومتری طاقدیس بدون نفت نواکوه و ارزیابی کاربرد این مطالعات در اکتشاف منابع نفتی می‌باشد. براساس تصاویر ماهواره‌ای و مطالعات میدانی، ویژگی‌های مورفومتریکی طاقدیس‌ها استخراج شد. در این تحقیق شاخص‌های مورفومتریک طاقدیس‌ها مانند تقارن چین‌خوردگی (FSI)، سینوسیته جبهه طاقدیس (FFS)، خط‌الرأس طاقدیس (AD)، نسبت جهت (AR)، نسبت انشعابات (Rb)، فرکانس زهکشی (Fs)، تراکم زهکشی (Dd) و سطوح مثلثی شکل بررسی گردید. نتیجه‌ی این تحقیق نشان می‌دهد که مقدار بالای شاخص‌های FFS، AD، Ar و مقدار کم شاخص‌های Rb، Dd، و Fs و همچنین وجود سطوح مثلثی بزرگ در طاقدیس نواکوه، نشانگر قدمت، فشردگی و فرسایش بیشتر آن و بنابراین فرار نفت از طاقدیس مذکور است. از طرف دیگر، در طاقدیس نفتی ماله‌کوه، سطوح مثلثی کوچکتر هستند و مقدار شاخص‌های FFS، AD، Ar پایین و مقدار شاخص‌های Rb، Dd، و Fs در آن بالا می‌باشد که این موضوع بیانگر جوان‌تر بودن، فرسایش کمتر و بنابراین حفظ شدن منابع نفتی آن است. نتیجه‌ی این بررسی نشان می‌دهد که تکامل و فشردگی طاقدیس نواکوه باعث جابه‌جایی سطح خنثی به سمت پایین و به موجب آن اتصال شکستگی‌های فشاری و کششی شده و بنابراین به مهاجرت و فرار نفت طاقدیس نواکوه منجر شده است. در مجموع تحقیق حاضر نشان می‌دهد که پارامترهای مورفومتریک مذکور دارای کارایی مناسبی جهت تفکیک طاقدیس‌های دارای نفت و غیر نفتی هستند.

کلیدواژه‌ها: ماله‌کوه، نواکوه، مورفومتری، نفت، زاگرس، تقارن چین.

۱- استادیار ژئومورفولوژی، دانشگاه حکیم سبزواری (نویسنده مسؤول) s.bahrami@hsu.ac.ir
۲- دانشیار ژئومورفولوژی، دانشگاه حکیم سبزواری ma.zanganeh@hsu.ac.ir
۳- دانشجوی کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی، دانشگاه حکیم سبزواری abehrooje@hsu.ac.ir

مقدمه

منابع هیدروکربنی مانند نفت به علت چگالی پایین اغلب در رأس لندفرم‌هایی مانند طاقدیس‌ها تجمع می‌یابند. مطالعات ژئومورفولوژی بویژه ویژگی‌های مورفومتری طاقدیس‌ها نقش مهمی در اکتشاف نفت ایفا می‌کنند. طاقدیس‌ها از مهمترین ساختمان‌های دارای منابع نفت هستند که شکل و درجه تکامل آنها نقش مهمی در تشکیل و فرار نفت ایفا می‌کند (Prost,1992:628). سنگ‌های کارستی، مخازن مهم نفتی را تشکیل می‌دهند. تخلخل و وجود فضاهای خالی نقش اصلی را در حرکت نفت ایفا می‌کند. اغلب وجود حوضه‌های نفتی در سنگ‌های آهکی به خاطر انحلال‌پذیری و کارست‌شدگی بالای این سنگ‌ها است (Thornbury,1969:584). با تکامل چین‌خوردگی و گذشت زمان، امکان فرسایش لایه پوش سنگ در رأس طاقدیس ایجاد می‌شود و بنابراین نفت از شکاف‌های رأس طاقدیس تخلیه می‌شود. بسیاری از منابع نفتی در طاقدیس‌های مخفی قرار دارند و شواهد ژئومورفیک سطحی مانند الگوی زهکشی و ناهنجاری‌های زهکشی نقش مهمی در شناخت طاقدیس‌های مخفی مذکور ایفا می‌کنند (Prost, 1992: 629).

اغلب منابع نفتی زاگرس در طاقدیس‌ها واقع شده‌اند. با این وجود بسیاری از ساختارهای طاقدیسی زاگرس هنوز از نظر پتانسیل نفت مطالعه نشده‌اند (Versfelt, 2001: 424). بطور کلی کمربند کوهزایی زاگرس یکی از غنی‌ترین مناطق هیدروکربنی جهان است (Farzipour-Saein et al, 2009: 5). تکامل چین‌خوردگی زاگرس نقش مهمی در تشکیل مخازن نفتی آن ایفا نموده است. با شروع چین‌خوردگی زاگرس،نفت شروع به‌حرکت به‌سمت رأس‌طاقدیس‌های جدید کرد.تصور می‌شود که کوهزایی میوسن-هولوسن منجر به‌شکل‌گیری تله‌های نفتی زاگرس شده است (Ala, 1982:1535).

واحد ساختمانی زاگرس چین‌خورده از نظر تکتونیکی، فعال بوده و در اثر فشارهای ساختمانی از اوائل پلیوسن در حال بالا آمدن و کوتاه‌شدگی است (Falcon, 1974:199).

بالاآمدگی و کوتاه شدگی زاگرس ابتدا از شمال شرق زاگرس (کمربند رورانده) شروع شده و به سمت جنوب غرب (زاگرس چین‌خورده و دشت خوزستان) پیشروی نموده است (Berberian, 1995: 201).

ژئومورفولوژی چین‌های زاگرس با ابعاد مخزن نفتی و همچنین با امکان فرار مخازن نفتی دارای رابطه زیادی می‌باشند بطوری‌که در طاقدیس‌های جوان‌تر و با طول موج کمتر و فرسایش و شکستگی کمتر در جنوب غرب زاگرس، مخازن نفتی باقی مانده‌اند در حالی که در طاقدیس‌های قدیمی‌تر و شکسته‌تر در شمال شرق زاگرس، مخازن‌نفتی خارج شده‌اند. در زمینه‌ی رابطه بین عوامل ژئومورفولوژیکی با تشکیل و اکتشاف مخازن هیدروکربونی مطالعات محدودی انجام شده است که از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

اولین بار لاتمن در مقاله‌ی جالبی با عنوان: "ژئومورفولوژی، ابزاری جدید در اکتشاف نفت و گاز" نقش پارامترها و تکنیک‌های‌ژئومورفولوژی را در اکتشاف نفت و گاز بررسی کرد (Latmen, 1959: 231).

بررسی‌های آیلهن روی چین‌خوردگی‌های تورس-زاگرس و ارتباط آن با میدان‌های نفتی خاورمیانه مشخص نمود که حوضه‌های نفتی در فرورفتگی و منطقه‌ی حاشیه فلات قاره در جنوب غرب و نواحی ساحلی ایران تشکیل شده‌اند (Ilhan, 1967: 665). به نظر او طاقدیس‌های وسیع با پهلوهای کم‌شیب دارای مقادیر عظیمی نفت هستند که زیر پوششی از سنگ‌های نمکی و آهکی متراکم محفوظ مانده‌اند.

مطالعات کلمن- سد نشان داد که که شکستگی‌ها و درزه‌های مربوط به سطح خنثی در مدل چین‌خوردگی

سطح خنثی نقش مهمی را در مهاجرت نفت در زاگرس چین‌خورده ایفا کرده‌اند (Colman- Sadd, 1978: 987).

کونته کاربرد شواهد ژئومورفولوژیکی را در اکتشاف نفت در دشت آسام هند بررسی نمود و نشان داد که زون پدیمنت بالاترین پتانسیل اکتشاف هیدروکربن را دارد (Kunte, 1988: 15). میترا و اگاروال کاربرد شواهد ژئومورفولوژیکی را در اکتشاف منابع نفتی در حوضه کاوری در جنوب هند ارزیابی کردند. مطالعات آنها نشان داد که شکستگی‌ها و ناهنجاری‌های زهکشی نقش مهمی در مهاجرت و تجمع هیدروکربن‌ها ایفا می‌نمایند (Mitra & Agarwal, 1991:267).

