# لزوم مطالعه جنبش‌های عمودی و تاثیر آن در طرح‌های توسعه شهری ( مطالعه موردی: سایت فرودگاهی جیرفت -جنوب ایران مرکزی)

**مقاله علمی – پژوهشی**

محمد محمد حسنی*، استادیار، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، تهران، ایران
امیر شفیعی بافتی، استادیار، دانشگاه آزاد اسلامی واحد زرند، کرمان، ایران
مبین بهرامپور، دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران
فاطمه کمالی، دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشگاه یزد، یزد، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: m.mohammadhasani@bhrc.ac.ir
دریافت: ۱٤۰٤/۰۱/۲۰- پذیرش: ۱٤۰٤/۰۵/۰۱
صفحه ۱٦۲-۱۵۱

**چکیده**

*فرونشست به عنوان یکی از وقایع ژئومورفیک، شامل نشست تدریجی سطح زمین است که تحت تأثیر عوامل طبیعی و همچنین به واسطه دخالت‌های انسانی روی می‌دهد. در پژوهش حاضر به جهت بررسی جنبش‌های عمودی سطح زمین و تاثیر آن بر روند توسعه شهری طی دو دوره آماری ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۰ و ۲۰۲۰ تا ۲۰۲۳ به بررسی روند جابه جایی عمودی محدوده شهر جیرفت با استفاده از روش تداخل سنجی راداری و تصاویر ماهواره‌ای سنتینل۱ پرداخته شد. که نتایج این بررسی‌ها اینگونه نشان داد که در دوره آماری اول محدوده شهر جیرفت ۱۳ سانتی متر فرونشست و ۲ سانتی متر بالاآمدگی را طی کرده است که بیشتر این تغییرات در خارج از محدوده شهر جیرفت و در فاصله نزدیک از جنوب شرق و شمال غرب تا غرب اتفاق افتاده است. همچنین در دوره مطالعاتی دوم این تغییرات به ۱٤ سانتی متر فرونشست و ۸ میلی‌متر بالا آمدگی را به همراه داشته است که با توجه به دوره آماری ۵ ساله اول و ۳ ساله دوم می‌توان اینگونه بیان داشت که روند تغییرات عمودی سطح زمین در حال افزایش بوده است و با توجه به نتایج این تغییرات عمودی شهر جیرفت را نیز در دوره آماری دوم تحت تاثیر قرار داده است.*

**واژه‌های کلیدی:** فرونشست، توسعه، فرودگاه

## ۱-مقدمه

طبیعت در طول تاریخ همواره چهره خشن خود را با مخاطرات ویرانگری چون بهمن، سیل، آتشفشان، زمین لرزه و ... به انسان نشان داده است (قنواتی و کریمی، ۱۳۸۷). مخاطرات محیطی از جمله عوامل بازدارنده در توسعه مناطق محسوب می شود(رکنی و همکاران، ۱۳۹۵). یکی از مخاطرات که در بسیاری از کشورهای جهان از جمله ایران به شکل روز افزون رو به گسترش است، پدیده فرونشست می باشد و در سال های اخیر، مناطق مختلفی از دنیا به خصوص نقاط خشک و کم باران با این پدیده روبرو شده اند(پاچکو، ۲۰۰٦: ۱۵۱ و لارسن و همکاران، ۲۰۰۱) . فرونشست به عنوان یکی از وقایع ژئومورفیک، شامل نشست تدریجی و یا ناگهانی سطح زمین(فروریزش) است که تحت تأثیر عوامل طبیعی و همچنین

رو به پایین سطح زمین که می تواند با بردار اندک افقی همراه باشد، گفته می‌شود (چن و همکاران، ۲۰۱٦).

فرونشست و شکاف‌های زمین که به آهستگی و به تدریج گسترش می‌یابند، شاید همان تأثیر خطرهای ناگهانی و فاجعه بار مانند سیل و زلزله را نداشته باشد، اما معمولاً خسارت‌های ناشی از فرونشست و شکاف‌های زمین، ترمیم ناپذیر، پرهزینه و مخرب می‌باشند(Babaee,2016) و می‌تواند خسارات اقتصادی جبران ناپذیزی به بار آورد ( Sneed et al.2003) و در بلندمدت سبب بروز خسارات بسیاری مانند ترک خوردگی ساختمان‌ها، کج شدگی تأسیسات مرتفع، از بین رفتن اراضی کشاورزی، آسیب به شریان‌های حیاتی و حمل و نقلی، ایجاد فروچاله و غیره شوند (شریفی کیا، ۱۳۹۱). آسیب پذیری پیامد منطقی خطر پذیری ناشی از زیستن در عرصه‌های مخاطره‌آمیز و مبین وضعیت تاب آوری ناشی از ظرفیت پذیرش خطر و توان ترمیم پذیری آن است (Smith, K, 2001). آسیب پذیری فرایندی چند وجهی است در فرم آسیب پذیری محیطی، سیاسی و اقتصادی – اجتماعی بروز می‌نماید. تحلیل آسیب پذیری کانون‌های جمعیتی واقع در عرصه‌های خطر اقدامی علمی برای فراهم سازی زیر ساخت اطلاعاتی مناسب از درجه و میزان خطرپذیری ناشی از رخداد مخاطره طبیعی است، پدیده فرونشست به عنوان یکی از معظلات بسیار مهم در بحث کانون‌های جمعیتی و توسعه شهرها امروزه مطرح می‌گردد (شریفی کیا و همکاران، ۲۰۱۳). در این میان شهرها به عنوان متمرکزترین سکونتگاه‌های انسانی اهمیت ویژه‌ای می‌یابند چرا که به علت دارا بودن حجم بالای سرمایه گذاری و مکان گزینی بسیاری از تاسیسات و لوازم اقتصادی و اجتماعی جامعه و قرارگیری تجمیعی شریان‌های حیاتی و حمل و نقلی، خسارات بیشتری را در مواجه با پدیده فرونشست متحمل می‌شوند. با توجه به زایش مخاطره فرونشست در فضای مسکونی و تاسیساتی و خطر پذیری ناشی از پیامدهای آن در این زمینه بررسی میزان فرونشست عمودی و دلایل افزایش روند آن الزامی می‌باشد. براساس مطالعات صورت گرفته توسط کارگروه سازمان یونسکو قدیمی‌ترین فرونشست شناخته شده در ایالت آلاباما‌ی آمریکا در سال ۱۹۰۰ میلادی به وقوع پیوسته است (هولزر، ۱۹۹۸). از جمله مطالعات دیگر در زمینه سنجش خطرپذیری سکونتگاه‌های شهری از پدیده فرونشست زمین برروی منطقه ۱۸ شهر تهران صورت پذیرفته است که این بررسی با استفاده از روش تداخل سنجی راداری و با استفاده از سنجنده PALSAR ماهواره ALOS در سال ۲۰۰۹-۲۰۱۰ صورت پذیرفت که نمونه فرونشست زمین در منطقه ۱۸ شهر تهران فرونشست پهنه‌ای است که بیش از ٤۰ درصد محدوده مورد مطالعه را درگیر کرده و فرونشستی معادل ۱ تا ۲۵ سانتی‌متر را نشان می‌دهد. از جمله بررسی‌های صورت پذیرفته دیگر در این زمینه مطالعات ارزیابی فرونشست زمین به کمک تلفیق روش تداخل‌سنجی راداری و اندازه‌گیری میدانی و بررسی دلایل و اثرات آن بر شهر مشهد بوده است که این بررسی با استفاده از تصویر ماهواره‌ای ENVISAT و با استفاده از روش تداخل سنجی راداری صورت پذیرفت که نتایج این بررسی‌ها اینگونه نشان داد که شهر مشهد در سال ۲۰۱۰ دارای دو پهنه فرونشست از شمال غرب و جنوب شرق بوده است که فرونشستی معادل ۲۰ سانتی‌متر در سال را نشان می‌دهد. از جمله مطالعات دیگر، در سال ۲۰۲۳ آرجومان و همکاران جهت برآورد فرونشست زمین در منطقه ۳ شهر چاندیگر هند با استفاده از روش تداخل سنجی پراکنده پایدار (PSInSar)، تصاویر ماهواره‌ای سنتینل ۱، بررسی تغییرات ذخیره‌سازی آب زیرزمینی به صورت برداشت از چاه‌های منطقه و تصاویر ماهواره‌ای Grace انجام دادند. نتایج آن نشان داد که با تغییر سطح آب‌های زیرزمینی منطقه، روند فرونشست منطقه نیز تحت تاثیر قرار می‌گیرد.

