



هادی شریفی

مدیر کل زمین شناسی و اکتشافات معدنی منطقه شمال شرق

فرونشست؛ نشانه فروپاشی خاموش آبخوان‌ها و آزمون حکمرانی آب در ایران

مصاحبه

فرونشست؛ مخاطره‌ای خاموش و پیچیده‌تر از زلزله

مشاهده فیلم کامل مصاحبه

در میان مخاطرات طبیعی، موضوعاتی مانند زمین‌لغزش و زمین‌لرزه همواره محل بحث بوده‌اند؛ اما در حدود یک دهه اخیر، تمرکز جدی‌تری بر پدیده فرونشست زمین شکل گرفته است. فرونشست را می‌توان از جهاتی حتی خطرناک‌تر از زلزله دانست؛ زیرا برخلاف زمین‌لرزه که ناگهانی رخ می‌دهد، این پدیده به‌صورت تدریجی و خاموش در حال وقوع است و آثار مخرب آن به‌مرور نمایان می‌شود. اگر بخواهم پیشینه‌ای از این موضوع ارائه دهم، باید بگویم که با وجود تخصصی و تجربه زیادی که در حوزه فرونشست داریم، یکی از چالش‌های اصلی کشور در این زمینه، نبود متولی مشخص و تعریف دقیق نقش سازمان‌هاست، هنوز به‌طور شفاف مشخص نیست که هر دستگاه چه وظایفی در قبال این پدیده دارد. سازمان‌های مختلفی در این حوزه نقش دارند؛ از دانشگاه‌ها گرفته تا مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، سازمان زمین‌شناسی و سازمان نقشه‌برداری کشور. هرکدام از این نهادها مسئولیت‌هایی دارند؛ برخی وظیفه پایش و اعلام نرخ فرونشست را بر عهده دارند و سازمان زمین‌شناسی مسئول انجام مطالعات علمی مرتبط با عوامل زمین‌شناختی است و می‌تواند متناسب

فرونشست زمین در ایران دیگر صرفاً یک پدیده زمین‌شناختی نیست، بلکه به نشانه‌ای از بحران حکمرانی منابع آب و تهدیدی جدی برای زیرساخت‌ها، اقتصاد کشاورزی و پایداری سرزمین تبدیل شده است.

دکتر هادی شریفی، مدیرکل زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی منطقه شمال شرق، در این گفت‌وگو با نشریه هم‌افزایی انرژی و آب ضمن تشریح ابعاد علمی این پدیده، پنج محور کلیدی را بررسی می‌کند: ریشه‌های زمین‌شناختی و هیدروژئولوژیکی فرونشست، نقش برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی، وضعیت دشت‌های بحرانی کشور به‌ویژه در خراسان، پیامدهای اقتصادی و زیرساختی فرونشست برای کشاورزی و زیرساخت‌ها به خصوص در مناطق شهری، و در نهایت چالش‌های حکمرانی آب و ضرورت تدوین نقشه‌های ریسک و پیوست فرونشست در سیاست‌گذاری و توسعه کشور.

الزاماً با رویکرد حل مسئله پیش نمی‌روند. در نهایت گزارشی تهیه می‌شود، در بایگانی قرار می‌گیرد و تنها اعتباری جذب می‌شود، بدون آنکه به راهکار اجرایی مؤثر منجر شود. در بسیاری موارد، این مطالعات در قالب پایان‌نامه‌های دانشجویی انجام می‌شود. با یک جست‌وجوی ساده می‌توان حجم بالایی از این تحقیقات را مشاهده کرد؛ اما وقتی عمق علمی آن‌ها بررسی می‌شود، مشخص می‌شود که اغلب به اعلام یک عدد به‌عنوان نرخ فرونشست محدود شده‌اند.

ضرورت صحت‌سنجی و مطالعات میدانی

امروزه با پیشرفت فناوری‌های دورسنجی و تصاویر راداری ماهواره‌ای، استخراج نرخ فرونشست کار دشواری نیست و به‌سادگی قابل انجام است. مسئله اصلی، صحت‌سنجی و اهمیت مکانی داده‌هاست. سازمان زمین‌شناسی به‌دلیل ماهیت کاری خود که مبتنی بر مطالعات میدانی و ارتباط مستقیم با زمین است، از نظر لجستیکی و نیروی انسانی ظرفیت بیشتری برای انجام این صحت‌سنجی دارد. در برخی موارد، صرفاً بر اساس داده‌های ماهواره‌ای، نرخ‌هایی اعلام و منطقه‌ای بحرانی معرفی شده است؛ حتی در نقاطی که عملاً نه اهمیت سازه‌ای، کاربری کشاورزی و نه سکونت انسانی دارد. چنین اعلام‌هایی می‌تواند بدون تحلیل دقیق شرایط زمینی، موجب برداشت‌های نادرست شود.

خلا نقشه ریسک فرونشست در کشور

در حال حاضر، ما در کشور نقشه‌ای تحت عنوان نقشه خطرپذیری فرونشست نداریم؛ یعنی نقشه‌ای که لایه‌های مختلف اطلاعاتی - از نرخ فرونشست گرفته تا کاربری اراضی، بافت خاک، تراکم جمعیت، زیرساخت‌ها و سایر لایه‌های کاربری را به‌صورت یکپارچه تحلیل کند. آنچه اکنون در اختیار داریم، عمدتاً یک لایه اطلاعاتی است: نرخ فرونشست.

ما در کشور نقشه‌ای تحت عنوان نقشه خطرپذیری فرونشست نداریم؛ نقشه‌ای که لایه‌های مختلف اطلاعاتی از نرخ فرونشست گرفته تا کاربری اراضی، بافت خاک، تراکم جمعیت، زیرساخت‌ها و سایر لایه‌های کاربری را به‌صورت یکپارچه تحلیل کند.

با نتایج مطالعات با هدف پیش‌بینی و پیشگیری نرخ‌ها را نیز اعلام کند. در حوزه سازه‌ای، ما دخالتی نداریم و نقش ما صرفاً شناسایی علمی مخاطره بر اساس عوامل دخیل در رخداد آن با هدف پیش‌بینی و پیشگیری است. در بخش‌های مرتبط با سازه، اداره کل راه و شهرسازی نقش پررنگ‌تری دارد. دانشگاه‌ها نیز همواره نقش تحقیقاتی داشته‌اند و باید بر ارائه راهکارهای علمی کوتاه‌مدت، میان‌مدت و بلندمدت تمرکز کنند. با این حال، در فضای رسانه‌ای شاهد اظهار نظرهای متعدد از سوی نهادهای مختلف هستیم که گاه نرخ‌ها و آمارهای متفاوتی ارائه می‌شود. همین اختلاف آماری، به پیچیدگی موضوع افزوده است.

تمرکز بر نرخ به‌جای راهکار

متأسفانه تاکنون بخش عمده مطالعات انجام‌شده در کشور، صرفاً به اعلام نرخ فرونشست در دشت‌های مختلف محدود شده است. آن هم در شرایطی که همین نرخ‌ها نیز به‌دلیل تفاوت در روش‌های اندازه‌گیری، متغیر و گاه متناقض هستند. پیش‌بینی دقیق فرونشست نیازمند شناخت عوامل زمین‌شناختی، وضعیت آبخوان‌ها، هندسه آن‌ها، جنس و نوع خاک و سایر ویژگی‌های زمین‌شناختی است. این مطالعات هزینه‌بر و زمان‌بر هستند و به زیرساخت پژوهشی و عملیاتی جدی نیاز دارند. در مقابل، برخی نهادها که فعالیت‌شان عمدتاً پروژه‌محور است، در قالب مصاحبه‌ها یا گزارش‌های کوتاه، آماری اعلام می‌کنند که بعضاً دقت کافی ندارد و در مواردی حتی با بزرگ‌نمایی همراه است. پس از آن فضایی رسانه‌ای در کشور شکل می‌گیرد، پروژه‌هایی تعریف می‌شود، اما این پروژه‌ها نیز

لازم است نقشه خطرپذیری فرونشست آماده شود. در این پهنه‌بندی باید لایه‌های مختلف اطلاعاتی روی هم قرار گیرد؛ از جمله لایه‌های مربوط به کاربری زمین، سازه‌های شریانی، سکونتگاه‌ها و سایر داده‌های حیاتی و ارزشمند.

ضرورت پهنه‌بندی خطر فرونشست و اولویت‌بندی مناطق بحرانی

در برخی مناطق، فرونشست زمین با عوارض سطحی مانند ترک‌ها و شکاف‌ها همراه است. این وضعیت می‌تواند به دلایل مختلفی رخ دهد؛ از جمله وجود پله‌های گسلی، تفاوت در ضخامت لایه‌های خاک، بالا بودن سنگ بستر و همچنین نوع خاک. نوع خاک در این میان بسیار تعیین‌کننده است؛ به‌ویژه خاک‌های ریزدانه که به‌سرعت دچار درز و شکاف می‌شوند. این الگو در بسیاری از دشت‌های خراسان مشاهده می‌شود و در چنین مناطقی آثار تخریب به‌وضوح قابل مشاهده است.

برای مدیریت این وضعیت، لازم است نقشه خطرپذیری فرونشست آماده شود. در این پهنه‌بندی باید لایه‌های مختلف اطلاعاتی روی هم قرار گیرد؛ از جمله لایه‌های مربوط به کاربری زمین، سازه‌های شریانی، سکونتگاه‌ها و سایر داده‌های حیاتی و ارزشمند. پس از آن، با امتیازدهی به این لایه‌ها می‌توان مناطق بحرانی را شناسایی و جهت اعمال تدابیر پیشگیرانه و یا ترمیمی اولویت‌بندی کرد. ممکن است در منطقه‌ای حتی ۳۰ سانتی‌متر فرونشست رخ داده باشد، اما آن منطقه در محدوده با اهمیت پایین قرار داشته باشد؛ جایی که نه سازه‌ای وجود دارد، نه جمعیتی ساکن است و حتی کاربری کشاورزی نیز ندارد. در مقابل، ممکن است در شهری مانند مشهد، در محدوده‌ای حساس مانند منطقه ثامن، تنها ۵ تا ۷ سانتی‌متر نشست زمین رخ دهد، اما به دلیل وجود زیرساخت‌ها و تمرکز جمعیتی، همان منطقه در اولویت نخست اقدامات پیشگیرانه قرار گیرد. در حال حاضر در کشور نقشه جامع

پهنه‌بندی خطر فرونشست وجود ندارد. با این حال، در استان خراسان در حال پیگیری و انجام چنین کاری هستیم. یکی از راهکارهای میان‌مدت ما این است که این نقشه‌ها هرچه سریع‌تر تهیه شوند تا بتوان بر اساس آن‌ها مدیریت منابع آب را به‌صورت هدفمند و منطقه‌ای انجام داد.

در غیر این صورت، اگر همان رویکرد گذشته ادامه پیدا کند، به نتیجه مطلوبی نخواهیم رسید. طی حدود سه دهه گذشته، به دلیل آنکه تلاش کرده‌ایم مدیریت آب را به‌صورت یکپارچه و بدون توجه به تفاوت‌های منطقه‌ای اجرا کنیم، موفقیت چندانی حاصل نشده است؛ در حالی که مدیریت مؤثر باید مبتنی بر پهنه‌بندی و الویت‌های محلی و منطقه‌ای باشد.

جایگاه ایران در جهان از نظر فرونشست زمین

بر اساس آمارهای موجود، اگر بخواهیم ابتدا به جایگاه ایران در مقیاس جهانی اشاره کنیم، باید گفت که از نظر وسعت پهنه‌های درگیر با فرونشست، ایران در میان کشورهای جهان در رتبه سوم قرار دارد؛ پس از چین و ایالات متحده آمریکا.

از نظر نرخ فرونشست زمین نیز ایران تقریباً در همین رتبه قرار می‌گیرد. حتی در زمینه وسعت پهنه‌هایی که نرخ فرونشست بالایی دارند، ایران در میان کشورهای جهان رتبه نخست را دارد.

