

ارزیابی و تحلیل مخاطره فرونشست در دشت کبودرآهنگ-فامنین

حمید گنجائیان^۱

فاطمه منبری^۲

افشان قاسمی^۳

مژگان نصرتی^۴

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۰۳/۱۷

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۰۸/۲۷

چکیده

مخاطره فرونشست در طی سال‌های اخیر بسیاری از مناطق کشور از جمله دشت‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک را با چالش جدی مواجه کرده است. دشت کبودرآهنگ-فامنین از جمله مناطقی است که تحت تأثیر مخاطره فرونشست قرار گرفته است. با توجه به اهمیت موضوع، در پژوهش حاضر به ارزیابی میزان فرونشست دشت کبودرآهنگ-فامنین و تحلیل عوامل مؤثر در وقوع آن پرداخته شده است. در این پژوهش متناسب با موضوع و اهداف مورد نظر، از اطلاعات ۱۳ چاه پیزومتریک، تصاویر راداری مربوط به ماهواره سنتینل ۱، تصاویر ماهواره لندست، مدل رقومی ارتفاعی ۳۰ متر SRTM و همچنین اطلاعات به دست آمده از بازدیدهای میدانی به عنوان داده‌های تحقیق استفاده شده است. ابزار مهم مورد استفاده در تحقیق شامل نرم‌افزارهای ArcGIS، GMT و گوگل ارث بوده است. این تحقیق در سه مرحله کلی انجام شده است که در مرحله اول، به بررسی وضعیت ژئومورفولوژی و کاربری اراضی منطقه پرداخته شده است. در مرحله دوم، تأثیر این عوامل بر آب‌های زیرزمینی منطقه ارزیابی شده است. در مرحله سوم نیز میزان فرونشست منطقه در ارتباط با عوامل ذکر شده مورد ارزیابی قرار گرفته است. بر اساس نتایج حاصله، منطقه مورد مطالعه با افت شدید منابع آب زیرزمینی مواجه است به طوری که در بیشتر چاه‌های مورد مطالعه، میانگین افت سالانه آب زیرزمینی بیش از ۲ متر بوده و همین مسئله سبب شده است تا دشت کبودرآهنگ-فامنین در طی دوره زمانی ۵ ساله (از تاریخ ۲۰۱۵/۰۱/۱۶ تا ۲۰۲۰/۰۱/۱۴) بین ۲۹ تا ۲۱۶ میلی‌متر فرونشست داشته باشد.

واژه‌های کلیدی: فرونشست، سری زمانی SBAS، دشت کبودرآهنگ-فامنین

۱- دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه تهران، تهران، ایران (نویسنده مسئول) h.ganjaeian@ut.ac.ir
۲- دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران fatemehmenbari@gmail.com
۳- دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران afshan.ghasemi@yahoo.com
۴- کارشناس ارشد ژئومورفولوژی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران m.nosrati.1389@gmail.com

مقدمه

کافی ندارد، میزان بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی در این دشت بیش از حد مجاز بوده است و همین مسئله سبب افت شدید منابع آب زیرزمینی این منطقه و در نهایت بروز مخاطره فرونشست شده است. با توجه به اینکه فرونشست به‌عنوان یک مخاطره نامحسوس محسوب می‌شود و در بلندمدت با اثرات منفی زیادی بر نواحی کشاورزی و سکونتگاهی همراه است (گنجائیان، ۱۳۹۹)، در این پژوهش به ارزیابی میزان فرونشست دشت کبودرآهنگ-فامنین و تحلیل عوامل مؤثر در وقوع آن پرداخته شده است.

با توجه به موضوع مورد مطالعه، در این پژوهش به منظور ارزیابی میزان فرونشست منطقه از روش تداخل‌سنجی راداری استفاده شده است. روش تداخل‌سنجی راداری از جمله روش‌های جدیدی است که کاربرد زیادی در مطالعه فرونشست دارد و همین مسئله سبب شده است تا در طی سال‌های اخیر تحقیقات خارجی و داخلی زیادی در این زمینه صورت گیرد که از جمله آن‌ها می‌توان به معتق^۵ و همکاران (۲۰۰۷) اشاره کرد که با استفاده از روش تداخل‌سنجی راداری، میزان فرونشست سالانه دشت مشهد را حداکثر ۲۸ تا ۳۰ سانتی‌متر محاسبه کرده‌اند. کانو^۶ و همکاران (۲۰۱۲) با استفاده از روش سری زمانی SBAS، میزان فرونشست سالانه سواحل ایونیان^۷ در جزیره سیسیل ایتالیا را بین ۵ تا ۱۸ سانتی‌متر محاسبه کرده‌اند. بوزانو^۸ و همکاران (۲۰۱۵) با استفاده از تصاویر راداری ENVISAT و روش تداخل‌سنجی راداری، میزان فرونشست دشت آلبو^۹ در طی سال‌های ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۰ را ۸۰ میلی‌متر محاسبه کرده‌اند. دیو^{۱۰} و همکاران (۲۰۱۷) با استفاده از روش تداخل‌سنجی راداری، میزان فرونشست سالانه زمین در شبه‌جزیره لیژاو^{۱۱} در چین را حدود ۳۲

در طی سال‌های اخیر روند افزایشی جمعیت، توسعه فیزیکی شهرها و توسعه روزافزون بهره‌برداری از منابع، سبب بروز مخاطرات زیادی شده است که از جمله آن‌ها می‌توان به مخاطره فرونشست اشاره کرد (گنجائیان، ۱۳۹۹). اصطلاح فرونشست به‌طور معمول به حرکت قائم رو به پایین سطح زمین که می‌تواند با بردار اندک افقی همراه باشد، گفته می‌شود (چن^۱ و همکاران، ۲۰۱۶) و تحت تأثیر عوامل طبیعی مانند فعالیت‌های تکتونیکی و انسانی مانند بهره‌برداری بیش از حد از منابع آب زیرزمینی قرار دارد (مارگاریتا^۲ و همکاران، ۲۰۰۵؛ یائو^۳، ۲۰۱۹).

مخاطره فرونشست برخلاف بسیاری از مخاطرات مانند سیل و زمین‌لرزه، به‌صورت نامحسوس است و در بلندمدت سبب بروز خسارات زیادی مانند ترک‌خوردگی ساختمان‌ها، کج‌شدگی تأسیسات مرتفع، از بین رفتن اراضی کشاورزی، ایجاد فروچاله و غیره می‌شود (شریفی‌کیا، ۱۳۹۱)، بنابراین مناطقی که در معرض این مخاطره قرار دارند، با چالش‌های زیادی مواجه هستند. از جمله مناطقی که در معرض مخاطره فرونشست قرار دارد، دشت‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک (پاچکو^۴ و همکاران، ۲۰۰۶)، از جمله دشت‌های ایران است (رکنی و همکاران، ۱۳۹۵). در واقع، قرار گرفتن بخش زیادی از مساحت ایران در منطقه خشک و نیمه‌خشک سبب شده است تا این مناطق با کمبود منابع آب سطحی مواجه باشند و همین مسئله سبب استفاده بیش از حد از منابع آب زیرزمینی در طی سال‌های اخیر و وقوع مخاطره فرونشست شده است. از جمله مناطقی که در معرض مخاطره فرونشست قرار دارد، دشت کبودرآهنگ-فامنین در استان همدان است. این دشت به دلیل نداشتن موانع محدودکننده ژئومورفولوژیک، با توسعه اراضی کشاورزی زیادی همراه بوده است و با توجه به اینکه منابع آب سطحی

