



## Analysis of Subsidence Status in Hamedan Urban Area using Radar and Satellite Images

Hamid Ganjaeian<sup>\*a</sup>, Maesomeh Asadi<sup>b</sup>, Fatemeh Menbari<sup>c</sup>, Atrin Ebrahimi<sup>d</sup>

<sup>a</sup> PhD in Geomorphology, Tehran University, Tehran, Iran

<sup>b</sup> PhD in Geomorphology, Faculty Member of Payame Noor University, Tehran, Iran

<sup>c</sup> PhD Candidate in Geomorphology, Razi University, Kermanshah, Iran

<sup>d</sup> PhD Candidate in Geomorphology, Tabriz University, Tabriz, Iran

Received: 23 April 2022

Revised: 7 June 2022

Accepted: 15 July 2022

### Abstract

The risk of subsidence in recent years has posed serious challenges to many cities, including cities in arid and semi-arid regions of Iran. Hamedan is one of the cities that are exposed to this risk and for this reason, this study evaluated the subsidence in the city. The data included Sentinel 1 radar images, Landsat satellite images, 30 m SRTM digital model and groundwater data. Tools also included ArcGIS, GMT, and ENVI. In the first stage, land use maps of the region for the period 1991-2020 were prepared and analyzed. In the second stage, the situation of groundwater depletion in the study area was explored, and in the third stage, using radar images and SBAS time series method, the amount of subsidence in the area over a three-year period (2017 to 2020) was calculated. The results showed that the urban area and suburbs of Hamedan annually experience one meter drop in water resources and 0.7 Square kilometers of physical development. Moreover, the subsidence rate of this area during the three-year period was between 6 to 98 mm. According to the final map, the rate in western areas of Hamadan was between 60 to 98 mm, in central areas was between 30 to 60 mm, and in a big part the city subsidence is 6 to 30 mm from its eastern regions. Considering that the highest rate of physical development of Hamedan city in recent years has been in the western suburbs of the city, it can be said that the physical development along with the decline of groundwater resources are the main factors of subsidence in this city.

**Keywords:** Subsidence, Sentinel 1, SBAS, Hamedan

\*. Corresponding author: Hamid Ganjaeian E-mail: h.ganjaeian@ut.ac.ir Tel: +9809186074070

**How to cite this Article:** Ganjaeian, H., Asadi, M., Menbari, F., & Ebrahimi, A. (2022). Analysis of subsidence status in Hamedan urban area using radar and satellite images. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 11(4), 221-236.

DOI:10.22067/geoeh.2022.76383.1217



Journal of Geography and Environmental Hazards are fully compliant With open access mandates, by publishing its articles under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0).



Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

# Geography and Environmental Hazards

Volume 11, Issue 4 - Number 44, Winter 2023

<https://geoeh.um.ac.ir>

<https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.76383.1217>

جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال یازدهم، شمارهٔ چهل و چهارم، زمستان ۱۴۰۱، صص ۲۳۶-۲۲۱

مقاله پژوهشی

ویژه‌نامه (چالش جهانی فرونشست زمین: مدیریت بحران یا بحران مدیریت)

## تحلیل وضعیت فرونشست محدوده شهری همدان با استفاده از تصاویر راداری و ماهواره‌ای

حمید گنجائیان<sup>۱</sup> - دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

معصومه اسدی - گروه علوم اجتماعی - دانشگاه پیام نور - تهران - ایران

فاطمه منبری - دانشجوی دکتری دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

عطربین ابراهیمی - دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۲/۳ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۳/۱۷ تاریخ تصویب: ۱۴۰۱/۴/۲۴

### چکیده

مخاطره فرونشست در طی سال‌های اخیر، شهرهای زیادی از جمله شهرهای مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران را با چالش جدی مواجه کرده است. شهر همدان از جمله شهرهایی است که در معرض این مخاطره قرار دارد و به همین دلیل در این پژوهش به ارزیابی میزان فرونشست در محدوده این شهر پرداخته شده است. داده‌های مورد استفاده در این تحقیق شامل تصاویر راداری سنتینل ۱، تصاویر ماهواره لندست، مدل رقومی ارتفاعی ۳۰ متر SRTM و اطلاعات مربوط به منابع آب زیرزمینی بوده است. ابزارهای مهم نیز تحقیق شامل ArcGIS، GMT و ENVI بوده است. این تحقیق به‌طور کلی در سه مرحله انجام شده است که در مرحله اول، نقشه‌های کاربری اراضی منطقه مربوط به سال‌های ۱۹۹۱ و ۲۰۲۰، تهیه و تحلیل شده است. در مرحله دوم وضعیت افت منابع آب زیرزمینی در محدوده مطالعاتی بررسی شده است و در مرحله سوم نیز با استفاده از تصاویر راداری و روش سری زمانی SBAS، میزان فرونشست منطقه در طی دوره زمانی سه‌ساله (۲۰۱۷ تا ۲۰۲۰) محاسبه شده است. بر اساس نتایج به دست آمده، محدوده شهری و حاشیه شهری همدان سالانه با حدود ۱ متر افت منابع آب و ۷/ کیلومتر مربع توسعه فیزیکی مواجه شده

Email: [h.ganjaian@ut.ac.ir](mailto:h.ganjaian@ut.ac.ir)

۱ نویسنده مسئول: ۰۹۱۸۶۰۷۴۰۷۰

نحوه ارجاع به این مقاله:

اسدی، معصومه؛ گنجائیان، حمید؛ منبری، فاطمه؛ ابراهیمی، عطربین. (۱۴۰۱). تحلیل وضعیت فرونشست محدوده شهری همدان با

استفاده از تصاویر راداری و ماهواره‌ای. *جغرافیا و مخاطرات محیطی*. ۱۱(۴). صص ۲۳۶-۲۲۱

<https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.76383.1217>

است. همچنین میزان فرونشست این محدوده در طی دوره زمانی سه‌ساله، بین ۶ تا ۹۸ میلی‌متر بوده است که مطابق نقشه نهایی تهیه شده، مناطق غربی شهر همدان بین ۶۰ تا ۹۸ میلی‌متر، مناطق مرکزی بین ۳۰ تا ۶۰ میلی‌متر و بخش زیادی از مناطق شرقی آن بین ۶ تا ۳۰ میلی‌متر فرونشست داشته است. با توجه به اینکه بیش‌ترین میزان توسعه فیزیکی شهر همدان در طی سال‌های اخیر، در مناطق غربی و حاشیه‌ای این شهر بوده است؛ می‌توان گفت که توسعه فیزیکی شهر همدان به موازات افت منابع آب زیرزمینی، عامل اصلی این فرونشست بوده است.

**کلیدواژه‌ها:** فرونشست، سنتینل ۱، SBAS، همدان.

#### ۱-مقدمه

یکی از عوامل تهدیدکننده جوامع امروزی، مخاطرات طبیعی است. مخاطرات طبیعی می‌تواند به‌صورت محسوس و یا نامحسوس باشد. از جمله مخاطرات نامحسوس، فرونشست زمین است که در طی سال‌های اخیر به‌عنوان یک چالش مهم در مناطق مختلف مطرح شده است (گنجائیان، ۱۳۹۹). به‌طورمعمول فرونشست زمین به حرکات قائم رو به پایین سطح زمین که می‌تواند با بردار اندک افقی همراه باشد، گفته می‌شود (آمبغی و همکاران، ۱۳۸۸). مخاطره فرونشست پدیده‌ای مورفولوژیکی و یک مسئله جهانی محسوب می‌شود که تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی و طبیعی قرار دارد و می‌تواند به‌عنوان تهدیدی جدی برای جوامع انسانی باشد (صفاری و همکاران، ۱۳۹۵). با توجه به اینکه مخاطره فرونشست به‌صورت تدریجی و آهسته رخ می‌دهد؛ بنابراین بر خلاف سیل و زمین‌لرزه، یکباره آشکار نمی‌شود (جز در مواقعی که سبب ایجاد فروچاله می‌شود)، بلکه در طول زمان سبب تخریب زیرساخت‌های شهری، کشاورزی، صنعتی و غیره می‌شود (بوزانو<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۵؛ براس‌گیردل<sup>۲</sup> و همکاران، ۱۹۹۳). در واقع، مخاطره فرونشست در طی زمان سبب کج شدگی تأسیسات مرتفع، شکست و ترک ساختمان‌ها، آسیب‌دیدگی تأسیسات کشاورزی، ایجاد فروچاله‌ها، شکستگی و انهدام پل‌ها و راه‌ها و شبکه معابر شهری می‌شود (شریفی‌کیا، ۱۳۹۱).

