



## Estimating the subsidence rate of Eyvanakey Plain and analyzing the role of human activities in its occurrence

Amirali Abbaszadeh<sup>a</sup>, Amir Saffari<sup>b\*</sup>, Ali Ahmadabadi<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Ph.D student in geomorphology, University of Kharazmi, Tehran, Iran.

<sup>b</sup> Associate Professor in Geomorphology, University of Kharazmi, Tehran, Iran.

Received: 10 April 2024

Revised: 13 May 2024

Accepted: 14 June 2024

### Abstract

Land subsidence is a significant hazard affecting many plains of Iran, including the Eyvanakey Plain in Semnan Province. The Eyvanakey Plain has a high potential for subsidence due to the influence of climate and topography. Given the importance of this issue, the present research aims to evaluate land subsidence in the Eyvanakey Plain and analyze the factors contributing to its occurrence.

In this study, Sentinel-1 radar images, Landsat satellite imagery, and data from piezometric wells in the region were utilized as primary research data. The key tools employed include GMT, ArcGIS, ENVI, and SPSS software. The study was conducted in two main phases: first, an assessment of land subsidence in the region from 2016 to 2022, and second, an analysis of the impact of groundwater depletion and land use changes on subsidence.

The results indicate that the study area experienced subsidence ranging from 28 to 533 mm over the six-year period, which is a significant amount. Spatial analysis of the subsidence reveals that the highest rates occurred in the southern parts of the Eyvanakey Plain. These areas also experienced an annual drop in groundwater levels of approximately 2 meters, highlighting groundwater depletion as one of the primary causes of subsidence.

Furthermore, based on the results, the extent of man-made areas and agricultural lands increased by 6.9 km<sup>2</sup> and 2.7 km<sup>2</sup>, respectively, between 1992 and 2022. Given that the highest levels of subsidence were observed in these land use areas, the development of agricultural lands and man-made areas has been identified as the main cause of subsidence.

**Key words:** Land Subsidence, Groundwater Depletion, Eyvanakey Plain, Land Use changes, Sentinel-1 Radar Imagery, Spatial Analysis.

\*.Corresponding author: Amir Saffari

Email: saffari@khu.ac.ir

Tel: +989121870792


**How to cite this Article:** Abbaszadeh, A., Saffari, A., Ahmadabadi, A. (2024). Estimating the subsidence rate of Eyvanakey Plain and analyzing the Role of human activities in its occurrence. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 13(3), 35-55.





## برآورد نرخ فرونشست دشت ایوانکی و تحلیل نقش فعالیت‌های انسانی در وقوع آن

امیرعلی عباس زاده- دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

امیر صفاری<sup>۱</sup> - دانشیار ژئومورفولوژی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران 

علی احمدآبادی- دانشیار ژئومورفولوژی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱/۲۲ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۲/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۳/۲۵

### چکیده

فرونشست زمین مخاطره‌ای است که بسیاری از دشت‌های ایران از جمله دشت ایوانکی در استان سمنان را دربرگرفته است. دشت ایوانکی تحت تأثیر وضعیت اقلیمی و توپوگرافی، پتانسیل بالایی از نظر وقوع مخاطره فرونشست دارد. با توجه به اهمیت موضوع، در این پژوهش به برآورد وضعیت فرونشست دشت ایوانکی و تحلیل عوامل مؤثر در وقوع آن پرداخته شده است. در این تحقیق از تصاویر راداری سنتینل ۱، تصاویر ماهواره لندست و اطلاعات مربوط به چاه‌های پیژومتری منطقه به‌عنوان مهم‌ترین داده‌های تحقیق استفاده شده است. مهم‌ترین ابزارهای پژوهش، GMT، ArcGIS، ENVI و SPSS بوده است. با توجه به موضوع و اهداف مورد نظر، در این پژوهش ابتدا به ارزیابی وضعیت فرونشست منطقه در طی سال‌های ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۲ و سپس به ارزیابی تأثیر افت منابع آب زیرزمینی و تغییرات کاربری اراضی در فرونشست رخ داده پرداخته شده است. بر اساس نتایج حاصله، محدوده مطالعاتی در طی دوره زمانی ۶ ساله بین ۲۸ تا ۵۳۳ میلی‌متر فرونشست داشته که رقم قابل توجهی می‌باشد. آنالیز مکانی فرونشست رخ داده بیانگر این است که بیش‌ترین میزان فرونشست مربوط به مناطق جنوبی دشت ایوانکی بوده است که این مناطق نیز سالانه با افت سطح آب زیرزمینی حدود ۲ متر مواجه شده است، بر این اساس، یکی از دلایل فرونشست رخ داده، افت منابع آب زیرزمینی بوده است. همچنین بر اساس نتایج حاصله، کاربری نواحی انسان‌ساخت و اراضی کشاورزی در طی سال‌های ۱۹۹۲ تا ۲۰۲۲ به ترتیب با ۶/۹ و ۷/۲ کیلومتر مربع افزایش مواجه شده‌اند و با توجه به اینکه بیش-

ترین میزان فرونشست (بیش از ۵۰۰ میلی‌متر) در محدوده این کاربری‌ها بوده است، بنابراین توسعه اراضی کشاورزی و نواحی انسان‌ساخت، عامل اصلی وقوع فرونشست منطقه بوده است.

**کلیدواژه‌ها:** فرونشست زمین، کاهش منابع آب زیرزمینی، دشت ایوانکی، تغییرات کاربری اراضی، تصاویر راداری ستینل-۱، تحلیل مکانی.

#### ۱- مقدمه

امروزه روند افزایشی جمعیت و دخالت‌های نابجای انسان در محیط، زمینه را برای گسترش مخاطرات طبیعی فراهم آورده است (Ganjaeian, 2019). از جمله مخاطرات طبیعی که در طی سال‌های اخیر بسیاری از جوامع را درگیر کرده است، مخاطره فرونشست است (Delinom et al., 2009). بنا به تعریف سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده، فرونشست عبارت است از فروریزش و یا نشست سطح زمین که به علت‌های متفاوتی در مقیاس بزرگ روی می‌دهد (Amighpey, Arabi & Talebi, 2010). فرونشست زمین مسئله‌ای جهانی و پدیده‌ای مورفولوژیکی است (Hsieh et al., 2011). این پدیده متأثر از فعالیت‌های انسانی و عوامل طبیعی است که ممکن است مبدل به مخاطره و تهدیدی برای انسان و دستاوردهای انسانی شود (Saffari, Jafari & Tavakoli, 2018). فرونشست زمین وابسته به وضعیت زمین‌شناسی، اقلیمی و هیدروژئومورفولوژی مناطق است و عوامل انسانی مانند برداشت از منابع آب زیرزمینی و سازه‌های انسانی نقش تشدیدکننده دارند (Li et al., 2023; Hasibuan et al., 2023).

مناطق مختلفی از جهان تحت تأثیر وضعیت طبیعی و عوامل انسانی، در معرض مخاطره فرونشست قرار دارند (Malik, Kumar, Perissin & Pradhan, 2022; Jiang et al., 2023). وضعیت هیدرواقلمی ایران سبب شده است تا بخش‌های زیادی از آن در معرض این مخاطره باشند. در واقع، با توجه به اینکه بخش زیادی از وسعت ایران را مناطق خشک و نیمه‌خشک دربرگرفته است و این مناطق با کمبود منابع آب سطحی مواجه هستند، بنابراین این مناطق در معرض فرونشست قرار دارند. از جمله مناطقی که در معرض مخاطره فرونشست هستند، دشت‌های استان سمنان از جمله دشت ایوانکی است. بررسی‌های اولیه صورت گرفته و همچنین گزارش‌های ارائه شده از سوی سازمان‌های مختلف نشان داده است که دشت ایوانکی با مخاطره

فرونشست مواجهه است و اثرات آن به صورت ترک خوردگی اراضی کشاورزی، ترک خوردگی سازه‌های انسانی و غیره نمایان شده است. با توجه به اهمیت موضوع و اثرات زیانبار فرونشست، لازم است تا به بررسی مخاطره فرونشست در این دشت پرداخته شود که در این پژوهش به این مهم پرداخته شده است.

