

تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال ..... ، شماره .....

## عنوان مقاله : رابطه بین فرونشست زمین و مصرف آب در دشت یزد - اردکان با استفاده از تصاویر سنتینل 1

### چکیده

آب‌های زیرزمینی منبع مهم آب شیرین به حساب می‌آیند. با افزایش جمعیت و نیاز روزافزون به آب برای مصارف شرب، کشاورزی و صنعتی برداشت آب‌های زیرزمینی نیز افزایش یافته است. فرونشست زمین ناشی از پمپاژ و استفاده بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی در یک منطقه است، زمانی که این مقدار برداشت با بارندگی جبران نشود خساراتی مانند شکست جاده‌ها، تخریب مناطق مسکونی، تخریب آسفالت جاده‌ها، خطوط راه آهن و لوله‌گذاری‌های آب و گاز به همراه دارد. دشت یزد-اردکان منطقه‌ای است که 75 درصد تراکم جمعیتی استان و بیشترین مراکز صنعتی در این دشت قرار دارد به علاوه دشت مذکور به دلیل افت شدید سطح آب زیرزمینی توسط وزارت نیرو ممنوعه اعلام شده و این دشت مهم ترین و حیاتی ترین دشت استان می باشد. در این مطالعه با استفاده از 4 تصویر SLC باند C ماهواره سنتینل-1<sup>1</sup> و روش تداخل سنجی تفاضلی راداری<sup>2</sup> مقدار فرونشست در سال‌های 2017 تا 2021 بدست آمد و با هم مقایسه شد که مقدار بیشینه فرونشست در سال 2017، 13 سانتی متر و در سال‌های 2020 و 2021، 9 سانتی متر بدست آمد که این مقدار مربوط به منطقه شمسی در محدوده بین مبد و اردکان است. این کاهش مقدار فرونشست بر اساس بررسی‌های صورت گرفته از آمار مصرف و برداشت آب از وزارت نیرو در سال‌های اخیر می‌تواند نشان از کارهای مدیریتی انجام شده و انتقال آب به این حوضه و کاهش برداشت آب زیرزمینی در سال‌های اخیر در این منطقه باشد.

کلید واژگان: تداخل سنجی تفاضلی راداری، فرونشست، SNAP، تداخل نگاشت

### مقدمه

فرونشست به حرکت قائم سطح زمین گفته می‌شود که می‌تواند با بردار اندک افقی نیز همراه باشد. فرونشست می‌تواند به واحدهای صنعتی، منازل مسکونی، خطوط راه آهن و لوله‌گذاری‌های آب و گاز و ... آسیب وارد کند. در سال‌های اخیر به علت افزایش روزافزون جمعیت، نیاز به آب برای مصارف شهری و خانگی افزایش یافته است. از طرف دیگر کشاورزی به شیوه سنتی با مصرف آب زیادی همراه است. در مناطق خشک و نیمه خشک که بارندگی کم است، اکثر آب مورد نیاز از آب زیرزمینی و از طریق چاه‌ها تامین می‌شود که این امر ممکن است موجب فرونشست

<sup>1</sup> Sentinel-1A

<sup>2</sup> DInSAR

زمین شود. در ایران دشت های زیادی به همین دلیل وضعیت بحرانی دارند مانند تهران، کرج، گرگان، یزد، همدان، اردبیل و ... (فروغ نیا و همکاران، 2018)؛ (آمیغ پی و همکاران، 2010)؛ (صفاری و همکاران، 2018)؛ (تورانی و همکاران، 2018)؛ (سودمندافشار و احمدی 2020)؛ (عالی پور اردی و همکاران، 2017). در سال های اخیر از روش تداخل سنجی راداری<sup>3</sup> و تداخل سنجی تفاضلی راداری<sup>4</sup> برای محاسبه میزان تغییر شکل زمین استفاده می شود.

صفاری و همکاران. (2018) در تحقیقی با عنوان پایش فرونشست زمین و ارتباط آن با برداشت آب های زیرزمینی در محدوده دشت کرج-شهریار با استفاده از روش تداخل سنجی راداری و با استفاده از تصاویر ماهواره انوی ست<sup>5</sup> در بازه زمانی 2003 تا 2010 نرخ متوسط سالانه فرونشست با بیشینه مقدار 136 میلی متر در سال بدست آمد که علت اصلی این موضوع در این مقاله برداشت بی رویه آب های زیرزمینی و افت سطح آب چاه ها عنوان شده است. همچنین فروغ نیا و همکاران. (2018) در مطالعه ای با عنوان آنالیز سری زمانی تداخل سنجی راداری مبتنی بر پراکنش گرهای دائم، با استفاده از تصاویر سنتینل 1 و انوی ست برای برآورد پدیده فرونشست شهر تهران، با هدف برآورد میانگین نرخ سالیانه فرونشست و تحلیل سری زمانی برای منطقه مورد مطالعه از سال 2003 تا 2010 به این نتیجه رسیدند که نرخ فرونشست در تهران از سال 2003 تا کنون افزایش یافته که دلیل مهم آن برداشت بی رویه از سفره آب های زیرزمینی برای مصارف کشاورزی در منطقه دشت است. در مطالعه دیگری تورانی و همکاران. (2018) به مطالعه فرونشست در غرب استان گلستان با استفاده از روش تداخل سنجی راداری پرداختند که هدف شناسایی مناطقی محتمل فرونشست به خصوص در محدوده شهر گرگان بود طی نتایج بدست آمده محدوده فرونشست تقریباً روندی شرقی-غربی داشت که با روند ساختارهایی نظیر گسل خزر همخوانی داشت و میزان فرونشست در آن طی سال های 1385 تا 1388 حدود 4.8 سانتی متر محاسبه شد. همین طور آروین و همکاران. (2019) در مقاله ای با عنوان مدل سازی مکانی فرونشست زمین در جنوب حوزه آبخیز میناب با استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی و با هدف استفاده از تصاویر ماهواره ای راداری سنتینل 1، سال های 1393 و 1397 به روش تداخل سنجی تفاضلی راداری به بررسی میزان و گسترش فرونشست زمین پرداختند، نتایج نشان داد که در این دوره حدود 13 سانتیمتر فرونشست داشته است. همچنین در تحقیقی دیگر زارعی و همکاران. (2019) در تحقیقی رابطه فرونشست زمین و افت سطح آب زیرزمینی با دو روش تداخل سنجی راداری و ایستگاه ثابت جی پی اس در دشت سلماس را مورد مطالعه قرار دادند که بیشینه نرخ فرونشست با استفاده از تصاویر راداری ماهواره ALOS در سال 2009، 11 سانتیمتر در سال و نتایج حاصل از جی پی اس به ازای یک متر افت سطح آب زیرزمینی، 0.078 متر نشست در سطح زمین در دشت مورد مطالعه بدست آمد، همچنین بین این دو روش رابطه ای استخراج شد که موجب تعمیم رابطه استخراجی بین نشست زمین و افت سطح آب زیرزمینی از روش جی پی اس (ایستگاه قره قشلاق) به کل دشت سلماس گردید. همین طور سودمندافشار و احمدی (2020) به پایش فرونشست زمین در اثر برداشت بی رویه آب های زیرزمینی با استفاده از تکنیک تداخل سنجی راداری به روش پراکنش گرهای دائمی در شهرستان اسدآباد و دشت های مجاور پرداختند که طبق نتایج آن ها بیشینه نرخ میانگین

---

<sup>3</sup> INSAR

<sup>5</sup> Envisat

فرونشست 200 تا 220 میلی متر در سال در منطقه روستای بادخوره و جنت آباد شهرستان اسدآباد طی سال های 2015 تا 2018 است به علاوه طبق نتایج نرخ فرونشست از مناطق شهری به سمت دشت های اطراف صعودی بوده است.