5- Motagh

6- Canova

7- Ionian

8- Bozzano

9- Acque albule

10- Du

11- Leizhou

1- Chen

2- Margarita

3- Yao

4- Pacheco et al

منطقه مورد مطالعه: محدوده مطالعاتی تحقیق حاضر منطبق بر دشت کبودرآهنگ-فامنین است که از نظر تقسیمات سیاسی در محدوده استان همدان قرار دارد و بخش‌هایی از مساحت شهرستان‌های شمالی همدان از جمله کبودرآهنگ و فامنین را شامل می‌شود (نگاره ۱). این محدوده از نظر تقسیمات حوضه‌ای در حوضه آبریز قره‌چای قرار دارد که از زیرحوضه‌های دریاچه نمک محسوب می‌شود. از نظر ژئومورفولوژی، به دلیل قرار گرفتن در واحد دشت، دارای میزان شیب کمی است. این دشت از سمت جنوب به دشت همدان-بهار و از سمت شمال به دشت رزن منتهی می‌شود. از نظر اقلیمی نیز دارای زمستان‌های سرد و خشک و تابستان‌های گرم و خشک است (حلییان و همکاران، ۱۳۹۲).

مواد و روش‌ها

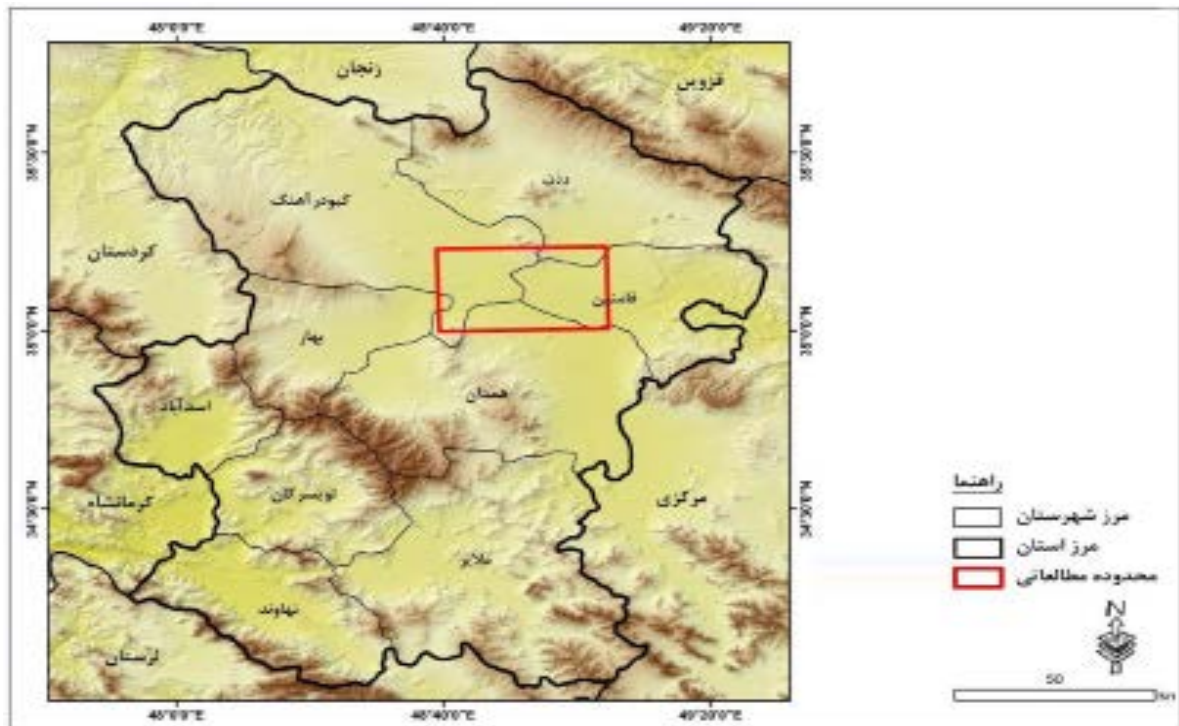
در این پژوهش متناسب با موضوع و اهداف مورد نظر، از اطلاعات آماری (اطلاعات مربوط به ۱۳ چاه پیزومتریک در محدوده مطالعاتی)، کتابخانه‌ای و تصویری (تصاویر راداری مربوط به ماهواره سنتینل ۱، تصاویر ماهواره لندست و همچنین مدل رقومی ارتفاعی ۳۰ متر SRTM) به عنوان داده‌های تحقیق استفاده شده است. ابزارهای مورد استفاده در تحقیق شامل نرم‌افزارهای GMT (به منظور تهیه نقشه فرونشست با استفاده از روش تداخل‌سنجی راداری و روش سری زمانی SBAS)، گوگل ارث (به منظور پایش منطقه و شناسایی فروچاله‌ها) و ArcGIS (به منظور تهیه نقشه‌های نهایی) بوده است. با توجه به اهداف مورد نظر، این تحقیق در سه مرحله انجام شده است که در ادامه به تشریح این مراحل پرداخته شده است:

- **مرحله اول (بررسی وضعیت ژئومورفولوژی و کاربری اراضی منطقه):** در این پژوهش به منظور بررسی وضعیت ژئومورفولوژی منطقه، از مدل رقومی ارتفاعی ۳۰ متر SRTM استفاده شده است و با استفاده از آن، نقشه‌های شیب، ارتفاع و شبکه زه‌کشی منطقه تهیه شده است و سپس بر مبنای آن‌ها، وضعیت ژئومورفولوژی منطقه و

میلی‌متر محاسبه کرده‌اند. ژائو^۱ و همکاران (۲۰۱۹) با استفاده از روش تداخل‌سنجی راداری، میزان فرونشست سالانه زمین در منطقه ساحلی شانگهای چین را حدود ۳۰ میلی‌متر محاسبه کرده‌اند.

در ایران نیز روزبان و همکاران (۱۳۹۵) با استفاده از تصاویر سنتینل ۱ و روش تداخل‌سنجی راداری، حداکثر فرونشست سالانه دشت رفسنجان را ۲۸ سانتی‌متر محاسبه کرده‌اند. بابایی و همکاران (۱۳۹۶) با استفاده از تصاویر راداری و روش سری زمانی SBAS و PC، میزان فرونشست سالانه مناطق جنوب غربی تهران را حدود ۶۱ میلی‌متر محاسبه کرده است. صالحی متعهد و همکاران (۱۳۹۸) با استفاده از تصویر راداری ENVISAT، میزان فرونشست سالانه دشت مشهد را ماکزیمم ۲۰ سانتی‌متر محاسبه کرده‌اند. مقصودی و همکاران (۱۳۹۸) با استفاده از تصاویر راداری سنتینل ۱ و تکنیک تداخل‌سنجی راداری مبتنی بر پراکنش‌گرهای دائمی، میزان فرونشست سالانه مناطق جنوبی تهران را ماکزیمم ۱۵ سانتی‌متر محاسبه کرده‌اند. گنجائیان و همکاران (۱۳۹۸) با استفاده از تصاویر راداری سنتینل ۱ و روش سری زمانی SBAS، میزان فرونشست دشت همدان-بهار در طی دوره زمانی ۲ ساله را حدود ۱۳۳ میلی‌متر محاسبه کرده‌اند. ابراهیمی و همکاران (۱۳۹۹) با استفاده از تصاویر سنتینل ۱ و روش تداخل‌سنجی راداری، میزان فرونشست سالانه محدوده شهری پاکدشت را بین ۱۵ تا ۸۵ میلی‌متر برآورد کرده‌اند.