به‌نظر پروست، طاقدیس‌ها، گنبدها و هورست‌ها، ساختارهای خیلی مهمی برای جستجوی مخازن نفت و گاز هستند (Prost, 1992: 629). مطالعات یمانی و اینانلو (۱۳۸۵) نشان داد که بالا بودن قابلیت نفوذپذیری سیال در سازند مخزنی سروک در طاقدیس شوروم تحت تأثیر توزیع نسبتاً زیاد شبکه‌ی شکستگی در بخش‌هایی از محور تاقدیس و حریم فعالیّت گسل‌های ایجاد شده در آن می‌باشد. با توجه به این‌که مطالعات مربوط به نقش ژئومورفولوژی در اکتشاف نفت در ایران بسیار محدود است، هدف این تحقیق بررسی و مقایسه‌ی‌خصوصیات مورفومتری‌طاقدیس‌های ماله‌کوه (دارای نفت) و نواکوه (بدون نفت) و کاربرد این مطالعات در اکتشاف نفت می‌باشد.

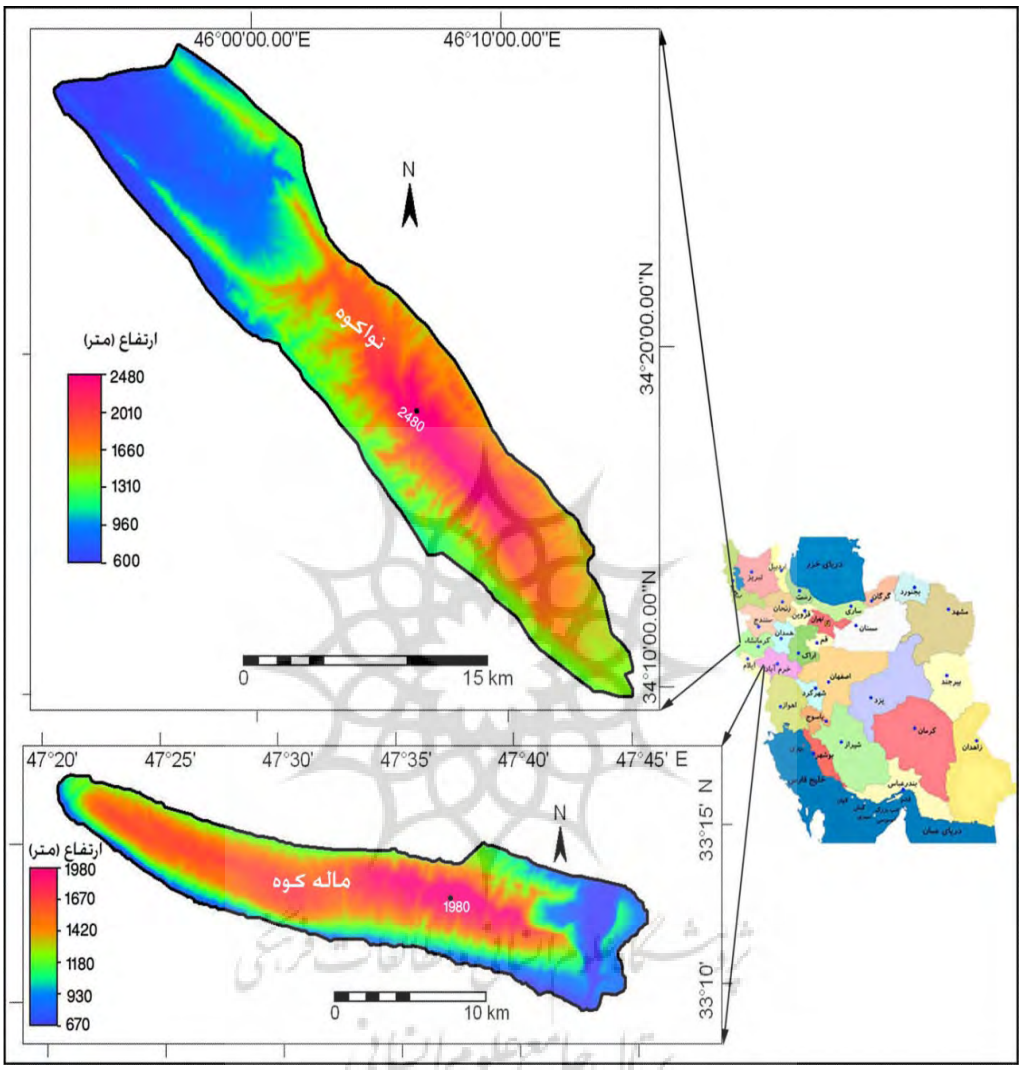
منطقه‌ی مورد مطالعه

طاقدیس‌های مورد مطالعه از نظر زمین‌شناسی بخشی از زون ساختمانی زاگرس چین‌خورده محسوب می‌شود. طاقدیس‌ماله‌کوه، در استان‌لرستان،و طاقدیس نواکوه، در استان کرمانشاه، قرار دارند. روند چین‌های این محدوده، همانند زاگرس، شمال غرب-جنوب شرق می‌باشد. طاقدیس نواکوه دارای فرود محوری دو طرفه می‌باشد. حداکثر ارتفاع طاقدیس ۲۴۸۰ متر می‌باشد که تقریباً در قسمت‌های مرکزی آن می‌باشد و حداقل ارتفاع آن در بخش شمال غربی در انتهای فرود محوری طاقدیس، ۶۰۰ متر می‌باشد (شکل ۱).

دشت قلعه‌ی شاهین در شمال‌غرب آن و دشت کرند در جنوب شرق آن قرار دارند. از نظر تقسیمات هیدرولوژیکی، طاقدیس نواکوه مرز تقسیم حوضه‌ی آبریز الوند (در شمال‌غرب و غرب آن) و حوضه‌ی آبریز رودخانه‌ی کرند (در شرق و جنوب‌شرق آن) می‌باشد. از نظر چینه‌شناسی سازندهای زمین‌شناسی طاقدیس نواکوه شامل آسماری، آسماری- شهبازان، تله زنگ، امیران، گرو، گورپی، و آبرفت‌های کواترنری هستند (شکل۲).

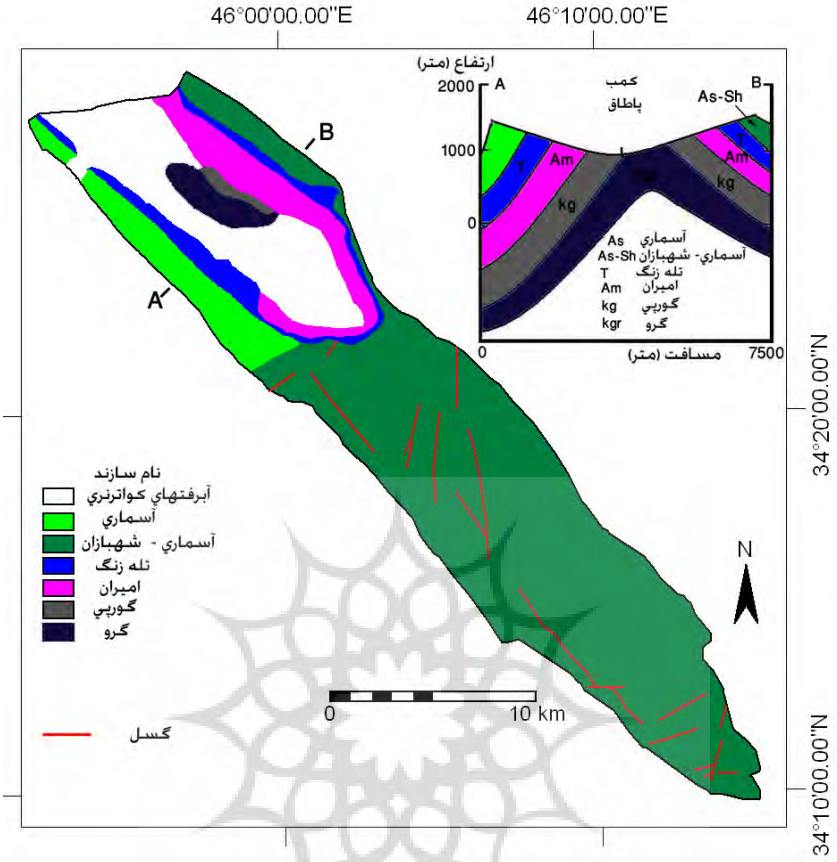
شبکه زهکشی در شمال غرب آن به علت افزایش عرض طاقدیس، دارای الگوی شبکه درختی است درحالی‌که به‌سمت جنوب شرق شبکه‌ها دارای الگوی موازی هستند (شکل ۳). دارای چند گسل عرضی و یک راندگی (گسل معکوس) در پهلوی جنوب غربی آن است (شکل ۲). عرض طاقدیس در قسمت جنوب شرق حدود ۳۱۰۰ متر، در مرکز ۷۵۰۰ متر و در انتهای شمال غربی ۷۱۵۰ متر است.