عامل اصلی این وضعیت نیز کسری منابع آب زیرزمینی است که مهم‌ترین عامل بروز فرونشست به شمار می‌رود. اگرچه عوامل دیگری نیز در مطالعات مطرح می‌شوند، اما عمدتاً نقش آن‌ها در حد عوامل تشدیدکننده و بسیار ناچیز است. بر اساس مطالعات انجام‌شده، می‌توان گفت که تا حدود ۹۵ درصد پدیده فرونشست به برداشت از منابع آب زیرزمینی مرتبط است. در واقع، از زمانی که در کشور برداشت از چاه‌های عمیق آب به‌طور گسترده آغاز شد، نخستین گزارش‌های فرونشست نیز ثبت شد؛ از جمله

سایر نهادهای پژوهشی نیز در این زمینه فعالیت دارند. تفاوت در نرخ‌های اعلام‌شده عمدتاً به نوع پردازش داده‌ها بازمی‌گردد. بسیاری از نرخ‌هایی که خارج از سازمان زمین‌شناسی اعلام می‌شود، بر پایه پردازش تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های راداری است. با توجه به اینکه نرم‌افزارهای مختلف تجاری و غیرتجاری برای این پردازش‌ها استفاده می‌شود، طبیعی است که اعداد و نرخ‌ها تا حدی متفاوت باشند؛ هرچند این تفاوت‌ها معمولاً فاصله زیادی با یکدیگر ندارند. در مقابل، سازمان زمین‌شناسی علاوه بر استفاده از داده‌های ماهواره‌ای، برداشت‌های میدانی و زمینی را نیز به‌عنوان مکمل مطالعات به کار می‌گیرد. به همین دلیل، آمارهای ارائه‌شده از سوی این سازمان معمولاً از دقت بیشتری برخوردار است و به همین دلیل نیز استناد اصلی ما به داده‌های این مجموعه است. البته مرکز تحقیقات راه و شهرسازی و سازمان نقشه‌برداری کشور نیز آمارهایی ارائه می‌کنند که تا حد زیادی به داده‌های سازمان زمین‌شناسی نزدیک است، زیرا مبنای داده‌ای آن‌ها نیز تقریباً مشترک است.

وضعیت دشت‌های کشور؛ از محدوده بحرانی تا فوق‌بحرانی

بر اساس برآوردهای موجود، بین ۸ تا ۱۱ درصد دشت‌های کشور درگیر پدیده فرونشست هستند. این میزان معادل حدود ۱۳۵ تا ۱۸۵ هزار کیلومتر مربع از اراضی کشور است. در مطالعات فرونشست، مبنای تقسیم‌بندی معمولاً همان تقسیمات دشت‌های مطالعاتی وزارت نیرو و شرکت‌های آب منطقه‌ای است. بر این اساس، از مجموع ۶۰۹ محدوده مطالعاتی دشت در کشور، حدود ۱۶۰ دشت در وضعیت بحرانی قرار دارند که از این تعداد حدود ۱۳۰ دشت به مرحله خطرناک رسیده‌اند و حدود ۳۰ دشت در وضعیت فوق‌بحرانی قرار دارند. بر اساس نقشه‌های پیش‌بینی که سازمان زمین‌شناسی در سال ۱۳۹۵ تهیه کرده بود، مشخص شده بود که پهنه‌هایی

حدود ۹۵ درصد پدیده فرونشست به برداشت از منابع آب زیرزمینی مرتبط است. از نظر وسعت پهنه‌های درگیر با فرونشست، ایران در میان کشورهای جهان در رتبه سوم قرار دارد؛ پس از چین و ایالات متحده آمریکا.

در دشت رفسنجان که یکی از نخستین مناطق گزارش‌شده در این زمینه بود. البته نوع و شدت فرونشست می‌تواند تحت تأثیر عوامل دیگری نیز قرار گیرد؛ از جمله وجود گسل‌ها، ضخامت لایه‌های آبخوان، سرعت و حجم برداشت آب، نوع خاک، مورفولوژی و نوع سنگ بستر (برای مثال سنگ‌های آهکی) و در برخی موارد فعالیت‌هایی مانند برداشت‌های معدنی. با این حال، عامل غالب و تعیین‌کننده در بیشتر دشت‌های کشور همان برداشت بی‌رویه آب زیرزمینی است. بر همین اساس، از نظر کسری منابع آب زیرزمینی نیز ایران در رتبه سوم جهان قرار دارد؛ پس از چین و اندونزی. از آنجا که موضوع فرونشست مستقیماً با وضعیت منابع آب زیرزمینی مرتبط است، بررسی این شاخص در تحلیل وضعیت فرونشست کشور اهمیت اساسی دارد. در سطح کشور آمارهای متفاوتی درباره فرونشست زمین ارائه می‌شود. یکی از دلایل این تفاوت، تعدد نهادهایی است که در این حوزه مطالعه انجام می‌دهند. با این حال، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور از جمله نهادهایی است که به‌طور مستقیم و تخصصی در زمینه مطالعات زمین‌شناختی و مخاطرات طبیعی فعالیت می‌کند. در واقع از گذشته نیز بخشی از مأموریت‌های این سازمان به شناسایی مخاطرات زمین‌شناسی اختصاص داشته است. برای نمونه، در حوزه گسل‌ها تنها نهادهای که نقشه‌های ملی گسل‌ها را در مقیاس‌های مختلف مانند یک میلیونیم، یک به دو بیست و پنجاه هزار، یک به صد هزارم تولید کرده، سازمان زمین‌شناسی بوده است. در موضوع فرونشست نیز مطالعات اولیه از سوی همین سازمان آغاز شد، هرچند دانشگاه‌ها و

مطرح می‌شود. اهمیت این موضوع نیز در آن است که در اصفهان، فرونشست به محدوده‌های شهری رسیده و در برخی نقاط آثار تخریبی قابل مشاهده‌ای ایجاد کرده است.

بنابراین اگر بخواهیم جمع‌بندی کنیم از نظر شدت و نرخ فرونشست، اصفهان بحرانی‌ترین وضعیت را دارد و از نظر وسعت پهنه‌های مستعد فرونشست، استان خراسان رضوی در رتبه نخست کشور قرار می‌گیرد.

فرونشست یا بحران آب؛ کدام تهدید جدی‌تر است؟

اگر بخواهیم به‌طور مشخص وضعیت استان خراسان رضوی را بررسی کنیم، باید توجه داشت که خراسان رضوی به همراه خراسان شمالی و خراسان جنوبی در حوزه نظارتی اداره‌کل شمال شرق قرار می‌گیرد. در این میان، وقتی درباره فرونشست صحبت می‌کنیم معمولاً نخستین موضوعی که مطرح می‌شود نرخ فرونشست زمین است. واقعیت این است که در کشور ما تأکید بر فرونشست تا حدی بیشتر از واقعیت مخاطره آن مطرح می‌شود. البته این موضوع را بیشتر در محافل تخصصی و دانشگاهی می‌توان

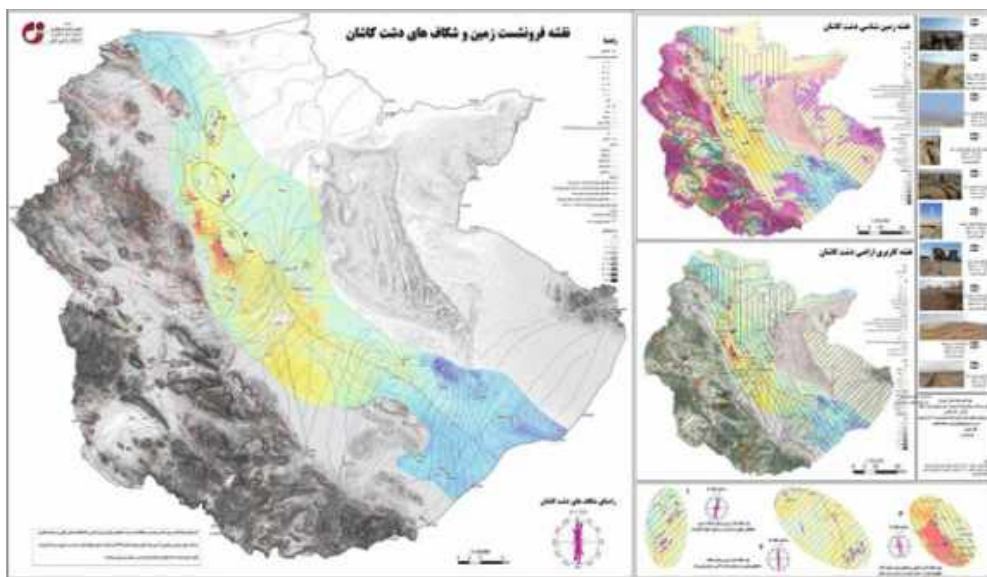
بین ۸ تا ۱۱ درصد دشت‌های کشور درگیر پدیده فرونشست هستند. این میزان معادل حدود ۱۳۵ تا ۱۸۵ هزار کیلومتر مربع از اراضی کشور است. از مجموع ۶۰۹ محدوده مطالعاتی دشت در کشور، حدود ۱۶۰ دشت در وضعیت بحرانی قرار دارند که از این تعداد حدود ۱۳۰ دشت به مرحله خطرناک رسیده‌اند و حدود ۳۰ دشت در وضعیت فوق‌بحرانی قرار دارند.

با خطر بالای فرونشست در کشور وجود دارد که در صورت ادامه روند کنونی برداشت از منابع آب زیرزمینی، به‌تدریج فعال خواهند شد.

کدام استان‌ها بیشترین فرونشست را دارند؟

بر اساس مطالعات انجام‌شده، از نظر وسعت پهنه‌های درگیر با فرونشست، استان خراسان رضوی در رتبه نخست قرار دارد و پس از آن استان کرمان در رتبه دوم است. پس از این دو استان نیز به ترتیب اصفهان، سیستان و بلوچستان، استان مرکزی و همدان قرار می‌گیرند.

با این حال، اگر نرخ فرونشست ملاک قرار گیرد، شرایط متفاوت است. در حال حاضر بیشترین نرخ فرونشست در کشور در استان اصفهان ثبت شده است؛ برخلاف آنچه گاهی در فضای عمومی



گسترده موجب تخریب‌های شدید سازه‌ای شود. برای مثال در دشت مشهد و برخی دشت‌های خراسان، نرخ‌هایی که زمانی به ۲۵ تا ۳۰ سانتی‌متر در سال نزدیک شده بود، اکنون به حدود ۱۵ سانتی‌متر یا کمتر رسیده است.

در حال حاضر در مشهد نرخ فرونشست در برخی مناطق حدود ۱۲ تا ۱۵ سانتی‌متر در سال برآورد می‌شود و بخش عمده مناطق نیز نرخ‌های بسیار کمتری دارند. در بسیاری از نقاط حتی نرخ‌ها در محدوده یک تا سه سانتی‌متر در سال قرار دارد که در مطالعات ساختگاهی رقم بالایی محسوب نمی‌شود.

به همین دلیل نیز باید توجه داشت که تأکید اصلی بر فرونشست در واقع برای حفظ آبخوان‌ها و مدیریت منابع آب زیرزمینی است؛ زیرا اگر آبخوان‌ها از دست بروند، احیاء آن‌ها بسیار دشوار و تقریباً غیرممکن خواهد بود.

تفکیک فرونشست از فروچاله‌ها و نشست‌های موضعی

در بسیاری از موارد نیز آنچه در شهرها به‌عنوان فرونشست مطرح می‌شود، در واقع فروچاله یا نشست‌های موضعی است. برای مثال در مشهد برخی نشست‌هایی که مشاهده می‌شود به دلیل نشست شبکه‌های آب یا فاضلاب رخ می‌دهد و ارتباط مستقیمی با فرونشست دشت ندارد. همچنین در این شهر تعداد زیادی قنات قدیمی و چاه‌های رهاشده وجود دارد که در برخی موارد می‌توانند موجب ایجاد فروریزش‌های موضعی شوند. بنابراین باید میان فرونشست گسترده دشت‌ها و این نوع نشست‌های محلی تفاوت قائل شد.

