

ارزیابی میزان فرونشست شهر ایذه و تحلیل عوامل مؤثر در وقوع آن

DOR: 20.1001.1.23453915.1403.13.1.3.4

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۴/۰۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۲۱

سعید ملکی^{۱*}، اعظم ابراهیمی^۲

۱- استاد، گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران (malekis@scu.ac.ir)

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

چکیده

امروزه مخاطره فرونشست به‌عنوان یک مخاطره طبیعی بسیاری از شهرها از جمله شهر ایذه را در بر گرفته است. با توجه به اینکه فرونشست با اثرات منفی زیادی برای نواحی سکونتگاهی همراه است، در این پژوهش به ارزیابی میزان فرونشست دشت ایذه و تحلیل عوامل مؤثر در وقوع آن پرداخته شده است. در این پژوهش از تصاویر ماهواره‌های لندست، تصاویر راداری سنتینل ۱، مدل رقومی ارتفاعی ۳۰ متر SRTM و اطلاعات کتابخانه‌ای به‌عنوان داده‌های تحقیق استفاده شده است. مهم‌ترین ابزارهای تحقیق ArcGIS، ENVI، IDRISI، GMT و مدل‌های مورد استفاده در تحقیق شامل مدل حداکثر احتمال، مدل LCM و مدل SBAS بوده است. این تحقیق در دو مرحله کلی انجام شده است که در مرحله اول، به ارزیابی فرونشست منطقه با استفاده از روش سری زمانی SBAS پرداخته شده و در مرحله دوم با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست، روند توسعه کاربری‌های انسان‌ساخت و نواحی سکونتگاهی ارزیابی شده است. بر اساس نتایج حاصله، شهر ایذه در طی دوره زمانی ۲ ساله (از تاریخ ۲۰۲۰/۱۰/۱۰ تا ۲۰۲۲/۰۱/۱۵) بین ۱۳ تا ۶۸ میلی‌متر فرونشست داشته است که بیش‌ترین میزان آن مربوط به مناطق جنوبی و جنوب شرقی این شهر بوده است. همچنین نتایج این تحقیق نشان داده است که نواحی سکونتگاهی و انسان‌ساخت شهری و حاشیه شهری ایذه در طی سال‌های ۱۹۹۲ تا ۲۰۲۲ با ۷/۲ کیلومترمربع افزایش مواجه شده است و با توجه به اینکه بیش‌ترین میزان فرونشست نیز مربوط به این مناطق بوده است. همچنین بر اساس مطالعات صورت گرفته در دشت ایذه، این دشت سالانه با تخلیه ۸/۱۴ میلیون مترمکعب آب زیرزمینی مواجه است. مجموع نتایج حاصله نشان داده است که عوامل انسانی توسعه کاربری‌های انسان‌ساخت و افت منابع آب زیرزمینی سبب شده است تا شهر ایذه، خصوصاً مناطق جنوبی و جنوب شرقی آن در معرض مخاطره فرونشست باشد.

واژه‌های کلیدی: فرونشست، SBAS، شهر ایذه

Evaluation of the Subsidence Rate of Izeh City and Analysis of Factors Influencing Its Occurrence

Saeed Maleki^{1*}, Azam Ebrahimi²

1. Prof., Dept. of Geography and Urban Planning, Faculty of Letters and Humanities, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran (malekis@scu.ac.ir)

2. MSc. Student, Dept. of Geography and Urban Planning, Faculty of Letters and Humanities, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

Abstract

Nowadays, the risk of subsidence as a natural risk has covered many cities, including Izeh city. Considering that subsidence is associated with many negative effects for residential areas, in this research, the amount of subsidence in the Izeh Plain and the analysis of factors influencing its occurrence have been evaluated. In this research, Landsat satellite images, Sentinel 1 radar images, SRTM 30 meters high digital model and library information were used as research data. The most important research tools are ArcGIS, ENVI, IDRISI and GMT. The models used in the research included maximum likelihood model, LCM model and SBAS model. This research has been done in two general stages, in the first stage, the subsidence of the region was evaluated using the SBAS time series method, and in the second stage, using Landsat satellite images, the development process of man-made uses and areas A settlement has been evaluated. According to the results, the city of Izeh has subsided between 13 and 68 mm during a period of 2 years (from 2020/10/01 to 2022/15/01), the highest amount of which is related to the southern and southern regions. It was east of this city. Also, the results of this research have shown that the residential and man-made urban areas and urban outskirts of Izeh have encountered an increase of 7.2 square kilometers during the years 1992 to 2022, and considering that the highest amount of subsidence is also related to this has been areas. Also, based on the studies conducted in Izeh Plain, this plain is faced with the annual discharge of 14.8 Million Cubic Meters of underground water. The total results have shown that human factors, the development of man-made uses and the decline of underground water resources have caused the city of Izeh, especially its southern and southeastern regions, to be at risk of subsidence.

Keywords: Subsidence, SBAS, Izeh City.

حاشیه شهری ایذه و همچنین تحلیل عوامل مؤثر در وقوع آن پرداخته شده است.

فرونشست در بسیاری از نقاط دنیا از جمله شهرهای پرجمعیت، سبب بروز خسارات زیادی شده است [۷] طوری که رخداد فرونشست در بیش از ۱۵۰ شهر مهم جهان گزارش شده است و مخاطره فرونشست به عنوان مخاطره پیش‌روی بسیاری از کشورها از جمله ایران مطرح شده است [۸]. در ایران فرونشست زمین، پیشینه سی و چند ساله دارد و برخلاف دوره‌های گذشته که تنها در استان‌های کرمان و یزد محسوس بود، هم‌اکنون در بسیاری از استان‌های کشور از جمله تهران، خراسان، اصفهان، فارس و همدان نیز به عنوان یک مخاطره جدی مطرح شده است. با توجه به اهمیت مخاطره فرونشست، در ارتباط با این موضوع تحقیقات مختلفی صورت گرفته است. مطالعات انجام شده در ارتباط با فرونشست نواحی مختلف نشان داده است که بسیاری از شهرها در معرض این مخاطره قرار دارند.

بر اساس مطالعات پیشین صورت گرفته از سوی [۹]، [۱۰] و [۱۱] به ترتیب شهرهای هو چی مین، همدان و مشهد از جمله شهرهای در معرض مخاطره فرونشست هستند. همچنین بسیاری از تحقیقات مانند [۱۲] در مکزیکوسیتی، [۱۳] در شهر سیاتل، [۱۴] در دالیان چین، [۱۵] در دهلی، نشان داده است که فرونشست تبدیل به مخاطره شده و اثرات آن در سکونتگاه‌ها و تأسیسات شهری نمایان شده است. بیش‌تر تحقیقات پیشین صورت گرفته بر اساس روش تداخل‌سنجی راداری و سری زمانی SBAS انجام شده است و در بسیاری از تحقیقات (مانند [۱۶-۱۷-۱۸-۱۹-۲۰-۲۱])، بر کاربردی بودن و صحت نتایج حاصله از روش سری زمانی SBAS تأکید شده است. در راستای تحقیقات پیشین، هدف از این پژوهش ارزیابی میزان فرونشست

در طی سال‌های اخیر، روند افزایشی جمعیت باعث استفاده و فشار بیش‌ازحد بر منابع طبیعی شده است و همین مسئله زمینه را برای بروز مخاطرات طبیعی از جمله فرونشست فراهم آورده است [۱]. فرونشست زمین عبارت است از فروریزش و یا نشست سطح زمین که به علت‌های متفاوتی در مقیاس بزرگ روی می‌دهد [۲]. 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. به‌طور معمول این اصطلاح به حرکت قائم رو به پایین سطح زمین که می‌تواند با بردار اندک افقی همراه باشد، گفته می‌شود [۳]. فرونشست زمین مسئله‌ای جهانی و پدیده‌ای مورفولوژیکی است. این پدیده متأثر از فعالیت‌های انسانی و عوامل طبیعی است که ممکن است مبدل به مخاطره و تهدیدی برای انسان و دستاوردهای انسانی شود [۴] فرونشست می‌تواند تحت تأثیر عوامل طبیعی و انسانی باشد. از جمله عوامل طبیعی می‌توان به ریزش زمین در محل سنگ‌های انحرال پذیر، آتش‌فشان و گسل اشاره کرد و همچنین از جمله عوامل انسانی مؤثر در فرونشست نیز توسعه فیزیکی نواحی سکونتگاهی [۵] و افت منابع آب زیرزمینی [۶] هستند.

