

بررسی روند توسعه فرونشست دشت مشهد- چنانان با استفاده از تصاویر راداری

سنتینل-۱ و ارتباط آن با افت سطح آب زیرزمینی

جواد دولتی^۱، غلامرضا لشکری پور^{۲*}، ناصر حافظی مقدس^۲، یاسر مقصودی مهرانی^۳

۱. دانشجوی دکتری زمین شناسی مهندسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۲. استاد گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۳. دانشیار دانشکده مهندسی نقشه برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران

* پست الکترونیکی مسئول مکاتبات: lashkaripour@um.ac.ir

چکیده

بهره‌برداری گسترده از منابع آب زیرزمینی در آبخوان مشهد- چنانان در ۵۰ سال گذشته (۱۴۰۰-۱۳۵۰) منجر به افت شدید سطح آب زیرزمینی شده است. آثار منفی فرونشست ناشی از توسعه شدید منابع آب زیرزمینی از اواخر دهه ۱۳۶۰ در برخی نقاط دشت بروز کرده و در سال‌های اخیر بیشتر نقاط دشت را درگرفته است. در این تحقیق فرونشست دشت مشهد- چنانان با استفاده از داده ماهواره راداری سنتینل-۱ بین سال‌های ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۹ با استفاده از تکنیک تداخل سنجی سری زمانی به روش طول خط مبنای کوتاه (SBAS) بررسی شده است. بررسی نقشه‌های فرونشست تهیه شده نشان می‌دهد که سه ناحیه فرونشستی در جنوب شرق شهر مشهد، شمال غرب شهر مشهد و شمال غرب دشت وجود دارد. حداکثر نرخ نشست سالانه در ناحیه دو فرونشستی در شمال غرب شهر مشهد برابر ۱۹ سانتی‌متر در سال بوده و در دو ناحیه فرونشستی ۱ و ۳ به ترتیب ۸/۹ و ۱۲/۱ سانتی‌متر در سال است. نتایج نرخ سری زمانی برآورد شده با استفاده از پردازش تصاویر راداری در محل ایستگاه‌های ثابت GPS گلکان و نیروگاه توس با مقادیر اندازه‌گیری شده واقعی نشان‌دهنده انطباق بالای این دو سری زمانی باهم است. انطباق منحنی‌های هم افت ۳۰ ساله سطح آب زیرزمینی و نقشه فرونشست نشان می‌دهد که زون‌های فرونشست سه‌گانه منطبق بر مناطق دارای افت سطح آب زیرزمینی بیش از ۳۰ متر است. همچنین برای بررسی ارتباط فرونشست و افت سطح آب زیرزمینی، با استفاده از داده‌های سطح آب زیرزمینی و فرونشست در محل چاه‌های مشاهده‌ای منتخب ضرایب همبستگی و تعیین برای هر چاه محاسبه شده است. بر اساس بررسی ضرایب همبستگی به دست آمده چاه‌های انتخابی به دو گروه دارای ضرایب همبستگی بیش از ۰/۸ (۷۵ درصد چاه‌ها) و بین ۰/۴۶ تا ۰/۸ تقسیم می‌شوند که نشان‌دهنده وجود رابطه همبستگی بسیار قوی و قوی بین نرخ فرونشست - افت سطح آب زیرزمینی در اغلب چاه‌های مشاهده‌ای است.

[1] Commented [D] سوال داور محترم ۲: معادل فارسی ارائه شود؟

بازنگری شود؟ [1]

Formatted: Space After: 0 pt, Line spacing: single

[2] Commented [D] زینویس شود

[2] Commented [D] سوال داور محترم ۱: در چکیده باید به تصاویر مورد

[3] Commented [D] با مراجعه به

Formatted: Font: 11 pt, Complex Script Font: 11 pt

Deleted: آب زیرزمینی

Formatted: Font: 11 pt, Complex Script Font: 11 pt

Deleted: آب زیرزمینی

Formatted: Font: 11 pt, Complex Script Font: 11 pt

Deleted: آب زیرزمینی

Formatted: Font: 11 pt, Complex Script Font: 11 pt

Deleted: کل

Formatted: Font: 11 pt, Complex Script Font: 11 pt

Formatted: Font: 11 pt, Complex Script Font: 11 pt

Formatted: Font: 11 pt, Complex Script Font: 11 pt

Formatted: Font: 11 pt, Complex Script Font: 11 pt

[4] Commented [D] سوال داور محترم ۱: این خیلی رقم بزرگی هست

Formatted: Font: 11 pt, Complex Script Font: 11 pt

Formatted: Font: 11 pt, Complex Script Font: 11 pt

Formatted: Font: 11 pt, Complex Script Font: 11 pt

Formatted: Font: 11 pt, Complex Script Font: 11 pt

Deleted: آب زیرزمینی

Formatted: Font: 11 pt, Complex Script Font: 11 pt

Deleted: آب زیرزمینی

Formatted: Font: 11 pt, Complex Script Font: 11 pt

Deleted: آب زیرزمینی

Formatted: Font: 11 pt, Complex Script Font: 11 pt

Deleted: داده های

Formatted: Font: 11 pt, Complex Script Font: 11 pt

Deleted: آب زیرزمینی

Formatted: Font: 11 pt, Complex Script Font: 11 pt

Deleted: بر اساس

Formatted: Font: 11 pt, Complex Script Font: 11 pt

Deleted: آب زیرزمینی

Formatted: Font: 11 pt, Complex Script Font: 11 pt

Deleted: آب زیرزمینی

[R Commented]: سوال داور محترم ۲: مقاله فاقد چکیده فارسی

کوتاه است؟

؟؟؟؟؟؟؟؟

مقدمه

[V5] Commented: ایرادات:

• جزئیات روش‌شناسی مطالعات به طور کامل شرح داده نشده‌اند.
• نتایج مطالعات به صورت خلاصه و بدون بحث و تحلیل آورده شده‌اند.
• محدودیت‌های پژوهشی اشاره نشده است.
تا حد ممکن اصلاح شود.

[A8] Commented:

• اصلاح انواع خطاهای نگارشی با نرم افزار ویراستار انجام گیرد
[/https://virastyar.ir](https://virastyar.ir)

[D9] Commented: تن اصلی

دو ستونه با توفنگی نیم سانت پاراگراف بندی شود

واژه‌های کلیدی: فرونشست زمین، تداخل سنجی راداری، آب زیرزمینی، ضریب همبستگی، دشت مشهد-چناران.

بهره‌برداری گسترده از منابع آب زیرزمینی باعث افت شدید سطح آب زیرزمینی در اکثر آبخوان‌ها شده است. افت سطح آب زیرزمینی باعث به هم خوردن تعادل بین نیروهای حاکم بر سیستم آب زیرزمینی شده و با کاهش فشار آب منفذی موجود در بین رسوبات تشکیل‌دهنده آبخوان، وجود لایه‌های رسوبی دارای قابلیت فشردگی (لایه‌های ریزدانه سیلتی و رسی تحکیم نیافته یا نیمه تحکیمی) و تراکم آن‌ها، باعث فرونشست زمین می‌شود. فرونشست زمین که در حقیقت حرکت رو به پایین و غیرقابل بازگشت سطح زمین است، خسارت‌های جبران‌ناپذیر اقتصادی در سطح جامعه و محیط‌زیست به وجود آورده و باعث تخریب اراضی و تغییر وضعیت توپوگرافی و هیدرولوژیکی دشت‌ها شده و شریان‌های حیاتی (جاده‌ها، خطوط ریلی و مترو، خطوط انتقال آب، نفت، نیرو... و سازه‌های وابسته (ساختمان‌های مسکونی و صنعتی)) را تخریب می‌کند (۲۶).

در ایران با افزایش بهره‌برداری آبخوان‌ها و افت شدید سطح آب زیرزمینی در بسیاری از دشت‌ها فرونشست زمین رخ داده است. بررسی وضعیت ۶۰۹ محدوده مطالعاتی کشور نشان می‌دهد که تا انتهای سال ۱۴۰۰، از نظر توسعه بهره‌برداری ۴۲۱ محدوده مطالعاتی ممنوعه یا ممنوعه بحرانی اعلام شده است. یکی از دلایل عمده ممنوعه بحرانی اعلام شدن آبخوان‌ها، وجود آثار فرونشست در آن‌ها است. در حال حاضر ۱۳۵ آبخوان کشور از نظر توسعه بهره‌برداری ممنوعه-بحرانی است (۱۸). بررسی روند توسعه فرونشست در ایران نشان می‌دهد که این پدیده در سال ۱۳۵۶ اولین بار در دشت‌های رفسنجان، کرمان و سیرجان گزارش شده (۲۷) و در حال حاضر در بسیاری از آبخوان‌های کشور گسترش یافته و آثار و عوارض ناشی از آن مشاهده شده است. از سال ۱۳۶۰ تاکنون مطالعات فراوانی در مورد فرونشست در ایران صورت گرفته از جمله می‌توان به مطالعات انجام شده توسط مهرابی و غضنفرپور در کرمان (۲۰)، سعیدی و همکاران در دشت کاشمر (۲۹)، صالحی و همکاران (۳۰) و قره چلو و همکاران (۱۱) در دشت مشهد، رکنی و همکاران (۲۸) در دشت نیشابور معتق و همکاران (۲۴) در رفسنجان، حق‌شناس حقیقی و معتق (۱۳) و محمود پور و همکاران (۱۹) در تهران، بابایی و همکاران (۶) در قزوین، میرزاده و همکاران (۲۱) در یزد و آروین و همکاران (۵) در میناب اشاره کرد. بررسی این مطالعات نشان می‌دهد که در برخی از آن‌ها وضعیت فرونشست و خصوصیات آن توصیف شده و در بسیاری دیگر روند توسعه فرونشست با استفاده از روش‌های ژئودتیکی (ترازیابی (levelling))، ایستگاه-های GPS (Global Positioning System) یا پردازش تصاویر راداری و یا تلفیق آن‌ها بررسی شده است.

برای پایش فرونشست و تعیین نرخ و روند توسعه آن، روش‌های مختلفی توسعه داده شده است. این روش‌ها به دو گروه عمده نقطه‌ای (ژئودتیکی) و غیر نقطه‌ای تقسیم می‌شوند. ترازیابی و ایستگاه‌های GPS از جمله روش‌های نقطه‌ای هستند. ترازیابی به‌عنوان قدیمی‌ترین روش، از اوایل سال ۱۹۰۰ میلادی مورد استفاده قرار گرفته و عمدتاً در امتداد یک مسیر خاص یا شبکه طراحی شده بسته به صورت رفت و برگشتی صورت می‌گیرد. در محل ایستگاه‌های GPS مؤلفه‌های مختلف حرکت زمین (قائم،

Deleted: (۲۸)

Deleted: (۲۴)

Deleted: ۱۲

Deleted: (۵۶)

Deleted: (۲۱)

Deleted: (۴۵)

شرقی - غربی و جنوبی - شمالی) اندازه‌گیری می‌شود. این دو روش علی‌رغم داشتن دقت بالا، به دلیل هزینه‌بر و زمان‌بر بودن اندازه‌گیری و محدودیت ثبت اطلاعات در محل نقاط نشانه (Bench Marks) کارایی بالایی برای استخراج الگوهای زمانی و مکانی فرونشست زمین در سطح مناطق وسیع را ندارند (۲۶).

توسعه سنجنده‌های راداری در دهه ۱۹۹۰ میلادی و ابداع روش‌های مختلف برای پردازش تصاویر راداری ابزار کارآمدی برای مطالعات تغییرات سطح زمین و پایش جابجایی‌های ناشی از پدیده‌های مختلف (زلزله، آتش‌فشان، زمین‌لغزش و فرونشست) در سطح وسیع را فراهم نموده است (۲۰). این روش‌ها توسط محققین متعددی در بسیاری از نقاط دنیا مورد استفاده قرار گرفته و نتایج آن منتشر شده است.

بررسی مطالعات فرونشست صورت گرفته در دشت مشهد - چناران نشان می‌دهد که از دهه ۷۰ شمسی تاکنون این پدیده با استفاده از روش‌های ترازیابی، ایستگاه‌های GPS و تداخل سنجی راداری توسط محققین مختلف بررسی شده است. از اواخر دهه شصت شمسی گزارش‌ها متعددی در مورد لوله زایی چاه‌ها، تخریب لوله‌های (مچالیدگی) چاه‌های آب شرب به‌ویژه در منطقه توس دشت مشهد ارائه شد (۳۱).

سازمان نقشه‌برداری کشور در دوره زمانی ۱۳۶۵ تا ۱۳۸۱ در قالب طرح ترازیابی سراسری در سه محور مشهد - قوچان (BCBD)، مشهد - کلات (BDBE) و مشهد - سرخس (BEBN) دشت مشهد، ترازیابی دقیق انجام داده و با توجه به نتایج حاصله وجود فرونشست و نرخ آن را در این مسیرها گزارش نمود. همچنین در دوره زمانی ۱۳۸۱ تا ۱۳۸۴، بخشی از مسیر ترازیابی مشهد - قوچان که دارای نرخ نشست بالایی بوده، مجدداً مورد بررسی ترازیابی قرار داد. بررسی داده‌های ترازیابی نشان می‌دهد که در این دشت حداقل از اوایل دهه ۷۰ در برخی مناطق فرونشست رخ داده است. همچنین توسط این سازمان در دوره زمانی ۱۳۸۴ تا ۱۳۸۸، شش ایستگاه GPS در این دشت نصب شد که مؤلفه‌های قائم، شمالی - جنوبی و شرقی - غربی حرکت زمین در آن‌ها ثبت می‌شود (۲).

در دوره زمانی ۱۳۷۹ تا ۱۴۰۰، توسط محققین مختلف فرونشست این دشت با استفاده از تصاویر راداری ERS-1 و ERS-2 (Envisat و Sentinel-1A) و روش‌های مختلف پردازش (تداخل سنجی) مورد بررسی قرار گرفت که خلاصه نتایج آنها در جدول (۱) ارائه شده است. بررسی این مطالعات نشان می‌دهد که به جزء مطالعه صورت گرفته توسط سازمان زمین‌شناسی در سال ۱۳۹۷، که تمامی دشت را پوشش داده، در سایر مطالعات بخش شرقی و مرکزی دشت (محدوده بین مشهد تا چناران) بررسی شده است.

معتق و همکاران در سال ۲۰۰۷ با استفاده از تصاویر راداری Envisat در دوره زمانی ۲۰۰۳ تا ۲۰۰۵ برای اولین بار فرونشست دشت مشهد - چناران را بررسی نمود. در این تحقیق براساس تداخل نمای ۱۴۱ روزه، حداکثر فرونشست ۱۲ سانتی‌متر و بر اساس تداخل نمای ۳۸۵ روزه که از نظر زمانی ۲/۵ برابر تداخل نمای ۱۴۱ روزه است، حداکثر فرونشست ۲۷ سانتی‌متر برآورد گردید (۲۲). همچنین اکبری و همکاران در سال ۲۰۰۸ این دشت را مورد بررسی مجدد قرار دادند. در این مطالعه نقشه فرونشست از تجمیع ۱۴ تداخل نما به دست آمده و مساحت ناحیه فرونشست ۷۱ کیلومتر مربع تعیین شد که تا شمال غرب شهر مشهد گسترش دارد. نتایج این مطالعه با مقایسه با داده‌های ترازیابی و ایستگاه‌های GPS را تأیید شد (۱).

