

DOI: 10.48303/bese.2022.550641.1066

## نوع مقاله: پژوهشی

## چکیده

این پژوهش به بررسی شواهد و آثار فعالیت‌های زمین‌ساختی جوان بر مبنای محاسبه میزان تغییرات قائم رخ داده در چین‌خوردگی‌ها و راندگی‌ها در باختر فرازمین شتری می‌پردازد. تحلیل کمی تغییرات عمودی سطح زمین در بخش باختری فرازمین شتری و بررسی عوامل تأثیرگذار بر میزان این تغییرات از اهداف این پژوهش بوده است. به‌منظور تحلیل تغییرات قائم رخ داده توسط چین‌خوردگی‌های جوان، گسل‌های راندگی و پدیده‌های غیر زمین‌ساختی در منطقه از تصاویر راداری سنتینل ۱ به روش تداخل‌سنجی راداری در محیط نرم‌افزار LiCSBAS استفاده شده است. بر اساس تفسیر داده‌ها، نرخ تغییرات قائم در طاق‌دیس فهلج حدود ۷/۱ میلی‌متر و طاق‌دیس سردر حدود ۱/۲۸ میلی‌متر می‌باشند که به‌ترتیب بیشترین و کمترین تغییرات قائم را نشان می‌دهند. به‌طور کلی، تغییرات قائم در بخش باختری فرازمین شتری از شمال به سمت جنوب (پایانه‌ی شمالی گسل ناینند) افزایش چشمگیری دارد. نرخ و دامنه زیاد تغییرات در بخش باختری فرازمین شتری، به‌ویژه در چین‌خوردگی‌ها و گسل‌های راندگی جوان به دلیل بالا نبودن میزان دگرشکلی بین لرزه‌ای و عدم رخداد زمین‌لرزه با بزرگای بالا در دوره زمانی تفسیر تصاویر مورد استفاده در این مطالعه، دلیل مهم غیر زمین‌ساختی دارد. در منطقه مورد نظر، عامل بسیار تأثیرگذار در شکل‌گیری چنین تغییراتی، وقوع سیلاب‌های شدید فصلی و نشست رسوبات حمل شده توسط آنها در منطقه می‌باشد؛ اما شواهد ریخت‌زمین‌ساختی مشاهده شده در منطقه بر فعالیت کنونی گسله‌ها، فراخاست و رشد چین‌های جوان منطقه تأکید دارد. شواهدی همچون رودخانه‌های ماندری، رودخانه‌های منحرف شده و سربریده، دره‌های باریک و ژرف، پادگانه‌های آبرفتی بالاآمده بر فراز چین‌های نئوژن، چینه‌های رویشی از رسوبات آبرفتی جوان بر فراز یال طاق‌دیس‌های جوان منطقه، فعالیت کنونی گسله‌ها، فراخاست و رشد چین‌های جوان.

**واژگان کلیدی:** تکتونیک فعال، تداخل‌سنجی راداری، تغییرات قائم پوسته زمین، فرازمین شتری، طبس.

## پایش میزان تغییرات عمودی سطح زمین با استفاده از تکنیک تداخل‌سنجی راداری و سری زمانی باند C؛ مطالعه موردی: بخش باختری فرازمین شتری (خاور طبس)

راضیه عباس‌پور

دانشجوی دکتری، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

سید مرتضی موسوی (نویسنده مسئول)

دانشیار، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران، [mmoussavi@birjand.ac.ir](mailto:mmoussavi@birjand.ac.ir)

محمد مهدی خطیب

استاد، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

احمد رشیدی

استادیار، پژوهشکده زلزله‌شناسی، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، تهران، ایران

## ۱- مقدمه

غرب افغانستان سبب برش راستگرد ۱۵ میلی‌متر بر سال شود که با چندین مرز گسله امتدادلغز راستگرد دشت لوت شرق ایران مطابقت دارد [۲، ۵-۶]. این گسله‌ها شامل نه شرقی (۱۷۵-۲/۵ میلی‌متر بر سال)، نه غربی (< ۱ میلی‌متر بر سال) و گسل‌های زاهدان در شرق بلوک لوت [۷]، سبزوآران

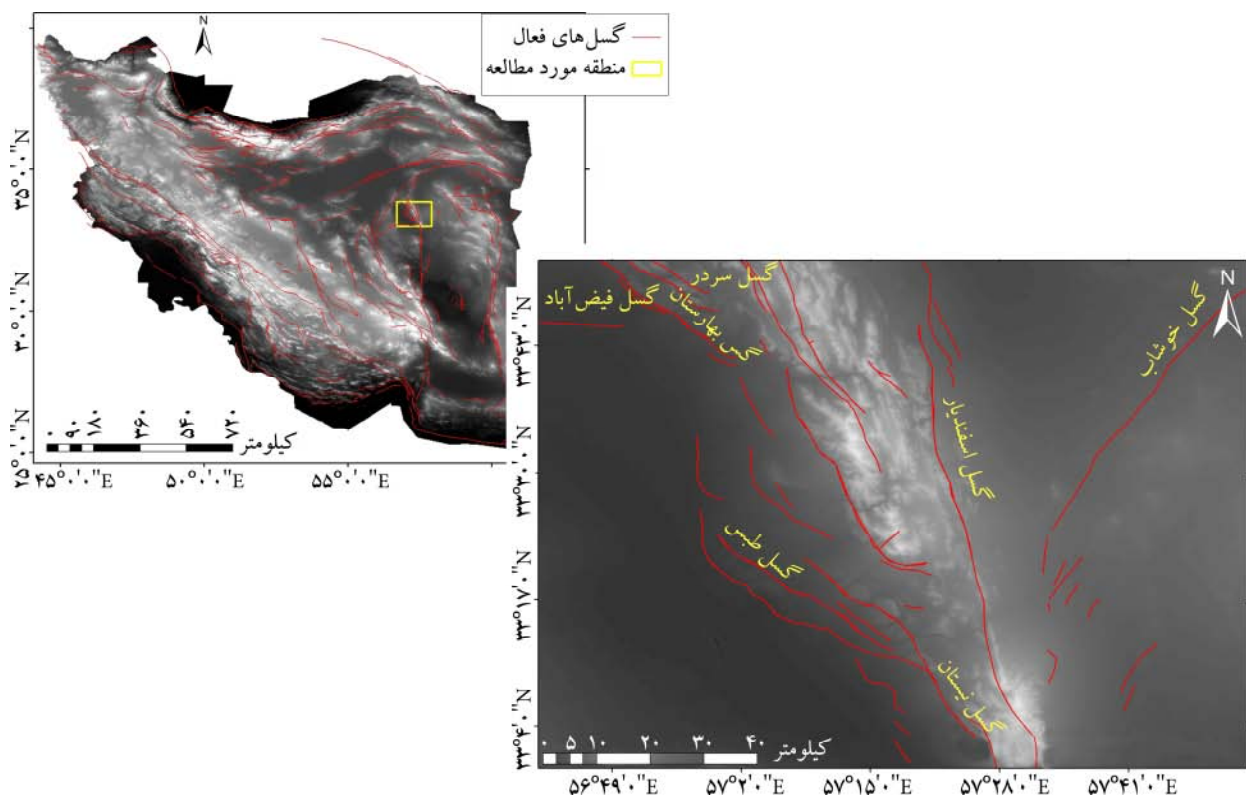
صفحه ایران مرکزی در اثر برخورد صفحه اوراسیا با صفحه عربی در حال دگرشکلی است [۱-۲]. دگرشکلی‌ها عموماً به‌صورت چین‌خوردگی، گسلش‌های راندگی و امتدادلغز می‌باشد [۲-۴]. اندازه‌گیری‌های سیستم موقعیت‌یابی جهانی (GPS) نشان می‌دهد که حرکت به سمت شمال ایران مرکزی نسبت به

استفاده از روش تداخل سنجی راداری<sup>۲</sup> به دست آوریم. تفکیک عملکرد هم‌زمان و توام فرآیندهای زمین‌ساختی و غیر زمین‌ساختی در تحلیل‌های زمین‌ساختی بسیار تأثیرگذار است. استفاده از روش‌های تداخل سنجی که گاهی ارائه‌دهنده‌ی تغییرات کلی در بازه‌های زمانی مختلف است به همراه برداشت‌های میدانی کمک شایانی در تفکیک و شناخت فعالیت‌های مهم زمین‌ساختی یک منطقه دارند.

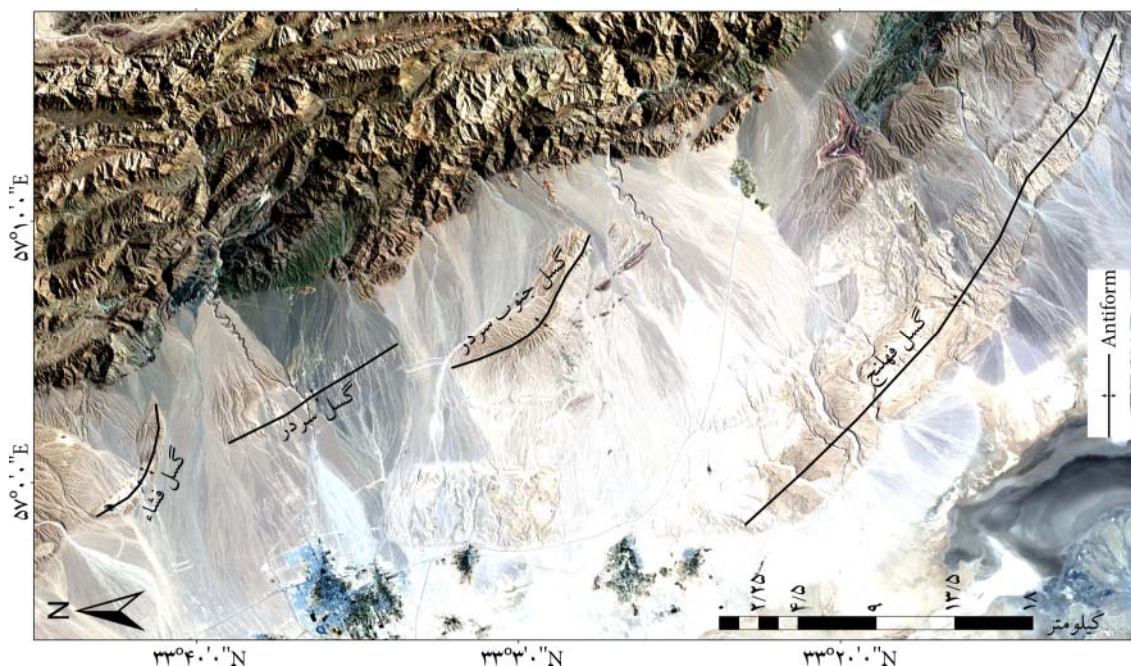
دگرشکلی‌های لرزه‌ای و بین لرزه‌ای می‌توانند چگونگی تکامل چین‌ها و گسل‌های فعال یک منطقه را در دوره‌هایی از رشد و فعالیت نشان دهند [۱۳-۱۶]. این اندازه‌گیری‌ها، منابع اطلاعاتی مهمی برای توصیف و درک ساختارهای قاره‌ای و همچنین برای خطر لرزه‌ای در حال حاضر و آینده می‌باشند [۳، ۱۸-۲۱]. زمین‌لرزه‌های بزرگ قاره‌ای (بزرگ‌تر از ۷) غالباً روی گسل‌هایی رخ می‌دهد که به دلیل دوره بازگشت طولانی و تظاهر ژئومورفولوژیکی مبهم در زمین تاکنون مطالعات اندکی روی آنها صورت گرفته است [۲۲-۲۷]. زمین‌لرزه ۱۶ سپتامبر ۱۹۷۸ طبرستان گسل

(۶~ میلی‌متر بر سال) [۸]، گوک (۳/۸~ میلی‌متر بر سال) [۹-۱۰] و قطعات ناینند در غرب بلوک لوت (۱/۴-۱/۸~ میلی‌متر بر سال) است [۱۱-۱۲].

