

## کاربرد ژئومورفولوژی در اکتشاف منابع نفتی در طاقدیس‌های بانکول و دنه خشک

### 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 خشک، با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک است. برای دستیابی به این هدف، نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ و زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ و ۱:۲۵۰۰۰۰، رقومی شدند 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، FFS و Dd، مقدار پایین FSI، وجود سطوح مثلثی بزرگ و همچنین، الگوی زهکشی راست گوشه در طاقدیس غیر نفتی دنه خشک نشان دهنده وجود تکتونیک فعالتر این طاقدیس نسبت به طاقدیس بانکول است. نتیجه این تحقیق نشان می‌دهد که عدم نفت در طاقدیس دنه خشک را می‌توان تا حدودی با مکانیسم چین خوردگی سطح-خنتی توجیه نمود. تکامل و فشردگی طاقدیس دنه خشک باعث جابه‌جایی سطح خنتی 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 مورفولوژی فشرده تر و فرسایش یافته تر هستند، در حالی که طاقدیس‌های نفتی، جوانتر، عریض تر و کمتر فرسایش یافته اند.

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

### مقدمه

موقعیت خاص ایران در کمربند کوهزایی آلپ-همالیا 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<sup>۱</sup>، ۱۹۷۴؛ ویتافینزی<sup>۲</sup>، ۱۹۷۹؛ تاتار و همکاران، ۲۰۰۲؛ رامسی<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۰۸). بالا آمدگی و کوتاه شدگی زاگرس ابتدا از شمال شرق زاگرس (کمر بند رورانده) شروع شده و به سمت جنوب غرب (زاگرس چین خورده و دشت خوزستان) پیشروی نموده است (بربریان، ۱۹۹۵). زاگرس چین خورده شامل مجموعه طاق‌دیس‌ها و ناودیس‌های متوالی 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 طوری که 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<sup>۴</sup> 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 بر اساس آن تله‌های نفتی زیرزمینی را شناسایی کرد. بررسی‌های مارتین<sup>۵</sup> (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<sup>۶</sup> 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<sup>۷</sup> (۱۹۷۸) نشان داد که تله‌های نفت طاق‌دیزی ایران و شمال شرق عراق در کمر بند ساده چین - خورده هستند. بررسی او نشان داد که شکستگی‌ها و درزه‌های مربوط به سطح خنثی در مدل چین خوردگی سطح خنثی نقش مهمی را در مهاجرت نفت در این کمر بند ایفا کرده‌اند. کنته<sup>۸</sup> (۱۹۸۸) کاربرد شواهد ژئومورفولوژیکی را در اکتشاف نفت در دشت آسام هند بررسی نمود. او بر اساس تصاویر ماهواره ای 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 پدیمت بالاترین پتانسیل اکتشاف هیدروکربن را دارد. میترا و آگاروال<sup>۹</sup> (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<sup>۱۰</sup> در سال ۱۹۹۲ در مقاله‌ای با عنوان "ژئومورفولوژی ساختمانی و اکتشاف نفت" اظهار می‌دارد که طاقدها، گنبد‌ها 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 چینه‌هاست. با توجه به اینکه مطالعه حاضر کاربرد ویژگی‌های مورفولوژیکی طاقدها را در اکتشاف نفت مورد تاکید قرار می‌دهد، وجود و یا عدم نفت در طاقدهای 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 طاقدهای بانکول (دارای نفت) و دنه خشک (بدون نفت) بررسی شود.