فرونشست زمین بر اثر برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی، معضل و مخاطره‌ای است که جوامع ساکن بر روی آن را در سطوح بین‌الملل تهدید می‌کند (چن و همکاران<sup>۳</sup>، ۲۰۱۰). بر اساس برآورد کارشناسان، بیش از ۱۵۰ شهر از شهرهای بزرگ دنیا با گستره‌ای از کشورهای توسعه یافته تا در حال توسعه در معرض این پدیده قرار دارند (هانین<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۰۵). در واقع، روند افزایشی جمعیت و توسعه ساخت‌وسازها و همچنین بهره‌برداری بیش‌ازحد از منابع زیرزمینی سبب شده است تا مخاطرات فرونشست در طی سال‌های اخیر، به‌عنوان یکی از مخاطرات مهم در بسیاری از کشورها از جمله ایران مطرح شود. با توجه به اینکه در ایران به‌منظور پیش‌گیری از روند فرونشست، اقدامات

1 Bozzano

2 Bracegirdle

3 Chen

4 Huanyin

خاصی صورت نگرفته است، مخاطره فرونشست به عنوان یکی از مهم ترین چالش های پیشروی شهرهای ایران خصوصاً شهرهای نواحی خشک و نیمه خشک از جمله شهر همدان محسوب می شود (گنجائیان، ۱۳۹۹).

اهمیت مسئله فرونشست و پیشرفت های صورت گرفته در زمینه سنجش از دور سبب شده است تا طی در سال های اخیر، با استفاده از این روش های نوین، تحقیقات مختلفی در زمینه مخاطره فرونشست صورت گیرد، در این پژوهش نیز با استفاده از روش تداخل سنجی راداری و سری زمانی SBAS، به ارزیابی وضعیت فرونشست در محدوده شهری همدان پرداخته شده است.

در مورد ارزیابی میزان فرونشست با استفاده از تصاویر راداری تحقیقات مختلفی در سطح ایران و جهان صورت گرفته است که از جمله آن ها می توان به دینهو<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۱۵) اشاره کرد که با استفاده از تصاویر راداری و روش سری زمانی PS، میزان فرونشست شهر هو چی مین<sup>۲</sup> در ویتنام را حدود ۳ سانتی متر در سال برآورد کرده اند. ابیر<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۱۵) با استفاده از تصاویر راداری و روش SBAS، فرونشست زمین در فلات نمک کوهات (در شمال پاکستان) در طی سال های ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۰ را بین ۷ تا ۱۰ سانتی متر برآورد کرده اند. هو<sup>۴</sup> و همکاران (۲۰۱۶) با استفاده از روش سری زمانی PS، میزان فرونشست سالانه زمین در هانوی<sup>۵</sup> ویتنام را حدود ۴۰ میلی متر در سال برآورد کرده اند. آیمائی<sup>۶</sup> و همکاران (۲۰۱۸) به ارزیابی میزان فرونشست در شهر ساحلی اورایاسو<sup>۷</sup> در ژاپن پرداختند. در این تحقیق از روش تداخل سنجی راداری استفاده شده است و میزان فرونشست منطقه در طی سال های ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۷ حدود ۱۸ میلی متر برآورد شده است. نگوین هاو و تاکهواکا<sup>۸</sup> (۲۰۱۹) با استفاده از روش سری زمانی SBAS، میزان فرونشست زمین در ساحل نام دینه<sup>۹</sup> را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج تحقیق بیانگر این که میزان جابجایی منطقه بین ۲۱- تا ۲/۵+ بوده است. ژائو<sup>۱۰</sup> و همکاران (۲۰۱۹) با استفاده از روش تداخل سنجی راداری، میزان فرونشست سالانه زمین در شانگهای چین را حدود ۳۰ میلی متر در سال برآورد کرده اند. در ایران نیز صفاری و جعفری (۱۳۹۵) با استفاده از تصاویر Envisat و روش سری زمانی SBAS، میزان فرونشست دشت شهریار را حداکثر ۱۳۶ میلی متر در سال محاسبه کرده اند. بابایی و همکاران (۱۳۹۶) با استفاده از روش سری زمانی SBAS و PC به ارزیابی میزان فرونشست در شهر تهران پرداختند و میزان فرونشست در بخش جنوب غربی تهران را تا ۶۱ میلی متر در سال محاسبه کرده اند. خرمی (۱۳۹۶) بر مبنای اطلاعات به دست آمده از روش تداخل سنجی راداری، میزان فرونشست در شمال

1. Dinh Ho
- 2 Ho Chi Minh
- 3 Abir
- 4 Ho
- 5 Hanoi
- 6 Aimaiti
- 7 Urayasu
- 8 Nguyen Hao & Takewaka
- 9 Nam Dinh
- 10 Zhao

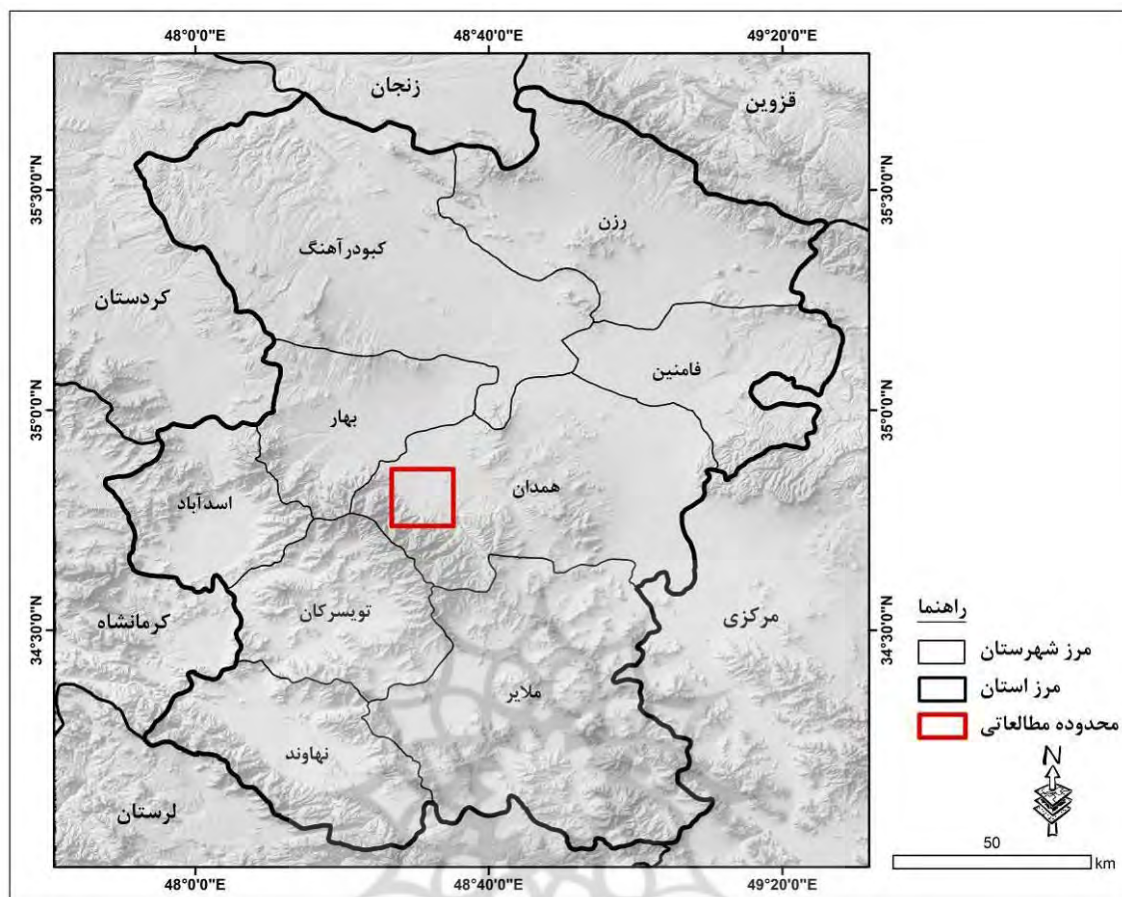
غربی شهر مشهد را تا ۱۴ سانتی‌متر در سال برآورد کرده‌اند و صالحی متعهد و همکاران (۱۳۹۸) نیز نرخ فرونشست در دشت مشهد را تا ۲۰ سانتی‌متر در سال محاسبه کرده‌اند. مقصودی و همکاران (۱۳۹۸) با استفاده از تصاویر سنتینل ۱ به بررسی رفتار فرونشست زمین در منطقه غربی تهران پرداختند و میزان فرونشست این منطقه را تا ۱۵ سانتی‌متر در سال محاسبه کرده‌اند. ابراهیمی و همکاران (۱۳۹۹) با استفاده از روش تداخل سنجی راداری، میزان فرونشست سالانه محدوده شهری پاکدشت را بین ۱۵ تا ۸۵ میلی‌متر محاسبه کرده‌اند. اسدی و همکاران (۱۴۰۰) به ارزیابی ارتباط بین عوامل طبیعی و میزان فرونشست در دشت ایوانکی با استفاده از تصاویر راداری و روش سری زمانی SBAS پرداختند و میزان فرونشست این منطقه در طی دوره زمانی ۳ ساله را بین حدود ۱ تا ۳۳ سانتی‌متر برآورد کرده‌اند.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- منطقه مورد مطالعه

