

Khorasan Razavi Chamber  
of Commerce Industries,  
Mines and Agriculture

اتاق بازرگانی، صنایع، معادن  
و کشاورزی خراسان رضوی

سال جهش تولید با مشارکت مردم



کیسون فنی، مهندسی، مشاوره ای و عمران

# فرونشست سرطان زمین بحرانی دهان گشوده بر خاک

تهیه و تنظیم:

سورنا صراف زاده

امرداد ماه ۱۴۰۳

## چکیده:

در دهه اخیر فرونشست به عنوان یک مخاطره ژئومورفیک در بخش وسیعی از دشتهای ایران از جمله دشت مشهد به عنوان یکی از دشتهای مهم در حال وقوع است؛ بنابراین بررسی میزان نرخ فرونشست و پرداختن به علل و عوامل تأثیرگذار در جهت مدیریت خطر، دارای اهمیت زیادی است. در این مقاله برای پایش فرونشست اتفاق افتاده در دشت مشهد، از تکنیک تداخل سنجی راداری با دقت میلی متری و از داده های ماهواره Sentinel ۱A سالهای ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۱ استفاده شده است. نتیجه مطالعات حاصل از تداخل سنجی راداری نشان داد، در طول دوره آماری در منطقه مورد مطالعه ۶۴ سانتی متر فرونشست اتفاق افتاده است. در ادامه در جهت یافتن علت فرونشست، اطلاعات چاه های پیزومتری موجود در منطقه اخذ و تغییرات آنها در طول دوره ۱۳۹۸-۱۳۷۰ بررسی شد. سطح آب چاه ها در بازه زمانی مورد مطالعه به بیشترین حد کاهش خود رسیده است. بیشترین میزان افت سطح آب زیرزمینی در مناطق مرکزی و جنوب شرقی محدوده مورد مطالعه رخ داده است که متأثر از کاهش بارندگی، خشکسالی و زمین های برنج و باغی زیاد در منطقه و فشار بیش از حد به منابع آب های زیرزمینی در این سال ها است. به طور کلی بیشترین نرخ فرونشست در مناطق با افت شدید سطح آب زیرزمینی، بافت خاک ریزدانه و ضخامت آبرفت زیاد اتفاق افتاده است

پدیده فرونشست به حرکت قائم رو به پایین سطح زمین گفته می شود که می تواند بابر دار اندکی افقی همراه باشد که در مقیاس بزرگ به صورت تدریجی یا آنی رخ می دهد (جانباز فوتمی و همکاران، ۱۳۹۹: ۱۳۴).

فرونشست سطح زمین می تواند یکی از خطرناک ترین پدیده های طبیعی باشد. این پدیده گاهی به دلیل برداشت بی رویه از آب خوان ها یا انحلال و فرسایش زیر سطحی رخ می دهد و می تواند منجر به حوادث جبران ناپذیری

مانند آسیب به زیرساخت‌ها و حتی نابودی منابع آب های زیرزمینی در مناطق حساس از نظر ویژگی‌های خاک و سنگ‌شود (حمیدی و همکاران، ۱۴۰۰: ۴۳).

در ایران آب زیرزمینی منبع اصلی تأمین آب در بسیاری از مناطق است، به‌علاوه روش های قدیمی و نادرست کشاورزی نیاز به منابع آب را بیشتر کرده است که این موضوع منجر به بهره برداری بیش از حد از منابع آب زیرزمینی می‌شود. افزایش تنش و فشار منجر به فشردگی و در نتیجه فرونشست زمین می‌شود (محمدی و همکاران، ۱۴۰۰: ۷۶).

متأسفانه شدت فرونشست در دشت های ایران، دست‌کم ۹۰ برابر بیشتر از بحرانی‌ترین شرایط در کشورهای توسعه یافته جهان است. نرخ فرونشست سالانه چهار میلی‌متر در کشورهای پیشرفته بحرانی قلمداد می‌شود، این در حالی است که در سال ۱۳۸۵، نرخ فرونشست در کشور ما ۱۷ سانتی‌متر در سال بوده که در سال ۱۳۹۰ به ۳۶ سانتی‌متر در سال افزایش پیدا کرده است (حمیدی و همکاران، ۱۴۰۰: ۴۴).

دشت مشهد یکی از دشت‌های مهم در استان خراسان رضوی است که یکی از منابع آبی پشتیبان برای استفاده در کشاورزی و صنعت است. فشار بیش از حد به منابع آب زیرزمینی با پمپاژ زیاد و کمبود بارش باعث شده است که تغذیه آب خوان به‌خوبی صورت نگیرد. افت سطح آب زیرزمینی در دشت مشهد اثرات نامناسبی را بر آبدهی چاه‌ها، تخریب قنوات، کیفیت آب و فرونشست زمین خواهد داشت (قره‌چلو و همکاران، ۱۴۰۰: ۱۱).

### پیشینه پژوهش:

یکی از جدیدترین و مؤثرترین روش ها در مطالعه فرونشست، تکنیک تداخل‌سنجی تصاویر راداری است. یک ابزار قوی برای اندازه‌گیری توپوگرافی سطح و تغییرات آن در طول زمان است (Burgmann et al, ۲۰۰۰). ۱۷۰ و ۱۶۹ و توانایی برآورد فرونشست را با دقت میلی‌متری با استفاده از مشاهدات فاز دارا است

(Crosetto et al, ۲۰۱۳: ۹۲۳) و می‌تواند در تعیین میزان فرونشست در بازه زمانی مشخص مورد استفاده قرار گیرد. با توجه به اهمیت موضوع مورد مطالعه، در طی سال‌های اخیر تحقیقات متعددی در سطح جهان و ایران در رابطه با فرونشست با تکنیک تداخل سنجی راداری صورت گرفته است.

گوآ و همکاران (۲۰۱۶) به بررسی رابطه بین فرونشست زمین و تغییرات آب های زیرزمینی در پکن پایتخت چین پرداختند. در این مطالعه نرخ فرونشست با تکنیک تداخل سنجی راداری و با استفاده از ۱۸ تصویر ENVISAT ASAR بین سال‌های ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۰ بررسی شد. میزان فرونشست حاصل از این مطالعات با دقت کمتر از ۵ میلی‌متر تأیید شد. مطابق با نتایج در پکن، فرونشست به‌صورت ناهموار و به‌طور بارز مشخص شده است. بیشترین نرخ فرونشست در محدوده مرکزی شهر و در حدود ۱۰ میلی‌متر

در سال است که مقدار آن در **محدوده تائزو** به بیش از ۱۴۰ میلی متر در سال رسیده است. بررسی هایی که در این مطالعه روی آب های زیرزمینی انجام شد، ارتباط بالای میزان فرونشست زمین و افت سطح آب های زیرزمینی را نشان داد. به طوری که شکل فرونشست و افت سطح آبهای زیرزمینی منطبق بر هم به دست آمده است.

آگوستان و همکاران (۲۰۱۶) به ارزیابی جابه جایی زمین در **جاکارتا** از طریق تجزیه و تحلیل داده های راداری پرداختند. نتایج تحقیق نشان داد که در این منطقه در ماه نوامبر ۲۰۱۵ تا سپتامبر ۲۰۱۶ حدود ۱۲ سانتی متر فرونشست داشته است.

دو و همکاران (۲۰۱۷) به ارزیابی میزان فرونشست **شبه جزیره لیژاو در چین** با استفاده از تصاویر راداری پرداخته اند. در این تحقیق از روش تداخل سنجی راداری و تصاویر سالهای ۱۹۹۲ تا ۲۰۱۰ استفاده شده است. نتایج تحقیق بیانگر این است که حداکثر میزان فرونشست با ۳۲- میلی متر در نوار خط ساحلی اتفاق افتاده است.

چین و همکاران (۲۰۱۹) به بررسی نقش فعالیت های کشاورزی در فرونشست زمین در **دره سان خواکین در کالیفرنیا** پرداختند. خشکسالی های ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۰ و ۲۰۱۲ موجب افزایش شدید استفاده از آبهای زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه و در نتیجه باعث فرونشست شد. یافته های اصلی آنها نشان داد در مناطقی که تقاضای استفاده از آب زیرزمینی بیشتر باشد، فرونشست زمین نیز در منطقه زیاد است. آنها با استفاده از تصاویر ماهواره ای و مدل سازی، مکان هایی که در آینده بیشتر در معرض تخریب قرار دارند را شناسایی و مدیریت منابع آب زیرزمینی را پیشنهاد دادند.

گورابی و همکاران (۲۰۲۰) در بررسی فرونشست زمین در کلان شهر **اصفهان** با تصاویر Sentinel-۱ میزان فرونشست زمین را به میزان ۵- تا ۱۰۰- میلی متر در سال برآورد کردند که از جنوب به بخش های شمالی، شمال شرقی و شرقی کلان شهر اصفهان افزایش می یابد، در حالی که بخش های جنوبی شهر تقریباً یک منطقه پایدار هستند و میزان فرونشست قابل توجه در آن مشاهده نمی شود.

خان و همکاران (۲۰۲۲) به بررسی فرونشست زمین در شهر **اسلام آباد پاکستان** با استفاده از تصاویر راداری سنتینل ۱ پرداختند و میزان فرونشست در سال ۲۰۱۹ را ۶۹- میلی متر و در سال ۲۰۲۰ را ۹۸- میلی متر برآورد کرده اند.

خرمی و همکاران در سال ۱۳۹۸ به بررسی فرونشست شهر مشهد با روش تداخل سنجی راداری پراکنش گر دائمی از سال ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۷ پرداختند و بیشینه میزان فرونشست را ۱۴ سانتی متر به دست آوردند.

مرادی و همکاران (۱۳۹۹) در تحلیل فرونشست با استفاده از تکنیک تداخل سنجی راداری، اطلاعات چاه های ژئوتکنیکی و پیزومتری در منطقه ۱۸ شهر تهران به این نتیجه رسیدند که منطقه ۱۸ شهری روی مخروط افکنه جوان کن که توزیع بالای گراول و متخلخل را در عمق های تحتانی دارد، قرار گرفته است. با توجه به عمق چاه های موجود در منطقه که ضخامت بالای آبرفت را نشان می دهد، به همراه افت سطح ایستابی و خالی شدن خلل و فرج بین دانه بندی ها که منجر به افزایش وزن آبرفت در جهت نیروی گرانشی می شود، وجود پدیده فرونشست را موجه نشان می دهد.

حداکثر میزان فرونشست به دست آمده از مطالعه تداخل سنجی راداری در حدود ۴۳۰ میلی متر و در محدوده محله یافت آباد است. نرخ فرونشست از غرب به شرق و از شمال به جنوب با افزایش همراه است. به طوری که قسمت شرقی و جنوبی منطقه مورد مطالعه در پهنه کامل فرونشست قرار گرفته است. با توجه به نتایج به دست آمده از مطالعه تداخل سنجی تحقیق با پیمایش های میدانی مورد صحت سنجی قرار گرفت.

