

# مقایسه الگوی تراکمی و امتدادی شکستگی‌های سطحی و زیرسطحی تاقدیس یورتشا، میدان ذخیره‌سازی گاز طبیعی در پهنه ایران مرکزی

مهناز صباحی<sup>۱</sup>، رمضان رمضان اومالی<sup>۲</sup>، معصومه کردی<sup>۳</sup> و محسن دوراندیش<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup> کارشناسی ارشد، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران

<sup>۲</sup> دانشجویار، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران

<sup>۳</sup> استادیار، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران

<sup>۴</sup> کارشناسی ارشد، شرکت ملی گاز ایران، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۲/۰۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۵/۲۵

## چکیده

در یک دهه گذشته مطالعات مختلف ژئوفیزیکی، زمین‌شناسی و مهندسی مخزن روی سازند قم در میدان یورتشا با هدف ترریق و ذخیره‌سازی گاز انجام گرفته است. کیفیت ماتریکس سازند قم در این میدان در سطح پایینی از لحاظ تخلخل و تراوایی قرار دارد. لذا نقش شکستگی‌ها در افزایش تراوایی و بهبود کیفیت مخزنی بسیار مهم است. در این مقاله الگوهای تراکمی و امتدادی شکستگی‌های سازند قم به عنوان مخزن و سازند قرمز فوقانی به عنوان پوش سنگ در تاقدیس یورتشا و تاقدیس‌های مجاور آن (دوازده امام و مره) با استفاده از اطلاعات سطحی و داده‌های زیرسطحی مورد بررسی و مقایسه قرار گرفته است. به منظور دست‌یابی به این هدف در این مطالعه از روش‌های برداشت صحرائی، سنجش از دور و آنالیز لاگ‌های تصویری استفاده شده است. در مطالعات زیرسطحی و تفسیر لاگ‌های تصویری FMS و EMI مشخص شد که شکستگی‌ها علاوه بر روند شمال باختر- جنوب خاور دارای یک روند فرعی شمال خاور- جنوب باختر هستند. نمودار تصویری FMS چاه شماره ۲، سه دسته شکستگی زیرسطحی با امتدادهای N55E، N65E و N15W و نمودار EMI چاه شماره ۴ دو امتداد غالب N10E و S45E را نشان می‌دهد. مجموع شکستگی‌های برداشت شده در برون‌زد تاقدیس‌های سطحی مره و دوازده امام ۱۸۵۲ شکستگی را شامل می‌شود که با توجه به نمودارهای گل‌سرخ به دست آمده از آنالیز این شکستگی‌ها، چهار دسته شکستگی با روندهای N10E، S45E، N80E و N45E شناسایی شده‌اند.

**کلیدواژه‌ها:** میدان یورتشا، سازند قم، ذخیره‌سازی گاز طبیعی، تراکم شکستگی، لاگ تصویری.

\*نویسنده مسئول: مهناز صباحی

E-mail: sabahi.mahnaz@yahoo.com

## ۱- پیش‌نوشتار

در مناطق مختلف دنیا، مخازن ذخیره‌سازی گاز با هدف ذخیره‌سازی گاز تولید شده در دوره‌هایی که تقاضا برای گاز کاهش می‌یابد و نیز تولید گاز ذخیره‌سازی شده در روزهای که تقاضا افزایش می‌یابد؛ ایجاد شده‌اند (Tabari et al., 2011). از منظر زمین‌شناسی و مهندسی مخازن، مخزن مورد استفاده جهت ذخیره‌سازی گاز، باید کیفیت مخزنی مناسبی داشته باشد. داشتن سنگ پوش و تخلخل و تراوایی مناسب، پارامترهای ضروری در این مخازن جهت ذخیره‌سازی و تولید گاز محسوب می‌شوند (Blunt and King, 1991). در این بین شکستگی‌ها نقش اساسی در بالا بردن تراوایی این مخازن به خصوص مخازن کربناته ایفا می‌کند که به‌طور عادی تخلخل و تراوایی کمی دارند.

در این مطالعه، سازند قم در تاقدیس یورتشا که به‌عنوان یک مخزن بالقوه جهت ذخیره‌سازی گاز طبیعی در کشور محسوب می‌شود؛ در تاقدیس‌های مجاور مورد مطالعه قرار گرفته است. برای به دست آوردن الگوی تراکمی و پراکندگی شکستگی‌ها در این سازند، مطالعات سطحی و زیرسطحی انجام گرفته است. به‌طوری‌که پراکندگی و تراکم شکستگی‌ها در تاقدیس‌های مره، دوازده امام و یورتشا که به روش‌های سطحی (صحرائی)، سنجش از دور و مطالعات زیرسطحی برداشت شده‌اند؛ مورد مقایسه قرار گرفته‌اند. برداشت‌های صحرائی به روش Davis (1984) انجام شده است. برونزدهای موجود در تاقدیس‌های منطقه را آهک‌های به شدت خردشده و ماسه‌سنگ‌های دانه‌ریز تشکیل می‌دهند که شرایط مناسبی برای مطالعات سطحی فراهم آورده است. همچنین در روش غیرمستقیم از روش سنجش‌ازدور استفاده شده است. در این روش به وسیله تصاویر ماهواره‌ای و گوگل ارث، خطوط‌های زمین‌ساختی در نرم‌افزارهای ENVI و GIS شناسایی و تفسیر شده‌اند. به منظور مطالعه شکستگی‌های زیرسطحی نیز از لاگ‌های تصویری (Formation Micro Scanner) (FMS) و (Electrical Micro Imager) (EMI) در دو حلقه از چاه‌های حفار شده (۳ و ۴) در تاقدیس یورتشا استفاده شد.

