

بررسی نقش ژئومورفولوژی تکتونیک بر اکتشاف مخازن هیدروکربنی زاگرس فارس

(مطالعه موردی: طاقدیس‌های خشت و نورا)

شهرام بهرامی*؛ استادیار گروه جغرافیا، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران

فاطمه پرهیزگار؛ دانشجوی کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران

الهه اکبری؛ کارشناسی ارشد سنجش از دور و GIS، مربی گروه جغرافیا، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران

تیمور جعفری؛ استادیار گروه جغرافیا، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران

وصول: ۱۳۹۲/۵/۱۶ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۱/۱۲، صص ۴۴-۴۹

چکیده

مخازن هیدروکربنی از منابع انرژی تمام‌شدنی و تجدیدناپذیر است که به ازای برداشت و استفاده از ذخایر زیرزمینی به تدریج از میزان ذخیره آنها کاسته می‌شود و دیگر ترمیم نخواهند شد؛ بنابراین برای جبران هیدروکربن‌های مصرف‌شده فقط باید به اکتشاف منابع و ذخایر جدید اقدام کرد. در این پژوهش، نقش ژئومورفولوژی تکتونیک بر سهولت اکتشاف مخازن هیدروکربنی زاگرس فارس با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک بررسی شده است. شاخص‌های سینوسیته جبهه کوهستان، تقارن چین‌خوردگی، نسبت جهت، نسبت انشعاب، فرکانس رودخانه، تراکم زهکشی، طول خط‌الرأس، ارتفاع طاقدیس، الگوی زهکشی و فرم طاقدیس‌ها در طاقدیس دارای مخزن هیدروکربنی خشت و طاقدیس فاقد مخزن هیدروکربنی نورا، محاسبه شده است. این شاخص‌ها، برای تفکیک طاقدیس‌های فعال و غیرفعال از نظر تکتونیکی، بعد از ورود داده‌های مورد نیاز به نرم‌افزار Arc GIS، مقایسه شده‌اند. علاوه بر آن، مطالعه شواهد ژئومورفیک بالآمدگی و فعالیت‌های تکتونیکی، بررسی نقش تکتونیک در فرسایش، همچنین فرود محوری و الگوی آبراه‌ها و ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی طاقدیس دارای مخزن هیدروکربنی، مشخص و روابط بین ژئومورفولوژی و تشکیل مخازن هیدروکربنی تبیین شد. به‌طور کلی، ارتباط نزدیکی بین مخازن هیدروکربنی و ژئومورفولوژی طاقدیس‌های مطالعه‌شده وجود دارد؛ به‌طوری‌که در طاقدیس فاقد مخزن هیدروکربنی، مورفولوژی فشرده‌تر و فرسایش یافته‌تر است، در مقابل، طاقدیس دارای مخزن هیدروکربنی، جوان‌تر، عریض‌تر و کمتر فرسایش یافته است. پژوهش‌های مشابه می‌توانند به وزارت نفت، سازمان زمین‌شناسی کشور و سازمان بهره‌برداری نفت و گاز، کمک شایانی کند.

واژه‌های کلیدی: طاقدیس، خشت، نورا، شاخص‌های ژئومورفولوژیکی، مخازن هیدروکربنی، GIS

۱- مقدمه

امروزه نفت به‌عنوان یکی از منابع مهم انرژی حایز اهمیت است، زیرا ذخیره‌سازی آن برای مصرف‌کننده نسبت به بسیاری از انرژی‌ها ساده‌تر است و نیز کاربرد آسان‌تری دارد (شریف‌پور، ۱۳۸۷: ۱). همچنین نفت از منابع انرژی تمام‌شدنی و تجدیدناپذیر است، به این معنی که به ازای برداشت و استفاده از ذخایر زیرزمینی، به تدریج از میزان ذخیره مخازن کاسته می‌شود و دیگر ترمیم نخواهد شد؛ بنابراین برای جبران نفت‌های مصرف‌شده فقط باید به اکتشاف منابع و ذخایر جدید اقدام کرد (سحابی، ۱۳۸۲: ۱).

از دیدگاه دیگر، بیشتر میدان‌های نفتی بزرگ جهان در نفت‌گیرهای طاق‌دیسی تمرکز یافته‌اند (مطیعی، ۱۳۷۴: ۶۸۰). در ایران نیز اولین چاه نفت، در سال ۱۹۰۸ در طاق‌دیس مسجد سلیمان و در عمق ۱۲۰۰ فوتی حفر شد (ریاضی، ۱۳۸۰). مناسب‌ترین شکل ساختمانی برای به تله‌افتادن نفت، چین‌های طاق‌دیسی است (سحابی، ۱۳۸۲: ۴). بیدون (Beydoun et al, 1986) نیز اشاره به این دارد که طاق‌دیس‌های بزرگ مکان مناسبی برای شکل‌گیری تله‌های نفتی هستند. نفت سبک‌تر از آب است و در بالاترین قسمت یک چین ساختاری زیرزمینی جای می‌گیرد؛ بنابراین حفاری یک طاق‌دیس برای نفت مطلوب‌تر از یک ناودیس است (هانت^۱، ۱۳۸۸: ۲).

سنگ‌های کارستی، مخازن مهم نفتی را تشکیل می‌دهند. تخلخل و وجود فضا‌های خالی نقش اصلی را در حرکت نفت ایفا می‌کند. اغلب حوضه‌های نفتی در سنگ‌های آهکی به دلیل انحلال‌پذیری و

کارست‌شدگی بالای این سنگ‌هاست (Thornbury, 1969: 584). بیشتر منابع نفتی زاگرس در طاق‌دیس‌ها واقع شده‌اند. با وجود این، بسیاری از ساختارهای طاق‌دیسی زاگرس هنوز از نظر پتانسیل نفت مطالعه نشده‌اند (Versfelt, 2001: 424). به‌طور کلی کمر بند کوهزایی زاگرس یکی از غنی‌ترین مناطق هیدروکربنی جهان است (Farzipour et al, 2009: 5). واحد ساختمانی زاگرس چین‌خورده از نظر تکتونیکی، فعال است و بر اثر فشارهای ساختمانی از اوائل پلیوسن در حال بال‌آمدن و کوتاه‌شدگی است (Falcon, 1974; Vita-finzi, 1979; Tatar et al, 2002; Ramsey et al, 2008).

