Explaining the relationship between subsidence distribution and Quaternary landform changes in the Tehran Plain

Sasan Zangenehtabar [a], Mojtaba Yamani[b,1], Mohammad Sharifikia [c], Seyed Mosa Hossieni [d], Masoomeh Amighpey [e]
[a] *PhD student in Geomorphology, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran*
[b] *Professor of Geomorphology, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran*
c Associate Professor of Remote Sensing, Faculty of Geography, University of Tarbiat Modarres, Tehran, Iran
d Associate Professor of Water Resources Engineering, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran
e Land Surveying Department, National Cartographic Center, Tehran, Iran

Research Full Paper
Article History (Received: 2025/01/21 Accepted: 2025/06/3)

Extended abstract

1- Introduction
Land Subsidence, as the downward movement of the land surface, plays an important role in shaping geomorphological features in different landscapes. Subsidence significantly affects the formation of river geomorphology by changing sediment distribution patterns, channel morphology, and basin evolution. Studies have shown that subsidence can lead to channel deviation, creating head-changing deviations, and increasing river gradients. In addition, subsidence affects sediment distribution, shoreline patterns, and channel mobility. The Tehran Plain aquifer has been subsiding over the past three decades, and the magnitude of this subsidence does not show a uniform distribution. Previous studies have attributed excessive groundwater extraction to the subsidence phenomenon in recent years. It seems that geomorphological diversity with different sedimentary characteristics can play a different role in the speed of expansion and secondary consequences of subsidence in this area. In order to directly observe the geomorphological effects of subsidence in the Tehran Plain, a field visit was conducted to about 20 points in areas affected by significant subsidence.

2- Methodology
This area is part of the Tehran-Karaj aquifer and includes the cities of Islam Shahr, Shahriar, Qods and Baharestan, Tehran city and parts of the cities of Malard, Fardis, Robat Karim and Rey. The northern border of this area is limited to the slopes of the Alborz mountain range and includes the Tehran and Karaj alluvial fans and alluvial plain. In this study, Sentinel 1 satellite radar images in VV polarization were used in the period of 2022 with a time interval of 12 days. The number of selected images is 27 pieces. The small baseline radar interferometry technique (SBAS) and GMTSAR software were used to study Land subsidence. In order to directly observe the geomorphological effects of subsidence in the plain of Tehran, a field visit was conducted for about 20 points of areas affected by high subsidence.

3- Results
The final results show a displacement rate of -163.338 mm to +38.3 mm per year along the satellite line of sight. According to the obtained displacement map, most of the subsidence of the Tehran Plain is seen in the central and western parts of the plain, with its maximum in the center and east of Shahriar County and northwest of Eslam Shahr County. The margin of the subsidence zone also extends to the southwestern part of Tehran City, showing a rate of up to 25 mm per year. The graph of the standardized cumulative groundwater level confirms periods of severe groundwater decline for all wells, although in some wells the water level continues to decline, while in others it has increased after a while, which may be due to groundwater consumption management or other possible changes such as sewage leakage into the aquifer. Photographs taken from the Karaj Riverside areas between the

[1] **Corresponding Author: myamani@ut.ac.ir**

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-01-29]
[DOI: 10.61882/jeer.15.3.24]

cities of Shahriar and Islamshahr, which are located in an area with high subsidence (between 80 and 150 mm per year), show the creation and expansion of gullies and the separation of the riverbed wall in the form of cracks in the wall and on its surface due to subsidence.

4- Discussion & Conclusions

A large part of the area affected by subsidence is located in Shahriar County, but due to the expansion of construction and agricultural lands, it is not possible to study its geomorphological changes in this area, and we can only focus on the effects of subsidence on human structures and ground cracks. The graph of the standardized cumulative value of the groundwater level confirms the periods of severe groundwater decline for all wells. Considering the dispersion of the selected well locations and the spatial and sedimentary differences, a different behavior of groundwater level changes compared to subsidence is evident and it can be concluded that the decrease in groundwater level is not the only reason for the dispersion of subsidence in the Tehran plain aquifer and that other different contributing factors such as sedimentary structure and soil type and human impacts such as possible sewage leakage are involved. Field visits to the maximum subsidence areas show geomorphological changes caused by subsidence in the form of cracks in the ground and river walls, as well as the creation of gullies in the walls of old river embankments.

Key Words: Land subsidence, Tehran Plain, Geomorphological effects, Radar interferometry technique, SBAS**.**

Cite this article: Zangenehtabar, S., Yamani, M., Sharifikia, M., & Hossieni, S.M. (2025). Explaining the relationship between subsidence distribution and Quaternary landform changes in the Tehran Plain. *Journal of Environmental Erosion Research. 2025; 15 (3) :24-41*. http//doi.org/. http//doi.org/10.61186/jeer.15.3.24

© The Author(s).
DOI: http//doi.org/10.61186/jeer.15.3.24
Published by Hormozgan University Press.
URL: http://magazine.hormozgan.ac.ir

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-01-29]

[DOI: 10.61882/jeer.15.3.24]

تبیین ارتباط پراکندگی فرونشست و تغییرات لندفرم‌های کواترنری در دشت تهران

ساسان زنگنه‌تبار: *دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشکدهٔ جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران*

مجتبی یمانی*: *استاد ژئومورفولوژی، دانشکدهٔ جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران*

محمد شریفی کیا: *دانشیار گروه سنجش از دور، دانشکدهٔ علوم انسانی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران*

سید موسی حسینی: *دانشیار مهندسی منابع آب، دانشکدهٔ جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران*

معصومه آمیغ‌پی: *رییس اداره ترازیابی دقیق و تداخل‌سنجی راداری، اداره کل نقشه‌برداری زمینی و بنیادی، سازمان نقشه‌برداری کشور، تهران*

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخچهٔ مقاله (تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۰۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۳/۱۳)

DOI: http//doi.org/10.61186/jeer.15.3.24

چکیده

فرونشست زمین به عنوان حرکت رو به پایین سطح زمین، نقش مهمی در شکل‌دهی ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی در مناظر مختلف دارد. در این پژوهش برای بررسی فرونشست دشت تهران از تصاویر راداری ماهواره سنتینل۱ سال ۲۰۲۲ و تکنیک تداخل‌سنجی راداری خط پایه کوچک (SBAS) استفاده شده است. همچنین با استفاده از داده‌های چاه‌های پیزومتری، منحنی تغییرات تراز آب زیرزمینی آبخانه دشت تهران برای سال های ۱۳۸۱ تا ۱۴۰۱ به دست آمد. به منظور مشاهده مستقیم اثرات ژئومورفولوژیک فرونشست در دشت تهران اقدام به انجام بازدید میدانی برای ۲۰ نقطه از مناطق متاثر از فرونشست زیاد شد. نتایج نهایی، نشان‌دهنده نرخ جابه جایی بین ۱۶۳٫۳- میلیمتر تا ۳+ میلیمتر در سال در راستای خط دید ماهواره است که عمده فرونشست‌های دشت تهران در بخش‌های مرکزی و غربی دشت دیده می‌شوند که بیشینه آن در مرکز و شرق شهرستان شهریار و شمال غربی شهرستان اسلام‌شهر قرار دارد. حاشیه پهنه فرونشست به بخش جنوب‌غربی شهر تهران نیز کشیده شده است و نرخ تا حدود ۲۵ میلیمتر در سال را نشان می‌دهد. نمودار مقدار تجمعی استاندارد شده سطح آب زیرزمینی موید دوره‌های افت شدید آب زیرزمینی برای همه چاه‌ها است. ایجاد و گسترش گالی‌های دیواره پادگانه‌های قدیمی، جدا شدن دیواره بستر رودخانه به شکل ترک‌های جداره و در سطح آن از تغییرات رایج ژئومورفولوژیک در دشت تهران است.

واژگان کلیدی: فرونشست زمین، دشت تهران، اثرات ژئومورفولوژیک، تکنیک تداخل سنجی راداری، SBAS.

* نویسندهٔ مسئول: myamani@ut.ac.ir

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-01-29]

[DOI: 10.61882/jeer.15.3.24]

۱ـ مقدمه

فرونشست زمین می‌تواند به دلیل عوامل مختلفی مانند بهره‌برداری بیش از حد از آب‌های زیرزمینی، فعالیت‌های معدنی و فرآیندهای زمین‌شناسی رخ دهد (Peng et al., 2022) و (Shokri et al., 2023). فرونشست می‌تواند به صورت محلی یا منطقه‌ای ظاهر شود و اغلب تنها پس از وقوع آسیب کشف می‌شود. فرآیند فرونشست شامل فعل و انفعالات پیچیده بین مواد مختلف با الاستیسیته متفاوت می‌باشد که منجر به تغییر در هندسه ساختاری این مواد به عنوان تکیه‌گاه سطح زمین می‌شود (Hakało et al., 2003). شناخت علل و مکانیسم‌های فرونشست برای پیش‌بینی، پایش و کاهش اثرات آن بر جامعه و محیط‌زیست ضروری است. فرونشست تهدیدات قابل توجهی برای زیرساخت‌ها، ساختمان‌ها و محیط‌زیست ایجاد می‌کند به طور مثال منجر به افزایش آسیب‌پذیری در برابر سیل در آلمان و کلمبیا شده است (Bell et al., 2005) و زیرساخت‌های حمل و نقل مانند راه آهن تایوان را تحت تأثیر قرار داده است (Hu & Chiu, 2023). فرونشست زمین به دلیل اضافه برداشت آب زیرزمینی در دره مرکزی در کالیفرنیا، کنترل سیل و زیرساخت‌های مخازن آبی را تهدید می‌کند و بیانگر اهمیت نظارت و مدیریت فرونشست برای دسترسی به منابع آب در آینده می‌باشد (Jones et al., 2021). خاک دلتایی نرم در شهرهای جنوب شرقی آسیا با مشکلات فرونشست، تأثیر بر ساختمان‌ها، جاده‌ها و افزایش هزینه‌های ساخت‌وساز مواجه است که نیاز به نظارت بر آب‌های زیرزمینی و سکونت‌گاه‌ها یا تحلیل‌های عددی برای ارزیابی دارد (Giao et al., 2021). علاوه بر این، حفره‌های زیرزمینی ناشی از فرونشست می‌تواند منجر به عواقب فاجعه‌بار برای سازه‌ها شود که نیاز به روش‌های تقویت ژئوسنتتیک در کاهش این تاثیرات را دو چندان می‌کند (Al Heib et al., 2021). فرونشست به عنوان حرکت رو به پایین سطح زمین، نقش مهمی در شکل‌دهی ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی در مناظر مختلف دارد. تأثیر فرونشست بر ژئومورفولوژی مناطق ساحلی به صورت عقب‌نشینی خط ساحلی و افزایش شوری است همانطور که در دشت ساحلی مدیترانه در اسپانیا مشاهده شده است (González et al., 2017). علاوه بر این، فرونشست در مناطق شهری و کشاورزی منجر به آسیب‌هایی به زمین می‌شود همانطور که در مایورکا از طریق تجزیه و تحلیل تداخل سنجی پراکنشگرهای پایدار (PSI) بررسی شده است (Lorenzo-Lacruz et al., 2022).