دهقانی در سال ۱۳۸۸ در راستای طرح بررسی مخاطرات ناشی از فرونشست زمین استان خراسان رضوی با استفاده از ۱۴ تصویر راداری Envisat در بازه‌های زمانی دی‌ماه ۱۳۸۲ تا آبان ماه ۱۳۸۴، نقشه نرخ فرونشست سالانه دشت مشهد - چناران را تهیه و براساس آن حداکثر نرخ فرونشست سالانه را ۲۳ سانتی‌متر در سال برآورد کرد (۸). وی همچنین در بررسی مجدد تصاویر Envisat این دشت در دوره زمانی ۱۳۸۲-۱۳۸۵، در سال ۱۳۹۴، این نرخ فرونشست سالانه را تأیید کرد (۹).

Deleted: (۳)

Deleted:

Deleted: ۳

Deleted: معتق

Deleted: ۲۲

Deleted: ۷

Deleted: ۸

صالحی و همکاران با استفاده از تصاویر ماهواره راداری **Envisat** نقشه‌های فرونشست دشت مشهد- چناران برای دوره‌های زمانی ۱۳۸۲-۱۳۸۵ و ۱۳۸۸-۱۳۸۹ تهیه نمودند. بررسی این نقشه‌ها نشان می‌دهد که بیشترین نرخ فرونشست در دوره زمانی ۱۳۸۲-۱۳۸۵ به میزان ۲۹ سانتی‌متر در سال و در بازه زمانی ۱۳۸۸-۱۳۸۹، ۳۲ سانتی‌متر در سال برآورد گردید. این مطالعات نشان داد که در این دشت دو کاسه فرونشستی یکی در شمال غرب (بین شهرهای مشهد- چناران) و دیگری در جنوب شرق شهر مشهد وجود دارد (۳۰).

سازمان زمین‌شناسی در سال ۱۳۹۸ با استفاده از تصاویر راداری **Sentinel** برای دوره زمانی ۲۰۱۴-۲۰۱۷، فرونشست دشت مشهد- چناران را مورد بررسی قرارداد و نرخ فرونشست در این دشت را ۱۲ سانتی‌متر در سال اعلام نمود (۱۰).

جدول ۱. خلاصه نتایج مطالعات تداخل سنجی راداری انجام شده در دشت مشهد- چناران

Table 1. Summary of studies that have used the InSAR for Mashhad-Chenaran Plain

منبع	بازه زمانی	نرم‌افزار	سنجنده	حداکثر نرخ فرونشست (cm/year)
اکبری و همکاران (۱)	۱۹۹۸-۱۹۹۹	Doris		۲۲
معتق و همکاران (۲۲)	۲۰۰۳-۲۰۰۵	Doris		۲۸-۳۰
معتق و همکاران (۲۳)	۲۰۰۳-۲۰۰۶	GAMMA	ENVISAT	۲۴
اکبری و همکاران (۱)	۲۰۰۴-۲۰۰۷	Doris		۲۵
صالحی معتقد و همکاران (۳۰)	۲۰۰۳-۲۰۰۵	SARscape		۲۹
صالحی معتقد و همکاران (۳۰)	۲۰۰۹-۲۰۱۰	SARscape		۳۲
قره چلو و همکاران (۱۱)	۲۰۰۷-۲۰۰۸	SARscape	ALOS	۱۸/۲ (برای ۲۳۰ روز)
خرمی و همکاران (۱۵)	۲۰۱۴-۲۰۱۷	SARPROZ		۱۷/۹
سازمان نقشه‌برداری کشور (۲۵)	۲۰۱۴-۲۰۱۷	GAMMA	Sentinel-1A	۲۲
سازمان زمین‌شناسی کشور (۱۰)	۲۰۱۴-۲۰۱۷	GAMMA		۱۲
قره چلو و همکاران (۱۱)	۲۰۱۵-۲۰۱۸	SARscape		۱۸ (متوسط سه‌ساله)

خرمی و همکاران با استفاده از تصاویر **Sentinel** در دوره زمانی ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۶، فرونشست شهر مشهد را با استفاده از روش **PS InSAR** بررسی و نرخ فرونشست را ۱۷ سانتی‌متر در سال برآورد نمودند (۱۵). در این تحقیق از هر دو نوع تصویر پایین‌گذر و بالا‌گذر برای پردازش استفاده شده است.

سازمان نقشه‌برداری در سال ۱۳۹۸ اطلس فرونشست دشت مشهد- چناران را که حاصل پردازش ۵۵ تصویر ماهواره **Sentinel** از آبان ۱۳۹۳ تا آذر ۱۳۹۶ به روش تداخل‌سنجی راداری است، منتشر نمود که در آن، منطقه‌ای با مساحت ۱۲۰۰ کیلومتر مربع بررسی و بیشترین نرخ فرونشست ۲۲ سانتی‌متر در سال برآورد شده است (۲۵).

قره چلو و همکاران (۱۱) با استفاده از تصاویر **ALOS** و **Sentinel** فرونشست بخش مرکزی دشت را برای دوره زمانی ۱۳۸۶ تا ۱۳۸۷ و ۱۳۹۴ تا ۱۳۹۷ بررسی نموده و نرخ فرونشست را برای دوره ۲۳۰ روز (۱۳۸۶ تا ۱۳۸۷) ۱۳/۷ سانتی‌متر و برای سال‌های ۱۳۹۴ تا ۱۳۹۵، ۱۳۹۶ تا ۱۳۹۶ و ۱۳۹۶ تا ۱۳۹۷ به ترتیب ۱۶/۱، ۱۷/۴ و ۲۰/۳ سانتی‌متر برآورد کردند.

در تحقیق حاضر، ضمن مرور نتایج مطالعات قبلی فرونشست در دشت مشهد - چناران، روند توسعه و الگوی فرونشست زمین (نقشه‌های هم‌نرخ) و سری زمانی آن، با استفاده از تصاویر **Sentinel-1A** و روش تداخل‌سنجی **خط مبنای کوتاه (Small)**

Deleted: ۱۳۹۷ با استفاده از تصاویر راداری Sentinel برای دوره زمانی مرداد تا دی‌ماه ۱۳۹۴، نقشه فرونشست دشت‌های ایران را منتشر کرد که در آن حداکثر نرخ فرونشست دشت مشهد- چناران حدود ۷ سانتی‌متر در سال اعلام شد. همچنین این سازمان در سال

Formatted: Font: (Default) Times New Roman Bold, 9 pt, Font color: Auto, English (United States), Not Highlight

Formatted: aaa1, Left-to-right, Tab stops: Not at 1 cm + 3.28 cm

Formatted: Font: (Default) Times New Roman Bold, 9 pt, Font color: Auto, English (United States), Not Highlight

Formatted ... [6]

Formatted ... [7]

Formatted ... [8]

Formatted ... [9]

Formatted ... [10]

Formatted ... [11]

Formatted ... [5]

Deleted: راداری

Deleted: نموده

Deleted: Sentinel

Deleted: .

Deleted: این اطلس

Deleted: نیز به‌جای بررسی کل دشت

Deleted: شده

Formatted: Space After: 0 pt

Deleted: ماهواره‌ای

Deleted: وضعیت

Deleted: ی

Deleted: بررسی‌های

Deleted: مطالعه

Deleted: فرونشست

Deleted: راداری

Deleted: روش

Baseline Subset:SBAS) در دوره زمانی ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۹ بررسی شده است. همچنین با استفاده از سری زمانی فرونشست

زمین در محل چاه‌های مشاهده‌ای، ارتباط افت سطح آب زیرزمینی و فرونشست با استفاده از روابط آماری بررسی شده است.

مواد و روش‌ها

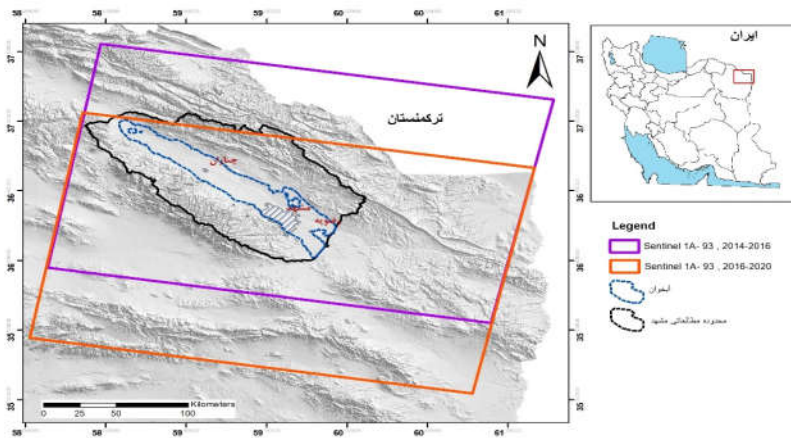
موقعیت منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه مشهد - چناران مهمترین زیرحوضه های حوضه آبریز قره قوم است. این دشت با مساحت حدود ۳۳۵۰ کیلومتر مربع حوضه فروافتاده‌ای با کشیدگی شمال غرب - جنوب شرق بوده و مهم‌ترین مناطق مسکونی آن شهرهای مشهد،

چناران و رضویه است. رودخانه کشف رود و سرشاخه‌های آن (طرقبه، رادکان، جعفرق، زشگ، گلستان، کارده) زهکش اصلی دشت بوده و تغذیه‌کننده آبخوان آن می‌باشند. موقعیت این دشت در استان خراسان رضوی و کشور در شکل ۱ نشان داده شده است. از نظر زمین‌شناسی ارتفاعات شمالی (کبه داغ) از سنگ‌های رسوبی و ارتفاعات جنوبی (بینالود) از سنگ‌های آذرین - دگرگونی (بخش شرق آن) و رسوبی (بخش غرب آن) تشکیل شده است. حافظی و همکاران با بررسی وضعیت تکتونیکی دشت مشهد- چناران بیان کرد که دشت مشهد- ناودبسی باز است که توسط گسل‌های طولی متعدد بریده شده است. در جنوب این دشت سامانه گسلی جنوب مشهد متشکل از چند گسل به موازات هم با مکانیسم امتداد لغز نرمال قرار داشته و در شمال دشت گسل معکوس کشف رود و ادامه آن توس سبب بالا آمدگی سنگ کف مارنی شده است. در مرکز دشت حدفاصل بین دو گسل کشف رود و F2 نهشته‌های مارنی پلیستوسن با ضخامت زیاد قرار دارد (۱۲).

شکل (۱): موقعیت محدوده مطالعاتی و آبخوان مشهد-چناران در کشور

Fig. 1: Location of study area and Mashhad-Chenaran aquifer in Iran



هیدروژئولوژی

آبخوان مشهد - چناران با مساحت ۲۵۲۷ کیلومتر مربع با طول ۱۵۰ کیلومتر و عرض متغیر بین ۲۰ تا ۳۰ کیلومتر، مهم‌ترین آبخوان (از نظر وسعت و میزان بهره‌برداری) استان خراسان رضوی است (۱۴). این آبخوان از نوع آزاد بوده و توپوگرافی سنگ

[R] Commented [۱۰]: سوال داور محترم ۲: مقدمه مقاله طولانی است خلاصه گردد پاسخ: بررسی و مقاله خلاصه تر شد.

[R] Commented [۱۱]: بخش‌های مربوط به مواد و روش تحقیق به خوبی توضیح داده شده است. پیشنهادت: تعریف کوتاهی از اصطلاحات مهم مانند تداخل نما، خط مبنا در ابتدا داده شود. ممنوع تصاویر با تاریخ اخذ آن و نرم افزارها مشخص شود. برخی مفاهیم مانند ثبت هندسی را می توان بهتر توضیح داد. جملات پراکنده به ترتیب مراحل بچینند. استفاده از شکل بیشتر برای روشن ساختن مراحل مفید است. با توضیح بیشتر اصطلاحات و ترتیب بندی منطقی تر، قابل درک تر خواهد شد.

[R] Commented [۱۲]: به طور کلی متن محدوده را معرفی کرده و دارای اطلاعات مفیدی در مورد جغرافیای طبیعی و زمین شناسی آن است ولی ارتباط آن را با عنوان بیان نکرد!

Moved (insertion) [1] [R] Commented [۱۲]: شکل فاقد کیفیت است بجای کرید از گزرتیکول برحسب درجه و دقیقه استفاده شود

Moved up [1]: محدوده مورد مطالعه مشهد - چناران مهمترین زیرحوضه های حوضه آبریز قره قوم است. این دشت با مساحت حدود ۳۳۵۰ کیلومتر مربع حوضه فروافتاده‌ای با کشیدگی شمال غرب - جنوب شرق بوده و مهم‌ترین مناطق مسکونی آن شهرهای مشهد،

[R] Commented [۱۴]: سوال داور محترم ۲: توضیحات خلاصه گردد. پاسخ: بررسی و تا حد امکان خلاصه شد.

Deleted: ۱۱

[D] Commented [۱۵]: سوال داور محترم ۲: شکل جابه جا شده است پاسخ: طبق نظر داور محترم شکل جابجا شد.

Deleted: آبرفتی

Deleted: ۱۳

کف آن تحت تأثیر عملکرد سیستم‌های گسل طولی و عرضی دشت و واحدهای زمین‌شناسی حاشیه شمالی و جنوبی آبخوان است و تغییرات قابل توجهی در خصوصیات هیدرودینامیکی آبخوان، ضخامت، جنس و مورفولوژی آبرفت مشاهده می‌شود (۳). جنس سنگ کف آبخوان در بخش جنوب شرقی و شمال غربی تا محدوده شهر چناران از رسوبات نئوژن، در حاشیه شمالی دشت سازندهای شوریه و تیرگان و در بخش جنوبی دشت از سنگ‌های آذرین و دگرگونی است (۱۴). عمق برخورد به آب زیرزمینی از دامنه ارتفاعات جنوبی به سمت بلندی‌های شمالی کاهش یافته و این روند بیشتر از تغییرات عمق سنگ کف در محدوده پیروی می‌کند. جهت جریان آب زیرزمینی نیز علاوه بر پیروی از شیب توپوگرافی منطقه، توسط زمین‌شناسی و مورفولوژی سنگ کف کنترل می‌شود. تغذیه آبخوان، به‌طور عمده از طریق مخروط افکنه‌های حاشیه ارتفاعات بینالود صورت می‌گیرد. مخروط افکنه‌های حاشیه شمالی دشت که از نهشته‌های آبرفتی دانه‌ریز تا دانه‌متوسط تشکیل شده‌اند، به دلیل جنس و ضخامت کم نقش کمتری در تغذیه آبخوان دارند (۳۰ و ۱۷).