همان طور که مشاهده شد اکثر دشت های ایران در مناطق خشک و نیمه خشک به دلیل برداشت بی رویه آب زیرزمینی دچار فرونشست شده است. دشت یزد-اردکان هم به دلیل رشد روزافزون جمعیت در این منطقه و همینطور وجود مناطق کشاورزی که هنوز به شیوه سنتی آبیاری می کنند و همچنین وجود مراکز صنعتی متعدد که نیاز به آب دارند در وضعیت بحرانی قرار داشت. در تحقیقی که توسط آمیغ پی و همکاران (2010) با عنوان بررسی فرونشست یزد با استفاده از روش تداخل سنجی راداری و ترازیبی دقیق با استفاده از تصاویر سنجنده ASAR ماهواره انوی ست در بازه زمانی 1382 تا 1386 انجام شد، بیشینه نرخ فرونشست در این منطقه 12 سانتی متر در سال بدست آمد که دلیل آن عمدتاً برداشت بی رویه آب زیرزمینی و کمبود بارندگی و جایگزین نشدن آب برداشت شده عنوان شد. امامی و همکاران (2020) به تحلیل راداری در سنجش وضعیت تغییرات هیدرومورفوتکتونیک با استفاده از تصاویر انوی ست و پالسار<sup>6</sup> در دشت یزد - اردکان پرداختند که طبق نتایج آن ها در بازه زمانی 1385 تا 1387 حداکثر میزان جابجایی توسط باند C برابر 0.14 متر و توسط باند L 0.12 متر بدست آمد در واقع به ازای هر متر تغییر در سطح آب زیرزمینی 0.025 متر تغییر در ارتفاع سطح زمین خواهیم داشت.

با توجه به اینکه طی این سال ها دشت یزد-اردکان به عنوان دشت ممنوعه اعلام شده و بهره برداری از آب های زیرزمینی با دقت بیشتری انجام می شود به علاوه طی این سال ها بر اساس آمار، کشاورزی سنتی در این منطقه به خصوص در منطقه شمسی که در تحقیق قبلی به عنوان منطقه ای با بیشترین فرونشست عنوان شده کاهش یافته و بیشتر کشاورزی به سمت گلخانه ای شدن و روش های آبیاری نوین رفته است، همینطور این منطقه طی سال های اخیر رشد چشمگیری در صنعت داشته است و با ورود خط انتقال آب اصفهان به یزد بخشی از آب مورد نیاز از این آب تامین شده است. بنابراین انتظار می رود که برداشت آب زیرزمینی و به تبع آن سرعت فرونشست در این منطقه کاهش یافته باشد.

هدف از این تحقیق بررسی میزان فرونشست دشت یزد-اردکان طی سال های 1395 تا 1399 با استفاده از تصاویر ماهواره سنتینل 1 و برنامه اسنپ<sup>7</sup> که نرم افزاری تخصصی در زمینه پردازش تصاویر ماهواره ای سنتینل است به روش تداخل سنجی تفاضلی راداری و مقایسه با میزان فرونشست در سال های قبل و همین طور تحلیل آن با روند میزان مصرف آب در سال های اخیر است .

## روش تحقیق

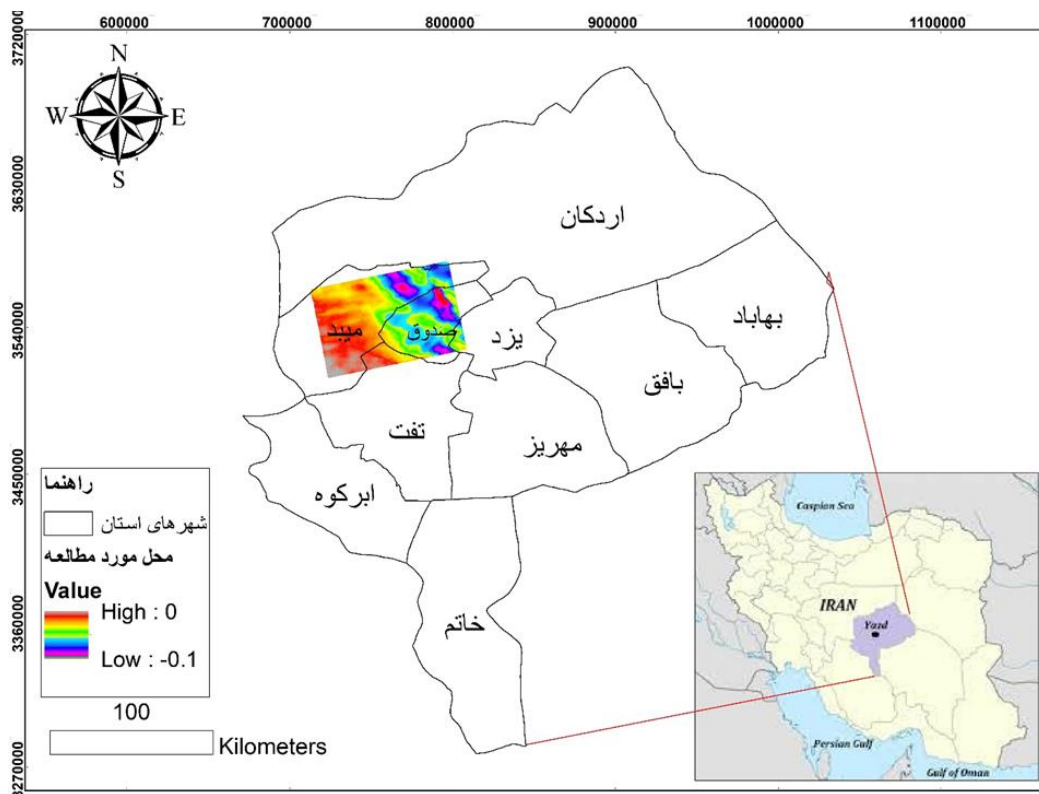
### منطقه مورد مطالعه

دشت یزد-اردکان با مساحتی حدود 4117 کیلومترمربع در غرب و جنوب غربی به شیرکوه و در شرق به کوه های خرائق، در جنوب به کفه بهادران و در شمال به چله عقدا محدود می شود. این منطقه جزئی از حوزه آبریز کویر سیاه کوه است که بین طول های 53 درجه و 15 دقیقه تا 54 درجه و 50 دقیقه شرقی و عرض های

<sup>6</sup> PALSAR

<sup>7</sup> SNAP

31 درجه و 15 دقیقه تا 32 درجه و 45 دقیقه شمالی و تقریباً در مرکز استان یزد واقع شده است و شامل شهرهای اردکان، میبد، اشکذر، مهریز و یزد است. ارتفاع متوسط این حوزه 1565 متر از سطح دریا است و متوسط بارندگی در سطح حوزه 118 میلیمتر و تبخیر بالقوه بین 2200 تا 3200 میلیمتر در سال است (اکرامی و همکاران، 2013). در این مطالعه بخشی از این دشت که حدفاصل شهرهای یزد و اردکان است در نظر گرفته شده است (شکل 1).