بررسی تحولات ژئومورفولوژی ناشی از فرونشست در دشت نیشابور با استفاده از سنجش از دور و پیمایش‌های میدانی نشان داد که افت شدید آب زیرزمینی در سال‌های اخیر منجر به بروز مخاطره‌ی ژئومورفولوژیکی فرونشست در این دشت شده است. بر اثر این نشست، ترکها و شکافهایی در دشت با اشکال و عمق و طول متفاوت ایجاد گردیده است. تغییرات این اشکال در طول زمان موجب ایجاد فرمهای متفاوت و عوارض متعددی به ویژه در شمال غرب، جنوب و جنوب شرق دشت گردیده که شامل شکاف‌های طولی ممتد، شکاف‌های منقطع، حفرات مدوّر، چاله‌های وسیع و فروچاله‌ها بوده که این عوارض باعث تخریب برخی از اراضی کشاورزی و کانال‌های آبیاری شده، همچنین باعث تغییر شیب زمین در برخی نواحی و تهدید شبکه‌های انتقال نفت و گاز و سایر تأسیسات عمرانی و کاهش برگشت‌ناپذیر ظرفیت مخزن آبخانه شده است(Rokni et al., 2016). به منظور تبیین اثرات فرونشست بر تغییر الگوی لندفرم‌های ژئومورفولوژیکی دشت یزد-اردکان، در پژوهشی تغییرات سطحی این دشت در بازه‌ی زمانی ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۸ مورد بررسی قرارگرفته است. بدین منظور از تصاویر راداری و همچنین از تصاویر ماهواره لندست استفاده شده است.

* نویسندهٔ مسئول: myamani@ut.ac.ir

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-01-29]

[DOI: 10.61882/jeer.15.3.24]

پس از استخراج و شناسایی عوارض منطقه، سه لندفرم آبراهه، شق و گالی برای مطالعهٔ تفضیلی انتخاب گردید. نتایج نشان داد که در محدوده متاثر از فرونشست، طول شقوق در محدودهٔ مورد مطالعه از ۱۸ کیلومتر در سال ۲۰۰۳ به ۵۴ کیلومتر در سال ۲۰۱۸، سطح گالی از ۴ هکتار در سال مبدأ به ۶ هکتار در سال انتهایی و آبراهه از ۱۶۵ هکتار به ۲۴۱ هکتار افزایش پیدا کرده‌اند. بر اساس یافته‌های این پژوهش مشخص شد کلیه مناطقی که به پدیده فرونشست دچار می‌شوند سرانجام تحت تأثیر تغییرات فرم و الگوهای ژئومورفولوژی قرار می‌گیرند (Ghanavati et al., 2020). در پژوهشی سری زمانی فرونشست دشت کرمانشاه با تکنیک تداخل‌سنجی راداری مبتنی بر خط مبنای کوتاه (SBAS) در بازه زمانی ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۱ با استفاده از ۳۶ تصویر ماهواره‌ای Sentinel-1 مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج حاصل از تحلیل سری زمانی خط مبنای کوتاه نشان‌دهنده‌ی بیشینه ۱۰ سانتی‌متر در بخش غربی دشت کرمانشاه می‌باشد. بررسی ارتباط بین افت سطح آب‌های زمینی و میزان بیشینه فرونشست در سطح دشت خطی نبودن این رابطه را نشان می‌دهد که با بررسی جنس زمین در محدوده مطالعاتی به تاثیر همزمان ضخامت رسوبات ریزدانه و افت سطح آب زیر زمینی در منطقه بیشینه پی برده شد (Rajabi et al., 2024).

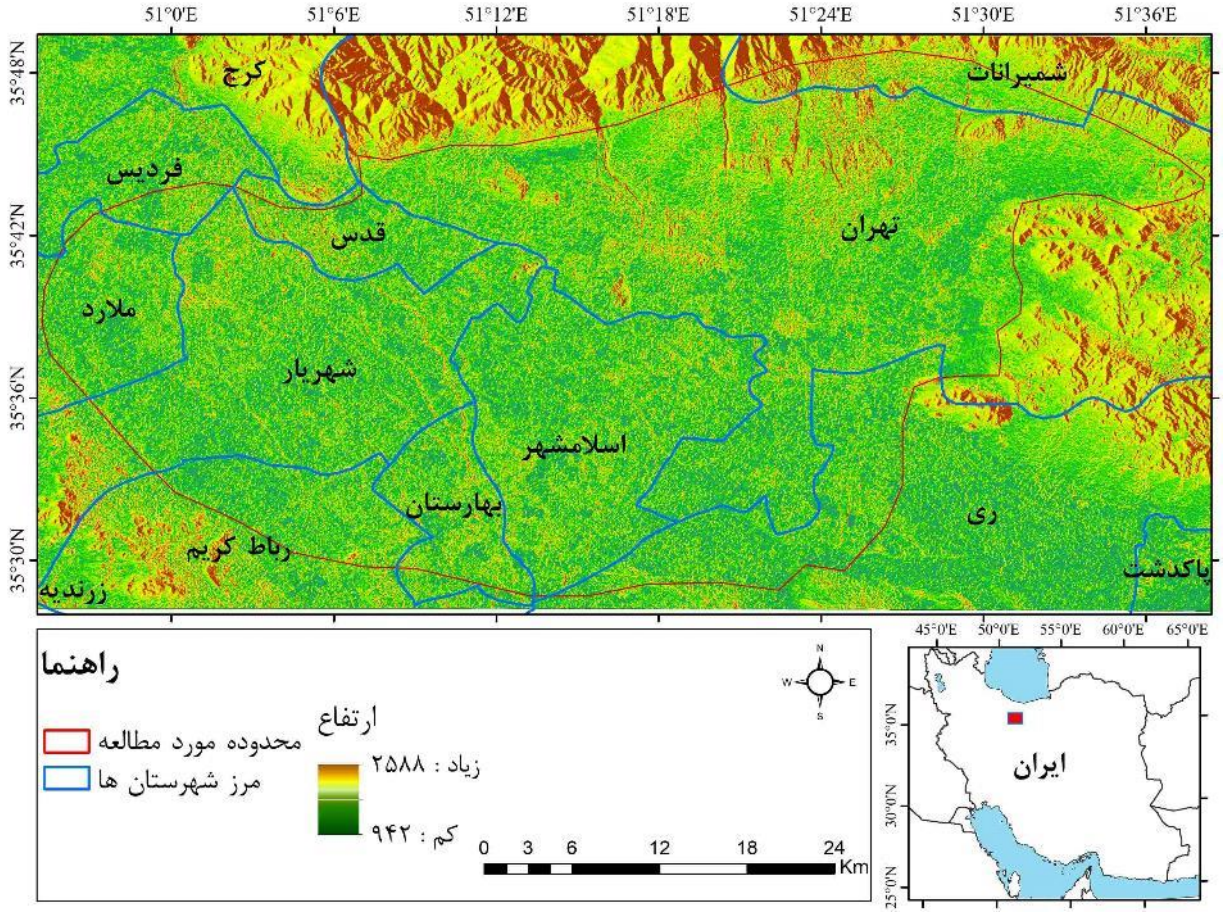
فرونشست به طور قابل توجهی با تغییر الگوهای پراکندگی رسوب، مورفولوژی کانال و تکامل حوضه بر شکل‌گیری ژئومورفولوژی رودخانه تأثیر می‌گذارد. مطالعات نشان داده‌اند که فرونشست می‌تواند منجر به انحراف کانال، ایجاد انحراف‌های تغییر دهنده پیشانی و افزایش شیب رودخانه‌ها شود (Ciszewski & Sobucki, 2022) و علاوه بر این، فرونشست بر تقسیم‌بندی رسوب، الگوهای خط ساحلی و تحرک کانال تأثیر می‌گذارد (Dong et al., 2023). فرونشست ناشی از فعالیت‌هایی مانند استخراج شن و بهره‌برداری بیش از حد از آبخانه‌ها نیز می‌تواند بر پایداری رودخانه تأثیر بگذارد و منجر به تغییر در عمق کانال، مشخصات طولی و الگوهای سیل شود (Liang et al., 2016). به طور کلی، فرونشست نقش مهمی در تغییر شکل سیستم‌های رودخانه‌ای ایفا می‌کند و بر پویایی، مورفولوژی و واکنش آنها به تغییرات محیطی در طول زمان تأثیر می‌گذارد. تکنیک‌های نظارتی مانند تسطیح دقیق، شیب‌سنج‌ها، اسکن لیزری، DGPS و DInSAR نقش مهمی در تشخیص و اندازه‌گیری فرونشست برای جلوگیری از آسیب‌های زیرساخت ایفا می‌کنند. آبخانه دشت تهران طی سه دهه اخیر دارای فرونشست بوده است ((Sharifikia et al., 2013)، (Maghsoudi et al., 2019) و (Haghshenas Haghighi & Motagh, 2019)) و اندازه این فرونشست میزان یکسانی را نشان نمی‌دهد. تحقیقات پیشین، برداشت بی‌رویه آب زیرزمینی را طی سال‌های اخیر علت پدیده فرونشست دانسته‌اند. به نظر می‌رسد تنوع ژئومورفولوژیک با ویژگی‌های رسوبی متفاوت می‌تواند نقش متفاوتی در سرعت گسترش و تبعات ثانوی فرونشست در این محدوده داشته باشد.