داده‌ها و نرم‌افزارهای مورد استفاده

در این تحقیق ۱۰۶ تصویر راداری Sentinel-1A در قالب فرمت SLC (Single Look Complex) دریافتی از آژانس فضایی اروپا (ESA: European Space Agency) دارای حالت IW (Interferometric Wide swath) و پلاریزاسیون VV، در مسیر (Track) پائین گذر (Decending) ۹۳، در بازه زمانی مهر ۱۳۹۳ تا خرداد ۱۳۹۹ برای بررسی فرونشست مورد استفاده قرار گرفته است. همچنین مدل رقومی ارتفاعی ۳۰ متری SRTM، در زمان پردازش تصاویر راداری برای حذف اثر خطای توپوگرافی استفاده شده است. پس از تهیه نقشه فرونشست، سری زمانی فرونشست برای هر یک از پیکسل‌های تصویر با استفاده از روش خط منبای کوتاه (SBAS) تهیه شده است. با استفاده از اطلاعات سری زمانی ایستگاه‌های GPS گلمکان (GLOM) و نیروگاه توس (NFRD) صحت نقشه‌های فرونشست انجام شده و از اطلاعات ترازبایی دوره‌های زمانی مختلف (۱۳۸۱ - ۱۳۷۳ - ۱۳۸۴ - ۱۳۸۱) جهت بررسی انطباق مکانی زونهای فرونشست در زمان‌های مختلف استفاده شده است. با استفاده از اطلاعات تراز آب زیرزمینی در چاه‌های مشاهده‌ای انتخابی در دشت مشهد-چناران عوامل مؤثر توزیع زمانی و مکانی فرونشست بررسی شده است. فرآیند پردازش و تجزیه و تحلیل تداخل سنجی در شکل (۲) ارائه شده است. پردازش تصاویر راداری با استفاده از نرم‌افزار متن‌باز (GMTSAR (Open Source) انجام و نقشه‌ها و نمودارها در نرم‌افزارهای Arc GIS 10.3 و Excel 2016 ترسیم شده است.

روش تحقیق

تصاویر راداری سنتینل در حالت IW با استفاده از روش TOPSAR تهیه می‌شوند. TOPSAR یک روش تصویربرداری SAR است که در آن تصویر در بخش‌های متوالی با هدایت الکترونیکی آنتن SAR بین نوارهای (Swath) مجاور برداشت می‌شود. با توجه به نحوه برداشت تصاویر سنتینل، هر تصویر SLC، دارای سه نوار فرعی IW1، IW2، IW3 بوده و هر نوار فرعی از ۹ تا ۱۱، زیر بخش (burst) تشکیل شده است. نوارها و زیر بخش‌ها در تصویر خام در لبه‌ها برای چند متر هم‌پوشانی دارند. برای تهیه نقشه‌های فرونشست مراحل زیر طی شده است.

پیش‌پردازش تصاویر راداری

با توجه به ساختار تصاویر خام دریافتی قبل از پردازش و تهیه تداخل نماها (Interferogram)، هر تصویر نیاز به آماده‌سازی دارد. در این مرحله ابتدا تفکیک هر تصویر به سه نوار تشکیل دهنده انجام شده و زیر بخشهای موجود در هر نوار با هم ادغام

۲ :Deleted

۱۳ :Deleted

۱۶:Commented [R] : سوال داور محترم ۲ : شکل جابه جا شده است
پاسخ : طبق نظر داور محترم شکل جابجا شد.

۳۴ :Deleted

۹۱ :Deleted

Formatted: Highlight

Formatted: Font: (Default) Times New Roman, 12 pt, Font color: Text 1, Complex Script Font: B Lotus, 12 pt, (Complex) Persian, Highlight

۱۷:Commented [D] : سوال داور محترم ۱ - این تاریخ با زمان مطالعه شما همخوانی ندارد

پاسخ : ضمن تایید نظر داور محترم در مورد عدم همزمانی اطلاعات ترازبایی و تاریخی تصاویر راداری مورد استفاده ، در این تحقیق مقایسه ترازبایی و نتایج تصاویر راداری جهت بررسی انطباق مکانی زونهای فرونشست در دو دوره زمانی استفاده شده است و صحت سنجی نتایج پردازش راداری انجام با استفاده از سری زمانی ایستگاه‌های GPS انجام شده است.

Deleted : صحت سنجی نقشه‌های فرونشست انجام شده است

Formatted: Highlight

Formatted: Default Paragraph Font, Font: (Default) +Body (Calibri), 12 pt, Font color: Text 1, Complex Script Font: B Lotus, 12 pt, (Complex) Arabic (Saudi Arabia), Highlight

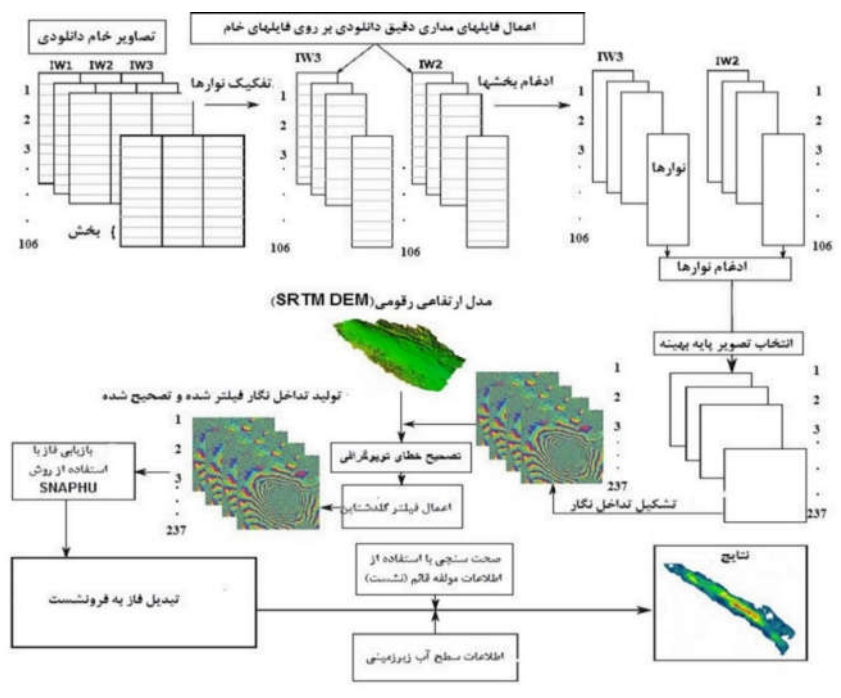
Formatted: Highlight

می‌شود. با توجه به این‌که دشت مشهد - چناران در محدوده دو نوار IW2 و IW3 قرار دارد، این دو نوار باهم ادغام شده و تصاویر موردنیاز برای مرحله پردازش تهیه می‌شود.

مراحل پردازش تصاویر راداری

پس از آماده‌سازی تصاویر خام، مراحل پردازش تصاویر راداری و تهیه نقشه فرونشست طبق نمودار جریان کار ارائه‌شده در شکل ۲، انجام شده است.

- یاد نظر گرفتن وجود دو شرط خط مبنای مکانی و زمانی کم‌تر از ۱۰۰ متر و کم‌تر از ۷۵ روز بین تصاویر بوده است که در متن ذکر شده است.
- و پیرو (slave) هر زوج تصویر تعیین و تداخل نماهای ممکن تهیه شد.
- پس از انتخاب زوج تصویر، هر دو تصویر SLC باید با دقت بسیار بالایی نسبت به هم در هر دو مؤلفه فاز و دامنه ثابت هم مرجع (منطقی) شوند. در این مرحله که ثبت هندسی (Coregistration) نیز نامیده می‌شود تصویر پیرو نسبت به تصویر پایه هم مرجع می‌گردد.



شکل ۲. نمودار جریان مراحل انجام پیش‌پردازش تصاویر تا تولید تداخل نما و نقشه‌های فرونشست
 Fig 2. Flowchart of Sentinel-1 image pre-processing to produce interferograms and subsidence maps

با توجه به این‌که تداخل نما حاصل ضرب خارجی تصویر مبنا در مجموعه توأم تصویر پیرو است، جهت تشکیل تداخل نما مقادیر اختلاف فاز میان دو تصویر باید محاسبه شود. اختلاف فاز بین دو تصویر ($\Delta\phi$) شامل ۵ مؤلفه زیر است.

Moved (insertion) [2]

Moved (insertion) [3]

Commented [D18]: سوال داور محترم ۱: مقادیر آن در کار شما چقدر بوده است؟
 پاسخ: در این تحقیق شرط خط مبنای مکانی وجود اختلاف کمتر از ۱۰۰ متر و شرط زمانی اختلاف کم تر از ۷۵ روز بین تصاویر بوده است که در متن ذکر شده است.

Formatted: Indent: Before: 0.63 cm, No bullets or numbering

Commented [D19]: شکل فاقد کیفیت است بخصوص اندازه فونت

Formatted: Font: (Default) Times New Roman, 12 pt, Font color: Text 1, Complex Script Font: B Nazanin, 12 pt

Deleted [12]

Formatted: Space After: 0 pt, Line spacing: single

Formatted: Line spacing: single

Deleted: ¶

Deleted: ¶

Moved up [2]: می‌شود. با توجه به این‌که دشت مشهد -

Deleted: ¶

Moved up [2]: مراحل پردازش تصاویر راداری

Deleted: ¶

Formatted: Highlight

Formatted: Highlight

Formatted: Highlight

Commented [D22]: واحد اندازه گیری بیان شود برای هر کمیت

Formatted: Highlight

$$\Delta\varphi = \Delta\varphi_{\text{erthflat}} + \Delta\varphi_{\text{elevation}} + \Delta\varphi_{\text{displacoment}} + \Delta\varphi_{\text{atmosphere}} + \Delta\varphi_{\text{noise}} \quad [1]$$

$\Delta\varphi_{\text{erthflat}}$: اختلاف فاز زمین مسطح، ناشی از انحنای سطح زمین در این رابطه:

$\Delta\varphi_{\text{elevation}}$: اختلاف فاز ناشی تأثیر توپوگرافی مرجع

$\Delta\varphi_{\text{displacoment}}$: اختلاف فاز ناشی از تغییر شکل سطح زمین

$\Delta\varphi_{\text{atmosphere}}$: اختلاف فاز ناشی از تأثیر اتمسفر (تغییرات رطوبت، دما و فشار اتمسفر)

- در طی ساخت تداخل نما، اختلاف فاز ناشی از زمین مسطح با استفاده از اطلاعات موجود در فایل های مداری دریافتی محاسبه و برآورد شده است.

- اختلاف فاز ناشی از تغییر شکل سطح زمین با استفاده از مدل ارتفاعی رقومی (SRTM) برداشت می شود.

با اعمال فیلتر گلدشتاین بر روی هر یک از پیکسل های تصاویر، نویز ناشی از اتمسفر کاهش یافته و اثر اتمسفر تصحیح شده است. در این مرحله نسبت سیگنال به نویز افزایش یافته و بازیابی مناسب فاز صورت گرفته است. به دلیل ماهیت خاص تصویربرداری راداری، این تصاویر اطلاعات مربوط به مقدار مطلق فاز را نداشته و داده های فاز موجود در بازه تا ۳۶۰ درجه ثبت می شود. در این مرحله مقدار فاز با استفاده از فاز نهایی شده، بازیابی می شود (۳۰).

مفرآیند تبدیل مقادیر گسسته و مبهم فاز ثبت شده در تصاویر راداری به مقادیر پیوسته و مطلق، اصطلاحاً بازیابی فاز (Phase unwrapping) نامیده می شود. در این مرحله فاز به فاصله تبدیل شده و یک شرط نرم کنندگی به مسئله معکوس سازی کم ترین مربعات اضافه شده است.

جهت بررسی رفتار سنجی زمین از تحلیل سری زمانی داده های تداخل سنجی استفاده شده است. هر تداخل نما معرف تغییر شکل بین دو تاریخ اخذ تصاویر است. برای مجموعه ای از تصاویر که امکان ایجاد تداخل نما میان هر دو اخذ تصویر کنار هم وجود دارد، با شروع از اولین تداخل نما و افزودن تداخل نماهای بعدی می توان سری زمانی کل تغییر شکل میان زمان شروع و تاریخ اخذ هر تصویر را به دست آورد (۷). با استفاده از تجزیه و تحلیل سری زمانی فرونشست می توان تغییرات متوسط سطح زمین در درازمدت را بررسی نمود. دو شرط مهم تجزیه و تحلیل سری زمانی برای برآورد مقادیر جابجایی این است که تعداد تداخل نماهای تولیدی حداقل برابر تعداد تصاویر راداری مورد استفاده بوده و زنجیره تداخل نماها درجایی (زمانی) گسسته نباشد. جهت تهیه سری زمانی فرونشست زمین دشت مشهد با در نظر گرفتن دو شرط ذکر شده، از روش خط مبنای کوتاه استفاده شده است. در این روش تنها تداخل نماهایی که از زوج تصاویری که مؤلفه قائم خط مبنای آن ها کم تر از مقدار بحرانی خط مبنای (۱۰۰ متر) بوده و خط مبنای زمانی آن ها کمینه (کم تر از ۷۵ روز) است، برای تهیه سری زمانی مورد استفاده قرار گرفته است. پس از تشکیل تداخل نماها، در شبکه ایجاد شده از تصاویر، سری زمانی مقدار جابجایی هر پیکسل، با استفاده از روش کمترین مربعات برآورد شده است. لازم به ذکر است که در نقشه ها و سری زمانی فرونشست حاصل، مقادیر فرونشست در جهت دید ماهواره (Line Of Sight: LOS) به مقادیر در جهت قائم تبدیل شده است.

با توجه به عدم انطباق کامل تصاویر راداری دریافتی برای منطقه مورد مطالعه به دلیل تغییرات در مسیر و تجهیزات سنجنده های ماهواره و جابجایی بیش از ۲۰ درصد مرکز تصاویر دریافتی نسبت به هم (شکل ۱)، پردازش تصاویر دریافتی در دو مرحله برای دوره های زمانی مهر ۱۳۹۳ تا فروردین ۱۳۹۵ و مرداد ۱۳۹۵ تا خرداد ۱۳۹۹ صورت گرفته و نقشه های هم نرخ و سری زمانی فرونشست برای هر مرحله تهیه شده است. از ادغام دو سری زمانی حاصله، سری زمانی کل فرونشست تهیه شده است.

Formatted: Highlight

Formatted: Highlight

Formatted: Highlight

Formatted: Highlight

Formatted: Highlight

Formatted: Highlight

Formatted: Highlight

Formatted: Highlight

Formatted: Highlight

Formatted: Highlight

Formatted: Highlight

Formatted: Highlight

Formatted: Highlight

Formatted: Highlight

Formatted: Highlight

Formatted: Highlight

Formatted: Highlight

Formatted: Highlight

Formatted: Highlight

Formatted: Highlight

Formatted: Highlight

Formatted: Highlight

Formatted: Highlight

Formatted: Highlight

Formatted: Highlight

Formatted: Indent: Before: 0 cm

Formatted: Indent: Before: 0 cm

Formatted: Font: (Default) Calibri, 12 pt, Complex Script
Font: B Lotus, 12 pt, (Complex) Persian

Deleted: ۶

[R Commented [2]: سوال داور محترم ۲: رفرنس جا افتاده؟ پاسخ: در پرانتز باید معادل کلمه جهت دید ماهواره قرار داده شود. که در متن اعمال شده است.

[R Commented [2]: تعریف کوتاهی از ضرایب همبستگی و تعیین بدهید. منبع داده های سطح آب زیرزمینی را بیان کنید. محدودیت های مطالعه را اشاره نمایید

Deleted: ارزیابی

[R Commented]: سوال داور محترم ۲: معادل فارسی روش ارائه شود
پاسخ: در پاراگراف بالا معادل فارسی ارائه شده است.