شکل (1): محل مورد مطالعه

## داده و روش کار

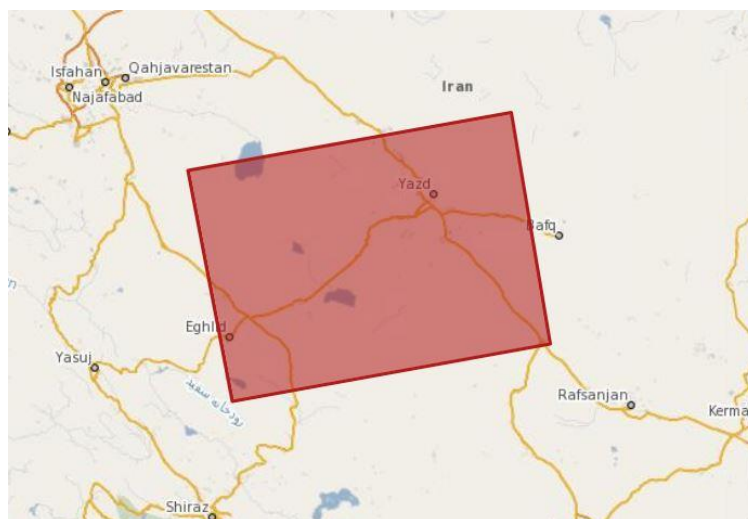
### داده های مورد استفاده

داده های مورد استفاده در این مطالعه تصاویر سنتینل-1 بین سال های 2017 تا 2021 است که در جدول 1 مشخصات آن آمده است. همین طور منطقه ای که تصاویر پوشش می دهند در شکل 2 نشان داده شده است.

ماهواره سنتینل-1 در تاریخ 3 آوریل 2014 به فضا پرتاب شد و تصاویر آن از 3 اکتبر 2014 در دسترس بود. این پروژه با همکاری اتحادیه اروپا و آژانس فضایی اروپا صورت می پذیرد. این پروژه از ترکیب دو سکوی A و B با اختلاف فاز 180 درجه نسبت به هم تشکیل شده است. این ماهواره به صورت راداری و در تمام شب و روز و حتی در بدترین شرایط آب و هوایی قادر به جمع آوری اطلاعات از سطح زمین است (قنادی و همکاران، 2019). ماهواره سنتینل-1 قادر است هر 12 روز یک بار از کل کره زمین تصویربرداری کند و در صورت استفاده از هر دو سکوی سنتینل-1 توان تفکیک زمانی به 6 روز می رسد. این ماهواره در محدوده طول موج ماکروویو و باند C تصویربرداری می کند. سنتینل-1 با وضوح تا حد 5 متری و پوششی در عرض 400 کیلومتر را فراهم می کند و با داشتن راداری با روزنه مجازی تصاویری با قدرت تفکیک بالا را ارائه می دهد. سنجنده سنتینل-1 با 4 حالت از سطح زمین تصویربرداری می کند که اصلی ترین نوع آن  $IW^8$  است (Lazecky et al. 2017). هر IW از سه قسمت IW1 و IW2 و IW3 تشکیل شده است.

جدول (1). مشخصات تصاویر

سنجنده	تاریخ	نوع و پردازش تصویر	پولاریزاسیون
Sentinel-1A	20/03/2017	SLC-IW	VV
Sentinel-1A	07/02/2018	SLC-IW	VV
Sentinel-1A	02/02/2019	SLC-IW	VV
Sentinel-1A	09/02/2020	SLC-IW	VV
Sentinel-1A	27/02/2021	SLC-IW	VV



شکل (2): محل تصویر ماهواره ای گرفته شده

نرم افزار مورد نیاز

<sup>8</sup> Interferometric Wide Swath

نرم افزار مورد استفاده در این مطالعه نرم افزار اسنپ است که مخفف عبارت Sentinel Application Platform است و در سال 2014 میلادی مدت کوتاهی پس از پرتاب ماهواره های سنتینل 1 و 2 به عنوان یک پلتفرم تخصصی در زمینه پردازش تصاویر ماهواره ای سری سنتینل به صورت رسمی از سوی سازمان فضایی اتحادیه اروپا عرضه شد. هدف این نرم افزار آن بود تا تمامی نیازهای کاربران در زمینه پردازش و تحلیل داده های ماهواره های سری سنتینل را پوشش دهد.

### تداخل سنجی راداری

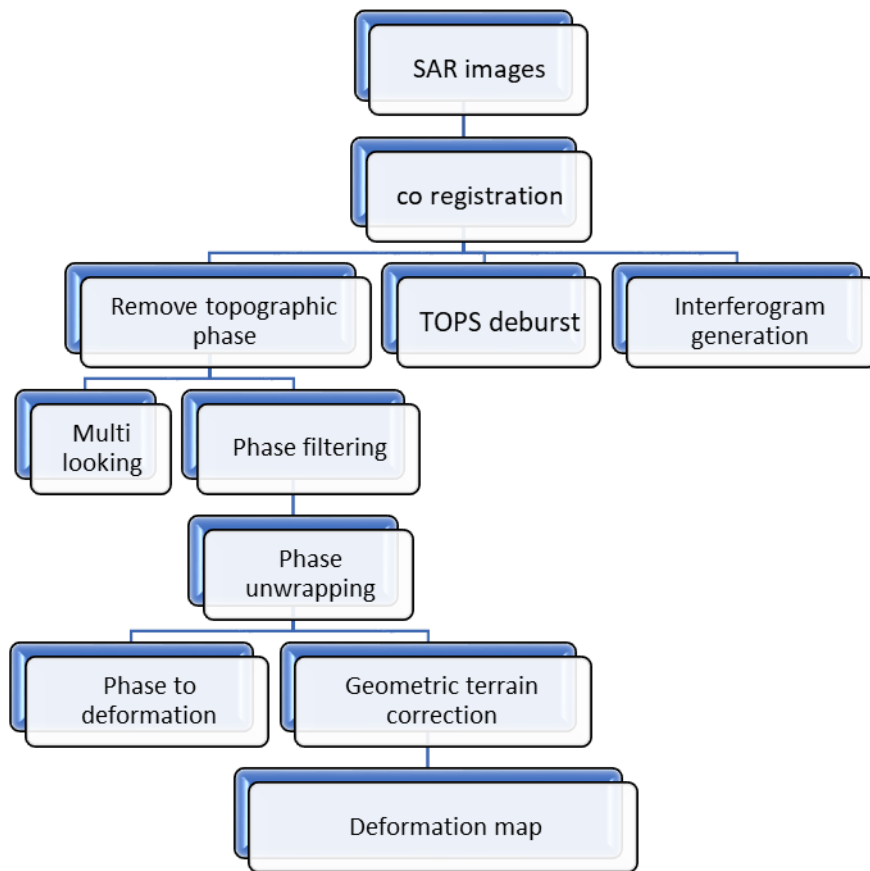
روش تداخل سنجی راداری با روش تداخل سنجی تفاضلی راداری متفاوت است. در روش تداخل سنجی راداری از اطلاعات فازی دو تصویر راداری روزنه مصنوعی<sup>9</sup> برای بدست آوردن اختلاف فازی یک نقطه مشابه در دو تصویر به کار می رود و یک تداخل نگاشت ایجاد می شود. روش تداخل سنجی تفاضلی راداری یک روش پردازش تصویر است که نقشه های جابجایی زمین و همچنین وابستگی مربوطه را نشان می دهد (یو و همکاران، 2018).