۲ـ منطقهٔ مورد مطالعه

موقعیت مطلق مکانی محدوده مورد مطالعه از ۵۰ درجه و ۵۵ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۳۸ دقیقه طول شرقی و از ۳۵ درجه و ۲۹ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۴۹ دقیقه عرض شمالی می‌باشد. بیشترین ارتفاع سطح محدوده مورد مطالعه ۱۸۰۰ متر در دامنه کوه‌های شمال شهر تهران و کمترین ارتفاع آن ۹۷۰ متر مربوط به جنوب شرق محدوده است. این محدوده بخشی از آبخانه تهران-کرج می‌باشد و علاوه بر شهرستان‌های اسلام‌شهر، شهریار، قدس و بهارستان، شهر تهران و بخش‌هایی از شهرستان‌های ملارد، فردیس، رباط کریم و ری را در برمی‌گیرد. مرز شمالی این محدوده به دامنه‌های رشته کوه البرز

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-01-29]
[DOI: 10.61882/jeer.15.3.24]

محدود می‌شـود و شامل مخروط‌افکنه‌های تهران و کرج و دشت آبرفتی نیمه جنوبی می‌باشد. شهر تهران با جمعیت بیش از ۱۴ میلیون نفر بزرگترین مرکز جمعیتی مسـتقر در این محدوده است. متوسط بارندگی سالانه این محدوده بین ۲۷۰ تا ۳۵۰ میلی متر و میانگین دمای سالانه حدود ۱۵,۵ درجه سلسیوس می باشد. شکل ۱، موقعیت دشت تهران را نشان می‌دهد.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی دشت تهران.

۳ـ مواد و روش

۳ـ۱ـ داده‌ها و مراحل اجرای پژوهش

در این پژوهش از تصاویر راداری تک منظر پیچیده (SLC) ماهواره سنتینل 1A در پلاریزاسیون VV در بازه زمانی سال ۲۰۲۲ با فاصله زمانی ۱۲ روز استفاده شده است. تعداد تصاویر انتخاب شده ۲۷ قطعه می‌باشد. تصاویر در حالت پایین گذر (Descending) بوده و از مسیر ۳۵ انتخاب شده‌اند. در جدول ۱ مشخصات ماهواره راداری سنتینل1A نمایش داده شده است و در جدول ۲، تصاویر راداری مورد استفاده و مشخصات آن‌ها آورده شده است. تصاویر مورد استفاده از وبسایت تسهیلات فضایی آلاسکا (ASF) تهیه شده است. برای انجام تحلیل سری زمانی تداخل‌سنجی راداری از حالت IW تصاویر سنتینل1A استفاده شده است و با توجه به موقعیت منطقه مورد مطالعه نوار IW2 برای انجام پردازش انتخاب شد. برای حذف تاثیرات توپوگرافی از DEM ۳۰ متری SRTM سازمان فضایی آمریکا استفاده شده است.

جدول ۱: مشخصات عمومی تصاویر راداری ماهواره سنتینل ۱

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-01-29]
[DOI: 10.61882/jeer.15.3.24]

ماهواره	فرکانس	طول موج	حالت تصویربرداری	قدرت تفکیک	دوره بازگشت (روز)
سنتینل1A	۵/۴ گیگاهرتز	۵/۶۶ سانتی‌متر (باند C)	تداخل‌سنجی گسترده (IW)	سانتی‌متر	۱۲

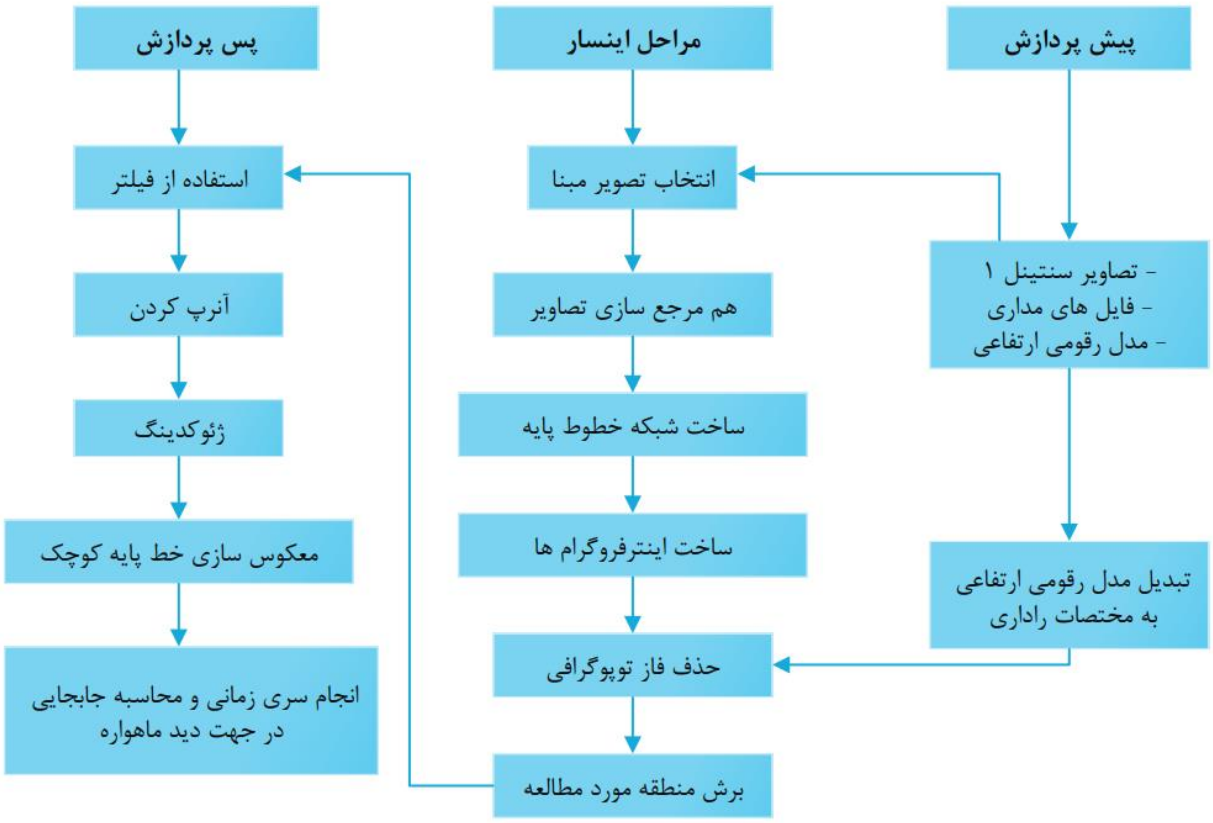
جدول ۲: مشخصات تصاویر راداری مورد استفاده ماهواره سنتینل ۱

ردیف	تاریخ تصویر	شماره مسیر	نوع تصویر	نوار	مسیر عبور	خط مبنای مکانی (متر)	خط مبنای زمانی (روز)
۱	۲۰۲۲/۰۱/۱۱	۳۵	SLC	IW2	پایین گذر	-۵۷	-۳۳۶
۲	۲۰۲۲/۰۱/۲۳	۳۵	SLC	IW2	پایین گذر	-۳۹	-۳۲۴
۳	۲۰۲۲/۰۲/۰۴	۳۵	SLC	IW2	پایین گذر	-۷۱	-۳۱۲
۴	۲۰۲۲/۰۲/۱۶	۳۵	SLC	IW2	پایین گذر	-۲۴	-۳۰۰
۵	۲۰۲۲/۰۲/۲۸	۳۵	SLC	IW2	پایین گذر	-۲۱	-۲۸۸
۶	۲۰۲۲/۰۳/۱۲	۳۵	SLC	IW2	پایین گذر	-۱۰۵	-۲۷۶
۷	۲۰۲۲/۰۳/۲۴	۳۵	SLC	IW2	پایین گذر	-۶۵	-۲۶۴
۸	۲۰۲۲/۰۴/۰۵	۳۵	SLC	IW2	پایین گذر	-۵۵	-۲۵۲
۹	۲۰۲۲/۰۴/۱۷	۳۵	SLC	IW2	پایین گذر	-۲۴	-۲۴۰
۱۰	۲۰۲۲/۰۴/۲۹	۳۵	SLC	IW2	پایین گذر	-۲۴	-۲۲۸
۱۱	۲۰۲۲/۰۵/۱۱	۳۵	SLC	IW2	پایین گذر	-۸۶	-۲۱۶
۱۲	۲۰۲۲/۰۶/۰۴	۳۵	SLC	IW2	پایین گذر	-۲۵	-۱۹۲
۱۳	۲۰۲۲/۰۶/۱۶	۳۵	SLC	IW2	پایین گذر	-۱۰۴	-۱۸۰
۱۴	۲۰۲۲/۰۶/۲۸	۳۵	SLC	IW2	پایین گذر	۳۳	-۱۶۸
۱۵	۲۰۲۲/۰۷/۲۲	۳۵	SLC	IW2	پایین گذر	-۸۷	-۱۴۴
۱۶	۲۰۲۲/۰۸/۰۳	۳۵	SLC	IW2	پایین گذر	-۴۱	-۱۳۲
۱۷	۲۰۲۲/۰۸/۱۵	۳۵	SLC	IW2	پایین گذر	-۳۷	-۱۲۰
۱۸	۲۰۲۲/۰۸/۲۷	۳۵	SLC	IW2	پایین گذر	-۱۹	-۱۰۸
۱۹	۲۰۲۲/۰۹/۰۸	۳۵	SLC	IW2	پایین گذر	۸۰	-۹۶
۲۰	۲۰۲۲/۱۰/۰۲	۳۵	SLC	IW2	پایین گذر	-۴۰	-۷۲
۲۱	۲۰۲۲/۱۰/۱۴	۳۵	SLC	IW2	پایین گذر	-۱۰۳	-۶۰
۲۲	۲۰۲۲/۱۰/۲۶	۳۵	SLC	IW2	پایین گذر	۴۹	-۴۸
۲۳	۲۰۲۲/۱۱/۰۷	۳۵	SLC	IW2	پایین گذر	-۸۸	-۳۶
۲۴	۲۰۲۲/۱۱/۱۹	۳۵	SLC	IW2	پایین گذر	-۴۴	-۲۴
۲۵	۲۰۲۲/۱۲/۰۱	۳۵	SLC	IW2	پایین گذر	-۱۲۳	-۱۲
۲۶	۲۰۲۲/۱۲/۱۳	۳۵	SLC	IW2	پایین گذر	۰	۰
۲۷	۲۰۲۲/۱۲/۲۵	۳۵	SLC	IW2	پایین گذر	۳۹	۱۲