## انواع فرونشست زمین و مخاطرات:

فرونشست پدیده ای ژئوتکنیکی است که در آن تراز سطح زمین در اثر تراکم لایه های زیرین کاهش مییابد. در کنار این تعریف، تعریفی است که یونسکو برای فرونشست ارائه نموده است. براساس تعریف یونسکو فرونشست عبارت است از فروریزش یا نشست سطح زمین که به علت های متفاوتی در مقیاس بزرگ روی می دهد. بطور معمول این پدیده به حرکت قائم روبه پایین سطح زمین که میتواند با بردار اندک افقی همراه باشد اطلاق میشود. این تعریف پدیده هایی همچون زمین لغزشها را بدلیل اینکه حرکت آنها دارای بردار افقی قابل توجهی است (مونرو، ۱۹۹۲) و همچنین نشست در خاکهای دستی که دارای مکانیسم متفاوتی میباشد را شامل نمیشود (آلبای، ۲۰۱۳). استناد به تعریف یونسکو باعث شده حتی در مراکز علمی و سطوح مدیریتی، خیلی از نشست هایی که در زمین اتفاق می افتد صرف نظر از تفاوت دلیل، مکانیزم وقوع، تاثیرات و همچنین نحوه برخورد با آن به اشتباه یکسان در نظر گرفته شوند. از اینرو جهت برخورد با موضوع و یافتن راهکارهای مناسب، ضروری است ابتدا این نشست ها را از هم تفکیک نماییم

### الف - فروریزش ناشی از آب شستگی:

ریش ناگهانی ناشی از آب شستگی زیرسطحی خاک بر اثر جریانهای زیرسطحی و نشت لوله های آب و فاضالب، یکی از رایجترین انواع نشست است که این پدیده به ندرت به تخریب در محدوده های وسیع میانجامد و معمولاً موضعی است و برای نمونه، وسایل نقلیه رادر خود فرومیبرد. این پدیده به وفور در مناطق شهری اتفاق می افتد بعنوان مثال انحلال لال سیمان طبیعی و ذرات انحلال پذیر بین ذرات درشت دانه خاک در شهر تهران باعث شکل گیری این نوع نشست میشود. از سویی دیگر، گاهی سیمان و ذرات انحلال پذیر وجود ندارد ولی وجود جریان زیرسطحی باعث انتقال ذرات ریز و خالی شدن فضای بین دانه های می شود که با گسترش آن در کنار وجود فضایی برای فرار مصالح (چاه جذبی، قنات یا تونلهای شهری) این نوع نشست فروریزی را شاهد خواهیم بود. فروریزشهای تقاطع کلهر در بالای تونل توحید (۱۳۸۸)، میدان منیریه (۱۳۸۹)، (میدان قیام) (۱۳۹۵)، (شهران) (۱۳۹۵) و (مولوی) (۱۳۹۶) در تهران (گزارش فروریزش خیابان مولوی، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، ۱۳۹۶) و فروریزش چهارراه حکیم نظامی (۱۴۰۱) در اصفهان جزء نشست های ناشی از آب شستگی زیرسطحی محسوب میشوند.

### ب - فروریزش ناشی از انحلال سنگ های کربناتی و انحلال پذیر:

دومین نوع متداول ریش ناگهانی، انحلال سنگهای انحلال پذیر و کربناتی (سنگ آهک) در زیر سطح زمین است که بعنوان مثال در مناطقی مثل کبودرآهنگ همدان و جاهاییکه دارای زمینهای آهکی و کارستی هستیم

مشاهده میشود. در این مناطق که سنگ بستر در عمق کم و انحلال پذیر قرار داشته بتدریج بر اثر جریانهای زیرسطحی شسته شده و حفره های بزرگ ناشی از انحلال سنگ بستر بوجود آمده و الیه خاکی روی سنگ بستر فروکش میکند و فروچاله اتفاق میافتد (دل پرتز و همکاران، ۲۰۱۰) و (الشخصی و همکاران، ۲۰۱۷). با اینکه پدیده فروچاله نیز معمولاً در مقیاس موضعی پدید میآید، اما میتواند امکان ورود آلاینده ها را به درون سیستم آبخوان فراهم آورد و به این ترتیب آثار منطقه ای درازمدتی را بر جای گذارد. فعالیتهای انسانی میتواند شکل گیری مغارها و حفره های زیرسطحی [۰۷-۰۳ را در این نوع مصالح تسریع کند و به عنوان محرک ریزش آنها و نیز فروریزش مغارهای زیرسطحی از پیش موجود عمل کند (مجبرب، ۱۴۰۰). (ج- فرونشست ناشی از افت سطح آب زیرزمینی: نوع دیگر فرونشست به علت افت سطح آب زیرزمینی ناشی از اضافه برداشت و تخلیه و کاهش حجم آبخوانها به صورت آرام و بی صدا و به شکلی خطرناک اتفاق میافتد. این فرونشست برخلاف موارد قبلی در محدوده وسیع رخ میدهد و دارای نشستهای عمدتاً قائم و بعضاً بردارهای حرکتی افقی میباشد که میتواند باعث ایجاد شکاف -هایی در سطح زمین نیز شوند (چای و همکاران، ۲۰۱۵)، (ئی شانگ و همکاران، ۲۰۰۸) و (گالووی و بوربی، ۲۰۱۱). این نوع فرونشست که در حال حاضر پدیده غالب در دشتهای کشور میباشد علی رغم هشدارهای متعدد از سوی دستگاه ها و مراکز علمی مختلف تاکنون به طور جدی برای حل آن اقدامی صورت نگرفته است. نرخ فرونشست بیش از ۴۰ سانتیمتر بصورت سالیانه در مناطقی از استان کرمان و نرخیهای ۱۰ تا ۳۰ سانتیمتر در بسیاری از نقاط دیگر کشور خود حاکی از وضعیت فوق العاده خطرناک این پدیده غیرقابل جبران و برگشت ناپذیر در طبیعت است. این نوع فرونشست به لحاظ ماهیت، منشأ، روش تحلیل و شناسایی، کنترل و پیشگیری و روشهای مقاوم سازی سازه ای و ژئوتکنیکی با سایر مخاطرات مشابه از جمله نشست کلی، فروریزش، فروچاله، زمین لغزش، آب شستگی و فرسایش خاک متفاوت می باشد. الزم بذکر است منظور فرونشست در مقاله حاضر، تعریف اخیر میباشد. این نوع فرونشست و شکافهای زمین که به آهستگی و به تدریج گسترش مییابند شاید در دید اول خطرهای ناگهانی و فاجعه بار مانند سیل و زلزله را نداشته باشد اما بطور معمول خسارتهای ناشی از فرونشستها و شکافهای زمین ترمیم ناپذیر، پرهزینه و مخرب میباشند. به عنوان مثال فرونشستها میتوانند به تخریب سیستمهای آبیاری و خاکهای حاصلخیز کشاورزی (با پایین آوردن تخلخل آنها) و خرابی چاه ها منجر شوند. در مناطق شهری به دلیل تراکم جمعیت، ساختمانها و شریانهای حیاتی به طور ویژه در مقابل فرونشست آسیب پذیرتر میباشند. این پدیده میتواند به خیابان ها، پلها و بزرگراه ها آسیب زده، خطوط آبرسانی، گاز و فاضالب را مختل کرده، به پی ساختمانها آسیب رسانده و موجب ترک در آنها گردد. در این حالت سازه هایی که وسعت زیادتر و طول وارتفاع بیشتری دارند آسیب پذیرترند. به عنوان نمونه مسیرهای راه و راه آهن، خطوط انتقال، سدهای خاکی، تصفیه خانه ها و کانال ها از آسیب پذیری زیادی برخوردار می باشند



## شرح روش انجام و متدولوژی پروژه:

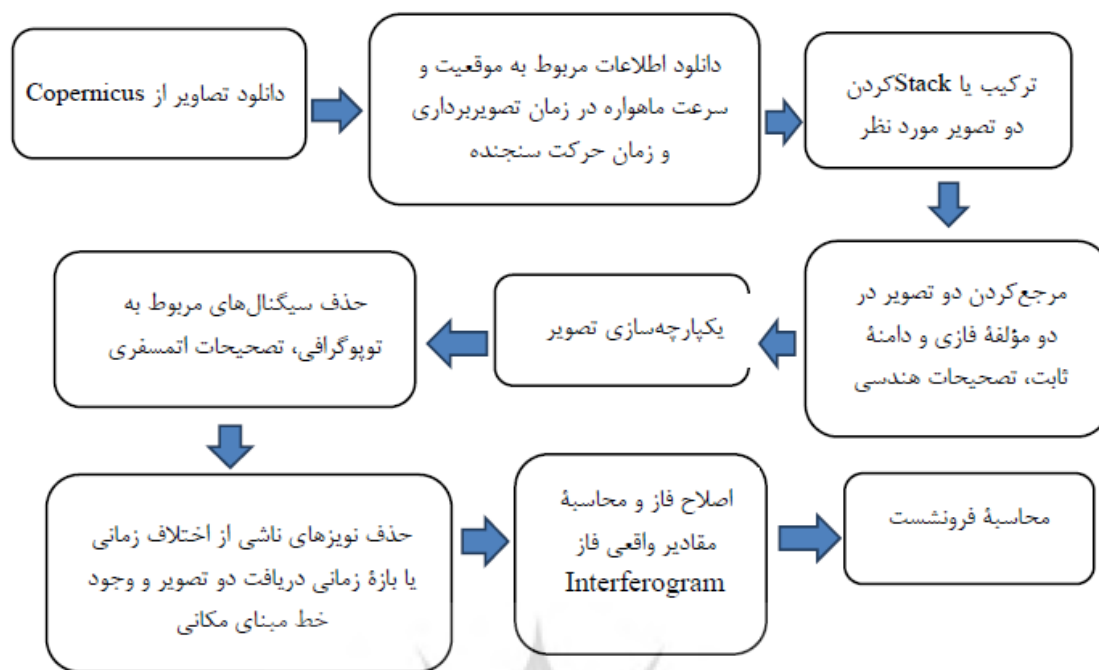
امروزه تکنیک تداخل سنجی راداری به عنوان یک ابزار قوی برای اندازه گیری تغییر شکل سطحی پوسته زمین در طول زمان استفاده می شود و می تواند اطلاعات ارزشمندی درباره پایش فرونشست ارائه دهد (۱: ۲۰۱۶, *Notti et. al*) روش تداخل سنجی راداری با مقایسه سیگنال های فاز برگشتی دو دسته داده های رادار دریچه مصنوعی که از یک منطقه در دو زمان مختلف اخذ شده اند، قادر به اندازه گیری تغییرات سطح زمین در آن بازه زمانی است (محمد حسنی و شیخ شریعتی کرمانی، ۱۴۰۰: ۷۷). برای انجام فرایند تداخل سنجی از تصاویر راداری Sentinel-۱ سالهای ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۰ با فرمت (SLC) تک منظر باپورازاسیون (۷۷) (جدول ۱) برای محاسبه میزان جابجایی استفاده شده است.

### جدول ۱: مشخصات تصاویر راداری مورد استفاده

| شماره | تاریخ تصویر | فرمت تصویر | حالت تصویربرداری | گذر تصویربرداری | خط مبنا (متر) |
|-------|-------------|------------|------------------|-----------------|---------------|
| ۱     | ۲۰۱۷/۰۳/۱۷  | Slc        | Iw               | صعودی           | ۱۶۳ تا ۱۱۰-   |
| ۲     | ۲۰۱۸/۰۱/۲۳  | Slc        | Iw               | صعودی           | ۱۶۳ تا ۱۱۰-   |
| ۳     | ۲۰۱۹/۰۲/۲۳  | Slc        | Iw               | صعودی           | ۱۶۳ تا ۱۱۰-   |
| ۴     | ۲۰۲۰/۰۱/۱۰  | Slc        | Iw               | صعودی           | ۱۲۹ تا ۱۱۰-   |
| ۵     | ۲۰۲۱/۰۱/۱۲  | Slc        | Iw               | صعودی           | ۱۲۸ تا ۳۳-    |

به منظور پردازش به روش تداخل سنجی راداری، نرم افزار SNAP انتخاب شد تا نتایج نهایی نرخ فرونشست براساس اختلاف فاز بین تصاویر اخذ شده در تاریخ های متفاوت به دست آید. شکل ۱ مراحل انجام تداخل سنجی رادار را نشان می دهد.





شکل ۱: مراحل انجام کار در نرم افزار SNAP برای محاسبه فرونشست

به منظور مطالعه آخرین وضعیت سطح آبهای زیرزمینی منطقه مورد مطالعه، اطلاعات آماری چاه های پیزومتری سالهای ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۸ از آب منطقه ای خراسان رضوی اخذ شد که در ادامه در نرم افزار GIS بعد از میانگین گیری سالیانه با استفاده از مدل درون یابی IDW نقشه سطح آب زیرزمینی تهیه و مورد ارزیابی قرار گرفت.