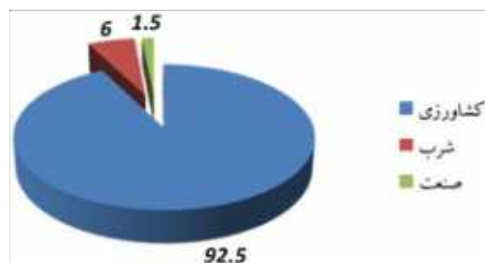
وضعیت دشت‌های خراسان رضوی

در استان خراسان رضوی مجموعاً ۴۵ دشت مطالعاتی وجود دارد. از این میان حدود ۲۰ تا ۲۲ دشت درگیر فرونشست هستند، اما ۱۷ دشت به مرحله خطرناک رسیده‌اند و حدود ۸ دشت

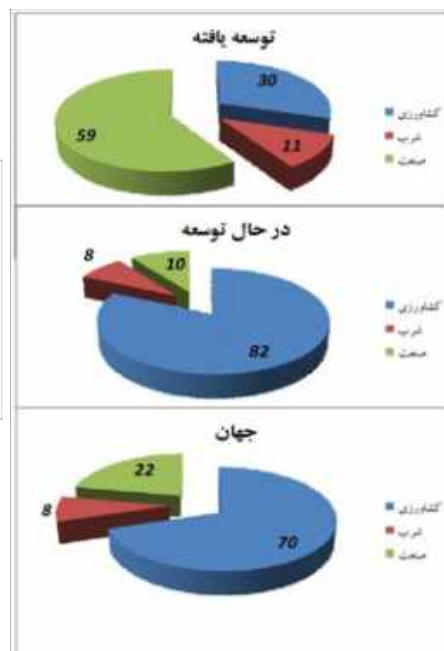
در ایران ضخامت آبخوان‌ها نسبت به برخی کشورهای دیگر بسیار کمتر است. ضخیم‌ترین آبخوان‌های ما حتی به ۴۰۰ متر هم نمی‌رسند؛ در حالی که در مناطقی مانند ایالات متحده یا مکزیکوسیتی، ضخامت آبخوان‌ها گاهی به بیش از هزار متر می‌رسد.

مطرح کرد. دلیل این تأکید آن است که هدف اصلی از طرح گسترده مسئله فرونشست، جلب توجه به بحران منابع آب زیرزمینی است. در حقیقت، خطری که امروز کشور با آن مواجه است بیش از آنکه خود فرونشست باشد، بحران کم‌آبی و از دست رفتن آبخوان‌هاست. اگر به ویژگی آبخوان‌ها نگاه کنیم، متوجه می‌شویم که در ایران ضخامت آبخوان‌ها نسبت به برخی کشورهای دیگر بسیار کمتر است. ضخیم‌ترین آبخوان‌های ما حتی به ۴۰۰ متر هم نمی‌رسند؛ در حالی که در مناطقی مانند ایالات متحده یا مکزیکوسیتی، ضخامت آبخوان‌ها گاهی به بیش از هزار متر می‌رسد. بنابراین میزان فرونشست نیز با ضخامت آبخوان‌ها و افت سطح آب رابطه دارد.

به‌طور میانگین، در بسیاری از مناطق به ازای هر یک متر افت سطح آب زیرزمینی، حدود پنج تا هفت سانتی‌متر نشست زمین رخ می‌دهد؛ البته این مقدار به‌شدت به بافت خاک وابسته است. خاک‌های ریزدانه مانند رس رفتار متفاوتی نسبت به خاک‌های درشت‌دانه دارند و در خاک‌های رسی نیز فرآیند نشست معمولاً بسیار طولانی‌تر است. نکته مهم دیگر این است که فرونشست فرآیندی تدریجی و زمان‌بر است. حتی اگر از امروز برداشت از آبخوان‌ها به‌طور کامل متوقف شود، به دلیل فرآیند تحکیم خاک، نشست زمین ممکن است تا چند سال ادامه داشته باشد. در برخی موارد حتی تا پنج سال پس از توقف برداشت نیز روند نشست ادامه پیدا می‌کند تا زمانی که خاک به حالت تعادل جدید برسد. با این حال، در مجموع می‌توان گفت که فرونشست در ایران، در مقایسه با برخی مناطق جهان، هنوز به مرحله‌ای نرسیده که به‌طور



در سال ۲۰۲۵، برداشت از آبهای زیرزمینی در کشورهای صنعتی ۱۸٪ و در کشورهای در حال توسعه ۵۰٪ رشد خواهد داشت.



این محدوده عمدتاً در شمال غرب مشهد و حدفاصل دشت مشهد تا چناران واقع شده است؛ منطقه‌ای که فعالیت‌های کشاورزی گسترده‌ای در آن انجام می‌شود. بخشی از این اراضی در اختیار دولت و بخش دیگری نیز در مالکیت کشاورزان و مالکان خصوصی است. در برخی نقاط مانند محدوده نیروگاه توس نیز طی حدود هفت تا هشت سال گذشته وضعیت تقریباً به حالت تثبیت شده رسیده است و تغییر قابل توجهی در شکاف‌ها مشاهده نمی‌شود. این وضعیت نشان می‌دهد که منطقه وارد مرحله‌ای از تحکیم اولیه خاک شده است. در ادامه، مسئله مهم‌تر آن است که بررسی شود در مناطقی مانند



آثار فرونشست در منطقه کاریزک

در وضعیت بحرانی قرار دارند. از جمله مهم‌ترین این دشت‌ها می‌توان به دشت مشهد، دشت نیشابور، دشت بردسکن، دشت کاشمر، دشت خواف، دشت زاوه، دشت تربت‌جام، دشت فریمان اشاره کرد. در این دشت‌ها نرخ فرونشست در برخی نقاط بیش از ۱۰ سانتی‌متر در سال گزارش شده است.

نرخ فرونشست در استان خراسان رضوی

در استان خراسان رضوی بیشترین نرخ فرونشست مربوط به دشت مشهد و نیشابور است که در برخی نقاط به ۱۵ تا ۱۸ سانتی‌متر در سال می‌رسد. در سایر دشت‌های استان، اگر میانگین در نظر گرفته شود، نرخ‌ها عمدتاً در محدوده ۹ تا ۱۲ سانتی‌متر در سال قرار دارند. با این حال باید توجه داشت که این نرخ‌ها در تمام سطح دشت‌ها یکسان نیست. برای مثال مساحت دشت مشهد و نیشابور حدود ۲۵۰۰ کیلومتر مربع است، اما تنها حدود یک درصد از این مساحت در محدوده فرونشست با نرخ بالا قرار دارد.

می‌شود، به‌جز چند استان شمالی که به دلیل شرایط اقلیمی مرطوب و منابع آبی فراوان، تاکنون گزارش قابل توجهی از آن‌ها ثبت نشده است. در سایر استان‌ها نیز اگرچه فرونشست وجود دارد، اما در بسیاری از مناطق نرخ‌ها در محدوده‌های معمولی قرار دارد؛ برای مثال حدود ۳ تا ۵ سانتی‌متر در سال که نسبت به مناطق بحرانی رقم بالایی محسوب نمی‌شود.

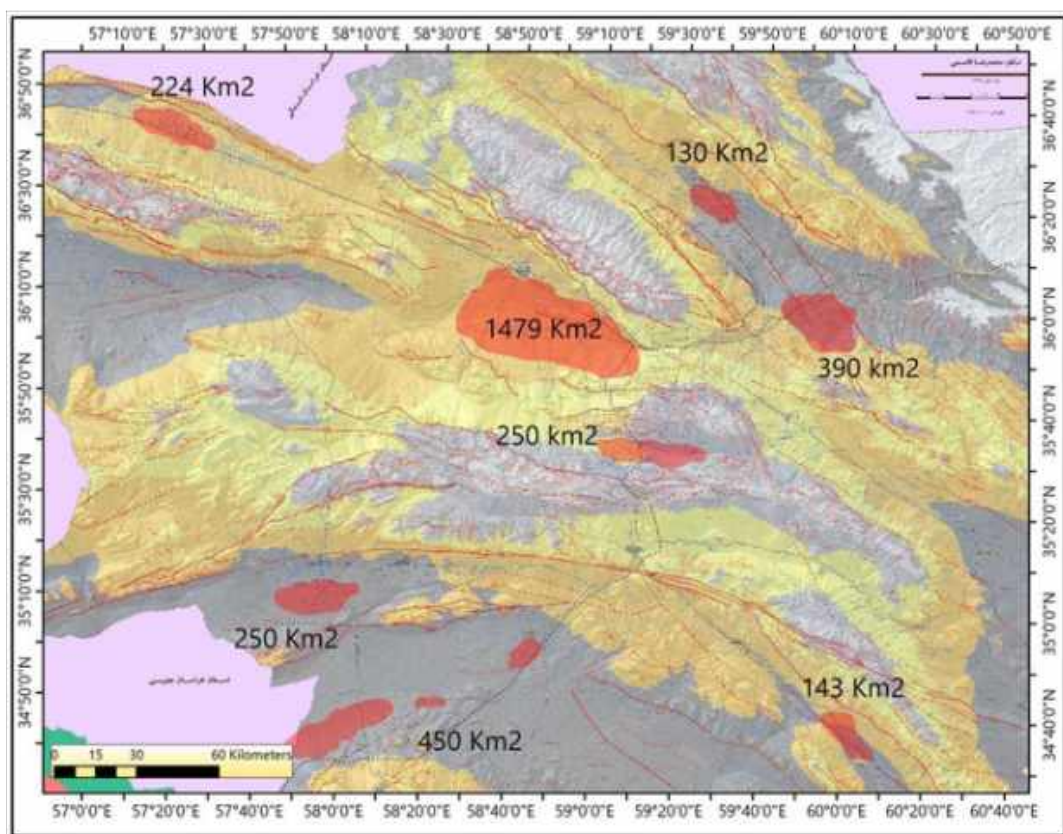
وضعیت فرونشست در خراسان شمالی و خراسان جنوبی

در خراسان شمالی نیز طی سال‌های اخیر نشانه‌هایی از فرونشست مشاهده شده است. از مجموع ۱۲ دشت این استان، حدود پنج دشت درگیر فرونشست هستند. بیشترین میزان

بافت مرکزی مشهد و محدوده ثامن چه اتفاقی در حال رخ دادن است و چه اقداماتی باید برای پیشگیری از بروز مشکلات احتمالی انجام شود.

گستره فرونشست در کشور؛ ۱۸ استان در وضعیت بحرانی

بر اساس ارزیابی‌های انجام‌شده، از مجموع ۳۱ استان کشور، حدود ۱۸ استان به‌طور جدی با پدیده فرونشست درگیر هستند و در برخی از آن‌ها شرایط به مرحله بحرانی رسیده است. البته در مطالعات ما معمولاً آمار بر اساس دشت‌های مطالعاتی ارائه می‌شود و کمتر بر مبنای تقسیمات استانی اعلام می‌شود. با این حال می‌توان گفت تقریباً در اکثر استان‌های کشور نوعی از فرونشست مشاهده



مساحت مناطق دارای عوارض سطحی ناشی از فرونشست زمین

بر اساس ارزیابی‌های انجام‌شده، از مجموع ۳۱ استان کشور، حدود ۱۸ استان به‌طور جدی با پدیده فرونشست درگیر هستند و در برخی از آن‌ها شرایط به مرحله بحرانی رسیده است. تقریباً در اکثر استان‌های کشور نوعی از فرونشست مشاهده می‌شود، به‌جز چند استان شمالی...

مشهد-تهران از این محدوده است. حدود پنج سال پیش در بررسی‌های میدانی مشخص شد که یک شکاف چند کیلومتری در محدوده بشرو و آهنگران ایجاد شده که مسیر آن به نزدیکی خط راه‌آهن می‌رسد.

نکته قابل توجه این است که در محل عبور راه‌آهن، به دلیل زیرسازی و تثبیت بستر، بازشدگی شکاف کاهش پیدا می‌کند؛ اما پس از عبور از خط آهن، شکاف دوباره ادامه می‌یابد. با وجود مکاتبات و هشدارهایی که در همان زمان به دستگاه‌های مسئول داده شد، تاکنون اقدام مؤثری برای مدیریت این وضعیت انجام نشده است. در حالی‌که اگر در آینده ممکن است در آن محدوده خطر فروریزش موضعی به وجود آید.

علاوه بر این، برخی زیرساخت‌های مهم انرژی مانند خطوط انتقال نفت از سمت شاه‌رود و همچنین خطوط گاز نیز از این مناطق عبور می‌کنند که اهمیت مدیریت فرونشست را دوچندان می‌کند.

