

# معم افراز

دوفصلنامه تخصصی  
خانه هم افزایی انرژی و آب

شماره هشتم | پاییز و زمستان ۱۴۰۴ | ۱۵۰ هزار تومان

۸



## فرونشست زمین

آب، زمین و مسئله حکمرانی

را  
نظارت  
سببه

دو فصلنامه اختصاصی  
خانه هم افزایی انرژی و آب

## شناسنامه

**صاحب امتیاز:**

خانه هم افزایی انرژی و آب استان خراسان رضوی

**شماره مجوز:**

۹۴۲۱۳

**مدیرمسئول:**

محمدرضا فلفلانی

**سردبیر:**

علی طاهری زاده

**معاون سردبیر:**

امیرحسین یوسف زاده

**شورای سیاستگذاری:**

رضا براتی، امیر طالبی، حمیدرضا افشون،

محمدرضا فلفلانی، علی طاهری زاده،

امیرحسین یوسف زاده، امین وطن پور

**طراح هویت بصری و صفحه آرایی:**

علی طاهری زاده

**پشتیبانی:**

آرش صدری

**آدرس:**

مشهد، خیابان میدان تختی و صاحب الزمان نبش  
صاحب الزمان ۷، طبقه دوم، خانه هم افزایی انرژی و آب

**ارتباط با ما:**

www.wesh.ir / ۰۵۱۳۸۳۳۹۱۳ / ۰۹۳۵۳۴۹۶۴۱۸

**ایمیل:**

info@wesh.ir

آنچه در این نشریه منتشر می شود، حاصل اندیشه و روایت نویسندگان و صاحبه شونده گان است؛ از این رو، مسئولیت صحت علمی آن بر عهده خود ایشان است و نشریه هم افزایی انرژی و آب در قبال محتوای منتشر شده مسئولیتی ندارد. همچنین باز نشر مطالب، به شرط ذکر منبع، آزاد و بلامانع است.

## فهرست

اقتصاد مقاومتی از دیدگاه رهبر شهید / صفحه ۵

سخن سردبیر: صدای خاموش آبخوان ها / صفحه ۶

خراسان رضوی و بحران جدی فرونشست / صفحه ۸

### پرونده ویژه

وقتی زمین آخرین هشدار خود را می دهد / صفحه ۱۱

فرونشست؛ نشانه فروپاشی خاموش آبخوان ها ... / صفحه ۲۰

هادی شریفی، مدیر کل زمین شناسی و اکتشافات معدنی منطقه شمال شرق

فرونشست یا کمبود آب؟ مسئله اصلی مشهد ... / صفحه ۴۵

محمدرضا علوی مقدم، عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی

فروپاشی خاموش زمین در سایه سوء مدیریت منابع آب / صفحه ۵۴

محمد قیصری، مدیر آب و خاک و امور فنی سازمان جهاد کشاورزی استان

مرگ تدریجی دشت مشهد / صفحه ۶۱

جواد دولتی، پژوهشگر ارشد حوزه فرونشست و منابع آب

فرونشست؛ نشانه شکست حکمرانی آب در ایران / صفحه ۶۷

کامران داوری، هیات علمی دانشگاه فردوسی مشهد

ورشکستگی زیست محیطی در لبه پرتگاه اکوسیستم / صفحه ۸۱

محمد غیبی، مدیرعامل شرکت TULTECH

فرونشست، بحرانی فراتر از ترک فعل / صفحه ۸۸

جعفر سروی، دبیر شهر ترمیمی شهرداری مشهد

فرونشست؛ وقتی قانون، بدهی نهادی آب ایجاد می کند / صفحه ۹۷

رضا براتی، رئیس گروه توسعه مدیریت شرکت آب منطقه ای خراسان

زخمی که توسعه غلط بر تن دشت های خراسان گذاشت / صفحه ۱۰۴

علی رضایی، پژوهشگر ارشد حوزه فرونشست در شرکت آب منطقه ای خراسان رضوی

پایان دوران حاتم بخشی از جیب آیندگان ... / صفحه ۱۱۵

محمدرضا فلفلانی، مدیرعامل خانه هم افزایی انرژی و آب

زنگ خطر خاموش تحلیل بحران فرونشست زمین و نابودی آبخوان های ایران بر

اساس داده های ماهواره ای / صفحه ۱۱۹

آیا پاییز ۱۴۰۵ پربارش خواهد بود؟ / صفحه ۱۲۷

بازچرخانی آب، راهکاری برای کاهش فشار بر سفره های زیرزمینی و

روند فرونشست / صفحه ۱۲۹

از افت آبخوان تا تهدید زیرساخت ها؛ نقشه نگران کننده فرونشست در

۱۷ دشت / صفحه ۱۳۱



به انعطاف  
حضرت آية الله  
عبدالله عینی حائری  
نمید



# اقتصاد مقاومتی

مروری بر بیانات رهبر شهید انقلاب

گرایش به اقتصاد مقاومتی مخصوص ما هم نیست؛ امروز در بسیاری از کشورها - بخصوص در این سال‌های اخیر - با تکان‌های شدید اقتصادی که در دنیا به‌وجود آمد، کشورهای متعددی به دنبال مقاوم‌سازی اقتصاد خودشان برآمدند؛ البته هر کشوری شرایط خاص خودش را دارد. این اقتصاد سرمایه‌داری با مشکلاتی که ناشی از این اقتصاد بود، از غرب و از آمریکا سرریز شد به بسیاری از کشورها؛ و اقتصاد جهانی در مجموع، یک کل مرتبط به یکدیگر است، طبعاً کشورها از این مشکلات کم‌وبیش متأثر شدند؛ بعضی بیشتر، بعضی کمتر. بنابراین خیلی از کشورها در صدد برآمدند که اقتصاد خودشان را مقاوم‌سازی کنند؛ به تعبیری همین اقتصاد مقاومتی را به شکل متناسب با کشورهایشان برنامه‌ریزی کنند، تحقق ببخشند. به نظر من احتیاج ما به اقتصاد مقاومتی بیش از کشورهای دیگر است؛ ما بیشتر احتیاج داریم که اقتصاد خودمان را مقاوم‌سازی کنیم. اولاً به همان دلیل مشترک بین ما و دیگر کشورها؛ ما با اقتصاد جهانی مرتبطیم، بنای بر همین ارتباط هم داریم، ما قصد جدا شدن و مُنعزل شدن از اقتصاد جهانی را به‌هیچ‌وجه نداریم و در شرایط کنونی دنیا نمی‌توان هم داشت؛ بنابراین متأثر می‌شویم از آنچه در دنیا در اقتصادهای جهانی اتفاق می‌افتد. ثانیاً خصوصیتی است که ما داریم؛ ما به‌خاطر استقلال‌مان، به‌خاطر عزت‌مداری‌مان، به‌خاطر اصرارمان بر تحت تأثیر سیاست‌های قدرت‌ها قرار نگرفتن، مورد تهاجم و سوء نیت هم قرار داریم؛ یعنی نسبت به ما - همچنان که در شرایط کنونی مشاهده می‌کنید - انگیزه‌های مخالفت و اخلاگری و اشکال‌تراشی و ایجاد مشکل، بیش از بسیاری از کشورهای دیگر است. بنابراین ما بیشتر بایستی اهتمام بورزیم به اینکه پایه‌های اقتصاد را محکم کنیم و اقتصادمان را مقاوم‌سازی کنیم؛ نگذاریم وضعیتی وجود داشته باشد که یا حوادث و تکان‌های ناگزیر و یا سوءنیت‌ها بتواند در اقتصاد ما اثر بگذارد. بنابراین ما به این نیاز داریم.

در این سیاست‌ها تنها مسئله‌ی نقشه‌ی راه نیست، بلکه در اینجا شاخص‌های درست پیمودن راه هم مطرح شده؛ درست مثل علائم راهنمایی و رانندگی. در بندهای مختلف این سیاست‌ها وظایفی تعیین شده‌است که در واقع این وظایف تضمین‌کننده‌ی درستی حرکت در این راه است؛ یعنی این سیاست‌ها که فراگیر و عمومی و کلی است، در هر بخشی شاخصه‌هایی را مشخص کرده است که در مطالعه‌ی بندهای سیاست‌ها، کارهایی که باید انجام بگیرد، مشخص است. مجموعه‌ی سیاست‌های اقتصاد مقاومتی در واقع یک الگوی بومی و علمی است که برآمده‌ی از فرهنگ انقلابی و اسلامی ما است؛ متناسب با وضعیت امروز و فردای ما است. من شرح خواهم داد که این مربوط به وضع کنونی و شرایط کنونی کشور نیست، این یک تدبیر بلندمدت برای اقتصاد کشور است؛ می‌تواند اهداف نظام جمهوری اسلامی را در زمینه‌ی مسائل اقتصادی برآورده کند؛ می‌تواند مشکلات را برطرف کند؛ درعین‌حال پویا هم هست؛ یعنی ما این سیاست‌ها را به صورت یک چهارچوب بسته و متحجر ندیده‌ایم، قابل تکمیل است، قابل انطباق با شرایط گوناگونی است که ممکن است در هر برهه‌ای از زمان پیش بیاید؛ و عملاً اقتصاد کشور را به حالت انعطاف‌پذیری میرساند؛ یعنی شکنندگی اقتصاد را در مقابل تکان‌های گوناگون - که اشاره خواهم کرد - برطرف می‌کند. این الگو با تلاش و همفکری افراد صاحب‌نظر و با بحث در مجمع تشخیص مصلحت و حضور رؤسای قوا و مسئولان تهیه شده؛ از کمک صاحب‌نظران اقتصادی برای تهیه‌ی این الگو به‌طور کامل استفاده شده؛ در واقع یکی از محسنات این الگو این است که مورد وفاق است؛ یعنی در مجمع تشخیص و رز پیدا کرده است و چکش‌کاری شده، جوانب آن دیده شده؛ رؤسای قوا در مجمع تشخیص حضور دارند، مسئولان گوناگون هم در آنجا هستند، بحث کردند؛ کار ملاحظه شده و دقت شده و مستحکم شده‌ای است.

در حضور جمعی از مسئولان دستگاه‌های مختلف، فعالان اقتصادی، و مدیران مراکز علمی و رسانه‌ای و نظارتی

۱۳۹۲/۱۲/۲۰

## صدای خاموش آبخوان‌ها



علی طاهری زاده  
کارشناس ارشد مدیریت، گرایش بازرگانی

سخن سردبیر

زمین‌شناختی شکل گرفته است. اما آنچه طی چند دهه گذشته رخ داده، مصرف این سرمایه به جای بهره‌برداری از سود آن بوده است. بسیاری از آبخوان‌های کشور سال‌هاست بیش از ظرفیت تجدیدپذیر خود مورد بهره‌برداری قرار گرفته‌اند. در چنین وضعیتی، افت سطح آب زیرزمینی اجتناب‌ناپذیر است. با پایین رفتن سطح آب، فشار نگهدارنده‌ای که آب بر ساختار رسوبات و لایه‌های خاک وارد می‌کند کاهش می‌یابد و به تدریج فضای خالی میان ذرات خاک فشرده می‌شود. نتیجه این فرایند، نشست تدریجی زمین است؛ پدیده‌ای که امروز با نام فرونشست شناخته می‌شود.

اهمیت واقعی فرونشست در آن است که در بسیاری از موارد، این تراکم خاک برگشت‌ناپذیر است. هنگامی که ساختار متخلخل آبخوان فشرده شود، بخش مهمی از ظرفیت ذخیره‌سازی آن برای همیشه از بین می‌رود. در چنین شرایطی حتی اگر بارندگی افزایش یابد و کشور وارد یک دوره ترسالی شود و سیلاب‌های گسترده رخ دهند، دیگر امکان ذخیره‌سازی حجم قابل توجهی از آب در زیرزمین وجود نخواهد داشت. آبخوانی که ساختار فیزیکی خود را از دست داده باشد، دیگر قادر به ایفای نقش تاریخی خود به‌عنوان مخزن طبیعی آب نخواهد بود. به همین دلیل، برخی متخصصان از فرونشست به‌عنوان مرگ خاموش آبخوان‌ها یاد می‌کنند.

فرونشست تنها یک تهدید ژئوتکنیکی یا عمرانی نیست. این پدیده مستقیماً با آینده امنیت آبی، امنیت غذایی و حتی تاب‌آوری اقلیمی کشور پیوند خورده است. سرزمینی که توان ذخیره‌سازی طبیعی آب خود را از دست بدهد، در برابر خشکسالی آسیب‌پذیرتر خواهد شد و همزمان در مواجهه با بارش‌های شدید نیز با مخاطرات بیشتری روبه‌رو می‌شود. بنابراین نباید فرونشست را صرفاً در قالب ترک‌های زمین یا خسارت به زیرساخت‌ها مشاهده کرد. آنچه امروز در بسیاری از دشت‌های کشور رخ می‌دهد، نشانه‌ای از تغییر در عملکرد طبیعی سامانه‌های هیدرولوژیکی سرزمین است.

فرونشست زمین بیش از آنکه یک بحران مستقل باشد، نشانه‌ای از بحرانی عمیق‌تر است؛ بحرانی که در لایه‌های زیرین سرزمین و در سازوکار مدیریت منابع آب کشور جریان دارد. فرونشست زبان زمین برای بیان حقیقتی است که سال‌هاست متخصصان منابع آب درباره آن هشدار می‌دهند: آبخوان‌های ایران در حال از دست دادن توان زیستی خود هستند.

ایران کشوری است که بخش عمده آن در کمربند خشک و نیمه‌خشک جهان قرار گرفته است. متوسط بارندگی سالانه کشور کمتر از یک‌سوم میانگین جهانی است و توزیع زمانی و مکانی همین میزان بارش نیز از نابرابرترین الگوهای اقلیمی جهان به شمار می‌رود. تمدن ایرانی طی هزاران سال با شناخت این محدودیت‌ها شکل گرفته است. قنات‌ها، نظام‌های سنتی بهره‌برداری از آب، الگوهای سکونت و بسیاری از عناصر فرهنگی ایران، بازتاب نوعی سازگاری تاریخی با کم‌آبی بوده‌اند. اما در دهه‌های اخیر، نوعی گسست میان ظرفیت طبیعی سرزمین و الگوی توسعه ایجاد شده است. رشد جمعیت، گسترش شهرنشینی، توسعه کشاورزی، افزایش نیازهای صنعتی و سیاست‌های مبتنی بر توسعه کمی، فشار فزاینده‌ای بر منابع آب وارد کرده‌اند. در چنین شرایطی، آبخوان‌های کشور به مهم‌ترین منبع تأمین این نیازها تبدیل شدند؛ منابعی که در ظاهر نامرئی‌اند اما در عمل ستون فقرات امنیت آبی کشور را تشکیل می‌دهند.

در ادبیات اقتصادی، گاهی از منابع آب زیرزمینی به‌عنوان سرمایه طبیعی یاد می‌شود. سرمایه‌ای که طی هزاران سال و در نتیجه فرایندهای پیچیده

نهادهی و اجتماعی خواهد بود. واقعیت این است که بحران آب ایران صرفاً محصول کمبود منابع نیست؛ بلکه نتیجه ناهماهنگی میان ظرفیت‌های طبیعی سرزمین و الگوی مصرف و توسعه است. بنابراین، راه‌حل این بحران نیز صرفاً در پروژه‌های عمرانی و مهندسی خلاصه نمی‌شود. امروز فرونشست زمین نمادی از ناکارآمدی حکمرانی است. پدیده‌ای که اگرچه در سطح زمین مشاهده می‌شود، اما ریشه‌های آن در لایه‌های عمیق تصمیم‌گیری قرار دارد. هر سانتی‌متر فرونشست، روایتی از دهه‌ها برداشت مازاد از آبخوان‌ها، سیاست‌گذاری‌های ناپایدار و نادیده گرفتن محدودیت‌های سرزمینی است. مهم‌ترین خطای تحلیلی آن است که فرونشست را مسئله اصلی بدانیم. مسئله اصلی، افت آبخوان‌ها و عدم تعادل میان برداشت و تغذیه منابع آب زیرزمینی است. فرونشست آشکارترین نشانه آن است. سرنوشت بسیاری از دشت‌های ایران در دهه‌های پیش رو به تصمیم‌هایی وابسته است که امروز اتخاذ می‌شوند. هر سال تأخیر در اصلاح روندهای موجود، بخشی از ظرفیت طبیعی سرزمین را برای همیشه از دسترس خارج می‌کند. زمین امروز در حال سخن گفتن است. شکاف‌ها، نشست‌ها و فروریزش‌ها صرفاً پدیده‌های زمین‌شناختی نیستند؛ آنها پیام‌هایی هستند که از اعماق آبخوان‌ها به سطح رسیده‌اند. پیام‌هایی که یک مضمون مشترک دارند: بحران اصلی نه فرونشست، بلکه نحوه مدیریت آب است. تا زمانی که این واقعیت پذیرفته نشود، هر اندازه درباره فرونشست سخن گفته شود، همچنان از پرداختن به ریشه مسئله فاصله خواهیم داشت.

با این حال، پرداختن به فرونشست بدون بررسی ریشه‌های مدیریتی آن، به معنای تمرکز بر معلول و غفلت از علت است. مسئله اصلی ایران در حوزه آب، صرفاً کمبود بارش یا وقوع خشکسالی نیست. بخش قابل توجهی از بحران موجود را در نظام حکمرانی آب است. طی دهه‌های گذشته، رویکرد غالب در مدیریت منابع آب کشور بر افزایش عرضه متمرکز بوده است. هر زمان کمبود آب احساس شده، راهکار اصلی جست‌وجوی منابع جدید بوده است؛ از سدسازی گرفته تا انتقال بین‌حوضه‌ای آب و بهره‌برداری بیشتر از منابع زیرزمینی. در حالی که مدیریت تقاضا، اصلاح الگوی مصرف، کنترل برداشت از آبخوان‌ها و بازتعریف فعالیت‌های اقتصادی متناسب با ظرفیت اکولوژیک مناطق، کمتر مورد توجه قرار گرفته‌اند.

این رویکرد موجب شده است که آب به جای آنکه به‌عنوان یک منبع محدود و راهبردی مدیریت شود، به عاملی برای توسعه نامتوازن تبدیل شود. توسعه کشاورزی در مناطق کم‌آب، استقرار صنایع آب‌بر در نواحی خشک، گسترش سکونتگاه‌ها فراتر از ظرفیت منابع محلی و رقابت میان بخش‌های مختلف برای دسترسی به آب، همگی بخشی از این روند هستند. در کنار چالش‌های مدیریتی، نباید از ابعاد اجتماعی و فرهنگی مسئله غافل شد. مصرف آب صرفاً یک موضوع فنی نیست. الگوهای رفتاری جامعه، انتظارات عمومی، ساختارهای اقتصادی، نظام یارانه‌ای و حتی برداشت فرهنگی از مفهوم توسعه، همگی بر نحوه مصرف منابع آب اثر می‌گذارند. در جامعه‌ای که آب برای دهه‌ها کالایی ارزان و در دسترس تلقی شده است، شکل‌گیری فرهنگ بهره‌برداری پایدار نیازمند اصلاحات عمیق



محمود فاطمی رئیس سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور در گفت‌وگو با خبرنگار خانه هم‌افزایی انرژی و آب

## خراسان رضوی و بحران جدی فرونشست

**مهسا ناطقی** رئیس سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور با اشاره به درگیر بودن ۱۶ تا ۱۷ دشت در خراسان با پدیده فرونشست، گفت: برداشت بی‌رویه و غیرمجاز از منابع آب و افت سطح آب زیرزمینی از مهم‌ترین عوامل تشدید فرونشست است و پس از وقوع این پدیده، حتی با تزریق مجدد آب نیز امکان بازگشت زمین به وضعیت اولیه وجود ندارد.



مشاهده فیلم کامل مصاحبه

یزد، خراسان و خراسان رضوی نیز مشاهده شده است.

رئیس سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور با اشاره به وضعیت خراسان تصریح کرد: در خراسان بالغ بر ۱۶ تا ۱۷ دشت درگیر فرونشست هستند و در برخی از این دشت‌ها میزان فرونشست نسبت به دوره‌های گذشته افزایش پیدا کرده و شرایط بسیار جدی است. وی در تشریح سازوکار ایجاد فرونشست اظهار کرد: فرونشست اشکال مختلفی دارد که یکی از آنها نشست کلی زمین است و در اثر برداشت بی‌رویه آب و کاهش سطح ایستابی یا سطح آب زیرزمینی در یک دشت اتفاق می‌افتد.

فاطمی با تشریح ساختار یک دشت ادامه داد: دشت منطقه‌ای است که با مرزهای نفوذناپذیر محصور شده است؛ می‌توان آن را مانند یک کاسه در نظر گرفت که درون آن آب‌رفت‌ها و رسوبات قرار دارند و اطراف آن را ارتفاعات یا تشکیلات سنگی تشکیل داده‌اند و آب در این دشت قرار گرفته است.

وی افزود: زمانی که سطح آب پایین می‌رود، عملاً وزن واردشده بر لایه‌های زیرین افزایش پیدا

محمود فاطمی، رئیس سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، در گفت‌وگو با خبرنگار خانه هم‌افزایی انرژی و آب با اشاره به مخاطرات طبیعی و زمین‌شناختی اظهار کرد: زلزله، سیل، فرونشست، زمین‌لغزش و موارد مشابه از جمله مخاطرات طبیعی و زمین‌شناختی هستند که برخی از آنها می‌توانند تحت تأثیر برداشت‌های غیراصولی از منابع طبیعی تشدید شوند. وی با بیان اینکه برداشت از منابع آب و افت سطح آب زیرزمینی در دشت‌ها می‌تواند موجب فرونشست زمین شود، افزود: زمانی که سطح آب زیرزمینی در یک دشت کاهش پیدا می‌کند، لایه‌های زمین تحت تأثیر قرار گرفته و فرونشست اتفاق می‌افتد.

فاطمی درباره امکان وقوع فرونشست در مناطق شهری نیز گفت: فرونشست در مناطق شهری اتفاق افتاده و این پدیده در بسیاری از مناطق وجود دارد. این موضوع سابقه چندین دهه‌ای دارد و گزارش‌های مربوط به آن از دشت‌هایی مانند کرمان و رفسنجان و دشت جیرفت آغاز شده و در ادامه در مناطقی از اصفهان، فارس،

کشور درباره نشانه‌های فرونشست در مناطق شهری و روستایی اظهار کرد: این اتفاق به مرور زمان رخ می‌دهد و ساختمان‌ها در مناطق شهری و روستایی شروع به ترک‌خوردگی می‌کنند؛ دیوارها و سقف‌ها ترک می‌خورند و ممکن است یک سمت ساختمان نشست کند.

وی ادامه داد: در برخی موارد، در خانه‌ها و ساختمان‌ها به دلیل تغییر شکل و نشست زمین دیگر به درستی باز نمی‌شوند و گیر می‌کنند. اینها شواهدی از فرونشست‌های نامتقارن در مناطق شهری و روستایی است که اکنون با آنها درگیر هستیم.

فاطمی همچنین به نشانه‌های فرونشست در مناطقی که ساخت‌وساز وجود ندارد اشاره کرد و گفت: در دشت‌هایی که حتی ساخت‌وساز نیز نداریم، ممکن است پس از بارندگی آب در نقاطی جمع شود؛ در حالی که پیش از آن چنین اتفاقی رخ نمی‌داد. این تجمع آب می‌تواند نشان‌دهنده فرو افتادن زمین باشد، زیرا سطح زمین پایین رفته و آب در آن نقطه جمع شده است.

وی برداشت بی‌رویه آب از دشت‌های کشور را یکی از معضلات اصلی مرتبط با فرونشست دانست و تصریح کرد: این مسئله ناشی از آن است که منابع آب به شکل صحیح مدیریت نمی‌شوند و متأسفانه تعداد بسیار زیادی چاه غیرمجاز نیز در کشور وجود دارد.

رئیس سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور با هشدار نسبت به پیامدهای برداشت غیرمجاز آب گفت: مردم باید دقت کنند که برداشت‌های غیرمجاز چه فاجعه‌ای را برای محیط خود رقم می‌زند، زیرا زمین پس از فرونشست دیگر امکان بازگشت به حالت اولیه را ندارد.

فاطمی تأکید کرد: حتی اگر پس از وقوع فرونشست، آب دوباره به زمین تزریق شود، زمین دیگر به وضعیت اولیه خود بازمی‌گردد و این بازگشت عملاً امکان‌پذیر نیست.

وی افزود: در شرایط فعلی، تنها کاری که می‌توان

می‌کند؛ زیرا زمانی که آب وجود دارد، خود آب ماده‌ای تراکم‌ناپذیر است و بخشی از این بار را تحمل می‌کند. بنابراین همزمان با افت سطح ایستابی، در اصطلاح ژئوتکنیک و زمین‌شناسی مهندسی، تنش مؤثر در زمین افزایش پیدا می‌کند.

رئیس سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور خاطرنشان کرد: همزمان با افزایش تنش مؤثر، لایه‌های زمین فشرده می‌شوند. زمانی که آب خارج می‌شود، فضاها موجود خالی شده و لایه‌ها متراکم می‌شوند و همزمان با این فشرددگی، سطح زمین پایین می‌رود.

فاطمی تأکید کرد: فرونشست معمولاً به صورت تدریجی و همزمان با برداشت آب اتفاق می‌افتد و با یک فروریزش ناگهانی تفاوت دارد.

وی در ادامه به پدیده فروریزش یا سینک‌هول اشاره کرد و گفت: در برخی مناطق کشور با پدیده فروریزش مواجه هستیم که این موضوع نیز به رژیم آبی منطقه، وضعیت برداشت آب و ساختارهای زمین‌شناسی ارتباط دارد. وجود گسل‌ها می‌تواند جریان آب را تسریع کند و همچنین بر اثر مکش پمپ‌ها و تغییر سرعت جریان آب، شسته‌شدن رسوبات زیرین اتفاق بیفتد.

فاطمی توضیح داد: در چنین شرایطی مواد ریزدانه شسته و خارج می‌شوند و فضاها خالی در زیر زمین توسعه پیدا می‌کنند. در نهایت ممکن است بخشی از زمین مانند یک تنوره به صورت ناگهانی فرو بنشیند. این پدیده در اصطلاح زمین‌شناسی فروریزش یا سینک‌هول نامیده می‌شود.

وی با تفکیک این پدیده از فرونشست معمول زمین گفت: فرونشست در معنای عام همان چیزی است که اکنون در دشت مشهد اتفاق می‌افتد و در تهران نیز در حال وقوع است و مردم در اصفهان، یزد و کرمان نیز با آثار آن مواجه هستند.

رئیس سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی

برداشت غیرمجاز و بی‌رویه آب، علاوه بر آسیب به آینده کشور، شهر و محل زندگی آنها، خسارات مالی نیز به مردم وارد می‌کند.

رئیس سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور خاطرنشان کرد: پیامدهای این برداشتها فقط خسارت مالی نیست و می‌تواند محیط را به طور کلی دچار اختلال کند؛ ضمن اینکه بسیاری از این خسارتهای قابل جبران نیستند.

فاطمی در پایان درباره جایگاه فرونشست در فعالیت‌های سازمان زمین‌شناسی نیز گفت: در سازمان زمین‌شناسی، بخشی با عنوان مخاطرات طبیعی در حوزه معاونت زمین‌شناسی فعالیت می‌کند که مطالعات مربوط به انواع مخاطرات، از جمله زلزله، سیل، زمین‌لغزش، فرونشست و موارد مشابه را در سطح کشور دنبال می‌کند.

انجام داد این است که از ادامه و تشدید فرونشست جلوگیری شود و وضعیت برداشت و مصرف منابع آب به شکل صحیح مدیریت شود. فاطمی با اشاره به اهمیت مدیریت برداشتهای غیرمجاز، به‌ویژه در مناطق شهری، گفت: برداشت غیرمجاز آب موضوعی بسیار خطرناک است و پیامدهای آن محدود به همان نقطه‌ای که برداشت انجام می‌شود نیست؛ زیرا زمانی که در نقاط دیگر آب برداشت می‌شود، سطح منابع آب زیرزمینی کاهش پیدا می‌کند و پیامدهای آن می‌تواند مناطق شهری و سایر بخش‌ها را نیز تحت تأثیر قرار دهد.

وی از دارندگان چاه‌های غیرمجاز خواست نسبت به مسدود کردن این چاه‌ها اقدام کنند و گفت: مردم باید به قوانین مربوط به بهره‌برداری از آب و قانون جامع آب کشور تمکین کنند و بدانند که

# فرونشست؛

## وقتی زمین آخرین هشدار خود را می‌دهد...

پرونده ویژه

امیر حسین یوسف‌زاده / خبرنگار ارشد حوزه انرژی، آب و محیط‌زیست  
علی طاهری زاده / کارشناس ارشد مدیریت، گرایش بازرگانی



## زمین فرو نمی‌نشیند؛ این شکست حکمرانی و الگوی توسعه است که زیر وزن تصمیمات ناپایدار، خود را بر سطح زمین آشکار می‌کند...

زلزله می‌آید و همه آن را حس می‌کنند. سیل می‌رسد و تصاویرش در چند ساعت سراسر جهان را فرا می‌گیرد. آتش‌سوزی، طوفان و جنگ نیز هرکدام با صدایی بلند، توجه رسانه‌ها و افکار عمومی را به خود جلب می‌کنند. اما در میان همه مخاطرات شناخته‌شده، بحرانی وجود دارد که نه آژیر هشدار دارد، نه موجی برای فرار و نه انفجاری که نگاه‌ها را متوجه خود کند. این بحران، آرام، پیوسته و تقریباً نامرئی پیش می‌رود؛ آن‌قدر آرام که گاهی تا سال‌ها تنها ابزارهای دقیق ماهواره‌ای یا روایت سینه‌به‌سینه چند نسل یک روستا و شهر قادر به ثبت آن هستند.

نام این پدیده فرونشست زمین است؛ سال‌هاست فرونشست را با متر و سانتی‌متر اندازه می‌گیریم، نقشه‌های رنگی تهیه می‌کنیم، دشت‌های ممنوعه را فهرست می‌کنیم و هر بار با اعلام رکوردی تازه، از سرعت پایین رفتن زمین ابراز نگرانی می‌کنیم. اما شاید مسئله اصلی هرگز این نبوده که زمین سالانه چند سانتی‌متر نشست می‌کند؛ مسئله این است که چرا هنوز فرونشست را خود بحران می‌دانیم، نه نشانه بحرانی بزرگ‌تر. همان‌گونه که پزشک تب را بیماری نمی‌نامد، فرونشست نیز بیماری سرزمین نیست؛ دماسنجی است که افزایش دمای توسعه ناپایدار، مدیریت ناهماهنگ منابع و برهم خوردن تعادل میان انسان و طبیعت را به نمایش می‌گذارد.

فرونشست حاصل یک تصمیم اشتباه نیست و با بستن یک چاه یا اجرای یک پروژه عمرانی نیز پایان نمی‌یابد. این پدیده محصول برهم‌کنش ده‌ها متغیر اعم از برداشت بی‌رویه آب‌های زیرزمینی و الگوی کشت نامتناسب گرفته تا استقرار صنایع آبر، گسترش شهرها بدون توجه به ظرفیت

اکولوژیک، تغییرات اقلیمی، ضعف حکمرانی آب، سیاست‌های اقتصادی، قیمت‌گذاری منابع و ناهماهنگی میان بخش‌های مختلف تصمیم‌گیری است؛ به عبارتی تصمیم‌هایی که در حوزه مدیریت منابع آب، برنامه‌ریزی شهری، کشاورزی، صنعت، اقتصاد و سیاست‌گذاری سرزمین اتخاذ شده‌اند و آثار آن‌ها در نهایت بر سطح زمین نمایان می‌شود. زمین آخرین جایی است که بحران خود را نشان می‌دهد؛ بحران بسیار پیش‌تر در ساختارهای مدیریتی و الگوهای توسعه شکل گرفته است. فرونشست تب زمین است؛ نشانه‌ای از اختلال و برهم خوردن تعادل میان انسان، منابع طبیعی و ظرفیت اکولوژیک یک سرزمین.

فرونشست، آینه‌ای است که کیفیت حکمرانی یک سرزمین را بازتاب می‌دهد. هر میلی‌متر نشست زمین، تنها کاهش ارتفاع خاک نیست؛ نشانه‌ای از فاصله گرفتن توسعه از ظرفیت‌های طبیعی، کاهش تاب‌آوری زیرساخت‌ها و افزایش شکاف میان نیازهای جامعه و توان اکولوژیک سرزمین است. اگر توسعه را ساختن آینده بدانیم، فرونشست یادآوری می‌کند که آینده را نمی‌توان بر زمینی بنا کرد که توان تحمل بار امروز را نیز از دست داده است.

نمونه‌های جهانی این واقعیت، تصویری روشن از ابعاد مسئله ارائه می‌کنند. از دره سن‌واکین در ایالت کالیفرنیا گرفته تا مکزیکوسیتی، از جاکارتا تا شانگهای و بسیاری از دشت‌های آسیایی و اروپایی، کاهش سطح آب‌های زیرزمینی و فشردگی غیرقابل بازگشت آبخوان‌ها موجب شده است شهرها، زمین‌های کشاورزی، شبکه‌های حمل‌ونقل و زیرساخت‌های حیاتی با مخاطراتی روبه‌رو شوند که تا چند دهه پیش کمتر مورد توجه قرار می‌گرفت. گزارش‌های جدید مبتنی بر داده‌های ماهواره‌ای حتی نشان می‌دهد که برخی مناطق شهری جهان با نرخ‌هایی بسیار بیشتر از افزایش سطح آب دریا در حال نشست هستند و همین مسئله خطر سیلاب، آسیب به تأسیسات و هزینه‌های نگهداری زیرساخت را به شدت افزایش

پالایشگاه‌ها، شبکه‌های فاضلاب، ساختمان‌های مسکونی، تأسیسات صنعتی و حتی آثار تاریخی را تحت تأثیر قرار دهد. به همین دلیل، بسیاری از کشورها در سال‌های اخیر پایش ماهواره‌ای مستمر فرونشست را به بخشی از نظام مدیریت زیرساخت و برنامه‌ریزی توسعه تبدیل کرده‌اند. شاید زمان آن رسیده باشد که زاویه نگاه خود را تغییر دهیم. پرسش اصلی دیگر این نیست که چرا زمین فرو می‌نشیند؟ بلکه باید پرسید فرونشست درباره شیوه توسعه ما چه می‌گوید؟. از این منظر، هر شکاف بر سطح زمین را می‌توان نشانه‌ای از شکافی عمیق‌تر در شیوه تعامل انسان با منابع طبیعی دانست. زمین ناگهان فرو نمی‌رود؛ پیش از آن، توازن میان آب، خاک، توسعه و مدیریت از میان رفته است.

داده است. از همین منظر، برخی از اندیشمندان حوزه سیاست‌گذاری محیط‌زیست، بحران‌هایی از این دست را در زمره ابرمسئله‌ها قرار می‌دهند؛ مسائلی که علت و معلول آن‌ها در هم تنیده است، راه‌حل‌های ساده برای آن‌ها وجود ندارد و هرگونه تأخیر در تصمیم‌گیری، هزینه‌های آینده را به‌صورت تصاعدی افزایش می‌دهد. فرونشست دقیقاً چنین ویژگی‌ای دارد. وقتی آبخوانی در اثر برداشت بی‌رویه متراکم می‌شود، بخش مهمی از ظرفیت ذخیره آب برای همیشه از دست می‌رود؛ خسارتی که در بسیاری از موارد برگشت‌ناپذیر است. از سوی دیگر، اهمیت فرونشست تنها به محیط‌زیست محدود نمی‌شود. نشست نامتقارن زمین می‌تواند خطوط انتقال آب، گاز و برق، راه‌آهن، جاده‌ها، فرودگاه‌ها، خطوط لوله،



مستقیم میان افت سطح آب زیرزمینی و تغییر شکل دائمی لایه‌های آبرفتی محسوب می‌شود. در استان‌های خراسان رضوی، کرمان، فارس، اصفهان و همدان نیز الگوی مشابهی مشاهده می‌شود؛ به‌گونه‌ای که پراکنش چاه‌های پرآبده با نواحی دارای نرخ‌های بالای فرونشست، تطابق قابل توجهی دارد. این تطابق صرفاً یک هم‌زمانی آماری نیست، بلکه در ادبیات علمی به‌عنوان یکی از شواهد تقویت‌کننده رابطه علی میان برداشت بی‌رویه آب و فشردگی غیرقابل بازگشت لایه‌های زیرسطحی تفسیر می‌شود.