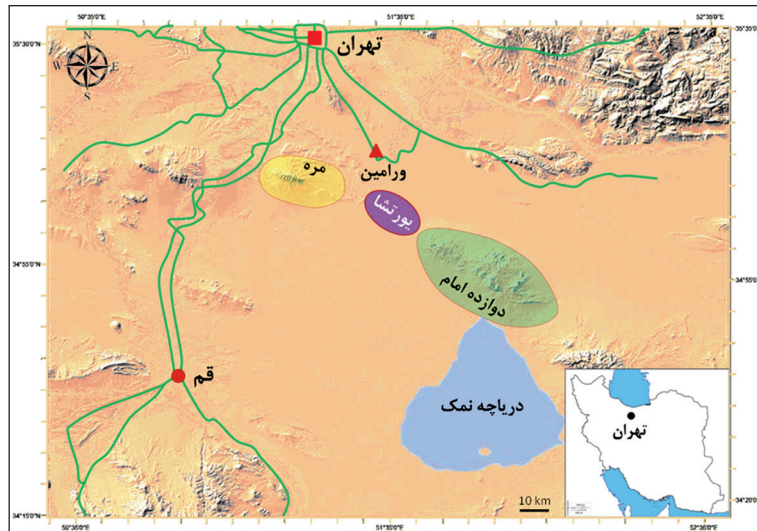
## ۲- زمین‌شناسی

### ۲-۱. زمین‌شناسی عمومی منطقه

تاقدیس یورتشا در جنوب خاور شهرستان ورامین و شمال باختر قم و در شمال دریاچه نمک واقع شده است (شکل ۱). بخش‌های مرتفع منطقه مورد مطالعه در نتیجه فرایندهای ساختاری به‌ویژه چین‌خوردگی رسوبات ترشیری به‌وجود آمده‌اند (Berberian and King, 1981). فرسایش، نقش مؤثری در سیمای ظاهری منطقه مورد مطالعه ایفا می‌کند. از نظر تقسیمات ساختاری، این محدوده در پهنه ایران مرکزی قرار گرفته است (آقاناتی، ۱۳۸۳؛ نبوی، ۱۳۵۵). در شکل ۲ نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه همراه با موقعیت تاقدیس زیرسطحی یورتشا و ایستگاه‌های برداشت سطحی واقع در تاقدیس دوازده امام و مره نشان داده شده است. رخنمون‌های سنگی محدوده‌ای شامل: گدازه‌ها و نهشته‌های آذرآواری ائوسن، رسوبات آواری و مارنی و سنگ‌های آتشفشانی الیگوسن، سنگ‌آهک، مارن و گچ الیگوسن، مارن و سنگ‌آهک، ماسه‌سنگ، کنگلومرا و گچ میوسن و کنگلومرا و مارن‌های پلیوسن است (ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ ورامین) است. سازند قم معرف آخرین پیشروی دریا (در اواخر میوسن و اوایل الیگوسن) در ایران مرکزی بوده و به‌طور کلی شامل مجموعه‌ای از رخساره‌های تبخیری، مارنی، آهکی و آواری است. تغییرات ضخامت و رخساره سازند قم در قسمت‌های مختلف ایران مرکزی متفاوت است؛ این تغییرات می‌تواند بیانگر عدم ثبات زمین‌ساختی حوضه رسوب‌گذاری باشد. گسل‌های اصلی منطقه مورد مطالعه نقش مؤثری در بی‌ثباتی زمین‌ساختی منطقه ایفا می‌کنند.

### ۲-۲. چینه‌شناسی منطقه

واحدهای سنگی محدوده مورد مطالعه در حوضه رسوبی قم در زمان الیگوسن- میوسن ته‌نشین شده‌اند. علت تشکیل حوضه رسوبی قم که از نوع پشت‌کمانی بوده؛ فرورانش پوسته اقیانوسی به زیر پوسته قاره‌ای در قسمت جنوب خاوری ایران مرکزی در زمان الیگوسن- میوسن ذکر شده است (Berberian, 1983).

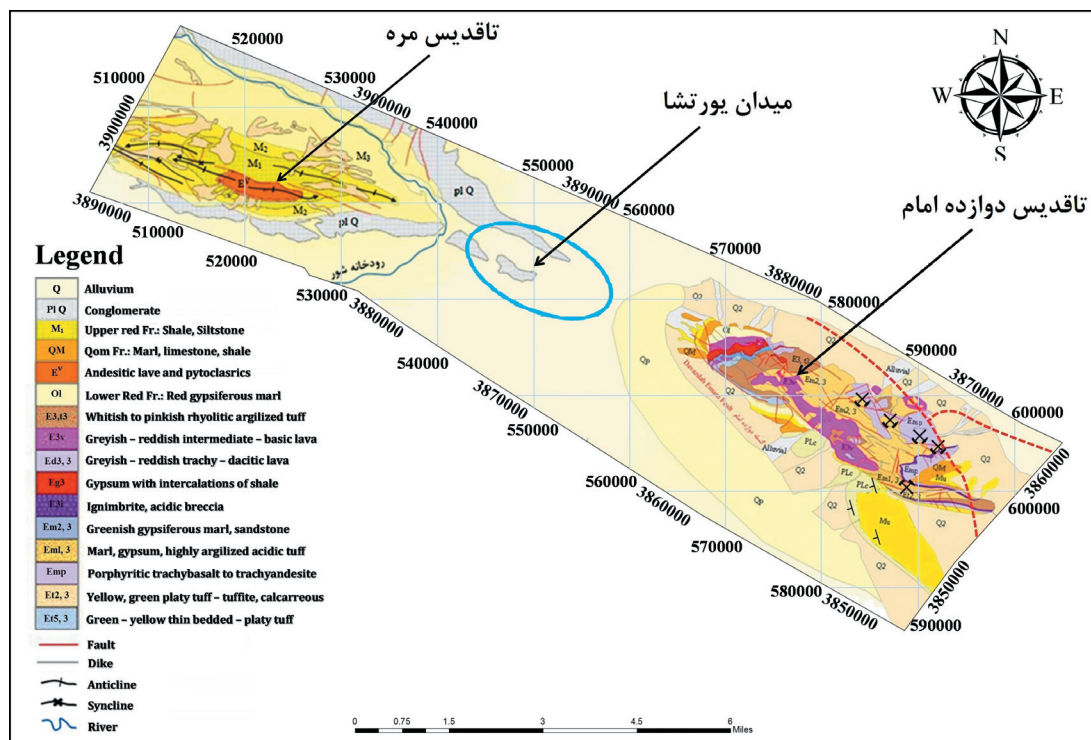


شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه.

ایران، این سازند را به دو بخش (M1) و (M2) تقسیم کرده‌اند. این دو بخش به وسیله یک لایه کلیدی مارن سبزرنگ از یکدیگر جدا می‌شوند (آقائباتی، ۱۳۸۳). در اکثر مناطق، سازند قم به صورت تناوبی از مارن و سنگ آهک به همراه درون‌لایه‌های مارن ژپس دار تشکیل شده است. این سازند با یک ناپیوستگی روی سازند قرمز زیرین و به صورت همشیب در زیر سازند قرمز بالایی قرار گرفته است؛ اما در تاقدیس یورتشا، سازند کریناته قم با ضخامت متوسط ۳۷۰ متر روی گدازه‌های آتشفشانی ائوسن واقع شده و خود توسط سازند قرمز بالایی با ضخامت متوسط ۸۰ متر متشکل از مادستون و انیدریت پوشیده شده است (شکل ۳). در این تاقدیس، عضو C4 از سازند قم به‌طور مستقیم روی ولکانیک‌های ائوسن نهشته شده است و سازند قرمز تحتانی در این ناحیه مشاهده نمی‌شود (Tabari, 2010).

سازند قم به دلیل تنوع سنگ‌شناسی می‌تواند به عنوان سنگ پوش و سنگ مخزن ایفای نقش کند. به همین دلیل در بسیاری از نقاط ایران مرکزی مورد توجه قرار گرفته است؛ این مهم می‌تواند در راستای ذخیره‌سازی گاز یا اکتشاف نفت و گاز باشد.