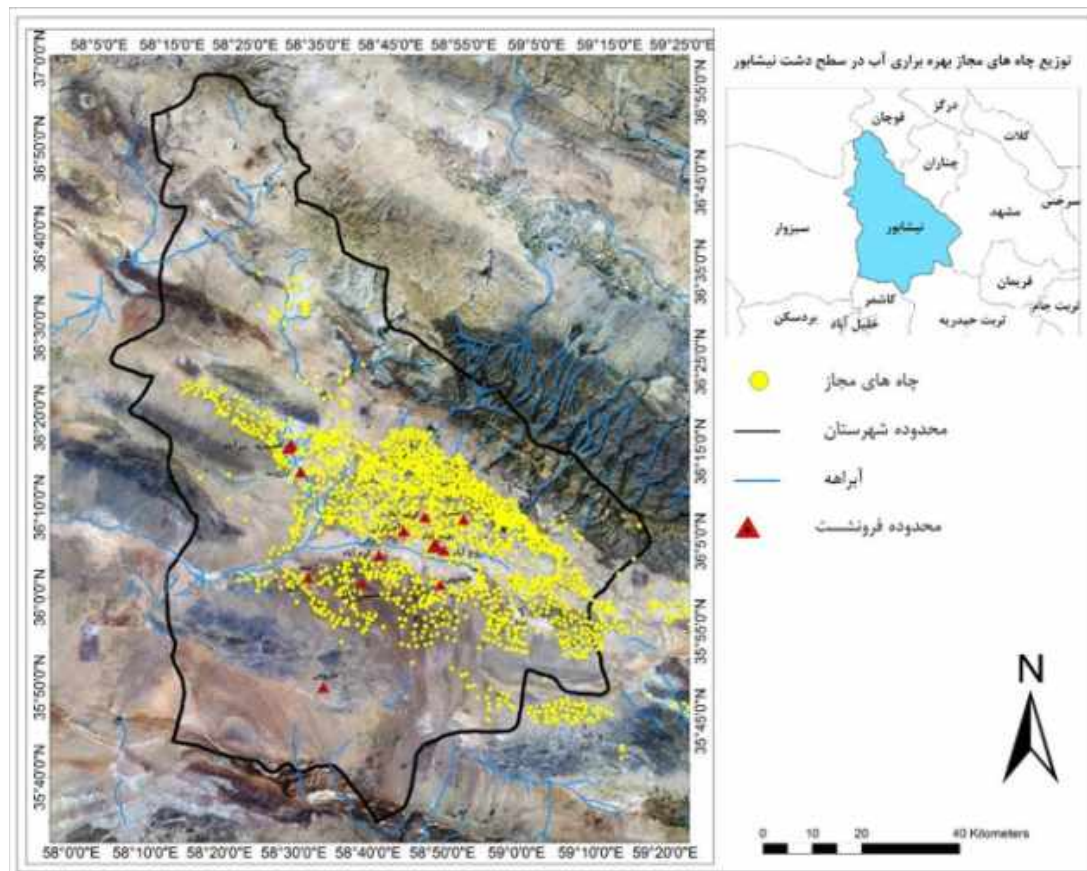
دشت بردسکن؛ نمونه‌ای از تخریب گسترده ناشی از فرونشست

یکی از دشتهایی که از نظر تنوع و شدت عوارض سطحی ناشی از فرونشست وضعیت قابل توجهی دارد، دشت بردسکن است. در حدود ۱۳۹ کیلومتر مربع از جنوب این دشت تقریباً تمام روستاها با شکاف‌های سطحی زمین مواجه هستند. شدت این وضعیت به حدی بوده که در اجرای طرح نهضت ملی مسکن، ناچار شدند محل احداث واحدهای مسکونی را به سمت شمال بردسکن و نزدیک به گسل درونه منتقل کنند. در واقع در اینجا ریسک گسل پذیرفته شده، زیرا ساخت‌وساز در بخش‌های جنوبی دشت به دلیل شدت شکاف‌ها عملاً امکان‌پذیر نیست. نوع خاک این منطقه که عمدتاً رسی و ریزدانه است، در گسترش و تشدید شکاف‌های ناشی از فرونشست نقش مهمی داشته است.

ثبت‌شده در این استان حدود ۶۷ تا ۶۸ میلی‌متر در سال است که در جنوب فاروج و در محدوده دشت قوچان-شیروان گزارش شده است. این دشت از نظر تقسیم‌بندی هیدروژئولوژیکی عمدتاً در خراسان شمالی قرار می‌گیرد، هرچند بخشی از آن در محدوده استان خراسان رضوی واقع شده است. آخرین داده‌های ثبت‌شده در این منطقه مربوط به سال ۲۰۲۴ است. در خراسان شمالی دشت‌های درگیر شامل مواردی مانند قوچان-شیروان، اسفراین، رباط قره‌بیل و سملقان هستند. در خراسان جنوبی نیز از مجموع ۳۵ دشت مطالعاتی، حدود ۸ دشت درگیر فرونشست شده‌اند. بیشترین نرخ فرونشست در این استان مربوط به دشت خضری-دشت بیاض است که حدود ۷۱ میلی‌متر در سال گزارش شده است. علاوه بر این، دشت‌های چاهک، موسویه، بیرجند، طبس و سرایان نیز با این پدیده درگیر هستند. برخی از این مناطق، به‌ویژه سرایان، از نخستین نقاطی بودند که در برداشت‌های میدانی ترک‌های سطحی ناشی از فرونشست در آن‌ها مشاهده شد؛ موضوعی که به بافت رسی و ریزدانه خاک در این مناطق نیز مرتبط است.

اهمیت زیرساختی دشت‌های مشهد و نیشابور

بخش عمده مطالعات دقیق فرونشست در منطقه، در استان خراسان رضوی انجام شده است. اگر دشت‌های این استان را از نظر اهمیت زیرساختی و سازه‌ای رتبه‌بندی کنیم، دشت مشهد در رتبه نخست قرار دارد و پس از آن دشت نیشابور اهمیت ویژه‌ای پیدا می‌کند. یکی از دلایل اهمیت نیشابور، عبور خط راه‌آهن



نیشابور- آبادی بشرو

خوشبختانه در محدوده شهر خواف به دلیل بالا بودن سنگ بستر و کم بودن ضخامت آبرفت، خطر مستقیمی شهر را تهدید نمی‌کند. با این حال در فاصله سلامی تا خواف بخش‌های وسیعی از دشت، به‌ویژه در قسمت‌های شمالی، با فرونشست قابل توجهی مواجه شده‌اند. دشت کاشمر نیز از نظر الگوی فرونشست تا حدی شبیه دشت بردسکن است، هرچند شدت آن به اندازه بردسکن نیست.

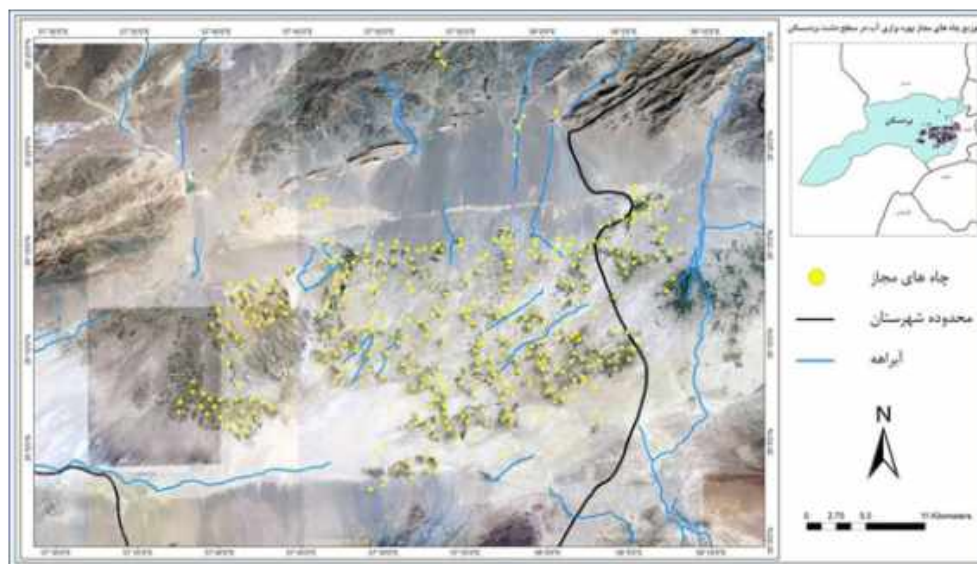
پیامد اقتصادی فرونشست؛ از دست رفتن اراضی کشاورزی

اگر بخواهیم آثار مستقیم فرونشست را بدون در نظر گرفتن مسئله برداشت آب بررسی کنیم،

شدت این وضعیت به حدی بوده که در اجرای طرح نهضت ملی مسکن، ناچار شدند محل احداث واحدهای مسکونی را به سمت شمال بردسکن و نزدیک به گسل درونه منتقل کنند. در واقع در اینجا ریسک گسل پذیرفته شده، زیرا ساخت‌وساز در بخش‌های جنوبی دشت به دلیل شدت شکاف‌ها عملاً امکان‌پذیر نیست. نوع خاک این منطقه که عمدتاً رسی و ریزدانه است، در گسترش و تشدید شکاف‌های ناشی از فرونشست نقش مهمی داشته است.

دشت‌های خواف و کاشمر؛ روند رو به گسترش فرونشست

از دیگر دشت‌هایی که روند فرونشست در آن‌ها رو به افزایش است، دشت خواف است. البته



بیشترین عوارض سطحی نشست ۷۵۳ حلقه چاه بهره برداری بردسکن



بیشترین عوارض سطحی نشست - دشت بردسکن

تغییر مورفولوژی زمین و زوال بازگشت‌ناپذیر آبخوان‌ها

نابودی آبخوان‌ها خسارتی است که نمی‌توان بهای مادی برای آن تعیین کرد، زیرا با تراکم خاک و از بین رفتن ظرفیت ذخیره‌سازی، احیای سفره‌های آب زیرزمینی غیرممکن می‌شود. این فرآیند که ناشی از افت تراز آب و فشرده شدن لایه‌های خاک است، پدیده‌ای کاملاً بازگشت‌ناپذیر محسوب می‌شود.

یکی از پیامدهای اصلی این وضعیت، تغییر مورفولوژی (ریخت‌شناسی) زمین است که عملاً باعث غیرقابل‌استفاده شدن اراضی می‌شود. تغییرات ارتفاعی ناشی از نشست زمین، باعث می‌شود مناطقی که پیش از این سابقه سیل‌خیزی نداشته‌اند، به دلیل تغییر شیب و ایجاد بستر تجمع آب، با خطر سیلاب مواجه شوند.

مخاطرات جانی و چالش‌های زیرساختی در دشت خواف

فرونشست در مناطقی مانند دشت خواف، مخاطرات جانی مستقیمی به همراه داشته است.

اگر بخواهیم آثار مستقیم فرونشست را بدون در نظر گرفتن مسئله برداشت آب بررسی کنیم، مهم‌ترین پیامد آن آسیب‌های اقتصادی و از بین رفتن کاربری مسکونی و کشاورزی است.

مهم‌ترین پیامد آن آسیب‌های اقتصادی و از بین رفتن کاربری مسکونی و کشاورزی است. برای نمونه در دشت بردسکن، در حدود ۱۳۴ کیلومتر مربع از بخش جنوبی دشت به دلیل وجود شکاف‌های متعدد زمین، بخش بزرگی از اراضی کشاورزی عملاً از چرخه بهره‌برداری خارج شده است. این منطقه پیش‌تر یکی از نواحی فعال کشاورزی بود، اما اکنون بیش از نیمی از کاربری کشاورزی آن از بین رفته است.

وجود شکاف‌ها باعث می‌شود آب آبیاری به سرعت در زمین نفوذ کرده و از دسترس خارج شود. هرچند کشاورزان تلاش می‌کنند این شکاف‌ها را ترمیم کنند، اما هزینه این کار بسیار بالا است و در بسیاری موارد صرفه اقتصادی ندارد. علاوه بر این، با هر بارندگی دوباره شکاف‌ها باز می‌شوند و مشکل از نو تکرار می‌شود.