در بررسی دیگری در زمینه بررسی تاثیرات و میزان فرونشست با استفاده از داده‌های دور سنجی می‌توان به بررسی نظارت بر جابه‌جایی‌ها و تشخیص آسیب از طریق تکنیک‌های ماهواره‌ای MT_INSAT در منطقه رم ایتالیا اشاره نمود که این بررسی توسط گیانمارکو و همکاران در سال ۲۰۲۳ صورت پذیرفت که در این پژوهش میزان فرونشست طی دوره ۲۰۱۱-۲۰۱۹ با استفاده از ابزار تداخل سنجی تفاضلی راداری در مرکز شهر رم ایتالیا بررسی شد و میزان جابه جایی‌های بحرانی ساختمان‌ها در مقیاس شهری و تک ساختمانی با دقت میلی‌متر بدست آمده است.

به طور کلی باتوجه به تحقیقات صورت گرفته، مسئله فرونشست یا جابه جایی عمودی در توسعه شهری یکی از مهم‌ترین عوامل تاثیرگذار می‌باشد که این فرونشست می‌تواند تحت تاثیر عوامل مختلفی از جمله شکستگی‌های گسلی، زلزله، آب زیرزمینی و ساخت و سازهای انسانی باشد که روند فرونشست‌های آرام و پیوسته سطح زمین را تحت تاثیر قرار می‌دهد. در نتیجه توجه به این عامل در بحث توسعه شهری از مهم‌ترین عوامل تاثیرگذار می‌تواند باشد. به دلیل اهمیت شهر جیرفت به عنوان یک منطقه مواجه با چالش‌های خشکسالی و همچنین بالا بودن سطح وابستگی به اقتصاد کشاورزی این مطالعه

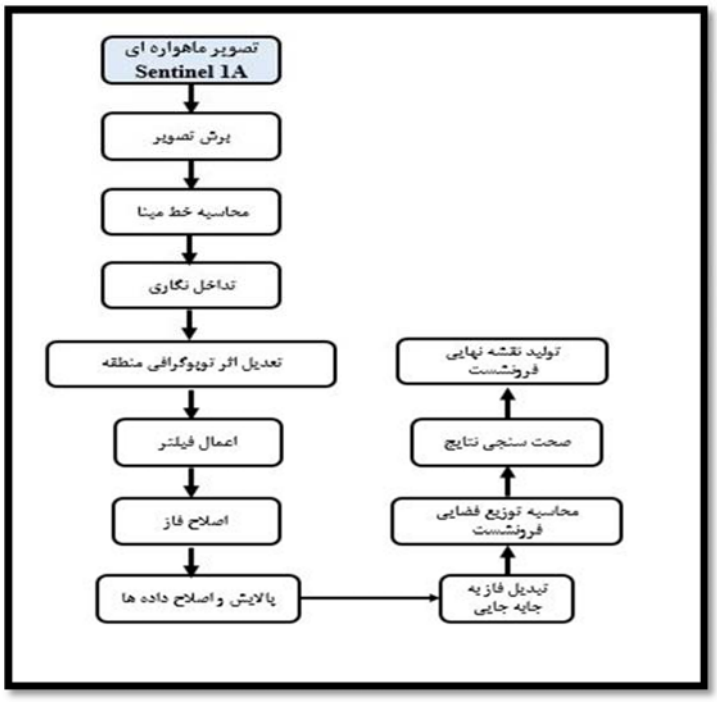
روند توسعه و تاثیر فرونشست را بررسی می‌نماید که به دلیل قرار گیری شهر بر روی پهنه‌های گسلی، گسترش شهر و وضعیت کیفی ساخت و سازها، مطالعه ی وضعیت فرونشست و تاثیر آن در طرح توسعه ی شهری جیرفت ضروری است.

## ۲-مواد و روش‌ها

به منظور محاسبه میزان جابه‌جایی عمودی شهر جیرفت، در ابتدا تصاویر ماهواره‌ای A Sentinel 1 از منطقه مورد مطالعه در دو دوره آماری از سال ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۰ و از ۲۰۲۰ تا ۲۰۲۳ استفاده گردید. بدین گونه که تصویر ۲۰۱۵ به عنوان تصویر پایه، و تصویر ۲۰۲۰ به عنوان تصویر پیرو انتخاب گردید، همچنین در دوره آماری دوم تصویر سال ۲۰۲۰ به عنوان تصویر پایه تعیین و تصویر سال ۲۰۲۳ به عنوان تصویر پیرو انتخاب گردید. این تصاویر همگی به صورت پایین روتصویربرداری شده‌اند. سعی شد تا تصاویر مورد استفاده دارای حداقل خط مبنا (فاصله بین مسیرهای پرواز ماهواره) باشند، چون در تکنیک تداخل سنجی هرچه فاصله مبنای مکانی داده‌ها کمتر باشد تغییرات جابه جایی سطح زمین را بهتر نشان می‌دهد. اطلاعات کامل تصاویر مورد استفاده در جدول شماره۱ و نمودار مراحل کار پژوهش در شکل شماره ۱ قابل مشاهده می‌باشد.