در ارتباط با موضوع موردمطالعه تحقیقات مختلفی در سطح ایران و جهان صورت گرفته است که از جمله آن‌ها می‌توان به کیم و همکاران (Kim, Kim, Kim, Won & Moon, 2007) اشاره کرد که با استفاده از روش سری زمانی PSI، میزان فرونشست منطقه شهری بوسان را ۳۰ میلی‌متر در سال برآورد کرده‌اند. بزانو و همکاران (Bozzano et al., 2015) با استفاده از روش تداخل‌سنجی راداری، میزان فرونشست دشت آکه آلبو را حدود ۸۰ میلی‌متر در سال برآورد کرده‌اند. چن و همکاران (Chen et al., 2015) با استفاده از روش سری زمانی PSI، به ارزیابی میزان فرونشست شهر پکن پرداختند. دالیو و توسی (Da Lio & Tosi, 2018) به ارزیابی فرونشست زمین در دشت ساحلی فریولی ایتالیا پرداختند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داده است که میزان فرونشست این دشت بیش از ۵ میلی‌متر در سال بوده است. بخارائی و همکاران (Bokhari et al., 2023) با استفاده از روش سری زمانی PSI، میزان فرونشست زمین در شهر گوآدار<sup>۲</sup> پاکستان را در طی دوره زمانی ۲ ساله بین ۳۲ تا ۹۲ میلی‌متر فرونشست برآورد کرده‌اند. خان و همکاران (Khan, Faiz, Gadea & Ahmad, 2023) با استفاده از روش تداخل‌سنجی راداری، میزان فرونشست در حوضه پیشاور پاکستان را حدود ۳/۲۳ سانتی‌متر در سال برآورد کرده‌اند. در ایران نیز صفاری و همکاران (Saffari et al., 2018) با استفاده از روش سری زمانی SBAS، فرونشست سالانه دشت شهریار-کرج را در طی سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۰، ۱۳۶ میلی‌متر برآورد کرده‌اند. بابایی و همکاران (Babaei, Khazaei & Qasere Mobarakeh, 2017) با استفاده از روش‌های PS و SBAS، نشان دادند که در قسمت جنوب غربی شهر تهران و در مناطق شهرداری ۹، ۱۷، ۱۸، ۱۹ و ۲۱ فرونشست معناداری در فاصله زمانی این یک سال اتفاق افتاده است. اصغری سراسکانرود و محمدزاده شیشه‌گران (Asghari Saraskanroud & Mohamadzadeh Shishegaran, 2021) با استفاده از روش تداخل‌سنجی راداری، ماکزیمم میزان فرونشست زمین در دشت شهریار حدود ۱۱/۵ سانتی-

<sup>1</sup> Acque Albule

<sup>2</sup> Gwadar

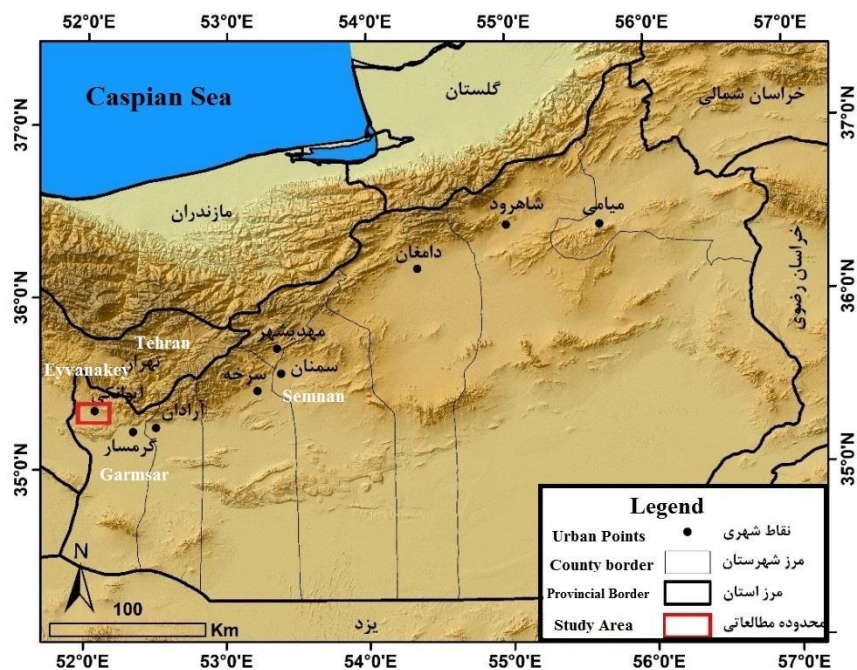
متر در سال برآورد کرده‌اند. قره‌چلو و همکاران (Gharechelou, Akbari Ghoochani, Golian & Ganji, 2021) با استفاده از روش تداخل‌سنجی راداری، ماکزیمم میزان فرونشست زمین در دشت مشهد را حدود ۲۰ سانتی‌متر در سال برآورد کرده‌اند. اسدی و همکاران (Asadi, Ganjaeian, Javedani & Ghaderi Hasab, 2021) به ارزیابی میزان فرونشست دشت ایوانکی با استفاده از تصاویر راداری پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داده است که دشت ایوانکی در طی سال‌های ۲۰۱۶ تا ۲۰۱۸ ماکزیمم ۳۳ سانتی‌متر فرونشست داشته است. حسین‌زاده و همکاران (Hosseinzadeh, Akbari, Javanshiri & Mohammadpour, 2023) با استفاده از روش تداخل‌سنجی راداری، میزان فرونشست زمین در دشت مرکزی شهرستان قائن را بین ۲/۶ تا ۷/۸ سانتی‌متر در سال برآورد کرده‌اند. محرابی و همکاران (Mehrabi, Karimi & Khalesi, 2023) با استفاده از روش تداخل‌سنجی راداری نشان دادند که میزان فرونشست دشت جیرفت از ۱۱ سانتی‌متر در سال ۲۰۱۴ به ۱۳ سانتی‌متر در سال ۲۰۲۲ افزایش یافته است. در راستای تحقیقات پیشین صورت گرفته، هدف از این پژوهش، برآورد وضعیت فرونشست دشت ایوانکی و تحلیل عوامل مؤثر در وقوع آن است. در این تحقیق بر خلاف تحقیقات پیشین از جمله اسدی و همکاران (Asadi et al., 2021) دوره زمانی ۶ ساله در نظر گرفته شده است و علاوه بر محاسبه نرخ فرونشست، ارتباط آن با افت منابع آب زیرزمینی و تغییرات کاربری اراضی نیز ارزیابی و تحلیل شده است.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- منطقه مورد مطالعه

محدوده مطالعاتی تحقیق حاضر شامل دشت ایوانکی در غرب استان سمنان است. دشت ایوانکی با حدود ۴۰۰ کیلومترمربع وسعت، از نظر تقسیمات سیاسی در محدوده شهرستان گرمسار قرار دارد و مهم‌ترین شهر این دشت، شهر ایوانکی است (شکل ۱). دشت ایوانکی از سمت شمال به دامنه‌های جنوبی البرز و از سمت جنوب به واحد تپه‌ماهور منتهی می‌شود. دشت ایوانکی از نظر ارتفاعی در بین طبقه ارتفاعی حدود ۱۰۰۰ تا ۱۱۰۰ متری از سطح دریا قرار دارد. همچنین این دشت از نظر اقلیمی جزء مناطق خشک تا نیمه‌خشک

محسوب می‌شود به طوری که متوسط بارندگی ایستگاه باران‌سنجی ایوانکی در طی دوره ۲۳ ساله، ۱۴۵ میلی-متر بوده است (Ebadati, 2015).