### منطقه مورد مطالعه

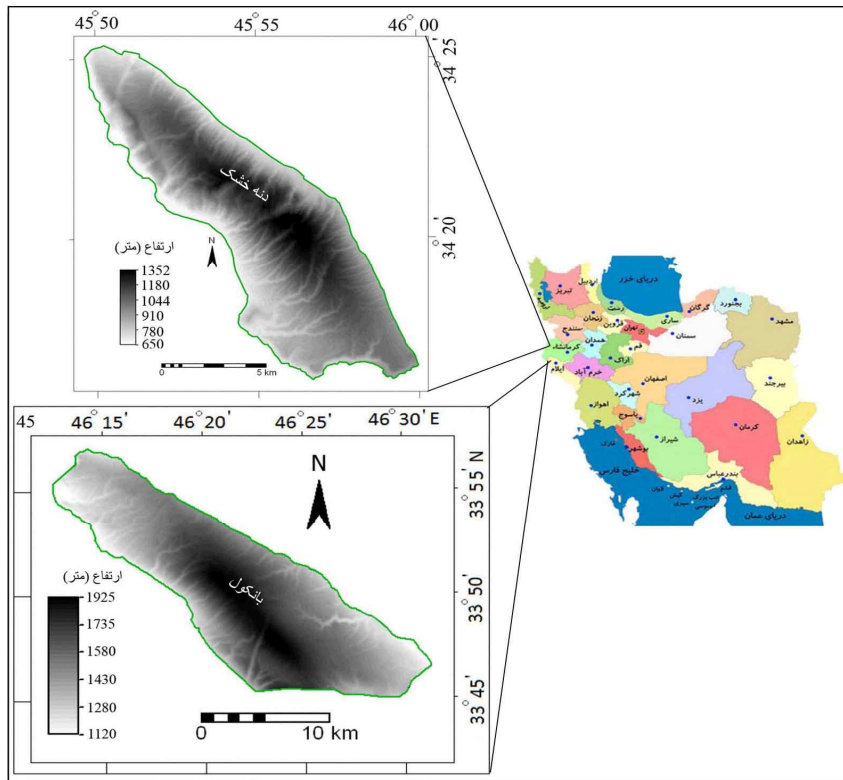
طاقدهای بانکول و دنه خشک از نظر زمین شناسی بخشی از زون ساختمانی زاگرس چین خورده محسوب می‌شود. طاقدهای بانکول، در استان ایلام، و طاقدهای دنه خشک، در استان کرمانشاه قرار دارند. روند چین‌های این محدوده، مانند زاگرس، شمال غرب - جنوب شرق است. طاقدهای بانکول دارای فرود محوری دو طرفه است. قسمت جنوب شرقی آن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

طاقدهای دنه خشک بین شهرستان سرپل ذهاب و گیلان غرب قرار گرفته است. مرتفع‌ترین نقطه طاقدها، ۱۳۵۲ متر در بخش مرکزی آن و پست‌ترین نقطه آن، ۶۵۰ متر در شمال غرب آن قرار دارد (شکل ۱). شیب ساختمانی لایه‌ها در طاقدها مذکور بسیار متغیر است. در بخش شمال غربی، دامنه شمال شرقی کم‌شیب تر از دامنه جنوب غربی است. در بخش مرکزی طاقدها، در دامنه جنوب غربی آن، عملکرد یک گسل معکوس باعث ایجاد یک فرورفتگی جزئی و انحراف مسیر آبراهه‌ها، موازی با محور طاقدها شده است (شکل ۴). در بخش جنوب شرقی، دامنه شمال شرقی