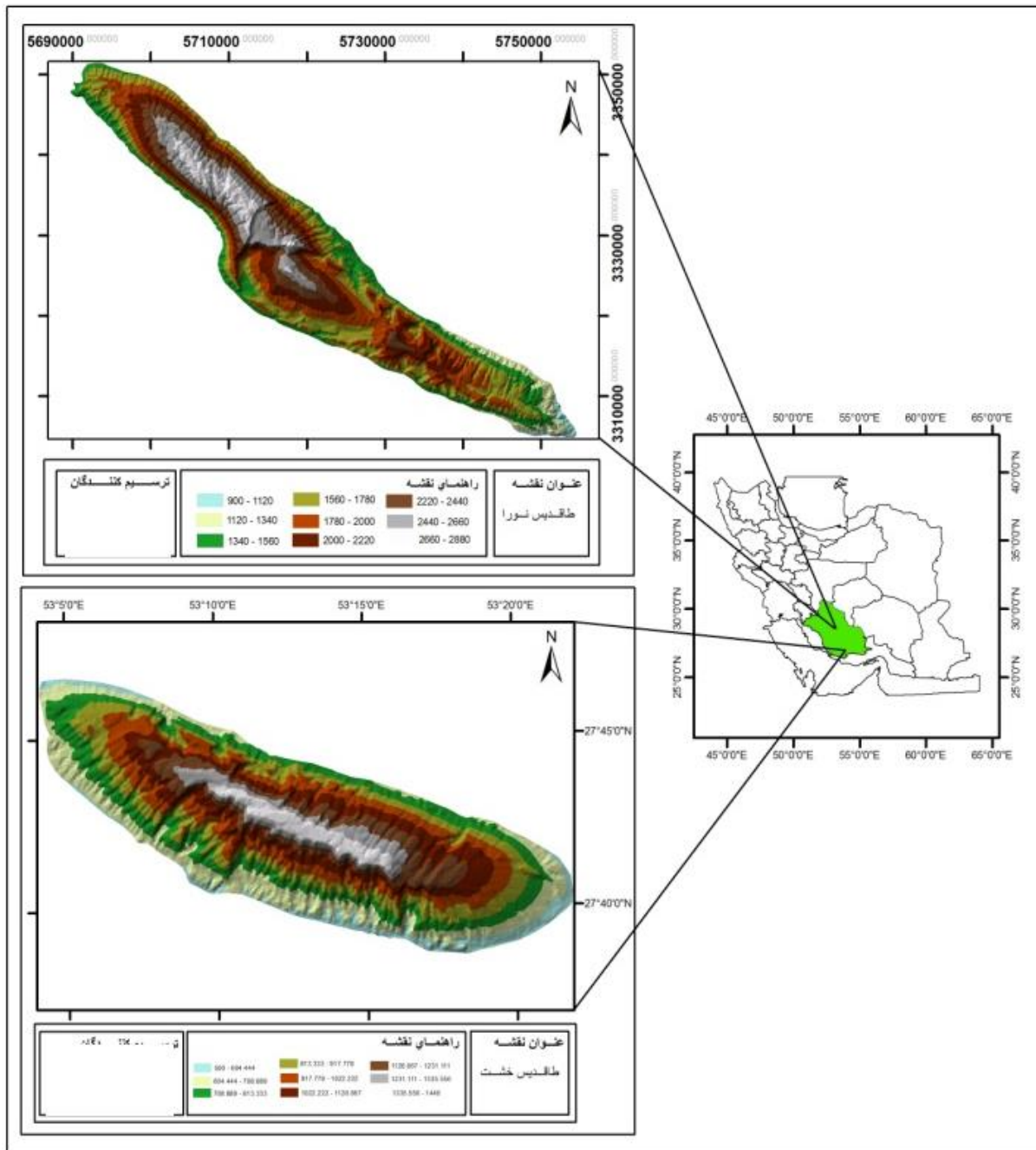
ژئومورفولوژی چین‌های زاگرس با ابعاد مخزن هیدروکربنی و همچنین با امکان فرار مخازن هیدروکربنی رابطه زیادی دارد که در زمینه رابطه بین عوامل ژئومورفولوژیکی با تشکیل و اکتشاف مخازن هیدروکربونی مطالعاتی انجام شده است؛ به طوری که نخستین بار لاتمن (Latmen, 1959: 231) نقش پارامترها و تکنیک‌های ژئومورفولوژی در اکتشاف نفت و گاز را بررسی کرد. به نظر او الگوهای زهکشی ساختمان‌های زیرزمینی را مشخص می‌کنند که براساس آن تله‌های نفتی زیرزمینی قابل شناسایی است. مطالعات کلمن-سد (Colman-Sadd, 1978: 987) نشان داد تله‌های نفت طاق‌دیسی ایران و شمال شرق عراق در کمر بند ساده چین‌خورده هستند. بررسی او نشان داد شکستگی‌ها و درزه‌ها در مدل چین‌خوردگی سطح خنثی نقش مهمی را در مهاجرت نفت در این کمر بند ایفا کرده‌اند. دونی و همکارانش (Downey et al, 2001) بیان می‌کنند هنوز پتانسیل زیادی از هیدروکربن در ایران وجود دارد و بر تولید

ژئومورفولوژی و مخازن هیدروکربنی قابل توجه و حایز اهمیت است؛ زیرا هزینه‌های زیاد اکتشاف را کاهش می‌دهد. در این پژوهش سعی شده است نقش ژئومورفولوژی ساختمانی در اکتشاف مخازن هیدروکربنی دو طاقدیس خشت (دارای مخزن هیدروکربنی) و نورا (بدون مخزن هیدروکربنی) بررسی شود.

۲- منطقه مورد مطالعه

طاقدیس خشت در جنوب غرب استان فارس در محدوده جغرافیایی $27^{\circ} 42' 37''$ تا $27^{\circ} 48' 12''$ عرض شمالی و $53^{\circ} 20' 20''$ تا $53^{\circ} 22' 32''$ طول شرقی و طاقدیس نورا از $28^{\circ} 25' 32''$ تا $57' 46''$ عرض شمالی و $53^{\circ} 28' 50''$ تا $52^{\circ} 28' 08''$ طول شرقی گسترده شده است (شکل ۱). طاقدیس خشت دارای روند شمال غرب- جنوب شرقی با طول تقریبی ۳۱ کیلومتر و مساحت ۲۱۳ کیلومتر مربع است، مرتفع‌ترین نقطه آن با ۱۴۵۰ متر در قسمت مرکزی و پست‌ترین نقطه آن در بخش جنوب شرقی طاقدیس است. میانگین شیب طاقدیس ۲۳,۵۹ درصد است. سازندهای برونزد یافته طاقدیس بیشتر از گروه فارس است که حدود ۹۲,۱۹ درصد از سطح طاقدیس را می‌پوشاند. طاقدیس نورا دارای روند شمال غرب جنوب شرقی و به طول تقریبی ۶۷ کیلومتر و مساحت ۶۹۳ کیلومتر مربع است. حداکثر ارتفاع آن ۲۸۸۰ متر در قسمت شمال غربی و پست‌ترین نقطه آن ۹۰۰ متر در بخش جنوب شرقی طاقدیس قرار دارد. میانگین شیب آن ۲۹,۶۲ درصد است. سازندهای برونزد یافته طاقدیس بیشتر سازندهای آسماری و گچساران هستند.

نفت از کمر بند چین خورده زاگرس تأکید دارند. بوردناو و هرج (Bordenave & Herje, 2005) ذکر می‌کنند نفت در مهاجرت عمودی خود تمایل دارد به سمت رأس طاقدیس حرکت کند. همچنین چین خوردگی زاگرس شامل شکستگی‌های برجسته‌ای است. این شکستگی‌ها با تأثیر از آهک و مارن باعث مهاجرت هیدروکربن به سمت بالا می‌شود. بوردناو و هرج (Bordenave & Herje, 2010) در پژوهش دیگری به بررسی مهاجرت نفت در فواصل زیاد پرداخته‌اند. نامبردگان بیان می‌کنند در جریان کمر بند چین خورده زاگرس، نفت و گاز به سمت طاقدیس‌های بسته زاگرس مهاجرت کرده‌اند. علاوه بر این، آنها ذکر می‌کنند که مهاجرت عمودی نفت به سمت طاقدیس‌های بسته از طریق یک سیستم گسیختگی صورت می‌گیرد. زو و همکارانش (Zou et al, 2010) به بررسی میدان‌های نفت و گاز بزرگ و خیلی بزرگ پرداخته‌اند. آنها بیان می‌کنند که بیشتر میدان‌های نفت و گاز در حاشیه غیرفعال، کمر بندهای رورانده پیشکوهی و حوضه کراتون در دنیا توزیع شده‌اند. به‌روجه در سال ۱۳۹۰ منابع نفتی زاگرس شمال غرب را با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک بررسی کرد و به این نتیجه رسید که با استفاده از پارامترهای ژئومورفولوژی می‌توان با ضریب اطمینان بالاتری به ارزیابی پتانسیل منابع نفت و گاز در منطقه مورد مطالعه مبادرت کرد. با توجه به اینکه مطالعات مربوط به نقش ژئومورفولوژی در اکتشاف مخازن هیدروکربنی در ایران بسیار محدود است، علاوه بر زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی هم با شناخت مورفولوژی طاقدیس‌ها در تعیین میدان‌های نفتی مفید و مؤثر است. به همین دلیل بررسی روابط بین



