



انجمن شرکت های ملی، مهندسی و مشاوره ای
طراحی و پژوهش



انجمن شرکت های ملی، مهندسی و مشاوره ای
طراحی و پژوهش

ایران رکورددار فرونشست زمین در جهان

- جدول ۱: مشخصات تصاویر راداری مورد استفاده ۷
- شکل ۱: مراحل انجام کار در نرم افزار SNAP برای محاسبه فرونشست ۷
- منطقه مورد مطالعه ۸
- بحث و نتایج ۱۰
- انواع فرونشست زمین و مخاطرات: ۱۲
- الف- فروریزش ناشی از آب شستگی: ۱۳
- ب- فروریزش ناشی از انحلال سنگهای کربناتی و انحلال پذیر: ۱۴
- سیاست گذاری و مدیریت پدیده فرونشست: ۱۵
- گالری تصاویر ۱۸



انجمن شرکت های ملی، مهندسی و مشاوره
خراسان و شمال

فرونشست ، بحران دهان گشوده در استان خراسان رضوی



در دهه اخیر فرونشست به عنوان یک مخاطره ژئومورفیک در بخش وسیعی از دشت های ایران از جمله دشت مشهد به عنوان یکی از دشت های 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 1A 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 (جانبا ز فومنی 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 آبخوان 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 ویژگی های خاک و سنگ شود. در ایران آب زیرزمینی منبع اصلی تأمین آب در بسیاری از مناطق است، به علاوه 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 می شود. افزایش تنش و فشار منجر به فشردگی و در نتیجه فرونشست زمین می شود. متأسفانه شدت فرونشست در دشت های ایران، دست کم ۹۰ برابر بیشتر از بحرانی ترین شرایط در کشورهای توسعه یافته جهان است. نرخ فرونشست سالانه چهار میلی متر در کشورهای پیشرفته بحرانی قلمداد می شود، این در حالی است که در سال ۱۳۸۵، نرخ فرونشست در کشور ۱۷ سانتی متر در سال بوده که در سال ۱۳۹۰ به ۳۶ سانتی متر در سال افزایش پیدا کرده است. دشت مشهد یکی از دشت های 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 آبخوان به خوبی صورت نگیرد. افت سطح آب زیرزمینی در دشت مشهد اثرات نامناسبی را بر آب دهی چاه ها، تخریب قنات، کیفیت آب و فرونشست زمین خواهد داشت.

فرونشست، بحران دهان گشوده در خراسان رضوی



مشهد- ایرنا- نشست زمین در خراسان رضوی دیگر از مرز هشدار گذشته و به بحران نزدیک شده است و اگر تدبیر نشود، به زودی این خطه با معضلات زیست محیطی و ویرانگری روبه رو خواهد شد.



یکی از جدیدترین و مؤثرترین روشها در مطالعه فرونشست، تکنیک تداخل سنجی تصاویر راداری است. یک ابزار قوی برای اندازه گیری توپوگرافی سطح و تغییرات آن در طول زمان است (Burgmann et al, 2000: 169 & 170) و توانایی برآورد فرونشست را با دقت میلی متری با استفاده از مشاهدات فاز دارا هستند

(Crosetto et al, 2013: 923) و می تواند در تعیین میزان فرونشست در بازه زمانی مشخص مورد استفاده قرار گیرد. باتوجه به اهمیت موضوع مورد مطالعه، در طی سال های 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 میلی متر تأیید شد. مطابق با نتایج در پکن، فرونشست به صورت ناهموار و به طور بارز مشخص شده است. بیشترین نرخ فرونشست در محدوده مرکزی شهر و در حدود ۱۰ میلی متر در سال است که مقدار آن در محدوده تانژو به بیش از ۱۴۰ میلی متر در سال رسیده است. بررسی هایی که در این مطالعه روی آبهای زیرزمینی انجام شد، ارتباط بالای میزان فرونشست زمین و افت سطح آبهای 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. جین 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 مدلسازی، 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 کلانشهر اصفهان با تصاویر Sentinel-1 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 کلانشهر اصفهان افزایش می یابد، در حالی که بخش های



انجمن شرکت های محیط زیست
ایران

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 اسلامآباد 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 پراکنشگر 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 محدود
ه 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.



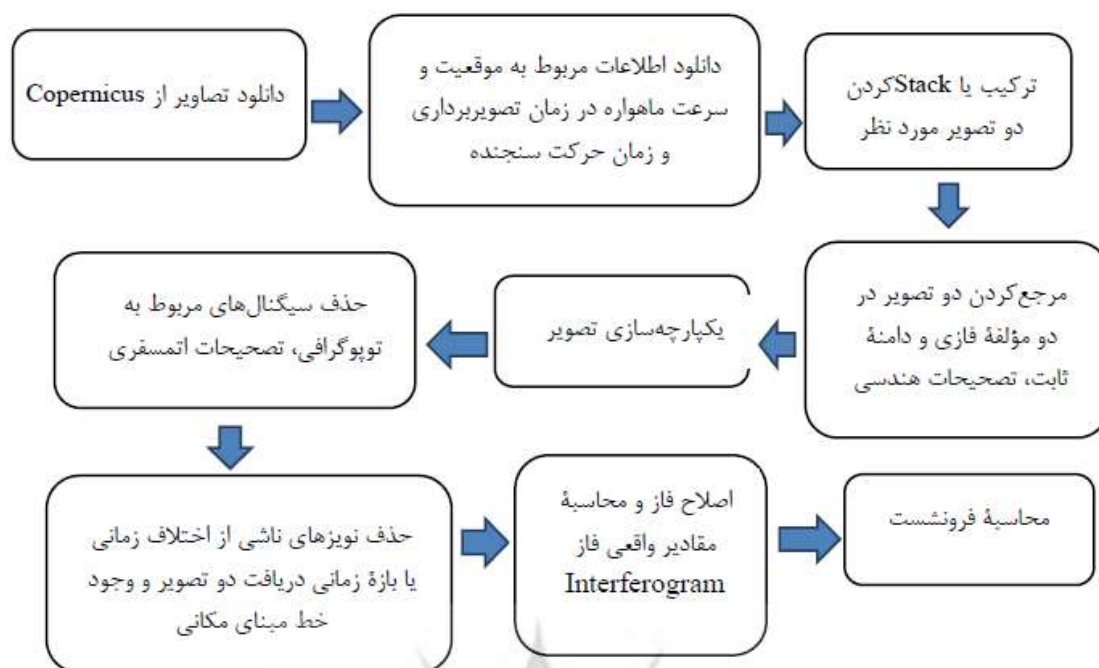
امروزه تکنیک تداخل سنجی راداری به عنوان یک ابزار قوی برای اندازه گیری تغییر شکل سطحی پوسته زمین در طول زمان استفاده می شود و می تواند اطلاعات ارزشمندی درباره پایش فرونشست ارائه دهد (Notti et al, 2016: 1). روش تداخل سنجی راداری با مقایسه سیگنال های فاز برگشتی دو دسته داده های رادار دریاچه مصنوعی که از یک منطقه در دو زمان مختلف اخذ شده اند، قادر به اندازه گیری تغییرات سطح زمین در آن بازه زمانی است (محمد حسینی و شیخ شریعتی کرمانی، ۱۴۰۰: ۷۷). برای انجام فرایند تداخل سنجی از تصاویر راداری Sentinel-1 سالهای ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۰ با فرمت (SLC) تک منظر با پوراریزاسیون (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 چاههای پیژومتری سالهای ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۸ از آب منطقه‌ای خراسان رضوی اخذ شد که در ادامه در نرم‌افزار GIS بعد از میانگین‌گیری سالیانه با استفاده از مدل درونیابی IDW نقشه سطح آب زیرزمینی تهیه و مورد ارزیابی قرار گرفت.



