نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال بیست و چهارم، شماره ۷۲، بهار ۱۴۰۳

بررسی میزان فرونشست در محدوده‌ای از دشت مشهد- توس با استفاده از تکنیک DInsar

دریافت مقاله: ۹۹/۴/۲۶ **پذیرش نهایی**: ۹۹/۱۲/۲

صفحات: ۳۷۷-۳۶۱

رقیه دلارام :دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، دانشگاه سیستان وبوچستان، زاهدان، ایران.
Email: r.delaram10169@yahoo.com
صمد فتوحی: دانشیار گروه ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، دانشگاه سیستان وبلوچستان، زاهدان، ایران[1].
Email: samadfotohi@yahoo.com
محسن حمیدیان پور: استادیار گروه اقلیم شناسی، دانشکده جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران.
Email: m.hamidian355p@gmail.com
مرتضی سالاری: کارشناس ارشد هیدروژئولوژی، مدیر پروژه شرکت کوسا، تانزانیا
Email: salari.mortza@gmail.com

چکیده

پدیده فرونشست را می‌توان یکی از شایع‌ترین خطراتی دانست که در سراسر دنیا رخ می‌دهد و هر ساله خسارات جبران‌ناپذیری را تحمیل می‌کند. عوامل زیادی مثل پایین رفتن سطح آب زیرزمینی در آبخوان‌ها، کاهش آبدهی قنات‌ها، خشک شدن دریاچه‌ها، خشکسالی‌های مکرر و... باعث به‌وجود آمدن این پدیده می-شود. برای بررسی فرونشست دشت مشهد از تکنیک تداخل سنجی راداری (D-Insar) و از تصاویر ماهواره-ای Envisat سنجنده ASAR در باند C در بازه زمانی ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۰ و همچنین از تصاویر ماهواره Sentinel 1 سنجنده ASAR در باند C در بازه زمانی یک ساله ۲۰۱۹ استفاده شد. نتایج نشان می‌دهد که بیشترین میزان فرونشست مربوط به بازه زمانی ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۰ حدود ۴۴ سانتی‌متر و در بازه زمانی ۲۰۰۷ تا ۲۰۰۹ به میزان۳۷ سانتیمتر در محدوده اراضی قاسم‌آباد و کلاته برفی است. نتایج درونیابی با استفاده از آمارهای چاه‌های پیزومتر نیز افت آبهای زیرزمینی در این محدوده را تأیید می‌کند. فرونشست در این دشت در حالت فوق بحرانی قرار دارد. نتایج حاصل از آنالیز تصاویر در سال ۲۰۱۹ نیز فرونشست ۳۶ سانتی‌متری را نشان می‌دهد. . به منظور تایید نتایج از شاخص Z استفاده شد. بر اساس این شاخص مشخص گردید که هر گاه خشکسالی رخ داده است افت آبهای زیرزمینی بیشتر شده است و این امر تاییدی بر نتایج تکنیک تداخل سنجی است.

کلید واژگان: فرونشست، چاه‌های پیزومتر،خشکسالی، CoKriging، DInsar ، دشت مشهد- توس

---

۱. **نویسنده مسئول:** زاهدان، دانشگاه سیستان و بلوچستان، دانشکده جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، گروه ژئومورفولوژی

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.184.7]
[DOI: 10.52547/jgs.24.72.361]

مقدمه

فرونشست زمین پدیدۀ تخریبی خاموش است که به یکی از بحران‌های پیش‌رونده محیط‌زیست در ایران تبدیل شده و پدیده‌ای غیرقابل برگشت است. (خرسندی آقایی، ۲۰۱۵). کشور ایران به سبب قرارگیری در محدوده خشک و نیمه خشک، همواره با مشکل کمبود آب دست و پنجه نرم کرده است. یکی از مسائلی که در اثر برداشت بی‌رویه آب زیرزمینی اتفاق می‌افتد نشست زمین[1]است. این وضعیت اکنون در سایر استانها که دشت‌ها با بیلان منفی آب روبرو هستند مشاهده می‌گردد. نشست زمین در سفره‌های محصور و نیمه محصور که از مواد آبرفتی تحکیم نشده و یا تحکیم شده تشکیل یافته باشند بیشتر مشاهده می‌شود. در اثر برداشت آب زیرزمینی و خارج شدن آب از منافذ امکان متراکم شدن مواد تا عمق ۳۰۰ متر فراهم می‌گردد و هر چه آب بیشتر برداشت شود تراکم مواد بیشتر خواهد بود. نشست زمین باعث شکاف‌های عمیق در سطح زمین، کج شدن لوله‌های چاه، خرابی‌های ساختمان و لوله‌زائی چاهها می‌گردد(علیزاده،۱۳۹۱:۳۷۵).

پژوهشگران رابطه بین توسعه شهری و فرونشست زمین را رابطه‌ای دو جانبه می‌دانند که هر دو بر هم تأثیر گذاشته و تأثیر می‌پذیرد. به گفته آن‌ها کلان‌شهرها، به جهت رشد سریع در توسعه شهری در بخش‌های مختلف صنعت، تجارت و حمل و نقل اثرات زیست‌محیطی منفی از خود برجای می‌گذارند، مانند تغییر در کاربری اراضی کشاورزی به مسکونی، مصرف بی‌رویه منابع آب‌های زیرزمینی جهت گسترش فعالیت‌های صنعتی و افزایش جمعیت. این اثرات منفی در نهایت منجر به بروز پدیده فرونشست می‌شود و همین پدیده می‌تواند برنامه و فرآیند توسعه شهر را متأثر سازد(منتظریون، ۱۳۹۸: ۳۶). در مناطق مختلفی از جهان و کشورهایی هم چون آمریکا، ژاپن، ایتالیا و تایلند، پدیده فرونشست مشاهده شده است. در سطح کشور ایران نیز فرونشست زمین، در دشت هایی نظیر مشهد، کاشمر، اراک و یزد، رفسنجان وکرمان مشاهده و گزارش شده است(عالی پور اردی،۱۳۹۵:۲۵). از جمله تحقیقاتی که پیرامون این پدیده در نقاط مختلف ایران و جهان انجام گرفته می‌توان به این موارد اشاره کرد: به طور مثال در شمال‌شرقی اسپانیا کرستو۲ و همکاران(۲۰۰۲)، در شانگهای مینگ شنگ لیا۳(۲۰۰۸)، در دشت کانتو ژاپن کاگاوا۴ و فورونو۵(۲۰۱۰)، و در ونیز بوک۶ و همکاران(۲۰۱۲)، از روش تداخل‌سنجی راداری برای بررسی میزان فرونشست استفاده شده است. از جمله مطالعاتی که در دشت‌های ایران صورت گرفته می‌توان به دشت قزوین (بابایی و همکاران، ۱۳۹۴)، میدان نفتی نفت شهر (رفیعی و صدیقی، ۱۳۹۵)، دشت های رفسنجان، نوق – بهرمان، کرمان – زنگی آباد و زرند (روزبان و همکاران، ۱۳۹۵، شریفی کیا ۱۳۹۱، متقی، ۲۰۰۸، اسماعیلی، ۲۰۰۹، شریفی کیا، ۲۰۰۹)، دشت یزد – اردکان (کوهسار و همکاران، ۱۳۹۳، آمیغ پی، ۱۳۸۸، عالمی، ۱۳۸۱)، دشت نیشابور (جلینی، ۱۳۹۶، حشمتی و.....، ۱۳۹۱)، فرودگاه امام خمینی (پاکدامن و همکاران، ۱۳۹۳) اشاره کرد، که نتایج تمامی پژوهش‌های ذکر

1 - land subsidence
2. Crosetto
3 . Mingsheng Lia
4. KAGAWA
5 . K. FURUNO
6 . Bock

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.184.7]
[DOI: 10.52547/jgs.24.72.361]

شده نشان دهنده توانایی روش تداخل‌سنجی راداری برای میزان تغییر شکل و جابجایی سطح زمین با دقت سانتی‌متری است.