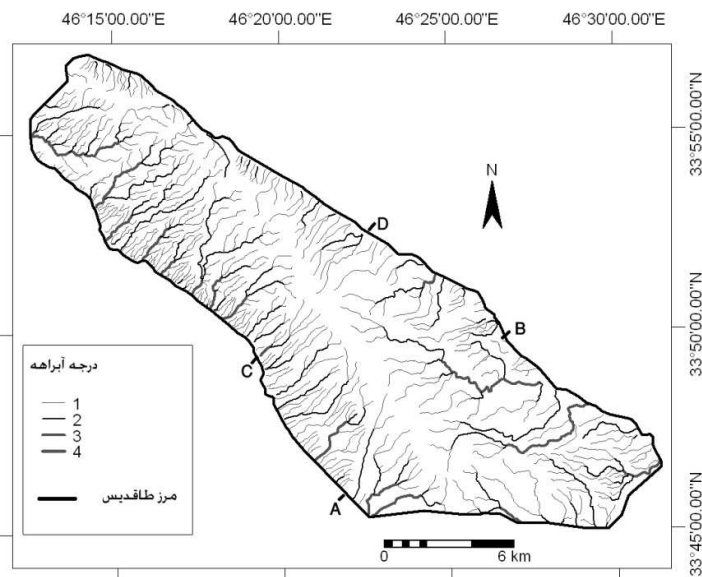
9 - Mitra and Agarwal

10 - Prost

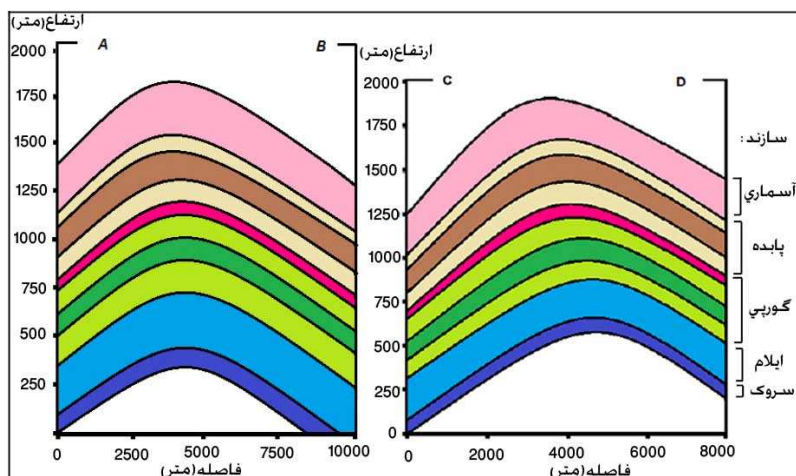
طاقدیس پرشیب تر از دامنه جنوب غربی آن است (شکل ۵). از نظر چینه شناسی تمامی طاقدیس های مورد مطالعه از سازند آهکی آسماری تشکیل شده اند.



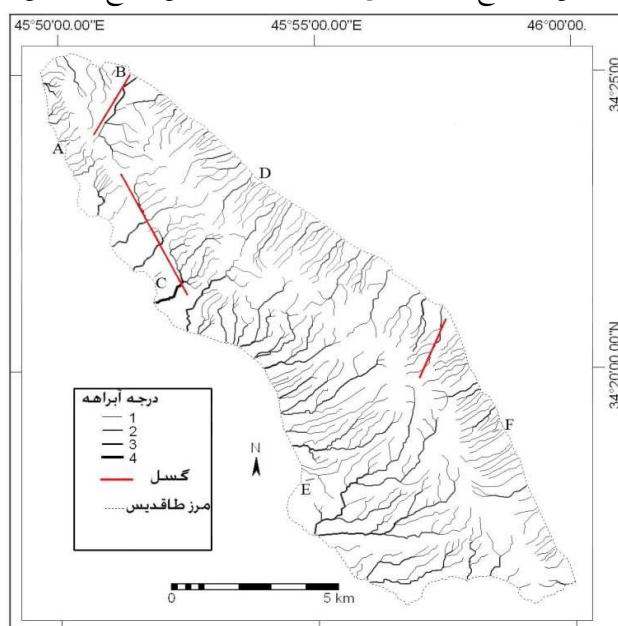
شکل (۱) موقعیت و توپوگرافی طاقدیس های مورد مطالعه



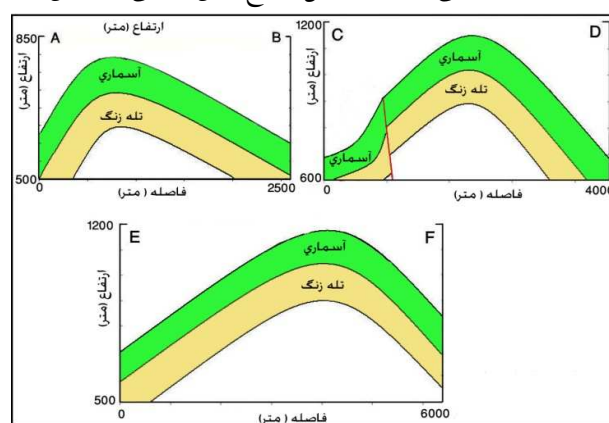
شکل (۲) نقشه شبکه زهکشی و محل مقاطع زمین شناسی طاقدیس بانکول



