

جغرافیا و توسعه شماره ۳۶ پاییز ۱۳۹۳

وصول مقاله: ۱۳۹۰/۶/۲۶

تأیید نهایی: ۱۳۹۱/۸/۹

صفحات: ۱-۱۶

## مقایسه‌ی خصوصیات مورفومتری طاقدیس‌ها و کاربرد آن در اکتشاف نفت در زاگرس چین خورده

دکتر شهرام بهرامی<sup>۱</sup>، دکتر محمدعلی زنگنه‌اسدی<sup>۲</sup>، افروز بهروجه<sup>۳</sup>

چکیده

طاقدیس‌های ماله‌کوه در استان لرستان و نواکوه در استان کرمانشاه بخشی از زون ساختمانی زاگرس چین‌خورده محسوب می‌شوند. هدف این تحقیق 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 مورفومتریکی 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 Dd، Rb 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 Dd، Rb 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 مورفومتریکی مذکور دارای کارایی مناسبی جهت تفکیک طاقدیس‌های دارای نفت و غیر نفتی هستند.

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

## 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 طاق‌دیزی 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 به حرکت به سمت رأس طاق‌دیس‌های جدید کرد. تصور می‌شود که کوهزایی میوسن-هولوسن منجر به شکل‌گیری 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 کوتاه‌شدگی 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، مخازن نفتی 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 تکنیک‌های ژئومورفولوژی 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 (Alhan, 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

ارتفاع آن در بخش شمال غربی در انتهای فرود محوری طاقدیس، ۶۰۰ متر می‌باشد (شکل ۱). دشت قلعه‌ی شاهین در شمال غرب آن و دشت کوند در جنوب شرق آن قرار دارند. از نظر تقسیمات هیدرولوژیکی، طاقدیس نواکوه مرز تقسیم حوضه‌ی آبریز الوند (در شمال غرب و غرب آن) و حوضه‌ی آبریز رودخانه‌ی کوند (در شرق و جنوب شرق آن) می‌باشد. از نظر چینه‌شناسی سازندهای زمین‌شناسی طاقدیس نواکوه شامل آسماری، آسماری- شهبازان، تله زنگ، امیران، گرو، گورپی، و آبرفت‌های کواترنری هستند (شکل ۲).

شبکه زهکشی در شمال غرب آن به علت افزایش عرض طاقدیس، دارای الگوی شبکه درختی است درحالی‌که به سمت 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.