**جدول۱. اطلاعات تصاویر استفاده شده sentinel1A**

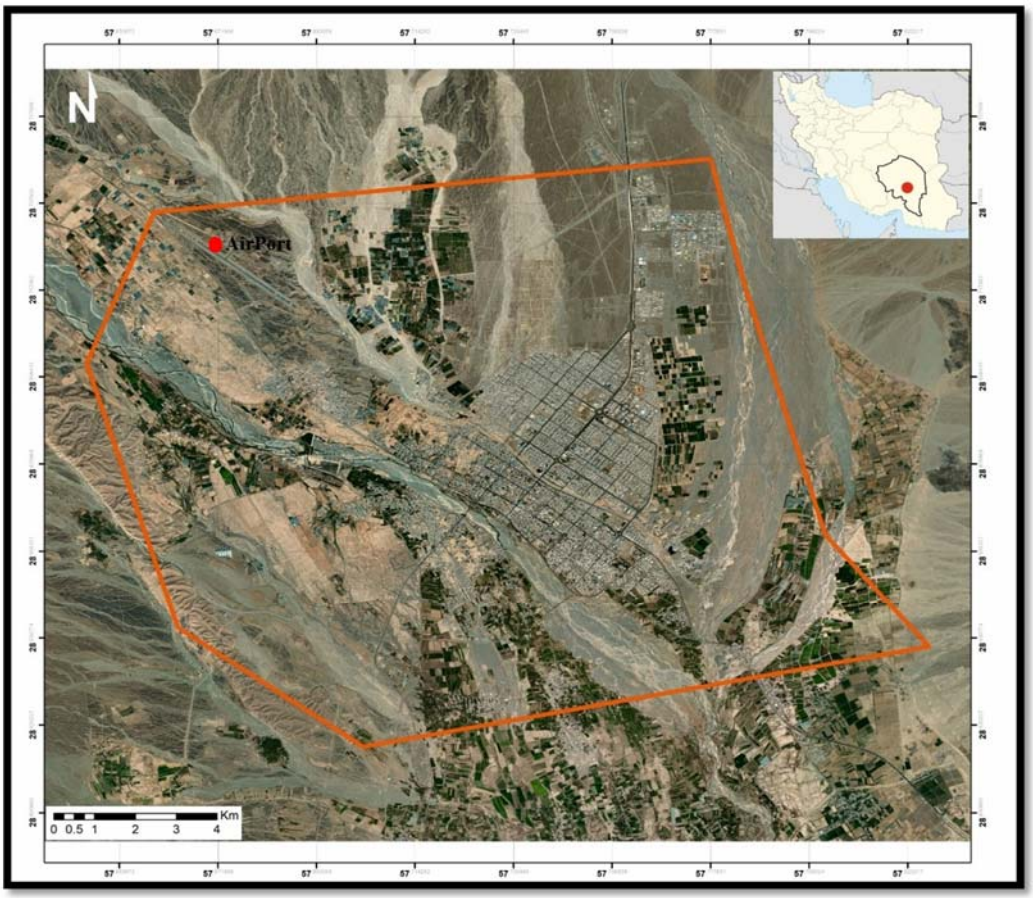
| شماره | تاریخ تصویربرداری | فرمت تصویربرداری | حالت تصویربرداری (مد) | گذر و قطبش تصویربرداری | پلاریزاسیون |
|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | 2015/11/04 تصویر پایه | SLC | IW | ISDV | VV |
| ۲ | 2020/04/07 تصویر پیرو | SLC | IW | ISDV | VV |
| | 2020/04/07 تصویر پایه | SLC | IW | ISDV | VV |
| | 2023/04/۰٤ تصویر پیرو | SLC | IW | ISDV | VV |




**شکل۱. فلوچارت مراحل کار**

### ۳-موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

شهر جیرفت در جنوب استان کرمان در مختصات ۵۷ درجه و ٤۱ دقیقه و ۲۳ ثانیه تا ۵۷ درجه و ٤٦ دقیقه و ۲٦ ثانیه طول شرقی و ۲۸ درجه و ۳۸ دقیقه و ۱۲ ثانیه تا ۲۸ درجه و ٤۲ دقیقه و ۱٦ ثانیه عرض شمالی قرار گرفته است و از موقعیت دشتی و کوهستانی برخوردار است. این شهر از شمال، شرق و غرب به ترتیب بین ارتفاعات ساردوئیه، جبالبارز و اسفندقه محصور می‌باشد و در نواحی جنوبی به دشت جیرفت منتهی می‌شود.کوه‌های جیرفت دنباله کوه‌های ایران مرکزی می‌باشند و این ارتفاعات شامل بحرآسمان در شمال و شمال غرب و جبالبارز و دلفارد در شرق و شمال شرقی هستند. قله نشانه با ارتفاع ۳۸۸٦ متر بلندترین قله جیرفت و قله علم شاه جبالبارز با ارتفاع ۳۷٤۱ متر از مهم‌ترین قلل جیرفت می‌باشد (یغفوری،۱۳۹۵).

