فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال ۲۹، شماره دوم، تابستان ۱۳۹۳، شماره پیاپی ۱۱۳

شهرام بهرامی، استادیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه حکیم سبزواری
افروز بهروجه، کارشناس ارشد ژئومورفولوژی، دانشگاه حکیم سبزواری

S. Bahrami
A. Behrojeh

Email: S.bahrami@sttu.ac.ir

شماره مقاله: ۹۵۰ **صص: ۱۴-۱**
وصول: ۹۲/۱/۱۴ **پذیرش: ۹۲/۸/۸**

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

چکیده

ویژگی‌های مورفومتریک طاقدیس‌ها می توانند 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 شاخص های ژئومورفولوژیک نسبت جهت(AR)، تقارن چین‌خوردگی(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 می دهد که عدم نفت در طاقدیس دنه خشک را می توان تا حدودی با مکانیسم چین خوردگی سطح-خنثی توجیه نمود. تکامل و فشردگی طاقدیس دنه خشک باعث جابه‌جایی سطح خنثی 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 می دهد که پارامترهای مورفومتریک مذکور دارای کارایی مناسبی برای تفکیک طاقدیس‌های دارای نفت و غیر نفتی هستند. در مجموع، می توان 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- 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

[Downloaded from georesearch.ir on 2026-10-30]

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 می دهد 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[1]، ۱۹۷۴؛ ویتافینزی[2]، ۱۹۷۹؛ تاتار و همکاران، ۲۰۰۲؛ رامسی[3] و همکاران، ۲۰۰۸). بالاآمدگی و کوتاه شدگی زاگرس ابتدا از شمال شرق زاگرس(کمربند 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 شمال‌شرق به سمت جنوب‌غرب جوانتر شده و سن چین‌ها کمتر می‌شود. به عبارتی دیگر، چین‌ها به سمت شمال‌شرق قدیمتر و بنابراین، بیشتر تحت تأثیر تکتونیک و شکستگی و فرسایش قرار گرفته اند، در حالی که چین‌ها به سمت جنوب‌غرب (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 طاقدیس های 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 شده اند. در زمینه رابطه بین عوامل ژئومورفولوژیک با تشکیل و اکتشاف مخازن هیدروکربنی مطالعات محدودی انجام شده است که از آن جمله می توان به موارد زیر اشاره کرد:

اولین بار لاتمن[4] 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 تله های نفتی زیرزمینی را شناسایی کرد. بررسی‌های مارتین[5] (۱۹۶۶) نشان داد که بسیاری از مخازن نفتی در اشکال و لندفرم های قدیمی یافت می‌شوند. به نظر او شناخت تکنیک‌های ژئومورفولوژی مانند الگوی زهکشی نقش مهمی در اکتشاف نفت ایفا می‌کند. ایلهان[6] در سال ۱۹۶۷ در مقاله خود با عنوان "چین‌خوردگی‌های 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[7](۱۹۷۸) نشان داد که تله‌های نفت طاقدیسی ایران و شمال‌شرق عراق در کمربند 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 کمربند ایفا کرده اند. کنته [8] (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

[Downloaded from georesearch.ir on 2026-10-30]

ژئومورفولوژیکی تقسیم نمود و با تحلیل الگوی زهکشی نشان داد که زون پدیمنت بالاترین پتانسیل اکتشاف هیدروکربن را دارد. میترا و آگاروال[9] (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 هیدروکربن ها ایفا می نمایند. پروست[10] در سال ۱۹۹۲ در مقاله‌ای با عنوان "ژئومورفولوژی ساختمانی و اکتشاف نفت " اظهار می‌دارد که طاقدیس‌ها، 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 چینها ست. با توجه به اینکه مطالعه حاضر کاربرد ویژگی‌های مورفولوژیکی طاقدیس‌ها را در اکتشاف نفت مورد تاکید قرار می دهد، 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