طاقدیس ماله‌کوه در فاصله ۱۳۰ کیلومتری شمال غربی اندیمشک در استان لرستان واقع شده است. حداکثر ارتفاع آن ۱۹۸۰ و حداقل ارتفاع آن ۶۷۰ متر می‌باشد. شهر پل‌دختر در داخل تنگ عمیق واقع در انتهای بخش جنوب‌شرقی طاقدیس قرار گرفته است. طاقدیس مذکور نیز دارای فرود محوری دو طرفه است. عرض طاقدیس در قسمت جنوب شرق حدود ۷۶۰۰ متر، در مرکز طاقدیس ۵۱۵۰ متر و در انتهای شمال غربی ۲۴۷۰متر است. تمامی طاقدیس مذکور از سازند آسماری- شهبازان (آهک و آهک دولومیتی) تشکیل شده است. الگوی زهکشی در بخش مرکزی و شمال غربی طاقدیس موازی است درحالی‌که به سمت جنوب شرق که طاقدیس عریض‌تر است، الگوی شبکه درختی تکامل یافته است (شکل ۴).



شکل ۱: موقعیت و توپوگرافی طاقدیس‌های مورد مطالعه

مأخذ : سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، ۱۳۵۱



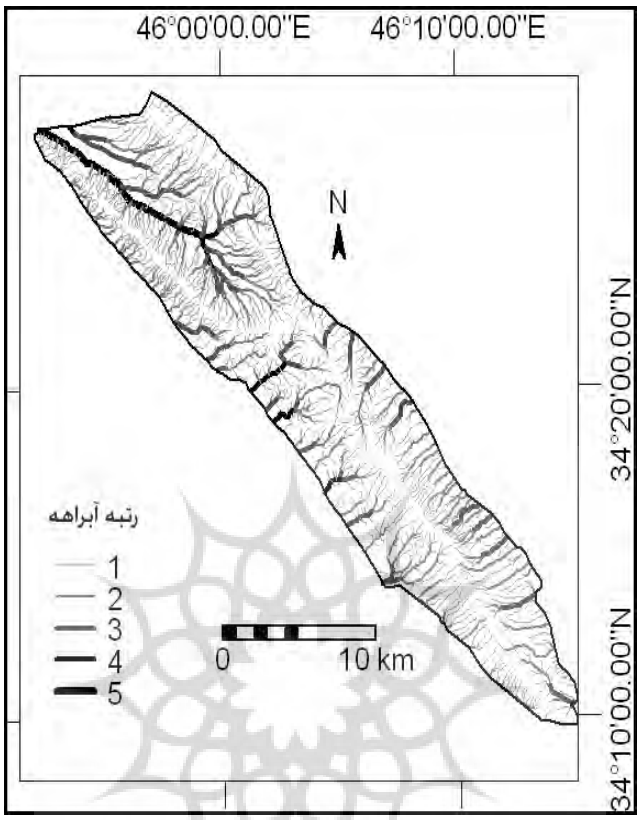
شکل ۲: نقشه زمین‌شناسی و مقطع عرضی طاقدیس نواکوه

مأخذ : شرکت ملی نفت ایران (۱۳۴۲، ۱۳۵۳ و ۱۳۴۸)

روش کار

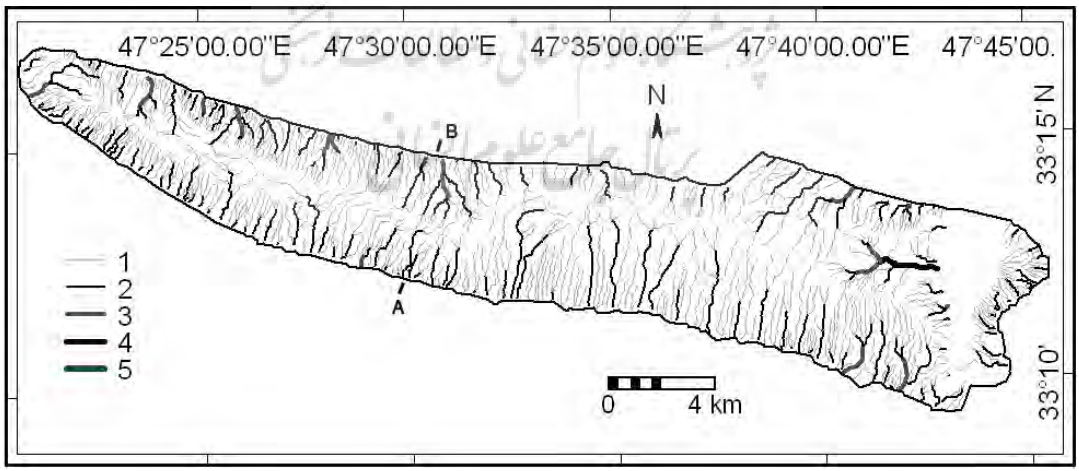
داده‌ها

ابتدا نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰۰ و ۱:۲۵۰۰۰۰ شرکت ملی نفت ایران تهیه و مقاطع زمین‌شناسی طاقدیس‌ها استخراج گردید. نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ طاقدیس‌های مورد مطالعه در محیط نرم‌افزار ILWIS رقومی گردید و نقشه‌ی سطوح ارتفاعی طاقدیس‌ها تهیه شد. جهت ترسیم دقیق شبکه‌ی زهکشی، تصویر ماهواره‌ای Quichbird منطقه مطالعاتی ژئورفرنس شد و آبراهه‌های استخراج شده از نقشه‌ی توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰ اصلاح و تکمیل گردید. درجه‌بندی آبراهه‌ها به روش استراهلر انجام شد. بعد از رقومی‌سازی شبکه‌ی زهکشی در نرم‌افزار ILWIS، طول و تعداد آبراهه‌ها با درجات مختلف به دست آمد و بر اساس آن شاخص‌های نسبت انشعابات (Rb)، فرکانس‌زهکشی (Fs) و تراکم‌زهکشی (Dd) طاقدیس‌ها محاسبه گردید. ترسیم سطوح مثلثی‌شکل، محاسبه شاخص‌های سینوسیته جبهه چین (FFS)، خطالرأس طاقدیس (AD)، شاخص تقارن چین (FSI) و نسبت جهت (Ar) بر اساس تصویر ماهواره‌ای کویک‌برد و نقشه زمین‌شناسی انجام شد. در نهایت ارتباط تمامی پارامترهای ژئومورفیک و تکتونیکی با تشکیل مخازن نفتی در طاقدیس‌های دارای نفت و بدون نفت، و همچنین نقش پارامترهای فوق در فرار یا تخلیه‌ی مخازن نفتی تجزیه و تحلیل گردید.