### چاه های پیزومتر:

از دیرباز احداث چاه های پیزومتری یکی از روشهای معمول در بررسی سطح سفره های زیرزمینی و آگاهی از از پیزومترها برای اندازه گیری تغییرات سطح ایستابی یا Swenson). روند تغییرات آن بوده است ۲۰۰۶ ( پیزومتریک استفاده میشود. تعیین محل چاه های پیزومتر براساس تراکم منابع بهره برداری، وجود زه کش ها، رودخانه ها، نواحی تبخیری و عوامل زمین شناسی مانند: گسل ها و نیز تغییرات موضعی سطح آب زیرزمینی است که حداقل در هر ۷۲ کیلومتر مربع یک چاه پیزومتر با قطر کم کافی است. چنانچه در محدوده بیلان، سفره تحت فشار وجود داشته باشد، پیزومترها در این لایه ها برای آگاهی از فشار پیزومتریک آنها و ارتباط آنها

با سفره آزاد جداگانه انتخاب گردند (شرکت مدیریت منابع آب ایران، ۲۰: ۳۱۱۱) با توجه به اهمیت استفاده از منابع آب زیرزمینی در دشت مشهد، از آمار مربوط به ۲۴ حلقه چاه پیزومتر که در محدوده مورد بررسی وجود دارد، استفاده گردید. با استفاده از این آمار، نقشه های مربوط به درون یابی سطح آبهای زیرزمینی در تمامی دوره های بازه مورد مطالعه ترسیم گردید. نتایج درون یابی سطح آبهای زیرزمینی در تمامی دوره های بازه مورد مطالعه افت قابل توجه سطح آب زیرزمینی را نشان میدهد، به طوری که بیشترین میزان افت مربوط به بازه و سطح دارای فرونشست قابل توجه در منطقه، منطبق است.

### جغرافیای منطقه مورد مطالعه:

منطقه مطالعاتی دشت مشهد واقع در استان خراسان رضوی است. این منطقه محل تلاقی ۳ حوضه آبریز قرقه قوم، کویر مرکزی ایران و اترک است. دشت مشهد در محدوده عرض شمالی ۳۵°۵۹' تا ۳۶°۰۲' و طول شرقی ۵۸°۲۲' تا ۶۰°۰۷' جزو حوضه درجه یک قره قوم و در حوضه درجه دو کشف رود قرار دارد. این محدوده در شمال استان خراسان رضوی واقع شده است و از شمال به خط الرأس ارتفاعات هزار مسجد (کپه داغ)، از جنوب به ارتفاعات بینالود و از شمال غرب به حوضه آبریز اترک محدود می شود، طول کشیدگی حوضه حدود ۱۵۰ کیلومتر و بلندترین نقطه ارتفاعی حوضه ۳۳۰۰ متر در قله بینالود و کمترین آن ۸۸۰ متر در محل خروجی دشت است. جهت شیب زمین از شمال غرب به جنوب شرق است (خرمی و همکاران، ۱۳۹۸: ۴۴).

دشت مشهد از نظر ساختاری یک ناودیس باز است که از دو طرف توسط گسل های طولی بریده شده است. در سمت شمال دشت گسل معکوس راست گرد کشف رود با شیب به طرف شمال سبب بالا آمدن و رخ نمودن نهشته های مارنی شده است (حافظی مقدس، ۱۳۹۶: ۲).

سفره آب زیرزمینی دشت مشهد با بیش از ۳۰۰۰ کیلومتر مربع وسعت، از حدود ۱۰ کیلومتری جنوب شرقی شهر قوچان شروع شده و در جهت جنوب شرقی مابین دو رشته کوه بینالود و هزار مسجد ادامه می یابد. جهت عمومی جریان آب زیرزمینی در دشت مشهد از شمال غرب به سمت جنوب شرق است. از نظر نفوذپذیری دامنه جنوبی دشت ضخیم تر و نفوذپذیرتر است. ضخامت لایه آبدار در محدوده دشت مشهد متغیر بوده و دامنه تغییرات آن از ۲۰ متر در محدوده خروجی دشت تا ۱۵۰ متر در حاشیه ارتفاعات جنوبی تغییر می کند. تعداد چاه های موجود در دشت ۶۷۱۶ حلقه، چشمه ها ۶۵۶ دهنه و قنات ها ۱۰۸۴ رشته است.

دشت مشهد در اقلیم نیمه خشک قرار دارد. پرباران ترین ماه سال، فروردین ماه ۴۷/۱ میلی متر و کم باران ترین آن در شهریور با ۱/۴ میلی متر محاسبه شده است (قره چلو و همکاران، ۱۴۰۰: ۴۵). شکل ۲ موقعیت منطقه مورد مطالعه را نشان می دهد.

### —فرونشست در دشت شاندیز:

از جمله مناطق گردشگری در معرض تهدید فرونشست شهر شاندیز در دشت مشهد با شرایط اقلیمی خشک و نیمه خشک است. به منظور پایش میزان فرونشست در شهر شاندیز به روش تداخل سنجی از داده های ماهواره، Sentinel ۱A سالهای ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۳ استفاده شده است. نتیجه مطالعات حاصل از تداخل سنجی راداری نشان داد که در طول دوره آماری در منطقه مورد تحقیق ۲۲ سانتیمتر فرونشست اتفاق افتاده است. همچنین پی بردن به علت فرونشست، اطلاعات چاه های پیژومتری موجود در منطقه اخذ و تغییرات آنها در طول دوره ۱۳۹۹-۱۳۷۰ بررسی گردید.

میزان فرونشست های ثبت شده برای هر دوره به ترتیب ۲ سانتیمتر برای ۲۰۱۷ - ۲۰۱۶، برای دوره ۲۰۱۷-۲۰۱۸ حدود ۶ سانتیمتر، ۲ سانتیمتر برای دوره ۲۰۱۸ - ۲۰۱۹، ۵ سانتیمتر برای دوره ۲۰۱۹-۲۰۲۰، برای بازه زمانی ۲۰۲۰ - ۲۰۲۱ حدود ۲ سانتیمتر، ۴ سانتیمتر برای دوره ۲۰۲۱-۲۰۲۲ و حدود ۱ سانتیمتر برای بازه زمانی ۲۰۲۲ - ۲۰۲۳ بدست آمد.

طبق نتیجه بدست آمده سطح آب زیرزمینی در محدوده های دارای فرونشست زمین با افت حداقل ۵۷ / ۸۶ و حداکثر ۷۶ / ۸۴ متر همراه بوده است به همین دلیل برداشت بی رویه از منابع آب زیرزمینی یکی از دلایل اصلی فرونشست زمین در منطقه مورد مطالعه است. در بازه ۲۰۱۶ تا ( ۱۳۹۵ - ۱۴۰۱ ) ۲۰۲۳ فرونشست ۲۲ سانتی

متر در شمال و شرق و غرب و جنوب و مرکز شهر پراکنده میباشد و ژئوسایت های (قنات کاریزنو، برج

تاریخی شاندیز، پدیده شاندیز، باغ کلبه دنج، فنجان نما، پارک کوهستانی و ...) منطقه را به خطر

می اندازد و این امر می تواند روی گردشگری منطقه مورد تحقیق تاثیر منفی بگذارد.

## —فرونشست زمین در شهرستان چناران:

فرونشست زمین در شهرستان چناران در طول دوره ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۱ با استفاده از تکنیک های سری زمانی

INSAR بررسی شد. جهت انجام پژوهش حاضر از روش تداخل سنجی راداری استفاده شد، و در این روش با مقایسه فازهای دو تصویر راداری از یک منطقه در دو زمان مختلف میزان فرونشست زمین را در آن بازه های زمانی مورد نظر محاسبه شده است. نتایج تحقیق در طول ۴ دوره آماری در منطقه مورد مطالعه نشان داد که میزان فرونشست ۴۲ سانتیمتر در سال می باشد. میزان فرونشست های ثبت شده هر دوره به ترتیب ۹ سانتی متر برای ۲۰۱۸ - ۲۰۱۷، برای دوره ۲۰۱۹ - ۲۰۱۸ حدود ۱۰ سانتی متر، ۱۰ سانتی متر برای دوره ۲۰۲۰ - ۲۰۱۹ و ۱۳ سانتی متر برای دوره ۲۰۲۱ - ۲۰۲۰ بدست آمد.

بر اساس نتایج بدست آمده بیشترین میزان فرونشست در مناطق مرکزی شهرستان چناران اتفاق افتاده است. سطح آب چاه ها در بازه زمانی ۲۸ ساله از (۱۳۷۰ تا ۱۳۹۸) یا (۱۹۹۱ تا ۲۰۲۰) به بیشترین حد کاهش خود رسیده اند. میزان افت سطح آب در این بازه زمانی حداقل ۴ / ۸۷ متر و حداکثر ۱ / ۹۱ متر بوده و بیشتر در مناطق مرکزی و جنوب شرقی رخ داده که متاثر از کاهش بارندگی، خشکسالی و زمین های برنج و باغی زیاد در منطقه و فشار بیش از حد به منابع آب های زیرزمینی در این سال ها می باشد. مقایسه بین تحلیل های مستخرج از داده های نقاط چاه و تصاویر ماهواره ایی نیز موکد رابطه بین پایین آمدن سطح آب های زیرزمینی و فرونشست زمین در منطقه مورد مطالعه است به خصوص در روستای نومهن که بیشترین میزان افت سطح آب زیرزمینی را دارا میباشد و در پهنه خطر فرونشست زیاد هم قرار دارند. در نهایت با استفاده از نقشه پهنه بندی خطر فرونشست مشخص شد. ضروری است سازمان ها و نهادهای متولی با اتخاذ سیاست ها و برنامه ریزی های مناسب، پیش از وقوع بحران درصدد کاهش هر گونه آسیب به سکونت گاه های انسانی، جمعیت و زیرساخت

های موجود در این مناطق باشند. قسمت مرکزی شهرستان چناران جزو مناطق بحرانی و حساس از نظر مخاطره فرونشست است. افزایش جمعیت و نیاز بیش از پیش آنها به آب از یک طرف و همچنین ساخت و سازهای بی رویه برای برطرف کردن نیاز جمعیت جدید، از طرف دیگر افزایش دما، خشک سالی های متوالی و احتمال تداوم آن در سال های آینده عواملی برای استفاده هر چه بیشتر آبهای زیرزمینی است که خود باعث رخداد فرونشست در سطح وسیع تر میشود. جهت مقایسه و صحت سنجی نتایج تحقیق حاضر با تحقیقات بعمل آمده مشابه در دشت مشهد پرداخته شد.