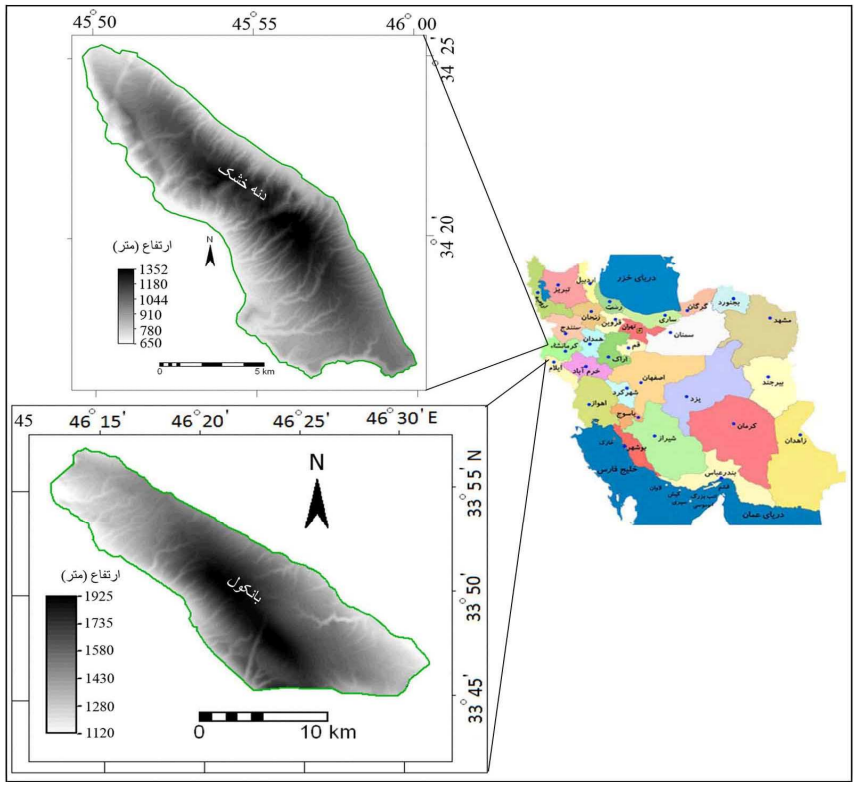
طاقدیس‌های بانکول و دنه خشک از نظر زمین شناسی بخشی از زون ساختمانی زاگرس چین خورده محسوب می-شود. طاقدیس بانکول، در استان ایلام، و طاقدیس دنه خشک، در استان کرمانشاه قرار دارند. روند چین های این محدوده، مانند زاگرس، شمال غرب – جنوب شرق است. طاقدیس بانکول دارای فرود محوری دو طرفه است. قسمت جنوب شرقی آن مرتفع تر از بخش شمال غربی آن است. حداکثر ارتفاع طاقدیس ۱۹۲۵ متر است که تقریبا در قسمت-های مرکزی آن است و حداقل ارتفاع آن در بخش شمالی در انتهای فرود محوری طاقدیس، ۱۱۲۰ متر است(شکل۱). به‌علت شیب توپوگرافی ملایم دامنه ها، الگوی شبکه زهکشی شبکه درختی در آن دیده می شود(شکل۲). به طور کلی این طاقدیس دارای یال‌های با شیب ساختمانی نسبتا هموار است(شکل ۳). دامنه‌های این طاقدیس با شیب ملایمی از طرف جنوب غرب به ناودیس ایوان‌غرب محدود می گردد.