شکل ۱- نقشه موقعیت منطقه مورد مطالعه

Fig.1. Location map of the study area

## ۲-۲- روش انجام پژوهش

در این تحقیق از تصاویر راداری سنتینل ۱، تصاویر ماهواره لندست و اطلاعات مربوط به چاه‌های پیژومتری منطقه به عنوان مهم‌ترین داده‌های تحقیق استفاده شده است. مهم‌ترین ابزارهای پژوهش، GMT<sup>۱</sup> (به منظور تهیه نقشه فرانشست)، ArcGIS (به منظور تهیه نقشه‌های مورد نظر)، ENVI (به منظور تهیه نقشه کاربری اراضی) و SPSS (به منظور انجام محاسبات مورد نظر) بوده است. با توجه به موضوع و اهداف مورد نظر، این پژوهش در چند مرحله انجام شده است که در ادامه به تشریح آن‌ها پرداخته شده است:

<sup>1</sup> Generic Mapping Tools

مرحله اول (ارزیابی میزان فرونشست منطقه): در این مرحله با استفاده از تصاویر سنتینل ۱ مربوط به دوره زمانی ۶ ساله (ژانویه ۲۰۱۶ تا ژانویه ۲۰۲۲) و با استفاده روش سری زمانی SBAS، میزان فرونشست دشت ایوانکی محاسبه شده است. در این مرحله از ۶۱ تصاویر راداری استفاده شده است (جدول ۱). تصاویر مورد استفاده دارای حالت مداری صعودی، نوع JW، فرمت SLC و پولاریزاسیون VV هستند پس از تهیه تصاویر، به‌منظور پردازش تصاویر از سیستم عامل لینوکس<sup>۱</sup> و نرم‌افزار GMT استفاده شده است که برای این منظور در مرحله اول پیش‌پردازش‌های لازم بر روی تصاویر شامل تصحیحات مداری، حذف خطای توپوگرافی و فیلتر تصاویر انجام شده است، همچنین در این مرحله آستانه همبستگی تصاویر ۰/۲ تعریف شده است. پس از انجام پیش‌پردازش‌های لازم، بر مبنای بیس‌لاین<sup>۲</sup> زمانی تصاویر نقشه‌های اینترفروگرام منطقه تهیه شده است. در این پژوهش ابتدا میزان جابجایی سالانه محاسبه شده است و در نهایت جابجایی کلی صورت گرفته از سال ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۲ محاسبه شده است.

#### جدول ۱- تاریخ تصاویر راداری مورد استفاده

Table 1- Date of the radar images used

ردیف	تاریخ	ردیف	تاریخ	ردیف	تاریخ	ردیف	تاریخ
Num.	Date	Num.	Date	Num.	Date	Num.	Date
1	2016.01.06	17	2017.10.15	32	2019.03.27	47	2020.09.17
2	2016.02.23	18	2017.11.20	33	2019.05.02	48	2020.10.23
3	2016.03.18	19	2017.12.26	34	2019.06.07	49	2020.11.28
4	2016.04.11	20	2018.01.19	35	2019.07.13	50	2021.01.03
5	2016.05.29	21	2018.02.24	36	2019.08.18	51	2021.02.08
6	2016.07.04	22	2018.04.01	37	2019.09.23	52	2021.03.16
7	2016.09.02	23	2018.05.07	38	2019.10.29	53	2021.04.21
8	2016.10.20	24	2018.06.12	39	2019.12.04	54	2021.05.27
9	2016.12.07	25	2018.07.18	40	2020.01.09	55	2021.07.02
10	2017.01.24	26	2018.08.23	41	2020.02.14	56	2021.08.07
11	2017.03.01	27	2018.09.28	42	2020.03.21	57	2021.09.12

<sup>1</sup> Linux

<sup>2</sup> Baseline



2021.10.18	58	2020.04.26	43	2018.11.03	28	2017.04.06	12
2021.11.23	59	2020.06.01	44	2018.12.09	29	2017.05.12	13
2021.12.17	60	2020.07.07	45	2019.01.14	30	2017.06.29	14
2020.01.10	61	2020.08.12	46	2019.02.19	31	2017.08.04	15
						2017.09.09	16

مرحله دوم (تحلیل ارتباط فرونشست منطقه با افت منابع آب زیرزمینی): در این مرحله با استفاده از اطلاعات مربوط به وضعیت افت سطح آب چاه‌های دشت ایوانکی، میزان تغییرات این چاه‌ها محاسبه شده و سپس نقشه وضعیت افت سطح آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه تهیه شده است. در این مرحله ابتدا اطلاعات مربوط به ۱۳ چاه پیزومتری در محدوده مطالعاتی تهیه شده و سپس با استفاده از نرم‌افزار SPSS میزان افت سالانه هر چاه محاسبه شده است. پس از محاسبه میزان افت سالانه هر چاه، با استفاده از روش درونیایی Spilne (بر اساس مطالعات کتابخانه‌ای صورت گرفته، این روش تناسب بیشتری برای این موضوع دارد) و از طریق نرم‌افزار ArcGIS، نقشه افت سالانه آب زیرزمینی منطقه تهیه شده است. پس از تهیه نقشه میزان افت سالانه آب زیرزمینی منطقه، با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون، ارتباط افت منابع آب زیرزمینی با فرونشست منطقه ارزیابی شده است.

مرحله سوم (تحلیل ارتباط فرونشست منطقه با تغییرات کاربری اراضی): در این مرحله با استفاده از تصاویر ماهواره لندست (جدول ۲)، نقشه‌های کاربری اراضی منطقه در طی سال‌های ۱۹۹۲ تا ۲۰۲۲ تهیه شده است و پس از ارزیابی تغییرات کاربری اراضی، به تحلیل ارتباط آن‌ها با فرونشست منطقه پرداخته شده است. در این مرحله ابتدا نقشه‌های کاربری اراضی منطقه مربوط به سال‌های ۱۹۹۲، ۲۰۰۲، ۲۰۱۲ و ۲۰۲۲ تهیه شده است. پس از تهیه تصاویر، پیش‌پردازش‌های لازم شامل تصحیحات هندسی و تصحیحات رادیومتریک بر روی تصاویر انجام شده است و سپس با استفاده از روش حداکثر احتمال<sup>۱</sup>، نقشه‌های کاربری اراضی منطقه تهیه شده است. پس از تهیه نقشه‌های کاربری اراضی و آنالیز تغییرات صورت گرفته، به ارزیابی وضعیت فرونشست زمین در هر کاربری و ارتباط تغییرات کاربری اراضی با میزان فرونشست رخ داده پرداخته شده است.

<sup>1</sup> Maximum Likelihood





## جدول ۲- مشخصات تصاویر مورد استفاده

Table 2- Specifications of the images used

ردیف	تاریخ	ماهواره	سنجنده
Num.	Date	Satellite	Sensor
1	1992	Landsat 5	TM
2	2002	Landsat 5	TM
3	2012	Landsat 7	ETM
4	2022	Landsat 8	OLI