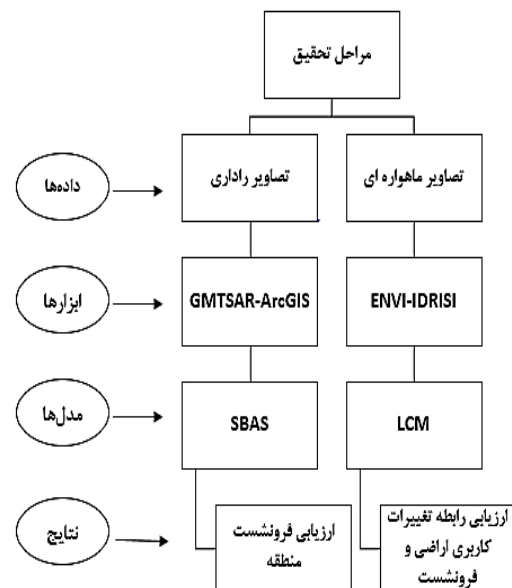
مخاطره فرونشست در طی سال‌های اخیر به‌عنوان مخاطره اصلی بسیاری شهرها، از جمله شهر ایذه در استان خوزستان است. شهر ایذه در دشت ایذه قرار گرفته است. دشت ایذه در طی سال‌های اخیر با افت سطح آب زیرزمینی و توسعه فیزیکی شهری مواجه شده است و همین مسئله زمینه را برای وقوع فرونشست در محدوده شهری و حاشیه شهری ایذه فراهم آورده است. با توجه به اهمیت موضوع، در این پژوهش به ارزیابی میزان فرونشست در محدوده شهری و

محدوده شهری و حاشیه شهری ایذه و تحلیل عوامل مؤثر در آن با استفاده از تصاویر راداری و ماهواره‌ای است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- روش تحقیق

در این پژوهش از تصاویر ماهواره‌ای لندست، تصاویر راداری سنتینل ۱، مدل رقومی ارتفاعی ۳۰ متر SRTM و اطلاعات کتابخانه‌ای به‌عنوان داده‌های تحقیق استفاده شده است. مهم‌ترین ابزارهای تحقیق ArcGIS (به‌منظور تهیه نقشه‌های نهایی)، ENVI (به‌منظور تهیه نقشه‌های کاربری نواحی سکونتگاهی)، IDRISI (به‌منظور ارزیابی روند توسعه نواحی سکونتگاهی) و GMT (به‌منظور تهیه نقشه فرونشست) بوده است. مدل‌های مورد استفاده در تحقیق شامل مدل حداکثر احتمال (به‌منظور تهیه نقشه کاربری نواحی سکونتگاهی)، مدل LCM (به‌منظور آنالیز روند تغییرات کاربری نواحی سکونتگاهی) و مدل SBAS (به‌منظور تهیه نقشه سری زمانی فرونشست) بوده است. این تحقیق در دو مرحله کلی انجام شده است که در ادامه به تشریح آنها پرداخته شده است (شکل ۱):



شکل شماره ۱- فلوچارت مراحل تحقیق

۲-۱-۱- روش سری زمانی SBAS

امروزه به‌منظور اندازه‌گیری جابجایی عمودی سطح زمین از روش‌های مختلفی استفاده می‌شود که یکی از این روش‌ها، روش سری زمانی SBAS است. روش SBAS از نتایج به‌دست‌آمده از تداخل‌سنجی راداری استفاده می‌کند. در تداخل‌سنجی راداری، میزان جابجایی زمین از طریق اختلاف‌فاز دو تصویر محاسبه می‌شود. پس از تهیه تداخل‌نگارها و انجام تصحیحات مختلف بر روی آنها، با توجه به اینکه هر تداخل‌نگار شامل منطقه بزرگی با همبستگی متفاوت است، بنابراین نتایج آن قابل‌اعتماد نیست به همین دلیل روش تداخل‌سنجی یک جفت تصویر راداری به‌تنهایی نمی‌تواند تغییرات صورت گرفته را نشان دهد. در این راستا برای حل مشکل، روش‌های مختلفی پیشنهاد شده است که یکی از آنها روش سری زمانی SBAS است.

در این روش تنها زوج تصاویری مورد استفاده قرار می‌گیرند که مؤلفه قائم خط مبنای آنها کم‌تر از مقدار بحرانی خط مبنا باشد، همچنین خط مبنا زمانی آنها نیز هم‌زمان کمینه باشد. به‌این‌ترتیب، فقط تداخل‌نگارهایی تشکیل می‌شوند که کیفیت مناسبی داشته باشند. پس از تشکیل این تداخل‌نگارها، یک شبکه از تصاویر ایجاد می‌شود، سپس با استفاده از روش کم‌ترین مربعات، مقدار جابجایی هر پیکسل تخمین زده می‌شود. برای درک بهتر روش محاسبه جابجایی هر پیکسل در این روش، فرض کنید که تعداد $N+1$ تصویر راداری از یک منطقه که در بازه زمانی (t_0, t_1, \dots, t_n) در اختیار داریم که تعداد تداخل‌نگارهای ایجاد شده از این تصاویر M عدد است. فرض کنید که اختلاف‌فاز تولید شده برای یک پیکسل هم‌دوس با مختصات (x, y) در تداخل‌نگار z که از دو تصویر راداری در زمان

$$\begin{aligned} \delta\phi_j(x, r) &= \phi(t_B, x, r) - \phi(t_A, x, r) \forall j = 1, 2, \dots, M \\ &\approx \frac{4\pi}{\lambda} [d(t_B, x, r) - d(t_A, x, r)] + \frac{4\pi}{\lambda} \frac{B_{\perp j}}{r \sin \theta} \Delta z(x, r) \\ &+ \frac{4\pi}{\lambda} [d_{tmm}(t_B, x, r) - d_{zmm}(t_A, x, r)] + n_j \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \phi_{\text{def}} &= \frac{4\pi}{\lambda} [d(t_B, x, r) - d(t_A, x, r)] \\ &= \frac{4\pi}{\lambda} \sum_A^{B-1} v_k v_{k+1} (t_{k+1} - t_k) \end{aligned} \quad (2)$$

بررسی، همچنین میزان تغییرات از یک کاربری به سایر کاربری‌ها، برای تغییرات از کاربری‌های مختلف به یکدیگر و ... را انجام داد. مدل LCM نیاز به دو ورودی برای انجام مقایسه نیاز دارد که برای این منظور از نقشه کاربری‌های اراضی منطقه در طی سال‌های ۱۹۹۲ تا ۲۰۲۲ استفاده شده است. پس از وارد کردن اطلاعات، کاهش و افزایش هر کدام از کاربری‌ها، میزان تغییر هر کاربری به کاربری دیگر محاسبه شده است. در مدل LCM علاوه بر ارزیابی روند تغییرات کاربری اراضی، می‌توان تغییرات کاربری‌های اراضی برای سال‌های آتی را نیز پیش‌بینی کرد. LCM با تجزیه و تحلیل تغییرات رخ داده طی یک دوره، نقشه پتانسیل انتقال از یک کاربری به کاربری دیگر نیز تولید می‌کند. با تهیه نقشه‌های پتانسیل انتقال، می‌توان تغییرات یک کاربری برای سال‌های آتی را پیش‌بینی کرد.