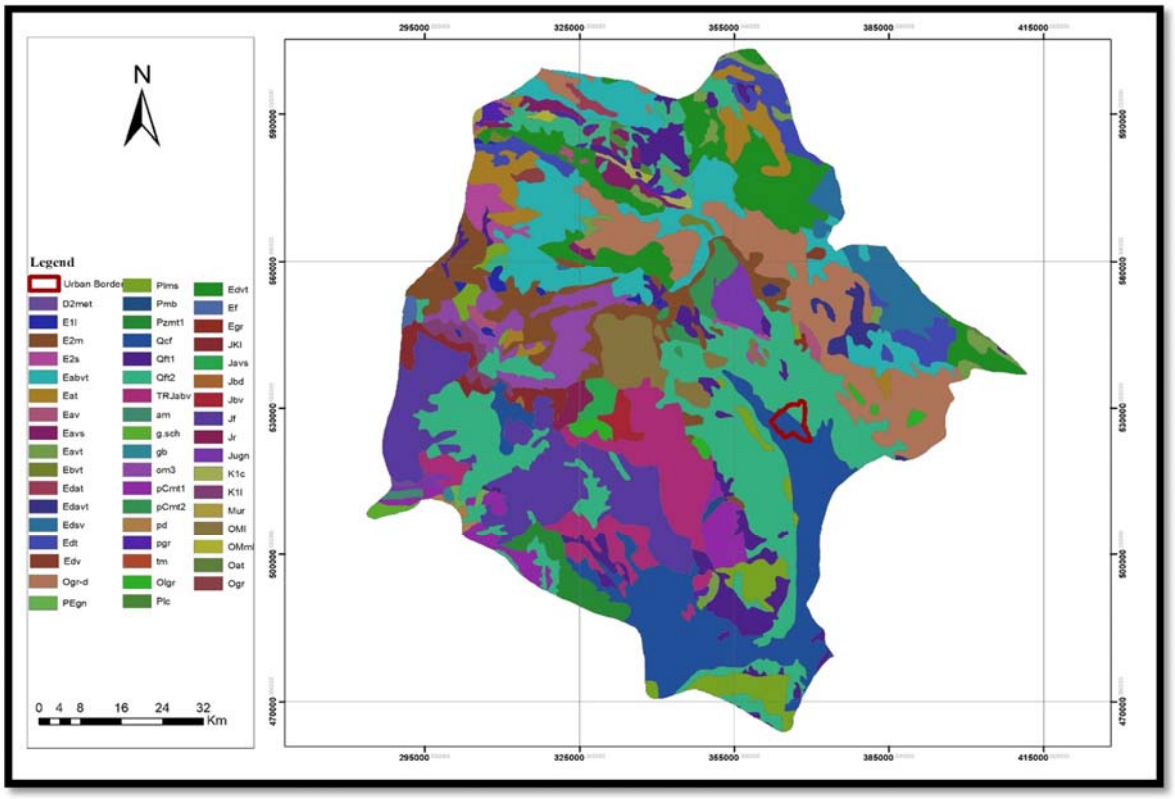



**شکل۲. موقعیت محدوده مورد مطالعه**

به لحاظ تقسیمات زمین شناختی ایران، دشت جیرفت را می‌توان به عنوان بخشی از چاله جازموریان در نظر گرفت. این دشت در حاشیه شمال غربی این چاله قرار گرفته است و بنابراین از شمال و شرق با زون ارومیه دختر و از غرب با زون سنندج- سیرجان تماس دارد. در غرب دشت جیرفت واحدهای دگرگونی پالئوزوئیک شامل کمپلکس گل گهر (متشکل از آمفیبولیت، گنایس، کمی میکاشیست، مرمر و گدازه‌های اولترابازیک) و کمپلکس سرگز (متشکل از شیست‌های سبز، میکاشیست، گرین شیست، شیست حاوی گارنت و کلریتوئید و کمی مرمر) و همچنین واحدهای سنگی آواری پلیوسن متشکل ازکنگلومرای درشت با کمی سیلت سنگ و ماسه سنگ) و واحدهای سنگی ژوراسیک شامل رسوبات آواری و کربناته، چرت و توف اسپلیتی و دیاباز وجود دارند. گسترش واحدهای سنگی ائوسن در دشت جیرفت بسیار زیاد است و رسوبات الیگومیوسن به طور دگرشیب در بعضی نقاط روی آن‌ها واقع شده‌اند. در جنوب شرق دشت جیرفت فلیش‌های ائوسن در

تپه‌ها وکمپلکس بحر آسمان (متشکل از گنبدهای ریولیتی و ریو داسیتی) وجود دارند. در شرق دشت جیرفت واحدهای آتشفشانی رازک فوقانی (متشکل ازآندزیت، آندزیت بازالتی، داسیت، گدازه ریولیتی، پیروکلاستیک و کمی سنگ رسوبی) و کمپلکس هزار متشکل ازگدازه‌های آندزیتی، آگلومرا، توف، کمی گدازه ریولیتی تا داسیتی همراه با ماسه سنگ و کنگلومرا وکمی گدازه شوشونیتی ائوسن و همچنین واحدهای سنگی آواری پلیوسن متشکل از ماسه سنگ، سیلت سنگ و کمی گنگلومرارخنمون دارند.

در جنوب دشت فلیش‌های ائوسن – الیگوسن در تپه‌ها و همچنین واحدهای سنگی آواری پلیوسن $Ng^3$ رخنمون دارند دشت جیرفت به طور عمده از رسوبات آبرفتی دوران چهارم تشکیل شده است. واحدهای سنگی – رسوبی موجود در دشت جیرفت عبارتند از: فلیش‌های ائوسن، سنگ‌های آتشفشانی کمپلکس هزار، سنگ‌های آتشفشانی کمپلکس بحر آسمان، سنگ آهک‌ها و مارن‌های معادل سازند قم، کنگلومراهای سست پلیو – پلیستوسن، آبرفت‌های قدیمی کنگلومرا، آبرفت‌های جدید و بستر آبراهه‌ای، رسوبات دشت سیلابی هلیل رود است (شکل ۳).




**شکل۳. نقشه‌ی واحدهای سنگی شهرستان جیرفت**

## گسلش فعال منطقه

شهرستان جیرفت در چهار ایالت زمین‌ساختی ایران مرکزی در شمال، لبه شمالی فرورانش مکران در جنوب، زون سنندج سیرجان در باختر و زون ارومیه – دختر در شمال و شمال‌خاور قرار گرفته است. فرورانش مکران در جنوب موجب اعمال تنش‌های شمالی جنوبی بر این پهنه می‌شود اعمال تنش‌های مذکور بر پوسته ناهمگن ایران موجب دگرریختی شدید و جنبش قطعات پوسته در راستای شکستگی‌های موجود می‌گردد. دگرریختی درون قاره‌ای ورق ایران با حرکت مجدد گسل‌های موجود در پوسته که اغلب دارای ساز و کار امتداد لغز با مولفه معکوس هستند همراه است. تنها ۲۰ درصد انرژی پتانسیل تجمع

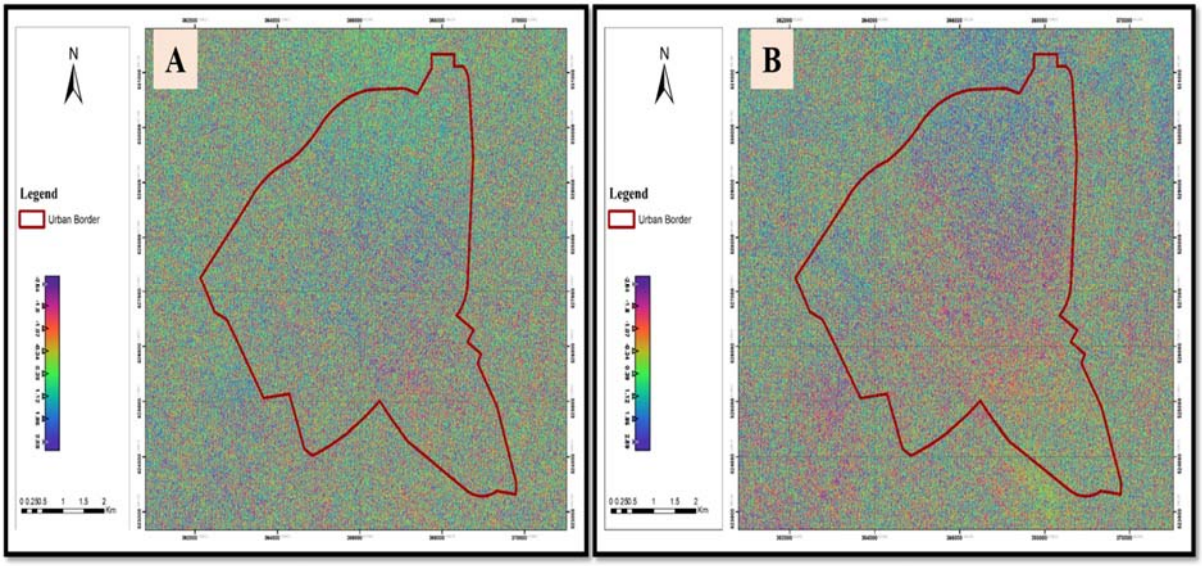
یافته در پوسته ایران در نتیجه برخورد عربستان در اثر بروز زمین لرزه‌های مختلف آزاد می شود، ۸۰ درصد دیگر انرژی در پوسته (کسری بودجه= باقیمانده تنش) قسمتی صرف چین خوردگی و خزش بی لرزه می‌شود. در نتیجه دگریختی پوسته ایران در بخش خارجی توام با شکستگی پوسته خواهد بود. با توجه به این که پوسته ایران یک پوسته قاره‌ای ناهمگن با تداخلی از قطعات پوسته اقیانوسی (افیولیت ملانژ) می باشد، وجود تعداد زیادی از گسل‌های قدیمی در این پوسته را اجتناب ناپذیر می‌نماید. لذا لرزه خیزی در گستره پوسته ایران زمین مسئله‌ای اجتناب ناپذیر و اصولی بوده ولی ویژگی لرزه‌ای در بخش‌های مختلف تابع متغیرهای لرزه زمین ساختی از قبیل ویژگی‌های هندسی گسل‌ها، پاره بندی و سازو کار آنها می‌باشد (افتخارنژاد، ۱۳۵۹) از جمله مهم‌ترین گسل‌های منطقه می‌توان به گسل جیرفت و سبزواران اشاره کرد. گسل جیرفت از ۱۰ کیلومتری جیرفت آغاز شده و موازات گسل سبزواران و در فاصله‌ی حدود ۱۵ کیلومتری شرق آن قرار دارد. موقعیت شروع حد جنوبی و شمال این گسل با ابهاماتی همراه است. حد جنوبی گسل جیرفت را می‌توان حدود ۱۵ کیلومتری جنوب قلعه گنج در نظر گرفت. از این محل به سمت جنوب، گسل جیرفت تغییر مسیری به سمت شمال غرب جنوب شرق می‌دهد و به گسل بشاگرد که در مرز کوه‌های مکران با چاله ی جازموریان قرار دارد متصل می‌شود. لذا گسل جیرفت را می‌توان بخشی از گسل بشاگرد هم در نظر گرفت که از حوالی ۲۵ کیلومتری جنوب قلعه گنج تا شمال دشت جیرفت دارای راستای شمال جنوب است با این حساب طول آن تا شمال دشت جیرفت (حوالی دشت کوچ) حدود ۱۳۰ کیلومتر خواهد بود گسل جیرفت در قسمت شمالی در حوالی روستای دشت کوچ آرایش دم اسبی داشته و رسوبات کواترنر را به صورت واضح قطع می‌کند. براساس مطالعات ریگارد و همکاران (Regard et al,2004) سرعت جابه‌جایی در گسل جیرفت در حد ۷ ± ۲/۷ میلی‌متر در سال می‌باشد. گسل سبزواران در سال۱۹۷۰ به نام گسل سربیزان و در سال ۱۹۷٦ به عنوان گسل کواترنر و جنبا معرفی شد، این گسل آبرفت‌های جوان سیلابی و پلایای دشت جیرفت را به روشنی بریده و دیواره بلندی را تشکیل داده است گسل سبزواران از غرب شهر جیرفت (سبزواران) تا جنوب غرب کهنوج کشیده شده است در راستای این گسل و به خصوص در قسمت‌های جنوبی آن، پرتگاه‌های گسلی، آبراهه‌ها و پشته‌های قطع شده از شواهد ریخت زمین ساخت جنبای این گسل می باشند، شواهد یاد شده به همراه اثر خطی گسل در بسیاری از نواحی اشاره به عمودی بودن سطح گسل $80^{\circ}/180^{\circ}$ و حرکت راستا لغز به همراه مؤلفه‌ی کوچک معکوس امروزی آن دارند (شفیعی‌بافتی و همکاران، ۱۳۸۸). راستای کلی این گسله شمالی- جنوبی و از لبه باختر شهر جیرفت می‌گذرد. روستاهای زیادی از جمله هوکرد، خاتون آباد، زنگیان و کریم آباد در روی این گسله قرار دارند. با توجه به راستای مستقیم این گسل و طول زیاد، به نظر می‌رسد که گسل سبزواران دارای شیب زیاد و نزدیک به شاقولی باشد.