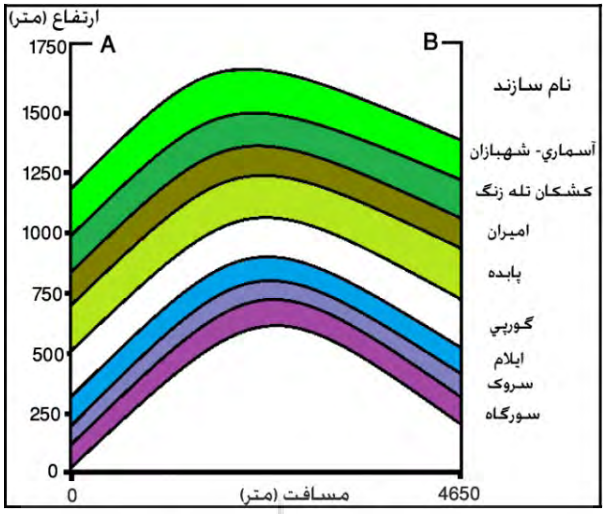
شکل ۳: نقشه شبکه‌ی زهکشی طاقدیس نواکوه

مأخذ : مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰



شکل ۴: نقشه شبکه‌ی زهکشی و محل مقطع زمین‌شناسی طاقدیس ماله‌کوه

مأخذ : مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰



شکل ۵: مقطع زمین‌شناسی طاقدیس ماله‌کوه (محل مقاطع در شکل ۴)

مأخذ : مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰

شاخص‌های مورفومتری

شاخص تقارن چین

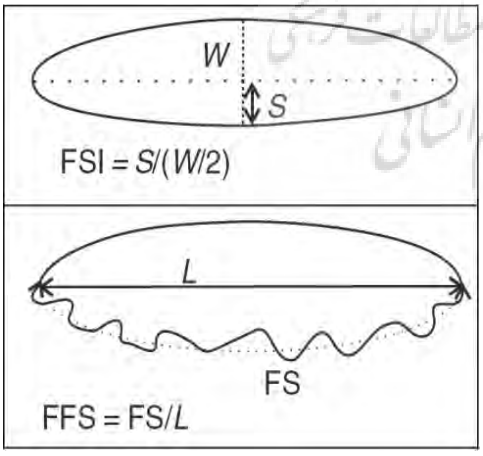
شاخص تقارن چین از مهمترین پارامترهایی است که میزان نابرابری دو یال طاقدیس و در نتیجه میزان فعالیّت تکتونیکی را نشان می‌دهد. شاخص تقارن چین (FSI) از تقسیم S (عرض پهلوی کوتاهتر طاقدیس) بر نصف عرض طاقدیس (W/2) به دست می‌آید (شکل۶).

در یک طاقدیس کاملاً متقارن، مقدار شاخص مذکور عدد ۱ است درحالی که در یک طاقدیس نامتقارن، مقدار شاخص مذکور کمتر از ۱ است *(Burbery et al, 2010: 143)*.

هرچه مقدار این شاخص کمتر از عدد یک باشد نشانگر فعال بودن نیروهای زمین‌ساخت در ناحیه می‌باشد که منجر به ایجاد طاقدیس نامتقارن، با طرفین پرشیب و دارای شکست‌ها و گسل‌ها می‌شود. مقدار زیاد این شاخص بیانگر عدم تأثیرگذاری فعالیّت‌های تکتونیکی و شکل‌گیری طاقدیس‌ها به شکل متقارن می‌باشد.

شاخص سینوسیته جبهه چین

از دیگر پارامترهایی که بر اساس آن می‌توان درجه فعالیّت‌های تکتونیکی یا سن سیستم چین‌خوردگی را تعیین نمود، شاخص سینوسیته جبهه چین (FFS) است. شاخص مذکور از نسبت طول جبهه طاقدیس (FS) به طول طاقدیس (L) به دست می‌آید (شکل۶). مقدار کم این شاخص،نشان‌دهنده‌ی چین‌خوردگی‌های جوان است در حالی که مقدار بالای شاخص مذکور نشان‌دهنده‌ی جبهه‌های فرسایش‌یافته یا چین‌خوردگی‌های قدیمی است *(Burbery et al, 2010: 144)*.



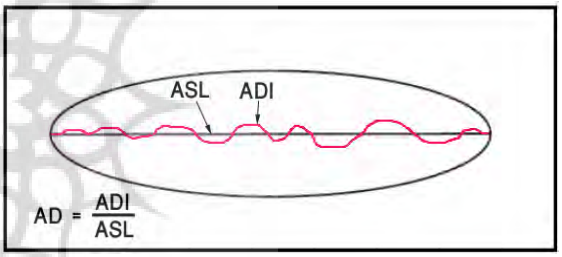
شکل ۶: روش محاسبه FSI و FFS بطور شماتیک

مأخذ: Burbery et al, 2010: 143

شاخص خطالرأس طاقدیس

طول خطالرأس طاقدیس نسبت به خط مستقیم (بین ابتدا و انتهای خطالرأس)تاحدودی نشان‌دهنده‌ی میزان فرسایش و سن چین‌خوردگی است.

در طاقدیس‌های جدید، خطالرأس تقریباً مستقیم است در حالی که در طاقدیس‌های قدیمی و فرسایش یافته، خطالرأس دارای طول بیشتری است. در این تحقیق شاخصی به نام AD (شاخص خطالرأس طاقدیس) تعریف شده است که از تقسیم ADI (طول خطالرأس واقعی طاقدیس) بر ASL (طول خط مستقیم بین ابتدا و انتهای خطالرأس) به‌دست می‌آید (شکل ۷).



شکل ۷: روش محاسبه AD بطور شماتیک

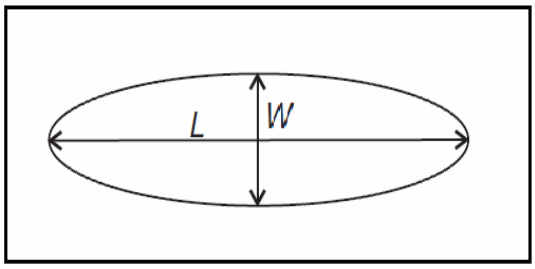
مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰

شاخص نسبت جهت

از شاخص‌های مورفومتری برای تعیین میزان فعالیّت‌های زمین‌ساختی یک منطقه، شاخص نسبت جهت می‌باشد.ازآنجایی‌که میزان فعالیّت‌های تکتونیکی در طاقدیس‌های مورد مطالعه یکسان نمی‌باشد، مطالعه این شاخص می‌تواند نقش مهمی در فهم ارتباط بین ریخت‌شناسی سطح زمین و تشکیل منابع نفتی طاقدیس‌ها ایفا نماید. شاخص نسبت جهت (AR) عبارت است از نسبت طول به عرض مشخص در یک طاقدیس (شکل ۸) و از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید (*Burbery et al, 2008: 423*):

$$AR = \frac{L}{W} \qquad (۱)$$

که در آن L، طول طاقدیس و W، حداکثر عرض طاقدیس است.



شکل ۸: روش محاسبه شاخص نسبت جهت بطور شماتیک

مأخذ: Burbery et al, 2008: 423

میزان بالای این‌شاخص نشان‌دهنده‌ی فعالیّت‌تکتونیک بالا و میزان کم آن نیز کاهش فعالیّت زمین‌ساختی را نشان می‌دهد.

نسبت انشعابات

نسبت انشعابات (Rb)، تخمینی کمّی از تکامل شبکه‌ی آبراهه‌های با درجات مختلف است (*Singh & Jain, 2008: 234*).

نسبت انشعابات برای هر رده از آبراهه از رابطه ۲ به دست می‌آید (*Guarnieri & Pirrotta, 2008: 267*):

$$Rb = \frac{N_u}{N_{u+1}} \qquad (۲)$$

که در آن N_u تعداد آبراهه با رتبه u و N_{u+1} تعداد آبراهه در یک رتبه بالاتر است. نسبت انشعابات برای هر طاقدیس از میانگین Rb تمام رده‌ها به دست آمد. نسبت انشعابات، بجز در مناطق تکتونیکی فعال، دارای مقادیر بین ۳ تا ۵ می‌باشد (*Ozdemir & Bird, 2009:1410*).