در این پژوهش محدوده شهری همدان به‌عنوان منطقه مورد مطالعه در نظر گرفته شده است. همدان از نظر تقسیمات سیاسی، مرکز شهرستان و استان همدان محسوب می‌شود. از نظر جمعیتی شهر همدان در طی سال‌های اخیر با روند افزایشی زیادی مواجه شده است؛ به‌طوری‌که جمعیت این شهر در سال ۱۳۹۰، حدود ۵۲۶ هزار نفر بوده است؛ در حالی‌که این میزان در سال ۱۳۹۵ به ۵۷۷ هزار نفر افزایش یافته است (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۵). محدوده شهری همدان از نظر ژئومورفولوژی در واحد دشت قرار گرفته و از سمت جنوب به واحد کوهستانی الوند منتهی می‌شود. از نظر اقلیمی نیز همدان جزء مناطق نیمه‌خشک و دارای میانگین بارش حدود ۳۰۰ میلی‌متر است (سازمان هواشناسی استان همدان، ۱۳۹۹).

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی  
پرتال جامع علوم انسانی



شکل ۱- نقشه موقعیت منطقه مورد مطالعه

در این تحقیق به منظور دستیابی به اهداف مورد نظر از مدل رقومی ارتفاعی ۳۰ متر SRTM، تصاویر راداری سنتینل ۱، تصاویر ماهواره لندست و همچنین اطلاعات مربوط به منابع آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه به عنوان داده‌های تحقیق استفاده شده است. مهم‌ترین ابزارهای مورد استفاده در تحقیق شامل ArcGIS (به منظور تهیه نقشه‌های مورد نظر)، GMT (تهیه نقشه فرونشست زمین بر اساس روش سری زمانی SBAS) و ENVI (تهیه نقشه‌های کاربری اراضی) بوده است. این تحقیق به‌طور کلی در سه مرحله انجام شده است که در مرحله اول، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، نقشه‌های کاربری اراضی منطقه مربوط به سال‌های ۱۹۹۱ و ۲۰۲۰، تهیه و تحلیل شده است. در مرحله دوم بر مبنای اطلاعات به دست آمده از چاه‌های پیرومتری منطقه، وضعیت لفت منابع آب زیرزمینی در محدوده مطالعاتی تحلیل شده است. در مرحله سوم نیز با استفاده از تصاویر راداری و روش سری زمانی SBAS، میزان فرونشست منطقه در طی دوره زمانی سه‌ساله (۲۰۱۷ تا ۲۰۲۰) محاسبه شده است. در ادامه به تشریح مراحل پژوهش پرداخته شده است:

مرحله اول (تهیه نقشه‌های کاربری اراضی): با توجه به اینکه یکی از عوامل اصلی در ایجاد فرونشست، نوع کاربری اراضی مناطق است، در این مرحله نقشه‌های کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه در طی سال‌های ۱۹۹۱ و ۲۰۲۰ تهیه شده است (جدول ۱). پس از تهیه تصاویر، قبل از هرگونه تجزیه و تحلیل و پردازش، ابتدا به تصحیح اتمسفری تصاویر با استفاده روش FLASH پرداخته شده است و سپس داده‌ها از نظر وجود خطای هندسی و رادیومتری بررسی شده است. پس از پیش‌پردازش تصاویر، با استفاده از روش حداکثر احتمال، نقشه‌های کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه تهیه شده است.

جدول ۱- مشخصات تصاویر مورد استفاده

نوع ماهواره	سنجنده	تاریخ
لندست ۵	TM	۱۹۹۱/۰۵/۲۹
لندست ۸	OLI	۲۰۲۰/۰۶/۱۶

مرحله دوم (بررسی وضعیت افت منابع آب زیرزمینی): در این مرحله به منظور بررسی وضعیت افت منابع آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه، از اطلاعات مربوط به چاه‌های پیزومتری منطقه استفاده شده است و تغییرات صورت گرفته در سطح آب زیرزمینی این چاه‌ها در طی سال‌های ۱۳۷۱ تا ۱۳۹۶ محاسبه شده است. پس از محاسبه وضعیت افت آب منطقه، ارتباط آن با میزان فرونشست و همچنین کاربری اراضی منطقه، تحلیل شده است.

مرحله سوم (محاسبه میزان فرونشست منطقه): یکی از روش‌های نوین جهت تهیه نقشه‌های فرونشست، استفاده از روش تداخل سنجی راداری و سری زمانی SBAS، است. در این پژوهش نیز با استفاده از این روش‌ها و همچنین تصاویر راداری سنتینل ۱، به محاسبه میزان فرونشست رخ داده در محدوده شهری همدان پرداخته شده است. به منظور اجرای مدل سری زمانی SBAS، ابتدا ۴۶ تصویر راداری مربوط به دوره زمانی ۳ ساله (از تاریخ ۲۰۱۷/۰۱/۰۵ تا ۲۰۲۰/۰۱/۱۴) تهیه شده است (جدول ۲). تصاویر تهیه شده دارای حالت مداری صعودی، نوع IW، فرمت SLC هستند.