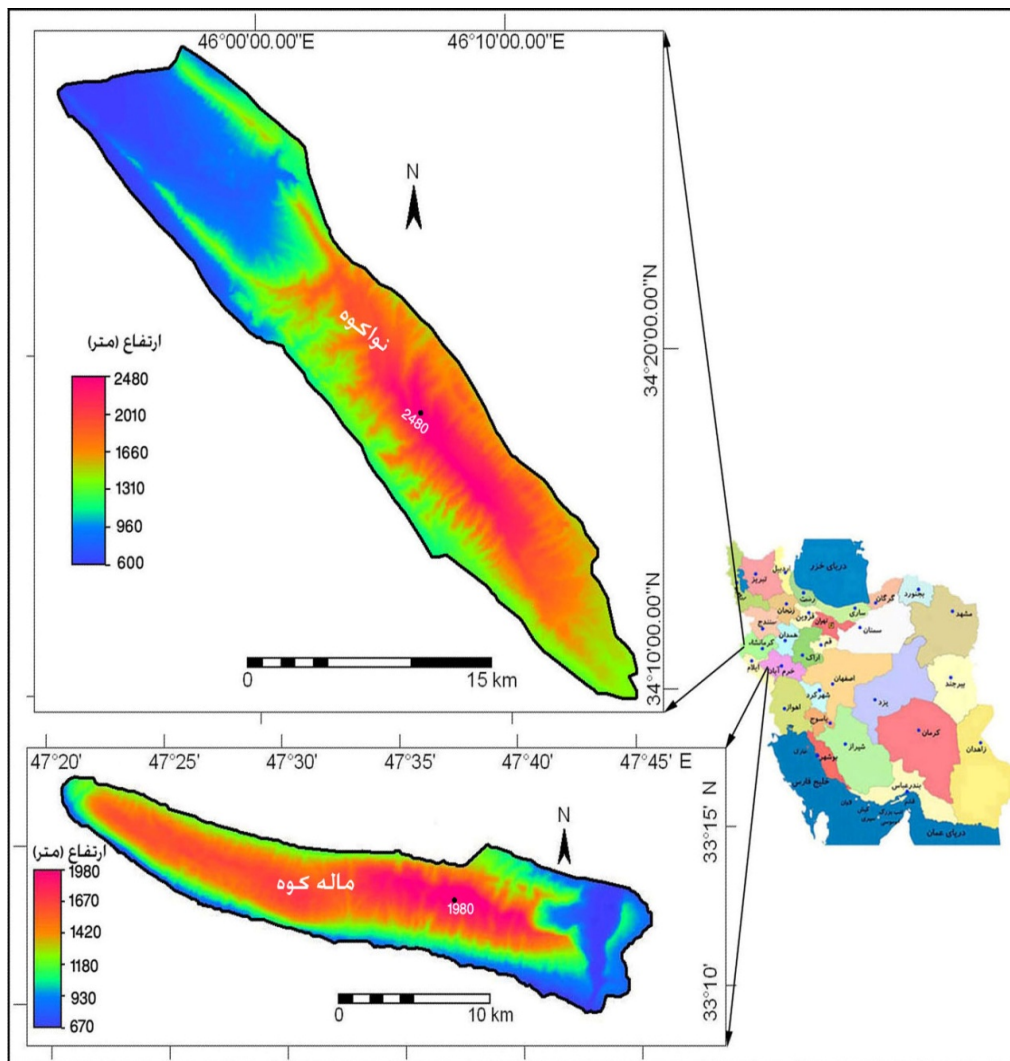
طاقدیس ماله‌کوه در فاصله ۱۳۰ کیلومتری شمال غربی اندیمشک در استان لرستان واقع شده است. حداکثر ارتفاع آن ۱۹۸۰ و حداقل ارتفاع آن ۶۷۰ متر می‌باشد. شهر پل‌دختر در داخل تنگ عمیق واقع در انتهای بخش جنوب شرقی طاقدیس قرار گرفته است. طاقدیس مذکور نیز دارای فرود محوری دو طرفه است. عرض طاقدیس در قسمت جنوب شرق حدود ۷۶۰۰ متر، در مرکز طاقدیس ۵۱۵۰ متر و در انتهای شمال غربی ۲۴۷۰ متر 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).

سطح خنثی نقش مهمی را در مهاجرت نفت در زاگرس چین‌خورده ایفا کرده‌اند (Colman- Sadd, 1978: 987). کونده کاربرد شواهد ژئومورفولوژیکی را در اکتشاف نفت در دشت آسام هند بررسی نمود و نشان داد که زون پدیمت بالاترین پتانسیل اکتشاف هیدروکربن را دارد (Kunte, 1988: 15). میترا و اگاروال کاربرد شواهد ژئومورفولوژیکی را در اکتشاف منابع نفتی در حوضه کآوری 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).

به نظر 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 فعالیت 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 مقایسه‌ی خصوصیات مورفومتری طاقدیس‌های ماله‌کوه (دارای نفت) و نواکوه (بدون نفت) و کاربرد این مطالعات در اکتشاف نفت می‌باشد.