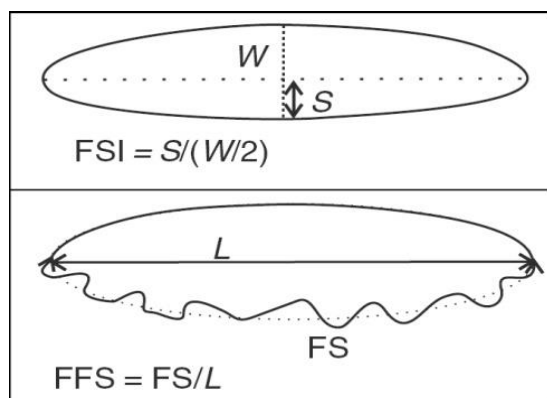
شکل (۱) - موقعیت جغرافیایی طاق‌دیس‌های مورد مطالعه به همراه طبقات ارتفاعی (منبع: نگارندگان)

۳- روش کار

در اکتشاف مخازن هیدروکربنی است. به‌منظور دستیابی به این هدف، ابتدا نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ شرکت ملی نفت ایران تهیه و مقاطع زمین‌شناسی طاق‌دیس‌ها استخراج شد. نقشه‌های

هدف این پژوهش بررسی خصوصیات مورفومتری طاق‌دیس‌های خشت (دارای مخزن هیدروکربنی) و نورا (بدون مخزن هیدروکربنی) و کاربرد این مطالعات

محاسبه شده شاخص (FFS) برای طاقدیس‌های مورد مطالعه در جدول ۱ ارائه شده است که مقادیر به دست آمده برای هر دو طاقدیس برابر است.



شکل (۲) - روش محاسبه FSI و FFS به‌طور شماتیک (Burbery et al, 2010: 143)

جدول (۱) - مقدار شاخص سینوسیته جبهه چین

(FFS) در طاقدیس‌های مطالعاتی

نام طاقدیس	L(km)	FS(km)	FFS
خشت	۷۰,۴۷	۷۴,۷۷	۱,۰۶
نورا	۱۴۶,۸۵	۱۵۶,۴۰	۱,۰۶

شاخص تقارن چین

شاخص تقارن چین از مهمترین شاخص‌هایی است که میزان نابرابری دو یال طاقدیس و در نتیجه میزان فعالیت تکتونیکی را نشان می‌دهد. شاخص تقارن چین (FSI) از تقسیم S (عرض پهلوئی کوتاه‌تر طاقدیس) بر نصف عرض طاقدیس (W/2) به دست می‌آید (شکل ۲). در یک طاقدیس کاملاً متقارن، مقدار این شاخص یک است، در حالی که در یک طاقدیس نامتقارن، مقدار شاخص مذکور کمتر از یک است (Burbery et al, 2010: 143). هر چه مقدار این شاخص کمتر از یک باشد، نشان‌دهنده فعال بودن نیروهای زمین‌ساخت در ناحیه است که منجر به ایجاد

توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ طاقدیس‌های مورد مطالعه در محیط نرم‌افزار ArcGIS رقمی شد و نقشه سطوح ارتفاعی طاقدیس‌ها و شبکه زهکشی تهیه و تکمیل گردیدند. پس از درجه‌بندی آبراهه‌ها به روش استراهلر، در GIS، 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) و الگوی زهکشی طاقدیس‌ها محاسبه شد. محاسبه شاخص‌های سینوسیته جبهه چین (FFS)، طول خط‌الرأس طاقدیس (AD)، ارتفاع طاقدیس، شاخص تقارن چین (FSI) و نسبت جهت (Ar) و شکل و محور طاقدیس‌ها بر اساس تصویر ماهواره‌ای لندست و نقشه زمین‌شناسی انجام شد. در نهایت ارتباط تمامی پارامترهای ژئومورفیک و تکتونیکی با تشکیل مخازن هیدروکربنی در طاقدیس‌های دارای مخزن و بدون مخزن هیدروکربنی، و همچنین نقش پارامترهای فوق در فرار یا تخلیه مخازن هیدروکربنی تجزیه و تحلیل شد.

۴- نتایج

شاخص سینوسیته جبهه چین

از پارامترهایی که بر اساس آن درجه فعالیت‌های تکتونیکی یا سن سیستم چین خوردگی تعیین می‌شود، شاخص سینوسیته جبهه چین (FFS) است. شاخص مذکور از نسبت طول جبهه طاقدیس (FS) به طول طاقدیس (L) به دست می‌آید (شکل ۲). مقدار کم این شاخص، نشان‌دهنده چین خوردگی‌های جوان است، در حالی که مقدار بالای شاخص مذکور نشان‌دهنده جبهه‌های فرسایش یافته یا چین خوردگی‌های قدیمی است (Burbery et al, 2010: 144). مقدار

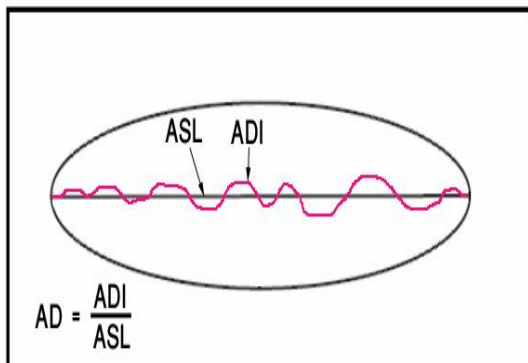
طاقدیس‌های مورد مطالعه در جدول ۲ ارائه شده است. مقادیر محاسبه‌شده نشان‌دهنده فعالیت تکتونیکی بالای طاقدیس نورا است.

جدول (۲) - مقادیر شاخص‌های مربوط به شاخص نسبت جهت (AR) در طاقدیس‌های مطالعاتی

نام طاقدیس	L(km)	W(km)	AR
خشت	۳۲,۳۸	۸,۱۵	۳,۹۷
نورا	۸۰,۰۹	۱۴,۵۸	۵,۴۹

شاخص خط‌الرأس طاقدیس

طول خط‌الرأس طاقدیس نسبت به خط مستقیم (بین ابتدا و انتهای خط‌الرأس) تا حدودی نشان‌دهنده میزان فرسایش و سن چین‌خورگی است. در طاقدیس‌های جدید، خط‌الرأس تقریباً مستقیم است، در حالی که در طاقدیس‌های قدیمی و فرسایش‌یافته، خط‌الرأس طول بیشتری دارد. در این پژوهش 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 ۴). مقدار شاخص AD برای طاقدیس خشت ۱,۰۴ و برای طاقدیس نورا ۱,۱۲ به دست آمده است که نشان‌دهنده قدیمی‌تر بودن و تأثیر بیشتر فرسایش بر طاقدیس نورا است.



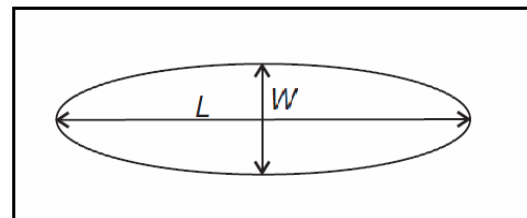
طاقدیس نامتقارن، با طرفین پرشیب و با شکست‌ها و گسل‌ها می‌شود. مقدار زیاد این شاخص بیان‌کننده عدم تأثیرگذاری فعالیت‌های تکتونیکی و شکل‌گیری طاقدیس‌ها به شکل متقارن است. مقدار شاخص مذکور برای طاقدیس خشت ۰,۶ و برای طاقدیس نورا ۰,۹۷ به دست آمده است که بیانگر تأثیر بیشتر تکتونیک بر طاقدیس خشت است.