نتایج

با استفاده از تصاویر راداری بر اساس روش خط مبنای کوتاه، نقشه‌های فرونشست دشت مشهد - چناران برای دوره‌های زمانی مهر ۱۳۹۳ - فروردین ۱۳۹۵ و مرداد ۱۳۹۵ - خرداد ۱۳۹۹ تهیه شده که در شکل ۳ الف و ب ارائه شده است. بررسی این نقشه‌ها نشان می‌دهد که سه ناحیه فرونشستی در دشت وجود دارد به طوری که ناحیه ۱، در جنوب شرق شهر مشهد، ناحیه ۲ در شمال غرب شهر مشهد (بین شهر مشهد - چناران) و ناحیه ۳ در شمال غرب دشت (شهر چناران) گسترش یافته است. در شکل (۴) نقشه‌های تفکیک شده هریک از این سه ناحیه بحرانی فرونشست ارائه شده است. در دوره زمانی مهر ۱۳۹۳ - فروردین ۱۳۹۵، حداکثر نرخ فرونشست سالانه در ناحیه دو فرونشستی برابر ۱۶/۳ سانتی‌متر در سال بوده و در دو ناحیه فرونشستی ۱ و ۳ به ترتیب ۸ و ۹/۳ سانتی‌متر در سال است. در دوره زمانی مرداد ۱۳۹۵ تا خرداد ۱۳۹۹، حداکثر نرخ نشست سالانه در ناحیه دو برابر ۱۹ سانتی‌متر در سال بوده و در دو ناحیه ۱ و ۳ به ترتیب ۸/۹ و ۱۲/۱ سانتی‌متر در سال است. بررسی دو نقشه تهیه شده نشان می‌دهد که نرخ فرونشست در دوره زمانی مهر ۱۳۹۳ تا خرداد ۱۳۹۹ روند افزایشی داشته است. بررسی موقعیت نواحی فرونشست در دشت مشهد - چناران نسبت به گسل‌های موجود نشان می‌دهد که در ناحیه دو و ۳ فرونشستی (محدوده بین شهر مشهد تا چناران) گسل‌ها به دلیل تغییر ضخامت و دانه‌بندی رسوبات در طرفین آن‌ها نقش محدودکننده مرزی داشته و ناحیه ۲ فرونشستی بین دو گسل F2 و کشف رود (شکل ۴ - ب) و ناحیه ۳ فرونشستی به گسل F2 (شکل ۴ - ج) محدود شده است.

صحت سنجی داده‌های حاصل از پردازش تصاویر راداری

برای بررسی صحت سنجی و دقت روش تداخل‌سنجی راداری و نقشه‌های هم‌نرخ فرونشست تولیدی، نتایج سری زمانی فرونشست به دست آمده از پردازش تصاویر راداری با نتایج فرونشست اندازه‌گیری شده در محل نقاط نشانه مسیرهای ترازابی و ایستگاه‌های GPS مقایسه گردید. در دشت مشهد - چناران در دوره زمانی ۳۷۳ تا ۱۳۸۱ در سه مسیر مشهد - قوچان (BCBD)، مشهد - کلات (BDBE) و مشهد - سرخس (BEBN) عملیات ترازابی درجه ۱، صورت گرفته است. همچنین در دشت مشهد - چناران ۶ ایستگاه دائم GPS در دوره زمانی ۱۳۸۴ تا ۱۳۸۶ نصب شده و در آن‌ها اطلاعات مؤلفه قائم (فرونشست) ثبت شده است. موقعیت مسیرهای ترازابی انجام شده و ایستگاه‌های GPS دشت مشهد - چناران در شکل ۵ ارائه شده است. بررسی برداشت‌های صورت گرفته در مسیر BCBD نشان می‌دهد که حداکثر نشست تجمعی این مسیر در دوره زمانی ۱۳۷۳ تا ۱۳۸۱ معادل ۵۸ سانتی‌متر (شکل ۶ - الف) و در دوره زمانی ۱۳۸۱ تا ۱۳۸۵ حدود ۵۰ سانتی‌متر (شکل ۶ - ب) بوده که در منطقه توس رخ داده است. مقایسه نتایج ترازابی صورت گرفته در بخشی از این مسیر به طول تقریبی ۵۳ کیلومتری در دو دوره زمانی ۱۳۸۲ - ۱۳۷۳ و ۱۳۸۵ - ۱۳۸۲ نشان می‌دهد که مقدار فرونشست در دوره ۱۳۸۱ - ۱۳۷۴ در ایستگاه توس (BM50) حداکثر بوده ولی در دوره ۱۳۸۵ - ۱۳۸۲، حداکثر فرونشست در ۱۰ کیلومتری غرب ایستگاه توس (BM54) اندازه‌گیری شده است. موقعیت این بخش مورد بررسی و نقاط نشانه دارای بیشترین نشست در شکل ۶ نشان داده شده است. حداکثر نشست سالانه در محور مشهد - سرخس، ۸/۲ سانتی‌متر (نشست تجمعی ۷۴ سانتی‌متر در ۹ سال) در شهرک باهنر (قلعه ساختمان) و در محور مشهد - کلات، ۳/۴ سانتی‌متر (نشست تجمعی ۳۱ سانتی‌متر در ۹ سال) اندازه‌گیری شده است. مقایسه متوسط نرخ سالانه

[R Commented]: سوال داور محترم ۲: کلیه مخفف‌های انگلیسی معادل فارسی و کامل آنها ارائه شود.

سوال: معادل فارسی و نام انگلیسی کامل GPS در بخش ذکر شده است.

سایر عبارات‌های انگلیسی استفاده شده برای مسیرهای ترازابی در این دشت و سایر مناطق توسط سازمان نقشه برداری انتخاب و نامگذاری شده و به صورت استاندارد مورد استفاده قرار می‌گیرد و نیاز به ترجمه ندارد.

Deleted: (۵)

Deleted:

Deleted: شکل ۶

فروشنست اندازه‌گیری شده در مسیر BCBD در دوره زمانی ۸۴-۱۳۸۱ (۲) با نرخ فروشنست به دست آمده از تصاویر راداری در دوره زمانی ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۹ نشان می‌دهد که علی‌رغم عدم انطباق زمانی این داده‌ها باهم، این نرخ‌ها از نظر شدت و روند تغییرات باهم همخوانی دارند.

Moved (insertion) [4]

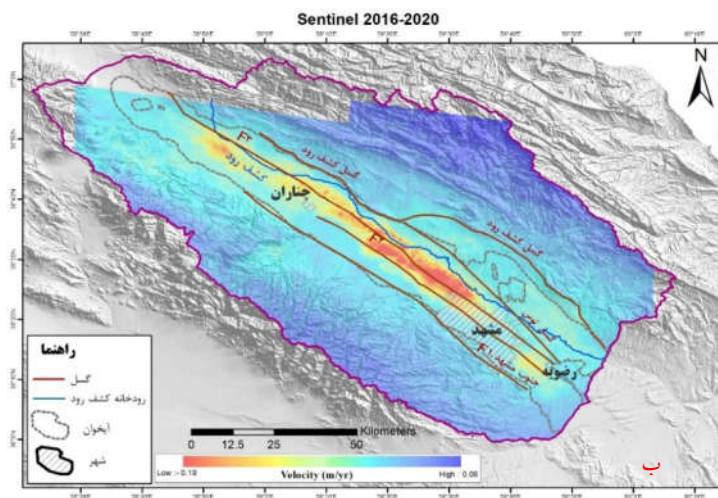
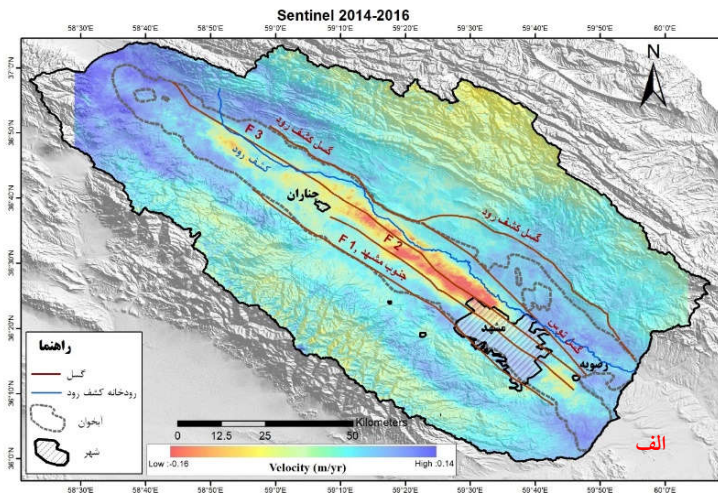
:Deleted

:Deleted ۶

[R]TVCommented: سوال داور محترم ۳: در متن اصلاح شده شکل‌ها به گونه‌ای در متن لحاظ شود که جابه‌جایی نداشته باشد
پاسخ: اصلاح مدنظر داور محترم انجام شد.

[D]TVCommented: ۲۸

Moved up [4]: فرونشست اندازه گیری شده در مسیر BCBD در دوره زمانی ۸۴-۱۳۸۱ (۶) با نرخ فرونشست به دست آمده از تصاویر راداری در دوره زمانی ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۹ نشان می دهد که علی رغم عدم انطباق زمانی این داده ها با هم، این نرخ ها از نظر شدت و روند تغییرات با هم همخوانی دارند.



شکل ۳. نقشه های فرونشست دشت مشهد- چناران

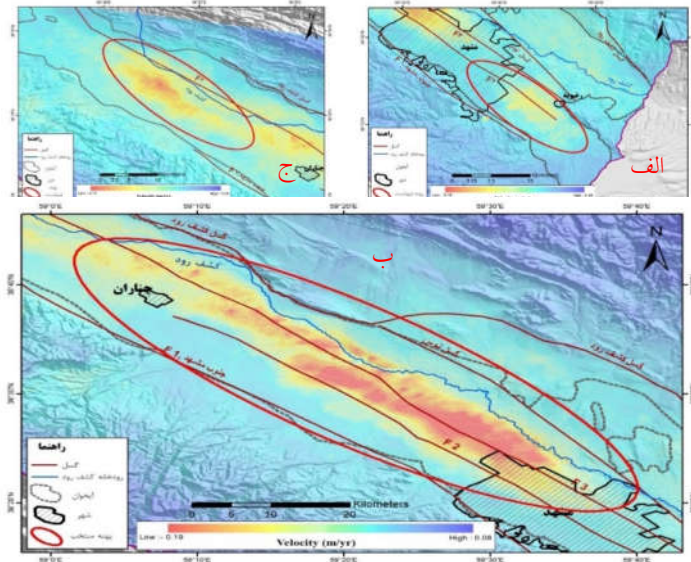
الف: دوره زمانی ۱۳۹۳/۱۰ تا ۱۳۹۵/۲ ب: دوره زمانی ۱۳۹۵/۵ تا ۱۳۹۹/۲

Fig 3. Subsidence map of Mashhad-Chenaran plain

A. 2014.10 -2016.4 periods B. 2016.8 -2020.5 periods

پارسی اندازه گیری های انجام شده در ایستگاه های GPS موجود در دشت مشهد - چناران نشان دهنده وجود فرونشست زمین در ایستگاه های گلکان (GLOM) و نیروگاه توس (NFRD) در دوره زمانی تحقیق است. مقایسه سری زمانی فرونشست

Moved (insertion) [5]

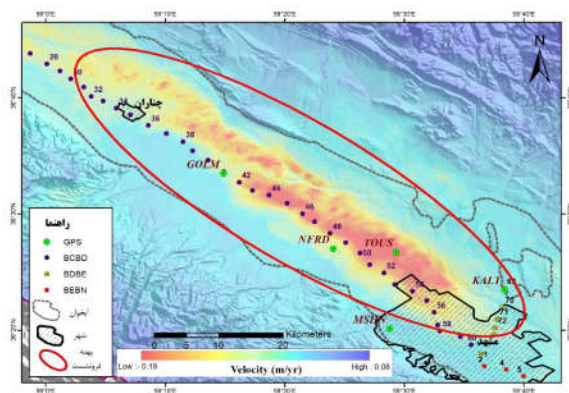


شکل ۴. نواحی بحرانی فرونشست در دشت مشهد- چناران

الف: ناحیه ۱-زون جنوب شرقی ب: ناحیه ۲- زون مرکزی ج: ناحیه ۳- زون شمال غربی

Fig 4. Critical subsidence zone map of Mashhad-Chenaran plain

A. zone 1: south-east area , B. zone 2: central area , zone 3: north-west area

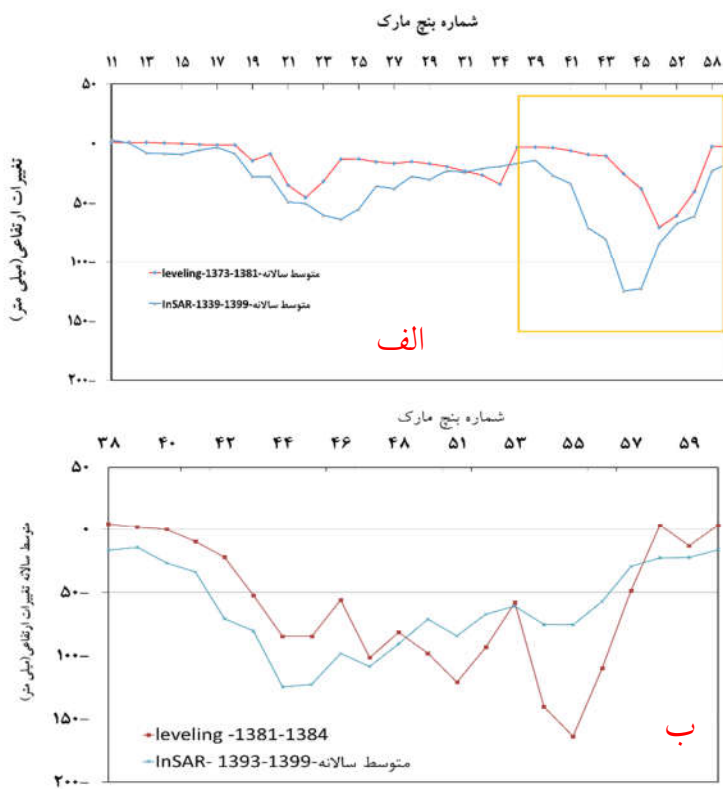


شکل ۵. موقعیت مسیرهای ترازیابی و ایستگاه‌های GPS در دشت مشهد- چناران

Fig 5. Location of leveling routes and GPS stations in Mashhad-Chenaran plain

Moved up [5]: بررسی اندازه‌گیری‌های انجام‌شده در ایستگاه‌های GPS موجود در دشت مشهد - چناران نشان‌دهنده وجود فرونشست زمین در ایستگاه‌های گل‌مکان (GLOM) و نیروگاه توس (NFRD) در دوره زمانی تحقیق است. مقایسه سری زمانی فرونشست

اندازه‌گیری شده در این دو ایستگاه با سری زمانی فرونشست استخراج‌شده برای این نقطه از تصاویر راداری (شکل ۷) نشان‌دهنده انطباق بالای دو سری داده است. جهت مقایسه فرونشست محاسبه‌شده از ایستگاه‌های دائم ژئودینامیک و تصاویر راداری از کمیت آماری مجذور میانگین مربعات خطا (Root Mean Squared Error : RMSE) استفاده می‌شود. در دوره زمانی ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۹ مقدار خطای محاسبه‌شده برای ایستگاه گل‌مکان، 0.63 cm و برای ایستگاه نیروگاه توس، 0.6 سانتی‌متر است. مقدار خطای میانگین محاسبه‌شده نشان‌دهنده دقت قابل‌قبول پردازش است. اختلاف کم میزان فرونشست محاسبه‌شده و اندازه‌گیری شده در دو ایستگاه نشان‌دهنده این نکته است که خطاهای موجود در روش تداخل سنجی راداری از جمله خطای اتمسفر و خطای بازیابی فاز تا حد زیادی تعدیل شده است.