۲-۱-۳- تشریح مراحل انجام کار

مرحله اول (ارزیابی فرونشست منطقه): در این مرحله به منظور ارزیابی میزان فرونشست در محدوده شهری و حاشیه شهری ایذه، از تصاویر راداری سنتینل ۱ و روش سری زمانی SBAS استفاده شده است. به منظور اجرای مدل سری زمانی SBAS، ابتدا ۱۳ تصویر راداری سنتینل ۱ مربوط به دوره زمانی ۲ ساله (از تاریخ ۲۰۲۰/۰۱/۱۰ تا ۲۰۲۲/۰۱/۱۵) تهیه شده است (جدول ۱). تصاویر تهیه شده دارای حالت مداری

tA و tB اخذ شده را به صورت رابطه ۱ نوشت [۲۲].

در این (۱) Bj اندازه خط مبنا عمودی برای تداخل نگار z، Δz ارتفاع پیکسل نسبت به سطح فرانس، datm میزان جابجایی رخ داده در فاز به خاطر اتمسفر و nj مؤلفه نویز موجود در تداخل نگار است. با فرض نادیده گرفتن اثر اتمسفر و نویز موجود در تداخل نگارها، قسمت اول رابطه ۱ را می‌توان به صورت رابطه ۲ نوشت [۲۲]:

در رابطه (۲) V_k V_{k+1} سرعت بین زمان‌های k تا k+1 است. برای هر پیکسل در تداخل نگار V، برداری k+1 برای سرعت‌های متوالی بین تداخل نگارها و T برداری M*N برای هر فاصله زمانی بین تداخل نگارها است.

۲-۱-۲- روش LCM

مدل LCM ابزاری است که به کمک آن می‌توان به ارزیابی و مدل‌سازی تجربی تغییرات کاربری اراضی و آثار آن بر زیستگاه گونه‌ها و تنوع زیستی پرداخت. مدل‌سازی در چهار مرحله بررسی تغییرات مدل‌سازی پتانسیل، انتقال، مدل‌سازی تغییرات پوشش سرزمین و ارزیابی صحت مدل‌سازی انجام می‌گیرد. LCM این امکان را فراهم می‌آورد که به‌طور سریع آنالیز تغییرات پوشش زمین را مدل‌سازی و تجزیه و تحلیل کرد. به کمک LCM می‌توان میزان تغییرات در کاربری‌های مختلف را در بازه‌های زمانی متفاوت

صعودی، نوع IW، فرمت SLC هستند. 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 خط مبنای زمانی تصاویر، نقشه های تداخل نگار منطقه تهیه شده است. پس از تهیه نقشه های تداخل نگار، 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 آنها 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 برای 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 [۲۳].

روند توسعه نواحی سکونتگاهی شهر ایذه، از تصاویر ماهواره لندست در طی سال های ۱۹۹۲ تا ۲۰۲۰ استفاده شده است (جدول ۲). پس از تهیه تصاویر، ابتدا پیش پردازش های لازم شامل تصحیحات رادیومتریک و اتمسفری بر روی تصاویر انجام شده است. به منظور انجام این کار از نرم افزار ENVI استفاده شده است. برای تهیه نقشه کاربری اراضی، از روش طبقه بندی نظارت شده حداکثر احتمال استفاده شده است. اولین گام در انجام یک طبقه بندی نظارت شده، تعریف مناطقی است که به مثابه نمونه های تعلیمی برای هر کلاس استفاده می شوند [۲۴].

نمونه های تعلیمی در ۴ کلاس نواحی سکونتگاهی، اراضی کشاورزی، پهنه های آبی و اراضی بایر و مراتع تعریف شده اند. پس از تعیین نمونه های تعلیمی، با استفاده از روش حداکثر احتمال، نقشه های کاربری اراضی محدوده شهری و حاشیه شهری ایذه مربوط به سال های ۱۹۹۲، ۲۰۰۲، ۲۰۱۲ و ۲۰۲۲ تهیه شده است. پس از تهیه نقشه های کاربری اراضی، به منظور تجزیه و تحلیل تغییرات صورت گرفته، از مدل LCM استفاده شده است و در نهایت در این مرحله، روند تغییرات کاربری نواحی سکونتگاهی ارزیابی شده است.

جدول شماره ۱- مشخصات تصاویر راداری مورد استفاده

ردیف	تاریخ	ردیف	تاریخ
۱	۲۰۲۰/۰۱/۱۰	۸	۲۰۲۱/۰۳/۰۹
۲	۲۰۲۰/۰۳/۰۲	۹	۲۰۲۱/۰۵/۰۸
۳	۲۰۲۰/۰۵/۰۱	۱۰	۲۰۲۱/۰۷/۰۷
۴	۲۰۲۰/۰۷/۱۲	۱۱	۲۰۲۱/۰۹/۰۵
۵	۲۰۲۰/۰۹/۱۰	۱۲	۲۰۲۱/۱۱/۲۸
۶	۲۰۲۰/۱۱/۰۹	۱۳	۲۰۲۲/۰۱/۱۵
۷	۲۰۲۱/۰۱/۰۸		

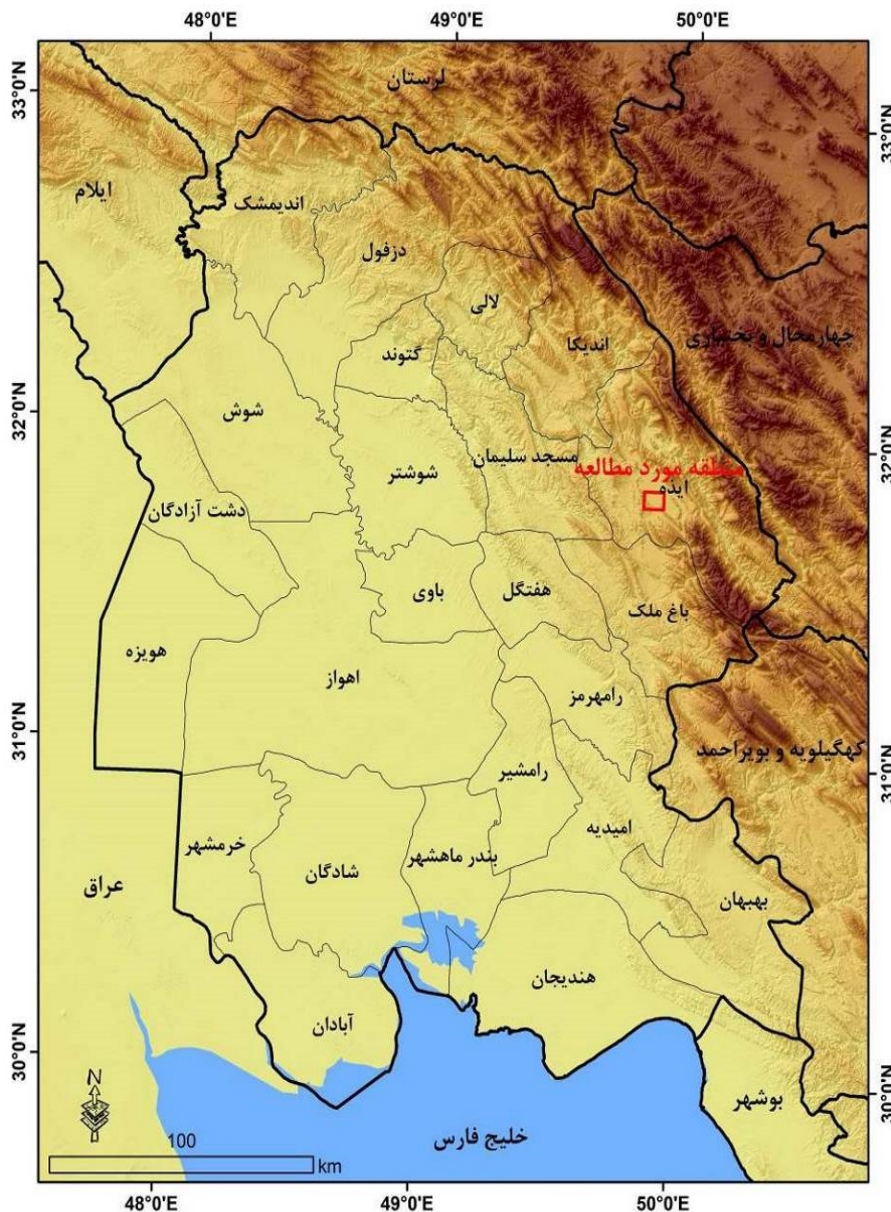
جدول شماره ۲- مشخصات تصاویر ماهواره ای مورد استفاده