## ۳- نتایج و بحث

## ۳-۱- ارزیابی میزان فرونشست منطقه در طی سالهای ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۲

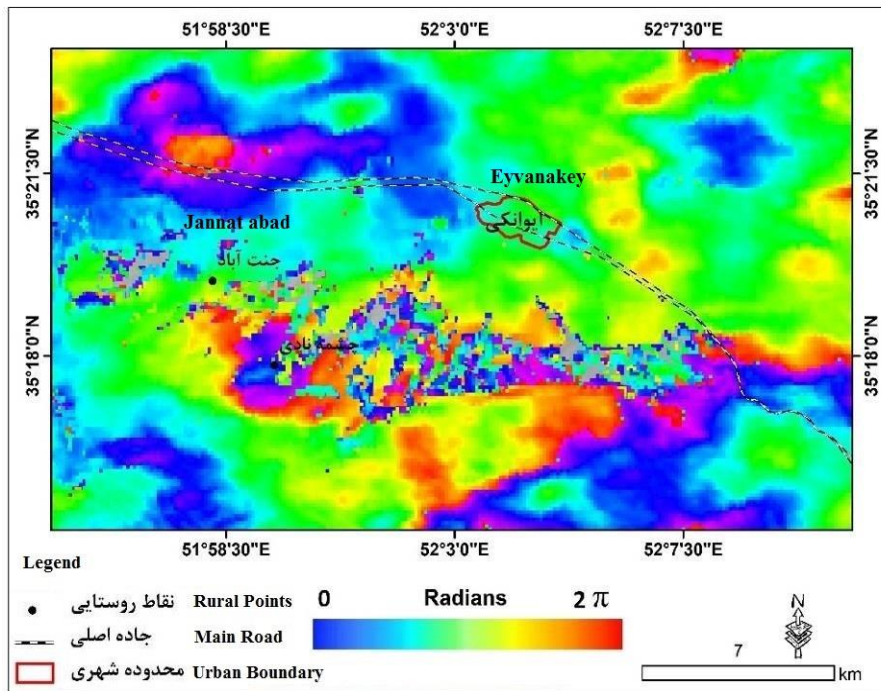
در این پژوهش به منظور ارزیابی فرونشست منطقه از تاریخ ۲۰۱۶/۰۱/۰۶ تا ۲۰۲۲/۰۱/۱۰ از ۶۱ تصویر راداری استفاده شده است و بر اساس بیس‌لاین زمانی، ۶۰ زوج تصویر به منظور تهیه نقشه‌های اینترفروگرام انتخاب شده است (جدول ۳). پس از انتخاب زوج تصاویر، اینترفروگرام‌های مورد نظر در این بازه زمانی تهیه شده است (شکل ۲).

## جدول ۳- زوج تصاویر انتخاب شده جهت تهیه نقشه‌های اینترفروگرام

Table 3- Selected image pairs for generating interferogram maps

شماره	زوج تصاویر	شماره	زوج تصاویر	شماره	زوج تصاویر	شماره
Num.	Image pair	Num.	Image pair	Num.	Image pair	Num.
1	2016.01.06 2016.02.23	21	2018.02.24 2018.04.01	41	2020.02.14 2020.03.21	
2	2016.02.23 2016.03.18	22	2018.04.01 2018.05.07	42	2020.03.21 2020.04.26	
3	2016.03.18 2016.04.11	23	2018.05.07 2018.06.12	43	2020.04.26 2020.06.01	
4	2016.04.11 2016.05.29	24	2018.06.12 2018.07.18	44	2020.06.01 2020.07.07	
5	2016.05.29 2016.07.04	25	2018.07.18 2018.08.23	45	2020.07.07 2020.08.12	
6	2016.07.04 2016.09.02	26	2018.08.23 2018.09.28	46	2020.08.12 2020.09.17	
7	2016.09.02 2016.10.20	27	2018.09.28 2018.11.03	47	2020.09.17 2020.10.23	
8	2016.10.20 2017.12.07	28	2018.11.03 2018.12.09	48	2020.10.23 2020.11.28	
9	2016.12.07 2017.01.24	29	2018.12.09 2019.01.14	49	2020.11.28 2021.01.03	
10	2017.01.24 2017.03.01	30	2019.01.14 2019.02.19	50	2020.11.28 2021.01.03	
11	2017.03.01 2017.04.06	31	2019.02.19 2019.03.27	51	2021.01.03 2021.02.08	
12	2017.04.06 2017.05.12	32	2019.03.27 2019.05.02	52	2021.02.08 2021.03.16	
13	2017.05.12 2017.06.29	33	2019.05.02 2019.06.07	53	2021.03.16 2021.04.21	

2021.04.21	2021.05.27	54	2019.06.07	2019.07.13	34	2017.06.29	2017.08.14	14
2021.05.27	2021.07.02	55	2019.07.13	2019.08.18	35	2017.08.04	2017.09.09	15
2021.08.07	2021.09.12	56	2019.08.18	2019.09.23	36	2017.09.09	2017.10.15	16
2021.09.12	2021.10.18	57	2019.09.23	2019.10.23	37	2017.10.15	2017.11.20	17
2021.10.18	2021.11.23	58	2019.10.29	2019.12.04	38	2017.11.20	2017.12.26	18
2021.11.23	2021.12.17	59	2019.12.04	2020.01.09	39	2017.12.26	2018.01.19	19
2021.12.17	2022.01.10	60	2020.01.09	2020.02.14	40	2018.01.19	2018.02.24	20

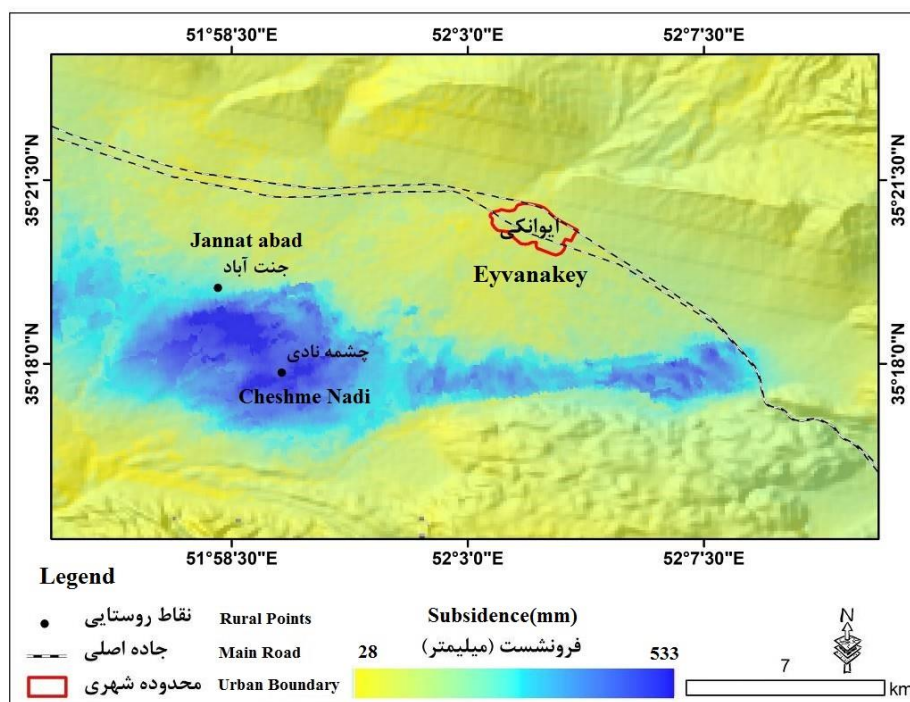


شکل ۲- نمونه‌ای از نقشه اینترفروگرام‌های منطقه (زوج تصویر ۲۰۱۶/۰۷/۰۴ - ۲۰۱۶/۰۵/۲۹)

**Fig.2.** An example of interferogram maps of the area (image pair 2016.05.29 – 2016.07.04)

پس از تهیه نقشه‌های اینترفروگرام منطقه، با استفاده از روش سری زمانی SBAS، نقشه میزان فرونشست منطقه از تاریخ ۲۰۱۶/۰۱/۰۶ تا ۲۰۲۲/۰۱/۱۰ تهیه شده است. بر اساس نتایج حاصله، محدوده مطالعاتی در طی دوره زمانی ۶ ساله بین ۲۸ تا ۵۳۳ میلی‌متر فرونشست داشته که رقم قابل توجهی است. بر این اساس می‌توان گفت که دشت ایوانکی به‌طور متوسط سالانه حدود ۸ سانتی‌متر فرونشست دارد که این مسئله بیانگر بحرانی بودن و در معرض مخاطره بوده این دشت است. همچنین نتایج بررسی وضعیت پراکنش مکانی

فرونشست رخ داده بیانگر این است که بیشترین میزان فرونشست مربوط به مناطق جنوبی دشت ایوانکی و بیشتر در حدفاصل روستاهای جنت‌آباد و چشمه نادری بوده است (شکل ۳).