تغییر شکل زمین با استفاده از سری های پردازش بدست می آید (شکل 3) که از تکنیک تداخل سنجی تفاضلی راداری استفاده می کند. تصاویر سنتینل-1 با نرم افزار اسنپ پردازش شده اند تا تداخل نگاشت ها را تولید کنند. در انتها تداخل نگاشت ها باز می شوند تا فاز اینترفرومتری با الگوریتم<sup>10</sup> SNAPHU بدست آید. سپس مقدار تغییر شکل زمین با نرم افزار اسنپ بدست می آید (فالز و فلورز، 2020).

---

<sup>9</sup> SAR

<sup>10</sup> Statical-cost Network-flow Algorithm for Phase unwrapping



شکل ۳: مراحل پردازش

معادله تداخل سنجی تفاضلی راداری که فاز تداخل نگاشت را محاسبه می کند، به صورت زیر است (کارستو، 2016):

$$\begin{aligned}
 \Delta\phi D - int &= \Delta\phi Int - \Delta\phi TOPOsimu \\
 &= \Delta\phi Displ + \Delta\phi TOPOres + \Delta\phi Atms - \Delta\phi Orbs - \Delta\phi orbM \\
 &\quad + \Delta\phi Noise + 2k\pi
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

$\Delta\phi Int$ : اجزای اینترفرومتری،  $\Delta\phi TOPOsimu$ : مولفه توپوگرافی شبیه سازی شده که شامل مولفه زمین مسطح هم می شود،  $\Delta\phi TOPOres$ : مولفه خطای توپوگرافی باقیمانده (RTE)،  $\Delta\phi Atms$ : مولفه فاز اتمسفری در زمان بدست آوردن هر تصویر،  $\Delta\phi Orbs$ : مولفه فازی به علت خطاهای اوربیتالی در هر تصویر،  $\Delta\phi Noise$ : فاز نویز،  $2k\pi$ : فاز ابهام ( نتیجه باز کردن تداخل نگاشت  $\Delta\phi Int$  )

در این فرمول منظور از  $S$  تصویر اصلی و  $M$  تصویر فرعی است. کیفیت مقادیر تغییرشکل بدست آمده از روش تداخل سنجی تفاضلی راداری به کیفیت فاز اینترفرومتریک تفاضلی بستگی دارد. باندهای اینترفرومتریک یک تغییر  $2\pi$  فازی را نشان می دهد. آن ها در یک تداخل نگاشت به صورت باندهای رنگی ظاهر می شوند که

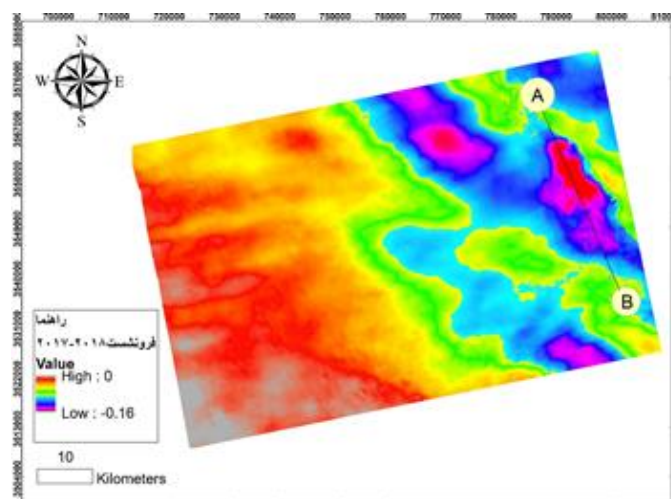
هریک اختلاف دامنه نسبی نیمی از طول موج سنسور را نشان می‌دهد. حرکت نسبی زمین را می‌توان با شمارش نوارها و ضرب در نصف طول موج به دست آورد (فالز و فلورز، 2020<sup>11</sup>).

## نتایج

### نتایج فرونشست بدست آمده از سال 2017 تا 2021

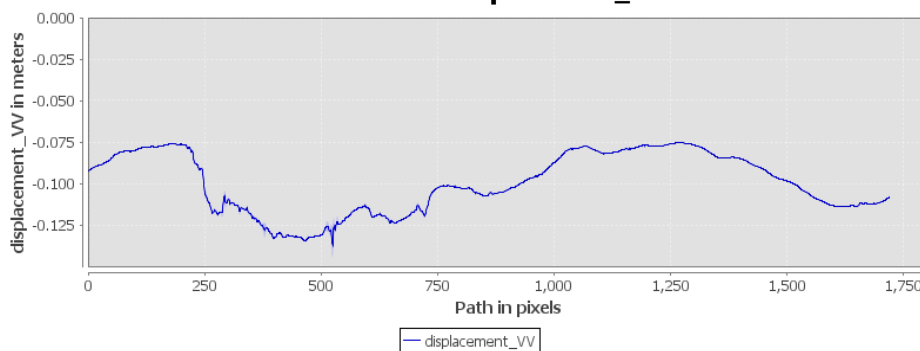
تصاویر بدست آمده از ماهواره سنتینل 1 برای منطقه مورد نظر در سال های 2017 تا 2021 توسط نرم افزار اسنپ پردازش شد و نقشه فرونشست برای هر سال بدست آمد. همین طور برای هر سال پروفیل طولی فرونشست نیز رسم شده است.

در شکل 4 الف نقشه فرونشست در سال 2017 تا 2018 نشان داده شده است. شکل 4 ب پروفیل طولی مقدار فرونشست در بحرانی ترین منطقه رسم شده است که طبق نتایج بدست آمده بیشترین مقدار فرونشست در سال 2017 تا 2018، 13 سانتی متر است (شکل 4 ب).



شکل 4 الف: نقشه فرونشست منطقه بین سال های 2017 تا 2018

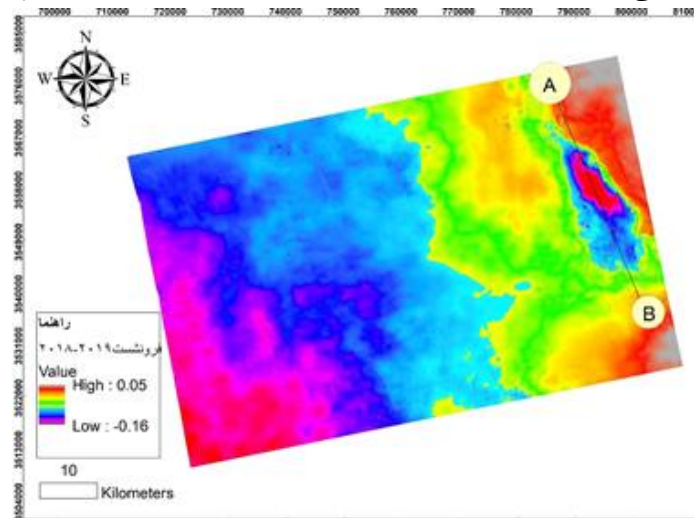
### Profile Plot for displacement\_VV



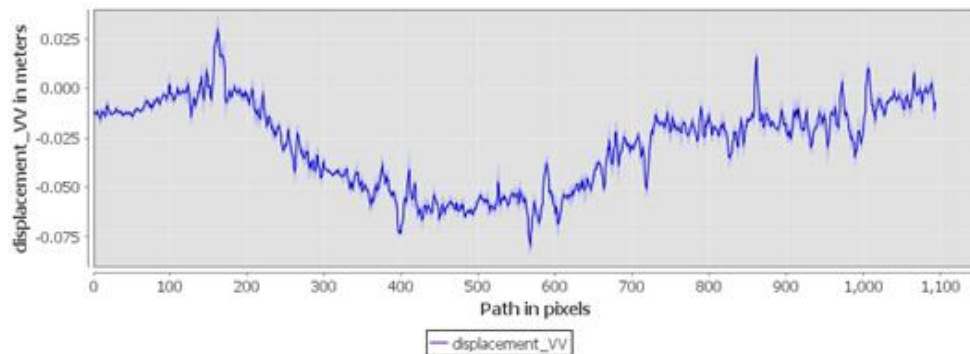
شکل 4 ب: پروفیل طولی A-B فرونشست بین سال های 2017 تا 2018



