

کاربرد ژئومورفولوژی در اکتشاف منابع نفتی در طاقدیس‌های بانکول و دنه خشك

چکیده

ویژگی‌های مورفومتریک طاقدیس‌ها می‌توانند نقش مهمی در شناسایی طاقدیس‌های دارای منابع نفتی ایفا کنند. هدف این پژوهش، بررسی نقش ژئومورفولوژی در اکتشاف منابع نفتی در طاقدیس نفت خیز بانکول و طاقدیس بدون نفت دنه خشك، با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک است. برای دستیابی به این هدف، نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ و زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰ و ۱:۲۵۰۰۰، رقومی شدن و اطلاعات زمین‌شناسی و توپوگرافی استخراج گردید. براساس تصاویر ماهواره‌ای کویکبرد و مطالعات میدانی، مورفومتری طاقدیس‌ها استخراج شد. در این تحقیق از شاخص‌های ژئومورفولوژیک نسبت جهت (AR)، تقارن چین خوردگی (FSI)، سینوسیته جبهه طاقدیس (FFS)، تراکم زهکشی (Dd)، الگوی زهکشی و سطوح مثلثی شکل برای تفکیک طاقدیس‌های فعال و غیر فعال از نظر تکتونیکی استفاده شد. مقادیر بالای AR، AR و FFS، مقدار پایین FSI وجود سطوح مثلثی بزرگ و همچنین، الگوی زهکشی راست گوش در طاقدیس غیر نفتی دنه خشك نشان دهنده وجود تکتونیک فعالتر این طاقدیس نسبت به طاقدیس بانکول است. نتیجه این تحقیق نشان می‌دهد که عدم نفت در طاقدیس دنه خشك را می‌توان تا حدودی با مکانیسم چین خوردگی سطح-خشی توجیه نمود. تکامل و فشردگی طاقدیس دنه خشك باعث جابه‌جایی سطح خشی به سمت پایین و به موجب آن اتصال شکستگی‌های فشاری و کششی شده و بنابراین، به مهاجرت و فرار نفت به سطح منجر شده است. نتیجه این پژوهش نشان می‌دهد که پارامترهای مورفومتریک مذکور دارای کارایی مناسبی برای تفکیک طاقدیس‌های دارای نفت و غیر نفتی هستند. در مجموع، می‌توان نتیجه گرفت که طاقدیس‌های غیر نفتی دارای ژئومورفولوژی فشرده تر و فرسایش یافته تر هستند، در حالی که طاقدیس‌های نفتی، جوانتر، عریض تر و کمتر فرسایش یافته اند.

واژه‌های کلیدی: بانکول، دنه خشك، شاخص‌های ژئومورفولوژیک، نفت، زاگرس، تقارن چین خوردگی

مقدمه

موقعیت خاص ایران در کمربند کوه‌زایی آلپ-هیمالیا و شرایط ویژه زمین‌شناسی، ساختارهای مناسبی را برای تشکیل ذخایر ارزشمند نفت و گاز فراهم کرده است. از جمله مناطق مستعد کشور از لحاظ مخازن نفت و گاز، رشته

کوههای زاگرس چین خورده است. چین خوردگی کوههای زاگرس امکان تجمع مخازن نفتی و ایجاد تلههای نفتی را در طاقدیس‌های آن فراهم آورده است. مطالعات مختلف نشان می‌دهد که واحد ساختمانی زاگرس چین خورده از نظر تکتونیکی، فعال بوده و بر اثر فشارهای ساختمانی از اوائل پلیوسن در حال بالا آمدن و کوتاه شدگی است (فالکون^۱، ۱۹۷۴؛ ویتافیتزی^۲، ۱۹۷۹؛ تاتار و همکاران، ۲۰۰۲؛ رامسی^۳ و همکاران، ۲۰۰۸). بالآمدگی و کوتاه شدگی زاگرس ابتدا از شمال شرق زاگرس (کمربند رورانده) شروع شده و به سمت جنوب غرب (زاگرس چین خورده و دشت خوزستان) پیش روی نموده است (بربریان، ۱۹۹۵). زاگرس چین خورده شامل مجموعه طاقدیس‌ها و ناویدیس‌های متواالی است که از سمت شمال شرق به سمت جنوب غرب جوانتر شده و سن چین‌ها کمتر می‌شود. به عبارتی دیگر، چین‌ها به سمت شمال شرق قدیمتر و بنابراین، بیشتر تحت تأثیر تکتونیک و شکستگی و فرسایش قرار گرفته‌اند، در حالی که چین‌ها به سمت جنوب غرب (استان خوزستان) جدیدتر، سالمتر و بنابراین، کمتر تحت تأثیر فرسایش قرار گرفته‌اند.

ژئومورفولوژی چین‌های زاگرس دارای رابطه زیادی با ابعاد مخازن نفتی و امکان فرار مخازن نفتی هستند، به طوری‌که در طاقدیس‌های جوانتر و با طول موج کمتر و فرسایش و شکستگی کمتر، مخازن نفتی باقی مانده‌اند، در حالی که در طاقدیس‌های قدیمتر و شکسته‌تر، مخازن نفتی خارج شده‌اند. در زمینه رابطه بین عوامل ژئومورفولوژیک با تشکیل و اکتشاف مخازن هیدروکربنی مطالعات محدودی انجام شده است که از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

اولین بار لاتمن^۴ در سال ۱۹۵۹ در مقاله جالبی با عنوان "ژئومورفولوژی: ابزاری جدید در اکتشاف نفت و گاز" نقش پارامترها و تکنیک‌های ژئومورفولوژی را در اکتشاف نفت و گاز بررسی کرد. به نظر او الگوهای زهکشی می‌توانند ساختمانهای زیرزمینی را مشخص کرده و براساس آن تلههای نفتی زیرزمینی را شناسایی کرد. بررسی‌های مارتین^۵ (۱۹۶۶) نشان داد که بسیاری از مخازن نفتی در اشکال و لندفرم‌های قدیمی یافت می‌شوند. به نظر او شناخت تکنیک‌های ژئومورفولوژی مانند الگوی زهکشی نقش مهمی در اکتشاف نفت ایفا می‌کند. ایلهان^۶ در سال ۱۹۶۷ در مقاله خود با عنوان "چین خوردگی‌های تورس - زاگرس و ارتباط آن با میدان‌های نفتی خاورمیانه" مشخص نمود که حوضه‌های نفتی در فرورفتگی و منطقه حاشیه فلات قاره در جنوب غرب و نواحی ساحلی ایران تشکیل شده‌اند. به نظر او ساختارهای فلات قاره‌ای ناپایدار (در فرورفتگی‌های بیرونی زاگرس)، که از طاقدیس‌های وسیع با پهلوهای کم شیب تشکیل شده‌اند، دارای مقادیر عظیمی نفت هستند که زیر پوششی از سنگ‌های نمکی و آهک متراکم محفوظ مانده‌اند. مطالعات کلمن-سد^۷ (۱۹۷۸) نشان داد که تلههای نفت طاقدیسی ایران و شمال شرق عراق در کمربند ساده چین خورده هستند. بررسی او نشان داد که شکستگی‌ها و درزهای مربوط به سطح خنثی در مدل چین خوردگی سطح خنثی نقش مهمی را در مهاجرت نفت در این کمربند ایفا کرده‌اند. کنته^۸ (۱۹۸۸) کاربرد شواهد ژئومورفولوژیکی را در اکتشاف نفت در دشت آسام هند بررسی نمود. او بر اساس تصاویر ماهواره‌ای لندست دشت آسام را به پنج زون