برای بررسی فرونشست از تکنیک تداخل‌سنجی راداری خط پایه کوچک (SBAS) استفاده شده است. زیر مجموعه خط پایه کوچک (SBAS-InSAR) InSAR از تصاویر ماهواره‌ای و نقاط کنترل زمینی برای نظارت بر فرونشست با ترکیب کارایی بالا با قابلیت های ردیابی مداوم استفاده می‌کند. SBAS-InSAR داده‌های SAR را با فرکانس بالا پردازش می‌کند و با ترکیب داده‌های اصلی و جدید اضافه شده در مجموعه‌های داده کوچک، امکان نظارت مستمر بر مناطقی که نرخ فرونشست سریع را تجربه می‌کنند در طول زمان فراهم می‌کند (Zhang et al., 2023). علاوه بر این، SBAS-InSAR در نظارت بر تغییر شکل‌های زمین در مناطق وسیع با دقت و تفکیک مکانی بالا مؤثر است و آن را

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-01-29]
[DOI: 10.61882/jeer.15.3.24]

به ابزاری ارزشـمند برای تشـخیص فرونشست، به‌ویژه در مناطق پرجمعیت تبدیل می‌کند (Franczyk et al., 2022). در این روش تنها زوج تصاویری مورد استفاده قرار می‌گیرند که مؤلفه قائم خط مبنای آن‌ها کمتر از مقدار بحرانی خط مبنا باشـد، همچنین خط مبنا زمانی آن‌ها نیز همزمان کمینه باشـد. به این ترتیب، فقط تداخل‌نگارهایی تشکیل می‌شوند که کیفیت مناسـبی داشته باشند. پس از تشکیل این تداخل‌نگارها، یک شبکه از تصاویر ایجاد می‌شود، سپس با استفاده از روش کمترین مربعات، مقدار جابجایی هر پیکسـل تخمین زده می‌شـود (Dong et al., 2014). پردازش‌های مورد نیاز برای انجام این روش با اسـتفاده از نرم‌افزار GMTSAR انجام شـد. مراحل مربوط به پردازش تصـاویر راداری در نرم‌افزار GMTSAR در شکل ۲، آورده شده است.



شکل ۲: مراحل انجام پردازش تصاویر راداری سنتینل ۱ با روش خط پایه کوچک (SBAS).

در این مطالعه با استفاده از داده‌های چاه‌های پیزومتری، منحنی تغییرات تراز آب زیرزمینی آبخانه دشت تهران برای سـال های ۱۳۸۱ تا ۱۴۰۱ به دسـت آمد. این داده‌ها از سـازمان آب منطقه‌ای تهران تهیه شده‌اند. همچنین مقدار تجمعی اسـتاندارد شـده برای سـطح آب زیرزمینی هر چاه با اسـتفاده از معادله زیر به دسـت آمد. که در آن WLt سطح آب زیرزمینی در یک زمان مشـخص، $\overline{WL}$ میانگین سطح آب زیرزمینی در کل دوره مورد مطالعه و WLsd انحراف معیار سطح آب زیرزمینی در کل دوره مطالعه می‌باشد.

$$WLS = \sum \frac{WLt - \overline{WL}}{WLsd} \qquad \text{معادله (۱)}$$

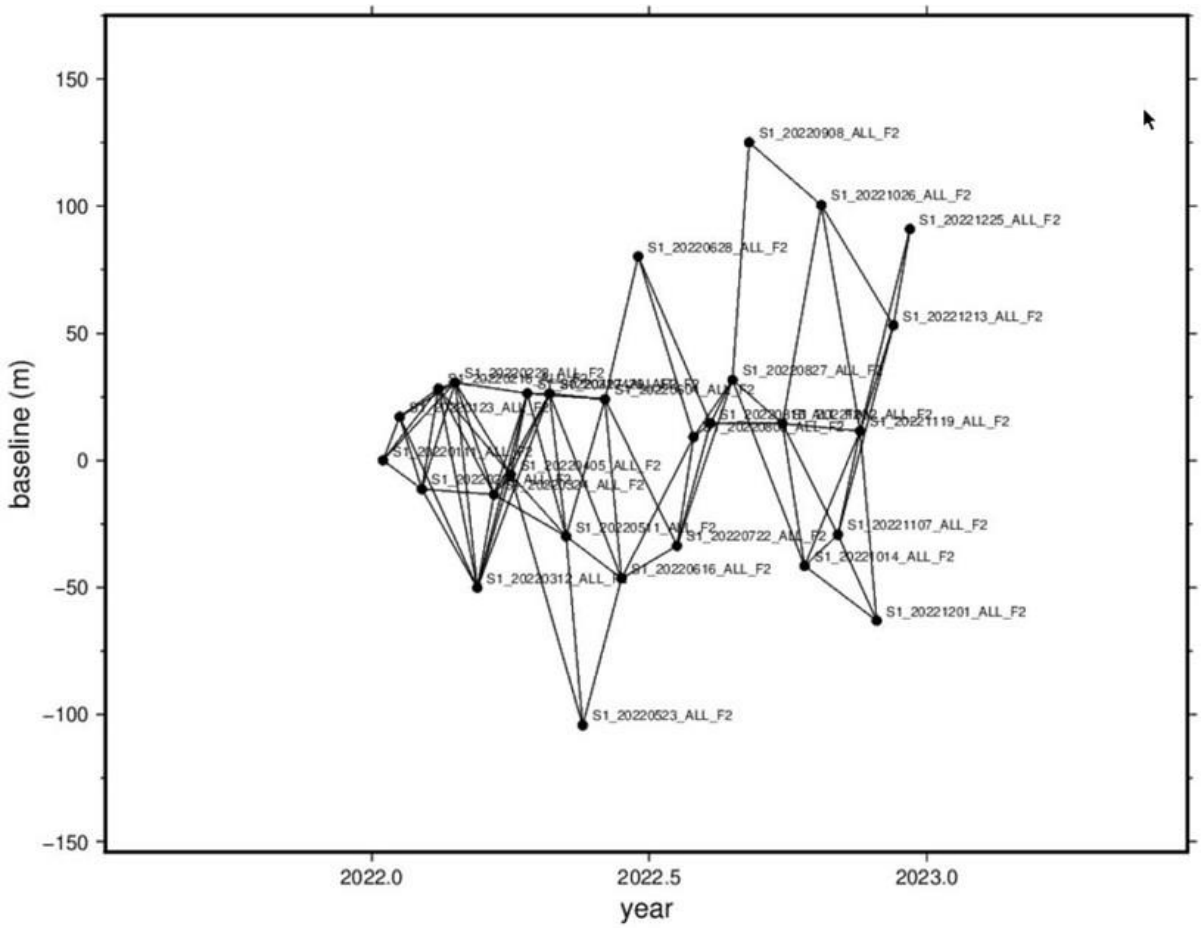
تهیه نقشـه‌های مختلف با اسـتفاده از نرم‌افزار Arc GIS 10.8 انجام شـد. به منظور مشـاهده مسـتقیم اثرات ژئومورفولوژیک فرونشـست در دشت تهران اقدام به انجام بازدید میدانی شد. به همین منظور حدود ۲۰ نقطه از مناطق

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-01-29]
[DOI: 10.61882/jeer.15.3.24]

متاثر از فرونشست زیاد با استفاده از نقشه حاصل از تداخل سنجی راداری مشخص شد و اقدام به عکسبرداری از برخی تغییرات ژئومورفولوژیک گردید.

۴-یافته‌ها

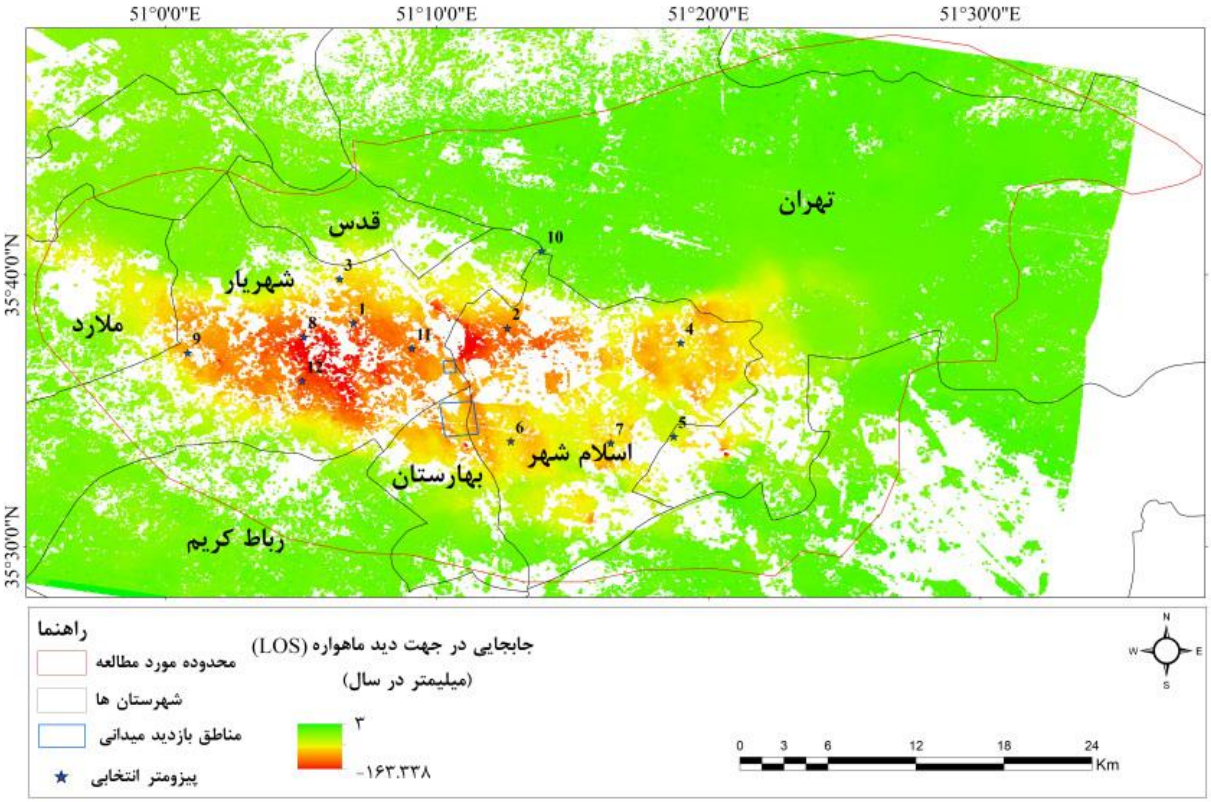
برای انجام پردازش تداخل‌سنجی راداری نیاز به ایجاد تداخل‌نما می‌باشد. تداخل‌نمای تولید شده برای این تحقیق که شبکه ایجاد شده بین تصویر اصلی و تصویرهای فرعی است در شکل ۳ نشان داده شده است. محور افقی نشان دهنده زمان اخذ تصاویر، محور قائم معرف خط مبنای مکانی تصاویر فرعی نسبت به تصویر اصلی و نقاط سیاه رنگ نشاندهنده تصاویر استفاده شده هستند. نقطه با عرض جغرافیایی ۳۵,۶۹۷۲۷۷ درجه و طول جغرافیایی ۵۱,۳۳۴۰۸۷ درجه که دارای کمترین جابه جایی در منطقه مورد مطالعه بود به عنوان نقطه رفرنس محاسبه جابه‌جایی‌ها بر روی نقشه نرخ جابه‌جایی انتخاب شد. نتایج نهایی، نشان‌دهنده نرخ جابه جایی بین ۱۶۳,۳- میلیمتر تا ۳+ میلیمتر در سال در راستای خط دید ماهواره است (شکل ۴).