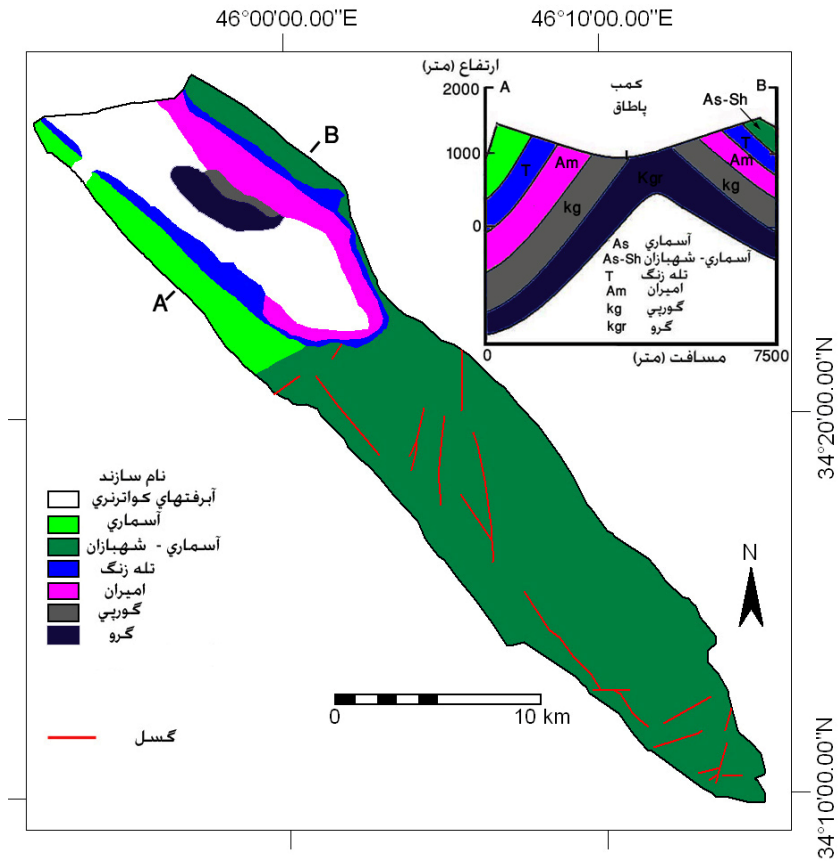
### منطقه‌ی مورد مطالعه

طاقدیس‌های مورد مطالعه از نظر زمین‌شناسی بخشی از زون ساختمانی زاگرس چین‌خورده محسوب می‌شود. طاقدیس ماله‌کوه، در استان لرستان 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



شکل ۱: موقعیت و توپوگرافی طاق‌دیس‌های مورد مطالعه

مأخذ: سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، ۱۳۵۱

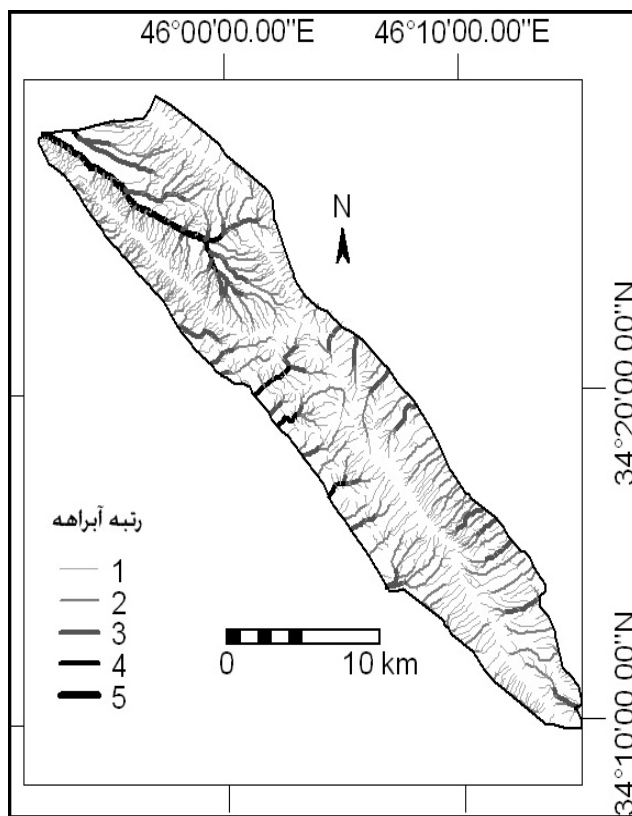


شکل ۲: نقشه زمین‌شناسی و مقطع عرضی طاق‌دیس نواکوه  
 مأخذ: شرکت ملی نفت ایران (۱۳۴۲، ۱۳۵۳، و ۱۳۴۸)