1- Falcon

2 - Vita-Finzi

3 - Ramsey

4 - Latman

5 - Martin

6 - Ilhan

7 - Colman-Sadd

8 - Kunte

ژئومورفولوژیکی تقسیم نمود و با تحلیل الگوی زهکشی نشان داد که زون پدیمنت بالاترین پتانسیل اکتشاف هیدروکربن را دارد. میترا و آگاروال^۹ (۱۹۹۱) کاربرد شواهد ژئومورفولوژیکی را در اکتشاف منابع نفتی در حوضه کاوری در جنوب هند ارزیابی کردند. مطالعات آنها با استفاده از تفسیر تصاویر ماهواره ای IRS نشان داد که شکستگی-ها و ناهنجاری‌های زهکشی نقش مهمی در مهاجرت و تجمع هیدروکربن‌ها ایفا می‌نمایند. پروست^{۱۰} در سال ۱۹۹۲ در مقاله‌ای با عنوان "ژئومورفولوژی ساختمانی و اکتشاف نفت" اظهار می‌دارد که طاقدیس‌ها، گبدها و هورست‌ها، ساختارهای خیلی مهمی برای جستجوی مخازن نفت و گاز هستند.

به طور کلی، تشکیل مخازن نفتی در زاگرس تحت تاثیر عوامل مختلفی مانند: چینه شناسی، ساختمان، سن زمین شناسی و مورفولوژی چینهاست. با توجه به اینکه مطالعه حاضر کاربرد ویژگی‌های مورفولوژیکی طاقدیس‌ها را در اکتشاف نفت مورد تأکید قرار می‌دهد، وجود و یا عدم نفت در طاقدیس‌های مورد مطالعه بیانگر عدم تاثیر عوامل دیگر(چینه شناسی، ساختمان، سن زمین شناسی) در تشکیل مخازن نفتی نیست.

با توجه به اینکه مطالعات مربوط به نقش ژئومورفولوژی در اکتشاف نفت در ایران بسیار محدود است، در این تحقیق سعی شده است نقش ژئومورفولوژی ساختمانی در اکتشاف منابع نفتی دو طاقدیس بانکول(دارای نفت) و دنه خشک(بدون نفت) بررسی شود.

منطقه مورد مطالعه

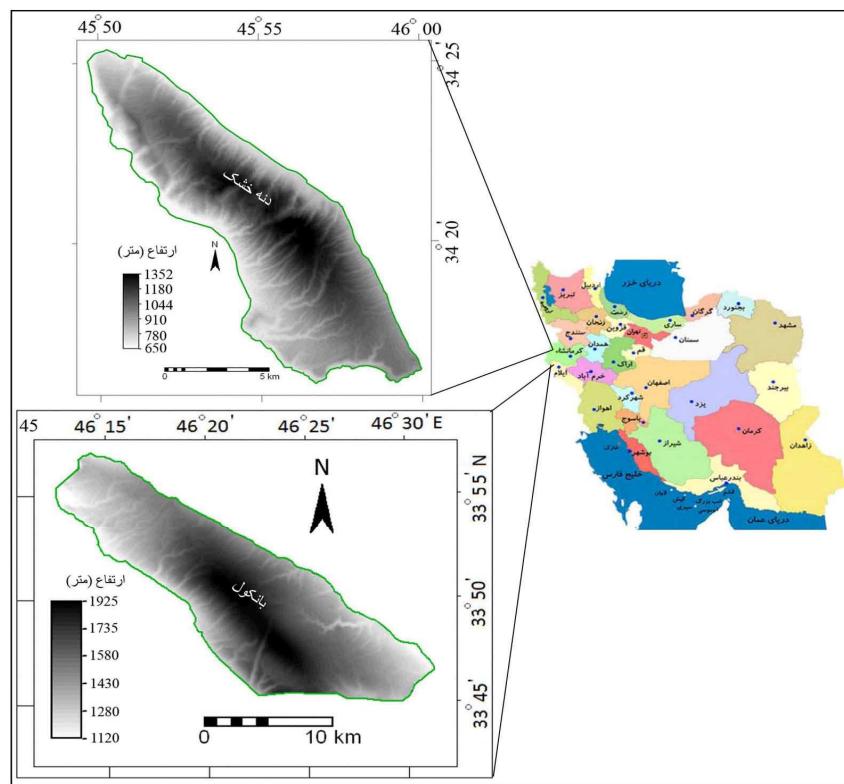
طاقدیس‌های بانکول و دنه خشک از نظر زمین شناسی بخشی از زون ساختمانی زاگرس چین خورده محسوب می‌شود. طاقدیس بانکول، در استان ایلام، و طاقدیس دنه خشک، در استان کرمانشاه قرار دارند. روند چین‌های این محدوده، مانند زاگرس، شمال غرب - جنوب شرق است. طاقدیس بانکول دارای فرود محوری دو طرفه است. قسمت جنوب شرقی آن مرتفع تر از بخش شمال غربی آن است. حداکثر ارتفاع طاقدیس ۱۹۲۵ متر است که تقریباً در قسمت-های مرکزی آن است و حداقل ارتفاع آن در بخش شمالی در انتهای فرود محوری طاقدیس، ۱۱۲۰ متر است(شکل ۱). به علت شب تپیوگرافی ملایم دامنه‌ها، الگوی شبکه زهکشی شبکه درختی در آن دیده می‌شود(شکل ۲). به طور کلی این طاقدیس دارای یال‌های با شب ساختمانی نسبتاً هموار است(شکل ۳). دامنه‌های این طاقدیس با شب ملایمی از طرف جنوب غرب به ناویدیس ایوان غرب محدود می‌گردد.