محدوده‌ی مورد مطالعه، بخش باختری فرازمین شتری واقع در پایانه شمالی گسله ناینند است (شکل ۱). بلوک طبرستان شامل فرازمین شتری در خاور و حوضه‌ی فرونشست فشاری دشت طبرستان در باختر است. حوضه‌ی فرونشسته طبرستان در اثر راندگی کوه‌های شتری به سمت غرب و راندگی کوه‌های کلمرد به سمت شرق در یک فاز فشاری تشکیل گردیده و به وسیله‌ی لایه‌های قرمز نئوژن و رسوبات کواترنری پوشیده شده‌اند. در حد فاصل پلایای طبرستان کوهستان شتری رسوبات نئوژن به صورت طاق‌دیس رخمون یافته‌اند. یکی از ویژگی‌های تکتونیکی این ناحیه وجود چین‌های متعدد در آن است که اغلب دارای راستای شمالی-جنوبی بوده و به سمت جنوب شیب دارند (شکل ۲). از این رو، در این پژوهش سعی داریم میزان بالا آمدگی ناشی از چین خوردگی‌ها و گسل‌های راندگی مشاهده شده در باختر فرازمین شتری را با



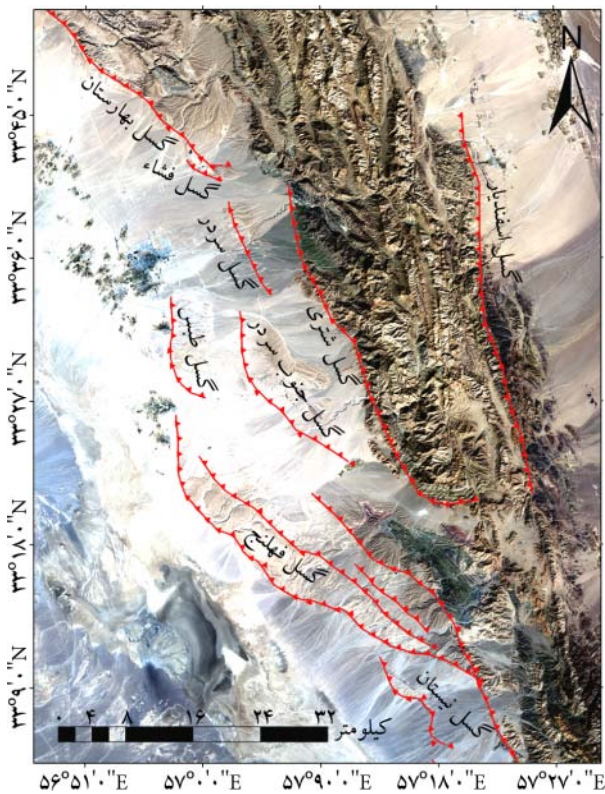
شکل (۱): موقعیت منطقه‌ی مورد پژوهش (کادر زرد رنگ) بر روی تصاویر عارضه‌بندی رقومی (SRTM). منطقه بخشی از فرازمین شتری است که در پایانه‌ی شمالی گسله ناینند واقع است.



شکل (۲): چین خوردگی‌های جوان منطقه‌ی مورد پژوهش.

به‌ویژه مخروطه افکنه‌ها قابل ردیابی هستند. نمونه بارز این طاق‌دیس‌ها در باختر فرازمین شتری فهلنج، فشاء، سردر و جنوب سردر می‌باشد (شکل ۲).

با بزرگی ۷/۳ ریشتر (که بعدها زمین‌لرزه طبرستان نام گرفت) نمونه‌ای از زمین‌لرزه‌هایی است که قبل از اینکه رادارهای INSAR و سیستم موقعیت‌یابی جهانی (GPS) جنبش و گسیختگی یکسری از رانندگی‌های پنهان که قبلاً غیرقابل شناسایی بودند را ثبت کند؛ رخ داده است. این تنها رویداد بزرگ در منطقه رو مرکز سطحی حداقل برای ۱۰۰۰ سال گذشته است که به‌طور کامل شهر طبرستان تخریب شد و حدود ۸۵ درصد از جمعیت شهر (تقریباً ۱۱ هزار نفر) کشته شدند [۱۰، ۲۸-۲۹]. از این رو، انجام چنین مطالعاتی جهت شناخت تکنونیک فعال در مناطق زمین‌ساختی همچون فرازمین شتری امری ضروری و لازم است.



شکل (۳): گسل‌های رانندگی منطقه‌ی مورد پژوهش.

نقشه‌های زمین‌شناسی [۳۰] و تصاویر ماهواره‌ای نشان می‌دهد که فرازمین شتری واقع در شرق طبرستان تحت تأثیر گسله‌های متعدد موازی قرار گرفته است و رانندگی‌های متفاوتی با شیب به سمت شرق در آنها دیده می‌شود (شکل ۳). سازند شتری که از لایه‌های ضخیم آهک و دولومیت تشکیل شده ارتفاعات و ستیغ‌های آن را به وجود آورده است [۳۱]. از طرفی دیگر مشاهدات دورسنجی محدوده حد فاصل پیشانی کوهستان و دشت طبرستان (بخاطر فرازمین شتری) بیانگر وفور چین‌های پرشیب و نامتقارن است که با شواهد بالآمدگی رسوبات آبرفتی و کج‌شدگی واحدهای کواترنری،

پراکنش‌کننده‌های دائمی<sup>۴</sup> و الگوریتم خط مبنای کوتاه<sup>۵</sup> معرفی شده است. سری زمانی پراکنش‌کننده‌های دائمی در مناطق شهری که دارای پراکنشگرهای پایدار زیادی هستند، مفید است؛ اما در مناطق با پوشش گیاهی که سبب تراکم پایین پراکنش‌کننده‌های دائمی می‌شود، می‌توان از روش الگوریتم خط مبنای کوتاه بهره برد. روش الگوریتم خط مبنای کوتاه، بر مبنای خط مبنای مکانی و زمانی کوتاه، دارای مزیت‌هایی از قبیل به حداقل رساندن همبستگی با کاهش خطاهای بازیابی فاز و خطای غیر همبسته است.

شکل (۴) نشان‌دهنده‌ی چارت مراحل روش پیشنهادی است که در ادامه به شرح مراحل آن پرداخته می‌شود. روش پیشنهادی به پنج مرحله تقسیم شده است.

- مرحله اول: پیش‌پردازش بر روی تصاویر سنتینل ۱ انجام و تداخل‌نگارهای آن‌رپ و کوهرنسی تولید می‌شود.
- مرحله دوم: با بهره‌مندی از داده‌های GACOS فاز تروپوسفر برآورد و از روی تداخل‌نگارها حذف می‌شود. سپس برای کاهش حجم و زمان پردازش، تداخل‌نگارها کلیپ می‌شود.
- مرحله سوم: تجزیه و تحلیل سری زمانی تداخل‌سنجی راداری به منظور تخمین مقدار تغییرات قائم زمین بر روی تداخل‌نگارها انجام می‌شود.
- مرحله چهارم: جهت برآورد سرعت تغییرات قائم پیکسل‌ها در طول زمان، یک وارونگی SB در شبکه تداخل‌نگارها انجام می‌شود. در این مرحله با استفاده از الگوریتم NSBAS تداخل‌نگارهای اولیه معکوس شده تا سری زمانی تغییرات قائم به دست آید.
- در این مرحله، با بهره‌مندی از روش Bootstrap انحراف استاندارد سرعت تغییرات قائم محاسبه می‌شود.
- به منظور شناسایی پیکسل‌های بد با استفاده از چندین شاخص نویز یک ماسک بر روی پیکسل‌ها اعمال می‌شود.

در این مقاله، به منظور تخمین نرخ تغییرات قائم ناشی از چین‌خوردگی‌ها و گسل‌های راندگی در منطقه‌ی مورد پژوهش از روش تداخل‌سنجی راداری تصاویر سنتینل ۱ در بازه‌ی ۲۰۱۵-۲۰۲۰ استفاده شد.

## ۲- مواد و روش

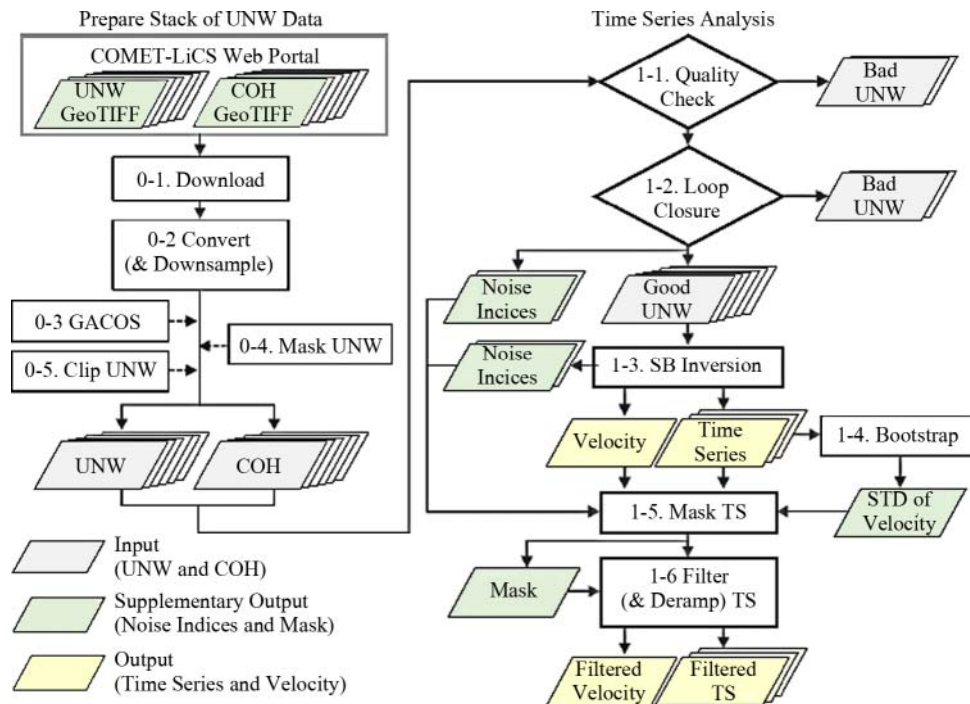
برای شناسایی چین‌خوردگی‌ها و گسل‌های راندگی فعال از تصاویر راداری سنتینل ۱ استفاده شد. بررسی میدان تغییرات ناشی از تغییر شکل، یکی از پژوهش‌های کاربردی در مباحث ریخت‌زمین‌ساخت و مطالعات ژئوفیزیکی است. در این راستا روش تداخل‌سنجی راداری قابلیت کار در تمام شرایط جوی و در طول مدت شب و روز را دارد. این تکنیک قادر به اندازه‌گیری تغییرات سطح زمین با قدرت تفکیک بالا و پوشش گسترده می‌باشد.