جدول ۲- تاریخ تصاویر مورد استفاده

ردیف	تاریخ	ردیف	تاریخ	ردیف	تاریخ
۱	۲۰۱۷/۰۱/۰۵	۱۷	۲۰۱۸/۰۲/۱۷	۳۲	۲۰۱۹/۰۲/۱۲
۲	۲۰۱۷/۰۱/۲۹	۱۸	۲۰۱۸/۰۳/۱۳	۳۳	۲۰۱۹/۰۳/۰۸
۳	۲۰۱۷/۰۲/۲۲	۱۹	۲۰۱۸/۰۴/۰۶	۳۴	۲۰۱۹/۰۴/۰۱
۴	۲۰۱۷/۰۳/۱۸	۲۰	۲۰۱۸/۰۴/۳۰	۳۵	۲۰۱۹/۰۴/۲۵
۵	۲۰۱۷/۰۴/۱۱	۲۱	۲۰۱۸/۰۵/۲۴	۳۶	۲۰۱۹/۰۵/۱۹

ردیف	تاریخ	ردیف	تاریخ	ردیف	تاریخ
۶	۲۰۱۷/۰۵/۰۵	۲۲	۲۰۱۸/۰۶/۱۷	۳۷	۲۰۱۹/۰۶/۱۲
۷	۲۰۱۷/۰۵/۲۹	۲۳	۲۰۱۸/۰۷/۱۱	۳۸	۲۰۱۹/۰۷/۰۶
۸	۲۰۱۷/۰۶/۲۲	۲۴	۲۰۱۸/۰۸/۰۴	۳۹	۲۰۱۹/۰۷/۳۰
۹	۲۰۱۷/۰۸/۰۹	۲۵	۲۰۱۸/۰۸/۲۸	۴۰	۲۰۱۹/۰۸/۲۳
۱۰	۲۰۱۷/۰۹/۰۲	۲۶	۲۰۱۸/۰۹/۲۱	۴۱	۲۰۱۹/۰۹/۱۶
۱۱	۲۰۱۷/۰۹/۲۶	۲۷	۲۰۱۸/۱۰/۱۵	۴۲	۲۰۱۹/۱۰/۱۰
۱۲	۲۰۱۷/۱۰/۲۰	۲۸	۲۰۱۸/۱۱/۰۸	۴۳	۲۰۱۹/۱۱/۰۳
۱۳	۲۰۱۷/۱۱/۱۳	۲۹	۲۰۱۸/۱۲/۰۲	۴۴	۲۰۱۹/۱۱/۲۷
۱۴	۲۰۱۷/۱۲/۰۷	۳۰	۲۰۱۸/۱۲/۲۶	۴۵	۲۰۱۹/۱۲/۲۱
۱۵	۲۰۱۷/۱۲/۳۱	۳۱	۲۰۱۹/۰۱/۱۹	۴۶	۲۰۲۰/۰۱/۱۴
۱۶	۲۰۱۸/۰۱/۲۴				

پس از اینکه تصاویر مورد نیاز تهیه شد، به منظور اجرای مدل سری زمانی SBAS، از نرم افزار GMTSAR استفاده شده است. روش انجام کار به این صورت بوده است که ابتدا پیش پردازش های لازم بر روی تصاویر شامل تصحیحات مداری، حذف خطای توپوگرافی و فیلتر تصاویر انجام شده است. پس از انجام پیش پردازش های لازم، بر مبنای بیس لاین زمانی تصاویر، نقشه های ایتترفروگرام منطقه تهیه شده است. پس از تهیه نقشه های ایتترفروگرام، به منظور تهیه نقشه نهایی فرونشست، از روش سری زمانی SBAS استفاده شده است. در واقع عدم همبستگی زمانی و مکانی بین تصاویر سبب می شود تا تقریباً هر تداخل نگار شامل مناطق بزرگی باشد که در آن ها همبستگی پایین است و اندازه گیری انجام شده در این مناطق قابل اطمینان نیست و یا اصلاً قابل انجام نیست. این محدودیت ها سبب می شود تا روش تداخل سنجی، به تنهایی ابزاری کامل جهت نظارت و اندازه گیری اعوجاجات سطح زمین و تغییرات توپوگرافی نباشد؛ بنابراین از روش های سری زمانی از جمله SBAS به منظور رفع این مشکل استفاده می شود (نصیری و شریفیان عطار، ۱۳۹۸؛ ۶۲؛ هانسن، ۲۰۰۱).

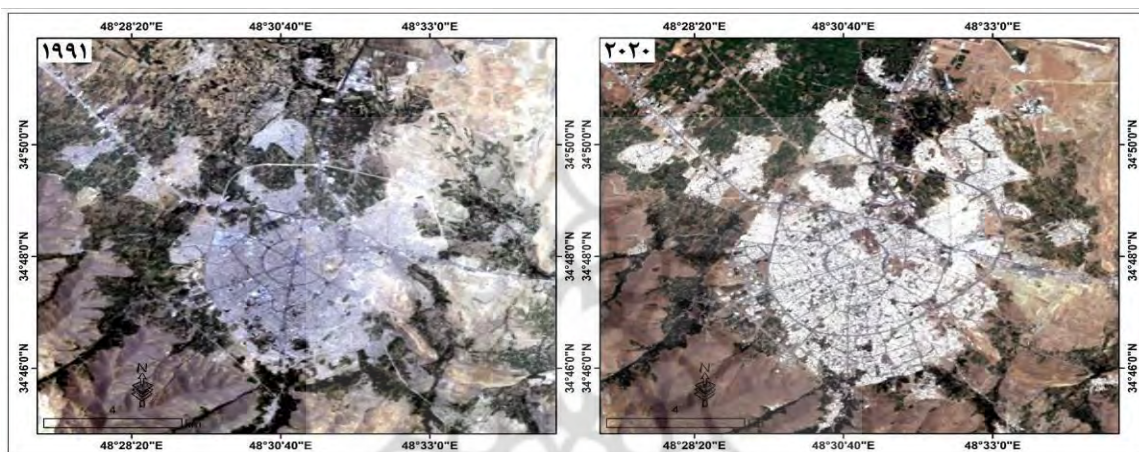
### ۳- بحث و نتایج

#### ۳-۱- تهیه نقشه کاربری اراضی

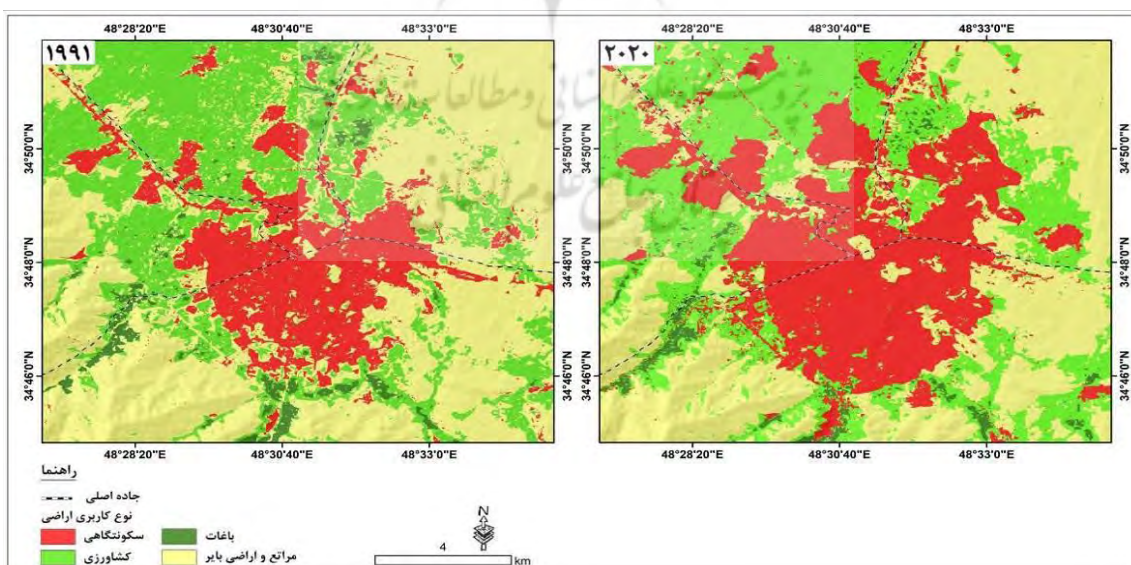
یکی از عوامل اصلی در وقوع مخاطره فرونشست و یا تشدید آن، نوع کاربری اراضی است. همچنین نوع کاربری های اراضی هر منطقه، متأثر از شرایط اقلیمی و ژئومورفولوژی منطقه است. محدوده مطالعاتی در واحد دشت قرار دارد و با توجه به اینکه در دشت همدان، اختلاف ارتفاع، شیب زیاد، لندفرم های محدودکننده (مانند کوهستان،



دامنه‌های پرشیب، تیغه، دره، فروچاله، بدلند، اشکال فرسایشی و غیره) نداریم، در نتیجه دشت همدان بدون موانع ژئومورفولوژیکی است و همین مسئله سبب شده است تا توسعه اراضی کشاورزی و نواحی سکونتگاهی منطقه بدون محدودیت باشد. همچنین با توجه به اینکه بسیاری از کاربری‌ها، از جمله اراضی کشاورزی آبی و نواحی سکونتگاهی (خصوصاً سازه‌های سنگین)، نقش مهمی در ایجاد فرونشست دارند، بررسی وضعیت کاربری‌های اراضی هر منطقه بسیار حائز اهمیت است. در این پژوهش، به منظور بررسی وضعیت کاربری اراضی محدوده مطالعاتی از تصاویر ماهواره لندست مربوط به سال‌های ۱۹۹۱ و ۲۰۲۰ استفاده شده (شکل ۲) و نقشه کاربری اراضی محدوده مطالعاتی در طی این سال‌ها، تهیه شده است (شکل ۳).