سازند قرمز بالایی (به عنوان پوش سنگ مخزن قم) شامل مجموعه‌ای از شیل، ماسه‌سنگ، کنگلومرا و مارن به رنگ قرمز متمایل به خاکستری تا قهوه‌ای و تبخیری‌ها است که در شرایط مولاسی تشکیل شده‌اند. اکثر رخنمون‌های سازند قرمز بالایی دارای رخساره‌های تخریبی - کولایی سرخ‌رنگ هستند. از نقطه‌نظر تأثیر عوامل محیطی در زایش این رسوبات، گاهی تغییرات شدید در ضخامت و رخساره در برونزدهای مختلف دیده می‌شود (Kalhor, 1961). زمین‌شناسان شرکت ملی نفت



شکل ۲- نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه همراه با محل تقریبی میدان یورتشا و تاقدیس‌های مراه و دوازده امام به‌عنوان ایستگاه‌های برداشت‌های سطحی واقع در جنوب شهرستان ورامین.

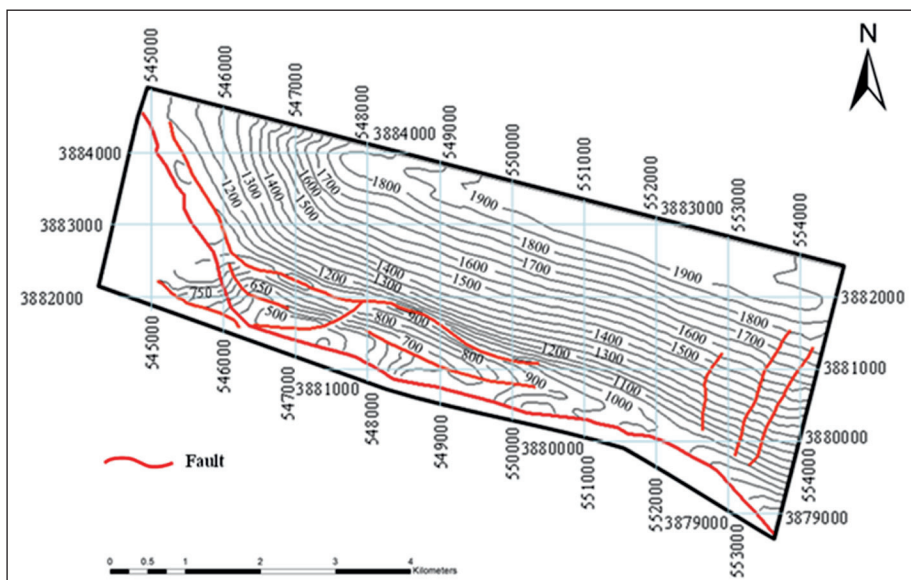
Age	Fm.	Mbr.	Lithology	Description	
Quat.	Q.F			Clay/Sand/Silt	
	PL.Q			Conglomerate	
Miocene	Upper Red Formation			Clay/Claystone/Silt/Sand	
				Clay/Claystone/Siltstone/Sandstone	
				Claystone	
				Claystone/Siltstone	
				Claystone/Siltstone/Gypsum/Anhydrite	
				Clay/Claystone/Siltstone/Sandstone/Gypsum	
				Claystone/Siltstone/Sandstone/Anhydrite	
				Clay/Claystone/Siltstone/Sandstone	
				Claystone/Siltstone/Sandstone/Anhydrite	
				Clay/Claystone/Siltstone/Sandstone/Anhydrite	
				Clay/Claystone/Sandstone	
Oligocene/Miocene	Qom Formation	F		Claystone/Siltstone/Limestone/Anhydrite	
				Claystone/Limestone/Marl/Anhydrite	
		E		Limestone/Marl	
				Limestone/Anhydrite	
		D		Limestone/Marly Limestone/Chalk	
				Limestone/Marly Limestone/Anhydrite	
		C4		Limestone/Anhydrite/Dolomite	
				Limestone/Marly Limestone/Shale/Chalk	
		Eocene	Volcanic		Limestone/Marl
					Limestone/Volcanic

شکل ۳- ستون چینه‌شناسی منطقه مورد مطالعه. در این منطقه سازند قم به‌طور مستقیم روی سنگ‌های ولکانیک ائوسن قرار گرفته و عضوهای A، B، C1 و C3 از سازند قم در این ناحیه نهشته نشده‌اند.

پاسادین، سیمای کنونی منطقه را پدید آورده و سبب خارج شدن چینه‌ها از حالت افقی و جای گرفتن نهشته‌های جوان کواترن با شیبی ملایم و به‌صورت ناهمساز روی واحدهای کهن‌تر شده است (آقائباتی، ۱۳۸۳؛ نبوی، ۱۳۵۵). میدان مورد مطالعه در یال شمالی تاقدیس یورتشا در ۷۰ کیلومتری شهرستان ورامین در بخش باختری پهنه ایران مرکزی قرار دارد. این تاقدیس با طول تقریبی ۱۰ کیلومتر و عرض ۵ کیلومتر و هندسه نامتقارن، مکان مناسبی جهت انباشت منابع گازی است. هسته تاقدیس شامل کربنات‌های سازند قم به سن الیگوسن و پوش سنگ آن سازند قرمز بالایی به سن الیگوسن- میوسن است. به‌طور تقریبی، شیب یال شمالی ۲۸ تا ۳۳ درجه به سمت شمال‌خاوری و شیب یال جنوبی ۱۰ تا ۱۸ درجه به سمت جنوب‌باختری است. گسل تراستی یال جنوبی با شیب متوسط ۵۳ درجه، هسته و پوش سنگ را قطع کرده است. علاوه بر آن سه گسل فرعی با روند N10E و N15E با شیب به سمت جنوب‌خاوری در بخش خاوری تاقدیس مشاهده می‌شوند (شکل ۴).

### ۲-۳. زمین‌ساخت منطقه و زمین‌شناسی ساختمانی میدان گازی یورتشا

منطقه از دیدگاه زمین‌شناسی ساختاری در پهنه ایران مرکزی در حاشیه کمان آتشفشانی ارومیه- بزمان قرار گرفته است. با توجه به رخساره‌های گوناگون موجود در منطقه، رویداد چندین فاز کوهزایی محتمل است. جنبش‌های زمین‌ساختی در زمان ائوسن سبب خروج گدازه‌های آتشفشانی در انواع حد واسط و بازیک در بخش میانی و جنوبی منطقه شده است. همین جنبش‌ها در مراحل بعدی تکامل یافته و سبب قرارگیری واحدهای رسوبی تخریبی و تشکیل واحدهای مارن، مارن قرمز، مارن قرمز گچ‌دار، گچ و شیل در منطقه شده است. تکاپوی زمین‌ساختی مربوط به میوسن بیشتر به‌صورت حرکات ایپروژنیک (قائم) و خشکی‌زا بوده که تغییرات ژرفای حوضه رسوبی را در پی داشته است. بعضی از حرکت‌های زمین‌ساختی هم‌ارز فاز کوهزایی آلپ پایانی، موجب قرار گرفتن انباشته‌های تخریبی پلیوسن به‌صورت ناهمساز روی واحدهای کهن‌تر شده است. جنبش‌های قابل مقایسه با تکاپوهای زمین‌ساختی



شکل ۴- نقشه عمقی رأس سازند قم (UGC Map) همراه با گسل‌های مشاهده شده در تاقدیس یورتشا واقع در جنوب‌باختر ایران مرکزی.