در تداخل‌سنجی راداری پیکسل به پیکسل تصاویر SAR مورد مقایسه قرار می‌گیرد و از تفاضل‌گیری بین مقادیر آنها تصویر جدید به نام اینترفروگرام ایجاد می‌گردد [۳۲]. برای انجام این مرحله از تحقیق از داده‌های سنجنده سنتینل ۱ با طول موج ۶ و ۵ سانتی‌متری (باند C) برای بازه زمانی ۲۰۱۵-۲۰۲۰ مورد استفاده قرار گرفته است (جدول ۱).

روش‌های مرسوم پایش تغییرات قائم‌های خطوط ریلی مانند ترازیابی و سیستم موقعیت‌یابی جهانی، با وجود دقت قابل اطمینان این روش‌ها وقت‌گیر و دارای هزینه زیادی است. در مقابل، روش تداخل‌سنجی راداری با پوشش مکانی زیاد و دقت بالا به یک روش پر قدرت در شناسایی تغییرات قائم‌های سطح زمین تبدیل شده است. با این حال، عواملی مانند خطای توپوگرافی، اثر مداری، اتمسفری و سایر خطاها سبب کاهش دقت تداخل‌سنجی راداری می‌شوند. به‌منظور غلبه بر این محدودیت، روش تداخل‌سنجی راداری چند زمانه، مانند

جدول (۱): مشخصات تصاویر مورد استفاده در این پژوهش.

سنجنده	فرمت تصاویر	تاریخ اخذ تصاویر پایه	عبور	تعداد تصاویر	قطبش
Sentinel 1A	SLC	۲۰۱۵/۰۲/۱۲ - ۲۰۲۰/۰۵/۱۱	Ascending	۶۹	VV



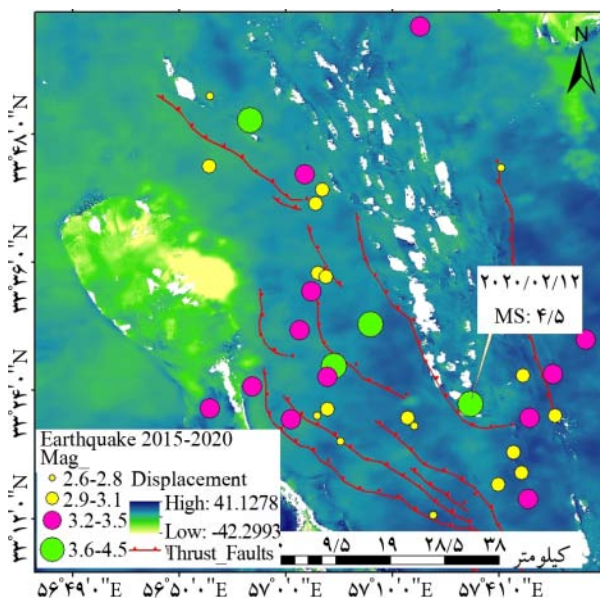
شکل (۴): مراحل انجام محاسبه سرعت تغییرات قائم به روش LICSBAS. آماده سازی و تهیه داده های فاز اینترفرومتریک آنرپ شده و کوهرنسی قبل از انجام تجزیه و تحلیل سری زمانی تداخل سنجی راداری (مراحل ۰۱-۰۵). انجام تصحیحات اتمسفریک، ماسک و کلیپ کردن (مراحل اختیاری با خط چین نشان داده شده است). وارونگی تداخل نگارهای اولیه جهت برآورد سرعت تغییرات قائم. ماسک کردن و اعمال فیلتر به منظور شناسایی پیکسل های بد و حذف آنها [۳۲].

چین خوردگی ها و گسل های رانندگی در معرض بالا آمدگی (تغییرات قائم) هستند. در ادامه به طور جداگانه به معرفی چین خوردگی ها و گسل های رانندگی و همچنین به شرح و تفسیر نتایج به دست آمده خواهیم پرداخت.

در صورتی که هر یک از مقادیر شاخص های نويز برای هر پیکسل از آستانه مشخص شده بیشتر باشند، پیکسل ماسک می شود؛ و در نهایت با استفاده از یک فیلتر زمانی - مکانی خطای باقی مانده خطای نويز تروپوسفریک، نويز یونسفر و خطای مداری از سری زمانی تغییرات قائم برداشته می شود. جهت کنترل و صحت سنجی مقادیر به دست آمده و به منظور شناسایی شواهد زمین شناسی، ریخت زمین ساختی منطقه که می توانند تأیید کننده مقادیر به دست آمده باشند؛ باز دیده های میدانی از منطقه صورت گرفت.

### ۳- بحث و نتایج

در این پژوهش، ظرفیت مناسبی از قابلیت های روش تداخل سنجی در تعیین میزان تغییرات قائم پوسته زمین مورد استفاده قرار گرفت. نتایج حاصل از تکنیک تداخل سنجی راداری (شکل ۵) و سری های زمانی به دست آمده از این تکنیک ارائه گردیده است. با توجه به نقشه به دست آمده از نرخ تغییرات قائم به وسیله ی روش تداخل سنجی راداری مشاهده می گردد که



شکل (۵): نقشه تغییرات قائم سطح زمین همراه با توزیع کانونی زمین لرزه های رخ داده در بازه زمانی ۲۰۱۵-۲۰۲۰ در منطقه.

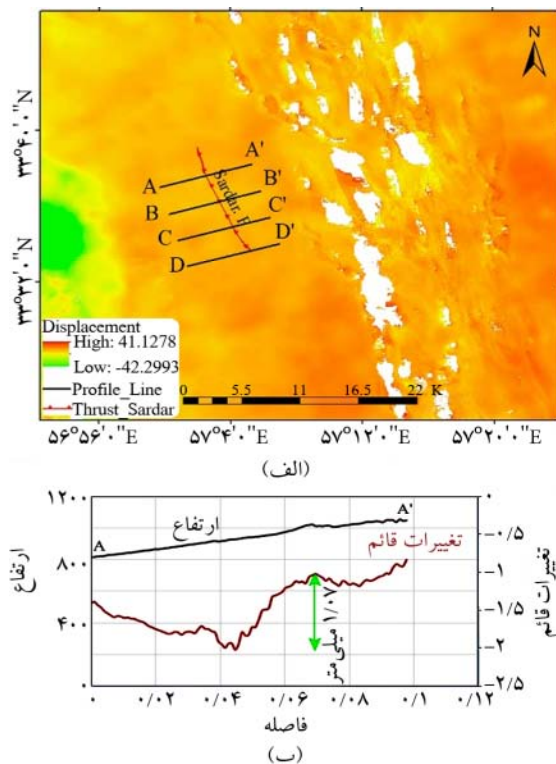
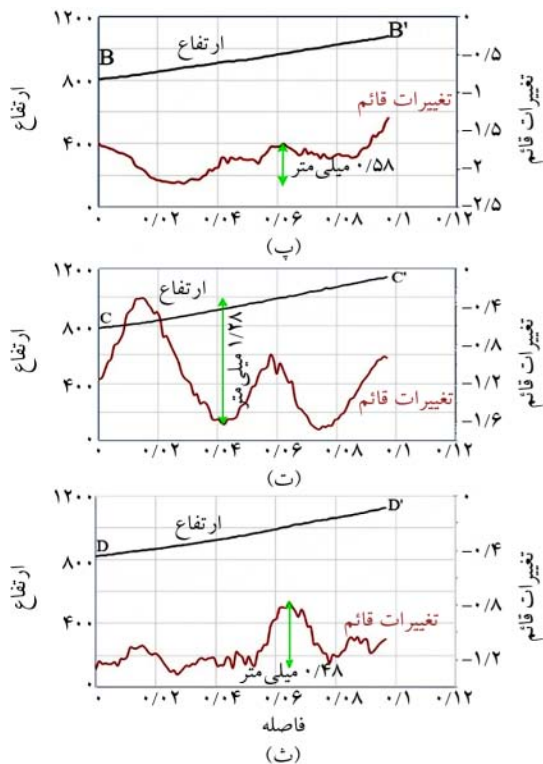
### ۳-۱- طاقدیس و راندگی سردر

یکی از شواهد مورکتونیک فعالیت زمین ساختی طاقدیس سردر در مخروطه افکنه سردر، بیرون زدگی و چین خوردگی رسوبات نئوژن در میان رسوبات عهد حاضر می باشد [۲۹]. در اثر بالا آمدگی رسوبات نئوژن دره عمیقی در امتداد مسیر رودخانه ایجاد شده است. همچنین الگوی مماندیری رودخانه سردر نشان دهنده فعالیت نو زمین ساختی بر بستر آن است. رودخانه سردر به طور عرضی طاقدیس سردر را برش داده و دره عمیقی را ایجاد کرده است. بخش میانی طاقدیس سردر دارای بیشترین بالا آمدگی است و به صورت یک برآمدگی بر روی مخروطه افکنه سردر در تصاویر ماهواره ای قابل رؤیت می باشد (شکل ۳). جهت محاسبه نرخ تغییرات قائم رخ داده توسط چین و راندگی سردر در منطقه مورد مطالعه، عمود بر راستای محور طاقدیس سردر با فواصل ۳ کیلومتری و با طول ۹ کیلومتر مقاطع توپوگرافی و تغییرات قائم در محیط نرم افزاری تهیه گردید (شکل ۶-الف). حداکثر تغییرات قائم توسط چین و

راندگی سردر ۱/۲۸ میلی متر تخمین زده شد (شکل ۶-ث). به منظور نشان دادن الگوی رشد تغییرات قائم، با استفاده از تحلیل سری زمانی میزان تغییرات قائم در بازه های زمانی مربوطه محاسبه و نتایج آن ارائه گردید (شکل ۷). به دلیل وسعت زیاد منطقه، یک نقطه در راستای طاقدیس ها و راندگی های منطقه که بیشترین میزان تغییرات قائم را در آن شاهد هستیم، به عنوان یک نقطه خاص انتخاب و میزان تغییرات قائم آن در بازه های زمانی مربوطه برآورد شد. آهنگ متوسط تغییرات قائم در طاقدیس و راندگی سردر ۰/۲۳- میلی متر در سال است.

### ۳-۲- طاقدیس و راندگی فشاء

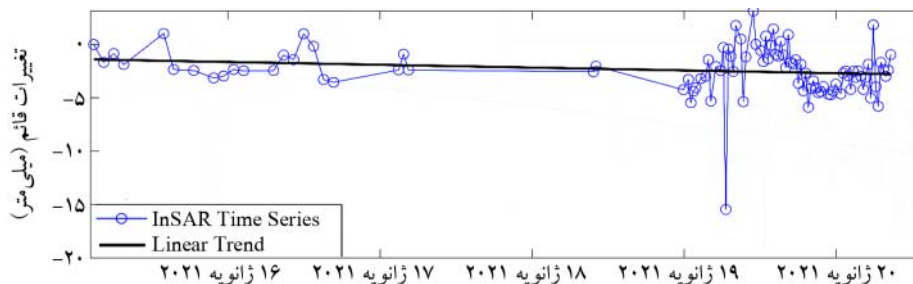
طاقدیس فشاء در بخش شمال باختری طاقدیس سردر و هم راستا با آن می باشد (شکل ۳). در هسته مرکزی طاقدیس رسوبات دوره نئوژن شامل ماسه سنگ های قرمز همراه با کنگلومرا رخنمون دارند. این طاقدیس در میان رسوبات آبرفتی و کوهپایه ای فرازمین شتری دچار بالا آمدگی شده است.