در این چارچوب، نکته کلیدی نه صرفاً تعداد یا عمق چاه‌ها، بلکه حجم سالانه برداشت و استمرار این روند در طول زمان است. هنگامی که تخلیه آبخوان‌ها از ظرفیت تغذیه طبیعی آن‌ها فراتر می‌رود، ساختار متخلخل لایه‌های زمین دچار فروپاشی تدریجی می‌شود و این فرآیند در سطح زمین به‌صورت نشست تدریجی و گاه ناهمگن ظاهر می‌گردد؛ پدیده‌ای که در بسیاری از دشت‌های ایران اکنون به مرحله تغییرات غیرقابل بازگشت نزدیک شده است.

در مجموع، هم‌زمانی گسترش چاه‌های عمیق، افزایش برداشت از آبخوان‌ها و انطباق مکانی آن‌ها با پهنه‌های فرونشستی، تصویری منسجم از یک روند نگران‌کننده ارائه می‌دهد؛ روندی که در آن فشار بر منابع زیرزمینی نه‌تنها یک مسئله بهره‌برداری آب، بلکه به یک عامل تعیین‌کننده در تغییر شکل فیزیکی سرزمین تبدیل شده است.

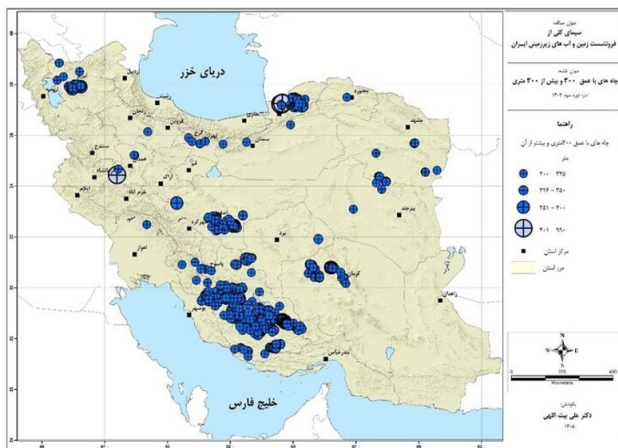
## از ژرفای ۳۰۰ متر تا فرونشست دشت‌های ایران

در ایران، فرونشست دیگر صرفاً یک پدیده زمین‌شناختی قابل ردیابی با داده‌های ماهواره‌ای نیست؛ بلکه به‌تدریج به شاخصی برای سنجش شدت فشار بر منابع آب زیرزمینی و میزان انحراف الگوی توسعه از ظرفیت اکولوژیک سرزمین تبدیل شده است. در این میان، یکی از مهم‌ترین متغیرهای اثرگذار که در مطالعات اخیر نیز به‌طور مکرر مورد تأکید قرار گرفته، گسترش برداشت‌های عمیق از سفره‌های آب زیرزمینی و ورود به لایه‌هایی است که پیش‌تر به‌عنوان ذخایر راهبردی و کم‌دست‌خورده تلقی می‌شدند.

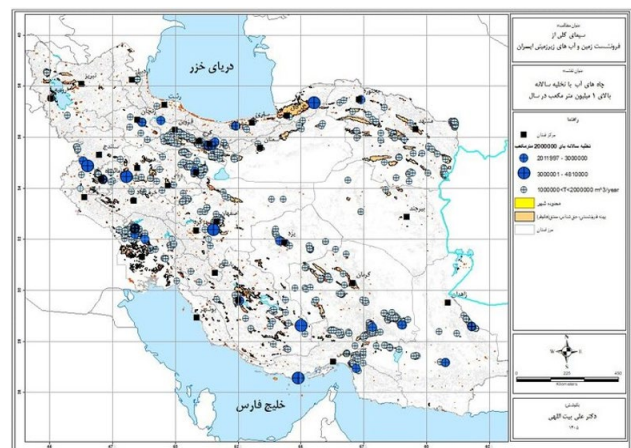
بر اساس داده‌های ارائه‌شده در مطالعات ملی، در کشور حدود ۱۴۵۰ حلقه چاه با عمق بیش از ۳۰۰ متر وجود دارد؛ چاه‌هایی که نشان‌دهنده تغییر الگوی برداشت از منابع سطحی و نیمه‌عمیق به سمت لایه‌های عمیق آبخوان‌ها هستند. تمرکز این چاه‌ها در برخی استان‌ها چشمگیر است؛ به‌طوری که استان فارس با ۹۱۸ حلقه چاه عمیق‌تر از ۳۰۰ متر و برداشت سالانه حدود ۱۷۷ میلیون مترمکعب آب، در صدر قرار دارد و پس از آن استان‌های گلستان، کرمان، آذربایجان شرقی و اصفهان در رتبه‌های بعدی قرار می‌گیرند. این توزیع نامتوازن، خود بیانگر فشار نقطه‌ای و شدید بر آبخوان‌های مشخصی از کشور است؛ فشارهایی که در بسیاری از موارد با پهنه‌های فرونشستی فعال هم‌پوشانی دارند.

در کنار تعداد چاه‌ها، الگوی برداشت نیز اهمیت تعیین‌کننده‌ای دارد. در برخی مناطق، چاه‌هایی با تخلیه سالانه بیش از یک میلیون مترمکعب نقش محوری در تغذیه مصرف آب ایفا می‌کنند؛ چاه‌هایی که تمرکز آن‌ها در جنوب و جنوب‌غرب تهران، جنوب کرج و جنوب قزوین با پهنه‌های فرونشستی شناخته‌شده هم‌راستا گزارش شده است. این هم‌پوشانی مکانی، از منظر علوم زمین و هیدروژئولوژی، یکی از نشانه‌های کلاسیک ارتباط





چاه‌های با عمق بیش از ۳۰۰ متری در ایران



چاه‌های آب با تخلیه سالانه بالای یک میلیون متر مکعب در سال و

تطابق توزیع آنها با پهنه های فرونشستی زمین

گزارش شده و در برخی محدوده‌های شهری نیز نرخ‌هایی تا حدود ۳۱ سانتی‌متر در سال ثبت شده است. در ادبیات تخصصی علوم زمین، نرخ‌های بالاتر از ۳ سانتی‌متر در سال به‌عنوان نشانه ورود به وضعیت خطرناک و بحرانی در نظر گرفته می‌شود.

توزیع جغرافیایی این پدیده نشان می‌دهد که تقریباً تمام استان‌های کشور، به‌جز یک مورد، با درجاتی از فرونشست درگیر هستند. دشت‌های کرمان به‌عنوان یکی از کانون‌های اصلی بیشترین شدت نشست را تجربه می‌کنند و وسیع‌ترین پهنه فرونشستی کشور در استان گلستان شناسایی شده است. در تهران نیز کانون‌های اصلی فرونشست در جنوب و جنوب‌غرب پایتخت متمرکز هستند؛ مناطقی که هم‌زمان با تراکم جمعیتی بالا و توسعه شهری گسترده همراه شده‌اند.

در کنار این داده‌ها، گزارش‌ها نشان می‌دهد که روند فرونشست در برخی کلان‌شهرها در حال تشدید است. در جنوب تهران، به‌ویژه منطقه ۱۸، وسعت پهنه فرونشستی طی بازه‌ای دوساله حدود ۳۰ درصد افزایش یافته و نرخ فرونشست در این محدوده به حدود ۲۱ سانتی‌متر در سال رسیده است؛ رقمی که نسبت به دوره‌های پیشین رشد قابل توجهی را نشان می‌دهد. در مشهد نیز گزارش‌ها حاکی از گسترش پهنه فرونشستی به سمت نواحی مرکزی شهر است، به‌گونه‌ای که در

## آن چیز که اطلس فرونشست ایران می‌دانیم

در ادامه پرونده، داده‌های منتشرشده درباره اطلس فرونشست ایران و وضعیت مدیریت اطلاعات این پدیده، تصویری چندلایه از شدت بحران و نحوه مواجهه نهادی با آن ارائه می‌دهد؛ تصویری که در آن، هم ابعاد فنی فرونشست و هم سطح حکمرانی اطلاعات به‌طور هم‌زمان قابل مشاهده است.

بر اساس گزارش‌های منتشرشده، نسخه جدید اطلس فرونشست زمین در ایران که توسط سازمان نقشه‌برداری کشور تهیه شده، به دلیل محرمانه بودن بخشی از داده‌ها، هنوز به انتشار عمومی نرسیده و صرفاً در اختیار برخی دستگاه‌های اجرایی قرار گرفته است. در همین چارچوب، این اطلس به‌عنوان مرجع شناسایی پهنه‌های بحرانی، برای کنترل بارگذاری‌های جمعیتی، صنعتی و عمرانی مورد استفاده محدود قرار می‌گیرد؛ در حالی که هم‌زمان، داده‌های ماهواره‌ای مشابه از سوی مراکز علمی بین‌المللی نیز در دسترس عمومی قرار دارد و امکان پایش مستقل این پهنه‌ها را فراهم کرده است.

در بخش فنی این گزارش، گستره فرونشست در کشور بر اساس داده‌های سازمان نقشه‌برداری ایران حدود ۲۵۰ محدوده فرونشستی اعلام شده است. نرخ فرونشست در پهنه‌های دشتی کشور در برخی مناطق تا حدود ۴۳ سانتی‌متر در سال

سرزمین ارتباط مستقیم دارد. در این چارچوب، بحث محرمانه بودن یا نبودن داده‌ها، خود به یکی از محورهای جدی حکمرانی ریسک تبدیل شده است؛ چرا که در بسیاری از موارد، داده‌های ماهواره‌ای و پژوهش‌های بین‌المللی، عملاً امکان پایش مستقل این پدیده را بدون وابستگی به منابع داخلی فراهم کرده‌اند.

## سهم ۸۵ درصدی کشاورزی از آب زیرزمینی؛ موتور پنهان فرونشست در ایران

در امتداد تصویر کلی بحران فرونشست در ایران، داده‌های مربوط به الگوی مصرف آب زیرزمینی نشان می‌دهد که این پدیده نه صرفاً نتیجه کاهش بارش یا خشکسالی‌های دوره‌ای، بلکه محصول مستقیم یک ساختار مصرفی ناپایدار در سطح ملی است؛ ساختاری که در آن بخش عمده فشار بر منابع زیرزمینی در حوزه‌ای متمرکز شده که هم از نظر اقتصادی و هم از نظر اکولوژیک بیشترین حساسیت را دارد.

بر اساس آمارهای ارائه‌شده در گزارش‌های رسمی، حدود ۸۵ درصد از کل آب زیرزمینی کشور در بخش کشاورزی مصرف می‌شود؛ سهمی که نشان‌دهنده تمرکز شدید الگوی بهره‌برداری از منابع آب در یک بخش خاص و وابستگی ساختاری نظام تولید کشاورزی به منابع غیرتجدیدپذیر زیرزمینی است. این میزان برداشت، در بسیاری از مناطق کشور به‌صورت مستقیم با افت سطح آبخوان‌ها و در ادامه با تشدید فرایند فرونشست زمین هم‌راستا شده است؛ به‌گونه‌ای که پهنه‌های کشاورزی بزرگ، به‌طور هم‌زمان در زمره کانون‌های اصلی فرونشست نیز قرار گرفته‌اند. در کنار بخش کشاورزی، الگوی مصرف در بخش‌های شهری و صنعتی نیز فشار مضاعفی بر منابع زیرزمینی وارد کرده است.

داده‌ها نشان می‌دهد استان‌هایی مانند کرمان، تهران، خراسان رضوی، قزوین و فارس در میان بیشترین مصرف‌کنندگان آب زیرزمینی در بخش صنعت قرار دارند؛ در حالی که همین استان‌ها از

صورت عدم کنترل، بخش‌های وسیع‌تری از بافت شهری در معرض خطر قرار خواهند گرفت.

از منظر نهادی، سازمان نقشه‌برداری کشور به‌عنوان متولی اصلی پایش فرونشست، با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و ایستگاه‌های زمینی، اقدام به تهیه نقشه‌های به‌روز از نرخ و گستره فرونشست می‌کند و این اطلاعات را در قالب گزارش‌های رسمی در اختیار دستگاه‌های اجرایی قرار می‌دهد. همچنین گزارش شده است که بیش از ۱۰۰ نامه محرمانه درباره وضعیت فرونشست به مدیران ملی و استانی ارسال شده و هشدارهای مرتبط در جلسات برنامه‌ریزی و توسعه استان‌ها ارائه شده است.

بر اساس داده‌های اعلام‌شده، الگوی هم‌پوشانی چاه‌های پرآبده با پهنه‌های فرونشستی نیز در بسیاری از مناطق کشور قابل مشاهده است؛ به‌ویژه در استان‌های خراسان رضوی، کرمان، فارس، اصفهان و همدان.

این هم‌پوشانی، در تحلیل‌های تخصصی، به‌عنوان یکی از شاخص‌های تقویت‌کننده ارتباط میان برداشت بی‌رویه آب‌های زیرزمینی و توسعه فرونشست زمین ارزیابی می‌شود. در جمع‌بندی داده‌های موجود، استان گیلان به‌عنوان تنها استانی معرفی شده که در حال حاضر فاقد فرونشست گزارش‌شده است، در حالی که سایر استان‌ها با درجات مختلفی از نشست زمین مواجه‌اند. هم‌زمان، تأکید شده است که توقف برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی، مدیریت مصرف در بخش کشاورزی، افزایش تغذیه آبخوان‌ها و اجرای اقدامات آبخیزداری از جمله راهکارهای بلندمدت برای کنترل این روند محسوب می‌شود.

در مجموع، داده‌های رسمی و گزارش‌های تکمیلی نشان می‌دهد که فرونشست در ایران نه یک پدیده محدود و موضعی، بلکه یک شبکه گسترده و در حال گسترش از ناپایداری‌های زیرسطحی است که با الگوهای توسعه، بهره‌برداری از منابع آب و نحوه بارگذاری جمعیتی و صنعتی در

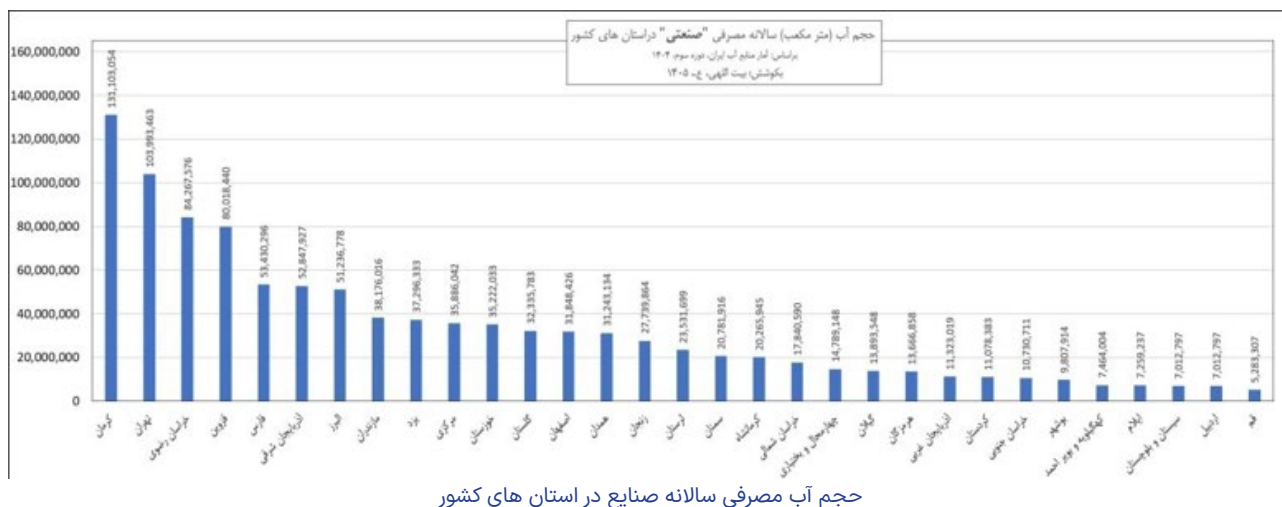
و در عمل چرخه برداشت، اُفت سطح و تشدید فرونشست را تقویت کرده است.

در سطح شهری، نمونه‌هایی مانند منطقه ۱۸ تهران نشان می‌دهد که افزایش جمعیت و توسعه بدون انطباق با ظرفیت منابع آب، چگونه به برداشت مستقیم از آب‌های زیرزمینی برای تأمین نیازهای پایه منجر شده است. این روند در ادبیات مدیریت منابع آب، به‌عنوان یکی از عوامل تشدیدکننده فشار بر آبخوان‌های شهری شناخته می‌شود؛ به‌ویژه در شرایطی که امکان تأمین پایدار از منابع سطحی محدود باشد.

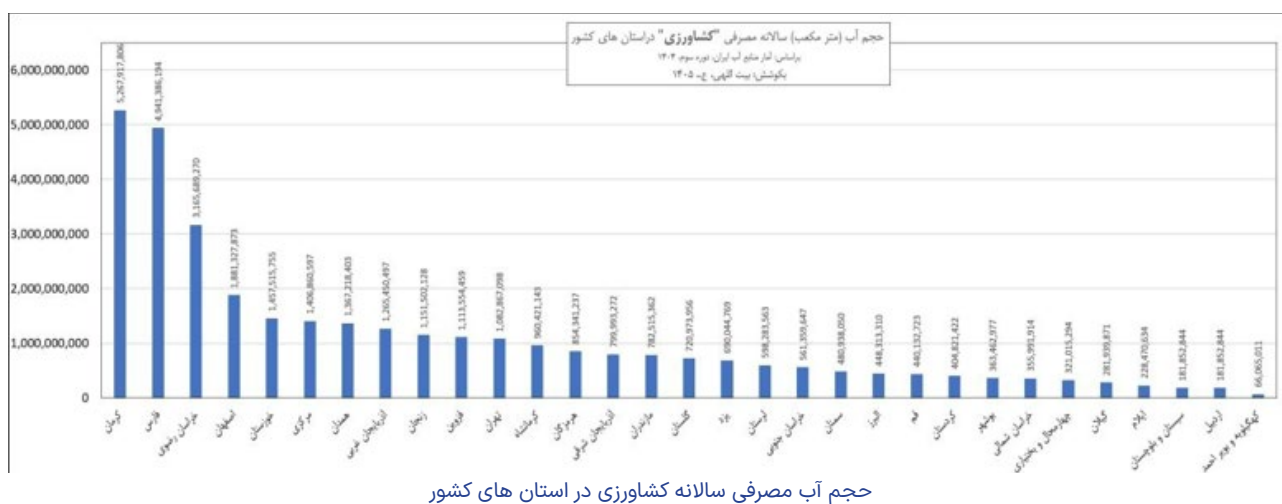
در بخش کشاورزی، تمرکز برداشت آب زیرزمینی در استان‌هایی مانند کرمان، فارس، خراسان رضوی و اصفهان با شدت بیشتری دیده می‌شود؛

مهم‌ترین کانون‌های ثبت‌شده فرونشست زمین در کشور نیز محسوب می‌شوند. این هم‌پوشانی مکانی، در تحلیل‌های هیدروژئولوژیکی به‌عنوان یکی از نشانه‌های ارتباط مستقیم میان الگوی توسعه صنعتی و تشدید تنش در آبخوان‌ها ارزیابی می‌شود.

در حوزه مصرف آب شرب نیز وابستگی برخی استان‌ها به منابع زیرزمینی به‌طور قابل توجهی بالاست. استان‌های تهران، فارس، خراسان رضوی و کرمان در میان مناطقی قرار دارند که بخش مهمی از تأمین آب شرب آن‌ها از طریق چاه‌های زیرزمینی انجام می‌شود. این وابستگی، در کنار رشد جمعیت شهری و توسعه کالبدی شهرها، موجب افزایش مداوم نیاز به حفر چاه‌های جدید شده



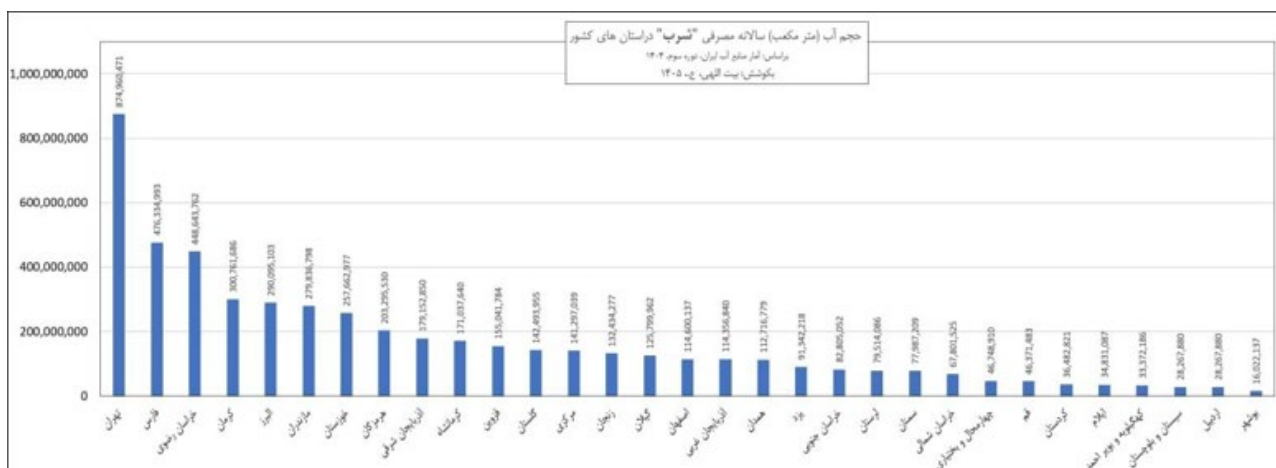
حجم آب مصرفی سالانه صنایع در استان های کشور



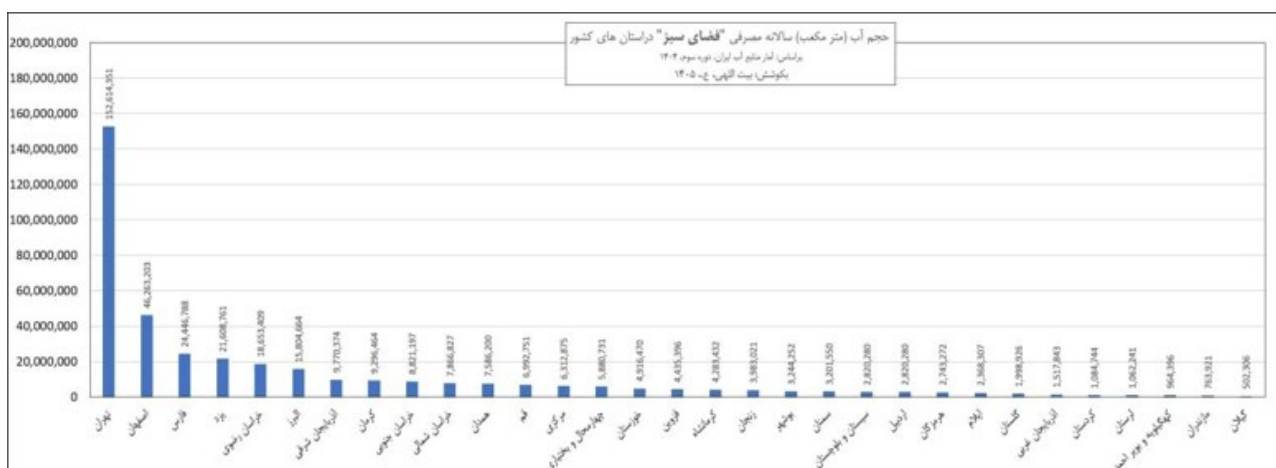
حجم آب مصرفی سالانه کشاورزی در استان های کشور

آبخوان‌ها را ایفا می‌کند و سایر بخش‌ها شامل صنعت، شرب و فضای سبز شهری، این فشار را تشدید می‌کنند. نتیجه این الگوی مصرف، در بسیاری از مناطق کشور به شکل اُفت پایدار سطح آب زیرزمینی و فعال شدن گسترده پهنه‌های فرونشستی قابل مشاهده است؛ روندی که در صورت تداوم، می‌تواند از سطح یک بحران منابع آب فراتر رفته و به یک مسئله ساختاری در پایداری سرزمین تبدیل شود.

استان‌هایی که هم‌زمان دارای گسترده‌ترین پهنه‌های فرونشستی کشور هستند. این هم‌زمانی، از منظر تحلیل سامانه‌های زمین، نشان‌دهنده رابطه مستقیم میان الگوی کشت آبر، توسعه باغات و بهره‌برداری مداوم از آبخوان‌ها با تغییر شکل تدریجی لایه‌های زیرسطحی است. در مجموع، داده‌های موجود نشان می‌دهد که بخش کشاورزی با حدود ۸۵ درصد سهم از برداشت آب زیرزمینی، نقش غالب در فشار بر



حجم آب مصرفی سالانه شرب در استان های کشور



حجم آب مصرفی سالانه فضای سبز در استان های کشور

## وقتی عددها از زمین بیرون می‌زنند؛ از فرونشست تا مسئله حکمرانی آب

فرونشست در ایران امروز دیگر یک شاخص زمین‌شناختی نیست، بلکه خروجی قابل اندازه‌گیری یک حکمرانی فرسوده بر آب زیرزمینی است؛ جایی که افت آبخوان‌ها، الگوی مصرف ناپایدار و توسعه بدون ظرفیت‌سنجی، در هم تنیده و یک زنجیره واحد بحران ساخته‌اند. آنچه در آمارها دیده می‌شود-از گسترش پهنه‌های بحرانی تا تمرکز فشار در دشت‌های کلیدی کشور-در واقع فقط سطح ماجراست و لایه‌های عمیق‌تر، به سازوکار تصمیم‌گیری و نبود نقشه ریسک یکپارچه بازمی‌گردد.

در این چارچوب، گفت‌وگو با دکتر هادی شریفی مدیرکل زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی منطقه شمال شرق تلاش دارد از توصیف نرخ‌ها عبور کند و به معماری مسئله برسد؛ از نقش نهادهای متعدد و گاه متداخل در تولید داده تا خلأ تبدیل داده به سیاست، و از محدودیت‌های مطالعات صرفاً آماری تا ضرورت پهنه‌بندی خطر و اولویت‌بندی مکانی. مسئله اصلی در اینجا نه فقط شدت فرونشست، بلکه کیفیت مواجهه نهادی با آن است. این مصاحبه در واقع تلاشی برای تکمیل پازل است؛ پازلی که یک سوی آن داده‌های پراکنده از دشت‌ها و شهرها قرار دارد و سوی دیگر آن، تصمیم‌هایی که هنوز به یک چارچوب واحد برای مدیریت ریسک نرسیده‌اند. پرسش محوری این گفت‌وگو نیز همین است: چگونه می‌توان از مدیریت عددها به مدیریت سرزمین رسید، پیش از آنکه فرونشست از یک هشدار، به یک وضعیت برگشت‌ناپذیر تبدیل شود.



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.

### خلأ 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 نهادی 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؟

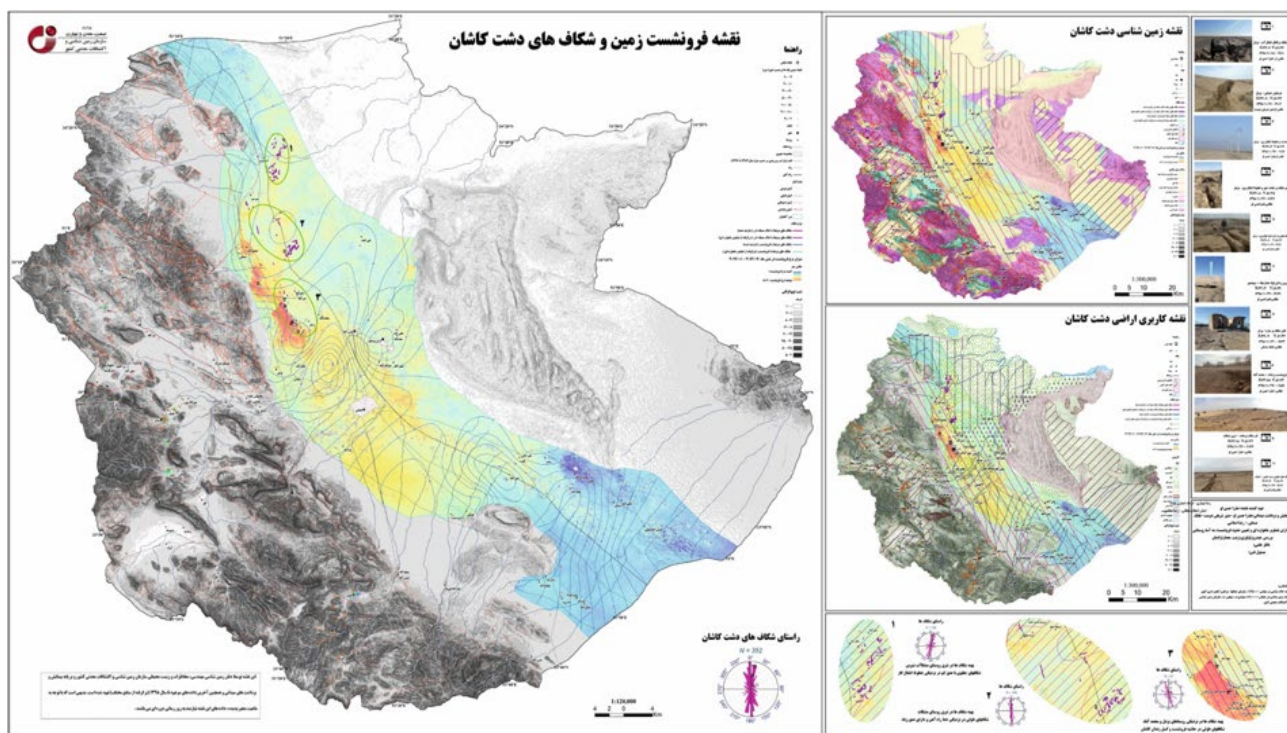
اگر بخواهیم به‌طور مشخص وضعیت استان خراسان رضوی را بررسی کنیم، باید توجه داشت که خراسان رضوی به همراه خراسان شمالی و خراسان جنوبی در حوزه نظارتی اداره کل شمال شرق قرار می‌گیرد. در این میان، وقتی درباره فرونشست صحبت می‌کنیم معمولاً نخستین موضوعی که مطرح می‌شود نرخ فرونشست زمین است. واقعیت این است که در 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 فوق بحرانی قرار دارند.

با خطر بالای فرونشست در کشور وجود دارد که در صورت ادامه روند کنونی برداشت از منابع آب زیرزمینی، به تدریج 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 رها شده 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

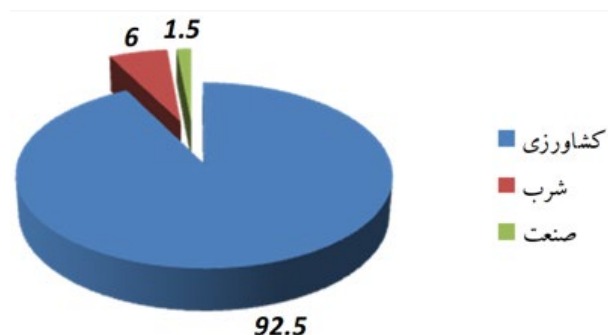
در استان خراسان رضوی مجموعاً ۴۵ دشت مطالعاتی وجود دارد. از این میان حدود ۲۰ تا ۲۲ دشت درگیر فرونشست هستند، اما ۱۷ دشت به مرحله خطرناک رسیده‌اند و حدود ۸ دشت

**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.**

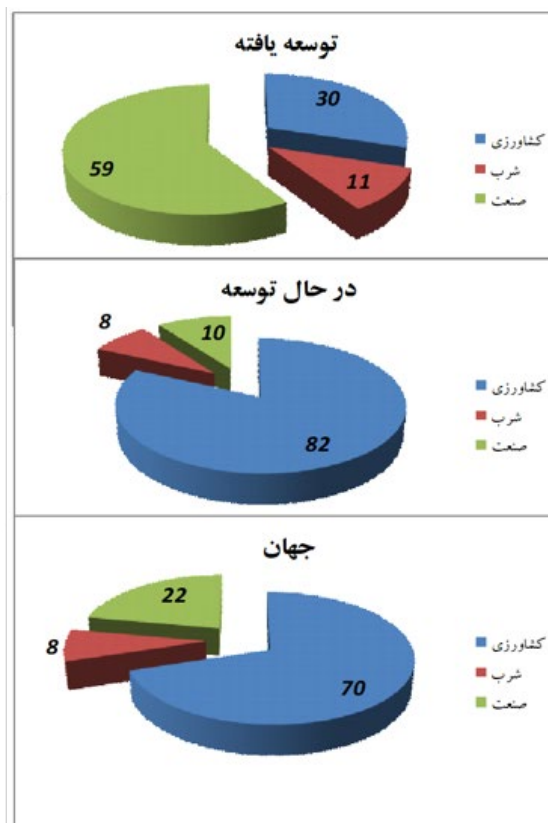
مطرح کرد. دلیل این تأکید آن است که هدف اصلی از طرح گسترده مسئله فرونشست، جلب توجه به بحران منابع آب زیرزمینی است. در حقیقت، خطری که امروز کشور با آن مواجه است بیش از آنکه خود فرونشست باشد، بحران کم‌آبی و از دست رفتن آبخوان‌هاست. اگر به ویژگی آبخوان‌ها نگاه کنیم، متوجه می‌شویم که در ایران ضخامت آبخوان‌ها 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 به شدت 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 تربت جام، 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.