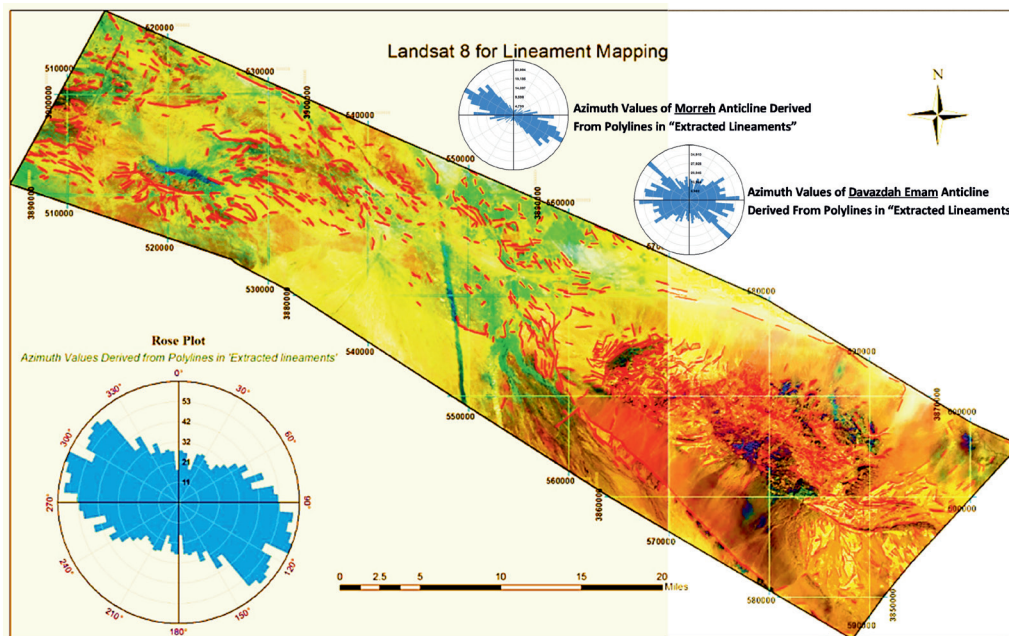
### ۳- روش‌های مطالعه و برداشت اطلاعات

با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و روش سنجش از دور، نقشه خطوطاره‌های زمین‌ساختی منطقه مورد مطالعه، شناسایی و تصاویر و نمودارهای پراکندگی آنها جهت تفسیر تنش ناحیه‌ای و مقایسه با نتایج به دست آمده در مطالعات صحرایی و زیرسطحی استفاده شد. ابتدا جهت برداشت‌های صحرایی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی منطقه، ۲۵ ایستگاه برداشت انتخاب شدند. علاوه بر این، در بعضی از مسیرها تعدادی درزه به صورت پراکنده برداشت شد. به‌طور کلی در برداشت‌های صحرایی ۱۸۵۲ درزه بر اساس روش Davis (1984) در ۲۵ ایستگاه برداشت شدند که بر اساس خمیدگی ساختاری توسط تحلیل تصاویر ماهواره‌ای انتخاب شده بودند. در مرحله بعد، این برداشت‌ها روی شبکه هم‌مساحت پیاده‌سازی و سپس نمودارهای گل سرخی مربوطه، به منظور بررسی الگوی امتدادی و تراکمی شکستگی‌ها رسم و تفسیر شدند (شکل ۴). در مطالعات زیرسطحی نیز از تفسیر لاگ‌های تصویری FMS و EMI به منظور آشکارسازی ساختارهای صفحه‌ای از جمله گسل‌ها، شکستگی‌ها و

لایه‌بندی‌ها استفاده شده است. با استفاده از شکستگی‌های شناسایی شده در لاگ‌های تصویری، نمودار گل سرخی قطب شکستگی‌ها (شکل‌های ۷ و ۸) و همچنین نمودار خطی شدت شکستگی‌ها ترسیم شد (شکل ۱۲).

#### ۳-۱. برداشت خطوطاره‌ها به روش دورسنجی

برای شناسایی و استخراج روند خطوطاره‌ها و تهیه نقشه پراکندگی آنها از نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ زمین‌شناسی و همچنین تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ و فیلتر کردن باندهای ۷ و ۸ و ترکیب باندهای ۲-۳-۴، با استفاده از فیلترهای Directional و High Pass و الگوریتم انواع فیلترهای جهتی برای بازسازی فرایندهای مختلف خطوطاره در محیط نرم‌افزار ENVI نسبت به آشکارسازی خطوطاره‌ها اقدام شد. در نهایت با استفاده از خطوطاره‌های شناسایی شده نقشه چگالی شکستگی‌های سطحی با استفاده از نرم‌افزار GIS تهیه شد (شکل ۵). نمودار گل سرخی به دست آمده از امتداد این خطوطاره‌ها نشان می‌دهد که قسمت عمده این خطوطاره‌ها در امتداد شمال باختری- جنوب خاوری قرار دارند.



شکل ۵- نقشه خطوطاره‌های زمین‌ساختی منطقه مورد مطالعه و دیاگرام گل سرخی از امتداد خطوطاره‌ها؛ چنان که ملاحظه می‌شود؛ خطوطاره‌ها بیشتر در راستای شمال باختر- جنوب خاور پراکنده هستند.

#### ۳-۲. تحلیل ساختاری شکستگی‌های سطحی

به منظور مطالعه شکستگی‌های سطحی در محل تاقدیس‌های دوازده امام و مره، ۲۵ ایستگاه اندازه‌گیری در قالب سه بخش از یال‌های شمالی، یال‌های جنوبی و دماغه تاقدیس‌ها مشخص شده و اندازه‌گیری و پیمایش ساختاری در آنها صورت گرفته است. شیب و جهت شیب شکستگی‌ها در نقاط مختلف تاقدیس‌ها برداشت و نمودار گل سرخی مربوط به آزمون شیب شکستگی‌های برداشت شده، برای هر ایستگاه رسم شد (شکل ۶). نمودارهای گل سرخی جهت شیب شکستگی نشان می‌دهند که در لولاها و در یال‌های شمالی تاقدیس‌ها، شکستگی‌هایی با روند NW-SE دارای بیشترین فراوانی هستند و اغلب شکستگی‌ها به صورت مزدوج مشاهده می‌شوند؛ در حالی که شکستگی‌ها در یال جنوبی دارای دو روند NW-SE و NE-SW هستند (شکل ۶).

