

# آشکار سازی تغییر شکل سطحی بر پایه تداخل سنجی تفاضلی رادار در میدان نفتی آغاچاری

نگین فولادی مقدم<sup>۱</sup>، علی اکبر متکان<sup>۱</sup>، محمود رضا صاحبی<sup>۲</sup> و مه آسا روستایی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

<sup>۲</sup> دانشکده مهندسی ژئودزی و ژئوماتیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران.

<sup>۳</sup> پژوهشگاه بین‌المللی مهندسی زلزله و زلزله‌شناسی، تهران، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۸۸/۰۵/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۸/۱۲/۰۲

## چکیده

برداشت سیال هیدروکربوری از مخازنی با قابلیت فشرده‌گی بالا و نفوذپذیری پایین، به تدریج سبب تغییر شکل سطح شده و هزینه‌های قابل توجهی را به سبب ریزش سطوح بالایی ایجاد می‌کند. اگرچه ایستگاه‌های نقشه‌برداری زمینی امکان مقایسه مشاهدات مکرر ارتفاعی در موقعیت‌های خاص را آسان می‌کنند اما در نبود مشاهدات و هزینه‌بر بودن آنها ضرورت کاربرد روشی سریع‌تر و ارزان‌تر را بیش از پیش نشان می‌دهد. در این میان، تداخل سنجی تفاضلی رادار (DInSAR) فناوری نوینی است که از تصاویر ماهواره‌ای برای پایش تغییر شکل سطح زمین استفاده می‌کند. در این روش، تصاویر حاصل با دقت مکانی به نسبت بالا، امکان بررسی نوسان‌های صورت گرفته در نرخ تغییر شکل سطحی برای مدیریت و کاهش هزینه‌های جاری ضمن تولید را بهبود می‌بخشند. در این پژوهش، نتایج حاصل از مشاهدات رادار حاکی از تغییر شکل سطحی ناشی از حفاری‌های زیر سطحی در میدان نفتی آغاچاری است به گونه‌ای که تصاویر InSAR، سیگنال‌های فرونشست و بالا آمدگی را در جای جای میدان متناسب با چاه‌های استحصالی و مشاهداتی آشکار کرده است. بررسی چندین سایت تولیدی در یک سری زمانی از تداخل نماها نشان می‌دهد که سیگنال‌های تغییر شکل سطحی طی چند ماه ضمن برداشت سیال، توسعه یافته و به صورت محلی متناسب با شرایط زمین‌شناسی و میزان برداشت منجر به رخداد فرونشست یا بالا آمدگی با نرخ‌های متفاوت و الگوهای تغییر شکل متمایز در میدان شده‌اند.

**کلیدواژه‌ها:** مخازن هیدروکربوری، تغییر شکل سطحی، میدان آغاچاری، تصاویر رادار، تداخل سنجی تفاضلی رادار، الگوهای متمایز تغییر شکل.

E-mail: n.f.moghaddam@gmail.com

\* نویسنده مسئول: نگین فولادی مقدم

## ۱- مقدمه

پدایش و پیشرفت روزافزون فناوری سنجش از دور رادار، امکان اندازه‌گیری جابه‌جایی‌های بسیار کوچک سطح زمین را که در پهنه‌های لرزه‌خیز، مناطق آتشفشانی یا میدان‌های تحت برداشت سیال‌های زیرسطحی رخ می‌دهند، فراهم آورده است. در این میان، تغییر شکل بسیار سریع سطح که به طور معمول ریشه در عوامل غیر زمین‌ساختی مانند استخراج سیال‌های زیرسطحی دارد، با ایجاد تغییرات محلی شدید در ارتفاع زمین و واکنش سطحی همراه آن می‌تواند به سازه‌هایی که از نظر تعمیرات و جایگزینی پرهزینه هستند، آسیب رسانده و ادامه عملیات در بخش تولیدی را با مشکل مواجه سازد. از این رو، اندازه‌گیری ارتفاع سطح زمین با روش‌های گوناگون برای پایش مداوم میدان تحت برداشت ضرورت می‌یابد.

روش‌های محاسبه تغییرات ارتفاعی، شامل اندازه‌گیری‌های میدانی و سکوهایی هوایی یا فضایی است که هر یک در بررسی میزان تغییر شکل سطح، مزایا و کمبودهایی دارند. مرسوم‌ترین روش، نقشه‌برداری زمینی است که برای تهیه داده نیاز به نیروی انسانی متخصص دارد و قادر به تهیه نقشه تغییر شکل در یک زمان خاص نیست. اگرچه دقت این روش می‌تواند در سطح میلی‌متر باشد اما تهیه نقشه‌های تغییرات ارتفاعی نیاز به تکرار ماهانه برداشت زمینی دارد. روش به‌نسبت نوینی که در آن ابزار پایش در میدان قرار می‌گیرد، جابه‌جایی سطح را توسط سیستم موقعیت‌یاب جهانی (GPS) مشخص می‌کند. گیرنده‌های GPS ضمن اندازه‌گیری طولانی مدت با استفاده از چندین ماهواره، به دقتی در سطح زیرسانتی‌متر دست می‌یابند. در این روش، به چندین ایستگاه پایش در راستای خط مبنای برداشت زمینی نیاز است تا نقشه قابل فهمی از تغییرات سطح میدان به‌دست آید. به‌طور کلی می‌توان گفت دو روش یاد شده که تغییرات را در مکان‌هایی با تعداد نقاط محدود اندازه‌گیری می‌کند، دسترسی زمینی در آنها لازم و ضروری بوده و به طور معمول هزینه‌بر است. در مقابل، سکوهایی هوایی داده مورد نیاز را به سرعت تهیه می‌کنند و هم اکنون بسیاری از روش‌های مرتبط با آنها مانند عکس‌برداری استریو همچنان مورد استفاده قرار می‌گیرد. این روش بسیار هزینه‌بر و وابسته به وضعیت آب و هوایی

است. نقشه حاصل می‌تواند در حد ۰/۱ تا ۲ متر دقت داشته باشد اما این دقت برای آشکار سازی جابه‌جایی‌های صورت گرفته در میدان کافی نیست. در پهنه‌بندی سطح زمین توسط لیزر هوایی (ALTM) موقعیت دقیق و ارتفاع هواپیما برای دستیابی به بیشترین دقت که می‌تواند در پهنه‌بندی ارتفاعی سطح زمین ۱۵ سانتی‌متر یا بیشتر باشد، ضروری است. لیزر هوایی نسبت به عکس‌برداری استریو کم هزینه‌تر است اما برای تهیه نقشه‌های تغییر شکل باید چندین تصویر از منطقه تهیه کند. رادار با دریچه مصنوعی (SAR) در مفاهیم پایه مشابه عکس‌برداری استریو است اما به ازای نور از پالس رادار به‌عنوان منبع روشنایی استفاده می‌کند و با این وجود قادر به دستیابی به دقت مورد نظر نیست. سرانجام در اواخر دهه ۱۹۸۰ روشی با عنوان تداخل سنجی تفاضلی

۱۳۸۷). سازند گچساران به صورت هم‌شیب توسط سازند میشان پوشیده می‌شود و خود به‌طور هم‌شیب بر روی سازند آسماری قرار گرفته است. این سازند در میدان‌های نفتی همانند آغاچاری، بر روی مخازن نفت آهکی قرار گرفته است. مرز بالایی سازند گچساران و میشان ناگهانی است، اما تبدیل میشان به آغاچاری به تدریج صورت می‌گیرد. سازند آغاچاری در اثر فرسایش کوه‌های زاگرس به وجود آمده است. این سازند در فروافتادگی دزفول به علت فرونشست تدریجی در طی زمان رسوبگذاری، بیشترین ستبر را دارد. در سطح تماس بالایی سازند آغاچاری بخش لهری قرار گرفته است. حد پایینی این بخش به حالت هم‌ساز بر روی طبقات ماسه‌سنگی و مارنی سازند آغاچاری قرار می‌گیرد و حد بالایی آن به نهشته‌های عهد حاضر ختم می‌شود که ممکن است هم‌ساز یا ناهم‌ساز باشد.

در فروافتادگی دزفول، بیشتر گسل‌هایی که بر سازند آسماری و پیش از آن اثر کرده‌اند و احتمالاً ویژگی‌های لرزه-زمین‌ساختی دارند، در سازند پلاستیک گچساران اثر خود را از دست می‌دهند. بررسی‌های دقیق نشان داده است که گسل‌های موجود در سطح زمین آن گسل‌هایی نیستند که سازند آسماری را قطع کرده‌اند (بربریان، ۱۳۶۵). با این وجود تنها در یال جنوبی میدان مورد نظر یک گسل راندگی دیده می‌شود که از نظر زمین‌ساختی چندان فعال نبوده است (شکل ۲).