علاوه بر افت آب‌های زیرزمینی، خشک‌شدن زمین‌های حاصلخیز، ساخت‌وساز، پل‌سازی، سدسازی و همچنین زمین‌لرزه می‌تواند از دیگر عوامل فرورفتن زمین در مناطق مختلف باشد.

منطقه مورد مطالعه

منطقه مطالعاتی دشت مشهد واقع در استان خراسان رضوی است. این منطقه محل تلاقی ۳ حوضه آبریز قرقه‌قوم، 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 قرقه‌قوم 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 می‌شود، 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 گسل‌های طولی بریده شده است. در سمت شمال دشت گسل معکوس راست‌گرد کشف رود با شیب به طرف شمال سبب بالا آمدن و رخنمون نهشته‌های مارنی شده است (حافظی مقدس، ۱۳۹۶: ۲). سفره آب زیرزمینی دشت مشهد بابیش 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 می‌یابد. جهت عمومی جریان آب زیرزمینی در دشت مشهد از شمال غرب به سمت جنوب شرق است. از نظر نفوذپذیری دامنه جنوبی دشت ضخیم‌تر 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 می‌کند. تعداد چاه‌های موجود در دشت ۶۷۱۶ حلقه، چشمه‌ها ۶۵۶ دهنه و قنات‌ها ۱۰۸۴ رشته است. دشت مشهد در اقلیم نیمه خشک قرار دارد. پرباران‌ترین ماه سال، فروردین ماه ۴۷/۱ میلی‌متر و کم‌باران‌ترین آن در شهریور با ۱/۴ میلی‌متر محاسبه شده است (قره‌چلو و همکاران، ۱۴۰۰: ۴۵). شکل ۲ موقعیت منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.





بحث و نتایج

در بررسی های انجام شده باتصاویر راداری SLC ماهواره سنتیل ۱ در رابطه با دشت مشهد ۵ تصویر به صورت دوبه دو در نرم افزار SNAP مورد پردازش قرار گرفت و میزان فرونشست های ثبت شده برای هر دوره به ترتیب ۱۳ سانتی متر برای ۲۰۱۸-۲۰۱۷، 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 آمد (شکل ۳).

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

می توان بیان کرد که طی سال های مذکور ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۸ بیشترین افت سطح آب در بخش مرکز و جنوب اتفاق افتاده است که مقدار آن بین ۸۷،۴ تا ۲۳،۱۵۸ متر می رسد که می تواند به دلیل افزایش تعداد چاه های عمیق و تخلیه از آبخوان نسبت به سایر قسمت های دشت باشد. این میزان افت با نقشه های فرونشست به دست آمده از تصاویر راداری در سالهای مورد بررسی مطابقت نشان می دهد.

باتصاویر راداری پایین گذر ماهواره Sentinel-1A و با استفاده از نرم افزار SNAP تعیین شد و از داده های چاه های پیزومتری و بازدید میدانی به منظور صحت سنجی و تفسیر نتایج استفاده شد. میزان فرونشست در طول ۴ دوره آماری در منطقه مورد مطالعه ۶۴ سانتی متر به دست آمد. میزان فرونشست های ثبت شده هر دوره به ترتیب ۱۳ سانتی متر برای ۲۰۱۸-۲۰۱۷ و برای دوره ۲۰۱۹-۲۰۱۸ حدود ۱۹ سانتی متر، ۱۵ سانتی متر برای دوره ۲۰۲۰-۲۰۱۹



انجمن شرکت های آب و فاضلاب ایران
طرح جامع آلودگی

۱۷۰ سالن متر 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 رسیده اند. میزان افت سطح آب در این بازه زمانی حداقل ۸۷/۴ متر و حداکثر ۲۳/۱۵۸ 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 آبهای 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 آبهای زیرزمینی و فرونشست زمین در منطقه مورد مطالعه است، به خصوص در روستاهای نومهن و چهچه که بیشترین میزان افت سطح آب زیرزمینی را دارد و در پهنه خطر فرونشست زیاد نیز قرار دارند. نتایج مطالعه با نتایج صالحی متعهد و همکاران (۱۳۹۵) و قرهچلو و همکاران (۱۴۰۰) که عامل اصلی فرونشست منطقه را برداشت بی رویه از آبهای زیرزمینی عنوان کردند، همخوانی دارد. ضروریست سازمانها 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 درصدد کاهش هرگونه آسیب به سکونتگاههای انسانی، جمعیت و زیرساخت های موجود در این مناطق باشند. باتوجه به اینکه عامل اصلی فرونشست در دشت مشهد بهر همداری بیش از حد آبهای 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 آبهای زیرزمینی در کشور به منظور جبران کسری آب شرب، کشاورزی و صنعت، باعث شکلگیری و تشدید پدیده فرونشست بویژه در سالهای اخیر شده است. گسترش این پدیده و هجوم آن به شریانها و زیرساخت های شهری و بین شهری باعث شده مطالعات و اقداماتی در سطوح مختلف مراکز علمی و دستگاههای اجرایی در سالهای 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 دستورالعملهای 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



انجمن شرکت های مهندسی و تکنیک های کشاورزی و دامپروری
گداری و وظایف دستگاه های مختلف در برخورد با این پدیده و مدیریت آن در قالب اقدام فرادستگاهی و ملی
پردازته شود.

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 میافتد صرفنظر 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



احتمال فرونشست در اطراف حرم مطهر رضوی - همشهری آنلاین

الف - فروریزش ناشی از آب شستگی:

ریزش 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 میافتد بعنوان مثال انحلال 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 فروریزشی 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 سنگهای کربناتی و انحلال پذیر:

دومین نوع متداول ریزش 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 [۰۳-۰۷] را در این نوع مصالح تسریع کند و به عنوان محرک ریزش آنها و نیز فروریزش مغارهای زیرسطحی از پیش موجود عمل کند (مغرب، 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



انجمن شرکت های مهندسی و کشاورزی و محیط زیست
ایران

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 میابند 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 می باشند. 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 و ارتفاع 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 زیادتری برخوردار می باشند

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 آبهای زیرزمینی قرار داشته



انجمن شرکت های
اقتصادی کشاورزی و
اقتصادی ماهیگیری

اند. در آنجا نیز با مدیریت منابع آب به مقابله با فرونشست زمین پرداخته اند. بدین منظور در مناطق دره سانتاک الرا، 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 و به جای استفاده از آبهای زیرزمینی از آب های روی سطح زمین بهره بگیرند. یا در بخشهایی از شهر ویرجینیا هم که فرونشست زمین گسترش یافته بود مسئولان این شهر هم با معرفی پروژه تصفیه آب و استفاده مجدد از پساب آن.