طاقدیس دنه خشک بین شهرستان سرپل ذهاب و گیلان غرب قرار گرفته است. مرتفع ترین نقطه طاقدیس، ۱۳۵۲ متر در بخش مرکزی آن و پست ترین نقطه آن، ۶۵۰ متر در شمال غرب آن قرار دارد(شکل ۱). شب ساختمانی لایه‌ها در طاقدیس مذکور بسیار متغیر است. در بخش شمال غربی، دامنه شمال شرقی کم شب تر از دامنه جنوب غربی است. در بخش مرکزی طاقدیس، در دامنه جنوب غربی آن، عملکرد یک گسل معکوس باعث ایجاد یک فورفتگی جزئی و انحراف مسیر آبراهه‌ها، موازی با محور طاقدیس شده است(شکل ۴). در بخش جنوب شرقی، دامنه شمال شرقی

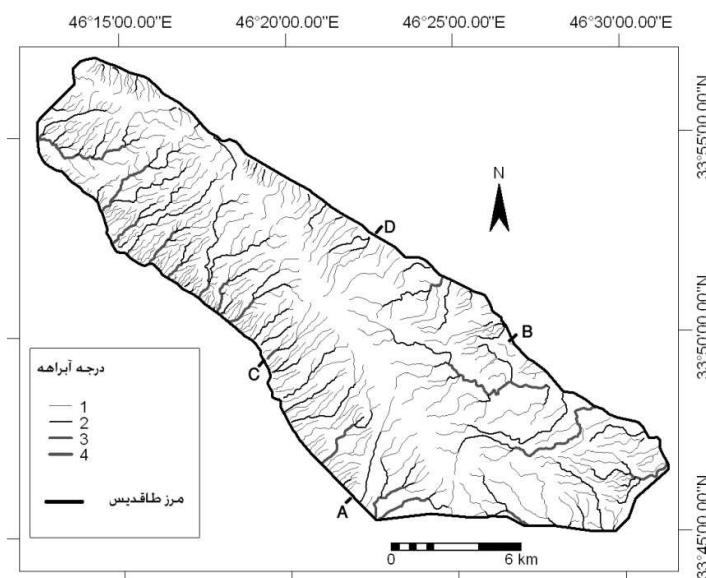
9 - Mitra and Agarwal

10 - Prost

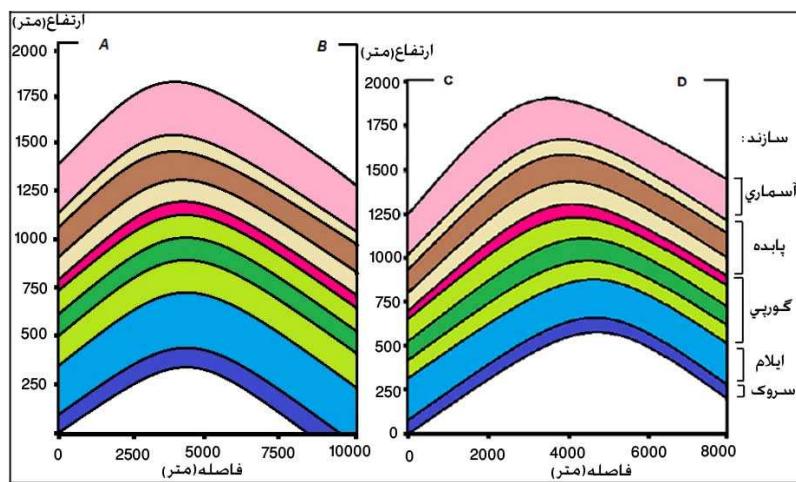
طاقدیس پرشیب تر از دامنه جنوب غربی آن است (شکل ۵). از نظر چینه شناسی تمامی طاقدیس های مورد مطالعه از سازند آهکی آسماری تشکیل شده اند.



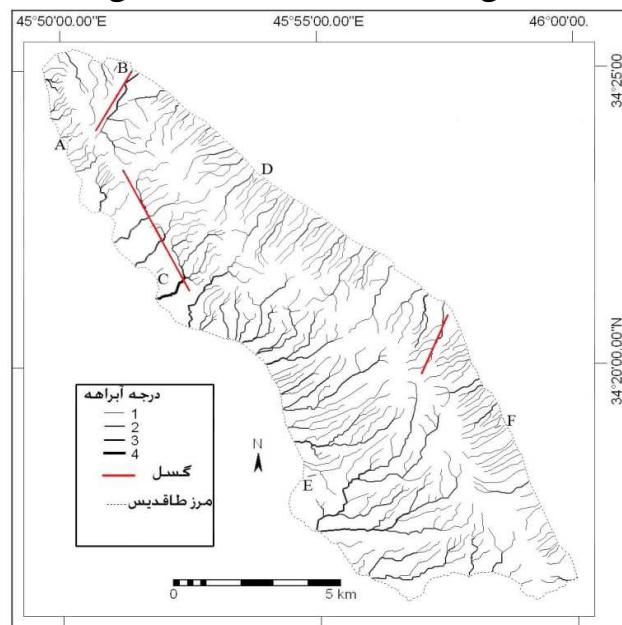
شکل ۱) موقعیت و توپوگرافی طاقدیس های مورد مطالعه



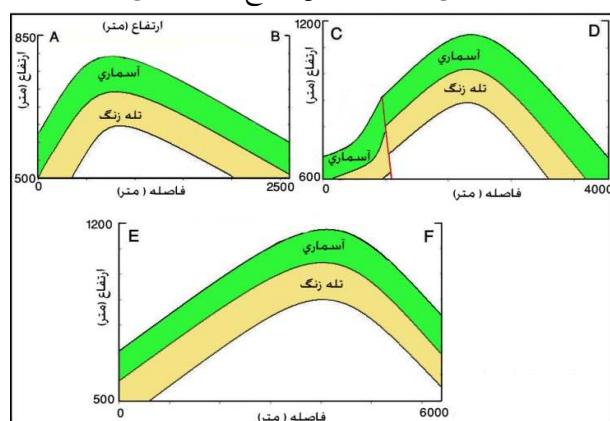
شکل ۲) نقشه شبکه زهکشی و محل مقاطع زمین شناسی طاقدیس بانکول



شکل ۳) مقاطع زمین شناسی طاقدیس بانکول (محل مقاطع در شکل ۲)



شکل ۴) نقشه شبکه زهکشی، گسلها و محل مقاطع زمین شناسی طاقدیس دنه خشک



شکل ۵) مقاطع زمین شناسی در شمال غرب، مرکز و جنوب غرب طاقدیس دنه خشک (محل مقاطع در شکل ۴)