شکل ۲- تصاویر ماهواره‌ای محدوده شهری همدان و اطراف آن در سال‌های ۱۹۹۱ و ۲۰۲۰



شکل ۳- نقشه کاربری اراضی محدوده شهری همدان و اطراف آن در سال‌های ۱۹۹۱ و ۲۰۲۰

بررسی وضعیت نقشه‌های کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه نشان داده است که در طی دوره زمانی ۲۹ ساله، نوع کاربری اراضی منطقه با تغییرات زیادی مواجه شده است به طوری که نواحی سکونتگاهی در سال ۱۹۹۱، ۲۸۷ کیلومتر مربع وسعت داشته است که این میزان در سال ۲۰۲۰ به ۴۷/۷ کیلومتر مربع افزایش یافته است. اراضی کشاورزی، در سال ۱۹۹۱ حدود ۴۹/۹ کیلومتر مربع وسعت داشته است که این میزان در سال ۲۰۲۰ به ۵۶ کیلومتر مربع افزایش یافته است. باغات در سال ۱۹۹۱ حدود ۴/۹ کیلومتر مربع وسعت داشته است که این میزان در سال ۲۰۲۰ به ۴/۲ کیلومتر مربع کاهش یافته است و همچنین مراتع نیز در سال ۱۹۹۱ حدود ۱۰۹/۷ کیلومتر مربع وسعت داشته است و این میزان در سال ۲۰۲۰ به ۸۵/۳ کیلومتر مربع کاهش یافته است. (جدول ۳). نتایج حاصله از تغییرات کاربری اراضی بیانگر این است که کاربری نواحی سکونتگاهی روند افزایشی زیادی داشته است که همین مسئله می‌تواند نقش مهمی در افزایش نرخ فرونشست منطقه داشته باشد. همچنین اراضی کشاورزی نیز بخش زیادی از وسعت منطقه را شامل می‌شوند و به علاوه روند افزایشی داشته است که این مسئله می‌تواند سبب تشدید فشار بر منابع آب زیرزمینی و فراهم آوردن شرایط برای فرونشست منطقه شود.

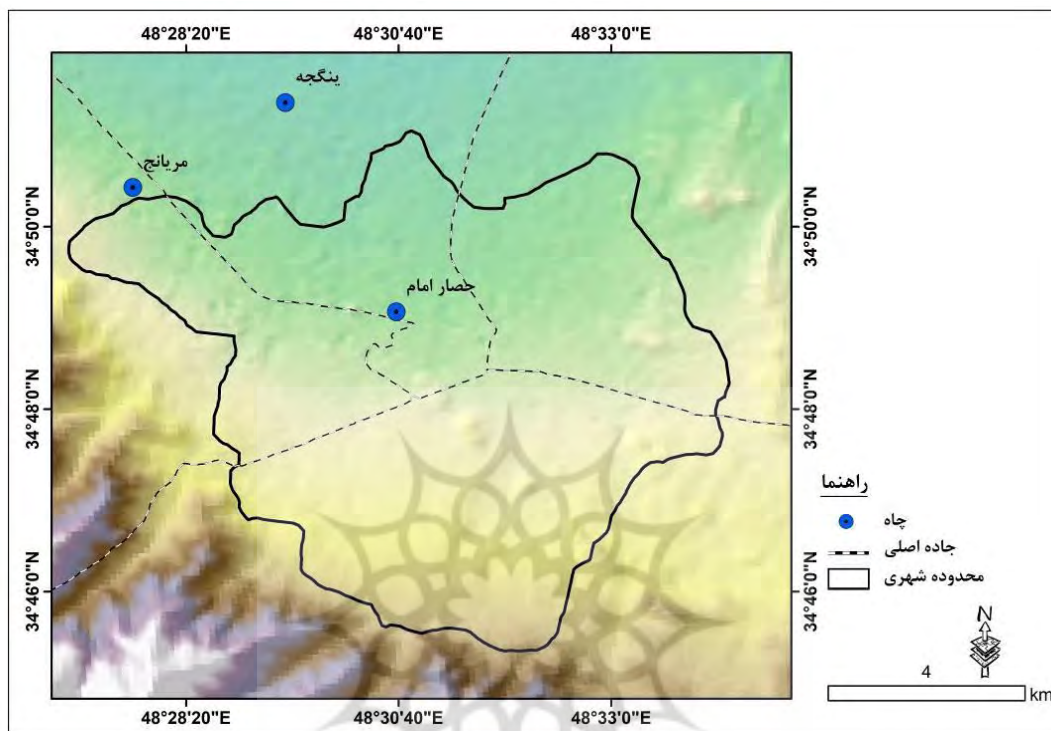
جدول ۳- مساحت کاربری‌های اراضی منطقه مورد مطالعه در سال‌های ۱۹۹۱ و ۲۰۲۰

کاربری اراضی	سکونتگاهی	کشاورزی	باغات	بایر و مراتع
۱۹۹۱	۲۸۷	۴۹/۹	۴/۹	۱۰۹/۷
۲۰۲۰	۴۷/۷	۵۶	۴/۲	۸۵/۳

### ۳-۲- بررسی وضعیت افت منابع آب زیرزمینی

یکی از عوامل اصلی در وقوع فرونشست، افت منابع آب زیرزمینی است. محدوده مطالعاتی در منطقه نیمه‌خشک قرار دارد و همین مسئله سبب شده است تا با کمبود منابع آب مواجه باشد. در کنار وضعیت اقلیمی منطقه، نبود موانع ژئومورفولوژیکی سبب توسعه اراضی کشاورزی، خصوصاً اراضی کشاورزی آبی در منطقه شده است که عامل اصلی بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی است. در واقع، کمبود منابع آب سطحی و توسعه اراضی کشاورزی در منطقه سبب بهره‌برداری بیش از حد از منابع آب زیرزمینی شده است که این مسئله باعث افت شدید منابع آب زیرزمینی در محدوده مطالعاتی شده است. با توجه به موارد مذکور، در این پژوهش به منظور بررسی وضعیت افت منابع آب زیرزمینی در منطقه، از اطلاعات مربوط به ۳ چاه پیزومتریک استفاده شده (شکل ۴) و میزان افت سطح آب در طی سال‌های ۱۳۷۱ تا ۱۳۹۶ محاسبه شده است. بر اساس نتایج حاصله، در طی دوره زمانی ۲۵ ساله، چاه ینگچه با ۲۲/۱ متر (میانگین افت سالانه ۰/۹ متر)، چاه مریانج با ۷/۴ متر (میانگین افت سالانه ۰/۳ متر) و چاه حصار امام با ۱۰/۵ متر

(میانگین افت سالانه ۰/۴ متر) افت آب مواجه شده است (جدول ۴) که این مسئله بیانگر افت زیاد منابع آب در منطقه و در نتیجه فراهم آمدن شرایط برای ایجاد مخاطره فرونشست است.