## ٤-تجزیه و تحلیل نتایج

### نتایج حاصل از پردازش تصاویر راداری

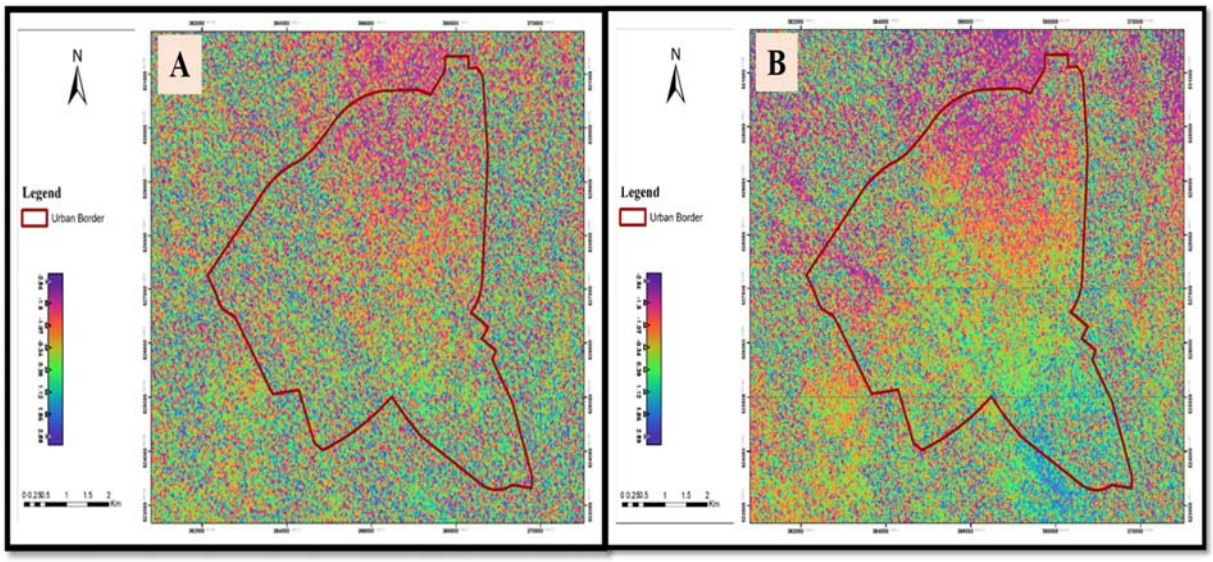
جهت پردازش تصاویر، دوره اول از تاریخ ۲۰۱۵/۱۱/۰٤ تا ۲۰۲۰/۰٤/۰۷ و دوره دوم از تاریخ ۲۰۲۰/۰٤/۰۷ تا ۲۰۲۳/۰٤/۰٤ مورد نظر قرارگرفت. به منظور ساده‌تر شدن پردازش تصاویر در ابتدا دو تصویر راداری سنتینل A1 متناسب با مرز محدوده با استفاده از ابزار Top sar_split برش داده شد. در مرحله بعد با استفاده از ابزار Apply-Orbit-File فایل‌های مداری را برروی تصویر اعمال کرده تا مدارهای دقیقی برای هر یک از تصاویر ایجاد شود.

سپس با ابزار Back Geocoding دو تصویر را به صورت همزمان به گونه‌ای ثبت کرده تا پیکسل‌ها دقیقا با یکدیگر مطابقت داشته باشند. در این مرحله تصاویر جهت اعمال تداخل‌نگاشت آماده می‌باشند، در نتیجه با استفاده از ابزار Interferogram انسجام تداخل‌سنجی تصویر محاسبه گردید. تصویر فاز، تصویری است که نشان‌دهنده اختلاف پرتوهای ارسالی راداری و سیگنال‌های دریافتی برای هریک از پوشش‌ها است. به عبارتی ساده‌تر نشان دهنده اختلاف انرژی دریافتی و ارسالی هر پیکسل است. در شکل شماره٤ و ۵ می‌توان تصویر فاز منطقه مورد مطالعه را مشاهده نمود.