### روش کار داده‌ها

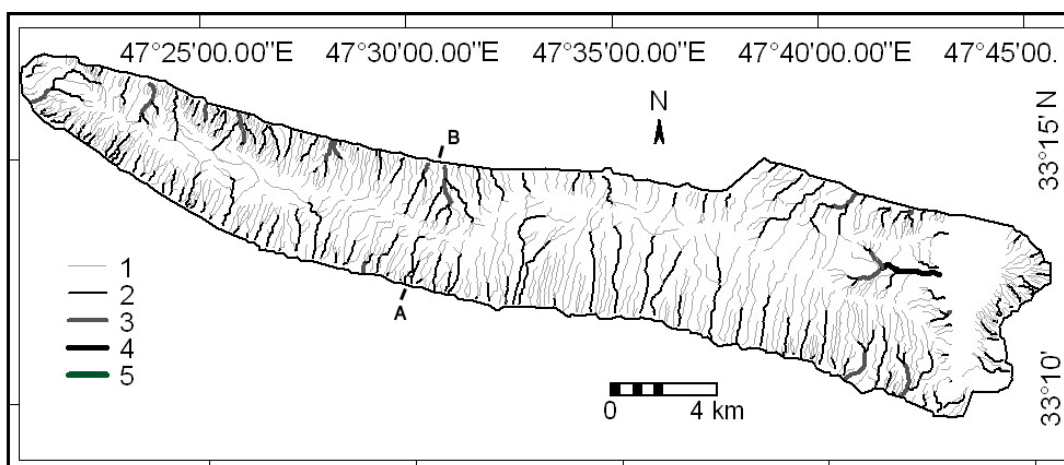
ابتدا نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰۰ و ۱:۲۵۰۰۰۰ شرکت ملی نفت ایران تهیه و مقاطع زمین‌شناسی طاق‌دیس‌ها استخراج گردید. نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ طاق‌دیس‌های مورد مطالعه در محیط نرم‌افزار ILWIS رقومی گردید و نقشه‌ی سطوح ارتفاعی طاق‌دیس‌ها تهیه شد. جهت ترسیم دقیق شبکه‌ی زهکشی، تصویر ماهواره‌ای Quichbird 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)، فرکانس زهکشی (Fs) و تراکم زهکشی (Dd) طاق‌دیس‌ها محاسبه گردید. ترسیم سطوح مثلثی‌شکل، محاسبه شاخص‌های سینوسیته جبهه چین (FFS)، خط‌الرأس طاق‌دیس (AD)، شاخص تقارن چین (FSI) و نسبت جهت (AI) بر اساس تصویر ماهواره‌ای کوچک‌برد 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.



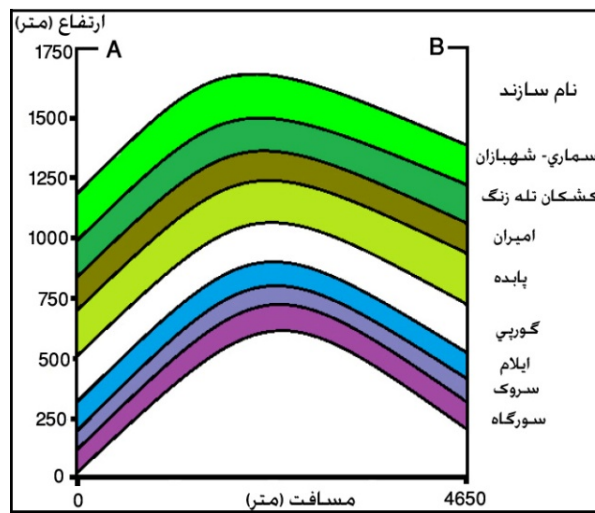
شکل ۳: نقشه شبکه‌ی زهکشی طاقدیس نواکوه

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰



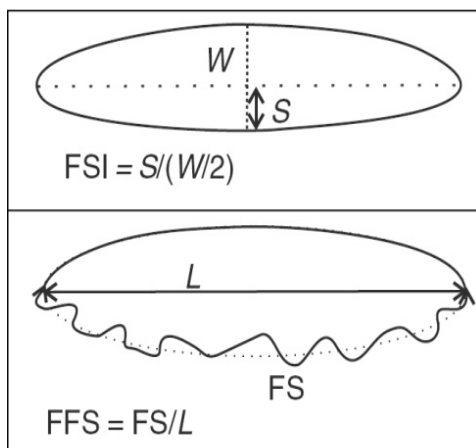
شکل ۴: نقشه شبکه‌ی زهکشی و محل مقطع زمین‌شناسی طاقدیس ماله‌کوه