نوع ماهواره	سنجنده	تاریخ
لندست ۵	TM	۱۹۹۲/۰۶/۲۵
لندست ۷	TM	۲۰۰۲/۰۶/۰۵
لندست ۸	OLI	۲۰۱۳/۰۶/۱۹
لندست ۸	OLI	۲۰۲۲/۰۶/۲۰

۲-۲- منطقه مورد بررسی

محدوده مطالعاتی تحقیق حاضر منطبق بر شهر

مرحله دوم (ارزیابی روند توسعه نواحی سکونتگاهی): در این پژوهش به منظور ارزیابی



شکل شماره ۲- نقشه موقعیت منطقه مورد مطالعه

۳- نتایج

۳-۱- ارزیابی میزان فرونشست منطقه مورد مطالعه

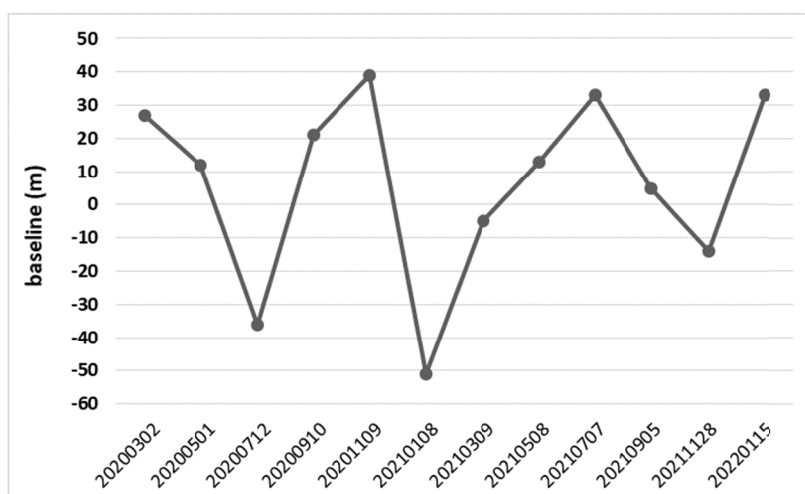
در این پژوهش با استفاده از تصاویر راداری و روش سری زمانی SBAS، میزان فرونشست منطقه از تاریخ ۲۰۲۰/۰۱/۱۰ تا ۲۰۲۲/۰۱/۱۵ ارزیابی شده است. به منظور تهیه نقشه فرونشست، پس از تهیه تصاویر مورد نظر، ابتدا نقشه‌های تداخل‌نگار منطقه تهیه شده است. به منظور تهیه نقشه‌های تداخل‌نگار، ابتدا زوج تصاویر مورد نظر

ایذه در استان خوزستان است. شهر ایذه مرکز شهرستان ایذه است و در غرب استان خوزستان قرار دارد (شکل ۲).

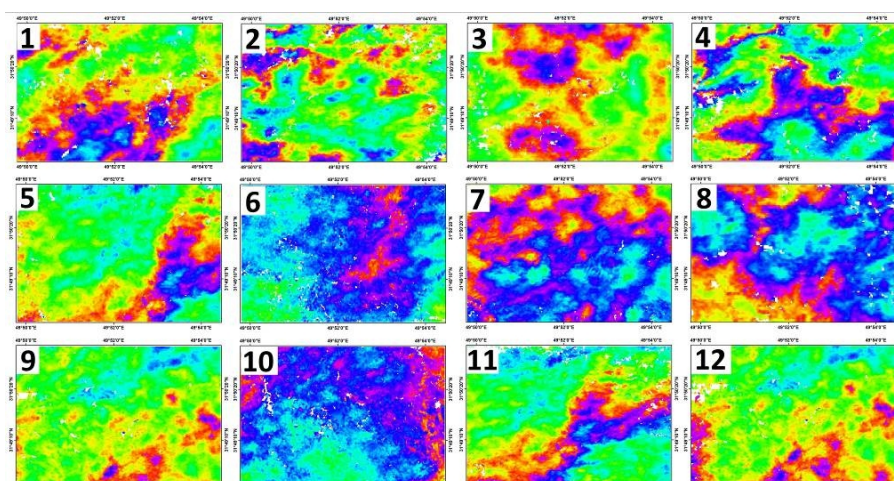
شهر ایذه بر اساس سرشماری سال ۱۳۹۵، حدود ۱۲۰ هزار نفر جمعیت دارد. این شهر از نظر توپوگرافی در واحد دشت قرار دارد که از سمت غرب به واحد تپه‌ماهور و از سمت شرق به واحد کوهستان منتهی می‌شود. همچنین از نظر اقلیمی نیز دارای زمستان‌های تقریباً معتدل و مرطوب و تابستان‌های گرم و خشک است.