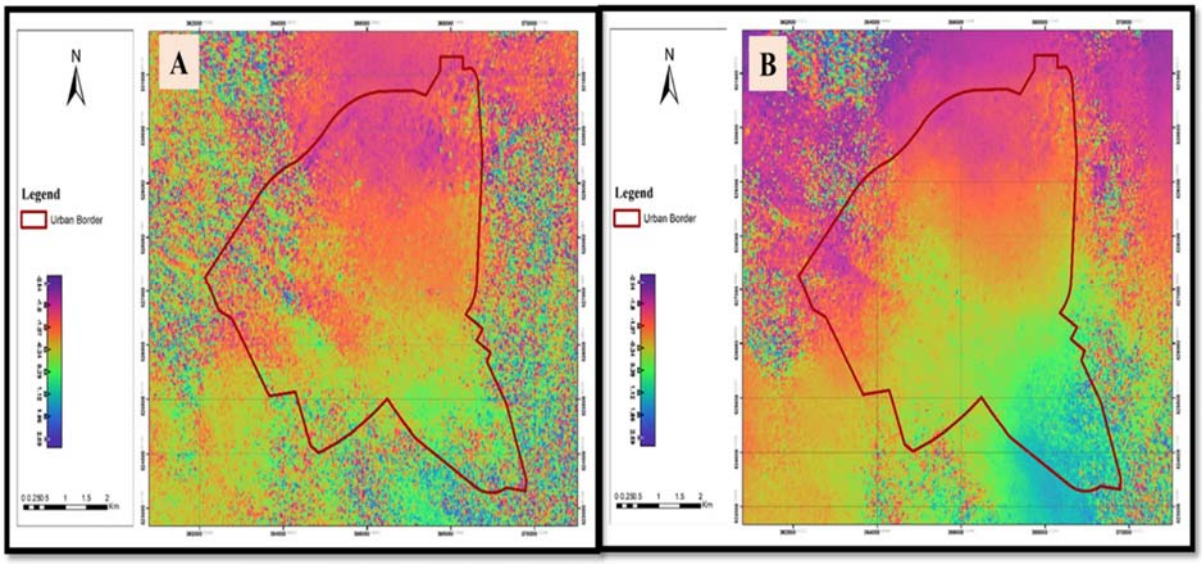



**شکل ٤. (A) تصویر فاز منطقه مورد مطالعه (۲۰۱۵-۲۰۲۰) – (B) تصویر فاز منطقه مورد مطالعه (۲۰۲۰-۲۰۲۳)**

در مرحله بعد با توجه به هدف پژوهش به جهت کسب میزان جابه جایی منطقه ابتدا باید اثر توپوگرافی تصویر تا حد ممکن کاهش پیدا کند. بدین منظور با استفاده از تصویر dem srtm منطقه و ابزار topo phase removal در نرم افزار snap اثر توپوگرافی منطقه حذف گردید. در مرحله بعد به جهت حذف اثر نویز اسپیکل در داخل دیتاها از روش مارتین لوکینگ و فیلتر گلداشتاین استفاده شد. زیرا فیلتر گلدین اشتاین در حذف خطاهای تصویر بسیار قدرتمند عمل می‌کند. نتایج دقیق فیلترهای اعمال شده را در شکل‌های ۵ تا ٦ می‌توان مشاهده کرد.




**شکل۵. (A) اعمال فیلتر مارتین لوکینگ به جهت کم کردن اثر نویز اسپیکل (۲۰۱۵-۲۰۲۰)- (B) اعمال فیلتر مارتین لوکینگ به جهت کم کردن اثر نویز اسپیکل (۲۰۲۰-۲۰۲۳)**



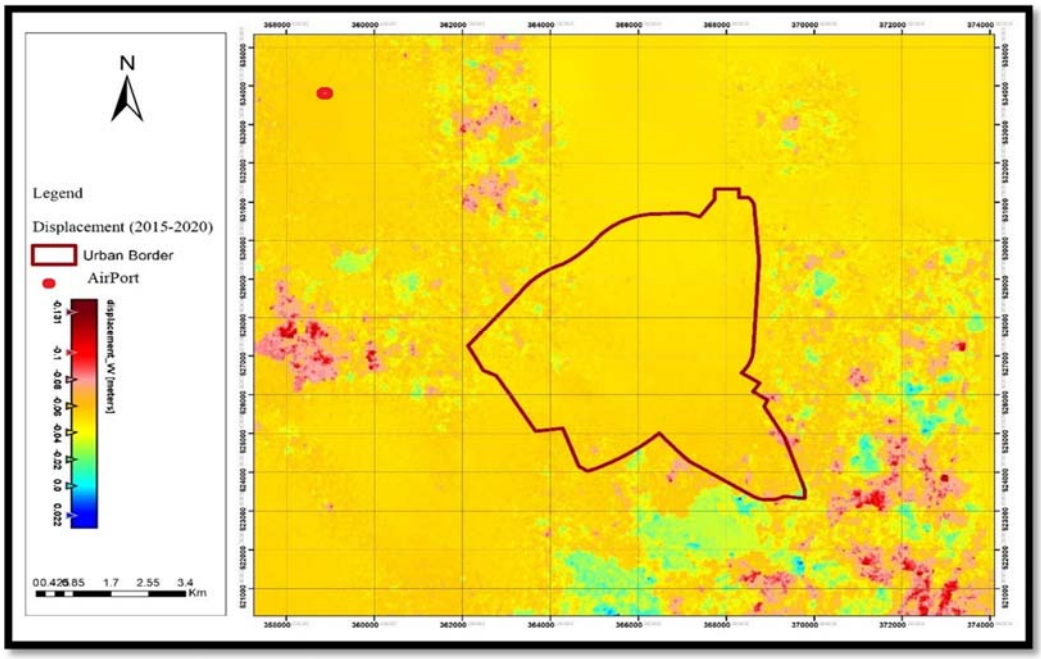

**شکل٦. (A) اعمال فیلتر گلدین اشتاین به جهت کم کردن اثر نویز اسپیکل (۲۰۱۵-۲۰۲۰)- (B) اعمال فیلتر گلدین اشتاین به جهت کم کردن اثر نویز اسپیکل(۲۰۲۰-۲۰۲۳)**

**تولید نقشه جابه جایی عمودی**

پس از اعمال فیلتر مارتین لوکینگ و گلدن اشتاین برروی تصویر تداخل نگاشت و رفع خطاهای احتمالی، تصویر به جهت محاسبه میزان جابه جایی آماده شده است. اما قبل از انجام این عمل از آنجا که اطلاعات فاز یک تداخل نگاشت در مقیاس π۲ است یک مشکل در محاسبه تعداد صحیح سیکل‌های فاز وجود دارد که جهت رفع این مشکل و محاسبه برحسب سانتی‌متر از روش phase unwarpping استفاده گردید که پس از اعمال فیلتر ابهام زدایی نقشه جابه‌جایی عمودی منطقه ناشی از زلزله با استفاده از ابزار phass to displacement استفاده گردید.

**نتایج جابه‌جایی عمودی دوره اول**

در دوره اول مطالعاتی سال ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۰ نتایج بررسی‌ها اینگونه نشان داده است: بیشترین میزان فرونشست در بخش‌هایی از شمال و شمال غرب و همچنین جنوب شرقی با ۱۳ سانتی‌متر اتفاق افتاده است و همچنین بیشترین میزان بالاآمدگی در منطقه با ۲ میلی‌متر به صورت پراکنده در اطراف شهر جیرفت و در خارج از محدوده شهری به صورت بسیار جزئی قابل مشاهده می‌باشد. اما در داخل محدوده شهری در بخش‌هایی از غرب و جنوب شرق در محدوده نه چندان گسترده ایی، فرونشست بسیار جزئی در حد۸ میلی‌متر و بالاآمدگی صفر نشان داده شده است.