بهنیافر و همکاران(۱۳۸۹) به بررسی عوامل موثر در فرونشست های دشت مشهد و پیامدهای ژئومورفیک آن پرداختند و مشخص کردند که میزان افت سالانه سطح آب زیرزمینی دشت ۱,۴۷ متر و بیشترین فرونشست‌ها و حفرات با اشکال ژئومورفیک متفاوت در بخش‌های مرکزی و جنوب‌شرقی آن رخ داده است. دهقانی(۱۳۹۳) الگوریتمی جدید بر مبنای تکنیک تداخل‌سنجی راداری به منظور پایش فرونشست سطح زمین ناشی از استخراج آبهای زیرزمینی ارائه داد که این مطالعه مربوط به فرونشست دشت مشهد در بازه ۲۰۰۳-۲۰۰۵ بود و بیشترین مقدار فرونشست ۲۳ سانتی‌متر در سال برآورد شد. تورانی و همکاران(۱۳۹۷) پدیدهٔ فرونشست زمین در غرب استان گلستان با بکارگیری روش تداخل‌سنجی راداری مورد بررسی قرار دادند و بیشترین میزان فرونشست را مربوط به شمال شهر گرگان حدود ۴,۸سانتی‌متر محاسبه کردند. روش‌های زیادی برای بررسی میزان نرخ فرونشست به وسیله نقشه‌برداری، سیستم موقعیت‌یاب جهانی(GPS) و ترازیابی مورد استفاده قرار گرفته ولی بسیاری از این روش‌ها به دلیل محدودیت‌های زمانی و مکانی مشکلاتی را برای کاربران ایجاد کرده است. استفاده از ابزار سنجش از دوری تا حدودی این قبیل مشکلات را برطرف نموده است. در دو دهه اخیر، از تکنیک تداخل‌سنجی راداری به عنوان ابزاری کارآمد و مؤثر در مطالعه و بررسی پدیده‌های که سبب تغییر شکل زمین می‌شود، مورد استفاده قرار گرفته است و نتایج بسیار ارزنده‌ای در زمینه ژئومورفولوژی با استفاده از این تکنیک بدست آمده است.

تداخل سنجی راداری(InSAR) تاکنون یکی از دقیق‌ترین و کم هزینه‌ترین روش‌های سنجش از دور، برای شناسایی و جابجایی‌های به‌وجود آمده در سطح زمین بوده است. علاوه بر آن، در این روش به‌واسطهٔ بهره‌گیری از داده‌های ماهواره‌ای و قابلیت تکرارپذیری آن، پایش این پدیده در مکان مورد نظر با سهولت و با کمترین هزینه امکان اجرا دارد(شریفی‌کیا، ۱۳۹۱:۵۹). همانطور که قبلا ذکر شد فرونشست پدیده‌ای است که مخاطرات زیادی را در هر منطقه به‌وجود می‌آورد و دشت مشهد هم جزء مناطقی از کشور است که به مرحله بحران رسیده است و بسیاری از پروژه‌های عمرانی و زیربنایی آن را با مشکل مواجه ساخته است. تحقیقاتی در رابطه با فرونشست این دشت به روش‌های مختلف در بازه‌های زمانی مختلف انجام شده است. در این پژوهش ما سعی داریم با استفاده از تکنیک تداخل‌سنجی راداری DInsar میزان فرونشست را در بازه زمانی ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۰ بررسی کرده و با بررسی علل به‌وجود آمدن این پدیده، راهکارهای لازم نیز ارائه گردد تا ضمن مشخص کردن نقاط بحرانی و فوق بحرانی در این منطقه از بروز مشکلات تا حدودی جلوگیری شود و مبنای کار برنامه‌ریزان حوزه‌های اجرایی قرار بگیرد.

روش تحقیق

محدوده مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه در دشت مشهد و واقع در استان خراسان رضوی است که در مختصات جغرافیایی ۳۵ درجه و ۹۰ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۸۸ دقیقه عرض شمالی و ۵۹ درجه و ۲۴ دقیقه تا ۶۰ درجه و ۲ دقیقه طول شرقی واقع شده است. این شهر یکی از شهرهای صنعتی، مذهبی و اقتصادی و همچنین جز پر

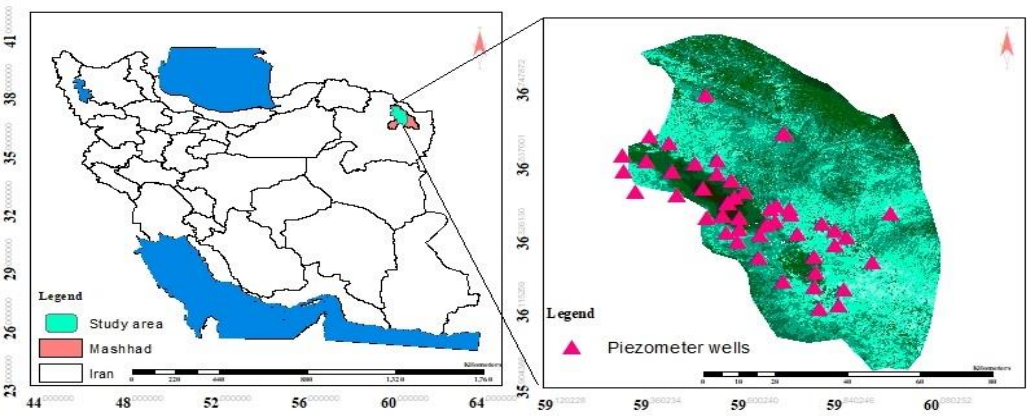
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.184.7]
[DOI: 10.52547/jgs.24.72.361]

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.184.7]

[DOI: 10.52547/jgs.24.72.361]

تردد‌ترین شهرهای ایران می‌باشد (شاهمحمدی و همکاران،۱۳۹۹:۷۴). دشت مشهد بخشی از حوضه‌آبریز کشف رود می‌باشد. از شمال به ارتفاعات هزارمسجد(کپه داغ شرقی)، از جنوب به ارتفاعات بینالود، از غـرب به حوضه آبریز اترک و از جنوب شرق به حوضه آبریز جامرود محدود می شود. تمامی دشت مشهد از آبرفت‌های کواترنر پوشیده شده و ضخامت آن بین ۱۵۰ تا ۲۰۰ متر است. بافت آبرفت‌ها در کناره‌ها و مناطق پایکوهی درشت‌دانه و به تدریج به طرف مرکز دشت دانه‌ریز می‌شود (علایی طالقانی،۱۳۹۴:۱۷۷).



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه و نحوه پراکندگی چاه‌های پیزومتر

این دشت از نظر ژئومورفولوژی ساختمانی به صورت یک فرورفتگی است و جزء دشت‌های فرسایشی- تراکمی می‌باشد. سازندهای مختلـف زمـین شناسی از دوران پرکامبرین تا اواخر دوران سوم در حوضه آبریز اصلی آن وجـود دارنـد. رسـوبات دوران چهارم زمین شناسی که آبخوان دشت مشـهد را تشـکیل داده از مـواد فرسـایش یافتـه و حمـل شـده ایـن سازندها می باشد (بهنیافر،۱۳۸۹:۱۳۵). مخروط‌افکنه‌ها عمدتاً از پای ارتفاعات بینالود شروع شده و در سطح دشت مشهد گسترش یافته‌اند .در بسیاری از مناطق کم‌باران کشور از جمله دشت مشهد منبع تأمین آب، منابع آب زیرزمینی است. متوسط دمای دشت ۱۲,۵ درجه و بارش ۲۷۸,۶ میلی متر است و براساس نتایج مدل جهانی تغییر اقلیم، مقادیر تبخیر تعرق برای دوره ۲۰۰۰-۲۰۵۰ در ماه‌های ژانویه تا سپتامبر نسبت تبخیر و تعرق ماهانه ۵۰ ساله آینده بزرگتر از یک است و نشان‌دهنده افزایش ۲۲ درصدی نیاز آبی در دوره منتهی به ۲۰۵۰ است (ابراهیمی،۱۳۸۹). جهت جریان آب زیرزمینی در دشت مشهد عمدتاً از جهت جریان‌های سطحی و شیب توپوگرافی منطقه تبعیت می‌کند. (حاتمی نژاد،۸۹:۱۳۸۰).

داده و روش کار

این پژوهش متکی بر روش سنجش از دور راداری و مطالعه میدانی است. ابتدا با استفاده از روش سنجش از دور به بررسی و پردازش داده‌ها و تصاویر ماهواره‌ای پرداخته شد. برای بررسی نرخ و دامنه فرونشست، از

تکنیک تداخل‌سنجی راداری در بازه زمانی خاص برای پردازش تصاویر راداری استفاده گردید. تصاویر مورد استفاده، مربوط به داده‌های راداری ماهواره‌ی اروپایی انویست[1] در سنجنده ASAR در باند C و تصاویر ماهواره Sentinel 1 در باند C می‌باشد. جدول(۱). تصاویر مورد پردازش بیشترین میزان همبستگی را باهم داشتند. خطاهای مداری با اختلاف ۲۴ ساعته از ماهواره‌ی Doris از ESA[2] اخذ شده و اصلاح گردید و همچنین از مدل رقومی ارتفاع (SRTM) با قدرت تفکیک ۹۰ متر برای حذف اثر توپوگرافی استفاده شد تا حرکات زمینی قابل شناسایی باشد. با استفاده از روش تداخل‌سنجی راداری مناطق در معرض نشست تعیین شد. تمامی پردازش‌ها از قبیل تولید اینترفروگرام، عمل فیلترکردن کوهرنس ایجاد شده در فازها و تمامی عملیات مربوط به آماده-سازی تصاویر برای آنالیز در افزونه SARSCPE در نرم افزار ENVI انجام شد. در نهایت بعد از انجام عملیات مختلف بر روی تصاویر، فاز به دست آمده ناشی از جابجایی سطح زمین می‌باشد به‌طوریکه اعداد مثبت نشان دهنده بالاآمدگی سطح زمین و اعداد منفی نشان‌دهنده میزان فرونشست یا پایین رفتن سطح زمین می‌باشد.