تراکم زهکشی

تراکم زهکشی (Dd)، نسبت طول آبراهه‌ها به مساحت در یک منطقه مشخص است و از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید (*Tucker et al, 2001: 187*):

$$D_d = \frac{\sum L_i}{A} \qquad (۳)$$

که در آن Li، طول هر یک از آبراهه‌های حوضه اعم از آبراهه‌های دائم و غیردائم به کیلومتر و A، مساحت منطقه بر حسب کیلومتر مربع می‌باشد. تراکم زهکشی بالا بویژه آبراهه‌های درجه ۱، نشان‌دهنده‌ی فعال‌تر بودن مناطق از نظر تکتونیکی است *(Zuchiewicz, 1998: 127)*.

بطوری‌که در مناطق دارای بالاآمدگی سریع‌تر تنها شبکه‌های درجه ۱ توسعه می‌یابند. در طاقدیس‌های با بالاآمدگی آرامتر و عرض بیشتر، شبکه‌های زهکشی با درجات بالاتر نیز توسعه می‌یابند.

فرکانس زهکشی

فرکانس آبراهه (Fs) از جمله پارامترهای کمی مربوط به مورفومتری شبکه زهکشی است که از رابطه زیر به دست می‌آید *(Sreedevi et al, 2005: 415 ; Devi et al, 2011: 20)*:

$$Fs = \sum Nu / A \qquad (۴)$$

که در آن Nu تعداد آبراهه‌های یک درجه مشخص و A مساحت حوضه به کیلومتر مربع است. مقدار پارامتر Fs به‌عواملی مانند زمین‌شناسی، اقلیم، پوشش گیاهی، جنس سنگ و خاک، و توپوگرافی بستگی دارد. در مناطق تکتونیکی فعال بویژه در طاقدیس‌های جوان، تعداد آبراهه‌های درجه ۱ بیشتر است.

سطوح مثلثی شکل

در طاقدیس‌های در حال بالاآمدگی، تکتونیک باعث ایجاد لندفرم‌های خاصی در جبهه‌ی کوهستان می‌شوند. از جمله این لندفرم‌ها، سطوح مثلثی‌شکل[1] هستند *(Wells et al,1988:239;Petit et al,2009: 6010)*. سطوح مثلثی شکل شامل سطوح صاف تشکیل شده بین دو آبراهه در پهلوی طاقدیس هستند که در قسمت پایین‌دست (جبهه کوهستان) عریض و به سمت بالادست کوچکتر می‌شوند (شکل ۹). سطوح مثلثی، دارای شکل مثلثی و در مواردی چند ضلعی می‌باشند. بطور کلی جبهه‌های کوهستانی با تکتونیک شدیدتر، دارای سطوح مثلثی بزرگتر و پر شیب‌تر و دارای قاعده طولانی‌تری هستند در حالی که جبهه‌های کوهستانی با تکتونیک ضعیف‌تر، به علت فرسایش بیشتر آبراهه‌ها، دارای سطوح مثلثی کمتر، کوچکتر، با قاعده‌های کوچکتر هستند *(Wells et al, 1988: 251)*.

شکل ۹: تصویری از سطوح مثلثی شکل با قاعده‌های طولانی در دامنه جنوب غربی طاقدیس نواکوه

مأخذ : مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰

1-Triangular facets

نتایج

مقدار شاخص تقارن چین برای طاقدیس ماله‌کوه ۸۵ درصد و برای طاقدیس نواکوه ۷۳ درصد به دست آمده است که بیانگر جوان‌تر بودن و تأثیر کم تکتونیک بر طاقدیس ماله‌کوه است. مقدار سینوسیته جبهه چین (FFS) در طاقدیس‌های مطالعاتی در جدول ۱ ارائه شده است. مقدار کمتر شاخص FFS در طاقدیس ماله‌کوه (۱/۱۹) نشان‌دهنده‌ی جوان‌تر بودن و تأثیر کمتر فرسایش در آن است.

جدول ۱: مقدار شاخص سینوسیته جبهه چین (FFS) در طاقدیس‌های مطالعاتی

نام طاقدیس	L(km)	FS(km)	FFS
ماله‌کوه	۳۸/۱	۴۵/۵۶	۱/۱۹
نواکوه	۴۵/۴	۶۰/۵۶	۱/۳۳

مأخذ : مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰

بررسی این تحقیق نشان می‌دهد که مقدار شاخص AD (خط‌الرأس‌طاقدیس) برای طاقدیس ماله‌کوه ۱/۰۷ و برای طاقدیس نواکوه ۱/۱۲ به دست آمده است که نشان‌دهنده‌ی تأثیر بیشتر فرسایش بر طاقدیس‌نواکوه و جوان‌تر بودن طاقدیس ماله‌کوه است. مقدار شاخص نسبت جهت در طاقدیس ماله‌کوه ۵/۱۷ و در طاقدیس نواکوه ۵/۷۷ به دست آمده است (جدول ۲). مقدار بیشتر شاخص نسبت جهت در طاقدیس نواکوه نشان‌دهنده‌ی فعالیّت‌تکتونیکی بالاتر و فشردگی بیشتر آن است.

جدول ۲: مقادیر پارامترهای مربوط به شاخص نسبت جهت (AR) در طاقدیس‌های مطالعاتی

نام طاقدیس	L(km)	W(km)	AR
ماله‌کوه	۳۸/۹۷	۷/۵۳	۵/۱۷
نواکوه	۴۵/۶	۷/۹	۵/۷۷

مأخذ : مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰

طول و تعداد آبراهه‌های با درجات مختلف در جدول ۳ و نسبت انشعابات (Rb) طاقدیس‌ها در جدول ۴ ارائه شده است. مقدار Rb در طاقدیس ماله‌کوه ۱۰/۴ و در طاقدیس نواکوه ۵/۳۸ به دست آمده است که نشانگر قدمت بیشتر طاقدیس نواکوه می‌باشد. تکتونیک نقش مهمی در تعداد آبراهه‌های با درجات مختلف داشته و بنابراین نسبت انشعابات در طاقدیس‌های جوان بسیار بالاتر از طاقدیس‌های فرسایش‌یافته و قدیمی می‌باشد. به عبارتی در طاقدیس‌های جوان‌تر، تعداد آبراهه‌های درجه پایین (۱و۲)، بالا بوده و شبکه‌ی آبراهه‌ها با درجات بالاتر، هنوز تکامل نیافته‌اند که این امر باعث می‌شود نسبت‌انشعاب در این‌گونه طاقدیس‌ها(ماله‌کوه) بالا باشد. همانگونه که جدول ۴ نشان می‌دهد تراکم زهکشی آبراهه‌های درجه ۱ و تمامی درجات طاقدیس ماله‌کوه بیشتر از طاقدیس نواکوه است که بیانگر جوان‌تر بودن طاقدیس ماله‌کوه و فرسایش کمتر آن است.