بررسی تحقیقات پیشین نشان داده است که مخاطره فرونشست در بسیاری از کشورها مورد توجه قرار گرفته است و دقت و سرعت بالای روش‌های سنجش‌ازدوری نیز سبب شده تا در بسیاری از تحقیقات از این روش‌ها به منظور پایش میزان فرونشست مناطق مختلف استفاده شود. در راستای تحقیقات پیشین، هدف از پژوهش حاضر، ارزیابی نرخ فرونشست سالانه دشت کبودرآهنگ-فامنین و تحلیل عوامل مؤثر در وقوع آن است.



نگاره ۱: نقشه موقعیت منطقه مورد مطالعه

مرحله سوم (ارزیابی میزان فرونشست منطقه): در این مرحله به منظور ارزیابی میزان فرونشست منطقه، ابتدا ۷۳ تصویر راداری سنتینل ۱ با حالت مداری صعودی، نوع IW و فرمت SLC از تاریخ ۲۰۱۵/۰۱/۱۶ تا ۲۰۲۰/۰۱/۱۴ تهیه شده (جدول ۱). پس از تهیه تصاویر مورد نظر، به منظور انجام تداخل سنجی راداری، از نرم افزار GMTSAR در محیط لینوکس استفاده شده است. در مرحله اول پیش پردازش‌های لازم بر روی تصاویر شامل تصحیحات مداری، حذف خطای توپوگرافی و فیلتر تصاویر انجام شده است (هانسن، ۲۰۰۱). پس از انجام پیش پردازش‌های لازم، بر مبنای بیس لاین زمانی تصاویر، نقشه‌های ایترفروگرام منطقه تهیه شده است. پس از تهیه نقشه‌های ایترفروگرام، به منظور تهیه نقشه نهایی فرونشست، از روش سری زمانی SBAS استفاده شده است.

بحث و نتایج

بررسی وضعیت ژئومورفولوژی و کاربری اراضی دشت کبودرآهنگ-فامنین: یکی از عوامل اصلی در وقوع

تأثیر آن در مخاطره فرونشست تحلیل شده است. همچنین در این مرحله با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۸ مربوط به تاریخ ۲۰۲۰/۰۶/۱۳، نقشه کاربری اراضی دشت کبودرآهنگ-فامنین تهیه شده است و ارتباط آن با وضعیت ژئومورفولوژی منطقه و سپس تأثیر آن در وقوع مخاطره فرونشست تحلیل شده است. در تهیه نقشه کاربری اراضی، از روش حداکثر احتمال استفاده شده است.

مرحله دوم (بررسی وضعیت افت منابع آب زیرزمینی منطقه): در این مرحله به منظور بررسی وضعیت افت منابع آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه، از اطلاعات مربوط به ۱۳ چاه پیزومتريک در محدوده دشت کبودرآهنگ-فامنین استفاده شده است. بر مبنای اطلاعات اولیه به دست آمده، میزان افت سطح آب زیرزمینی این چاه‌ها در طی سال‌های ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۴ و همچنین میانگین سالانه افت آب در هر چاه محاسبه شده است. با توجه به محاسبات صورت گرفته، در ادامه با استفاده از روش درونیابی Spline، نقشه افت منابع آب زیرزمینی در محدوده مطالعاتی تهیه شده است.