سریع‌ترین رشد در نشست- دشت خواف

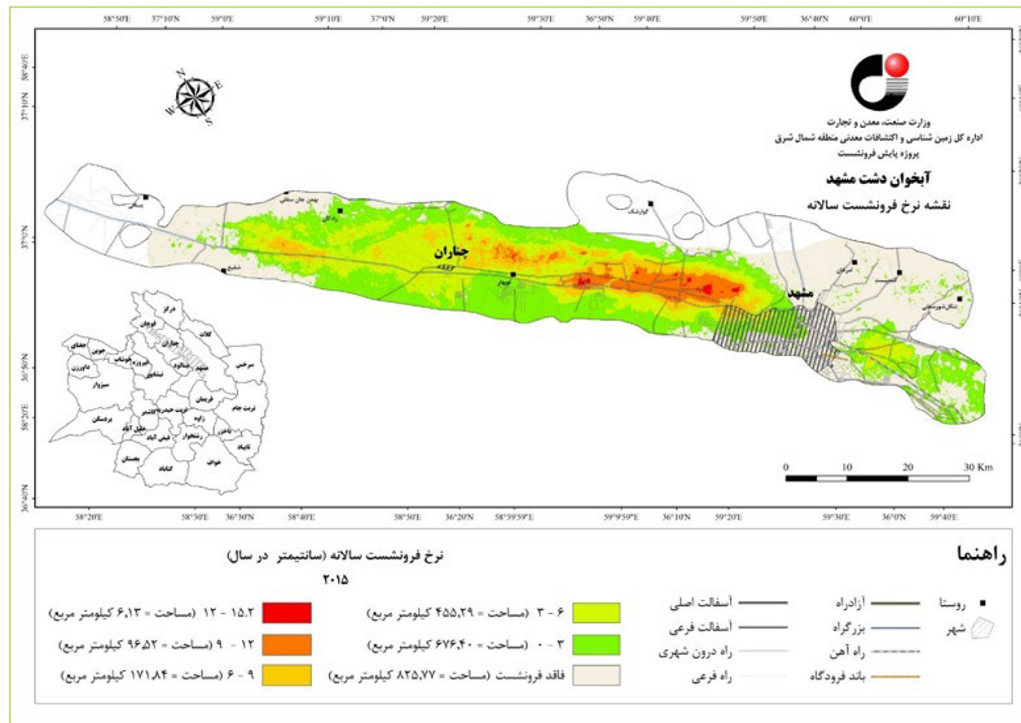
نشست‌های ناگهانی در جاده‌ها منجر به سقوط خودروها و تلفات جانی شده و شکاف‌های عمیق دشت نیز باعث سقوط و اتلاف احشام روستاییان می‌شود. عمق این شکاف‌ها در بررسی‌های میدانی و برداشت‌های پهبادی به حدی زیاد گزارش شده که انتهای آن‌ها قابل‌رؤیت نیست. در بخش زیرساخت‌های خطی مانند راه‌آهن و جاده، فرونشست منطقه‌ای هزینه‌های بهسازی را به شدت افزایش داده است. نکته فنی اینجاست که راهکارهای ژئوتکنیکی متداول در مواجهه با فرونشست‌های گسترده کارایی لازم را ندارند و در طراحی پروژه‌های این مناطق، ناگزیر باید سطحی از ریسک نشست را پذیرفت.

تحلیل وضعیت فرونشست در کلان‌شهر مشهد و منطقه توس

بررسی‌های پایش زمین در مشهد نشان می‌دهد که با کاهش سهم آب سد دوستی و بهره‌برداری مجدد از چاه‌های آب، روند نشست در برخی مناطق تغییر کرده است. در محدوده

نشست‌های ناگهانی در جاده‌ها منجر به سقوط خودروها و تلفات جانی شده و شکاف‌های عمیق دشت نیز باعث سقوط و اتلاف احشام روستاییان می‌شود. عمق این شکاف‌ها در بررسی‌های میدانی و برداشت‌های پهبادی به حدی زیاد گزارش شده که انتهای آن‌ها قابل‌رؤیت نیست. در بخش زیرساخت‌های خطی مانند راه‌آهن و جاده، فرونشست منطقه‌ای هزینه‌های بهسازی را به شدت افزایش داده است. نکته فنی اینجاست که راهکارهای ژئوتکنیکی متداول در مواجهه با فرونشست‌های گسترده کارایی لازم را ندارند و در طراحی پروژه‌های این مناطق، ناگزیر باید سطحی از ریسک نشست را پذیرفت.

تأثیر فرونشست بر ضوابط مهندسی و هزینه‌های ساخت‌وساز در استعلام‌های فنی برای احداث مجتمع‌های



توازن چاه‌های مجاز و غیرمجاز و تداخل شعاع اثر در دشت‌ها

در بسیاری از دشت‌ها، تعداد چاه‌های غیرمجاز با چاه‌های مجاز برابری می‌کند که این امر منجر به نقض حریم فنی و فاصله استاندارد میان چاه‌ها شده است. از منظر هیدرولیکی، برداشت آب از هر چاه دارای یک شعاع تأثیر مشخص است؛ هنگامی که فواصل قانونی رعایت نشود، تداخل این شعاع‌ها باعث تشدید افت تراز آب و تشدید نرخ نشست در آن محدوده می‌شود. این پدیده اکنون به یکی از چالش‌های اصلی در مدیریت منابع آب زیرزمینی تبدیل شده است.

مکانیسم نشست در لایه‌های عمقی و تأثیر وزن سربار

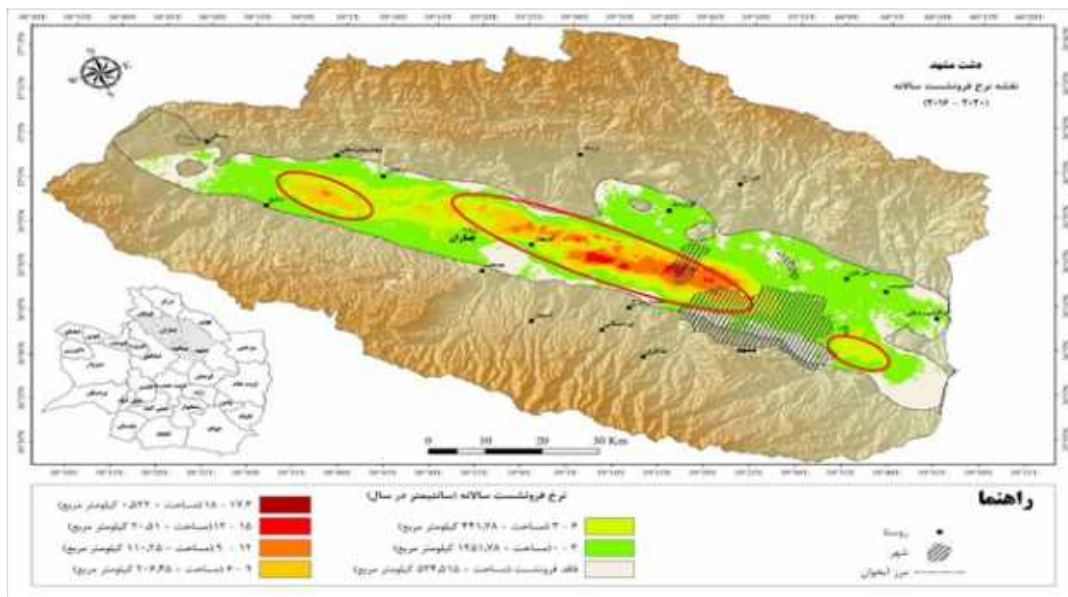
مطالعات انجام شده در مناطقی مانند شهریار تهران و منطقه توس مشهد نشان می‌دهد که تمامی لایه‌های زمین به صورت همزمان نشست نمی‌کنند. فرآیند نشست معمولاً از لایه‌های ریزدانه آغاز می‌شود. در برخی موارد، حتی با توقف برداشت آب، نشست به دلیل فرآیند تحکیم تا مدتی ادامه می‌یابد.

نکته فنی حائز اهمیت، تأثیر بار سربار در نشست‌های عمیق است. هنگامی که به دلیل

بررسی‌های پایش زمین در مشهد نشان می‌دهد که با کاهش سهم آب سد دوستی و بهره‌برداری مجدد از چاه‌های آب، روند نشست در برخی مناطق تغییر کرده است.

فرودگاه مشهد، برخلاف باور عمومی، نشست سیستماتیک مشاهده نمی‌شود؛ بررسی‌ها با دستگاه GPR تایید کرد که نشست‌های پیشین در باند فرودگاه ناشی از نقص در زیرسازی و استفاده از مصالح نامناسب بوده است، نه فرونشست دشت.

با این حال، در محدوده اطراف حرم مطهر، نرخ نشست روند افزایشی داشته است که در حال حاضر نگران‌کننده نیست ولی با توجه به اهمیت بارگاه مقدس رضوی بایستی تدابیر لازم در پیشگیری لحاظ گردد. بحرانی‌ترین وضعیت در منطقه توس مشاهده می‌شود؛ در این منطقه به دلیل بافت خاک رسی و حجم بالای برداشت آب برای مصارف کشاورزی و ویلاها (از طریق چاه‌های غیرمجاز)، نرخ نشست در نقاطی بین ۱۸ تا ۲۵ سانتی‌متر و در موارد حاد تا ۴۰ سانتی‌متر نیز گزارش شده است.



کامل نابود شده است، اما تراکم لایه‌های مستعد فرونشست باعث شده است که ظرفیت تغذیه‌پذیری سفره‌های زیرزمینی به شدت تضعیف شود. به عبارت دیگر، حتی در صورت وجود منابع آب سطحی، امکان انتقال و ذخیره‌سازی آب در لایه‌های متراکم شده وجود ندارد. در خصوص مخاطرات احتمالی برای حرم مطهر، در حال حاضر خطر قطعی و فوری گزارش نشده است.

تعاملات بین‌دستگاهی و چالش‌های یکپارچه‌سازی داده‌های مکانی

در سطح استان خراسان رضوی، همکاری میان‌بخشی میان سازمان زمین‌شناسی، شرکت آب منطقه‌ای و آب‌وفاضلاب در سطح مطلوبی قرار دارد و تبادل اطلاعات فنی به‌صورت مستمر انجام می‌شود. به عنوان نمونه، در پروژه‌های جانمایی خطوط انتقال نیرو، داده‌های مربوط به بافت خاک و نقشه‌های ریسک در اختیار شرکت توزیع برق قرار می‌گیرد. با این حال، تدوین نقشه جامع ریسک با چالش عدم همکاری برخی نهادها مواجه است؛ برخی ارگان‌ها از جمله شرکت گاز، با استناد به ملاحظات امنیتی، از ارائه لایه‌های اطلاعاتی مربوط به ایستگاه‌ها و خطوط لوله خودداری می‌کنند. این در حالی است که بخش‌های عملیاتی همین ارگان‌ها، به دلیل استقرار در پهنه‌های بحرانی، مطالعات اختصاصی و دقیقی را از طریق بخش خصوصی انجام داده‌اند. عدم تجمیع این داده‌ها در یک بانک اطلاعاتی واحد، منجر به بروز نقص در تحلیل‌های جامع خطرپذیری می‌شود.

رویکرد کاربردی در تولید نقشه و حفظ سرمایه‌های زیرساختی

سازمان زمین‌شناسی با تغییر رویکرد از گزارش‌نویسی صرف به سمت تولید داده‌های کاربردی، هر ساله نسخه‌های به‌روزرسانی شده از نقشه‌های فرونشست را در قالب لوح‌های فشرده برای تمامی ارگان‌های زیرساختی و شرکت‌های متولی ارسال

در بسیاری از دشت‌ها، تعداد چاه‌های غیرمجاز با چاه‌های مجاز برابری می‌کند که این امر باعث نقض حریم فنی و فاصله استاندارد میان چاه‌ها شده است. از منظر هیدرولیکی، برداشت آب از هر چاه دارای یک شعاع تأثیر مشخص است؛ هنگامی که فواصل قانونی رعایت نشود، تداخل این شعاع‌ها باعث تشدید افت تراز آب و تشدید نرخ نشست در آن محدوده می‌شود.

افت سطح آب، عملیات کف‌شکنی انجام شده و برداشت از اعماق پایین‌تر صورت می‌گیرد، فشار ناشی از وزن لایه‌های فوقانی که پیش‌تر متراکم شده‌اند، باعث می‌شود لایه مستعد جدید در بازه زمانی کوتاهی با نرخ بسیار بالا نشست کند.