همچنین طبق نقشه فرونشست در سال 2018 تا 2019 و پروفیل طولی رسم شده در محل بحرانی که در منطقه رستاق، حدفاصل یزد-اردکان واقع شده است، در شکل 5 الف مناطق به رنگ قرمز و بنفش دارای فرورفتگی و مناطقی که به رنگ آبی هستند بالاآمدگی رخ داده است. بیشترین مقدار فرونشست در سال 2018 تا 2019، 8 سانتی متر است که شاهد کاهش مقدار فرونشست در این سال هستیم (شکل 5 ب).

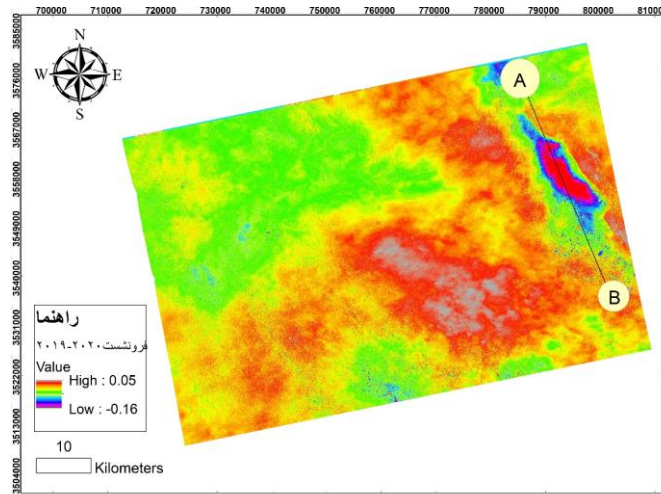


شکل 5 الف: نقشه فرونشست منطقه بین سال های 2018 تا 2019



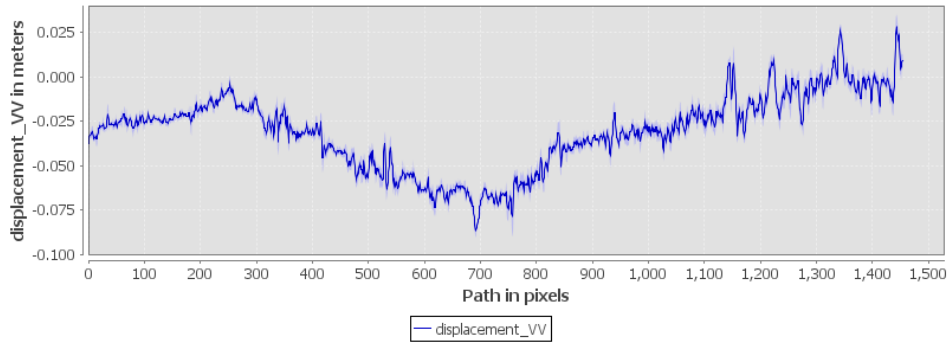
شکل 5 ب: پروفیل طولی A-B فرونشست بین سال های 2018 تا 2019

در ادامه به منظور بررسی میزان فرونشست، مقدار فرونشست در سال های 2019 تا 2020 و 2020 تا 2021 هم مورد بررسی قرار گرفت که در شکل 6 و 7 نشان داده شده است. طبق پروفیل های طولی رسم شده برای این 2 سال نیز مقدار فرونشست تقریباً مقدار ثابتی داشته که بیشترین مقدار 9 سانتی متر است که نسبت به سال 2017 این مقدار کاهش یافته است (شکل 6 ب و 7 ب). در تمام این سال ها منطقه ای که بیشترین مقدار فرونشست را داشته است منطقه شمسی در رستاق است که بین شهرهای یزد و میبد واقع شده است. در این منطقه از یک سو به منظور کشاورزی و از سوی دیگر به دلیل وجود کارخانجات متعدد و مصارف صنعتی، برداشت آب زیرزمینی از طریق چاه های موجود در منطقه صورت می گیرد.