شاخص نسبت جهت

از شاخص‌های مورفومتری برای تعیین میزان فعالیت‌های زمین‌ساختی یک منطقه، شاخص نسبت جهت است. از آنجاکه میزان فعالیت‌های تکتونیکی در طاقدیس‌های مورد مطالعه یکسان نیست، مطالعه این شاخص نقش مهمی را در درک ارتباط بین ژئومورفولوژی سطح زمین و تشکیل منابع نفتی طاقدیس‌ها ایفا می‌کند. شاخص نسبت جهت (AR) عبارت است از نسبت طول به عرض مشخص در یک طاقدیس (شکل ۳) و از رابطه ۱ به دست می‌آید (Burbery et al, 2008: 423):

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

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



شکل (۳) - روش محاسبه شاخص نسبت جهت به‌طور شماتیک (Burbery et al, 2008: 423).

میزان بالای این شاخص نشان‌دهنده فعالیت تکتونیک بالا و میزان کم آن نیز کاهش فعالیت زمین‌ساختی را نشان می‌دهد. مقدار محاسبه‌شده شاخص AR برای

شکل (۴) - روش محاسبه AD به‌طور شماتیک
(منبع: نگارندگان)

نسبت انشعاب

نسبت انشعابات (Rb)، تخمینی کمی از تکامل شبکه آبراهه‌ها با درجات مختلف است (Singh & Jain, 2008: 231). نسبت انشعابات برای هر رده از آبراهه از رابطه ۲ به‌دست 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 به‌دست آمد. نسبت انشعابات بجز در مناطق تکنونیک فعال، دارای مقادیر بین ۳ تا ۵ است (Ozdemir & Bird, 2009: 141). تکنونیک نقش مهمی در تعداد آبراهه‌های با

درجات مختلف دارد و بنابراین نسبت انشعابات در طاقدیس‌های جوان بسیار بالاتر از طاقدیس‌های فرسایش‌یافته و قدیمی است. به‌عبارتی در طاقدیس‌های جوان‌تر، تعداد آبراهه‌های درجه پایین (۲ و ۱) بالا بوده است و شبکه آبراهه‌ها با درجات بالاتر، هنوز تکامل نیافته‌اند که این امر باعث می‌شود، نسبت انشعاب در این‌گونه طاقدیس‌ها بالا باشد. در این مطالعه ابتدا تعداد آبراهه‌های با درجات مختلف به‌دست آمد (جدول ۳) و سپس بر اساس آن، نسبت انشعابات در طاقدیس‌ها محاسبه شد (جدول ۴). مقدار Rb در طاقدیس خشت، ۴,۷۹ و در طاقدیس نورا، ۶,۱۶ به‌دست آمده است؛ بنابراین این امر نشان می‌دهد که طاقدیس نورا دارای تکنونیک فعال‌تر از طاقدیس خشت است.

جدول (۳) - تعداد و طول آبراهه‌های با درجات مختلف برحسب کیلومتر در طاقدیس‌های مطالعاتی

نام طاقدیس	آبراهه درجه ۱		آبراهه درجه ۲		آبراهه درجه ۳		آبراهه درجه ۴		آبراهه درجه ۵	
	تعداد	طول	تعداد	طول	تعداد	طول	تعداد	طول	تعداد	طول
خشت	۱۲۳۰	۱۰۳۹,۰۳	۲۹۴	۲۲۸,۵۴	۶۰	۷۵,۲۶	۱۱	۱۳,۲۷	۰	۰
نورا	۳۱۰۰	۲۳۱۳,۸۷	۷۱۵	۵۲۴	۱۵۸	۲۲۸,۴۰	۳۳	۸۲,۵۸	۵	۲,۴۳

جدول (۴) - مقادیر شاخص‌های کمی محاسبه‌شده در طاقدیس‌های مطالعاتی

نام طاقدیس	شاخص	Dd		Rb		Fs	
		در تمام آبراهه‌ها	در آبراهه‌های درجه ۱	در تمام آبراهه‌ها	در آبراهه‌های درجه ۱	در تمام آبراهه‌ها	در آبراهه‌های درجه ۱
خشت	۲۱۳,۱۵	۶,۳۶	۴,۸۴	۴,۷۹	۷,۴۸	۵,۷۷	
نورا	۶۹۳,۱۴	۴,۲۵	۳,۳۳	۶,۱۶	۵,۷۸	۴,۴۷	

تراکم زهکشی (Dd)، نسبت طول آبراهه‌ها به مساحت در یک منطقه مشخص است و از رابطه ۳ به‌دست می‌آید (Tucker et al, 2001: 187):

تراکم زهکشی

درجات، فرکانس رودخانه آبراهه‌های درجه ۱ نیز برای طاقدیس‌های مورد مطالعه محاسبه شد. فرکانس زهکشی برای کل آبراهه‌ها و همچنین برای آبراهه‌های درجه ۱ طاقدیس خشت بیشتر از طاقدیس نورا به دست آمده است (جدول ۴) که این موضوع نشان‌دهندهٔ تکتونیک فعال‌تر طاقدیس خشت است.

شاخص ارتفاع طاقدیس

ارتفاع طاقدیس، به صورت اختلاف ارتفاع بین کمترین ارتفاع (در حاشیهٔ دشت یا ارتفاع بین طاقدیس و ناودیس) و بیشترین ارتفاع طاقدیس محاسبه شده و نتایج آن در جدول (۵) بیان شده است.

جدول (۵) - ارقام مربوط به اختلاف ارتفاع طاقدیس‌ها

نام	(m) کمترین	(m) بیشترین	(m) اختلاف
طاقدیس خشت	ارتفاع ۵۰۰	ارتفاع ۱۴۵۰	ارتفاع ۹۵۰
نورا	ارتفاع ۹۰۰	ارتفاع ۲۸۸۰	ارتفاع ۱۹۸۰

هرچه میزان اختلاف ارتفاع بیشتر باشد، بالاآمدگی بیشتر و فشار تکتونیک فعال‌تر است. بر اساس مقادیر محاسبه شده که در جدول ۵ مشاهده می‌شود، طاقدیس نورا بیشترین اختلاف ارتفاع را دارد که نشان‌دهندهٔ تکتونیک فعال‌تر و بالاآمدگی بیشتر است.

شکل و محور طاقدیس‌ها

بیشتر مخازن نفتی زاگرس در طاقدیس‌های دراز هستند که اغلب در طی میوپلیوسن به وجود آمده‌اند (مطیعی، ۱۳۷۴). وجود نفت و گاز طبیعی که بیشتر در ساخت‌های خاص زمین‌شناسی (طاقدیس) جمع می‌شوند، ارتباط تنگاتنگی با مشخصات تکتونیک و ساختمانی منطبق بر آنان دارند.

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

که در آن L_i طول هر یک از آبراهه‌های حوضه اعم از آبراهه‌های دائمی و غیر دائمی به کیلومتر و A ، مساحت منطقه بر حسب کیلومتر مربع است. تراکم زهکشی بالا به‌ویژه آبراهه‌های درجه ۱، نشان‌دهندهٔ فعال‌تربودن مناطق از نظر تکتونیک است (Zuchiewicz, 1998: 127). به طوری که در مناطق دارای بالاآمدگی سریع‌تر، فقط شبکه‌های درجه ۱ توسعه می‌یابند. در طاقدیس‌های با بالاآمدگی آهسته‌تر و عرض بیشتر، شبکه‌های زهکشی با درجات بالاتر نیز توسعه می‌یابند. در این پژوهش طول آبراهه‌های با درجات مختلف تعیین شد و همچنین تراکم زهکشی برای آبراهه‌های درجه ۱ نیز به دست آمد (جدول ۴). همان‌گونه که در جدول ۴ مشاهده می‌شود، تراکم زهکشی در طاقدیس خشت بیشتر از طاقدیس نورا است.