(قره چلو و همکاران ۱۴۰۰) در بررسی فرونشست دشت مشهد به این نتیجه رسیدند که فرآیند تداخل سنجی راداری برای ماهواره Sentinel-۱ بیانگر بیشینه فرونشست ۱۶/۱ سانتی متر از تاریخ ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۶ طی

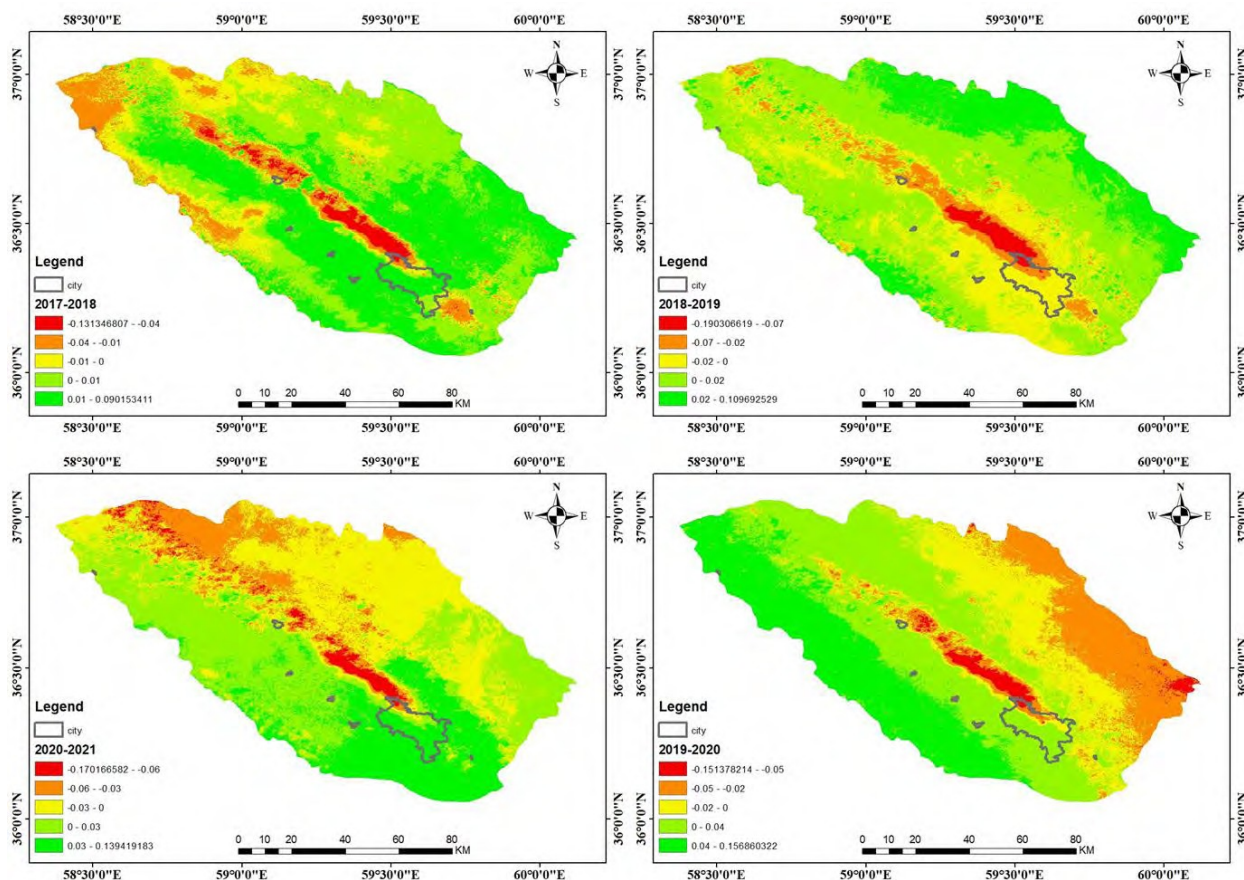
۳۶۰ روز، بیشینه نشست ۱۷.۴ سانتی متر از تاریخ ۲۰۱۶ تا ۲۰۱۷ ( طی ۳۷۲ روز ) و بیشینه فرونشست ۲۰/۳ سانتیمتر از تاریخ ۲۰۱۷ تا ۲۰۱۸ ۲۹/۵ سانتی متر ( طی ۳۶۰ روز )

است . عمادالدین و همکاران ( ۱۴۰۲ ) در طول دوره آماری ۲۰۲۱ - ۲۰۱۷ در

منطقه دشت مشهد ۶۴ سانتیمتر فرونشست به دست آوردند . نتایج تحقیقات محققین فوق نیز نشانگر وجود فرونشست ناشی از برداشت بی رویه آبهای زیرزمینی در دشت مشهد با مشابهت زیاد با دشت چناران هست . دشت چناران نیز در داخل دشت بزرگ مشهد واقع شده است . بیشترین میزان افت سطح آب زیرزمینی در مناطق مرکزی و جنوب شرقی محدوده مورد مطالعه رخ داده است .

## بحث و نتایج:

در بررسی‌های انجام شده با تصاویر راداری SLC ماهواره سنتیل ۱ در رابطه با دشت مشهد ۵ تصویر به صورت دو به دو در نرم افزار SNAP مورد پردازش قرار گرفت و میزان فرونشست‌های ثبت شده برای هر دوره به ترتیب ۱۳ سانتی متر برای ۲۰۱۷-۲۰۱۸، برای دوره ۲۰۱۹-۲۰۱۸ حدود ۱۹ سانتی متر، ۱۵ سانتی متر برای دوره ۲۰۲۰-۲۰۱۹ و ۱۷ سانتی متر برای دوره ۲۰۲۰-۲۰۲۱ به دست آمده است (شکل ۳).



شکل ۳- تغییرات فرونشست از ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۳

پس از تهیه نقشه میزان فرونشست، به منظور اعتبارسنجی نتایج به دست آمده، از بازدید میدانی (شکل ۴) و اطلاعات ۱۶ حلقه چاه های پیژومتری مناطقی که فرونشست اتفاق افتاد، استفاده شد و ارتباط بین میزان افت آب های زیرزمینی با فرونشست منطقه تحلیل شده است.





شکل-۴ مشاهدات میدانی

می‌توان بیان کرد که طی سال‌های مذکور ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۸ بیشترین افت سطح آب در بخش مرکز و جنوب اتفاق افتاده است که مقدار آن بین ۸۷,۴ تا ۱۵۸/۲ متر می‌رسد که می‌تواند به دلیل افزایش تعداد چاه‌های عمیق و تخلیه از آب‌خوان نسبت به سایر قسمت‌های دشت باشد. این میزان افت با نقشه‌های فرونشست به دست آمده از تصاویر راداری در سال‌های مورد بررسی مطابقت نشان می‌دهد.

با تصاویر راداری پایین‌گذر ماهواره Sentinel-1A و با استفاده از نرم افزار SNAP تعیین شد و از داده‌های چاه‌های پیزومتری و بازدید میدانی به منظور صحت‌سنجی و تفسیر نتایج استفاده شد. میزان فرونشست در طول ۴ دوره آماری در منطقه مورد مطالعه ۶۴ سانتی‌متر به دست آمد. میزان فرونشست‌های ثبت شده هر دوره به ترتیب ۱۳ سانتی‌متر برای ۲۰۱۸-۲۰۱۷ و برای دوره ۲۰۱۹-۲۰۱۸ حدود ۱۹ سانتی‌متر، ۱۵ سانتی‌متر برای دوره ۲۰۲۰-۲۰۱۹ و ۱۷ سانتی‌متر برای دوره ۲۰۲۱-۲۰۲۰ میلادی به دست آمد. براساس نتایج به دست آمده بیشترین میزان فرونشست در مناطق مرکزی و جنوب شرق دشت مشهد (شمال غربی شهر مشهد) اتفاق افتاده است. سطح آب چاه‌ها در بازه زمانی ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۸ به بیشترین حد کاهش خود رسیده‌اند. میزان افت سطح آب در این بازه زمانی حداقل ۸۷/۴ متر و حداکثر ۱۵۸/۲۳ متر بوده است و بیشتر در مناطق مرکزی و جنوب شرقی رخ داده



است که متأثر از کاهش بارندگی، خشکسالی، کشت آبی در منطقه و فشار بیش از حد به منابع آب های زیرزمینی در این سال هاست.

مقایسه بین تحلیل های مستخرج از داده های نقاط چاه و تصاویر ماهواره ای نیز مؤکد رابطه بین پایین آمدن سطح آب های زیرزمینی و فرونشست زمین در منطقه مورد مطالعه است، به خصوص در روستاهای نومهن و چه که بیشترین میزان افت سطح آب زیرزمینی را دارد و در پهنه خطر فرونشست زیاد نیز قرار دارند. نتایج مطالعه باننایج صالحی متعهد و همکاران (۱۳۹۵) و قره چلو و همکاران (۱۴۰۰) که عامل اصلی فرونشست منطقه را برداشت بی رویه از آب های زیرزمینی عنوان کردند، هم خوانی دارد. ضروریست سازمان ها و نهادهای متولی با استفاده از نقشه پهنه بندی خطر فرونشست و با اتخاذ سیاست ها و برنامه ریزی های مناسب، پیش از وقوع بحران در صدد کاهش هرگونه آسیب به سکونت گاه های انسانی، جمعیت و زیرساخت های موجود در این مناطق باشند. باتوجه به اینکه عامل اصلی فرونشست در دشت مشهد بهره برداری بیش از حد آب های زیرزمینی است، بایستی مدیریت برداشت وجود داشته باشد. مدیریت برداشت شامل برداشت آب از بخش هایی از حوضه که خاک درشت دانه تر بوده و مشکل نشست زمین کمتر است. برای این منظور نیاز به شناخت دقیق تر اختصاصات زمین شناسی آبخوان است. همچنین الگوی کشت بهینه با در نظر گرفتن وضعیت اقلیمی و شرایط آب و خاک منطقه تهیه شود.

برداشت بی رویه از آب های زیرزمینی در کشور به منظور جبران کسری آب شرب، کشاورزی و صنعت، باعث شکل گیری و تشدید پدیده فرونشست بویژه در سال های اخیر شده است. گسترش این پدیده و هجوم آن به شریان ها و زیرساخت های شهری و بین شهری باعث شده مطالعات و اقداماتی در سطوح مختلف مراکز علمی و دستگاه های اجرایی در سال های اخیر صورت پذیرد. با این وجود، این پدیده از جنبه های مختلف از جمله تدقیق اندازه گیری نرخ فرونشست، تصویب و اجرای قوانین کارآمد جهت کاهش نرخ فرونشست و نهایتاً ارائه دستورالعمل های طراحی و راهکارهای اجرایی بهسازی، نیازمند مطالعات جامع، فرادستگاهی و ملی خواهد بود. از جمله معضلات اصلی در برخورد با این پدیده انجام اقدامات جزیره ای و مستقل در کلیه سطوح بوده بطوریکه این امر باعث شده اندک اقدامات انجام شده نیز تاکنون نتیجه قابل قبولی در کشور بدنبال نداشته باشد. لذا در این نشست در کنار پرداختن به علل پیدایش و وضعیت پدیده فرونشست در کشور تلاش می شود با بررسی قوانین موجود، در خصوص سیاست گذاری و وظایف دستگاه های مختلف در برخورد با این پدیده و مدیریت آن در قالب اقدام فرادستگاهی و ملی پرداخته شود

## سیاست گذاری و مدیریت پدیده فرونشست:

با عنایت به تاثیرات مخرب فرونشست که میتواند تمامی عرصه های ساخت و ساز، و مسائل اجتماعی، اقتصادی، زیست محیطی و غیره را تحت تاثیر قرار دهد بسیاری از کشورهای درگیر این پدیده از سالها قبل به فکر کنترل و مهار آن افتاده اند. در ادامه به اقدامات انجام شده در بعضی کشورها برای مقابله با این پدیده اشاره شده است. - در توکیو ژاپن، بر اثر برداشت بی رویه آب های زیرزمینی طی سالیان متمادی، این شهر با فرونشست شدیدی مواجه شد که این فرونشست در سال ۱۹۶۸ به اوج خود یعنی ۲۴ سانتیمتر در سال رسید. در آن سال ها هر روز ۵،۱ میلیون متر مکعب آب استخراج میشد. برای کنترل فرونشست، دولت ژاپن با اعمال محدودیت برای استخراج آب های زیرزمینی از طریق اجرای ضوابط سختگیرانه از جمله اجرای ضوابط و مقررات پمپاژ برای هزاران حلقه چاه، استفاده از تاسیسات جهت نفوذ آب باران به زمین، ارائه طرحهایی در خصوص ملاحظات محیط زیستی شامل استفاده از فاضلاب بازیافتی و استفاده و توسعه تصفیه خانه، توانست این پدیده را مدیریت نماید. در اثر این اقدامات، نرخ فرونشست تا دهه ۲۰۰۰ کند شد و به یک سانتی متر در سال رسید (ساتو و همکاران، ۲۰۰۶ -). ایالت های مختلف آمریکا از سالهای دور در معرض اثرات فرونشست ناشی از برداشت آب های زیرزمینی قرار داشته اند. در آنجا نیز با مدیریت منابع آب به مقابله با فرونشست زمین پرداخته اند. بدین منظور در مناطق دره سانتاک الراء، دره الس وگاس در نوادا و هوستن از تزریق آب سطحی به آبخوان ها استفاده شد. در شهر سنواکین کالیفرنیا آمریکا که اصلی ترین صنعت شان کشاورزی است، برای مقابله با فرونشست ۶۰ سانتی متری زمین در سال مقرر شد در کاشت محصولات انتخابی تجدیدنظر شود. یا در بخش هایی از شهر ویرجینیا هم که فرونشست زمین گسترش یافته بود مسئولان این شهر با معرفی پروژه تصفیه آب و استفاده مجدد از پساب آن و به جای استفاده از آب های زیرزمینی از آب های روی سطح زمین بهره بگیرند.