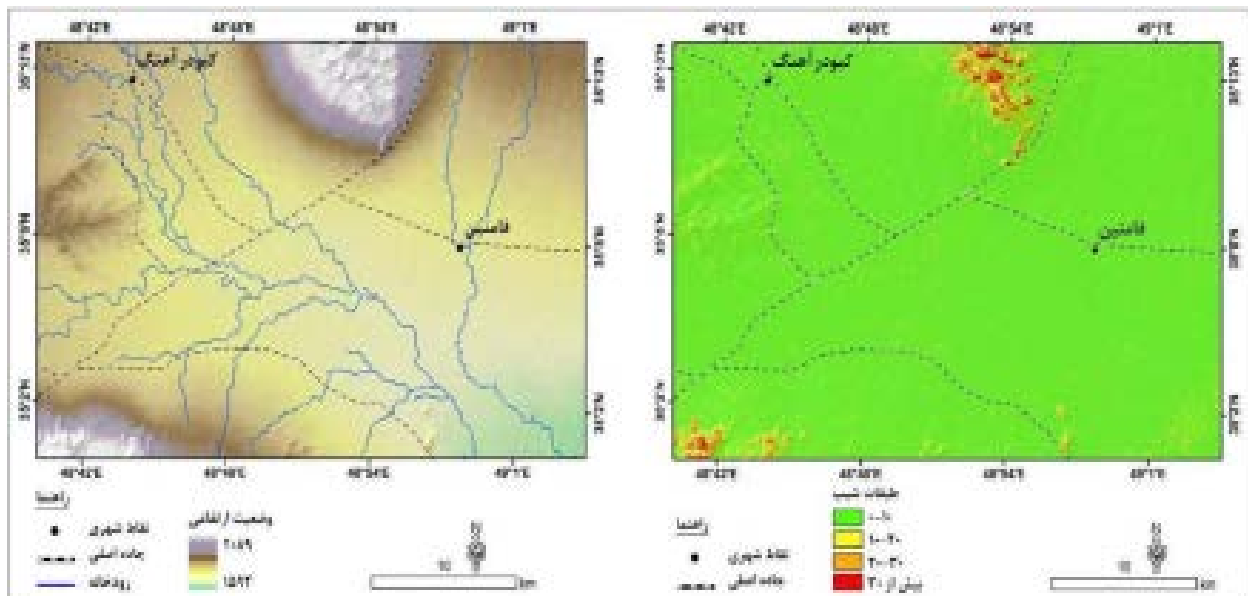
جدول ۱: تاریخ تصاویر مورد استفاده

ردیف	تاریخ	ردیف	تاریخ	ردیف	تاریخ	ردیف	تاریخ
۱	۲۰۱۵/۰۱/۱۶	۲۰	۲۰۱۶/۰۶/۰۳	۳۹	۲۰۱۷/۱۰/۲۰	۵۸	۲۰۱۹/۰۱/۱۹
۲	۲۰۱۵/۰۲/۰۹	۲۱	۲۰۱۶/۰۷/۲۱	۴۰	۲۰۱۷/۱۱/۱۳	۵۹	۲۰۱۹/۰۲/۱۲
۳	۲۰۱۵/۰۳/۰۵	۲۲	۲۰۱۶/۰۸/۱۴	۴۱	۲۰۱۷/۱۲/۰۷	۶۰	۲۰۱۹/۰۳/۰۸
۴	۲۰۱۵/۰۳/۲۹	۲۳	۲۰۱۶/۰۹/۰۷	۴۲	۲۰۱۷/۱۲/۳۱	۶۱	۲۰۱۹/۰۴/۰۱
۵	۲۰۱۵/۰۴/۲۲	۲۴	۲۰۱۶/۱۰/۰۱	۴۳	۲۰۱۸/۰۱/۲۴	۶۲	۲۰۱۹/۰۴/۲۵
۶	۲۰۱۵/۰۵/۱۶	۲۵	۲۰۱۶/۱۰/۲۵	۴۴	۲۰۱۸/۰۲/۱۷	۶۳	۲۰۱۹/۰۵/۱۹
۷	۲۰۱۵/۰۶/۰۹	۲۶	۲۰۱۶/۱۱/۱۸	۴۵	۲۰۱۸/۰۳/۱۳	۶۴	۲۰۱۹/۰۶/۱۲
۸	۲۰۱۵/۰۷/۰۳	۲۷	۲۰۱۶/۱۲/۱۲	۴۶	۲۰۱۸/۰۴/۰۶	۶۵	۲۰۱۹/۰۷/۰۶
۹	۲۰۱۵/۰۷/۲۷	۲۸	۲۰۱۷/۰۱/۰۵	۴۷	۲۰۱۸/۰۴/۳۰	۶۶	۲۰۱۹/۰۷/۳۰
۱۰	۲۰۱۵/۰۸/۲۰	۲۹	۲۰۱۷/۰۱/۲۹	۴۸	۲۰۱۸/۰۵/۲۴	۶۷	۲۰۱۹/۰۸/۲۳
۱۱	۲۰۱۵/۰۹/۱۳	۳۰	۲۰۱۷/۰۲/۲۲	۴۹	۲۰۱۸/۰۶/۱۷	۶۸	۲۰۱۹/۰۹/۱۶
۱۲	۲۰۱۵/۱۱/۲۴	۳۱	۲۰۱۷/۰۳/۱۸	۵۰	۲۰۱۸/۰۷/۱۱	۶۹	۲۰۱۹/۱۰/۱۰
۱۳	۲۰۱۵/۱۲/۱۸	۳۲	۲۰۱۷/۰۴/۱۱	۵۱	۲۰۱۸/۰۸/۰۴	۷۰	۲۰۱۹/۱۱/۰۳
۱۴	۲۰۱۶/۰۱/۱۱	۳۳	۲۰۱۷/۰۵/۰۵	۵۲	۲۰۱۸/۰۸/۲۸	۷۱	۲۰۱۹/۱۱/۲۷
۱۵	۲۰۱۶/۰۲/۰۴	۳۴	۲۰۱۷/۰۵/۲۹	۵۳	۲۰۱۸/۰۹/۲۱	۷۲	۲۰۱۹/۱۲/۲۱
۱۶	۲۰۱۶/۰۲/۲۸	۳۵	۲۰۱۷/۰۶/۲۲	۵۴	۲۰۱۸/۱۰/۱۵	۷۳	۲۰۲۰/۰۱/۱۴
۱۷	۲۰۱۶/۰۳/۲۳	۳۶	۲۰۱۷/۰۸/۰۹	۵۵	۲۰۱۸/۱۱/۰۸		
۱۸	۲۰۱۶/۰۴/۱۶	۳۷	۲۰۱۷/۰۹/۰۲	۵۶	۲۰۱۸/۱۲/۰۲		
۱۹	۲۰۱۶/۰۵/۱۰	۳۸	۲۰۱۷/۰۹/۲۶	۵۷	۲۰۱۸/۱۲/۲۶		

زیادی از منطقه دارای شیب کمتر از ۱۰ درصد هستند. بر اساس نقشه‌های تهیه شده، دشت کبودرآهنگ-فامین از نظر ژئومورفولوژی، فاقد موانع محدودکننده برای توسعه اراضی کشاورزی و همچنین نواحی سکونتگاهی است. در واقع، فقدان موانع محدودکننده سبب توسعه اراضی کشاورزی این منطقه خصوصاً اراضی کشاورزی آبی در طی سال‌های اخیر شده است و همین مسئله سبب فشار بیش‌ازحد بر منابع آب‌های زیرزمینی در این سال‌ها شده است. وضعیت ژئومورفولوژی و هیدرواقلمی هر منطقه، تعیین‌کننده نوع کاربری اراضی است و نوع کاربری اراضی نیز نقش مهمی در وقوع مخاطره فرونشست دارد. با توجه به اهمیت بررسی وضعیت کاربری اراضی، در این پژوهش با استفاده از تصاویر ماهواره لندست، نقشه کاربری اراضی منطقه مربوط به تاریخ ۲۰۲۰/۰۶/۱۳ تهیه شده است (نگاره ۳).

مخاطره فرونشست، وضعیت ژئومورفولوژی منطقه است. در واقع، ژئومورفولوژی منطقه تعیین‌کننده نوع فعالیت‌های انسانی خواهد بود و همین مسئله سبب شده است تا در مطالعات مربوط به فرونشست زمین، توجه به وضعیت ژئومورفولوژی منطقه بسیار حائز اهمیت باشد. با توجه به موارد مذکور، در این پژوهش به منظور تحلیل عوامل مؤثر در فرونشست‌های رخ داده در دشت کبودرآهنگ-فامین، ابتدا به بررسی ژئومورفولوژی منطقه پرداخته شده و برای این منظور نقشه‌های وضعیت ارتفاعی و طبقات شیب منطقه تهیه شده است (نگاره ۲).

بررسی وضعیت ارتفاعی منطقه نشان داده است که در حدفاصل شهرهای کبودرآهنگ تا فامین، اختلاف ارتفاعی خیلی کمی وجود دارد و همچنین در این حدفاصل، موانع و لندفرم‌های محدودکننده قابل توجهی وجود ندارد. همچنین بررسی طبقات شیب منطقه نیز نشان داده است که بخش

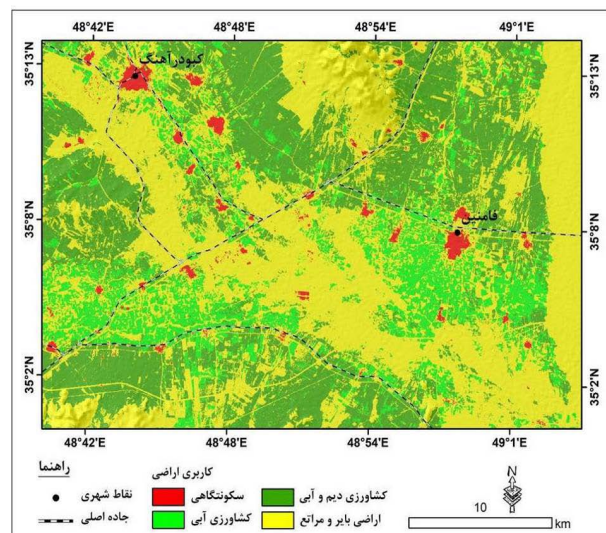


نگاره ۲: نقشه وضعیت ارتفاعی و طبقات شیب دشت کبودرآهنگ فامنین

دشت کبودرآهنگ-فامنین را اراضی کشاورزی دربرگرفته است و همین مسئله زمینه را برای وقوع مخاطره فرونشست در این دشت فراهم کرده است.

- بررسی وضعیت افت منابع آب زیرزمینی در دشت کبودرآهنگ-فامنین: یکی از مهم‌ترین چالش‌هایی که بسیاری از دشت‌های ایران، از جمله دشت کبودرآهنگ-فامنین با آن مواجه هستند، افت شدید منابع آب زیرزمینی است. با توجه به اینکه، افت منابع آب زیرزمینی نقش اصلی را در فرونشست دشت‌های ایران دارد، در این پژوهش به بررسی وضعیت افت منابع آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه و در ارتباط آن با فرونشست‌ها رخ داده پرداخته شده است. در این پژوهش، بر مبنای اطلاعات به دست آمده از ۱۳ چاه پیزومتری، سطح آب زیرزمینی منطقه در طی سال‌های ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۴ (لازم به ذکر است که اطلاعات سطح آب هر چاه مربوط به ماه مهر بوده است) بررسی و در نهایت مجموع افت سطح آب و میانگین سالانه افت آب این چاه‌ها محاسبه شده است (جدول ۲).