#### ۴- نتایج حاصل از پردازش ماهواره‌ای

در این پژوهش از تصویر سنجنده پیشرفته رادار پهلونگر با دریچه مصنوعی (ASAR) که بر روی ماهواره Envisat قرار دارد، استفاده شده است. پردازش استاندارد تصاویر توسط نرم‌افزار GAMMA بر روی داده گرفته شده، اعمال شد. سیگنال‌های خام رادار با استفاده از فایل‌های مداری و کالیبراسیون سنجنده به تصاویر مختلط منفردنگر (SLC) تبدیل و نسبت به یکدیگر ثبت هندسی شدند. مرحله بعد که تشکیل تداخل‌نماست به‌طور معمول با تصحیح هندسی یکی از تصاویر مختلط بر پایه تصویر دیگر و مطابق با پیش‌فرض انطباق هندسی صورت می‌گیرد. در این میان، نمونه‌برداری دوباره به‌طور معمول با روش‌های درون‌یابی در حوضه مکانی انجام می‌شود و حفظ محتوی طیفی تصویر در طراحی فیلتر در نظر گرفته می‌شود. بدین ترتیب تداخل‌نما خود یک تصویر مختلط بوده و فاز آن اختلاف فاز سیگنالی است که توپوگرافی و تغییر شکل را با هم در زمان‌های تصویربرداری در بر می‌گیرد. در این میان از مدل رقومی ارتفاع با قدرت تفکیک مکانی ۹۰ متر (SRTM DEM) به‌عنوان مبنای ارتفاعی برای حذف اثر توپوگرافی استفاده می‌شود. با آگاهی از اطلاعات مداری و مدل رقومی ارتفاع، امکان شبیه‌سازی تداخل‌نمای توپوگرافی و حذف آن از تداخل‌نمای مورد نظر وجود دارد.

از آن جا که تغییرات فاز به‌صورت مضربی از  $2\pi$  اندازه‌گیری می‌شوند و تعداد دقیق چرخه‌های فاز در هر اندازه‌گیری از دست می‌رود، تداخل‌نما نمی‌تواند بدون انجام فرایندی برای بازیافت چرخه‌های از دست رفته به نقشه تغییر شکل تبدیل شود. این فرایند که بازیابی فاز خوانده می‌شود از الگوریتم‌های متنوعی برای محاسبه تغییر فاز در یک تداخل‌نما از یک نقطه به نقطه دیگر و تلفیق آنها برای شکل‌گیری یک تابع فازی مرتبط با چرخه‌های از دست رفته پیشین استفاده می‌کند. مرحله نهایی که در عین حال مهم‌ترین گام برای دستیابی به نتایج حاصل از تداخل‌سنجی است، مسطح‌سازی تداخل‌نماست. فرینج‌های حاصل از خطاهای مداری و دقیق نبودن موقعیت ماهواره را می‌توان از روش کسر صفحه‌ای از هر تداخل‌نما تصحیح کرد. خطاهای مداری غالباً به‌صورت فرینج‌های موازی آشکار می‌شوند و در جایی که هم‌دوسی در عرض تصویر مناسب است این صفحه به سادگی قابل استخراج است.

کاربر در برآورد میزان تغییر شکل سطحی، از هندسه تصویربرداری برای تعیین تعداد دقیق چرخه‌های اختلاف فاز میان دو مشاهده، آگاهی کامل ندارد؛ به عبارت دیگر

زوج تصویر DInSAR براساس دو اصل انتخاب می‌شدند. نخست، اختلاف زمانی میان تصاویر که از ۴۳ روز تا ۲۴ روز در ماهواره‌های مختلف متغیر است و بهتر است تا حد امکان کوتاه باشد. مورد دوم، خط مبنای عمودی یا فاصله میان مدارات است که کوتاه‌تر بودن آن یک نوع برتری به شمار می‌رود. این دو متغیر برای کاهش عدم همبستگی زمانی و مکانی میان داده‌های گرفته شده و دستیابی به نتایجی با کیفیت بالاتر مد نظر قرار می‌گیرند.

از آن‌جا که فشردگی فیزیکی و افت فشار از جمله عوامل اصلی فرونشست در مکان‌هایی هستند که سیال‌های هیدروکربوری استخراج می‌شوند، پهنه‌بندی یکپارچه InSAR و بررسی همزمان آن با عوامل زیرسطحی، الگوی بی‌هنجاری تغییر شکل را که توسط عوامل غیر زمین‌ساختی ایجاد شده است، نشان می‌دهد. این کاربرد نوین InSAR می‌تواند در صنعت نفت بسیار مفید و مورد توجه واقع شود.

به‌عنوان نخستین تلاش در راستای توسعه روش جدیدی در پایش اثرات برداشت سیال‌های زیرسطحی و بررسی رفتار مخزن، فناوری InSAR برای تشخیص و اندازه‌گیری تغییر شکل سطحی حاصل از تولید نفت در سایت آغاچاری به کار گرفته شد. طبق گزارش‌های شرکت ملی نفت ایران، چندین نشت در یال جنوبی میدان نفتی یاد شده از سال ۲۰۰۳ می‌تواند حاکی از رخداد فرونشست تدریجی در این بخش از سایت به سبب تراکم بالای چاه‌های استحصالی و نبود تزریق گاز یا بخار برای جلوگیری از افت فشار باشد. از آنجا که از سال ۲۰۰۳ داده‌های آرشیو ماهواره Envisat سازمان فضایی اروپا (ESA) در دسترس قرار دارد، بررسی وضعیت میدان از زمان وقوع فرونشست و روند تدریجی پیشرفت آن با روش تصاویر راداری این ماهواره امکان‌پذیر شد. سیگنال‌های حاصل از فعالیت سایت‌های برداشت نفت، الگوهای متنوعی را در منطقه نشان داده‌اند و در این میان میزان تغییرات سطحی متناسب با وضعیت مکانیکی، چینه‌شناختی و تولیدی هر یک از چاه‌های استحصالی متمایز است.

#### ۲- موقعیت جغرافیایی

ناحیه مورد بررسی، یکی از کهن‌ترین میدان‌های نفتی جنوب باختر ایران است که در محدوده عرض‌های  $30^{\circ} 15'$  تا  $30^{\circ} 34'$  شمالی و طول‌های  $49^{\circ} 20'$  تا  $49^{\circ} 50'$  خاوری در ناحیه فروافتادگی دزفول و ۹۰ کیلومتری جنوب خاور اهواز قرار گرفته است. میدان یاد شده بیضی شکل بوده و امتداد آن از روند عمومی زاگرس (شمال باختر- جنوب خاور) پیروی می‌کند. ساختمان میدان شیب‌دار با زاویه شیب صفر تا ۷۶ درجه است که در یال جنوبی بیش از یال شمالی است. در میدان آغاچاری چاه‌های حفاری شده فراوان هستند و بخش بیشتر آنها در مخزن آسماری قرار گرفته‌اند (شکل ۱).

#### ۳- زمین‌شناسی عمومی منطقه

میدان آغاچاری سه مخزن مهم آسماری، بنگستان و خامی دارد. در مخازن بنگستان و خامی حفاری‌های محدودی صورت گرفته است و اطلاعات چندانی از آنها در دسترس نیست؛ در حالی که بیشتر فعالیت‌های تولیدی این میدان در بخش آسماری صورت می‌گیرد.

ساختار آغاچاری در افق آسماری یک تاقدیس نامتقارن متشکل از ۳ بخش بالایی، میانی و پایینی است. سنگ‌شناسی کلی آن سنگ‌آهک و دولومیت است و در بخش‌هایی از آن ماسه‌سنگ، مارن و شیل نیز دیده شده است. در لایه‌های زیرین بویژه یال جنوبی ماسه‌سنگ‌های متخلخل و تراوا گسترش خوبی دارند و به‌سوی قاعده سازند بر ستبرای شیل‌ها افزوده می‌شود.