شکل ۳: تداخل‌نمای ایجاد شده برای تصاویر سنتینل ۱ با روش خط پایه کوچک (SBAS).

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-01-29]

[DOI: 10.61882/jeer.15.3.24]



شکل ۴: نقشه فرونشست دشت تهران برای سال ۲۰۲۲ حاصل از روش خط پایه کوچک (SBAS). شماره هر پیزومتر مشخص شده است.

با توجه به نقشه جابه‌جایی به دست آمده در این تحقیق، در بازه زمانی مورد مطالعه عمده فرونشست‌های دشت تهران در بخش‌های مرکزی و غربی دشت دیده می‌شوند که بیشینه آن در مرکز و شرق شهرستان شهریار و شمال‌غربی شهرستان اسلام‌شهر قرار دارد. همچنین بخش‌های شمالی شهرستان بهارستان و شرق ملارد در پهنه فرونشست تعیین شده قرار می‌گیرد. حاشیه پهنه فرونشست به بخش جنوب‌غربی شهر تهران نیز کشیده شده است و نرخ تا حدود ۷۰- میلیمتر در سال را نشان می‌دهد. محدوده‌هایی که مورد بازدید قرار گرفتند در شکل ۴ با کادر آبی مشخص شده است. تصاویر این بازدید در شکل ۷ آورده شده است.

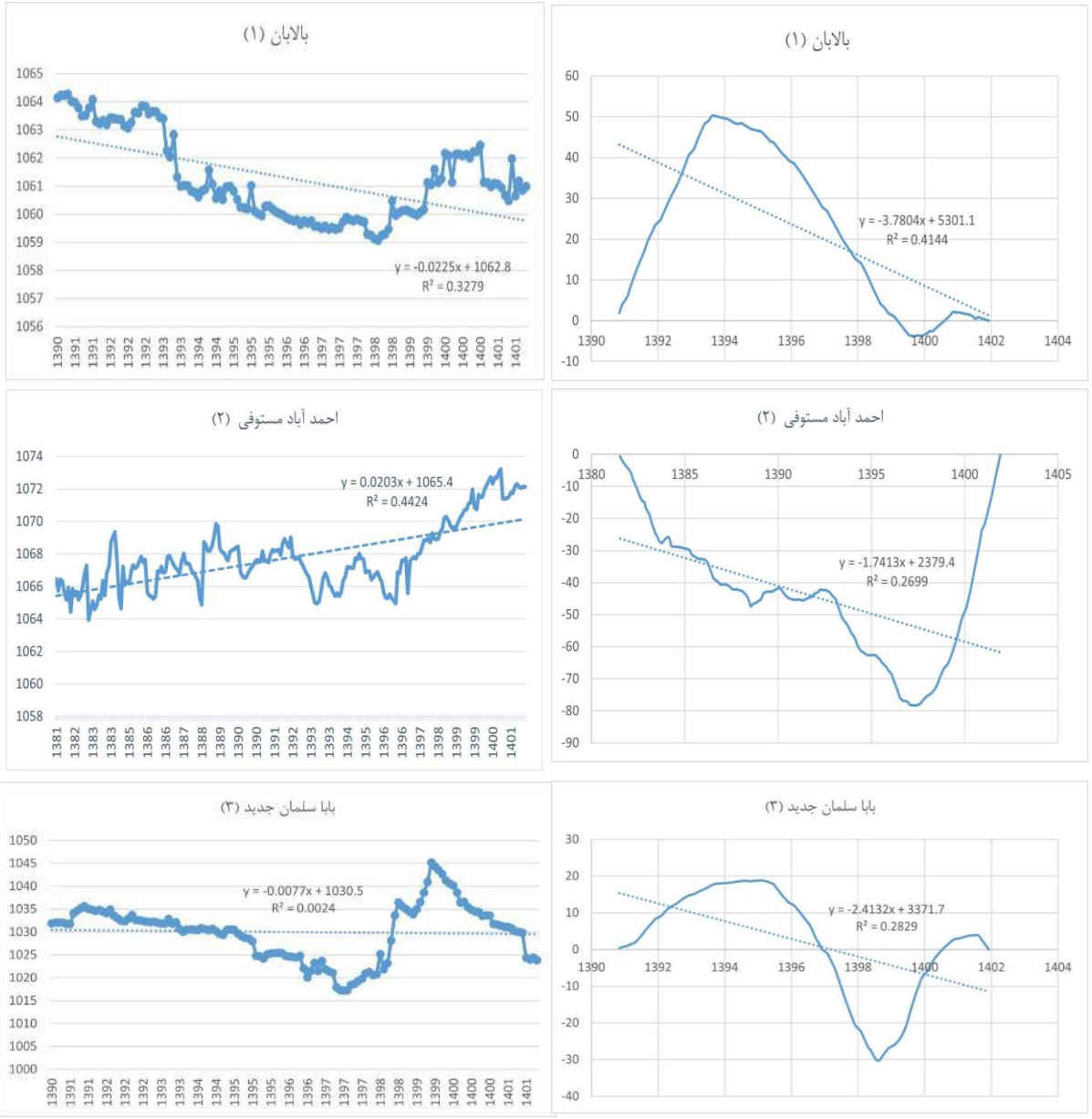
بررسی تغییرات سطح آب زیرزمینی

به منظور بررسی تاثیرات برداشت آب از آبخانه دشت تهران بر میزان فرونشست آن، نوسانات سطح آب زیرزمینی به عنوان مهمترین مولفه تاثیرگذار بر فرونشست مورد واکاوی قرار گرفت. داده ۲۰ سال اخیر (۱۳۸۱-۱۴۰۱) سطح آب چاه‌های پیزومتری و مشاهده‌ای دشت تهران برای این منظور استفاده شد و ۱۲ چاه از محدوده متاثر از فرونشست انتخاب شد. نمودار سری زمانی داده این چاه‌ها به همراه مقدار تجمعی استاندارد شده (سمت راست) در شکل ۵ آورده شده است. به منظور مشخص شدن موقعیت چاه و بررسی ارتباط سطح آب آن‌ها با نقشه فرونشست منطقه مورد مطالعه، هر کدام از این چاه‌ها شماره‌گذاری شده‌اند و شماره هر کدام به همراه موقعیت مکانی آن‌ها در شکل ۴ مشخص شده است.

بررسی روند نمودار تغییرات سطح آب زیرزمینی چاه‌های پیزومتری و مشاهده‌ای ۱، ۳، ۴، ۵، ۷، ۸، ۱۰، ۱۱ و ۱۲ بیانگر نزولی بودن آن‌ها می‌باشد و به معنای بیلان منفی در این چاه‌ها و همچنین موید همبستگی بالای آن‌ها با نقشه

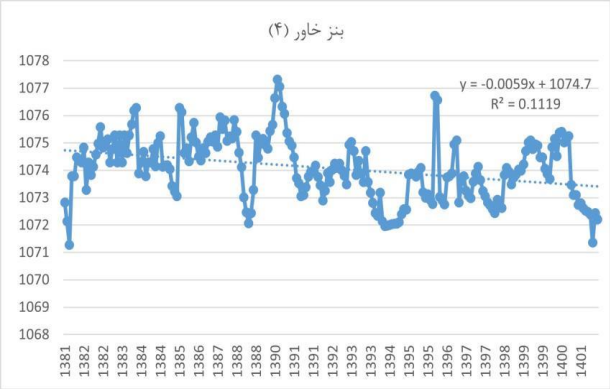
[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-01-29]
[DOI: 10.61882/jeer.15.3.24]

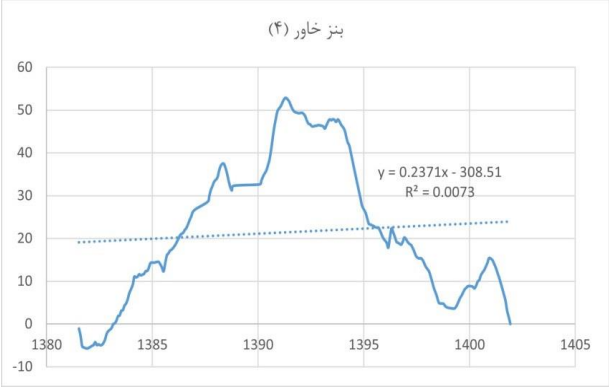
فرونشست به دست آمده برای دشت تهران می‌باشد. در این میان روند نمودار تغییرات سطح آب زیرزمینی ۳ چاه به شماره‌های ۲، ۶ و ۹ صعودی است و می‌تواند بیانگر کم‌بودن میزان برداشت نسبت به تغذیه این چاه‌ها یا نشت از فاضلاب باشد. چاه‌های شماره ۶ و ۹ در محدوده فرونشست متوسط قرار دارند و میزان فرونشست آن‌ها به ترتیب ۵۶- و ۴۱- میلی‌متر می‌باشد. همچنین چاه شماره ۲ در محدوده فرونشست زیاد قرار دارد و میزان فرونشست آن ۹۱- میلی‌متر می‌باشد. صعودی بودن نمودار تغییرات تراز آب زیرزمینی سه چاه مذکور با الگوی فرونشست محدوده مورد مطالعه در تضاد است که نیاز به بررسی‌های بیشتر دارد.