شکل ۶. مقایسه متوسط نرخ سالانه فرونشست اندازه‌گیری شده در مسیر ترازبایی مشهد-فوجان (BCBD) بر اساس ترازبایی و اطلاعات InSAR : ترازبایی در دوره زمانی ۱۳۷۳ تا ۱۳۸۱، ب: ترازبایی مجدد در دوره زمانی ۱۳۸۲-۱۳۸۴ (بخش نارنجی رنگ تصویر الف)

Fig 6. Comparison between mean subsidence rate computed from leveling projected on the InSAR data in the BCBD path of leveling, A:Leveling period 1994-2002, B: re-Leveling period 2002-2005(rectangle in image A)

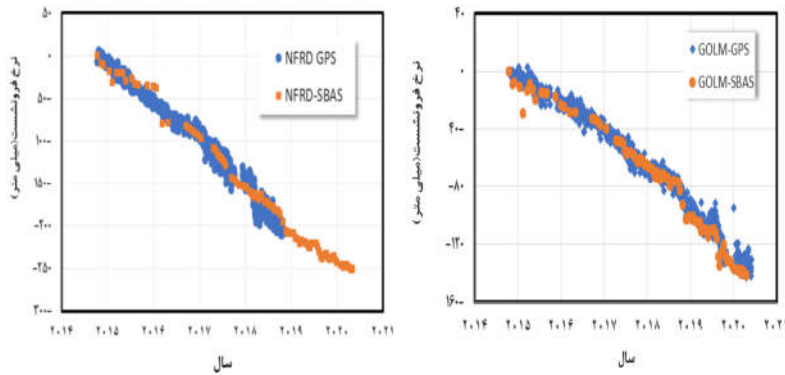
:Deleted

[R Commented 21]: سوال داور محترم ۲: فایل مقاله مرتب ارائه شود خیلی بهم ریختگی وجود دارد و بعضا برخی موارد حذف شده لازم است اصلاح نماید پاسخ: کل مقاله بررسی و اصلاح شد.

[D Commented 22]: سوال داور محترم ۱- محل پروفیل را بر روی نقشه مشخص کنید. در شکل ۵ محل پروفیل با علامت بیضی مشخص شده است.

Formatted: Highlight

Orange :Deleted



شکل ۷. انطباق سری زمانی فرونشست ایستگاه‌های NFRD و GOLM با نتایج حاصل از InSAR

Fig 7. Comparative chart of NFRD and GLOM GPS stations times series vs. InSAR vertical measurement

بررسی ارتباط افت سطح آب زیرزمینی و فرونشست

صحت و دقت نتایج به دست آمده از روش‌های تداخل سنجی راداری، توسط داده‌های دیگر از جمله داده‌های افت آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه به صورت آماری (همبستگی رگرسیون) نیز مورد بررسی قرار گرفته است. ارتباط بین فرونشست و افت سطح آب زیرزمینی در مناطق مختلفی از دنیا به وسیله محققین بسیاری مورد بررسی قرار گرفته است. در دشت مشهد- چناران بهره‌برداری گسترده از منابع آب زیرزمینی در طی ۵۰ سال گذشته باعث افت شدید آب زیرزمینی شده است. انطباق منحنی‌های هم افت ۳۰ ساله (مهر ۱۳۶۶ تا شهریور ۱۳۹۶) دشت مشهد- چناران و نقشه فرونشست تهیه شده برای دوره زمانی ۲۰۱۶-۲۰۲۰ در شکل (۸) نشان می‌دهد که تقریباً در بخش اعظم دشت میزان افت ۳۰ ساله بیش از ۲۰ متر بوده و زون‌های فرونشست سه گانه منطبق بر مناطقی است که افت سطح آب زیرزمینی در آن‌ها بیش از ۳۰ متر است. سری‌های زمانی متغیرهای قابل اندازه‌گیری آب زیرزمینی، به دو گروه پیوسته یا گسسته (ناپیوسته) تقسیم می‌شوند. با توجه به تغییرات مداوم و دوره‌ای سطح آب زیرزمینی و همچنین ماهیت فرونشست زمین، می‌توان این دو متغیر را به عنوان سری زمانی ناپیوسته در نظر گرفت. دو متغیر، زمانی مرتبط در نظر گرفته می‌شوند که توزیع مقادیر یکی از آن‌ها برحسب مقادیر متغیر دیگر تغییر کند (۴). معمولی‌ترین روش اندازه‌گیری وابستگی بین دو متغیر کمی، محاسبه ضریب همبستگی پیرسون (R) است. اگر ضریب پیرسون بیش از ۰/۸ باشد بیانگر وجود رابطه بسیار قوی و اگر کم‌تر از ۰/۲ باشد بیانگر رابطه ناچیز و یا فقدان رابطه است. بین این مقادیر، شدت رابطه از رابطه ضعیف تا رابطه قوی در تغییر است. ضریب همبستگی، قدرت و جهت یک رابطه خطی را بین دو متغیر را بیان کرده و مقدار آن بین +۱ تا -۱ تغییر می‌کند. علامت‌های مثبت و منفی نشان‌دهنده وجود همبستگی خطی مثبت و منفی است.

ضریب تعیین (R^2) نشان‌دهنده این است که چه مقدار از تغییرات متغیر وابسته تحت تأثیر متغیر مستقل بوده و مابقی تغییرات متغیر وابسته مربوط به سایر عوامل است و مقدار آن همیشه بین ۰ و ۱۰۰٪ است. مقدار ۰٪ نشان می‌دهد که مدل هیچ‌یک از تغییرپذیری داده‌های پاسخ در اطراف میانگین آن را تبیین نمی‌کند و ۱۰۰٪ نشان می‌دهد که مدل همه تغییرپذیری داده‌های پاسخ در اطراف میانگین آن را تبیین می‌کند. در پژوهش حاضر این ضریب نشان می‌دهد که چند درصد تغییرات متغیر نرخ فرونشست به وسیله افت سطح آب زیرزمینی تبیین می‌شود.

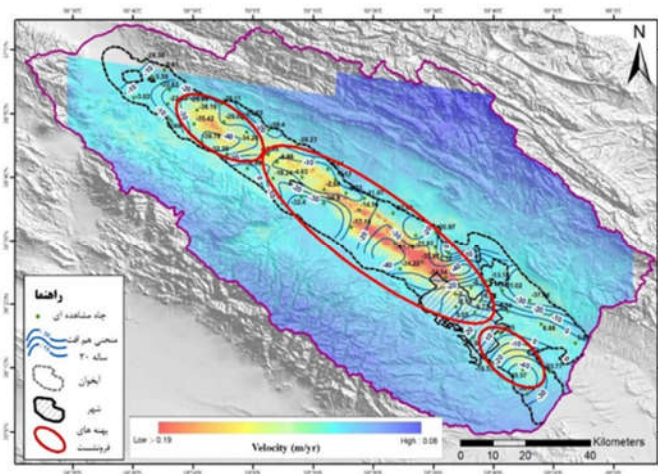
[R Commented ۲]: سوال داور محترم ۲: کلیه علامت‌ها در متن فارسی معادل فارسی ارائه شود. شکل فوق خوانا نیست
پاسخ: با توجه به این که علامت‌های مورد استفاده، علامت‌های اختصاصی سازمان نقشه برداری است نیازی به ترجمه آنها نیست.
فایل اکسل این شکل ارائه شده است.

Formatted: Not Highlight
Formatted: Not Highlight
Formatted: Not Highlight
Formatted: Highlight
Deleted

Deleted ۲

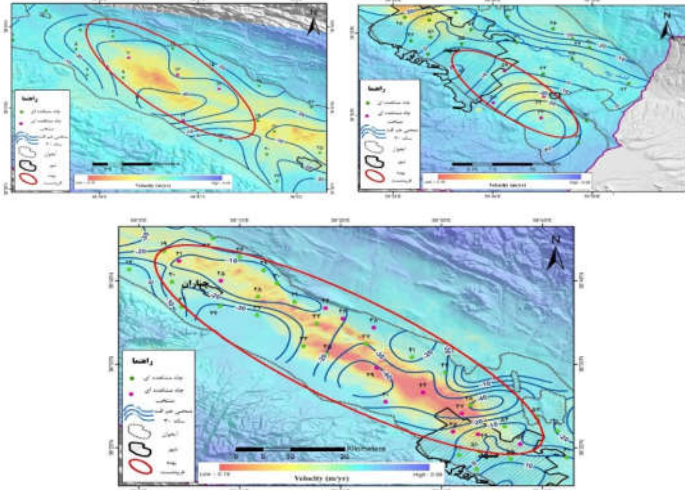
جهت بررسی ارتباط بین افت سطح آب زیرزمینی و فرونشست زمین در دشت مشهد- چناران از نظر آماری، تعدادی از چاه‌های مشاهده‌ای در هریک از ناحیه‌های فرونشستی انتخاب شد. با استفاده از سری زمانی فرونشست به دست آمده از پردازش تصاویر راداری، سری زمانی فرونشست در محل این چاه‌های مشاهده‌ای استخراج شده و نمودارهای افت - فرونشست و افت - عمق سطح آب زیرزمینی در هریک از این چاه‌ها ترسیم شد. موقعیت چاه‌های مشاهده‌ای انتخابی بر روی نقشه فرونشست در شکل (۹) ارائه شده است. جهت بررسی رابطه بین فرونشست و افت سطح آب زیرزمینی در چاه‌های مشاهده‌ای انتخابی ضرایب همبستگی و تعیین برای هر چاه محاسبه شده که نتایج حاصله در جدول (۲) ارائه شده است.

بر اساس بررسی ضرایب همبستگی به دست آمده می‌توان چاه‌های انتخابی را به دو گروه دسته‌بندی نمود. در گروه اول که بیش از ۷۵ درصد چاه‌های انتخابی را شامل می‌شود ضریب همبستگی بیش از ۰/۸ است. این ضریب نشان‌دهنده وجود رابطه همبستگی بسیار قوی و قوی بین نرخ فرونشست و افت سطح آب زیرزمینی در این چاه‌ها است. در این چاه‌ها مقدار ضریب تعیین بین ۰/۶۵ تا ۰/۹۵ تغییر می‌کند. با توجه به مقادیر ضریب تعیین به دست آمده در این چاه‌ها می‌توان گفت که عوامل مؤثری دیگری مانند ضخامت لایه‌های ریزدانه، درصد مواد ریزدانه و نرخ برداشت آب زیرزمینی در میزان نرخ فرونشست نیز تأثیر دارد. در چاه‌های گروه دوم که شامل چاه قلعه ساختمان در ناحیه ۱ فرونشستی و چاه‌های حسن‌آباد ویرانی، جوی پایین، تخم مرز و بحرآباد در ناحیه ۲ فرونشستی می‌شود، ضریب همبستگی بین ۰/۴۶ تا ۰/۰۸ تغییر می‌کند. رابطه همبستگی نرخ فرونشست - افت سطح آب زیرزمینی در این چاه‌ها متوسط (چاه حسن‌آباد ویرانی با ضریب ۰/۴۶)، اندک (چاه‌های جوی پائین و تخم مرز با ضریب ۰/۳۹) و فاقد رابطه (چاه‌های تخم مرز و بحرآباد) است. در چاه‌های این گروه در طی دوره بررسی فرونشست (مهر ۱۳۹۳ تا اردیبهشت ۹۹) سطح آب زیرزمینی بالآمدگی داشته و یا ثابت بوده است. این چاه‌ها در داخل محدوده شهری و یا حاشیه نواحی فرونشستی ۱ و ۲ قرار دارند. تعدادی از نمودارهای عمق سطح آب زیرزمینی - فرونشست و افت - فرونشست ترسیمی در چاه‌های گروه اول در اشکال ۱۰ و ۱۱ و در چاه‌های گروه دوم در اشکال ۱۲ و ۱۳ ارائه شده است.



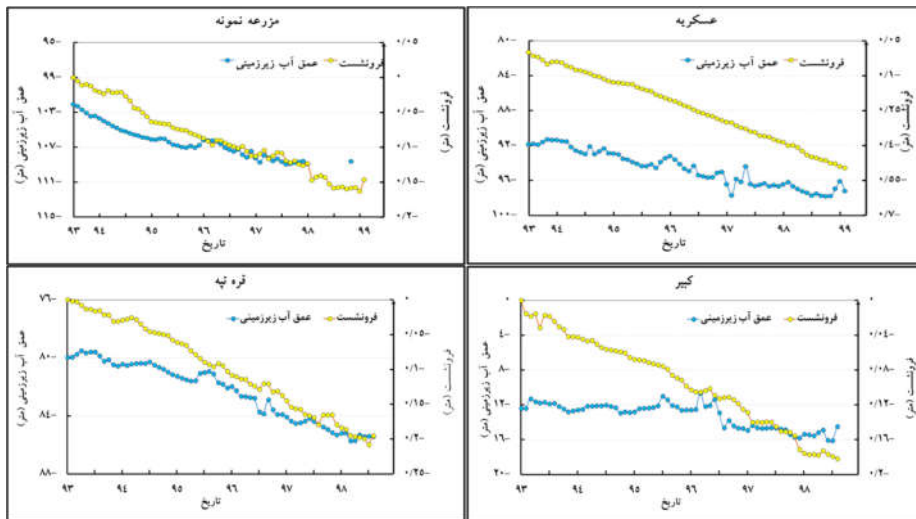
شکل ۸. انطباق نقشه‌های فرونشست و افت ۳۰ ساله

Fig8. combination of subsidence and groundwater level depletion(30 years) maps



شکل ۹. انطباق نقشه افت ۳۰ ساله بر روی نقشه‌های سه ناحیه بحرانی فرونشست

Fig9. Combination of subsidence and groundwater level depletion(30 years) maps



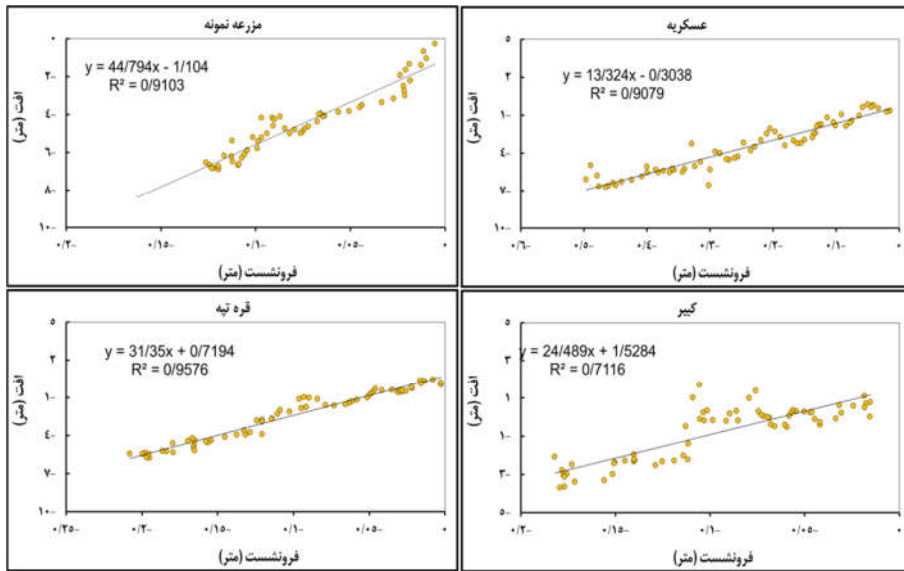
شکل ۱۰. نمودارهای عمق سطح آب زیرزمینی - فرونشست در تعدادی از چاه‌های مشاهده‌ای منتخب گروه اول

Fig. 10. Groundwater depth with subsidence graphs in group 1 of selected piezometers

جدول ۲. نتایج ضرایب همبستگی و تعیین افت - فرونشست محاسبه شده در چاه‌های مشاهده‌ای منتخب

Table 2. The correlation coefficients and Coefficients of Determination, groundwater level depletion with land subsidence in selected piezometers.