در این میان، گروه فارس به‌عنوان سنگ‌پوش مخازن نفت آسماری اهمیت ویژه‌ای دارد. این گروه از سازندهای آغاچاری، میشان و گچساران تشکیل یافته است که همگی به سن میوسن آغازی هستند (شرکت ملی مناطق نفت‌خیز جنوب،

با وجود حذف بیشتر تداخل‌نماها به سبب افزایش اثرات اتمسفری و کاهش همدوسی، تعیین الگوی مکانی مناسب که نمایانگر فرونشست یا بالا آمدگی در بخشی از میدان باشد تنها بر مبنای نتایج حاصل از InSAR امکان‌پذیر نبود. اگرچه در سال ۱۳۸۷ تمام سطح میدان توسط GPS برداشت شد، اما نبود اندازه‌گیری‌ها به صورت سری زمانی و نیز متمایز بودن مبنای ژئودتیکی در اندازه‌گیری‌های پیشین (ترازیابی در ۱۶ سال پیش)، سبب شد تا داده GPS برای اعتبارسنجی نتایج دقت پایینی داشته باشد و به کار نرود (شرکت ملی مناطق نفت‌خیز جنوب، ۱۳۸۷). بدین ترتیب سعی شد تا از داده حاصل از برداشت هر یک از چاه‌های استحصالی میدان در بازه زمانی مشابه تصاویر تداخل‌سنجی، به عنوان یک منبع داده جانبی در بررسی الگوی رفتاری میدان و نحوه تفسیر سیگنال‌های مشاهداتی استفاده شود. بدین منظور رفتار تولیدی ۶ چاه نفت در یال شمالی و جنوبی میدان به صورت جدا بررسی و دیده شد که چاه‌های واقع در یال شمالی از نظر میزان تولید، افت فشار و فرونشست حاصل از آن با نتایج حاصل از InSAR همخوانی بالایی دارند؛ در حالی که الگوی یاد شده در چاه‌های تولیدی یال جنوبی میدان دیده نمی‌شود.

شکل ۶ نمودار مربوط به تغییر شکل سطحی سه چاه موجود در یال شمالی میدان آغاچاری را نشان می‌دهد و بیانگر رفتار به نسبت مشابه آنها، ضمن روند تولیدی یکسان است. همان‌گونه که دیده می‌شود این نمودار جز در بازه نهایی (اردیبهشت تا شهریور ۸۴) روند نزولی داشته و به تدریج از ابتدای برداشت تصویر بر مقادیر فرونشست آن افزوده شده است. بیشینه مقدار فرونشست در هر سه چاه در بازه زمانی مهر ۸۳ تا اردیبهشت ۸۴ (۲۰۰۵/۰۵/۱۳ - ۲۰۰۴/۱۰/۱۵) بوده که در آن تولید نیز به بیشترین میزان خویش در میان بازه‌های مورد بررسی رسیده است. بنابراین می‌توان این‌گونه بیان کرد که در یال شمالی میدان، میزان تغییرات سطحی در هر یک از چاه‌های مورد بررسی با نرخ تولید آنها به صورت هارمونیک عمل می‌کند؛ با این وجود آنچه در تصویر نهایی رخ داده است، با توجه به حذف بیشتر خطاهای سیستماتیک ضمن پردازش تصاویر، می‌تواند ناشی از عواملی مانند خطای اتمسفری باشد که در این بازه زمانی با توجه به اقلیم منطقه و میزان بخار آب نسبت به دیگر بازه‌ها افزایش یافته است. در مقابل، روند تغییر شکل در چاه‌های یال جنوبی از الگوی تولیدی موجود پیروی نمی‌کند و فرضیه وجود عاملی دیگر در کنار استخراج سیال‌های زیرسطحی را در شکل‌گیری چنین رفتار غیر معمول در یال جنوبی میدان قوت می‌بخشد و ضرورت تفسیر نتایج به‌طور ضمنی با در نظر گرفتن هر دو عامل زمین‌ساختی و تولیدی در منطقه را نشان می‌دهد. همان‌گونه که در شکل ۷ دیده می‌شود، برخلاف انتظار ضمن افزایش میزان تولید، فرونشست میدان کاهش می‌یابد و نوعی بالا آمدگی و جبران تغییر شکل سطحی در چاه‌های نمونه این یال دیده می‌شود که می‌تواند ناشی از عوامل زمین‌ساختی همچون راندگی دوگانه در تقادیس‌های سطحی و زیرسطحی یال جنوبی، فعالیت شدید گسل‌های پی‌سنگی و شیب‌های حرارتی حاصل از آنها (گسل هندجیان)، سبزی زیاد، گسل خوردگی و بالا آمدگی سازند گچساران، شکسته شدن مخزن و مهاجرت نفت در این بخش باشد که آثار نشست‌های متعدد آن در منطقه‌ای چون کوه سوخته به دفعات دیده شده است (علیزاده، ۱۳۸۷). بنابراین می‌توان بیان کرد که تأثیر عوامل زمین‌ساختی در این بخش از میدان از ابتدای برداشت، رفتار چاه‌های این منطقه را در برابر نرخ تولید نسبت به دیگر بخش‌ها متمایز کرده است و عامل اصلی به‌شمار می‌آید که بررسی میزان مشارکت هر یک در این امر به تلیق دقیق‌تر مطالعات زمین‌ساختی و نتایج تداخل‌سنجی با استفاده از مدل‌سازی میزان تغییر شکل مخزن ضمن تولید نیاز دارد.

## ۶- بحث و تفسیر نتایج

در میدان نفتی آغاچاری افت فشار و داده‌های حاصل از تولید در کنار نتایج InSAR، تغییر شکلی را آشکار می‌سازند که به‌طور قطعی از استخراج سیال همراه با وضعیت

تداخل‌سنجی یک اندازه‌گیری نسبی است و در بیشتر گزارش‌هایی که پیرامون تغییر شکل سطح انتشار یافته‌اند، فرض بر آن است که میزان فاز دور از منطقه مورد بررسی صفر است. در این پژوهش ۱۲ تصویر ASAR که میدان آغاچاری را از سال ۲۰۰۳ تا ۲۰۰۸ پوشش می‌دهند، از آرژانس فضایی اروپا (ESA) گرفته شده‌اند (جدول ۱). تداخل‌نماهای تشکیل شده میان هر زوج تصویر در شکل ۳ به صورت اتصال‌هایی نمایش داده شده‌اند. برخی از تداخل‌نماها به دلیل خط مبنای مکانی بالا (بیش از ۲۶۰ متر به‌عنوان خط مبنای بحرانی) و با بازه زمانی طولانی که سبب عدم همبستگی می‌شوند، برای تفسیر مناسب نیستند و باید کنار گذاشته شوند.

با توجه به حذف اثر توپوگرافی توسط مدل رقومی ارتفاع با عدم صحت قائم ۱۰ متر که کمتر از ارتفاع ابهام تداخل‌نماهاست از اثر توپوگرافی باقیمانده می‌توان صرف نظر کرد (جدول ۱).

خطای ناشی از تأخیر فاز به واسطه پدیده‌های تصادفی است که در چندین تداخل‌نمای مستقل در بازه‌های زمانی مختلف، فرینج‌هایی را ایجاد می‌کند و از آن‌جا که تمام تداخل‌نماها برای حذف خطای مداری باقیمانده هموار شده‌اند، طول‌موج‌های بلند مرتبط با اتمسفر همراه با خطاهای مداری به کمترین میزان خود رسیده است.

برای حذف خطای مداری و کاهش اثرات جوی بر روی آن پیش از محاسبه میزان تغییر شکل سطح می‌توان از نقاط GPS به‌عنوان نقاط ثابت و برازش صفحه به آنها یا برازش صفحه به نقاط خارج از منطقه جابه‌جایی استفاده کرد. در این پژوهش راه‌حل اول به سبب تراکم ناچیز و دقت پایین‌تر از حد متعارف نقاط GPS در منطقه، امکان ایجاد خطای سیستماتیک اضافی بر تصویر را قوت می‌بخشد. از این رو عملیات مسطح‌سازی با روش برازش صفحه به کل تداخل‌نما در محیط Matlab صورت گرفت که در جدول ۲ ستون آخر دقت روش یادشده در هر یک از تداخل‌نماهای تفاضلی تهیه شده از راه انتخاب یک سری نقاط در تصویر خطا و ارزیابی جذر میانگین مربعات آنها به صورت جدا آورده شده است. از سوی دیگر، در پیاده‌سازی روش یادشده ناچیز بودن مساحت منطقه تحت فرونشست نسبت به مساحت کل تداخل‌نما از مفروضات اصلی است.

در پایان بر اساس بررسی آماری که صورت گرفته در جدول ۲ از میان ۱۶ تداخل‌نمای تهیه شده، تنها ۵ مورد، درستی نتایج بالایی را داشتند و برای بررسی و مقایسه با داده‌های حاصل از تولید وارد مرحله تفسیر نتایج شدند. این تداخل‌نماهای متوالی نسبت به دیگران انحراف استاندارد و پراش کمتری در مقادیر دارند و میزان همدوسی در آنها به مراتب بالاتر است (شکل ۵).