روش کار

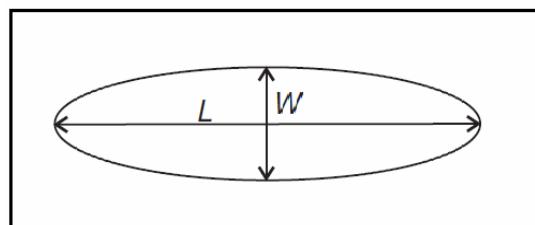
برای بررسی رابطه بین ژئومورفولوژی و منابع نفتی طاقدیس‌ها، ابتدا نقشه‌های زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ و ۱:۲۵۰۰۰ شرکت ملی نفت ایران تهیه و مقاطع زمین شناسی طاقدیس‌ها استخراج گردید. نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰ طاقدیس‌های مورد مطالعه در محیط نرم افزار ILWIS رقومی گردید و نقشه سطوح ارتفاعی طاقدیس‌ها تهیه شد. برای ترسیم دقیق شبکه زهکشی، ابتدا تصویر ماهواره‌ای Quickbird از نرم افزار Google Earth ژئورفرنس شد و آبراهه‌های استخراج شده از نقشه توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰ اصلاح و تکمیل گردید. درجه بندی آبراهه‌ها به روش استراهله انجام و طول آبراهه‌ها با درجات مختلف محاسبه شد. ترسیم سطوح مثاثی شکل طاقدیس، محاسبه شاخص سینوسیتۀ جبهه چین^{۱۱} (FFS) و شاخص تقارن چین^{۱۲} (FSI) بر اساس تصویر ماهواره‌ای Quickbird و کنترل میدانی انجام شد. در نهایت، ارتباط تمامی پارامترهای ژئومورفیک و تکتونیکی با تشکل مخازن نفتی در طاقدیس‌های دارای نفت و بدون نفت، و همچنین، نقش پارامترهای فوق در فرار یا تخلیه مخازن نفتی تجزیه و تحلیل گردید.

یافته‌های پژوهش شاخص نسبت جهت

یکی 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 در فهم ارتباط بین ریخت شناسی سطح زمین و تشکیل منابع نفتی طاقدیس‌ها دارد. شاخص نسبت جهت^{۱۳} (AR) عبارت است از نسبت طول به عرض مشخص در یک طاقدیس (شکل ۶) و از رابطه زیر به دست می‌آید (باربری^{۱۴} و همکاران، ۲۰۰۸):

$$AR = \frac{L}{W}$$

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



شکل ۶) روش محاسبه شاخص نسبت جهت به طور شماتیک (باربری و همکاران، ۲۰۰۸)

میزان بالای این شاخص نشان دهنده فعالیت تکتونیک بالا و میزان کم آن نیز کاهش این فعالیت زمین‌ساختی را نشان می‌دهد. مقدار شاخص مذکور در طاقدیس‌های مورد مطالعه در جدول ۱ ارائه شده است.

۱۱ - Fold front sinuosity

۱۲ - Fold Symmetry index

۱۳ - Aspect Ratio

۱۴ - Burberry

جدول ۱) مقادیر پارامترهای مربوط به شاخص نسبت جهت (AR) در طاقدیس‌های مطالعاتی

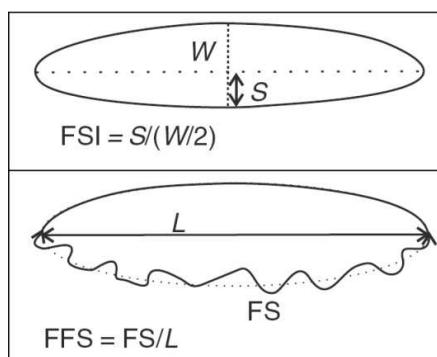
AR	W(km)	L(km)	نام طاقدیس
۲/۹۵	۱۰/۹۶	۳۲/۳۱	بانکول
۳/۳۲	۶/۹۳	۲۳	دنه خشک

شاخص تقارن چین

شاخص تقارن چین نشان دهنده میزان نابرابری دو یال طاقدیس و در نتیجه میزان فعالیت تکتونیکی منطقه است. شاخص تقارن چین (FSI) از تقسیم (FS) (عرض پهلوی کوتاهتر طاقدیس) بر نصف عرض طاقدیس ($W/2$) به دست می آید (شکل ۷). در یک طاقدیس کاملاً متقارن، مقدار این شاخص یک است، در حالی که در یک طاقدیس نامتقارن، مقدار شاخص مذکور کمتر از یک است (باربری و همکاران، ۲۰۱۰). هر چه مقدار این شاخص کمتر از عدد یک باشد نشان دهنده فعل بودن نیروهای زمین ساخت در ناحیه است که به ایجاد طاقدیس نامتقارن، با طرفین پرشیب و با شکستها و گسل‌ها منجر می‌شود. مقدار زیاد این شاخص بیانگر عدم تاثیرگذاری فعالیت‌های تکتونیکی و شکل‌گیری طاقدیس‌ها به شکل متقارن است. مقدار شاخص مذکور برای طاقدیس بانکول ۹۲ درصد و برای طاقدیس دنه خشک ۷۶ درصد به دست آمده است که بیانگر تاثیرگذاری تکتونیک در طاقدیس بانکول است.

شاخص سینوسیته جبهه چین

شاخص سینوسیته جبهه چین (FFS) نیز نشان دهنده درجه فعالیت‌های تکتونیکی یا سن سیستم چین خوردگی است. شاخص مذکور از نسبت طول جبهه طاقدیس (FS) به طول طاقدیس (L) به دست می‌آید (شکل ۷). مقدار کم این شاخص، نشان دهنده چین خوردگی‌های جوان است، در حالی که مقدار بالای شاخص مذکور نشان دهنده جبهه‌های فرسایش یافته یا چین خوردگی‌های قدیمی است (باربری و همکاران، ۲۰۱۰). مقدار محاسبه شده شاخص FFS برای طاقدیس‌های مورد مطالعه در جدول ۲ ارائه شده است.