میدان نفتی Wilmington در جنوب کالیفرنیا نمونه دیگری از کنترل فرونشست توسط تزریق آب به به این معضل واکنش نشان دادند

چاه 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 ترک یب 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 فزاینده 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 - (کالنشهر 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 مترمکعب افزایش 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



انجمن شرکت های آبیاری و زهکشی
خرامان و سنوی

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 الیه های زیرسطحی زمین تا بینهایت ادامه پیدا نمیکند اما باید توجه شود که با تراکم این الیه ها، عمال 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 های قوانین موجود و عدم نظارت بر تحقق و دستیابی به اهداف برنامه های تدوین شده و

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

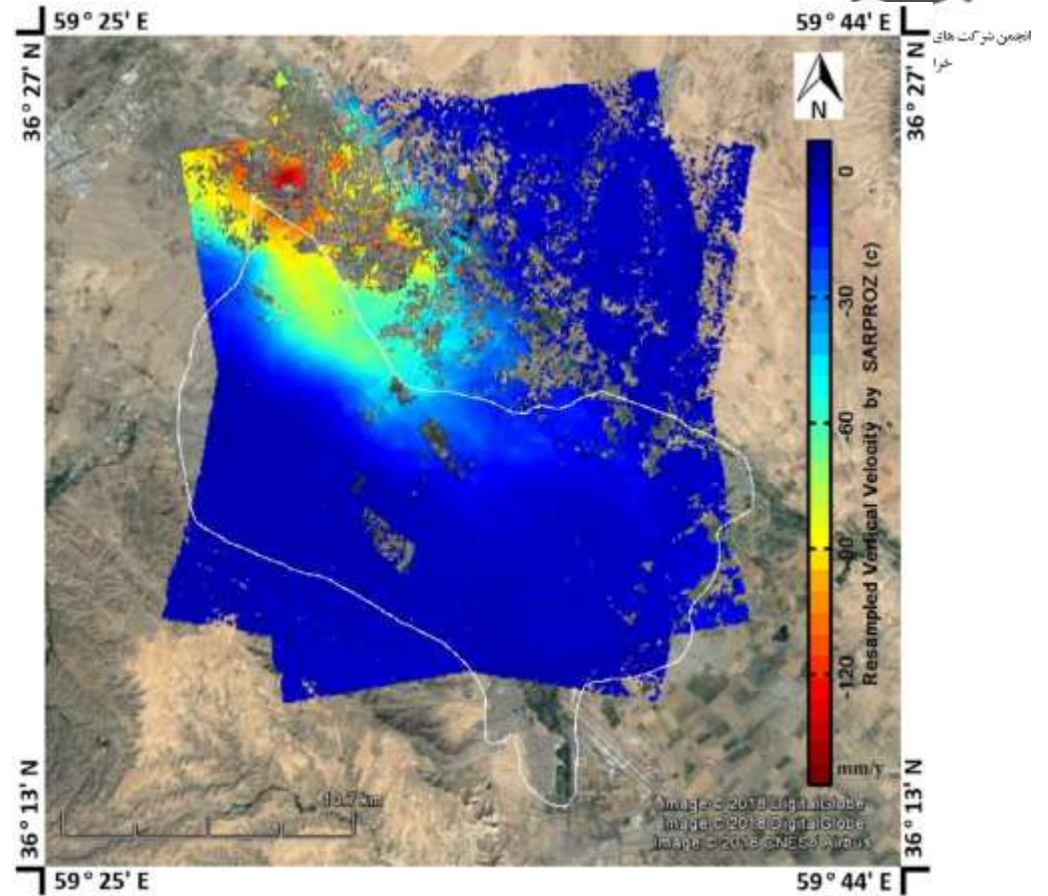
شهر مشهد بر روی رسوبات و مخروط افکنه حاصل از کشف رود و چند رودخانه فصلی و دائمی مانند وکیل آباد، طرچه و طرق قرار دارد [۱۱]. ضخامت آبرفت در میانه ی دشت نسبت به سایر نقاط بیشتر است ولی در حاشیه ارتفاعات جنوبی و شمالی ضخامت آبرفت کمتر و سنگ کف بالاتر است. آبرفت دشت مشهد با شیب مالیمی از ارتفاعات اطراف به 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 [۱۸ و ۱۹]. بر اساس پژوهش موسوی مداح [۲۰] محدوده شهر مشهد را میتوان به دو قسمت غربی و شرقی تقسیم نمود که عمده قسمت شرقی را خاک های 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



افتن به عمق درصد ماسه افزایش می‌یابد، اما تغییرات خاک هم در توالی قائم و هم به صورت جانبی زیاد است [۲۱]. 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 [۱۷] و در اثر بهره‌برداریهای بیرویه از منابع آب زیرزمینی دشت مشهد، سطح آب زیرزمینی بهتدریج 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 ترکهای ایجاد شده در اثر فرونشست، به محدوده شهری نیز نزدیک شده است