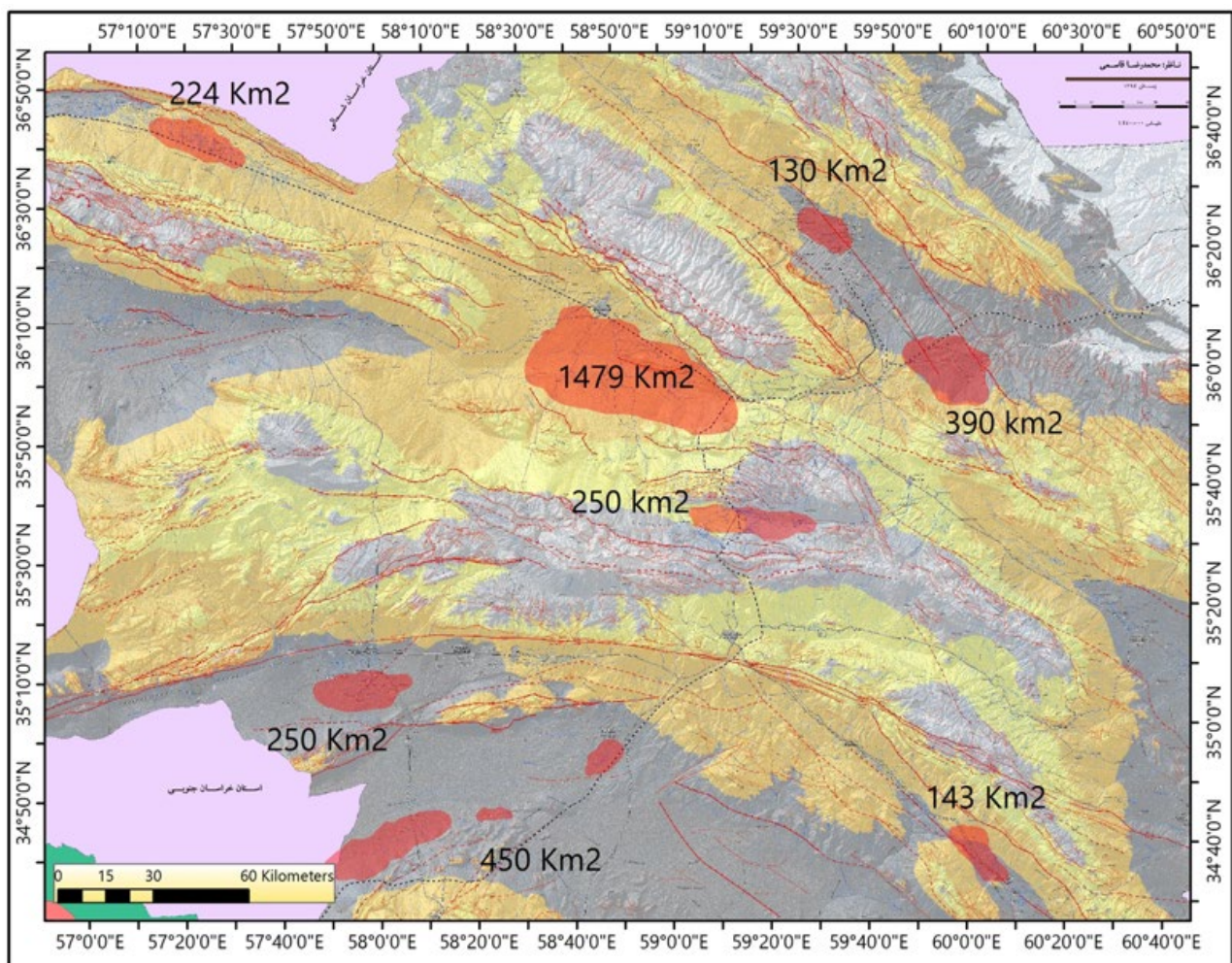
### وضعیت فرونشست در خراسان شمالی و خراسان جنوبی

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.

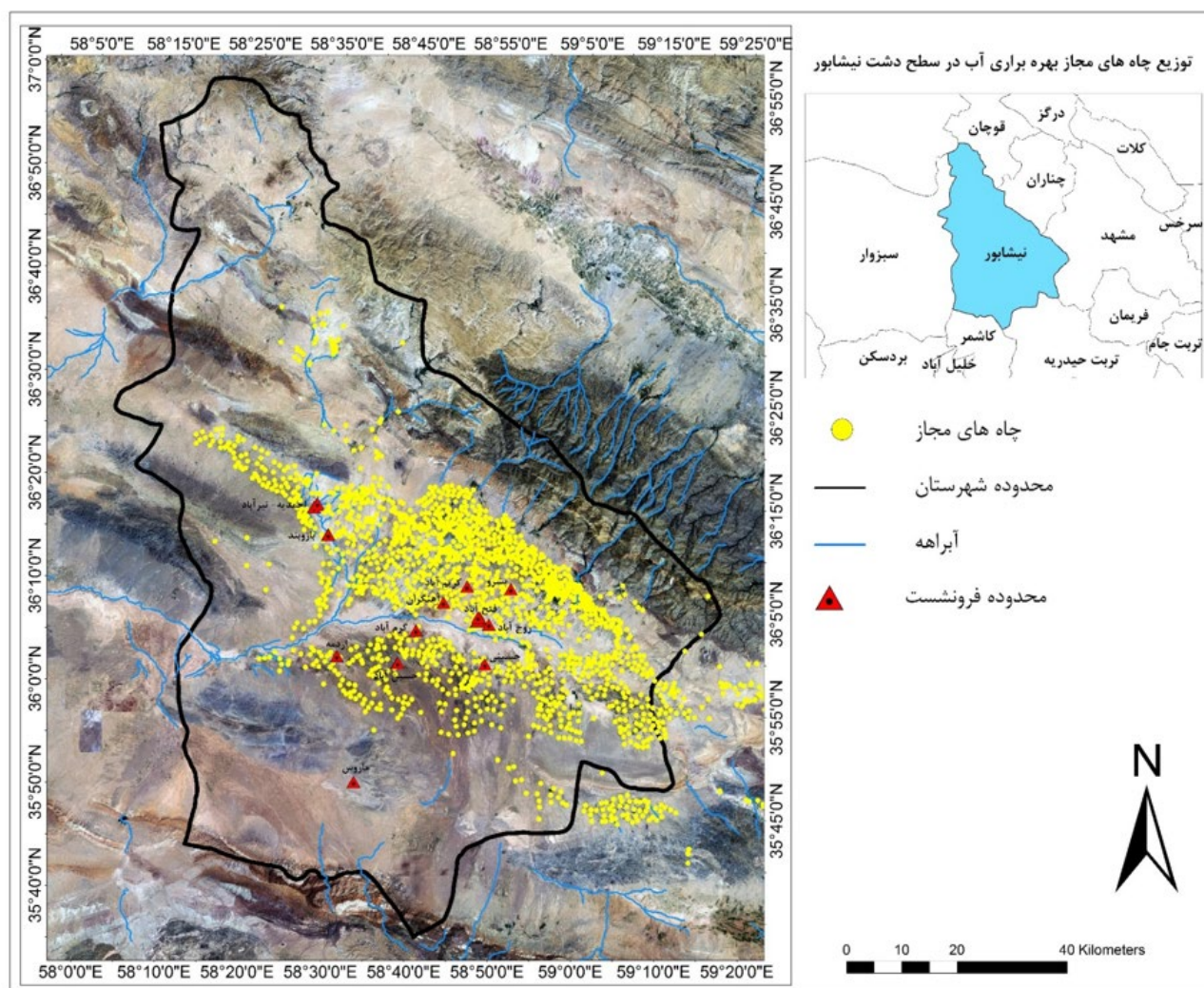
## دشت بردسکن؛ نمونه‌ای از تخریب گسترده ناشی از فرونشست

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- آبدادی 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.

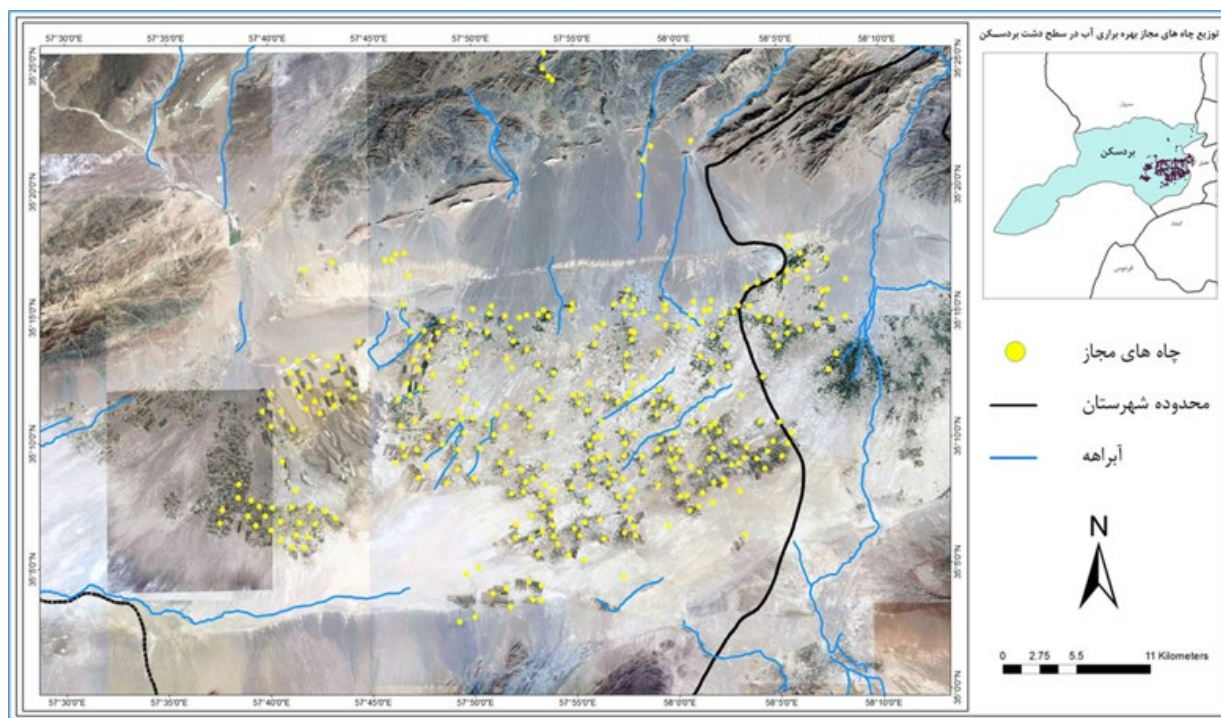
### پیامد اقتصادی فرونشست؛ از دست رفتن اراضی کشاورزی

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 فشردگی 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 پهنپای 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.

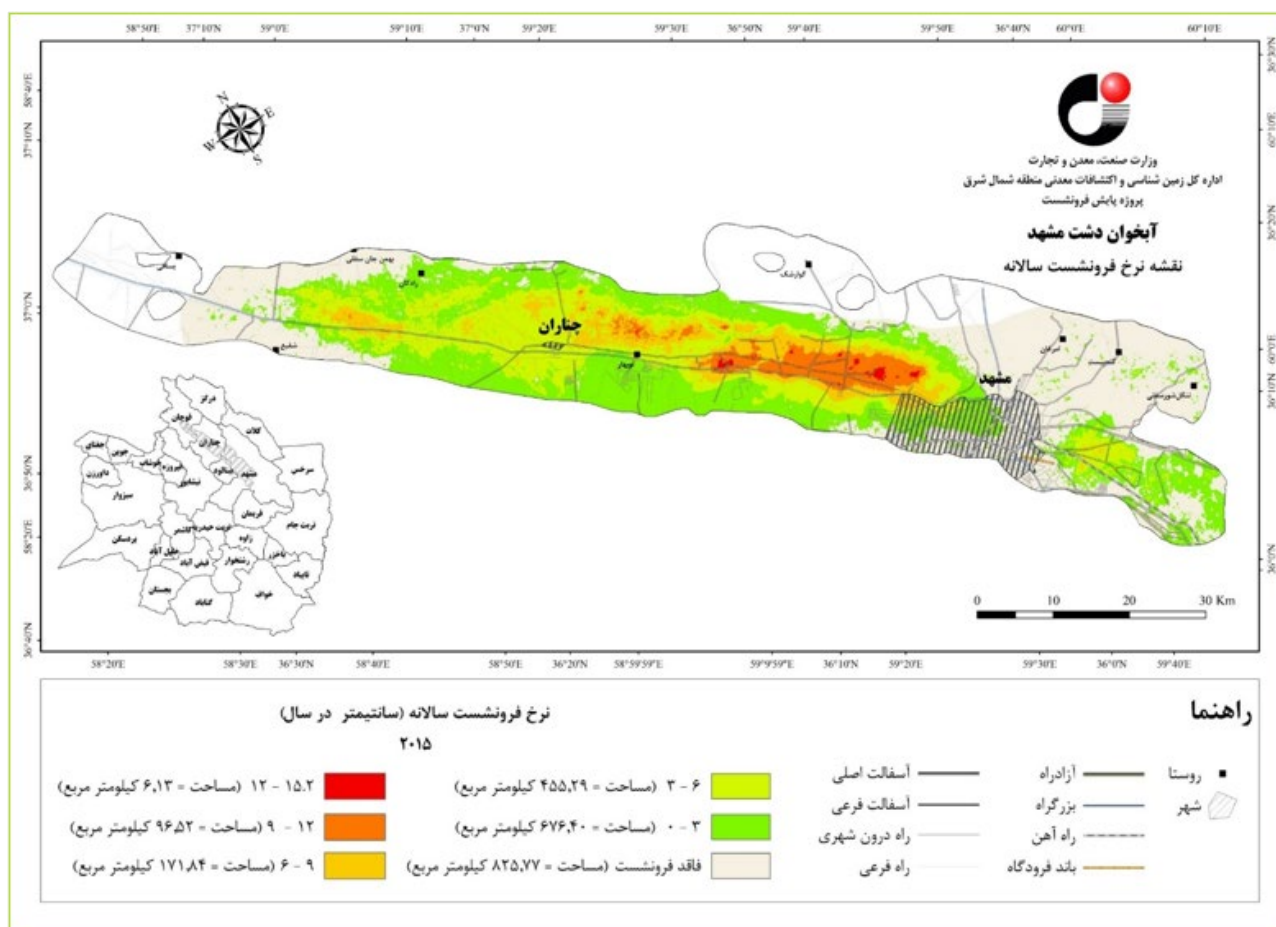
## تحلیل وضعیت فرونشست در کلان‌شهر مشهد و منطقه توس

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 پهنپای 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

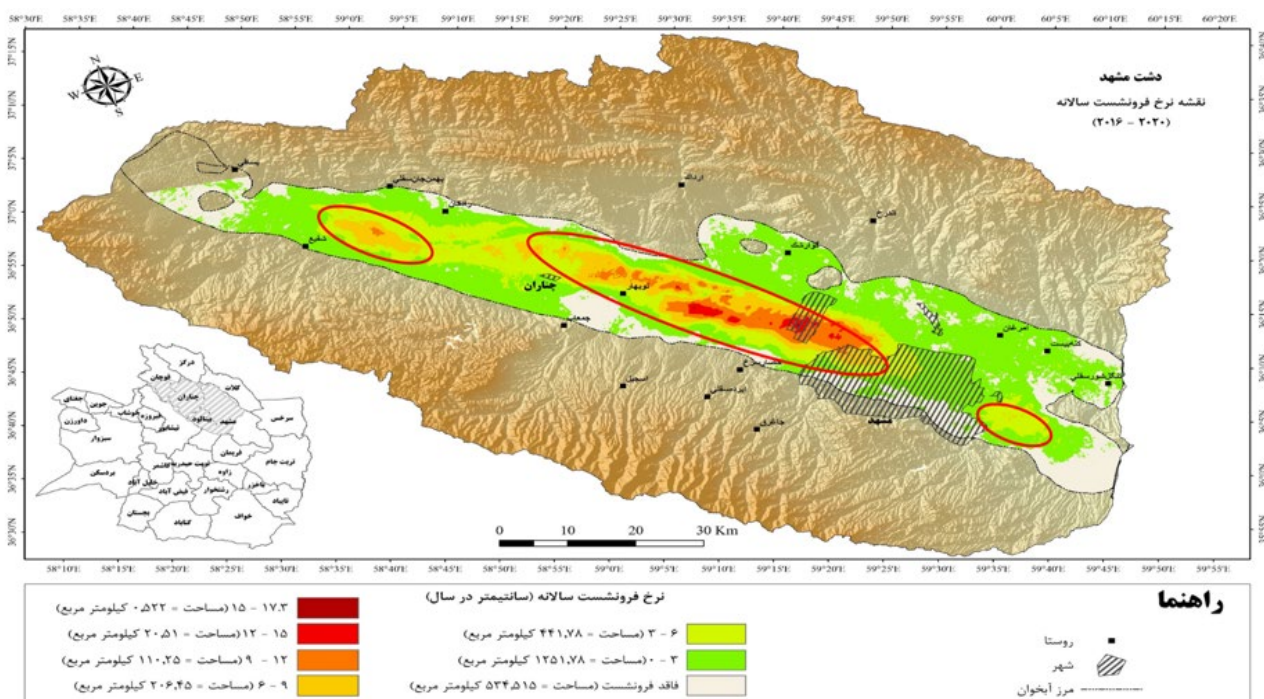
مطالعات انجام شده در مناطقی مانند شهریار تهران و منطقه توس مشهد نشان می‌دهد که تمامی لایه‌های زمین به صورت همزمان نشست نمی‌کنند. فرآیند نشست معمولاً از لایه‌های ریزدانه آغاز می‌شود. در برخی موارد، حتی با توقف برداشت آب، نشست به دلیل فرآیند تحکیم تا مدتی ادامه می‌یابد.

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 نگران کننده 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 تجمع 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 چغندر قند 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 روبه‌روست، 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 پرمصرفی 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 استعلام 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

مانند تغییر الگوی کشت، بهبود روش‌های آبیاری و استفاده از فناوری‌های افزایش بهره‌وری آب می‌تواند نقش تعیین‌کننده‌ای داشته باشد.

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

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



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

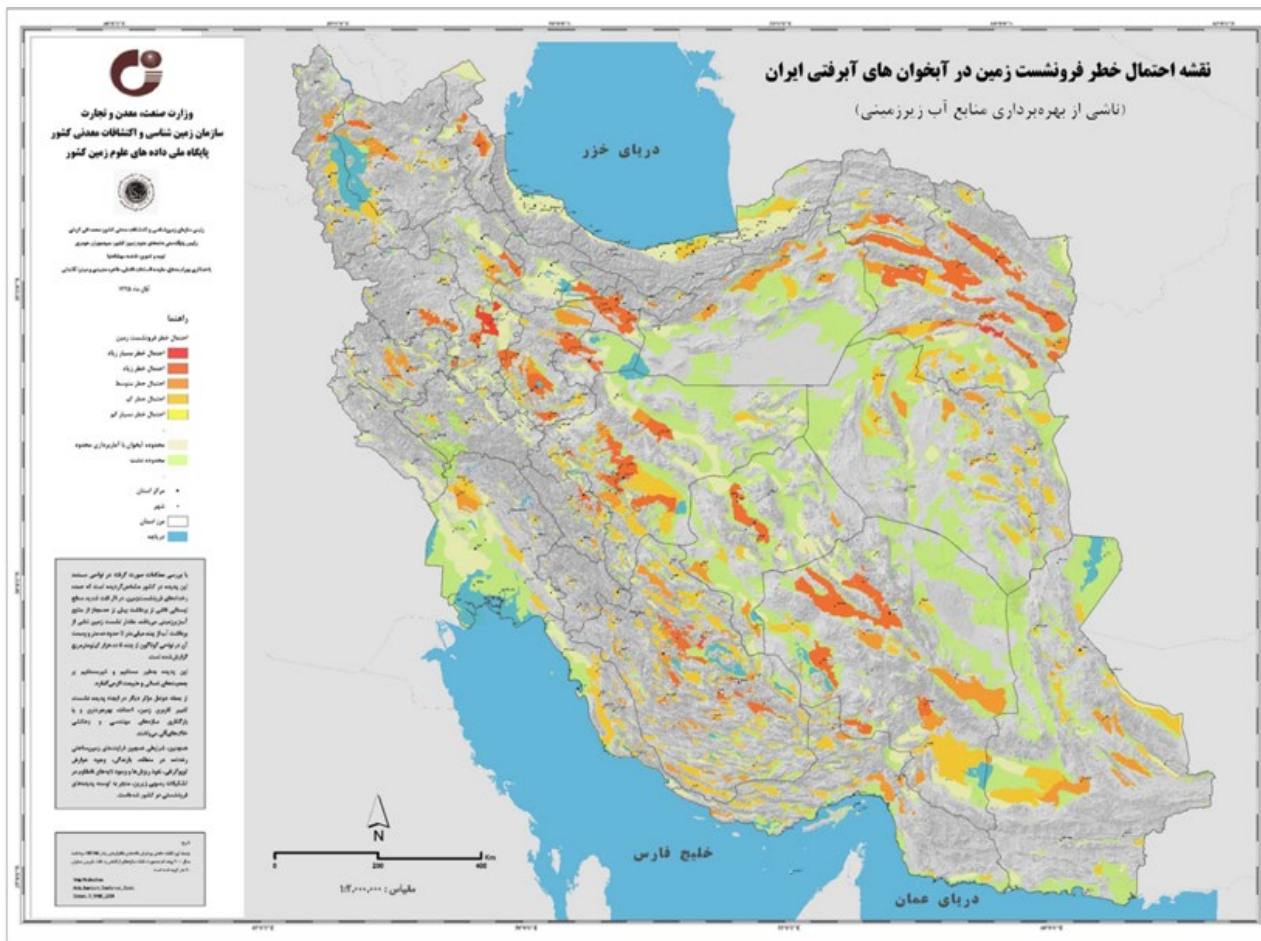
آبی که از آبخوان‌ها برداشت می‌شود، به سادگی به همان لایه‌ها باز نمی‌گردد. بر اساس برآوردهای علمی، از هر ۱۰۰ لیتر آبی که از سفره‌های زیرزمینی برداشت می‌شود، در خوش‌بینانه‌ترین حالت تنها حدود ۱۰ لیتر آن امکان بازگشت طبیعی به همان عمق را دارد. به همین دلیل، روند برداشت‌های ماسه‌ای به شکل تجمعی و تصاعدی 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 به عنوان بخشی الزامی از فرآیند طراحی و اجرای سازه‌ها در نظر گرفته شود. در همین راستا، سازمان زمین‌شناسی در سال‌های اخیر تلاش کرده است موضوع استعلام فرونشست و گسل را در سامانه‌های مربوط به استعلام زمین وارد کند.

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

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 بلندمرتبه 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.

**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.**

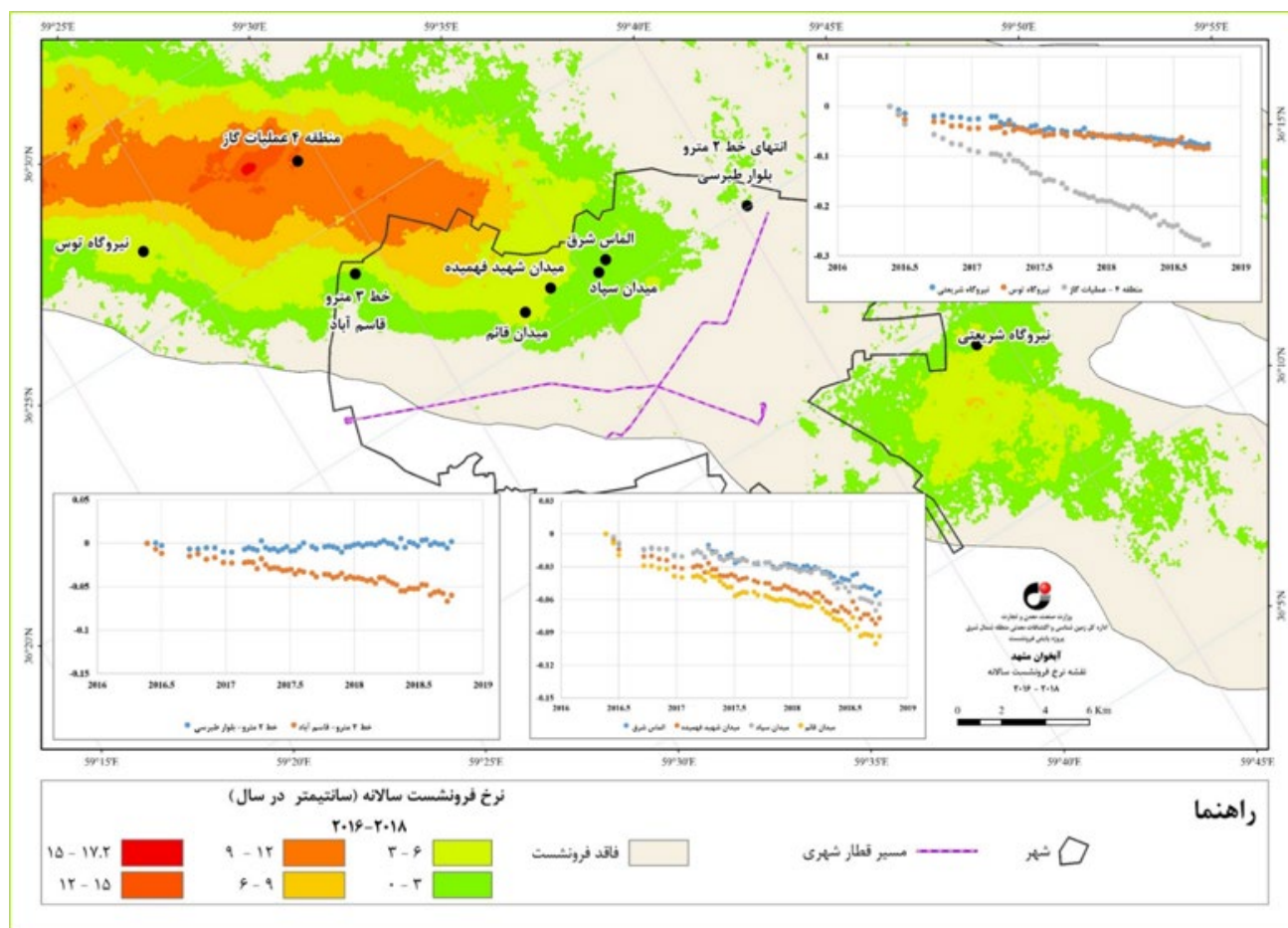
علمی است.

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.



## از کالبدشکافی بحران فرونشست تا راه‌حل‌های تعادل‌بخشی 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.



محمد رضا علوی مقدم  
عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی



مشاهده فیلم کامل مصاحبه



### مصاحبه

در این گفتگو، ضمن کالبدشکافی وضعیت بحرانی دشت مشهد و خطراتی که سازه‌های تاریخی و شریان‌های انتقال انرژی و آب را تهدید می‌کند، به تحلیل مدل‌های موفق جهانی و ضرورت عبور از ثبات نرخ فرونشست به سمت مدیریت ریسک و کاهش آسیب‌پذیری پرداخته شده است. دکتر علوی مقدم با ارائه راهکار کلیدی چرخه بازچرخانی پساب به عنوان تنها گزینه قطعی تعادل بخشی آبخوان، چشم‌اندازی واقع‌گرایانه و در عین حال امیدوارکننده برای همزیستی با این پدیده ترسیم می‌کند. مشروح این گفتگوی تخصصی را در ادامه بخوانید.

فرونشست در ایران از مرز یک مخاطره زیست‌محیطی عبور کرده و اکنون پایداری سازه‌ها و شریان‌های حیاتی کلان‌شهرها را هدف قرار داده است؛ واقعیتی تلخ که در دشت مشهد به دلیل تمرکز جمعیتی بالا و وابستگی شدید به آبخوان زیرزمینی، ابعادی به مراتب پیچیده‌تر به خود گرفته است. برای درک بیشتر بحران در گفتگویی تفصیلی با دکتر سید محمد رضا علوی مقدم، رئیس پژوهشکده محیط‌های خشک و رئیس دانشکده صنعت ساختمان دانشگاه آزاد اسلامی مشهد و پژوهشگر ارشد حوزه فرونشست، به واکاوی دغدغه اصلی پایداری زیستی این کلان‌شهر پرداخته شده است.



دشت‌ها، نشست به‌صورت نسبتاً یکنواخت رخ می‌دهد؛ یعنی ممکن است نرخ‌های سالانه فرونشست بالایی وجود داشته باشد اما چون گرادیان فرونشست کم است؛ آثار مشهود خسارت به سازه‌ها و ابنیه دیده نمی‌شود. در این دشت‌ها نیز باید در مورد سازه‌های تاریخی و زیرساخت‌های خطی مانند خطوط آهن و خط لوله‌های انتقال آب و گاز نگران بود. در مقابل، در جاهایی که نشست غیر یکنواخت است، خطر برای کلیه سازه‌ها و زیرساخت‌ها بسیار بیشتر است. بنابراین، هم نرخ نقطه‌ای فرونشست مهم است و هم نحوه توزیع آن در پهنه.

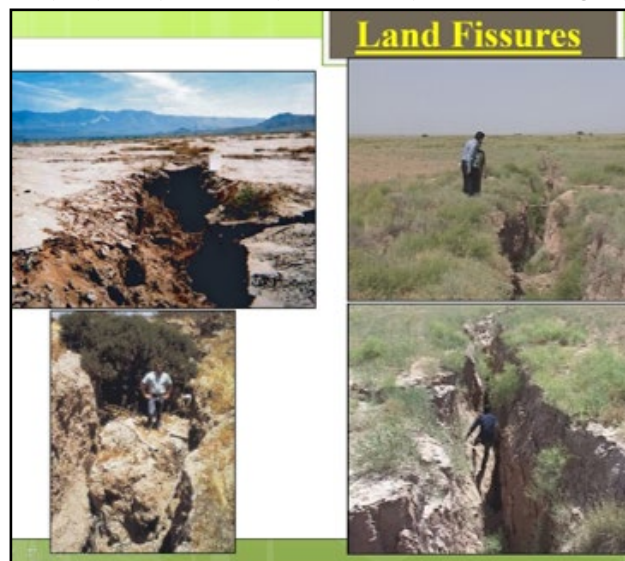
### وضعیت دشت مشهد؛ نگرانی کجاست؟

در دشت مشهد، نرخ فرونشست بالا است اما تاکنون نسبتاً یکنواخت بوده است. به همین دلیل در بسیاری از ساختمان‌های جدید شهری که طی ده تا پانزده سال اخیر با نظارت مهندسی ساخته شده‌اند، نگرانی فوری و جدی نمی‌بینیم. اما این به معنای بی‌خطر بودن کامل موضوع نیست. نگرانی اصلی در مشهد متوجه سازه‌های تاریخی، خشتی و شریانی-زیرساختی است. بناهایی با پی‌های قدیمی و شفته‌ای، نسبت به نشست‌های حتی اندک اما نامتقارن حساس‌اند. برای مثال، سازه‌های محدوده حرم مطهر و بویژه بناهای تاریخی مانند مسجد گوهرشاد که از نظر هویتی، مذهبی و تاریخی برای شهر اهمیت حیاتی دارند. در سازه‌های باستانی و گنبدی، هیچ عضو یا المانی که توان تحمل کشش را داشته باشد وجود ندارد. در حقیقت در گذشته، در نبود فولاد ساختمانی، این مهارت مهندسان قدیمی ایران بوده است که با خلق طاق‌های گنبدی، کشش را به فشار تبدیل می‌کردند تا خشت و ملات بتواند آن را تحمل کند. اما در اثر فرونشست زمین و با بروز اندکی نشست غیر یکنواخت در پایه‌ها و دیوارها، طاق‌ها و گنبدها به کشش می‌افتند و ترک می‌خورند، این است که در سازه‌های تاریخی اصفهان شاهد ترک در اثر فرونشست هستیم

**باید از تمرکز صرف بر نرخ فرونشست عبور کنیم و به سمت مدیریت ریسک برویم. به عبارتی، شرایط نامساعدی که ما در برداشت از آب زیرزمینی دشت مشهد به این دشت تحمیل کرده‌ایم، به‌گونه‌ای است که متأسفانه چشم‌انداز امیدوارکننده‌ای برای توقف فرونشست زمین وجود ندارد.**

### وقتی بحران عادی می‌شود

هرچند واژه بحران آن‌قدر در گفتار عمومی تکرار شده که دیگر حساسیت‌ها از بین رفته است، اما در موضوع فرونشست زمین واقعاً در شرایط بحرانی قرار داریم. در کشور نزدیک به ۴۰ دشت دچار بحران جدی فرونشست است. نرخ‌های فرونشست در برخی دشت‌های ایران، از جمله دشت مشهد، حد نصاب‌های جهانی را جابجا کرده است. بعضاً در محدوده‌های بزرگی با نرخ‌های میانگینی بالاتر از ۱۰ سانتی‌متر در سال مواجه هستیم، محدوده‌هایی که در نوک مخروط فرونشستی آنها، مقدار حداکثر به ۲۵ تا ۳۰ سانتی‌متر در سال هم رسیده است. لذا فرونشست در ایران از منظر یک مخاطره محیطی، دارای شاخص‌های بسیار نگران‌کننده‌ای است. با این حال، قضاوت درباره این پدیده فقط بر اساس نرخ سالانه آن کافی نیست. ساختار زمین‌شناسی نیز اهمیت زیادی دارد. در برخی



شکاف زمین ناشی از فرونشست

چپ: تصاویر دشت‌های آمریکا (مراجع درسی جهانی) راست: دشت نیشابور

یعنی فرونشست و تعیین شدت و تاریخچه آن در پهنه شهر پرداختیم و در فاز دوم که به تازگی شروع کرده‌ایم بر آسیب‌پذیری شهر متمرکز خواهیم شد تا از جمع مخاطره و آسیب‌پذیری به تحلیل درستی از خطرپذیری فرونشست در شهر مقدس مشهد دست یابیم. در انتهای این طرح، نقشه‌های ریسک فرونشست در پهنه‌های مختلف شهر مشهد تولید خواهد شد تا بر مبنای آن بتوان سیاست‌های توسعه شهری، جانمایی پروژه‌های عمرانی، حفاظت از ابنیه و زیرساخت‌های حیاتی و مدیریت ساخت‌وساز را بازطراحی و هدایت کرد. شناسایی مخاطرات و عوارض جانبی فرونشست برای هر منطقه، پهنه‌بندی شهری از منظر ریسک و ارائه چارچوبی برای مدیریت اثرات این پدیده، از اهداف کلیدی این طرح مطالعاتی به‌شمار می‌رود.

### شریان‌های حیاتی؛ آسیب‌پذیرتر از ساختمان‌های معمولی

ساختمان‌های معمول شهری در دشت مشهد، به‌ویژه آن‌هایی که جدید و مهندسی‌ساز هستند، در برابر نشست یکنواخت معمولاً تاب‌آوری بیشتری دارند. اما شریان‌های حیاتی مانند ریل‌ها، خطوط انتقال گاز، آب، برق و سوخت وضعیت متفاوتی دارند. یک خط انتقال ممکن است از محدوده‌ای عبور کند که خود آن نقطه نرخ فرونشست بالایی ندارد، اما اگر دو سر آن خط انتقال در مناطقی با نرخ‌های متفاوت باشند، اختلاف فرونشست یا همان گرادیان می‌تواند تنش جدی در خط ایجاد کند. همین اختلاف چند سانتی‌متری در طول چند کیلومتر، برای یک لوله سراسری می‌تواند مخاطره‌آمیز باشد. بنابراین، زیرساخت‌های خطی معمولاً نسبت به فرونشست آسیب‌پذیرتر از ساختمان‌های نقطه‌ای هستند. از جمله این زیرساخت‌ها، خطوط و تأسیسات گسترده انتقال گاز در منطقه چهار عملیات انتقال گاز کشور است که اتفاقاً در محدوده شاهنامه، از روی بزرگترین

**فرونشست پیامد برداشت غیراصولی از منابع آب زیرزمینی است. اگر بخواهیم ریشه‌ای مسئله را حل کنیم، باید به تعادل بخشی آبخوان برسیم تا فرونشست متوقف شود.**

و من برای سازه‌های تاریخی مشهد، بویژه در محدوده حرم مطهر نگران هستم. این نگرانی تشدید می‌شود، هنگامی که به زیر زمین نیز نگاهی می‌اندازیم و می‌بینیم که در منطقه ثامن، یک لایه ریزدانه در زیر زمین گسترش دارد. این لنزهای رسی، پتانسیل مخاطره را به شدت بالا می‌برند و این در حالی است که از دو زبانه غربی و شرقی فرونشست در شهر مشهد، زبانه شرقی آن چند سال است وارد محدوده شهری شده و به سمت منطقه ثامن در حال پیشروی است.