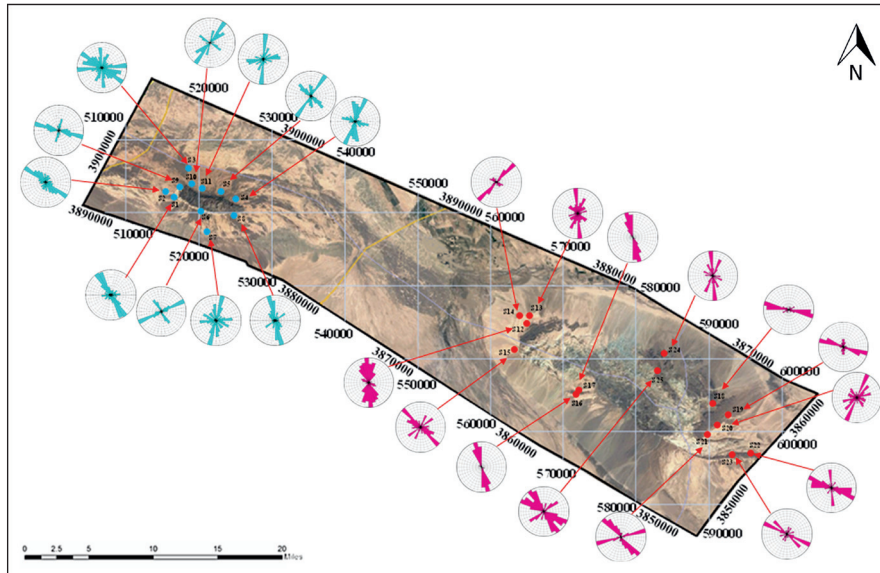
#### ۳-۳. شکستگی‌های زیرسطحی و تفسیر آنها

تاکنون ۵ حلقه چاه در تاقدیس یورتشا حفاری شده است که تنها در چاه‌های YS2 و YS4، لاگ‌های تصویری برداشت شده‌اند. در چاه YS2 لاگ تصویری FMS و

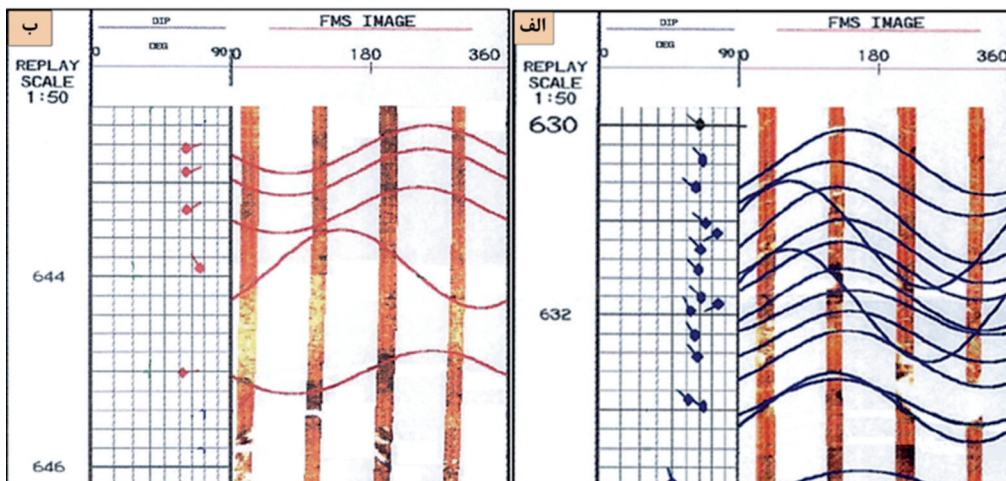
در چاه YS4 لاگ تصویری EMI برداشت شده و جهت تفسیر تراکم و اندازه‌گیری شیب و جهت شیب شکستگی‌ها زیرسطحی مورد استفاده قرار گرفته است. تصویر لاگ FMS در یک نمودار ۲ بعدی جهت‌دار نمایش داده می‌شود؛ به طوری که شیب روی محور عمودی و جهت‌گیری روی محور افقی نشان داده می‌شود. در لاگ تصویری FMS کدهای رنگی استانداردسازی می‌شوند؛ به طوری که رنگ‌های روشن به معنی مقاومت ویژه الکتریکی بالای سازندگی و رنگ‌های تیره نشان‌دهنده مقاومت ویژه الکتریکی کم سازندگی هستند. هر صفحه‌ای که عمود بر محور چاه نباشد؛ سطح دیواره چاه را در طول یک بیضی قطع می‌کند. به طوری که اگر استوانه حاصل (تصویر از دیواره چاه) در طول محور چاه برش داده و باز شود تا به شکل یک صفحه مستطیلی درآید (نمایش ۲ بعدی از یک جسم ۳ بعدی)؛ شکستگی‌های ثبت‌شده توسط لاگ FMS به صورت یک موج سینوسی نشان داده می‌شوند. جهت هر یک از این صفحات ممکن است به راحتی تعیین شود (Serra, 1989). در این تصاویر، ساختارهای صفحه‌ای از جمله گسل‌ها، لایه‌بندی و شکستگی‌ها قابل شناسایی هستند. به طور کلی شکاف‌های بسته به صورت یک موج سینوسی سفید

و جهت شیب آنها برداشت شد. در شکل ۷ نمونه‌ای از شکستگی‌های باز و بسته شناسایی شده روی لاگ تصویری FMS در چاه YS2 نشان داده شده است. توزیع این شکستگی‌ها همراه با دیاگرام‌های گل سرخی شیب، جهت شیب و امتداد شکستگی‌ها در شکل ۸ نمایش داده شده است. چنانکه مشاهده می‌شود؛ شیب شکستگی‌ها متغیر بوده ولی جهت شیب شکستگی‌ها به‌طور کلی در راستای شمال خاوری- جنوب باختری (NE-SW) است.

در تصویر نمودار ظاهر می‌شوند و شکستگی‌های باز توسط یک مقاومت ظاهری کم شناسایی می‌شوند که در تصاویر به‌صورت یک موج سینوسی تیره‌رنگ دیده خواهند شد؛ همچنین فرض می‌شود که تمامی شکاف‌های هادی (رسانا)، باز هستند (Koepsell, 2004). با استفاده از اصل مذکور، شکستگی‌های زیرسطحی در چاه‌های مورد مطالعه شناسایی و استخراج شدند. در این مرحله به کمک نرم‌افزار ژئولاگ، لاگ تصویری FMS در چاه YS2 تفسیر، شکستگی‌های باز و بسته شناسایی و شیب



شکل ۶- نقشه ماهواره‌ای منطقه همراه با محل ایستگاه‌های برداشت و دیاگرام‌های گل سرخی شیب و جهت شیب شکستگی‌ها در محل هر ایستگاه در تاق‌دیس‌های مره و دوازده امام.



شکل ۷- الف) نمایش شکستگی‌های بسته؛ ب) شکستگی‌های باز روی تصاویر دینامیک و استاتیک لاگ تصویری FMS در چاه YS2.

شیب شکستگی‌ها به‌طور کلی به سمت شمال باختر است. شیب و جهت کلی شیب شکستگی‌ها در فاصله عمقی ۱۰۰۶ تا ۱۳۰۰ متر به ترتیب  $54/7^\circ$  و  $23/4^\circ$  است.