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰



شکل ۵: مقطع زمین‌شناسی طاق‌دیس مالکوه (محل مقاطع در شکل ۴)  
 مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰

تعیین نمود، شاخص سینوسیته جبهه چین (FFS) است. شاخص مذکور از نسبت طول جبهه طاق‌دیس (FS) به طول طاق‌دیس (L) به دست می‌آید (شکل ۶). مقدار کم این شاخص، نشان‌دهنده‌ی چین خوردگی‌های جوان است در حالی که مقدار بالای شاخص مذکور نشان‌دهنده‌ی جبهه‌های فرسایش‌یافته یا چین خوردگی‌های قدیمی است (Burbery et al, 2010: 144).



شکل ۶: روش محاسبه FFS و FSI بطور شماتیک  
 مأخذ: Burbery et al, 2010: 143

### شاخص‌های مورفومتری شاخص تقارن چین

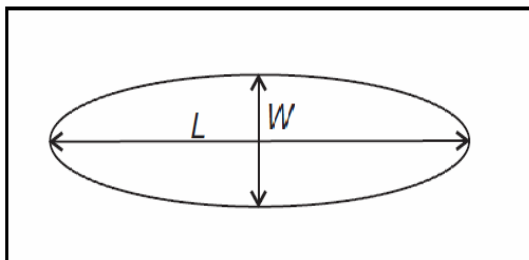
شاخص تقارن چین از مهمترین پارامترهایی است که میزان نابرابری دو یال طاق‌دیس و در نتیجه میزان فعالیت تکتونیکی را نشان می‌دهد. شاخص تقارن چین (FSI) از تقسیم S (عرض پهلوی کوتاهتر طاق‌دیس) بر نصف عرض طاق‌دیس (W/2) به دست می‌آید (شکل ۶). در یک طاق‌دیس کاملاً متقارن، مقدار شاخص مذکور عدد ۱ است در حالی که در 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 پرسیب و دارای شکست‌ها و گسل‌ها می‌شود. مقدار زیاد این شاخص بیانگر عدم تأثیرگذاری فعالیت‌های تکتونیکی و شکل‌گیری طاق‌دیس‌ها به شکل متقارن می‌باشد.

### شاخص سینوسیته جبهه چین

از دیگر پارامترهایی که بر اساس آن می‌توان درجه فعالیت‌های تکتونیکی یا سن سیستم چین خوردگی را

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 این شاخص نشان دهنده‌ی فعالیت تکتونیک بالا و میزان کم آن نیز کاهش فعالیت زمین‌ساختی را نشان می‌دهد.

#### نسبت انشعابات

نسبت انشعابات ( $Rb$ )، تخمینی کمی 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*):

$$Rb = \frac{N_u}{N_{u+1}} \quad (2)$$

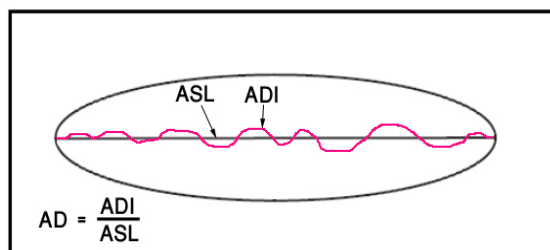
که در آن  $N_u$  تعداد آبراهه با رتبه  $u$  و  $N_{u+1}$  تعداد آبراهه در یک رتبه بالاتر است. نسبت انشعابات برای هر طاقدیس از میانگین  $Rb$  تمام رده‌ها به دست آمد. نسبت انشعابات، بجز در مناطق تکتونیک فعال، دارای مقادیر بین ۳ تا ۵ می‌باشد  
(*Ozdemir & Bird, 2009: 1410*).

#### 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*):

#### شاخص خط‌الرأس طاقدیس

طول خط‌الرأس طاقدیس نسبت به خط مستقیم (بین ابتدا و انتهای خط‌الرأس) تا حدودی 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) به دست می‌آید (شکل ۷).