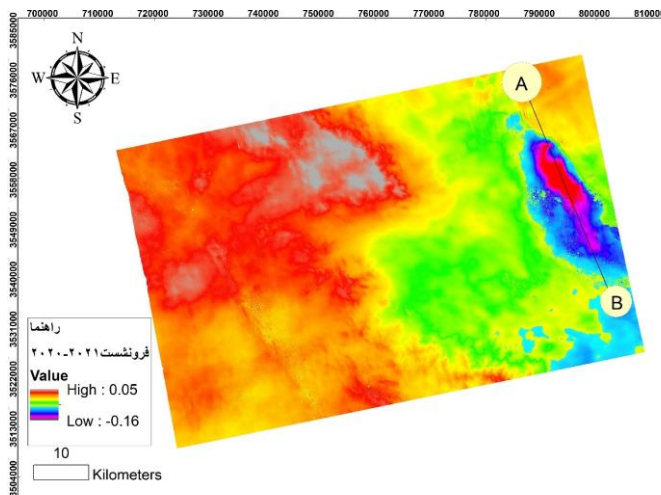


شکل ۶الف: نقشه فرونشست منطقه بین سال های ۲۰۱۹ تا ۲۰۲۰

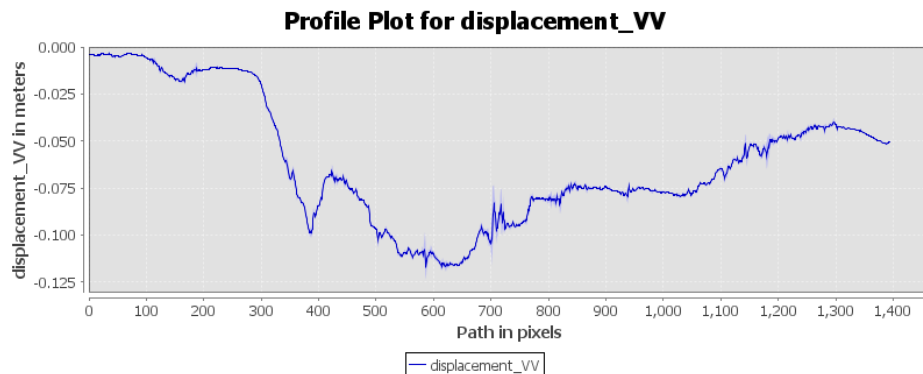
**Profile Plot for displacement\_VV**



شکل ۶ب: پروفیل طولی A-B فرونشست بین سال های ۲۰۱۹ تا ۲۰۲۰



شکل ۷الف: نقشه فرونشست منطقه بین سال های ۲۰۲۰ تا ۲۰۲۱



شکل 7: پروفیل طولی A-B فرورانشست بین سال های 2020 تا 2021

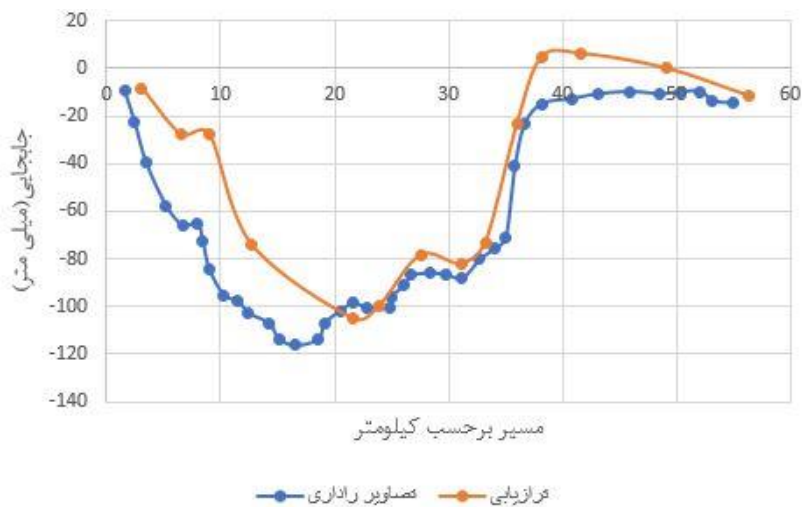
در تحقیقات قبلی که در این منطقه برای محاسبه فرورانشست انجام گرفته است بیشترین میزان فرورانشست در سال های 2003 تا 2007 که به روش تداخل سنجی راداری و ترازیبی دقیق بدست آمده است، 12 سانتی متر در سال است که مربوط به منطقه شمسی در رستاق است (آمیغ پی و همکاران، 2010). در مطالعه دیگری بین سال های 2007 تا 2010 بیشترین مقدار فرورانشست به روش تداخل سنجی تفاضلی راداری، 10.75 سانتی متر در سال است (شیخی کوهسار و همکاران، 2013). مشاهده می شود مقدار فرورانشست در این منطقه به مرور کاهش یافته است که در ادامه به بررسی دلایل آن خواهیم پرداخت.

جدول 2- بیشترین مقدار فرورانشست در هر سال

2021-2020	2020-2019	2019-2018	2018-2017	
9	9	8	13	بیشترین مقدار فرورانشست (cm)

### صحت سنجی

سازمان نقشه برداری ایران مقدار فرورانشست را برای کل ایران به دو روش ترازیبی دقیق و تصاویر ماهواره ای بدست آورده است که مقدار فرورانشست برای منطقه مورد مطالعه ما طبق شکل 8 است. در شکل 8 مقادیر ترازیبی بدست آمده برای پروفیل A-B توسط سازمان نقشه برداری و مقادیر بدست آمده در مطالعه ما مربوط به سال 2017 تا 2019 در یک نمودار آمده است، همان طور که مشخص است بیشترین مقدار فرورانشست بدست آمده توسط سازمان نقشه برداری به روش ترازیبی بین سال های 2017 تا 2019، 12 سانتی متر در سال است که با مقدار بدست آمده در این مطالعه یعنی 13 سانتی متر در سال نزدیک است همان طور که مشخص است مقادیر بقیه نقاط نیز به هم نزدیک است. در مورد سال های 2019 تا 2021 تاکنون اندازه گیری دقیقی برای میزان فرورانشست انجام نشده است و با توجه میزان نزدیکی مقادیر سال های 2017 تا 2019 می توان نتیجه گرفت که مقادیری که برای سال های 2019 تا 2021 در این مقاله تخمین زده ایم میتواند به مقدار واقعی نزدیک باشد.



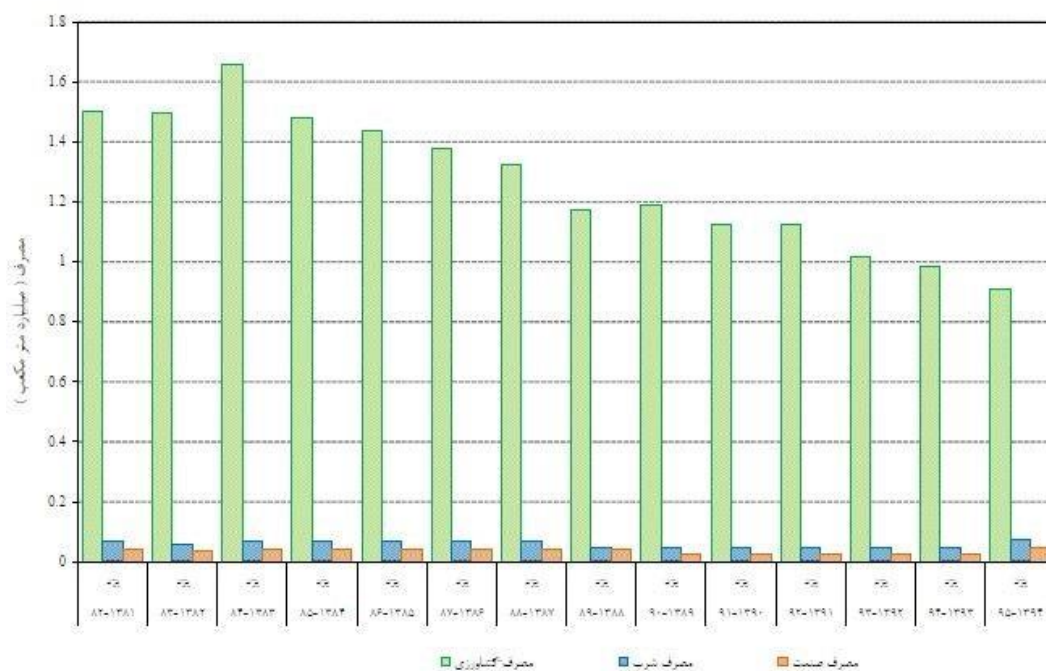
شکل (8): پروفیل A-B با دو مقدار فرونشست از داده های راداری و ترازیابی دقیق در سال های 2017-2019

#### بررسی رابطه فرونشست با مصرف آب

طبق نتایج بدست آمده بیشترین مقدار فرونشست در سال 2017-2018، 13 سانتی متر و در سال های 2018-2019، 4 سانتی متر و 2019-2020 و همین طور 2019-2021، 9 سانتی متر بدست آمد که روند کاهشی داشته است که در اینجا دلایل احتمالی این کاهش مورد بررسی قرار می گیرد. اطلاعات بدست آمده از شرکت مدیریت منابع آب ایران نشان می دهد کل مصرف آب در استان یزد در سال 1381-1382، 1611.57 میلیارد مترمکعب است که از این مقدار 1500.72 میلیارد مترمکعب مربوط به بخش کشاورزی و 42.49 میلیارد مترمکعب مربوط به بخش صنعت و 68.36 میلیارد مترمکعب مربوط به بخش شرب است در مقابل میزان مصرف کل آب در سال 1394-1395، 1029.44 میلیون مترمکعب بوده است که از این مقدار 1029.44 میلیون مترمکعب مربوط به بخش کشاورزی، 48.48 میلیون مترمکعب مربوط به بخش صنعت و 71.72 میلیون مترمکعب مربوط به شرب بوده است. همان طور که در شکل 9 هم مشخص است بیشترین مصرف آب مربوط به بخش کشاورزی است که در سال های اخیر روند نزولی داشته است. (شکل 8)

همان طور که گفته شد در تمام سال ها بیشترین مقدار فرونشست مربوط به منطقه رستاق است که بین شهرهای یزد و میبد واقع شده است. در این منطقه از دیرباز کشاورزی با آبیاری به شیوه سنتی انجام می شود که باعث برداشت آب زیادی از چاه ها بدین منظور می گردد. اما طی سال های اخیر کشاورزان در این منطقه به سمت کشاورزی گلخانه ای و آبیاری به شیوه های نوین رفته اند که باعث شده مصرف آب کمتری داشته باشند و این می تواند یک دلیل کم شدن مقدار فرونشست در سال های اخیر باشد.