میدان نفتی Wilmington در جنوب کالیفرنیا نمونه دیگری از کنترل فرونشست است که توسط تزریق آب به چاه به این معضل واکنش نشان دادند است. طی این عملیات برای کاهش فرونشست در سال ۱۹۶۹ روزانه ۱۷۵۰۰۰ مترمکعب آب به زون نفتی تزریق شد و مساحت فرونشست از ۵۸ به ۸ کیلومتر مربع کاهش یافت (مایوگا و آلن، ۱۹۶۹)

- در کشور چین به دلیل استفاده بیش از حد از آب های زیرزمینی، فرونشست در برخی از شهرهای این کشور مانند شانگهای ایجاد شده است. از سال ۱۹۲۱ تا ۱۹۶۵، حداکثر نشست زمین تجمعی در مناطق شهری چین به ۶.۲ متر رسید. این فرونشست بزرگ منجر به خسارات اقتصادی زیادی برای شانگهای شده است. مقررات پیشگیری و کنترل فرونشست زمین شهرداری شانگهای در سال ۲۰۱۳ منتشر شد. ویژگی های آیین نامه ۲۰۱۳ شامل ترکیب شبکه پایش فرونشست و شبکه تشخیص آب زیرزمینی به دلیل اثرات برداشت از آب های

زیرزمینی بود. علاوه بر این، راه اندازی یک سیستم نظارت نیز در آیین نامه ۲۰۱۳ گنجانده شده است. برای کنترل فرونشست زمین، شانگهای سه منطقه کنترل فرونشست زمین را مشخص کرد که در آن تدابیر ویژه ای از جمله توقف برداشت از آب های زیرزمینی و تزریق آبهای مازاد روی سطح زمین به سفره های آب های زیرزمینی اجرا شده است. طی شش سال اثر بخشی این مقررات و مدیریت منابع آب در کاهش فرونشست مشاهده گردید (ژی چون و همکاران، ۲۰۱۹). -

در جاکارتای اندونزی فرونشست زمین با فازبندی مصرف آب، الزامی شدن ساخت چاه های نفوذی برای دریافت مجوزهای ساختمانی و اعمال مالیات بر منابع آب، کاهش داده شد. همچنین این موضوع شامل توسعه منبع تامین آب جایگزین برای کاربران صنعتی یا خانمایی مجدد مصرف کننده های بزرگ در خارج از ناحیه بحرانی بود (هسیبونا و همکاران، ۲۰۲۳). -

کلان شهر بانکوک در تایلند از سال ۱۹۵۰ شاهد بهره برداری گسترده از آب زیرزمینی بوده است. در سال ۱۹۷۷ قانون آب زیرزمینی تصویب شد و از سال ۱۹۷۸ صدور مجوز برای بهره برداری از آب زیرزمینی آغاز شد. بین سالهای ۱۹۸۴ تا ۲۰۰۴ بهای آب زیرزمینی در محدوده های بحرانی از ۳۵ به ۲۹۷/۵ دالر آمریکا به ازای هر مترمکعبافزایش یافت. علاوه بر این در سال ۲۰۰۴ بهای دیگری به عنوان بهای حفاظت آب زیرزمینی اعمال شد. نرخ گذاری در کنار گسترش آبرسانی عمومی سبب شد که مجموع برداشت از ۲۷۰۰ میلیون لیتر در روز در سال ۲۰۰۰ به ۱۵۰۰ میلیون لیتر در روز در سال ۲۰۰۵ کاهش یابد و نشست زمین نیز به شکل قابل ملاحظه ای کمتر شود. بهای آب زیرزمینی مطابق قانون آب زیرزمینی برای تحقیق و پیاده سازی اقدامات حفاظت آب زیرزمینی هزینه گردید (اورانوج و همکاران، ۲۰۱۱)

همانطور که اشاره شد در تمامی مناطقی که عامل فرونشست زمین افزایش برداشت آب و کاهش تراز آب زیرزمینی بوده سیاست گذاریها و راهکارها همگی به مدیریت منابع آب و کنترل برداشت از سفره های آب زیرزمینی منتج شده است. نکته ای که باید در موضوع مدیریت پدیده فرونشست مدنظر قرار گیرد اینست که هرچند تراکم لایه های زیرسطحی زمین تا بینهایت ادامه پیدا نمیکند اما باید توجه شود که با تراکم این لایه ها، عامل آبخوان های موجود از بین رفته و امکان بازیابی آنها به شکل فعلی امکانپذیر نخواهد بود و ضروری است توجه مسئولین امر به این نکته جلب شود که زمان بسیار محدودی برای کنترل فرونشست و نجات آبخوانهای کشور وجود دارد و هر روزی که میگذرد زمان غیرقابل جبران به لحاظ کنترل پدیده فرونشست خواهد بود.

در ایران سه دلیل عمده را میتوان به عنوان متهمان اصلی افزایش روزافزون فرونشست زمین به شمار آورد.

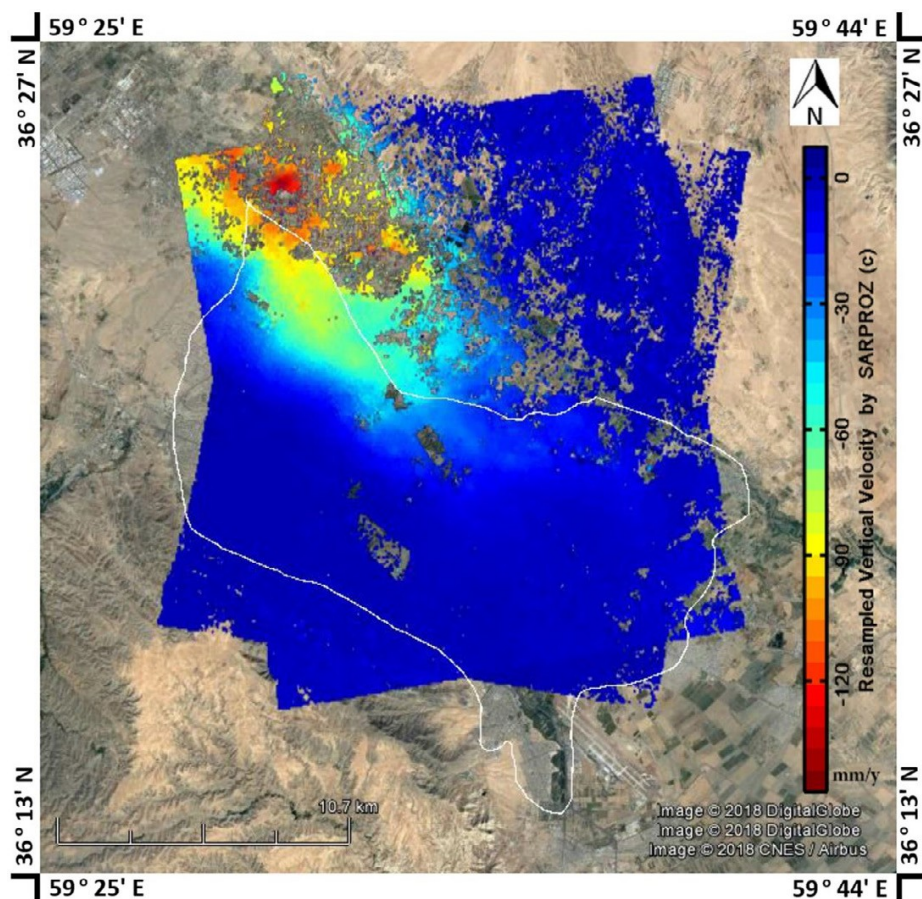
الف) کمبود قوانین جامع و تخصصی در بحث فرونشست، به صورتی که تمامی جنبه های مختلف این پدیده را مدنظر قرار دهد.

ب) اجرای نامناسب و سلیقه ای قوانین موجود و عدم نظارت بر تحقق و دستیابی به اهداف برنامه های تدوین شده

ج) ناهماهنگی بین دستگاه های مسئول در مدیریت واحد موضوع فرونشست و به صورت جزیره ای عمل کردن در بخش های مختلف

شهر مشهد بر روی رسوبات و مخروط افکنه حاصل از کشف رود و چند رودخانه فصلی و دائمی مانند وکیل آباد، طرقله و طرق قرار دارد ضخامت آبرفت در میانه ی دشت نسبت به سایر نقاط بیشتر است ولی در حاشیه ارتفاعات جنوبی و شمالی ضخامت آبرفت کمتر و سنگ کف بالاتر است. آبرفت دشت مشهد با شیب ملایمی از ارتفاعات اطراف به طرف مرکز و خط القعر دشت کشیده میشود و دارای ضخامتی متفاوتی در نقاط مختلف است و از حداقل چند متر در کناره ها تا بیش از ۲۵۰ متر در مرکز دشت گزارش شده است

بر اساس پژوهش (موسوی مداح) محدوده شهر مشهد را میتوان به دو قسمت غربی و شرقی تقسیم نمود که عمده قسمت شرقی را خاکهای ریزدانه تشکیل داده و با حرکت از شمال غرب به سمت جنوب شرق، دانه بندی خاک ریزدانه تر میگردد. در مجموع با افزایش عمق به زیر سطح آب زیرزمینی، دانه بندی خاک در اغلب قسمتهای محدوده شهر ریزدانه تر میشود. محدوده مرکزی شهر، خاک غالب در سطح، سیلت رس و ماسه دار میباشد که با رفتن به عمق درصد ماسه افزایش می یابد، اما تغییرات خاک هم در توالی قائم و هم به صورت جانبی زیاد است همچنین، محدوده شرقی و شمال شرقی شهر مشهد در سطح پوشیده از خاک ریزدانه است که به طرف عمق درصد سیلت آن افزایش یافته است. باید توجه نمود که عمق آب زیرزمینی در برخی نقاط بسیار پایینتر از ۴۰ متر است و بنابراین نیاز به داده های لوگهای عمیق ژئوتکنیکی وجود دارد. مقدار عمده بارش در دشت مشهد در فصلهای بهار و زمستان اتفاق میافتد ولی سفرهی آب زیرزمینی در فصول بارندگی بهقدر کافی تغذیه نمیشود که این امر با توجه به برداشت صورت گرفته، منجر به کاهش سطح آب زیرزمینی میگردد و این افت باعث فرونشست میگردد و در اثر بهره برداری های بی رویه از منابع آب زیرزمینی دشت مشهد، سطح آب زیرزمینی به تدریج پایین رفته است. در حال حاضر از مهمترین پیامدهای مخاطره آور فرونشست زمین در دشت مشهد، احتمال آسیب دیدگی خطوط لوله آب و گاز است. همچنین فرو چاله ها و ترک های ایجاد شده در اثر فرونشست، به محدوده شهری نیز نزدیک شده است



شکل ۵- نقشه نرخ فرونشست شهر مشهد

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



میتوان با استفاده از راهکارهای ذیل، فرونشست را متوقف کرد:

۱- تغییر سبک زندگی

۲- جمع آوری سیلاب ها

۳- هدایت جمعیت به سمت منابع آبی

۴- کاهش و متوقف کردن میزان برداشت آب از سفره های زیر زمینی

۵- ارتباط شهرهای حرارتی با فرونشست نیازمند مطالعات بیشتر

• در حال حاضر شهرداری ها از طریق به کارگیری اقدامات ویژه، کوشش می کنند تا ضمن حفاظت از منابع آبی محدود شهرها، بر حفظ و شادابی فضای سبز شهرها بیفزاید. برخی از اقدامات اجرایی در این حوزه شامل طراحی و اجرای شبکه آب خام به منظور آبیاری فضای سبز، اجرای شیوه های نوین آبیاری و الگوی سیستم های آبیاری بارانی و قطره ای در بوستان ها و فضای سبز حاشیه معابر و افزایش راندمان آبیاری و حذف شیوه های سنتی، تدوین برنامه های کاشت گونه های مقاوم به کم آبی و سازگار با شرایط اقلیمی شهرها به منظور بهره برداری کمتر از منابع آبی است.