فرونشست زیر پای ماست مراقب باشیم

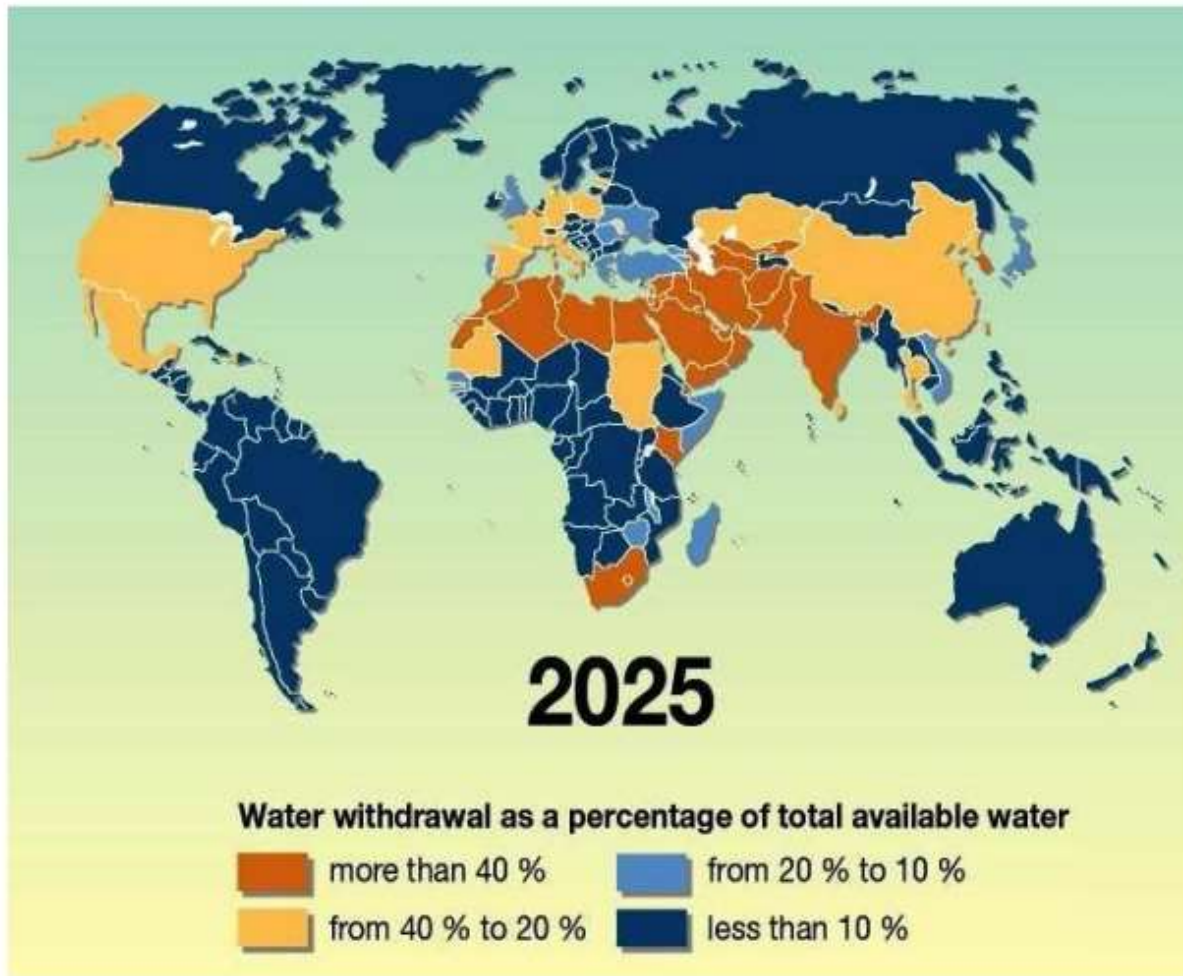
گالری تصاویر



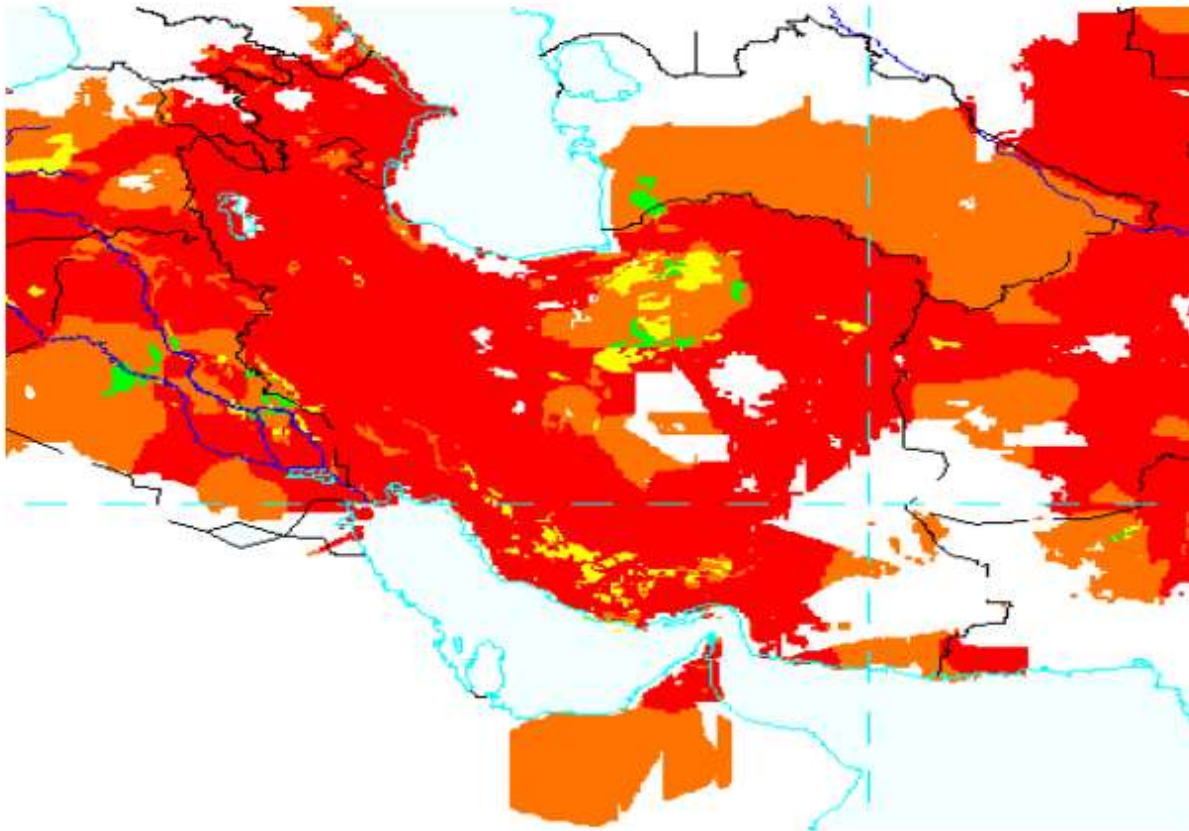
شکل ۱. نقشه نرخ فرونشست شهر مشهد



انجمن شرکت های
آب و فاضلاب



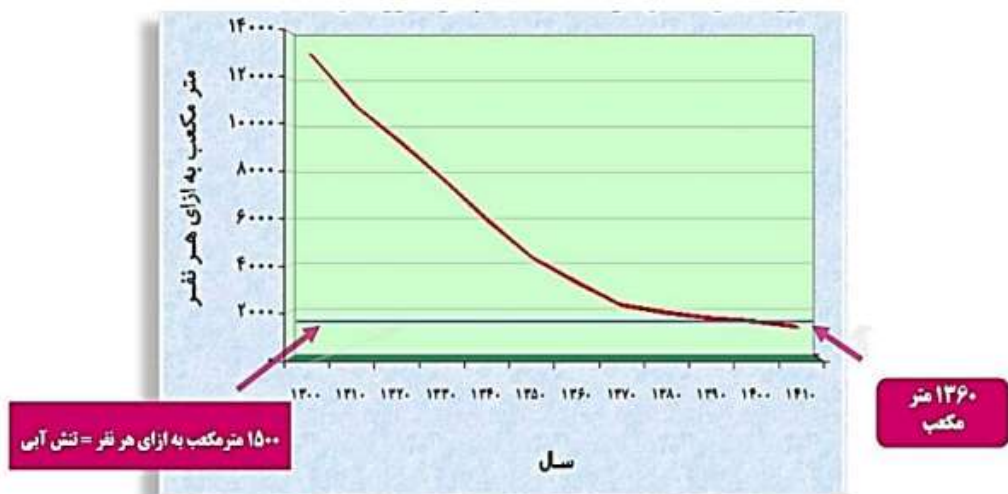
شکل ۱. منابع و مصارف آب (Urbini, 2015: 5)



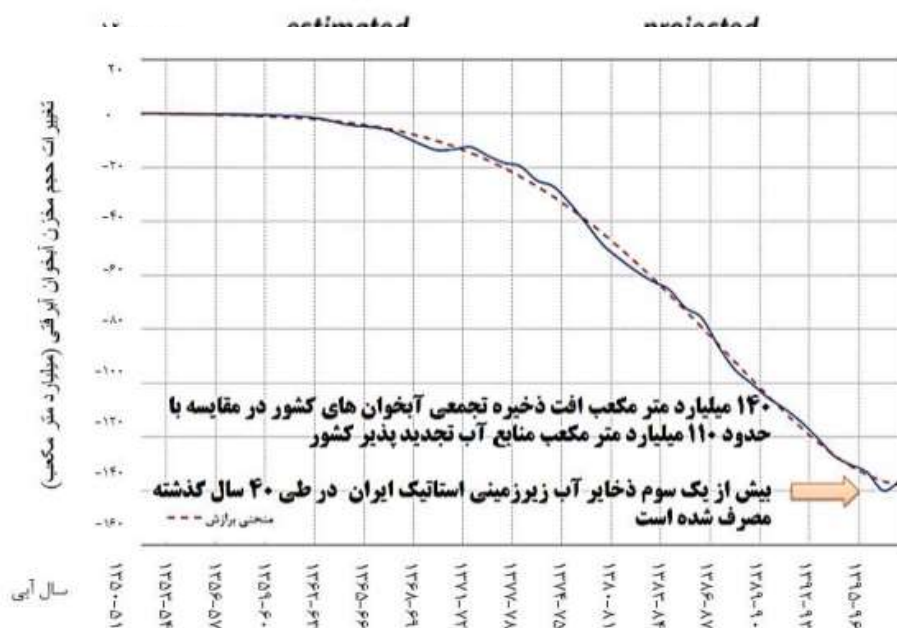
شکل ۲. وضعیت ایران از منظر خطر بیابانزایی (منبع: درویش، ۱۴۰۱)