پارادوکس نشست زمین و بالازدگی آب در منطقه ثامن

در منطقه ثامن مشهد، پدیده نادری مشاهده شده است که طی آن نشست زمین و بالازدگی آب سطحی به‌طور همزمان رخ می‌دهد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که یک لنز رسی در عمق تقریبی ۵۰ متری، پس از تخلیه آب، دچار تراکم شدید و تغییر ساختار شده است. این لایه پس از متراکم شدن، خاصیت نفوذناپذیری پیدا کرده و مانند یک سد فیزیکی (سنگ‌گونه) عمل می‌کند و در لایه‌های عمیق‌تر نشست در حال وقوع است.

در نتیجه، آب‌های حاصل از بارندگی یا چاه‌های جذبی امکان نفوذ به اعماق پایین‌تر را نداشته و در لایه‌های سطحی تجمع می‌یابند که این امر منجر به آب‌گرفتگی پی‌هتل‌ها و گودبرداری‌ها شده است. به همین دلیل، سازمان نظام مهندسی اکنون اجرای طرح‌های آب‌بند و سیستم‌های مهار آب را پیش از شروع عملیات گودبرداری در این منطقه الزامی کرده است.

اختلال در تغذیه سفره‌های زیرزمینی و وضعیت محدوده حرم مطهر

اگرچه نمی‌توان ادعا کرد که کل آبخوان به‌طور

خطر.

۳. مرکز تحقیقات راه و شهرسازی: متولی تدوین استانداردها و راهکارهای مهندسی. در حال حاضر، جای خالی پیوست فرونشست در پروژه‌های عمرانی به شدت احساس می‌شود. همان‌گونه که کشور با واقعیت خشکسالی سازگار شده است، باید فرونشست نیز به عنوان یک واقعیت اقلیمی و زمین‌شناختی در پروتکل‌های ساخت‌وساز ادغام شود تا ضوابط مهندسی بر اساس نرخ نشست هر منطقه تنظیم گردد.

پیامدهای زیست‌محیطی و اقتصادی زوال آبخوان‌ها

تداوم روند کنونی افت سطح آب زیرزمینی، علاوه بر فرونشست، منجر به نابودی ظرفیت جذبی خاک شده است. با از دست رفتن تخلخل لایه‌های سطحی و عمقی، زمین توان نفوذپذیری خود را از دست داده و همین امر موجب تشدید سیلاب‌های مخرب در سال‌های اخیر شده است.

از منظر اقتصادی، پیش‌بینی می‌شود بین ۲۰ تا ۲۵ درصد از اراضی کشاورزی استان به دلیل عوارض سطحی فرونشست از چرخه بهره‌برداری خارج شوند. اگرچه در دشت‌هایی مانند جوبین به دلیل یکنواختی نشست، تغییر کاربری آبی رخ نداده، اما در مناطقی با بافت خاک متنوع، فرونشست منجر به بایر شدن زمین، ایجاد کانون‌های جدید ریزگرد و در نهایت نابودی اشتغال روستایی شده است.

تسری فرونشست به بافت‌های روستایی و ابنیه تاریخی

در حالی که پدیده فرونشست در کلان‌شهرها (به جز اصفهان) هنوز به مرحله بحرانی در بافت مرکزی نرسیده، بیش از ۹ هزار روستا در کشور به‌طور مستقیم با این چالش درگیر هستند. در دشت بردسکن، تمامی روستاها و حتی آثار باستانی واجد ارزش مانند برج فیروزآباد دچار نشست و انحراف از محور شده‌اند. همچنین در مناطقی نظیر بشرو و آهنگران، شکاف‌های عمیق از میان واحدهای

تدوین نقشه جامع ریسک با چالش عدم همکاری برخی نهادها مواجه است؛ برخی ارگان‌ها از جمله شرکت گاز، با استناد به ملاحظات امنیتی، از ارائه لایه‌های اطلاعاتی مربوط به ایستگاه‌ها و خطوط لوله خودداری می‌کنند. این در حالی است که بخش‌های عملیاتی همین ارگان‌ها، به دلیل استقرار در پهنه‌های بحرانی، مطالعات اختصاصی و دقیقی را از طریق بخش خصوصی انجام داده‌اند.

می‌کند. هدف از این اقدام، پیش‌بینی مخاطرات جهت حفظ سرمایه‌های ملی است. تجربه سیلاب‌های اخیر مشهد نشان داد که پیش‌بینی دقیق مخاطرات ناشی از فرونشست و تغییرات مورفولوژیک، نه تنها از تلفات جانی جلوگیری می‌کند، بلکه پایداری سازه‌ها و سرمایه‌گذاری‌های زیربنایی را برای بازه‌های زمانی بلندمدت (۵۰ تا ۱۰۰ سال) تضمین می‌نماید.

آسیب‌شناسی رویکردهای دانشگاهی و ساختار قانونی مدیریت بحران

در تحلیل سناریوهای آینده، یکی از موانع اصلی، رویکرد پروژه محور در بخش دانشگاهی است. در این الگو، مسائل بحرانی صرفاً به عنوان بستری برای جذب بودجه‌های پژوهشی مطرح شده و نتایج آن‌ها بدون خروجی عملیاتی، در سطح کتابخانه‌ها باقی می‌ماند. علاوه بر این، بازنگری در قانون جدید مدیریت بحران و تعیین نقش سازمان‌ها متناسب با امکانات، تخصص و شرح وظایف ضروری به نظر می‌رسد.

ضرورت تدوین پیوست فرونشست و تفکیک وظایف ملی

برای مدیریت اصولی این بحران، پیشنهاد می‌شود وظایف نهادهای متولی به صورت تخصصی تفکیک شود:

۱. سازمان نقشه‌برداری: متولی پایش و اعلام دقیق نرخ فرونشست.

۲. سازمان زمین‌شناسی: متولی تحلیل‌های فنی، شناسایی علل زمین‌شناختی و تعیین پهنه‌های



مسیر راه آهن مشهد-تهران- ایستگاه خیام مجاورت روستای بشرو

کشاورزان یا ایجاد اشتغال جایگزین است. در حال حاضر ۹۰ درصد منابع آب صرف بخش کشاورزی می‌شود که بخش عمده آن همچنان با روش‌های سنتی و غرقابی مدیریت می‌گردد. بر اساس برنامه هفتم توسعه، کاهش ۴۰ درصدی مصرف در این بخش می‌تواند بحران آب شرب و فرونشست را به‌طور کامل مهار کند. با این حال، فقدان پیوست‌های اقلیمی در طرح‌های آمایش سرزمین و نبود آموزش و تبیین دقیق برای کشاورزان (جهت اصلاح باورهای سنتی درباره منابع آب زیرزمینی)، مانع از تحقق این اهداف شده است. رعایت استانداردهای نوین کشت و انطباق با پهنه‌بندی‌های اقلیمی، تنها راه نجات دشت‌های مشهد، چناران و سنگ‌بست از زوال قطعی است.

ناکارآمدی حکمرانی آب و انفعال بخش کشاورزی

ریشه بحران کنونی را باید در سوءمدیریت منابع آب و انفعال دستگاه‌های متولی، به‌ویژه جهاد کشاورزی جستجو کرد. علی‌رغم وضعیت بحرانی دشت‌ها، هنوز الگوی کشت متناسب با اقلیم در مناطقی مانند جیم‌آباد، تپه سلام و سنگ‌بست اجرایی نشده است؛ به‌طوری که در دشت‌های ممنوعه، همچنان محصولات پرمصرفی نظیر هندوانه و چغندرکند کشت می‌شوند. از سوی دیگر، ساختار تعرفه‌گذاری شرکت آب منطقه‌ای دارای ایرادات فنی جدی است؛ سیستم

تولیدی و دامی عبور کرده و پایداری سازه‌ها را به‌کلی از بین برده است.

تهدید زیرساخت‌های حمل‌ونقل و بازگشت بحران به منطقه ثامن

مخاطرات فرونشست در بخش زیرساخت‌های خطی به مرحله هشدار رسیده است؛ به‌طوری که پیش از این در جاده خواف، نشست‌های ناگهانی منجر به سقوط خودروها شده است. پایش‌های فنی نشان می‌دهد که محدوده راه‌آهن در منطقه بشرو-آهنگران نیشابور به دلیل ضربات ناشی از تردد قطار و همزمانی با فرونشست، در معرض خطر قطعی فروریزش قرار دارد. در کلان‌شهر مشهد نیز، با بهره‌برداری مجدد از چاه‌های آب شرب در شمال غرب و منطقه ثامن، نرخ نشست که پیش‌تر به ثبات نسبی رسیده بود، مجدداً شتاب گرفته است. تجربه نشان می‌دهد توقف این روند حتی در صورت پلمب چاه‌ها، دست‌کم چند سال زمان خواهد برد.

ضرورت تغییر پارادایم در مدیریت منابع آب و بخش کشاورزی

بحران کم‌آبی در کلان‌شهر مذهبی و گردشگری مشهد نیازمند مدیریت یکپارچه منابع است، نه صرفاً حفر چاه‌های جدید. پیشنهاد فنی برای حفظ آبخوان مشهد که ضخامت چندانی نیز ندارد، توقف برداشت‌های کشاورزی در اراضی پیرامونی (مانند چناران) از طریق خرید حق‌آبه

از فرونشست در بسیاری از دشت‌های کشور نداریم. در حالی که این داده‌ها برای پیش‌بینی نوع نشست، عمق و امتداد ترک‌ها و همچنین برای ارزیابی ریسک ساخت‌وساز ضروری است. در مناطقی مانند دشت مشهد، لازم است حتی در بدبینانه‌ترین سناریوها نیز مشخص شود که حداکثر فرونشست محتمل چقدر است، تا بتوان درباره توسعه شهری و استقرار سازه‌های سنگین با معیار علمی تصمیم‌گیری کرد.

مهندسان سازه برای طراحی پروژه‌های بزرگ در دشت مشهد، نیازمند پاسخ به این پرسش فنی هستند که در بدترین سناریو (تخلیه کامل آبخوان)، زمین تا چه میزان و با چه الگویی نشست خواهد کرد؟ پاسخ به این پرسش و تعیین ظرفیت تجدیدپذیری آبخوان، وظیفه‌ای است که نهادهای علمی باید برای کاهش ریسک سرمایه‌گذاری‌های عمرانی به آن بپردازند.

ضرورت تغییر در ساختار حفاظت از منابع زیرزمینی

ساختار کنونی جهاد کشاورزی و سیستم نظارتی آب منطقه که به بخش خصوصی واگذار شده، با واقعیت‌های کشوری که با تنش آبی شدید روبروست، همخوانی ندارد. از دهه ۴۰ که نخستین قوانین حفاظتی تصویب شد تا به امروز، قوانین متعددی وضع شده، اما تا زمانی که مدیریت فرونشست به یک پیوست اجباری و فنی در تمامی طرح‌های توسعه‌ای تبدیل نشود و دانشگاه از نقش پژوهش‌گر صرف به تحلیل‌گر عملیاتی تغییر وضعیت ندهد، صیانت از سرمایه‌های زیرساختی کشور در برابر فرونشست ناممکن خواهد بود.

مدیریت فرونشست با شناسایی نقاط بحرانی

در مرحله نخست، تمرکز ما بر به‌روزرسانی مستمر نقشه‌های نرخ فرونشست بوده است. این نقشه‌ها هر سال به‌روزرسانی می‌شوند و در کنار آن، تهیه نقشه‌های خطرپذیری فرونشست را

ریشه بحران کنونی را باید در سوءمدیریت منابع آب و انفعال دستگاه‌های متولی، به‌ویژه جهاد کشاورزی جستجو کرد. علی‌رغم وضعیت بحرانی دشت‌ها، هنوز الگوی کشت متناسب با اقلیم در مناطقی مانند جیم‌آباد، تپه‌سلام و سنگ‌بست اجرایی نشده است؛ به‌طوری که در دشت‌های ممنوعه، همچنان محصولات پر مصرفی نظیر هندوانه و چغندر قند کشت می‌شوند.

کنونی به‌گونه‌ای طراحی شده که کشاورز حتی در صورت عدم نیاز، ترغیب به برداشت کامل سهمیه آب خود می‌شود تا هزینه‌ای که بابت کل مجوز پرداخت کرده، هدر نرود. این رویکرد، عملاً اثربخشی کنتورهای هوشمند را در دوره‌های خشکسالی از بین برده است.