فرکانس رودخانه

فرکانس رودخانه (Fs) از جمله شاخص‌های کمی مربوط به مورفومتری شبکهٔ زهکشی است که از رابطهٔ ۴ به دست می‌آید (Sreedevi et al, 2005: 41; Devi et al, 2011: 19):

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

که در آن Nu تعداد آبراهه‌ها در تمامی درجات و A مساحت حوضه به کیلومتر مربع است. مقدار شاخص Fs به عواملی مانند زمین‌شناسی، اقلیم، پوشش گیاهی، جنس سنگ و خاک و توپوگرافی بستگی دارد. در مناطق تکتونیک فعال به‌ویژه در طاقدیس‌های جوان، تعداد آبراهه‌های درجه ۱ بیشتر است؛ بنابراین در این پژوهش، علاوه بر فرکانس رودخانه تمام

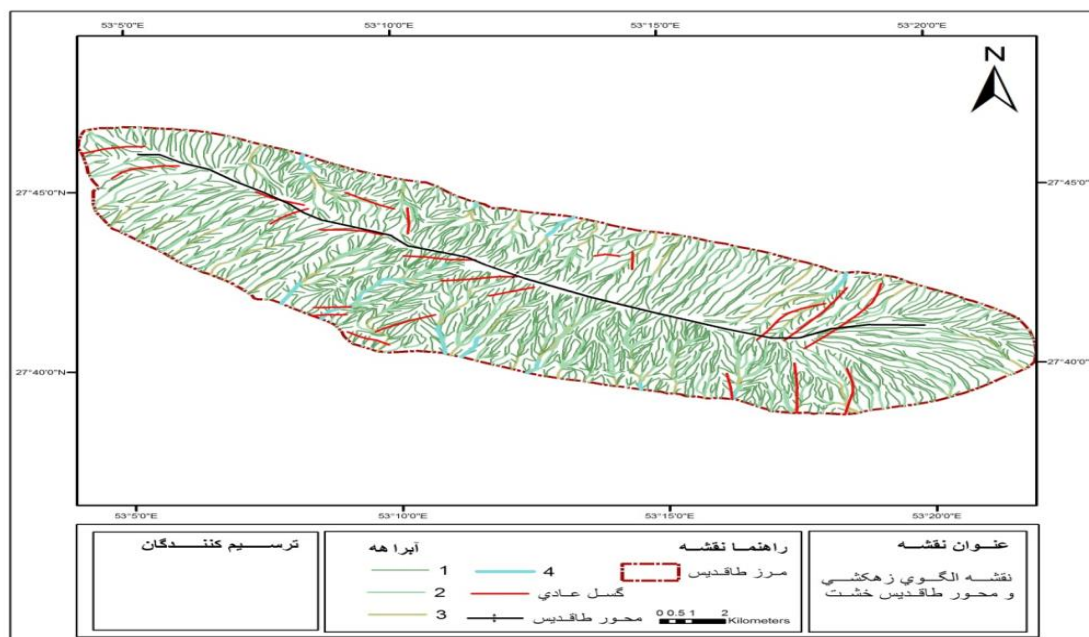
الگوی زهکشی، ویژگی کیفی است که چگونگی به هم پیوستن شاخه‌ها و انشعابات شبکه زهکشی را نشان می‌دهد و ارتباط نزدیکی با جنس سنگ‌ها و ساختمان زمین‌شناسی دارد. با توجه به این شاخص، الگوهای زهکشی مختلفی مانند درختی، موازی، داربستی و... را ایجاد می‌کند؛ به طوری که گسترش الگوی زهکشی متفاوت از مشخصه اصلی در زون‌های لیتوتکتونیکی کمربند ساختاری زاگرس است.

در یک حوضه زهکشی که از نظر فعالیت‌های تکتونیکی متعادل است، الگوی زهکشی در زیر حوضه‌های آن بسته به ساختمان زمین‌شناسی و شیب زمین مشابه است. در حوضه‌های با فعالیت تکتونیکی به صورت نامتعادل، شبکه‌های زهکشی در زیر حوضه‌ها از الگوهای متفاوتی پیروی می‌کنند (غلامی، ۱۳۸۹، ۸۴). الگوی زهکشی در طاقدیس خشت به صورت موازی، شبه موازی و شبه درختی است، در طاقدیس نورا الگوی زهکشی شبه موازی، درختی و در مرکز راست گوشه است (شکل ۵ و ۶).

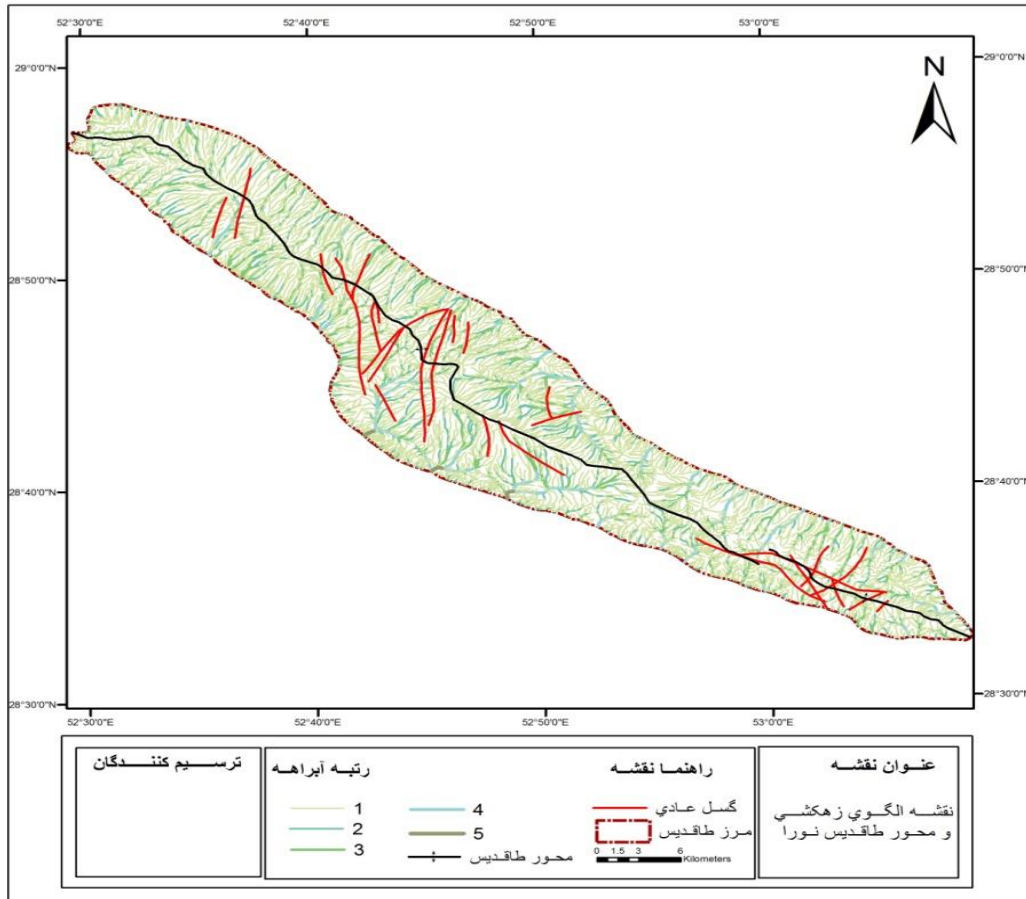
لازم به ذکر است که فرم و محور طاقدیس‌ها بر اثر وجود شکستگی‌ها، تغییر شکل یافته، کج و دارای انحنا می‌شوند. بنابراین و با توجه به این موارد شکل طاقدیس‌ها و محور آنها یکی از عوامل مهم در شناسایی فعالیت‌های تکتونیکی و شکستگی‌های ایجاد شده بر اثر آنهاست.