جدول ۳: تعداد و طول آبراهه‌های با درجات مختلف در طاقدیس‌های مطالعاتی

نام طاقدیس	آبراهه درجه ۱		آبراهه درجه ۲		آبراهه درجه ۳		آبراهه درجه ۴		آبراهه درجه ۴	
	تعداد	طول (کیلومتر)	تعداد	طول	تعداد	طول	تعداد	طول	تعداد	طول
ماله‌کوه	۷۳۳	۵۱۸/۹	۱۷۵	۱۵۲/۳	۱۶	۱۴/۱۴	۱	۲/۳۱	۰	۰
نواکوه	۷۸۹	۵۹۰/۷	۱۷۸	۲۰۶/۳	۳۵	۶۱/۳	۷	۱۱/۶	۱	۱۲/۳

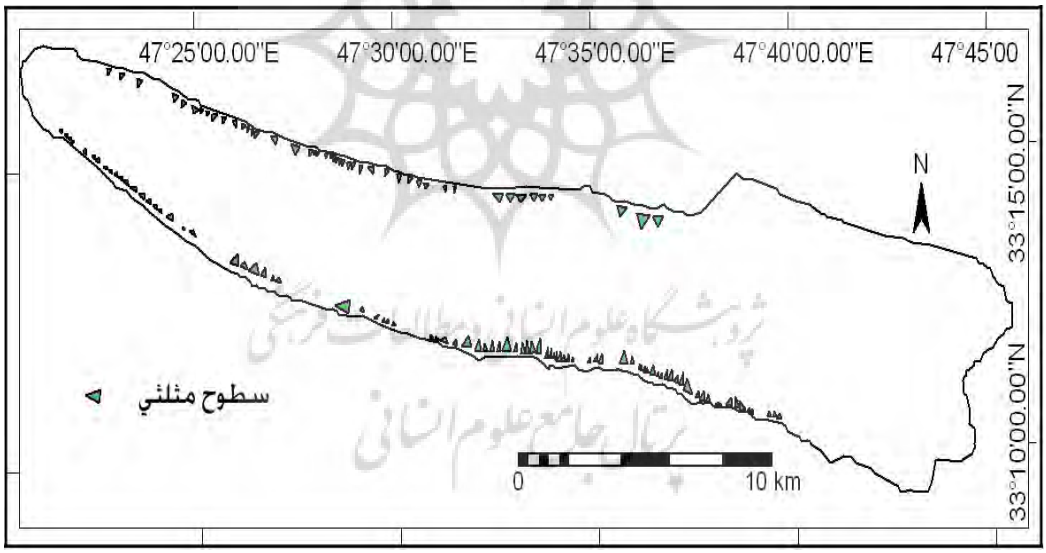
مأخذ : مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰

جدول ۴: مقادیر پارامترهای کمی محاسبه شده در طاقدیس‌های مطالعاتی

پارامتر / نام طاقدیس	A	Dd		Rb	Fs	
		در تمام آبراهه‌ها	در آبراهه‌های درجه ۱		در تمام آبراهه‌ها	در آبراهه‌های درجه ۱
ماله‌کوه	۲۰۲/۵	۳/۴	۲/۵۶	۱۰/۴	۴/۶	۳/۶
نواکوه	۳۱۹/۲	۲/۷۶	۱/۸۵	۵/۳۸	۳/۲	۲/۴۷

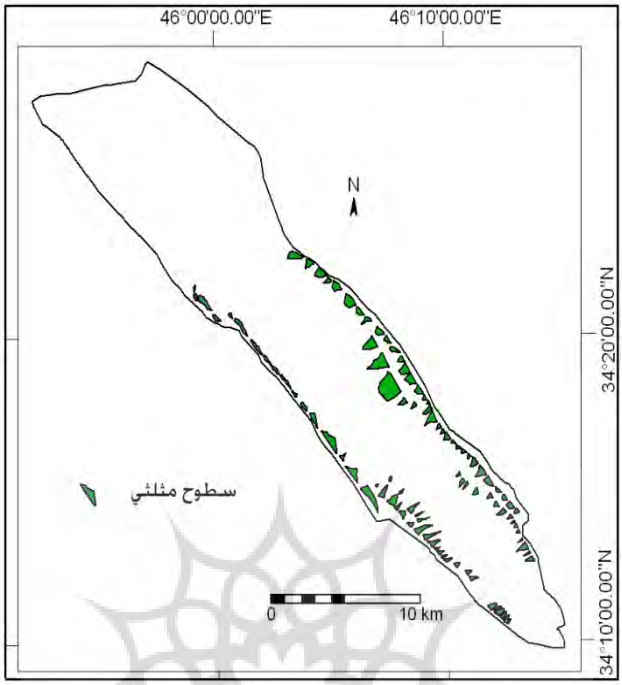
مأخذ : مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰

فرکانس زهکشی تمامی درجات و همچنین آبراهه‌های درجه۱ طاقدیس ماله‌کوه بیشتر از طاقدیس نواکوه به دست آمده است (جدول ۴) که این موضوع نیز نشان‌دهنده‌ی غلبه آبراهه‌های درجات پایین و جوان‌تر بودن طاقدیس ماله‌کوه است. در این تحقیق، بر اساس تصاویر ماهواره‌ای کویک‌برد و مطالعات میدانی، تعداد ۸۹ سطح مثلثی در طاقدیس ماله‌کوه (شکل ۱۰) و تعداد ۹۷ سطح مثلثی در طاقدیس نواکوه (شکل۱۱) شناسایی شد. طول قاعده و مساحت سطوح مثلثی در طاقدیس‌های موردمطالعه و میانگین پارامترهای مذکور در جدول ۵ ارائه شده است.



شکل۱۰: موقعیت سطوح مثلثی‌شکل در طاقدیس ماله‌کوه

مأخذ : مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰



شکل ۱۱: موقعیت سطوح مثلثی‌شکل در طاقدیس نواکوه

مأخذ : مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰

جدول ۵: تعداد، میانگین طول قاعده (متر) و میانگین مساحت سطوح مثلثی در طاقدیس‌های مورد مطالعه

پارامتر / طاقدیس	تعداد سطوح مثلثی	میانگین طول قاعده مثلث (متر)	میانگین مساحت سطح مثلثی (کیلومتر مربع)
ماله‌کوه	۸۹	۴۸۶/۶	۰/۱۴۴۶
نواکوه	۹۷	۱۹۱/۸	۰/۰۲۵

مأخذ : مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰

میانگین ابعاد سطوح مثلثی شکل در دو طاقدیس ماله‌کوه و نواکوه بسیار متفاوت است. میانگین طول قاعده مثلث‌ها در طاقدیس نواکوه ۴۸۶/۶ متر و در طاقدیس ماله‌کوه ۱۹۱/۸ متر است. میانگین مساحت سطوح مثلثی در طاقدیس نواکوه ۰/۱۴۴ کیلومتر مربع و در طاقدیس ماله‌کوه ۰/۰۲۵ کیلومترمربع است. بطور کلی بررسی سطوح مثلثی شکل نشان می‌دهد که طاقدیس نواکوه با دامنه‌های پرشیب‌تر و تکتونیک شدیدتر، دارای سطوح مثلثی بزرگتر با قاعده‌های طویل‌تر است (شکل ۹) که این موضوع نشان‌دهنده‌ی تأثیر بیشتر تکتونیک در آن است.

بحث

طاقدیس ماله‌کوه از میدان‌های نفتی-گازی فعال زاگرس به حساب می‌آید. این مخزن در طاقدیس ماله-کوه با ابعاد حدودی ۳۵ در ۵ کیلومتر در سال ۱۳۴۷ کشف شد *(مطیعی، ۱۳۷۴: ۹۳۴)*.

سازندهای گروه بنگستان در این میدان خواص مخزنی دارند که تخلخل متوسطی حدود ۵ تا ۷ درصد دارند. این میدان حاوی نفت بسیار سبک است. عمق حفر سازند ایلام از سطح دریا ۲۳۴/۲۱ متر و سروک ۲۸/۷۹- متر می‌باشد. سازند نفتی طاقدیس ماله‌کوه، ایلام و سروک می‌باشد.

تفاوت در عملکرد تکتونیک و عوامل فرسایشی باعث شده است که امکان تشکیل و فرار مخازن نفتی در هر طاقدیس با طاقدیس‌های دیگر متفاوت باشد. در طاقدیس‌های قدیمی و فرسایش یافته، بیشتر مخازن نفتی از طریق درز و شکاف‌ها و شکستگی‌های رأس طاقدیس خارج شده‌اند در حالی‌که در طاقدیس‌هایی که در مراحل اولیه تکامل هستند، مخازن نفتی حفظ شده‌اند. چین‌خوردگی واحد ساختمانی زاگرس تحت تأثیر دو مکانیسم چین‌خوردگی لغزش- خمش[1] و سطح- خنثی[2] قرار دارد. در مکانیسم سطح- خنثی، حداکثر تغییر شکل در محور چین و حداقل تغییر شکل در پهلوی چین اتفاق می‌افتد. سطح خنثی، سطحی است که هیچ نوع تغییر شکلی در آن ایجاد نمی‌شود. در محور طاقدیس‌ها، بالاتر از سطح خنثی، کشیدگی وجود دارد درحالی‌که پایین‌تر از آن مکانسیم فشاری حاکم است.در مکانیسم لغزش- خمش، حداکثر تغییر شکل و حرکات لایه‌ها در پهلوهای چین اتفاق می‌افتد و در محور چین حرکت نسبی و تغییر شکلی اتفاق نمی‌افتد.