#### ۴- مقایسه شکستگی‌های سطحی و زیرسطحی

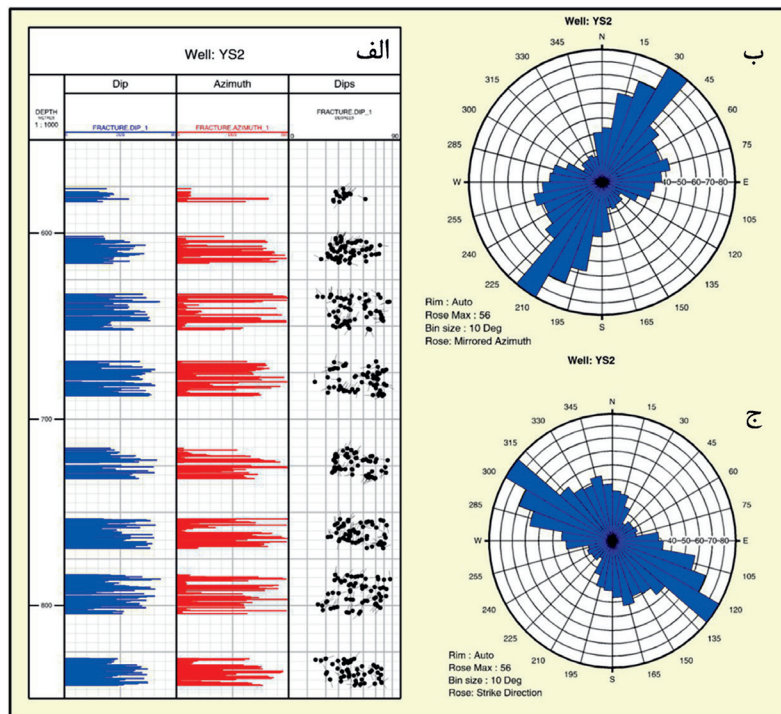
##### ۴-۱. مقایسه امتداد شکستگی‌های سطحی و زیرسطحی

در این بخش شکستگی‌های شناسایی شده در لاگ تصویری FMS و EMI و برداشت‌های سطحی به منظور مقایسه امتداد شکستگی‌های سطحی و زیرسطحی

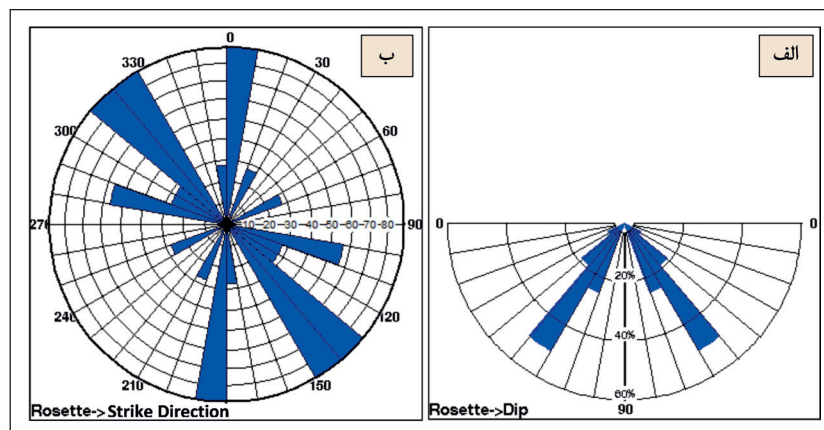
نمودار تصویرگر EMI نیز مشابه دیگر لاگ‌های تصویری قادر به ارائه تصاویر الکتریکی با دقت بالاست که امکان مطالعه خصوصیات سنگ مخزن را بر اساس برداشت مقاومت مخصوص سازند در اطراف دیواره چاه می‌دهد. ابزار EMI در چاه YS4 توسط شرکت چینی CNPC جهت تصویربرداری و برداشت مقاومت مخصوص سازند به کار گرفته شده است و در طول تفسیر این لاگ، شکستگی‌های سازند قم برداشت و شناسایی شده‌اند (شکل ۹). مطابق با تحلیل آماری انجام شده روی شکستگی‌ها در چاه YS4، شیب شکستگی‌ها در حدود  $50^\circ$  تا  $60^\circ$  درجه و جهت

بر اساس نقشه UGC دارای جهت گیری فضایی N140E, 25SW است. بنابراین محور تاقدیس زیرسطحی یورتشا هم‌راستا با محور تاقدیس‌های سطحی است. بر اساس تفسیر لاگ FMS چاه شماره ۲ میدان یورتشا، عمده شکستگی‌های زیرسطحی روند شمال باختر- جنوب خاور دارند. در این تحقیق شکستگی‌های زیرسطحی در دو گروه شکستگی‌های باز و بسته مطالعه و بر این اساس سه دسته شکستگی زیرسطحی با امتدادهای N55E و N15W، N65W، N10E و S45E و دو امتداد غالب N10E و S45E را نشان می‌دهد. نمودار گل‌سرخي مجموع شکستگی‌های برداشت شده در برونزد تاقدیس‌های سطحی مره و دوازده‌امام که ۱۸۵۲ شکستگی را شامل می‌شود نیز چهار دسته شکستگی با امتدادهای N80E، N45E، N10E، و S45E نشان می‌دهد.

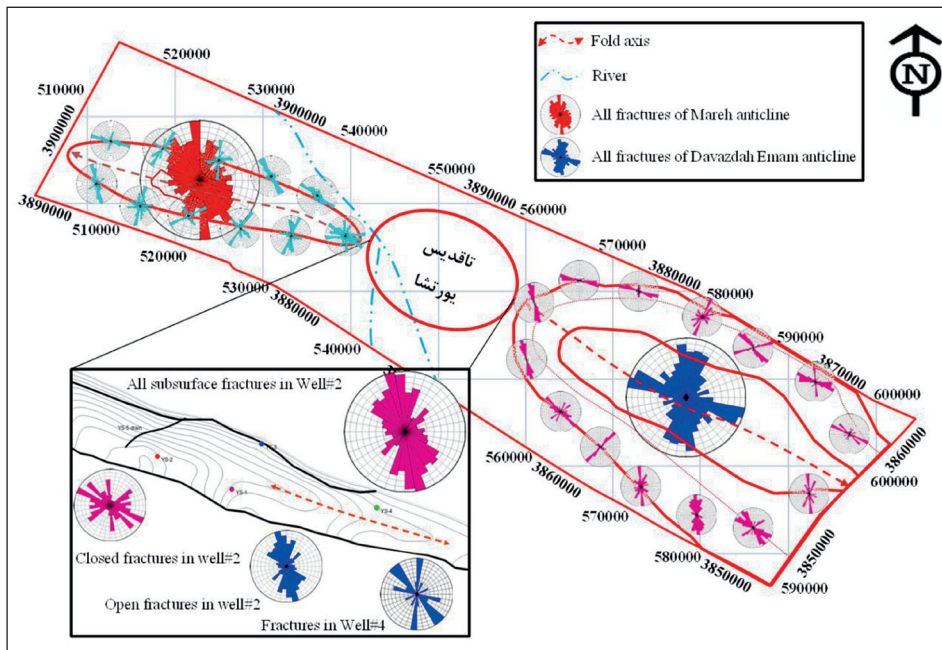
منطقه، بررسی شده‌اند. در شکل ۱۰ نمودار گل‌سرخي حاصل از برداشت‌های سطحی که تقریباً در امتداد محور تاقدیس‌های مورد مطالعه قرار دارند را با نمودارهای گل‌سرخي شکستگی‌های زیرسطحی سازند قم که بر اساس نتایج تصویر FMS و EMI که به ترتیب از چاه‌های شماره ۲ و ۴ میدان یورتشا به دست آمده‌اند؛ مقایسه شده است. در این تصویر، جهت‌گیری عمده شکستگی‌های سطحی در تاقدیس مره شمال باختر- جنوب خاور است؛ در حالی که شکستگی‌های سطحی در تاقدیس دوازده‌امام علاوه بر روند شمال خاور- جنوب باختر پراکندگی قابل توجهی نیز در روند شمال باختر- جنوب خاور نشان می‌دهند که تقریباً عمود بر محور تاقدیس است. لازم به ذکر است که ایستگاه‌های شماره ۸، ۹، ۱۲، ۱۳، ۱۴، ۲۱ و ۲۴ در امتداد محور تاقدیس‌های مورد مطالعه قرار دارند. سطح محوری تاقدیس یورتشا