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 ۱:۲۵۰۰۰۰ و ۱:۱۰۰۰۰۰۰ شرکت ملی نفت ایران تهیه و مقاطع زمین شناسی طاقدیس‌ها استخراج گردید. نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ طاقدیس‌های مورد مطالعه در محیط نرم افزار ILWIS رقومی گردید و نقشه سطوح ارتفاعی طاقدیس‌ها تهیه شد. برای ترسیم دقیق شبکه زهکشی، ابتدا تصویر ماهواره ای 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 استراهلر انجام و طول آبراهه‌ها با درجات مختلف محاسبه شد. ترسیم سطوح مثلی شکل طاقدیس، محاسبه شاخص سینوسیته جبهه چین<sup>۱۱</sup> (FFS) و شاخص تقارن چین<sup>۱۲</sup> (FSI) بر اساس تصویر ماهواره ای Quickbird و کنترل میدانی انجام شد. در نهایت، ارتباط تمامی پارامترهای ژئومورفیک و تکتونیک 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.

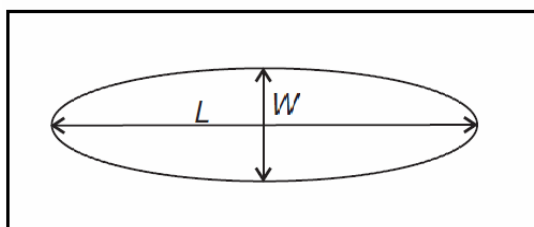
## یافته‌های پژوهش

### شاخص نسبت جهت

یکی از شاخص‌های مورفومتری برای تعیین میزان فعالیت‌های زمین‌ساختی یک منطقه، شاخص نسبت جهت است. از آنجا که میزان فعالیت‌های تکتونیک 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<sup>۱۳</sup> (AR) عبارت است از نسبت طول به عرض مشخص در یک طاقدیس (شکل ۶) و از رابطه زیر به دست می‌آید (باربری<sup>۱۴</sup> 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.

11 - Fold front sinuosity

12 - Fold Symmetry index

۱۳- Aspect Ratio

۱۴- Burbbery

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

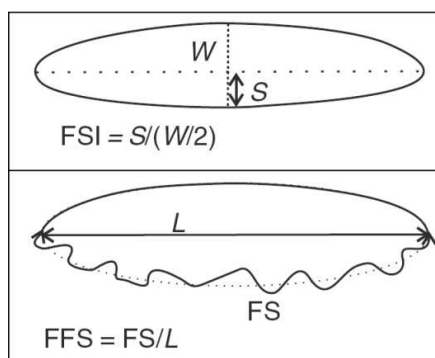
نام طاقدیس	L(km)	W(km)	AR
بانکول	۳۲/۳۱	۱۰/۹۶	۲/۹۵
دنه خشک	۲۳	۶/۹۳	۳/۳۲

### 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 S (عرض پهلوئی کوتا‌تر 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 فعال بودن نیروهای زمین ساخت در ناحیه است که به ایجاد طاقدیس نامتقارن، با طرفین پر شیب و با شکست‌ها و گسل‌ها منجر می شود. مقدار زیاد این شاخص بیانگر عدم تاثیر گذاری فعالیت‌های تکتونیکی و شکل گیری طاقدیس - ها 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 تاثیر کمتر 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 می آید (شکل ۷). مقدار کم این شاخص، نشان دهنده چین خوردگی های جوان است، در حالی که مقدار بالای شاخص مذکور نشان دهنده جبهه های فرسایش یافته یا چین خوردگی های 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 سینوسیته 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<sup>۱۵</sup> و همکاران، ۲۰۰۱):

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

که در آن  $L_i$ ، 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 فعالیت‌ها بودن مناطق از نظر تکتونیکی است (زوجویکنز<sup>۱۶</sup>، 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 می رسد 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 گوشه 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 شیب ملایمتر و عرض بیشتر 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 فشارهای شدید تکتونیکی قرار گرفته است.