جدول شماره ۳- زوج تصاویر مورد نظر به منظور تهیه نقشه‌های تداخل‌نگار

شماره در شکل	زوج تصاویر	شماره در شکل	زوج تصاویر
۱	۲۰۲۰/۰۳/۰۲ - ۲۰۲۰/۰۱/۱۰	۷	۲۰۲۱/۰۱/۰۸ - ۲۰۲۱/۰۳/۰۹
۲	۲۰۲۰/۰۵/۰۱ - ۲۰۲۰/۰۳/۰۲	۸	۲۰۲۱/۰۵/۰۸ - ۲۰۲۱/۰۳/۰۹
۳	۲۰۲۰/۰۷/۱۲ - ۲۰۲۰/۰۵/۰۱	۹	۲۰۲۱/۰۷/۰۷ - ۲۰۲۱/۰۵/۰۸
۴	۲۰۲۰/۰۹/۱۰ - ۲۰۲۰/۰۷/۱۲	۱۰	۲۰۲۱/۰۹/۰۵ - ۲۰۲۱/۰۷/۰۷
۵	۲۰۲۰/۱۱/۰۹ - ۲۰۲۰/۰۹/۱۰	۱۱	۲۰۲۱/۱۱/۲۸ - ۲۰۲۱/۰۹/۰۵
۶	۲۰۲۱/۰۱/۰۸ - ۲۰۲۰/۱۱/۰۹	۱۲	۲۰۲۲/۰۱/۱۵ - ۲۰۲۱/۱۱/۲۸



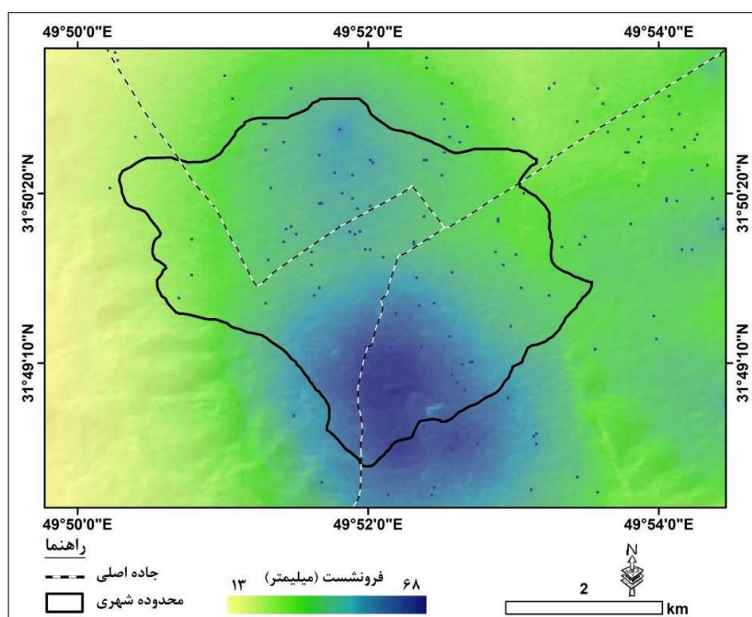
شکل شماره ۳- وضعیت خط مبنای زمانی و مکانی تصاویر



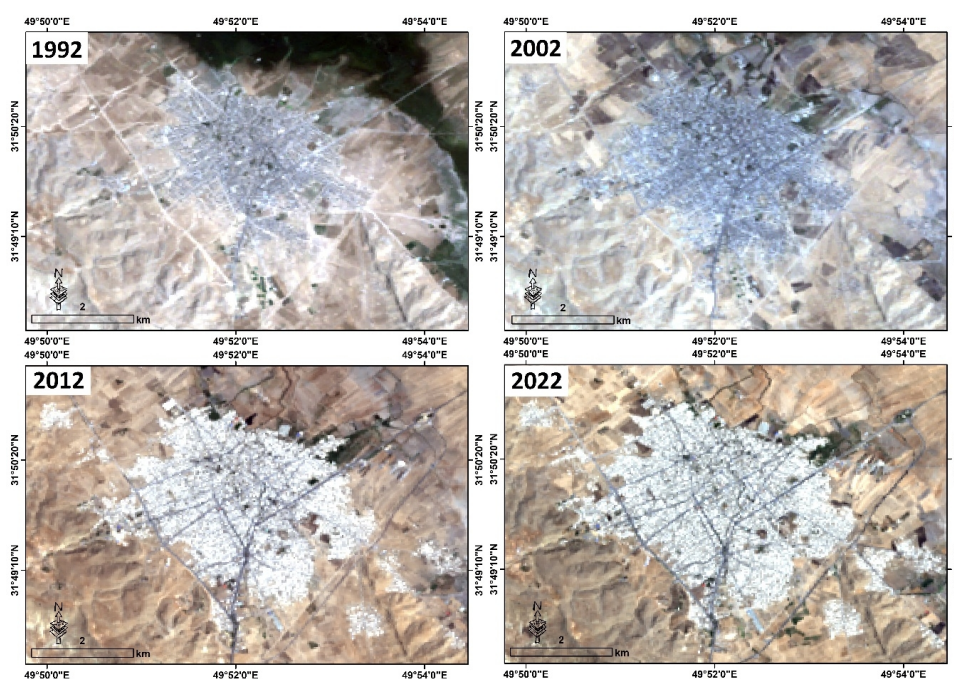
شکل شماره ۴- نقشه‌های تداخل‌نگار منطقه

نظر انتخاب‌شده و پس از انجام پیش‌پردازش‌های لازم، نقشه‌های تداخل‌نگار منطقه تهیه شده است (شکل ۴).

که بر اساس وضعیت زمانی تصاویر بوده، انتخاب‌شده است (جدول ۳ و شکل ۳). در واقع، ابتدا بر مبنای تاریخ تصاویر، جفت تصاویر مورد



شکل شماره ۵- نقشه فرونشست منطقه از تاریخ ۲۰۲۰/۰۱/۱۰ تا ۲۰۲۲/۰۱/۱۵



شکل شماره ۶- تصاویر ماهواره‌ای منطقه مورد مطالعه در طی سال‌های ۱۹۹۲، ۲۰۰۲، ۲۰۱۲ و ۲۰۲۲

فرونشست داشته است. آنالیز مکانی فرونشست رخ داده بیانگر این است که بیشترین میزان فرونشست مربوط به مناطق جنوبی و جنوب شرقی محدوده شهری ایذه بوده است. با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان گفت که محدوده شهری ایذه سالانه دارای حداکثر $\frac{3}{4}$ سانتی‌متر

پس از تهیه نقشه‌های تداخل نگار، با استفاده از روش سری زمانی SBAS، نقشه میزان جابجایی عمودی منطقه از تاریخ ۲۰۲۰/۰۱/۱۰ تا ۲۰۲۲/۰۱/۱۵ تهیه شده است (شکل ۵). بر اساس نقشه تهیه شده، منطقه مورد مطالعه در طی دوره زمانی ۲ ساله بین ۱۳ تا ۶۸ میلی‌متر

فرونشست است که رقم قابل توجهی است و این میزان در طی دوره زمانی چندین سالانه می‌تواند سبب بروز خسارات به زیرساخت‌های این شهر شود.

۳-۲- ارزیابی روند توسعه فیزیکی نواحی سکونتگاهی

با توجه به اینکه یکی از عوامل مؤثر در میزان فرونشست، ساخت و سازهای انسانی است، در این پژوهش با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست مربوط به سال‌های ۱۹۹۲ تا ۲۰۲۲، روند توسعه نواحی سکونتگاهی در محدوده شهری و حاشیه شهری ایذ بررسی شده است.