• منابع آب های زیرزمینی و فضای سبز شهری در کلان شهر تهران که دارای آب و هوایی خشک و نیمه خشک است، مانند دو گوهر گرانبه است که باید از آنها محافظت کرد و برقراری توازن در این خصوص از اهداف مدیریت شهری در این دوره است که از طرفی با توسعه فضای سبز ریه های تنفسی شهر تقویت و از سوی دیگر با کاهش برداشت از آب های زیرزمینی از خطر فرونشست پیشگیری شود.

• در حال حاضر شهرداری تهران از طریق به کارگیری اقدامات ویژه، کوشش می کند تا ضمن حفاظت از منابع آبی محدود شهر تهران بر حفاظ و شادابی فضای سبز شهر تهران بیفزاید. برخی از اقدامات اجرایی در این حوزه شامل طراحی و اجرای شبکه آب خام به منظور آبیاری فضای سبز، اجرای شیوه های نوین آبیاری و الگوی سیستم های آبیاری بارانی و قطره ای در بوستان ها و فضای سبز حاشیه معابر و افزایش راندمان آبیاری و حذف شیوه های سنتی، تدوین برنامه های کاشت گونه های مقاوم به کم آبی و سازگار با شرایط اقلیمی شهر تهران به منظور بهره برداری کمتر از منابع آبی است.

• در شهر تهران مرمت و لایروبی قنوات شهر نیز مورد توجه است که در حال حاضر از ۱۱۰ قنات برای آبیاری فضای سبز شهر تهران استفاده می شود و به صورت مستمر لایروبی می شوند. علاوه بر این ابلاغ شیوه نامه تعمیر و نگهداری سیستم ها و تجهیزات آبیاری و شبکه آبرسانی توسط پیمانکاران با هدف جلوگیری از اتلاف آب به



دلیل فرسودگی و عدم بهره برداری صحیح، ترغیب به استفاده و بکارگیری از سیستم های هوشمند آبیاری باه منظور افزایش راندمان و کاهش نیروی انسانی، کنتورگذاری چاه ها و هوشمندسازی به منظور نظارت دقیق و کنترل میزان مصرف (۴۸ چاه در چند ماه اخیر هوشمندسازی شده است)، اجرای مخازن ذخیره سازی روان آبهای سطحی و نزولات آسمانی به منظور مدیریت مصرف (تعداد ۶۵۱ مخازن با حجم سرپصد میلیون و ۳۰۰ هزار متر مکعب)، برنامه ریزی به منظور احداث تصفیه خانه های آب های سطحی و همکاری برای احداث تصفیه خانه های شهرک های مسکونی به منظور بهره برداری کمتر از منابع آب های زیرزمینی در دستور کار قرار دارد.

• اقدام بعدی کاهش سطوح چمن کاری و جایگزینی گیاهان با نیاز آبی بالا با گیاهان سازگار و مقاوم است.

نظر به مصوبه شورای شهر تهران، سازمان بوستان ها و فضای سبز شهر تهران مکلف شده تا در سال های اخیر مساحت قال توجهی از سطوح چمن کاری را کاهش دهد که در مجموع منجر به صرفه جویی ۷.۶ میلیون مترمکعب برداشت از منابع آبی خواهد شد و برنامه ۵ ساله ای به منظور کاهش سط چمن از سال ۱۴۰۵ - ۱۴۰۱ تنظیم شده است. در نهایت استفاده از گونه های درختی و درختچه ای مقاوم و سازگار با شرایط آب و هوایی تهران به عنوان راهکار پایدار در نظر گرفته شده است.

• برخی گونه های درختی و درختچه ای مقاوم به خشکی شناسایی شده عبارتند از اقااقیا- توت- زبان گنجشک - کاج تهران - سروخمره ای - سرو نقره ای - کاج توپی - کاج بروسیا- زرشک - سنجد - ارس - پیراکانتا.

• انواع درختچه ها و پیچ های زینتی مقاوم یا نسبتا مقاوم به خشکی نیز شامل زرشک قرمز - ابریشم مصری - توری سه رنگ - بودلیا- دم موشی - طاووسی ختمی درختی - اسپیره- انار گل - بداغ - شیر خشت - گل محمدی - مریم درختی - آبشار طلایی - ماهونیا- پیچ برفی- به ژاپنی- نسترن کوهی - درختچه پر - ذغال اخته - سماق بومی - کلماتیش - شاه پسند درختی است.

### **نگاه مبتنی بر آمایش سرزمین:**

آمایش سرزمین مدیریت خردمندانه و عالمانه فضا و نگرشی جامع به برنامه ریزی و مدیریت بهینه بهره برداری پایدار از سرزمین است. کاربرد آمایش سرزمین برای شناخت و رعایت قابلیت و استعداد زمین و منابع موجود در آن برای کشورهایی که در صدد حرکت در مسیر توسعه پایدار هستند اجتناب ناپذیر است. آمایش سرزمین راه حلی بهینه برای تقلیل سوءتخریب محیط زیست است و مجموعه اقدامات هماهنگ به منظور چیدن مردم، فعالیت ها، تجهیزات و سایل ارتباطی در پهنه سرزمین است. آموزش عمومی مردم و اطلاع رسانی درباره اثرات نامطلوب فرونشست زمین میتواند در ایجاد آگاهی و پای بندی به اقدامات جلوگیری موثر باشد.

از مهمترین ویژگی های آمایش سرزمین می توان به مواردی چون نگرش همه جانبه به مسائل، آینده

نگری دورنگری، و نتیجه گیری های مکانی از محتویات استراتژی توسعه ملی و عامل پیوند برنامه های کلان و برنامه های منطقه ای اشاره کرد. با این رویکرد موضوع مخاطرات محیطی و از جمله مهمترین آنها یعنی فرونشست باید با نگاه آمایشی نگریسته شود و خوشبختانه در سند ملی آمایش سرزمین در بند ۱۰۶ ذیل عنوان مدیریت یکپارچه کانونهای بحرانی محیط زیستی به موضوع مدیریت مکانهای تحت تاثیر فرونشست اشاره شده است.

**برنامه هفتم توسعه آخرین برنامه از سند چشم انداز ۱۴۰۴ و اولین برنامه از سند آمایش سرزمین ۱۴۲۴ است.**

شایسته است موضوع فرونشست در رئوس این برنامه گنجانده شود. برای تحقق این مهم ابتدا باید نقشه جامع و پهنه بندی دقیق مخاطره فرونشست برای تمامی جغرافیای کشور تهیه شود و مشخص گردد وضعیت این پدیده در هر نقطه به چه صورت است. سپس استراتژی مقابله با فرونشست متناسب و خاص هر منطقه تدوین و به صورت قانون لازم الاجرا ابلاغ شود. در واقع مقابله با فرونشست و رعایت الزامات آن باید هم متولی داشته باشد و هم قانون با ضمانت اجرایی بالا و هرگونه عملیاتی که باغ فشار و تنش بر خاک شده و فرونشست را شدت می بخشد ممنوع شود.

برخی از پیامدهای فرونشست زمین در کشور را علاوه بر تلفات جانی، شامل؛ مسائل و خسارات اقتصادی، تأثیر در زیر ساخت های حمل و نقل و شریان های حیاتی، پیامدهای امنیتی -سیاسی و زیست محیطی، تشدید آسیب پذیری خطر زمین لرزه و در نهایت مرگ آبخوان دشت تهران و امنیتی شدن بحران آب است. بر اساس شواهد میدانی، سیل گیر شدن زمین ها و خسارت های سازه ای وارده بر ساختمان ها، جاده ها، بزرگراه ها، راه آهن، سازه های کنترل کننده سیلاب، شبکه های انتقال فاضلاب شهری، شبکه های توزیع برق، گاز و دکل های برق و شکل گیری ترک ها و شکاف های زمین از مهم ترین اثرات ناشی از فرونشست است.

• شایسته است که به پدیده فرونشست زمین به عنوان یص مسأله ملی نگریسته شود و در برخورد با این پدیده باید سه اصل پیش بینی، تشخیص و شناسایی و پایش مورد توجه قرار گیرد و با انسجام مردمی و دولتی بر پایه اصول علمی از میزان گسترش فرونشست ها کاست و مانع از مرگ آبخوان ها شد و به آمایش بهینه سرزمین کمک کرد

حل مسأله فرونشست به شدت به آمایش سرزمین؛ توزیع درست جمعیت و مدیریت منابع و مصرف آب در

ایران مربوط است. فرونشست می تواند با ایجاد ناپایداری و آسیب به ساختمان هایی که در محدوده نشست ساخته شده اند، به افزایش آسیب پذیری این ساختمان ها در زلزله های احتمالی بیانجامد.

• در نهایت اینکه؛ مدیریت درست و منطقی مصرف آب و استفاده از منابع زیرزمینی نقش مهمی در کنترل پدیده فرونشست زمین دارد و برای حل مسأله فرونشست زمین در کشور نیازمند تدوین برنامه جامع فرونشست زمین در برنامه های توسعه کشور، افزایش هماهنگی میان دستگاه ها و استقرار نظام جامع مدیریت بحران است.

پدیده فرونشست بر خلاف بسیار دیگر مخاطرات طبیعی بسیار خزننده و تدریجی و در گذر زمان ایجاد شده و راهکار مدیریت آن نیز به ناچار زمان بر می باشد.

• پدیده فرونشست یکی از پیامدهای ناشی از برداشت بی رویه منابع آب زیر زمینی است و راهکار مدیریت آن نیز در مدیریت منابع آب می باشد.

• هرچند که پدیده فرونشست ماهیتی مستقل ندارد و خود زائیده سوء مدیریت و بهره برداری نادرست از منابع آب است، ولی خود به یک چالش مخاطره آمیز تبدیل شده که نیاز است تا نسبت به مخاطرات آن، تدابیری با فوریت بالا اندیشیده شود.

• اطلاعات لازم برای شناخت پدیده فرونشست در طول دو دهه گذشته و به صورت سیستماتیک دست کم سه بار در سراسر کشور تولید شده و همچنین اطلاعات با جزئیات اجرایی در دشت های با اولویت بالا از نظر خطر پذیری تولید شده است. لیکن با توجه به تغییر پذیری پدیده و رخداد های زیر سطحی نیاز است تا داده های بیشتری به ویژه از زیر زمین در دسترس قرار گیرد که مستلزم توسعه مطالعات کنونی می باشد.

• در حال حاضر دست کم دو سوم از آبخوان های کشور درگیر مسأله فرونشست است و در باقی آبخوان های محتوی آب شیرین که در استانهای شمالی کشور گسترش دارند (به ویژه در استان گلستان) نیز فرونشست در حال ظهور است.

• اجرای طرح احیاء و تعادل بخشی و برنامه های کارگروه ملی سازگاری با کم آبی تنها راه منطقی مدیریت فرونشست زمین است.

• اولویت های دشت های فرونشستی با توجه به مولفه های فنی، اقتصادی، اجتماعی و مخاطراتی در حال حاضر شامل استان های اصفهان،

تهران، البرز، فارس، خراسان رضوی، کرمان و سمنان می باشند. البته اکیدا پیشنهاد می شود تا ضمن توجه ویژه به مراکز جمعیتی بزرگ و کلان شهرهای تحت تاثیر در سطح ملی، برنامه ها با نظارت استاندارها در همه استان ها و ضمن معرفی اولویت های هر استان که در این گزارش جزئیات آن آمده، پیگیری شود.

• فضای اطلاع رسانی و تصمیم گیری در این زمینه باید منسجم و در قالب کارگروه باشد. چراکه پدیده فرونشست جنبه های متعددی را در بر می گیرد و زمینه های تخصصی مختلف باید در یک نهاد یکپارچه شوند. مدیریت این پدیده همکاری و تعامل مستمر دستگاه های اجرایی و علمی را می طلبد که در صورت نیاز می توان از ظرفیت های دستگاه های غیر عضو در کارگروه نیز به عنوان مدعو استفاده نمود.