بر اساس نتایج به دست آمده، میزان افت سطح آب در طی دوره زمانی ۲۴ ساله بین ۱۴/۷ (چاه همه‌کسی) تا ۷۸/۱



نگاره ۳: نقشه کاربری اراضی دشت کبودرآهنگ فامنین

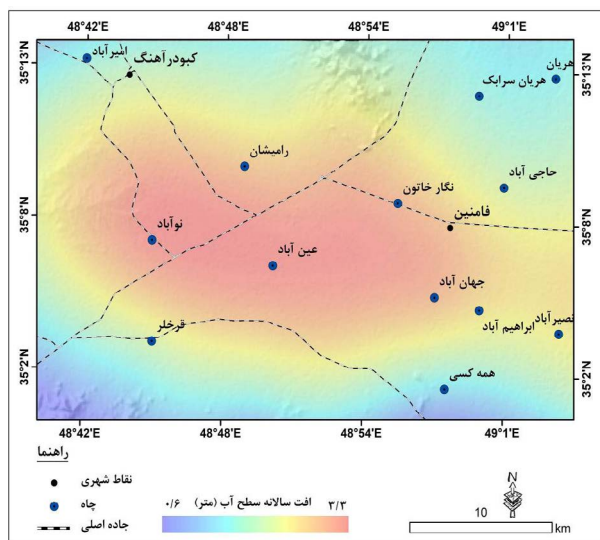
بر اساس نقشه تهیه شده، بخش زیادی از مساحت منطقه را اراضی کشاورزی دربرگرفته است و همچنین بخش‌هایی از منطقه نیز اراضی باغی هستند که در طی سال‌های پیشین جزء اراضی کشاورزی بوده‌اند.

نتایج حاصله از این بخش نشان داده است که تحت تأثیر وضعیت ژئومورفولوژی منطقه، بخش زیادی از محدوده

جدول ۲: محاسبه میزان افت سطح آب در چاه‌های نمونه

ردیف	محل	سطح آب در سال ۱۳۷۰	سطح آب در سال ۱۳۹۴	مجموع افت (متر)	میانگین افت سالانه (متر)
۱	ابراهیم‌آباد	۳۰/۴	۸۵	۵۴/۶	۲/۳
۲	امین‌آباد	۹/۷	۳۲/۸	۲۳/۱	۱
۳	جهان‌آباد	۲۸/۲	۹۴/۷	۶۶/۵	۲/۸
۴	حاجی‌آباد	۲۵/۳	۶۶/۳	۴۱	۱/۷
۵	رامیشان	۱۳	۷۶/۷	۶۳/۷	۲/۷
۶	عین‌آباد	۱۹	۹۷/۱	۷۸/۱	۳/۳
۷	قرخلو	۳۷	۷۷/۱	۴۰/۱	۱/۷
۸	نصیرآباد	۳۱/۶	۸۱/۹	۵۰/۳	۲/۱
۹	نگار خاتون	۲۲/۳	۹۰/۷	۶۸/۴	۲/۹
۱۰	نوآباد	۲۴/۳	۱۰۲	۷۷/۷	۳/۲
۱۱	هریان	۲۲/۱	۴۳	۲۰/۹	۰/۹
۱۲	هریان سرابک	۳۵/۲	۵۹/۷	۲۴/۵	۱
۱۳	همه کسی	۷/۱	۲۱/۸	۱۴/۷	۰/۶

(منبع: وزارت نیرو، ۱۳۹۹)



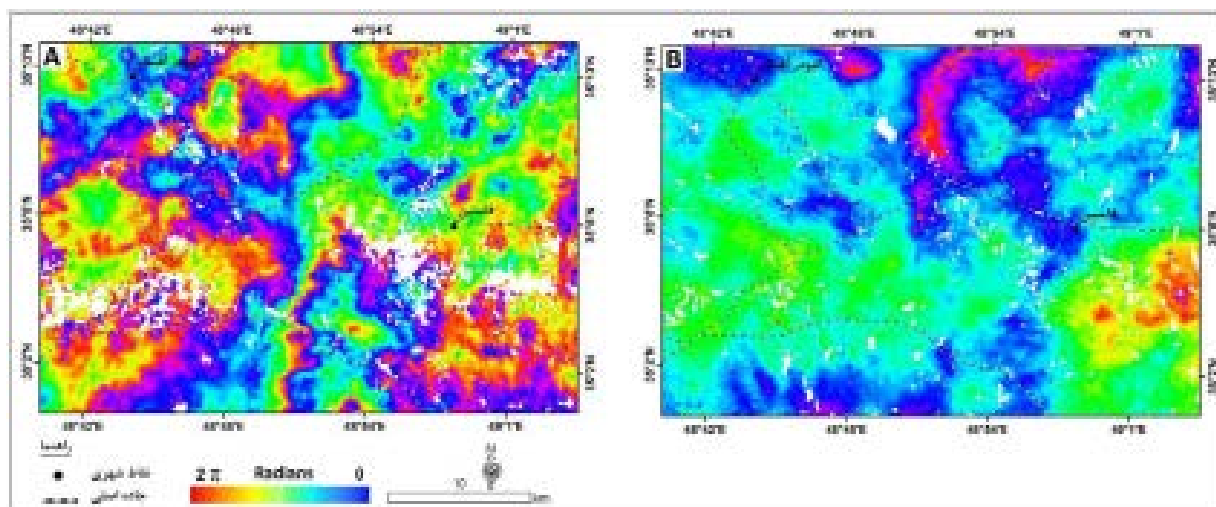
نگاره ۴: نقشه میانگین افت سالانه سطح آب در دشت کبودآهنگ-فامنین

ارزیابی میزان فرونشست دشت کبودآهنگ-فامنین: در این پژوهش پس از تهیه تصاویر و انجام پیش‌پردازش‌های لازم، به منظور ارزیابی میزان جابه‌جایی عمودی منطقه با استفاده از روش سری زمانی SBAS، ابتدا بر مبنای بیس‌لاین زمانی، زوج تصاویر مورد نظر برای تشکیل اینترفروگرام انتخاب شده است (جدول ۳).

(چاه عین‌آباد) متر بوده است. همچنین بر اساس محاسبات صورت گرفته، بیشتر چاه‌های مورد مطالعه، به‌طور میانگین سالانه با بیش از ۲ متر افت سطح آب مواجه شده‌اند که از جمله آن‌ها می‌توان به چاه‌های منطقه عین‌آباد، نوآباد، نگار خاتون، جهان‌آباد و رامیشان اشاره کرد که به ترتیب با میانگین افت سالانه ۳/۳، ۳/۲، ۲/۹، ۲/۸ و ۲/۷ متر مواجه بوده‌اند. در این پژوهش، بر مبنای اطلاعات به‌دست آمده از چاه‌های مورد مطالعه و با استفاده از روش درونیابی Spline، نقشه میانگین افت سالانه منابع آب زیرزمینی دشت کبودآهنگ-فامنین تهیه شده است (نگاره ۴). براساس نقشه تهیه شده، بیشترین میانگین افت منابع آب زیرزمینی با ۳/۳ متر در سال، مربوط به بخش‌های میانی منطقه و در حدفاصل شهرهای فامنین تا کبودآهنگ است. مجموع نتایج حاصله از این بخش نشان داده است که تحت‌تأثیر شرایط هیدروژئومورفولوژی منطقه، روند افزایشی جمعیت، توسعه اراضی کشاورزی آبی و درنهایت برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی، دشت کبودآهنگ-فامنین، خصوصاً بخش‌های میانی آن با افت شدید منابع آب زیرزمینی مواجه شده است.