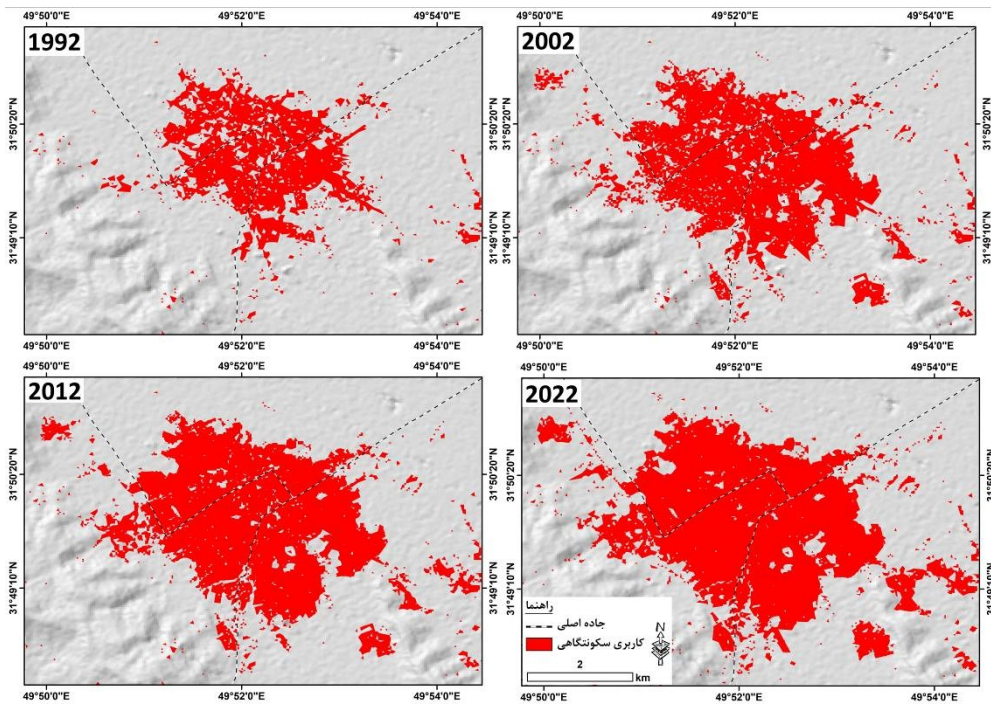
به‌منظور تهیه نقشه‌های مورد نظر، ابتدا تصاویر ماهواره‌ای منطقه مورد مطالعه تهیه شده است (شکل ۶). لازم به ذکر است که به‌منظور مقایسه علمی تصاویر، تمامی تصاویر مربوط به ماه ژوئن بوده است.

پس از تهیه تصاویر مورد نظر، ابتدا پیش‌پردازش‌های لازم بر روی تصاویر انجام شده و

در نهایت با استفاده از روش حداکثر احتمال، نقشه‌های کاربری اراضی منطقه در طی دوره زمانی مورد مطالعه تهیه شده است. پس از تهیه نقشه‌های کاربری اراضی، نقشه‌های کاربری نواحی سکونتگاهی در طی سال‌های ۱۹۹۲، ۲۰۰۲، ۲۰۱۲ و ۲۰۲۲ تهیه شده است (شکل ۷).

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، شهر ایذ در سال ۱۹۹۲، ۴/۳ کیلومترمربع وسعت داشته است که این میزان به ترتیب در سال‌های ۲۰۰۲، ۲۰۱۲ و ۲۰۲۲ به ۵/۶، ۸/۸ و ۱۱/۵ کیلومترمربع افزایش یافته است.

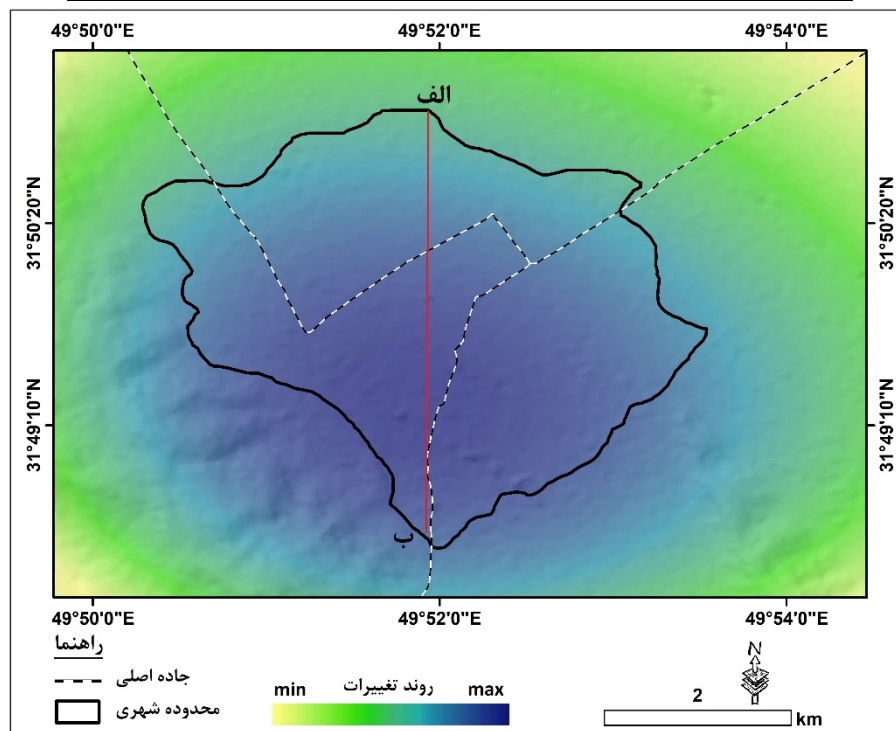
بر این اساس، محدوده شهری و حاشیه شهری ایذ در طی دوره زمانی ۳۰ ساله (از سال ۱۹۹۲ تا ۲۰۲۲) با ۷/۲ کیلومترمربع افزایش کاربری انسان ساخت مواجه شده است. همچنین بررسی وضعیت پراکنش مکانی توسعه فیزیکی شهر ایذ نشان داده است که بیش‌ترین میزان توسعه فیزیکی نواحی سکونتگاهی و انسان‌ساخت، مربوط به مناطق جنوبی و جنوب شرقی ایذ بوده است.



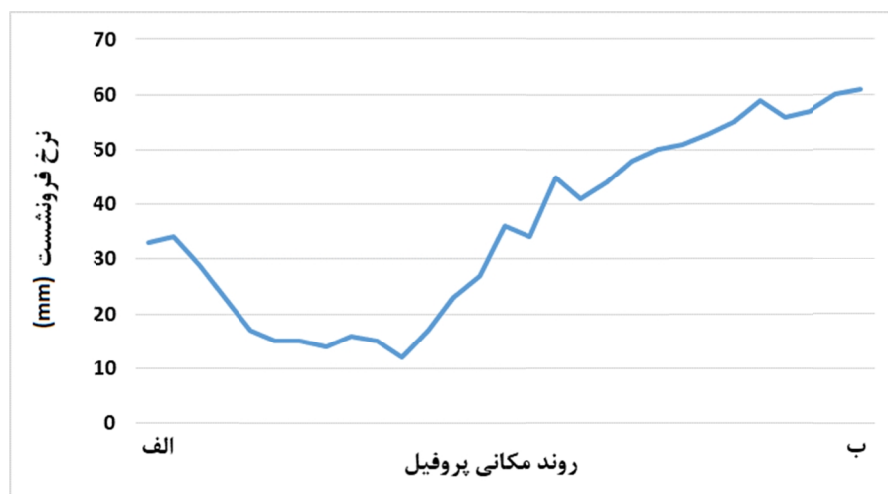
شکل شماره ۷- نقشه نواحی سکونتگاهی منطقه مورد مطالعه در طی سال‌های ۱۹۹۲ تا ۲۰۲۲