### از عدد فرونشست تا نقشه ریسک شهری

نگاه من این است که باید از تمرکز صرف بر نرخ فرونشست عبور کنیم و به سمت مدیریت ریسک برویم. به عبارتی، شرایط نامساعدی که ما در برداشت از آب زیرزمینی دشت مشهد به این دشت تحمیل کرده‌ایم، به‌گونه‌ای است که متأسفانه چشم‌انداز امیدوارکننده‌ای برای توقف فرونشست زمین وجود ندارد. در مدیریت مخاطرات محیطی، هنگامی که نمی‌توان مخاطره را متوقف کرد به مفهوم کاهش آسیب‌پذیری روی می‌آورند. در اینجا نیز من معتقدم ما همچنان که در زمینه کاهش روند فرونشست در دشت مشهد کار می‌کنیم، بیش از آن بر شناسایی ریسک یا خطرپذیری و کاهش آسیب‌پذیری متمرکز شویم. خوشبختانه، با استقبال شهرداری مشهد، مطالعات جامع ریسک فرونشست زمین در این کلان‌شهر و با مشارکت پژوهشکده محیط‌های خشک دانشگاه آزاد اسلامی مشهد آغاز شده است. در چارچوب این مطالعات، تلاش می‌کنیم ابعاد مختلف پدیده فرونشست شامل عوامل مؤثر، شدت، گستره مکانی و پیامدهای آن را به‌صورت علمی و نظام‌مند شناسایی و تحلیل کنیم. در فاز اول این پژوهش به خود مخاطره



فرونشست در دشت سن ژاکوین- منطقه مندوتا کالیفرنیا

مخروط فرونشستی دشت عبور می‌کند. خطوط انتقال فشار قوی برق، خطوط ریلی، خطوط اصلی انتقال آب و جمع‌آوری فاضلاب نیز به دلیل آنکه قطعاً با فرونشست غیر یکنواخت در طول خود مواجه‌اند، در معرض خطر هستند.

فرونشست؛ پیامد بحران آب فرونشست پیامد برداشت غیراصولی از منابع آب زیرزمینی است. اگر بخواهیم ریشه‌ای مسئله را حل کنیم، باید به تعادل بخشی آبخوان برسیم تا فرونشست متوقف شود. اما واقعیت این است که دشت مشهد طی حدود شصت سال، از زمان حفر نخستین چاه‌های عمیق در دهه ۱۳۴۰، وارد روندی تخریبی شده است که به‌سادگی متوقف نمی‌شود. امروز بیش از پنج میلیون نفر روی این دشت زندگی می‌کنند و بیش از ۸۰ درصد آب شرب و بهداشت آن‌ها از همین آبخوان تأمین می‌شود؛ آبخوانی که دهه‌هاست افت سطح آب زیرزمینی دارد. عدم وجود برنامه‌ای برای مدیریت جمعیت در شهر و دشت مشهد، نیز مزید بر علت است. باید هم‌زمان دو کار انجام دهیم: تلاش برای کاهش فشار بر آبخوان و آماده شدن برای همزیستی با پدیده فرونشست.

### محدودیت گزینه‌های تأمین آب

وقتی به گزینه‌های تأمین آب مشهد نگاه می‌کنم، چشم‌انداز چندان روشن نیست. سد دوستی که در دهه ۱۳۹۰ بیش از ۵۰ درصد آب شهر را تأمین می‌کرد، در سال‌های اخیر در پایین‌ترین وضعیت بهره‌برداری خود قرار دارد، سال گذشته حجم مخزن به صفر رسید و امسال که یک سال آبی نرمال است، نهایتاً ۱۰ تا ۲۰ درصد آب مشهد را تأمین خواهد کرد که البته همین مقدار نیز از مجموع ۴ سد دیگر داخل حوضه بیشتر است. سدهای دیگر تأمین‌کننده آب مشهد یعنی طرق، ارداک و کارده نیز به دلایل توسعه و مصرف آب در بالادست، کاهش بارش و افت کیفی آب مخزن، نقششان در تأمین آب مشهد بسیار کمتر از گذشته شده است. پروژه‌های انتقال آب

تصفیه شده در قالب یک آب دست دوم به بیلان آب این دشت ورشکسته. تا این راهکار به کار بسته نشود نمی‌توان فرونشست را درمان کرد. این هم نیازمند برنامه‌ریزی و مشارکت اجتماعی و مالی تمام مردم است.

## تجربه‌های جهانی؛ توقف ممکن است، بازگشت نه

تجارب جهانی در زمینه فرونشست رویکردهای متفاوتی داشته‌اند؛ یکی از قدیمی‌ترین تجربه‌ها در این حوزه در جنوب غرب آمریکا روی داده است که به لحاظ عرض جغرافیایی و اقلیمی شباهت بسیار زیادی به فلات مرکزی ایران و مناطقی مانند مشهد و خراسان رضوی دارد. تصویری از این منطقه در مراجع درسی هیدروژئولوژی وجود دارد که بسیار مشهور است، در این تصویر جوزف اف. پولند، دانشمند سازمان زمین‌شناسی آمریکا در سال ۱۹۷۷ در نزدیکی شهر مندوتا در ایالت کالیفرنیا در کنار یک لوله جدار چاه ایستاده است که روی آن، تراز سطح زمین در سال‌های ۱۹۲۵، ۱۹۵۵ و ۱۹۷۷ علامت‌گذاری شده است. اختلاف چشمگیر این نشانه‌ها، به روشنی نشان می‌دهد که سطح زمین در بازه‌ای ۵۲ ساله، حدود ۹ متر (۳۰ فوت) دچار فرونشست شده است، فرونشستی که تماماً ناشی از برداشت بی‌رویه آب‌های زیرزمینی بوده است.

در دشت مذکور میانگین سالانه فرونشست چیزی در حدود ۱۷ تا ۱۸ سانتی‌متر در سال بوده است که خیلی بیشتر از اعدادی نیست که ما

مانند نمک‌زدایی از دریای عمان به نوار شرقی کشور نیز در شرایط اقتصادی فعلی، افق اجرایی روشنی ندارند. تنها یک سد شوریجه می‌ماند که امسال آبگیری شد و در سال‌های پُرآب که بارش مازاد در حوضه مشهد داریم، می‌تواند در بهترین شرایط ۵ تا ۱۰ درصد آب مشهد را تأمین کند. به سوی دیگر که نگاه می‌کنیم، شهر مشهدی که در طرح‌های تأمین آب، یعنی همین سدهایی که نام بردم، افق جمعیتی ۳ میلیون نفر برای آن پیش‌بینی و طرح‌ریزی شده بود، همین الان که به افق طرح نرسیدیم، بالغ بر ۴ میلیون نفر در شهر و بالغ بر ۵ میلیون نفر در حوضه آبریز، جمعیت دارد که همه آنها ۸۰ درصد وابستگی تأمین آب‌شان به آب زیرزمینی همین دشت زیر پایشان است.

واقع‌بینانه اگر نگاه کنیم، برای تأمین حدود ۳۰۰ میلیون متر مکعب آب، پایدارترین و تنها گزینه قطعی و مناسب، بازچرخانی پساب است. تا زمانی که زیست انسانی در مشهد ادامه داشته باشد جریان پایدار فاضلاب هم ادامه خواهد داشت؛ هر آبی که وارد شهر می‌شود، حدود ۸۰ درصد آن به فاضلاب تبدیل می‌شود. این رقم هنوز وارد سیکل منابع تأمین‌کننده آب مشهد نشده است؛ اگر این حجم ۸۰ درصدی تصفیه و به چرخه مصرف بازگردانده شود- مثلاً در کشاورزی- می‌توان معادل آن از شدت و میزان برداشت آب باکیفیت برای کشاورزی برای نمونه در چاه‌های آب غرب مشهد کاست؛ بدون اجرای کامل این چرخه، تعادل بخشی آبخوان عملاً دست‌نیافتنی است. آب شرب بسیار با کیفیت منطقه غرب مشهد در حال حاضر صرف کشاورزی می‌شود، آن‌هم عمدتاً باغات و میوه‌های سردرختی که هیچ کدام محصول خوراکی استراتژیک نیستند؛ اگر این آب وارد مدار شرب شود و مابه‌ازای آن پساب تصفیه شده و با کیفیت به امر کشاورزی اختصاص یابد؛ می‌توانیم به رویای تعادل بخشی آبخوان نزدیک شویم و راه آن بازچرخانی و تصفیه و بازاستفاده از پساب است یعنی وارد کردن پساب



اثرات فرونشست بر نشست غیر یکنواخت ساختمان‌ها در مکرکوسیتی

**فرونشست به تنهایی اثرات و پیامدهای خطرناکی در دشت مشهد نخواهد داشت؛ مهم‌تر و خطرناک‌تر فقدان و کمبود آب است که تهدیدی جدی است و باید بابت آن بسیار نگران بود که می‌تواند به تخلیه جمعیتی و از بین رفتن زیست‌پذیری منتج شود.**

در منطقه مرکزی دشت مشهد، یعنی حدفاصل منزل آباد تا شهر گلبهار داریم. دیدن این تصویر روشن می‌سازد که حتی در وضعیت فرونشست یکنواخت و عدم خسارات سازه‌ای زیاد، کاری که ما با این دشت داریم می‌کنیم چیست. این تصویر مانند عکس‌هایی است که امروزه در اینترنت می‌بینیم، مقایسه تصویر صورت یک آدم در ۲۰ سالگی و ۸۰ سالگی در دو فریم، با این تفاوت که پیر شدن و چروکیدگی صورت انسان در اثر افزایش عمر، طبیعی است اما فرو افتادن ۱۰ تا ۲۰ متر یک دشت، که میلیون‌ها سال طول کشیده تا ایجاد شود و هزاران سال مادران و پدران ما بر روی آن زیسته‌اند و آن را سالم و جوان به ما تحویل داده‌اند، اصلاً و ابداً تصویری عادی نیست، اوج تاراج میراثی است که باید به فرزندانمان تحویل می‌دادیم. هنگامی که فرزندان ما مشابه این تصویر از دشت مشهد را ببینند، چه خواهند گفت؟ اینکه دیگر حاصل بیداد دارا و حملاً اسکندر نیست. این یک خودزنی جمعی است، آنجا آمریکایی‌ها با دشت‌های خود و اینجا ما ایرانیان با دشت‌های خود، این تاراج را آگاهانه و آرام انجام داده‌ایم و ظرفیت زیستی بهترین دشت‌های این سرزمین تاریخی و گرانبها را محدود ساخته‌ایم.

ایالات متحده در این مورد و موارد متعدد مشابه، سلسله اقداماتی را با رویکرد تعادل‌بخشی آبخوان‌ها و جلوگیری از فرونشست اجرا کرد. در این محدوده امکان تعطیل کردن کشاورزی‌های گسترده وجود نداشت و هم اکنون نیز کشاورزی گسترده در آنجا ادامه دارد، اما با مشارکت کشاورزان در مدیریت آب و برداشت از آبخوان تا سقف ۷۰ درصد تغذیه طبیعی آن، فرونشست

مهار شد اما زمین به تراز گذشته بازنگشت. تجربه خاص و مستندشده دیگر که می‌تواند به ما برای غلبه بر این بحران کمک کند مربوط به شهر مکزیکوسیتی است؛ این شهر بر روی یک آبخوان چند لایه قرار دارد و یکی از آن‌ها آبخوان تحت فشار یا آرتزین است، از آن دست آبخوان‌هایی که وقتی بهره‌برداری از آنها آغاز می‌شود، آب تا سطح زمین فوران می‌کند؛ این نوع آبخوان‌ها در اثر اضافه‌برداشت، فرونشست بسیار بیشتری دارند. به دلیل برنامه‌های توسعه شهر مکزیکوسیتی بهره‌برداری از این آبخوان آغاز شد و سپس به شدت سطح آبخوان افت کرد. تصاویر ساختمان‌ها و ناترازی آن‌ها با یکدیگر در این شهر در اثر فرونشست بسیار جالب توجه است؛ در این شهر نیز با اقداماتی با رویکرد تعادل‌بخشی و مدیریت آبخوان جلوی گسترش بحران گرفته شد اما اثرات مخرب فرونشست باقی ماند.

تجربه دیگر مربوط به شهر پکن است. در پکن بلافاصله پس از شروع پدیده، مسئولین و مقامات به تغذیه آبخوان‌ها روی آوردند یعنی سعی کردند با جبران اضافه‌برداشت و تغذیه مصنوعی آبخوان تعادل را به آن بازگردانند و نرخ فرونشست را صفر کنند و حتی رویکردی جبرانی با هدف بازگشت فرونشست انجام شد و در این مسیر هزینه بسیار گزافی انجام دادند که جلوی تداوم فرونشست را گرفت اما در فاز بازگشت به نقطه پیش از فرونشست، موفقیتی حاصل نشد. تراکمی که در آبخوان در اثر پدیده فرونشست به وجود می‌آید، یک تراکم غیرقابل برگشت است. نکته مشترک در همه این تجربه‌ها این است که می‌توان نرخ فرونشست را کاهش داد یا متوقف کرد، اما تراکم ایجادشده در آبخوان عملاً برگشت‌ناپذیر است. فضای خالی بین دانه‌های خاک که طی هزاران هزار سال شکل گرفته، با افت شدید سطح آب بسته می‌شود. از این منظر، فرونشست شبیه پوکی استخوان است؛ می‌توان جلوی پیشرفت آن را گرفت، اما استخوان

فرونشست به تنهایی اثرات و پیامدهای خطرناکی در دشت مشهد نخواهد داشت؛ مهم‌تر و خطرناک‌تر از فرونشست بحث فقدان و کمبود آب است که تهدیدی جدی است و باید بابت آن بسیار نگران بود که می‌تواند به تخلیه جمعیتی و از بین رفتن زیست‌پذیری منتج شود.

من آینده دشت مشهد را الزاماً تیره نمی‌بینم. اگر رویکرد توسعه اصلاح شود و شهر به سمت یک قطب خدماتی، مذهبی و گردشگری- به‌ویژه گردشگری زیارت و سلامت- حرکت کند، وابستگی اقتصادی به کشاورزی کاهش می‌یابد. چرخه امروز اقتصاد استان و مشهد متمرکز بر کشاورزی و صنایع تبدیلی مربوطه است که بحران آب را تشدید می‌کند. رویکردهای جدید ناشی از تحولات پساجنگ که بالاخره پس از بیش از یک دهه از پیشنهاد طرح توسعه شرق کشور، پایتخت‌نشینان را به اهمیت ژئوپلیتیک شرق کشور آگاه ساخت، روزه‌های امیدی برای سرمایه‌گذاری بیشتر در شرق کشور (مانند توسعه کریدور چابهار- سرخس و تأسیس شهرک فرودگاهی در مشهد) گشوده است. با تغییر رویکرد اقتصادی و درآمدی شهر و استان، نگاه به آب در اقتصاد تغییر می‌کند و خود به‌خود آب آن‌قدر اهمیت می‌یابد که زمینه فروش آب گران در شهر فراهم شود، این نگاه از همان جنسی است که طرح نمک‌زدایی و انتقال آب دریای عمان به شرق کشور و مشهد را توجیه‌پذیر و اجرایی می‌کند. در آن صورت، ظرفیت فروش آب گران برای مصارف شرب و بهداشت و صنعت وجود دارد و تبعاً سرمایه‌گذاری نیز در این زمینه توجیه‌پذیر خواهد شد.

مدل دیگر می‌تواند خرید یا اجاره آب از کشاورزان باشد؛ کشاورزان در غرب مشهد، آب با کیفیت شرب را صرف کشاورزی و عمدتاً تولید میوه‌های سردرختی می‌کنند که ارزش امنیت غذایی ندارد. کشاورز وقتی ببیند آب گران‌بهای او خریدار دارد، ریسک‌های کشاورزی را به جان نمی‌خرد و آب را برای شرب و بهداشت و صنعت واگذار می‌کند.

**اگر مدیران و مسئولان به جای حرکت در انتهای قافله، در پیشاپیش آن قرار بگیرند و توسعه را با ظرفیت زیستی دشت هماهنگ کنند، می‌توانیم آینده‌ای پایدار و امن برای مشهد رقم بزنیم.**

از دست‌رفته را به حالت اول بازگرداندن تقریباً ناممکن است. تجارب جهانی در حوزه احیای آبخوان‌ها و بازگشت سطح زمین به شرایط پیش از فرونشست نیز یک تجربه شکست‌خورده است.

### هزینه تعادل بخشی و اصلاح برداشت

بنابر اطلاعات موجود، شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی برای طرح بازچرخانی پساب، رقمی در حدود ۲۰ هزار میلیارد تومان (۲۰ همت) برآورد کرده که به دو سال قبل بازمی‌گردد. بخش غرب به شرق پروژه انتقال آب، که هدف آن رساندن آب باکیفیت از چاه‌های غرب مشهد به داخل شهر است، تا حد زیادی پیشرفت کرده؛ اما خط انتقال پساب تصفیه‌شده به اراضی کشاورزی تکمیل نشده است. با وجود اهمیت بازچرخانی، تحقق تعادل بخشی منابع آب به اجرای همزمان مجموعه‌ای از اقدامات وابسته است. کنترل و توقف حفر و بهره‌برداری از چاه‌های غیرمجاز، کاهش برداشت از آبخوان‌ها، و پیشبرد پروژه‌های مدیریت مصرف. این‌ها همه مطابق تکالیف برنامه هفتم توسعه است که رئیس‌جمهور محترم مکرر بر اجرای آن تأکید داشته و دارند. تحقق این تکالیف نیز مستلزم برنامه‌ریزی دقیق، ابزارهای نظارتی و منابع مالی پشتیبان است. در نهایت، مقایسه هزینه‌های اجرای پروژه‌های تعادل بخشی با هزینه‌های بلندمدت بحران آب - از جمله تعمیق فرونشست، آسیب به زیرساخت‌ها، افت کیفیت منابع و پیامدهای اقتصادی و اجتماعی- نشان می‌دهد تأخیر در اقدام، بار مالی و زیان‌های جبران‌ناپذیر بیشتری به شهر و استان تحمیل می‌کند.

**آینده مشهد؛ تهدید یا فرصت تحول؟**

را خالی از سکنه کند یا به مهاجرت گسترده بینجامد. آنچه تعیین‌کننده‌تر است، کمیت و کیفیت آب است. اگر مدیریت منابع آب اصلاح شود و چرخه بازچرخانی و تعادل‌بخشی جدی گرفته شود، می‌توان نرخ فرونشست را کنترل کرد و با آن همزیستی داشت. مسئله پیچیده است، اما راه‌حل آن از جنس دانش ناشناخته نیست؛ از جنس تصمیم‌های دشوار اقتصادی و اجتماعی است. اگر مدیران و مسئولان به جای حرکت در انتهای قافله، در پیشاپیش آن قرار بگیرند و توسعه را با ظرفیت زیستی دشت هماهنگ کنند، می‌توانیم آینده‌ای پایدار و امن برای مشهد رقم بزنیم. اگر هم مانند گذشته بخواهیم در پس رویدادها گام برداریم و همواره به مدیریت بحران اشتغال داشته باشیم، دو تنگنای فشار اقتصادی-جمعیتی و کم‌آبی، جامعه را به اتخاذ راهکارهای فرگشتی، یعنی راهکارهای برنامه‌ریزی‌نشده، غیر قابل کنترل و توأم با آزمون و خطاهای هزینه‌دار، وادار خواهد ساخت که چه‌بسا کم‌ابیش دارای مؤلفه‌هایی از پیش‌بینی‌های بالا باشد، اما هزینه‌های اجتماعی، اقتصادی، محیط‌زیستی و امنیتی را بالا می‌برد و مدیران و مسئولان نیز همچنان در پس قافله گام بر خواهند داشت.

این اگر با توسعه اقتصادی شرق کشور و ایجاد معیشت‌های جایگزین، همراه باشد که درصد مشارکت آن به مراتب بالاتر می‌رود. می‌توان آب باکیفیت غرب دشت را اجاره و برای شرب استفاده کرد و پساب تصفیه‌شده با کیفیت خوب را در شرق دشت که دارای خاک بسیار مستعد و حاصل‌خیز است، برای تولیدات کشاورزی زراعی و استراتژیک مانند گندم و ذرت به کار برد. در چنین مدلی، چرخه‌ای پایدار شکل می‌گیرد: آب باکیفیت وارد شهر می‌شود، مصرف می‌شود، تصفیه می‌شود و به کشاورزی بازمی‌گردد. کشاورزی نیز به‌جای محصولات غیرضروری، به سمت کشت‌های راهبردی می‌رود که امنیت غذایی را تأمین کند. اقتصاد شهری متحول می‌شود و آب، ارزش واقعی خود را پیدا می‌کند. اگر این تحول با مدیریت و سیاست‌گذاری هوشمندانه همراه شود، بهتر و کم‌هزینه‌تر خواهد بود و دیگر نیازی به هزینه هنگفت انتقال پساب به غرب نیز وجود نخواهد داشت. اما من معتقدم، حتی اگر سیاست‌گذار پیش‌قدم نشود، دو اهرم فشار اقتصادی-اجتماعی و کم‌آبی در نهایت مسیر توسعه را تغییر خواهد داد. از این رو، من نسبت به آینده ناامید نیستم.

## جمع‌بندی؛ همزیستی واقع‌گرایانه با یک پدیده

فرونشست به‌تنهایی قرار نیست دشت مشهد

## از آبخوان تا مزرعه؛ پیوند مدیریت کلان بحران با واقعیت‌های کشاورزی

در گفت‌وگوی پیشین با دکتر علوی‌مقدم، شاکله بحران فرونشست با صراحتی کم‌سابقه بر یک محور اصلی تثبیت شد: کسری مزمن آبخوان‌ها در نتیجه برداشت‌های فراتر از ظرفیت طبیعی. در این روایت، فرونشست نه یک رخداد مقطعی، بلکه پیامد انباشته یک الگوی حکمرانی آب معرفی شد که در آن حتی راهکارهایی مانند بازچرخانی پساب و گذار به مدیریت ریسک، صرفاً امکان مهار روند را فراهم می‌کنند، نه بازگشت به وضعیت اولیه زمین. به بیان روشن‌تر، سطح تحلیل از عدد فرونشست به مدیریت تاب‌آوری دشت منتقل شد و صورت‌بندی بحران در سطح ساختاری تثبیت گردید.

اما این تصویر کلان، در نقطه‌ای باید به زمین واقعیت‌های تولید و مصرف آب در کشاورزی متصل شود؛ جایی که تصمیم‌های روزمره، الگوی کشت، شیوه آبیاری و منطق اقتصادی بهره‌برداران، عملاً تعیین‌کننده سرعت تخلیه آبخوان هستند. در همین نقطه، گفت‌وگو با محمد قیصری، مدیر آب و خاک و امور فنی سازمان جهاد کشاورزی خراسان رضوی، وارد میدان می‌شود؛ جایی که مسئله از سطح تعادل‌بخشی آبخوان به سطح مدیریت رفتار مصرف‌کننده آب در بخش کشاورزی تغییر فاز می‌دهد. در این روایت، تمرکز بر برداشت‌های بی‌رویه، ضعف در الگوی آبیاری، تغییرات اقلیمی، و چالش‌های تغییر الگوی کشت قرار دارد؛ مجموعه‌ای از عوامل که نشان می‌دهد بحران فرونشست، نه فقط یک مسئله هیدروژئولوژیک، بلکه برآیند مستقیم مدیریت بخشی و ناهماهنگی نهادی در مثلث آب، کشاورزی و محیط‌زیست است.

## فروپاشی خاموش زمین در سایه سوءمدیریت منابع آب

واکاوی بحران فرونشست در اراضی کشاورزی خراسان رضوی



محمد قیصری

مدیر آب و خاک و امور فنی  
سازمان جهادکشاورزی استان



مصاحبه

### واکاوی عوامل کلیدی فرونشست زمین در اراضی کشاورزی خراسان رضوی

بررسی‌ها نشان می‌دهد اصلی‌ترین عامل فرونشست زمین در مناطق کشاورزی استان خراسان رضوی، برداشت بیش از حد و غیرمجاز از منابع آب زیرزمینی است. این اقدام تأثیر مستقیمی بر افت تراز آب داشته و در نهایت منجر به نشست سطح زمین می‌شود. کارشناسان برای مهار این وضعیت، بهره‌گیری از سیستم‌های نوین آبیاری و اتخاذ روش‌های مؤثر در مدیریت منابع آبی تأکید دارند. کاهش نزولات جوی از دیگر عوامل بحران‌زا در این منطقه به شمار می‌رود. با افت میزان بارندگی، رطوبت و آب موجود در لایه‌های زمین کاهش یافته که این امر موجب خشک شدن خاک و وقوع فرونشست می‌گردد. در این راستا، جایگزینی و استفاده از روش‌های کشاورزی مقاومتی به عنوان راهکاری برای انطباق با این شرایط پیشنهاد شده است. به‌کارگیری شیوه‌های نادرست در فعالیتهای زراعی که منجر به فرسایش و افت کیفیت خاک می‌شود، سهم به‌سزایی در تسهیل فرایند فرونشست زمین دارد. برای مقابله با این چالش، اصلاح روش‌های زراعی و بازنگری در نحوه برخورد با خاک ضروری به نظر می‌رسد.

توسعه فعالیت‌های عمرانی و ساخت‌وسازهای صنعتی و شهری در مناطق حساس، تعادل و تنظیمات طبیعی آب و خاک را برهم زده و زمینه‌ساز فرونشست شده است. راهکار برون‌رفت از این چالش، پایبندی به برنامه‌ریزی شهری پایدار و انجام دقیق ارزیابی‌های تأثیرات زیست‌محیطی پیش از اجرای پروژه‌ها است. تغییرات وسیع اقلیمی با اثرگذاری بر الگوهای بارندگی و نوسانات دمایی، فشار مضاعفی بر منابع آب زیرزمینی وارد کرده و پیامدهای منفی آن به صورت فرونشست ظاهر می‌شود. پیگیری مستمر شرایط جوی، پیش‌بینی دقیق وضعیت و حفظ آمادگی کامل برای مواجهه با تغییرات اقلیمی، از جمله اقدامات کلیدی در این حوزه محسوب می‌شود. استفاده غیر

بحران فرونشست زمین در خراسان رضوی از یک هشدار زیست‌محیطی فراتر رفته و به پیامد ویرانگر سوءمدیریت منابع آب و الگوهای ناپایدار کشاورزی تبدیل شده است. محمد قیصری، مدیر آب و خاک و امور فنی سازمان جهادکشاورزی استان خراسان رضوی، در این بررسی تفصیلی به کالبدشکافی دلایل افت تراز آبخوان‌ها، چالش‌های پیچیده تغییر الگوی کشت و وضعیت فوق‌بحرانی دشت‌های استان می‌پردازد. وی تأکید می‌کند که مهار این فروپاشی اکولوژیک، تنها با عبور از مدیریت بخشی و شکل‌گیری مثلث همکاری استراتژیک دستگاه‌های متولی در قالب مدیریت یکپارچه حوضه آبخیز امکان‌پذیر است.

می‌زند.

تخریب و آلودگی منابع آب نیز از دیگر پیامدهای مدیریت نادرست است. استفاده از سموم و کودهای شیمیایی می‌تواند موجب آلودگی و کاهش کیفیت آب زیرزمینی شود و این کاهش کیفیت، به‌طور غیرمستقیم در فرآیند فرونشست زمین اثرگذار باشد. همزمان، عدم توجه کافی به حفظ خاک در چرخه مدیریت آب، به فرسایش و تخریب لایه‌های خاک منجر می‌شود؛ فرسایشی که توان خاک در نگهداری و تنظیم آب را کاهش داده و بستر فرونشست را تقویت می‌کند. از سوی دیگر، بی‌توجهی به تغییرات اقلیمی ناگهانی و ناپایداری‌های ناشی از تغییرات آب‌وهوایی، ناکارآمدی مدیریت منابع آب را تشدید می‌کند. زمانی که عوامل اقلیمی در برنامه‌ریزی و مدیریت لحاظ نمی‌شوند، تصمیم‌ها و اقدامات اتخاذ شده نمی‌توانند پاسخگوی نوسانات شرایط جوی باشند و این ناکارآمدی، در نهایت به افزایش فرونشست کمک می‌کند. در کنار همه این موارد، نبود آموزش و آگاهی کافی در میان بهره‌برداران آب و کشاورزان نسبت به روش‌های درست استفاده از آب و مدیریت پایدار منابع آبی، موجب تداوم برداشت غیرمنطقی و رفتارهای نادرست در مصرف آب می‌شود؛ روندی که به صورت تجمعی، نقش قابل توجهی در تشدید فرونشست زمین ایفا می‌کند.

### چه الگویی میان کاهش سطح آب‌های زیرزمینی و افزایش نرخ فرونشست در دشت‌های کشاورزی استان مشاهده می‌شود؟

کاهش آب زیرزمینی و افزایش نرخ فرونشست در دشت‌های کشاورزی خراسان رضوی یک الگوی پیچیده و همبسته را شکل می‌دهد که در آن چندین عامل نقش دارند. وقتی که حجم آب زیرزمینی کاهش می‌یابد، فشار آب در خاک پایین می‌آید. این مسئله موجب می‌شود که زمینه برای فرونشست فراهم شود، زیرا ساختار خاک دیگر قادر به تحمل وزن خود نخواهد بود.

**کمبود بارندگی، زمینه برداشت غیرمجاز و بیش از حد از منابع آب زیرزمینی را فراهم می‌کند؛ روندی که به‌طور مستقیم می‌تواند فرونشست زمین را تسریع نماید و پایداری خاک را با چالش مواجه کند.**

اصولی و بیش از حد از کودها و سموم شیمیایی، تخریب ساختار خاک و کاهش کارایی آن را به دنبال دارد که خود از عوامل زمینه‌ساز فرونشست است. توجه ویژه به کشاورزی ارگانیک و ترویج روش‌های پایدار، راهکاری مؤثر برای صیانت از ساختار خاک و جلوگیری از نشست زمین خواهد بود.

### نقش کاستی‌های مدیریت منابع آب کشاورزی در تشدید فرونشست زمین

کاستی‌های موجود در مدیریت منابع آب در بخش کشاورزی می‌تواند تأثیرات قابل توجهی بر تشدید فرونشست زمین داشته باشد. یکی از مهم‌ترین جلوه‌های این ضعف مدیریتی، برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی است. عدم نظارت و کنترل بر مصارف آب، به‌ویژه در زمان کمبود بارندگی، زمینه برداشت غیرمجاز و بیش از حد از منابع آب زیرزمینی را فراهم می‌کند؛ روندی که به‌طور مستقیم می‌تواند فرونشست زمین را تسریع نماید و پایداری خاک را با چالش مواجه کند. در کنار این موضوع، عدم استفاده از شیوه‌های نوین آبیاری نیز نقش قابل توجهی در تشدید بحران دارد. اتکا به روش‌های سنتی مانند آبیاری غرقابی نه تنها باعث هدررفت بخش قابل توجهی از منابع آب می‌شود، بلکه به توزیع نابرابر و غیر یکنواخت آب در خاک منجر می‌گردد؛ وضعیتی که می‌تواند ناپایداری در ساختار خاک ایجاد کرده و شرایط را برای فرونشست مهیاتر کند. این ضعف‌ها زمانی خطرناک‌تر می‌شود که با برنامه‌ریزی ناکارآمد در توزیع آب همراه باشد. نبود یک سیستم کارآمد که نیازهای واقعی کشاورزان و شرایط اقلیمی منطقه را مدنظر قرار دهد، بی‌نظمی در استفاده از آب را تشدید کرده و این بی‌نظمی، خود به فرونشست زمین دامن

**ارتباط بین تنوع اقلیمی و شدت فرونشست زمین در استان یک رابطه پیچیده و چندجانبه است که از طریق زنجیره‌ای از عوامل محیطی و انسانی برقرار می‌شود. در واقع اقلیم به تنهایی عامل فرونشست نیست، بلکه به عنوان محرک یا عامل تشدیدکننده عمل می‌کند.**

انسانی برقرار می‌شود. در واقع اقلیم به تنهایی عامل فرونشست نیست، بلکه به عنوان محرک یا عامل تشدیدکننده عمل می‌کند و برای درک بهتر می‌توان این ارتباط را از سه زاویه بررسی کرد. خراسان رضوی دارای تنوع اقلیمی از خشک و نیمه خشک تا مناطق کوهستانی است. در مناطق خشک و نیمه خشک، نرخ تبخیر بسیار بالا و نرخ بارش کم است و این عدم تعادل میان بارش و تبخیر در اقلیم‌های خشک باعث می‌شود مقدار آبی که به سفره‌های زیرزمینی برمی‌گردد بسیار کمتر از آبی باشد که از طریق کشاورزی یا تبخیر از سیستم خارج می‌شود و این کسری تراز آب باعث فرونشست زمین می‌شود.

اقلیم همچنین الگوی مصرف آب را شکل می‌دهد و تعیین می‌کند انسان در هر منطقه چگونه از آب استفاده کند. در مناطق با اقلیم خشک، نیاز به آبیاری کشاورزی به دلیل کمبود بارندگی بالاست و این امر باعث تخلیه بیشتر آب‌های زیرزمینی می‌شود. برداشت از آب‌های زیرزمینی سریع‌تر از سرعت بازسازی طبیعی سفره‌هاست و این افت سطح ایستابی باعث می‌شود لایه‌های رسوبی با از دست دادن آب، فشرده شده و فرونشست رخ دهد. تنوع اقلیمی در خراسان رضوی همچنین باعث تغییر در ویژگی‌های خاک شده است. در مناطق خشک، تجمع نمک و مواد معدنی در لایه‌های زیرین زمین به دلیل تبخیر بالا می‌تواند ساختار خاک را تغییر دهد. وقتی آب زیرزمینی در این لایه‌ها کاهش می‌یابد، این لایه‌ها قابلیت تحمل فشار را نداشته و فرونشست اتفاق می‌افتد. به این ترتیب، تنوع اقلیمی از طریق تأثیر بر الگوی بارش، الگوی مصرف آب و ویژگی‌های خاک، بر شدت فرونشست در مناطق مختلف استان اثر می‌گذارد.

**چالش‌ها و گلوگاه‌های مدیریت منابع آب کشاورزی در دشت‌های بحرانی خراسان رضوی**  
اصلی‌ترین چالش‌ها و گلوگاه‌های مدیریت منابع آب کشاورزی در دشت‌های بحرانی استان، ترکیبی

همزمان، با افزایش تقاضا برای محصولات کشاورزی، به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک، کشاورزان به برداشت بیشتری از منابع آب زیرزمینی روی می‌آورند که این افزایش برداشت باعث تسریع روند کاهش سطح آب زیرزمینی و در نتیجه فرونشست زمین می‌شود. کاهش آب زیرزمینی ممکن است به تشدید فرسایش خاک و کاهش کیفیت آن منجر شود که این امر خود می‌تواند به فرونشست بیشتر و ناپایداری زمین‌های کشاورزی کمک کند. در کنار این موضوع، مدیریت نادرست منابع آب و عدم وجود یک برنامه‌ریزی مناسب و به کارگیری تکنیک‌های مدرن آبیاری می‌تواند منابع آب را بی‌رویه مصرف کند و در نتیجه سطح آب زیرزمینی کاهش یابد و فرونشست سرعت بیشتری پیدا کند. همچنین فرایندهایی همچون فشرده شدن خاک در اثر کاهش آب زیرزمینی می‌تواند به کاهش حجم خاک منجر شود که این امر خود یکی از دلایل اصلی فرونشست به شمار می‌آید. اثرات ناشی از تغییر اقلیم نیز در این الگو نقش دارد. تغییرات آب‌وهوایی مانند خشکسالی‌های مداوم می‌تواند به کاهش بارندگی و در نتیجه کاهش میزان آب زیرزمینی منجر شود که خود به تشدید فرونشست دامن می‌زند. در مجموع، کاهش آب زیرزمینی و فرونشست با یکدیگر رابطه مستقیم دارند و به طور کلی، مدیریت اصولی منابع آب و اجرای شیوه‌های کشاورزی پایدار می‌تواند منجر به کاهش این مشکلات شود.