شکل ۷: روش محاسبه  $AD$  بطور شماتیک  
مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰

#### شاخص نسبت جهت

از شاخص‌های مورفومتری برای تعیین میزان فعالیت‌های زمین‌ساختی یک منطقه، شاخص نسبت جهت می‌باشد. از آنجایی که میزان فعالیت‌های تکتونیک 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*):

$$AR = \frac{L}{W} \quad (1)$$

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 بالآمدگی، تکتونیک باعث ایجاد لندفرم‌های خاصی در جبهه‌ی کوهستان می‌شوند. از جمله این لندفرم‌ها، سطوح مثلثی‌شکل<sup>۱</sup> 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).

$$D_d = \frac{\sum L_i}{A} \quad (3)$$

که در آن  $L_i$  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).

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

### فرکانس زهکشی

فرکانس آبراهه ( $F_s$ ) 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):

$$F_s = \sum Nu / A \quad (4)$$

که در آن  $Nu$  تعداد آبراهه‌های یک درجه مشخص و  $A$  مساحت حوضه به کیلومتر مربع است. مقدار پارامتر



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

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰

## نتایج

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 (۱ و ۲)، بالا بوده و شبکه‌ی آبراهه‌ها با درجات بالاتر، هنوز تکامل نیافته‌اند که این امر باعث می‌شود نسبت انشعاب 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.

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 (خط‌الرأس طاقدیس) برای طاقدیس ماله‌کوه ۱/۰۷ و برای طاقدیس نواکوه ۱/۱۲ به دست آمده است که نشان‌دهنده‌ی تأثیر بیشتر فرسایش بر طاقدیس نواکوه 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 فعالیت تکتونیک بالاتر و فشردگی بیشتر 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	
	تعداد	طول (کیلومتر)	تعداد	طول	تعداد	طول	تعداد	طول
ماله‌کوه	۷۳۳	۵۱۸/۹	۱۷۵	۱۵۲/۳	۱۶	۱۴/۱۴	۱	۲/۳۱
نواکوه	۷۸۹	۵۹۰/۷	۱۷۸	۲۰۶/۳	۳۵	۶۱/۳	۷	۱۱/۶

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰

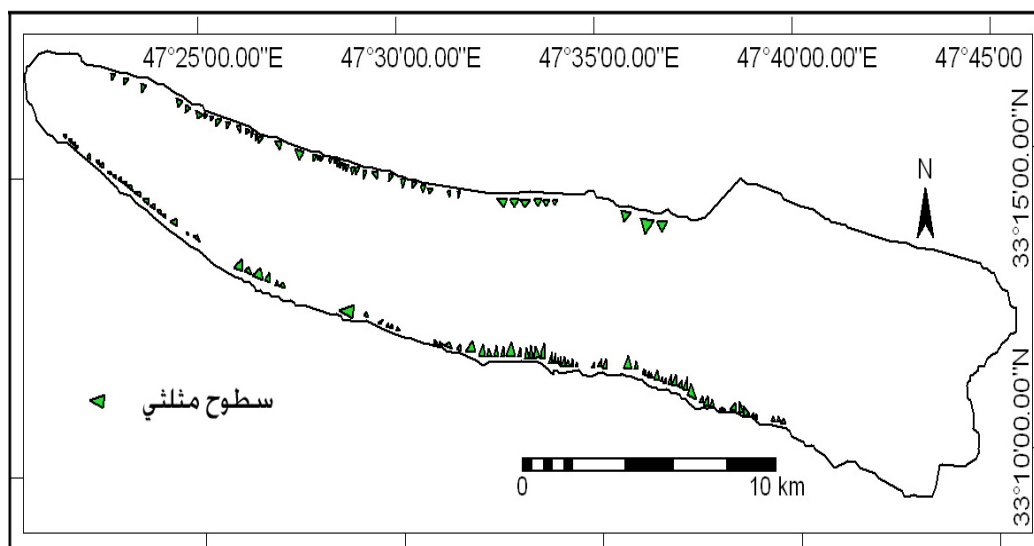
جدول ۴: مقادیر پارامترهای کمی محاسبه شده در طاق‌دیس‌های مطالعاتی