شکل ۳- نقشه تجمعی فرونشست منطقه از تاریخ ۲۰۱۶/۰۱/۰۶ تا ۲۰۲۲/۰۱/۱۰

Fig.3. Cumulative subsidence map of the area from the date 2016.01.06 to 2022.01.10

### ۲-۳- بررسی وضعیت افت منابع آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه

یکی از مهم‌ترین عوامل وقوع فرونشست، افت منابع آب زیرزمینی است. در واقع، در طی سال‌های اخیر روند افزایشی جمعیت و استفاده بیش از حد از منابع آب زیرزمینی سبب افت سطح منابع آب زیرزمینی شده و همین مسئله زمینه را برای وقوع فرونشست در بسیاری از دشت‌های کشور از جمله دشت ایوانکی فراهم آورده است. در این پژوهش به منظور بررسی وضعیت افت سطح آب‌های زیرزمینی دشت ایوانکی از اطلاعات سازمان آب و منطقه‌ای استان سمنان استفاده شده است که برای این منظور میزان افت سطح آب ۱۳ چاه محاسبه شده است (جدول ۴). بر اساس نتایج حاصله، بیشترین میانگین افت سالانه آب زیرزمینی با ۱/۹۵ متر مربوط به چاه برج حیدر (چاه شماره ۸) بوده است. بعد از این چاه نیز چاه‌های شمال مزرعه

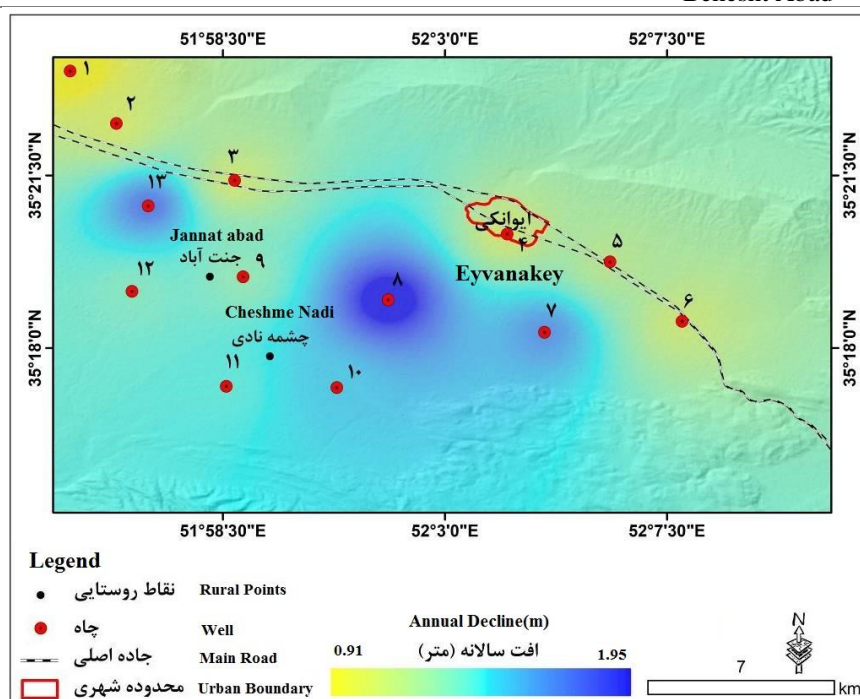
بهشت‌آباد (چاه شماره ۱۳) و چاه باغ دانش (چاه شماره ۷) به ترتیب با میانگین افت سالانه ۱/۷۵ و ۱/۵۱ متر، دارای بیش‌ترین میزان افت آب زیرزمینی بوده‌اند. همچنین کم‌ترین میانگین افت سالانه آب زیرزمینی با ۰/۹۱ متر مربوط به چاه چنداب (چاه شماره ۱) بوده است. در این پژوهش پس از محاسبه میانگین افت سالانه چاه‌های منطقه مورد مطالعه، به منظور تهیه نقشه میزان افت سطح آب در منطقه مورد مطالعه، اطلاعات مربوطه وارد نرم‌افزار ArcGIS شده و سپس با استفاده از روش درونیابی Spline نقشه میزان افت سالانه سطح آب زیرزمینی در این دشت تهیه شده است (شکل ۴) که بر اساس آن بیش‌ترین میزان افت آب زیرزمینی مربوط به مناطق جنوبی دشت ایوانکی بوده است.

#### جدول ۴- موقعیت و میانگین افت سالانه چاه‌های منطقه مورد مطالعه

Table-4 Location and average annual decline of wells in the study area

میانگین افت سالانه (متر) Average annual decline	سطح آب در سال ۱۳۹۸ Water level in the year 2019	سطح آب در سال مبنا Water level in the base year	دوره زمانی Time period	موقعیت محلی Local location	موقعیت در نقشه Location on the map
0.91	144	120	1993-2019	چنداب Chandab	1
1.06	89	61	1993-2019	باغ اناری Bagh Anari	2
1.08	100	72	1993-2019	پمپ‌بنزین Fuel pump	3
1.07	170	142	1993-2019	پارک بخش‌داری Park	4
1.14	136	118	1993-2019	جهادآباد Jahad Abad	5
1.09	71	43	1993-2019	سیالک Sialk	6
1.51	122	96	1993-2019	باغ دانش Garden	7
1.95	142	91	1993-2019	برج حیدر Borj Heydar	8
1.23	64	32	1993-2019	جنت‌آباد Jannat Abad	9
1.4	42	6	1993-2019	شرق چشمه نادى East of Cheshme Nadi	10

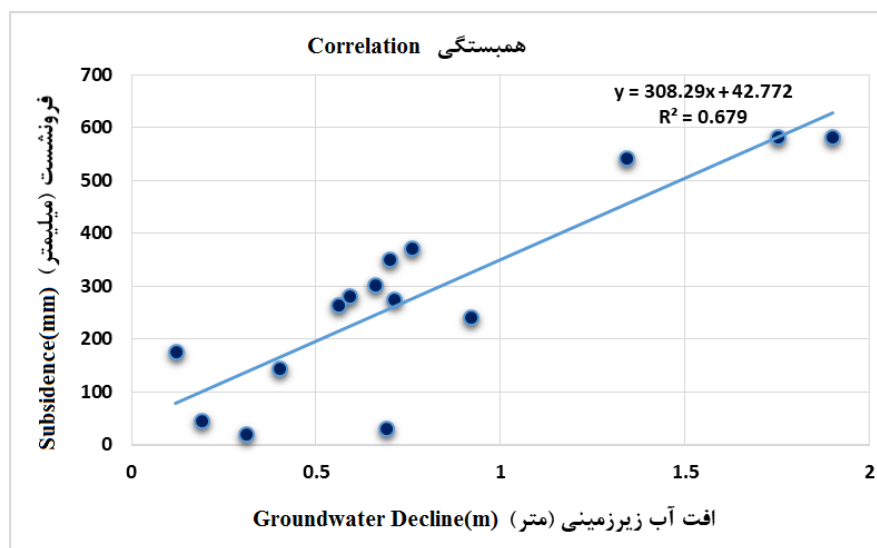
1.31	38	4	1993-2019	جنوب چشمه نادى South of Nadi Cheshme	11
1.26	37	4	1993-2019	جنوب بهشت آباد South of Behesht Abad	12
1.57	78	51	2002-2019	شمال مزرعه بهشت آباد Northth of Behesht Abad	14



شکل ۴- نقشه درونیابی شده افت آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه

Fig.4. The interpolated map of groundwater decline in the study area

پس از نقشه درونیابی افت منابع آب زیرزمینی، به منظور ارزیابی ارتباط بین میزان فرونشست منطقه با افت سطح آب چاه‌های مورد مطالعه، همبستگی بین آن‌ها محاسبه شده است که نتایج یافته‌ها بیانگر ارتباط قوی و مثبت (۰/۶۸) بین آن‌ها می‌باشد (شکل ۵). با توجه به نتایج به دست آمده، یکی از عوامل اصلی در وقوع فرونشست منطقه، افت منابع آب زیرزمینی بوده است.