شکل ۴- نقشه موقعیت چاه‌های پیزومتری منطقه

جدول ۴- محاسبه میزان سطح آب زیرزمینی در چاه‌های پیزومتری منطقه (متر)

سال	یנגجه	مریانج	حصار امام
۱۳۷۱	۹/۲	۳/۹	۴/۳
۱۳۹۶	۳۱/۳	۱۱/۳	۱۴/۸
میزان افت سطح آب	۲۲/۱	۷/۴	۱۰/۵
میانگین افت سالانه (متر)	۰/۹	۰/۳	۰/۴

### ۳-۳- ارزیابی وضعیت فرونشست منطقه

بررسی وضعیت ژئومورفولوژی و اقلیمی موقعیت محدوده مطالعاتی نشان داده است که این محدوده پتانسیل بالایی از نظر وقوع مخاطره فرونشست دارد. بر این اساس، در این پژوهش با استفاده از تصاویر راداری سنتینل ۱ و همچنین مدل سری زمانی SBAS، به ارزیابی میزان فرونشست محدوده مطالعاتی در طی دوره زمانی سه‌ساله (از

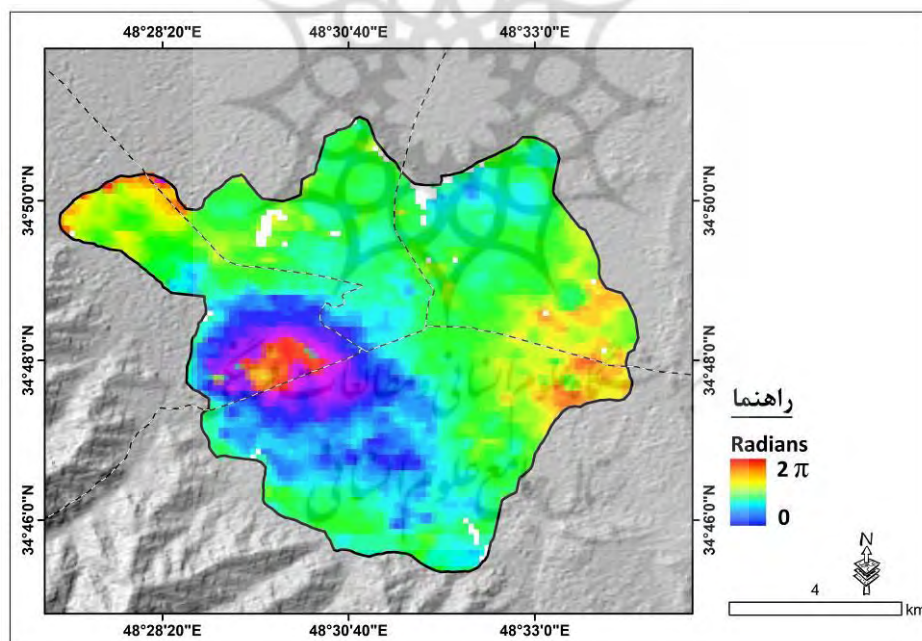
تاریخ ۲۰۱۷/۰۱/۰۵ تا ۲۰۲۰/۰۱/۱۴) پرداخته شده است. به منظور تهیه نقشه فروشست منطقه، پس از تهیه تصاویر موردنیاز، ابتدا زوج تصاویر موردنظر جهت تهیه نقشه‌های ایترفرگرام انتخاب شده است (جدول ۵).

جدول ۵- زوج تصاویر انتخابی برای تشکیل ایترفرگرام

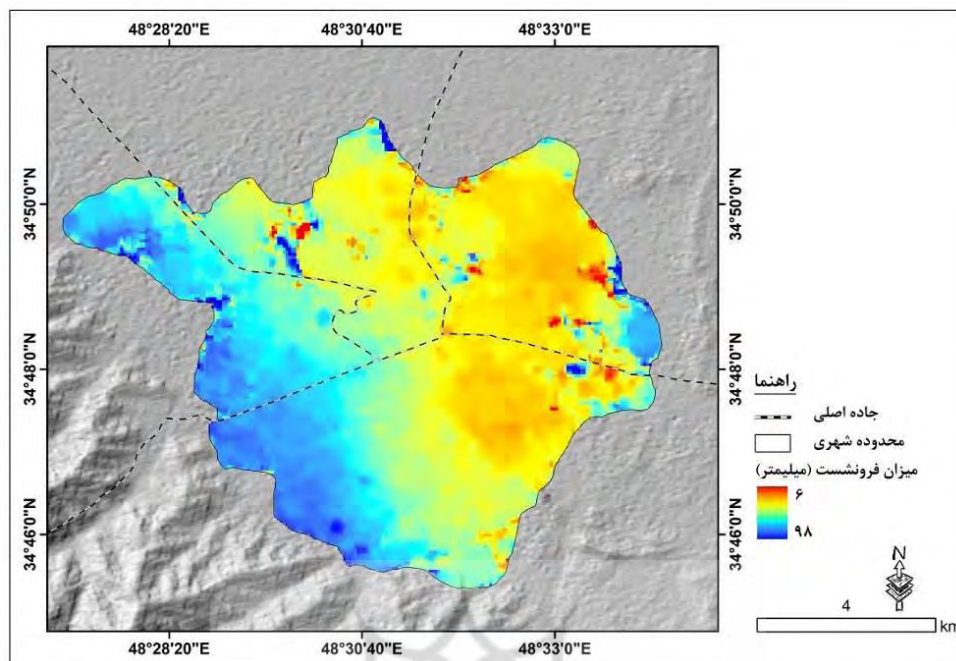
زوج تصاویر		ردیف	زوج تصاویر		ردیف
۲۰۱۸/۰۸/۰۴	-۲۰۱۸/۰۸/۲۸	۲۴	۲۰۱۷/۰۱/۰۵	-۲۰۱۷/۰۱/۲۹	۱
۲۰۱۸/۰۸/۲۸	-۲۰۱۸/۰۹/۲۱	۲۵	۲۰۱۷/۰۱/۲۹	-۲۰۱۷/۰۲/۲۲	۲
۲۰۱۸/۰۹/۲۱	-۲۰۱۸/۱۰/۱۵	۲۶	۲۰۱۷/۰۲/۲۲	-۲۰۱۷/۰۳/۱۸	۳
۲۰۱۸/۱۰/۱۵	-۲۰۱۸/۱۱/۰۸	۲۷	۲۰۱۷/۰۳/۱۸	-۲۰۱۷/۰۴/۱۱	۴
۲۰۱۸/۱۱/۰۸	-۲۰۱۸/۱۲/۰۲	۲۸	۲۰۱۷/۰۴/۱۱	-۲۰۱۷/۰۵/۰۵	۵
۲۰۱۸/۱۲/۰۲	-۲۰۱۸/۱۲/۲۶	۲۹	۲۰۱۷/۰۵/۰۵	-۲۰۱۷/۰۵/۲۹	۶
۲۰۱۸/۱۲/۲۶	-۲۰۱۹/۰۱/۱۹	۳۰	۲۰۱۷/۰۵/۲۹	-۲۰۱۷/۰۶/۲۲	۷
۲۰۱۹/۰۱/۱۹	-۲۰۱۹/۰۲/۱۲	۳۱	۲۰۱۷/۰۶/۲۲	-۲۰۱۷/۰۸/۰۹	۸
۲۰۱۹/۰۲/۱۲	-۲۰۱۹/۰۳/۰۸	۳۲	۲۰۱۷/۰۸/۰۹	-۲۰۱۷/۰۹/۰۲	۹
۲۰۱۹/۰۳/۰۸	-۲۰۱۹/۰۴/۰۱	۳۳	۲۰۱۷/۰۹/۰۲	-۲۰۱۷/۰۹/۲۶	۱۰
۲۰۱۹/۰۴/۰۱	-۲۰۱۹/۰۴/۲۵	۳۴	۲۰۱۷/۰۹/۲۶	-۲۰۱۷/۱۰/۲۰	۱۱
۲۰۱۹/۰۴/۲۵	-۲۰۱۹/۰۵/۱۹	۳۵	۲۰۱۷/۱۰/۲۰	-۲۰۱۷/۱۱/۱۳	۱۲
۲۰۱۹/۰۵/۱۹	-۲۰۱۹/۰۶/۱۲	۳۶	۲۰۱۷/۱۱/۱۳	-۲۰۱۷/۱۲/۰۷	۱۳
۲۰۱۹/۰۶/۱۲	-۲۰۱۹/۰۷/۰۶	۳۷	۲۰۱۷/۱۲/۰۷	-۲۰۱۷/۱۲/۳۱	۱۴
۲۰۱۹/۰۷/۰۶	-۲۰۱۹/۰۷/۳۰	۳۸	۲۰۱۷/۱۲/۳۱	-۲۰۱۸/۰۱/۲۴	۱۵
۲۰۱۹/۰۷/۳۰	-۲۰۱۹/۰۸/۲۳	۳۹	۲۰۱۸/۰۱/۲۴	-۲۰۱۸/۰۲/۱۷	۱۶
۲۰۱۹/۰۸/۲۳	-۲۰۱۹/۰۹/۱۶	۴۰	۲۰۱۸/۰۲/۱۷	-۲۰۱۸/۰۳/۱۳	۱۷
۲۰۱۹/۰۹/۱۶	-۲۰۱۹/۱۰/۱۰	۴۱	۲۰۱۸/۰۳/۱۳	-۲۰۱۸/۰۴/۰۶	۱۸
۲۰۱۹/۱۰/۱۰	-۲۰۱۹/۱۱/۰۳	۴۲	۲۰۱۸/۰۴/۰۶	-۲۰۱۸/۰۴/۳۰	۱۹
۲۰۱۹/۱۱/۰۳	-۲۰۱۹/۱۱/۲۷	۴۳	۲۰۱۸/۰۴/۳۰	-۲۰۱۸/۰۵/۲۴	۲۰
۲۰۱۹/۱۱/۲۷	-۲۰۱۹/۱۲/۲۱	۴۴	۲۰۱۸/۰۵/۲۴	-۲۰۱۸/۰۶/۱۷	۲۱
۲۰۱۹/۱۲/۲۱	-۲۰۲۰/۰۱/۱۴	۴۵	۲۰۱۸/۰۶/۱۷	-۲۰۱۸/۰۷/۱۱	۲۲
			۲۰۱۸/۰۷/۱۱	-۲۰۱۸/۰۸/۰۴	۲۳