انجمن شرکت های
خرا



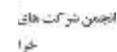
نمودار ۳. روندیابی کاهش سرانه آب تجدیدپذیر کشور در افق ۱۴۱۰ (منبع: اتاق بازرگانی صنایع، معادن و کشاورزی خراسان رضوی)



نمودار ۵. نمودار کاهش حجم مخزن سالانه آبخوان های زیرزمینی از ابتدای دهه ۶۰ (منبع: زهرایی، ۱۴۰۱)

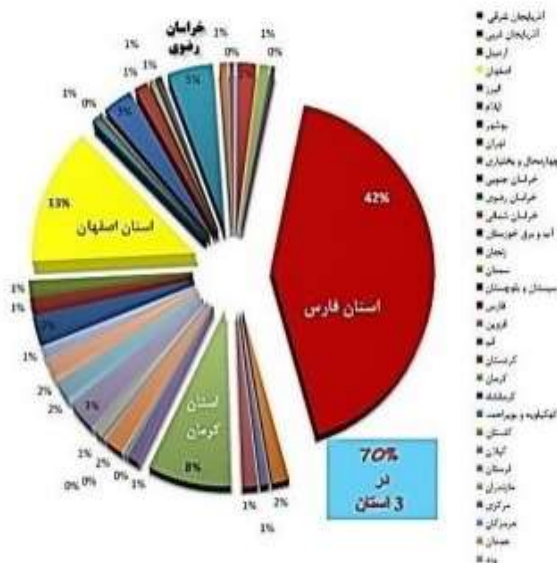


شکل ۳. وابستگی تأمین آب به منابع آب زیرزمینی (منبع: زهرایی، ۱۴۰۱)



Symbol	Occurrences
1372	0.2
1373	0.8
1374	1.3
1375	1.2
1376	2.2
1377	2.3
1378	1.5
1379	0.8
1380	0.3
1381	-0.8
1382	-0.8
1383	0.3
1384	-0.8
1385	-0.5
1386	-0.8
1387	-1.2
1388	-0.8
1389	-0.8
1390	-0.8
1391	-0.8
1392	-0.8
1393	-1.2
1394	-1.2
1395	-1.2
1396	-2.2
1397	-1.2
1398	-1.2
1399	-1.2
1400	-1.2
1401	-1.2

شکل ۴. کف‌شناسی در جاده‌های کشاورزی کشور (منبع: زهرابی، ۱۴۰۱)



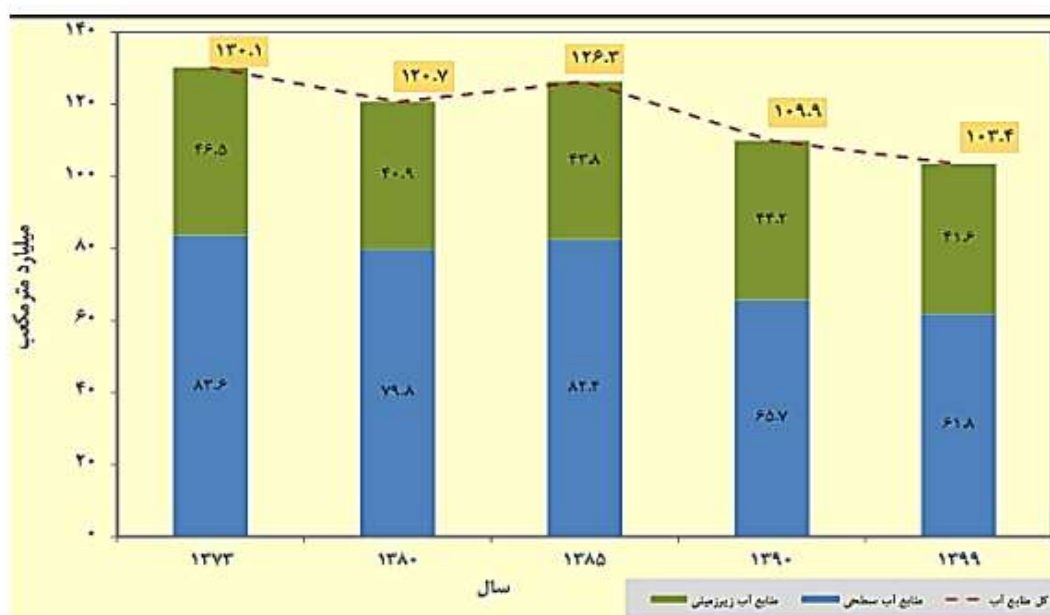
۳۰٪ جاهای آب
کشور در
۱۲ سال گذشته
کف شکنی