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(شکل۱). شیب ساختمانی لایه‌ها در طاقدیس مذکور بسیار متغیر است. در بخش شمال غربی، دامنه شمال شرقی کم شیب تر از دامنه جنوب غربی است. در بخش مرکزی طاقدیس، در دامنه جنوب غربی آن، عملکرد یک گسل معکوس باعث ایجاد یک فرورفتگی جزئی و انحراف مسیر آبراهه ها، موازی با محور طاقدیس شده است(شکل۴). در بخش جنوب شرقی، دامنه شمال شرقی

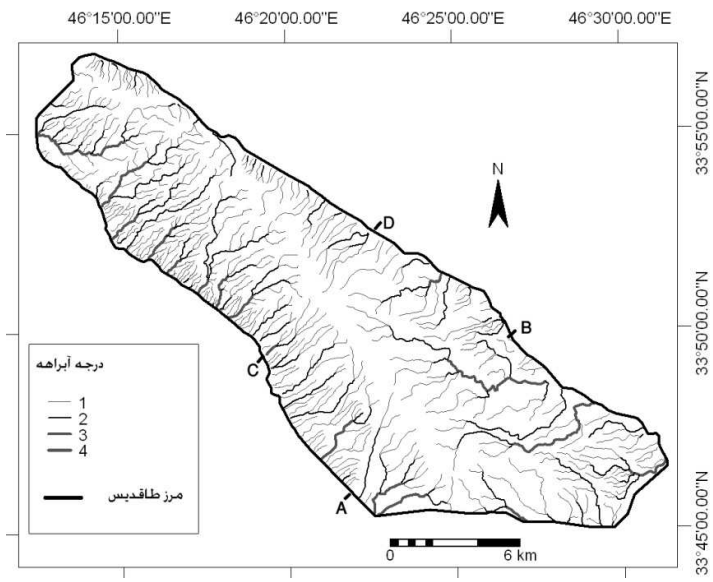
9 - Mitra and Agarwal
10 - Prost

[Downloaded from georesearch.ir on 2026-10-30]

طاقدیس پرشیب تر از دامنه جنوب غربی آن است(شکل۵). از نظر چینه شناسی تمامی طاقدیس های مورد مطالعه از سازند آهکی آسماری تشکیل شده اند.