جدول (۱): مشخصات تصاویر راداری مورد استفاده در دشت مشهد

ماهواره	سنجنده	مد تصویر	تاریخ	حالت مداری
Envisat	ASAR	ASA-IMS	۲۰۰۵/۰۲/۱۴	DESCENDING
Envisat	ASAR	ASA-IMS	۲۰۰۶/۱۱/۰۶	DESCENDING
Envisat	ASAR	ASA-IMS	۲۰۰۷/۱۱/۲۶	DESCENDING
Envisat	ASAR	ASA-IMS	۲۰۰۸/۰۵/۱۹	DESCENDING
Envisat	ASAR	ASA-IMS	۲۰۰۹/۰۸/۱۷	DESCENDING
Envisat	ASAR	ASA-IMS	۲۰۱۰/۰۵/۲۴	DESCENDING
Sentinel 1	ASAR	IW	۲۰۱۹/۰۱/۰۷	DESCENDING
Sentinel 1	ASAR	IW	۲۰۱۹/۱۱/۱۵	DESCENDING

در مرحله بعد با استفاده از بازدید میدانی و جمع‌آوری اطلاعات ثبتی به بررسی نقاط در معرض فرونشست در منطقه پرداخته شد که این خود به صحت سنجی روش آزمایشگاهی کمک مؤثر می‌کند. در مرحله آخر برای صحت‌سنجی نتایج بدست آمده از تکنیکInSAR (D)، با استفاده از آمار مربوط به چاه‌های پیزومتری که حدود ۵۰ حلقه در منطقه مورد مطالعه قرار می‌گرفت با استفاده از درون‌یابی به روش کوکریجینگ[3] ، میزان افت آب-های زیرزمینی در منطقه مشخص شد. در نرم‌افزار اکسل نمودار مربوط به میزان بارندگی و تبخیر منطقه که به صورت غیرمستقیم در میزان فرونشست تأثیر می‌گذارد مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت. شناخت دقیق وضعیت منابع آبی هر منطقه به جز با داشتن آمار و اطلاعات صحیح و کافی از آن منطقه میسر نمی‌باشد. لذا به منظور تهیه بیلان آب، پارامترهای مختلف و مؤثر هواشناسی مورد ارزیابی قرار می‌گیرند و با تهیه نقشه‌های مختلف هواشناسی عوامل آن با دقت بیشتر در سطح محدوده مطالعاتی (به تفکیک ارتفاعات و دشت) بررسی

1 . Envisat
2 . European Space Agency
3 . CoKriging

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.184.7]
[DOI: 10.52547/jgs.24.72.361]

می‌گردد. در ادامه ضمن بررسی ایستگاه‌های هواشناسی پارامترهای دما، باران و تبخیر مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. تبخیر نیز از عوامل مهم در محاسبات بیلان آب می‌باشد به‌طوری که میزان تبخیر آب در سطح زمین و سطوح آزاد آبی بخش اصلی آب‌های خروجی از محدوده‌ها را تشکیل می‌دهند. تبخیر و تعرق از آب زیرزمینی به عوامل متعددی از جمله : عمق سطح آب زیرزمینی، نوع خاک، دما، پوشش گیاهی بستگی دارد. این تبخیر طبق مفاهیم کشش لوله‌های مویین انجام می‌شود. عامل اصلی این نوع تبخیر ، عمق آب زیرزمینی است و هر چه سطح آب زیرزمینی به سطح زمین نزدیک‌تر باشد تبخیر از آن بیشتر خواهد شد. در نهایت به دلیل ارتباط مستقیم آب‌های زیرزمینی با خشکسالی، به بررسی میزان نرخ خشکسالی‌های دشت با شاخص SPI در بازه مورد مطالعه پرداخته شد. جدول (۲ و ۳).

جدول (۲). مشخصات اینترفروگرامهای پردازش شده تصاویر ماهوارهEnvisat

تصویر قدیمی Master Data	تصویر جدید Slave Data	خط‌مبنانی مکانی(متر)	فاصله زمانی (روز)	ابهام ارتفاعی (متر)
۲۰۰۵/۰۲/۱۴	۲۰۰۶/۱۱/۰۶	۱۹۸,۶	۶۰۳	۴۶
۲۰۰۷/۱۱/۲۶	۲۰۰۸/۰۵/۱۹	۱۵۳,۷	۱۷۵	۵۹,۹
۲۰۰۷/۱۱/۲۶	۲۰۰۹/۰۸/۱۷	۱۲۶	۶۳۰	۷۲
۲۰۰۸/۰۵/۱۹	۲۰۰۹/۰۸/۱۷	۲۶,۸	۴۵۵	۳۴۲
۲۰۰۸/۰۵/۱۹	۲۰۱۰/۰۵/۲۴	۸,۳۵	۷۳۵	۱۱۰۳
۲۰۰۹/۰۸/۱۷	۲۰۱۰/۰۵/۲۴	-۲۳	۲۸۰	۳۹۹

جدول (۳). مشخصات اینترفروگرامهای پردازش شده تصاویر ماهواره Sentinel1

تصویر قدیمی Master Data	تصویر جدید Slave Data	خط مبنای مکان(متر)	فاصله زمانی(روز)	مد تصویربرداری
۲۰۱۹/۰۱/۰۷	۲۰۱۹/۱۱/۱۵	۳۰,۲۹	۳۱۲	IW2-1
۲۰۱۹/۰۱/۰۷	۲۰۱۹/۱۱/۱۵	۳۰,۵۸	۳۱۲	IW2-2
۲۰۱۹/۰۱/۰۷	۲۰۱۹/۱۱/۱۵	۳۰,۸۷	۳۱۲	IW2-3
۲۰۱۹/۰۱/۰۷	۲۰۱۹/۱۱/۱۵	۳۱,۱۶	۳۱۲	IW2-4
۲۰۱۹/۰۱/۰۷	۲۰۱۹/۱۱/۱۵	۳۱,۴۴	۳۱۲	IW2-5
۲۰۱۹/۰۱/۰۷	۲۰۱۹/۱۱/۱۵	۳۱,۷۳	۳۱۲	IW2-6

تکنیک DInsar

سیستم راداری نوعی سیستم اندازه‌گیری فاصله است که با تأخیر زمانی پالس‌های بازگشتی و مشخص بودن دیگر پارامترها، موقعیت نسبی عوارض را در روی یک خط می‌تواند مشخص کند. این سیستم تصویربرداری به دو صورت رادار با روزنه واقعی[1](RAR) و رادار با روزنه مصنوعی[1](SAR) است. در سیستم تصویر برداری SAR،

1 .Real Aperture Radar

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.184.7]
[DOI: 10.52547/jgs.24.72.361]

با شبیه‌سازی یک آنتن با طول بلند عارضه در مدت زمان طولانی‌تر مشاهده شده و اطلاعات مربوط به آن جمع‌آوری می‌گردد. از مزایا سیستم SAR می‌توان به عدم وابستگی آن به فاصله اشاره کرد به‌طوری که همان توان تفکیک در جهت آزیموت که از مرکز هواپیما در فاصله ۱ کیلومتری می‌توانیم بدست آوریم همان توان تفکیک را با فاصله ۶۰۰ کیلومتری هم می‌توانیم بدست آوریم. در یک سیستم SAR، امواج الکترومغناطیسی را در موج‌های مختلف، از چند میلی‌متر تا چند سانتی‌متر در تمامی شرایط آب‌وهوای و شب و روز ارسال کرده و سیگنال‌های بازتابی، به صورت مقادیر تفکیکی ثبت می‌شود. در قسمت مایکروویو الکترومغناطیس معمولا امواج با فرکانس آنها شناخته می‌شوند. سنجش از دور راداری موج‌های با فرکانس ۳ تا ۳۰۰ گیگا هرتز را به کار می-گیرد. بعضی از این دامنه‌ها با حروف نامگذاری شده‌اند و برای راحتی کار معمولاً از این نام‌ها استفاده می-شود(شریفی کیا،۱۳۹۱).