1

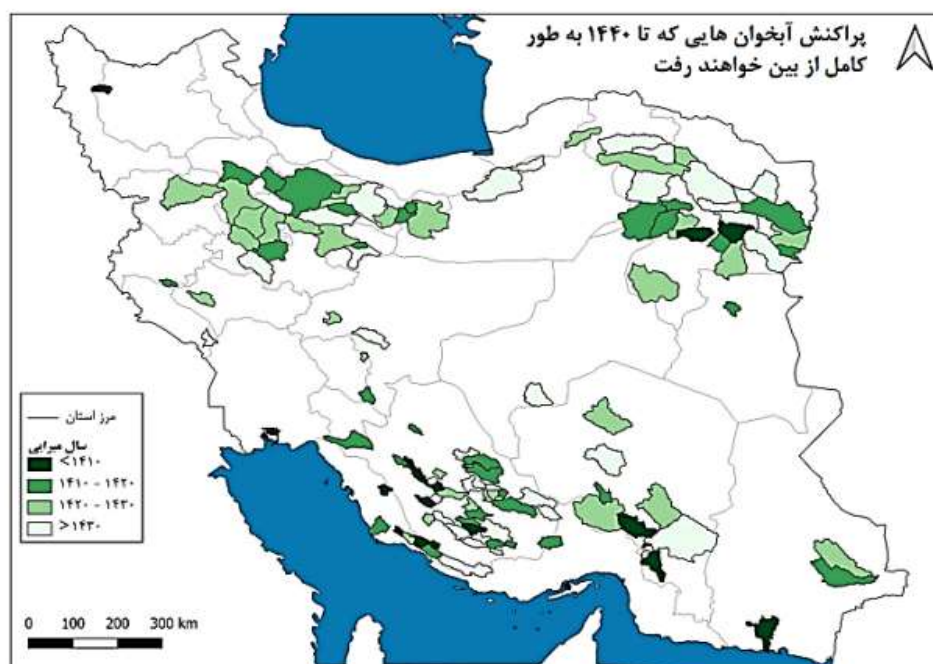
جوابہ جایی

تعداد چاه : 50,000
متر از کل : 1900 Km
متوسط سالانه : 160 Km

تعداد چاه : 82,000
متر از کل : 9855 Km
متوسط سالانه : 820 Km



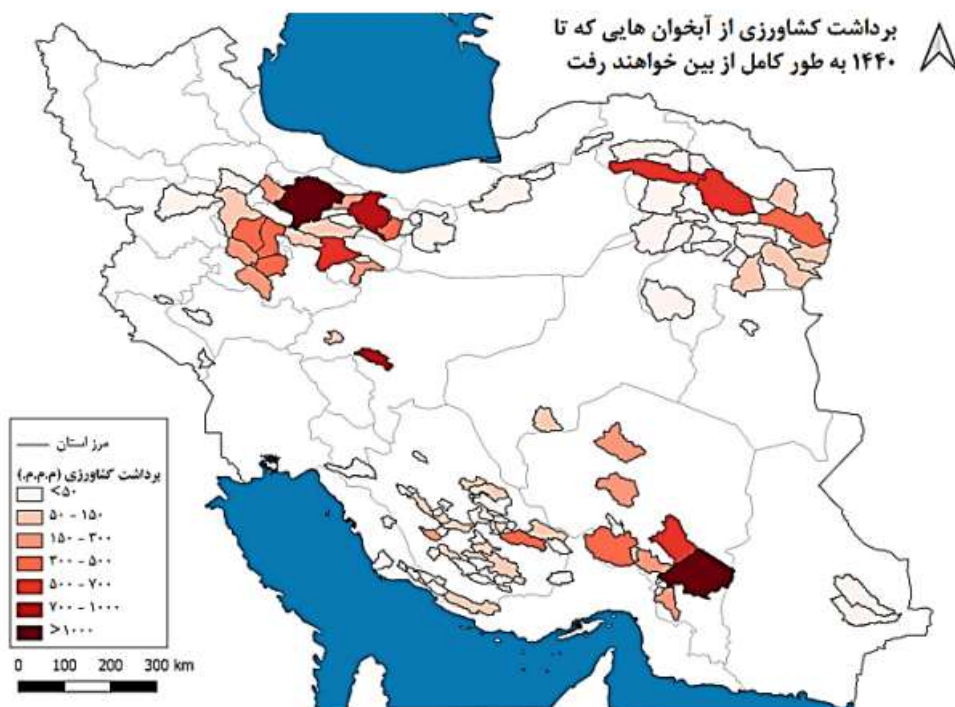
نمودار ۴. تغییرات منابع آب تجدیدشونده در کشور به تفکیک منابع آب سطحی و زیرزمینی (منبع: مرکز پژوهشی آب رازی^۴)



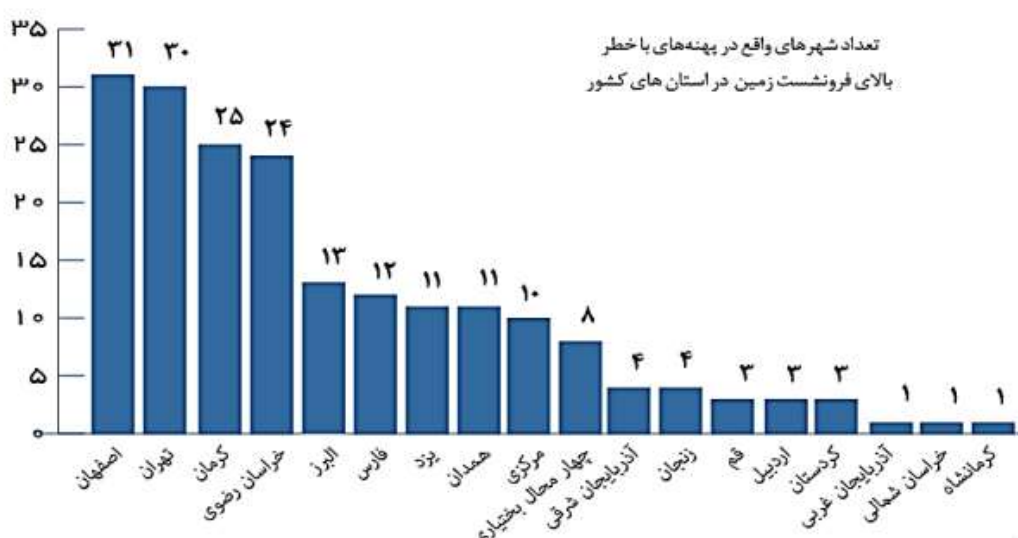
شکل ۵. پراکنش آبخوان هایی که از بین خواهند رفت (منبع: زهرایی، ۱۴۰۱)



انجمن شرکت های
آب



شکل ۶ برداشت کشاورزی از آبخوان ها تا سال ۱۴۴۰ (منبع: زهرایی، ۱۴۰۱)



نمودار ۷. تعداد شهرهای واقع بر پهنه های با خطر بالای فرونشست زمین در استان های کشور^۳



جدول ۱. فهرست دشت‌های دارای فرونشست با نرخ بالای قابل توجه (منبع: شهبازی، ۱۴۰۰)