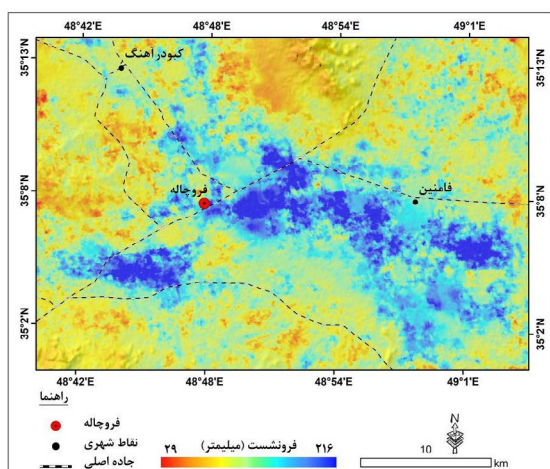
جدول ۳: زوج تصاویر انتخاب شده برای تشکیل اینترفروگرام

زوج تصاویر		ردیف	زوج تصاویر		ردیف
۲۰۱۷/۰۹/۰۲	۲۰۱۷/۰۹/۲۶	۳۷	۲۰۱۵/۰۱/۱۶	۲۰۱۵/۰۲/۰۹	۱
۲۰۱۷/۰۹/۲۶	۲۰۱۷/۱۰/۲۰	۳۸	۲۰۱۵/۰۲/۰۹	۲۰۱۵/۰۳/۰۵	۲
۲۰۱۷/۱۰/۲۰	۲۰۱۷/۱۱/۱۳	۳۹	۲۰۱۵/۰۳/۰۵	۲۰۱۵/۰۳/۲۹	۳
۲۰۱۷/۱۱/۱۳	۲۰۱۷/۱۲/۰۷	۴۰	۲۰۱۵/۰۳/۲۹	۲۰۱۵/۰۴/۲۲	۴
۲۰۱۷/۱۲/۰۷	۲۰۱۷/۱۲/۳۱	۴۱	۲۰۱۵/۰۴/۲۲	۲۰۱۵/۰۵/۱۶	۵
۲۰۱۷/۱۲/۳۱	۲۰۱۸/۰۱/۲۴	۴۲	۲۰۱۵/۰۵/۱۶	۲۰۱۵/۰۶/۰۹	۶
۲۰۱۸/۰۱/۲۴	۲۰۱۸/۰۲/۱۷	۴۳	۲۰۱۵/۰۶/۰۹	۲۰۱۵/۰۷/۰۳	۷
۲۰۱۸/۰۲/۱۷	۲۰۱۸/۰۳/۱۳	۴۴	۲۰۱۵/۰۷/۰۳	۲۰۱۵/۰۷/۲۷	۸
۲۰۱۸/۰۳/۱۳	۲۰۱۸/۰۴/۰۶	۴۵	۲۰۱۵/۰۷/۲۷	۲۰۱۵/۰۸/۲۰	۹
۲۰۱۸/۰۴/۰۶	۲۰۱۸/۰۴/۳۰	۴۶	۲۰۱۵/۰۸/۲۰	۲۰۱۵/۰۹/۱۳	۱۰
۲۰۱۸/۰۴/۳۰	۲۰۱۸/۰۵/۲۴	۴۷	۲۰۱۵/۰۹/۱۳	۲۰۱۵/۱۱/۲۴	۱۱
۲۰۱۸/۰۵/۲۴	۲۰۱۸/۰۶/۱۷	۴۸	۲۰۱۵/۱۱/۲۴	۲۰۱۵/۱۲/۱۸	۱۲
۲۰۱۸/۰۶/۱۷	۲۰۱۸/۰۷/۱۱	۴۹	۲۰۱۵/۱۲/۱۸	۲۰۱۶/۰۱/۱۱	۱۳
۲۰۱۸/۰۷/۱۱	۲۰۱۸/۰۸/۰۴	۵۰	۲۰۱۶/۰۱/۱۱	۲۰۱۶/۰۲/۰۴	۱۴
۲۰۱۸/۰۸/۰۴	۲۰۱۸/۰۸/۲۸	۵۱	۲۰۱۶/۰۲/۰۴	۲۰۱۶/۰۲/۲۸	۱۵
۲۰۱۸/۰۸/۲۸	۲۰۱۸/۰۹/۲۱	۵۲	۲۰۱۶/۰۲/۲۸	۲۰۱۶/۰۳/۲۳	۱۶
۲۰۱۸/۰۹/۲۱	۲۰۱۸/۱۰/۱۵	۵۳	۲۰۱۶/۰۳/۲۳	۲۰۱۶/۰۴/۱۶	۱۷
۲۰۱۸/۱۰/۱۵	۲۰۱۸/۱۱/۰۸	۵۴	۲۰۱۶/۰۴/۱۶	۲۰۱۶/۰۵/۱۰	۱۸
۲۰۱۸/۱۱/۰۸	۲۰۱۸/۱۲/۰۲	۵۵	۲۰۱۶/۰۵/۱۰	۲۰۱۶/۰۶/۰۳	۱۹
۲۰۱۸/۱۲/۰۲	۲۰۱۸/۱۲/۲۶	۵۶	۲۰۱۶/۰۶/۰۳	۲۰۱۶/۰۷/۲۱	۲۰
۲۰۱۸/۱۲/۲۶	۲۰۱۹/۰۱/۱۹	۵۷	۲۰۱۶/۰۷/۲۱	۲۰۱۶/۰۸/۱۴	۲۱
۲۰۱۹/۰۱/۱۹	۲۰۱۹/۰۲/۱۲	۵۸	۲۰۱۶/۰۸/۱۴	۲۰۱۶/۰۹/۰۷	۲۲
۲۰۱۹/۰۲/۱۲	۲۰۱۹/۰۳/۰۸	۵۹	۲۰۱۶/۰۹/۰۷	۲۰۱۶/۱۰/۰۱	۲۳
۲۰۱۹/۰۳/۰۸	۲۰۱۹/۰۴/۰۱	۶۰	۲۰۱۶/۱۰/۰۱	۲۰۱۶/۱۰/۲۵	۲۴
۲۰۱۹/۰۴/۰۱	۲۰۱۹/۰۴/۲۵	۶۱	۲۰۱۶/۱۰/۲۵	۲۰۱۶/۱۱/۱۸	۲۵
۲۰۱۹/۰۴/۲۵	۲۰۱۹/۰۵/۱۹	۶۲	۲۰۱۶/۱۱/۱۸	۲۰۱۶/۱۲/۱۲	۲۶
۲۰۱۹/۰۵/۱۹	۲۰۱۹/۰۶/۱۲	۶۳	۲۰۱۶/۱۲/۱۲	۲۰۱۷/۰۱/۰۵	۲۷
۲۰۱۹/۰۶/۱۲	۲۰۱۹/۰۷/۰۶	۶۴	۲۰۱۷/۰۱/۰۵	۲۰۱۷/۰۱/۲۹	۲۸
۲۰۱۹/۰۷/۰۶	۲۰۱۹/۰۷/۳۰	۶۵	۲۰۱۷/۰۱/۲۹	۲۰۱۷/۰۲/۲۲	۲۹
۲۰۱۹/۰۷/۳۰	۲۰۱۹/۰۸/۲۳	۶۶	۲۰۱۷/۰۲/۲۲	۲۰۱۷/۰۳/۱۸	۳۰
۲۰۱۹/۰۸/۲۳	۲۰۱۹/۰۹/۱۶	۶۷	۲۰۱۷/۰۳/۱۸	۲۰۱۷/۰۴/۱۱	۳۱
۲۰۱۹/۰۹/۱۶	۲۰۱۹/۱۰/۱۰	۶۸	۲۰۱۷/۰۴/۱۱	۲۰۱۷/۰۵/۰۵	۳۲
۲۰۱۹/۱۰/۱۰	۲۰۱۹/۱۱/۰۳	۶۹	۲۰۱۷/۰۵/۰۵	۲۰۱۷/۰۵/۲۹	۳۳
۲۰۱۹/۱۱/۰۳	۲۰۱۹/۱۱/۲۷	۷۰	۲۰۱۷/۰۵/۲۹	۲۰۱۷/۰۶/۲۲	۳۴
۲۰۱۹/۱۱/۲۷	۲۰۱۹/۱۲/۲۱	۷۱	۲۰۱۷/۰۶/۲۲	۲۰۱۷/۰۸/۰۹	۳۵
۲۰۱۹/۱۲/۲۱	۲۰۲۰/۰۱/۱۴	۷۲	۲۰۱۷/۰۸/۰۹	۲۰۱۷/۰۹/۰۲	۳۶