تداخل سنجی رادار دریچه مصنوعی (InSAR)[۲] روشی است که استخراج اطلاعات سه بعدی از سطح زمین را ممکن می کند و این تکنیک نخستین بار توسط(Graham ,1974) در سال ۱۹۷۴ میلادی مطرح شد(شریفی کیا و همکاران، ۱۳۹۱:۱۳). مبنا InSAR مقایسه فاز در بسیاری از پیکسل‌ها است و تفاوت فاز بین پیکسل‌های مربوط به دو تصویر SAR با اندکی موقعیت متفاوت را به‌دست می‌آورد. سیستم‌های SAR فاز سیگنال‌های برگشتی را با دقت بالا می‌تواند تشخیص دهد. در تکنیک InSAR (D) وقتی دو تصویر از یک منطقه در زمان‌های متفاوت داشته باشیم می‌توان هرگونه جابجایی اتفاق افتاده در منطقه را مشخص کنیم. میزان تغییرات با نصف طول موج تخمین زده می‌شود که یک فرینچ در اینترفروگرام تولید می‌کند. و بعد از محاسبه اینترفروگرام، تغییرات فاز برابر از چند مؤلفه است که از رابطه (۱) محاسبه می‌شود:

رابطه(۱).

$$\Delta\varphi = \varphi_1 - \varphi_2 = \Delta\varphi_G + \Delta\varphi_T + \Delta\varphi_D + \Delta\varphi_{Atm} + noise$$

در این رابطه $\Delta\varphi$ فاز ناشی از تغییرات سطح زمین، برابراست $\Delta\varphi_T$ فاز ناشی از توپوگرافی، $\Delta\varphi_{Atm}$فاز اتمسفری[۳]، $noise$ فاز جابجایی و نویز دستگاه می‌باشد. برای اینکه به فاز جابجایی سطح زمین دست پیدا کنیم باید اثر سایر مؤلفه‌های فاز را از بین ببریم. اثرات اتمسفری را می‌توان با استفاده از تصاویر سنجنده‌های مانند MERIS یا MODIS تصحیح می‌شود. برای حذف مؤلفه توپوگرافی می‌توان از مدل‌های رقومی زمین استفاده کرد. و جابجایی ناشی از نویز دستگاه را هم صفر فرض می‌کنیم بنابراین تنها مؤلفه باقیمانده اختلاف فاز ناشی از تغییر شکل سطح زمین است. پس از محاسبه اینترفروگرام، فاز به دست آمده مبهم است و در بازه [-π,π] تغییر می کند. برای تبدیل این فاز مبهم به فاز حقیقی از الگوریتم های ابهام زدایی فاز استفاده می شود که نوعی روش انتگرال گیری هستند.

1 .Synthetic Aperture Radar
2 . Interferometric Synthetic Aperture Radar
3 .Atmospheric Phase Screen(APS)

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.184.7]
[DOI: 10.52547/jgs.24.72.361]

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.184.7]

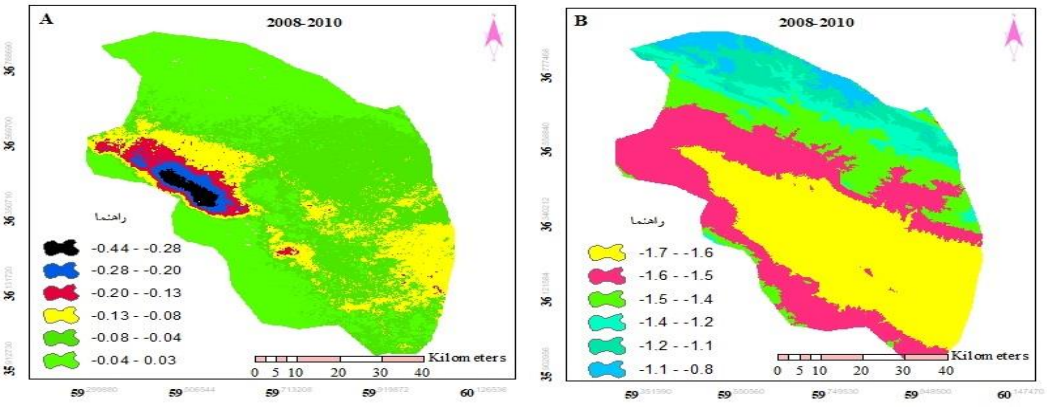
[DOI: 10.52547/jgs.24.72.361]

چاه‌های پیزومتر

از دیرباز احداث چاه‌های پیزومتری یکی از روش‌های معمول در بررسی سطح سفره‌های زیرزمینی و آگاهی از روند تغییرات آن بوده است(Swenson,2006). از پیزومترها برای اندازه‌گیری تغییرات سطح ایستابی یا پیزومتریک استفاده می‌شود. تعیین محل چاه‌های پیزومتر براساس تراکم منابع بهره‌برداری، وجود زهکش‌ها، رودخانه‌ها، نواحی تبخیری و عوامل زمین‌شناسی مانند: گسل‌ها و نیز تغییرات موضعی سطح آب زیرزمینی است که حداقل در هر ۲۵ کیلومتر مربع یک چاه پیزومتر با قطر کم کافی است. چنانچه در محدوده بیلان، سفره تحت فشار وجود داشته باشد، پیزومترها در این لایه‌ها برای آگاهی از فشار پیزومتریک آنها و ارتباط آنها با سفره آزاد جداگانه انتخاب گردند(شرکت مدیریت منابع آب ایران،۶:۱۳۸۳). با توجه به اهمیت استفاده از منابع آب زیرزمینی در دشت مشهد، از آمار مربوط به ۵۰ حلقه چاه پیزومتر که در محدوده مورد بررسی وجود دارد، استفاده گردید. با استفاده از این آمار، نقشه‌های مربوط به درون‌یابی سطح آب‌های زیرزمینی در تمامی دوره‌های بازه مورد مطالعه ترسیم گردید. نتایج درون‌یابی سطح آب‌های زیرزمینی در تمامی دوره‌های بازه مورد مطالعه افت قابل توجه سطح آب زیرزمینی را نشان می‌دهد، به‌طوری که بیشترین میزان افت مربوط با بازه و سطح دارای فرونشست قابل توجهه در منطقه، منطبق است.

نتایج

بر اساس خروجی‌های گرفته شده از تکنیک InSAR (D) بیشترین میزان جابجایی در بازه زمانی ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۰ در غرب دشت مشهد، اراضی قاسم‌آباد و کلاته برفی با فرونشینی حدود۴۴ سانتی‌متر است که بسیار قابل توجه بوده در این منطقه به دلیل قرار گرفتن اراضی کشاورزی و استفاده از منابع آب زیرزمینی برای آبیاری، سطح آب نیز به طور قابل ملاحظه‌ای افت داشته است(شکل۲). در پژوهش‌های قبلی نیز به استفاده از منابع آب زیرزمینی برای مصارف کشاورزی و ارتباط آن با فرونشست اشاره گردیده است. به طوری که در بسیاری از چاه-های پیزومتری افت سطح آب با نشست زمین همبستگی بالایی رانشان می‌دهد(دهقانی، ۱۳۹۴؛ احمدی، ۱۳۹۷؛).



شکل (۲) :(A)، دامنه فرونشست منطقه با استفاده از تصاویر سنجنده ASAR، (m)، (B): درونیابی سطح آبهای زیرزمینی با استفاده از آمار چاه‌های پیزومتر (cm)

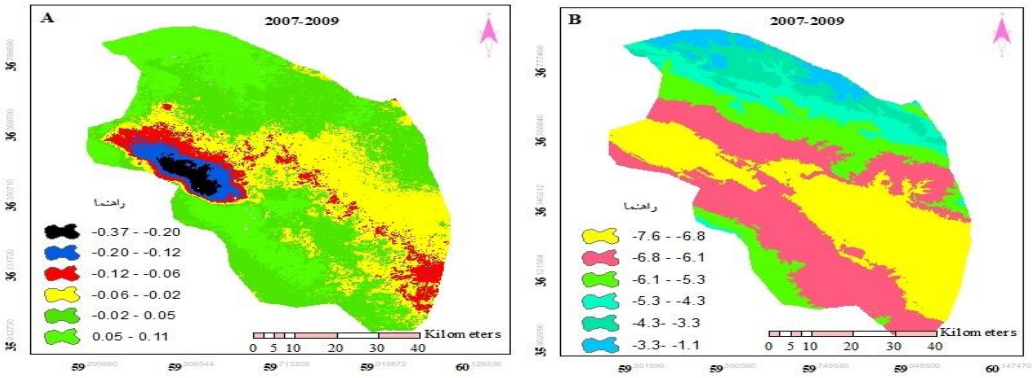
همچنین فرونشست قابل توجهی در بازه ۲۰۰۷ تا ۲۰۰۹ به میزان ۳۷,۷ سانتی متر را شاهد هستیم(**Error! Reference source not found.**). در کل خروجی‌های نشان دهنده میزان فرونشست قابل ملاحظه‌ای در قسمت غربی دشت است که میزان آبهای زیرزمینی نیز با افت زیادی در این منطقه روبرو بوده است. بیشتر اراضی کشاورزی در این منطقه قرار گرفته است. جدول (۴).