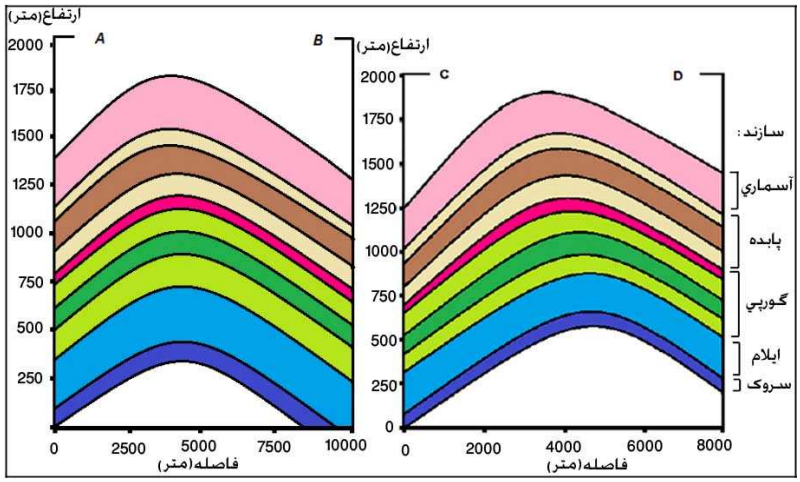


شکل ۱) موقعیت و توپوگرافی طاقدیس‌های مورد مطالعه

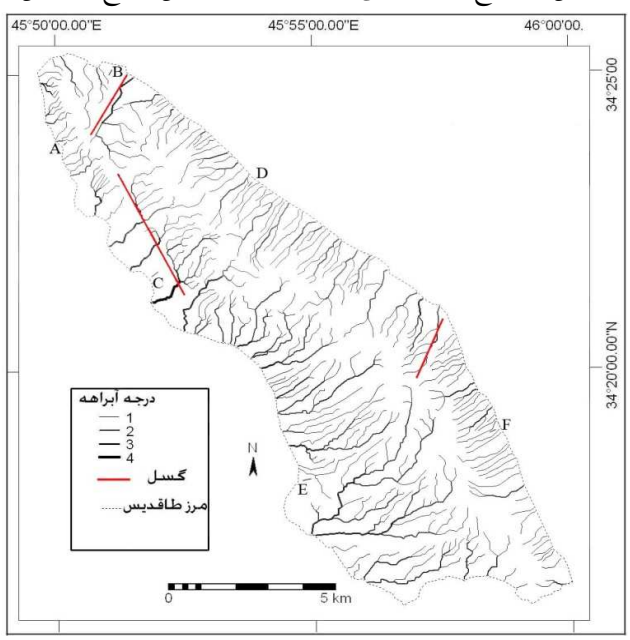


شکل ۲) نقشه شبکه زهکشی و محل مقاطع زمین شناسی طاقدیس بانکول

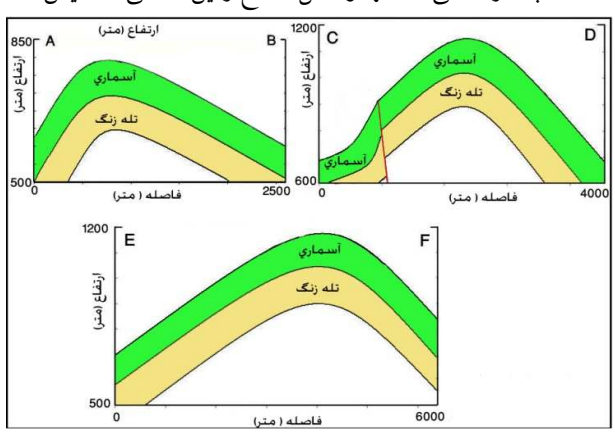
[Downloaded from georesearch.ir on 2026-10-30]



شکل۳) 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)

[Downloaded from georesearch.ir on 2026-10-30]

روش کار

برای بررسی رابطه بین ژئومورفولوژی و منابع نفتی طاقدیس‌ها، ابتدا نقشه‌های زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰۰ و ۱:۲۵۰۰۰۰ شرکت ملی نفت ایران تهیه و مقاطع زمین شناسی طاقدیس‌ها استخراج گردید. نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ طاقدیس-های مورد مطالعه در محیط نرم افزار ILWIS رقومی گردید و نقشه سطوح ارتفاعی طاقدیس‌ها تهیه شد. برای ترسیم دقیق شبکه زهکشی، ابتدا تصویر ماهواره ایQuickbird از نرم افزار Google Earth ژئورفرنس شد و آبراهه های استخراج شده از نقشه توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰ اصلاح و تکمیل گردید. درجه بندی آبراهه ها به روش استراهلر انجام و طول آبراهه ها با درجات مختلف محاسبه شد. ترسیم سطوح مثلثی شکل طاقدیس، محاسبه شاخص سینوسیته جبهه چین[11] (FFS) و شاخص تقارن چین[12] (FSI) بر اساس تصویر ماهواره ای 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.

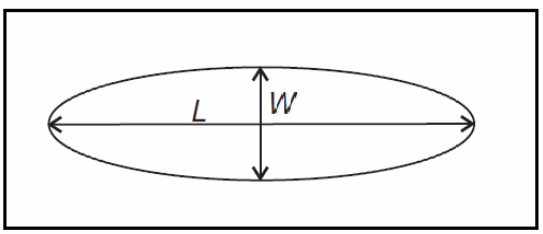
یافته‌های پژوهش

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[13] (AR) عبارت است از نسبت طول به عرض مشخص در یک طاقدیس (شکل ۶) و از رابطه زیر به دست می‌آید(باربری[14] 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
۱٤- Burbbery

[Downloaded from georesearch.ir on 2026-10-30]