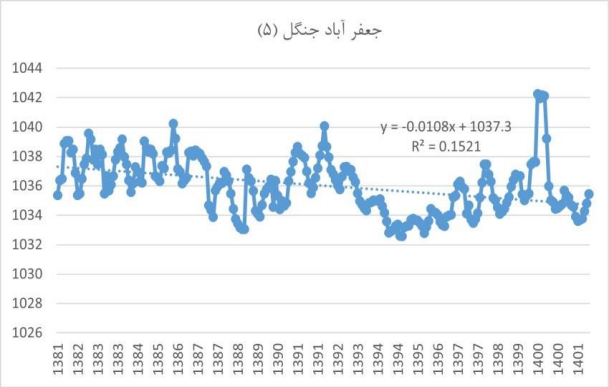


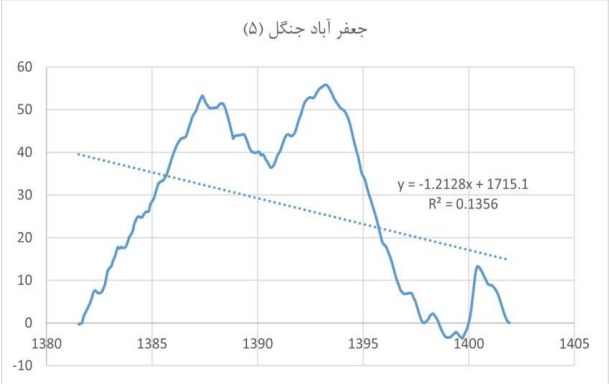
[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-01-29]

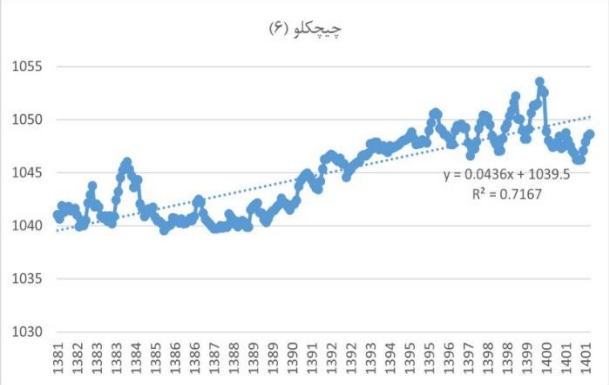
[DOI: 10.61882/jeer.15.3.24]

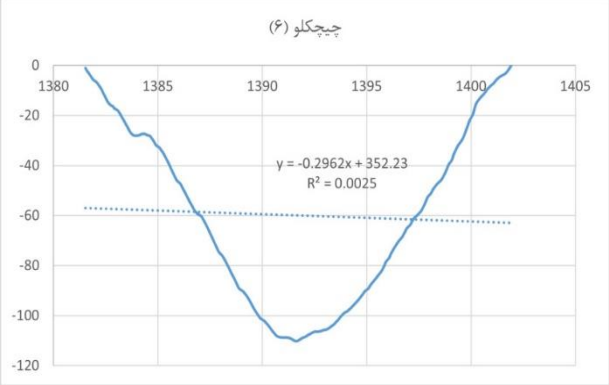


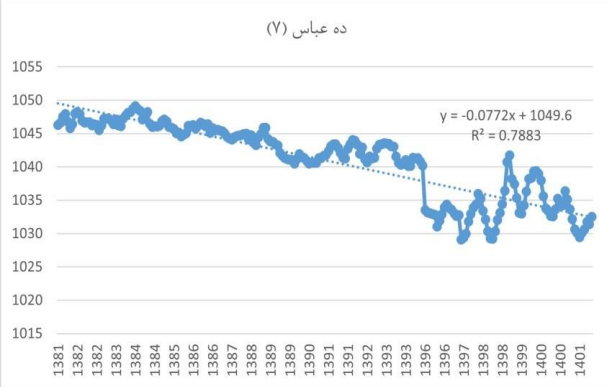


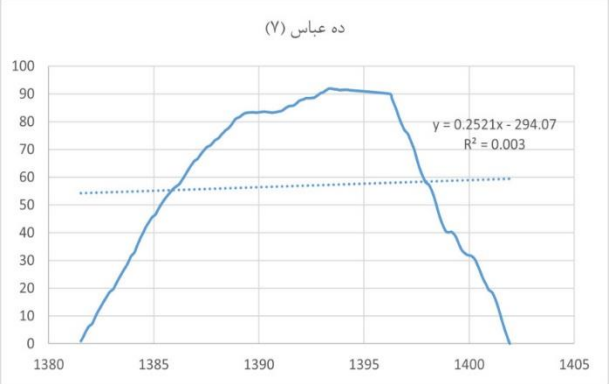






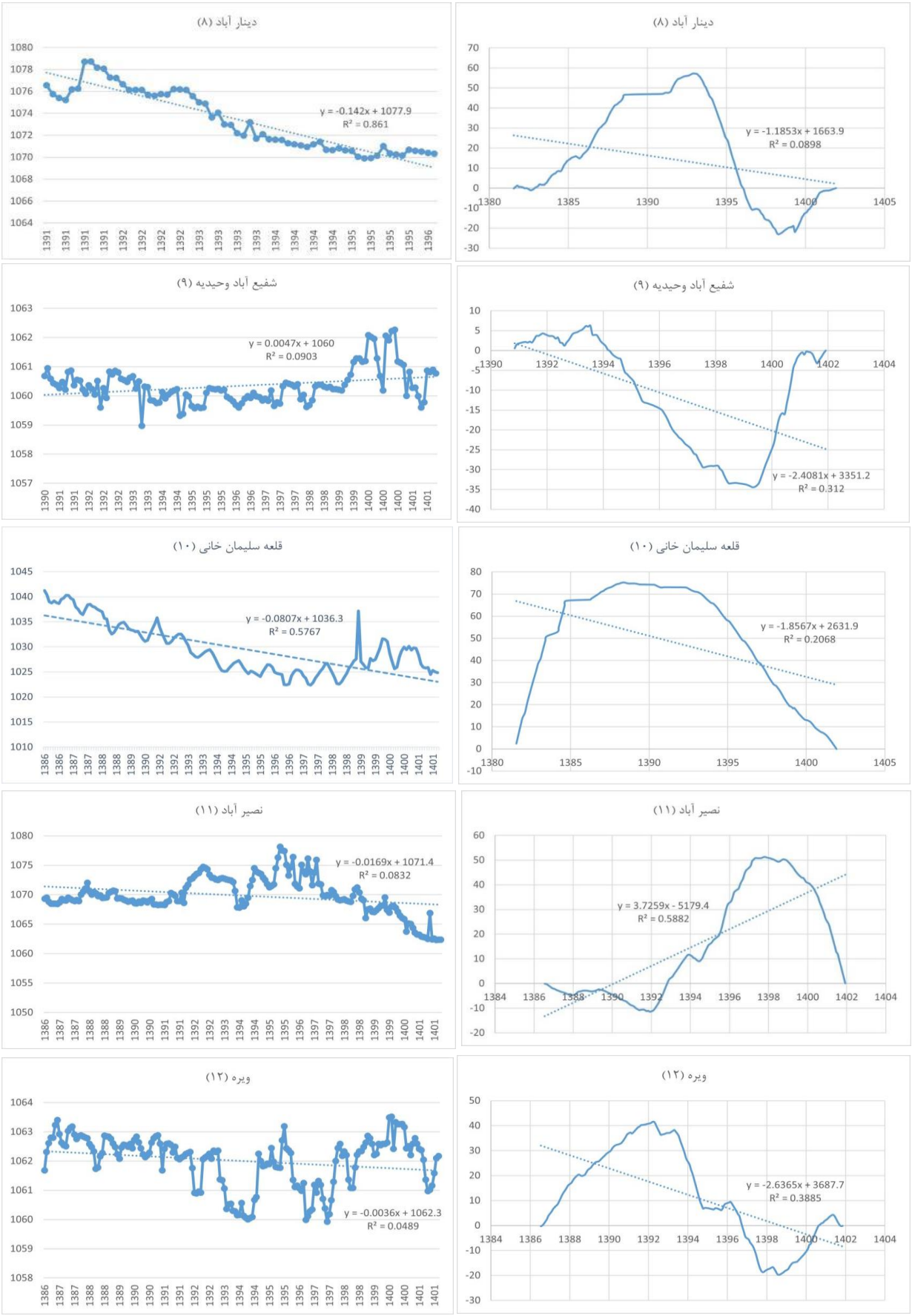






[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-01-29]

[DOI: 10.61882/jeer.15.3.24]

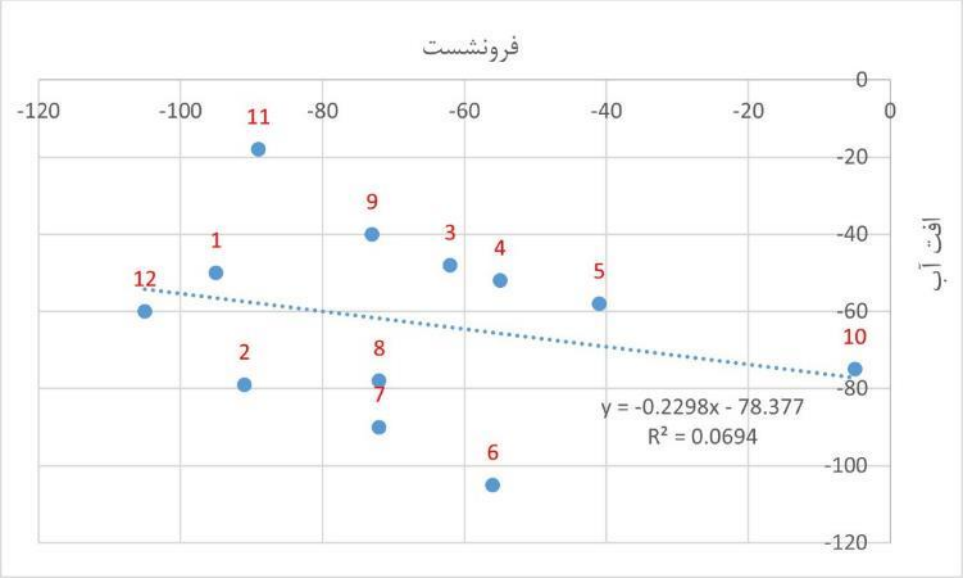


شکل ۵. نمودار تغییرات سطح آب زیرزمینی آبخانه دشت تهران برای سالهای ۱۳۸۱ تا ۱۴۰۱ (محور افقی سال‌های آماری و محور عمودی ارتفاع سطح آب در چاه (متر) می‌باشد).