### سطوح مثلثی شکل

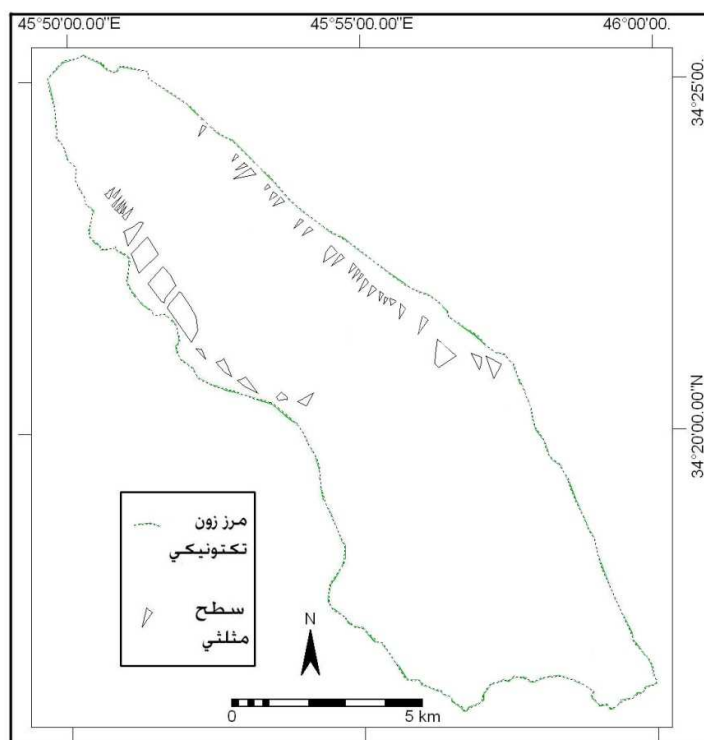
سطوح مثلثی شکل از جمله اشکال ژئومورفولوژیکی هستند که در جبهه کوهستان‌های متأثر از گسل و فشارهای تکتونیکی تشکیل می‌شوند (منگزی<sup>۱۷</sup>، ۱۹۹۰؛ الیس<sup>۱۸</sup> و همکاران، ۱۹۹۹؛ پتیت<sup>۱۹</sup> و همکاران ۲۰۰۹؛ اسموندسن<sup>۲۰</sup> و همکاران، ۲۰۱۰). اشکال مذکور محصول عملکرد فرآیندهای درونی در مقابل فرآیندهای بیرونی هستند. به نظر ولز<sup>۲۱</sup> 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 شیب تر 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 شیب ساختمانی ملایم تر سطوح مذکور تشکیل نشده اند. بر اساس تصاویر ماهواره‌ای، تعداد ۴۰ سطح مثلثی در طاقدیس دنه خشک، مشخص و ترسیم گردید (شکل ۸) و سپس مساحت، طول قاعده و شیب توپوگرافی سطوح مثلثی به دست آمد (جدول ۴). بررسی جدول ۴ بیانگر وجود سطوح بزرگتر و با قاعده‌های طولانی تر در دامنه‌های پر شیب طاقدیس است.