## ۵- تحلیل نتایج

اگرچه انتظار نمی‌رفت که در تداخل‌نمای حاصل از دو تصویر نخست، تغییر شکل مشخصی دیده شود، زیرا اختلاف زمانی آنها تنها ۷۰ روز است (شکل ۴)، با این وجود، نقشه تغییر شکل تهیه شده نشان داد که پاره‌ای از مناطق، در حال فرونشست یا بالا آمدگی بوده‌اند و مقدار تغییر شکل در آنها می‌تواند به ۱۹ میلی‌متر نیز برسد. این مورد ممکن است بر اثر سه عامل ایجاد شده باشد. نخست، در این مناطق نوعی تغییر شکل رخ داده است که از استخراج سیال زیرسطحی یا مهاجرت آن در فاصله زمانی میان دو تصویر گرفته شده حاصل شده است. دوم آن که تغییرات ارتفاعی در نقشه جابه‌جایی ممکن است ناشی از خطای بازیابی فاز باشد؛ به عبارت دیگر سطوحی با تغییر شکل بسیار زیاد در مناطقی با همدوسی پایین قرار دارند و سوم آن که تأخیر مربوط ناشی از بخار آب اتمسفر حاصل شده است. با این وجود به دلیل نداشتن داده کافی تمام این ۱۹ میلی‌متر را نمی‌توان با اطمینان به جابه‌جایی‌های میدان نفتی نسبت داد. چنانچه داده GPS با سنجنده MERIS موجود باشد، می‌توان با اطمینان بیشتری بررسی کرد که این مقدار مربوط به جابه‌جایی است یا بخار آب عامل ایجادکننده آن است.

زمین‌ساختی خاص منطقه حاصل شده است. مقایسه فرونشست‌های موجود در یال شمالی در تاریخ‌های مختلف نشان می‌دهد که بیشترین نرخ فرونشست در تداخل‌نمای مهر تا اردیبهشت ۸۳-۸۴ قابل دیدن است در حالی که در تداخل‌نمای ۲ ماه پیش آن هیچ‌گونه فرونشستی دیده نشده است. این نتیجه نشان می‌دهد که فرونشست یاد شده به سبب رخداد حادثه‌ای مشخص در این دوره زمانی روی داده و میزان فرونشست در مدت زمان کوتاهی پس از آن به شدت کاهش یافته است.

در تفسیر نتایج این بخش می‌توان از علل زیر به عنوان عوامل اصلی شکل‌گیری فرونشست در میدان نام برد:

- زمین‌ساخت و حرکات افقی و عمودی حاصل از فعالیت گسل‌ها در پوسته زمین؛
- کاهش فشار در سازندهای آب‌دار و کاهش سطح ایستابی؛
- افزایش بار ناشی از ساختارها و نهشته‌های سطحی؛
- عملیات‌های میدان نفتی شامل استخراج نفت و کاهش فشار در مخازن نفتی همراه با افزایش وزن روباره و کوتاه‌شدگی الاستیک و تغییر شکل پلاستیک.

چنانچه اثر احتمالی هر یک از این عوامل همراه با داده و ویژگی‌های مکانیکی سازندهای موجود در سنگ‌پوش، مورد بحث و بررسی واقع شود می‌توان به نتایج زیر دست یافت:

بخش بسیار کوچکی از فرونشست (شاید در حد چند میلی‌متر) ممکن است ناشی از حرکات زمین‌ساختی باشد اما این موضوع را نمی‌توان با اطمینان مطرح کرد. این امر می‌تواند به سبب کاهش فشار آب در آبخوان‌های زیر سطح کل منطقه یا در پاره‌ای از بخش‌ها فقدان فشار مخزن به سبب جریان سیال در ماسه‌های نفتی به سمت میدان نفتی مجاور باشد.

از سوی دیگر نوعی گسل خوردگی و بالا آمدن سازند گچساران در بلا فصل جنوب باختری میدان آغا جاری، صورت گرفته است (علیزاده، ۱۳۸۷). مطیعی (۱۳۷۴) ضمن تأکید بر ابهامات موجود در یال جنوبی تاقدیس آغا جاری، محدوده درهم بر روی مقاطع لرزه‌ای را با حضور گسل‌های رانده در یال جنوب باختری تاقدیس توجیه کرد و مدل راندگی آن را از نوع ساده معرفی کرد. همچنین ایشان به راندگی دو گانه در این میدان اشاره کرده‌اند و تکرار ردیف چینه‌شناسی را در چاه ۱۴۹ آغا جاری نیز بر این اساس توجیه می‌کنند.

عبداللهی فرد (۱۳۸۵)، تاقدیس‌های فروافتادگی دزفول را نسبت به دشت آبادان، پیچیده‌تر دانسته‌اند. ایشان افزوده است که در پهنه راندگی جبهه جلویی که گروه فارس در امتداد آن در میدان آغا جاری رخنمون یافته، تاقدیس‌های کوچک سطحی در مرز جنوب باختری میدان تشکیل شده‌اند. این پهنه راندگی کم ژرفا، تغییراتی در میزان جابه‌جایی و شیب دارد که عامل بروز تغییراتی در هندسه چین‌های مرتبط با آن است. همچنین در این میدان سازوکار خمشی- لغزشی، از جهت خط لغزش‌های رشته‌ای در رگه‌های ژیبسی که به طور معمول در راستای عمود بر محور چین است، نتیجه گرفته می‌شود. این راندگی می‌تواند توجیهی در مناطقی با بالا آمدگی در میدان باشد.

### سپاسگزاری

این پژوهش با نظارت و حمایت سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور و سازمان فضایی اروپا انجام گرفته است. در این راستا بر خود لازم می‌دانیم از همکاری مدیریت ژئوماتیکس و بخش دورسنجی که فرصت و امکانات لازم برای سفارش و پردازش تصاویر رادار را در اختیار قرار داده‌اند، کمال تشکر و قدردانی را داشته باشیم. از سوی دیگر پشتیبانی شرکت ملی مناطق نفت‌خیز جنوب در اهواز و یاری‌های بی‌دریغ کارشناسان محترم در بخش‌های زمین‌شناسی گسترشی، نقشه‌برداری سطحی و مهندسی مخزن در پیشبرد هر چه بهتر مطالعه یادشده درخور سپاسگزاری است.

همان‌گونه که از نتایج مشخص است، هر دو عامل زمین‌ساختی و غیرزمین‌ساختی در ایجاد تغییر شکل سطحی آغا جاری به نوعی تأثیر داشته‌اند که ارزیابی این که تغییر در فعالیت مربوط به بشر تا چه میزان تنش میدان و لرزه‌نگاری سطح را تحت تأثیر قرار می‌دهد، با مدل‌سازی فرونشست زمین‌ساختی و بررسی تغییرات تنش بدون اثرات زمین‌ساختی در بخش‌های مختلف میدان امکان‌پذیر است. با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش، بهترین روش در بررسی فرایند منطقه‌ای تغییر شکل سطحی برداشت‌های تلفیقی است. برداشت تلفیقی تحلیل کمی و کیفی جابه‌جایی‌های عمود را به سبب کاربرد منابع متنوع مانند تداخل سنجی رادار، نقاط ژئودتیک زمینی، برداشت‌های درون‌چاهی و مقادیر تولید و افت فشار به مراتب بهبود می‌بخشد. افزون بر این، این روش امکان ارزیابی به‌هنگام مناطق بحرانی را برای درک بهتر تغییر تدریجی و عوامل ایجاد کننده این پدیده آسان می‌کند. پیشنهاد می‌شود در بررسی‌های آتی، نقش زمین‌ساخت و فعالیت‌های استحصالی در تغییر شکل صورت گرفته مدل‌سازی و تغییرات تنش حاصل از مؤلفه برداشت از مخزن ارزیابی شود تا قابل مقایسه با تغییرات تنش ناشی از حرکات زمین‌ساختی منطقه باشد.