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

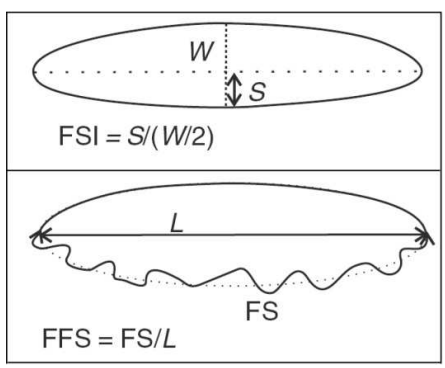
نام طاقدیس	L(km)	W(km)	AR
بانکول	۳۲/۳۱	۱۰/۹۶	۲/۹۵
دنه خشک	۲۳	۶/۹۳	۳/۳۲

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 پهلوی کوتاهتر طاقدیس) بر نصف عرض طاقدیس(W/2) به‌دست می آید(شکل۷). در یک طاقدیس کاملا متقارن، مقدار این شاخص یک است، در حالی‌که 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 نشان‌دهنده فعال بودن نیروهای زمین‌ساخت در ناحیه است که به ایجاد طاقدیس نامتقارن، با طرفین پرشیب و با شکست‌ها و گسل‌ها منجر می شود. مقدار زیاد این شاخص بیانگر عدم تاثیرگذاری 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 به‌دست 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) به‌دست می آید(شکل۷). 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 خورگی 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)

[Downloaded from georesearch.ir on 2026-10-30]

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(Dd)، نسبت طول آبراهه‌ها به مساحت در یک منطقه مشخص است و از رابطه زیر به‌دست می-آید(توکر[15] 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 آبراهه های درجه ۱، نشان دهنده فعالتر بودن مناطق از نظر تکتونیکی است(زوچوویکز[16]، ۱۹۹۸)؛ به طوری‌که در مناطق دارای بالاآمدگی سریع، تنها شبکه های درجه ۱ توسعه می یابند. در طاقدیس‌های با بالاآمدگی آرامتر و عرض بیشتر، شبکه های زهکشی با درجات بالاتر نیز توسعه می یابند. در این تحقیق طول آبرا هه های با درجات مختلف تعیین شد. همچنین، تراکم زهکشی برای آبراهه های درجه ۱ نیز به‌دست آمد. جدول ۳ میانگین تراکم زهکشی آبراهه های درجه ۱ در طاقدیس های مطالعاتی را نشان می دهد. همان‌گونه که جدول ۳ نشان می دهد، تراکم زهکشی تمامی درجات آبراهه ها در طاقدیس دنه خشک بیشتر از بانکول به‌دست آمده است. همچنین، تراکم زهکشی آبراهه های 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 آبراهه ها را نشان می‌دهد و ارتباط نزدیکی با تکتونیک و بالاآمدگی طاقدیس‌ها دارد(رامسی و همکاران، ۲۰۰۸). با توجه به اینکه تمامی طاقدیس‌های مورد مطالعه از نظر لیتولوژی یک-

15 - Tucker
16 - Zuchiewicz

[Downloaded from georesearch.ir on 2026-10-30]

دست هستند(سازند آسماری)، به‌نظر 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. شکل۴ 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 فشار-های 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(منگز[17]، ۱۹۹۰؛ الیس[18] و همکاران ، ۱۹۹۹؛ پتیت[19] و همکاران ۲۰۰۹ ؛ اسموندسن[20] و همکاران، ۲۰۱۰). اشکال مذکور محصول عملکرد فرآیندهای درونی در مقابل فرآیندهای بیرونی هستند. به‌نظر ولز[21] و همکاران(۱۹۸۸) سطوح مثلثی، در جبهه کوهستان‌های گسلی بین دو آبراهه شکل می گیرند. اشکال مذکور دارای شکل مثلثی و در مواردی چند ضلعی هستند. جبهه های 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، به‌علت تاثیر فرسایش بیشتر زهکش‌ها، دارای سطوح مثلثی کوچکتر، کمتر و با قاعده کوچکتر و یا حتی فاقد آن هستند.