شکل ۸- الف) توزیع عمقی کل شکستگی‌های زیرسطحی تفسیر شده در سازند قم؛ ب) دیاگرام‌های گل‌سرخي شیب/جهت شیب؛ ج) امتداد شکستگی‌های برداشت‌شده در چاه YS2.



شکل ۹- الف) شیب شکستگی‌ها؛ ب) جهت شیب شکستگی‌ها برداشت شده روی لاگ تصویری EMI در چاه YS4.



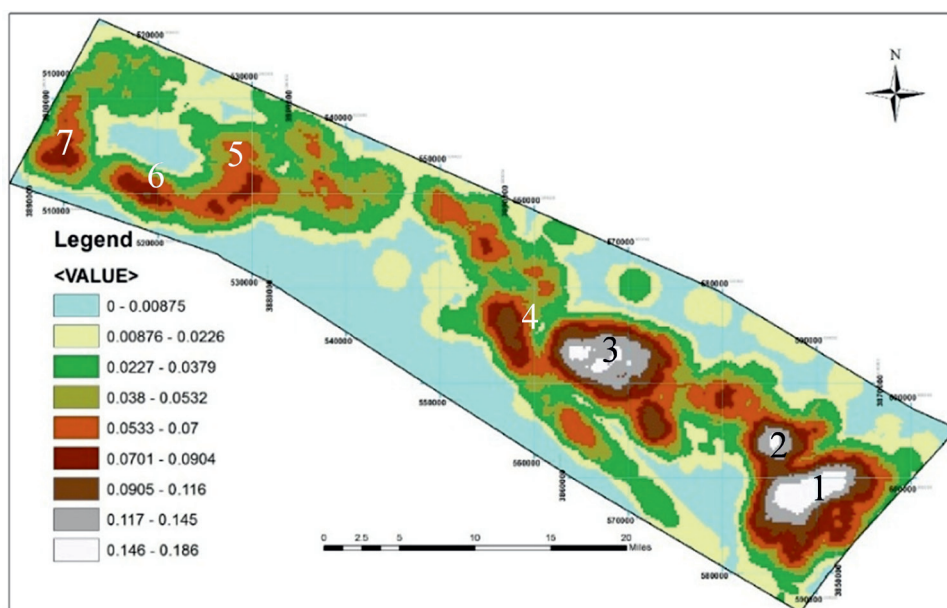
شکل ۱۰- مقایسه امتداد شکستگی‌های برداشت شده در مطالعات زیرسطحی و برداشت‌های صحرایی در منطقه مورد مطالعه.

#### ۴-۲. مقایسه تراکم شکستگی‌های سطحی و زیرسطحی

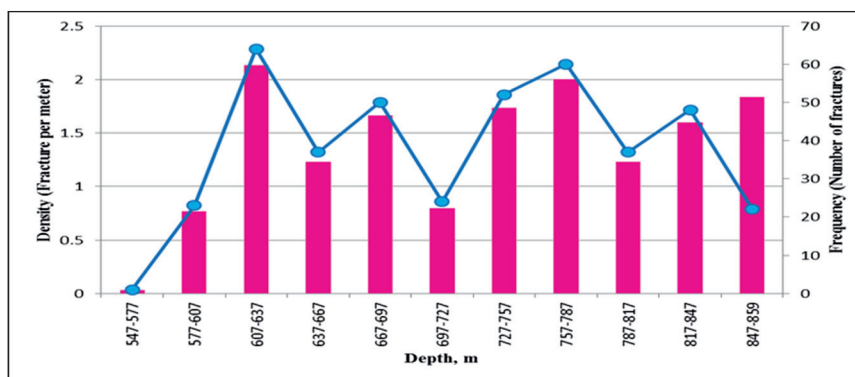
توسعه شکل‌گیری ساختارهای سه‌بعدی شکستگی‌ها شدیداً وابسته به رفتار ماده در یک توالی رسوبی است. استحکام یک لایه رسوبی توسط فاکتورهای متعدد از جمله ترکیب مواد، تخلخل، سیمانی شدن و غیره کنترل می‌شود. علاوه بر اینکه سنگ‌های مختلف دارای استحکام متفاوتی هستند؛ سنگ‌های مشابه تنها با تفاوت در ریزساختارها می‌توانند دارای استحکام متفاوت باشند. شکستگی‌های سازند قم در یورتشا نیز از این الگو پیروی می‌کنند که تمرکز شکستگی‌ها در مناطق با آهک نسبتاً خالص، بیشتر است. در این مرحله از مطالعه، به منظور مقایسه تراکم شکستگی‌ها در سطح و عمق، برای شکستگی‌های سطحی در محیط نرم‌افزار GIS نقشه تراکم شکستگی‌های زمین‌ساختی منطقه مورد مطالعه تهیه شد (شکل ۱۱).

بر اساس نقشه تراکم شکستگی‌ها در بخش سطحی، چهار ناحیه تراکم اصلی شکستگی‌ها در تاقدیس دوازده‌امام وجود دارد که در امتداد محور تاقدیس قرار گرفته‌اند. همچنین برای نمایش تراکم شکستگی‌های زیرسطحی در چاه YS2 به‌طور ساده از یک نمودار خطی استفاده شده است (شکل ۱۲).

نقشه خطواره‌های زمین‌ساختی منطقه حاکی از فراوانی گسل‌های فرعی در این نواحی است. در یال جنوبی تاقدیس مره ۳ ناحیه تراکم شکستگی شناسایی شده است (شکل ۱۱). نمودار تراکم شکستگی‌ها در چاه YS2، سه محدوده تراکم شکستگی در فواصل عمقی ۶۰۷ تا ۶۳۷، ۷۵۷ تا ۷۸۷ و ۸۴۷ تا ۸۵۹ متر نشان می‌دهد که می‌تواند بیانگر این موضوع باشد که در این فواصل عمقی (با توجه به لاگ‌های تصویری)، آهک نسبت به دیگر بخش‌های سازند خالص‌تر و مستعد شکستگی بیشتری است (شکل ۱۲).