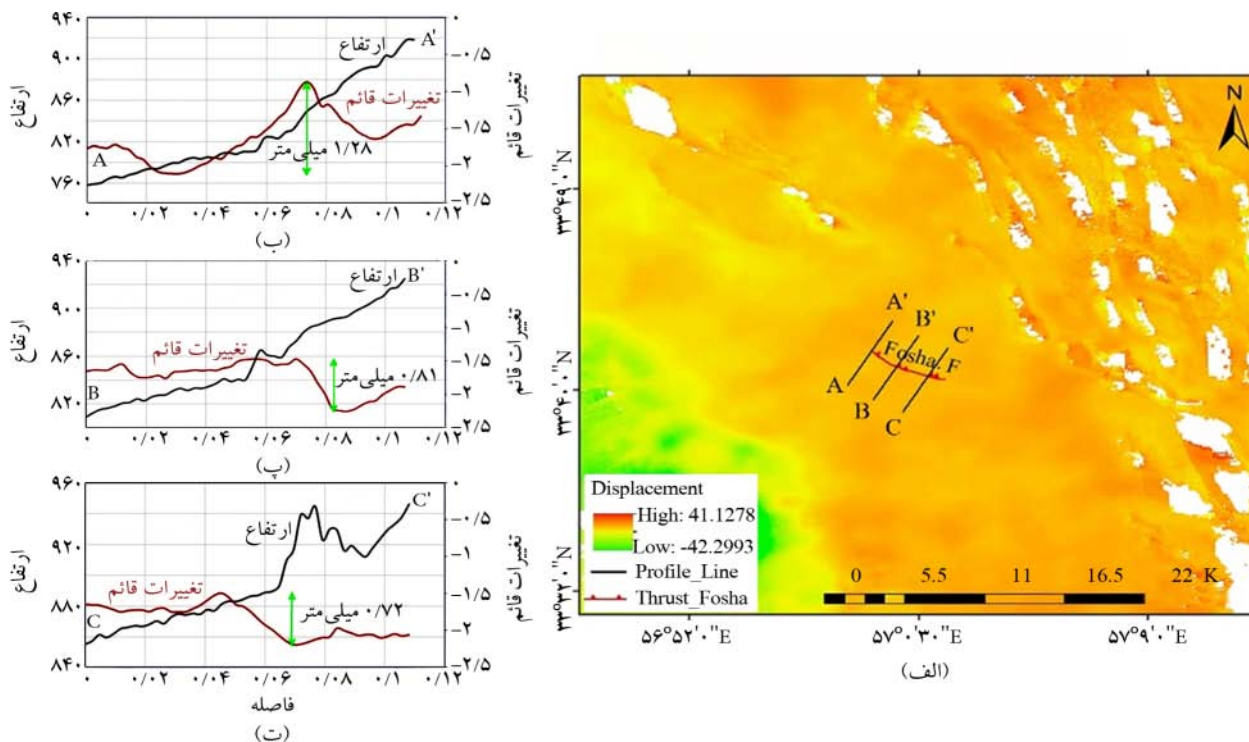
شکل (۶): (الف) نقشه تغییرات قائم و موقعیت گسل راندگی و چین سردر همراه با پروفیل های ترسیم شده در راستای عمود بر محور چین سردر، (ب) پروفیل تغییرات قائم و توپوگرافی در راستای AA'، (پ) پروفیل تغییرات قائم و توپوگرافی در راستای BB'، (ت) پروفیل تغییرات قائم و توپوگرافی در راستای CC' و (ث) پروفیل تغییرات قائم و توپوگرافی DD'. در مقاطع تغییرات قائم بر حسب میلی متر و فاصله بر حسب کیلومتر می باشد.

شده است. بیشترین میزان تغییرات قائم به دست آمده در راستای محور این طاقدیس ۱/۲۸ میلی متر می باشد (شکل ۸-ب)؛ و همچنین آهنگ متوسط تغییرات قائم در این طاقدیس ۱/۱- میلی متر در سال است (شکل ۹).

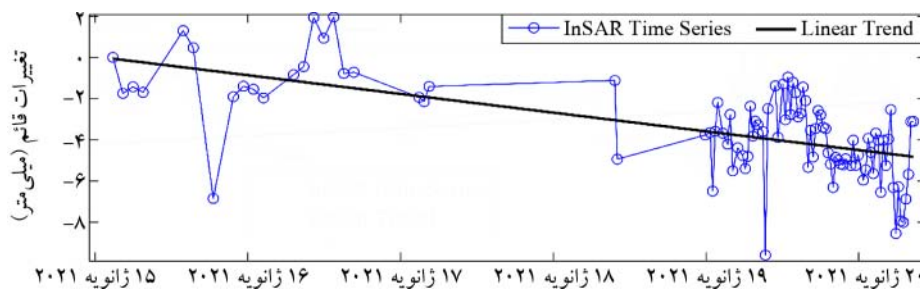
به منظور محاسبه تغییرات قائم در راستای طاقدیس فشاء به روش تداخل سنجی راداری، عمود بر راستای محور چین خوردگی پروفیل های تغییرات قائم در محیط نرم افزاری QGIS با فواصل ۲ کیلومتری و با درازای تقریباً ۶ کیلومتری تهیه



شکل (۷): سری زمانی تداخل سنجی راداری طاقدیس و راندگی سرد در طی بازه زمانی مربوطه.



شکل (۸): (الف) نقشه تغییرات قائم و موقعیت گسل راندگی و طاقدیس فشاء همراه با پروفیل های ترسیم شده در راستای عمود بر محور طاقدیس فشاء، (ب) پروفیل تغییرات قائم و توپوگرافی در راستای AA'، (پ) پروفیل تغییرات قائم و توپوگرافی در راستای BB' و (ت) پروفیل تغییرات قائم و توپوگرافی در راستای CC'. تغییرات قائم بر حسب میلی متر و فاصله بر حسب کیلومتر می باشد.

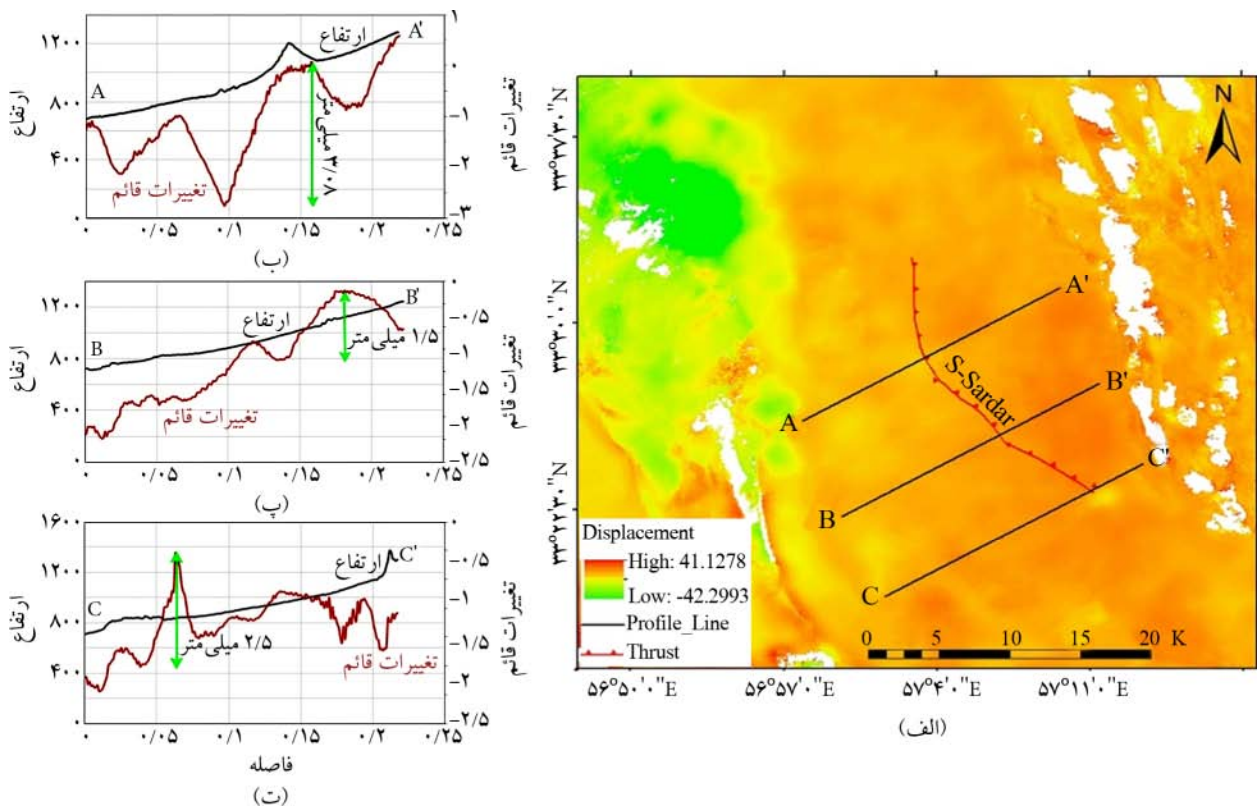


شکل (۹): سری زمانی تداخل سنجی راداری طاقدیس فشاء در طی بازه زمانی مربوطه.

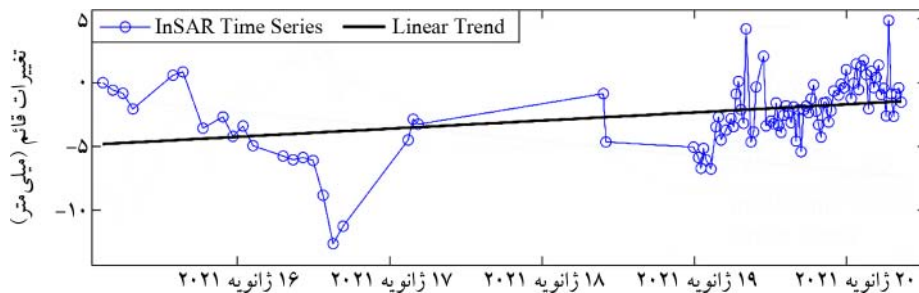
### ۳-۳- طاقدیس و راندگی جنوب سردر

یکی دیگر از طاقدیس‌های مورد مطالعه در این پژوهش، طاقدیس جنوب سردر است (شکل ۳). با توجه به عبور رودخانه‌ی اصفهک از بخش جنوبی آن، در بخش جنوبی طاقدیس فرسایش رودخانه‌ای رخ داده و سبب بیرون زدگی رسوبات قدیمی شده است. این طاقدیس نیز مانند اغلب چین خوردگی‌های منطقه‌ی مورد پژوهش بیشتر از رسوبات کنگلومرای نئوژن و همچنین سنگ‌های گچی نئوژن تشکیل شده است.

با هدف تخمین میزان تغییرات قائم صورت گرفته در یک بازه‌ی زمانی خاص در راستای محوری طاقدیس جنوب سردر اقدام به تهیه مقاطع توپوگرافی و تغییرات قائم به صورت عمود بر راستای محور چین خوردگی با فواصل تقریباً ۷/۵ و با درازای حدوداً ۲۱ کیلومتر کرده‌ایم (شکل ۱۰-الف). حداکثر تغییرات قائم در راستای چین و راندگی جنوب اصفهک ۳/۰۸ میلی‌متر (شکل ۱۰-ب) و آهنگ رشد تغییرات قائم ۰/۶۵ میلی‌متر در سال به دست آمده است (شکل ۱۱).



شکل (۱۰): الف) نقشه تغییرات قائم و موقعیت گسل راندگی و چین جنوب سردر همراه با پروفیل‌های ترسیم شده در راستای عمود بر محور طاقدیس جنوب سردر، ب) پروفیل تغییرات قائم و توپوگرافی در راستای AA'، پ) پروفیل تغییرات قائم و توپوگرافی در راستای BB' و ت) پروفیل تغییرات قائم و توپوگرافی در راستای CC'. در مقاطع تغییرات قائم بر حسب میلی‌متر و فاصله بر حسب کیلومتر می‌باشد.