در این پژوهش یک تفاوت عمده میان طاقدیس‌های گازی و غیرگازی مورد مطالعه دیده می‌شود. به طوری که طاقدیس گازی خشت، محور خطی و طویل دارد و کمتر به وسیله گسل‌های عرضی بریده شده است که نبود انحنا، قوس و وقفه در روند این واقعیت را تأیید می‌کند. طاقدیس غیرگازی نورا محور سینوسی دارد، گسل‌های عرضی و شکستگی‌های فراوان در بخش‌های مختلف آن اثر گذاشته و به انحنا و خمیدگی در وسط آن منجر شده یا به عبارت دیگر دارای محور سینوسی گردیده است (شکل ۵ و ۶).

الگوی زهکشی حوضه



شکل (۵) - نقشه الگوی زهکشی و محور طاقدیس خشت (منبع: نگارندگان)



شکل (۶) - نقشه الگوی زهکشی و محور طاقدیس نورا (منبع: نگارندگان)

۵- بحث

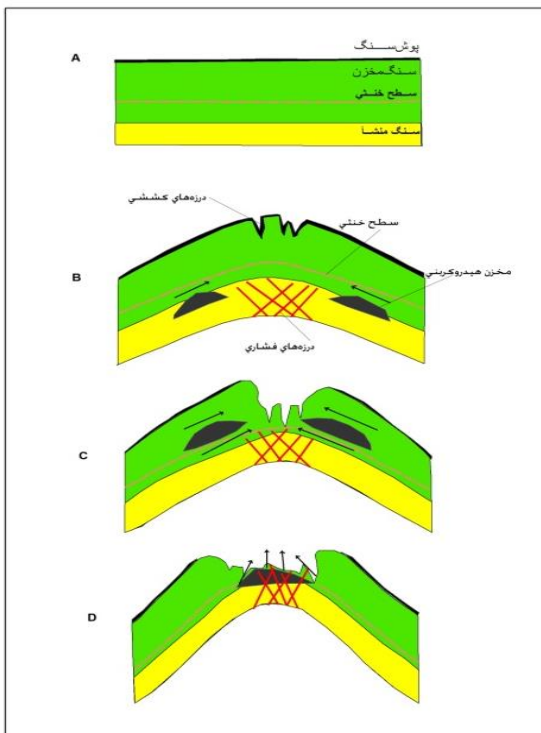
متفاوت باشد. در طاقدیس‌های قدیمی و فرسایش یافته، بیشتر مخازن هیدروکربنی از طریق درز و شکاف‌ها و شکستگی‌های رأس طاقدیس خارج شده‌اند، در حالی که در طاقدیس‌هایی که در مراحل اولیه تکامل هستند، مخازن هیدروکربنی حفظ شده‌اند. چین خوردگی واحد ساختمانی زاگرس تحت تأثیر دو سازوکار (مکانیسم) چین خوردگی لغزش - خمش^۱ و سطح - خشی^۲ قرار دارد. در سازوکار سطح - خشی

طاقدیس‌های خشت و نورا بخشی از واحد ساختمانی زاگرس چین خورده محسوب می‌شوند که تحت تأثیر درجه فشارهای تکتونیکی دارای مورفولوژی و مورفومتری متفاوتی هستند. شانل از میدان‌های گازی فعال زاگرس به حساب می‌آید. این مخزن در طاقدیس خشت در سال ۱۳۷۲ کشف شد (مطیعی، ۱۳۸۹: ۷۳۱). تفاوت در عملکرد تکتونیک و عوامل فرسایشی باعث شده است امکان تشکیل و فرار مخازن هیدروکربنی در هر طاقدیس با طاقدیس‌های دیگر

^۱ - Flexural-Slip Folding

^۲ - Neutral Surface Folding

مانده است. با تکامل و فشردگی طاقدیس‌ها، بر اثر کشش در رأس طاقدیس، محور طاقدیس به تدریج فرسایش می‌یابد. با توسعه و تکامل بیشتر چین خوردگی، سطح خشتی به سمت پایین حرکت می‌کند و گسل‌های کششی نیز به سمت پایین توسعه می‌یابند. با فشردگی بیشتر طاقدیس، حرکت بیشتر سطح خشتی به سمت پایین باعث می‌شود گسل‌های کششی به گسل‌های معکوس پایین طاقدیس متصل شوند و امکان فرار نفت از طریق درز و شکاف‌ها ایجاد شود (حالت C و D در شکل ۷). شکل ۷ به طور شماتیک تأثیر تکامل چین خوردگی و جابه‌جایی سطح خشتی، توسعه و اتصال درز و شکاف‌ها به هم و به تبع آن فرار نفت از طاقدیس‌های فرسایش‌یافته قدیمی را نشان می‌دهد. به طوری که با بررسی این شکل مشخص می‌شود در قسمت مرکزی طاقدیس نورا، کمب ناقصی ایجاد شده است (شکل ۹).



حداکثر تغییر شکل در محور چین و حداقل تغییر شکل در پهلوئی چین اتفاق می‌افتد. سطح خشتی، سطحی است که هیچ نوع تغییر شکلی در آن ایجاد نمی‌شود. در محور طاقدیس‌ها، بالاتر از سطح خشتی، کشیدگی وجود دارد، در حالی که پایین‌تر از آن سازوکار فشاری حاکم است. در سازوکار لغزش-خمش، حداکثر تغییر شکل و حرکات لایه‌ها در پهلوئی چین اتفاق می‌افتد و در محور چین حرکت نسبی و تغییر شکلی اتفاق نمی‌افتد. مطالعات نشان می‌دهد که چین خوردگی زاگرس عموماً از ترکیب دو سازوکار ذکر شده ایجاد شده‌اند. چین خوردگی سطح-خشتی بیشتر در چین‌هایی ایجاد می‌شود که نسبت طول موج چین بیشتر از ضخامت لایه‌هاست (Colman- Sadd, 1978: 989). بررسی طاقدیس‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد هر دو طاقدیس تحت تأثیر سازوکار سطح خشتی قرار دارد، به طوری که در پهلوئی آن گسل معکوسی ایجاد نشده است.

بررسی‌ها نشان می‌دهد که با تکامل و فشردگی بیشتر طاقدیس، سطح خشتی به سمت پایین حرکت کرده است و بنابراین گسل‌ها یا درزهای کششی نیز به سمت پایین جابه‌جا می‌شوند (Price & Cosgrove, 1990: 382)؛ بنابراین تحلیل چین خوردگی زاگرس با سازوکار سطح-خشتی نقش مهمی در درک رابطه بین مخازن نفتی و تکامل و ژئومورفولوژی طاقدیس‌ها ایفا می‌کند.

در طاقدیس‌های جوان‌تر مانند خشت که در مراحل اولیه چین خوردگی قرار دارند، شکستگی‌ها توسعه چندانی ندارند و همچنین شکستگی‌ها و درزهای رأس طاقدیس هنوز به سطح خشتی نرسیده‌اند و امکان فرار نفت ایجاد نشده است (حالت A و B در شکل ۷)؛ بنابراین نفت موجود در این طاقدیس‌ها هنوز باقی

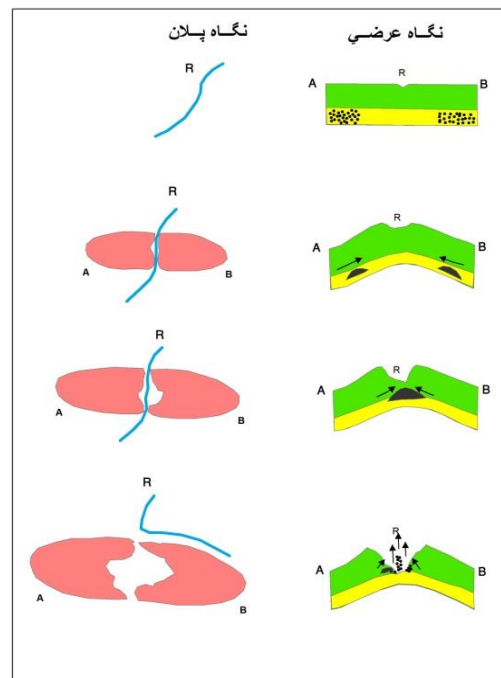
مرتفع‌ترین قسمت طاقدیس (مرکز) را قطع کند یا فرسایش دهد، این موضوع باعث فرار مواد هیدروکربنی در قسمت مرکز طاقدیس می‌شود. شکل ۸ به صورت شماتیک این روند را نشان می‌دهد. همچنین در طاقدیس نورا فرود محوری دو طرفه وجود دارد و در قسمت مرکزی، فرسایش به صورت فعال عمل کرده و یک کمب ناقص شکل گرفته است. از آنجاکه شکستگی‌ها و فرسایش عامل اصلی ضعف و تخریب پوشش سنگ به حساب می‌آیند و از طرفی دیگر برای حفظ مخازن هیدروکربنی احتیاج به پوشش سنگ سالم است، بنابراین هیدروکربن زایش شده در تله‌های هیدروکربنی این طاقدیس‌ها از لابه‌لای آنها فرار کرده‌اند و از بین می‌روند، به این ترتیب به نابودی کامل آن در این گونه طاقدیس‌ها منجر می‌شود.