بررسی این پژوهش نشان می دهد که سطوح مثلثی، تنها در طاقدیس دنه خشک تشکیل شده اند(شکل۸). در طاقدیس بانکول، به‌علت 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(شکل۸) و سپس مساحت، طول قاعده و شیب توپوگرافی سطوح مثلثی به‌دست آمد(جدول۴). بررسی جدول ۴ بیانگر وجود سطوح بزرگتر و با قاعده های طولانی تر در دامنه های پر شیب طاقدیس است.

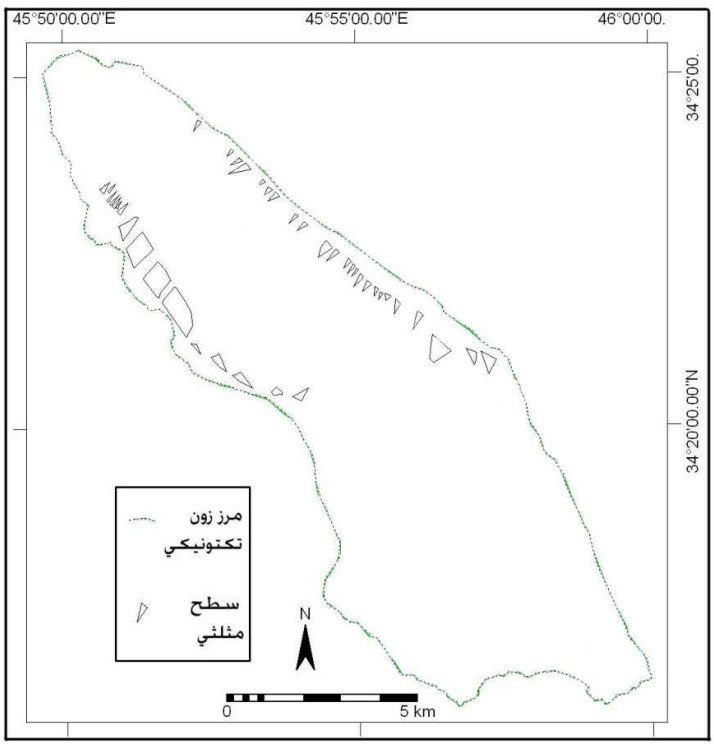
نتیجه‌گیری

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 ایوان‌غرب واقع شده است. راس طاقدیس بانکول تماما 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.

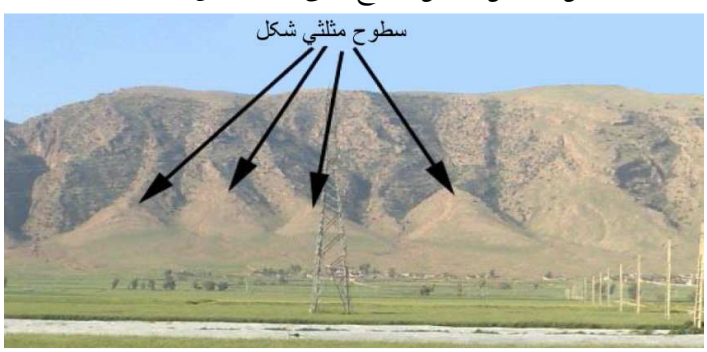
17 - Menges
18 - Ellis
19 - Petit
20 - Osmundsen
21 - Wells

[Downloaded from georesearch.ir on 2026-10-30]

طاقدیس بدون نفت دنه خشک نیز تماما از سازند آسماری تشکیل شده است. نتایج این تحقیق نشان می دهد 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 کاملا متفاوت هستند. همان‌گونه 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. به‌عبارتی 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 دنه‌خشک



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

[Downloaded from georesearch.ir on 2026-10-30]

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

به‌نظر 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 (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 شاخصFSI 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 شاخصFFS 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 جبهه 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 طاقدیس‌ها نشان می دهد که طاقدیس دنه خشک به‌علت بالاآمدگی سریع تر و شیب بیشتر

[Downloaded from georesearch.ir on 2026-10-30]

دارای تراکم زهکشی بالاتری نسبت به طاقدیس جوانتر بانکول (با بالاآمدگی 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.