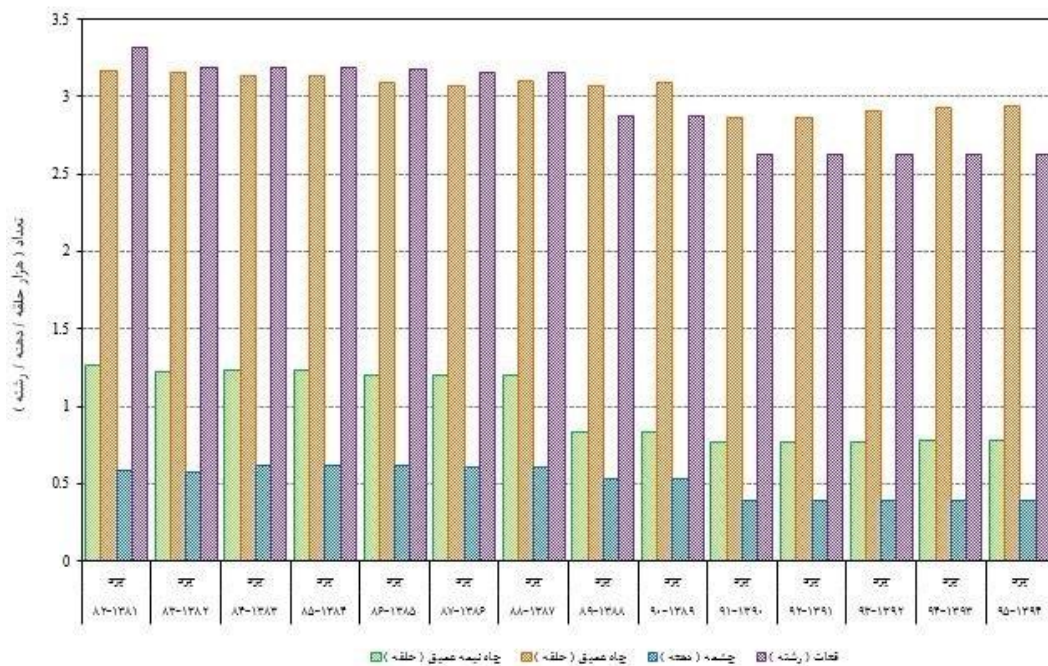
هم چنین در سال های قبل برای تامین آب شرب شهرهای اطراف دشت یزد-اردکان از آب زیرزمینی استفاده می شد که با ورود آب انتقالی از اصفهان به یزد، بخش اعظمی از آب مورد نیاز برای شرب از این محل استفاده شده است و برداشت آب زیرزمینی کاهش یافته است.



شکل (9): تغییرات میزان مصرف از منابع آب زیرزمینی در یزد (شرکت مدیریت منابع آب ایران)

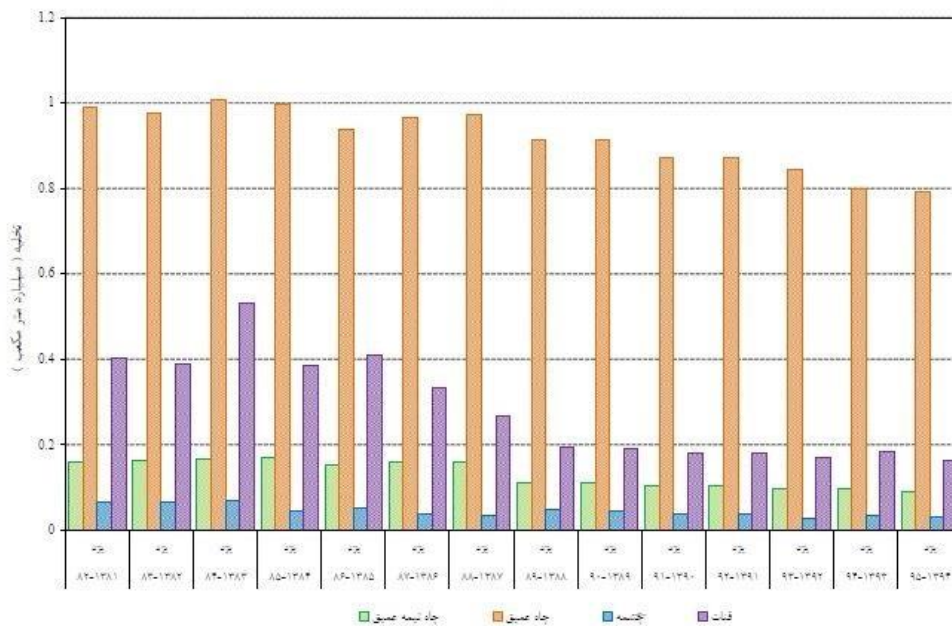
بررسی رابطه فرونشست با تغییر تعداد چاه ها، چشمه ها و قنوات

در شکل 10 تغییر تعداد چاه ها، چشمه ها و قنوات نشان داده شده است. همان طور که مشخص است تعداد چاه ها، چشمه ها و قنوات ها کاهش یافته است.



شکل (10): تغییرات تعداد چاه ها، چشمه ها و قنات استان یزد (شرکت مدیریت منابع آب ایران)

### بررسی رابطه فرونشست با تغییرات مقدار تخلیه از چاه ها، چشمه ها و قنات



شکل (11): تغییرات مقدار تخلیه از چاه ها، چشمه ها و قنات ها در یزد (شرکت مدیریت منابع آب ایران)

در شکل 11 میزان تغییرات تخلیه از چاه‌ها، چشمه‌ها و قنات‌ها در یزد در سال‌های اخیر نشان داده شده است که تخلیه از چاه‌ها از 1611.79 میلیارد مترمکعب در سال 1381-1382 به 1078.25 میلیارد مترمکعب در سال 1394-1395 رسیده است که همان‌طور که مشخص است این مقادیر به مرور کاهش یافته است و می‌تواند دلیلی برای کاهش مقدار فرونشست در سال‌های اخیر باشد.