**شکل ۷. نقشه میزان جابه جایی عمودی دوره اول (۲۰۱۵–۲۰۲۰)**

**نتایج جابه‌جایی عمودی دوره دوم**

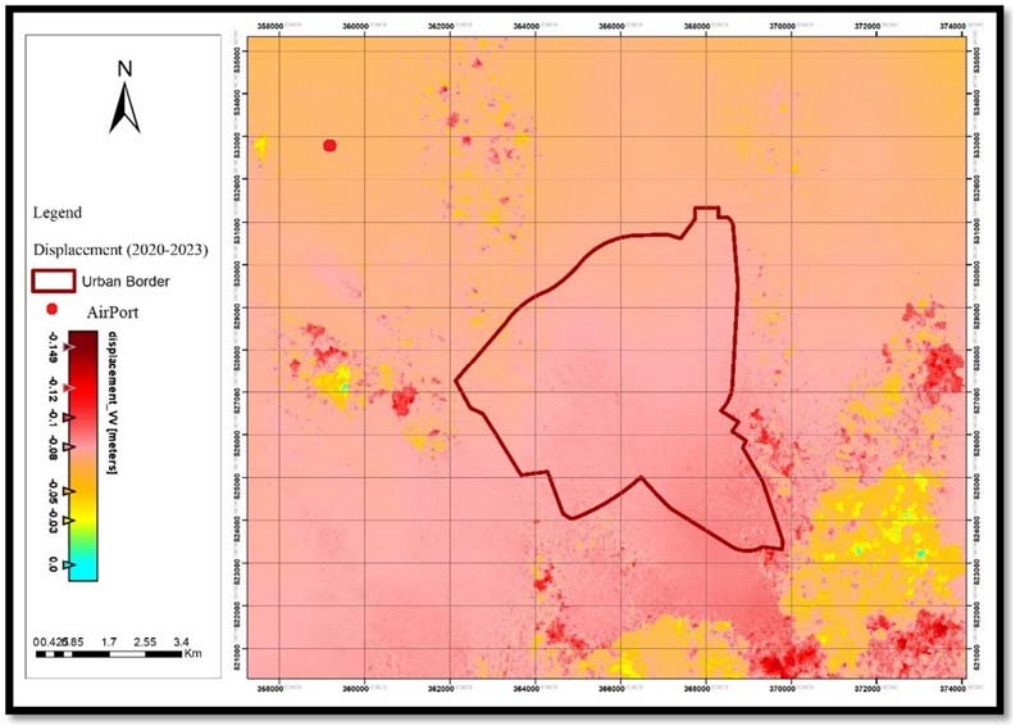
نتایج محاسبه میزان جابه جایی عمودی محدوده مورد مطالعه در دوره دوم مطالعاتی (سال ۲۰۲۰ تا ۲۰۲۳) به شرح زیر است: بیشترین میزان فرونشست در بخش‌هایی از شمال، غرب و جنوب شرقی با ۱٤ سانتی‌متر اتفاق افتاده است و همچنین بیشترین میزان بالاآمدگی در منطقه با ۸ میلی‌متر در جنوب شرقی به صورت بسیار جزئی قابل مشاهده می‌باشد که تمامی این بالا آمدگی‌ها و فرونشست‌ها در اطراف محدوده شهر جیرفت اتفاق افتاده‌اند. اما در بررسی داخل محدوده شهر به میزان ۸ میلی‌متر از سمت شمال غرب فرونشست را نشان داده است که هرچه به سمت جنوب شرق شهر پیشروی می‌کند به میزان فرونشست آن تا حدود ۱ سانتی‌متر افزوده می‌گردد.

**ارزیابی ایمنی سایت فرودگاه جیرفت نسبت به خطر فرونشست زمین بر اساس داده‌های جابجایی (۲۰۲۰–۲۰۲۳)**

در شکل ۷ و ۸ ، نقشه جابجایی زمین در بازه زمانی ۲۰۲۰ تا ۲۰۲۳ بر اساس داده‌های تداخل‌سنجی راداری (InSAR) نمایش داده شده است. مقادیر جابجایی قائم (Displacement, V) در واحد متر و با طیف رنگی از آبی تا قرمز نمایش یافته است؛ به‌طوری‌که رنگ‌های قرمز نشان‌دهنده جابجایی منفی (فرونشست) و رنگ‌های سردتر (زرد و آبی) بیانگر پایداری بیشتر زمین یا نرخ کمتر فرونشست هستند.

در شکل ۸ محدوده با خط قرمز نمایش داده شده است و نقطه قرمز دایره‌ای شکل، محل قرارگیری فرودگاه منطقه را مشخص می‌کند که در شمال‌غرب این محدوده واقع شده است. بررسی دقیق توزیع مکانی نرخ جابجایی زمین نشان می‌دهد که بیشترین نرخ فرونشست در جنوب، جنوب‌شرق و شرق محدوده شهری متمرکز شده است در مقابل، بخش‌های شمالی و شمال‌غربی که محل استقرار فرودگاه را شامل می‌شوند، دارای نرخ‌های جابجایی نزدیک به صفر یا ناچیز هستند.

از این داده‌ها می‌توان نتیجه گرفت که: منطقه فرودگاه خارج از زون‌های با نرخ بالای فرونشست واقع شده است. نرخ جابه‌جایی در محدوده فرودگاه تقریباً پایدار و کمتر از ۱ سانتی‌متر در سال برآورد می‌شود. شکل آنالیز شده شماره ۸ نشان‌دهنده عدم تأثیرپذیری مستقیم این سایت از پدیده فرونشست طی دوره مورد مطالعه است. به جهت کسب نتایج دقیق‌تر از میزان جابه‌جایی منطقه استفاده از روش PSINSAR و همچنین بررسی دلایل فرونشست منطقه از جمله وضعیت لرزه‌ای و موقعیت گسل‌های منطقه، اطلاعات چاه‌ها و میزان برداشت از آب‌های زیرزمینی منطقه و همچنین وضعیت ساخت و سازهای شهری جیرفت الزامی می‌باشد تا از این طریق بتوان اطلاعات جامع‌تری از وضعیت تغییرات جابه‌جایی منطقه و دلایل آن بدست آورد.




**شکل۸. نقشه میزان جابه‌جایی عمودی دوره دوم (۲۰۲۰-۲۰۲۳)**

## ۵- نتیجه‌گیری

باتوجه به نتایج حاصل شده از پژوهش حاضر در بررسی میزان جابه‌جایی عمودی محدوده شهر جیرفت و همچنین تاثیر آن بر توسعه شهری، نتایج بررسی‌ها اینگونه نشان داد که شهر جیرفت طی دوره آماری ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۳ به میزان ۸ سال در مجموع از ۰ تا ۲۷ سانتی‌متر فرونشست و از ۰ تا ۳ سانتی‌متر بالاآمدگی را نشان داده است که بیشتر این جابه‌جایی در خارج از محدوده شهر جیرفت و در بخش‌هایی از شمال غرب، غرب، جنوب شرق و گاها در شرق شهر اتفاق افتاده است که در صورت نیاز به توسعه محدوده شهری، بهترین گزینه توسعه شهر به سمت شمال شرق و جنوب غرب می‌باشد و کمترین میزان تغییرات را در این بررسی نشان داده‌اند. با توجه به نتایج حاصل شده از پژوهش و دو دوره آماری که دوره اول ۵ ساله و دوره دوم ۳ ساله بوده است و با توجه به میزان فرونشست صورت گرفته در منطقه می‌توان اینگونه بیان داشت که روند جابه‌جایی عمودی در محدوده شهر جیرفت با گذر زمان روندی افزایشی را طی کرده است و سرعت تغییرات طی ۸ سال دوره آماری افزایش را نشان داده است.