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

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰

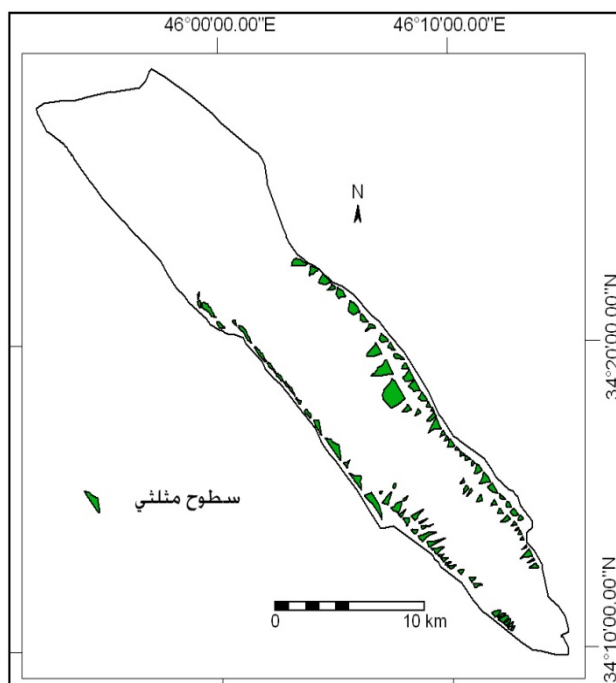
۸۹ سطح مثلثی در طاق‌دیس ماله‌کوه (شکل ۱۰) و تعداد ۹۷ سطح مثلثی در طاق‌دیس نواکوه (شکل ۱۱) شناسایی شد. طول قاعده و مساحت سطوح مثلثی در طاق‌دیس‌های مورد مطالعه و میانگین پارامترهای مذکور در جدول ۵ ارائه شده است.

فرکانس زهکشی تمامی درجات و همچنین آبراهه‌های درجه ۱ 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



شکل ۱۰: موقعیت سطوح مثلثی شکل در طاق‌دیس ماله‌کوه

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰



شکل ۱۱: موقعیت سطوح مثلثی شکل 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

### 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.

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 کیلومتر مربع است. بطور کلی بررسی سطوح مثلثی شکل نشان می‌دهد که طاقدیس نواکوه با دامنه‌های پرشیب‌تر و تکتونیک شدیدتر، دارای سطوح مثلثی بزرگتر با قاعده‌های طولی‌تر است (شکل ۹) که این موضوع نشان‌دهنده تأثیر بیشتر تکتونیک در آن است.

در محل فعلی آن دشت پاطاق شکل گرفته است. ادامه طاق‌دیس پاطاق به طرف جنوب (نواکوه) دارای مکانیسم لغزش- خمش بوده بطوری که 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). شکل ۱۲ به‌طور شماتیک تأثیر تکامل 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.

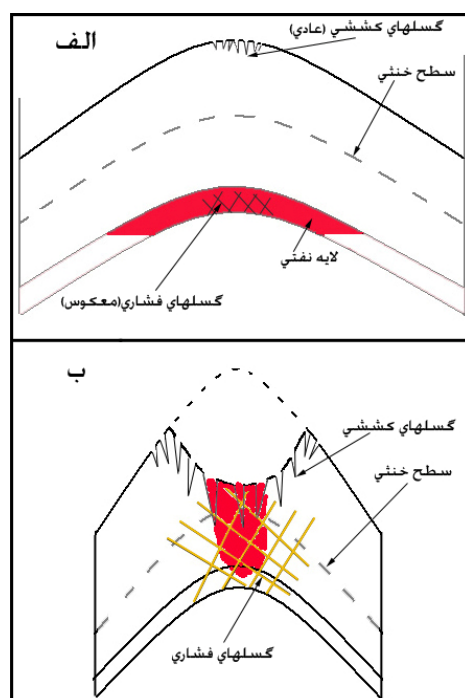
تفاوت در عملکرد تکنونیک و عوامل فرسایشی باعث شده است که امکان تشکیل و فرار مخازن نفتی در هر طاق‌دیس با طاق‌دیس‌های دیگر متفاوت باشد. در طاق‌دیس‌های قدیمی و فرسایش یافته، بیشتر مخازن نفتی از طریق درز و شکاف‌ها و شکستگی‌های رأس طاق‌دیس خارج شده‌اند در حالی که در طاق‌دیس‌هایی که در مراحل اولیه تکامل هستند، مخازن نفتی حفظ شده‌اند. چین‌خوردگی واحد ساختمانی زاگرس تحت تأثیر دو مکانیسم چین‌خوردگی لغزش-خمشی<sup>۱</sup> و سطح-خنثی<sup>۲</sup> 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 در حالی که پایین‌تر از آن مکانیسم فشاری حاکم است. در مکانیسم لغزش-خمشی، 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 طوری که در پهلوهای آن گسل معکوسی ایجاد نشده است. ارزیابی طاق‌دیس نواکوه بیانگر آن است که هر دو مکانیسم سطح-خنثی و لغزش خمشی 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