شکل ۱۱- نقشه تراکم شکستگی‌های سطحی منطقه مورد مطالعه. در تاقدیس‌های مورد مطالعه بیشترین تراکم شکستگی‌ها منطبق با بخش معوری چین بوده است.



شکل ۱۲- نمودار خطی تراکم شکستگی‌ها در چاه YS2 میدان گازی یورتشا. تراکم شکستگی‌ها به صورت تعداد شکستگی‌های ثبت شده (محور عمودی سمت راست) و به صورت فراوانی در متر (محور عمودی سمت چپ) نشان داده شده‌اند.

## ۵- نتیجه گیری

عنوان یک چین مرتبط با گسل معرفی شده است؛ با روند محور تاقدیس‌های سطحی همخوانی دارد. سنگ مخزن میدان یورتشا سازند قم است که ماتریکسی با تخلخل و تراوایی نسبتاً پایین دارد که توسط حضور شکاف‌ها در میدان مورد مطالعه بهبود یافته است. اگر چه نقش شکستگی‌ها در افزایش تخلخل سازند قم ناچیز است؛ ولی با افزایش تراوایی شرایط مناسبی برای اهداف ذخیره‌سازی فراهم می‌کند.

## سپاسگزاری

نگارش این تحقیق تنها با همکاری صمیمانه شرکت ذخیره‌سازی گاز طبیعی امکان‌پذیر شده است. بنابراین نگارندگان بر خود لازم می‌دانند با توجه به صنعتی بودن طرح از حمایت اطلاعاتی و مالی آن شرکت و به خصوص سرپرست شرکت ذخیره‌سازی آقای غلامعلی رجبی و مدیر اجرایی پروژه یورتشا، آقای مهندس علی تیموری تشکر کنند.

آنالیز شکستگی‌های سطحی نشان می‌دهد که شکستگی‌های تاقدیس مره نسبت به تاقدیس دوازده امام تطابق بیشتری با نتایج شکستگی‌های به دست آمده از تصاویر FMS چاه شماره ۲ میدان یورتشا دارند. امتداد غالب شکستگی‌های سطحی تاقدیس مره مانند شکستگی‌های چاه شماره ۲ میدان یورتشا در راستای NW-SE است؛ در حالی که امتداد شکستگی‌های دوازده امام علاوه بر روند NW-SE پراکندگی قابل ملاحظه‌ای در راستای NE-SW نشان می‌دهند. بر اساس تحلیل آماری انجام شده روی شکستگی‌ها در چاه YS4، شیب شکستگی‌ها در حدود ۵۰ تا ۶۰ درجه و تمایل شیب شکستگی‌ها به‌طور کلی به سمت جنوب باختری است. شیب و امتداد کلی شکستگی‌ها در فاصله عمقی ۱۰۰۶ تا ۱۳۰۰ متر به ترتیب ۵۴/۷ و ۲۳۴/۲ است. همچنین نمودار تراکم شکستگی‌ها در چاه YS2، سه محدوده تراکم شکستگی در فواصل عمقی ۶۰۷ تا ۶۳۷، ۷۵۷ تا ۷۸۷ و ۸۴۷ تا ۸۵۹ متر نشان می‌دهد که در این مناطق با توجه به لاگ‌های تصویری، آهک نسبت به دیگر بخش‌های سازند خالص‌تر و مستعد شکستگی بیشتری است. محور تاقدیس یورتشا که به

## کتابنگاری

آقاباتی، س. ع.، ۱۳۸۳- زمین‌شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی کشور.  
نبوی، ح.، ۱۳۵۵- دیباچه‌ای بر زمین‌شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی کشور.

## References

- Berberian, M. and King, G. C. P., 1981- Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran. Canadian journal of earth sciences, 18(2), pp.210-265.
- Berberian, M., 1983- Continental deformation in the Iranian Plateau. Rep./Iran. Geol. survey.
- Blunt, M. and King, P., 1991- Relative permeabilities from two-and three-dimensional pore-scale network modelling. Transport in porous media, 6(4), pp.407-433.
- Davis, G. H., 1984- Structural Geology of Rocks and Regions, John Wiley & Sons, 1984, 492 p.
- Kalhor, R., 1961- Geology of Neogene Formations in Varamin-Garmsar area and evaluation of Abardej nose. NIOC Geol. Rep. (233), p.26.
- Koepsell, R., 2004- Fracture Analysis of FMI log for well 48-X-28 for the Department of Energy. Schlumberger-Oil Field Services.
- Serra, O., 1989- Formation microscanner image interpretation. Schlumberger Educational Services.
- Tabari, K., Tabari, M. and Tabari, O., 2011- Investigation of Gas Storage Feasibility in Yortshah Aquifer in the Central of Iran. Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 5(12), p.1.
- Tabari, Kh., 2010- Application of Rock-Eval6 in Detection Seepage of Yortshah Gas Storage. World Applied Sciences Journal, 8(10), pp.1193-1199.



# The comparison of concentration and strike pattern of the surface and subsurface fractures in the Yortesha Anticline, a Natural Gas Storage Field in Central Iran

M. Sabahi<sup>1\*</sup>, R. Ramazani Omali<sup>2</sup>, M. Kordi<sup>3</sup> and M. Dourandish<sup>4</sup>

<sup>1</sup>M.Sc., Faculty of Earth Sciences, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

<sup>2</sup>Associate Professor, Faculty of Earth Sciences, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

<sup>3</sup>Assistant Professor, Faculty of Earth Sciences, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

<sup>4</sup>M.Sc., National Iranian Gas Company, Tehran, Iran

Received: 2017 April 29

Accepted: 2017 August 16

## Abstract

In the past decade, several geophysical, geological and reservoir studies have been done on the Qom formation in the Yortesha field for injection and gas storage purposes. Qom formation in this field has a poor reservoir characteristic (low porosity and permeability); therefore the role of fractures for increasing permeability and improving reservoir quality is very important. In the current study, fracture concentration and strike patterns of the Qom and Upper Red formations as the carbonate reservoir and cap rock, respectively, have been investigated and compared in the Yortesha anticline and its adjacent anticlines (Davazdah Emam and Morreh) using surface and subsurface information. In order to achieve this goal, field data, remote sensing, and image log analysis have been used. Subsurface studies and interpretation of FMS and EMI image logs determined that fractures have also a secondary strike of NE-SW in addition to the major strike of NW-SE. Based on the FMS image log interpretation of well No. 2, three subsurface fracture sets have been identified with the strikes of N55E, N65E, and N15W. The EMI log of well No. 4 shows two dominant directions of fracture strikes along N10E and S45E. Rose diagram plots of a total 1852 specified fractures in the outcropping parts of the Morreh and Davazdah Emam anticlines show four fracture sets with the strikes of N10E, N45E, N80E, and S45E.

**Keywords:** Yortesha field, Qom formation, Natural gas storage, Fracture concentration, Image log

For Persian Version see pages 125 to 132

\*Corresponding author: M. Sabahi; E-mail: sabahi.mahnaz@yahoo.com