شکل (۱۱): سری زمانی تداخل‌سنجی راداری طاقدیس و راندگی جنوب سردر در طی بازه زمانی مربوطه.



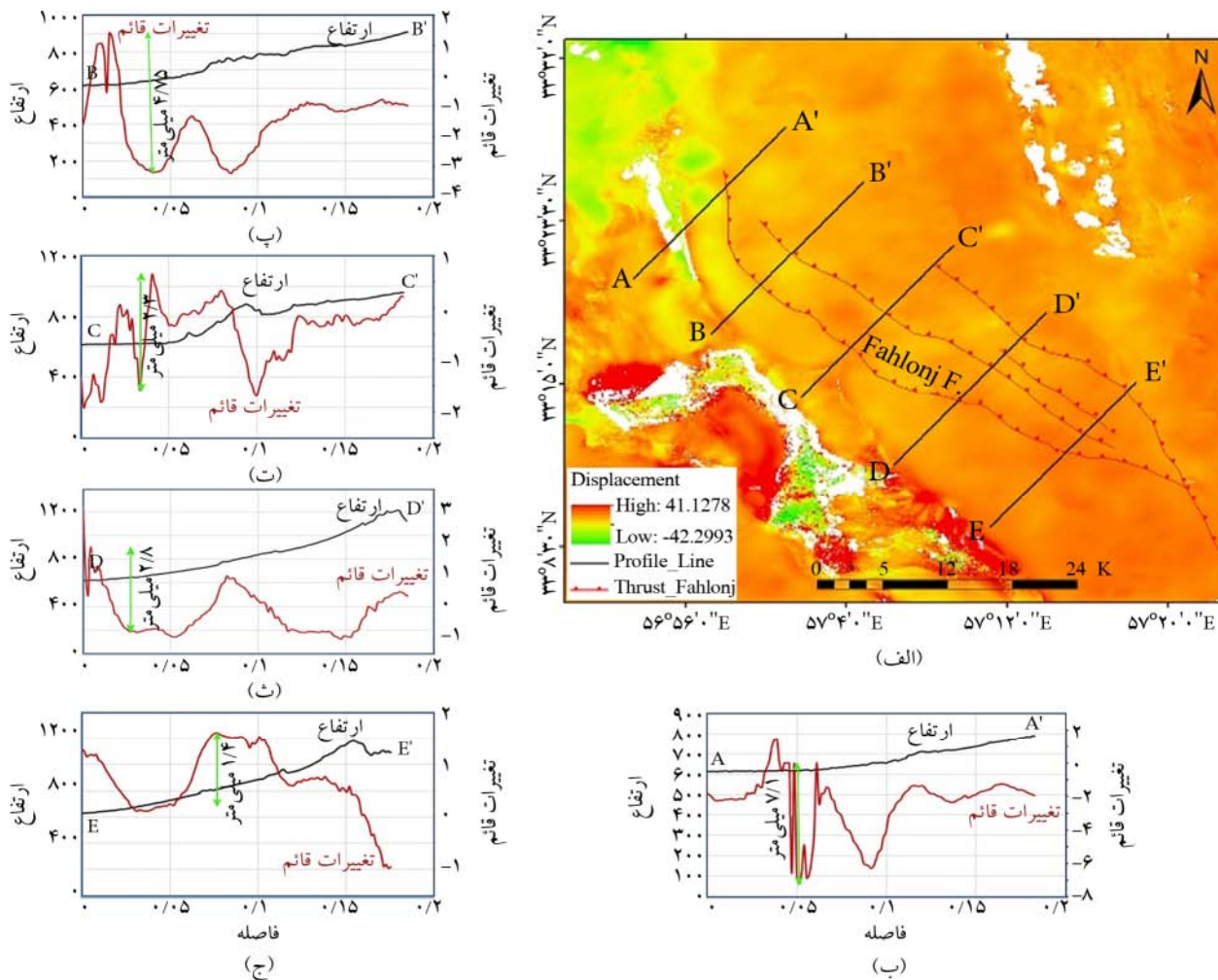
### ۴-۳- طاقدیس و راندگی فهلج

بزرگ‌ترین طاقدیس ایجاد شده در بین رسوبات کواترنری منطقه‌ی مورد پژوهش طاقدیس فهلج که در جنوب شهر طیس واقع شده است. ابتدا راستای شمالی- جنوبی دارد، سپس شمال غربی- جنوب شرقی می‌شود و تا فرازمین شتری امتداد می‌یابد. عمدتاً از سنگ‌های گچی نئوژن ساخته شده است (شکل ۳). به منظور پایش میزان تغییرات قائم در راستای محور چین و راندگی فهلج مقاطع توپوگرافی و تغییرات قائم با فواصل ۹ کیلومتری و طول تقریباً ۱۹ کیلومتر ترسیم و تهیه شد (شکل ۱۲-الف). بیشترین میزان تغییرات قائم به دست آمده به روش تداخل سنجی ۷/۱ میلی‌متر راداری می‌باشد (شکل ۱۲-ب). تجزیه و تحلیل سری زمانی ارائه

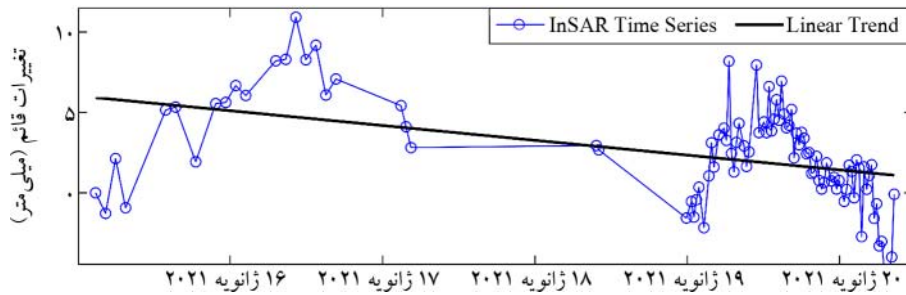
شده در شکل (۱۳) آهنگ متوسط تغییرات قائم مربوط به این طاقدیس را ۰/۹۵- میلی‌متر در سال نشان می‌دهد.

### ۵-۳- راندگی بهارستان

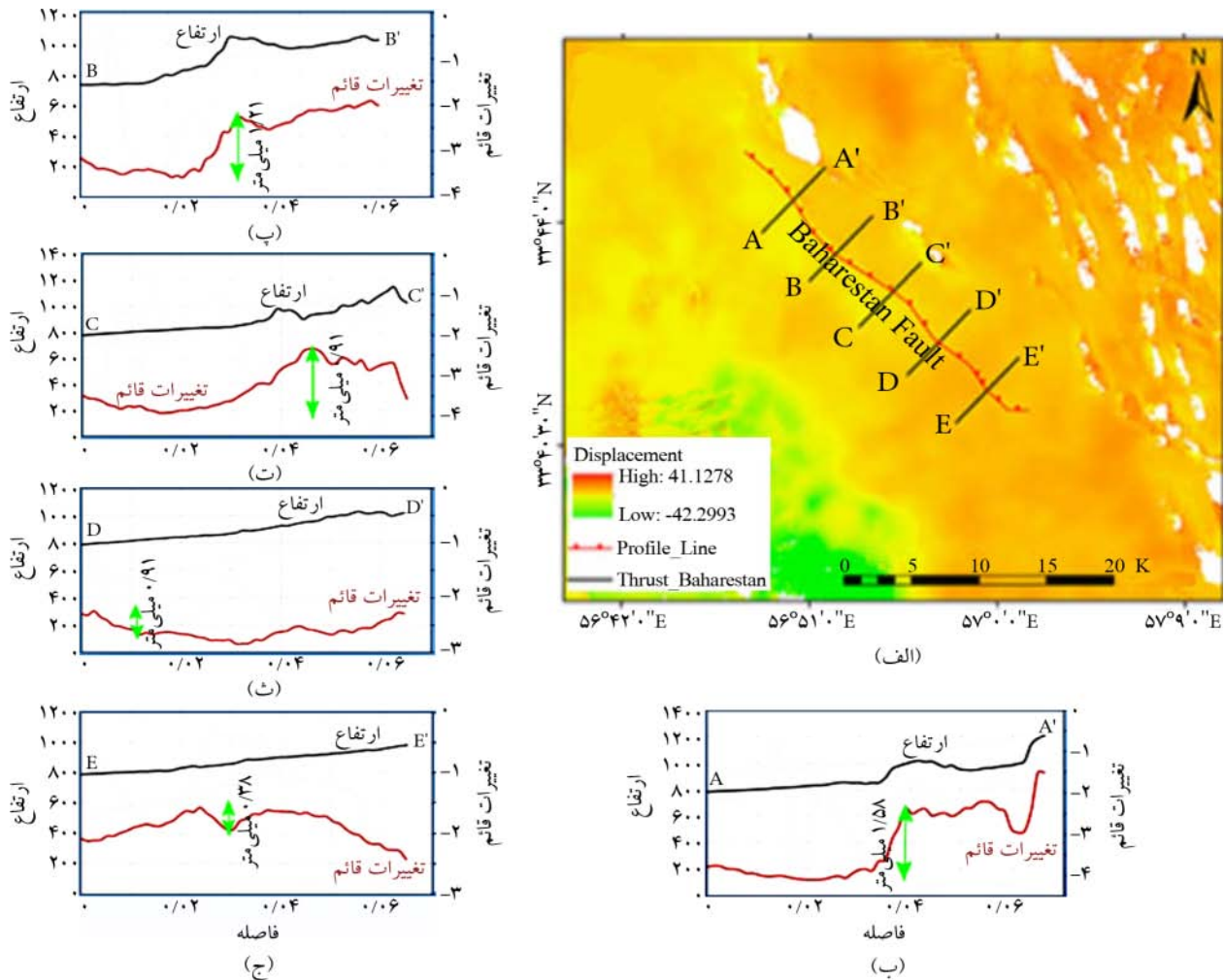
در فرازمین شتری که تحت تأثیر پایانه شمالی گسل نابیند قرار دارد، گسل‌های راندگی فراوانی با روند شمال باختر- جنوب خاور به موازات یکدیگر و شیبی به سمت شمال خاور شکل گرفته‌اند که گسل بهارستان یکی از آنهاست. گسل بهارستان نیز در محل اتصال کوه به دشت فرو افتاده طیس سنگ‌های ژوراسیک را بر روی کنگلومرای پالئوسن رانده است (شکل ۱). در ادامه رسوبات پادگانه‌های آبرفتی به سمت دشت کشیده شده‌اند. از این نقطه به



شکل (۱۲): (الف) نقشه تغییرات قائم و موقعیت گسل راندگی و طاقدیس فهلج همراه با پروفیل‌های ترسیم شده در راستای عمود بر محور طاقدیس فهلج، (ب) پروفیل تغییرات قائم و توپوگرافی در راستای AA'، (پ) پروفیل تغییرات قائم و توپوگرافی در راستای BB'، (ت) پروفیل تغییرات قائم و توپوگرافی در راستای CC'، (ث) پروفیل تغییرات قائم و توپوگرافی در راستای DD' و (ج) پروفیل تغییرات قائم و توپوگرافی در راستای EE'. در مقاطع تغییرات قائم بر حسب میلی‌متر و فاصله بر حسب کیلومتر می‌باشد.