انحراف از رسالت دانشگاهی و غلبه رویکرد پروژه محور

در کنار ضعف‌های اجرایی، نهاد دانشگاه نیز از رسالت اصلی خود در حل بحران فرونشست فاصله گرفته است. در حال حاضر، همکاری‌های دانشگاهی عمدتاً پروژه محور شده و خروجی پژوهش‌های کلان، فاقد راهکارهای کاربردی و عملیاتی برای دستگاه‌های اجرایی است. برون‌سپاری پروژه‌های اکتشافی و زمین‌شناسی به دانشگاه‌ها، در بسیاری از موارد به تولید گزارش‌های حجیم اما فاقد محتوای فنی گره‌گشا منجر شده است که در خط مقدم مقابله با فرونشست، کارایی ندارند.

خلاء داده‌های بنیادین در مهندسی آبخوان و پیش‌بینی رفتار زمین

مسئله اصلی در حوزه فرونشست، کمبود پژوهش‌های بنیادین و کاربردی مؤثر است. اگرچه تحقیقات متعددی انجام شده، اما بسیاری از آن‌ها نتوانسته‌اند به نیازهای فوری مدیریت بحران پاسخ دهند. ما هنوز شناخت دقیقی از هندسه آبخوان‌ها، دانه‌بندی و رفتار لایه‌های خاک، نقش گسل‌ها و الگوی ترک‌خوردگی ناشی

تا زمانی که مدیریت فرونشست به یک پیوست اجباری و فنی در تمامی طرح‌های توسعه‌ای تبدیل نشود و دانشگاه از نقش پژوهش‌گر صرف به تحلیل‌گر عملیاتی تغییر وضعیت ندهد، صیانت از سرمایه‌های زیرساختی کشور در برابر فرونشست ناممکن خواهد بود.

نیز در دستور کار قرار داده‌ایم. هدف از این اقدام آن است که از مرحله صرفاً اعلام نرخ فرونشست عبور کنیم و به سمت ارائه راهکارهای عملی برای مدیریت بحران حرکت کنیم.

یکی از چالش‌های جدی در این حوزه، نبود مدیریت یکپارچه منابع آب است. در شرایط فعلی نمی‌توان برای کل دشت مشهد یک تصمیم واحد گرفت؛ برای مثال نه می‌توان همه محدوده را به‌طور کامل ممنوعه اعلام کرد و نه امکان تعیین یک سقف برداشت یکسان برای همه نقاط وجود دارد. چنین تصمیم‌هایی به دلیل تعارض‌های اجتماعی و اقتصادی گسترده عملاً اجراشدنی نیست. تجربه نشان می‌دهد حتی بستن یک حلقه چاه نیز در بسیاری موارد با تنش و مقاومت اجتماعی همراه می‌شود.

بر همین اساس، ما رویکرد مدیریت مبتنی بر ریسک را پیشنهاد داده‌ایم. به این معنا که به جای اعمال محدودیت‌های گسترده در کل دشت، ابتدا نقاط بسیار بحرانی شناسایی شوند و اقدامات مدیریتی در همان مناطق متمرکز شود. برای مثال، بررسی‌های ما نشان می‌دهد در دشت مشهد - چنان‌که حدود ۲۵۰۰ کیلومتر مربع وسعت دارد، ممکن است تنها دو تا سه کیلومتر مربع در وضعیت بحرانی قرار داشته باشد که لازم است فوراً از چرخه بهره‌برداری خارج شوند. اجرای چنین اقداماتی هم سریع‌تر و هم کم‌هزینه‌تر است و از نظر اجتماعی نیز قابل مدیریت‌تر خواهد بود.

در حال حاضر بحرانی‌ترین نقطه شناسایی‌شده در محدوده مشهد، مساحتی کمتر از یک کیلومتر مربع دارد. تمرکز مدیریتی بر چنین محدوده‌هایی می‌تواند اقدام فوری و مؤثری در کاهش ریسک

باشد. نکته مهم دیگر این است که صرف اعلام نرخ فرونشست، به تنهایی برای مدیریت بحران کافی نیست. برای مثال ممکن است در بخشی از دشت، نرخ فرونشست به حدود ۱۵ سانتی‌متر در سال برسد، اما این پدیده در محدوده‌ای کم اهمیت رخ دهد. در مقابل، در برخی مناطق شهری مشهد نرخ فرونشست ۷ تا ۹ سانتی‌متر در سال است، اما به دلیل قرارگیری در بافت مسکونی، خطرات آن به مراتب بیشتر است.

به عنوان نمونه، در محدوده‌ای در اطراف خواجه‌ربیع نشانه‌هایی از نشست زمین مشاهده شده و ترک‌هایی نیز از گذشته در آن محدوده وجود داشته است. با این حال، به دلیل نبود اطلاعات و نقشه‌های ریسک در زمان ساخت‌وساز، در همان محدوده واحدهای مسکونی احداث شده است. اگر چنین اطلاعاتی پیش‌تر در قالب نقشه‌های ریسک در دسترس بود، احتمالاً تصمیم‌گیری درباره ساخت‌وساز در آن محل با احتیاط بیشتری انجام می‌شد. به همین دلیل، یکی از کارکردهای مهم نقشه‌های ریسک فرونشست، ارائه اطلاعات به نهادهای صدور مجوز و شهروندان است تا پیش از آغاز ساخت‌وساز بتوانند از وضعیت زمین در آن محدوده آگاه شوند. خوشبختانه در سال‌های اخیر موضوع استعمال فرونشست در فرآیند ساخت‌وساز بیشتر مورد توجه قرار گرفته و دستگاه‌ها برای دریافت اطلاعات به ما مراجعه می‌کنند. در مجموع، تهیه نقشه‌های ریسک و تمرکز بر نقاط بحرانی را می‌توان یکی از فوری‌ترین و کم‌هزینه‌ترین راهکارهای مدیریت خطر فرونشست در دشت مشهد دانست.

افزایش بهره‌وری آب؛ شرط مهار فرونشست

راهکار بعدی ما بر پایه همان نقشه‌های ریسک فرونشست تعریف می‌شود. بر اساس این نقشه‌ها می‌توان برنامه‌ریزی دقیق‌تری برای مدیریت منابع آب انجام داد.

در واقع اگر بخواهیم تا پایان برنامه هفتم توسعه به کاهش فشار بر آبخوان‌ها برسیم، لازم

اگر بخواهیم تا پایان برنامه هفتم توسعه به کاهش فشار بر آبخوان‌ها برسیم، لازم است سالانه حدود ۱۰ درصد افزایش بهره‌وری آب در بخش‌های مختلف محقق شود.

است سالانه حدود ۱۰ درصد افزایش بهره‌وری آب در بخش‌های مختلف محقق شود. این افزایش بهره‌وری می‌تواند از مسیرهای گوناگونی دنبال شود؛ از جمله بازچرخانی و استفاده مجدد از پساب در بخش شهری و صنعتی و همچنین اصلاح الگوی مصرف آب در بخش کشاورزی. در حوزه کشاورزی نیز اقداماتی

تنها ۱۰ درصد آب برداشت‌شده به آبخوان باز می‌گردد

نکته مهم این است که آبی که از آبخوان‌ها برداشت می‌شود، به‌سادگی به همان لایه‌ها باز نمی‌گردد. بر اساس برآوردهای علمی، از هر ۱۰۰ لیتر آبی که از سفره‌های زیرزمینی برداشت می‌شود، در خوشبینانه‌ترین حالت تنها حدود ۱۰ لیتر آن امکان بازگشت طبیعی به همان عمق را دارد. به همین دلیل، روند برداشت‌های ما عملاً به شکل تجمعی و تصاعدی موجب افزایش کسری مخزن آبخوان‌ها می‌شود. در حال حاضر تقریباً همه آبخوان‌های کشور با کسری مخزن مواجه هستند.

تجربه کشورهای دیگر نیز نشان می‌دهد که مدیریت این پدیده نیازمند برنامه‌ریزی بلندمدت است. برای مثال کشورهایی مانند چین و ایالات متحده نیز در گذشته با فرونشست‌های قابل توجهی مواجه بوده‌اند. در مرحله نخست، آن‌ها شرایطی مشابه وضعیت فعلی ما داشتند، اما در ادامه توانستند با اجرای سیاست‌های مدیریتی به مرحله تثبیت و کنترل فرونشست برسند. در بسیاری از مناطق، فرونشست زمانی رخ می‌دهد که یک لایه خاص از رسوبات آبدار تخلیه شود. پس از فشرده شدن آن لایه، زمین تا حدی به حالت پایدار می‌رسد و نرخ نشست کاهش پیدا می‌کند. با این حال، اگر برداشت آب ادامه پیدا کند و چاه‌ها عمیق‌تر شوند و به لایه‌های پایین‌تر برسند، امکان آغاز مرحله جدیدی از فرونشست وجود دارد.

تجربه چین و آمریکا در کنترل فرونشست

در کشورهایی مانند چین، مدیریت مرحله دوم بحران عمدتاً از طریق کنترل برداشت آب، اصلاح الگوی کشت، توسعه فناوری‌های نوین آبیاری و



روبه‌روست، هرچند در بسیاری از کشورها داده‌ها و گزارش‌ها به اندازه ایران منتشر یا برجسته نشده است.

ایران در تولید مقاله پیش‌تاز است، اما دستورالعمل اجرایی ندارد

نکته قابل توجه این است که ایران از نظر تولید مقالات علمی در حوزه فرونشست جایگاه قابل توجهی دارد. بخشی از برجسته شدن مسئله فرونشست در ایران نیز به همین دلیل است؛ زیرا با افزایش مطالعات دانشگاهی در حوزه مخاطرات زمین‌شناسی، توجه پژوهشگران به این پدیده جلب شد و به تدریج تعداد زیادی از تحقیقات دانشگاهی بر موضوع فرونشست متمرکز شدند. در نتیجه، این مسئله در ادبیات علمی و رسانه‌ای کشور پررنگ‌تر شد.

با این حال، یکی از چالش‌های مهم در کشور این است که بسیاری از مطالعات هنوز در سطح اندازه‌گیری نرخ فرونشست باقی مانده‌اند. در حالی که مسئله اصلی امروز، ارائه راهکارهای عملی برای مدیریت ریسک و سازگاری با این پدیده است.

خلأ دستورالعمل مهندسی برای ساخت‌وساز در مناطق فرونشست‌خیز

در حال حاضر، با وجود گسترش فرونشست در بخش قابل توجهی از دشت‌های کشور، دستورالعمل‌های فنی و ژئوتکنیکی مشخصی برای ساخت‌وساز در مناطق فرونشستی تدوین نشده است. این در حالی است که بخش بزرگی از دشت‌های کشور درگیر این پدیده هستند و برآوردها نشان می‌دهد از میان حدود ۶۰۰ دشت کشور، نزدیک به دو سوم آن‌ها با درجاتی از فرونشست مواجه‌اند.