شکل ۷) روش محاسبه FSI و FFS به طور شماتیک (منبع: باربری و همکاران، ۲۰۱۰)

جدول (۲) مقدار شاخص سینوسیتہ جبهه چین (FFS) در طاقدیس‌های مطالعاتی

نام طاقدیس	L(km)	FS(km)	FFS
بانکول	۳۲/۳۱	۴۰/۶۴	۱/۲۶
دنه خشک	۲۳	۳۴/۱	۱/۴۸

تراکم زهکشی

تراکم زهکشی (D_d)، نسبت طول آبراهه‌ها به مساحت در یک منطقه مشخص است و از رابطه زیر به دست می‌آید (توکر^{۱۵} و همکاران، ۲۰۰۱):

$$D_d = \frac{\sum L_i}{A}$$

که در آن Li ، طول هر یک از آبراهه‌های حوضه اعم از آبراهه‌های دائم و غیر دائم به کیلومتر و A ، مساحت منطقه بر حسب کیلومتر مربع است. تراکم زهکشی بالا بویژه آبراهه‌های درجه ۱، نشان دهنده فعالتر بودن مناطق از نظر تکتونیکی است (زوچوویکز^{۱۶}، ۱۹۹۸)؛ به طوری که در مناطق دارای بالا آمدگی سریع، تنها شبکه‌های درجه ۱ توسعه می‌یابند. در طاقدیس‌های با بالا آمدگی آرامتر و عرض بیشتر، شبکه‌های زهکشی با درجات بالاتر نیز توسعه می‌یابند. در این تحقیق طول آبراهه‌های با درجات مختلف تعیین شد. همچنین، تراکم زهکشی برای آبراهه‌های درجه ۱ نیز به دست آمد. جدول ۳ میانگین تراکم زهکشی آبراهه‌های درجه ۱ در طاقدیس‌های مطالعاتی را نشان می‌دهد. همان‌گونه که جدول ۳ نشان می‌دهد، تراکم زهکشی تمامی درجات آبراهه‌ها در طاقدیس دنه خشک بیشتر از بانکول به دست آمده است. همچنین، تراکم زهکشی آبراهه‌های درجه ۱ در طاقدیس دنه خشک بیشتر از طاقدیس بانکول است.

جدول (۳) تراکم زهکشی تمامی درجات و آبراهه‌های درجه ۱ در طاقدیس‌های مطالعاتی

نام طاقدیس	تراکم زهکشی آبراهه درجه ۱ (کیلومتر در کیلومتر مربع)	تراکم زهکشی تمام درجات (کیلومتر در کیلومتر مربع)
بانکول	۱/۷۳	۲/۲۳
دنه خشک	۲/۲	۳/۲

الگوی زهکشی

الگوی زهکشی، فرم و چگونگی به هم پیوستن آبراهه‌ها را نشان می‌دهد و ارتباط نزدیکی با تکتونیک و بالا آمدگی طاقدیس‌ها دارد (رامسی و همکاران، ۲۰۰۸). با توجه به اینکه تمامی طاقدیس‌های مورد مطالعه از نظر لیتولوژی یک-

15 - Tucker

16 - Zuchiewicz

دست هستند(سازند آسماری)، به نظر می‌رسد که تغییرات در الگوی زهکشی ناشی از تغییرات تکتونیکی طاقدیس‌ها باشد. برای بررسی الگوی زهکشی طاقدیس‌ها، ابتدا آبراهه‌های موجود در روی طاقدیس‌های مورد مطالعه ترسیم گردید. شکل ۴ نشان می‌دهد که الگوی زهکشی طاقدیس دنه خشک بیشتر شامل الگوهای موازی و راست گوش است که نشان دهنده تاثیرگذاری فعالیت‌های زمین ساخت به صورت گسل و شکستگی در این طاقدیس است. شکل ۲ نشان می‌دهد که الگوی زهکشی طاقدیس بانکول از نوع شبکه درختی است. این موضوع بیانگر آن است که در این طاقدیس به علت شبکه درختی پهلوی طاقدیس، شبکه آبراهه‌ها به صورت شبکه درختی تکامل یافته است. وجود الگوی شبکه درختی در طاقدیس بانکول نشان می‌دهد که بالا آمدگی آن به آرامی انجام شده و کمتر تحت تاثیر فشار-های شدید تکتونیکی قرار گرفته است.

سطحه مثلثی شکل

سطحه مثلثی شکل از جمله اشکال ژئومورفولوژیکی هستند که در جبهه کوهستان‌های متأثر از گسل و فشارهای تکتونیکی تشکیل می‌شوند (منگر^{۱۷}، ایس^{۱۸}؛ همکاران، ۱۹۹۹؛ پیت^{۱۹} و همکاران ۲۰۰۹؛ اسموندسن^{۲۰} و همکاران، ۲۰۱۰). اشکال مذکور محصول عملکرد فرآیندهای درونی در مقابل فرآیندهای بیرونی هستند. به نظر ولز^{۲۱} و همکاران (۱۹۸۸) سطوح مثلثی، در جبهه کوهستان‌های گسلی بین دو آبراهه شکل می‌گیرند. اشکال مذکور دارای شکل مثلثی و در مواردی چند ضلعی هستند. جبهه‌های کوهستانی با تکتونیک شدیدتر، دارای سطوح مثلثی بزرگتر و پر شبیب‌تر و دارای قاعده طولانی تری هستند، در حالی که جبهه‌های کوهستانی با تکتونیک ضعیف‌تر، به علت تاثیر فرسایش بیشتر زهکش‌ها، دارای سطوح مثلثی کوچکتر، کمتر و با قاعده کوچکتر و یا حتی فاقد آن هستند.

بررسی این پژوهش نشان می‌دهد که سطوح مثلثی، تنها در طاقدیس دنه خشک تشکیل شده اند(شکل ۸). در طاقدیس بانکول، به علت شبکه ساختمانی ملایم تر سطوح مذکور تشکیل نشده اند. بر اساس تصاویر ماهواره‌ای، تعداد ۴۰ سطحه مثلثی در طاقدیس دنه خشک، مشخص و ترسیم گردید(شکل ۸) و سپس مساحت، طول قاعده و شبیب توپوگرافی سطوح مثلثی به دست آمد(جدول ۴). بررسی جدول ۴ بیانگر وجود سطوح بزرگتر و با قاعده‌های طولانی تر در دامنه‌های پر شبیب طاقدیس است.

نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با هدف بررسی رابطه بین ژئومورفولوژی و پتانسیل اکتشاف نفت، ویژگی‌های ژئومورفولوژی کمی طاقدیس دارای نفت بانکول و طاقدیس بدون نفت دنه خشک را ارزیابی کرده است. مخزن نفتی طاقدیس بانکول در غرب شهرستان ایوان‌غرب واقع شده است. راس طاقدیس بانکول تماماً از سازند آسماری تشکیل شده است. سازند نفتی این طاقدیس، ایلام و سروک است. عمق حفر سازند ایلام از سطح دریا ۱۸۲/۷۴ متر و سروک ۱۳۰/۲۶ متر است.