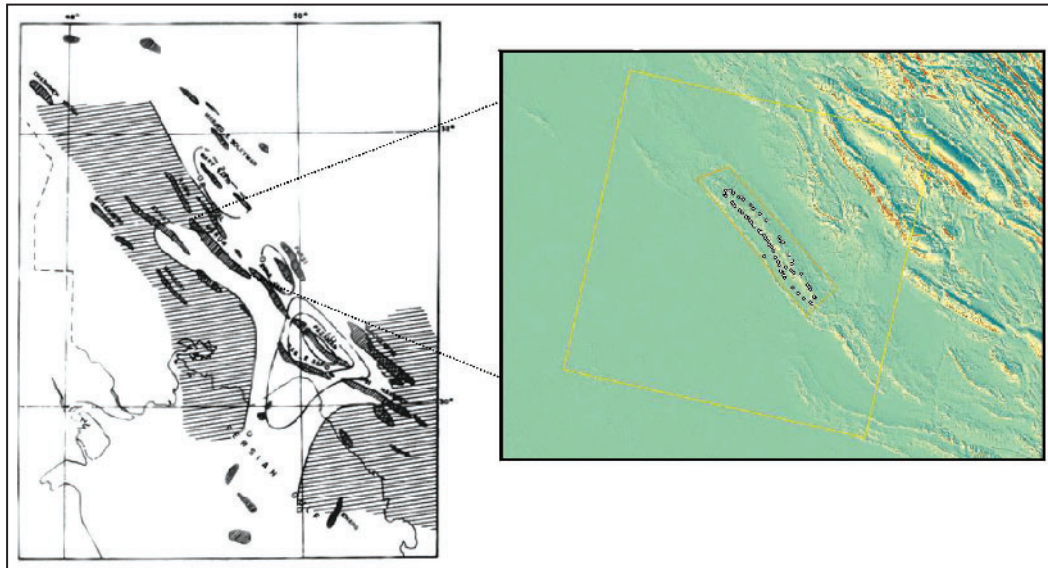
بخش بسیار کوچکی از فرونشست (شاید در حد چند میلی‌متر) ممکن است ناشی از حرکات زمین‌ساختی باشد اما این موضوع را نمی‌توان با اطمینان مطرح کرد. این امر می‌تواند به سبب کاهش فشار آب در آبخوان‌های زیر سطح کل منطقه یا در پاره‌ای از بخش‌ها فقدان فشار مخزن به سبب جریان سیال در ماسه‌های نفتی به سمت میدان نفتی مجاور باشد.

از سوی دیگر نوعی گسل خوردگی و بالا آمدن سازند گچساران در بلا فصل جنوب باختری میدان آغا جاری، صورت گرفته است (علیزاده، ۱۳۸۷). مطیعی (۱۳۷۴) ضمن تأکید بر ابهامات موجود در یال جنوبی تاقدیس آغا جاری، محدوده درهم بر روی مقاطع لرزه‌ای را با حضور گسل‌های رانده در یال جنوب باختری تاقدیس توجیه کرد و مدل راندگی آن را از نوع ساده معرفی کرد. همچنین ایشان به راندگی دو گانه در این میدان اشاره کرده‌اند و تکرار ردیف چینه‌شناسی را در چاه ۱۴۹ آغا جاری نیز بر این اساس توجیه می‌کنند.

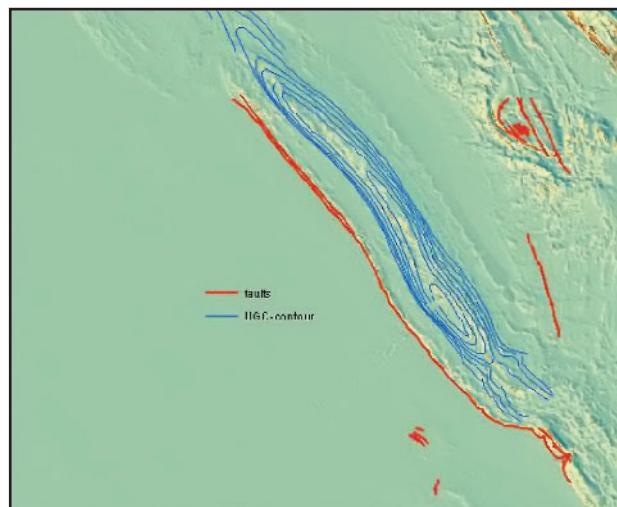
عبداللهی فرد (۱۳۸۵)، تاقدیس‌های فروافتادگی دزفول را نسبت به دشت آبادان، پیچیده‌تر دانسته‌اند. ایشان افزوده است که در پهنه راندگی جبهه جلویی که گروه فارس در امتداد آن در میدان آغا جاری رخنمون یافته، تاقدیس‌های کوچک سطحی در مرز جنوب باختری میدان تشکیل شده‌اند. این پهنه راندگی کم ژرفا، تغییراتی در میزان جابه‌جایی و شیب دارد که عامل بروز تغییراتی در هندسه چین‌های مرتبط با آن است. همچنین در این میدان سازوکار خمشی- لغزشی، از جهت خط لغزش‌های رشته‌ای در رگه‌های ژیبسی که به طور معمول در راستای عمود بر محور چین است، نتیجه گرفته می‌شود. این راندگی می‌تواند توجیهی در مناطقی با بالا آمدگی در میدان باشد.

بخش بیشتر فرونشست که در درون میدان نفتی آغا جاری رخ داده است، بی‌شک ناشی از عملیات تولیدی میدان است. در مناطق با تولید بسیار زیاد، همبستگی میان فرونشست و برداشت وجود دارد، اما باور بر این است که این همبستگی

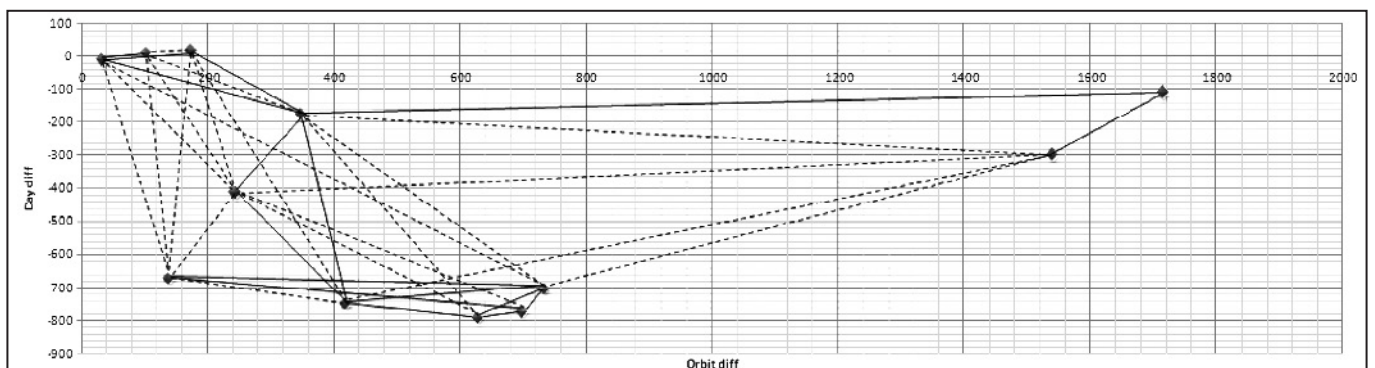




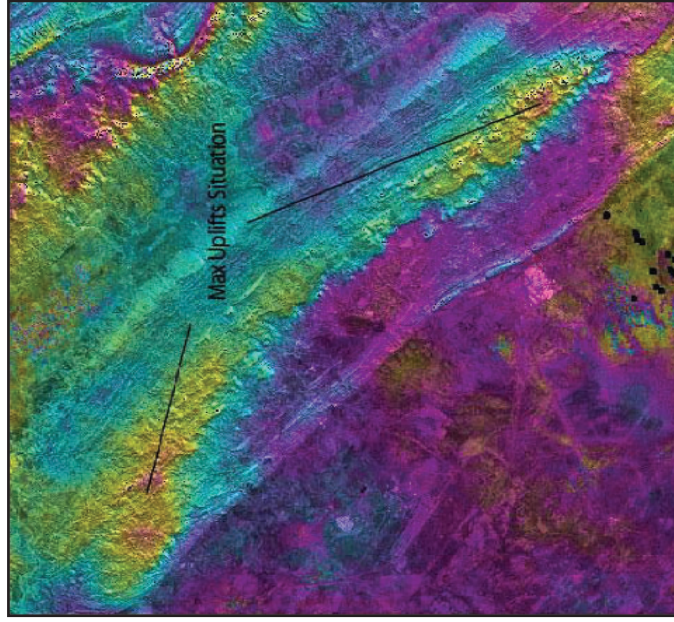
شکل ۱- موقعیت سایت نفتی آغاچاری و فریم تصویر ASAR که در این مطالعه به کار رفته است بر روی نقشه توپوگرافیک پایه نشان داده شده است. موقعیت چاه‌های حفاری شده بر روی میدان با رنگ سفید و گستره میدان به رنگ نارنجی مشخص شده است (مطبعی، ۱۳۷۴؛ شرکت ملی مناطق نفت‌خیز جنوب، ۱۳۷۸).