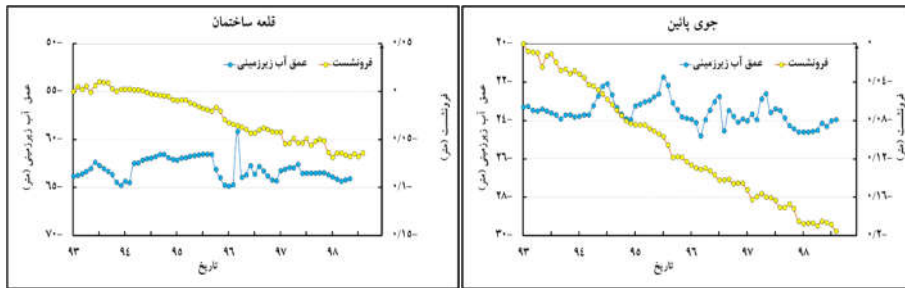
ضریب تعیین Coefficients of Determination	ضریب همبستگی Correlation coefficients	افت سطح آب زیرزمینی (متر) Groundwater level depletion(m)	نشست تجمعی (متر) Cumulative Subsidence(m)	نام چاه مشاهده ای Piezometer name	ناحیه فرونشستی Subsidence zone
۰/۹۶	۰/۹۱	-۷/۲۸	-۰/۱۴۶۲۴	مزرعه نمونه	ناحیه ۱ جنوب شرق دشت
۰/۸۹	۰/۷۹	-۲/۲۶	-۰/۲۱۶۹۱	مزرعه نمونه- شهرک	
۰/۸۷	۰/۷۶	-۲/۲۶	-۰/۰۶۹۹	خواجه اباصلت	
۰/۳۹	۰/۱۴	-۰/۰۷	-۰/۰۶۷۶۷	قلعه ساختمان	
۰/۹۶	۰/۹۳	-۹/۴۴	-۰/۱۰۳۵	خواجه ربیع	ناحیه ۲ بین مشهد- چناران
۰/۹۵	۰/۹۱	-۶/۰۶	-۰/۴۹۶۳	عسکریه	
۰/۹۴	۰/۸۹	-۳/۷۷	-۰/۰۵۷	شیرحصار	
۰/۹۰	۰/۸۲	-۴/۸	-۰/۶۰۴۸	کلا ته برفی	
۰/۸۶	۰/۷۴	-۰/۲	-۰/۳۳۰۸	چحچه	
۰/۸۴	۰/۷۰	-۲/۳	۰/۱۸۲۰	کبیر	
۰/۸۲	۰/۶۸	-۵/۳۳	-۰/۳۲۸۰	اراضی قاسم آباد	
۰/۸۱	۰/۶۶	-۴/۹۷	-۰/۱۴۷۷	قره جنگل	
۰/۴۶	۰/۲۱	-۰/۵۴	-۰/۰۹۰۶	حسن آباد ویرانی	
۰/۳۹	۰/۱۶	-۰/۸۴	-۰/۱۹۵۴	جوی پائین	
۰/۱۱	۰/۰۱	۱/۴۴	-۰/۵۵۴۲	تخم مرز	
۰/۰۸	۰/۰۰۶	-۱/۷۳	-۰/۴۱۶۳	بجرآباد	
۰/۹۸	۰/۹۶	-۶	-۰/۱۹۵۳	قره تپه	ناحیه ۳ شمال غرب دشت
۰/۹۲	۰/۸۵	-۲/۹۵	-۰/۰۵۰۹	سیدآباد	
۰/۸۸	۰/۷۷	-۱/۶۲	-۰/۱۶۸۱	حاجی آباد	
۰/۸۳	۰/۶۹	-۱/۱۲	-۰/۱۳۷	افضل آباد	



شکل ۱۱. نمودارهای افت-فرورفتگی در تعدادی از چاه‌های مشاهده‌ای منتخب گروه اول

Fig11. Groundwater level depletion with land subsidence scatter plot graphs in group 1 of selected piezometers

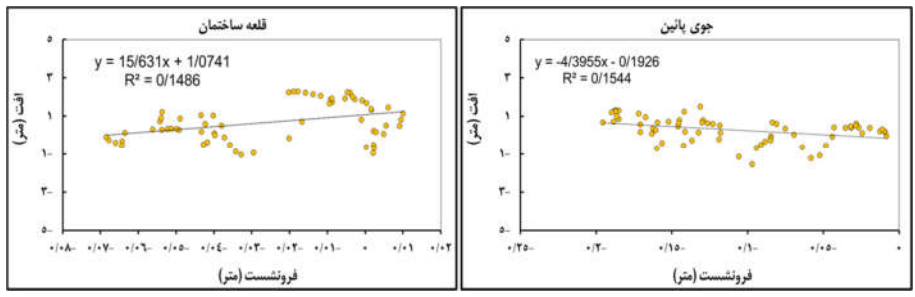
[R Commented 25]: سوال داور محترم ۲: کلیه نمودارها فایل اصلی آنها به فرمت اکسل که قابل ویرایش باشد ارائه گردد پاسخ: فایل اکسل این نمودارها ارائه شده است.



شکل ۱۲. نمودارهای عمق سطح آب زیرزمینی-فرورفتگی در تعدادی از چاه‌های مشاهده‌ای منتخب گروه دوم

Fig. 12. Groundwater depth with subsidence graphs in group 2 of selected piezometers

[R Commented 31]: سوال داور محترم ۳: کلیه نمودارها فایل اصلی آنها به فرمت اکسل که قابل ویرایش باشد ارائه گردد پاسخ: فایل اکسل این نمودارها ارائه شده است.



شکل ۱۳. نمودارهای افت - فرونشست در تعدادی از چاه‌های مشاهده‌ای منتخب گروه اول
 Fig.13. Groundwater level depletion with subsidence scatter plot graphs in group 2 of selected piezometers

بحث و نتیجه‌گیری

توسعه کشاورزی و صنعت و افزایش جمعیت در دشت مشهد- چناران در دهه‌های اخیر باعث افزایش شدید نیاز آبی شده و به دلیل محدودیت منابع آب سطحی بهره‌برداری گسترده از منابع **آب زیرزمینی** صورت پذیرفته است. برداشت بیش‌ازحد از این منابع، باعث ایجاد کسری مخزن و افت سالانه زیاد سطح **آب زیرزمینی** (حدود ۰/۸ متر در سال) در طی ۵۰ سال گذشته شده است. آثار منفی فرونشست ناشی از اضافه برداشت از منابع **آب زیرزمینی** از اواخر دهه ۱۳۶۰ در برخی نقاط دشت بروز کرده و در سال‌های اخیر بخش اعظم دشت را در بر گرفته است. علی‌رغم انجام کارهای پژوهشی متعدد در ۲۰ ساله گذشته، تاکنون تحقیق جامعی که دشت مشهد- چناران را شامل شود، انجام نشده و تقریباً در تمامی موارد پژوهش‌های قبلی بخش مرکزی و جنوب شرقی دشت مشهد- چناران **مورد بررسی** قرار گرفته است. در این پژوهش که هدف آن بررسی گسترش مکانی و علل فرونشست زمین در دشت مشهد- چناران است، میزان و گسترش این پدیده با استفاده از روش تداخل سنجی راداری بررسی شده است. بدین منظور از ۱۰۶ تصویر راداری Sentinel-1A، از گذر نزولی ۹۳ که دوره زمانی مهر ۱۳۹۳ تا خرداد ۱۳۹۹ را **در برمی‌گیرد**، استفاده شده است. جهت صحت سنجی اطلاعات حاصله، نتایج حاصل از پردازش با اطلاعات ترازیبی موجود برای دوره زمانی ۱۳۸۴-۱۳۷۱ و ایستگاه‌های GPS گلمکان و نیروگاه طوس مقایسه شده است. صحت سنجی نتایج نرخ فرونشست برآورد شده با استفاده از پردازش تصاویر راداری در محل نقاط نشانه مسیره‌های ترازیبی با مقادیر **اندازه‌گیری** شده واقعی در سال‌های ۱۳۷۳ تا ۱۳۸۴ علی‌رغم عدم انطباق زمانی این داده‌ها باهم، نشان می‌دهد که این نرخ‌ها از نظر شدت و روند تغییرات باهم همخوانی دارند. همچنین صحت سنجی نتایج نرخ سری زمانی برآورد شده با استفاده از پردازش تصاویر راداری در محل ایستگاه‌های GPS گلمکان و نیروگاه توس با مقادیر اندازه‌گیری شده واقعی نشان‌دهنده انطباق بالای این دو سری زمانی و درستی مراحل پردازش است. بررسی نقشه‌های فرونشست تهیه شده برای دوره‌های زمانی مهر ۱۳۹۳ تا فروردین ۱۳۹۵ و مرداد ۱۳۹۵ تا خرداد ۱۳۹۹ نشان می‌دهد که سه ناحیه فرونشستی در جنوب شرق شهر مشهد، شمال غرب شهر مشهد (بین شهر مشهد - چناران) و در شمال غرب دشت (شهر چناران) وجود دارد. حداکثر نرخ فرونشست سالانه در ناحیه ۲ فرونشستی، برابر ۱۹ سانتی‌متر در سال بوده و در دو ناحیه فرونشستی ۱ و ۳ به ترتیب ۸/۹ و ۱۲/۱ سانتی‌متر در سال است. به‌طورکلی نرخ فرونشست در دوره زمانی مهر ۱۳۹۳ تا خرداد ۱۳۹۹ روند افزایشی داشته است.

[TVCommented [R سوال داور محترم ۲: کلیه نمودارها فایل اصلی آنها به فرمت اکسل که قابل ویرایش باشد ارائه گردد پاسخ: فایل اکسل این نمودارها ارائه شده است.

Commented [28]: جملات پراکنده را در قالب بخش‌های مجزا سازماندهی مجدد کنید. بیشتر بر تحلیل و تفسیر نتایج جداول و نمودارها تمرکز کنید. محدودیت‌های پژوهش را بیان کنید. پیشنهادات برای تحقیقات آتی ارائه دهید

- Deleted**
- Deleted:** آب زیرزمینی
- Deleted:** آب زیرزمینی
- Deleted:** آب زیرزمینی
- Deleted:** مورد بررسی
- Deleted:** در برمی‌گیرد
- Deleted:** اندازه‌گیری

Formatted: Right, Tab stops: 6.71 cm, Right + 8.5 cm, Centered

انطباق منحنی‌های هم افت ۳۰ ساله دشت مشهد- چناران و نقشه فرونشست تهیه‌شده برای دوره زمانی ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۹ نشان می‌دهد که زون‌های فرونشست سه‌گانه منطبق بر مناطقی است که افت سطح آب زیرزمینی در آن‌ها بیش از ۳۰ متر است.

براساس بررسی ضرایب همبستگی به‌دست‌آمده می‌توان چاه‌های انتخابی را به دو گروه دسته‌بندی نمود. در گروه اول که بیش از ۷۵ درصد چاه‌های انتخابی را شامل می‌شود ضریب همبستگی بیش از ۰/۸ نشان‌دهنده وجود رابطه همبستگی بسیار قوی و قوی بین نرخ فرونشست و افت سطح آب زیرزمینی است. مقدار ضریب تعیین بین ۰/۶۵ تا ۰/۹۵ این چاه‌ها نشان می‌دهد که عوامل مؤثری دیگری مانند ضخامت لایه‌های ریزدانه، درصد مواد ریزدانه و نرخ برداشت آب زیرزمینی در میزان نرخ فرونشست نیز تأثیر دارد. در چاه‌های گروه دوم ضریب همبستگی بین ۰/۴۶ تا ۰/۸ تغییر کرده و رابطه همبستگی نرخ فرونشست- افت سطح آب زیرزمینی در این چاه‌ها متوسط، اندک و فاقد رابطه است. در چاه‌های این گروه در طی دوره بررسی فرونشست سطح آب زیرزمینی بالاتر از حد طبیعی بوده است. این چاه‌ها در داخل محدوده شهری و یا حاشیه نواحی فرونشستی ۱ و ۲ قرار دارند.

هرچند همبستگی بالایی بین نرخ فرونشست زمین و افت سطح آب زیرزمینی در این نواحی فرونشستی وجود دارد ولی در برخی از مناطق دشت این همبستگی به میزان قابل توجهی کاهش یافته است. در این مناطق علاوه بر افت سطح آب زیرزمینی عوامل دیگری مانند درصد رسوبات دانه‌ریز، وجود لایه‌های رسی و میزان تخلیه آب زیرزمینی نقش پررنگ‌تری دارند. همچنین روند گسترش فرونشست در این دشت توسط ساختارهای تکنیکی فعال در دشت و سنگ کف کنترل می‌شود.

Deleted: آب زیرزمینی

Deleted: بر اساس

Deleted: آب زیرزمینی

Deleted: آب زیرزمینی

Deleted: آب زیرزمینی

Deleted: آب زیرزمینی

Deleted: آب زیرزمینی

Deleted: آب زیرزمینی

Deleted: آب زیرزمینی

تقدیر و تشکر

بدین‌وسیله از سازمان نقشه‌برداری کشور و شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی که در تأمین داده‌های مورد استفاده در این تحقیق همکاری نمودند و اداره کل زمین‌شناسی شمال شرق کشور که شرایط و کد برنامه‌نویسی لازم برای پردازش اطلاعات راداری را فراهم نمودند سپاسگزاری می‌گردد.