### نتیجه‌گیری

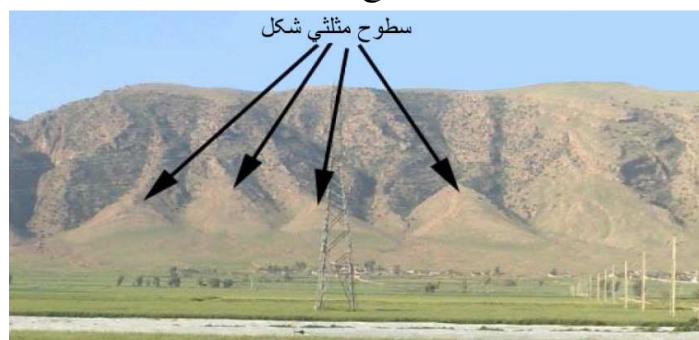
پژوهش حاضر با هدف بررسی رابطه بین ژئومورفولوژی و پتانسیل اکتشاف نفت، ویژگی‌های ژئومورفولوژی کمی طاقدیس دارای نفت بانکول و طاقدیس بدون نفت دنه خشک را ارزیابی کرده است. مخزن نفتی طاقدیس بانکول در غرب شهرستان ایوان غرب واقع شده است. راس طاقدیس بانکول تماماً از سازند آسماری تشکیل شده است. سازند نفتی این 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 تماما از سازند آسماری تشکیل شده است. نتایج این تحقیق نشان می دهد که مقدار پارامترهای ژئومورفولوژیکی طاقدیس ها 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 کاملا متفاوت هستند. همان گونه که جدول ۱ نشان می دهد، 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 تکتونیک قرار گرفته و دارای عرض بیشتری نسبت به طاقدیس دنه خشک است.



شکل ۸ محل تشکیل سطوح مثلثی در طاقدیس دنه خشک



شکل ۹ نمونه ای از سطوح مثلثی شکل در دامنه جنوب غربی طاقدیس دنه خشک

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

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

به نظر می رسد که این ویژگی تأثیر زیادی روی تجمع نفت در نفتگیرهای طاقدیس بانکول گذاشته است؛ به طوری که مخازن نفتی گسترده در طاقدیس‌هایی واقع شده‌اند که دارای پهنای بیشتر و نسبت طول به عرض (AR) کمی باشند. مقدار کم شاخص FSI در طاقدیس دنه خشک (۰/۷۶٪) نشان دهنده میزان نابرابری دو یال طاقدیس و یا فشردگی بیشتر آن است. مقدار بالای شاخص مذکور در طاقدیس بانکول بیانگر تقارن یال‌های 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 شکستگی‌ها بوده است. مقدار پایین شاخص FFS در طاقدیس بانکول (۱/۲۶)، نشان دهنده جوانتر بودن چین خوردگی آن است؛ در حالی که مقدار بالاتر شاخص مذکور در طاقدیس دنه خشک، نشان دهنده جبهه‌های فرسایش یافته یا چین خوردگی‌های قدیمی است که این امر نقش مهمی در خروج منابع نفتی آن ایفا نموده است.

بررسی تراکم زهکشی طاقدیس‌ها نشان می دهد که طاقدیس دنه خشک به علت بالاآمدگی 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 دانه خشک بیشتر شامل الگوهای موازی و راست گوشه است که نشان دهنده بالا آمدگی سریع تر و تاثیر گذاری فعالیت های 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 می دهد که بالا آمدگی آن به آرامی انجام شده و کمتر تحت تاثیر فشارهای شدید تکتونیکی قرار گرفته است.