پس از انتخاب زوج تصاویر موردنظر، نقشه‌های ایترفرگرام منطقه شده است (شکل ۵). پس از تهیه ایترفرگرام‌های موردنظر، با استفاده از روش سری زمانی SBAS، نقشه میزان فروشست محدوده مطالعاتی تهیه

شده است (شکل ۶). بر اساس نقشه تهیه شده، محدوده شهری همدان در طی دوره زمانی سه‌ساله (از تاریخ ۲۰۱۷/۰۱/۰۵ تا ۲۰۲۰/۰۱/۱۴)، بین ۶ تا ۹۸ میلی‌متر فرونشست داشته است. بررسی وضعیت پراکنش میزان فرونشست بیانگر این است که بیش‌ترین میزان فرونشست مربوط به مناطق غربی و سپس حاشیه شرقی و شمالی این شهر بوده است. با توجه به نتایج حاصله از نقشه‌های کاربری اراضی، افت منابع آب زیرزمینی و همچنین نقشه فرونشست منطقه، می‌تواند گفت که در طی سال‌های اخیر، بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی سبب افت شدید منابع آب زیرزمینی و فراهم آمدن شرایط برای ایجاد مخاطره فرونشست شده است. همچنین بر اساس نقشه‌های کاربری اراضی و اطلاعات جمعیتی سال‌های اخیر، شهر همدان با توسعه فیزیکی زیادی مواجه شده است که این مسئله سبب فشار سازه‌های انسانی بر زمین و در نتیجه تشدید میزان فرونشست شده است. با توجه به اینکه بیش‌ترین میزان توسعه فیزیکی شهر همدان در مناطق غربی این شهر بوده است و همچنین بیش‌ترین میزان فرونشست نیز مربوط به مناطق غربی بوده است، بنابراین می‌توان گفت که در کنار افت منابع آب زیرزمینی، توسعه فیزیکی شهر همدان نیز نقش مهمی در این میزان فرونشست داشته است.



شکل ۵- نمونه‌ای از اینترفروگرام‌های تهیه شده (زوج تصاویر ۲۰۱۷/۱۲/۳۱-۲۰۱۸/۰۱/۲۴)



شکل ۶- نقشه میزان فرونشست منطقه از تاریخ ۲۰۱۷/۰۱/۰۵ تا ۲۰۲۰/۰۱/۱۴

#### ۴- جمع بندی

مخاطره فرونشست در طی سال‌های اخیر، شهرهای زیادی از جمله شهرهای مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران را با چالش جدی مواجه کرده است. شهر همدان از جمله شهرهایی است که تحت تأثیر شرایط هیدرواقليمی و ژئومورفولوژیکی با این مخاطره مواجه شده است. نتایج بررسی وضعیت طبیعی شهر همدان نشان داده است که این شهر به دلیل میانگین بارش کم و توزیع نامناسب آن، با کمبود بارش و منابع آب سطحی مواجه است. از طرف دیگر، به دلیل قرار گرفتن در واحد دشت و همچنین نبود موانع ژئومورفولوژیکی، شرایط مناسبی جهت توسعه اراضی کشاورزی و توسعه فیزیکی نواحی سکونتگاهی دارد و همین مسئله سبب توسعه این کاربری‌ها (کاربری نواحی سکونتگاهی در طی دوره زمانی ۲۹ ساله حدود ۱۹ کیلومترمربع افزایش داشته است و کاربری اراضی کشاورزی حدود ۶ کیلومترمربع) در طی سال‌های اخیر شده است. در واقع، توسعه اراضی کشاورزی و بهره‌برداری بیش‌ازحد از منابع آب زیرزمینی سبب شده است تا میزان افت منابع آب زیرزمینی در محدوده شهری و حاشیه شهری همدان در حدود ۱ متر در سال باشد که این روند در بلندمدت سبب افت بیش‌ازحد منابع آبی در منطقه خواهد شد. با توجه به موارد مذکور، وقوع مخاطره فرونشست در شهر همدان قابل پیش‌بینی است و نتایج به دست آمده از محاسبه فرونشست محدوده شهری همدان در طی دوره زمانی سه‌ساله (از تاریخ ۲۰۱۷/۰۱/۰۵ تا ۲۰۲۰/۰۱/۱۴)، صحت این ادعا را تأیید می‌کند. بر اساس نتایج حاصله، محدوده شهری همدان، در طی دوره زمانی مورد مطالعه، بین ۶ تا ۹۸

میلی متر فرونشست داشته است که بیشترین میزان آن مربوط به مناطق غربی و سپس حاشیه شرقی و شمالی این شهر بوده است. با توجه به اینکه بیشترین میزان توسعه فیزیکی شهر همدان در طی سالهای اخیر، در مناطق غربی و حاشیه‌ای این شهر بوده است؛ بنابراین می‌توان گفت که توسعه فیزیکی شهر همدان به موازات افت منابع آب زیرزمینی، عامل اصلی فرونشست رخ داده بوده است. با توجه به موارد مذکور، لازم است تا اقدامات لازم جهت استفاده بهینه از منابع آب زیرزمینی و کنترل روند افت این منابع صورت گیرد.

#### کتابنامه

ابراهیمی، عطری؛ قاسمی، افشان؛ گنجائیان، حمید؛ ۱۳۹۹. پایش میزان فرونشست محدوده شهری پاکدشت با استفاده از روش تداخل سنجی راداری. *مجله جغرافیا و روابط انسانی*. دوره ۲. شماره ۴. صص ۴۱-۲۹.

<https://dorl.net/dor/20.1001.1.26453851.1399.2.4.3.1>

اسدی، معصومه؛ گنجائیان، حمید؛ جاودانی، مهناز؛ قادری‌حسب، مهدیه؛ ۱۴۰۰. ارزیابی ارتباط بین عوامل طبیعی و میزان فرونشست در دشت ایوانکی با استفاده از تصاویر راداری. *مجله هیدروژئولوژی*. سال ۶. شماره ۱. صص ۲۲-۱۳.