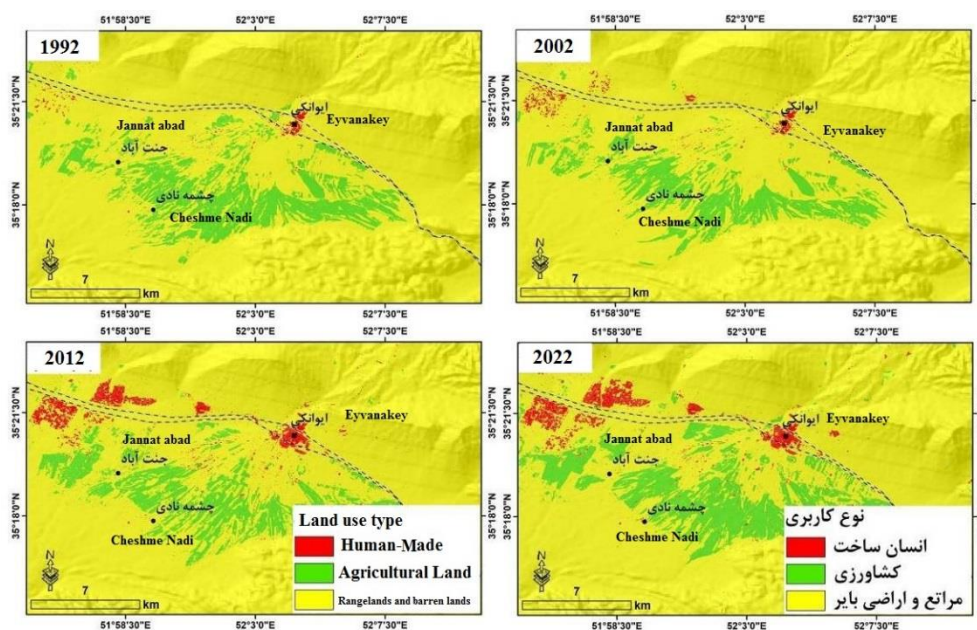
شکل ۵- نمودار وضعیت همبستگی بین افت سطح آب چاه‌ها با میزان فرورانشست زمین

Fig.5. Graph of correlation between groundwater level decline and subsidence rate

### ۳-۳- ارزیابی روند تغییرات کاربری اراضی در منطقه مورد مطالعه

با توجه به اینکه یکی از عوامل مؤثر در وقوع فرورانشست، تغییرات کاربری اراضی است. در این بخش به بررسی روند تغییرات کاربری اراضی محدود مطالعاتی و ارتباط آن با فرورانشست منطقه پرداخته شده است. در این پژوهش به منظور بررسی تغییرات کاربری اراضی محدوده مطالعاتی از تصاویر ماهواره لندست مربوط به سال‌های ۱۹۹۲، ۲۰۰۲، ۲۰۱۲ و ۲۰۲۲ استفاده شده است. پس از تهیه تصاویر مورد نظر و انجام تصحیحات و پیش‌پردازش‌های لازم، نقشه کاربری اراضی محدوده مطالعاتی در طی سال‌های ۱۹۹۲ تا ۲۰۲۲ تهیه شده است (شکل ۶). بر اساس نقشه‌های تهیه شده، بخش زیادی از وسعت محدوده را مراتع و سپس اراضی کشاورزی دربرگرفته است.





شکل ۶- نقشه کاربری اراضی منطقه در طی سال‌های ۱۹۹۲ تا ۲۰۲۲

Fig.6. Land use map of the area from 1992 to 2022

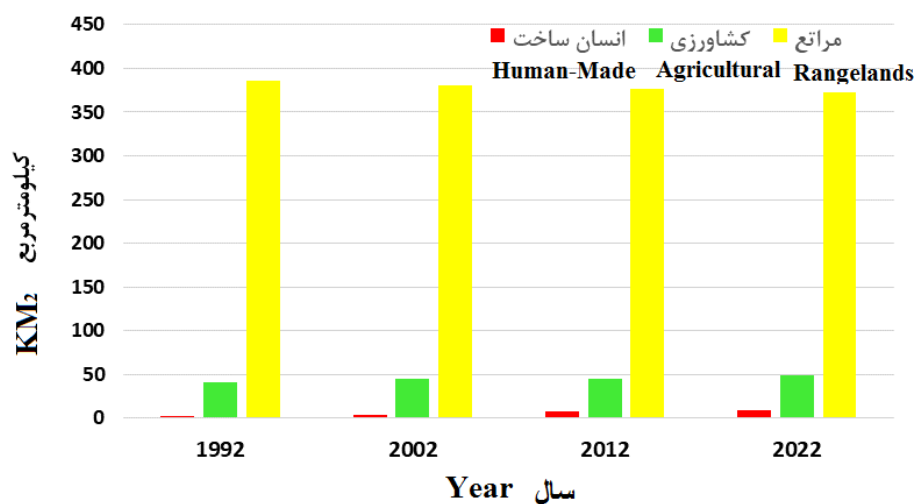
بررسی نقشه‌های کاربری اراضی محدوده مطالعاتی نشان داده است که این محدوده در طی سال‌های اخیر با تغییرات زیادی مواجه شده است. بر اساس نتایج حاصله، کاربری نواحی انسان‌ساخت در سال ۱۹۹۲، ۱/۷ کیلومترمربع وسعت داشته است که این میزان در طی سال‌های ۲۰۰۲، ۲۰۱۲ و ۲۰۲۲ به ترتیب به ۳/۸، ۷/۵ و ۸/۶ کیلومترمربع افزایش یافته است که این مسئله بیانگر روند توسعه این کاربری در طی سال‌های اخیر بوده است. کاربری اراضی کشاورزی در سال ۱۹۹۲، ۴۱/۳ کیلومترمربع وسعت داشته است که این میزان در طی سال‌های ۲۰۰۲، ۲۰۱۲ و ۲۰۲۲ به ترتیب به ۴۴/۷، ۴۵/۲ و ۴۸/۵ کیلومترمربع افزایش یافته است که این مسئله بیانگر این است که کاربری اراضی کشاورزی نیز در طی سال‌های اخیر دارای روند افزایشی بوده است. کاربری مراتع و اراضی بایر در سال ۱۹۹۲، ۳۸۶/۲ کیلومترمربع وسعت داشته است که این میزان در طی سال‌های ۲۰۰۲، ۲۰۱۲ و ۲۰۲۲ به ترتیب به ۳۸۰/۷، ۳۷۶/۵ و ۳۷۲/۱ کیلومترمربع کاهش یافته است (جدول ۵ و شکل ۷). با توجه به نتایج حاصله، کاربری نواحی انسان‌ساخت و اراضی کشاورزی در طی سال‌های ۱۹۹۲ تا ۲۰۲۲ به ترتیب با ۶/۹ و ۷/۲ کیلومترمربع افزایش یافته مواجه شده‌اند و کاربری مراتع و اراضی بایر با ۱۴/۱ کیلومترمربع کاهش مواجه شده است. مجموع نتایج حاصله از این بخش نشان داده است که تحت

تأثیر روند افزایشی جمعیت، روند توسعه فیزیکی نواحی سکونتگاهی و انسان‌ساخت افزایش یافته که این مسئله باعث افزایش فشار بر زمین و تشدید فروروشست در منطقه شده است. همچنین روند توسعه اراضی کشاورزی نیز سبب افزایش میزان بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی و در نتیجه وقوع فروروشست در دشت ایوانکی شده است. در شکل ۸ تصویر از اثرات فروروشست در دشت ایوانکی نشان داده شده است.