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-01-29]

[DOI: 10.61882/jeer.15.3.24]

با توجه به شکل شماره ۵، نمودار مقدار تجمعی استاندارد شده سطح آب زیرزمینی موید دوره‌های افت شدید آب زیرزمینی برای همه چاه‌ها است که البته در بعضی چاه‌ها افت سطح آب همچنان ادامه دارد در بعضی دیگر پس از مدتی روند صعودی شده است که ممکن است ناشی از مدیریت مصرف آب زیرزمینی و یا تغییرات احتمالی دیگر از قبیل نشت آب فاضلاب به آبخانه باشد. به منظور تعیین رابطه بین میزان فرونشست و افت سطح آب زیرزمینی، بیشترین میزان افت در هر نمودار تجمعی استاندارد شده به دست آمد. این مقادیر به همراه میزان فرونشست موقعیت هر چاه در شکل ۶، آورده شده است. بررسی روند تغییرات این دو، بیانگر رابطه غیرخطی و نامنظم بین آن‌ها است. با توجه به نمودار می‌توان دریافت که بیشترین میزان فرونشست مربوط به افت سطح آب بین ۴۰- تا ۸۰- واحد می‌باشد اما با توجه به پراکندگی موقعیت چاه‌های انتخابی و تفاوت‌های مکانی و رسوبی، رفتار متفاوتی از تغییرات سطح آب زیرزمینی در مقایسه با فرونشست نمایان است و می‌توان نتیجه گرفت که کاهش سطح آب زیرزمینی تنها دلیل پراکندگی فرونشست آبخانه دشت تهران نیست و عوامل دخیل متفاوت دیگری از قبیل ساختار رسوبی و جنس خاک و تاثیرات انسانی از قبیل نشت احتمالی فاضلاب دخیل هستند. علاوه بر غیرخطی بودن رابطه بین تراز سطح آب زیرزمینی و نقشه فرونشست، تفاوت تغییرات تراز چاه‌ها در محدوده فرونشست زیاد و همچنین کاهش زیاد سطح آب زیرزمینی چاه شماره ۱۰ (۱۶- متر) درحالی که در محدوده فرونشست نزدیک به صفر قرار دارد همگی حکایت از پیچیدگی آبخانه تهران و نقش عوامل دیگری به غیر از کاهش سطح آب زیرزمینی در کنترل محدوده فرونشست دارد.

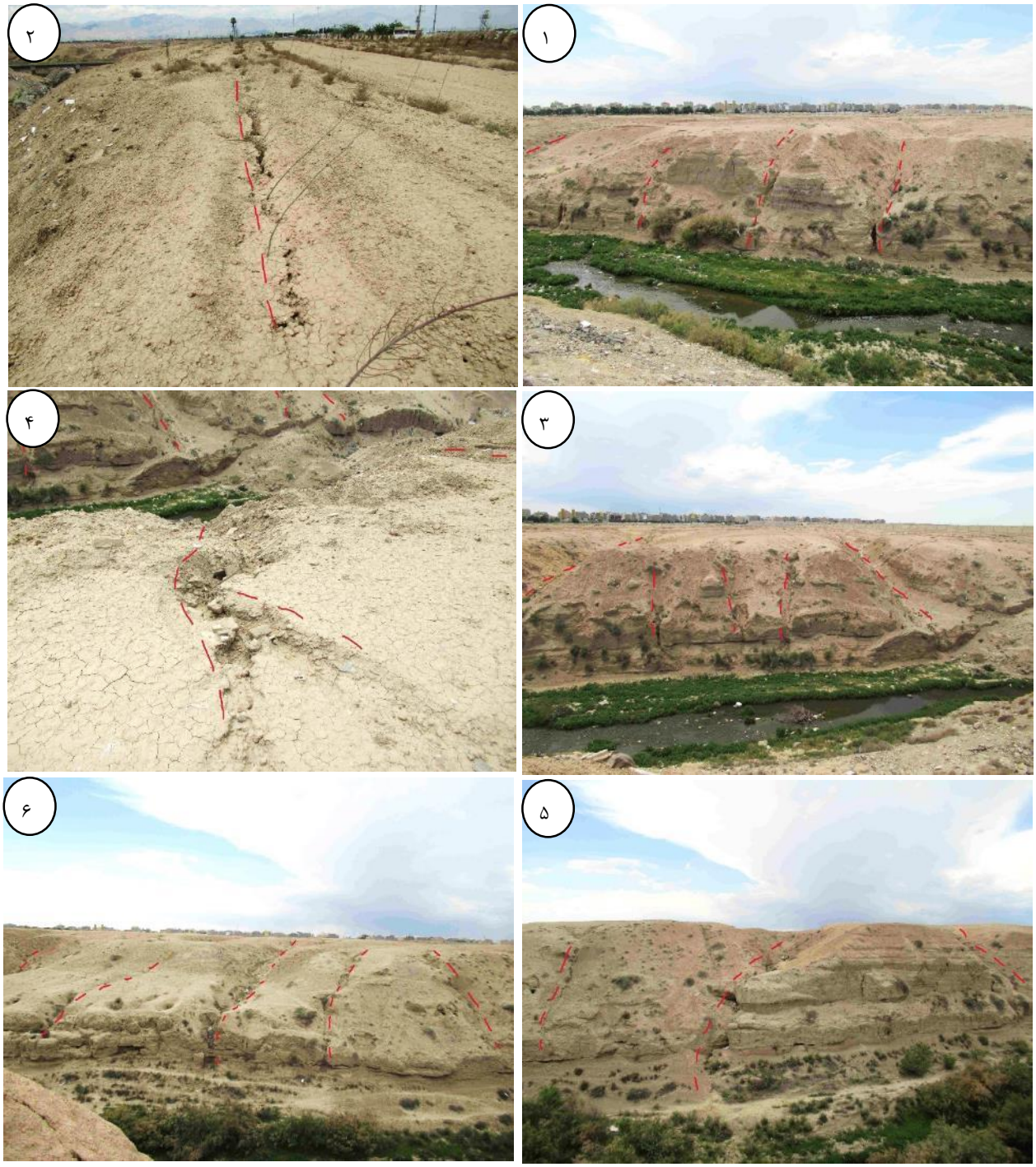


شکل ۶. نمودار پراکندگی افت مقدار تجمعی استاندارد شده تراز آب زیرزمینی در رابطه با میزان فرونشست دشت تهران

نتایج حاصل از بازدید میدانی، بیانگر فقدان ارزش مطالعات ژئومورفولوژیک بعضی از نقاط انتخابی به دلیل دخل و تصرفات انسانی در منطقه مورد مطالعه از قبیل ساخت‌وسازهای انسانی، کشاورزی و وجود نخاله‌های ساختمانی می‌باشد. در این بین از مناطق حاشیه رودخانه کرج بین شهرستان‌های شهریار، اسلامشهر و بهارستان که در منطقه با فرونشست زیاد (بین ۸۰ تا ۱۵۰ میلی متر در سال) قرار دارد عکس‌هایی (شکل ۷) تهیه گردید. بخش زیادی از محدوده متاثر از فرونشست در شهرستان شهریار قرار می‌گیرد اما با توجه به گسترش ساخت‌وسازها و زمین‌های کشاورزی مطالعه تغییرات ژئومورفولوژیک آنها میسر نیست و فقط می‌توان به اثرات حاصل از فرونشست بر روی سازه‌های انسانی و

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-01-29]
[DOI: 10.61882/jeer.15.3.24]

ترک خوردگی‌های زمین بسنده کرد. عکس‌های شکل ۶ گویای ایجاد گالی در دیواره پادگانه‌های قدیمی حاشیه رودخانه کرج هستند با توجه به مکانیزم تشکیل گالی، کاهش سطح اساس ناشی از فرونشست می‌تواند در ایجاد و تسریع گسترش گالی‌های این محدوده تاثیر زیادی داشته باشد. عکس ۲ در این شکل نیز یک نمونه ترک‌خوردگی زمین در اثر فرونشست را نشان می‌دهد. با توجه به عمیق بودن بستر رودخانه‌ها در این بخش، فرونشست حدود ۱۰ تا ۱۵ سانتی متر در سال عملا نقش مشهودی در تغییر مسیر رودخانه‌ها ندارد و فقط می‌توان شاهد جدا شدن دیواره بستر رودخانه به شکل ترک‌های جداره و در سطح آن بود.



[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-01-29]
[DOI: 10.61882/jeer.15.3.24]

شکل ۷: عکس‌های حاصل از بازدید میدانی. خط چین‌های قرمز مسیر گالی‌ها و ترک‌خوردگی‌ها را نشان می‌دهند.