شکل (۱۳): سری زمانی تداخل سنجی راداری طاق‌دیس و راندگی فهلج در طی بازه زمانی مربوطه.



شکل (۱۴): (الف) نقشه تغییرات قائم و موقعیت گسل راندگی بهارستان همراه با پروفیل‌های ترسیم شده در راستای عمود بر امتداد گسل بهارستان، (ب) پروفیل تغییرات قائم و توپوگرافی در راستای AA'، (پ) پروفیل تغییرات قائم و توپوگرافی در راستای BB'، (ت) پروفیل تغییرات قائم و توپوگرافی در راستای CC'، (ث) پروفیل تغییرات قائم و توپوگرافی در راستای DD' و (ج) پروفیل تغییرات قائم و توپوگرافی در راستای EE'. مقاطع تغییرات قائم بر حسب میلی‌متر و فاصله بر حسب کیلومتر می‌باشد.

تغییرات قائم با فواصل یکسان حدوداً ۵ کیلومتری و عمود بر راستای گسل بهارستان تهیه گردید (شکل ۱۴-الف). بر اساس نتایج به دست آمده و تجزیه و تحلیل پروفیل‌های تهیه شده حداکثر میزان تغییرات قائم ایجاد شده توسط گسل ۱/۵۸ میلی‌متر (شکل ۱۴-ب)

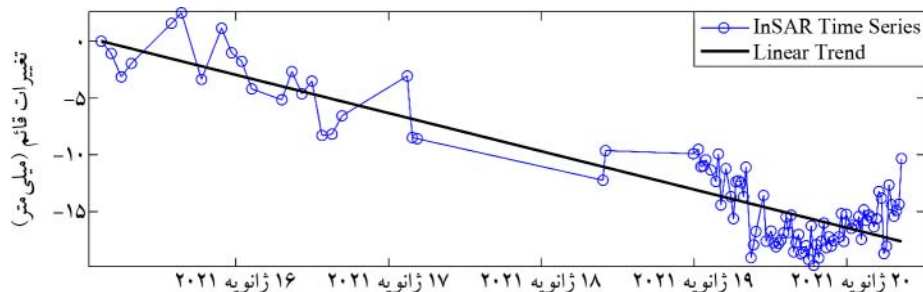
سمت پایین دست رودخانه وارد بستر کنگلومرایی و آبرفتی می‌شود و دارای عمق زیاد و پیچ و خم‌های متعدد می‌گردد. از این رو، جهت محاسبه تغییرات قائم رخ داده توسط گسل بهارستان در یک دوره زمانی خاص پروفیل‌های توپوگرافی و

و همچنین آهنگ متوسط تغییرات قائم ۳/۵- میلی‌متر در سال برآورد شد (شکل ۱۵).

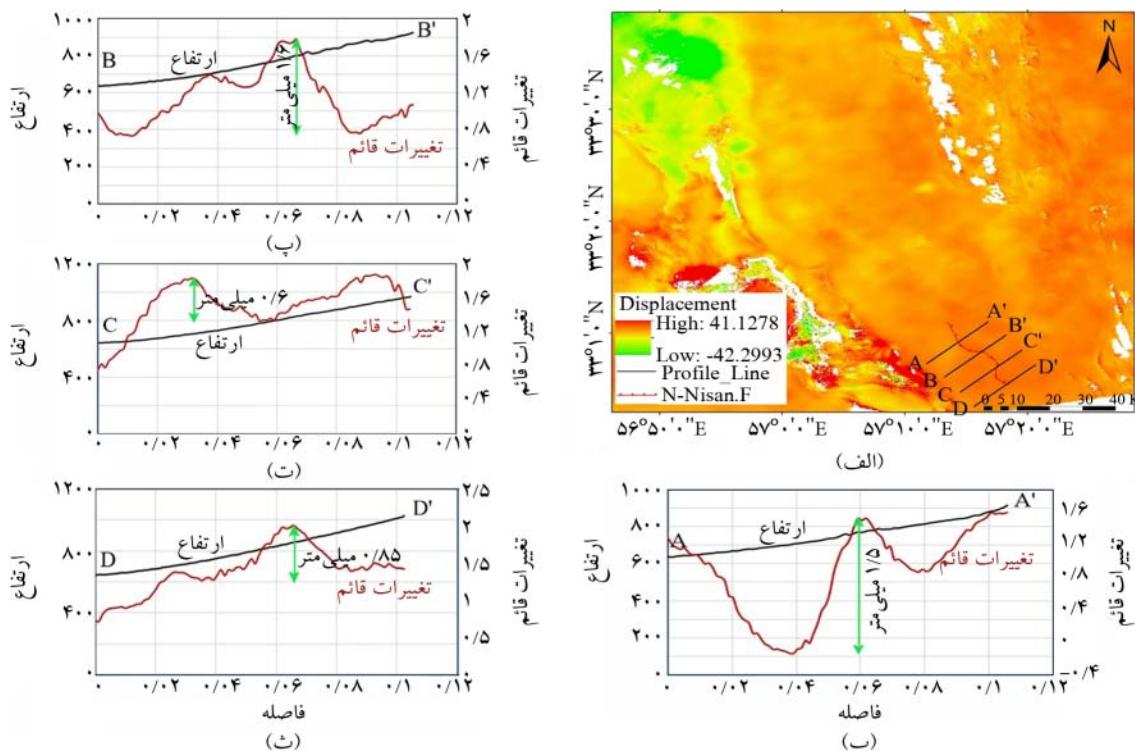
۳-۶- گسل راندگی شمال نیستان

گسل نیستان مانند سایر گسل‌های راندگی منطقه‌ی مورد پژوهش دارای روند تقریبی شمال باختری- جنوب خاوری با شیب به سمت شمال خاوری دارد که به سادگی می‌توان آن را در تصاویر ماهواره‌ای دنبال کرد. از شواهد نو زمین‌ساختی این گسل می‌توان به اسکارپ‌های جوان هم‌راستا با آن اشاره کرد (شکل ۱).

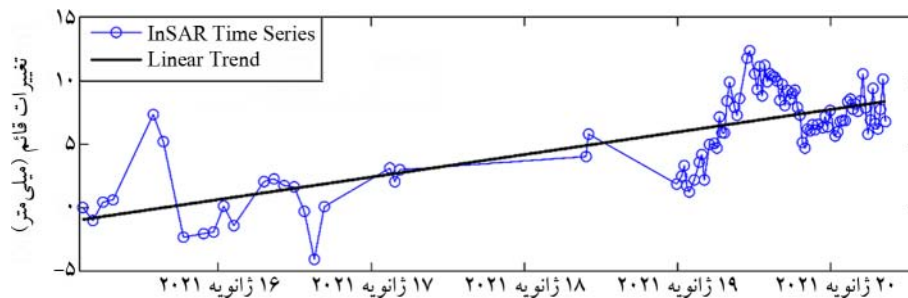
به‌منظور برآورد تغییرات قائم ناشی از فعالیت زمین‌ساختی راندگی شمال نیستان پروفیل‌های تغییرات قائم و توپوگرافی به‌صورت عمود بر راستای گسل و با فواصل یکسان تقریباً ۱۴/۵ کیلومتری تهیه و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت (شکل ۱۶- الف). بر اساس پروفیل‌های تهیه شده بیشترین میزان تغییرات قائم ناشی از فعالیت زمین‌ساختی این گسل ۱/۶ میلی‌متر برآورد شد (شکل ۱۶- ب) و بر اساس سری زمانی به‌دست آمده از تکنیک‌های تداخل‌سنجی راداری برای گسل راندگی شمال نیستان آهنگ متوسط سالیانه برای این گسل ۱/۷ میلی‌متر در سال تخمین زده شد (شکل ۱۷).



شکل (۱۵): سری زمانی تداخل‌سنجی راداری طاق‌دیس و راندگی بهارستان در طی بازه زمانی مربوطه.



شکل (۱۶): (الف) نقشه تغییرات قائم و موقعیت گسل راندگی شمال نیستان همراه با پروفیل‌های ترسیم شده در راستای عمود بر امتداد گسل شمال نیستان، (ب) پروفیل تغییرات قائم و توپوگرافی در راستای AA'، (پ) پروفیل تغییرات قائم و توپوگرافی در راستای BB'، (ت) پروفیل تغییرات قائم و توپوگرافی در راستای CC'، (ث) پروفیل تغییرات قائم و توپوگرافی در راستای DD'. در مقاطع تغییرات قائم بر حسب میلی‌متر و فاصله بر حسب کیلومتر می‌باشد.



شکل (۱۷): سری زمانی تداخل سنجی راداری طاقدیس و راندگی نیستان در طی بازه زمانی مربوطه.

مرتبط با گسل های فعال در منطقه همگی حکایت از پویایی سامانه های تنش ترافشاری حاکم بر منطقه و فراخاست فرازمین شتری در راستای شاخه های فرعی گسل نای بند دارد. این فراخاست زمین ساختی سبب عملکرد سامانه های رودخانه ای، فرسایش و حمل رسوبات از کوهستان به دشت و رسوب آنها در منطقه شده است. نهشته های آبرفتی حاصل از این برخاستگی بر روی آخرین طبقات مارنی نئوژن برجای گذاشته شده اند. این طبقات مارنی نشان دهنده ی یک دوره ی آرامش زمین ساختی در این ناحیه هستند که در یک شرایط دریاچه ای تا مردابی رسوب کرده اند. قرارگیری اولین طبقات کنگلومرای نئوژن در قالب چینه های رویشی بر روی نهشته های کهن تر می تواند دلیلی بر شروع چین خوردگی مارن ها در اثر تشدید جنبش های زمین ساختی و برخاستگی فرازمین شتری در این دوره باشد که منجر به تشدید فرایندهای فرسایشی و ایجاد نهشته های درشت دانه آبرفتی گردیده است.

نشانه های ریخت زمین ساختی فراوانی در فرازمین شتری این برخاستگی را نشان می دهد. از جمله این نشانه ها وجود مجراهای کهن آب، غارهای باستانی در رسوبات آبرفتی کهن در دیواره رودخانه سردر و دره های باریک و ژرف در فرازمین شتری نیز همگی نشانه هایی از برپایی شدید زمین ساختی منطقه ی مورد پژوهش می باشند (شکل ۱۸).

مناذره های موجود در مسیر برخی از رودخانه ها از جمله رودخانه سردر و کریت نشانه ی کاهش شیب سطح بادبزنها قدیمی اندکی قبل از مهاجرت جبهه کوهستان به محل جدید می باشد. این مناذرها در مسیر جریان رودخانه که بعدها به دلیل برخاستگی ناحیه و فرسایش بستر جریان ها، ژرفای زیادی یافته اند،

به طور کلی، نرخ و دامنه تغییرات قائم در راستای چین خوردگی ها و گسل های راندگی بخش باختری فرازمین شتری افزایش چشمگیری دارد به طوری که بیشترین میزان تغییرات قائم را طاقدیس فهلنج به میزان ۷/۱ میلی متر و کمترین میزان تغییرات قائم را طاقدیس سردر به میزان ۱/۲۸ میلی متر به خود اختصاص داده است. نرخ و دامنه زیاد تغییرات قائم در این بخش، به ویژه در راستای چین خوردگی ها و گسل های راندگی جوان به دلیل عدم وقوع زمین لرزه ای با بزرگای زیاد در طی دوره ی زمانی مورد نظر که قادر به ایجاد چنین تغییرات قائم در سطح زمین باشد (شکل ۵)، سؤال برانگیز است. از این رو، در این پژوهش به بررسی سایر عوامل که می توانند چنین تغییرات قائمی را در سطح ایجاد کنند؛ پرداخته شد. جنس واحدهای رسوبی منطقه، نرخ رسوب گذاری و فرسایش از عواملی است که می توان به آن اشاره کرد. بدین منظور، در ادامه به طور خلاصه به شرح و معرفی شواهد زمین شناسی و ریخت زمین ساختی که نشان دهنده ی نرخ فرسایش- رسوب گذاری و فراخاست در منطقه هستند؛ می پردازد.