### نتیجه‌گیری

در این مطالعه مقدار فرونشست دشت یزد-اردکان در محدوده بین شهرهای یزد و اردکان با استفاده از تصاویر سنتینل-1 و روش تداخل‌سنجی تفاضلی راداری برای سال‌های 2017 تا 2021 بدست آمد. از آن جایی که تصاویر سنتینل راداری هستند و امواج راداری حتی در آب و هوای نامساعد و ابری هم قدرت نفوذ خوبی دارند. تصاویر سنتینل نسبت به سایر ماهواره‌ها دقت بهتری داشته و گزینه خوبی برای استفاده در مطالعات مربوط به فرونشست است. با توجه به نتایج به دست آمده بحرانی‌ترین منطقه، منطقه شمسی در بخش رستاق می‌باشد، منطقه‌ای که بیشترین بخش آن به کشاورزی اختصاص دارد و میزان فرونشست آن در سال 2017 تا 2018، 13 سانتی‌متر و در سال‌های 2018 تا 2021، 9 سانتی‌متر بدست آمده است. همین‌طور مقادیر بدست آمده با مقادیر ترازبایی دقیق توسط سازمان نقشه‌برداری مقایسه شد که روند نسبتاً مشابهی داشتند. با تحلیل و مقایسه مصرف منابع آبی، تخلیه و تعداد چاه‌ها در سال‌های اخیر مشاهده شد که میزان مصرف آب به خصوص در بخش کشاورزی در سال‌های اخیر روند کاهشی داشته است که این موضوع می‌تواند دلیلی بر کاهش میزان فرونشست نسبت به سال‌های قبل باشد. همین‌طور تعداد و مقدار تخلیه از چاه‌ها، چشمه‌ها و قنات‌ها نیز روند کاهشی داشته است که از جمله دلایل آن می‌توان ورود آب انتقالی به یزد دانست که بخشی از آب شرب منطقه از این بخش تامین می‌شود، همین‌طور کشاورزی در سال‌های اخیر در این منطقه به خصوص در منطقه رستاق که بیشترین فرونشست را دارد از شیوه سنتی به گلخانه‌ای تغییر کرده است و همین باعث مصرف کمتر آب در بخش کشاورزی در این منطقه شده است.

## منابع و ماخذ

- آروین، عبدالخالق، وهازاده کبریا، قربان، موسوی، سیدرمضان، و بختیاری کیا، مسعود. (2019). "مدل‌سازی مکانی فرونشست زمین در جنوب حوزه آبخیز میناب با استفاده از سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی". سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، 10(3)، 19-34.
- آمیغ پی، معصومه، عربی، سیاوش، و طالبی، علی. (2010). "بررسی فرونشست یزد با استفاده از روش تداخل سنجی راداری و تراز یابی دقیق". فصلنامه علمی-پژوهشی علوم زمین، 20(77)، 157-164.
- اکرامی، محمد، ملکی نژاد، حسین، و اختصاصی، محمدرضا. (2013). "بررسی تأثیر خشکسالی های اقلیمی و آب شناختی بر منابع آب زیرزمینی (مطالعه موردی: دشت یزد-اردکان)". مجله علوم ومهندسی آبخیزداری ایران، 7(47-54)، 20.
- امامی، صدیقه، المدرسی، سیدعلی، وموسائی سنجره ای، محمد. (2020). "رویکرد تحلیل راداری در سنجش وضعیت تغییرات هیدرومورفوتکتونیک مرکز ایران (دشت یزد اردکان)". مخاطرات محیط طبیعی، 9(26)، 1-1.
- تورانی، م، آق آتابای، م، و روستایی، م. آ. (2018). "مطالعه فرونشست در شهر گرگان با استفاده از روش تداخل سنجی راداری". مجله آمایش جغرافیایی فضا، 8(27)، 117-128.
- زارعی، کیوان، رسول زاده، علی، صدیقی، مرتضی، احمدزاده، غلامرضا، و رضانی مقدم، جواد. (2019). "تعیین رابطه فرونشست زمین و افت سطح آب‌زیرزمینی با دو روش تداخل سنجی راداری و ایستگاه ثابت GPS (مطالعه موردی: دشت سلماس)". نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران، 11(1)، 168-182.
- سودمندافشار، رضا، و احمدی، سلمان. (2020). "پایش فرونشست زمین در اثر برداشت بی‌رویه آب‌های زیر زمینی با استفاده از تکنیک تداخل‌سنجی راداری به روش پراکنش‌گرهای دائمی (مطالعه موردی: شهرستان اسدآباد و دشت‌های مجاور)". مهندسی فناوری اطلاعات مکانی، 8(1)، 79-99.
- صفاری، امیر، جعفری، فرهاد، و توکلی صبور، سیدمحمد. (2018). "پایش فرونشست زمین و ارتباط آن با برداشت آب‌های زیرزمینی مطالعه موردی: دشت کرج-شهریار". پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، 5(2)، 82-93.
- عالی پور اردی، مهدی، ملک محمدی، بهرام، و جعفری، حمیدرضا. (2017). "پهنه بندی ریسک فرونشست زمین در اثر افت سطح آب زیرزمینی با استفاده از مدل تحلیل سلسله مراتبی فازی (مطالعه موردی: دشت اردبیل)". مجله علوم ومهندسی آبخیزداری ایران، 11(38)، 25-34.
- فروغ نیا، فاطمه، نعمتی، صادق، و مقصودی، یاسر. (2018). "آنالیز سری زمانی تداخل سنجی راداری مبتنی بر پراکنشگرهای دائم، با استفاده از تصاویر Sentinel-1A و ENVISAT-ASAR، برای برآورد پدیده فرونشست شهر تهران".
- قنادی، محمد، عنایتی، حمیدو خصالی، الهه. (2019). "تولید مدل رقومی ارتفاعی زمین با استفاده از تصاویر سنتینل-1 و تکنیک تداخل سنجی راداری". فصلنامه علمی-پژوهشی اطلاعات جغرافیایی «سپهر»، 27(108)، 109-121.



- Crosetto, M., Monserrat, O., Cuevas-González, M., Devanthery, N., and Crippa, B. (2016). "Persistent Scatterer Interferometry: A review." *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 115, 78-89.
- Goldstein, R. M., and Werner, C. L. (1998). "Radar interferogram filtering for geophysical applications." *Geophysical Research Letters*, 25(21), 4035-4038.
- Lazecky, M., Canaslan Comut, F., Qin, Y., and Perissin, D. (2017). "Sentinel-1 Interferometry System in the High-Performance Computing Environment." 131-139.
- Pérez-Falls, Z., and Martínez-Flores, G. (2020). "Land Subsidence in Villahermosa Tabasco Mexico, Using Radar Interferometry." 1276, 18-29.
- Yu, H., Lee, H., Yuan, T., and Cao, N. (2018). "A Novel Method for Deformation Estimation Based on Multibaseline InSAR Phase Unwrapping." *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 56(9), 5231-5243.

# **The Relationship between Land Subsidence and Water Use in Yazd-Ardakan Plain Using Sentinel-1 Images**

## **Abstract**

Groundwater is an important source of fresh water. With increasing population and increasing need for water for drinking, agricultural and industrial uses, groundwater abstraction has also increased. Land subsidence uses pumping and groundwater in an area, when this amount is not compensated by loading, damage failed, destroyed the road, destroyed the residential area, destroyed the asphalt of the roads, the railway lines and pipes. It brings water and gas. Yazd-Ardakan plain is a region where 75% of the province's population density and most industrial centers are located. In addition, the plain has been banned by the Ministry of Energy due to the sharp drop in groundwater level, and this plain Be. In this study, using 4 SLC images of C-band Sentinel-1 satellite and radar differential interferometry method, the amount of subsidence in 2017 to 2021 was obtained and compared that the maximum amount of subsidence in 2017 was 13 cm and in 2020 and 2021, 9 cm was obtained, which is related to the solar region in the area between Meybod and Ardakan. This reduction in the amount of subsidence based on studies of water consumption and withdrawal statistics from the Ministry of Energy in recent years can be a sign of management work done and water transfer to this basin and reduction of groundwater abstraction in recent years in this area.

**Keywords:** DInSAR, Subsidence, SNAP, Interferogram