**متناسب سازی الگوی کشت با وضعیت اقلیمی و جغرافیایی و عدم کشت محصولات آب بر در مناطق پرریسک؛**

• ۱۲ میلیارد متر مکعب کاهش برداشت از منابع آب سطحی و زیرزمینی پیگیری تحقق

برنامه های سازگاری با کم آبی استانها؛

• جلوگیری از هر گونه بارگذاری اضافی بر منابع آب کشور در برنامه هفتم توسعه کشور، توقف هر گونه توسعه افقی کشاورزی (دیم و آب ی) و تامین هر گونه توسعه مصرف آب از طریق بازچرخانی یا مدیریت مصرف آب توسط بهره برداران آب؛

• ممنوعیت کف شکنی چاه ها حداقل برای یک دوره ۵ ساله؛

• لغو ممنوعی تهای تبادل آب بین بخشهای مصرف کننده آب به خصوص بخشهای کشاورزی و صنعت و راهاندازی بازارهای آب برای ارتقای بهره وری استفاده از آب و جلوگیری از بارگذاری جدید بر منابع آب زیرزمینی؛

• ساماندهی پروانه های بهره برداری از آب های سطحی (از دهه ۴۰ تاکنون در قوانین متعدد به عنوان وظیفه برای وزارت نیرو در نظر گرفته شده ولی محقق نشده است)؛

• تسهیلگری در جریان آزاد اطلاع رسانی؛

• ارتقاء سطح مشارکت عمومی (پای هریزی دموکراسی آبی - حمایت از فعالیت کنشگران حوزه های آب

و محیط زیست)؛

• ایجاد نظام مطلوب تقسیمات کشوری ( توجه به مسائل حوزه آب در برنامه ریزی تقسیمات کشوری ؛

• هماهنگی و هدایت استانداران برای تحقق سیاست های عمومی و برنامه های دولت ( مثال دولت

سیزدهم و برنامه های سازگاری با کم آبی )؛

• اجرای سیاست های عمومی دولت به منظور پیشبرد برنامه های اجتماعی، اقتصادی و عمرانی؛

• هماهنگی در جهت توسعه امور عمرانی شهرها و روستاها و هدایت و پشتیبانی فنی - اجرایی

شهرداری ها و دهیار ی ها و نظارت بر اجرا ی قوانین و مقررات مربوط به آنها ؛

• برنامه ریزی و اعمال مدیریت در جهت رفع بحرانهای ناشی از حوادث طبیعی و سوانح غیرمترقبه.

کاهش بهره برداری از منابع آب زیرزمینی به ویژه در مناطقی که با افت زیاد مواجه هستند.

• جلوگیری از برداشت شن و ماسه در مناطق بالادست و در داخل محدوده فرونشست به علت اثر منفی این

برداشت ها در تغذیه سفره های آب زیرزمینی.

• پایش پی سازه های مهم شریانهای حیاتی در پیرامون و داخل محدوده فرونشست تا زمان کنترل این پدیده

در جهت کاهش مخاطرات ناشی از تغییرات ناگهانی و تخریب شریانهای حیاتی.

• تدوین برنامه جامع فرونشست زمین در برنامه ههای توسعه کشور و افزایش هماهنگی میان دستگاه ها و

استقرار نظام جامع مدیریت بحران.

• از زه آب های شهری نیز برای تغذیه آبخوان ها بهره برداری شود و این موضوع به ویژه باید از طریق

مسیل ها و آبراهه ها انجام شود که به اشتباه آنها را به صورت کانال های غیرقابل نفوذ درآورده شده اند.

• اصلاح روش های مدیریت منابع آب و بالابردن بهره وری آب در کشاورزی و اجرای برنامه هایی برای

افزایش راندمان آبیاری در بخش کشاورزی با استفاده از روش های علمی و مدرن آبیاری به منظور

صرفه جویی در مصرف آب، کنترل و استفاده بهینه از منابع آب های سطحی موجود، مطالعه و اجرای

طرح های آبخوان داری و غیره راهکارهایی برای تعادل آبخوان ها محسوب می شوند.

• پایش پدیده فرونشست زمین با استفاده از روشهای ترازیابی دقیق، سامانه تعیین موقعیت جهانی و

تکنیک تداخل سنجی راداری.

• آمایش سرزمین؛ توزیع درست جمعیت و مدیریت منابع و مصرف آب در کشور و کلا نشهرها.

• فرونشست زمین یک پدیده دائمی و غیرقابل بازگشت است، اما باید با ثابت نگهداشتن افت

آبخوان ها، با انجام اقدامات مذکور مانع از آسیب و تخریب سازه ها و تأسیسات شهری شد.

**-کنترل و مدیریت مصرف آب :** تغییر الگوی مصرف آب به سمت روشهای بهینه میتواند به حفظ آب زیرزمینی و جلوگیری از فرونشست زمین کمک کند .این شامل بهبود کارآیی سیستم های آبیاری، استفاده از روش های صرفه جویی در استفاده از آب و ایجاد آب های جایگزین مانند بازیافت آب است.

**حفظ منابع طبیعی :** حفظ منابع طبیعی نظیر جنگلها، باتلاقها و سایر زیستگاهها میتواند به جلوگیری از فرونشست زمین کمک کند .احداث مناطق حفاظت شده و اجرای قوانین سختگیرانه در مورد تخریب محیط زیست میتواند از نابودی و آسیب دیدن منابع طبیعی جلوگیری کند.

**استفاده از تکنولوژی های مدرن :** استفاده از تکنولوژیهای مدرن در احداث ساختمان ها و زیرساخت ها میتواند به جلوگیری از فرونشست زمین کمک کند .مثلاً استفاده از سیستم های ارتفاع سنجی *GPS* در ساخت و سازها میتواند دقت بیشتری در تسطیح و اجرای آنها ایجاد کند.

**آموزش و اطلاع رسانی :** آموزش عمومی مردم و اطلاع رسانی درباره اثرات نامطلوب فرونشست زمین میتواند در ایجاد آگاهی و پایبندی به اقدامات جلوگیری موثر باشد .این شامل آموزش در مورد روشهای صرفه جویی در مصرف آب، حفظ منابع طبیعی و مدیریت منابع است.

**ارزیابی و نظارت مداوم :** ارزیابی و نظارت مداوم بر فعالیت های مختلف میتواند به تشخیص مشکلات زمین شناسی و زمین شناسی فرونشستی کمک کند .این شامل انجام مطالعات کامل زمین شناسی، نظارت بر نقاط مستعد فرونشست زمین و ارایه راهکارهای مناسب برای جلوگیری از آن است.

هرچند که جلوگیری کامل از فرونشست زمین ممکن نیست، اما با بهره‌گیری از راهکارهای مناسب و پیروی از اصول بهینه سازی، میتوان از حداقل سوءتاثیر فرونشست زمین بر محیط زیست و جامعه جلوگیری کرد .برای اجرای این راهکارها، همکاری بین دولت، سازمان های مردم نهاد و جامعه بسیار حائز اهمیت است.



## نتیجه گیری

## بایدها و نبایدها

| بایدها                                                                                                                                               | نبایدها                                                                                                                                                                                                                                      |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ارتقاء آگاهی عمومی                                                                                                                                   | قانون گذاری بدون آگاهی                                                                                                                                                                                                                       |
| اصلاح قوانین موجود آب و مالکیت آن و ارزش گذاری واقعی بر آب و لحاظ آن در طرح های توجیهی اقتصادی (حتی به عنوان یارانه دولتی)                           | اعمال سلیقه ای، سیاسی و محلی قوانین مربوط به آب                                                                                                                                                                                              |
| طراحی زنجیره تولید مبتنی بر ارتقاء عملکرد بهره وری آب                                                                                                | کشاورزی ناکارآمد و نامتناسب با منابع آب موجود                                                                                                                                                                                                |
| اجرای سریع طرح احیا و تعادل بخشی به عنوان سند بالادستی ملی                                                                                           | در نظر گرفتن آب و چاه آب صرفاً بعنوان دارایی شخصی                                                                                                                                                                                            |
| اعمال محدودیت شدید و توقف برداشت در نواحی بحرانی                                                                                                     | حفر چاه جدید و یا کف شکنی                                                                                                                                                                                                                    |
| شناسایی زیرساختهای تحت تاثیر و پهنه بندی ریسک، خطر و نواحی بحرانی فرونشست                                                                            | مطالعه و اجرای طرح های عمرانی مهم کشور بویژه سازه های خطی مانند راه آهن و خطوط انتقال نفت، گاز، آب و برق و ... و زیرساخت های کلیدی (نیروگاه، پالایشگاه، واحدهای صنعتی و ...) و مراکز جمعیتی (شهری و روستایی) بدون توجه به پدیده فرونشست زمین |
| استقرار سامانه ملی پایش مولفه های تاثیرگذار و تاثیرپذیر از فرونشست (سطح آب زیرزمینی، سطح زیر کشت، برداشت از منابع، نرخ فرونشست، بیلان دوره ای و ...) | برداشت آب از دشت بدون در نظر گرفتن ورودی و بیلان دشت                                                                                                                                                                                         |
| اطلاع رسانی برخط                                                                                                                                     | سختگیری بی مورد در رابطه با اشتراک داده های موجود در دستگاه های مختلف                                                                                                                                                                        |
| جامع نگری و ملی نگری همراه با مطالعه و اجرای طرح مدیریت آبخوان (چرخه هیدرولوژی) برای هر دشت بصورت جداگانه باتوجه به مولفه های محلی                   | کلی گویی و کلی نگری و ارائه پیشنهادهای عمومی بدون توجه به شرایط اقتصادی، اجتماعی و محیطی هر دشت                                                                                                                                              |
| تبیین زیر ساخت های قانونی و اجرایی برای مدیریت متمرکز                                                                                                | مدیریت جزیره ای                                                                                                                                                                                                                              |

# نتیجه گیری

## ماتریس اولویت بندی مسایل

| اولویت بالاتر                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | اولویت کمتر                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>۱- اجرای سریع طرح احیا و تعادل بخشی به عنوان سند بالادستی ملی</p> <p>۲- اعمال محدودیت شدید و توقف برداشت در نواحی بحرانی</p> <p>۳- شناسایی زیرساختهای تحت تاثیر و پهنه بندی ریسک، خطر و نواحی بحرانی فرونشست</p> <p>۴- توقف حفر چاه جدید و یا کف شکنی</p>                                                                                                                          | <p>۱- ارتقاء آگاهی عمومی</p> <p>۲- طراحی زنجیره تولید مبتنی بر ارتقاء عملکرد بهره وری آب</p> <p>۳- اطلاع رسانی برخط</p> <p>۴- استقرار سامانه ملی پایش مولفه های تاثیرگذار و تاثیرپذیر از فرونشست (سطح آب زیرزمینی، سطح زیر کشت، برداشت از منابع، نرخ فرونشست، بیلان دوره ای و ...)</p> <p>۵- کشاورزی ناکارآمد و نامتناسب با منابع آب موجود</p> <p>۶- اعمال سلیقه ای، سیاسی و محلی قوانین مربوط به آب</p>                                                                                                                          |
| <p>۱- مطالعه و اجرای طرح های عمرانی مهم کشور بویژه سازه های خطی مانند راه آهن و خطوط انتقال نفت، گاز، آب و برق و ... و زیرساخت های کلیدی (نیروگاه، پالایشگاه، واحدهای صنعتی و ...) و مراکز جمعیتی (شهری و روستایی) بدون توجه به پدیده فرونشست زمین</p> <p>۲- برداشت آب از دشت بدون در نظر گرفتن ورودی و بیلان دشت</p> <p>۳- تبیین زیر ساخت های قانونی و اجرایی برای مدیریت متمرکز</p> | <p>۱- پرهیز از قانون گذاری بدون آگاهی</p> <p>۲- سختگیری بی مورد در رابطه با اشتراک داده های موجود در دستگاه های مختلف</p> <p>۳- پرهیز از مدیریت جزیره ای</p> <p>۴- اصلاح قوانین به سمت جلوگیری از تبدیل آب و چاه آب صرفا بعنوان دارایی شخصی</p> <p>۵- اصلاح قوانین موجود آب و مالکیت آن و ارزش گذاری واقعی بر آب و لحاظ آن در طرح های توجیهی اقتصادی (حتی به عنوان یارانه دولتی)</p> <p>۶- جامع نگری و ملی نگری همراه با مطالعه و اجرای طرح مدیریت آبخوان (چرخه هیدرولوژی) برای هر دشت بصورت جداگانه باتوجه به مولفه های محلی</p> |