**پیوند تنوع اقلیمی خراسان رضوی با شدت فرونشست زمین**

ارتباط بین تنوع اقلیمی و شدت فرونشست زمین در استان یک رابطه پیچیده و چندجانبه است که از طریق زنجیره‌ای از عوامل محیطی و

کشت نیز یک مانع جدی است؛ کشاورز ریسک بالای تغییر محصول و روش را نمی‌پذیرد و همین مقاومت، گذار به الگوهای کم‌آبر و پایدار را کند می‌کند.

در سطح محیط‌زیستی و اقلیمی، تغییر اقلیم و خشکسالی‌های پی‌درپی فشار مضاعفی بر منابع آب وارد کرده و افت شدید سطح ایستابی به یکی از نشانه‌های بارز بحران تبدیل شده است. مجموع این عوامل را می‌توان در یک جمله خلاصه کرد: شکاف عمیق میان الگوی مصرف کشاورزی و ظرفیت بازسازی طبیعت. عبور از این گلوگاه صرفاً با تکنولوژی جدید ممکن نیست، بلکه نیازمند بازتعریف اقتصاد کشاورزی و اجبار به تغییر الگوی کشت در دشت‌های بحرانی استان است.

### اقدامات جهاد کشاورزی خراسان رضوی برای کنترل برداشت بی‌رویه آب زیرزمینی در بخش کشاورزی

اقدامات در نظر گرفته‌شده برای کنترل برداشت بی‌رویه آب زیرزمینی در بخش کشاورزی استان، در چند محور نظارتی، مدیریتی، فنی و فرهنگی دنبال می‌شود. در بخش اقدامات نظارتی و قانونی - هرچند این حوزه به‌طور مستقیم در حیطه وظایف سازمان آب منطقه‌ای است اما به دلیل اهمیت، به‌عنوان بخش مؤثر در مدیریت کشاورزی استان دیده می‌شود - مبارزه با چاه‌های غیرمجاز، نصب و کنترل سیستم‌های اندازه‌گیری بر روی چاه‌ها و منابع برداشت و تخصیص دقیق سهمیه‌ها برای بهره‌برداران کشاورزی مدنظر قرار گرفته است تا حجم برداشت به‌صورت شفاف ثبت و کنترل شود.

در حوزه مدیریت تقاضا و تغییر الگوی مصرف، محورهایی مانند تغییر اجباری الگوی کشت به سمت محصولات کم‌آبر، مدیریت در سطح مزرعه از طریق استفاده از سیستم‌های کشاورزی دقیق برای مصرف هدفمند آب و کاهش تلفات، و همچنین ارزش‌گذاری اقتصادی آب دنبال می‌شود تا آب از یک منبع تلقی‌شده رایگان به منبعی با

**تصلب در سیاست‌های سنتی و وجود ساختارهای اداری  
کند نیز تغییر رویکرد از کشاورزی سنتی به الگوهای  
مدرن را دشوار کرده و نبود یکپارچگی در مدیریت، با عدم  
هماهنگی بین سازمان آب، جهاد کشاورزی و محیط  
زیست، موجب شده تصمیمات یک بخش بحران‌رادر  
بخش دیگر تشدید کند.**

از مشکلات مدیریتی، فنی، اقتصادی، اجتماعی و محیط‌زیستی است که در کنار هم شکاف بزرگی میان الگوی مصرف آب و ظرفیت بازسازی طبیعی آن ایجاد کرده‌اند. در سطح مدیریتی و ساختاری، تمرکز سیاست‌ها بیشتر بر مدیریت عرضه آب بوده تا مدیریت تقاضا؛ به جای اینکه پرسیده شود چقدر آب داریم و چگونه باید همین مقدار را مدیریت کنیم، تلاش‌ها معطوف به این بوده که چگونه آب بیشتری فراهم شود. تصلب در سیاست‌های سنتی و وجود ساختارهای اداری کند نیز تغییر رویکرد از کشاورزی سنتی به الگوهای مدرن را دشوار کرده و نبود یکپارچگی در مدیریت، با عدم هماهنگی بین سازمان آب، جهاد کشاورزی و محیط زیست، موجب شده تصمیمات یک بخش بحران را در بخش دیگر تشدید کند.

در حوزه فنی و کشاورزی، کشت محصولات پراآبر یکی از گلوگاه‌های اصلی است؛ جایی که سود اقتصادی کوتاه‌مدت بر منطق پایداری منابع آب غلبه می‌کند. تکنولوژی ناکافی و مصرف غیربهبینه آب، از جمله تداوم آبیاری غرقابی، به هدررفت جدی منابع و فشار مضاعف بر سفره‌های زیرزمینی منجر شده است. نبود سیستم‌های هوشمند برای پایش لحظه‌ای سطح سفره‌های آب زیرزمینی و رطوبت خاک نیز باعث می‌شود تصمیم‌گیری‌ها بر پایه داده دقیق نباشد و مدیریت عملی منابع آب با عدم قطعیت و خطا همراه شود.

در گلوگاه‌های اقتصادی و اجتماعی، سودآوری بالا در کوتاه‌مدت در مقابل پایداری بلندمدت قرار گرفته است. کشاورز به دلیل نیاز به درآمد، تمایل دارد بیش از حد مجاز از آب استفاده کند و در عمل ارزش اقتصادی آب در نگاه او با ارزش اکولوژیک آب تفاوت فاحشی دارد. مقاومت در برابر تغییر الگوی

باشد. از سوی دیگر، سرمایه‌گذاری‌های انجام‌شده مانند احداث باغ و نصب سیستم‌های آبیاری، با تغییر الگوی کشت عملاً به معنای از بین رفتن بخشی از سرمایه است و این سرمایه‌گذاری‌های دست‌رفته یک مانع جدی برای تصمیم به تغییر است. تفاوت بازدهی اقتصادی نیز نقش تعیین‌کننده‌ای دارد؛ اگر ارزش اقتصادی هر واحد آب در محصولات کم‌آبر کمتر از محصولات پرآبر باشد، کشاورز دلیلی برای تغییر نمی‌بیند و به کشت محصولات پرآبر ادامه می‌دهد.

در کنار این موانع، محدودیت‌های فنی و زیست‌محیطی نیز فرایند تغییر را دشوار می‌کند. هر محصول به شرایط خاصی از دما، رطوبت و نوع خاک نیاز دارد و ممکن است یک محصول کم‌آبر، در تئوری مناسب باشد اما با اقلیم خاص منطقه سازگار نباشد و تولید آن با ریسک بالا همراه شود. فقدان دانش فنی و نهاده‌های لازم نیز مشکل‌ساز است؛ تغییر الگوی کشت نیازمند دانش جدید، آموزش، و دسترسی به بذرهای و کودهای مخصوص است که ممکن است در برخی مناطق فراهم نباشد. علاوه بر این، زمان‌بر بودن تغییر، به‌ویژه در مورد احداث و باروری یک باغ که ممکن است چندین سال طول بکشد، خود به‌عنوان یک محدودیت مهم عمل می‌کند و کشاورز را از ورود به این فرآیند باز می‌دارد.

محدودیت‌های اجتماعی و فرهنگی نیز در مقاومت در برابر تغییر نقش دارند. نوع محصول کاشته‌شده در بسیاری از مناطق بخشی از هویت، سنت و سابقه خانوادگی است و تغییر آن، عملاً به معنای تغییر یک سنت ریشه‌دار است؛ تغییری که به اصلاح فرهنگی بلندمدت نیاز دارد و ممکن است سال‌ها طول بکشد. ترس از شکست و فشار اجتماعی از سوی هم‌سالان و جامعه محلی نیز باعث می‌شود کشاورز ریسک تغییر محصول یا روش را نپذیرد و به وضعیت موجود پایبند بماند. در نهایت، محدودیت‌های مدیریتی و سیاست‌گذاری هم بر این موانع اضافه می‌شود.

**نبود حمایت‌های مالی هدفمند، یکی از گره‌های اصلی است؛ یارانه‌ها و حمایت‌ها در حال حاضر بیشتر به سمت افزایش تولید حتی با مصرف آب بیشتر هدایت می‌شوند تا به سمت تشویق محصولات کم‌آبر و الگوهای پایدار.**

ارزش اقتصادی واقعی در نگاه بهره‌بردار تبدیل شود و نگاه سنتی به آب به عنوان یک کالای بی‌هزینه تغییر کند.

در بخش اقدامات مربوط به تغذیه مصنوعی سفره‌ها که به‌صورت مشترک بین وزارت جهاد کشاورزی و وزارت نیرو تعریف می‌شود، تغذیه مصنوعی سفره‌های زیرزمینی از طریق هدایت کنترل‌شده آب به آبخوان‌ها، مدیریت سیلاب‌ها برای استفاده بهتر از رواناب‌ها و کاهش هدررفت آنها، و بازچرخانی آب‌ها و تصفیه آب برای استفاده مجدد در بخش کشاورزی، از جمله برنامه‌های مطرح‌شده است تا فشار مستقیم بر منابع آب زیرزمینی کاهش یابد.

در محور اقدامات ساختاری و آموزشی با تمرکز بر تغییر فرهنگ مصرف، آموزش و مشارکت دادن کشاورزان برای جلب همراهی آنان در مدیریت پایدار آب، ایجاد سیستم‌های اطلاعاتی شفاف مانند پهنه‌بندی برای مشخص کردن وضعیت منابع آب و محدودیت‌ها در مناطق مختلف، و حرکت به سمت مدیریت مبتنی بر داده به جای تکیه بر حدس و تجربه صرف، به‌عنوان پایه‌ای برای تصمیم‌گیری دقیق و قابل پیگیری در مدیریت آب کشاورزی دنبال می‌شود.

## محدودیت‌ها و موانع تغییر الگوی کشت و کاهش وابستگی به منابع آب زیرزمینی

محدودیت‌های اقتصادی و بازار مهم‌ترین دلیل مقاومت کشاورزان در برابر تغییر الگوی کشت و کاهش وابستگی به آب‌های زیرزمینی است. ریسک بازار و نبود تضمین فروش محصول جدید باعث می‌شود کشاورز از تغییر الگو بترسد، زیرا مطمئن نیست محصول تازه در بازار خریدار داشته

آبخیز حرکت کند. در این چارچوب، لازم است یک شورای عالی مدیریت بحران آب و زمین در سطح استان شکل بگیرد که در آن، تقسیم مسئولیت‌ها به‌صورت استراتژیک و با تعریف دقیق نقش‌ها انجام شود. در این الگو، سازمان آب نقش مدیریت منبع را بر عهده دارد و با تعیین بودجه آبی مشخص می‌کند چقدر حق برداشت وجود دارد؛ جهاد کشاورزی به‌عنوان مدیر مصرف‌کننده موظف است تولید و الگوی کشت را با این بودجه آبی تطبیق دهد؛ و اداره کل محیط زیست در نقش ناظر پایداری مسئول تعیین خط قرمزهای زیست‌محیطی و اکولوژیک است تا فشار بر منابع از حد تحمل اکوسیستم فراتر نرود.

در سطح عملیاتی، این همکاری باید از طریق ایجاد یک پلتفرم داده‌های یکپارچه تقویت شود تا اطلاعات مربوط به منابع آب، الگوی کشت، وضعیت سفره‌های زیرزمینی، وضعیت زیست‌محیطی و روند فرونشست در یک سامانه مشترک تجمیع و برای همه دستگاه‌های ذی‌ربط قابل دسترس باشد. علاوه بر آن، تشکیل کمیته‌های مشترک دشت‌ها ضروری است؛ در این مدل، سازمان آب تعیین می‌کند چقدر آب داریم، جهاد کشاورزی مدیریت می‌کند که این آب چگونه مصرف شود و محیط زیست تضمین می‌کند که این شیوه مصرف به نابودی زمین منجر نشود. این سه ضلع، مثلث پایداری را شکل می‌دهند و بدون هماهنگی و تعامل مستمر میان آن‌ها، کنترل بحران فرونشست و مدیریت درست آب در سطح استان عملاً دست‌نیافتنی خواهد بود.

**مدل‌های سنتی که هر اداره به‌صورت جداگانه و در چارچوب مدیریت بخشی تنها بر وظایف خود متمرکز می‌شود، دیگر برای مواجهه با بحران فرونشست و سوءمدیریت آب کارآمد نیست و باید تمرکز به سمت مدیریت یکپارچه حوضه آبخیز حرکت کند.**

نبود حمایت‌های مالی هدفمند، یکی از گره‌های اصلی است؛ یارانه‌ها و حمایت‌ها در حال حاضر بیشتر به سمت افزایش تولید حتی با مصرف آب بیشتر هدایت می‌شوند تا به سمت تشویق محصولات کم‌آبر و الگوهای پایدار. از طرف دیگر، کوچکی مقیاس واحدهای تولیدی باعث می‌شود سرمایه‌گذاری در فناوری‌های نوین، تغییر سیستم آبیاری یا تغییر الگوی کشت برای هر واحد به‌تنهایی دشوار و پرهزینه باشد و این عامل، توان انطباق کشاورزان با الگوهای کم‌مصرف و پایدار را محدود می‌کند.

### مناطق با بیشترین آسیب‌پذیری فرونشست ناشی از سوءمدیریت آب در خراسان رضوی

آسیب‌پذیری نسبت به فرونشست در کل استان خراسان رضوی بالاست، اما برخی از مناطق به‌دلیل تلفیق میزان برداشت بالای آب و ساختار زمین‌شناسی حساس در وضعیت بحرانی‌تری قرار دارند. دشت نیشابور و دشت مشهد به‌عنوان نمونه‌های شاخص، به‌دلیل تراکم بالای چاه‌ها، ساختار زمین‌شناسی آسیب‌پذیر و تغییر کاربری گسترده اراضی، بیش از سایر نقاط در معرض فرونشست قرار گرفته‌اند و سوءمدیریت در برداشت و مصرف آب در این پهنه‌ها، اثر مخرب‌تری بر پایداری زمین بر جای گذاشته است.

### الگوی همکاری و شبکه تعاملی موردنیاز برای کنترل بحران فرونشست و سوءمدیریت آب

مدل‌های سنتی که هر اداره به‌صورت جداگانه و در چارچوب مدیریت بخشی تنها بر وظایف خود متمرکز می‌شود، دیگر برای مواجهه با بحران فرونشست و سوءمدیریت آب کارآمد نیست و باید تمرکز به سمت مدیریت یکپارچه حوضه

## فرونشست از زمین تا زیرساخت؛ جایی که بحران آب به مسئله امنیت زیرساختی تبدیل می‌شود

در گفت‌وگوی پیشین با محمد قیصری، مدیر آب و خاک و امور فنی سازمان جهاد کشاورزی خراسان رضوی، مسئله فرونشست از سطح یک پیامد صرفاً هیدرولوژیک عبور کرد و به مسئله‌ای وابسته به الگوی مصرف، شیوه بهره‌برداری کشاورزی و شکاف میان ظرفیت طبیعی و نیاز اقتصادی بدل شد. در آن روایت، تأکید اصلی بر این بود که تداوم برداشت‌های بی‌رویه، ضعف در مدیریت تقاضا و چالش تغییر الگوی کشت، موتور محرک تخلیه آبخوان‌ها را فعال نگه داشته و هر سیاست اصلاحی، بدون تغییر در رفتار مصرف‌کننده، ناقص خواهد ماند.

اما این تصویر، تنها نیمه نخست زنجیره بحران است. نقطه اتصال این برداشت‌ها به واقعیت امروز دشت مشهد، در حوزه‌ای قرار می‌گیرد که دیگر نه با مزرعه و مصرف، بلکه با زیرساخت و پایداری شهری تعریف می‌شود؛ جایی که فرونشست از سطح زمین عبور کرده و وارد لایه‌های حساس توسعه شهری، شبکه‌های انتقال انرژی، حمل‌ونقل و مدیریت آب شده است. در همین چارچوب، گفت‌وگو با محمد دولتی، پژوهشگر ارشد حوزه فرونشست و منابع آب و مدیر گروه پژوهشی مخاطرات محیطی پژوهشکده محیط‌های خشک، بر مرحله‌ای متمرکز است که در آن دشت مشهد وارد فاز فرونشست ساختاری شده؛ مرحله‌ای که در آن مسئله دیگر فقط کمبود آب نیست، بلکه امنیت عملکردی زیرساخت‌ها در معرض اختلال قرار گرفته و استانداردهای مهندسی توسعه شهری ناگزیر از بازتعریف شده‌اند.

# مرگ تدریجی دشت مشهد



جواد دولتی

پژوهشگر ارشد حوزه فرونشست و منابع آب و مدیر گروه پژوهشی مخاطرات محیطی پژوهشکده محیط های خشک

مصاحبه

برای مشاهده فیلم کامل  
مصاحبه کلیک نمایید.

## کالبدشکافی چهار دهه فرونشست در دشت مشهد

بررسی روند فرونشست زمین در دشت مشهد نشان می‌دهد که این منطقه با یکی از پیچیده‌ترین بحران‌های زیست‌محیطی و زیرساختی کشور روبروست. پدیده‌ای که از آن به عنوان مرگ تدریجی زمین یاد می‌شود، حاصل دهه‌ها برداشت بی‌رویه از سفره‌های آب زیرزمینی و تغییر بنیادین در الگوی توسعه شهری و کشاورزی است. دشت مشهد به عنوان یکی از حیاتی‌ترین قطب‌های جمعیتی و اقتصادی شرق کشور، اکنون با پدیده‌ای مواجه است که نه تنها پایداری سازه‌ها، بلکه امنیت زیستی منطقه را تهدید می‌کند. در گفتگو با مهندس دولتی، ابعاد فیزیکی، تاریخی و مدیریتی این بحران و تأثیرات جبران‌ناپذیر آن بر زیرساخت‌های حیاتی شهر مشهد را مورد واکاوی قرار داده‌ایم تا ریشه‌های این چالش ۸۰ ساله را بهتر بشناسیم.

## تغییر پارادایم تأمین آب؛ از تعادل قنوات تا هجوم تکنولوژی حفر چاه

تاریخچه بهره‌برداری از منابع آب در دشت مشهد را می‌توان به دو دوران پیش و پس از ورود تکنولوژی حفر چاه‌های عمیق تقسیم کرد. تا پیش از دهه ۱۳۲۰ خورشیدی، نظام تأمین آب در این اقلیم نیمه‌خشک، مبتنی بر قنات، چشمه و حق‌آبه‌های سطحی بود. این سیستم سنتی به دلیل محدودیت‌های فنی در استخراج، به طور خودکار نوعی تعادل ارگانیک با بیلان آبی دشت برقرار می‌کرد؛ به این معنا که تنها مازاد آبخوان برداشت می‌شد.

اما با ورود ماشین‌آلات حفاری در اواخر دهه ۱۳۲۰، این تعادل چند هزار ساله درهم شکست. حفر اولین چاه‌های تأمین آب شرب در داخل بافت شهری مشهد در سال ۱۳۲۵، آغازگر دوران جدیدی بود. در این دوره که تا اواسط دهه ۱۳۴۰ ادامه داشت، حاکمیت هیچ‌گونه نظارت یا برنامه‌ریزی جامع بر منابع آب زیرزمینی نداشت. هر فرد یا

فرونشست زمین در دشت مشهد دیگر صرفاً یک پدیده زمین‌شناختی نیست، بلکه به بحرانی چندوجهی در حوزه امنیت زیرساختی، منابع آب، توسعه شهری و زیست‌پذیری شرق کشور تبدیل شده است؛ بحرانی که ریشه‌های آن در دهه‌ها برداشت بی‌رویه از آبخوان‌ها، توسعه ناپایدار و ضعف حکمرانی منابع آب قابل ردیابی است. در گفت‌وگوی پیش‌رو با مهندس جواد دولتی، پژوهشگر ارشد حوزه فرونشست و منابع آب و مدیر گروه پژوهشی مخاطرات محیطی پژوهشکده محیط‌های خشک، ابعاد مختلف این بحران از تاریخچه شکل‌گیری فرونشست در دشت مشهد و روند تخریب آبخوان‌ها تا تهدید شریان‌های حیاتی، تغییر رفتار هیدروژئولوژیکی دشت، نقش سد دوستی، چالش‌های مدیریت آب زیرزمینی و ضرورت بازنگری در استانداردهای مهندسی و توسعه شهری مورد بررسی قرار گرفته است. در ادامه، مشروح این گفت‌وگو را می‌خوانید.

## فرونشست زمین برخلاف پدیده‌هایی مانند خشکسالی، پدیده‌ای برگشت‌ناپذیر است.

با نرخ‌های صعودی بود. بر اساس داده‌های سازمان نقشه‌برداری، نرخ فرونشست در دشت مشهد که در دهه‌های قبل ناچیز بود، در بازه سال‌های ۱۳۸۸ تا ۱۳۸۹ به اوج خود یعنی ۳۲ سانتی‌متر در سال رسید؛ عددی که در مقایسه با استانداردهای جهانی، دشت مشهد را در زمره بحرانی‌ترین مناطق فرونشستی جهان قرار می‌دهد. از اوایل دهه ۵۰ فرونشست در سراسر کشور به شکل تدریجی شروع شد و در سال‌های نخست این عوارض نشان داده نمی‌شود.

## فیزیک برگشت‌ناپذیری؛ چرا فرونشست پایان یک تمدن است؟

تاریخچه و روند فعالیت یک چرخه فرونشستی شامل چند فاز است؛ در فاز اول توسعه منابع آب و برداشت بی‌رویه و بدون نظارت از آبخوان‌ها رخ می‌دهد که در پی آن برداشت آب از میزان تغذیه طبیعی آبخوان پیشی می‌گیرد؛ در فاز دوم آبخوان و زمین وارد فاز فشردگی و خالی شدن فرونشست می‌شوند و بعد از فرونشست کامل عوارض سطحی فرونشست آشکار می‌شوند که بیشترین صدمات و خطر را برای آبنه‌ها و ساختمان‌ها دارد.

فرونشست زمین برخلاف پدیده‌هایی مانند خشکسالی، پدیده‌ای برگشت‌ناپذیر است. یعنی اگر بهترین مدیریت منابع آب، بهترین تغذیه آبخوان‌ها و حتی اُفت سطح آب را که دقیقاً می‌توان گفت عامل اصلی فرونشست است را به صفر برسانید فرونشست رخ داده را جبران نخواهد کرد؛ فرونشست یک حالت تجمعی دارد. در یک زلزله خرابی متعددی به وقوع می‌پیوندد و زلزله‌های بعدی به زلزله‌های قبلی ارتباط مستقیم ندارند سیل نیز اینگونه است ولی فرونشست به‌دلیل خاصیت تجمعی نرخ نشست سالانه در امتداد نرخ نشست سال بعد معنا می‌شود و افزایش می‌یابد. در نقشه‌های ترسیم‌کننده وضعیت فرونشست که سازمان زمین‌شناسی سالانه آن را منتشر می‌کند

نهادی که تمکن مالی برای تأمین هزینه‌های حفاری را داشت، می‌توانست بدون محدودیت در هر نقطه‌ای اقدام به حفر چاه کند. این رهاشدگی مدیریتی در بدو ورود تکنولوژی، سنگ‌بنای تراز منفی آبخوان را بنا نهاد که اثرات آن دهه‌ها بعد در قالب شکاف‌های زمین نمایان گشت.

اولین مطالعات علمی در سال ۱۳۴۴ که با تولی‌گری وزارت آب و برق توسط مشاوران خارجی و داخلی انجام شد، زنگ خطر را به صدا درآورد. وجود ۳۷۱ حلقه چاه عمیق و آغاز روند اُفت آبخوان یعنی اثبات پیشی گرفتن برداشت از تغذیه، در این مطالعه عیان شد و سپس در پی این بررسی بیلان دشت منفی اعلام شد و منجر به ممنوعه اعلام شدن دشت مشهد در سال ۱۳۴۶ گشت.

## انفجار برداشت و ثبت رکورد ۳۲ سانتی‌متر فرونشست سالانه

علیرغم اعلام ممنوعیت دشت در اواخر دهه ۴۰، فشارهای ناشی از رشد جمعیت، توسعه اراضی کشاورزی و نیازهای روزافزون صنعت باعث شد که قانون دشت ممنوعه عملاً در حاشیه بماند. بین سال‌های ۵۰ تا ۶۵ خورشیدی، دشت مشهد شاهد یک انفجار در تعداد نقاط برداشت بدون نظارت بود. در یک بررسی تعداد چاه‌های عمیق که در دهه ۴۰ کمتر از ۴۰۰ حلقه بود، با رشدی خیره‌کننده در سال ۱۳۹۷ به بیش از ۴۳۰۰ حلقه رسید.

این رشد کمی، تأثیری مستقیم بر بیلان آبخوان داشت. حجم برداشت سالانه از ۳۳۰ میلیون مترمکعب در نیم قرن پیش، به رقم تکان‌دهنده ۷۷۰ میلیون مترمکعب در سال ۱۳۹۸ رسید. تخلیه مستمر آب از لایه‌های رسی و ماسه‌ای زیرین، منجر به اُفت شدید تراز آب زیرزمینی گشت. پیامد فیزیکی این اُفت تراز، وقوع فرونشست

پکن قوی‌ترین و بهترین طرح در حوزه مدیریت فرونشست اجرا شد که بودجه‌ای حدود ۸۰ تا ۹۰ میلیارد دلار در بازه‌ای حدود ۱۵ سال هزینه شد و نرخ فرونشست را در شهر پکن به صفر رساند ولی عملاً این خسارات و عوارض جبران نشدند؛ به زبان ساده، مخزنی که میلیون‌ها سال طول کشیده تا شکل بگیرد، برای همیشه از بین می‌رود.

سیکل فرونشست شامل چهار مرحله آغاز، افزایش نرخ، توسعه منطقه‌ای و رسیدن به نرخ حداکثری است. دشت مشهد متأسفانه اکنون در مرحله چهارم قرار دارد که بحرانی‌ترین وضعیت مهندسی است.

### تهدید شریان‌های حیاتی؛ از خطوط انتقال گاز تا ریل‌های مترو

آثار تخریبی فرونشست تنها در ترک خوردن دیوارهای منازل مسکونی خلاصه نمی‌شود. خطر بزرگ‌تر در کمین زیرساخت‌های خطی و شریان‌های حیاتی است. وقتی زمین به صورت نامتقارن نشست می‌کند (یعنی یک نقطه بیشتر از نقطه مجاور پایین می‌رود)، تنش‌های برشی شدیدی به سازه‌های زیرزمینی وارد می‌شود. خطوط انتقال گاز با فشار بالا، لوله‌های اصلی آب و شبکه‌های فاضلاب که بر اساس شیب ثقل طراحی شده‌اند، نخستین قربانیان این پدیده هستند. شکستگی در خطوط گاز می‌تواند منجر به حوادث ناگوار شهری شود. همچنین، پدیده فرونشست باعث تغییر توپوگرافی مسیل‌ها و رودخانه‌های فصلی مشهد می‌شود. برهم خوردن شیب طبیعی زمین در مسیرهایی مانند کشف‌رود یا مسیل‌های داخل شهری، ظرفیت هدایت سیلاب را کاهش داده و در زمان بارندگی‌های شدید، مسیر جریان آب را به سمت نقاط غیرمنتظره و آسیب‌پذیر شهر منحرف می‌کند. تونل‌های مترو و اتوبان‌های بین‌شهری نیز از گزند آن در امان نیستند و نیاز به پایش مداوم و هزینه‌های گزاف مرمت دارند.

**برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی موجب افت شدید سطح آب و در پی آن تراکم تدریجی لایه‌های رسی و سیلتی شده است. این فرایند تراکم که نتیجه مستقیم فرونشست زمین است، باعث از بین رفتن بخشی از فضاها و متخلخل خاک شده و ظرفیت طبیعی لایه‌های زمین برای جذب و ذخیره آب را به‌طور قابل توجهی کاهش داده است.**

عدد مشخصی برای هر دشت در راستای ترسیم میزان فرونشست بیان می‌شود نکته این است که در این نقشه میزان فرونشست تجمعی نیز درج می‌شود که شاخص بسیار خوبی برای درک فاجعه رخ داده در طی زمان است. درواقع ریشه خسارات گسترده فرونشست ناشی از روندی بلند مدت و نرخ تجمعی آن است؛ یعنی نرخ نشست سالانه با سال‌های قبل جمع می‌شود. به عنوان مثال، در منطقه‌ای با نرخ ۲۰ سانتی‌متر، طی یک دهه، سطح زمین ۲ متر پایین می‌رود که این تغییر ارتفاع، کل سیستم‌های انتقال سیالات و پایداری سازه‌ها را دگرگون می‌کند.

یکی از عوارض فرونشست در میان مدت تغییر توپوگرافی زمین و روند حرکت سیلات‌ها و روان‌آب‌ها است؛ در پژوهش‌هایی که درباره مشهد انجام داده‌ایم، دریافتیم که در بخشی از قسمت‌های مسیل‌ها نشست رخ داده و توپوگرافی رودخانه و مسیل تغییر کرده است و این باعث تغییر جریان حرکت سیلاب‌ها شده است. برای درک بهتر این فاجعه باید به ساختار خاک توجه کرد. آب زیرزمینی در فضای بین ذرات خاک (خلل و فرج) قرار دارد و فشار هیدرواستاتیک آن، لایه‌های خاک را سرپا نگه می‌دارد. وقتی این آب خارج می‌شود، فشار طبقات فوقانی باعث فشرده شدن لایه‌های رسی و از بین رفتن همیشگی این فضاها می‌شود. مطالعات ژئوتکنیک نشان می‌دهد که حتی با بهترین مدیریت منابع آب و تغذیه مصنوعی سفره‌ها در آینده، بیش از ۹۰ درصد ظرفیت ذخیره‌سازی آبخوان‌ها پس از وقوع فرونشست، غیرقابل احیا است. در شهر

**با ورود آب سد دوستی به شهر مشهد در سال ۸۸، نرخ فرونشست از ۳۲ سانتی‌متر به ۱۵ سانتی‌متر کاهش یافت، اما با کاهش تراز سد و خشکسالی‌ها، مجدداً به ۲۰ سانتی‌متر افزایش پیدا کرد.**

طولانی‌مدت سطح آب و فشار لایه‌های بالایی از بین می‌روند، حتی با افزایش نسبی سطح آب نیز امکان بازگشت ساختار اولیه آبخوان وجود ندارد. بنابراین آنچه امروز در برخی نقاط مشهد مشاهده می‌شود، نه احیای منابع آب زیرزمینی، بلکه پیامدی از تخریب تدریجی ساختار آبخوان و کاهش دائمی ظرفیت ذخیره‌سازی آن است.

## سد دوستی؛ مُسکن موقتی که در حال اتمام است

نرخ فرونشست در دشت مشهد ارتباط مستقیمی با میزان و نحوه مصرف آب‌های زیرزمینی دارد؛ از اوایل دهه ۵۰ فرونشست را داشتیم از سال ۱۳۶۵ به این سو داده کمی داریم؛ از دهه ۶۰ تا اواخر دهه ۹۰ نرخ فرونشست افزایشی بوده است به طوری که حداکثر نرخ فرونشست بین ۱۳۸۳ تا ۱۳۸۵ حدود ۲۹ سانتی‌متر بوده در بازه ۱۳۸۸ تا ۱۳۸۹ حدود ۳۲ سانتی‌متر بوده است؛ روند مصرف آب‌های زیرزمینی بر وضعیت فرونشست بسیار اثرگذار است.

بررسی داده‌های نرخ فرونشست نشان‌دهنده همبستگی شدید این پدیده با منابع آب سطحی است؛ بر همین اصل از دهه ۷۰ شرکت آب در محور بین مشهد و چناران برای تأمین آب شرب چاه‌هایی را حفر کرد؛ در مجموع در داخل و خارج شهر در آن زمان در حدود ۵۰۰ حلقه چاه حفر شد؛ با ورود آب سد دوستی به شهر مشهد در سال ۸۸ فشار از روی آب‌های زیرزمینی برای تأمین آب شرب برداشته شد، به طوری که بسیاری از چاه‌های داخل شهر مشهد که با هدف تأمین آب شرب فعال بودند خاموش شدند؛ بر اساس پردازش‌هایی که در این خصوص انجام شده در سال‌های ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶ نرخ فرونشست از ۳۲ سانتی‌متر به حدود ۱۵ سانتی‌متر کاهش پیدا کرده است. منتهی با قطع شدن و کاهش تراز آب سد دوستی و با بروز خشکسالی‌های شدید در اواخر دهه ۹۰ فشار مجدد بر روی منابع آب

## تداخل بحران‌ها؛ چالش بالآمدگی سطح آب در مرکز شهر

یکی از پدیده‌های قابل توجه در دشت مشهد به دلیل برداشت نامتقارن از چاه‌های آب و وقوع فرونشست، مشاهده افزایش موضعی سطح آب زیرزمینی در بخش‌هایی از مرکز شهر است؛ رخدادی که در نگاه نخست ممکن است به اشتباه نشانه‌ای از بهبود وضعیت آبخوان تلقی شود. در حالی که واقعیت این است که طی دهه‌های گذشته برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی موجب افت شدید سطح آب و در پی آن تراکم تدریجی لایه‌های رسی و سیلتی شده است. این فرایند تراکم که نتیجه مستقیم فرونشست زمین است، باعث از بین رفتن بخشی از فضا‌های متخلخل خاک شده و ظرفیت طبیعی لایه‌های زمین برای جذب و ذخیره آب را به طور قابل توجهی کاهش داده است.

در چنین شرایطی، حتی اگر در برخی نقاط به دلایلی مانند کاهش برداشت یا تغییر در الگوی تأمین آب، سطح آب زیرزمینی تا حدی افزایش یابد، این افزایش به معنای احیای واقعی آبخوان نیست. ساختار متخلخل خاک که طی سال‌ها تحت فشار فشرده شده، دیگر توان ذخیره‌سازی مؤثر آب در اعماق را ندارد و آب در لایه‌های کم‌عمق‌تر تجمع پیدا می‌کند. این وضعیت در واقع نشانه‌ای از تغییر رفتار هیدروژئولوژیکی دشت است و بیانگر آن است که ظرفیت طبیعی آبخوان برای تنظیم و ذخیره آب تا حد زیادی از بین رفته است.

از همین رو، این پدیده را باید یکی از نشانه‌های ماهیت برگشت‌ناپذیر فرونشست دانست. زمانی که فضا‌های خالی میان ذرات خاک در اثر افت

موضوع آزمایشگاهی یا صرفاً زیست‌محیطی نیست، بلکه یک پارامتر طراحی در مهندسی است. روند تشدیدشونده فرونشست در ۸۰ درصد دشت‌های ایران و به ویژه دشت مشهد، ایجاب می‌کند که در تمامی طرح‌های جامع و تفصیلی شهر، نقشه‌های پهنه‌بندی خطر فرونشست لحاظ گردد. طرح‌های حوزه تعادل‌بخشی باید با جدیت و تأمل بیشتری دنبال شود تا بازدهی و روند اثر این طرح‌ها افزایش یابد.

سازندگان و نهادهای حاکمیتی باید بپذیرند که دیگر نمی‌توان با استانداردهای چهار دهه پیش در دشت مشهد اقدام به ساخت‌وساز کرد. هر پروژه عمرانی، از ساختمان‌های بلندمرتبه گرفته تا پل‌ها و خطوط انتقال، باید دارای پیوست تاب‌آوری در برابر فرونشست باشد. چشم‌انداز آینده در صورت ادامه روند کنونی برداشت آب، بسیار نگران‌کننده است؛ تنها راه نجات، مدیریت یکپارچه منابع آب، بازچرخانی پساب و انطباق دقیق توسعه شهری با ظرفیت‌های زیستی زمینی است که هر سال بیش از پیش در حال فرو رفتن است.