شکل (۹) - نمایی از کمب ناقص (طاقدیس فرسایش یافته) طاقدیس نورا (منبع: نگارندگان)

در این پژوهش همچنین مورفومتری طاقدیس‌ها بررسی شد. بررسی داده‌ها نشان می‌دهد، مورفومتری طاقدیس با مخزن و بدون مخزن هیدروکربنی با

شکل (۷) - طرحی شماتیک از نقش تکامل چین خوردگی در فرار نفت، (A و B): چین خوردگی اولیه و تشکیل طاقدیس با شیب ملایم با لایه نفتی در بخش پایین طاقدیس و (C و D): 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 (منبع: نگارندگان)



شکل (۸) - طرحی شماتیک از تکامل چین خوردگی، برش مرتفع‌ترین قسمت طاقدیس با رودخانه و نقش منفی آن در فرار مخازن هیدروکربنی (منبع: نگارندگان)

فرود محوری دو طرفه در طاقدیس‌ها باعث می‌شود، مواد هیدروکربنی موجود در این طاقدیس‌ها در طول زمان از قسمت فرود محوری به سمت مرکز طاقدیس حرکت کنند، به طوری که اگر در طی تکامل این طاقدیس، رودخانه‌ای به صورت عرضی

نورا نسبت به طاقدیس خشت، بیانگر قدیمی‌تر بودن و فرسایش بیشتر طاقدیس نورا است که این موضوع از عوامل فرار مخازن هیدروکربن است.

الگوی زهکشی در طاقدیس خشت به صورت موازی، شبه موازی و شبه درختی است که این الگو بازگوکننده تکنونیک تقریباً فعال در این طاقدیس است، البته تا حدی وجود فعالیت‌های تکنونیک برای تجمع مخازن هیدروکربونی لازم است. در این طاقدیس این فعالیت‌ها باعث تجمع گاز در مخزن طاقدیس شده‌اند و فعالیت‌ها آنقدر شدید نبوده است که باعث فرار مخازن هیدروکربونی شود. در طاقدیس نورا الگوی زهکشی به صورت موازی شبه درختی و در مرکز راست گوشه است که نشان‌دهنده تأثیرگذاری فعالیت‌های تکنونیک به صورت گسل و شکستگی در این طاقدیس است و همین عامل سبب خروج و فرار مخازن هیدروکربونی آن در طول زمان شده است. بررسی شاخص کیفی شکل و محور طاقدیس‌ها نشان می‌دهد که طاقدیس خشت دارای محور خطی و طولی است و طاقدیس نورا دارای محور سینوسی است و همان‌طور که در شکل (۵) و (۶) مشخص است گسل‌ها و فرسایش باعث انحنا در قسمت مرکزی آن شده است. هر چقدر که محور طاقدیس سینوسی‌تر و تغییر یافته‌تر باشد، احتمال فرار و نشت مخازن هیدروکربنی بیشتر است.

۶- نتیجه‌گیری

بررسی عوارض و شواهد ژئومورفولوژی ساختمانی از بهترین روش‌های ارزیابی حرکات تکنونیک فعال است. هر یک از شاخص‌های ژئومورفولوژی مورد استفاده در این پژوهش، طبقه‌بندی نسبی از

تفاوت‌هایی روبه‌روست. مقدار شاخص تقارن چین (FSI) در طاقدیس نورا به عدد یک نزدیک‌تر است که این موضوع بیانگر تقارن و فعالیت کمتر تکنونیک در این طاقدیس است. مقدار شاخص سینوسیته جبهه طاقدیس (FFS) در هر دو طاقدیس برابر است که بیانگر ناکارآمد بودن این شاخص در محدوده مطالعاتی است و می‌توان دلیل آن را وجود سازندهای فارس در اطراف طاقدیس‌ها و شکل‌پذیری زیاد این سازند در برابر فعالیت‌های تکنونیک دانست. شاخص سینوسیته برای مشخص کردن فعالیت‌های تکنونیک در این طاقدیس‌ها به صورت مناسب عمل نکرده و روند خاصی را نشان نداده است، پس این شاخص در مناطق مورد مطالعه توانایی مشخص کردن تفاوت طاقدیس‌های با مخزن و بدون مخزن را ندارد. مقدار شاخص خط‌الرأس طاقدیس (AD) برای طاقدیس نورا ۱،۱۲ به دست آمده است که نشان‌دهنده قدیمی‌تر بودن و دخالت بیشتر فرسایش در رأس آن است. هرچه طاقدیس قدیمی‌تر و فرسایش‌یافته‌تر باشد، امکان فرار مخازن هیدروکربونی در آن بیشتر است و این ممکن است یکی از عوامل اصلی فرار مخازن هیدروکربونی در طاقدیس نورا باشد. میزان بالاتر شاخص نسبت جهت (AR) در طاقدیس نورا نیز نشان‌دهنده فعالیت تکنونیک بالا در آن است. فعالیت تکنونیک بالا در طول زمان یکی از عوامل اصلی فرار مخازن هیدروکربنی از طریق درز و شکاف‌هاست. همچنین نسبت انشعاب (Rb) بالا در طاقدیس نورا نشان‌دهنده آشفستگی ساختاری طاقدیس و عدم تکامل شبکه آبراه‌ها و به تبع آن فعالیت بیشتر تکنونیک در طاقدیس است. مقدار پایین تراکم زهکشی (Dd) و فرکانس زهکشی (FS) در طاقدیس

ویژگی‌های مورفومتریکی و ژئومورفولوژی طاق‌دیس‌های دارای مخازن و بدون مخازن هیدروکربنی است، باید شاخص و عامل فرسایش در رأس مطالعات قرار داده شوند. بنابراین فشارهای تکتونیکی، گسل‌های کششی در رأس طاق‌دیس، قدمت و به تبع آن عوامل ایجادکننده فرسایش از عواملی هستند که باید به آنها توجه خاصی کرد. همچنین اگر بهره‌برداری از طاق‌دیس‌هایی که دارای مخازن هیدروکربونی هستند، صورت نگیرد، این احتمال وجود دارد که در درازمدت و گذشت زمان و تأثیرگذاری تکتونیک فعال و گسترش طاق‌دیس‌ها و ایجاد درز و شکاف و فعالیت آب‌های جاری و فرسایش، خود باعث فرار مخازن قبل از بهره‌برداری شود. پس نیاز است که کلیه طاق‌دیس‌های کشور را که بر اساس پیشینه زمین‌شناسی، احتمال تجمع مخازن هیدروکربنی دارند، مورد مطالعه و بررسی‌های کمی قرار داد تا بتوان از مخازن آنها بهره‌برداری به‌صرفه و به‌موقع داشت.