جدول شماره ۴- مساحت نواحی سکونتگاهی منطقه مورد مطالعه در طی سال‌های ۱۹۹۲ تا ۲۰۲۲

سال	۱۹۹۲	۲۰۰۲	۲۰۱۲	۲۰۲۲
سکونتگاهی	۴/۳	۵/۶	۸/۸	۱۱/۵



شکل شماره ۸- نقشه روند توسعه کاربری انسان‌ساخت و سکونتگاهی در منطقه مورد مطالعه

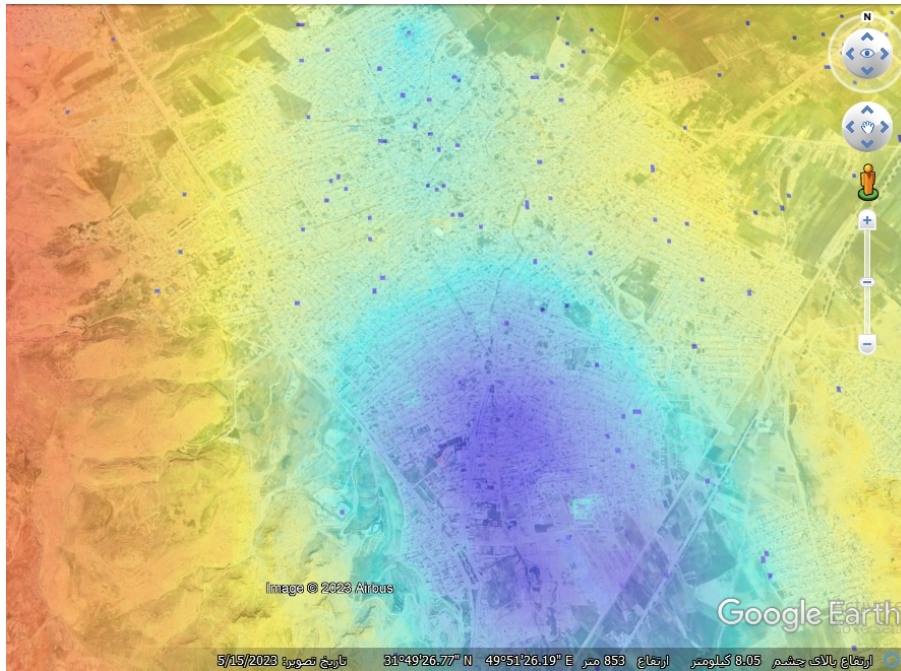


شکل شماره ۹- پروفیل روند فرودنشست از نقطه الف تا ب

شهرهایی است که تحت تأثیر عوامل انسانی با مخاطره فرودنشست مواجه شده است. نتایج این تحقیق نشان داده است که توسعه فیزیکی نواحی سکونتگاهی و افت منابع آب زیرزمینی، نقش

۴- بحث

فرودنشست زمین مخاطره نامحسوسی است که عوامل انسانی نقش مهمی در وقوع آن دارد. شهر ایذه که در دشت ایذه واقع شده است از جمله



شکل ۱۰- نقشه همپوشانی شده فرونشست بر تصویر ماهواره‌ای شهر ایذه

مهمی در فرونشست شهر ایذه داشته است. در واقع، روند توسعه فیزیکی نواحی سکونتگاهی در شهر ایذه نشان داده است که بیش‌ترین میزان توسعه فیزیکی نواحی انسان‌ساخت و سکونتگاهی مربوط به مناطق جنوبی و جنوب شرقی ایذه بوده است (شکل ۸).

در این بخش به منظور بررسی روند فرونشست شهر ایذه، پروفیل وضعیت فرونشست شمال تا جنوب این شهر ترسیم شده است (شکل ۹) که بر اساس آن، در یک روند کلی، میزان فرونشست از سمت شمال به سمت جنوب محدوده شهری ایذه دارای روند افزایشی است. با توجه به اینکه بیش‌ترین میزان فرونشست و همچنین بیش‌ترین میزان توسعه فیزیکی شهری مربوط به مناطق جنوبی شهر ایذه بوده است، بنابراین می‌توان گفت که همانند بخش‌های مرکزی شهر سیاتل [۱۳]، مناطق مجاور فرودگاه دالیان چین [۱۴]، بخش‌هایی از مناطق ۱۷ تا ۲۱ تهران [۱۶] و مناطق غربی شهر همدان [۲۵]، توسعه کاربری‌های انسان‌ساخت از جمله نواحی سکونتگاهی، نقش مهمی در فرونشست منطقه

داشته است.

علاوه بر توسعه کاربری‌های انسان‌ساخت، افت منابع آب زیرزمینی نیز نقش مهمی در وقوع فرونشست دارد.

بررسی‌های صورت گرفته در مورد دشت ایذه نشان داده است که این دشت سالانه با تخلیه ۸/۱۴ میلیون مترمکعب آب زیرزمینی مواجه است [۲۶] که این مسئله زمینه برای وقوع فرونشست در این دشت فراهم آورده است. در واقع، افت منابع آب زیرزمینی در دشت ایذه سبب شده است تا این دشت همانند دشت فریولی ایتالیا [۲۷] و دشت دهلی [۲۸] تحت تأثیر افت منابع آب زیرزمینی، در معرض مخاطره فرونشست قرار گیرد. بر این اساس می‌توان گفت که عوامل انسانی توسعه کاربری‌های انسان‌ساخت و افت منابع آب زیرزمینی سبب شده است تا شهر ایذه در معرض مخاطره فرونشست باشد. در شکل همپوشانی شده زیر (شکل ۱۰) نشان داده شده است که در یک روند کلی، میزان فرونشست به سمت مناطق جنوبی و جنوبی شرقی ایذه، دارای روند افزایشی است.

۵- نتیجه گیری

فرونشست زمین مخاطره نامحسوسی است که در بلندمدت نمایان می‌شود و باعث وارد آوردن خسارات به تأسیسات انسان ساخت می‌شود. شهر ایزده از جمله مناطقی است که تحت تأثیر عوامل مختلف طبیعی و انسانی در معرض این مخاطره قرار دارد. نتایج این تحقیق نشان داده است که مهم‌ترین عوامل وقوع فرونشست در شهر ایزده، توسعه کاربری‌های انسان ساخت از جمله نواحی سکونتگاهی و افت منابع آب زیرزمینی بوده است. بر اساس نتایج حاصله، شهر ایزده در طی دوره زمانی ۲ ساله (از تاریخ ۲۰۲۰/۰۱/۱۰ تا ۲۰۲۲/۰۱/۱۵) بین ۱۳ تا ۶۸ میلی‌متر فرونشست داشته است که بیش‌ترین میزان آن مربوط به مناطق جنوبی و جنوب شرقی این شهر بوده است.

همچنین نتایج این تحقیق نشان داده است که نواحی سکونتگاهی و انسان ساخت شهری و حاشیه شهری ایزده در طی سال‌های ۱۹۹۲ تا ۲۰۲۲ با ۷/۲ کیلومترمربع افزایش مواجه شده است و با توجه به اینکه بیش‌ترین میزان فرونشست نیز مربوط به این مناطق بوده است، بنابراین می‌توان گفت که توسعه کاربری‌های انسان ساخت از جمله نواحی سکونتگاهی، نقش مهمی در فرونشست منطقه داشته است. همچنین بر اساس مطالعات صورت گرفته در دشت ایزده، این دشت سالانه با تخلیه ۸/۱۴ میلیون مترمکعب آب زیرزمینی مواجه است و همین مسئله زمینه را برای وقوع فرونشست در دشت ایزده فراهم کرده است. با توجه به موارد مذکور، عوامل انسانی توسعه کاربری‌های انسان ساخت و افت منابع آب زیرزمینی سبب شده است تا شهر ایزده، خصوصاً مناطق جنوبی و جنوب شرقی آن در معرض مخاطره فرونشست باشد. مجموع نتایج حاصله نشان داده است که شهر ایزده در معرض مخاطره

فرونشست قرار دارد و این مخاطره در طی سال‌های آتی، بیش‌تر نمایان خواهد شد و با توجه به اینکه هنوز شدت این مخاطره همانند دشت‌های استان‌های تهران، اصفهان، کرمان و همدان نیست، بنابراین امکان کنترل و یا حداقل کند کردن روند فرونشست وجود دارد که باید به این مسئله توجه ویژه‌ای کرد.