جدول ۵- مساحت کاربری‌های اراضی محدوده مطالعاتی در طی سال‌های ۱۹۹۲ تا ۲۰۲۲ برحسب کیلومتر مربع

**Table 5-**The area of Land use types within the study area from 1992 to 2022 (km<sup>2</sup>)

ردیف	نوع کاربری	1992	2002	2012	2022
Row	Land use Type				
1	سکونتگاهی و انسان‌ساخت Human-Made	1.7	3.8	7.5	8.6
2	کشاورزی Agricultural	41.3	44.7	45.2	48.5
3	مراتع و اراضی بایر Rangelands and barren lands	386.2	380.7	376.5	372.1



شکل ۷- نمودار مساحت کاربری‌های اراضی محدوده مطالعاتی در طی سال‌های ۱۹۹۲ تا ۲۰۲۲

Fig.7. Graph of the area of land use types within the study area from 1992 to 2022

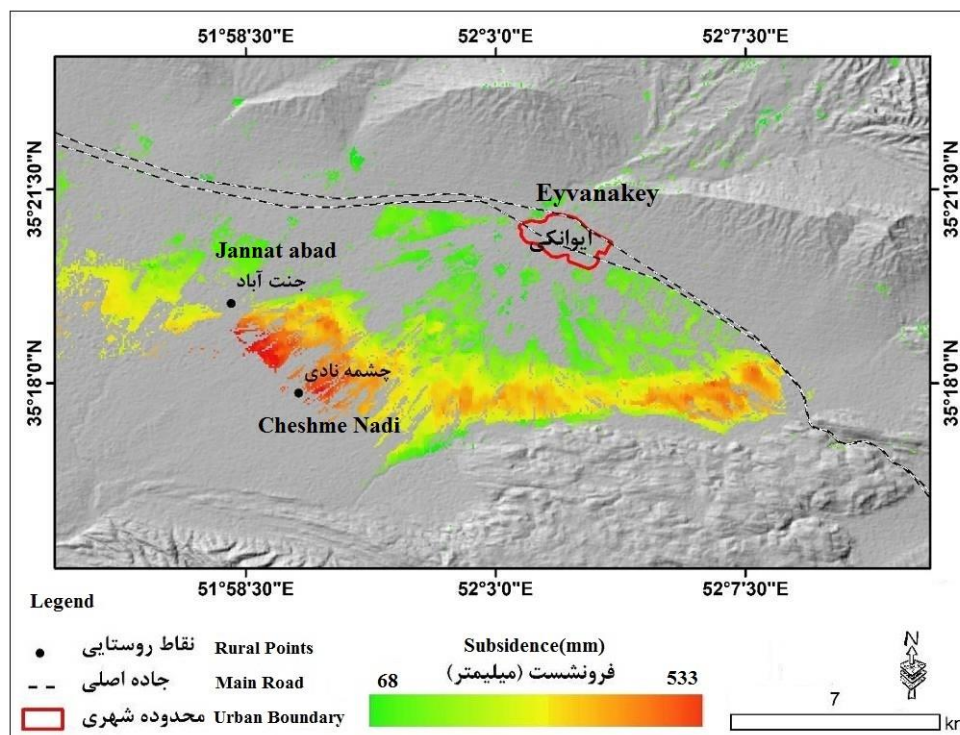


شکل ۸- تصویر از اثرات فرونشست در دشت ایوانکی

**Fig.8.** A picture of the effects of subsidence in the Eyvanakey Plain

مجموع نتایج حاصله از این بخش نشان داده است که تحت تأثیر روند افزایش جمعیت، روند توسعه فیزیکی نواحی سکونتگاهی و انسان‌ساخت افزایش یافته که این مسئله باعث افزایش فشار بر زمین و تشدید فرونشست در منطقه شده است. همچنین روند توسعه اراضی کشاورزی نیز سبب افزایش میزان بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی و در نتیجه وقوع فرونشست در دشت ایوانکی شده است. در این پژوهش به منظور ارزیابی ارتباط میزان فرونشست رخ داده در محدوده مطالعاتی با نوع کاربری‌های اراضی، وضعیت فرونشست رخ داده در هر کاربری محاسبه شده است. به منظور انجام این کار، ابتدا لایه اطلاعاتی هر کاربری (کاربری سال ۲۰۲۲) جدا شده و سپس نقش فرونشست آن کاربری (بر اساس نقشه تجمعی فرونشست منطقه در طی سال‌های ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۲) استخراج شده است. بررسی وضعیت میزان فرونشست رخ داده در کاربری مراتع و اراضی بایر نشان داده است که میزان فرونشست این کاربری در طی سال‌های ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۲ بین ۲۸ تا ۴۷۹ میلی‌متر بوده است. بررسی وضعیت میزان فرونشست رخ داده در کاربری نواحی انسان‌ساخت نشان داده است که میزان فرونشست این کاربری در طی سال‌های ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۲ بین ۵۱ تا ۵۰۳ میلی‌متر بوده است. همچنین نتایج ارزیابی میزان فرونشست رخ داده در کاربری اراضی کشاورزی نشان داده است که میزان فرونشست این کاربری در طی سال‌های ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۲ بین ۶۸ تا ۵۳۳ میلی‌متر بوده است (شکل ۹). بر این اساس می‌توان گفت مناطقی که دارای کاربری اراضی کشاورزی هستند، دارای بیش‌ترین میزان فرونشست هستند و بنابراین بین نوع کاربری کشاورزی و فرونشست رخ داده، ارتباط مستقیمی وجود دارد؛ بنابراین

می‌توان گفت که دلیل اصلی فرونشست منطقه، کاربری اراضی کشاورزی بوده است؛ چراکه این کاربری به‌طور مستقیم سبب افزایش بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی و در نتیجه وقوع مخاطره فرونشست شده است.



شکل ۹- نقشه میزان فرونشست کاربری اراضی کشاورزی در طی سال‌های ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۲

Fig.9. Map of land subsidence rates in agricultural land use from 2016 to 2022

#### ۴- نتیجه‌گیری

موقعیت قرارگیری دشت ایوانکی سبب شده است تا این دشت پتانسیل فرونشست بالایی داشته باشد. در این پژوهش با استفاده از تصاویر راداری سنتینل ۱ و روش سری زمانی SBAS، میزان فرونشست منطقه در طی سال‌های ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۲ ارزیابی شده است. بر اساس نتایج حاصله، محدوده مطالعاتی در طی دوره زمانی ۶ ساله بین ۲۸ تا ۵۳۳ میلی‌متر فرونشست داشته که رقم قابل‌توجهی است. بر این اساس می‌توان گفت که دشت ایوانکی به‌طور متوسط سالانه حدود ۸ سانتی‌متر فرونشست دارد که این مسئله بیانگر بحرانی بودن و در معرض مخاطره بوده این دشت است. همچنین نتایج بررسی وضعیت پراکنش مکانی فرونشست رخ داده

بیانگر این است که بیشترین میزان فرونشست مربوط به مناطق جنوبی دشت ایوانکی و بیشترین در حدفاصل روستاهای جنت آباد و چشمه نادری بوده است. در این پژوهش به منظور بررسی عوامل مؤثر در فرونشست رخ داده، به بررسی وضعیت افت منابع آب زیرزمینی و تغییرات کاربری اراضی در دشت ایوانکی پرداخته شده است. بر اساس نتایج حاصله، میانگین سالانه افت آب چاه‌های پیژومتری منطقه بین ۰/۹۱ تا ۱/۹۵ متر بوده است و بر اساس نقشه تهیه شده، بیشترین میزان افت سطح آب زیرزمینی، مربوط به مناطق جنوبی دشت ایوانکی بوده است. نتایج همبستگی بین میزان فرونشست منطقه با افت سطح آب چاه‌های مورد مطالعه، بیانگر ارتباط بین قوی و مثبت (۰/۶۸) بین آن‌ها می‌باشد. بر این اساس، همانند دشت کرج-شهریار (Saffari et al., 2018) و دشت مشهد (Gharechelou et al., 2021)، یکی از عوامل اصلی در وقوع فرونشست منطقه، افت منابع آب زیرزمینی بوده است. همچنین نتایج تغییرات کاربری اراضی نشان داده است که کاربری نواحی انسان‌ساخت و اراضی کشاورزی در طی سال‌های ۱۹۹۲ تا ۲۰۲۲ به ترتیب با ۶/۹ و ۷/۲ کیلومتر مربع افزایش یافته مواجه شده‌اند و کاربری مراتع و اراضی بایر با ۱۴/۱ کیلومتر مربع کاهش مواجه شده است. با توجه به اینکه بیشترین میزان فرونشست مربوط به کاربری اراضی کشاورزی و نواحی انسان‌ساخت بوده است؛ بنابراین می‌توان گفت که همانند دشت همدان (Ganjaeian, Asadi, Menbari & Ebrahimi, 2023)، تحت تأثیر روند افزایشی جمعیت، روند توسعه فیزیکی نواحی سکونتگاهی و انسان‌ساخت افزایش یافته که این مسئله باعث افزایش فشار بر زمین و تشدید فرونشست در منطقه شده است. همچنین روند توسعه اراضی کشاورزی نیز سبب افزایش میزان بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی و در نتیجه وقوع فرونشست در دشت ایوانکی شده است.