Deleted: خراسان رضوی

Deleted: برنامه نویسی

منابع مورداستفاده

1. Akbari V, Motagh M. 2011. Improved ground subsidence monitoring using small baseline SAR interferograms and a weighted least squares inversion algorithm. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 9(3): 437-441.
2. Anwari, M. and H. Noorollahian (2007). A new approach to subsidence of Mashhad plain. Geomatics Conference, Tehran Surveying Organization.
3. Arjmand Sharif, M., Jafari, H., 2021. Estimation of Groundwater Recharge Lag Time in Mashhad-Chenaran Aquifer Using Cross-Correlation Method. Water and Soil, 35(4): 489-504. (In Persian).
4. Arjmand Sharif, M. and Jafari, H. 2022. "Groundwater Recharge Estimating in Mashhad-Chenaran Aquifer using water table fluctuations method (MRC algorithm)." Hydrogeology 6(2): 151-168.
5. Arvin A, Vahabzadeh G, Mousavi SR, Bakhtyari Kia M. 2019. (Arvin, Vahabzadeh et al. 2019). Journal of RS and GIS for Natural Resources, 10(3): 19-34. http://girs.iaubushehr.ac.ir/article_668468_en.html (In Persian).
6. Babae, S., Mousavi, Z., Masoumi, Z., Malekshah, A.H., Roostaei, M., & Aflaki, M. 2020. Land subsidence from interferometric SAR and groundwater patterns in the Qazvin plain, Iran. International Journal of Remote Sensing, 41: 4780-4798
7. Bernardino P, Fornaro G, Lanari R, Sansosti E .2002. A new algorithm for monitoring localized deformation phenomena based on small baseline differential SAR interferograms. IEEE Int Geosci Remote Sens Symp 2:2375–2383. doi: 10.1109/IGARSS.2002.1025900
8. Dehghani M, Valadan Zouj MJ, Saatchi S, Biggs J, Parsons B, Wright T.2009. Radar interferometry time series analysis of Mashhad subsidence. J Indian Soc Remote Sens. 37(1):147–156. <https://doi.org/10.1007/s12524-009-0006-x>
9. Dehghani M.2014. An Enhanced Algorithm based on Radar Interferometry for Monitoring Land Subsidence Caused by Over-Exploitation of Groundwater. jgit. 2 (2):61-73 : <http://jgit.kntu.ac.ir/article-1-135-fa.html> (In Persian).
10. Geological Survey of Iran.2018.The land subsidence study of Mashhad plain with InSAR : 80p.(In Persian).
11. Gharechelou, S., Akbari Ghoochani, H., Golian, S., Ganji, K.2021. Evaluation of land subsidence relationship with groundwater depletion using Sentinel-1 and ALOS-1 radar data (Case study: Mashhad plain). Journal of RS and GIS for Natural Resources, 12(3): 40-61(In Persian).

Commented [۳۹۵]:

برای تمام رفرنسها شماره صفحات لازم است

Deleted: ¶

Deleted: ¶

Deleted: Jafari, H

Deleted: <#>Anwari MA, Nourollahian H. 2007. A new approach to subsidence of Mashhad Plain. In: Geomatic 86 (In Persian). ¶

Deleted: <#>.

Deleted: ¶

Moved (insertion) [7]

Formatted: Font color: Text 1

Formatted: List Paragraph, Add space between paragraphs of the same style, Numbered + Level: 1 + Numbering Style: 1, 2, 3, ... + Start at: 1 + Alignment: Left + Aligned at: 0.75 cm + Indent at: 1.38 cm

Moved (insertion) [6]

Deleted: G

Deleted: ¶

12. Hafezi Moghaddas N, Leo C, Rahimi B, Azadi A. 2018. Morpho-tectonics and Geoelectrical method applied to active faults characterization in South of Mashhad Plain, Northeast of Iran. *Geopersia*, 8(1): 13-26. doi:https://dx.doi.org/10.22059/geope.2017.230489.648312.

13. _____

14. _____

15. Haghshenas Haghghi M, Motagh M. 2019. Ground surface response to continuous compaction of aquifer system in Tehran, Iran: results from a long-term multi-sensor InSAR analysis. *Remote Sens. Environ.* 221:534-550

16. Khorasan Razavi Regional Water Authority. KRRWA.2015. Water Resources Budget of Ghareghurh Basin. Vol. 7. Mashhad Sub basin. 90 P. (In Persian).

17. Khorrami, M., Abrishami, S., Maghsoudi, Y. 2020. Extreme subsidence in a populated city (Mashhad) detected by PSInSAR considering groundwater withdrawal and geotechnical properties. *Sci Rep* 10(1): 1-16. 11357. https://doi.org/10.1038/s41598-020-67989-1

18. Lashkaripour G, Ghafoori M, Bagherpoor Moghadam B, Talebian S. 2007. Investigation of Groundwater Depletion on Land Subsidence case study. 1st International Applied Geological Congress May 2007, Mashhad, Iran. Vol 2:15-21 (In Persian).

19. Lashkaripour GR, Ghafoori M, Maddah MM. 2014. An investigation on the mechanism of land subsidence in the Northwest of Mashhad city, NE Iran. *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences (JBES)*, Vol, 4: 321-327.

20. IWRMC (Iran Water Resources Management Company). 2021. The situation of the forbidden plains of the country Iran. Ministry of Energy, Iran (In Persian).

21. Mahmoodpour, M., Khamehchiyan, M., Nikudel, M.R., Ghassemi, M.R. 2016. Numerical simulation and prediction of regional land subsidence caused by groundwater exploitation in the southwest plain of Tehran, Iran. *Engineering Geology* 201:6-28.

22. Mehrabi, A., Ghazanfarpour, H. 2019. Monitoring Surface Elevation Changes of Kerman City and Prediction of High-Risk Areas Using ASAR and SENTINEL 1 Radar Images. *Journal of Geography and Environmental Hazards*. 8(2):167-182. doi: 10.22067/geo.v0i0.77132 (In Persian).

23. Mirzadeh, S. M. J., Jin, S., Parizi, E., Chaussard, E., Burgmann, R., Delgado Blasco, J. M., et al. .2021. Characterization of irreversible land subsidence in the Yazd-Ardakan Plain, Iran from 2003 to 2020 InSAR time series. *Journal of Geophysical Research, Solid Earth*. 126. E 2021JB022258. https://doi.org/10.1029/2021JB022258

24. Motagh, M., Djamour, Y., Walter, T. R., Wetzel, H. U., Zschau, J., Arabi, S. 2007. Land subsidence in Mashhad Valley, northeast Iran: results from InSAR, levelling and GPS. *Geophysical Journal International*, 168(2): 518-526.

25. Motagh, M., Walter, T. R., Sharifi, M. A., Fielding, E., Schenk, A., Anderssohn, J., Zschau, J. 2008. Land subsidence in Iran caused by widespread water reservoir overexploitation. *Geophysical Research Letters*, 35(16).

26. Motagh, M., Shamschiri, R., Haghshenas Haghghi, M., Wetzel, H.-U., Akbari, B., Nahavandchi, H., Roessner, S., Arabi, S. (2017): Quantifying groundwater exploitation induced subsidence in the Rafsangan plain, southeastern Iran, using InSAR time-series and in situ measurements.- *Engineering Geology*, 218, 134-151. https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2017.01.011

27. National Cartographic Center of Iran (NCC). 2018. Atlas of Mashhad plain subsidence, 38 p. (In Persian). https://www.ncc.gov.ir/images/docs/files/000001/nf00001461-2.pdf

28. Papi, R., Attarchi, S., Soleimani, M. 2020. Analysing Time Series of Land Subsidence in the West of Tehran Province (Shahriar Plain) and its Relation to Groundwater Discharge by InSAR Technique. *Geography and Environmental Sustainability*. 10(1): 109-128. doi:10.22126/ges.2020.4933.2182 (In Persian).

29. Rahmanian, A. 1986. The land subsidence and earth fissure by groundwater depletion in Kerman. *Water*, 5:25-48 (In Persian)

30. Rokni, J., HosseinZadeh, S., Lashkaripour, G.R., Velayati, S. 2019. Analysis of Spatial Distribution and Mechanism of Formation of Fissures due to Land Subsidence in Dasht-e-Neyshabur. *Scientific Quarterly Journal of Iranian Association of Engineering Geology*, 12(3): 65-82.

31. Saedi, H., Lashkaripour, G.R., Ghafoori, M. 2020. Evaluation of land subsidence in Kashmar-Bardaskan plain, NE Iran. *Iranian Journal of Earth Sciences*, 12(4): 280-291. doi: 10.30495/ijes.2020.677469

32. Salehi Moteahd, F., Hafezi Moghaddas, N., Lashkaripour, G.R. .2019. Geological parameters affected land subsidence in Mashhad plain, north-east of Iran. *Environ Earth Sci* 8: 405. https://doi.org/10.1007/s12665-019-8413-y

33. Tarahhomi. A. 1997. The economic and social effects of ground water Decline and the land subsidence of mashhad plains, *Water and Development*. 5: 54-59.

34. Water Resources Basic Studies Office (KRRWA). 2018. Prohibition Extension Report of Mashhad-Chenarab study area water resources. 90 P. (In Persian)

Deleted: ¶

Moved up [7]: Geological Survey of Iran. 2018. The land subsidence study of Mashhad plain with InSAR : 80p. (In Persian). ¶

Moved up [6]: Gharechelou, S., Akbari Ghoochani, H., Golian, S., Ganji, K. 2021. Evaluation of land subsidence relationship with groundwater depletion using Sentinel-1 and ALOS-1 radar data (Case study: Mashhad plain). *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 12(3): 40-61 (In Persian). ¶

Deleted: <#>Jafari, H., Arjmand Sharif, M. 2022. Groundwater Recharge Estimation in Mashhad-Chenaran Aquifer Using Water Table Fluctuation Method (MRC Algorithm). *Hydrogeology*, 7(1). (In Persian). ¶

Formatted: Highlight

Deleted: 10

Deleted:

Deleted: ¶

Deleted: and

Deleted: .

Deleted: &

Deleted: &

Deleted: ¶

Deleted: HossinZadeh

Deleted: .

Commented [R1]: سوال داور محترم ۲: در آخر مقاله چکیده مبسوط فارسی و انگلیسی بایستی ارائه شود
پاسخ: چکیده انگلیسی، چکیده مبسوط فارسی و انگلیسی به مقاله ارائه شد.

Commented [R2]: سوال داور محترم ۲: مقاله فاقد چکیده مبسوط فارسی و انگلیسی است به تمیلت نشریه مراجعه شود از طریق لینک زیر در صفحه اصلی جهت دانلود مراجعه شود
پاسخ: بررسی و اصلاح شد.

Commented [R3]: سوال داور محترم ۲: منابع بایستی به صورت کامل با توجه به فرمت ارائه شود رفرنس ها طبق فرمت نیست.
پاسخ: بررسی و برای تنظیم منابع انگلیسی طبق فرمت از JGIS RS for Natur Res استفاده شد.

Deleted: Khorasan Razavi Regional Water Company

Formatted: Font color: Text 1

Formatted: Font color: Text 1

Formatted: Indent: Before: 1.38 cm, No bullets or numbering

Formatted: Right, Tab stops: 6.71 cm, Right + 8.5 cm, Centered

Deleted: ¶

Investigation of land subsidence development trend of Mashhad-Chenaran plain using Sentinel-1A radar images and its relationship with groundwater depletion

اصلاح شده طبق نظر داور محترم دوم Commented [D]

Javad Dowlati¹, Gholamreza Lashkaripour^{2*}, Naser Hafezi Moghaddas², Yaser Maghsoudi Mehrani³

1. PhD. Student of engineering Geology , Department of Geology, Faculty of Basic Sciences, Ferdowsi Mashhad University, Iran
2. Professor, Department of Geology, Faculty of Sciences, Ferdowsi Mashhad University, Iran
3. Associate Professor at photogrammetry and remote sensing department, K.N.Toosi University of technology, Iran

Formatted: Font: (Default) Times New Roman, Complex Script Font: Times New Roman

Formatted: Indent: Before: 0.63 cm, Hanging: 0.63 cm

Formatted: Indent: Before: 0.63 cm, Hanging: 0.63 cm, Space Before: 0 pt, Line spacing: single

*Corresponding author e-mail address: lashkaripour@um.ac.ir

Commented [D]: زیرنویس شود

Extensive exploitation of groundwater resources in the Mashhad-Chenaran aquifer in the last 50 years (1970-2021) has led to a sharp decline in groundwater levels. Negative effects of subsidence due to the severe development of groundwater resources have occurred in some parts of the plain since the late 1980s and in recent years has covered the entire plain. In this study, subsidence of the entire Mashhad-Chenaran plain has been investigated using Sentinel-1A radar image data between 2014 and 2020 using Small Baseline Subset (SBAS) Interferometry method. Examination of subsidence maps shows that there are three subsidence areas including area 1 in the southeast of Mashhad, area 2 in the northwest of Mashhad and area 3 in the northwest of the plain. The maximum annual sitting rate in the two subsidence zones is equal to 19 cm per year and in the two subsidence zones 1 and 3 are 8.9 and 12.1 cm per year, respectively. The results of the time series rate estimated using radar image processing at the location of Golmakan GPS stations and Toos power plant with the actual measured values show the high compliance of these two time series. Adaptation of 30-year groundwater level drop curves and subsidence map shows that the triple subsidence zones correspond to areas with groundwater level drop of more than 30 meters. Also, to investigate the relationship between subsidence and groundwater level drop, correlation coefficients and determination coefficients for each well have been calculated using groundwater level and subsidence data at the location of selected observation wells. Based on the obtained correlation coefficients, the selected wells are divided into two groups with a correlation coefficient of more than 0.8 (75% of wells) and between 0.46 and 0.008, which indicates a good correlation between subsidence rate and groundwater level drop in the most observation wells.

Deleted: satellite

Formatted: Highlight

Formatted: jljq4b, Font: (Default) +Headings CS (Times New Roman), 11 pt, Not Bold, Font color: Auto, Complex Script Font: +Headings CS (Times New Roman), 11 pt, Not Bold, (Complex) Arabic (Saudi Arabia),

Formatted: , Highlight

Deleted: interference measurement technique

Keywords: Land subsidence, Radar Interferometry, Groundwater, Correlation coefficient, Mashhad-Chenaran plain

Deleted: ¶

بررسی روند توسعه فرونشست دشت مشهد- چناران با استفاده از تصاویر راداری

Deleted: ¶

سنیتل - ۱ و ارتباط آن با افت سطح آب زیرزمینی

[ΣoCommented [D اصلاح شده طبق نظر داور محترم دوم

پیشینه و هدف: محدوده مطالعاتی مشهد- چناران از نظر منابع آب، سیاسی و اجتماعی مهمترین زیرحوضه، حوضه آبریز قره قوم و استان خراسان رضوی است. بهره‌برداری گسترده از منابع آب زیرزمینی در آبخوان مشهد- چناران در ۵۰ سال گذشته (۱۴۰۰-۱۳۵۰) منجر به افت شدید سطح آب زیرزمینی شده است. آثار منفی فرونشست ناشی از توسعه شدید منابع آب زیرزمینی از اواخر دهه ۱۳۶۰ در برخی نقاط دشت بروز کرده و در سالهای اخیر کل دشت را درگرفته است. علی‌رغم انجام کارهای پژوهشی متعدد در ۲۰ ساله گذشته تاکنون تحقیق جامعی که فرونشست کل دشت مشهد- چناران را شامل شود، انجام نشده و تقریباً در تمامی موارد پژوهش‌های قبلی بخش مرکزی و جنوب شرقی دشت مشهد- چناران مورد بررسی قرار گرفته است. در این تحقیق برای اولین بار نقشه فرونشست کل دشت مشهد- چناران با استفاده از داده ماهواره راداری سنیتل تهیه و ارتباط آن با افت آب‌های زیرزمینی از منظر آماری بررسی قرار گرفته است. هدف اصلی این تحقیق بررسی روند و میزان فرونشست مرتبط با برداشت بیش از حد آب زیرزمینی در دشت مشهد- چناران بین سال‌های ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۹ با استفاده از تکنیک تداخل سنجی راداری است.