زیرزمینی وارد شد و چاه‌های خاموش به مدار وارد شدند؛ به گونه‌ای که در ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲ نرخ فرونشست به حدود ۲۰ سانتی‌متر افزایش پیدا کرده است. حتی پژوهش سازمان زمین‌شناسی برای تعیین نرخ فرونشست در سال ۱۴۰۳ عدد ۲۳ سانتی‌متر را نشان می‌داد؛ یک سیکل افزایشی در دهه ۸۰ و در ابتدای دهه ۹۰ روند کاهشی و سپس با بازگشت شرایط به گذشته سیکل در اواخر دهه ۹۰ و اوایل قرن جدید افزایشی شده است. این وابستگی شدید نشان می‌دهد که امنیت زیرساختی مشهد تا چه حد لرزان و وابسته به بارش‌های سالانه و منابع آب سطحی است که اکنون با تغییرات اقلیمی در خطر جدی قرار دارند.

### الزام به تدوین استانداردهای نوین در مهندسی عمران

ادامه روند فرونشست وابستگی مستقیم با طریقه بهره‌برداری ما از منابع آبی دارد؛ در روند کنونی که بر فشار بر منابع آب زیرزمینی تأکید دارد شرایط خوشبینانه نیست؛ فرونشست در مشهد و حتی دیگر دشت‌های ایران تشدید خواهد شد؛ در پایان باید تأکید کرد که فرونشست دیگر یک

## از فیزیک فرونشست تا آناتومی شکست حکمرانی آب در ایران

جمع‌بندی مصاحبه با مهندس جواد دولتی تصویری کم‌وبیش بی‌رحم از وضعیت دشت مشهد ارائه می‌دهد؛ جایی که فرونشست دیگر یک نشانه نیست، بلکه به یک فرآیند فعال و برگشت‌ناپذیر تبدیل شده است. افت شدید آبخوان‌ها، تغییر رفتار هیدروژئولوژیکی دشت و فشار بر زیرساخت‌های حیاتی از خطوط گاز تا شبکه مترو، همگی نشان می‌دهد بحران از سطح منابع آب عبور کرده و وارد لایه امنیت زیرساختی شده است. در این چارچوب، مسئله دیگر صرفاً مدیریت برداشت نیست، بلکه مواجهه با یک زمین در حال تغییر شکل است؛ زمینی که دیر کرده و حالا صورت‌حساب را یکجا ارائه می‌دهد.

اما همین‌جا، روایت از سطح پدیده به سطح تصمیم جابه‌جا می‌شود؛ جایی که توضیح‌های فنی، هرچقدر هم دقیق باشند، برای توضیح استمرار بحران کافی نیستند. اگر فرونشست نتیجه مستقیم افت آبخوان است، خود افت آبخوان محصول یک سازوکار پیچیده‌تر است: نحوه حکمرانی آب، قواعد تخصیص، قیمت‌گذاری، و رابطه دولت با جامعه بهره‌بردار. دقیقاً در همین نقطه است که گفت‌وگو با دکتر کامران داوری وارد لایه دوم مسئله می‌شود؛ جایی که بحران از زمین جدا شده و به ساختار تصمیم‌گیری، سیاست‌گذاری دستوری، حذف نهادهای بومی و خطای در طراحی نظام حکمرانی آب گره می‌خورد.

به بیان ساده‌تر، اگر مصاحبه دولتی درباره این‌که چه اتفاقی افتاده است، گفت‌وگوی پیش‌رو درباره این‌که چرا اجازه داده شده چنین اتفاقی تداوم پیدا کند خواهد بود؛ از تراژدی منابع مشترک و شکست سیاست‌های کنترلی تا تناقض‌های قیمت‌گذاری آب و فرسایش سرمایه اجتماعی در مدیریت منابع. در این سطح، فرونشست دیگر پایان ماجرا نیست، بلکه فقط علامت هشدار یک سیستم حکمرانی است که مدت‌هاست از تعادل خارج شده و همچنان با ابزارهای اشتباه در حال تنظیم خودش است.



## فرونشست؛

## نشانه شکست حکمرانی آب در ایران



کامران داوری

عضو هیات علمی گروه مهندسی آب دانشگاه فردوسی مشهد و رئیس دبیرخانه دائمی سازگاری با کم‌آبی خراسان رضوی

مصاحبه



فرونشست زمین، شوری فزاینده آبخوان‌ها و زوال پایداری سرزمینی، نه صرفاً مخاطراتی فیزیکی و مهندسی، بلکه نشانه‌های عیان از فروپاشی ساختار حکمرانی آب در ایران هستند؛ روندی فرساینده که در آن برای توسعه کوتاه‌مدت امروز، ذخایر استراتژیک و آب رزرو نسل‌های آینده پیش‌خور می‌شود. در گفتگویی تفصیلی با دکتر کامران داوری، رئیس دبیرخانه دائمی سازگاری با کم‌آبی خراسان رضوی، رئیس پژوهشکده آب و محیط زیست دانشگاه فردوسی مشهد و پژوهشگر ارشد سیاست‌گذاری آب، به واکاوی شبکه مسائل حوزه فرونشست از منظر حکمرانی پرداخته است. در این مصاحبه، ریشه‌های شکست سیاست‌های دستوری و تکنوکراتیک، پیامدهای حذف نهادهای بومی و سنتی مدیریت آب، سوءبرداشت از فلسفه طرح‌های بهداشتی فاضلاب و همچنین سه سناریوی نگران‌کننده پیش‌روی دشت مشهد به بحث گذاشته شده است. دکتر کامران داوری با نقد جدی رویکردهای ساده‌انگارانه به منابع مشترک، مسیر اصلاح را از معبر احیای حکمرانی محلی، واقعی‌شدن ارزش اکولوژیک آب و انطباق توسعه با اسناد آمایش سرزمین ترسیم می‌کند.

## فرونشست، نشانه‌ی فروپاشی حکمرانی آب

بهترین راه پیشگیری از بحران‌های محیط‌زیستی این است که پیش از هر چیز منشأ آن را بشناسیم و تا حد امکان از آن منشأ فاصله بگیریم. همان‌طور که اگر گسلی فعال در یک منطقه وجود دارد، نباید روی آن سازه و خانه بسازیم و اگر رودخانه‌ای در مجاورت شهر است، برای در امان ماندن از سیلاب، باید حریم آن را رعایت و از دست‌اندازی به بستر و حریمش خودداری کنیم، در مورد منابع آب زیرزمینی نیز همین منطق حاکم است؛ باید بدانیم کجای چرخه‌ی آب را داریم تخریب می‌کنیم.

در دهه‌ی ۴۰ شمسی، مردم مشهد با تلمبه‌های دستی از آب استفاده می‌کردند. این تلمبه‌ها به دلیل سازوکار ایجاد خلأ، در بهترین حالت می‌توانستند فقط ۶ تا ۷ متر آب را از زیر زمین بالا بکشند. به تعبیر من، این یعنی در آن دوره، سطح آب زیرزمینی حداکثر در عمق حدود ۱۰ متری از سطح زمین قرار داشته است. امروز اما برای دسترسی به آب، باید به اعماق بیش از ۱۰۰ متر نفوذ کنیم؛ این اختلاف عمق، فقط یک عدد نیست، نشانه‌ی یک بحران ساختاری در حکمرانی آب است.

فرونشست زمین، همان‌طور که امروز در ادبیات علمی و مدیریتی فهمیده می‌شود، بیش از هر چیز ناشی از افت سطح آبخوان‌هاست. ریشه‌ی این نشست، برداشت و خالی‌کردن سفره‌های زیرزمینی است. فرونشست فقط یک مخاطره‌ی فیزیکی و سازه‌ای نیست که جاده‌ها و ساختمان‌ها را تهدید کند؛ پیامد مهم‌تر این است که ما در حال از بین بردن بخشی از آب زیرزمینی غیرقابل تجدید هستیم؛ منبعی که در واقع میراث آبی نسل‌های آینده به شمار می‌رود.

در ادبیات جهانی منابع آب، به این بخش از آب زیرزمینی، ذخیره‌ی استراتژیک یا دقیق‌تر آب رزرو گفته می‌شود. تفاوت رزرو با ذخیره این است که ذخیره، یک مفهوم عام است و برای هر نوع پس‌انداز آب به کار می‌رود، اما رزرو، برای یک مصرف مشخص و هدف‌گذاری‌شده تعریف می‌شود. این آب رزرو، برای مواجهه با خشکسالی‌های شدید و بلندمدت است؛ همان خشکسالی‌هایی که در تاریخ اقلیمی منطقه کم نبوده‌اند و جوامع انسانی برای ارتزاق آبی و حفظ تاب‌آوری زیست در آن

حالت طبیعی به سمت بالا حرکت نمی‌کنند. اما وقتی در لایه‌های بالاتر، پمپاژ آب شیرین را به‌طور مداوم و شدید ادامه می‌دهیم، به‌تدریج این آب‌های شور عمقی مسیر خود را به سمت آبخوان فعال پیدا می‌کنند و وارد مدار بهره‌برداری می‌شوند.

## ۲. به هم خوردن بیلان نمک در آبخوان

هر آبخوان، یک بیلان نمک دارد؛ یعنی تعادلی بین مقدار نمک و آلاینده‌ای که وارد می‌شود و مقداری که به‌واسطه‌ی جریان‌های خروجی و زهکش‌ها از سیستم خارج می‌شود. وقتی این تعادل برهم بخورد، تراکم و انباشت نمک در آبخوان رخ می‌دهد. ریشه‌ی این برهم خوردن تعادل، به‌ویژه در مشهد، به دو عامل گره خورده است:

– از یک سو، توسعه‌ی شهر مشهد و افزایش جمعیت و فعالیت‌های صنعتی و خدماتی، حجم آلاینده‌های ورودی به آبخوان را بالا برده است.  
– از سوی دیگر، به دلیل افت سطح آب زیرزمینی، ضخامت مؤثر سفره کاهش یافته و جریان‌های ورودی و خروجی (چه تغذیه، چه زهکش طبیعی) مختل شده است.

نتیجه‌ی این فرایندها این است که کیفیت آب زیرزمینی، به‌تدریج اما با شیبی تند رو به افول گذاشته است. به تعبیر دیگر، بحران پنهان و اصلی امروز مشهد، فقط کمیت آب نیست؛ بلکه شوری و افت کیفیت آب است. بر اساس داده‌ها و مشاهدات موجود، کیفیت آب در مشهد به‌شدت افت کرده و این روند با سرعت بالایی در حال پیشروی است؛ به‌ویژه در مناطق شرقی مشهد، این وضعیت شدیدتر و نگران‌کننده‌تر است. اگر حکمرانی آب در مقیاس حوضه‌ای اصلاح نشود و برداشت از سفره‌های زیرزمینی مدیریت نشده باقی بماند، فرونشست و شوری القایی، دو روی یک سکه خواهند بود: سکه‌ای که پشت آن، کاهش تاب‌آوری شهری و از دست رفتن میراث

**بحران پنهان و اصلی امروز مشهد، فقط کمیت آب نیست؛ بلکه شوری و افت کیفیت آب است. بر اساس داده‌ها و مشاهدات موجود، کیفیت آب در مشهد به‌شدت افت کرده و این روند با سرعت بالایی در حال پیشروی است؛ به‌ویژه در مناطق شرقی مشهد، این وضعیت شدیدتر و نگران‌کننده‌تر است.**

شرایط، به همین ذخیره‌های رزرو متکی بوده‌اند. مشهد روی باک ذخیره زندگی می‌کند؛ کیفیت آب با شیبی تند در حال سقوط است. اگر بخواهیم با یک تشبیه ساده صحبت کنیم، باک ذخیره‌ی موتور زندگی ما در دشت‌ها و شهرها، همین آب تجدیدناپذیر زیرزمینی است؛ در حالی‌که نیروی محرکه‌ی اصلی و جاری باید آب تجدیدپذیر (بارش، رواناب‌ها و تغذیه طبیعی آبخوان) باشد. وقتی برای مصرف روزمره و توسعه‌ی بی‌قاعده، مدام از این باک ذخیره مصرف می‌کنیم، چند اتفاق هم‌زمان رخ می‌دهد:

از یک سو تاب‌آوری ما در برابر خشکسالی کاهش پیدا می‌کند، زیرا ذخایر استراتژیک آبی در حال ته کشیدن است و از سوی دیگر، تهدیدپذیری ما در برابر خشکسالی‌های آینده به‌شدت افزایش می‌یابد. در کنار این پیامدها، برداشت بی‌رویه از آبخوان‌ها، کیفیت آب را هم تخریب می‌کند و مسیر را برای شور شدن آن هموار می‌سازد. یک نوع شوری که در ادبیات آبخوان‌ها مطرح است، شوری القایی نام دارد. شوری می‌تواند در اثر هجوم آب شور به آبخوان‌های ساحلی رخ دهد، اما موضوع ما در مشهد، عمدتاً شوری القایی از نوع درونی است. این پدیده دو سازوکار مهم دارد:

## ۱. آب شور حبس شده در اعماق

در مقیاس‌های زمانی زمین‌شناسی، بخشی از آب‌های زیرزمینی از منشأهای شور و دریایی شکل گرفته‌اند. این آب‌های شور در اعماق زیاد حبس و فشرده شده‌اند و به دلیل چگالی بالاتر، در

آبی نسل‌های بعد حک شده است.

## فرونشست؛ عارضه‌ای قابل مرمت‌تر از بحران کیفیت و ذخیره آب

فرونشست زمین البته مخاطرات عیان‌تر و ملموس‌تری دارد. کاهش تاب‌آوری در برابر خشکسالی به‌سادگی جبران نمی‌شود؛ شور شدن آبخوان‌ها نیز تقریباً غیرقابل بازگشت است. اما فرونشست، دست‌کم در سطح پیامدهای سازه‌ای، با اقداماتی مانند مقاوم‌سازی ساختمان‌ها، اصلاح زیرساخت‌ها و مداخلات مهندسی تا حدی قابل مدیریت است.

این مقایسه نشان می‌دهد که فرونشست، اگرچه خطرناک است، اما در واقع یکی از نمودهای بیرونی افت سطح آب‌های زیرزمینی است؛ نه ریشه‌ی اصلی بحران. بنابراین اگر بخواهیم فرونشست را مدیریت کنیم، باید به سراغ مدیریت آب‌های زیرزمینی برویم، نه صرفاً کنترل

ترک‌ها و شکاف‌های زمین.

## اشتباه راهبردی: درگیر عارضه‌ایم، نه علت

ریشه‌ی بحران فرونشست و کاهش سطح آبخوان‌ها، برداشت مازاد از منابع زیرزمینی است. اما خود این برداشت مازاد، حاصل مسئله‌ای پیچیده‌تر به نام حکمرانی آب است؛ مسئله‌ای که متأسفانه با رویکردهای ساده‌انگارانه و دستورمحو به آن پرداخته‌ایم.

نمونه‌ی روشن آن، تصمیم به ممنوعیت کفشکنی در ابتدای سال گذشته بود. وزارت نیرو این ممنوعیت را اعلام کرد؛ در حالی که در استان‌های سه‌گانه خراسان، صنف حفاران مجاز آب با حدود ۲۰۰ دستگاه حفاری فعال هستند که همگی به GPS مجهز شده‌اند. از این تعداد، حدود ۱۶۰ دستگاه حفاری ضربه‌ای و ۶۰ دستگاه روتاری (چرخشی) است.

این صنف در تیرماه همان سال درخواست لغو



شوند، نه صرفاً با وضع قوانین جدید. تجربه‌ی جهانی نیز نشان داده است که انباشت قوانین الزاماً به بهبود وضعیت منجر نمی‌شود؛ گاه حتی نتیجه‌ی معکوس دارد. کاهش قوانین و تقویت هنجارهای اجتماعی، در بسیاری از کشورها مؤثرتر بوده است.

پدیده‌ای مانند آبدزدی صرفاً با جرم‌انگاری مهار نمی‌شود. نخست باید بسترهای عرفی و اجتماعی تنظیم شود. این مسیر مشخص است:

### ۱. احترام و مشارکت آب‌بران و جوامع محلی

کشاورزان و بهره‌برداران محلی، تنظیم‌گران واقعی هنجارها و ناظران دائمی منابع هستند. آن‌ها میراث‌دار نهادهای باستانی مدیریت آب در جوامع کشاورزی‌اند.

### ۲. تقویت نهادهای بومی مدیریت آب

انسان به‌طور طبیعی میل به نهادسازی دارد. دولت نیز نهادی برآمده از جامعه است و نباید خود را برتر از آن بداند، بلکه باید با آن هم‌افزا شود.

### ۳. بازتعریف نقش دولت از دستوردهنده به تنظیم‌گر

سیاست باید رفتار را شکل دهد، نه صرفاً آن را تنبیه کند. هر سیاست، نوعی تربیت اجتماعی است و محیط رفتاری را تغییر می‌دهد.

### حکمرانی محلی؛ حلقه‌ی مغفول

تجلی حکمرانی محلی در شوراها نمود می‌یابد؛ نهادی که بر اساس قانون اساسی شکل گرفته و وظیفه‌ی پاسداری از حقوق عامه مردم را بر عهده دارد. شوراها می‌توانند حلقه‌ی واسط میان دولت و جامعه باشند و در تنظیم قواعد بهره‌برداری از منابع مشترک، نقش کلیدی ایفا کنند.

اگر بحران فرونشست را صرفاً یک مسئله‌ی فنی یا مهندسی ببینیم، به خطا رفته‌ایم. این بحران در اصل، آزمون حکمرانی آب است. تا زمانی که برداشت مازاد مهار نشود و سازوکارهای اجتماعی و نهادی تنظیم رفتار شکل نگیرد، هر سیاست مقطعی، صرفاً جابه‌جایی بحران خواهد بود؛ نه

**برآوردهای میدانی نشان می‌دهد هر دستگاه حفاری غیرمجاز، در صورت فعالیت شبانه، می‌تواند حدود ۱۰۰ میلیون تومان درآمد کسب کند. در مقابل، جریمه‌های احتمالی در صورت دستگیری، نسبت به سود حاصل ناچیز است؛ بنابراین ریسک تخلف برای متخلفان کم‌هزینه و حتی منطقی جلوه می‌کند.**

این قانون را مطرح کرد و اعلام داشت که از زمان تصویب ممنوعیت، عملاً بیکار شده‌اند. اما هم‌زمان، حفاری‌های غیرمجاز به شدت افزایش یافت. برآوردهای میدانی نشان می‌دهد هر دستگاه حفاری غیرمجاز، در صورت فعالیت شبانه، می‌تواند حدود ۱۰۰ میلیون تومان درآمد کسب کند. در مقابل، جریمه‌های احتمالی در صورت دستگیری، نسبت به سود حاصل ناچیز است؛ بنابراین ریسک تخلف برای متخلفان کم‌هزینه و حتی منطقی جلوه می‌کند.

برآوردها حاکی از آن است که تنها در محدوده‌ی دشت مشهد و قوچان، حدود ۲۰۰ دستگاه حفاری غیرمجاز فعال‌اند؛ این رقم جدای از آمار سایر نقاط سه استان خراسان است. به بیان دیگر، سیاستی که قرار بود برداشت را مهار کند، در عمل به تغییر رفتار بازار و تقویت فعالیت زیرزمینی منجر شد.

### بحران اجرای سیاست، نه فقط بحران قانون

یکی از خطاهای جدی در مدیریت آب، نگاه ساده و دستورمحور به مسائل پیچیده است. در مواردی، نه‌تنها به بهبود حکمرانی آب کمک نکرده‌ایم، بلکه ناخواسته زمینه‌ی تخریب بیشتر منابع زیرزمینی را فراهم کرده‌ایم.

هر سیاست عمومی، پیش از اجرا نیازمند برنامه‌ی پیاده‌سازی است. بحران ما فقط سیاست غلط نیست؛ بلکه بحران در طراحی و اجرای سیاست است. باید پذیرفت که سیاست‌گذاری در حوزه آب، فرآیندی زمان‌بر و اجتماعی است. برآوردها نشان می‌دهد بیش از ۸۰ درصد مسائل این حوزه باید به‌صورت اجتماعی و عرفی حل و فصل



حل آن.

## تناقض در جرمه آب‌دزدی؛ وقتی قیمت جای ارزش را می‌گیرد

در موضوع جرمه آب‌دزدی نیز یک باگ مفهومی جدی وجود دارد. جرائمی چند برابر قیمت رسمی آب برای متخلفان تعیین می‌شود؛ اما پرسش اساسی این است: آیا قیمت آب در یک منطقه کویری و کم‌آب، با قیمت آب در یک منطقه پرباران و غنی از منابع آبی برابر است؟ قطعاً خیر. زیرا ارزش آب در این دو اقلیم متفاوت است. در یک جامعه کویری، آب بنیان زیست‌پذیری است؛ ضریب اهمیت آن در بقا، تولید، مهاجرت و امنیت اجتماعی به‌مراتب بالاتر از نرخ‌های اعلامی دولتی است. در چنین شرایطی، اگر مبنای جرمه صرفاً قیمت اداری آب باشد، نه ارزش اکولوژیک و اقلیمی آن، نظام تنبیه و بازدارندگی از اساس دچار خطا خواهد بود. مکانیسم‌هایی در حال پیگیری است تا ارزش آب بر اساس اقلیم و شرایط هر حوضه تعیین شود؛ رویکردی که می‌تواند فاصله میان اقتصاد رسمی آب و واقعیت زیست‌محیطی آن را کاهش دهد.

## حذف نهادهای بومی؛ آغاز شکست حکمرانی آب

دولت نمی‌تواند روندها و مکانیسم‌های محلی مدیریت آب – که برخی سابقه‌ای چند هزار ساله دارند – را نادیده بگیرد و با رویکردی صرفاً دستوری اعمال حاکمیت کند. نادیده گرفتن نهادهای بومی، نتیجه‌ای جز تضعیف سرمایه اجتماعی و فروپاشی تنظیم‌گری محلی ندارد. شکست حکمرانی آب، دقیقاً از همین نقطه آغاز می‌شود: وقتی دولت به‌جای هم‌افزایی با جامعه، خود را جانشین آن می‌پندارد. نهادهای سنتی تقسیم آب، شبکه‌های عرفی نظارت، و سازوکارهای اجتماعی کنترل بهره‌برداری، طی قرن‌ها شکل گرفته‌اند. این‌ها سرمایه نهادی‌اند، نه مانع توسعه. تخریب آن‌ها، خلأ نظارتی و بی‌سامانی رفتاری ایجاد می‌کند.

## نگاهی تاریخی؛ از جوی آب تا لوله‌کشی

تاریخ آب شهری در ایران نشان می‌دهد که لوله‌کشی آب، واکنشی به بحران‌های بهداشتی بوده است. نخستین شهرهایی که در ایران اقدام به لوله‌کشی کردند، کازرون و بیرجند بودند؛ حتی لوله‌ها را از هند و با کاروان شتر وارد کردند. مشهد نیز از سال ۱۳۳۰ به بعد لوله‌کشی شد. پیش از آن، آب از طریق جوی‌ها در شهر جریان داشت. هر خانه سهمی از آب جاری در کانال داشت و حوضی در منزل نقش مخزن هفتگی را ایفا می‌کرد. این آب‌ها از منظر بهداشتی آلوده بودند، اما جامعه محلی به آن عادت کرده بود؛ در حالی که مسافران و ساکنان سایر مناطق با نوشیدن آن بیمار می‌شدند. گفته می‌شود ریشه ضرب‌المثل آب به آب شدن نیز به همین تفاوت عادت‌های زیستی بازمی‌گردد. با شیوع بیماری‌های واگیردار مانند وبا، ضرورت لوله‌کشی آب و سپس انتقال فاضلاب به بیرون شهر شکل گرفت. کل این فرآیند برای حفظ سلامت انسان و اکوسیستم طراحی شد؛ نه برای توسعه بی‌رویه مصرف.

## مسیر اصلاح: آموزش، آگاهی، حساس‌سازی، مشارکت

اگر قرار است حکمرانی آب اصلاح شود، نقطه آغاز آن جامعه محلی است. این مسیر سه گام اساسی دارد:

۱. آموزش: برای درک ماهیت آب زیرزمینی، مفهوم آب تجدیدناپذیر، بیلان آبخوان و ارتباط آن با فرونشست.
۲. اطلاع‌رسانی: برای فهم وضعیت واقعی هر دشت و شفاف‌سازی داده‌ها درباره افت سطح آب، کیفیت و بیلان منفی.
۳. حساس‌سازی و مشارکت: جامعه باید نسبت به پیامدهای برداشت مازاد آگاه شود و احساس مسئولیت کند. اما این مسئولیت بدون اختیار و مصونیت نهادی شکل نمی‌گیرد. باید به جوامع

با اجرای شبکه‌های جمع‌آوری فاضلاب، پساب به تصفیه‌خانه منتقل و سپس برای مصارف جدید استفاده می‌شود، به عبارتی منبع تغذیه طبیعی آبخوان را حذف می‌کنیم و در عوض، مصرف و تقاضای جدید خلق می‌کنیم. در شرایط کسری مخزن، توسعه مصرف صورت می‌گیرد.

## سوءبرداشت از فلسفه جمع‌آوری فاضلاب

یکی از نقاط کلیدی در فهم چرخه آب شهری، درک فلسفه جمع‌آوری فاضلاب است. پیش از اجرای طرح‌های شبکه فاضلاب (اگو)، چاه‌های جذبی نقش مهمی در چرخه هیدرولوژیک شهری ایفا می‌کردند. کارکرد آن‌ها برداشت آب نبود، بلکه واریز فاضلاب به لایه‌های زیرین و در نهایت تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی بود. برآورد می‌شود حدود ۸۰ درصد فاضلاب از طریق نفوذ به زمین وارد آبخوان می‌شد و حدود ۲۰ درصد نیز توسط ریشه گیاهان جذب می‌گردید. با اجرای شبکه‌های جمع‌آوری فاضلاب، پساب به تصفیه‌خانه منتقل و سپس برای مصارف جدید استفاده می‌شود. این فرآیند از منظر بهداشتی اقدامی ضروری و ارزشمند است؛ اما در دشت‌هایی با بیلان منفی آب زیرزمینی، مانند مشهد و اصفهان، پیامد ناخواسته‌ای دارد: ما منبع تغذیه طبیعی آبخوان را حذف می‌کنیم و در عوض، مصرف و تقاضای جدید خلق می‌کنیم. به بیان ساده، در شرایط کسری مخزن، توسعه مصرف صورت می‌گیرد.

در حالی‌که طبق قانون تأسیس شرکت‌های آب و فاضلاب کشور، وظایف اصلی این شرکت‌ها عبارت است از:

## ۱. تأمین و توزیع آب بهداشتی ۲. جمع‌آوری و دفع بهداشتی فاضلاب

فلسفه اصلی این مأموریت بهداشت است. اگر مسئله بهداشت مطرح نباشد، نه توزیع آب لوله‌کشی و نه جمع‌آوری فاضلاب ضرورتی ندارد. بنابراین نباید این اقدام بهداشتی را با سیاست تأمین آب یا توسعه منابع اشتباه گرفت.

پایداری توسعه سنجیده می‌شود. از این منظر، مهم‌ترین مسئله بررسی اثر فرونشست بر زیرساخت‌های حیاتی و شریان‌های شهری است؛ مانند خطوط انتقال گاز، آب، فاضلاب، جاده‌ها، راه‌آهن و تأسیسات انرژی.

فرونشستی که در بسیاری از دشت‌های ایران رخ می‌دهد، عمدتاً ناشی از افت سطح آب‌های زیرزمینی در دشت‌های رسوبی است. این نوع فرونشست با پدیده‌هایی مانند فروچاله‌های کارستی تفاوت دارد. در مناطق کارستی - مانند برخی مناطق همدان و کبودرآهنگ - فروچاله‌ها بیشتر ناشی از فروریختن سقف حفره‌های زیرزمینی هستند و لزوماً ارتباط مستقیمی با افت سطح آبخوان ندارند. در برخی موارد حتی مسیرهای قدیمی قنوات نیز می‌تواند در ایجاد این فروچاله‌ها نقش داشته باشد. اما فرونشست ناشی از افت سطح آبخوان در دشت‌های رسوبی، پدیده‌ای گسترده و تدریجی

محلی اختیار مشارکت در تصمیم‌گیری داده شود، امنیت حقوقی برای فعالیت قانونی آن‌ها فراهم گردد و نقش آنان در تنظیم بهره‌برداری به رسمیت شناخته شود. تنها در این صورت می‌توان امید و مسئولیت را هم‌زمان تقویت کرد.

## فرونشست؛ از شاخص‌های میلی‌متری تا تهدید زیرساخت‌های حیاتی

در جهان مطالعات گسترده‌ای درباره فرونشست زمین و پیامدهای آن انجام شده است. در بسیاری از ارزیابی‌های بین‌المللی، حتی نرخ سالانه دو میلی‌متر فرونشست به‌عنوان آستانه‌ای بحرانی تلقی می‌شود؛ زیرا از همین مقیاس‌های کوچک، خسارت‌های اقتصادی و زیرساختی قابل‌توجهی آغاز می‌شود. در واقع نگاه جهانی به فرونشست، صرفاً زمین‌شناختی نیست؛ بلکه رویکردی اقتصادی و مدیریتی دارد. یعنی میزان فرونشست بر اساس اثر آن بر دارایی‌ها، زیرساخت‌ها و



به قطعیت کامل نمی‌رسد؛ بلکه بیشتر به صورت احتمال وقوع و نقشه‌های ریسک ارائه می‌شود.

### ابعاد بحران در دشت مشهد؛ فرونشستی در مقیاس ده‌ها سانتی‌متر

افت سطح آبخوان‌ها تقریباً همیشه با فرونشست همراه است. در برخی مناطق دشت مشهد، نرخ فرونشست سالانه حدود ۲۵ سانتی‌متر گزارش شده است؛ رقمی که در مقیاس جهانی بسیار بالا محسوب می‌شود. در سطح کشور نیز دشت قم در مقطعی از بدترین نرخ‌های فرونشست برخوردار بوده است، هرچند در هر دشت نوساناتی در این نرخ وجود دارد. فرونشست در این دشت‌ها به شکل یک شکاف منفرد رخ نمی‌دهد، بلکه با ایجاد کشیدگی در پوسته زمین، نشست تدریجی و گسترده‌ای را ایجاد می‌کند که می‌تواند به شکست زیرساخت‌ها و تغییر رفتار زمین منجر شود. از نظر نهادی، بررسی و پایش فرونشست بر عهده سازمان زمین‌شناسی است؛ اما ریشه اصلی این پدیده در مدیریت آب‌های زیرزمینی قرار دارد. افت سطح آبخوان‌ها حاصل مجموعه‌ای از عوامل مدیریتی است، از جمله برداشت مازاد از منابع زیرزمینی، ضعف در مشارکت دادن جوامع محلی و اتکای بیش از حد به راهکارهای صرفاً مهندسی. مسئله‌ای مانند حکمرانی آب، مسئله‌ای پیچیده و اجتماعی است. رویکرد مهندسی و ساده‌انگارانه به تنهایی قادر به حل آن نیست.

### نظریه تراژدی منابع مشترک

یکی از نظریه‌های مهم در این زمینه، ایده‌ای است که در دهه ۱۹۶۰ توسط گرت هاردین مطرح شد. او در بحث تراژدی منابع مشترک توضیح می‌دهد هرگاه منبعی کمیاب شود، ارزشمند می‌شود؛ وقتی ارزشمند شد، به مال تبدیل می‌شود؛ و هرگاه مالی بدون مالک مشخص باشد، در معرض غارت قرار می‌گیرد. راه جلوگیری از این غارت، نهادسازی و ایجاد قواعد حکمرانی است؛ یعنی شکل‌گیری سازوکارهایی که بهره‌برداری از منابع مشترک را

**افت سطح آبخوان‌ها تقریباً همیشه با فرونشست همراه است. در برخی مناطق دشت مشهد، نرخ فرونشست سالانه حدود ۲۵ سانتی‌متر گزارش شده است؛ رقمی که در مقیاس جهانی بسیار بالا محسوب می‌شود.**

است. این پدیده معمولاً به صورت یک شکاف ناگهانی ظاهر نمی‌شود، بلکه به شکل نشست تدریجی سطح زمین در مقیاسی وسیع رخ می‌دهد. گاهی ترک‌هایی نیز در سطح زمین دیده می‌شود، اما ماهیت آن با فروچاله‌های ناگهانی متفاوت است.

### خطر پنهان برای شبکه‌های زیرساختی / امکان پیش‌بینی فرونشست با هوش مصنوعی

یکی از مهم‌ترین مخاطرات فرونشست، اثر آن بر زیرساخت‌های شهری است. نشست تدریجی زمین باعث ایجاد تنش کششی در سطح زمین می‌شود و همین کشیدگی می‌تواند به شکست زیرساخت‌ها منجر شود. برای مثال: ترکیدن خطوط لوله گاز، شکستگی شبکه‌های آب و فاضلاب، اختلال در سازه‌های شریانی و خطوط انتقالی ریل‌های راه‌آهن.

در شبکه‌هایی که بر اساس جریان ثقلی طراحی شده‌اند، تغییر شیب زمین می‌تواند حتی مسیر جریان را مختل کند. بنابراین فرونشست فقط یک پدیده زمین‌شناسی نیست؛ بلکه یک ریسک جدی برای ایمنی شهری به شمار می‌رود.

پرسش مهم این است که آیا فرونشست قابل پیش‌بینی است؟ پاسخ تا حدی مثبت است. پژوهشگران در برخی مراکز تحقیقاتی، از جمله پژوهشکده‌های حوزه آب و محیط زیست، در حال استفاده از مدل‌های یادگیری ماشین برای تحلیل داده‌های زمین‌شناسی، هیدرولوژیکی و برداشت آب زیرزمینی هستند. این مدل‌ها می‌توانند مناطق دارای ریسک بالای فرونشست را شناسایی کنند. با این حال، پیش‌بینی فرونشست هنوز

## آب تنها یک منبع طبیعی ساده نیست؛ بلکه هویتی سه‌ساحتی دارد: حیات، معیشت و اقتصاد.

استقلال و کارآمدی دستگاه قضایی در رسیدگی به پرونده‌های مرتبط با منابع طبیعی و آب است. خطا در مدیریت آب، صرفاً یک اشتباه اداری نیست؛ پیامد آن می‌تواند نابودی منابعی باشد که شکل‌گیری آن‌ها هزاران سال زمان برده است. بنابراین اگر نظارت مؤثر و پاسخگویی نهادی وجود نداشته باشد، هزینه این خطاها به آینده و نسل‌های بعد منتقل خواهد شد.

### آب؛ منبعی با سه ساحت حیات، معیشت و اقتصاد

آب تنها یک منبع طبیعی ساده نیست؛ بلکه هویتی سه‌ساحتی دارد که هر سیاستی در حوزه مدیریت آب باید آن را به رسمیت بشناسد. در ساحت نخست، آب مایه حیات کره زمین است. بدون آب اساساً حیاتی بر روی زمین شکل نمی‌گرفت و تمام اکوسیستم‌ها به آن وابسته‌اند. این ساحت، بعد زیست‌محیطی آب را نمایندگی می‌کند؛ جایی که بقای طبیعت و پایداری چرخه‌های زیستی به وجود و جریان آب وابسته است. در ساحت دوم، آب نیاز حیاتی انسان است. انسان برای آشامیدن، تولید غذا و ادامه زندگی به آب نیاز دارد. از این منظر، آب نقشی تعیین‌کننده در شکل‌گیری ارزش بسیاری از منابع و فعالیت‌های انسانی دارد و به‌طور مستقیم با امنیت غذایی و زیستی جامعه مرتبط است. اما ساحت سوم آب، بعد اقتصادی و تولید ارزش افزوده آن است. در این سطح، آب به‌عنوان یک نهاده اقتصادی در کشاورزی، صنعت

تنظیم کنند. در مدیریت منابع آب ایران نیز برخی سیاست‌ها بر پایه مفروضاتی شکل گرفته‌اند که با واقعیت اقلیمی همخوانی ندارند. برای مثال، در طراحی بسیاری از سدها فرض بر این بوده که ۷۰ تا ۸۰ درصد بارش‌ها به‌عنوان منابع قابل اتکا تحقق خواهد یافت؛ در حالی که در استانداردهای جهانی معمولاً ۳۰ تا ۴۰ درصد منابع به‌عنوان مبنای برنامه‌ریزی در نظر گرفته می‌شود تا ریسک مدیریت منابع کاهش یابد.