## References

- Amighpey, M., Arabi, S., & Talebi, A. (2010). Studying Yazd Subsidence Using InSAR and Precise Leveling. *Scientific Quarterly Journal of Geosciences*, 20(77), 157-164. [In Persian] <https://doi.org/10.22071/gsj.2010.55368>
- Asadi, M., Ganjaeian, H., Javedani, M., & Ghaderi Hasab, M. (2021). Evaluation of the Relationship between Natural Factors and Subsidence in Ivanaki Plain Using Radar Imaging. *Hydrogeology*, 6(1), 13-22. [In Persian] <https://doi.org/10.22034/hydro.2021.13016>
- Asghari Saraskanroud, S., & Mohamadzadeh Shishegaran, M. (2021). Estimation of subsidence using radar interferometry technique and groundwater parameters and land use (Case study: shahryar plain). *Quantitative Geomorphological Research*, 10(1), 40-54. [In Persian] <https://doi.org/10.22034/gmpj.2021.258196.1229>
- Babaei, S., Khazaei, S., & Qasere Mobarakeh, F. (2017). Interferometric Processing Time Series COSMO-SkyMed Pictures to Calculate Subsidence Rate of the Ground and Underground Structures. *Journal of Geomatics Science and Technology*, 7(1), 55-67. [In Persian] <http://dorl.net/dor/20.1001.1.2322102.1396.7.1.5.5>
- Bokhari, R., Shu, H., Tariq, A., Al-Ansari, N., Guluzade, R., Chen, T., ... & Aslam, M. (2023). Land subsidence analysis using synthetic aperture radar data. *Heliyon*, 9(3), e14690. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e14690>
- Bozzano, F., Esposito, C., Franchi, S., Mazzanti, P., Perissin, D., Rocca, A., & Romano, E. (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>
- Chen, B., Gong, H., Li, X., Lei, K., Ke, Y., Duan, G., & Zhou, C. (2015). Spatial correlation between land subsidence and urbanization in Beijing, China. *Natural Hazards*, 75, 2637-2652. <https://doi.org/10.1007/s11069-014-1451-6>
- Da Lio, C., & Tosi, L. (2018). Land subsidence in the Friuli Venezia Giulia coastal plain, Italy: 1992–2010 results from SAR-based interferometry. *Science of the Total Environment*, 633, 752-764. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.244>
- Delinom, R. M., Assegaf, A., Abidin, H. Z., Taniguchi, M., Suherman, D., Lubis, R. F., & Yulianto, E. (2009). The contribution of human activities to subsurface environment degradation in Greater Jakarta Area, Indonesia. *Science of the Total Environment*, 407(9), 3129-3141. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.10.003>
- Ebadati, N. (2015). Trend assessment of changes in water quality plain Eyvanakey. *Iranian Journal of Ecohydrology*, 2(4), 383-394. [In Persian] <https://doi.org/10.22059/ije.2015.58064>
- Ganjaeian, H. (2019). *Geomorphological hazards of urban areas, study methods and control strategies*. Tehran: EnteKhab Publishing. [In Persian]
- Ganjaeian, H., Asadi, M., Menbari, F., & Ebrahimi, A. (2023). Analysis of Subsidence Status in Hamedan Urban Area using Radar and Satellite Images. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 11(4), 221-236. [In Persian] <https://doi.org/10.22067/geoh.2022.76383.1217>



- Gharechelou, S., Akbari Ghoochani, H., Golian, S., & Ganji, K. (2021). Evaluation of land subsidence relationship with groundwater depletion using Sentinel-1 and ALOS-1 radar data (Case study: Mashhad plain). *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 12(3), 40-61. [In Persian] <https://doi.org/10.30495/girs.2021.680336>
- Hasibuan, H. S., Tambunan, R. P., Rukmana, D., Permana, C. T., Elizandri, B. N., Putra, G. A. Y., ... & Ristya, Y. (2023). Policymaking and the spatial characteristics of land subsidence in North Jakarta. *City and Environment Interactions*, 18, 100103. <https://doi.org/10.1016/j.cacint.2023.100103>
- Hosseinzadeh, S. R., Akbari, E., Javanshiri, M., & Mohammadpour, Z. (2023). Spatial Analysis of Ground Subsidence using Radar Interferometry (Case Study: Central Plain of Ghaen City). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 11(4), 99-126. [In Persian] <https://doi.org/10.22067/geoh.2022.75138.1169>
- Hsieh, C. S., Shih, T. Y., Hu, J. C., Tung, H., Huang, M. H., & Angelier, J. (2011). Using differential SAR interferometry to map land subsidence: a case study in the Pingtung Plain of SW Taiwan. *Natural Hazards*, 58, 1311-1332. <https://doi.org/10.1007/s11069-011-9734-7>
- Jiang, C., Liu, D., Jiang, C., Wang, Q., Sadat-Noori, M., & Li, H. (2023). Tracing groundwater discharge into a coal mining subsidence lake in eastern China: Observations from water stable ( $\delta D$  and  $\delta^{18}O$ ) and radon ( $^{222}Rn$ ) isotope. *Applied Geochemistry*, 156, 105757. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2023.105757>
- Khan, S. D., Faiz, M. I., Gadea, C. A., & Ahmad, A. (2023). Study of land subsidence by radar interferometry and hot spot analysis techniques in the Peshawar Basin, Pakista. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 26 (1), 173-184. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2023.02.001>
- Kim, J. S., Kim, D. J., Kim, S. W., Won, J. S., & Moon, W. M. (2007). Monitoring of urban land surface subsidence using PSInSAR. *Geosciences Journal*, 11, 59-73. <https://doi.org/10.1007/BF02910381>
- Li, W., Wang, Y., Wang, G., Liang, Y., Li, C., & Svenning, J.C. (2023). How do rotifer communities respond to floating photovoltaic systems in the subsidence wetlands created by underground coal mining in China? *Journal of Environmental Management*, 339, 117816. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.117816>
- Malik, K., Kumar, D., Perissin, D., & Pradhan, B. (2022). Estimation of ground subsidence of New Delhi, India using PS-InSAR technique and Multi-sensor Radar data. *Advances in Space Research*, 69(4), 1863-1882. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2021.08.032>
- Mehrabi, A., Karimi, S., & Khalesi, M. (2023). Spatial Analysis of Jiroft Plain Subsidence Using the Coherence Pixel Technique (CPT). *Geography and Environmental Planning*, 34(1), 99-116. [In Persian] <https://doi.org/10.22108/gep.2022.133667.1525>
- Saffari, A., Jafari, F., & Tavakoli Sabour, S. (2018). Monitoring its land subsidence and its relation to groundwater harvesting Case study: Karaj Plain - Shahriar. *Quantitative Geomorphological Research*, 5(2), 82-93. [In Persian] <https://dorl.net/dor/20.1001.1.22519424.1395.5.2.6.8>