مواد و روش‌ها: برای تحقق هدف تحقیق، ۱۰۶ تصویر راداری Sentinel-1A، در بازه زمانی مهر ۱۳۹۳ تا خرداد ۱۳۹۹ در یافتی از سایت آژانس فضای اروپا برای بررسی فرونشست مورد استفاده قرار گرفته است. همچنین اطلاعات مسیرهای ترازیبی موجود برای دوره زمانی ۱۳۸۴-۱۳۷۱ و سری زمانی ایستگاههای GPS گلمکان و نیروگاه طوس از سازمان نقشه برداری کشور و سطح آب اندازه گیری شده در چاههای مشاهده‌ای دشت مشهد- چناران از شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی دریافت شده است. تصاویر راداری مورد استفاده با استفاده از روش SBAS توسط نرم افزار متن باز GMTSAR پردازش شده و نقشه‌های فرونشست تهیه و سری

Formatted: Right, Tab stops: 6.71 cm, Right + 8.5 cm, Centered

زمانی فرونشست برای کل دشت محاسبه شده است. جهت صحت سنجی اطلاعات حاصله، نتایج حاصل از پردازش با اطلاعات ترازیبی موجود برای دوره زمانی ۱۳۸۴-۱۳۷۱ و ایستگاههای GPS گلمکان و نیروگاه طوس مقایسه شده است.

نتایج و بحث :

بررسی نقشه‌های فرونشست تهیه شده برای دوره‌های زمانی مهر ۱۳۹۳ تا فروردین ۱۳۹۵ و مرداد ۱۳۹۵ تا خرداد ۱۳۹۹ نشان می‌دهد که سه ناحیه فرونشستی در جنوب شرق شهر مشهد، شمال غرب شهر مشهد (بین شهر مشهد - چناران) و در شمال غرب دشت (شهر چناران) وجود دارد. در دوره زمانی مهر ۱۳۹۳ تا فروردین ۱۳۹۵، حداکثر نرخ فرونشست سالانه در ناحیه ۱ فرونشستی، برابر ۱۶/۳ سانتی‌متر در سال بوده و در دو ناحیه فرونشستی ۱ و ۳ به ترتیب ۸ و ۹/۳ سانتی‌متر در سال است. در دوره زمانی مردادماه ۱۳۹۵ تا خرداد ۱۳۹۹، حداکثر نرخ نشست سالانه در ناحیه دو فرونشستی برابر ۱۹ سانتی‌متر در سال بوده و در دو ناحیه فرونشستی ۱ و ۳ به ترتیب ۸/۹ و ۱۲/۱ سانتی‌متر در سال است. به طور کلی نرخ فرونشست در دوره زمانی مهر ماه ۱۳۹۳ تا خرداد ۱۳۹۹ روند افزایشی داشته است.

صحت سنجی نتایج نرخ فرونشست برآورد شده با استفاده از پردازش تصاویر راداری در محل نقاط نشانه مسیرهای ترازیبی با مقادیر اندازه‌گیری شده واقعی در سالهای ۱۳۷۳ تا ۱۳۸۴ نشان دهنده علی‌رغم عدم انطباق زمانی این داده‌ها باهم، این نرخ‌ها از نظر شدت و روند تغییرات با هم همخوانی دارند. که تطابق بالای این نتایج نشان دهنده درستی مراحل پردازش می‌باشد. همچنین صحت سنجی نتایج نرخ سری زمانی برآورد شده با استفاده از پردازش تصاویر راداری در محل ایستگاههای GPS گلمکان و نیروگاه توس با مقادیر اندازه‌گیری شده واقعی نشان دهنده انطباق بالای این دو سری زمانی و انطباق منحنی‌های هم افت ۳۰ ساله دشت مشهد- چناران و نقشه فرونشست تهیه شده برای دوره زمانی ۲۰۱۴-۲۰۲۰ نشان می‌دهد که زون‌های فرونشست سه گانه منطبق بر مناطقی است که افت سطح آب زیرزمینی در آن‌ها بیش از ۳۰ متر است.

همچنین برای بررسی ارتباط فرونشست با افت سطح آب زیرزمینی، سری زمانی تغییرات سطح آب و فرونشست در محل چاه‌های مشاهده ای باهم مقایسه شده است. برای این منظور در بیست حلقه چاه مشاهده ای انتخابی ضرایب همبستگی و تعیین برای هر چاه محاسبه شده است. براساس بررسی ضرایب همبستگی بدست آمده می‌توان چاههای انتخابی را به دو گروه دسته بندی نمود. در گروه اول که بخش اعظم چاههای انتخابی (۷۵ درصد) را شامل می‌شود ضریب همبستگی بیش از ۰/۸ است که نشان دهنده وجود رابطه همبستگی بسیار قوی و قوی بین نرخ فرونشست - افت سطح آب زیرزمینی در آنها است. در چاههای گروه دوم که شامل چاه قلعه ساختمان در ناحیه ۱ فرونشستی و چاههای حسن آباد ویرانی، جوی پایین، تخم مرز و بحرآباد در ناحیه ۲ فرونشستی می‌شود، ضریب همبستگی بین ۰/۴۶ تا ۰/۰۸ تغییر می‌کند. رابطه همبستگی نرخ فرونشست - افت سطح آب زیرزمینی در این چاهها متوسط (چاه حسن آباد ویرانی با ضریب ۰/۴۶)، اندک (چاههای جوی پائین و تخم مرز با ضریب ۰/۳۹) و فاقد رابطه (چاههای تخم مرز و بحرآباد) می‌باشد.

نتیجه گیری :

نتایج پردازش تصاویر راداری سنتینل نشان می‌دهد که فرونشست زمین ناشی از بهره برداری بیش از حد منابع آب زیرزمینی در بخش وسیعی از دشت مشهد-چناران گسترش یافته به طوری که سه ناحیه فرونشستی مشخص در آن قابل تفکیک است. هرچند همبستگی بالایی بین نرخ فرونشست زمین و افت سطح آب زیرزمینی در این نواحی فرونشستی وجود دارد ولی در برخی از مناطق دشت این همبستگی به میزان قابل توجهی کاهش یافته است. در این مناطق علاوه بر افت سطح آب زیرزمینی عوامل دیگری مانند درصد رسوبات دانه ریز، وجود لایه های رسی و میزان تخلیه آب زیرزمینی نقش پررنگ تری دارند. همچنین گسلهای موجود در این دشت نحوه گسترش نواحی فرونشستی را کنترل می‌نماید. این مطالعه نشان داد که استفاده از تکنیک تداخل سنجی راداری علاوه بر این که می‌تواند ابزار کارآمدی در برآورد میزان نرخ فرونشست و حدود گسترش آن قلمداد گردد، با استفاده از نتایج سری زمانی استخراج شده می‌توان تغییرات زمانی فرونشست را بررسی نمود.

واژه‌های کلیدی: فرونشست زمین، تداخل سنجی راداری، آب زیرزمینی، ضریب همبستگی، دشت مشهد-چناران

Deleted: ¶

Investigation of land subsidence development trend of Mashhad-Chenaran plain using Sentinel-1A radar images and its relationship with groundwater depletion

Deleted: ¶

اصلاح شده طبق نظر داور محترم دوم [£1Commented [D

Statement of the Problem: Mashhad-Chenaran study area, in terms of water, political and social resources, is the most important sub-basin in Qaraqoom catchment and Khorasan Razavi province. Extensive exploitation Intensive use of groundwater resources in Mashhad-Chenaran aquifer in the last 50 years (1970-2021) has led to a huge decline in groundwater level. The negative implications of land subsidence due to the severe development of groundwater resources have occurred in some parts of the plain since the late 1980s, which has covered the entire plain in recent years. Despite numerous researches in the last 20 years, no comprehensive one has been conducted to cover the entire Mashhad-Chenaran plain. In fact, in the almost all previous studies, the central and southeastern parts of the plain have been included. In this study, for the first time, the subsidence map of the entire plain has been prepared using Sentinel-1A radar satellite data image and its relationship with groundwater decline has been statistically investigated.

Deleted: Investigation of land subsidence development trend of Mashhad-Chenaran plain using Sentinel-1A radar images in the period 2020-2014¶

Formatted: Highlight

The main purpose of this study is to investigate the trend and extent of land subsidence caused by groundwater overextraction in Mashhad-Chenaran plain within the period 2014 to 2020 using radar interferometry technique.

Materials and Methods

To achieve the purpose of the study, 106 Sentinel-1A radar images, in the period of October 2014 to May 2020, received from the European Space Agency, have been used. Moreover, the existing leveling routes data for the period 1992-2004 and the Golmakan and Toos power plant GPS stations data has been received from the National Cartographic Center and the groundwater level data received from Khorasan Razavi Regional Water Company. The radar images were processed using the SBAS

Formatted: Right, Tab stops: 6.71 cm, Right + 8.5 cm, Centered

method with GMTSAR open source software. The subsidence maps and time series were prepared and for the entire plain. In order to verify the obtained information, the results were compared with the existing leveling information for the period of 1994-2005 and Golmakan and Toos power plant GPS stations.

Results and Discussion :

According to the land subsidence maps prepared for the periods of October 2014 to April 2016 and August 2016 to June 2016 three main subsidence zones were identified in the southeast of Mashhad city (Zone 1), between Mashhad – Chenaran cities (Zone 2) and northwest of Chenaran city (Zone 3). In the period from October 2014 to April 2016, the maximum annual rate of subsidence in Zone 1, 2 and 3 is 16.3, 8 and 9.3 cm, respectively. In the period from August 2016 to June 2016, the maximum annual rate of subsidence is equal to 19, 8.9 and 12.1 cm in Zones 2, 1 and 3, respectively. In general, the subsidence rate has increased from 2014 to 2020.

According to the validation of land subsidence rate estimated using radar image processing with the actual values along the leveling routes from 1994 to 2005 as well as the Golmakan and Toos power plant GPS stations for the period 2014-2020, despite the time mismatch, the rates are consistent in terms of intensity and trend of changes, which confirms the accuracy of the processing steps. Also, the comparison of the land subsidence and 30- year groundwater decline maps shows the adaptation of the three main subsidence zones with of areas of more than 30 m drop in groundwater level. To investigate the relationship between subsidence and groundwater level decline, the time series of groundwater level changes and subsidence at the location of observation wells were compared. For this purpose, correlation and determination coefficients for each well have been calculated in 20 selected observation wells. Based on the obtained correlation coefficients, the selected wells could be classified into two groups. In the first group, which includes the majority of selected wells (75%), the correlation coefficient is more than 0.8, which indicates a very strong correlation between the subsidence rate and groundwater level decline. In the second group, which includes Qalea-e-Sakhteman (Zone 1), Hassanabad Virani, Jooy-e-Paien, Tokhm Marz and Bahrabad wells (Zone 2), the correlation coefficients vary between 0.46 to 0.08, which indicates a medium and very small correlation between the subsidence rate and groundwater level decline.

Conclusion :

The results of Sentinel-1A radar image processing show that land subsidence due to groundwater over extraction has spread in a large part of the Mashhad-Chenaran plain so that three subsidence zones can be distinguished. Although there is a high correlation between land subsidence rate and groundwater level decline in these three zones, in some other areas this correlation has decreased significantly. In these areas, in addition to the drop in groundwater level, other factors such as the fine-grained sediments percentage, the presence of clay layers and the groundwater discharge amount play a more significant role. In addition, the structural geology of Mashhad plain such as the major faults control the expansion of subsidence areas.

This study showed that Radar Interferometry technique, in addition to being an efficient tool in estimating the rate of subsidence and its extent, enables the detection of the temporal changes in the subsidence rate.

Keywords: Land subsidence, Radar Interferometry, Groundwater, Correlation coefficient, Mashhad-Chenaran plain

Deleted
Arvin, A., et al. (2019). "Geospatial modeling of land subsidence in the south of the Minab watershed using remote sensing and GIS."
Journal of RS and GIS for Natural Resources 10(3): 19-34
... [14]

Formatted: Right, Tab stops: 6.71 cm, Right + 8.5 cm, Centered

Page 1: [1] Commented	Dowlati	5/10/2022 3:52:00 PM
سوال داور محترم ۲: معادل فارسی ارائه شود؟ سالها حذف شود؟ پاسخ: اصلاح مدنظر اعمال شد.		
Page 1: [2] Commented	Dowlati	5/10/2022 3:53:00 PM
سوال داور محترم ۱: در چکیده باید به تصاویر مورد استفاد و تکنیک مورد استفاده اشاره شود پاسخ: اصلاح شد.		
Page 1: [3] Commented	داور	۲۰۲۴/۳/۵ ۲:۲۱:۰۰ PM
با مراجعه به https://sanad.iau.ir/Journal/girs/Page/authors فونت ها تنظیم شود		
Page 1: [4] Commented	Dowlati	5/10/2022 3:55:00 PM
سوال داور محترم ۱: این خیلی رقم بزرگی هست و نیازمند بازبینی می باشد؟ پاسخ: نرخ فرونشست برآورد شده صحیح است. مطالعات انجام شده توسط سازمان نقشه برداری، و محققین مختلف مانند خرمی وهمکاران(۲۰۲۰) و قرچلو و همکاران(۱۴۰۰) تاییدکننده این نرخ است. در جدول ۱ این مطالعات ذکر شده است. لازم به یادآوری است که این عدد مربوط به یک نقطه از دشت و انهم در فاصله زمانی خاصی اتفاق افتاده.		
Page 4: [5] Formatted	Dowlati	5/17/2022 6:10:00 PM
Font: (Default) Times New Roman Bold, 9 pt, Font color: Auto		
Page 4: [6] Formatted	Dowlati	5/17/2022 6:10:00 PM
Font: (Default) Times New Roman Bold, 9 pt, Font color: Auto		
Page 4: [7] Formatted	Dowlati	5/17/2022 6:10:00 PM
Font: (Default) Times New Roman Bold, 9 pt, Font color: Auto, English (United States)		
Page 4: [8] Formatted	Dowlati	5/17/2022 6:10:00 PM
Font: (Default) Times New Roman Bold, 9 pt, Font color: Auto		
Page 4: [9] Formatted	Dowlati	5/17/2022 6:10:00 PM
Font: (Default) Times New Roman Bold, 9 pt, Font color: Auto, English (United States)		
Page 4: [10] Formatted	Dowlati	5/17/2022 6:10:00 PM
Font: (Default) Times New Roman Bold, 9 pt, Font color: Auto		
Page 4: [11] Formatted	Dowlati	5/17/2022 6:10:00 PM
Font: (Default) Times New Roman Bold, 9 pt, Font color: Auto, English (United States)		
Page 7: [12] Deleted	Dowlati	5/17/2022 6:12:00 PM

پس از آماده‌سازی تصاویر خام، مراحل پردازش تصاویر راداری و تهیه نقشه فرونشست طبق نمودار جریان کار ارائه شده در شکل ۲، انجام شده است.

با در نظر گرفتن وجود دو شرط خط مبنای مکانی و زمانی کم‌تر از [D1] ۱۰۰ متر و کم‌تر از ۷۵ روز، تصویر پایه (master) و پیرو (slave) هر زوج تصویر تعیین و تداخل نماهای ممکن تهیه شد.

پس از انتخاب زوج تصویر، هر دو تصویر SLC باید با دقت بسیار بالایی نسبت به هم در هر دو مؤلفه فاز و دامنه ثابت هم مرجع (منطبق) شوند. در این مرحله که ثبت هندسی (Coregisterion) نیز نامیده می‌شود تصویر پیرو نسبت به تصویر پایه هم مرجع می‌گردد.

Arvin, A., et al. (2019). "Geospatial modeling of land subsidence in the south of the Minab watershed using .remote sensing and GIS." Journal of RS and GIS for Natural Resources 10(3): 19-34