به همین دلیل، یکی از ضرورت‌های جدی در کشور تدوین پیوست فرونشست در مقررات ساخت‌وساز و نظام مهندسی ساختمان است. وجود چنین پیوستی می‌تواند چارچوب‌های

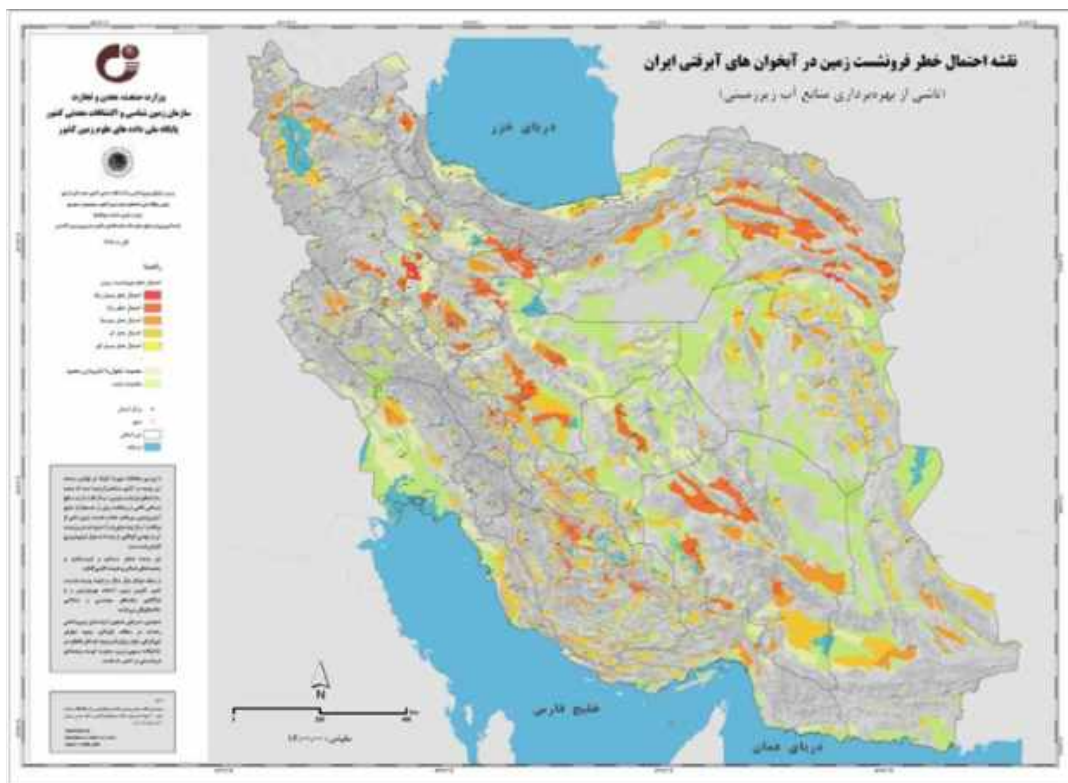
آبی که از آبخوان‌ها برداشت می‌شود، به سادگی به همان لایه‌ها باز نمی‌گردد. بر اساس برآوردهای علمی، از هر ۱۰۰ لیتر آبی که از سفره‌های زیرزمینی برداشت می‌شود، در خوش‌بینانه‌ترین حالت تنها حدود ۱۰ لیتر آن امکان بازگشت طبیعی به همان عمق را دارد. به همین دلیل، روند برداشت‌های ما عملاً به شکل تجمعی و تصاعدی موجب افزایش کسری مخزن آبخوان‌ها می‌شود.

افزایش بازچرخانی آب انجام شده است. چین به‌ویژه در زمینه فناوری‌های افزایش بهره‌وری آب در کشاورزی، از جمله آبیاری قطره‌ای و سامانه‌های پیشرفته مدیریت مصرف آب، پیشرفت‌های قابل توجهی داشته است. البته به دلیل وسعت بسیار زیاد اراضی کشاورزی، این کشور همچنان در برخی شاخص‌ها با چالش‌هایی روبه‌روست، اما از نظر مدیریت مصرف آب دستاوردهای مهمی داشته است.

در مجموع، تجربه این کشورها نشان می‌دهد که مدیریت علمی منابع آب و افزایش بهره‌وری مصرف می‌تواند در بلندمدت به کنترل و تثبیت روند فرونشست کمک کند؛ هرچند در برخی مناطق که آبخوان‌های بسیار عمیق دارند، مدیریت این منابع به مراتب پیچیده‌تر و دشوارتر است.

در میان کشورهای درگیر با فرونشست، وضعیت برخی کشورها تا حدی مشابه ایران است. برای مثال هند در سال‌های اخیر به شکل جدی‌تری با این پدیده مواجه شده است. هرچند در برخی مناطق این کشور به دلیل شرایط اقلیمی و میزان بارش وضعیت بهتری نسبت به ایران وجود دارد، اما تغییرات اقلیمی در سال‌های اخیر باعث شده روند افت منابع آب زیرزمینی در بخش‌هایی از این کشور تشدید شود و نشانه‌های فرونشست نیز افزایش یابد.

در کنار هند، کشورهایی مانند اندونزی نیز با چالش جدی کسری منابع آب زیرزمینی مواجه هستند. برخی گزارش‌ها نشان می‌دهد که پس از چین، اندونزی یکی از کشورهایی است که با کسری قابل توجه در منابع آب زیرزمینی



نقشه احتمال خطر فرونشست زمین در آبخوان های آبرفتی ایران

روند کنونی

در واقع، یکی از اولویت‌های مهم باید تدوین پیوست فرونشست برای پروژه‌های عمرانی و ساختمانی باشد. به عنوان نمونه، در حوزه مسکن و توسعه شهری لازم است مطالعات فرونشست به‌عنوان بخشی الزامی از فرآیند طراحی و اجرای سازه‌ها در نظر گرفته شود. در همین راستا، سازمان زمین‌شناسی در سال‌های اخیر تلاش کرده است موضوع استعمال فرونشست و گسل را در سامانه‌های مربوط به استعمال زمین وارد کند.

در حال حاضر، برای بسیاری از پروژه‌ها و کاربری‌های مختلف، از زیرساخت‌های مهم گرفته تا برخی فعالیت‌های اقتصادی، استعمال‌های مرتبط با فرونشست و گسل دریافت می‌شود. نقش سازمان زمین‌شناسی در این فرآیند بیشتر در حوزه پیش بینی، پیشگیری و ارائه اطلاعات

بسیاری از مطالعات هنوز در سطح اندازه‌گیری نرخ فرونشست باقی مانده‌اند. در حالی که مسئله اصلی امروز، ارائه راهکارهای عملی برای مدیریت ریسک و سازگاری با این پدیده است.

فنی لازم برای طراحی سازه‌ها، زیرساخت‌ها و توسعه شهری در مناطق در معرض فرونشست را مشخص کند. این موضوع می‌تواند با همکاری نهادهایی مانند مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی و سازمان نظام مهندسی ساختمان پیگیری و تدوین شود.

در واقع، در کنار هشدار درباره گستردگی فرونشست، لازم است تمرکز بیشتری بر ارائه راهکارهای مهندسی و اجرایی برای مدیریت این پدیده در زیرساخت‌ها و پروژه‌های عمرانی کشور صورت گیرد.

خطر مرگ آبخوان‌ها در صورت تداوم

ادامه روند کنونی می‌تواند به مرگ آبخوان‌ها منجر شود؛ پدیده‌ای که پیامدهای آن تنها به فرونشست و آسیب به زیرساخت‌ها محدود نمی‌شود، بلکه ابعاد گسترده‌تری برای امنیت آبی و پایداری سرزمین خواهد داشت. در حوزه پیشگیری، نقش شرکت‌های آب منطقه‌ای و وزارت جهاد کشاورزی بسیار تعیین‌کننده است؛ زیرا بخش عمده فشار بر آبخوان‌ها ناشی از برداشت آب در بخش کشاورزی است.

علمی است.

با این حال، در شرایط فعلی اطلاعات ارائه‌شده عمدتاً در قالب اعلام نرخ فرونشست است. به عبارت دیگر، در پاسخ به استعلام‌ها اعلام می‌شود که در یک محدوده مشخص، نرخ فرونشست برای مثال حدود چند میلی‌متر یا سانتی‌متر در سال است، اما هنوز چارچوب مشخصی برای طبقه‌بندی سطح خطر و ارائه دستورالعمل‌های فنی سازگار با هر سطح خطر تدوین نشده است.

نقش آب منطقه‌ای و جهاد کشاورزی در مهار بحران

در میان دستگاه‌های اجرایی، برخی نهادها بیش از دیگران با پیامدهای فرونشست درگیر هستند. در رأس این مجموعه، وزارت راه و شهرسازی و زیرمجموعه‌های آن از جمله راه‌آهن قرار دارند، زیرا زیرساخت‌های حمل‌ونقل به‌طور مستقیم تحت تأثیر نشست زمین قرار می‌گیرند. پس از آن، شهرداری‌ها، شرکت‌های خدماتی مانند گاز و برق و سایر نهادهای مرتبط با زیرساخت‌های شهری نیز از جمله دستگاه‌هایی هستند که بیشترین مواجهه را با این پدیده دارند.

در این میان، شهرداری مشهد اقداماتی را برای مطالعه فرونشست در محدوده شهری آغاز کرده و پروژه‌ای مستقل برای بررسی وضعیت شهر تعریف کرده است که با نظارت سازمان زمین‌شناسی انجام می‌شود. در این پروژه نیز پیشنهاد شده است که نظارت علمی بر مطالعات و پیمانکاران با مشارکت اداره کل زمین‌شناسی انجام شود.

در حوزه پیشگیری، نقش شرکت‌های آب منطقه‌ای و وزارت جهاد کشاورزی نیز بسیار تعیین‌کننده است؛ زیرا بخش عمده فشار بر آبخوان‌ها ناشی از برداشت آب در بخش کشاورزی است. با این حال، اگر اقدامات مؤثر و هماهنگ در این حوزه‌ها انجام نشود، خطر بسیار جدی‌تری کشور را تهدید خواهد کرد.

واقعیت این است که ادامه روند کنونی می‌تواند به مرگ آبخوان‌ها منجر شود؛ پدیده‌ای که پیامدهای آن تنها به فرونشست و آسیب به سازه‌ها محدود نمی‌شود، بلکه تبعات گسترده‌ای در حوزه‌های ژئوتکنیک، کاربری زمین، برنامه‌ریزی توسعه بلندمدتیه سازی در شهرها و آمایش سرزمین به دنبال خواهد داشت.

در چنین شرایطی، از بین رفتن ظرفیت ذخیره آب زیرزمینی می‌تواند به یکی از بزرگ‌ترین مخاطرات زیست‌محیطی پیش‌روی کشور تبدیل شود. در کنار همه این موارد، انتظار می‌رود دانشگاه‌ها و مراکز علمی نیز نقش راهبری علمی خود را در جامعه تقویت کنند. این مراکز با برخورداری از ظرفیت‌های پژوهشی و نوآوری می‌توانند نقش مهمی در ارائه راهکارهای خلاقانه برای مدیریت بحران فرونشست ایفا کنند. شاید لازم باشد نگاه صرفاً پروژه‌محور در برخی حوزه‌های پژوهشی تعدیل شود و دانشگاه‌ها بیش از گذشته به سمت تولید راهکارهای کاربردی و ملی برای مدیریت این بحران حرکت کنند.



از کالبدشکافی بحران فرونشست تا راه‌حل‌های تعادل بخشی به آبخوان‌ها

آنچه در گفت‌وگوی دکتر شریفی به‌عنوان تصویری جامع از فرونشست ترسیم شد، صرفاً روایت یک عدد زمین‌شناختی نبود؛ بلکه صورت‌بندی یک بحران چندلایه بود که از افت بیلان آبخوان‌ها آغاز می‌شود و تا ترک‌خوردگی زیرساخت‌ها و بازتعریف حکمرانی آب امتداد پیدا می‌کند. در این نگاه، فرونشست نه علت، بلکه نشانه‌نمایی یک چرخه طولانی برداشت بی‌رویه، فقدان نقشه ریسک، ضعف هماهنگی نهادی و غلبه روایت‌های آماری بر حل مسئله است؛ چرخه‌ای که در دشت مشهد، به‌دلیل فشار جمعیتی و وابستگی شدید به آب زیرزمینی، به نقطه حساس خود رسیده است. شریفی با تأکید بر نبود نقشه یکپارچه خطرپذیری و ضرورت گذار از نرخ‌محوری به ریسک‌محوری، عملاً صورت‌بندی می‌کند که مسئله امروز دیگر صرفاً سنجش میزان نشست زمین نیست، بلکه فهم رابطه میان آبخوان، کاربری زمین، زیرساخت و جمعیت است؛ جایی که حتی چند سانتی‌متر اختلاف نشست می‌تواند تعیین‌کننده سرنوشت یک شریان حیاتی باشد. در این چارچوب، بحران مشهد بیش از آنکه یک رخداد طبیعی باشد، نتیجه انباشت تصمیم‌های توسعه‌ای ناهماهنگ در طول دهه‌هاست.

از همین نقطه، گفت‌وگوی پیش‌رو با دکتر علوی‌مقدم وارد لایه‌ای متفاوت می‌شود؛ جایی که مسئله از توصیف بحران عبور کرده و به مهندسی پاسخ می‌رسد. اگر در روایت شریفی، آبخوان به‌عنوان بستر اصلی فرسایش تدریجی معرفی می‌شود، در ادامه این بحث، تمرکز بر این پرسش قرار می‌گیرد که چگونه می‌توان در یک دشت در آستانه فرونشست پایدار، از منطق تعادل‌بخشی، بازچرخانی و مدیریت مصرف به‌عنوان ابزارهای عملی توقف یا کنترل بحران استفاده کرد؛ جایی که مسئله دیگر فقط فهم پدیده نیست، بلکه بازطراحی مسیر بقاست.