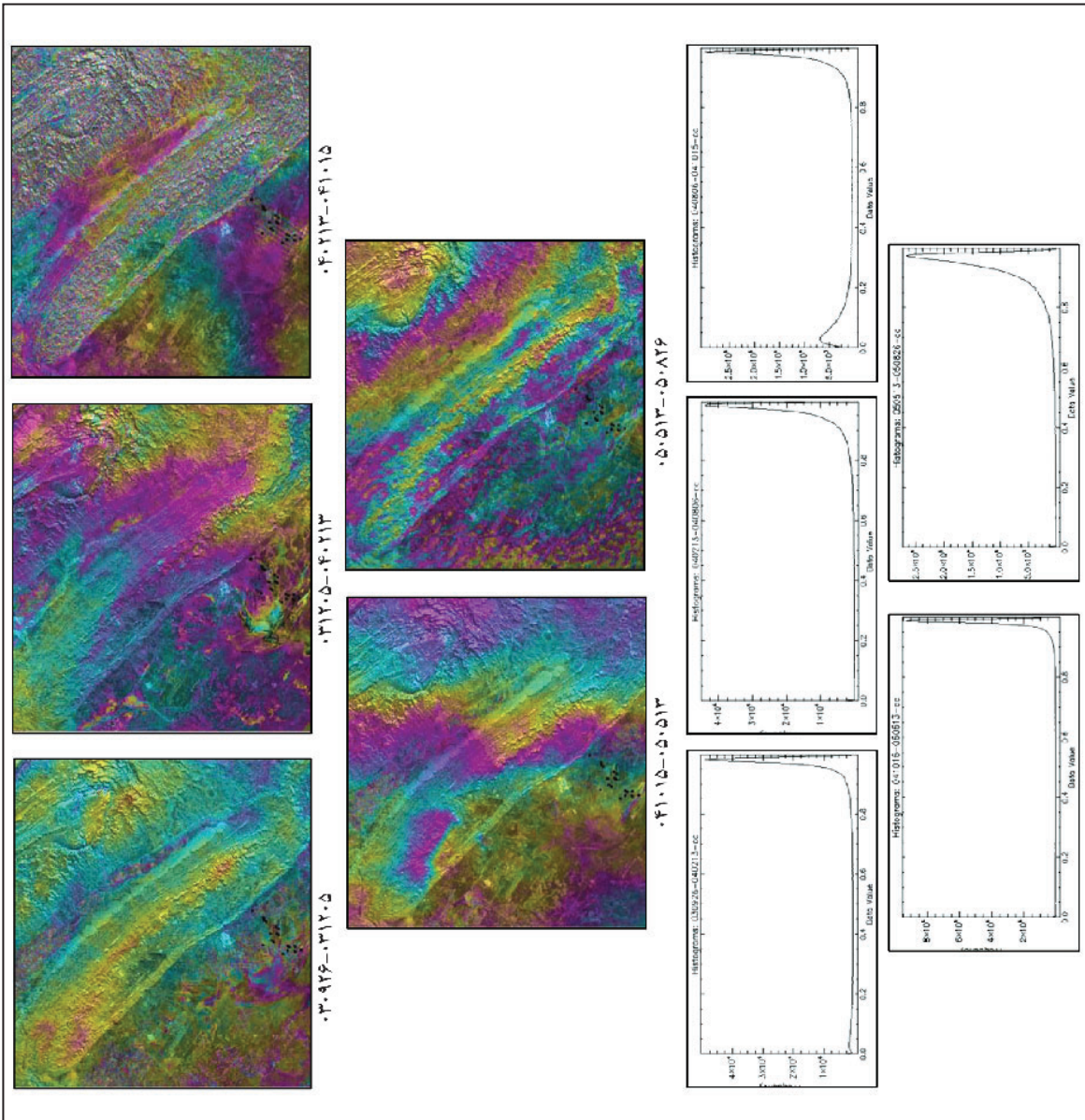
شکل ۲- موقعیت قرارگیری گسل‌های محصور کننده میدان نفتی آغاچاری و خطوط تراز زیر سطحی (شرکت ملی مناطق نفت‌خیز جنوب، ۱۳۸۷).



شکل ۳- تصاویر ماهواره Envisat مورد استفاده در این مطالعه. خطوط پر مشخص کننده تداخل‌نماهای مناسب برای تفسیر تغییر شکل سطحی میدان و خطوط نقطه‌چین مشخص کننده تداخل‌نماهای نامناسب با نوفه شدید هستند که عملیات بازیابی فاز در آنها ناموفق بوده است.

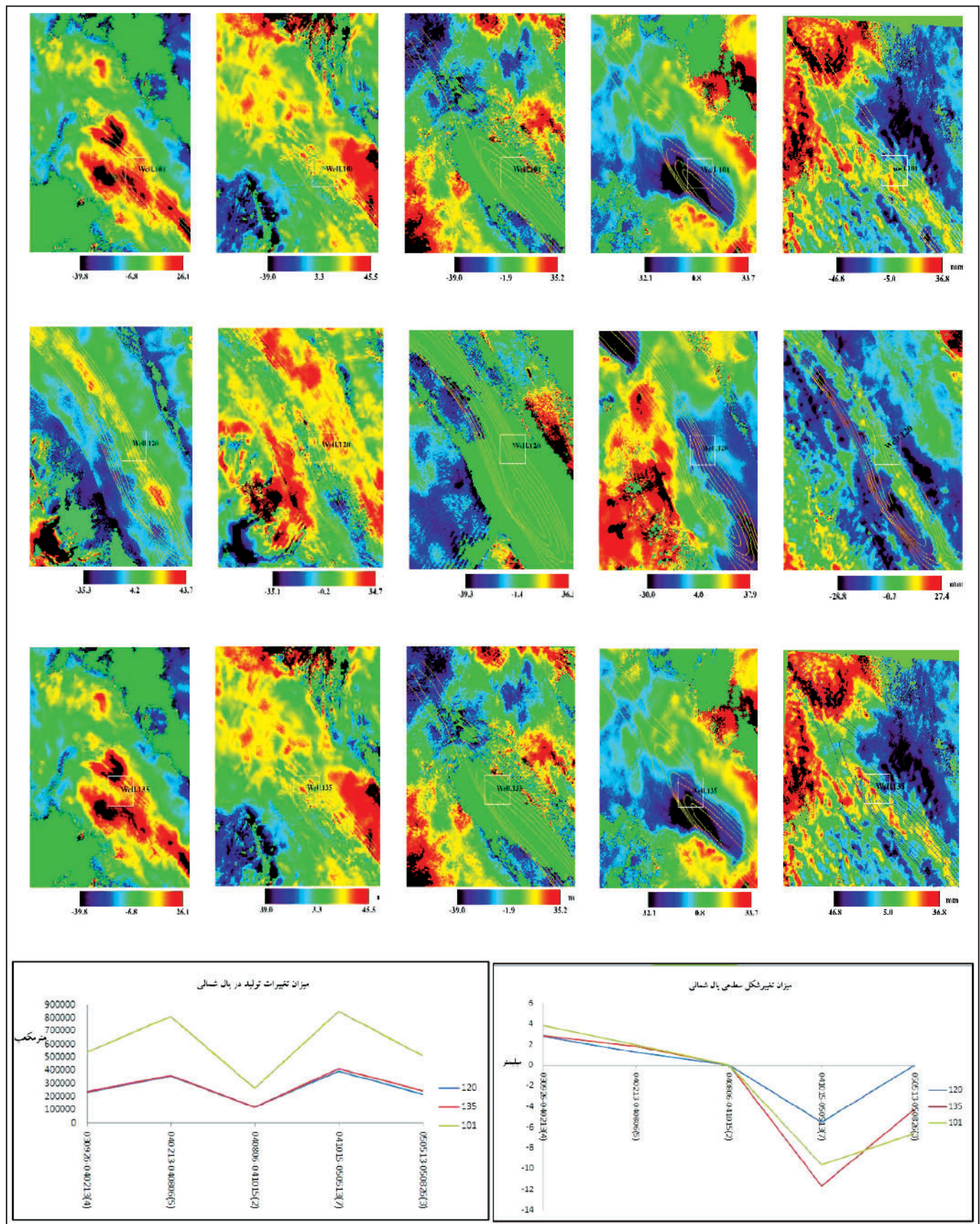


شکل ۴- تداخل نمای حاصل از زوج تصویر اولیه (۳۰۹۲۶-۰۳۱۲۰۵) با فاصله زمانی ۷۰ روز، موقعیت های مشخص شده نمایان گر بیشترین میزان بالا آمدگی در بخش های شمال باختر و جنوب خاور میدان هستند.