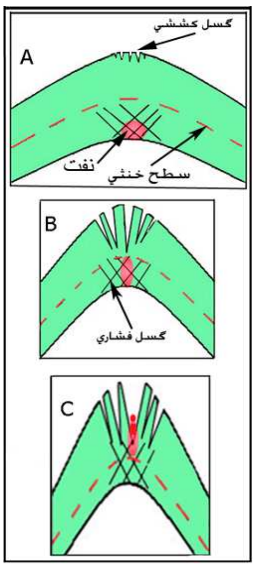
بررسی این پژوهش همچنین نشان داد که در جبهه طاقدیس دنه خشک، به‌علت فعالیت تکتونیکی شدیدتر، وجود دیواره های پر شیب و گسل معکوس، اشکال ژئومورفیک خاصی به‌نام سطوح مثلثی تشکیل شده اند. همان‌گونه که جدول ۴ نشان می دهد، تعداد ۴۰ سطح مثلثی در دامنه‌های پر شیب طاقدیس دنه خشک ایجاد شده است. بررسی داده ها نشان 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 دنه 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 چین‌خوردگی واحد زاگرس چین‌خورده، دو نوع مکانیسم به نامهای مکانیسم چین‌خوردگی لغزش - خمش[۲۲] و سطح – خنثی[۲۳] را ارائه کرد. 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 مکانسیم 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 می دهد که چین‌خوردگی زاگرس عموماً از ترکیب دو مکانیسم ذکر شده ایجاد شده اند. چین‌خوردگی سطح– خنثی بیشتر در چین‌هایی ایجاد می‌شود که نسبت طول موج چین بیشتر از ضخامت لایه‌هاست (کولمن - سد، ۱۹۷۸).

به نظر می‌رسد تحلیل و بررسی چین‌خوردگی زاگرس با مکانیسم سطح- خنثی 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 خنثی، گسل‌های کششی و پایین‌تر 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 خنثی 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 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. شکل ۱۰ به طور شماتیک تاثیر تکامل چین‌خوردگی و جابه‌جایی 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 می‌دهد.

۲۲-Flexural-Slip Folding
۲۳-Neutral Surface Folding

[Downloaded from georesearch.ir on 2026-10-30]



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 اعماق طاقدیس به درزهای کششی رأس طاقدیس ایجاد شده و نفت طاقدیس‌ها طی دوره‌های زمین‌شناسی گذشته خارج شده است؛ در حالی‌که در طاقدیس‌های فرسایش نیافته با مورفولوژی ملایم تر(مانند بانکول) دارای مخازن نفت قابل استخراج هستند.

از مجموع مطالب فوق می توان نتیجه گرفت که مقادیر AR [۲۴]، FFS و Dd [۲۵] در طاقدیس‌های نفتی مانند بانکول، پایین هستند؛ در حالی که مقادیر FSI آنها بالا ست. 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) . نقشه های توپو گرافی ۱/۵۰۰۰۰ شماره های 5158-1.

۲- شرکت ملی نفت ایران. (۱۳۴۲). نقشه زمین شناسی ۱/۱۲۵۰۰۰۰ قصر شیرین .

۳- شرکت ملی نفت ایران. (۱۹۷۴) . نقشه زمین شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰۰ ایلام ـ کوهدشت – شیت ۲۰۵۰۴

۴- شرکت ملی نفت ایران. (۱۳۴۸). نقشه زمین شناسی ۱/۰۰۰۰۰۰ شیت جنوب غرب ایران.

۵- سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح .(۱۳۵۱). نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱/۵۰۰۰۰، شماره (۱) ۵۲۵۷ .

۲٤-Aspect ratio
۲٥-Drainage density

[Downloaded from georesearch.ir on 2026-10-30]

6- 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, 417-430.
7-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, 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-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

[Downloaded from georesearch.ir on 2026-10-30]