جدول (۴): نرخ حداکثر فرونشست و افت آب زیرزمینی در دشت مشهد در بازه مورد مطالعه

بازه زمانی	۲۰۰۶-۲۰۰۵	۲۰۰۸-۲۰۰۷	۲۰۰۹-۲۰۰۷	۲۰۱۰-۲۰۰۸	۲۰۱۰-۲۰۰۹	۲۰۱۹
حداکثرفرونشست (سانتی‌متر)	۴۴	۱۳,۷	۳۷,۷	۴۴,۵	۲۵	۳۶
افت سطح آب زیرزمینی(سانتی-متر)	۱۱	۵,۷۵	۷,۶۴	۸,۱۳	۷,۳۳	..

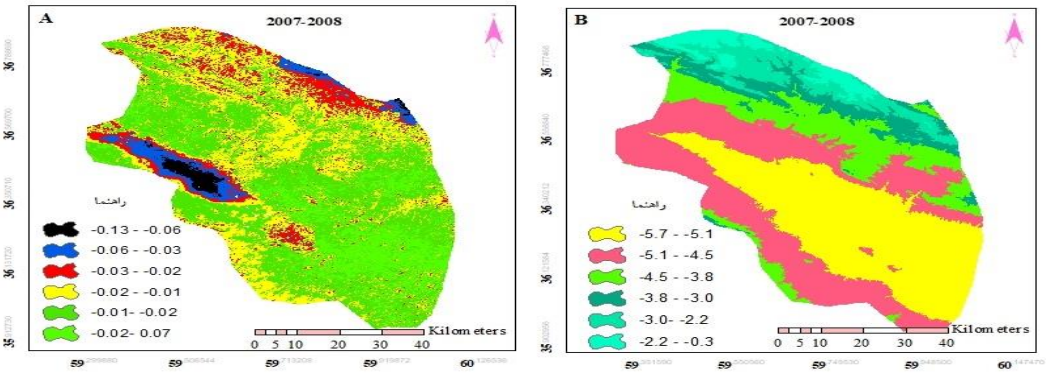
فرونشست اراضی کشاورزی و افت سطح آب زیرزمینی، باعث خسارت زمین‌های کشاورزی، خطوط لوله گاز و آب، تأسیسات زیربنائی و راه‌ها می‌شود و این عوامل خود مشکلاتی نظیر بیکاری و مهاجرت کشاورزان را به دنبال دارد که خود باعث بحران‌های اجتماعی و اقتصادی وسیاسی می‌گردد. در پژوهشی در دشت مهیار جنوبی مشخص گردید که پدیده فرونشست در دهه‌های اخیر معضلات زیادی را برای زمین‌های کشاورزی، مناطق مسکونی، جاده‌ها و کانال‌های آبرسانی در برخی از دشت‌های اصفهان بوجود آورده است(صالحی، ۱۳۹۲). در دشت مشهد نیز فرونشست زمین سبب ایجاد درز و شکاف و خسارات زیادی به زمین‌های کشاورزی گردیده است، و همچنین در محدوده‌ی شهری آسفالت خیابان در چندین نقطه بر اثر فرونشینی زمین از بین رفته است. شکل(۳).

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.184.7]
[DOI: 10.52547/jgs.24.72.361]



شکل (۳) :(A)، دامنه فرونشست منطقه با استفاده از تصاویر سنجنده ASAR (m)، (B): درونیابی سطح آبهای زیرزمینی با استفاده از آمار چاه‌های پیزومتر(cm)

همان‌طور که قبلا هم ذکر شد، یکی از مهم‌ترین دلایل فرونشست افت سطح ایستابی است. در بررسی دشت دیندارلو فرونشست زمین با افت سطح آب زیرزمینی مقایسه شده و با استفاده از درون‌یابی سطح آب‌های زیرزمینی، مهمترین عامل فرونشست، استفاده بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی شناخته شد(دهقانی، ۱۳۹۴). در این پژوهش برای بررسی این موضوع ابتدا با استفاده از روش CoKriging، سطح آب‌های زیرزمینی درونیابی شد و در مرحله بعد برای مقایسه بهتر نمودارهای مربوط به بارش سالیانه و تغییرات سطح آب زیرزمینی در دشت مشهد ترسیم گردید. شکل(۴).

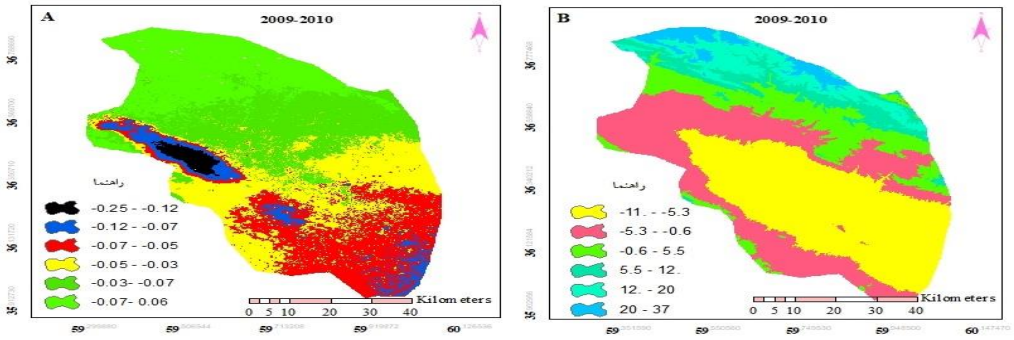


شکل (۴) : (A)، دامنه فرونشست منطقه با استفاده از تصاویر سنجنده ASAR (m)، (B): درونیابی سطح آبهای زیرزمینی با استفاده از آمار چاه‌های پیزومتر(cm)

نقشه‌های مربوط به درون‌یابی سطح آب‌های زیرزمینی در تمامی دوره‌های بازه مورد مطالعه افت قابل توجه سطح آب زیرزمینی را نشان می‌دهد به‌طوری که بیشترین میزان افت مربوط به بازه ۲۰۰۷ تا ۲۰۰۹ می باشد که در این بازه فرونشست قابل توجهی را نیز در منطقه شاهد هستیم. همچنین با بررسی نمودارهای مربوط به بارش سالیانه برحسب میلی‌متر در این محدوده و کمبود نزولات جوی باعث کاهش میزان ذخایر آب سطحی

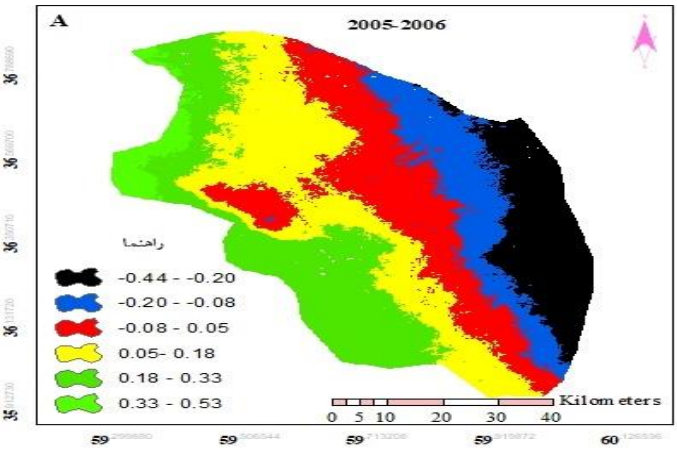
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.184.7]
[DOI: 10.52547/jgs.24.72.361]

شده و این خود ضرورت استفاده از آب زیرزمینی را نمود داده است و کاهش سطح آب‌های زیرزمینی خود مسئله فرونشست را به دنبال دارد.شکل(۵).