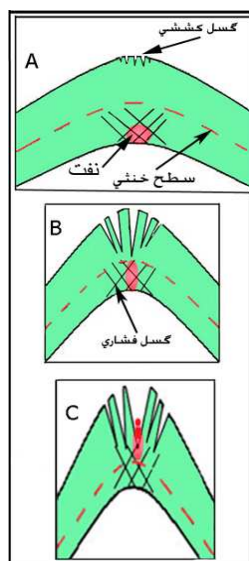
بررسی این پژوهش همچنین نشان داد که در جبهه طاقدیس دانه خشک، به علت فعالیت تکتونیکی شدیدتر، وجود دیواره های پر شیب و گسل معکوس، اشکال ژئومورفیک خاصی به نام سطوح مثلثی تشکیل شده اند. همان گونه که جدول ۴ نشان می دهد، تعداد ۴۰ سطح مثلثی در دامنه های پر شیب طاقدیس دانه خشک ایجاد شده است. بررسی داده ها نشان می دهد که با افزایش شیب لایه ها، سطوح مثلثی بزرگتر و با قاعده طولانی تر تشکیل شده اند. به طور کلی وجود سطوح مثلثی شکل در جبهه طاقدیس دانه خشک، بیانگر تاثیر گذاری 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<sup>۲۲</sup> و سطح - خنثی<sup>۲۳</sup> را ارائه کرد. در مکانیسم سطح - خنثی حداکثر تغییر شکل در محور چین و حداقل تغییر شکل در پهلو چین اتفاق می افتد. سطح خنثی، سطحی است که هیچ نوع تغییر شکلی در آن ایجاد نمی شود. در محور طاقدیس ها، بالاتر از سطح خنثی، کشیدگی وجود دارد؛ در حالی که پایین تر از آن مکانیسم فشاری حاکم است. در مکانیسم لغزش - خمش، حداکثر تغییر شکل و حرکات لایه ها در پهلوهای چین اتفاق می افتد. در محور چین، حرکت نسبی و تغییر شکلی اتفاق نمی افتد. مطالعات نشان می دهد که چین خوردگی زاگرس عموماً از ترکیب دو مکانیسم ذکر شده ایجاد شده اند. چین خوردگی سطح - خنثی بیشتر در چین هایی ایجاد می شود که نسبت طول موج چین بیشتر از ضخامت لایه هاست (کولمن - سد، ۱۹۷۸).

به نظر می رسد تحلیل و بررسی چین خوردگی زاگرس با مکانیسم سطح - خنثی در فهم رابطه بین مخازن نفتی و ژئومورفولوژی بسیار مفید است. چین خوردگی اولیه لایه های رسوبی باعث تجمع اولیه نفت در طاقدیس ها شده است. همچنانکه شکل ۱۰ نشان می دهد، در طاقدیس های ملایم، (حالت A) که در مراحل اولیه چین خوردگی قرار دارند، در بالاتر از سطح خنثی، گسل های کششی و پایین تر از آن، گسل های فشاری یا معکوس ایجاد می شوند. 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 خنثی به سمت پایین حرکت کرده و گسل های کششی نیز به سمت پایین توسعه می یابند (حالت B). در مرحله سوم (حالت C)، با فشردگی بیشتر طاقدیس، حرکت بیشتر سطح خنثی به سمت پایین باعث می شود که گسل های کششی به گسل های معکوس پایین طاقدیس متصل شوند و امکان فرار نفت از طریق درز و شکاف ها ایجاد شود. شکل ۱۰ به طور شماتیک تاثیر تکامل چین خوردگی و جابه جایی سطح خنثی، توسعه و اتصال درز و شکاف ها به هم و به تبع آن فرار نفت از طاقدیس های فرسایش یافته قدیمی را نشان می دهد.

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 جنوب غرب به سمت شمال شرق زاگرس، طاقدیسها (برای مثال، دنه خشک) فشرده تر شده و امکان تکامل درز و شکافها و اتصال درزهای فشاری اعماق 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 ملایم تر (مانند بانکول) دارای مخازن نفت قابل استخراج هستند. از مجموع مطالب فوق می‌توان نتیجه گرفت که مقادیر AR<sup>۲۴</sup>، FFS و Dd<sup>۲۵</sup> 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 فعال و غیرفعال از نظر تکتونیکی و بنابراین، شناخت طاقدیسهای دارای نفت هستند.

## منابع

- ۱- سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح. (۱۳۷۶). نقشه‌های توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰ شماره‌های 1-5158.
- ۲- شرکت ملی نفت ایران. (۱۳۴۲). نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۲۵۰۰۰۰ قصر شیرین.
- ۳- شرکت ملی نفت ایران. (۱۹۷۴). نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰۰ ایلام - کوه‌دشت - شیت ۲۰۵۰۴
- ۴- شرکت ملی نفت ایران. (۱۳۴۸). نقشه زمین‌شناسی ۱/۰۰۰۰۰۰ شیت جنوب غرب ایران.
- ۵- سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح. (۱۳۵۱). نقشه توپوگرافی 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; geomorphology 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-Ashtiany, 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