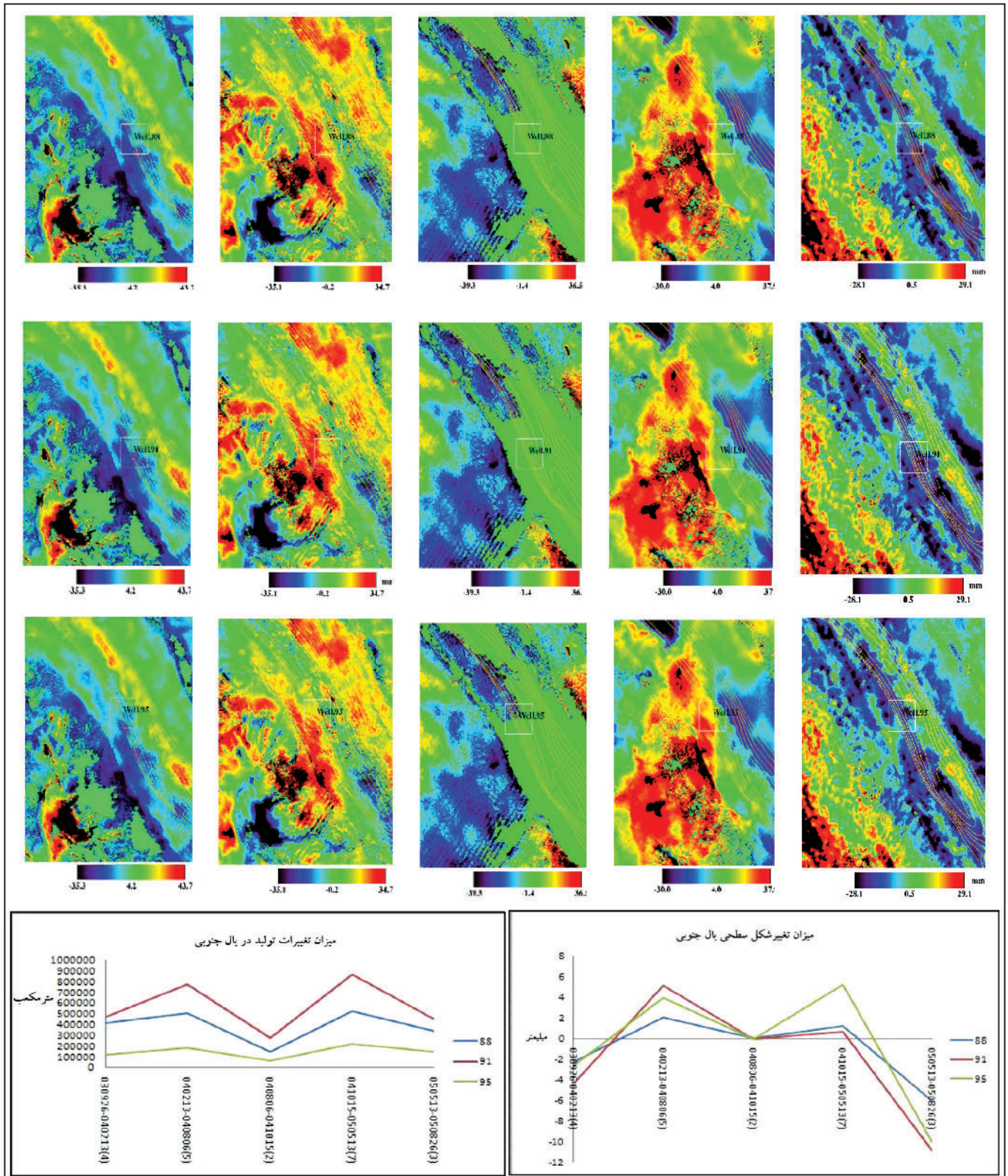
شکل ۵- سیگنال های تغییر شکل سطحی حاصل از میدان نفتی آغا جباری با فواصل زمانی مختلف همراه با هیستوگرام میزان همبستگی فاز تصاویر. تغییر شکل های سطحی در این تداخل نماهای تفاضلی انتخاب شده در اطراف منطقه تحت برداشت سیال هیدروکربوری متمرکز هستند که در آنها افت فشار واحدهای تحت فشار توسط مهندسی مخزن گزارش شده است.





شکل ۶- نقشه تغییر شکل سطحی از سایت نفتی مورد مطالعه به همراه موقعیت چاه‌های تولیدی واقع در یال شمالی تاقدیس (۱۰۱، ۱۲۰ و ۱۳۵). نمودارهای میزان تولید و تغییر شکل سطحی در پنج تداخل‌نمای تفاضلی انتخابی برای هر یک از چاه‌های مورد نظر نمایش داده شده است (به توضیحات متن مراجعه شود).





شکل ۷ - نقشه تغییر شکل سطحی از سایت نفتی مورد مطالعه به همراه موقعیت چاه‌های تولیدی واقع در یال جنوبی (۸۸، ۹۱ و ۹۵). نمودارهای میزان تولید و تغییر شکل سطحی در پنج تداخل‌نمای تفاضلی انتخابی برای هر یک از چاه‌های مورد نظر نمایش داده شده است (به توضیحات متن مراجعه شود).



جدول ۱- ویژگی‌های تصاویر گرفته شده گذر پایین‌رونده ۱۴۹.

| ارتفاع ابهام (متر) | خط مبنای عمودی (متر) | فاصله زمانی   | تصویر اولیه | مدار برداشت | تصویر ثانویه | مدار مبنا  |
|--------------------|----------------------|---------------|-------------|-------------|--------------|------------|
| ۲۹۶/۸۲             | ۳۱                   | ۷۱ روز        | ۲۰۰۳/۱۲/۰۵  | ASAR-9221   | ۲۰۰۳/۰۹/۲۶   | ASAR-8219  |
| ۱۴/۰۴۸             | ۶۵۳                  | ۱۴۱ روز       | ۲۰۰۴/۰۲/۱۳  | ASAR-10223  | ۲۰۰۳/۰۹/۲۶   | ASAR-8219  |
| ۵۱/۱۵۲             | ۱۷۹                  | ۳۱۵ روز       | ۲۰۰۴/۰۸/۰۶  | ASAR-12728  | ۲۰۰۳/۰۹/۲۶   | ASAR-8219  |
| ۵۹/۵۷              | ۱۵۴                  | ۱۹۶ روز       | ۲۰۰۵/۰۷/۲۲  | ASAR-17738  | ۲۰۰۴/۰۱/۰۹   | ASAR-9722  |
| ۲۱۹/۳۹             | ۴۲                   | ۵۷۳ روز       | ۲۰۰۵/۰۸/۲۶  | ASAR-18239  | ۲۰۰۴/۰۱/۰۹   | ASAR-9722  |
| ۶۱/۶۷۸             | ۱۴۹                  | ۱۷۶ روز       | ۲۰۰۴/۰۸/۰۶  | ASAR-12728  | ۲۰۰۴/۰۲/۱۳   | ASAR-10223 |
| -۴۵/۰۱۳            | -۲۰۴                 | ۱۰۶ روز       | ۲۰۰۴/۰۸/۰۶  | ASAR-12728  | ۲۰۰۴/۰۴/۲۳   | ASAR-11225 |
| ۲۳/۱۳              | ۳۹۷                  | ۱۷۶ روز       | ۲۰۰۴/۱۰/۱۵  | ASAR-13730  | ۲۰۰۴/۰۴/۲۳   | ASAR-11225 |
| ۱۵/۳۳              | ۵۹۸                  | ۷۱ روز        | ۲۰۰۴/۱۰/۱۵  | ASAR-13730  | ۲۰۰۴/۰۸/۰۶   | ASAR-12728 |
| -۹۸/۶۷۲            | -۹۳                  | تقریباً ۳ سال | ۲۰۰۸/۰۵/۰۲  | ASAR-32267  | ۲۰۰۴/۰۸/۰۶   | ASAR-12728 |
| -۳۳۶/۷۱۸           | -۲۷                  | ۲۱۲ روز       | ۲۰۰۵/۰۵/۱۳  | ASAR-16736  | ۲۰۰۴/۱۰/۱۵   | ASAR-13730 |
| -۱۱۰/۴۱            | -۸۳                  | ۳۱۷ روز       | ۲۰۰۵/۰۸/۲۶  | ASAR-18239  | ۲۰۰۴/۱۰/۱۵   | ASAR-13730 |
| ۱۶۲/۷۶             | ۵۶                   | ۷۱ روز        | ۲۰۰۵/۰۷/۲۲  | ASAR-17738  | ۲۰۰۵/۰۵/۱۳   | ASAR-16736 |
| -۱۶۴/۳۴            | -۵۶                  | ۱۰۸ روز       | ۲۰۰۵/۰۸/۲۶  | ASAR-18239  | ۲۰۰۵/۰۵/۱۳   | ASAR-16736 |
| -۸۱/۷۷             | -۱۱۲                 | ۳۶ روز        | ۲۰۰۵/۰۸/۲۶  | ASAR-18239  | ۲۰۰۵/۰۷/۲۲   | ASAR-17738 |
| -۳۷/۹۷             | -۲۴۲                 | ۱۷۵ روز       | ۲۰۰۸/۰۵/۰۲  | ASAR-32267  | ۲۰۰۷/۱۱/۰۹   | ASAR-29762 |