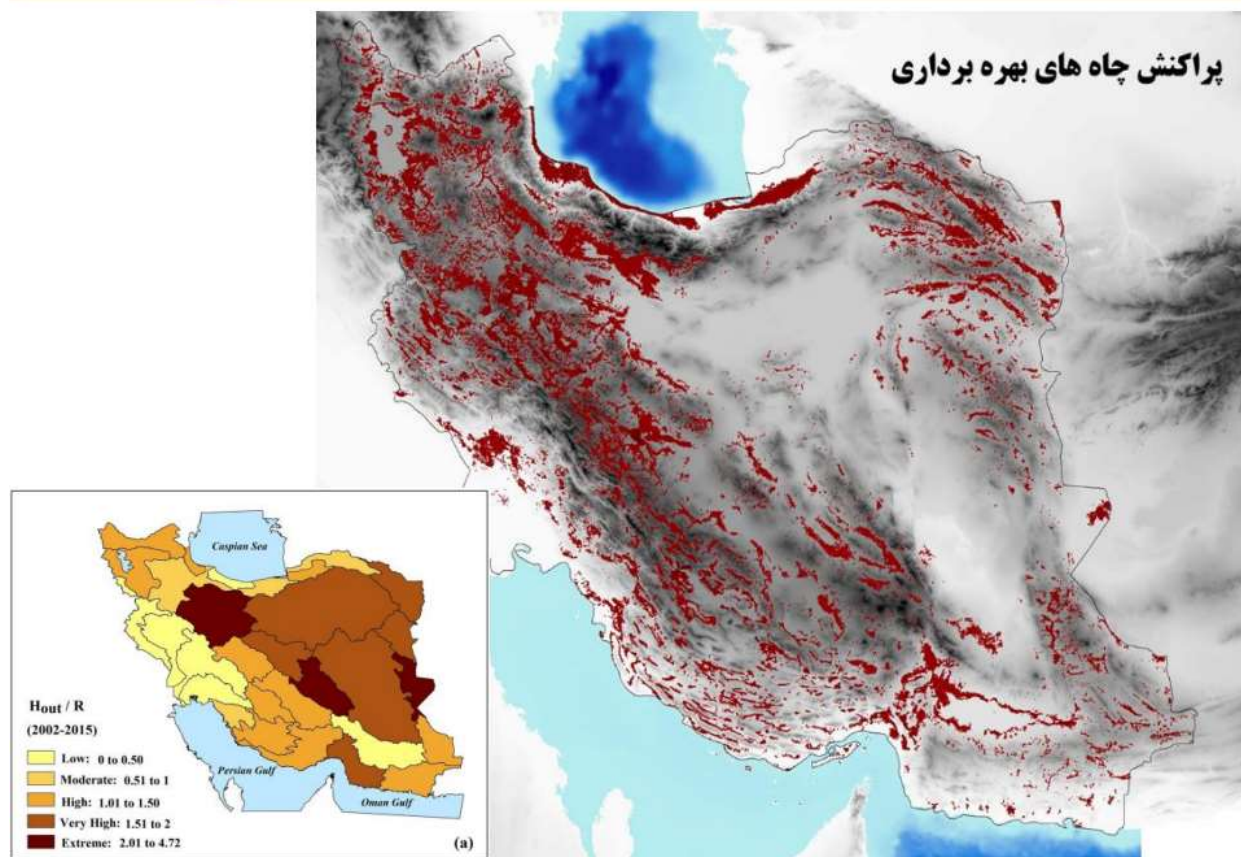
ردیف	نام استان	بیشینه نرخ فرونشست در بازه زمانی: مرداد تا دی ۹۸ (cm)	نام دشت
۱	آذربایجان شرقی	۴/۹	بستان آباد، بیلوردی، دوزدوزان، سراب، میاندوآب، تبریز
۲	آذربایجان غربی	۷	سرو-عونا، ارومیه، زیوه-سیلوان، اشنویه، نقده، مهاباد، پیرانشهر
۳	اصفهان	۱۲	اصفهان-برخور، مهاباد جنوبی، مهاباد شمالی، نجف آباد، کوهپایه، لنجان، کاشان، اردستان
۴	ایلام	۸	مهران، دره شهر، دهلران، دشت عباس غربی، دشت عباس شرقی، موسیان
۵	البرز	۵/۱۱	هشتگرد، اشتهارد، کرج
۶	بوشهر	۱۴	برازجان، اهرم، خورموج، بوشکان، دشت پلنگ، دهرود تنگ ارم، چاه گاه، مند جم، ریز، دیر-کنگان
۷	تهران	۱۱	تهران-کرج، ورامین
۸	چهارمحال و بختیاری	۹	شهرکرد، بن-سامان، سفید دشت، بروجن، فارس، شلمزار
۹	خراسان جنوبی	۵/۴	شاهرخت - دق پتوگان
۱۰	خراسان رضوی	۱۱	مشهد، نیشابور، سرخس، فریمان-تربت جام، دشت رخ، عطایه، سبزوار، جوی، بردسکن، کاشمر، ازغند، محولات، رشتخوار، تایباد، بیمرغ-عمرلی
۱۱	خوزستان	۷	اوان، اهودشت، درقوئل - اندیمشک، گتوند - عقیلی، اهواز جنوبی، دشت آزادگان، شادگان
۱۲	زنجان	۵/۷	سوجاس، زنجان، قیدار، گل تپه-زین آباد
۱۳	سمنان	۷/۸	سمنان، ایوانکی، دامغان، گرمسار، شهرود، میامی
۱۴	فارس	۱۵	گله دار، دارالمیزان، دژگاه، دشت افروز، فرابند، فیروزآباد، میمند، موگه، خفر، دارنجان، سیخ-دارنگون، فادرآباد، سرپینان، سعادت آباد، بیضا، زرقان، مرو دشت-خرامه، سیدان-خاروق، ارستان، توابع ارستان، داریان، شیراز، قره باغ، سروستان، گوار، مهارلو، برم، کارزون، خشت-کمارج، دریاچه پریشان، یالاده، قیرکارزین، داراب، دهرم، بوشکان
۱۵	قزوین	۵/۷	قزوین
۱۶	کردستان	۷	قروه-دهگلان، سنندج، دیواندره
۱۷	کرمان	۱۶	رفسنجان، کرمان، رحمت آباد، رودبار جیرفت
۱۸	کرمانشاه	۷	کرمانشاه
۱۹	لرستان	۱۰	خرم آباد، کوه دشت، رومیشگان، پل دختر، افشتر
۲۰	مرکزی	۷	اراک، خمین، ساوه، خناجین
۲۱	همدان	۹/۷	کبودر اهنک، رزن-فهاوند، گل تپه





وضعیت میدانی

بهره برداری از منابع





مهمترین دشت های تحت تاثیر فرونشست (۱۳۳ دشت)

ردیف	نام استان	پیشینه نرخ فرونشست در بازه زمانی مرداد تا دی ۹۸ (cm)	نام دشت
۱	کرمان	۱۶	رفسنجان، کرمان، رحمت آباد، رودبار چیرفت
۲	فارس	۱۵	گله دار، دارالمیزان، دژگاه، دشت افزر، دهرم، بوشکان، فراشیند، فیروزآباد، میمند، موگ، خفر، دارنجان، سیخ-دارنگون، قادرآباد، سرپیران، سعادت آباد، بیضا - زرقان، مروشت-خرامه، سیدان-فاروق، ارسنجان، توابع ارسنجان، داریان، شیراز، قره باغ، سروستان، گوار مهارلو، برم، کازرون، خشت-کمارج، دریاچه پیرشان، بالاده، قیرکارزین، داراب
۳	بوشهر	۱۴	بrazجان، اهرم، خورموچ، بوشکان، دشت پلنگ، دهرود تنگ ارم، چاه گاه، مند، چم، ریز
۴	اصفهان	۱۲	اصفهان، برخوار، مهیار جنوبی، مهیار شمالی، نصف آباد، کوهپایه، لجنانات، کاشان، اردستان
۵	البرز	۵/۱۱	هشتگرد، اشتهارد، تهران-کرج، قزوین
۶	تهران	۱۱	تهران-کرج، ورامین، ایوانکی
۷	خراسان رضوی	۱۱	مشهد، نیشابور، سرخس، گنبدلی، فریمان-تربت جام، دشت رخ، عطائیه، سبزوار، جوی، بردسکن، کاشمر، ازغند، محولات، رشتخوار، تایباد، بیمرغ-عمرانی
۸	لرستان	۱۰	خرم آباد، کوهدشت، رومیشگان، پل دختر، الشتر
۹	آذربایجان شرقی	۴/۹	پستان آباد، بیلوردی-دوزدوزان، سراب، میاندوآب، تبریز
۱۰	چهارمحال و بختیاری	۹	شهرکرد، بن-سامان، سفید دشت، بروجین، فارس، شلمزار
۱۱	سمنان	۷/۸	سمنان، ایوانکی، مبارکیه، گرمسار
۱۲	ایلام	۸	مهران، دره شهر، دهلران، دشت عباس غربی، دشت عباس شرقی، موسیان
۱۳	همدان	۹/۷	کیبودر آهنگ، رزن-قهاوند، گل تپه
۱۴	زنجان	۵/۷	سوجاس، زنجان، قیدار، گل تپه-زربین آباد
۱۵	قزوین	۵/۷	قزوین
۱۶	آذربایجان غربی	۷	سرو-موانا، ارومیه، زیوه-سیلوانا، اشنویه، نقده، مهاباد، پیرانشهر
۱۷	کردستان	۷	قروه-دهگلان، سنندج، دیواندره
۱۸	کرمانشاه	۷	کرمانشاه
۱۹	خوزستان	۷	اوان، آهودشت، دزفول-اندیمشک، گتوند، مسجد سلیمان
۲۰	مرکزی	۷	اراک، خمین، ساوه، ازنا-الیگودرز، خناجین
۲۱	خراسان جنوبی	۵/۴	شاهرخت - دق پترگان