شکل (۵):(A)، دامنه فرونشست منطقه با استفاده از تصاویر سنجنده ASAR (m)، (B): درونیابی سطح آبهای زیرزمینی با استفاده از آمار چاه‌های پیزومتر(cm)

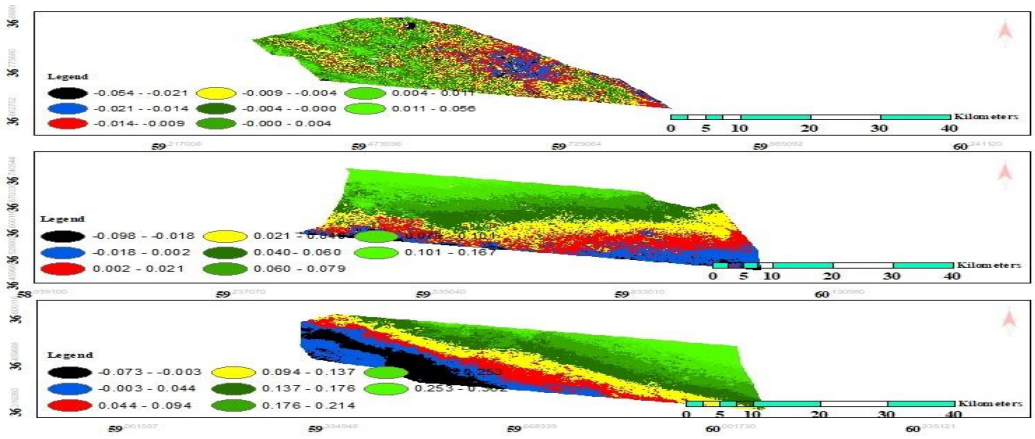
همچنین باتوجّه به رشد روزافزون جمعیت و محدودیت منابع آب به عنوان بستر اصلی تولیدات غذایی، مسأله کم آبی را به گونه‌ای بسیار جدی در وضعیت بسیار بحرانی در این منطقه قرار داده است. بیش از نیمی از جمعیت در این محدوده ساکن هستند. علاوه براین با توجه به افزایش دما و نیاز به آبیاری بیشتر در سالهای اخیر افزایش یافته به طوری که در این دوره ۷۶۲ میلیون متر مکعب بیشتر از سالهای قبل از منابع آب زیرزمینی استفاده شده است.شکل(۶).



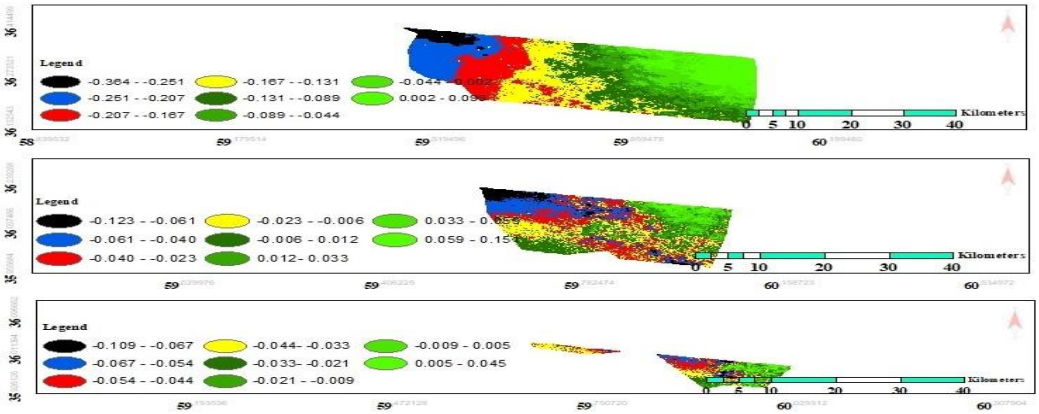
شکل (۶). A)، دامنه فرونشست منطقه با استفاده از تصاویر سنجنده ASAR(m)

برای تحلیل بهتر نتایج و داشتن آمار جدید از پردازش زوج تصاویر سنتینل و ۶ تداخل نگاشت که در محدوده مورد مطالعه در حالت تصویربرداریIW در محدوده زمانی ۲۰۱۹/۰۱/۰۷ تا ۲۰۱۹/۱۱/۱۵ بود، استفاده شد. نتایج تحلیل سری زمانی نشان دهنده فرونشست منطقه به‌طور پیوسته است به‌طوری که نرخ فرونشست ۳۶ سانتی‌متر در سال در محدوده اراضی قاسم‌آباد و کلاته برفی است. شکل(۷،۸).

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.184.7]
[DOI: 10.52547/jgs.24.72.361]



شکل ۲: دامنه فرونشست منطقه با استفاده از تصاویر ماهواره Sentinel1(m)

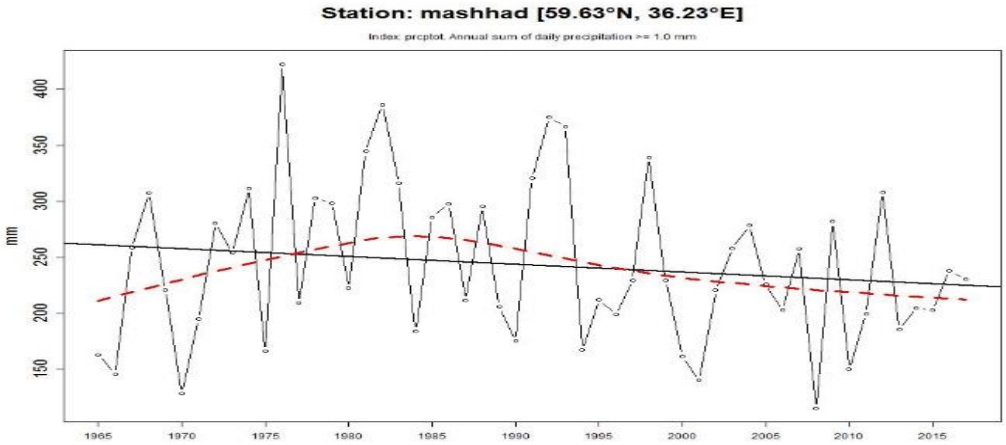


شکل ۳: دامنه فرونشست منطقه با استفاده از تصاویر ماهواره Sentinel1(m)

با توجه به طبقه‌بندی ایران، این محدوده در ناحیه اقلیمی نیمه خشک کشور(B) در زیرناحیه (B1) قرار می-گیرد. با بررسی بارش‌های از حدود ۲۰ ایستگاه مستقر در محدوده مورد مطالعه در بیشتر سال‌ها روند منفی بارش و کاهش مقادیر نزولات جوی را نشان می‌دهد. میزان تبخیر نیز به‌طور قابل ملاحظه‌ای با کاهش بارش افزایش پیدا کرده است.

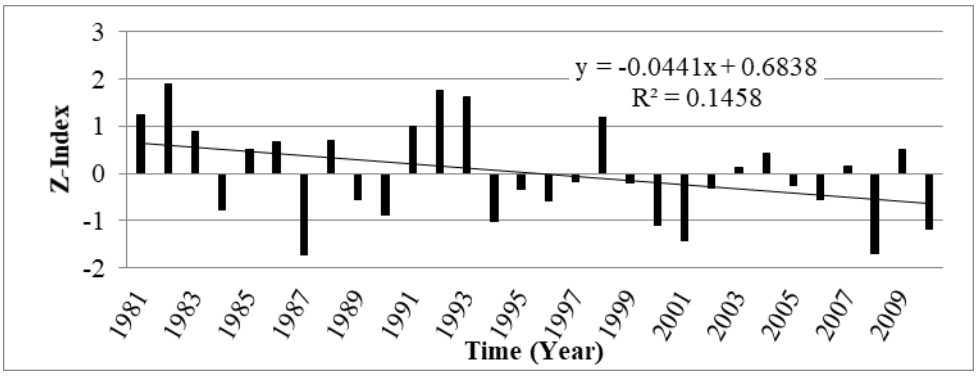
شکل(۹) میزان بارش کل طی دوره آماری ۲۰۱۸-۱۹۶۶ را برای ایستگاه مشهد نمایش می دهد. متوسط بارش این منطقه حدود ۲۵۰ میلیمتر است بر اساس این شکل تقریباً از سال های ۱۹۹۰ میزان بارش با حفظ نوسانات موجود از روند کاهشی با شیب حدود ۰/۷ برخودار است. با توجه به فرونشت های مشاهده شده توسط رادار می توان هشداری جدیدتر در سال های آتی با توجه به رشد جمعیت منطقه داد.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.184.7]
[DOI: 10.52547/jgs.24.72.361]



شکل (۹): متوسط بارش سالانه ایستگاه مشهد طی دوره آماری ۲۰۱۸-۱۹۶

شاخص SPEI در بازهای زمانی مختلف که هر یک نمایانگر نوعی از خشکسالی است محاسبه می گردد. در این مطالعه از دو بازه ۳ و ۲۴ ماهانه که به ترتیب نشان دهنده خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی است استفاده گردید. همانطور که ملاحظه میشود بر اساس ایستگاه مورد استفاده منطقه متاثر از خشکسالی های متعددی بوده و از طرفی با توجه به جمعیت ساکن در منطقه به دلیل نیاز به آب، به استفاده از منابع آب زیرزمینی روی آورده اند و این امرمنجر به فرونشینی در بخش بالایی دشت خواهد شد. شکل(۱۰).