17 - Menges

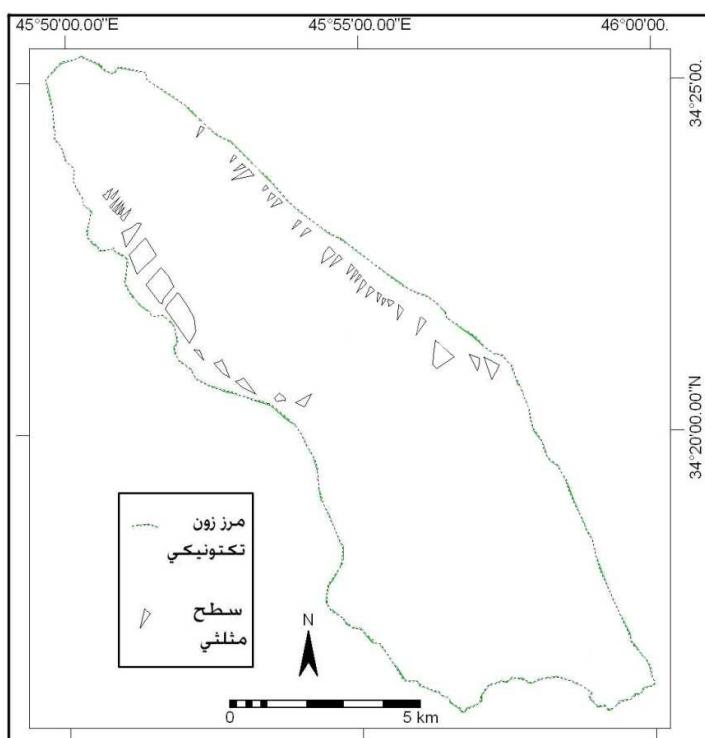
18 - Ellis

19 - Petit

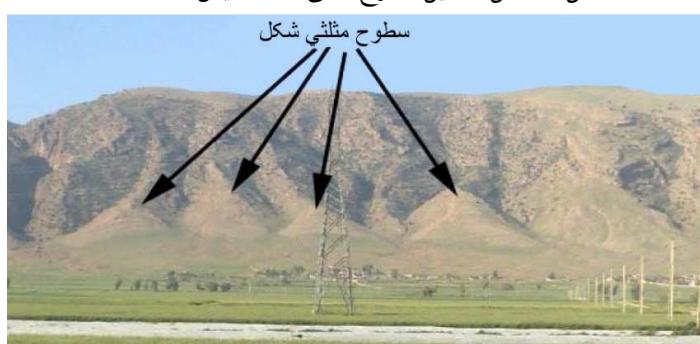
20 - Osmundsen

21 - Wells

طاقدیس بدون نفت دنه خشک نیز تماماً از سازند آسماری تشکیل شده است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که مقدار پارامترهای ژئومورفولوژیکی طاقدیس‌ها مانند شاخص نسبت جهت (AR)، شاخص تقارن چین (FSI)، شاخص سینوسیته جبهه چین (FFS) و تراکم زهکشی (Dd) در طاقدیس نفتی بانکول و طاقدیس غیر نفتی دنه خشک با هم کاملاً متفاوت هستند. همان‌گونه که جدول ۱ نشان می‌دهد، مقدار بالاتر شاخص AR در طاقدیس دنه خشک (۳,۳۲) بیانگر فشردگی بیشتر طاقدیس مذکور نسبت به طاقدیس بانکول است. به عبارتی دیگر، طاقدیس دنه خشک تحت تاثیر تکتونیک شدیدتر، دارای عرض کمتر و طول بیشتر است. مقدار پایین تر AR در طاقدیس بانکول (۲/۹۵) نشان دهنده این واقعیت است که طاقدیس بانکول کمتر تحت تاثیر فشردگی تکتونیکی قرار گرفته و دارای عرض بیشتری نسبت به طاقدیس دنه خشک است.



شکل ۸) محل تشکیل سطوح مثلثی در طاقدیس دنه خشک



شکل ۹) نمونه‌ای از سطوح مثلثی شکل در دامنه جنوب غربی طاقدیس دنه خشک

جدول ۴) سطوح مثلثی و مشخصات مربوط به آنها در طاقدیس دنه خشک

شیب توپوگرافی سطح مثلثی به درصد	مساحت سطح مثلثی (متر مربع)	طول قاعده مثلث (متر)	شماره سطح مثلثی	شیب توپوگرافی سطح مثلثی به درصد	مساحت سطح مثلثی (متر مربع)	طول قاعده مثلث (متر)	شماره سطح مثلثی
۲۴۵	۵۵۶۱۵	۲۴۵	۲۱	۴۶۶	۱۲۶۰۵۳	۴۶۶	۱
۱۶۶	۲۸۶۳۵	۱۶۶	۲۲	۲۲۲	۳۰۸۵۸	۲۲۲	۲
۱۳۴	۲۱۲۳۹	۱۳۴	۲۳	۶۵۰	۱۶۸۰۲۵	۶۵۰	۳
۲۲۲	۴۳۱۷۹	۲۲۲	۲۴	۲۴۹	۶۷۶۰۳	۲۴۹	۴
۲۳۰	۴۲۳۲۰	۲۳۰	۲۵	۱۸۳	۲۹۸۲۹	۱۸۳	۵
۷۴	۹۳۹۸	۷۴	۲۶	۱۳۷	۱۹۵۲۲	۱۳۷	۶
۱۰۷	۱۶۶۳۸	۱۰۷	۲۷	۱۰۳	۱۱۵۳۶	۱۰۳	۷
۵۹	۹۷۰۵	۵۹	۲۸	۱۴۴	۲۳۵۴۴	۱۴۴	۸
۵۷	۸۰۹۴	۵۷	۲۹	۲۰۶	۳۷۹۰۴	۲۰۶	۹
۵۴	۶۳۹۹	۵۴	۳۰	۱۳۷	۲۷۰۵۷	۱۳۷	۱۰
۱۰۴	۱۴۰۹۲	۱۰۴	۳۱	۱۰۵	۱۵۴۸۷	۱۰۵	۱۱
۴۴۶	۱۰۷۰۴۰	۴۴۶	۳۲	۹۴	۱۴۴۲۹	۹۴	۱۲
۵۹۳	۱۸۵۶۴۴	۵۹۳	۳۳	۱۴۳	۲۱۹۵۰	۱۴۳	۱۳
۵۹۵	۱۸۷۹۶۸	۵۹۵	۳۴	۱۳۸	۳۷۱۹۱	۱۳۸	۱۴
۱۰۵۲	۳۹۷۶۲۰	۱۰۵۲	۳۵	۲۸۵	۶۸۱۱۵	۲۸۵	۱۵
۴۹۲	۲۶۰۱۸	۴۹۲	۳۶	۱۶۴	۲۷۸۸۰	۱۶۴	۱۶
۵۰۸	۶۴۰۰۸	۵۰۸	۳۷	۱۸۰	۲۹۵۲۰	۱۸۰	۱۷
۴۶۹	۴۰۵۶۸	۴۶۹	۳۸	۲۴۹	۷۱۴۶۳	۲۴۹	۱۸
۳۵۶	۲۶۷۰۰	۳۵۶	۳۹	۱۲۳	۱۸۵۷۳	۱۲۳	۱۹
۲۷۵	۵۷۸۸۷	۲۷۵	۴۰	۲۴۸	۴۸۴۸۴	۲۴۸	۲۰