نگاره ۵: نقشه اینترفروگرام‌های تهیه شده (A) ۲۰۱۹/۰۷/۰۶-۲۰۱۹/۰۶/۱۲ (B) ۲۰۱۹/۰۹/۱۶-۲۰۱۹/۰۸/۲۳

گوگل ارثی، موقعیت برخی از این فروچاله‌ها شناسایی شده است. در نگاره ۷ تصویر گوگل ارثی نمونه‌ای از فروچاله‌های رخ داده در دشت کبودرآهنگ-فامنین و در نزدیکی شهرک صنعتی ویان نشان داده شده است (موقعیت فروچاله‌ها در نگاره ۶ نشان داده شده است). براساس تصویر مربوطه، تحت تأثیر افت شدید منابع آب زیرزمینی، فروچاله‌های زیادی در دشت کبودرآهنگ-فامنین شکل گرفته است که این فروچاله‌ها ضمن تخریب اراضی کشاورزی، می‌توانند تهدیدی جدی برای تأسیسات مختلف و همچنین نواحی سکونتگاهی باشند.



نگاره ۶: نقشه فرونشست دشت کبودرآهنگ-فامنین از تاریخ ۲۰۱۵/۰۱/۱۶ تا ۲۰۲۰/۰۱/۱۴

پس از انتخاب زوج تصاویر مورد نظر، نقشه‌های اینترفروگرام منطقه تهیه شده است. در نگاره ۵ نمونه‌ای از اینترفروگرام‌های تهیه شده نشان داده شده است.

پس از انتخاب زوج تصاویر مورد نظر و تهیه نقشه‌های اینترفروگرام از طریق نرم‌افزار GMT در سیستم عامل LINUX، با استفاده از روش سری زمانی SBAS، نقشه فرونشست منطقه مورد مطالعه در طی دوره زمانی ۵ ساله (از تاریخ ۲۰۱۵/۰۱/۱۶ تا ۲۰۲۰/۰۱/۱۴) تهیه شده است (نگاره ۶).

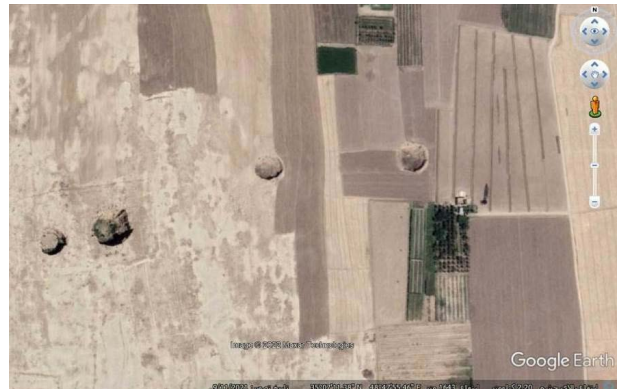
بر اساس نقشه تهیه شده، دشت کبودرآهنگ-فامنین در طی این دوره زمانی بین ۲۹ تا ۲۱۶ میلی‌متر فرونشست داشته است که رقم بسیاری بالایی است. بررسی وضعیت پراکنش مکانی فرونشست رخ داده نشان داده است که بیشترین میزان فرونشست مربوط به مناطق میانی منطقه و حداقل شهرهای کبودرآهنگ تا فامنین است. با توجه به موارد مذکور، دشت کبودرآهنگ-فامنین با مخاطره فرونشست زمین مواجه است و همین مسئله سبب شده است تا در طی سال‌های اخیر شاهد وقوع فروچاله‌های زیادی در منطقه باشیم که مرتبط با پدیده فرونشست و افت منابع آب زیرزمینی است. نتیجه حاصله از محاسبه فرونشست دشت کبودرآهنگ-فامنین نشان داده است که این دشت در معرض مخاطرات ناشی از فرونشست از جمله ایجاد فروچاله‌ها قرار دارد. در این پژوهش، بر مبنای مطالعات کتابخانه‌ای و همچنین تصاویر

ساله (از تاریخ ۲۰۱۵/۰۱/۱۶ تا ۲۰۲۰/۰۱/۱۴) بین ۲۹ تا ۲۱۶ میلی متر فرونشست داشته باشد.

نتایج بررسی وضعیت پراکنش مکانی فرونشست رخ داده نشان داده است که بیشترین میزان فرونشست مربوط به مناطق میانی منطقه و حفاصل شهرهای کبودرآهنگ تا فامنین است و با توجه به اینکه در این مناطق نیز بیشترین میزان افت آب زیرزمینی وجود داشته است، بنابراین می توان گفت که عامل اصلی فرونشست رخ داده در منطقه، افت شدید منابع آب زیرزمینی بوده است.

با توجه به نتایج به دست آمده، دشت کبودرآهنگ-فامنین نسبت به دشت های مجاور خود از جمله دشت همدان-بهار (رجبی و همکاران، ۱۴۰۰)، دارای فرونشست بیشتری است و همچنین همانند دشت ایوانکی (اسدی و همکاران، ۱۴۰۰)، عامل اصلی فرونشست آن، افت منابع آب زیرزمینی بوده است. مجموع نتایج حاصله از این پژوهش نشان داده است که دشت کبودرآهنگ-فامنین دارای مخاطره فرونشست است و همین مسئله سبب پیدایش فروچاله های متعدد در این دشت شده است که تهدیدی جدی برای تأسیسات و سکونتگاهی انسانی است.

با توجه به موارد مذکور، نظارت جدی بر استفاده از منابع آب زیرزمینی و جلوگیری از پیشروی تأسیسات انسانی و نواحی سکونتگاهی به سمت مناطق دارای ماکزیمم فرونشست و دارای فروچاله ضروری است.



نگاره ۷: فروچاله های رخ داده در دشت کبودرآهنگ-فامنین و در نزدیکی شهرک صنعتی ویان

نتیجه گیری

مخاطره فرونشست سبب شده است تا بسیاری از دشت های کشور، از جمله دشت کبودرآهنگ-فامنین با چالش جدی مواجه باشند. نتایج بررسی وضعیت طبیعی دشت کبودرآهنگ-فامنین نشان داده است که این دشت به دلیل وضعیت ژئومورفولوژی و هیدرواقليمی، پتانسیل فرونشست بالایی دارد.