۶- منابع

- ۱- گنجائیان، حمید (۱۳۹۹). مخاطرات ژئومورفولوژیک مناطق شهری، روش‌های مطالعه و راهکارهای کنترل آن. نشر انتخاب، ۱۴۴ صفحه.
2. Chen, M., Tomás, R., Li, Z.h. Motagh, M., Li, T., Hu, L., Gong, H., Li, X., Yu, J., Gong, X. (2016). Imaging Land Subsidence Induced by Groundwater Extraction in Beijing (China) Using Satellite Radar Interferometry, Remote Sens, 8 (6).
- ۳- آمیغ‌پی، معصومه؛ عربی، سیاوش؛ طالبی، علی (۱۳۸۸). بررسی فرونشست یزد با استفاده از روش تداخل سنجی راداری و ترازبایی دقیق، مجله علوم زمین. ۲۰ (۷۷)، ۱۶۴-۱۵۷.
- ۴- صفاری، امیر؛ جعفری، فرهاد؛ توکلی صبور، سید محمد (۱۳۹۵). پایش فرونشست زمین و ارتباط آن با برداشت آب‌های زیرزمینی (مطالعه موردی: دشت کرج-شهریار). پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، ۱۰ (۲)، ۹۳-۸۲.
5. Yao, G., Ke, C.Q., Zhang, J., Lu, Y., Zhao, J., Lee, H. (2019). Surface deformation monitoring of Shanghai based on ENVISAT ASAR and Sentinel-1A data. Environ Earth Sci, 78 (225).
6. Margarita, M., Georgi, F., Ilia, Y., Plamen, I. (2005). UNESCO- bas Project of Land Subsidence Research in the Region of the Sofia, Skopje and Tirana Cities. Geoindicators, 31-33.
7. Nguyen Hao, Q., Takewaka, S. (2019). Detection of Land Subsidence in Nam Dinh Coast by Dinsar Analyses. International Conference on Asian and Pacific Coasts, 1287-1294.
8. Lashkaripour, G.R., Ghafoori, M., Mossavi Maddah, S.M. (2014). An investigation on the mechanism of land subsidence in the northwest of mashhad city, NE Iran. Journal of Biodiversity and Environmental Sciences, 5 (3), 321-327.
9. 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 Sens, 7, 8543-8562.
- ۱۰- کریمی، مرتضی؛ قنبری، علی‌اصغر؛ امیری، شهرام (۱۳۹۲). سنجش خطرپذیری سکونتگاه‌های شهری از

22. Hanssen, R. F. (2001). Radar Interferometry: Data Interpretation and Error Analysis. Dordrecht. Kluwer Academic Publishers.

۲۳- نصیری، علیرضا؛ شریفیان عطار، رضا (۱۳۹۸). کاربرد تداخل‌سنجی رادار در مطالعه فرونشست، انتشارات مهر جالینوس، ۲۹۴ صفحه.

24. Eastman, J. R. (2006). IDRISI Andes. Guide to GIS and Image Processing. Clark Labs, Clark University, Worcester, MA.

۲۵- گنجائیان، حمید؛ اسدی، معصومه؛ منبری، فاطمه؛ ابراهیمی، عطری (۱۴۰۱). تحلیل وضعیت فرونشست محدوده شهری همدان با استفاده از تصاویر راداری و ماهواره‌ای. جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۱۱ (۴)، ۳۳۶-۲۲۱.

۲۶- رجی خمسه؛ کریم؛ نیکبخت شهبازی، علیرضا؛ فتحیان، حسین؛ ظهراپی، نرگس (۱۳۹۹). مدل‌سازی فرونشست دشت ایذه با استفاده از کد ریاضی MODFLOW. تحقیقات منابع آب ایران، ۱۶ (۴)، ۱۲۶-۱۱۲.

27. Da Lio, C., Tosi, L. (2018). Land subsidence in the Friuli Venezia Giulia coastal plain, Italy: 1992–2010 results from SAR-based interferometry. Sci. Total Environ, 633, 752–764.

28. Agarwal, V., Kumar, A., Gee, D., Grebby, S., Gomes, R. L., Marsh, S. (2021). Comparative Study of Groundwater-Induced Subsidence for London and Delhi Using PSInSAR. Remote Sens, 13 (23).

پدیده فرونشست زمین (مطالعه موردی: منطقه ۱۸ شهر تهران). برنامه‌ریزی فضایی (جغرافیا)، ۳ (۱)، ۵۶-۳۷
۱۱- خرمی، محمد (۱۳۹۶). تخمین فرونشست مشهد با استفاده از تکنیک تداخل‌سنجی راداری و ارزیابی آن با توجه به مشخصات ژئوتکنیکی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی، دانشکده مهندسی.

12. Chaussard, E., Wdowinski, S., Cabral-Cano, E., Amelung, F. (2014). Land subsidence in central Mexico detected by ALOS InSAR time-series, Remote Sensing of Environment, 140.

13. Samsonov, S.V., Tiampo, K.F., Feng, W. (2016). Fast subsidence in downtown of Seattle observed with satellite radar. Remote Sensing Applications: Society and Environment, 4, 179-187.

14. Shi, X., Chen, C., Dat, K., Deng, J., Wen, N., Yin, Y., Dong, X. 2022. Monitoring and Predicting the Subsidence of Dalian Jinzhou Bay International Airport, China by Integrating InSAR Observation and Terzaghi Consolidation Theory. Remote Sens. 14 (10).

15. 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, 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.

۱۶- بابایی، سید ساسان؛ خزایی، صفا؛ قاصدمبارکه، فروزان (۱۳۹۶). پردازش سری زمانی تداخل‌سنجی تصاویر راداری COSMO-SkyMed به منظور محاسبه نرخ فرونشست در محدوده سازه‌های زمینی و زیرزمینی در شهر تهران. نشریه علوم و فنون نقشه‌برداری، ۷ (۱)، ۶۷-۵۵.

۱۷- رنجبرباروق، زهرا؛ فتح‌اله‌زاده، محمد (۱۴۰۱). بررسی فرونشست زمین با استفاده از سری زمانی تصاویر راداری و ارتباط آن با تغییرات تراز آب‌های زیرزمینی (مطالعه موردی: کلان‌شهر کرج). پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، ۱۰ (۴)، ۱۵۵-۱۳۸.

۱۸- گنجائیان، حمید؛ یمانی، مجتبی؛ گورابی، ابوالقاسم؛ مقصودی، مهران (۱۳۹۹). تحلیل اثرات محسوس و نامحسوس زمین‌لرزه منطقه ازگله کرمانشاه بر لندفرم‌ها. جغرافیا و پایداری محیط، ۱۰ (۲)، ۸۹-۱۰۳.

19. Hsieh, C., Shih, T., Hu, J., Tung, H., Huang, M., Angelier, J. (2011). Using differential SAR interferometry to map land subsidence: A case study in the Pingtung Plain of SW Taiwan. Nat. Hazards. 58, 1311–1332.

20. Kim, J.S., Kim, D.J., Kim, S.W., Won, J.S. 2007. Moon, W.M. Monitoring of urban land surface subsidence using PSInSAR. Geosci. J. V, 59–73.

21. Raucoules, D., le Mouelic, S., Carnec, C., Maisons, C., King, C. 2003. Urban subsidence in the city of Prato (Italy) monitored by satellite radar interferometry. Int. J. Remote Sens. 24 (4), 891–897.



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)