## ٦- مراجع

-افتخارنژاد، جمشید (۱۳۵۹). تفکیک بخش‌های مختلف ایران از نظر وضع ساختمانی در ارتباط با حوضه‌های رسوبی. *مجله انجمن نفت ایران*.(۸۲)، ۲۸-۱۹.

-حسین‌زاده، سیدرضا، اکبری، ابراهیم، جوانشیری، مهدی و محمدپورسنگانی، زینت (۱٤۰۱). تحلیل فضایی فرونشست سطح زمین با استفاده از تداخل سنجی راداری مطالعه موردی دشت مرکزی شهرستان قاین، *مجله جغرافیا و مخاطرات محیطی*، سال یازدهم، شماره ٤٤. ۱۲٦-۹۹.

-رکنی، جعفر،حسین‌زاده، رضا، لشکری پور، غلامرضا و ولایتی، سعدالله (۱۳۹۵). بررسی فرونشست زمین، چشم اندازها و تحولات ژیومورفولوژی ناشی ازآن در دشت‌های تراکمی مطالعهٔ

موردی: دشت نیشابور. *فصلنامهٔ مطالعات جغرافیایی مناطق خشک*،۷(۲٤)، ۳۸-۲۱.

-شریفی کیا، محمد، مال امیری، نعمت و شایان، سیاوش (۱۳۹۲). سنجش میزان آسیب پذیری بافت‌های شهری در برابر مخاطره فرونشست زمین مطالعه موردی بخشی از جنوب شهر تهران. *مجله جغرافیا و مخاطرات محیطی*، شماره پنجم.

-شفیعی، الهه، علوی، سید احمد، و نادری میقان، نصیر (۱۳۸۸). تکتونیک فعال در رشته کوه بینالود با تکیه بر بررسی‌های مورفوتکتونیکی، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۷۰. ۹۱-۷۹.

-صالحی متعهد، فهیمه، حافظی مقدس، ناصر، لشکری پور، غلامرضا و دهقانی، مریم (۱۳۹۸). ارزیابی فرونشست زمین به کمک تلفیق روش تداخل سنجی راداری و اندازه‌گیری‌های میدانی و بررسی دلایل و اثرات آن برشهر مشهد، *مجله زمین شناسی مهندسی*، جلد سیزدهم. ٤٦۳-٤۳۵.

-کریمی مرتضی، قنبری علی اصغر و امیری، شهرام (۱۳۹۲). سنجش خطرپذیری سکونتگاه‌های شهری از پدیده فرونشست زمین مطالعه موردی منطقه ۱۸ شهر تهران، مجله برنامه‌ریزی فضایی (جغرافیا)، سال سوم، شماره اول، ٥٦-۳۷.

-مریخ پور، محمدحسین، موسوی، مرتضی و صفری کمیل، مصطفی (۱۳۹۱). بررسی پدیده فرونشست زمین و فرو چاله در اثر افت سطح آب زیرزمینی در دشت کبودرآهنگ همدان. *همایش ملی علوم مهندسی آب و فاضلاب*، کرمان.

-Arjuman, R. Har, A. Claudia, C, Akshar, T. (2023). Estimating Land Subsidence and Gravimetric Anomaly Induced by Aquifer Overexploitation in the Chandigarh Tri-City Region, India by Coupling Remote Sensing with a Deep Learning Neural Network Model, *Journal Water*, 15061206.

-Babaee SS. (2016). Time series analysis of sar images using small baseline subset (SBAS) and persistent scatterer (PS) approaches to determining subsidence rate of Qazvin. M.Sc. Thesis, University of Zanjan.

-Gianmarco, B. Amedeo, C. Filipoo, L. Francesca, D. (2023). Monitoring Displacements and Damage Detection through Satellite MT-InSAR Techniques: A New Methodology and Application to a Case Study in Rome (Italy), *Journal Remote Sensing*, 15051177.

-Jianming, K. Alex, H. Linlin, G. Graciela, L. Stuart, R. (2023). Joint Use of Optical and Radar Remote Sensing Data for Characterizing the 2020 Aniangzhai Landslide Post-Failure Displacement, *Journal Remote Sensing*, 15020369.

-Regard, V., Bellier, O., Thomas, J. C. Abbassi, M. R., Mercier, J., Shabanian, E., Feghhi, Kh. & Soleymani, Sh., (2004). The accommodation of Arabia-Asia convergence in the Zagros-Makran transfer zone, SE Iran: a transition between collision and subduction through a young deforming system. *Tectonics*, 23, TC4007, 24-25.

-Smith, K., (2001). Environmental hazard: Assessing risk and reducing disaster, Fourth edition, *Rutledge*.

-Sneed, M., Ikehara, M. E., Stork, S. V., Amelung, F., and Galloway, D. L., (2003). Detection and measurement of land subsidence using interferometric synthetic aperture radar and global positioning system, San Bernardino County, Mojav Desert, California. *U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report* 03-4015, 1-60. (http://pubs.usgs.gov/wri/wri034015/).

-Wei, Q., (2006). Land subsidence and water management in Shanghai. Master thesis. *Delft, the Netherlands.*

# The Necessity of Studying Vertical Movements and Its Impact on Urban Development Plans (Case Study: Jiroft Airport Site - South Central Iran)

*Mohammad Mohammadhasani, Assistant Professor, Road, Housing and Urban Development Research Center, Tehran, Iran.*

*Amir Shafiei Bafti, Assistant Professor, Zarand Azad University, Kerman, Iran.*

*Mobin Bahrampour, M.Sc., Grad., Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran.*

*Fatemeh Kamali, M.Sc., Grad., Yazd University, Yazd, Iran.*

*E-mail: m.mohammadhasani@bhrc.ac.ir*

Received: May 2025- Accepted: August 2025

**ABSTRACT**

Subsidence, as one of the geomorphic events, includes the gradual subsidence of the earth's surface that occurs under the influence of natural factors and also due to human intervention. In the present study, in order to investigate the vertical movements of the earth's surface and its impact on the urban development process during two statistical periods from 2015 to 2020 and 2020 to 2023, the vertical displacement trend of the Jiroft city area was investigated using the radar interferometry method and Sentinel 1 satellite images. The results of these studies showed that in the first statistical period, the Jiroft city area has undergone 13 cm of subsidence and 2 cm of uplift, and most of these changes have occurred outside the Jiroft city area and in a short distance from the southeast and northwest to the west. Also, in the second study period, these changes resulted in a subsidence of 14 centimeters and an elevation of 8 millimeters. Considering the first 5-year and second 3-year statistical periods, it can be stated that the trend of vertical changes in the land surface has been increasing, and according to the results, these vertical changes have also affected the city of Jiroft in the second statistical period.

**Keywords:** Subsidence, Development, Airport