پویایی فرازمین شتری به عنوان یک سیمای زمین ساختی جوان عامل اصلی تأثیر گذار بر شکل گیری و توسعه ی سامانه های فرسایش- رسوب گذاری از جمله بادبزنها و پادگانه های آبرفتی در منطقه است. سامانه های آبرفتی به عنوان جوان ترین پدیده های زمین شناختی از دو عامل مهم اقلیم و جنبش های زمین ساختی تأثیر می پذیرند؛ بنابراین می توان بر اساس تأثیر پذیری بادبزنها و پادگانه های آبرفتی، نحوه فعالیت های زمین ساختی و احياناً تغییرات آب و هوایی دوره های گذشته را بررسی نمود. شواهد ریخت زمین ساختی متعدد از جمله پادگانه های آبرفتی مرکب، دره های باریک و ژرف، چین های

طاقدیس مذکور از شیب اولیه رسوبات نئوژن به تدریج کاسته و به صورت کاملاً تدریجی به نهشته‌های نیمه‌سخت شده آبرفتی که به طور کم‌ویش افقی برجای گذاشته شده‌اند تبدیل می‌شود. این هندسه چین‌های رویشی مشاهده شده در یال‌های طاقدیس‌های در حال رشد بیانگر و تداعی‌کننده شکل‌گیری این چین‌ها در محیط رسوب‌گذاری پویاست به گونه‌ای که شیب طبقات چین، از هسته مارنی به سمت یال‌ها به تدریج کاهش یافته و سرانجام به حالت افقی در رسوبات آبرفتی قدیمی ( $Qt_1$ ) می‌رسد. از نمونه‌ی دیگری از چین‌های رشدی می‌توان به تشکیل این ساختار رویشی در هسته‌ی طاقدیس سرد بین مارن‌های نئوژن و رسوبات آبرفتی منفصل جوان ( $Qt_2$ ) اشاره کرد به صورتی که رسوبات آبرفتی از هسته به دو طرف به تدریج ضخیم و ضخیم‌تر می‌شوند (شکل ۲۱). این وضعیت تداوم پویایی و رشد چین‌ها و افزایش نرخ فراخاست آنها را در حال حاضر نشان می‌دهد.

ماندرهای گود رفته‌ای را نشان می‌دهند (شکل ۱۹). همان‌طور که پیش‌تر هم اشاره شد آثار این برپایی در بسیاری از نقاط داخل کوهستان و تپه‌ماهورهای ایجاد شده در رسوبات نئوژن که به نحوی شواهد چین‌خوردگی فعال می‌باشد به چشم می‌خورد (شکل ۲۰). همچنین پادگانه‌های آبرفتی برخاسته بر فراز چین‌های نئوژن، چین‌های رویشی از رسوبات آبرفتی جوان بر فراز یال طاقدیس‌های مذکور، رودخانه‌های منحرف شده و سربریده و دره‌های باریک و ژرف همگی شواهد رشد چین‌ها و فراخاست این ناحیه هستند. وجود چین‌های رویشی نشان‌دهنده‌ی چین‌خوردگی رسوبات آبرفتی در یک محیط زمین‌ساختی پویا همراه با محیط رسوب‌گذاری پر تکاپو در محیط‌های خشکی یا حد واسط می‌باشد. این واقعیت به خوبی در مسیر رودخانه سردر مشاهده می‌شود. با پیمایش مسیر کال سردر (به سمت خاور) و دور شدن از یال خاوری



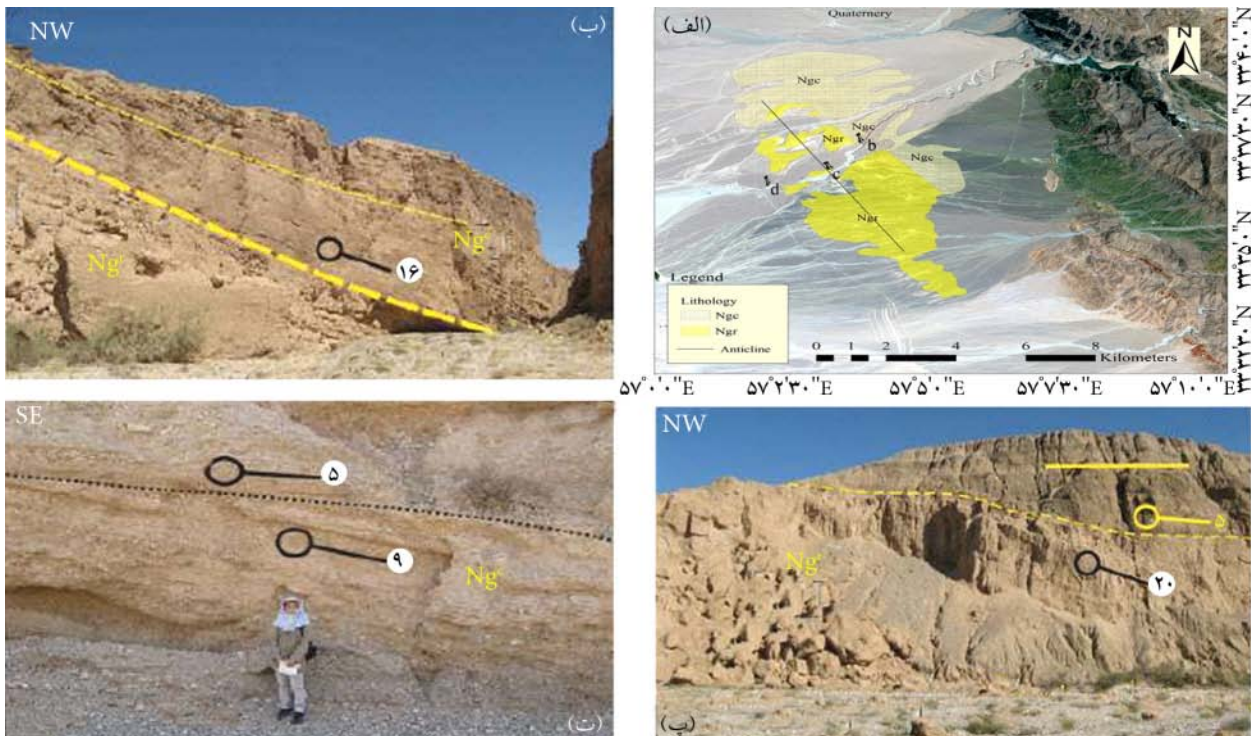
شکل ۱۸: (الف) نمونه‌ای از تنگ‌دره‌های ایجاد شده توسط رودخانه سردر در نهشته‌های آبرفتی بادبزنی‌های قدیمی (دید: به سمت شرق) و (ب) غارهای باستانی در دیواره‌ی رودخانه سردر که نشان‌دهنده‌ی برخاستگی منطقه و فرسایش بستر رودخانه است (دید به سمت غرب).



شکل ۱۹: (الف) و (ب) نمونه‌هایی از ماندرهای گود رفته در منطقه‌ی مورد پژوهش (جهت دید به سمت شرق).



شکل (۲۰): (الف) و (ب) نمونه‌ای از دره‌های ژرف و باریک (دید: به سمت شرق) و (پ) و (ت) نمونه‌هایی از گسل‌های برداشت شده در رسوبات جوان که نشان‌دهنده‌ی فرآخاست سریع و فعالیت بالای منطقه مورد پژوهش است (دید: عکس (پ) به سمت شمال و (ت) به سمت شرق).



شکل (۲۱): (الف) تصویر ماهواره‌ای ستینل ۲ از طاقدیس سردر در خاور شهر طبس، (ب) چینه‌های رویشی شامل رسوبات نئوژن که بر روی طبقات مارنی قرار گرفته است، (پ) چینه‌های رویشی شامل رسوبات آبرفتی جوان که بر فراز مارن‌ها قرار گرفته‌اند و (ت) دگرشیبی بین رسوبات آبرفتی قدیمی و رسوبات نئوژن در یال باختری طاقدیس سردر (دید: (الف) و (ب) به سمت شمال غرب، (ت) به سمت جنوب شرق) [۳۳].

#### ۴- نتیجه‌گیری

این مطالعه به اهمیت تفکیک فرآیندهای زمین‌ساختی و غیر زمین‌ساختی در تحلیل لرزه‌زمین‌ساختی یک منطقه مانند دشت طیس (به‌عنوان یک مطالعه موردی) می‌پردازد. بر اساس نقشه به‌دست آمده از تکنیک تداخل‌سنجی راداری، ملاحظه شد که دشت طیس (باختر فرازمین شتری)، تغییرات قائم زمین‌ساختی شدیدی را نشان می‌دهد. بر مبنای پروفیل‌های تغییرات ارتفاعی ترسیم شده در راستای عمود بر گسل‌ها و چین‌خوردگی‌های منطقه مورد پژوهش، بیشترین میزان تغییرات قائم سطح زمین در بازه‌ی زمانی مورد نظر ۲۰۲۰-۲۰۱۵ به میزان ۷/۱ میلی‌متر مربوط به طاق‌دیس فهلج، و کمترین میزان تغییرات قائم به میزان ۱/۲۸ میلی‌متر مربوط به طاق‌دیس سردر می‌باشد. تجزیه و تحلیل پروفیل‌ها نمایانگر افزایش میزان تغییرات قائم در بخش باختری رشته‌کوه از شمال به سمت جنوب (پایانه‌ی شمالی گسل نابیند) است. بررسی‌های انجام شده نرخ و دامنه زیاد تغییرات قائم را به فرآیندهای غیر زمین‌ساختی (مانند نرخ بالای رسوب‌گذاری و فرسایش در اثر وقوع سیلاب‌های فصلی) و نقش ناچیز و پیوسته فعالیت‌های تکتونیکی مرتبط می‌داند.

شواهد ریخت‌زمین‌ساختی قابل توجهی در منطقه وجود دارد که بر فراخاست زمین‌ساختی منطقه تأکید دارد. از شواهد ریخت‌زمین‌ساختی مشاهده شده در منطقه، می‌توان به موارد متعددی اشاره کرد. مواردی همچون متاندرهای موجود در مسیر جریان رودخانه که به دلیل فراخاست ناحیه و فرسایش بستر جریان، ژرفای زیادی دارند؛ پادگانه‌های آبرفتی بالا آمده بر فراز چین‌های نتوژن، چینه‌های رویشی از رسوبات آبرفتی جوان بر فراز یال طاق‌دیس‌های ذکر شده در این پژوهش، رودخانه‌های منحرف شده و سربریده دره‌های باریک و ژرف و ...

برداشت‌های میدانی از منطقه، بالا آمدگی‌های زمین‌ساختی در بخش‌های جنوبی منطقه را به تمرکز تنش بیشتر در محل برخورد گسل نابیند با گسل‌های راندگی در منطقه می‌داند. این خود نشان‌دهنده‌ی فعالیت زمین‌ساختی بیشتر این بخش از منطقه‌ی مورد پژوهش است.