| سیاست                           | هدف                                                                                                                                               | اقدام                                                                                                            | پروژه                                                                                                                                                                                            | دستگاه اجرایی                                                                                                                                                                                       |
|---------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ۱ ارتقاء آگاهی عمومی            | آموزش مستمر نسبت به موضوع آب و فرونشست در سطوح مختلف تحصیلی از مقطع ابتدایی تا دانشگاه و فرهنگسازی عمومی مردم با تاکید بر جوامع تحت تاثیر اثرگذار | آموزش                                                                                                            | گنجاندن یک بخش در دروس مدرسه تا دانشگاه                                                                                                                                                          | وزارتخانه های آموزش و پرورش - علوم، تحقیقات و فناوری                                                                                                                                                |
|                                 |                                                                                                                                                   | تبلیغ                                                                                                            | اطلاع رسانی رسانه ملی<br>اطلاع رسانی در سطح شهر / روستا / چاده                                                                                                                                   | سازمان صدا و سیما<br>وزارتخانه های کشور- راه، مسکن و شهرسازی                                                                                                                                        |
| ۲ اقتصاد و مالکیت آب            | ارزشگذاری واقعی بر روی آب با توجه به موقعیت جغرافیایی و اجتماعی و هدایت جامعه به سمت مالکیت مشاع، بهره برداری تعاونی و مدیریت شورایی آب           | افزایش بهره وری از واحد حجم آب                                                                                   | طراحی زنجیره تولید                                                                                                                                                                               | وزارتخانه های جهاد کشاورزی- صنعت، معدن و تجارت                                                                                                                                                      |
|                                 |                                                                                                                                                   | مالکیت آب                                                                                                        | تشکیل بانک آب و ارزشگذاری بر اساس موقعیت جغرافیایی                                                                                                                                               | وزارتخانه های نیرو- جهاد کشاورزی- اقتصاد و دارایی                                                                                                                                                   |
|                                 |                                                                                                                                                   | طرح تعادل بخشی                                                                                                   | تعادل بخشی منابع آب زیرزمینی                                                                                                                                                                     | وزارت نیرو                                                                                                                                                                                          |
| ۳ خروج از بحران یا مدیریت بحران | مدیریت بحران                                                                                                                                      | تنفس و احیاء                                                                                                     | خاموشی اجباری                                                                                                                                                                                    | وزارت نیرو                                                                                                                                                                                          |
|                                 |                                                                                                                                                   | شناسایی زیرساختهای تحت تاثیر                                                                                     | شناسایی زیرساختهای ارتباطی، مسکونی، اقتصادی، صنعتی، انرژی، آب و ... تحت تاثیر یا در معرض خطر تجارت- نیرو- نفت                                                                                    | وزارتخانه های راه، مسکن و شهرسازی- کشور- صنعت، معدن و                                                                                                                                               |
|                                 |                                                                                                                                                   | پهنه بندی خطر فرونشست                                                                                            | سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                     |
| ۴ پایش و ارزیابی مستمر          | پایش مستمر مولفه های تاثیر گذار بر پدیده فرونشست و تهیه گزارش های دوره ای به منظور سنجش تاثیرگذاری سایر سیاست ها                                  | پایش مستمر مولفه های تاثیر گذار بر پدیده فرونشست و تهیه گزارش های دوره ای به منظور سنجش تاثیرگذاری سایر سیاست ها | سامانه برخط نراز اب زیرزمینی<br>تکمیل شبکه پیزومتر در دشت های کشور<br>پایش فصلی کیفیت آب<br>پایش فصلی فرونشست دشت ها<br>پایش فصلی سطح زیر کشت<br>پایش فصلی الگوی کشت<br>پایش سالانه ترکیب اشتغال | وزارت نیرو<br>وزارت نیرو<br>وزارت نیرو<br>سازمان نقشه برداری کشور<br>وزارتخانه جهاد کشاورزی<br>وزارتخانه جهاد کشاورزی<br>وزارتخانه های جهاد کشاورزی- صنعت، معدن و تجارت - تعاون، کار و امور اجتماعی |
|                                 | اطلاع رسانی بر خط                                                                                                                                 | پایگاه بر خط داده ها                                                                                             | سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                     |

**شهرداری** موظف است به منظور افزایش ایمنی و تاب آوری شهر در مقابل مخاطرات زمین، اقدامات زیربنایی را با همکاری سازمان مدیریت بحران کشور و سازمانها و دستگاههای متولی از جمله سازمان زمین شناسی، سازمان نقشه برداری و مؤسسه ژئوفیزیک به انجام رساند:

- انطباق مستمر نقشه گسلهای شهر بر روی طرح تفصیلی و تکمیل اطلاعات پایه مثل نرخ لغزش گسل ها
- تهیه و پیاده سازی نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش، پهنه بندی خطر فرونشست و پهنه بندی ژئوتکنیکی شهر بر روی طرح تفصیلی
- پیاده سازی نقشه جامع تونلهای زیرسطحی و تأسیسات شهری و خطهای انتقال سوخت بر روی طرح تفصیلی و شناسایی محدوده های خطرپذیر بر مبنای ترکیب اطلاعات با بند ۱ و ۲

- کنترل انطباق ضوابط و محدودیتهای کاربری و ساخت و ساز در پهنه های خطرپذیر و حریمهای بند ۱ تا ۳ و در حریم های رودخانه ها، مسیل ها، کانال ها و قنوات مطابق اسناد و مقررات ملی ساختمان و ضوابط شورای عالی شهرسازی و معماری و تعریف کاربریهای کم تراکم در پهنه های مزبور در فرایند بازنگری طرح تفصیلی
- همکاری با سازمان های متولی جهت تعیین ساز و کار تغییر کاربری و جابجایی ساختمان های حساس و با اهمیت بسیار زیاد واقع در پهنه های گسل

### گالری تصاویر:



شکل ۶- فرونشست در خیابان کلاهدوز مشهد





شکل ۷- فرونشست در چند متری خط راه آهن مشهد- تهران



فریزی مشهد



شکل ۸- آسیب فرونشست به دکل های برق و ساختمان ها در فریزی مشهد



شکل ۹- فرونشست در چهارراه دانش مشهد





شکل ۱۰- یکصد کیلومتر مربع از دشت مشهد در شرایط فوق بحرانی فرونشست قرار دارد

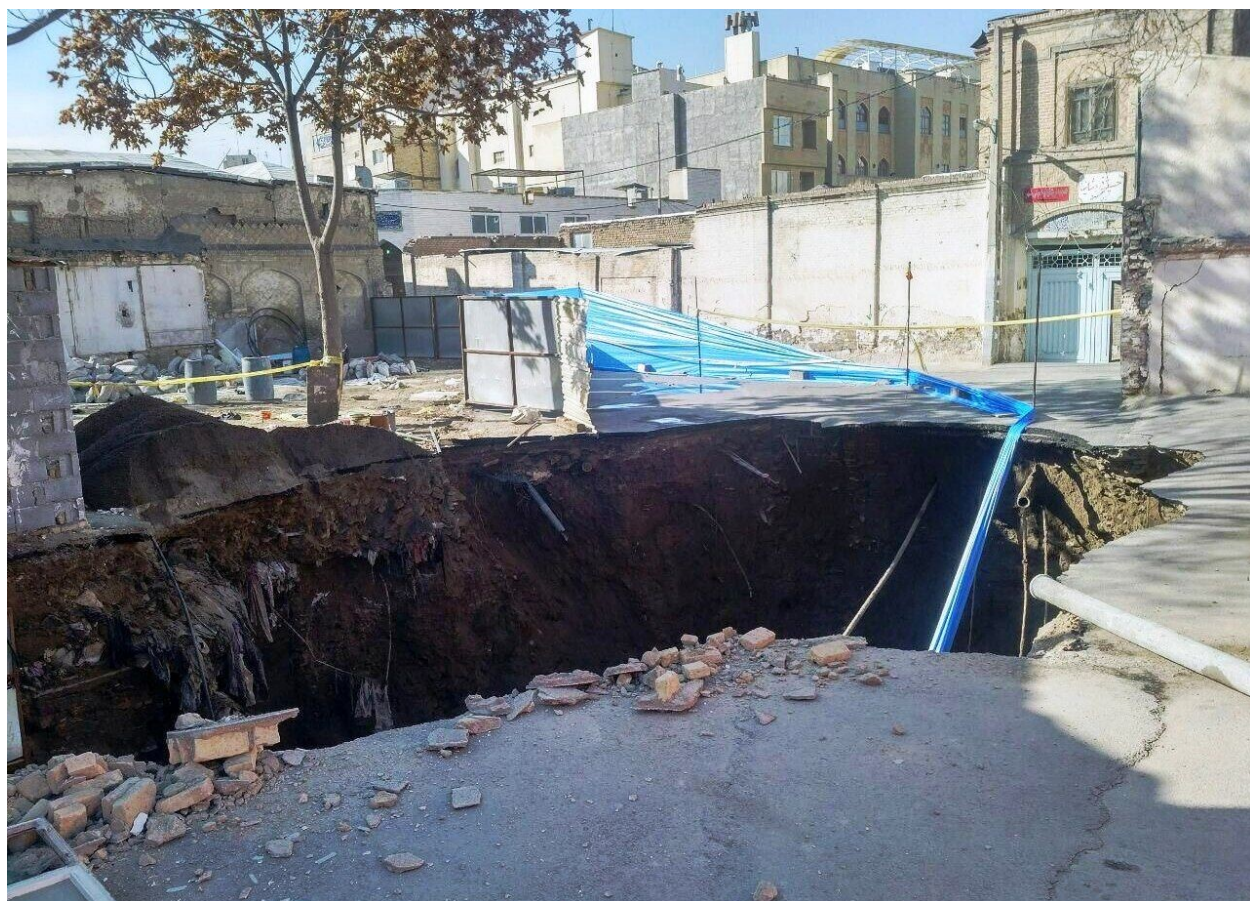


شکل ۱۱- فرونشست در چهارراه ساجدی مشهد



شکل ۱۲- فرونشست در چهارراه دانش مشهد





شکل ۱۳- فروچاله ناشی از فرونشست در خیابان شهید اندرزگو مشهد و تخلیه و تخریب ساختمان ها





شکل ۱۵- فرونشست در بیش از ۳۰۰ دشت کشور قطعی است

## مراجع اصلی:

۱- برآورد میزان فرونشست زمین با استفاده از تکنیک تداخل سنجی راداری و تغییرات تراز آب زیرزمینی مطالعه موردی: دشت مشهد( دکتر سمیه عمادالدین ۱\* ، زهرا نظری گزیک)

۲- پایش فرونشست خط راه آهن تهران با استفاده از تکنیک اینسار و مشاهدات زمین جلیل پیری، اسلام جوادنیا\*

۳- بررسی میزان فرونشست در محدوده‌های از دشت مشهد -توس با استفاده از تکنیک

Dlnsar دلارام- فتوحی- سالاری

۴- اندازه گیری میزان فرونشست زمین در شهر توریستی شاندیز خراسان رضوی

و اثر آن بر ژئو مورفوسایتهای منطقه عابدینی-گزیک

۵- بررسی اثر افت آب های زیر زمینی بر فرونشست زمین مطالعه موردی :شهرستان چناران

موسی عابدینی\* ۱ ، زهرا نظری گزیک ۲

۶- بررسی و ارزیابی عوامل موثر بر فرونشست زمین و نقش وزارت کشور در حل این معضل گزارش نشست تخصصی شماره ۲۹ گروه مطالعات عمران، توسعه و مدیریت شهری