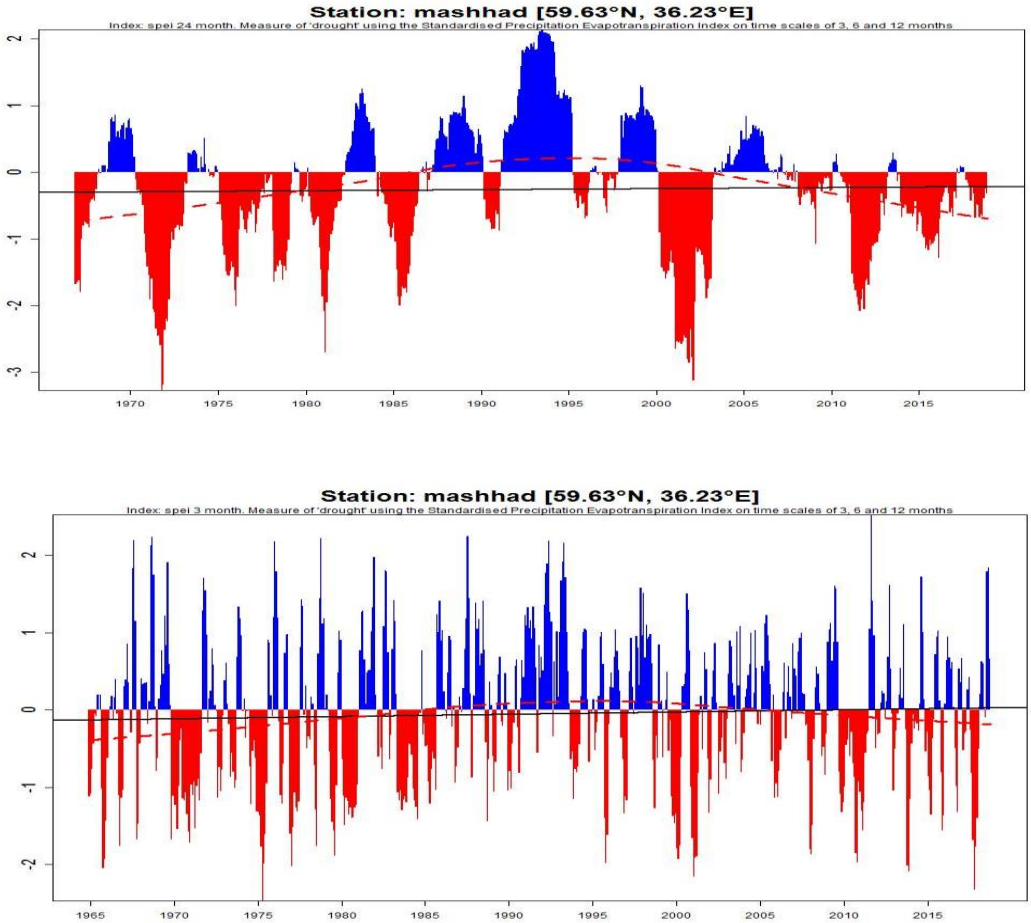
شکل (۱۰): نمودار خشکسالی

برای تایید این ادعا می‌توان اشاره به پژوهشی کرد که بیان می‌دارد، تغییر اقلیم منجر به افزایش دما و بعضا کاهش متوسط بارندگی در سطح جهانی شده و خشکسالی را به همراه داشته است. کاهش بارندگی و پدیده خشکسالی منجر به افزایش استفاده از منابع آب زیرزمینی شده است. بیشترین مقدار آب‌های زیرزمینی برای مصارف کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرد. همچنین افزایش جمعیت باعث افزایش تقاضا برای آب می-گردد(دهقانی، ۱۳۹۴).

بنابراین میتوان نتیجه گرفت که خشکسالی یکی از عوامل اصلی افت سطح ایستابی در محدوده مورد مطالعه می‌باشد و علاوه بر آن اضافه برداشت‌ها نقش اصلی را دارد. در واقع مدیریت نادرست و افزایش جمعیت در این

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.184.7]
[DOI: 10.52547/jgs.24.72.361]

منطقه باعث شده است که خشکسالی به عنوان یک حادثه پر خطر شناخته شود در حالی که باید هر نوع فعالیتی متناسب با توان اکولوژیک منطقه باشد.شکل(۱۱).



شکل (۱۱): نمودار خشکسالی بر اساس شاخص spei-3-24

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این پژوهش، کارایی روش تداخل‌سنجی راداری(InSAR) برای بررسی تغییرات سطح زمین بویژه پدید فرونشست، را نشان می‌دهد. این تکنیک یکی از جدیدترین فناوری‌های مورد استفاده در این زمینه است. فرونشست یکی از مخاطرات ژئومورفیک است که در بسیاری از نقاط ایران مشاهده شده است و سالانه خسارات جبران‌ناپذیری بر روی سازه‌های مختلف شهری و روستایی خواهد داشت و ترک، فروچاله و شکستگی‌های در سازه‌های مختلف، انفجار لوله‌های گاز و ... را به تأسیسات و زیرساخت‌ها وارد می‌کند. در واقع بهره‌برداری غیراصولی آب زیرزمینی باعث بهم‌خوردگی و در آرایش ذرات خاک و کاهش فضایی خالی رسوبات شده و در نتیجه نشست زمین را به دنبال دارد. دشت مشهد نیز در محدوده استان خراسان در حال فرونشینی

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.184.7]
[DOI: 10.52547/jgs.24.72.361]

است که در سال‌های اخیر حدود ۴۰ سانتی متر نشست داشته است. بر اساس مطالعه انجام شده، بیشترین فرونشست در محدوده شهر توس و به طور دقیق تر حوالی روستای کلاته برفی است. همچنین فرونشست قابل توجهی در بازه ۲۰۰۷ تا ۲۰۰۹ به میزان ۳۷,۷ سانتی متر را در این منطقه شاهد هستیم. در کل خروجی‌های نشان دهنده میزان فرونشست قابل ملاحظه‌ای در قسمت غربی دشت است که میزان آبهای زیرزمینی نیز با افت زیادی در این منطقه روبرو بوده است، بطوریکه در بازه زمانی ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۰ حدود ۱۱ میلی‌متر افت آب زیر زمینی را در محدوده شهر توس شاهد هستیم. بیشتر اراضی کشاورزی در این منطقه قرار گرفته است. شایان ذکر است که این منطقه از تراکم بالای جمعتی برخودار است و ضمن اینکه آثار باستانی متعددی همچون فردوسی و همچنین گنبد هارونیه و ... قرار دارد. از عوامل عمده نشست زمین در این محدوده می‌توان به کاهش بارش، افزایش تبخیر و در نتیجه خشکسالی را به عنوان عامل اصلی افت سطح آب‌های زیرزمینی دانست، بطوریکه در دوره زمانی ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۰ میزان بارش حدود ۱۰۰ میلی‌متر کاهش داشته و تبخیر با افزایش ۵۰ میلی‌متری روبروست. طبیعی است کاهش منابع آب سطحی منجر به استفاده بیش از حد از آبهای زیرزمینی و استراتژیک می گردد ضمن اینکه اضافه برداشت‌ها نیز نقش اصلی را در این کاهش دارند. در واقع مدیریت نادرست و افزایش جمعیت در این منطقه باعث شده است که فرونشست به عنوان یک حادثه پر خطر شناخته شود. مقالاتی مربوط به فرونشست این منطقه کارشده که میتوان به عنوان تاییدی بر این پژوهش به آن‌ها استناد کرد: از جمله کار بهنیافر و همکاران که به بررسی فرونشست دشت مشهد و پیامدهی ژئومورفیک آن اشاره کردند و با استفاده از آمار مربوط به چاه‌های پیزومتر میـزان افـت سـالانه سطح آب زیرزمینی دشت ۱/۴۷ متر برآورد کردند و مشخص نمودند که بیشترین فرونشست ها و حفرات با اشکال ژئومورفیک متفاوت در بخـش هـای مرکزی و جنوب شرقی آن رخ داده است. همچنین رهنماراد و همکاران(۱۳۸۶:۲) با بررسی مقدماتی فرونشست دشت مشهد براساس افت آبهای زیرزمینی، بیان می‌دارد که این دشت در طی ۳۰، ۴۰ سال اخیر ۶۰-۴۰ متر افت سطح آب زیر زمینی داشته، باعث خشک شدن لایه اشباع آبخوان آن و همچنین باعث پدیده فرونشست و متعاقبا شکستگی های عمقی و طولی در مزارع کشاورزی، جاده ها و راه های ارتباطی شده است.