به نظر می رسد که این ویژگی تأثیر زیادی روی تجمع نفت در نفتگیرهای طاقدیس بانکول گذاشته است؛ به طوری که مخازن نفتی گستردگی در طاقدیس هایی واقع شده اند که دارای پهناه بیشتر و نسبت طول به عرض (AR) کمی باشند. مقدار کم شاخص FSI در طاقدیس دنه خشک (۷۶٪) نشان دهنده میزان نابرابری دو یال طاقدیس و یا فشردگی بیشتر آن است. مقدار بالای شاخص مذکور در طاقدیس بانکول بیانگر تقارن یال های چین، جوانتر بودن و فشارهای تکتونیکی کمتر نسبت به طاقدیس دنه خشک است. به طور کلی، مقدار کمتر شاخص FSI در طاقدیس دنه خشک نشان می دهد که میزان فعالیت تکتونیکی در آن بسیار بالا بوده و این امر عامل اصلی فرار نفت از شکستگی ها بوده است. مقدار پایین شاخص FFS در طاقدیس بانکول (۲۶٪)، نشان دهنده جوانتر بودن چین خوردگی آن است؛ در حالی که مقدار بالاتر شاخص مذکور در طاقدیس دنه خشک، نشان دهنده جهه های فرسایش یافته یا چین خورگی های قدیمی است که این امر نقش مهمی در خروج منابع نفتی آن ایفا نموده است.

بررسی تراکم زهکشی طاقدیس ها نشان می دهد که طاقدیس دنه خشک به علت بالا آمدگی سریع تر و شیب بیشتر

دارای تراکم زهکشی بالاتری نسبت به طاقدیس جوانتر بانکول (با بالا آمدگی ملایم تر و شیب کمتر) است. الگوی زهکشی طاقدیس دنه خشک بیشتر شامل الگوهای موازی و راست گوشه است که نشان دهنده بالا آمدگی سریع تر و تاثیرگذاری فعالیت‌های زمین ساخت به صورت گسل و شکستگی در این طاقدیس است؛ در حالی که الگوی زهکشی طاقدیس بانکول بیشتر از نوع شبکه درختی است. الگوی شبکه درختی در طاقدیس بانکول نشان می‌دهد که بالا آمدگی آن به آرامی انجام شده و کمتر تحت تاثیر فشارهای شدید تکتونیکی قرار گرفته است.

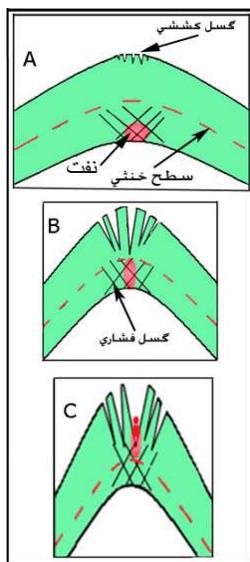
بررسی این پژوهش همچنین نشان داد که در جبهه طاقدیس دنه خشک، به علت فعالیت تکتونیکی شدیدتر، وجود دیواره‌های پر شیب و گسل معکوس، اشکال ژئومورفیک خاصی به نام سطوح مثلثی تشکیل شده اند. همان‌گونه که جدول ۴ نشان می‌دهد، تعداد ۴۰ سطح مثلثی در دامنه‌های پر شیب طاقدیس دنه خشک ایجاد شده است. بررسی داده‌ها نشان می‌دهد که با افزایش شیب لایه‌ها، سطوح مثلثی بزرگتر و با قاعده طولانی تر تشکیل شده اند. به طور کلی وجود سطوح مثلثی شکل در جبهه طاقدیس دنه خشک، بیانگر تاثیرگذاری بیشتر تکتونیک و عدم این اشکال در طاقدیس بانکول نشان دهنده جوانی و تکتونیک ضعیفتر طاقدیس مذکور است.

کولمن - سد در سال ۱۹۷۸ در توجیه مکانیسم چین خوردگی واحد زاگرس چین خورده، دو نوع مکانیسم به نامهای مکانیسم چین خوردگی لغزش - خمش^{۲۲} و سطح - خشی^{۲۳} را ارائه کرد. در مکانیسم سطح - خشی حداکثر تغییر شکل در محور چین و حداقل تغییر شکل در پهلوی چین اتفاق می‌افتد. سطح خشی، سطحی است که هیچ نوع تغییر شکلی در آن ایجاد ننمی‌شود. در محور طاقدیس‌ها، بالاتر از سطح خشی، کشیدگی وجود دارد؛ در حالی که پایین تر از آن مکانیسم فشاری حاکم است. در مکانیسم لغزش - خمش، حداکثر تغییر شکل و حرکات لایه‌ها در پهلوهای چین اتفاق می‌افتد. در محور چین، حرکت نسبی و تغییر شکلی اتفاق نمی‌افتد. مطالعات نشان می‌دهد که چین خوردگی زاگرس عموماً از ترکیب دو مکانیسم ذکر شده ایجاد شده اند. چین خوردگی سطح - خشی بیشتر در چین‌هایی ایجاد می‌شود که نسبت طول موج چین بیشتر از ضخامت لایه‌هاست (کولمن - سد، ۱۹۷۸).