مطالعات نشان می‌دهد که چین‌خوردگی زاگرس عموماً از ترکیب دو مکانیسم ذکر شده ایجاد شده‌اند. چین‌خوردگی سطح- خنثی بیشتر در چین‌هایی ایجاد می‌شود که نسبت طول موج چین بیشتر از ضخامت لایه‌ها است *(Colman- Sadd, 1978: 989)*.

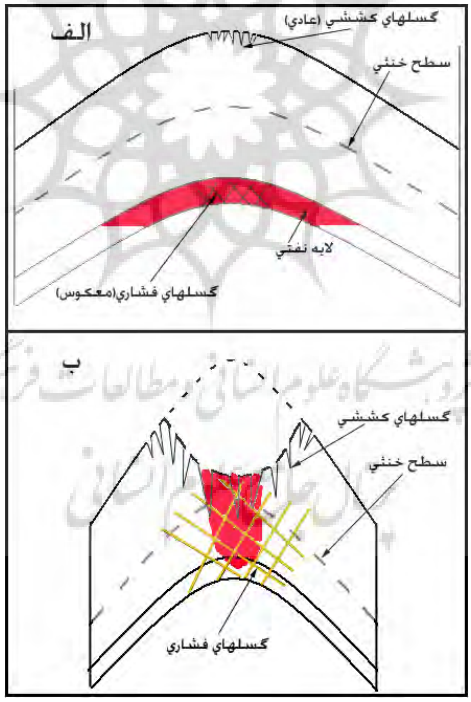
بررسی طاقدیس‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد که طاقدیس ماله‌کوه تحت تأثیر مکانیسم سطح خنثی قرار دارد به طوریکه در پهلوهای آن گسل معکوسی ایجاد نشده است. ارزیابی طاقدیس نواکوه بیانگر آن است که هر دو مکانیسم سطح- خنثی و لغزش خمش در تکامل آن دخالت داشته‌اند. در بخش شمال غربی آن (کمب پاطاق) در اثر ایجاد کشش در رأس طاقدیس، بخش اعظم طاقدیس فرسایش یافته است و در محل فعلی آن دشت پاطاق شکل گرفته است. ادامه طاقدیس پاطاق به‌طرف جنوب (نواکوه) دارای مکانیسم لغزش- خمش بوده بطوری‌که رأس طاقدیس باقی مانده و پهلوی جنوب‌غربی آن توسط گسل تراستی نواکوه قطع شده است (شکل ۲). بررسی‌ها نشان می‌دهد که با تکامل و فشردگی بیشتر طاقدیس، سطح خنثی به سمت پایین حرکت کرده و بنابراین گسل‌ها یا درزهای کششی نیز به سمت پایین جابه‌جا می‌شوند *(Price and Cosgrove, 1990: 382)*. بنابراین تحلیل چین‌خوردگی زاگرس با مکانیسم سطح- خنثی نقش مهمی در فهم رابطه بین مخازن نفتی و تکامل ژئومورفولوژیکی طاقدیس‌ها ایفا می‌کند.

در طاقدیس‌های جوانتر مانند ماله‌کوه که در مراحل اولیه چین‌خوردگی قرار دارند، اولاً شکستگی‌ها توسعه‌ی چندانی نداشته و ثانیاً شکستگی‌ها و درزهای رأس طاقدیس هنوز به سطح خنثی نرسیده‌اند و امکان فرار نفت ایجاد نشده است (حالت الف در شکل ۱۲). بنابراین نفت موجود در این طاقدیس‌ها هنوز باقی مانده است. با تکامل و فشردگی طاقدیس‌ها، در اثر کشش در رأس طاقدیس، محور طاقدیس به تدریج فرسایش می‌یابد. به‌عنوان مثال در شمال‌غرب طاقدیس نواکوه در رأس طاقدیس،کمب بزرگ پاطاق ایجاد شده است (شکل ۱۳).

با توسعه و تکامل بیشتر چین‌خوردگی، سطح خنثی به سمت پایین حرکت کرده و گسل‌های کششی نیز به سمت پایین توسعه می‌یابند. با فشردگی بیشتر طاقدیس، حرکت بیشتر سطح خنثی به سمت پایین باعث می‌شود که گسل‌های کششی به گسل‌های معکوس پایین طاقدیس متصل شوند و امکان فرار نفت از طریق درز و شکاف‌ها ایجاد شود (حالت ب در شکل ۱۲).شکل۱۲ به‌طور شماتیک تأثیرتکامل چین‌خوردگی و جابه‌جایی سطح خنثی، توسعه و اتصال درز و شکاف‌ها به هم و به تبع آن فرار نفت از طاقدیس‌های فرسایش یافته قدیمی را نشان می‌دهد.

1-Flexural-Slip Folding
2-Neutral Surface Folding

تحقیق حاضر نشان می‌دهد که مورفومتری طاقدیس نفتی ماله‌کوه با طاقدیس غیرنفتی نواکوه کاملاً متفاوت است. مقدار شاخص تقارن چین (FSI) در طاقدیس ماله‌کوه به عدد ۱ نزدیک‌تر است که این موضوع بیانگر تقارن و جوانتر بودن طاقدیس ماله‌کوه است. مقدار بالاتر شاخص سینوسیته جبهه طاقدیس (FFS) در طاقدیس نواکوه (۱/۳۳) بیانگر قدیمی‌تر بودن و دخالت بیشتر فرسایش در آن است. همچنین مقدار شاخص خطالرأس طاقدیس (AD) برای طاقدیس نواکوه ۱/۱۲ به دست آمده است که نشانگر دخالت بیشتر فرسایش در رأس آن است. میزان بالاتر شاخص نسبت جهت (AR) در طاقدیس نواکوه نیز نشان‌دهنده‌ی فعالیّت تکتونیک بالا در آن است. همچنین مقدار پایین تراکم زهکشی(Dd)، نسبت انشعابات (Rb) و فرکانس زهکشی (FS) در طاقدیس نواکوه نسبت به طاقدیس ماله‌کوه بیانگر قدیمی‌تر بودن و فرسایش بیشتر طاقدیس نواکوه‌است.به‌عبارتی دیگر،در طاقدیس جوان‌ترماله‌کوه، تعداد آبراهه‌های درجه ۱ بیشتر از تعداد آبراهه‌های با درجات بالاتر است. تراکم زهکشی بالا بویژه آبراهه‌های درجه ۱، نشان‌دهنده‌ی جوان‌تر بودن مناطق از نظر تکتونیکی است *(Zuchiewics, 1998: 127)*. در حالی که در طاقدیس‌های قدیمی‌تر، تکامل آبراهه‌ها بیشتر شده و بنابراین تعداد آبراهه‌های با درجات بالاتر (۳ و ۴) افزایش می‌یابد.



شکل۱۲: طرحی شماتیک از نقش تکامل چین‌خوردگی در فرار نفت، الف- چین‌خوردگی اولیه و تشکیل طاقدیسی با شیب ملایم با لایه نفتی در بخش پایین طاقدیس و ب- فشردگی طاقدیس، جابه‌جایی سطح خنثی و گسل‌های کششی به سمت پایین، توسعه گسل‌های فشاری به سمت بالا و در نهایت اتصال گسل‌های فشاری و کششی و خروج نفت از رأس طاقدیس

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰

شکل ۱۳: نمایی از کمب (طاقدیس فرسایش‌یافته) پاطاق در بخش شمال غربی طاقدیس نواکوه

مأخذ : مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰

بررسی کمی سطوح مثلثی‌شکل نشان می‌دهد که طاقدیس نواکوه به علت وجود دیواره‌های پرشیب‌تر و گسل معکوس (در دامنه جنوب غربی) دارای سطوح مثلثی بزرگتر و طویل‌تر نسبت به طاقدیس ماله‌کوه است.