یکی از بهترین راهکارهای عملی به منظور جلوگیری از این معضل این است که هر نوع فعالیتی متناسب با توان اکولوژیک منطقه باشد. ضمن اینکه کاهش مصرف و کنترل شدید میزان برداشت آب زیرزمینی نیز در دستور کار باشد. با توجه به نرخ فرونشست سالیانه و مطالعات قبلی بر روی دشت، دلیل اصلی فرونشست برداشت‌های بی‌رویه آب زیرزمینی است و نرخ فرونشست در سالهای اخیر در حال افزایش است. بنابراین باید هر چه زودتر باید برداشت از سفره‌های آب زیرزمینی متوقف شود. با استفاده از تکنیک تداخل‌سنجی راداری(InSAR) باید مناطق در معرض نشست شناسی شود و برای برنامه ریزی به سازمان‌های اجرایی ابلاغ شود.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.184.7]
[DOI: 10.52547/jgs.24.72.361]

منابع

ابراهیمی حسن، دهقان بردبار مسعود(۱۳۸۹)، **تأثیر شرایط اقلیمی در تغییر مصرف آب بخش زراعی و باغی دشت مشهد**، همایش ملی مدیریت کمبود آب و تنش خشکی در زراعت، ارسنجان، دانشگاه آزاد اسلامی واحد ارسنجان.

احمدی نعیمه، موسوی زهرا، معصومی زهره(۱۳۹۷)، **مطالعه فرونشست دشت خرمدره با استفاده از تکنیک تداخل‌سنجی راداری و بررسی مخاطرات آن**، سنجش از دور و GIS، ۱۰(۳): ۳۳-۵۲

بابایی سید ساسان، موسوی زهرا، روستایی مه‌آسا(۱۳۹۵)، **اندازه‌گیری نرخ فرونشست دشت قزوین با استفاده از فناوری تداخل‌سنجی راداری بین سالهای ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۰**، همایش ملی ژئوماتیک

بهنیافر ابوالفضل، قنبرزاده هادی، اشراقی علی(۱۳۸۹)، **بررسی عوامل مؤثر در فرونشست‌های دشت مشهد و پیامدهای ژئومورفیک آن**، فصل‌نامه جغرافیا و برنامه‌ریزی چشم‌انداز زاگرس، ۲(۵)، **۱۴۶-۱۳۱**

پاکدامن محمدصادق، صفربیرانوند پریسا، المدرسی سید علی(۱۳۹۳)، **آشکارسازی ابعاد فرونشست فرودگاه امام خمینی (ره) با استفاده از روش تداخل سنجی راداری**، همایش ملی کاربرد مدل های پیشرفته تحلیل فضایی (سنجش از دور و GIS)در آمایش سرزمین

حاتمی نژاد حسین(۱۳۸۰)، **شهر و عدالت اجتماعی(ناهمگونی‌های فضایی محلات شهر مشهد)**، رساله دکتری، دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده علوم زمین، گروه جغرافیا

حشمتی شیما، المدرسی علی(۱۳۹۱)، **مدلسازی فرونشست دشت نیشابور با استفاده از سری ی زمانی و تکنیک DInsar**، مجله جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، ۲۶(۱) : **۷۴-۶۷**

حمیدیان‌پور محسن(۱۳۸۴)، **تحلیل دوره‌های خشکسالی مشهد و میزان تأثیر آن بر منابع آب**، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، تحت راهنمایی دکتر شهریار خالدی، دانشگاه شهید بهشتی،دانشکده علوم زمین

دهقانی مریم(۱۳۹۳)، **ارائه الگوریتمی جدید بر مبنای تکنیک تداخل‌سنجی راداری به منظور پایش فرونشست سطح زمین ناشی از استخراج آبهای زیرزمینی**، نشریه علمی- پژوهشی مهندسی فناوری اطلاعات مکانی، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، ۲(۲)، **۷۳-۶۱**

دهقانی مریم، کرمی محسن، حسینی زاده سیدمحسن، شفیعی سیدمحسن، فرهنگ آرزومان (۱۳۹۴) ، **بررسی فرونشست دشت دیندارلو با تکنیک InSAR و ارزیابی آن با افت سطح ایستابی به روش Kriging**، دومین کنگره تخصصی علوم زمین، تهران

رفیعی، جعفر، صدیقی، مرتضی(۱۳۹۵)، **تعیین میزان فرونشست بر پایه تداخل‌سنجی راداری (Insar) در میدان نفتی نفت شهر**، همایش ملی ژئوماتیک ۲۳(۱)

روزبان، علی، اسماعیلی، علی، معتق، مهدی(۱۳۹۵)، **بررسی فرونشست زمین با استفاده از روش تداخل‌سنجی تفاضلی راداری (DINSAR) و به کارگیری تصاویرSENTINEL** ، دومین کنفرانس ملی مهندسی فناوری اطلاعات مکانی، دانشکده خواجه نصیرالدین طوسی

رهنماراد جعفر، فرهنگ راحله، حسینی سید علی(۱۳۸۶)، **فرونشست دشت مشهد بر اثر برداشت بی رویه ی آبهای زیر زمینی** ،بررسی مقدماتی، دومین همایش مقابله با سوانح طبیعی، تهران، قطب علمی مهندسی نقشه برداری و مقابله با سوانح طبیعی، دانشکده فنی دانشگاه تهران، ۲(۲)

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.184.7]

[DOI: 10.52547/jgs.24.72.361]

شاهمحمدی عاطفه، بیات علی، مشهدی زاده ملکی سعید(۱۳۹۹)، **بررسی رفتار دی‌اکسید نیتروژن در شهرستان مشهد و ارتباط آن با پارامترهای هواشناسی**، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۲۰(۵۸): ۸۵-۷۱

شریفی کیا محمد، ضیائیان فیروزآبادی پرویز، چاجی مرضیه(۱۳۹۱)، **بازیابی و تحلیل ضریب بازپخش سیگنال در قطبیدگی VVو HHبا سری زمانی تصاویر راداری به منظور پایش محصول گندم**، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۱۳(۲۹): ۲۵-۷

شریفی کیا، محمد(۱۳۹۱) **تعیین میزان و دامنه فرونشست زمین به کمک روش تداخل‌سنجی راداری(D-InSAR) در دشت نوق- بهرمان**، برنامه‌ریزی و آمایش فضا، ۱۶(۳): ۷۷-۵۵

صالحی رضا، غفوری محمد، لشکری‌پور غلامرضا، دهقانی مریم(۱۳۹۲)، **بررسی فرونشست دشت مهیار جنوبی با استفاده از روش تداخل‌سنجی راداری**، فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب، ۳(۱۱): ۵۷-۴۷

عالی پور اردی مهدی، ملک محمدی بهرام، جعفری حمیدرضا(۱۳۹۵)، **پهنه بندی ریسک فرونشست زمین در اثر افت سطح آب زیرزمینی با استفاده از مدل تحلیل سلسله مراتبی فازی(مطالعه موردی: دشت اردبیل)**، مجله علمی- پژوهشی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، ۱۱(۳۸): ۳۴-۲۵

علیزاده امین(۱۳۹۱)، **اصول هیدرولوژی کاربردی**، موسسه چاپ و انتشارات آستان قدس رضوی، ۳۵، ۳۷۵

منتظریون مریم، اصلانی فرشته(۱۳۹۸)، **ارزیابی خطر فرونشست زمین با بکارگیری سیستم اطلاعات جغرافیایی در پهنه استان‌های تهران و البرز**، فصلنامه دانش و پیشگیری و مدیریت بحران، ۹(۱): ۴۷-۳۶

Bock, Y, Wdowinski, S, Ferretti, A, Novali, F, Fumagalli, A (2012), **Recent subsidence of the Venice Lagoon from continuous GPS and interferometric synthetic aperture radar**, Research Letter Volume 13, Number 3 28 March 2012 Q03023, doi: 10.1029/2011GC003976 ISSN: 1525-2027

KAGAWA, A, & FURUNO. K(2010), **Land subsidence monitoring system in the southeast part of Kanto groundwater basin, Japan, Land Subsidence**, Associated Hazards and the Role of Natural Resources Development (Proceedings of EISOLS 2010, Querétaro, Mexico, 17–22 October 2010). IAHS Publ. 339, 2010, 339-344.

Crosetto et al,(2002**), Subsidence monitoring using SAR interferometry: Reduction of the atmospheric effects using stochastic filtering**, Geophysical Researech Letters, 29(9): 26.1-26.4.

Khorsandi Aghai ,A (2015), **Survey of land subsidence – case study: The land subsidence formation in artificial recharge ponds at South Hamadan Power Plant**, **northwest of Iran**, Indian Academy of Sciences, J. Earth Syst. Sci.124, No. 1, February 2015, pp. 261–268c

Mingsheng, L (2008)**Subsidence measurement with PS-InSAR techniques in Shanghai urban,** The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XXXVII. Part B7. Beijing

Motagh, M., T. R. Walter, M. A. Sharifi, E. Fielding, A. Schenk, J. Anderssohn & J. Zschau,(2008) "**Land Subsidence in Iran Caused by Widespread Water Reservoir Overexploitation**", Geophysical Research

Swenson. S, & Wahr. J (2006**), Post processing removal of correlated errors in GRACE data**, Geophysical Research Letters 33: l08402

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.184.7]
[DOI: 10.52547/jgs.24.72.361]