درواقع، این دشت از نظر وضعیت ژئومورفولوژی بدون موانع محدودکننده برای توسعه اراضی کشاورزی است و همین مسئله سبب توسعه اراضی کشاورزی آبی بدون توجه به توانمندی های محیطی از جمله وضعیت هیدرواقليمی منطقه شده است. با توجه به موارد مذکور، توسعه اراضی کشاورزی بدون توجه به ظرفیت منابع آبی منطقه سبب برداشت بیش از حد از منابع آب زیرزمینی و در نتیجه افت شدید سطح آب زیرزمینی شده است. بر اساس نتایج حاصله از ارزیابی ۱۳ چاه مورد مطالعه، میزان افت سطح آب منطقه در طی دوره زمانی ۲۴ ساله بین ۱۴/۷ (چاه همه کسی) تا ۷۸/۱ (چاه عین آباد) متر بوده است.

همچنین بر اساس محاسبات صورت گرفته، بیشتر چاه های مورد مطالعه، به طور میانگین سالانه با بیش از ۲ متر افت سطح آب مواجه شده اند و همین مسئله سبب شده است تا دشت کبودرآهنگ-فامنین در طی دوره زمانی ۵

منابع و مأخذ

- ۱- ابراهیمی، قاسمی، گنجائیان؛ عطری، افشان، حمید (۱۳۹۹)، پایش میزان فرونشست محدوده شهری پاکدشت با استفاده از روش تداخلسنجی راداری، مجله جغرافیا و روابط انسانی، دوره ۲، شماره ۴، صص ۴۱-۲۹
- ۲- اسدی، گنجائیان، جاودانی، قادری حسب؛ معصومه، حمید، مهناز، مهدیه (۱۴۰۰)، ارزیابی ارتباط بین عوامل طبیعی و میزان فرونشست در دشت ایوانکی با استفاده از تصاویر راداری، مجله هیدروژئولوژی، سال ۶، شماره ۱، صص ۱۳-۲۲
- ۳- بابایی، خزابی، قاصدمبارکه؛ سیدساسان، صفا، 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، دوره ۷، شماره ۱، صص ۶۷-۵۵
- ۴- حلییان، اکبری، عزیزی؛ امیرحسین، مطهره، محسن (۱۳۹۲)، نقش اقلیم بر تولید محصولات کشاورزی (مطالعه موردی شهرستان کبودآهنگ)، اولین همایش ملی جغرافیا، شهرسازی و توسعه پایدار، تهران
- ۵- رکنی، حسین‌زاده، لشکری‌پور، ولایتی؛ جعفر، سیدرضا، غلامرضا، سعداله (۱۳۹۵)، بررسی فرونشست زمین، چشم‌اندازها و تحولات ژئومورفولوژی ناشی از آن در دشت‌های تراکمی (مطالعه موردی: ۱۳۹۵)، مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، دوره ۶، شماره ۲۴، صص ۳۸-۲۱
- ۶- روزبان، اسماعیلی، معتق؛ علی، علی، مهدی (۱۳۹۵)، بررسی فرونشست زمین با استفاده از روش تداخلسنجی تفاضلی راداری (DInSAR) و با به‌کارگیری تصاویر سنجنده SENTINEL، دومین کنفرانس ملی مهندسی فناوری اطلاعات مکانی، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی
- ۷- شریفی‌کیا، محمد (۱۳۹۱)، تعیین میزان و دامنه فرونشست زمین به کمک روش تداخلسنجی راداری (D-InSAR) در دشت نوق-بهرمان، مجله برنامه‌ریزی و آمایش فضا، دوره ۱۶، شماره ۳، صص ۷۷-۵۵
- ۸- صالحی‌متعهد، حافظی‌مقدس، لشکری‌پور، دهقانی؛ فهیمه، ناصر، غلامرضا، مریم (۱۳۹۸)، ارزیابی فرونشست زمین به کمک تلفیق روش تداخلسنجی راداری و اندازه‌گیری‌های میدانی و مطالعه دلایل و اثرات آن بر شهر مشهد، نشریه زمین‌شناسی مهندسی، سال ۱۳، شماره ۳
- ۹- گنجائیان، حمید (۱۳۹۹)، مخاطرات ژئومورفولوژیک مناطق شهری، روش‌های مطالعه و راه‌کارهای کنترل آن، انتشارات انتخاب، ۱۴۴ صفحه.
- ۱۰- گنجائیان، قاسمی، ابراهیمی، اسدپور؛ حمید، افشان، عطری، زهرا (۱۳۹۸)، ارزیابی میزان فرونشست دشت همدان-بهار با استفاده از روش سری زمانی SBAS، مجله مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، دوره ۹، شماره ۳۶، صص ۷۲-۶۲
- ۱۱- مقصودی، امانی، احمدی؛ یاسر، رضا، حسن (۱۳۹۸)، بررسی رفتار فرونشست زمین در منطقه غرب تهران با استفاده از تصاویر سنجنده سنتینل ۱ و تکنیک تداخلسنجی راداری مبتنی بر پراکنش‌گرهای دائمی، مجله تحقیقات منابع آب ایران، سال ۱۵، شماره ۱، صص ۳۱۳-۲۹۹
- ۱۲- وزارت نیرو (۱۳۹۹)، گزارش وضعیت منابع آب زیرزمینی، استان همدان
- 13- Bozzano, F., Esposito, C., Franchi, S., Mazzanti, P., Perissin, D., Rocca, A. 2015. Understanding the subsidence process of a quaternary plain by combining geological and hydrogeological modelling with satellite InSAR data: the acque albule plain case study. Remote Sens. Environ. 168, 219-238. doi: 10.1016/j.rse.2015.07.010
- 14- Canova, F., Tolomei, C., Salvi, S., Toscani, G., and Seno, S. 2012. Land subsidence along the ionian coast of SE Sicily (Italy), detection and analysis via Small Baseline Subset (SBAS) multitemporal differential SAR interferometry. Earth Surf. Process. Landforms 37, 273-286. doi: 10.1002/esp.2238
- 15- Chen, M., Tomás, R., Li, Zh., 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), 468

16- Du, Y., Feng, G., Peng, X., Li, Z. 2017. Subsidence Evolution of the Leizhou Peninsula, China, Based on InSAR Observation from 1992 to 2010, Appl. Sci. 2017, 7, 466; doi:10.3390/app7050466

17- Hanssen, R. F. 2001. Radar Interferometry: Data Interpretation and Error Analysis. Dordrecht. Kluwer Academic Publishers

18- 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, Geoinicators, PP: 31-33

19- Motagh, M., et al. 2007. Land subsidence in Mashhad Valley, northeast Iran: results from InSAR, levelling and GPS. Geophysical Journal International, 168(2): p. 518-526.

20- Pacheco, J., Arzate, J., Rojas, E., Arroyo, M., Yutsis, V., & Ochoa, G., 2006. Delimitation of ground failure zones due to land subsidence using gravity data and finite element modeling in the Queretaro valley, Mexico. Engineering Geology, 84:143-160.

21- Yao, G.; Ke, C.-Q.; Zhang, J.; Lu, Y.; Zhao, J. (2019). Lee, H. Surface deformation monitoring of Shanghai based on ENVISAT ASAR and Sentinel-1A data. Environ. Earth Sci, 78, 225

22- Zhao, Q., Ma. G., Wang. Q., Yang. T., Liu, M., Gao, W., Falabella, F., Mastro, P., Pepe, A. 2019. Generation of long-term InSAR ground displacement time-series through a novel multi-sensor data merging technique: The case study of the Shanghai coastal area, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Volume 154, August 2019, Pages 10-27