نتیجه گیری

مهمترین دشت های تحت تاثیر فرونشست (۱۳۳ دشت)

ردیف	نام استان	پیشینه نرخ فرونشست در بازه زمانی مرصاد تا دی ۹۸ (cm)	نام دشت
۱	کرمان	۱۶	رامسنجان، کرمان، رحمت آباد، رودبار چیرفت
۲	فارس	۱۵	گلّه دار، دارالمیزان، درگاه، دشت افروز، دهرم، پوشکان، فراتشند، فیروزآباد، میمند، موگه، خفر، دارتجان، سیخ، دارنگون، فادرآباد، سرپیران، سعادت آباد، یفا - زرقن، مرودشت-خرامه، سیدان-فاروق، رامسنجان، نایب (رامسنجان، داربان، شیراز، قره باغ، سروستان، گواز، مهراوه، بوج، کارون، خشت-کمارج، دریاچه پریشان، بالاآند، قیر کارزین، داراب
۳	بوشهر	۱۴	واراجان، اهرم، خرموج، پوشکان، دشت پلنگ، دهرود، تنگ ارم، چاه گاه، مند، جفا ریز
۵	البرز	۵/۱	هشتگرد، کشتهارد، تهران-کرج، قزوین
۶	تهران	۱۱	تهران-کرج، ورامین، ابوتکی
۷	خراسان رضوی	۱۱	مشهد، نیشابور، سرخس، گنبدلی، فریمان، تربت جام، دشت رخ، عطاریه، سبزوار، جوبین، بردسکن، کاشمر، اراکند، محلات، رشتخوار، تایباد، بیوغ، عمرانی
۸	ارستان	۱۰	خرم آباد، کوهنوشه، رومینگان، یل دختر، اشتر
۹	آذربایجان شرقی	۲/۹	بستان آباد، بیله وری، خورنقوران، میرابه، میاندوآب، تبریز
۱۰	چهارمحال و بختیاری	۹	شهرکرد، بن، سلمان، سفید دشت، بروجن، فارسان، شلمزار
۱۱	سمنان	۷/۸	بستان، ابوتکی، مبارکیم، گرمسار
۱۲	ایلام	۸	مهران، قره شهر، دهلران، دشت عباس غربی، دشت عباس شرقی، موسیان
۱۳	همدان	۹/۷	گودر، آهنگ، رزن، قهوند، گل تپه
۱۴	زنجان	۵/۷	سوجانی، زنجان، قیدار، گل تپه، زرین آباد
۱۵	قزوین	۵/۷	قزوین
۱۶	آذربایجان غربی	۷	سرو، سولک، ارومیه، زیوه، سیوند، آشتویه، نقده، مهاباد، پیرانشهر
۱۷	گوشستان	۷	فروغ، دهگلان، سستج، دیواندره
۱۸	کرمانشاه	۷	کرمانشاه
۱۹	خوزستان	۷	پاپان، آهوندش، درغول، اندیشک، گنبد، مسجد سلیمان
۲۰	مرکزی	۷	اراک، خمین، ساوه، اراک، الیگودرز، ختاجین
۲۱	خراسان جنوبی	۵/۴	شلمزار، خشت - دیو، پت گار

پایدها	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 بارانه 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 زیرساخت های تحت تاثیر و یکنه 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، پیلان دوره ای و ...)	برداشت آب از دشت بدون در نظر گرفتن ورودی و پیلان دشت
اطلاع رسانی برخط	سخن گویی 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 یا توجه به مولفه های محلی	کلی گویی و کلی نگری و ارائه پیشنهاد های 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
۱- اجرای سریع طرح احیا و تعادل بخشی به عنوان سند بالادستی ملی ۲- اعمال محدودیت شدید و توقف برداشت در نواحی بحرانی ۳- شناسایی زیرساختهای تحت تاثیر و پهنه بندی ریسک، خطر و نواحی بحرانی فرونشست ۴- توقف حفر چاه جدید و یا کف شکنی	۱- ارتقاء آگاهی عمومی ۲- طراحی زنجیره تولید مبتنی بر ارتقاء عملکرد بهره وری آب ۳- اطلاع رسانی برخط ۴- استقرار سامانه ملی پایش مولفه های تاثیرگذار و تاثیرپذیر از فرونشست (سطح آب زیرزمینی، سطح زیر کشت، برداشت از منابع، نرخ فرونشست، پیلان دوره ای و ...) ۵- کشاورزی ناکارآمد و نامتناسب با منابع آب موجود ۶- اعمال سلیقه ای، سیاسی و محلی قوانین مربوط به آب
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 ۲- برداشت آب از دشت بدون در نظر گرفتن ورودی و بیلان دشت ۳- تبیین زیر ساخت های قانونی و اجرایی برای مدیریت متمرکز	۱- پرهیز از قانون گذاری بدون آگاهی ۲- سختگیری بی مورد در رابطه با اشتراک داده های موجود در دستگاه های مختلف ۳- پرهیز از مدیریت جزیره ای ۴- اصلاح قوانین به سمت جلوگیری از تبدیل آب و چاه آب صرفا بعنوان دارایی شخصی 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) ۶- جامع نگری و ملی نگری همراه با مطالعه و اجرای طرح مدیریت آبخوان (چرخه هیدرولوژی) برای هر دشت بصورت جداگانه با توجه به مولفه های محلی

نتیجه

جمع بندی

ضعف:

- ۱- تفکر و برنامه ریزی محلی
- ۲- عدم تعامل سازنده بین ذینفعان
- ۳- مدیریت ناهمسو و غیر منسجم
- ۴- ضعف مشارکت مردم و بهره برداران
- ۵- کمبود و توزیع نامناسب منابع مالی

قوت:

- ۱- تجربه کمیته های ملی
- ۲- ظرفیت علمی و پژوهشی مناسب
- ۳- زیرساخت های اداری، پژوهشی و دانشگاهی
- ۴- درآمد حاصل از صنایع و سهم R&D
- ۵- سابقه و حافظه تاریخی

تهدید:

- ۱- بخشی نگری، عدم اعتماد متقابل
- ۲- فراموش کاری
- ۳- آگاهی اندک و تصمیم گیری بدون شناخت ناکافی
- ۴- فشار جمعیت و مهاجرت های سرگردان
- ۵- تبدیل دولت به پنگاه اقتصادی
- ۶- روابط اداری پرتنش، دست و پا گیر و نامربوط

فرصت:

- ۱- حساسیت جهانی به تغییر اقلیم و پیامدهای آن
 - ۲- پیشرفت در دانش های نوین مانند بیوتکنولوژی و نانوتکنولوژی
- و



جمع بندی

- پدیده فرونشست بر خلاف بسیار دیگر مخاطرات طبیعی بسیار خزنه 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 زاییده 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 رخدادهای 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 مساله فرونشست است و در باقی آبخوان های محتوی آب شیرین که در استان های 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.



انجمن شرکت های فنی، مهندسی و مشاوره ای
خراسان رضوی

سپاس از توجه شما



کمیسیون خدمات فنی، مهندسی، مشاوره ای و عمران

اتاق بازرگانی خراسان رضوی



اتاق بازرگانی، صنایع، معادن و کشاورزی
خراسان رضوی

تحقیق و پژوهش: محسن خندان دل – سورنا صراف زاده