در حال حاضر ظرفیت مخازن سدهای کشور حدود ۱۰۰ میلیارد مترمکعب است، در حالی که کل منابع آب تجدیدپذیر ایران حدود ۸۰ میلیارد مترمکعب برآورد می‌شود؛ رقمی که خود نسبت به گذشته حدود ۵۰ درصد کاهش یافته است. این عدم تناسب، نشان می‌دهد که بخشی از زیرساخت‌های آبی بر اساس منطق هیدرولوژیکی ناپایدار طراحی شده‌اند.

### وقتی یک سیستم اشتباه خود را بازتولید می‌کند

یکی از چالش‌های جدی در حکمرانی آب این است که سیستم‌های معیوب معمولاً سازوکارهایی برای حفظ خود دارند. این سیستم‌ها گفتمان، منافع و ساختارهایی ایجاد می‌کنند که تغییر آن‌ها را دشوار می‌سازد. در چنین شرایطی، مسائل اجتماعی با رویکرد صرفاً مهندسی قابل حل نیستند. در بحث مدیریت منابع آب نیز مسئله الزاماً وجود مافیای آب نیست؛ بلکه اغلب نتیجه برهم‌کنش طبیعی ثروت و قدرت در ساختارهای تصمیم‌گیری است. مسئله اصلی طراحی سیستم است.

یک نظام حکمرانی سالم باید به گونه‌ای طراحی شود که حتی اگر ناکارآمدترین یا فاسدترین مدیر در جایگاه تصمیم‌گیری قرار گرفت، نتواند به منابع عمومی آسیب جدی وارد کند. در نهایت، یکی از ارکان مهم اصلاح حکمرانی آب،



فرد تنظیم می‌شود و مصرف فراتر از آن تابع سیاست‌های قیمتی و مدیریتی است. اگر قیمت آب بر اساس ارزش واقعی و موقعیت اقلیمی آن تعیین شود، می‌تواند منابع مالی لازم برای اجرای پروژه‌های پرهزینه حوزه آب را نیز فراهم کند؛ پروژه‌هایی مانند بهینه‌سازی مصرف آب، بازچرخانی و تصفیه و انتقال آب در شرایط ضروری.

### خرید آب، نه توسعه برداشت از سفره‌ها / تفاوت تأمین آب و امنیت آب

در شرایطی مانند مشهد که با فشار جمعیتی بالا مواجه است، توسعه برداشت از آب‌های زیرزمینی دیگر گزینه قابل قبولی نیست. در چنین شرایطی اصل راهبردی باید خرید آب آری؛ چاه جدید نه باشد. به‌ویژه در شهری مانند مشهد که جمعیت آن از ظرفیت طبیعی منابع آبی منطقه فراتر رفته است. در ادبیات مدیریت آب، واژه تأمین به معنای فراهم‌آوری یا عرضه آب در برابر تقاضا است. اما این مفهوم با امنیت آب تفاوت دارد. امنیت آب یک وضعیت پایدار و بلندمدت است که در آن جامعه در برابر نوسانات اقلیمی، خشکسالی و بحران‌های آبی تاب‌آوری دارد. واقعیت این است که ما در ایران هنوز به امنیت آب نرسیده‌ایم؛ آنچه وجود دارد بیشتر نوعی آرامش نسبی و کوتاه‌مدت است که با هر دوره خشکسالی می‌تواند دچار اختلال شود.

در شرایط کاهش منابع آب، حتی سیاست‌هایی مانند جیره‌بندی نیز راه‌حل بنیادی محسوب نمی‌شوند. یکی از ابزارهای مؤثرتر، سیاست‌های قیمتی هوشمند است. به این معنا که با کاهش حجم آب در دسترس، قیمت آب باید افزایش یابد تا مصرف مدیریت شود و در عین حال منابع مالی لازم برای مدیریت بحران آب فراهم گردد. این رویکرد می‌تواند به شرکت‌های آب و فاضلاب امکان دهد سرمایه لازم برای اصلاح زیرساخت‌ها و مدیریت تقاضا را تأمین کنند.

**آب تجدیدپذیر ماهیتی نوسانی دارد و مقدار آن در سال‌های مختلف تغییر می‌کند. در حالی که بسیاری از مجوزهای بهره‌برداری، از جمله پروانه‌های برداشت از چاه‌ها، همچنان بر اساس اعداد ثابت صادر شده‌اند**

و توسعه شهری عمل می‌کند و می‌تواند ارزش افزوده و ثروت تولید کند. اگر قرار است مدیریت آب به‌درستی انجام شود، هر سه ساحت باید هم‌زمان در سیاست‌گذاری دیده شوند.

### سهم طبیعت از آب؛ اصل فراموش‌شده مدیریت منابع

در رویکردی که در بسیاری از کشورها مورد توجه قرار گرفته، تأکید می‌شود که انسان نباید بیش از ۷۰ درصد منابع آب تجدیدپذیر خود را مصرف کند و دست‌کم ۳۰ درصد آن باید به اکوسیستم‌ها اختصاص یابد تا پایداری محیط‌زیست حفظ شود. در ایران نیز این نگاه تا حدی مورد توجه قرار گرفته است. در سال ۱۳۹۳ و در پانزدهمین جلسه شورای عالی آب، مصوب شد که حداکثر ۷۵ درصد از منابع آب تجدیدپذیر قابل تخصیص باشد. با این حال یک نکته مهم در این میان وجود دارد: آب تجدیدپذیر ماهیتی نوسانی دارد و مقدار آن در سال‌های مختلف تغییر می‌کند. در حالی که بسیاری از مجوزهای بهره‌برداری، از جمله پروانه‌های برداشت از چاه‌ها، همچنان بر اساس اعداد ثابت صادر شده‌اند. همین مسئله نشان می‌دهد که بخشی از سیاست‌های تخصیص آب نیازمند بازنگری جدی است.

### آب شرب؛ اولویت نخست اما نه منبعی رایگان

آب شرب بی‌تردید اولویت نخست در تخصیص منابع آب است و باید نیازهای اساسی مردم را تأمین کند. با این حال، این به معنای رایگان بودن آب نیست. در بسیاری از کشورها، سازوکار بازار و نظام قیمت‌گذاری نقش مهمی در تعیین ارزش آب دارد. حتی در مواردی که دولت در تأمین آب شرب دخالت می‌کند، میزان خرید یا تأمین آب بر اساس حداقل استاندارد نیاز روزانه هر

بحرانی قرار دارد.

## آینده‌نگری در حکمرانی آب؛ از سناریونویسی تا آمایش سرزمین

در حوزه امور عمومی، سیاست‌گذاری بدون افق زمانی معنا ندارد. هر نظام حکمرانی باید برای آینده در چند مقیاس زمانی برنامه داشته باشد؛ کوتاه‌مدت در بازه حدود ۵ ساله، میان‌مدت در حدود ۱۵ تا ۲۵ سال، بلندمدت در بازه ۲۵ تا ۵۰ سال و در نهایت افق راهبردی بالای ۱۰۰ سال که چشم‌انداز کلان یک جامعه را ترسیم می‌کند. رسیدن به این چشم‌انداز نیازمند سناریوپردازی مبتنی بر واقعیت‌های امروز و پیش‌بینی روندهای آینده است. از ترکیب داده‌های موجود و تحلیل روندها، فضایی شکل می‌گیرد که در ادبیات برنامه‌ریزی به آن فضای امکان گفته می‌شود؛ یعنی مجموعه‌ای از مسیرهای محتمل که یک جامعه می‌تواند در آینده طی کند. سیاست‌گذاری مؤثر دقیقاً در همین فضا طراحی می‌شود.

در این میان، پنج عامل کلان تغییرات اقلیمی، روندهای جمعیتی، شرایط اقتصادی، تحولات فناوری و روابط خارجی وجود دارد که عملاً خارج از کنترل مستقیم سیاست‌گذاران داخلی است و می‌تواند مسیر سناریوها را تغییر دهد. هر یک از این متغیرها می‌تواند مسیر توسعه و به‌ویژه مدیریت منابع آب را دگرگون کند. بنابراین سناریوها باید به‌صورت پویا و بر اساس تغییر

یکی از ابزارهای مؤثرتر، سیاست‌های قیمتی هوشمند است. به این معنا که با کاهش حجم آب در دسترس، قیمت آب باید افزایش یابد تا مصرف مدیریت شود و در عین حال منابع مالی لازم برای مدیریت بحران آب فراهم گردد.

## سه سناریوی نگران‌کننده برای آینده مشهد

اگر روندهای فعلی حکمرانی آب اصلاح نشود، سه پیامد جدی در انتظار شهرهایی مانند مشهد خواهد بود.

نخست، کاهش شدید تاب‌آوری در برابر خشکسالی است؛ در چنین شرایطی، وقوع یک خشکسالی شدید ۱۰ تا ۱۵ ساله می‌تواند به نقطه‌ای برسد که سکونت در شهر به دلیل کمبود آب با بحران جدی مواجه شود و حتی مهاجرت جمعیتی را به دنبال داشته باشد.

دوم، افزایش شوری آبخوان‌ها؛ با افت سطح آب‌های زیرزمینی، شوری آب در سفره‌ها افزایش می‌یابد. حتی با تصفیه آب نیز پدیده تغلیظ نمک رخ می‌دهد و در نهایت شورابه‌ها دوباره به چرخه آب زیرزمینی بازمی‌گردند.

سوم، فرونشست زمین؛ کاهش سطح آبخوان‌ها به نشست زمین منجر می‌شود؛ پدیده‌ای که در بسیاری از موارد برگشت‌ناپذیر است و می‌تواند خسارت‌های گسترده‌ای به زیرساخت‌ها وارد کند. ارقام ثبت‌شده در برخی مناطق مشهد، در مقایسه با آستانه‌های جهانی، در سطحی بسیار



این عوامل بازنگری شوند.

از دل این چشم‌اندازها و سناریوها، باید راهبردهای بلندمدت استخراج شود و سپس در قالب یک برنامه حدوداً ۲۵ ساله سامان یابد؛ برنامه‌ای که در ادبیات برنامه‌ریزی کشور با عنوان آمایش سرزمین شناخته می‌شود. آمایش سرزمین در ساده‌ترین تعریف، یعنی زیست متناسب با داشته‌ها. به این معنا که جامعه باید ظرفیت‌های طبیعی، اقلیمی و اقتصادی خود را بشناسد و توسعه را بر همان مبنا سامان دهد، نه اینکه با فشار بیش از ظرفیت بر محیط‌زیست، تعادل سرزمینی را برهم بزند. آمایش در واقع سه کارکرد اصلی شناخت دقیق ظرفیت‌ها و محدودیت‌های محیطی، استفاده از مزیت‌های نسبی هر منطقه و مدیریت و کنترل پیامدهای توسعه دارد. هدف اصلی آمایش این است که مسیر حرکت جامعه از نقطه نامطلوب به سمت وضعیت مطلوب هدایت شود و روندها به گونه‌ای تنظیم گردد که سناریوی مطلوب تحقق یابد.

### برنامه‌های پنج‌ساله؛ تبدیل راهبرد به عمل / ظرفیت‌های ایران برای اصلاح حکمرانی

از دل برنامه ۲۵ ساله آمایش، برنامه‌های اجرایی پنج‌ساله استخراج می‌شود. این برنامه‌ها مرحله عمل هستند؛ جایی که سیاست‌های کلان به اقدام اجرایی تبدیل می‌شوند. در حوزه آب، این برنامه‌ها بر چند محور کلیدی مدیریت تقاضای آب، اصلاح نظام یارانه‌ها و واقعی‌تر شدن قیمت آب متمرکز هستند؛ در حال حاضر بخش مهمی از منابع مالی شرکت‌های آب و فاضلاب

از محل کمک‌های دولتی یا عوارض تأمین می‌شود. در شهری مانند مشهد نیز همکاری میان شهرداری و شرکت آب و فاضلاب می‌تواند نقش مهمی در تأمین منابع مالی پروژه‌های زیرساختی داشته باشد. در چنین شرایطی، شهرداری می‌تواند بخشی از منابع مازاد خود را برای اجرای طرح‌های راهبردی آب هدایت کند. در مرحله بعد، بخشی از مسئولیت مدیریت منابع باید به جامعه و مردم منتقل شود. اما این انتقال بدون دو پیش‌شرط امکان‌پذیر نیست: مشارکت و شفافیت. تصمیم‌هایی که بر زندگی عموم مردم اثر می‌گذارد، باید با مشارکت آن‌ها طراحی شود. تجربه‌های جهانی نشان می‌دهد که سیاست‌هایی که بدون مشارکت اجتماعی تدوین می‌شوند، اغلب در مرحله اجرا با مقاومت یا شکست مواجه خواهند شد. در این میان، شفافیت نقش کلیدی دارد. شفافیت مقدمه پاسخگویی است و پاسخگویی نیز بخش مهمی از اعتماد عمومی را شکل می‌دهد. با این حال یکی از چالش‌های موجود این است که هنوز شفافیت کافی در تخصیص منابع و تقسیم مسئولیت‌ها وجود ندارد. با وجود تمام این چالش‌ها، ایران سرزمینی با سابقه‌ای طولانی در خردورزی و مدیریت منابع طبیعی است. ظرفیت‌های علمی، اجتماعی و فرهنگی قابل توجهی در کشور وجود دارد که می‌تواند به اصلاح مسیر حکمرانی کمک کند. شاید مشکل اصلی این باشد که حرکت‌ها گاه دیر آغاز می‌شوند؛ اما تجربه نشان داده است که جامعه ایرانی در مواجهه با بحران‌ها، توانایی بازاندیشی و اصلاح مسیر را نیز دارد.

## ورشکستگی اکولوژیک و مختصات فروپاشی سرزمینی؛ از حکمرانی آب تا حکمرانی محیط‌زیست

مصاحبه با کامران داوری، رئیس دبیرخانه سازگاری با کم‌آبی خراسان رضوی، در امتداد تحلیل‌های پیشین، تصویری روشن از بحران آب در ایران ترسیم می‌کند؛ تصویری که در آن فرونشست، شوری آبخوان‌ها و فشار بر منابع زیرزمینی نه به‌عنوان رخداد‌های جداگانه، بلکه به‌مثابه خروجی مستقیم یک حکمرانی ناکارآمد آب ظاهر می‌شوند. این نگاه، بر یک گزاره کلیدی تأکید دارد: مسئله ایران کمبود تکنیک نیست، بلکه اختلال در نظام تصمیم‌سازی و اجرای سیاست‌های آب است؛ جایی که منطق توسعه، از ظرفیت‌های اکولوژیک سرزمین جلو زده است.

در ادامه همین چارچوب، گفت‌وگوی پیش‌رو با محمد غیبی، مدیرعامل شرکت TULTECH و پژوهشگر توسعه پایدار، وارد سطحی کلان‌تر از تحلیل می‌شود؛ جایی که بحران آب دیگر صرفاً یک مسئله بخشی نیست، بلکه به نشانه‌ای از فروپاشی اکوسیستم و شکست اقتصاد سبز تبدیل می‌گردد. در این مصاحبه، تمرکز از حکمرانی آب به حکمرانی محیط‌زیست و رابطه آن با اقتصاد، فناوری و نوآوری‌های دانش‌بنیان منتقل می‌شود؛ با این پرسش محوری که چرا ابزارهای نوین علمی و شبکه‌های پایش هوشمند هنوز در مدیریت بحران‌های زیست‌محیطی ایران به حاشیه رانده شده‌اند. در امتداد بحث‌های مطرح‌شده در گفت‌وگوی آقای داوری درباره ضرورت اصلاح ساختار حکمرانی و عبور از مدیریت مصاحبه پیش‌رو بر لایه‌ای عمیق‌تر از مسئله دست می‌گذارد: نسبت انسان با اکوسیستم. در این نگاه، فرونشست و تخریب منابع طبیعی تنها نشانه‌های یک بحران بزرگ‌تر هستند؛ بحرانی که در آن مرز میان توسعه و تخریب از بین رفته و تداوم الگوی فعلی، به معنای حرکت تدریجی در مسیر ورشکستگی زیست‌محیطی است. اما همین‌جا، روایت از سطح پدیده به سطح تصمیم جابه‌جا می‌شود؛ جایی که توضیح‌های فنی، هرچقدر هم دقیق باشند، برای توضیح استمرار بحران کافی نیستند. اگر فرونشست نتیجه مستقیم افت آبخوان است، خود افت آبخوان محصول یک سازوکار پیچیده‌تر است: نحوه حکمرانی آب، قواعد تخصیص، قیمت‌گذاری، و رابطه دولت با جامعه بهره‌بردار. دقیقاً در همین نقطه است که گفت‌وگو با دکتر کامران داوری وارد لایه دوم مسئله می‌شود؛ جایی که بحران از زمین جدا شده و به ساختار تصمیم‌گیری، سیاست‌گذاری دستوری، حذف نهادهای بومی و خطای در طراحی نظام حکمرانی آب گره می‌خورد.

به بیان ساده‌تر، اگر مصاحبه دولتی درباره این‌که چه اتفاقی افتاده است، گفت‌وگوی پیش‌رو درباره این‌که چرا اجازه داده شده چنین اتفاقی تداوم پیدا کند خواهد بود؛ از تراژدی منابع مشترک و شکست سیاست‌های کنترلی تا تناقض‌های قیمت‌گذاری آب و فرسایش سرمایه اجتماعی در مدیریت منابع. در این سطح، فرونشست دیگر پایان ماجرا نیست، بلکه فقط علامت هشدار یک سیستم حکمرانی است که مدت‌هاست از تعادل خارج شده و همچنان با ابزارهای اشتباه در حال تنظیم خودش است.

## ورشکستگی زیست‌محیطی در لبه پرتگاه اکوسیستم؛ فرونشست، تاوان سنگین غفلت از حکمرانی آب

واکاوی جامع ریشه‌های بحران منابع آبی، انهدام پایداری سرزمینی و موانع استقرار اقتصاد سبز در ایران؛ چرا گذار فوری به حکمرانی قاطع محیط‌زیستی و میدان دادن به نوآوری‌های دانش‌بنیان، تنها راه نجات از فروپاشی اکولوژیک است؟

محمد غیبی

مدیرعامل شرکت TULTECH، مدیر آزمایشگاه توسعه پایدار و مدل‌سازی‌های زیست‌محیطی در دانشگاه فنی لیبرتس



### مصاحبه

### تقلیل آب به ابزار صنعتی و غفلت از مفهوم نکسوس

یکی از مشکلات اساسی در نگاه به منابع آبی، تقلیل آن به ابزاری صرف برای رفع نیازهای صنعتی است. متأسفانه جایگاه ارزشمند و بی‌بدیل آب در پیوند میان آب، انرژی و غذا به رسمیت شناخته نشده و قربانی توسعه می‌گردد. در برنامه‌ریزی‌های توسعه‌ای، به آب به‌عنوان یک منبع مستقل که خود واجد یک سیستم پیچیده و پویاست، توجه نمی‌شود. این نگاه کاربردمحور و اصرار بر تأمین نیازها به هر قیمتی، به دستکاری اکوسیستم و تخریب زیست‌بوم انجامیده و منابع طبیعی را از ظرفیت سازگاری و تعادلی که طی سالیان دراز به دست آورده‌اند، خارج کرده است.

### فقدان اقتصاد سبز و سلطه راه‌حل‌های کوتاه‌مدت

از آنجا که مبنای اقتصاد ایران بر پایه اقتصاد سبز استوار نبوده و شاخص‌گذاری‌های لازم در این زمینه صورت نگرفته است، در مواجهه با چالش‌های ساختاری و عمیق، به راه‌حل‌های موضعی روی آورده می‌شود که این امر خود موجب تشدید بحران می‌گردد. رویکرد حل‌مسئله با نگاه کوتاه‌مدت، از عارضه‌های رایج در کشورهای در حال توسعه است. با وجود برخورداری ایران از

### مشاهده فیلم کامل مصاحبه



زنگ خطر فروپاشی اکولوژیک و انهدام پایداری سرزمینی بیش از هر زمان دیگری به صدا درآمده است؛ بحرانی عمیق که ریشه در نگاه تقلیل‌گرایانه به طبیعت، توسعه ناپایدار و غفلت از حکمرانی علمی دارد. در این گفت‌وگوی تفصیلی، مهندس محمد غیبی، مدیرعامل شرکت TULTECH، مدیر آزمایشگاه توسعه پایدار و مدل‌سازی‌های زیست‌محیطی در دانشگاه فنی لیبرتس و دبیر اسبق کمیته آب و محیط زیست خانه هم‌افزایی انرژی و آب، به کالبدشکافی همه‌جانبه بحران منابع آبی در ایران می‌پردازد. وی با نقد نگاه کاربردمحور به آب و تأکید بر مفهوم نکسوس (پیوند آب، انرژی و غذا)، پدیده فرونشست زمین را بارزترین نشانه ورشکستگی زیست‌محیطی و تاوان سنگین سوءمدیریت‌ها می‌داند.

این ورشکستگی است؛ عضوی سرطانی که هنوز منتشر نشده و انتشار آن با فروپاشی اکوسیستم رخ خواهد داد.

### افول کیفیت منابع آب و پیامدهای تکنولوژیکی

در حالی که کمیت منابع آب ممکن است تا بیست سال آینده هشدار دهد، کیفیت منابع آب به تدریج از بین می‌رود؛ پدیده‌ای که در استان‌های جنوبی‌تر مشهود است، مانند سدیمی شدن خاک. در استان خراسان نیز بسیاری از چاه‌ها شور و نیترا ته شده‌اند. در چنین شرایطی، نباید فناوری‌هایی فعال شوند که فشار مضاعفی بر طبیعت وارد کنند. فناوری‌هایی مانند اسمز معکوس اگرچه آب شور را شیرین می‌کنند، اما حجم قابل توجهی آب شور بازگردانده شده برجای می‌گذارند. شرکت آب منطقه‌ای باید پاسخ دهد این آب شور به کجا هدایت می‌شود؟

### توسعه ناپایدار شهری و انهدام اکوسیستم؛ مطالعه موردی مشهد

نگاه غالب، اکوسیستم را به عنوان یک نظم سرویس‌دهنده و پشتیبان حیات درک نمی‌کند. به عنوان مثال، وسعت فضای سبز در شهری مانند مشهد با شهرهایی نظیر برلین یا آمستردام برابری می‌کند و هزینه نگهداری آن نیز چندین برابر شهرهای اروپایی است. اما باید پرسید آیا طراحی این حجم از فضای سبز، آن‌هم به بهای انهدام اکوسیستم و منابع آبی مشهد، توجیه‌پذیر بوده است؟ این رویه نه تنها متضمن پایداری نیست، بلکه در تضاد با اصول محیط‌زیستی قرار دارد. اگرچه در برنامه‌های توسعه پایدار توجه به تفاوت‌های اجتماعی و فرهنگی جوامع مختلف ضروری است، اما رعایت الزامات و استانداردهای زیستی یک ضرورت اجتناب‌ناپذیر و قطعی محسوب می‌شود.

### آسیب‌شناسی طرح‌های انتقال آب و ضعف

**قرض گرفتن از طبیعت بدون بازپرداخت، منجر به ورشکستگی زیست محیطی می‌شود. فرونشست، یکی از علائم این ورشکستگی است؛ عضوی سرطانی که هنوز منتشر نشده و انتشار آن با فروپاشی اکوسیستم رخ خواهد داد.**

دانش فنی مطلوب، تاکنون از این انباشت دانش در میدان عمل استفاده مناسبی نشده است و نتیجه این رویه، قربانی شدن اکوسیستم برای رفع نیازهای مقطعی است.

### خلأ ارزیابی‌های دقیق زیست محیطی و غفلت از آلاینده‌های نوظهور

در مقوله ارزیابی زیست محیطی، کشور هنوز به استانداردهای مطلوب جهانی نرسیده است. به عنوان نمونه، در اروپا که بالاترین حساسیت نسبت به کیفیت منابع آب وجود دارد، تمرکز بر پایش آلاینده‌های نوظهوری نظیر پی‌فس (PFAS) و ریزآلاینده‌ها است که حتی مقادیر ناچیز آن‌ها خاصیت سرطان‌زایی دارد؛ اما در ایران این شاخص‌ها هنوز شناسایی و پایش نمی‌شوند. در شرایطی که حتی مدیریت کلان پلاستیک‌ها مورد توجه کافی قرار نمی‌گیرد، تمرکز صرف بر شاخص‌های روتین نظیر BOD، COD، و فلزات سنگین به هیچ وجه پاسخگو نیست. صنعتی‌سازی گسترده، ما را با طیف جدیدی از آلاینده‌های نوظهور مواجه کرده که نیازمند پایش دقیق و علمی است.

### فرونشست؛ زنگ خطری از سوی طبیعت

پدیده فرونشست زمین، تنها یکی از پاسخ‌های طبیعت به برداشت‌های بی‌رویه است. سال‌ها پیش، نشانه‌هایی مانند لوله‌زایی (ظهور لوله‌های آب در اثر جابجایی زمین) هشدار دادند، اما زمین پایین رفت و لوله بیرون نیامد. قرض گرفتن از طبیعت بدون بازپرداخت، منجر به ورشکستگی زیست محیطی می‌شود. فرونشست، یکی از علائم

## تحلیل خوداتکایی در منابع غذایی و کشاورزی: چالش‌های پایداری و راهبردهای دانش بنیان

خوداتکایی، امری مطلوب است، اما اجرای ناپایدار و کوتاه‌مدت آن در منابع غذایی و کشاورزی، آسیب‌زاست. کشت هندوانه و خربزه در جویین و جغتای، با الگوی کنونی، با اصول پایدارسازی سیستم مغایرت دارد. الگوی خودکفایی بدون پیوست‌های زیست‌محیطی و کوتاه‌مدت، در نهایت اقتصاد و اجتماع منطقه را با چالش مواجه می‌کند؛ چالش‌هایی که محیط زیست قادر به پاسخگویی آن‌ها نیست. این چالش‌ها، پیامد نگاه کوتاه‌مدت و ناپایدار، میراثی برای مدیران بعدی است و این اتفاق رخ داده است. از دیدگاه محیط زیستی، بزرگترین مشکل در حوزه خودکفایی غذا و کشاورزی، خود دولت است. مدیران دولتی در اضطرار اقتصادی نیستند و فرهنگ سازمانی آن‌ها، آنان را به تحول در اقتصاد وادار نمی‌کند. در کشاورزی، در برخی محصولات می‌توان در استان‌های مناسب با شرایط آبی و محیط زیستی اقدام کرد، اما در برخی محصولات باید پذیرفت که امکان‌پذیر نیست.

## شکست نوآوری داخلی در پایش آب مشهد؛ مانع‌تراشی مدیران در برابر دانش بنیان‌ها و تبعات زیست‌محیطی

در دهه ۱۳۹۰ در مشهد سامانه کدورت‌سنج آنلاین طراحی و ساخته شد و قرار بود در پایش منابع آب مورد استفاده قرار گیرد. با این حال، در یکی از دستگاه‌های اجرایی استان فردی با اقدامات مختلف مانع اجرای این طرح شد و عملاً با ایجاد موانع متعدد، مسیر استفاده از این فناوری را مسدود کرد. به‌طور مستقیم این ذهنیت القا شد که امکان انجام چنین کاری وجود ندارد. در حالی‌که همین فناوری از سوی مؤسسه WTW آلمان مورد توجه قرار گرفت و

خوداتکایی، امری مطلوب است، اما اجرای ناپایدار و کوتاه‌مدت آن در منابع غذایی و کشاورزی، آسیب‌زاست. الگوی خودکفایی بدون پیوست‌های زیست‌محیطی و کوتاه‌مدت، در نهایت اقتصاد و اجتماع منطقه را با چالش مواجه می‌کند؛ چالش‌هایی که محیط زیست قادر به پاسخگویی آن‌ها نیست.

## نهاد‌های متولی

انتقال منابع آبی از یک نقطه به نقطه دیگر، تعادل اکوسیستم را برهم می‌زند؛ زیرا آب در ماتریس پیچیده خود، متشکل از ترکیبات آلی و معدنی است که با حوضه مبدأ سازگاری یافته است. انتقال آب (برای مثال از جنوب به شمال کشور) با این پیش‌فرض انجام می‌شود که پس از تصفیه و شیرین‌سازی در مقصد مصرف گردد؛ اما پساب حاصل از آن وارد چرخه‌ای می‌شود که ظرفیت آبی مقصد با آن سازگاری ندارد. در ایران نگاه اکوسیستمی در مدیریت کلان حاکم نیست و نهاد‌های محیط‌زیستی بیشتر کارکردی تشریفاتی یافته‌اند. رویکرد جری‌م‌محور عملاً کارایی نداشته و ضعف اقتدار نهاد حاکمیتی متولی محیط‌زیست نیز به این بحران دامن زده است.

## هزینه‌های پنهان آب ژرف و عواقب مدیریتی

در استان‌های یزد و سیستان، جستجو برای آب ژرف که حاوی ترکیبات نفتی است، هزینه‌های تصفیه و قابل شرب‌سازی آن را به پرسشی جدی بدل می‌کند. مدیرانی که با چنین ذهنیتی تصمیم‌گیری می‌کنند، دچار خطا در رویکرد مدیریتی در حوزه منابع آب شده‌اند. این رویکرد، با قهر محیط‌زیست مواجه خواهد شد؛ پدیده‌هایی چون سیلاب‌های ناگهانی که در دهه‌های گذشته در ایران کمتر شاهد آن بودیم، نتیجه واکنش شدید محیط‌زیست به این سوءمدیریت است. طبیعت با مدیران نارکارآمد وارد بحث نمی‌شود، بلکه با تحمیل خساراتی چند برابر هزینه‌های پیشگیرانه، آنان را تنبیه می‌کند.

نیست و الزاماً نباید همه‌جا سبز باشد، منجر به هدررفت منابع آبی می‌شود. مدیران، با این الگوی مصرف، آینده نسل‌های آتی را به مخاطره می‌اندازند.

## گذار از خودکفایی کشاورزی به خودکفایی دانشی: راهبرد نوین ایران در پرتو تجربیات جهانی و ظرفیت دانش‌بنیان

کشورهای اروپایی تولید چشمگیری ندارند؛ آن‌ها دانش فنی می‌فروشند. بنابراین، ما نیز اگر خودکفایی را از کشاورزی به حوزه دانشی منتقل کنیم، و سازمان‌های جهاد کشاورزی که به جای کار جهادی، لختی‌سازی انجام می‌دهند و تولید ناکارآمد دارند را متحول سازیم، شاهد نتایج بهتری خواهیم بود. در اروپا، پروژه‌ای با ارزش یک میلیون دلار تعریف می‌شود که نیازهای بزرگی را برطرف می‌کند، در حالی که در ایران، میزان حقوق کارکنان دولت و کار جهادی وزارت جهاد کشاورزی جای سوال دارد. تعداد شرکت‌های دانش‌بنیانی که با پنج نفر برای تغییر ژنتیکی بذر تلاش می‌کنند، اندک است. این تفاوت، بین کار ارزشمند و کار منجر به ناکارآمدی و بحران است. تحریم‌ها بهانه است؛ می‌توان دانش فنی را به کشورهای آسیای شرقی، چین، روسیه و غیره صادر کرد. کانال فروش برای انتقال دانش فنی وجود دارد، اما ما این کار را نمی‌کنیم و متأسفانه وابستگی نمی‌سازیم.

در نیروگاه مشهد، هنوز از دانش فنی اروپا استفاده می‌شود. باید به شرکت‌های دانش‌بنیان اجازه فعالیت داد. ریگان به این نتیجه رسیده بود که دولت مانع اقتصاد و توسعه است. اگر بپذیریم که در پوشش دولت به تولید ناکارآمد دست زده‌ایم و پیامد آن سرخورده‌گی است، باید دانست که دولت درکی از فعالیت اقتصادی دانش‌پایه ندارد. خودکفایی باید وارد این فاز شود. نباید به افراد تنبل اعتبار بی‌مورد داد. بهره‌وری شرکت‌ها و سازمان‌های دولتی در خارج از کشور اگر کافی نباشد، تعطیل می‌شوند. در ایران،

**نگاه ما به خدمات زیست‌محیطی، نگاهی قرض‌دانی است. اگر فاضلاب را تصفیه می‌کنیم، باید آن را به منابع آب زیرزمینی تزریق کنیم یا برای مصارف کشاورزی به کار ببریم، نه صرفاً برای آبیاری فضای سبز**

آمادگی برای خرید آن وجود داشت، اما در داخل کشور پذیرفته نشد. این وضعیت نشان‌دهنده فقر علمی و فرهنگی برخی مدیران و ناتوانی آنان در پذیرش موفقیت بخش خصوصی است. با وجود این شرایط، همچنان افراد توانمند و متعهدی در ایران فعالیت می‌کنند که موفق به توسعه سنسورهای متعدد در حوزه پایش آلودگی‌های معدنی و آلی شده‌اند؛ حوزه‌هایی که به تجهیزات گران‌قیمت و پیشرفته نیاز دارند. در اروپا، شرکت‌ها این تجهیزات را به صورت پرتابل طراحی می‌کنند و در مناطق مورد نیاز مستقر می‌سازند. نمونه‌هایی از آلودگی‌های زمین‌شناسی مانند وجود آرسنیک در مناطق میامی و سمنان، یا انواع تخریب‌های انسانی در اکوسیستم‌ها، نیازمند پایش مستمر هستند. شرکت‌ها باید مسئولیت پایش این آلودگی‌ها را بر عهده بگیرند و اطلاعات آن را به صورت شفاف و آنلاین در اختیار مردم قرار دهند. اجرای چنین رویکردی نیازمند جرأت و جسارت مدیریتی است، در حالی که بسیاری از مدیران کنونی حتی درک دقیقی از مفهوم آلودگی‌های نوظهور و ابعاد آن ندارند. در این شرایط، وزارت نیرو مسئولیت پیشگیری را درک نکرده و در نتیجه وزارت بهداشت ناچار است هزینه‌های ناشی از این پیشگیری‌نشدن را در قالب درمان و تحمل پیامدهای اجتماعی آن پرداخت کند.

## خدمات زیست‌محیطی، بدهی پایدار و الگوی مصرف

نگاه ما به خدمات زیست‌محیطی، نگاهی قرض‌دانی است. اگر فاضلاب را تصفیه می‌کنیم، باید آن را به منابع آب زیرزمینی تزریق کنیم یا برای مصارف کشاورزی به کار ببریم، نه صرفاً برای آبیاری فضای سبز. این نگاه در مشهد، که اروپا

### حکمرانی محیط‌زیستی در ایران می‌تواند در بازه‌ای شش‌ماهه محقق شود، مشروط بر آنکه با رویکردی قاطع، مخالفان محیط‌زیست به صورت ضربتی از مسئولیت کنار گذاشته شوند.

اگر منابع به جای ائتلاف در مسیرهای غیرکارآمد، به پروژه‌های دانش‌بنیان اختصاص یابد و این فرایند به صورت شفاف انجام شود، اعتماد عمومی نیز تقویت خواهد شد. صداقت با مردم ارزش بالایی دارد و همان‌گونه که در حدیث نبوی آمده است: النجاة فی الصدق.

تا زمانی که آب با فشار بالا از دوش و شیر حمام جریان دارد، مسئله کم‌آبی همچنان پابرجا خواهد بود، زیرا منافع برخی شرکت‌ها و افراد از محل افزایش مصرف تأمین می‌شود. در صورت ایجاد شفافیت و حساس شدن جامعه نسبت به کیفیت آب، مطالبه عمومی شکل خواهد گرفت. اگر حساسیت مردم نسبت به کیفیت آب به اندازه برخی شاخص‌های اقتصادی افزایش یابد، مدیران ناکارآمد ناگزیر خواهند شد به جای رجوع به شرکت‌هایی مانند WTW آلمان، به سراغ جوانان توانمند ایرانی بروند و از آنان برای تولید دانش فنی کمک بگیرند. از این منظر، تحریم در حوزه فناوری می‌تواند به عنوان فرصتی تلقی شود، به شرط آنکه نوع و جنس مدیریت نیز دچار تغییر شود.