۵ـ بحث و نتیجه‌گیری

نتایج بررسی فرونشست دشت تهران با استفاده از تکنیک تداخل‌سنجی راداری و روش خط پایه کوچک (SBAS) برای سال ۲۰۲۲، بیانگر نرخ جابه‌جایی بین ۱۶۳٫۳- میلیمتر تا ۳+ میلیمتر در سال در راستای خط دید ماهواره بود. طبق تحقیق Haghshenas و Motagh (۲۰۱۹)، حدود ۱۹۰- میلیمتر فرونشست در بازه مطالعاتی ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۷ برای این محدوده محاسبه شده است. همچنین Babaee و همکاران (۲۰۲۴)، در مقاله‌ای میزان فرونشست را برای این محدوده ۲۰۰- میلیمتر برای سال‌های ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۱ به دست آورده‌اند. طبق نقشه حاصله، عمده فرونشست‌های دشت تهران در بخش‌های مرکزی و غربی آن دیده می‌شوند که بیشینه آن در مرکز و شرق شهرستان شهریار و شمال‌غربی شهرستان اسلام‌شهر قرار دارد. حاشیه پهنه فرونشست به بخش جنوب‌غربی شهر تهران نیز کشیده شده است که نرخ تا حدود ۷۰- میلیمتر در سال را نشان می‌دهد. محدوده با بیشترین فرونشست از نظر مکانی با تحقیقات پیشین همخوانی دارد و فقط از نظر میزان فرونشست یک اختلاف جزئی وجود دارد. نمودار مقدار تجمعی استاندارد شده سطح آب زیرزمینی موید دوره‌های افت شدید آب زیرزمینی برای همه چاه‌ها است که البته در بعضی چاه‌ها افت سطح آب همچنان ادامه دارد و در بعضی دیگر پس از مدتی روند صعودی شده است که ممکن است ناشی از مدیریت مصرف آب زیرزمینی و یا تغییرات احتمالی دیگر از قبیل نشت آب فاضلاب به آبخانه باشد. با توجه به پراکندگی موقعیت چاه‌های انتخابی و تفاوت‌های مکانی و رسوبی، رفتار متفاوتی از تغییرات سطح آب زیرزمینی در مقایسه با فرونشست نمایان است و می‌توان نتیجه گرفت که عوامل دیگری از قبیل ساختار رسوبی و جنس خاک و تاثیرات انسانی از قبیل نشت احتمالی فاضلاب در این رفتار متفاوت، دخیل هستند. بازدیدهای میدانی از مناطق بیشینه فرونشست (بین ۸۰ تا ۱۲۰ میلی متر در سال) تغییرات ژئومورفولوژیک ناشی از فرونشست را به صورت ترک‌خوردگی‌های زمین و دیواره بستر رودخانه‌ها و همچنین ایجاد گالی در دیواره پادگانه‌های قدیمی حاشیه رودخانه نشان می‌دهد. کاهش سطح اساس ناشی از فرونشست، عامل گسترش این تغییرات در محدوده مورد مطالعه شناخته می‌شود که با مطالعه Ghanavati و همکاران (۲۰۲۰)، در خصوص تغییر الگوی لندفرم‌های ژئومورفولوژیکی دشت یزد-اردکان به شکل گسترش گالی‌ها و شقوق سطح زمین

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-01-29]
[DOI: 10.61882/jeer.15.3.24]

مطابقت دارد. ساخت و سازهای انسانی، گسترش زمین‌های کشاورزی و انباشت نخاله‌ها و زباله‌های شهری در مناطق خالی از سکنه یکی از معضلات بررسی تغییرات ژئومورفولوژیک فرونشست در این منطقه به حساب می‌آید. گسترش گالی‌ها منجر به از بین رفتن برخی از زمین‌های کشاورزی حاشیه رودخانه‌ها شده است که با تحقیق صورت گرفته در مایورکا اسپانیا (Lorenzo-Lacruz et al., 2022) همخوانی دارد.

منابع

1. Al Heib, M., Hassoun, M., Emeriault, F., Villard, P., & Farhat, A. (2021). Predicting subsidence of cohesive and granular soil layers reinforced by geosynthetic. *Environmental Earth Sciences*, *80*(2). https://doi.org/10.1007/s12665-020-09350-3
2. Babaee, S., Khalili, M. A., Chirico, R., Sorrentino, A., & Di Martire, D. (2024). Spatiotemporal characterization of the subsidence and change detection in Tehran plain (Iran) using InSAR observations and Landsat 8 satellite imagery. Remote Sensing Applications: Society and Environment, 36, 101290. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rsase.2024.101290
3. Bell, F. G., Donnelly, L. J., Genske, D. D., & Ojeda, J. (2005). Unusual cases of mining subsidence from Great Britain, Germany and Colombia. Environmental Geology, 47(5), 620-631. https://doi.org/10.1007/s00254-004-1187-9
4. Ciszewski, D., & Sobucki, M. (2022). River response to mining-induced subsidence. CATENA, 214, 106303. https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106303
5. Dong, S., Samsonov, S., Yin, H., Ye, S., & Cao, Y. (2014). Time-series analysis of subsidence associated with rapid urbanization in Shanghai, China measured with SBAS InSAR method. Environmental Earth Sciences, 72(3), 677-691. https://doi.org/10.1007/s12665-013-2990-y
6. Dong, T. Y., Nittrouer, J. A., Carlson, B., McElroy, B., Il'Icheva, E., Pavlov, M., & Ma, H. (2023). Impacts of Tectonic Subsidence on Basin Depth and Delta Lobe Building. Journal of Geophysical Research: Earth Surface, 128(2). https://doi.org/10.1029/2022jf006819
7. Franczyk, A., Bała, J., & Dwornik, M. (2022). Monitoring Subsidence Area with the Use of Satellite Radar Images and Deep Transfer Learning. Sensors, 22(20), 7931. https://doi.org/10.3390/s22207931
8. Ghanavati, E., Sharifikia, M., & hosseini, s. (2020). Explanation of the Geomorphologic Process and Effect of Subsidence on Land Pattern Change in Geomorphologic Forms Case Study of Yazd-Ardakan Plain. Quantitative Geomorphological Research, 8(3), 1-16. https://www.geomorphologyjournal.ir/article_102791_6403abb9585ee8bf423f9832ebbd5530.pdf
9. Giao, P. H., Saowiang, K., & Anh, N. T. H. (2021). The Role of Groundwater and Land Subsidence Analysis for Sustainable Development of Infrastructure in Some SE Asian Cities. In (pp. 90-100). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-61118-7_7
10. González, P. C., Pérez, J. M. R., & Cueva, A. (2017). Geomorphology of a Mediterranean barrier lagoon system. Subsidence, climate change and human action (Castelló, Eastern Spain).
11. Haghshenas Haghighi, M., & Motagh, M. (2019). Ground surface response to continuous compaction of aquifer system in Tehran, Iran: Results from a long-term multi-sensor InSAR analysis. Remote Sensing of Environment, 221, 534-550. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.11.003
12. Hakało, J., Wroński, J., & Ciupik, L. (2003). [Subsidence and its effect on the anterior plate stabilization in the course of cervical spondylodesis. Part I: definition and review of literature]. Neurologia i neurochirurgia polska, 37(4), 903-915. http://europepmc.org/abstract/MED/14746248
13. Hu, J.-C., & Chiu, C.-Y. (2023). Additional horizontal displacement across the transportation infrastructures induced by land subsidence revealed by SAR interferometry. Copernicus GmbH. https://dx.doi.org/10.5194/egusphere-egu23-5681
14. Jones, C. E., Farr, T. G., Liu, Z., & Miller, M. M. (2021). Measuring Subsidence in California and Its Impact on Water Conveyance Infrastructure. In (pp. 211-226). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-59109-0_9

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-01-29]

[DOI: 10.61882/jeer.15.3.24]

15. Liang, M., Kim, W., & Passalacqua, P. (2016). How much subsidence is enough to change the morphology of river deltas? Geophysical Research Letters, 43(19), 10,266-210,276. https://doi.org/10.1002/2016gl070519
16. Lorenzo-Lacruz, J., Garcia, C., Morán-Tejeda, E., Capó, A., Mestre, C., & Ortega-Mclear, A. (2022). Subsidence mapping in Mallorca (Spain) via Sentinel-1 imagery and links with sedimentary basin characteristics. https://doi.org/10.13140/RG.2.2.30518.98886
17. Maghsoudi, Y., Amani, R., & Ahmadi, H. (2019). A Study of land Subsidence in West of Tehran Using Sentinel-1 Images and Permanent Scatterers Interferometry. Iran-Water Resources Research, 15(1), 299-313. https://www.iwrr.ir/article_80494_632dfa0a0ecf7bb244d2d0c8714b0f87.pdf
18. Peng, Y., Dong, D., Chen, W., & Zhang, C. (2022). Stable Regional Reference Frame for Reclaimed Land Subsidence Study in East China. Remote Sensing, 14(16), 3984. https://doi.org/10.3390/rs14163984
19. Rajabi, m., Roostaei, s., & Mataee, s. (2024). Evaluation of kermanshah plain subsidence time series using small-based radar interferometry technique (SBAS). Quantitative Geomorphological Research, 13(1), 1-17. https://doi.org/10.22034/gmpj.2022.363452.1380
20. Rokni, J., Hossinzadeh, R., Lashkaripour, G. R., & Velayati, S. A. (2016). Survey of Land Subsidence, Perspective and Geomorphology Developments in the Denser Plains, Case study: Neyshabour Plain. Journal of Arid Regions Geographic Studies, 7(24), 21-38. https://jargs.hsu.ac.ir/article_161414_8c720b2033d5c3a5759345c09b2d7cf7.pdf
21. Sharifikia, M., Malamiri, N., & Shayan, S. (2013). Settlement vulnerability assessment due to land subsidence Geomorphological hazard in part of South Tehran. Journal of Geography and Environmental Hazards, 2(1), 91-106. https://doi.org/10.22067/geo.v2i1.21020
22. Shokri, N., Mahdavi Ara, M., Ansari, S., & Sharifi, M. (2023). Toward prediction of land subsidence assisted by artificial intelligence approaches. Copernicus GmbH. https://dx.doi.org/10.5194/egusphere-egu23-5025
23. Zhang, P., Qian, X., Guo, S., Wang, B., Xia, J., & Zheng, X. (2023). A New Method for Continuous Track Monitoring in Regions of Differential Land Subsidence Rate Using the Integration of PS-InSAR and SBAS-InSAR. Remote Sensing, 15(13), 3298. https://doi.org/10.3390/rs15133298

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-01-29]

[DOI: 10.61882/jeer.15.3.24]