<https://doi.org/10.22034/HYDRO.2021.13016>

آمیغی، معصومه؛ عربی، سیاوش؛ طالبی، علی؛ ۱۳۸۸. بررسی فرونشست یزد با استفاده از روش تداخل سنجی راداری و ترازایی دقیق. *مجله علوم زمین*. سال ۲۰. شماره ۷۷. صص ۱۶۴-۱۵۷.

<https://doi.org/10.22071/gsj.2010.55368>

بابایی، سیدساسان؛ خزایی، صفا؛ قاصر مبارکه، فروزان؛ ۱۳۹۶. پردازش سری زمانی تداخل سنجی تصاویر راداری COSMO-SkyMed به منظور محاسبه نرخ فرونشست در محدوده سازه‌های زمینی و زیرزمینی در شهر تهران. *نشریه علوم و فنون نقشه‌برداری*. دوره ۷. شماره ۱. صص ۶۷-۵۵.

<http://jgst.issge.ir/article-1-482-fa.html>

خرمی، محمد؛ ۱۳۹۶. تخمین فرونشست مشهد با استفاده از تکنیک تداخل سنجی راداری و ارزیابی آن با توجه به مشخصات ژئوتکنیکی. *پایان‌نامه کارشناسی ارشد*. دانشگاه فردوسی. دانشکده مهندسی.

سازمان هواشناسی استان همدان؛ ۱۳۹۹. اطلاعات آماری مربوط به عناصر اقلیمی ایستگاه سینوپتیک همدان.

<http://www.sinamet.ir/indexdesktop.asp>

شریفی‌کیا، محمد؛ ۱۳۹۱. تعیین میزان فرونشست زمین به کمک روش تداخل سنجی راداری (D-InSAR) در دشت نوق-بهرمان. *مجله برنامه‌ریزی و آمایش فضا*. دوره ۱۶. شماره ۳. صص ۷۷-۵۵.

<https://www.sid.ir/paper/171911/fa>

صالحی متعهد، فهیمه؛ حافظی مقدس، ناصر؛ لشکری پور، غلامرضا؛ دهقانی، مریم؛ ۱۳۹۸. ارزیابی فرونشست زمین به کمک تلفیق روش تداخل سنجی راداری و اندازه‌گیری‌های میدانی و مطالعه دلایل و اثرات آن بر شهر مشهد. *نشریه زمین‌شناسی مهندسی*. سال ۱۳. شماره ۳. صص ۴۳۵-۴۶۲.

[https://jeg.khu.ac.ir/browse.php?a\\_id=2686&sid=1&slc\\_lang=fa&ftxt=0](https://jeg.khu.ac.ir/browse.php?a_id=2686&sid=1&slc_lang=fa&ftxt=0)

- صفری، امیر؛ جعفری، فرهاد؛ ۱۳۹۵. سنجش مقدار و پهنه‌بندی خطر فرونشست زمین با استفاده از روش تداخل سنجی راداری (مطالعه موردی: دشت کرج - شهریار). *فصلنامه علمی - پژوهشی و بین‌المللی انجمن جغرافیای ایران*. سال ۴. شماره ۴۸. صص ۱۷۵-۱۸۸. <https://www.sid.ir/paper/150233/fa>
- گنجائیان، حمید؛ ۱۳۹۹. مخاطرات ژئومورفولوژیک مناطق شهری. روش‌های مطالعه و راهکارهای کنترل آن. *انتشارات انتخاب*. ۱۴۴ صفحه. <https://www.gisoom.com/book/11628118>
- مرکز آمار کشور؛ ۱۳۹۵. گزارش اطلاعات جمعیتی استان همدان. <https://www.amar.org.ir/>
- مقصودی، یاسر؛ امانی، رضا؛ احمدی، حسن؛ ۱۳۹۸. بررسی رفتار فرونشست زمین در منطقه غرب تهران با استفاده از تصاویر سنجنده سنتینل ۱ و تکنیک تداخل سنجی راداری مبتنی بر پراکنش‌گرهای دائمی. *مجله تحقیقات منابع آب ایران*، سال ۱۵. شماره ۱. صص ۲۹۹-۳۱۳. [http://www.iwrr.ir/article\\_80494.html](http://www.iwrr.ir/article_80494.html)
- نصیری، علیرضا؛ شریفیان عطار، رضا؛ ۱۳۹۸. کاربرد تداخل سنجی رادار در مطالعه فرونشست، *انتشارات مهر جالبینوس*، ۲۹۴ صفحه. <https://ketab.ir/book/e8eab4a3-5f96-476b-93d7-2d88644ba992>
- Abir, I. A., Khan, S.D., Ghulam, A., Tariq, S., Shah, M.T. 2015. Active tectonics of western Potwar Plateau-Salt Range, northern Pakistan from InSAR observations and seismic imaging. *Remote Sensing of Environment*, 168: 265-275. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2015.07.011>
- Aimaiti, Y.; Yamazaki, F.; Liu, W. 2018. Multi-Sensor InSAR Analysis of Progressive Land Subsidence over the Coastal City of Urayasu, Japan. *Remote Sens*, 10 (8). <https://doi.org/10.3390/rs10081304>
- Bozzano, F., Esposito, C., Franchi, S., Mazzanti, P., Perissin, D., Rocca, A. 2015. Understanding the subsidence process of a quaternary plain by combining geological and hydrogeological modelling with satellite InSAR data: the acque albule plain case study. *Remote Sensing of Environment*. 168: 219-238. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2015.07.010>
- Bracegirdle, A., Mair, R., Hand Talor. N. 1993. Sub surface settlement profiles above Tunnels in clay, *Geo technique journal*, 43 (2): 315-320. <https://doi.org/10.1680/geot.1993.43.2.315>
- Chen.C., Wang.C., Chen Kuo. L. 2010. Correlation between groundwater level and variations in land subsidence area of the Choshuichi Alluvial Fan. Taiwan. *Engineering Geology*, 115 (2): 122-131. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2010.05.011>
- Dinh Ho. T. M., Le. V. T., Thuy. L. T. 2015. Mapping Ground Subsidence Phenomena in Ho Chi Minh City through the Radar Interferometry Technique Using ALOS PALSAR Data, *Remote Sensing*, 7 (7): 8543-8562. <https://doi.org/10.3390/rs70708543>
- Hanssen, R. F. 2001. Radar Interferometry: Data Interpretation and Error Analysis. Dordrecht. *Kluwer Academic Publishers*. <https://doi.org/10.1007/0-306-47633-9>
- Ho, D. T. D., Tran, C. Q., Nguyen, A. D. and Le, T. T. 2016. Measuring ground subsidence in Hanoi city by radar interferometry. *Science and Technology Development Journal*, 19 (2): 122-129. <https://doi.org/10.32508/stdj.v19i2.676>
- Huanyin, Y., Hanssen, R., Leijen, F. 2005. Marinkovicand, Land Subsidence Monitoring in City Area by Time Series Interferometric SAR Data, *National Natural Science Foundation of China*. KGW Project Report. <https://www.academia.edu/15197645>
- Nguyen Hao, Q., Takewaka, S. 2019. Detection of Land Subsidence in Nam Dinh Coast by Dinsar Analyses, *International Conference on Asian and Pacific Coasts*, pp: 1287-1294. [https://doi.org/10.1007/978-981-15-0291-0\\_175](https://doi.org/10.1007/978-981-15-0291-0_175)



- Zhao, Q., Ma. G., Wang. Q., Yang. T., Liu, M., Gao, W., Falabella, F., Mastro, P., Pepe, A. 2019. Generation of long-term InSAR ground displacement time-series through a novel multi-sensor data merging technique: The case study of the Shanghai coastal area, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, V 154: 10-27 [https:// doi.org/ 10.1016/ j. isprsjprs. 2019.05.005](https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2019.05.005)