نتیجه

کمربند ساختمانی زاگرس چین‌خورده مجموعه‌ای از طاقدیس‌ها و ناودیس‌های متوالی می‌باشد که درجه تأثیر تکتونیک در بخش‌های مختلف آن متفاوت است. طاقدیس‌های ماله‌کوه و نواکوه به عنوان بخشی از زاگرس‌چین‌خورده،تحت تأثیر تفاوت درجه فعالیّت‌های تکتونیکی، دارای مورفولوژی و مورفومتری متفاوتی هستند.

مقدار بالای شاخص‌های FFS، AD، Ar و مقدار کم شاخص‌های Rb، Dd،و Fs و همچنین وجود سطوح مثلثی بزرگ در طاقدیس‌هایی مانند نواکوه، نشانگر قدمت، فشردگی و فرسایش بیشتر طاقدیس‌ها و بنابراین فرار نفت از طاقدیس‌های مذکور است.

از مجموع مطالب فوق می‌توان نتیجه گرفت که در طاقدیس‌های جوان با دامنه‌های ملایم و کم‌شیب که فرسایش‌کمتری در رأس‌آنها اتفاق افتاده است، احتمال فرار منابع نفتی از رأس آنها کمتر بوده و دارای منابع نفتی مناسبی هستند. طاقدیس‌های نفتی مذکور از نظر مورفومتری دارای سطوح مثلثی کوچکتر با قاعده‌های کوتاهتر هستند و مقدار شاخص‌های FFS، AD، Ar در آنها پایین و مقدار شاخص‌های Rb، Dd، و Fs در آنها بالا می‌باشد.

در مجموع، شاخص‌های مورفومتری بررسی شده در این تحقیق می‌تواند به عنوان ابزاری ساده و کم هزینه، کاربرد زیادی در بررسی درجه تکامل ژئومورفولوژیکی و فرسایش طاقدیس‌ها و ارتباط آن با تشکیل و فرار منابع نفتی، و همچنین در تفکیک طاقدیس‌های نفتی از طاقدیس‌های غیرنفتی داشته باشد. با این وجود، درک بهتر نقش ژئومورفولوژی در اکتشاف نفت نیازمند بررسی مورفومتری تعداد بیشتری از طاقدیس‌های نفتی و غیر نفتی می‌باشد.

منابع

- سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، (۱۳۷۶). نقشه‌های توپو گرافی ۱/۵۰۰۰۰. سرپل ذهاب.
- شرکت ملی نفت ایران (۱۳۴۲). نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۲۵۰۰۰۰ قصر شیرین.
- شرکت ملی نفت ایران (۱۳۵۳). نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰۰ ایلام ـ کوهدشت.
- شرکت ملی نفت ایران (۱۳۴۸). نقشه زمین‌شناسی ۱/۰۰۰۰۰۰ شیت جنوب غرب ایران.
- مطیعی، همایون (۱۳۷۴). زمین‌شناسی نفت زاگرس، جلد اول و دوم. انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور.
- یمانی، مجتبی؛ حسین اینانلو (۱۳۸۵). بررسی تأثیر شکستگی‌های تکتونیکی در قابلیت نفوذپذیری سنگ مخزن و بهره‌برداری از نفت (مطالعه موردی: میدان نفتی شوروم). فصلنامه جغرافیا و توسعه. شماره ۵۶.
- Ala, M.A (1982). Chronology of Trap Formation and Migration of Hydrocarbons in Zagros Sector of Southwest Iran. AAPG, 66.
- Berberian, M (1995). Master "blind" thrust faults hidden under the Zagros folds:active basement tectonics and surface morphotectonics. Tectonophysics, 241.
- Burbery, C .M, Cosgrove, J. W, Liu, J. G (2008). Spatial arrangement of fold types in the Zagros Simply Folded Belt, Iran, indicated by lanform morphology and drainage pattern characteristics, Journal of Maps. Vol. 2008.
- Burbery, C. M, Cosgrove, J. W, Liu, J. G (2010). A stady of fold characteristics and deformation style using the evolution of the land surface:Zagros Simply Folded Belt, Iran, Geological Society of London.
- Colman-Sadd, S. P (1978). Fold development in Zagros simple folded belt, southwest Iran. AAPG Bull, 62.
- Devi, R.K.M., Bhakuni, S.S and Kumar Bora, P (2011). Tectonic implication of drainage set-up in the Sub-Himalaya: A case study of Papumpare district,Arunachal Himalaya,India.Geomorphology, 127, (1-2).
- Falcon, N. L (1974). Southern Iran: Zagros Mountains. In: Mesozoic- Cenozoic orogenic belts (Geol. Soc. Lond. Spec. Publ., Ed. By A.M. Spencer), 4.
- Farzipour-Saein,A., Yassaghi,A., Sherkati, S and Koyi, H (2009). Basin evolution of the Lurestan region in the Zagros fold-and thrust belt, Iran. Journal of Petroleum Geology, Vol. 32.
- Guarnieri, P., Pirrotta, C (2008). The response of drainage basins to the late Quaternary tectonics in the Sicilian side of the Messina Strait (NE Sicily). Geomorphology 95.
- Kunte,S.V (1988). Geomorphic analysis of upper Assam plains and adjoining areas for hydrocarbon exploration. Journal of the Indian Society of Remote Sensing, 16.
- Latman, L. H (1959). Geomorphology: New tool for finding oil and gas, Oil and gas journal, 57.
- Ilhan, E (1967). Toros-Zagros folding and its relation to Middle East oil fields. AAPG, 51.
- Mitra,D.S., Agarwall, R. P (1991). Geomorphology and Petroleum Prospects of Cauvery Basin, Tamilnadu, Based on Interpretation of Indian Remote Sensing Satellite (IRS) Data. Journal of the Indian Society of Remote Sensing, 19.
- Ozdemir, H and Bird, D (2009). Evaluation of morphometric parameters of drainage networks derived from topographic maps and DEM in point of floods. Environmental Geology, 56.
- Petit, C., Meyer, B., Gunnell, Y., Jolivet, M., San'kov, V., Strak, V., Gonga-Saholiariliva, N (2009). Height of faceted spurs, a proxy for determining long-term throw rates on normal faults: Evidence from the North Baikal Rift System, Siberia. Tectonics, 28.
- Price, N. J and Cosgrove, J.W (1990). analysis of geological structures. Cambridge University Press.
- Prost, G.L (1992). Structural geomorphology in petroleum exploration; geormophology geologic remote sensing and the search for the subtle. IEEE (Geoscience and Remote Sensing Symposium).
- Singh,T and Jain, V (2008). Tectonic constraints on watershed development on frontal ridges: Mohand Ridge, NW Himalaya, India. geomorphology, 102.
- Sreedevi, P.D., Subrahmanyam, K and Ahmed, S (2005). The significance of morphometric analysis for obtaining groundwater potential zones in a structurally controlled terrain. Environmental Geology, 47.
- Thornbury, W. D (1969). Principles of Geomorphology. John Wiley and Sons Inc., New York, 2nd Ed.
- Tucker, G.E., Catani, F., Rinaldo, A., Bras, R.L (2001). Statistical analysis of drainage density from digital terrain data. Geomorphology, 36.
- Versfelt, Jr. P. L (2001). Major Hydrocarbon Potential in Iran. AAPG Mem, 74.
- Wells, S. G., Bullard, T. F., Menges, C. M., Drake, P. G., Karas, P. A., Kelson, K. I., Ritter, J. B. and Wesling, J. R (1988). Regional variations in tectonic geomorphology along a segmented convergent plate boundary, Pacific coast of Costa Rica. Geomorphology, 1.
- Zuchiewicz, W (1998). Quaternary tectonics of the outer West Carpathians, Poland. Tectonophysics, 297.