به نظر می‌رسد تحلیل و بررسی چین خوردگی زاگرس با مکانیسم سطح - خشی در فهم رابطه بین مخازن نفتی و ژئومورفولوژی بسیار مفید است. چین خوردگی اولیه لایه‌های رسوبی باعث تجمع اولیه نفت در طاقدیس‌ها شده است. همچنانکه شکل ۱۰ نشان می‌دهد، در طاقدیس‌های ملایم، (حالت A) که در مراحل اولیه چین خوردگی قرار دارند، در بالاتر از سطح خشی، گسل‌های کششی و پایین تر از آن، گسل‌های فشاری یا معکوس ایجاد می‌شوند. طاقدیس در این مرحله ملایم و دارای طول موج زیادی است و نفت در آن وجود دارد. با توسعه چین خوردگی و فشردگی بیشتر طاقدیس، سطح خشی به سمت پایین حرکت کرده و گسل‌های کششی نیز به سمت پایین توسعه می‌یابند(حالت B). در مرحله سوم (حالت C)، با فشردگی بیشتر طاقدیس، حرکت بیشتر سطح خشی 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. شکل ۱۰ به طور شماتیک تاثیر تکامل چین خوردگی و جابه‌جایی سطح خشی، توسعه و اتصال درز و شکاف‌ها به هم و به تبع آن فرار نفت از طاقدیس‌های فرسایش یافته قدیمی را نشان می‌دهد.

^{۲۲}-Flexural-Slip Folding

^{۲۳}-Neutral Surface Folding



شکل ۱۰) رابطه بین مراحل مختلف فشردگی طاقدیس‌ها و فرار نفت آنها از طریق توسعه درز و شکاف‌ها

به طور کلی، از جنوب‌غرب به سمت شمال‌شرق زاگرس، طاقدیس‌ها (برای مثال، دنه خشک) فشرده‌تر شده و امکان تکامل درز و شکاف‌ها و اتصال درزهای فشاری اعمق طاقدیس به درزهای کششی رأس طاقدیس ایجاد شده و نفت طاقدیس‌ها طی دوره‌های زمین‌شناسی گذشته خارج شده است؛ در حالی که در طاقدیس‌های فرسایش نیافته با مورفولوژی ملایم‌تر (مانند بانکول) دارای مخازن نفت قابل استخراج هستند.

از مجموع مطالب فوق می‌توان نتیجه گرفت که مقادیر AR^{۲۴}، Dd^{۲۵} و FFS در طاقدیس‌های نفتی مانند بانکول، پایین هستند؛ در حالی که مقادیر FSI آنها بالا است. همچنین، طاقدیس‌های نفتی دارای الگوی زهکشی شبکه درختی و فاقد سطوح مثلثی هستند. بنابراین، شاخص‌های ژئومورفولوژیک مانند شاخص تقارن چین، نسبت جهت، سطوح مثلثی-شکل، سینوسیته جبهه چین، تراکم و الگوی زهکشی، ابزار مناسبی برای تفکیک طاقدیس‌های فعل و غیرفعال از نظر تکتونیکی و بنابراین، شناخت طاقدیس‌های دارای نفت هستند.

منابع

- ۱- سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح. (۱۳۷۶). نقشه‌های توپو گرافی ۱/۵۰۰۰۰ شماره های ۱-۵۱۵۸.
- ۲- شرکت ملی نفت ایران. (۱۳۴۲). نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۲۵۰۰۰ قصر شیرین.
- ۳- شرکت ملی نفت ایران. (۱۹۷۴). نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ ایلام - کوهدهشت - شیت ۲۰۵۰۴
- ۴- شرکت ملی نفت ایران. (۱۳۴۸). نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ شیت جنوب غرب ایران.
- ۵- سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح. (۱۳۵۱). نقشه توپو گرافی با مقیاس ۱/۵۰۰۰۰ شماره (۱) ۵۲۵۷.

^{۲۴}-Aspect ratio

^{۲۵}-Drainage density

- 6- Burberry, 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*, 417-430.
- 7-Burberry, 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*, 139 – 153.
- 8-Berberian, M., 1995. Master "blind" thrust faults hidden under the Zagros folds:active basement tectonics and surface morphotectonics. *Tectonophysics*, 241, 193-224.
- 9- Colman-Sadd, S.P., 1978. Fold development in Zagros simple folded belt, southwest Iran. *AAPG Bull*, 62, 984-1003.
- 10- Falcon, N.L., 1974. Southern Iran: ZagrosMountains. In: Mesozoic- Cenozoic orogenic belts (Geol. Soc. Lond. Spec. Publ., Ed. By A.M. Spencer), 4, 199-212.
- 11- Ellis, M.A., Densmore, A.L., Anderson,R.S., 1999. Development of mountainous topography in the Basin Ranges, USA. *Basin Research*, 11, 21-41.
- 12-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 (1), 15-28.
- 13-Latman, L. H., 1959. Geomorphology: New tool for finding oil and gas, *Oil and gas journal*, 57, 230 – 236.
- 14-Martin, R., 1966. Paleogeomorphology and its application to exploration for oil and gas (with examples from western Canada) , *AAPG Bull.*, v .50, no. 10, p. 2277-2311.
- 15- Ilhan, E., 1967. Toros – Zagros folding and its relation to Middle East oil fields. *AAPG*, 51(5), 651-667.
- 16-Mitra, D. S., Agarwal, 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(4), 263-268.
- 17- Menges, C.M., 1990. Soils and geomorphic evolution of bedrock facets on a tectonically active mountain front, western Sangre de Cristo Mountains, New Mexico. *Geomorphology* 3, 301-332.
- 18- Osmundsen, P.T., Redfield, T.F., Hendriks, B.H.W., Bergh, S., Hansen, J.-a., Henderson, I.H.C., Dehls, J., Lauknes, T.R., Larsen, Y., Anda, E., Davidsen, B., 2010. Fault-controlled alpine topography in Norway. *Journal of the Geological Society*, 167, 83-98.
- 19-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)* .628-630.
- 20- 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, TC6010.
- 21- Ramsey, L.A., Walker, R.T., Jackson, J., 2008. Fold evolution and drainage development in the Zagros mountains of Fars province, SE Iran. *Basin Research*, 20, 23-48.
- 22- Tatar, M., Hatzfeld, D., Martinod, J., Walpersdorf, A., Ghafori-Ashtiani, M. & Chery, J., 2002. The present day deformation of the central Zagros from GPS measurements. *Geophys. Res. Lett*, 29, 1927.
- 23-Tucker, G.E., Catani, F., Rinaldo, A., Bras, R.L., 2001. Statistical analysis of drainage density from digital terrain data. *Geomorphology*, 36, 187–202.
- 24-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, 239–265.
- 25- Vita-Finzi, C., 1979. Rates of Holocene folding in the coastal Zagros near Bandar Abbas, Iran. *Nature*, 278, 632–634.
- 26- Zuchiewicz, W., 1998., Quaternary tectonics of the Outer West Carpathians, Poland. *Tectonophysics*, 297, 121–132