منابع

بهروجه، افروز، (۱۳۹۰). تأثیر ژئومورفولوژی بر اکتشاف منابع نفتی زاگرس شمال غرب، بهرامی شهرام، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه حکیم سبزواری، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی گروه جغرافیا.
ریاضی، محمدرضا، (۱۳۸۰). آشنایی با مهندسی مخازن نفت و گاز، انتشارات علمی دانشگاه صنعت شریف، چاپ دوم.
سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، (۱۳۷۶). نقشه‌های توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰، ۶۵۴۷ شماره‌های ۲، ۳ و ۴. ۶۶۴۴ شماره ۱. ۶۶۴۵ شماره ۲. ۶۷۴۴ شماره ۴.

فعالیت‌های تکتونیکی ارائه می‌دهند که برای مطالعات شناسایی و بررسی مقدماتی برقراری ارتباط با موضوعات دیگر مفید هستند. وقتی چندین شاخص در یک ناحیه برای طبقه‌بندی و تجزیه و تحلیل فعالیت‌های تکتونیکی به کار برده می‌شوند، نتایج با معنا تر و مستدل‌تری را در بر خواهند داشت. ژئومورفولوژی چین‌های زاگرس ارتباط زیادی با ابعاد مخزن هیدروکربنی و امکان فرار مخازن هیدروکربنی دارند، به طوری که در طاق‌دیس‌های جوان‌تر و با طول موج کمتر و فرسایش و شکستگی کمتر، مخازن هیدروکربنی باقی مانده‌اند، در حالی که در طاق‌دیس‌های قدیمی‌تر و شکسته‌تر و فرسایش یافته‌تر، مخازن هیدروکربنی از بین رفته‌اند. با توجه به رابطه مناسب بین عناصر تکتونیکی و تطابق آنها با فرار هیدروکربن‌ها از مخازن، در این پژوهش به بررسی فعالیت‌های تکتونیکی در طاق‌دیس دارای مخزن هیدروکربنی و فاقد مخازن هیدروکربنی و تفاوت تکتونیکی میان این دو نوع طاق‌دیس از طریق شاخص‌های ژئومورفولوژیکی متعدد پرداخته شد و ویژگی هر کدام از دو نوع طاق‌دیس بررسی شد. بررسی‌ها نشان‌دهنده روند صعودی فرار هیدروکربن‌ها از طریق عناصر تکتونیکی گسله‌ها و درز و شکاف‌ها و فرسایش است. با توجه به شاخص‌های کمی محاسبه‌شده در این پژوهش شاید بتوان گفت که طاق‌دیس نورا تمام شرایط مناسب تکتونیکی را برای داشتن ذخایر هیدروکربونی داشته است و فرسایشی که در مرکز طاق‌دیس مشاهده شده، عامل بسیار مهمی است که باعث فرار مواد هیدروکربونی از مخزن آن شده است. بنابراین در پژوهش‌هایی از این دست که هدف مقایسه

- Society of London, Special Publications , V 33, p.29 – 353.
- 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*, p.417-430.
- 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*, p.139 – 153.
- Colman-Sadd, S.P., (1978), Fold development in Zagros simple folded belt, southwest Iran. *AAPG Bull*, V.62, p.984-1003.
- 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*, V.127, (1-2), p.14-31
- Downey, M.W., Treet, J.C., Morgan, W. A., (2001), Major hydrocarbon potential in Iran, *AAPG Mem* 74, p.417-427.
- Falcon, N.L., (1974), Southern Iran: Zagros Mountains. In: *Mesozoic- Cenozoic organic belts (Geol. Soc. Lond. Spec. Publ., Ed. By A.M. Spencer)*, V.4, p.199-212.
- 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*, V. 32(1), p. 5-20.
- Guarnieri, P. and Pirrotta, C., (2008), the response of drainage basins to the late Quaternary tectonics in the Sicilian side of the Messina Strait (NE Sicily), *Geomorphology*, V.95, p.260–273.
- Latman, L. H., (1959), Geomorphology: New tool for finding oil and gas, *Oil and gas journal*, V.57, p.230 – 236.
- 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*, V.56, p.1405–1415.
- Price, N. J and Cosgrove, J.W., (1990), analysis of geological structures, Cambridge University Press.
- سحابی، فریدون، (۱۳۸۲). زمین‌شناسی نفت، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ چهارم، ۱-۴۳۰.
- شرکت ملی نفت ایران، (۱۳۷۳). نقشه زمین‌شناسی ۱/۲۵۰۰۰۰ بایرام.
- شرکت ملی نفت ایران، (۱۳۷۳). نقشه زمین‌شناسی ۱/۲۵۰۰۰۰ جهرم.
- شریف‌پور، الهام، (۱۳۸۷). بررسی تشکیل رسوبات غیرآلی در مخازن نفتی تحت تأثیر گاز تزریقی، شریعتی علیرضا، مهندسی شیمی نفت، دانشکده شیمی، دانشگاه شیراز.
- غلامی، یوسف، (۱۳۸۹). بررسی ژئومورفولوژی تکنونیک در طاقدیس گلپایه شیروان، بهرامی شهرام، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه حکیم سبزواری، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی گروه جغرافیا.
- مطیعی، همایون، (۱۳۷۴). زمین‌شناسی نفت زاگرس، انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور، چاپ اول، جلد اول و دوم، ۱-۱۰۰۹.
- مطیعی، همایون، (۱۳۸۹). مقدمه‌ای بر ارزیابی مخازن نفتی زاگرس (برای زمین‌شناسان)، جلد دوم، انتشارات آراین زمین، چاپ اول، ۱-۴۵۶.
- هانت، جان، (۱۳۸۸). زمین‌شناسی و زمین‌شناسی نفت، علی اکبر رحمانی، انتشارات آفتاب اندیشه، چاپ اول، ۱-۸۴۳
- Beydoun, Z.R., Hughes Clark, MW and Stone, R., (1992), Petroleum in the Zagros basin In: Macqueen, R.W. and Leckie, D.A. (Eds), *Foreland Basin and Fold Belt, AAPG Mem* 55, 309-340.
- Bordenave, M.L., Herge, J.A, (2005), The influence of tectonics on the entrapment of oil in the Desful Embayment zagros foldbelt, Iran, *Journal of petroleum geology*, V. 28(4), p.339-368.
- Bordenave, M. L., Hegre, J. H., (2010), Current distribution of oil and gas fields in Zagros Fold Belt of Iran and contiguous as the result of the petroleum systems, *Geological*

- Ramsey, L.A., Walker, R.T., Jackson, J., (2008), Fold evolution and drainage development in the Zagros Mountains of Fars province, SEIran. Basin Research, V.20, p.23-48.
- Singh, T and Jain, V., (2008), Tectonic constraints on watershed development on frontal ridges: Mohand Ridge, NW Himalaya, India, geomorphology, V.102, p.231-141.
- 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, V.47, p.412-420.
- Tatar, M., Hatzfeld, D., Martinod, J., Walpersdorf, A., Ghafari-Ashtiany, M. & Chery, J (2002). The present day deformation of the central Zagros from GPS measurements. Geophys. Res. Lett, 29, 1927.
- 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, V.36, p.187-202.
- Versfelt, Jr. P. L., (2001), Major Hydrocarbon Potential in Iran, AAPG Mem, V.74, p.417-427.
- Vita-Finzi, C., (1979), Rates of Holocene folding in the coastal Zagros near Bandar Abbas, Iran, Nature, V.278, p.632-634.
- Zou, C., Zhang, G., Tao, S., Hu, S., Li, X., Li, G., Dong, D., Zhu, R., Yuan, X., Hou, L., Qu, H., Zhao, X., Jia, J., Gao, X., Guo, Q., Wang, L., Li, X., (2010), geological features, major discoveries and unconventional petroleum geology in the global petroleum exploration, petroleum exploration and development, V.37, p.129-145.
- Zuchiewicz, W., (1998), Quaternary tectonics of the Outer West Carpathians, Poland. Tectonophysics, V.297, p.121-132.