#### مراجع

- Vernant, P., Nilforoushan, F., Hatzfeld, D., Abbassi, M., Vigny, C., Masson, F., Nankali, H., Martinod, J., Ashtiani, A., and Bayer, R. (2004a) Present-day crustal deformation and plate kinematics in the Middle East constrained by GPS measurements in Iran and northern Oman. *Geophys. J. Int.*, **157**(1), 381-398.
- Berberian, M. (1981) 'Active faulting and tectonics of Iran'. In: *Zagros Hindu Kush Himalaya Geodynamic Evolution*. 33-69.
- Jackson, J., Haines, J., and Holt, W. (1995) The accommodation of Arabia-Eurasia plate convergence in Iran. *J. Geophys. Res., Solid Earth*, **100**(B8), 15205-15219.
- Walker, R. and Jackson, J. (2004) Active tectonics and late Cenozoic strain distribution in central and eastern Iran. *Tectonics*, **23**(5).
- Mousavi, Z., Walpersdorf, A., Walker, R., Tavakoli, F., Pathier, E., Nankali, H., Nil-fouroushan, F., and Djamour, Y. (2013) Global positioning system constraints on the active tectonics of NE Iran and the South Caspian region. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **377**, 287-298.
- Walpersdorf, A., Manighetti, I., Mousavi, Z., Tavakoli, F., Vergnolle, M., Jadidi, A., Hatzfeld, D., Aghamohammadi, A., Bigot, A., and Djamour, Y. (2014) Present-day kinematics and fault slip rates in eastern Iran, derived from 11 years of GPS data. *J. Geophys. Res. Solid Earth*, **119**(2), 1359-1383, <http://dx.doi.org/10.1002/>.
- Meyer, B. and Le Dortz, K. (2007) Strike-slip kinematics in central and eastern Iran: estimating fault slip-rates averaged over the Holocene. *Tectonics*, **26**(5).
- Regard, V., Bellier, O., Braucher, R., Gasse, F., Bourlès, D., Mercier, J., and Thomas, J.-C., Abbassi, M., Shabanian, E., and Soleymani, S. (2006) <sup>10</sup>Be dating of alluvial deposits from Southeastern Iran (the Hormoz Strait area). *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, **242**(1), 36-53.
- Fattahi, M., Walker, R., Talebian, M., Sloan, R., and Rasheedi, A. (2014) Late Quaternary active faulting and landscape evolution in relation to the

18. Molnar, P. and Lyon-Caen, H. (1989) Fault plane solutions of earthquakes and active tectonics of the Tibetan Plateau and its margins. *Geophys. J. Int.*, **99**(1), 123-153.
19. Molnar, P., Fitch, T.J., and Wu, F.T. (1973) Fault plane solutions of shallow earthquakes and contemporary tectonics in Asia. *Earth Planet. Sci. Lett.* **19** (2), 101–112.
20. Tapponnier, P., Meyer, B., Avouac, J.P., Peltzer, G., Gaudemer, Y., Shunmin, G., Hongfa, X., Kelun, Y., Zhitai, C., and Shuahua, C. (1990) Active thrusting and folding in the Qilian Shan, and decoupling between upper crust and mantle in northeastern Tibet. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **97**(3), 382-403.
21. England, P. and Jackson, J. (2011) Uncharted seismic risk. *Nat. Geosci.*, **4**(6), 348-349.
22. Fialko, Y., Sandwell, D., Simons, M., and Rosen, P. (2005) Three-dimensional deformation caused by the Bam, Iran, earthquake and the origin of shallow slip deficit. *Nature*, **435**(7040), 295-299.
23. Funning, G.J., Parsons, B., Wright, T.J., Jackson, J.A., and Fielding, E.J. (2005) Surface displacements and source parameters of the 2003 Bam (Iran) earthquake from Envisat advanced synthetic aperture radar imagery. *J. Geophys. Res., Solid Earth*, **110**(B9).
24. Jackson, J. (2001) Living with earthquakes: know your faults. *J. Earthq. Eng.*, **5**(spec01), 5-123.
25. Oskin, M.E., Arrowsmith, J.R., Corona, A.H., Elliott, A.J., Fletcher, J.M., Fielding, E.J., Gold, P.O., Garcia, J.J.G., Hudnut, K.W., Liu-Zeng, J., and Teran, O.J. (2012) Near-field deformation from the El Mayor-Cucapah earthquake revealed by differential LI-DAR. *Science*, **335**(6069), 702-705.
26. Zhou, Y., Elliott, J.R., Parsons, B., and Walker, R.T. (2015a) The 2013 Balochistan earthquake: an extraordinary or completely ordinary event? *Geophys. Res. Lett.*, **42**(15), 6236-6243, <http://dx.doi.org/10.1002/2015GL065096>.
27. Berberian, M. (1979) Earthquake faulting and bedding thrust associated with the Tabas-e-Golshan (Iran) earthquake of September 16. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, **69**(6), 1861-1887.
- Gowk Fault in the South Golbaf Basin, SE Iran. *Geomorphology*, **204**, 334-343.
10. Walker, R.T., Bergman, E.A., Elliott, J.R., Fielding, E.J., Ghods, A.R., Ghoraiishi, M., Jackson, J., Nazari, H., Nemati, M., Oveisi, B., Talebian, M., and Walters, R.J. (2013) The 2010–2011 South Rigan (Baluchestan) earthquake sequence and its implications for distributed deformation and earthquake hazard in southeast Iran. *Geophys. J. Int.*, **193**(1), 349-374, <https://doi.org/10.1093/gji/ggs109>.
11. Foroutan, M., Meyer, B., Sébrier, M., Nazari, H., Murray, A., Le Dortz, K., Shokri, M., Arnold, M., Aumaître, G., and Bourlès, D. (2014) Late Pleistocene–Holocene right slip rate and paleoseismology of the Nayband fault, western margin of the Lut block, Iran. *J. Geophys. Res., Solid Earth*, **119**(4), 3517-3560, <http://dx.doi.org/10.1002/2013JB010746>.
12. Burbank, D.W. and Anderson, R.S. (2011) *Tectonic Geomorphology*. John Wiley & Sons.
13. Copley, A. (2014) Postseismic 30 years after the 1978 Tabas-e-Golshan (Iran) earthquake: observations and implications for the geological evolution of thrust belts. *Geophys. J. Int.*, **197**(2).
14. Dolan, J.F., Christofferson, S.A., and Shaw, J.H. (2003) Recognition of paleoearthquakes on the Puente Hills blind thrust fault, California. *Science*, **300**(5616), 115-118.
15. Yu, S.-B., Hsu, Y.-J., Kuo, L.-C., Chen, H.-Y., and Liu, C.-C. (2003) GPS measurement of post-seismic deformation following the 1999 Chi-Chi, Taiwan, earthquake. *J. Geophys. Res., Solid Earth*, **108**(B11).
16. Rashidi, A., Khatib, M.M., Nilfouroushan, F., Derakhshani, R., Mousavi, S.M., Kiyani, H., and Jamour, Y. (2019) Strain rate and stress fields in the West and South Lut block, Iran: insights from the inversion of focal mechanism and geodetic data. *Tectonophysics*, **766**, 94-114.
17. Hubbard, J. and Shaw, J.H. (2009) Uplift of the Longmen Shan and Tibetan plateau, and the 2008 Wenchuan ( $M = 7.9$ ) earthquake. *Nature*, **458**(7235), 194-197.



28. Walker, R., Jackson, J., and Baker, C. (2003) Surface expression of thrust faulting in eastern Iran: source parameters and surface deformation of the 1978 Tabas and 1968 Ferdows earthquake sequences. *Geophys. J. Int.*, **152**(3), 749-765.
29. Stokline, J., Eftekharneshad, J., and Hushmandzadeh, A. (1994) *Geological map, 1:25000, Geological survey of Iran.*
30. Stoklin, J. (1968) Structural history and Tectonic of Iran: A reviews. *Am. Assos. Pet Geoll. Bull.*, **52**, 1129-1258.
31. Hooper, A., Bekaert, D., Spaans, K., and Arikan, M. (2012) Recent advances in SAR interferometry time series analysis for measuring crustal deformation. *Tectonophysics*, **7**, 514-517.
32. Morishita, Y., Lazecky, M., Wright, T.J., Weiss, J.R., Elliott, J.R., and Hooper, A. (2020) LiCSBAS: an open-source InSAR time series analysis package integrated with the LiCSAR automated Sentinel-1 InSAR processor. *Remote Sensing*, **12**(3), 424.
33. Nazemi, M. (2014) *Geomorphic Evidence of Active Folding in East and South East of Tabas*. Ph.D. Thesis, Islamic Azad University, Tehran, P. 123 (in Persian).

#### واژه‌نامه

Global Positioning System (GPS)	سیستم موقعیت‌یابی جهانی
Radar Interferometry	تداخل‌سنجی راداری
Crests	ستخ‌ها
Persistent Scatterer Interferometry	پراکنش‌کننده‌های دائمی
Small Baseline Subset	الگوریتم خط مبنای کوتاه

## Monitoring the Rate of Vertical Changes of the Ground Surface Using Radar Interferometry Technique and C-Band Time Series; Study Area: Western Part of Horst Shotori (East of Tabas)

Razieh Abbaspour<sup>1</sup>, Seyed Morteza Mousavi<sup>2\*</sup>, Mohammad Mehdi Khatib<sup>3</sup> and Ahmad Rashidi<sup>4</sup>

1. Ph.D. Candidate, Department of Geology, Faculty of Earth Science, Birjand University, Birjand, Iran

2. Associate Professor, Department of Geology, Faculty of Earth Science, Birjand University, Birjand, Iran,

\*Corresponding Author, email: mmoussavi@birjand.ac.ir

3. Professor, Department of Geology, Faculty of Earth Science, Birjand University, Birjand, Iran

4. Assistant Professor, Seismological Research Center, Department of Geology, International Institute of Seismology and Earthquake Engineering (IIEES), Tehran, Iran

This study examines the evidence and effects of young tectonic activities based on the calculation of vertical changes in folds and thrusts in the western part of the Horst Shotori. Quantitative analyses of vertical changes in the western part of the Shotori and the study of factors affecting the extent of these changes have been the objectives of this study. In order to quantitatively analysis the vertical changes caused by young folds, thrust faults and non-tectonic phenomena in the region, Sentinel 1 radar images were used by radar interferometry method in LiCBAS software. Based on the interpretation of the data, the rate of vertical changes in the Fahlonj anticline is about 7.1 mm and the Sardar anticline is about 1.28 mm, which show the most and the least vertical changes, respectively. In general, vertical changes in the western part of the Horst Shotori, from north to south (northern end of Nayband fault) increase significantly.

The high rate and range of changes in the western part of the Camel Plateau, especially in folds and young thrust faults, due to the low rate of inter-seismic deformation and the absence of high-magnitude earthquakes in the time period of the interpretation of the images used in this study, is an important non-tectonic reason. The absence of high magnitude earthquakes in the interpretation period of the images used in this study has an important non-tectonic reason. In the region, a very influential factor in the formation of such changes is the occurrence of severe seasonal floods and the deposition of sediments carried by them in the region. However, the evidence of tectonic morphology observed in the region underscores the current activity of faults, uplift, and the growth of the region's young folds. Evidence such as: Meanderi rivers, Beheaded and Deflected Streams, narrow and deep valleys, alluvial fans rising above the Neogene folds, strata of young alluvial sediments above the limbs of young anticlines in the region, the current activity of faults, uplift and growth of young anticlines.

**Keywords:** Active tectonic, Radar interferometry, Vertical Changes earth's crust, Horst Shotori, Tabas.