جدول ۲- متغیرهای آماری مورد بررسی در هر یک از تداخل‌نماهای تهیه شده برای انتخاب بهترین زوج تصاویر در بررسی میدان طی بازه زمانی ۲ ساله.

| تداخل نما             | کمینه مقدار | بیشینه مقدار | میانگین مقادیر | انحراف استاندارد | پراش       | خطای تداخل سنجی (متر) |
|-----------------------|-------------|--------------|----------------|------------------|------------|-----------------------|
| ۲۰۰۳/۰۹/۲۶-۲۰۰۳/۱۲/۰۵ | -۴۱/۵۸۸۴۴۴  | ۶۵/۹۶۸۸۱۹    | -۰/۰۱۳۴۱۸      | ۷/۷۲۰۶۷۲         | ۱۰۷/۵۵۷۲۶۳ | ۰/۰۰۸۳                |
| ۲۰۰۳/۰۹/۲۶-۲۰۰۴/۰۲/۱۳ | -۳۹/۷۶۴۲۶۳  | ۴۴/۹۳۱۷۴۴    | -۰/۰۰۳۴۹۳      | ۴/۰۱۷۴۴۳         | ۸۴/۶۹۶۰۰۷  | ۰/۰۰۶۴                |
| ۲۰۰۳/۰۹/۲۶-۲۰۰۴/۰۸/۰۶ | -۳۷/۹۶۸۵۴۸  | ۳۸/۶۱۶۲۸۷    | -۰/۰۰۰۹۲۵      | ۳/۵۰۵۷۷۳         | ۷۶/۵۸۴۸۳۵  | ۰/۰۰۴۴                |
| ۲۰۰۴/۰۱/۰۹-۲۰۰۵/۰۷/۲۲ | -۸۲/۷۹۵۱۲۸  | ۴۲/۵۲۸۵۶۸    | -۰/۰۰۵۳۰۷      | ۷/۴۶۱۳۴۹         | ۱۲۵/۳۲۳۶۹۶ | ۰/۰۰۴۹                |
| ۲۰۰۴/۰۱/۰۹-۲۰۰۵/۰۸/۲۶ | -۶۶/۷۷۷۵۹۶  | ۴۲/۲۷۷۳۸۶    | -۰/۰۰۸۱۷۸      | ۶/۱۴۹۴۳۲         | ۱۰۹/۰۵۴۹۸۲ | ۰/۰۰۱۳                |
| ۲۰۰۴/۰۲/۱۳-۲۰۰۴/۰۸/۰۶ | -۴۰/۷۵۳۰۱۴  | ۴۵/۵۴۳۵۹۱    | -۰/۰۰۰۴۹۹      | ۴/۱۷۴۳۱۴         | ۸۶/۲۹۶۶۰۵  | ۰/۰۰۶۲                |
| ۲۰۰۴/۰۴/۲۳-۲۰۰۴/۰۸/۰۶ | -۴۶/۲۱۳۸۴   | ۴۴/۱۲۳۳۱     | -۰/۰۰۴۱۰۶      | ۸/۴۸۷۱۱۴         | ۹۰/۳۳۷۱۵   | ۰/۰۰۱۱                |
| ۲۰۰۴/۰۴/۲۳-۲۰۰۴/۱۰/۱۵ | -۵۱/۰۳۹۵۷۴  | ۵۴/۵۰۷       | -۰/۰۰۱۸۵       | ۷/۱۲۹۵۸۲         | ۱۰۵/۵۴۶۵۷۴ | ۰/۰۰۱۰                |
| ۲۰۰۴/۰۸/۰۶-۲۰۰۴/۱۰/۱۵ | -۳۹/۳۳۳۲۷۵  | ۳۷/۶۶۰۴۵۸    | -۰/۰۰۰۵۴       | ۴/۲۴۸۶۱۲         | ۷۶/۹۹۳۷۳۳  | ۰/۰۰۱۱                |
| ۲۰۰۴/۰۸/۰۶-۲۰۰۸/۰۵/۰۲ | -۳۶/۷۹۳۴۳   | ۴۸/۲۲۲۵۳۸    | -۰/۰۰۴۴۰۵      | ۵/۹۴۰۳۷۳         | ۸۵/۰۱۵۹۶۸  | ۰/۰۰۰۷                |
| ۲۰۰۴/۱۰/۱۵-۲۰۰۵/۰۵/۱۳ | -۳۳/۹۱۲۰۳۷  | ۳۷/۹۲۵۷۱۶    | -۰/۰۰۳۲۰۴      | ۴/۷۱۰۹۹۹         | ۷۱/۸۳۷۷۵۳  | ۰/۰۰۱۴                |
| ۲۰۰۴/۱۰/۱۵-۲۰۰۵/۰۸/۲۶ | -۵۱/۷۲۹۷۰۶  | ۵۰/۲۸۴۱۸۷    | -۰/۰۰۲۷۵۵      | ۸/۳۳۸۴۵۹         | ۱۰۲/۰۱۳۸۹۳ | ۰/۰۰۱۵                |
| ۲۰۰۵/۰۵/۱۳-۲۰۰۵/۰۷/۲۲ | -۳۹/۶۸۱۱۲۳  | ۳۳/۶۶۴۱۳۱    | -۰/۰۰۱۰۱۶      | ۹/۶۳۰۱۷۶         | ۷۳/۳۴۵۲۶۴  | ۰/۰۰۱۴                |
| ۲۰۰۵/۰۵/۱۳-۲۰۰۵/۰۸/۲۶ | -۴۶/۸۲۷۴۸۶  | ۳۷/۸۲۳۹۹۴    | -۰/۰۰۶۷۴۳      | ۷/۵۸۶۶۶۸         | ۸۴/۶۶۱۴۸   | ۰/۰۰۷۵                |
| ۲۰۰۵/۰۷/۲۲-۲۰۰۵/۰۸/۲۶ | -۳۵/۲۶۱۸۳۷  | ۴۶/۹۷۰۲۷۲    | -۰/۰۰۲۵۴۶      | ۱۰/۳۶۵۴۸۹        | ۸۲/۲۳۲۱۰۹  | ۰/۰۰۱۳                |
| ۲۰۰۷/۱۱/۰۹-۲۰۰۸/۰۵/۰۲ | -۵۰/۶۵۶۳۴۲  | ۳۸/۴۰۹۲۶     | -۰/۰۰۰۰۶۹      | ۴/۴۶۷۶۷۵         | ۸۹/۰۶۵۶۰۲  | ۰/۰۰۳۸                |

\*تمام مقادیر به استثنای ستون نهایی برحسب واحد میلی‌متر است.

## کتابکاری

- بربریان، م.، ۱۳۶۵- دگرریختی قاره‌ای در فلات ایران زمین، گزارش شماره ۵۲ سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران.
- شرکت ملی مناطق نفت‌خیز جنوب، ۱۳۸۷- گزارش‌های داخلی و گزارش‌های تکمیلی میدان مورد مطالعه، اهواز.
- عبداللهی‌فرد، ا.، ۱۳۸۵- مدل‌های ساختاری جنوب خوزستان با استفاده از داده‌های لرزه‌نگاری بازتابی، پایان‌نامه دکتری، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ۱۸۴ صفحه.
- علیزاده، ا.، ۱۳۸۷- تحلیل ساختاری و شکستگی‌های میدان نفتی آغاجاری (جنوب غرب ایران)، رساله کارشناسی ارشد گرایش زمین‌شناسی - نکتونیک، دانشگاه شهید بهشتی، تهران.
- مطیعی، ه.، ۱۳۷۴- زمین‌شناسی ایران، زمین‌شناسی نفت زاگرس ۱ و ۲، تهران، ۱۰۰۹ صفحه.

## References

- Massonnet, D. & Rabaute, T., 1993- Radar Interferometry: limits and potential, IEEE Transactions Geoscience and Remote Sensing, v.31, p.455-464.
- Gabriel, A. K., Goldstein, R. M. & Zebker, H. A., 1989- Mapping small elevation changes over large areas: differential radar interferometry, Journal of Geophys Research, v. 94 (B7), p. 9183-9191.