تکتونیک بالا در آن است. همچنین مقدار پایین تراکم زهکشی (Dd)، نسبت انشعابات (Rb) و فرکانس زهکشی (FS) در طاقدیس نواکوه نسبت به طاقدیس ماله کوه بیانگر قدیمی تر بودن و فرسایش بیشتر طاقدیس نواکوه است. به عبارتی دیگر، در طاقدیس جوان تر ماله کوه، تعداد آبراهه‌های درجه ۱ بیشتر از تعداد آبراهه‌های درجات بالاتر است. تراکم زهکشی بالا بویژه آبراهه‌های درجه ۱، نشان‌دهنده‌ی جوان تر بودن مناطق از نظر تکتونیکی است (Zuchiewicz, 1998: 127). در حالی که در طاقدیس‌های قدیمی تر، تکامل آبراهه‌ها بیشتر شده و بنابراین تعداد آبراهه‌های با درجات بالاتر (۳ و ۴) افزایش می‌یابد.

تحقیق حاضر نشان می‌دهد که مورفومتری طاقدیس نفتی ماله کوه با طاقدیس غیرنفتی نواکوه کاملاً متفاوت است. مقدار شاخص تقارن چین (FSI) در طاقدیس ماله کوه به عدد ۱ نزدیک تر است که این موضوع بیانگر تقارن و جوانتر بودن طاقدیس ماله کوه است. مقدار بالاتر شاخص سینوسیته جبهه طاقدیس (FFS) در طاقدیس نواکوه (۱/۳۳) بیانگر قدیمی تر 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 فعالیت



شکل ۱۲: طرحی شماتیک از نقش تکامل چین خوردگی در فرار نفت، الف- چین خوردگی اولیه و تشکیل طاقدیس 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) باطاق در بخش شمال غربی طاق‌دیس نواکوه  
مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰

از مجموع مطالب فوق می‌توان نتیجه گرفت که در طاق‌دیس‌های جوان با دامنه‌های ملایم و کم‌شیب که فرسایش کمتری در رأس آنها 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 Dd، Rb، و Fs در آنها بالا می‌باشد.

در مجموع، شاخص‌های مورفومتری بررسی شده در این تحقیق می‌تواند به عنوان ابزاری ساده و کم‌هزینه، 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.

بررسی کمی سطوح مثلثی شکل نشان می‌دهد که طاق‌دیس نواکوه به علت وجود دیواره‌های پرشیب‌تر و گسل معکوس (در دامنه جنوب غربی) دارای سطوح مثلثی بزرگتر و طولیل‌تر 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 زاگرس چین‌خورده، تحت تأثیر تفاوت درجه فعالیت‌های تکتونیک، دارای مورفولوژی و مورفومتری متفاوتی هستند.

مقدار بالای شاخص‌های FFS، AD، Ar و مقدار کم شاخص‌های Dd، Rb، 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.

- 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; geomorphology 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.

## منابع

- سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، (۱۳۷۶). نقشه‌های توپوگرافی 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 - 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 تکتونیک 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 landform morphology and drainage pattern characteristics, *Journal of Maps*. Vol. 2008.
- Burbery, C. M, Cosgrove, J. W, Liu, J. G (2010). A study 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.