### حکمرانی محیط‌زیستی در ایران: ضرورت قاطعیت، شفافیت و گذار از مدیریت سنتی به نوآوری دانش‌بنیان

استقرار حکمرانی محیط‌زیستی در کشور می‌تواند در بازه‌ای شش‌ماهه محقق شود، مشروط بر آنکه با رویکردی قاطع، مخالفان محیط‌زیست به صورت ضربتی از مسئولیت کنار گذاشته شوند؛ رویکردی که از حیث قاطعیت با شیوه قاضی خلخالی در برخورد با تخلفات مقایسه می‌شود. ایران در عرصه محیط‌زیستی و اکوسیستمی با روندی نگران‌کننده مواجه است و به تدریج ظرفیت زیست‌پذیری خود را از دست می‌دهد. در این میان، عملکرد برخی مدیران به گونه‌ای بوده که آثار و پیامدهای آن بسیار فراتر از حوزه مسئولیت آنان و در حکم خسارت به کشور ارزیابی می‌شود. در حوزه پایش و حفاظت از منابع آب

دست به بودجه نهادهای ناکارآمد نمی‌توان زد. این نهادها باید مجبور به کار اقتصادی شوند تا پیشرفت کنند. کشف فراسرزمینی باید توسعه یابد؛ کندی این مسئله ناشی از ناکارآمدی ساختار دولتی است.

مدل‌سازی یکپارچه منابع آب: فراتر از فیزیک، به سوی هوش مصنوعی و واقعیت اجتماعی مدل‌سازی منابع آب دارای ابعاد مختلفی است. رویکرد کلاسیک و سنتی که در شرکت‌های آب منطقه‌ای و مشاوران رواج دارد، مبتنی بر شبیه‌سازی فیزیکی جریان آب زیرزمینی است. اما راهکار مؤثر برای چالش‌های ایران، فراتر از مدل‌سازی صرفاً فیزیکی است. با تغییر ساختار مدل‌ها و ادغام اطلاعات اجتماعی، اقتصادی، فنی و سایر عوامل، و به کارگیری هوش مصنوعی و یادگیری ماشین برای طبقه‌بندی (Classification) و کمی‌سازی (Quantify) الگوهای مصرف، می‌توان مدل‌هایی بسیار دقیق‌تر و مبتنی بر واقعیت طراحی کرد. این مدل‌ها می‌توانند ورودی‌هایی همچون جنس خاک، هیدرولیک جریان، الگوهای اجتماعی، نوع مصرف، میزان نارضایتی و نوع کشاورزی را در بر گیرند و با تحلیل سری‌های زمانی (Time Series Analysis)، مبنای تصمیم‌گیری‌های درست قرار گیرند. اصلاح ساختار مدیریتی؛ پیش‌نیاز تحقق خودکفایی فناورانه و عبور از بحران آب در ایران برای ایجاد شبکه سنسوری، دانش فنی و تجهیزات لازم در کشور وجود دارد و مسئله تحریم در این حوزه تعیین‌کننده نیست. آنچه مانع اصلی به شمار می‌آید، حضور مدیرانی است که مانع درک و اجرای این ظرفیت‌ها می‌شوند. کنار گذاشتن چنین مدیرانی و فراهم کردن میدان فعالیت برای شرکت‌های دانش‌بنیان می‌تواند به ارتقای سلامت عمومی کمک کند.

ندارند. خانه هم‌افزایی باید به‌عنوان مغز مرکزی اقدامات حاکمیتی قهری عمل کند و دیدگاه‌های حق و متفاوت را با فضای موجود مطرح سازد. در حوزه مجازات‌ها، صرف حرف کافی نیست؛ باید با همکاری داخل و خارج، قانون‌گذاری سبز صورت گیرد. ابرقدرت‌های اقتصادی که جرایم زیست‌محیطی مرتکب می‌شوند، باید مجبور به سرمایه‌گذاری در اقدامات زیرساختی شوند. سازمان محیط‌زیست نیز نیازمند تحول اساسی است.

### ضرورت گذار به حکمرانی زیست‌محیطی و برخورد قاطع با تخلفات

حساسیت نسبت به آلودگی‌ها در کشور با استانداردهای جهانی فاصله معناداری دارد. برای برون‌رفت از این وضعیت، نیازمند اعمال اقتدار و سخت‌گیری زیست‌محیطی هستیم؛ به‌گونه‌ای که جرائم این حوزه با همان حساسیت و قاطعیت برخورد با مفاسد اقتصادی پیگیری شوند. ما در حال حاضر فاقد یک ساختار منسجم تحت عنوان حکمرانی زیست‌محیطی هستیم و غلبه نگاه اقتصادی بر عوامل مؤثر بر زیست‌پذیری به‌وضوح مشهود است؛ این رویه باید به‌سرعت اصلاح شود.

### نابودی ایران از مسیر اکوسیستم؛ خط نفوذ

اگر قرار است ایران نابود شود، این مسیر از طریق تخریب اکوسیستم و ظرفیت زیست‌پذیری آن خواهد بود. این روند، نوعی خط تخریب نفوذ محسوب می‌شود. بنابراین، باید تمامی کمک‌ها به خانه هم‌افزایی برای پیشبرد اهداف علمی صورت گیرد. سیاست‌گذاری باید سبز باشد و این مسیر باید توسط خانه هم‌افزایی انرژی و آب پیگیری شود. امید است شاهد برگزاری دادگاه‌های محیط‌زیستی با محوریت اندیشه‌های جاری در خانه هم‌افزایی باشیم.

زیرزمینی، یکی از مهم‌ترین اصول در اروپا شفافیت است. مفهوم شفافیت به این معناست که نتایج پایش‌ها به مطالبه‌ای عمومی برای مردم تبدیل شود. در ایران همواره نگرانی از بیان برخی واقعیت‌ها وجود داشته است؛ برای مثال، اعلام وجود فلزات سنگین و نیترات در آب مشهد گاه به دلیل ملاحظات امنیت عمومی مطرح نمی‌شود. با این حال، اگر هدف دستیابی به پایش دقیق باشد، ایجاد شبکه سنسوری ضروری است؛ شبکه‌ای که دانش فنی آن در ایران وجود دارد و می‌تواند در حوزه فلزات سنگین عملکردی دقیق ارائه دهد. مسئله اصلی، نبود ارتباط مؤثر میان بخش دولتی و بخش خصوصی دانش‌بنیان است و در این میان، دولت نیز به‌عنوان مانع عمل کرده است.

### شفافیت اطلاعات، اقتدار حاکمیتی و قانون‌گذاری سبز

داده‌های در اختیار دستگاه‌های امنیتی، بالادستی و مجلس، که نگرانی‌هایی درباره محرمانگی آن‌ها وجود دارد، باید در اختیار شرکت‌های مشاور قرار گیرد تا مدلسازی بی‌نقص امکان‌پذیر شود. برای تحول در کشور، نیاز به مقامی با قدرت حاکمیتی بالا و نگاهی ویژه به مسائل محیط‌زیست است که به‌عنوان فرمانده محیط‌زیست ایران عمل کند. ایران برای تبدیل شدن به کشوری حساس به محیط‌زیست، نیازمند قاطعیت بی‌قید و شرط است.

### خانه هم‌افزایی؛ مغز متفکر اقدامات حاکمیتی

به نظر من لازم است ارتباط منسجمی میان خانه هم‌افزایی و قوه قضائیه برقرار شود. قوه قضائیه، برخلاف دولت، مجالی برای زیاده‌گویی ندارد و مقامات بالای دولتی در برخی موارد سخنان نامربوط و فاقد پشتوانه علمی (مانند آمایش سرزمین) تولید می‌کنند. دانشگاه‌ها نیز که وابسته به درآمدهای نفتی هستند، توان فعالیت مؤثر را

## فرونشست؛ از پازل اقتصادی و فروپاشی مسئولیت اجتماعی تا ضرورت شهر ترمیمی

در ادامه‌ی مصاحبه پیشین با مدیرعامل شرکت TULTECH، مدیر آزمایشگاه توسعه پایدار و مدل‌سازی‌های زیست‌محیطی دانشگاه فنی لیبرتس و دبیر اسبق کمیته آب و محیط‌زیست خانه هم‌افزایی انرژی و آب، مسئله فرونشست همچنان در چارچوب یک منشور چندلایه و حاصل برهم‌کنش اقتصاد، حکمرانی و الگوهای توسعه تفسیر می‌شود. تأکید او بر این نکته بود که تقلیل بحران به ترک فعل یا برخوردهای انتهایی زنجیره، در واقع نادیده‌گرفتن ریشه‌های ساختاری است؛ همان جایی که سیاست‌های تجاری‌سازی اراضی، استقرارهای بی‌ضابطه و ضعف حکمرانی آب، مسئله را از سطح فنی به سطحی اجتماعی-سیستمی ارتقا داده‌اند.

با این حال، در امتداد همین تحلیل، مسئله به لایه‌ای پیچیده‌تر وارد می‌شود؛ جایی که فرونشست نه صرفاً یک واقعیت فنی، بلکه یک بحران ادراک اجتماعی تلقی می‌شود. اینجا نقطه‌ای است که در مصاحبه بعدی با دبیر شهر ترمیمی شهرداری مشهد، دبیر هیئت اندیشه‌ورز سمن‌های همکار قوه قضائیه و پژوهشگر ارشد حقوق کیفری و جرم‌شناسی، بحث از سطح تحلیل فنی به سطح مسئله‌سازی اجتماعی، تنظیم‌گری پاسخگو و شهر ترمیمی منتقل می‌شود؛ جایی که تأکید اصلی بر این است که بحران زمانی قابل حل است که اساساً به‌عنوان مسئله‌ای عمومی و مشترک درک شود، نه صرفاً پرونده‌ای تخصصی در نهادهای اجرایی. در این چارچوب، مصاحبه پیش‌رو بر سه محور کلیدی متمرکز می‌شود: نخست، گذار از مقصرسازی انتهای زنجیره به سمت طراحی سازوکارهای حل مسئله در ابتدای زنجیره حکمرانی؛ دوم، نقش سمن تراز به‌عنوان نهاد واسط میان جامعه و دولت در کاهش اصطکاک حکمرانی؛ و سوم، مفهوم شهر ترمیمی به‌عنوان الگویی که در آن شهروند ناگزیر به تخلف نباشد و قواعد شهری به‌جای تولید جرم، امکان زیست مسئولانه را فراهم کنند. در این خوانش، فرونشست دیگر صرفاً یک داده زمین‌شناختی نیست، بلکه نشانه‌ای از کیفیت حکمرانی، میزان مسئول‌سازی اجتماعی و ظرفیت بازسازی سرمایه اجتماعی در ساختار شهری تلقی می‌شود. مسئله این است که فرونشست در مقاله‌ها هست، اما در جامعه مسئله نیست؛ بدون سمن تراز و گذر از تورم قوانین، این منشور چندضلعی تنها مقصرسازی انتهای زنجیره حل نمی‌شود.



جعفر سروی

دبیر شهر ترمیمی شهرداری مشهد، دبیر هیئت اندیشه‌ورز  
سمن‌های همکار قوه قضائیه



## فرونشست، بحرانی فراتر از ترک فعل؛ از پازل اقتصادی و فروپاشی مسئولیت اجتماعی تا ضرورت شهر ترمیمی

مصاحبه

### وقتی ترک فعل کافی نیست؛ فرونشست محصول یک پازل اجتماعی و اقتصادی است

نگاه به حقوق به‌عنوان یک امر صرفاً روبنایی، یکی از مشکلاتی است که امروز با آن مواجه هستیم و متأسفانه دامنگیر بسیاری از حوزه‌ها شده است. در عمل، به عبارات و مفاهیم حقوقی با رویکردی روبنایی پرداخته می‌شود. مفهوم ترک فعل یک تأسیس حقوقی است و در ماده ۲ قانون مجازات اسلامی نیز به آن اشاره شده است؛ به این معنا که هر فردی با فعل یا ترک فعل خود می‌تواند مرتکب جرم شود. با این حال، باید توجه داشت که انتزاع یک موضوع از بسترهای واقعی وقوع آن و انتقال مستقیم آن به حوزه‌های حقوقی و قضایی، لزوماً به حل مسئله کمک نمی‌کند.

اگر بخواهیم بررسی کنیم که ترک فعل تا چه اندازه می‌تواند در موضوع فرونشست مؤثر باشد، باید در نظر داشت که این مفهوم در اینجا صرفاً حقوقی نیست، بلکه ماهیتی اجتماعی نیز دارد. بنابراین تفسیر آن باید در متن و بستر وقوع خود انجام شود. در موضوع فرونشست به‌طور خاص، و در سایر مسائل مشابه به‌طور عام، ما با زمینه‌هایی مواجه هستیم که نقش تعیین‌کننده

مشاهده فیلم کامل مصاحبه

تورم مقررات، نگاه روبنایی به حقوق و بسنده کردن به ترک فعل در انتهای زنجیره، در کنار تجاری‌سازی مداخلات و خلأ سمن‌های تخصصی، بی‌تردید در گره‌گشایی از درک بحران فرونشست مهم‌اند؛ اما آنچه در این گفت‌وگو از اهمیت بالاتری برخوردار است، نخست، تأکید بر تبدیل فرونشست از یک موضوع فنی و منازعه سیاسی/رسانه‌ای به مسئله اجتماعی در قالب شهر و حکمرانی ترمیمی و مسئول‌سازی شهروندان، و دوم، نقش سمن تراز و تنظیم‌گری چندلایه و پاسخگو در عبور از مقصرسازی انتهای زنجیره به سمت حل مسئله در ابتدای آن است. در ادامه، برای تحلیل چندمحور این منظومه، از ترک فعل و بحران تبعیت تا مسئله‌سازی اجتماعی، تنظیم‌گری پاسخگو، شهر ترمیمی، سمن تراز و حکمرانی با فاصله، با دکتر جعفر سروی دبیر شهر ترمیمی شهرداری مشهد، دبیر هیئت اندیشه‌ورز سمن‌های همکار قوه قضائیه و پژوهشگر ارشد حوزه حقوق کیفری و جرم‌شناسی گفت‌وگو داشتیم.

**تصور من این نیست که فرونشست برای افرادی که امروز متولی مداخله در آن هستند، به معنای واقعی یک مسئله باشد. پیش از هر چیز، ما در مرحله مسئله‌سازی با اختلاف روبه‌رو هستیم.**

برخورد و مجازات قرار گیرد. به نظر من، مشکل اصلی که همچنان نیز ادامه دارد همین نگاه است. گویی تصور می‌شود اگر مقصر شناسایی و مجازات شود، مسئله فرونشست حل خواهد شد. اگر فرض بر این باشد که صرف استفاده از مفهوم ترک فعل می‌تواند فشار مؤثری بر مدیران وارد کند، باید گفت چنین اتفاقی در سی یا چهل سال گذشته رخ نداده است. نه تنها در این حوزه، بلکه در حوزه‌های متعدد دیگر نیز با وجود قوانین سخت‌گیرانه‌تر، چنین رویکردی به حل مسئله منجر نشده است. به همین دلیل، در مواجهه با ترک فعل باید به بستر وقوع آن توجه کرد.

به نظر من یکی از دلایل ناکارآمدی بسیاری از سازوکارهایی که برای مداخله طراحی می‌شوند این است که به جای توجه به ابتدای زنجیره و منشأ مسئله، به انتهای زنجیره توجه می‌کنند. در نتیجه تمرکز بر این قرار می‌گیرد که مثلاً اداره آب چه کرده یا فلان دستگاه چه اقدامی انجام داده است. این نگاه در عمل نوعی تسلسل ایجاد می‌کند که به حل مسئله نمی‌انجامد. در نهایت باید تأکید کرد که ترک فعل ماهیتی حقوقی دارد، اما تعریف و تحلیل آن باید در بستر واقعی خود صورت گیرد و اقتضائات زمانی و زمینه‌های شکل‌گیری مسئله نیز در آن لحاظ شود. این جمع‌بندی بنده در این زمینه است.

### **وقتی فرونشست در مقاله‌ها هست، اما در جامعه مسئله نیست**

مسئله اصلی، مسئله‌سازی است. تصور من این نیست که فرونشست برای افرادی که امروز متولی مداخله در آن هستند، به معنای واقعی یک مسئله باشد. در بسیاری از حوزه‌ها نیز همین وضعیت وجود دارد. پیش از هر چیز، ما در مرحله مسئله‌سازی با اختلاف و فقدان اجماع روبه‌رو هستیم؛ یعنی حتی روشن نیست که آیا این موضوع اساساً یک مسئله هست یا نه. اگر هم مسئله باشد، این پرسش مطرح است که آیا مسئله‌ای اجتماعی محسوب می‌شود یا

دارند. تمرکز صرف بر عوامل روبنایی و اینکه گفته شود چه کسی چه کرده یا نکرده است، حتی اگر به برخوردهایی منجر شود، لزوماً مسئله را حل نمی‌کند. حتی اگر قرار باشد از منظر ترک فعل به موضوع پرداخته شود، این کار باید با رویکرد حل مسئله و با توجه به بستر و زمینه واقعی آن صورت گیرد.

به نظر من در حوزه فرونشست، یکی از عوامل اصلی بروز این وضعیت، تجاری‌سازی مداخلات بوده است. تا جایی که اطلاع دارم - و البته آمار دقیق‌تر در اختیار شماست - بخش عمده‌ای از فرونشست در مشهد، به‌ویژه در غرب این شهر شکل گرفته است، هرچند کل شهر از آثار آن متأثر شده است. یکی از دلایل مهم این وضعیت، استقرار نهادهای تجاری و تولیدی در آن مناطق بوده است. رویکردی که به این استقرار انجامیده، رویکرد تجاری‌سازی و استفاده اقتصادی از مداخلات بوده که تحت تأثیر افزایش راندمان، کارایی، ایجاد اشتغال و موضوعات مشابه شکل گرفته است. در مجموع، اگر این عوامل را کنار هم قرار دهیم، با یک پازل چندوجهی یا به تعبیری منشوری کثیرالاجزا مواجه می‌شویم که از هر زاویه، تصویر متفاوتی از مسئله ارائه می‌دهد و فرونشست نیز در همین چارچوب قابل تحلیل است.

### **فرونشست مسئله‌ای است که با مقصرسازی انتهای زنجیره حل نمی‌شود**

عامل دومی که در بحث ترک فعل اهمیت دارد، این است که ما بیش از آنکه به حل مسئله فرونشست توجه کنیم، به دنبال تعیین مسئول و مقصر بوده‌ایم؛ اینکه چه کسی مسئول است، چه کسی مقصر است و چه کسی باید مورد

## سمن‌ها و فرونشست؛ مطالبه‌گری بدون تخصص راه به جایی نمی‌برد

در مورد سمن‌ها نیز مشکل اصلی این است که بسیاری از آن‌ها به تخصص جدی نیاز دارند. من وارد جزئیات این بحث نمی‌شوم، اما به‌طور کلی، بسیاری از کسانی که درباره فرونشست سخن می‌گویند، یا دانش کافی ندارند یا دست‌کم از نظر فنی و تکنیکی در سطحی نیستند که بتوانند دقیق درباره این موضوع اظهار نظر کنند. حتی در میان افراد مطرحی که امروز در این حوزه صحبت می‌کنند، بسیاری از آن‌ها به‌صورت جدی از فرونشست و ابعاد فنی آن اطلاع کافی ندارند. مطالبه‌گری، صرفاً یک فن نیست؛ مطالبه‌گری یک مهارت است و باید درست انجام شود. در حقوق اسلامی، این مفهوم با عنوان امر به معروف و نهی از منکر شناخته می‌شود، چه در رویکرد عمومی و چه در رویکرد حکومتی. در واقع، یکی از پایه‌های آن این است که فرد بداند چگونه باید سؤال بپرسد و چگونه باید مطالبه کند. یکی از مراتب امر به معروف این است که خود فرد به قبح فعل و رفتار مورد نظر اشراف داشته باشد و بداند آنچه رخ داده، واقعاً منکر بوده است. از این‌رو، در حوزه فرونشست، مطالبه‌گری سمن‌ها باید بر پایه اطلاعات، داده‌های جامعه و همراهی با افراد متخصص این حوزه باشد. این کار باید بدون هوچی‌گری انجام شود. برخی افراد در این حوزه از فشار رسانه‌ای و فضا سازی استفاده می‌کنند، اما این روش کمکی به مردم نمی‌کند. در مقابل، سمن‌ها می‌توانند به‌عنوان نهادهای واسطه، از بهترین ظرفیت‌ها برای پیگیری مؤثر باشند، به شرط آنکه مبتنی بر دانش، داده و رویکرد دقیق عمل کنند.

## فرونشست یک منشور چندضلعی است که تنظیم‌گری آن باید چندلایه باشد

به بیان دیگر، اگر مطالبه‌گری سمن‌ها بر دانش و داده استوار نباشد، عملاً به‌جای تقویت سیاست‌گذاری، فرآیند تنظیم‌گری را دچار اختلال

ممکن است از نظر فنی درباره فرونشست ده‌ها مقاله داشته باشید و حدود و ثغور فنی آن را مشخص کنید، اما از نظر اجتماعی حتی یک مقاله هم پیدا نکنید که فرونشست را به‌عنوان یک مسئله اجتماعی صورت‌بندی کرده باشد.

نه. مسئله اجتماعی، موضوعی است که روند طبیعی ادامه مسیر را دچار اختلال می‌کند؛ اما اینکه فرونشست در عمل چنین دیده می‌شود یا نه، طبیعتاً محل تردید است.

در این حوزه با دو نوع نگاه مواجهیم: یک نگاه تکنوکراتیک و تخصصی که می‌گوید مثلاً درصد فرونشست زمین کاهش یافته یا افزایش پیدا کرده است، و یک نگاه عمومی که از زاویه دیگری به موضوع می‌نگرد. در رویکردهای پست‌مدرن، مداخله در مسائل اجتماعی وظیفه همه تلقی می‌شود و دیگر این‌طور نیست که فقط متخصص مسئول باشد. حتی جامعه‌شناس هم در این معنا، صرفاً متخصص بسته و جدا از جامعه نیست. جهان نیز از حدود ۱۹۷۰ به این‌سو به سمت عمومی‌سازی مداخله‌ها و عمومی‌سازی حل مسئله حرکت کرده است. در چنین فضایی، نخستین کار این است که فرایند مسئله‌سازی و سپس حل مسئله تقویت شود. شما ممکن است از نظر فنی درباره فرونشست ده‌ها مقاله داشته باشید و حدود و ثغور فنی آن را مشخص کنید، اما از نظر اجتماعی حتی یک مقاله هم پیدا نکنید که فرونشست را به‌عنوان یک مسئله اجتماعی صورت‌بندی کرده باشد.

واقعیت این است که موضوعاتی از این دست، بیش از آنکه صرفاً فنی باشند، مسئله فرهنگی‌اند. متأسفانه ما در ایران فرهنگ را تا حدی به سخره گرفته‌ایم و به برگزاری برنامه‌های نمایشی و ظاهری که نامش را فعالیت فرهنگی گذاشته‌ایم، بسنده کرده‌ایم. فرهنگ باید ابتدا مسئله بسازد، اما این کار با کنفرانس، میتینگ و برنامه‌های شکلی انجام نمی‌شود. باید به یک جمع‌بندی عمومی در میان مردم برسیم که در این حوزه باید کار کرد و به آن پرداخت.

اینکه صرفاً با فشار بر انتهای زنجیره و مطالبه‌گری بدون پشتوانه، تصور کنیم تنظیم‌گری در حال وقوع است. در حوزه سمن‌ها، وضعیت به همین ترتیب است. تنظیم‌گری در این بخش نه تنها مخرب نیست، بلکه سازنده است؛ مشروط بر آنکه روش اجرای آن دقیق باشد. در حال حاضر، بسیاری از سمن‌های ثبت‌شده (حدود ۸۰ تا ۹۰ درصد) در حوزه‌های خیریه فعالیت می‌کنند و در حوزه تخصصی آب و محیط‌زیست، با کمبود سمن‌های فعال و متخصص مواجه هستیم. اکثر این نهادها یا ثبت‌نشده‌اند و یا متشکل از یک یا دو نفر هستند که فاقد تخصص و سواد لازم برای تحلیل پدیده‌هایی نظیر فرونشست‌اند.

### بدون سمن تراز و نظارت اثربخش، کنشگری در فرونشست به هیاهو تقلیل می‌یابد

برای اثربخشی کنشگری، ما نیازمند سمن تراز هستیم؛ نهادی که بر اساس استانداردهای مشخص (تعداد نفرات، پایگاه اجتماعی و تخصص فنی) شکل گرفته باشد. مطالبه‌گری صرف با رویکرد هوچی‌گری و برخوردهای تهاجمی، نه تنها کمکی به حل مسئله نمی‌کند، بلکه مخرب است. کنشگری در این حوزه باید در جایگاه یک فن استفاده شود؛ یعنی فرد باید با اشراف بر قبح فعل و بر اساس اطلاعات دقیق و جامعه‌شناختی، و با همراهی متخصصان امر وارد میدان شود. بدون افزایش سواد فنی و تخصصی، و بدون رعایت استانداردهای نهادی، مطالبه‌گری به یک رفتار غیرحرفه‌ای تقلیل می‌یابد که راهگشا نخواهد بود.

در حوزه کنشگری آب و فرونشست، ما با خلأ مطلق نظارت از سوی نهادهای رسمی نظیر استانداری مواجه هستیم. نظارت، لزوماً به معنای برخوردهای اداری یا بازخواست‌های تنبیهی نیست؛ بلکه در نظام‌های پیشرو تنظیم‌گری، نظارت به معنای ارزیابی اثربخشی فرایندها و عملکرد کنشگران است. متأسفانه در حال حاضر، تعامل دستگاه‌ها با سازمان‌های مردم‌نهاد (سمن‌ها) به جلسات

**در حوزه کنشگری آب و فرونشست، ما با خلأ مطلق نظارت از سوی نهادهای رسمی نظیر استانداری مواجه هستیم. در نظام‌های پیشرو تنظیم‌گری، نظارت به معنای ارزیابی اثربخشی فرایندها و عملکرد کنشگران است.**

می‌کند. ما با مسئله‌ای مواجهیم که تنها با فریاد و فشار رسانه‌ای قابل مدیریت نیست، بلکه نیازمند طراحی هوشمندانه قواعد، نهادها و ابزارهای مداخله است. از این نقطه است که بحث تنظیم‌گری وارد می‌شود؛ حوزه‌ای که در سطح جهان از چند نسل عبور کرده و امروز در قالب تنظیم‌گری پاسخگو شناخته می‌شود. در حوزه تنظیم‌گری، جهان امروز از ۵ نسل عبور کرده است و اکنون در نسل پنجم، یعنی تنظیم‌گری پاسخگو قرار داریم. این علم که از حقوق و اقتصاد آغاز شد، اکنون تمامی حوزه‌های اجتماعی و روانی را دربر گرفته است. مسئله فرونشست، یک امر بسیط و تک‌بعدی نیست، بلکه با منشوری کثیرالاضلاع مواجه هستیم؛ بنابراین، هرگونه مداخله و تنظیم‌گری در این حوزه، باید متناسب با پیچیدگی‌های این منشور پیش برود. گاهی در فرآیند تنظیم‌گری، لازم است به جای برخوردهای سلبی، از ابزارهایی مانند رسمی‌سازی و پذیرش وضعیت موجود بهره برد تا بتوان تبعات منفی را مدیریت کرد. به عنوان نمونه در غرب مشهد، شاهد ساخت‌وسازهای غیرمجاز و ویلاسازی‌هایی هستیم که از دهه‌های گذشته آغاز شده‌اند. در مواجهه با این پدیده، ما نه توان حاکمیتی لازم برای قلع و قمع گسترده بناها را داریم و نه در صورت اقدام، نتیجه‌بخش خواهد بود. در چنین وضعیتی، تنظیم‌گری هوشمندانه می‌تواند به جای تخریب، به رسمی‌سازی روی آورد؛ یعنی ضمن پذیرش وضعیت موجود، الزامات جدیدی (مانند مدیریت منابع آبی خارج از محدوده) برای استمرار فعالیت‌ها وضع کند. تنظیم‌گری واقعی زمانی محقق می‌شود که تمام نسل‌های پنج‌گانه، از مقررات‌گذاری سنتی تا تنظیم‌گری پاسخگو، به صورت زنجیره‌ای اعمال شوند؛ نه

از مجرای قانون، بلکه از مسئول‌سازی شهروندان می‌گذرد. در نظام حقوقی اسلامی، مفاهیمی چون کف‌نفس و تقوا بر ابعاد درونی و خودکنترلی فرد تأکید دارند. ما باید از مدل‌های پلیس‌محور و مقررات‌محور به سمت مدل‌های خودتنظیم‌گری حرکت کنیم. در حال حاضر، با رویکردهای اشتباه، شهروندانی پرتوقع و غیرمسئول ایجاد کرده‌ایم که بدون توجه به نقش فردی خود در بحران‌ها، صرفاً مطالبه‌گر بی‌قاعده هستند. مسئول‌سازی یعنی هر فرد (از مدیر تا شهروند عادی) خود را در قبال محیط‌زیست پاسخگو بداند.

انتظار حل بحران‌های کلان از سیستم‌های اداری و نهادهای رسمی (مانند استانداری یا قوه قضاییه) واقع‌بینانه نیست. این ساختارها، سرانی بزرگ و دستانی کوتاه دارند؛ یعنی درگیر بحران‌های روزمره و ساختاری خود هستند و توان تحول در مسائل کلان را ندارند. بهترین حالتی که می‌توان از دستگاه‌های دولتی انتظار داشت، این است که در مسیر فعالیت مردم چوب لای چرخ نگذارند و با وضع مقررات دست‌وپاشگیر، مانع حرکت نشوند. راه‌حل قطعی، سپردن امور به مردم است؛ همان‌طور که در تجربه‌های موفق تاریخی نشان داده‌اند که قادر به مدیریت بحران‌ها هستند. البته این امر تنها زمانی محقق می‌شود که فرونشست از نگاه مسئولان، به یک مسئله مشترک در نگاه عموم مردم تبدیل شود.

### گلوگاه فرونشست، کنشگری محیط‌زیستی و شهر ترمیمی شهروند ناگزیر به تخلف است

در مجموع، آنچه در بحث فرونشست و کنشگری محیط‌زیستی می‌بینیم، ترکیبی از تورم مقررات، ضعف مسئول‌سازی و ناتوانی در طراحی قواعد قابل اجرا برای شهروندان است. اگر می‌پذیریم که راه‌حل صرفاً از دل قانون‌گذاری و برخورد قضایی بیرون نمی‌آید، باید به این پرسش پاسخ دهیم که شهر چگونه می‌تواند به‌گونه‌ای تنظیم شود که شهروند عادی، بدون آنکه ناگزیر به تخلف باشد، امکان زیست مسئولانه پیدا کند؛ این

**مسیر اصلی حل بحران‌های محیط‌زیستی، نه از مجرای قانون، بلکه از مسئول‌سازی شهروندان می‌گذرد. ما باید از مدل‌های پلیس‌محور و مقررات‌محور به سمت مدل‌های خودتنظیم‌گری حرکت کنیم.**

تشریفات محدود شده است. برای اصلاح این رویه، ما نیازمند تعریف شاخص‌های کلیدی عملکرد هستیم. سمن‌ها باید در پایان دوره‌های زمانی مشخص، بر اساس شاخص‌های علمی و عملیاتی تعریف‌شده، ارزیابی شوند. یکی از این شاخص‌های ضروری، تخصص‌گرایی است؛ به این معنا که یک سمن فعال در حوزه آب، باید از حضور کارشناسان متخصص این حوزه بهره‌مند باشد. بدون استانداردسازی و تعریف سمن تراز، کنشگری به یک فعالیت بی‌هدف و فاقد خروجی بدل می‌شود.

### بحران‌های محیط‌زیستی با تورم قانون حل نمی‌شوند/ راه‌حل از مسئول‌سازی شهروندان می‌گذرد

این یک خطای راهبردی است که تصور کنیم راه‌حل تمام بحران‌های زیست‌محیطی در قانون‌گذاری نهفته است. ما در کشور از نظر کمیت قوانین در حوزه محیط‌زیست (مانند مدیریت پسماند) کمبودی نداریم؛ قوانین ما مملو از تئوری‌های پیشرفته جرم‌شناسی و آرمان‌گرایی حقوقی است، اما خروجی عملی آن‌ها ناچیز است. مشکل اصلی، تورم مقررات است. تراکم بیش‌ازحد قوانین نه تنها مشکلی را حل نمی‌کند، بلکه با پیچیده کردن فضا، دست مدیران را برای تفسیرهای سلیقه‌ای باز می‌گذارد و شهروندان را نیز کلافه می‌کند. در رویکردهای نوین حقوقی، امروز به جای وضع مقررات جدید، بر مقررات‌زدایی و کیف‌زدایی تأکید می‌شود؛ چرا که معتقدیم مسیر حل مسئله از قانون‌گذاری صرف نمی‌گذرد. مسیر اصلی حل بحران‌های محیط‌زیستی، نه

اجتماعی است. بنابراین باید عوامل زیربنایی آن شناسایی و بررسی شود. عنصر دوم، پذیرش نیازهای مشروع شهروندان است. بسیاری از مقرراتی که وضع می‌شود، نسبت به نیازهای مشروع شهروندان سختگیرانه است. در رویکرد شهر ترمیمی، به این نیازهای مشروع توجه می‌شود. اگر شهروند نیازی واقعی و مشروع دارد، نباید با مقررات‌گذاری آن نیاز را نادیده گرفت یا آن را لغو کرد. وقتی نیاز مردم به رسمیت شناخته نشود، مقررات می‌تواند آنان را در موقعیت تخلف و جرم قرار دهد. عنصر سوم در شهر ترمیمی این است که مسائل اجتماعی به‌صورت فردی و تک‌بعدی حل نمی‌شوند. همه باید در حل مسئله نقش داشته باشند؛ هرکس به سهم خود. در این میان، جامعه محلی، شهروندان و نهادهای واسط و عرضی باید حضور فعال داشته باشند. حل مسئله اجتماعی نیازمند مشارکت جمعی است و نمی‌توان آن را صرفاً با مداخله یک نهاد یا یک فرد پیش برد.

### دیگر نقره‌داغ کردن جواب نمی‌دهد/ نقش شهر ترمیمی در مسئول‌سازی شهروندان چیست؟

در شهر ترمیمی، اعتقاد بر این است که فرد متخلف یا مجرم باید مسئولیت بپذیرد. این مسئولیت‌پذیری، محور رویکرد ترمیمی است. در این زمینه، نظریه‌ای با عنوان شرمساری بازپذیرنده وجود دارد. بر اساس این نگاه، در مواردی مانند مصرف بیش از حد آب، حرکت به سمت سیاست‌های تنبیهی و نقره‌داغ کردن الزاماً پاسخگو نیست.

فرد باید نسبت به فعل خود شرم‌منده شود و از مسیر مواجهه با پیامدهای عملش، به جامعه بازگردد. در شرمساری بازپذیرنده، هدف این است که فرد از فعل خود شرم‌منده شود و امکان بازگشت پیدا کند.

در قرآن نیز آمده است: فمن يعمل مثقال ذرة خيراً يره و من يعمل مثقال ذرة شراً يره؛ یعنی

**شهر ترمیمی، شهری است که شهروندان بتوانند بدون نقض مقررات در آن زندگی کنند. اعتقاد بر این است که فرد متخلف یا مجرم باید مسئولیت بپذیرد. فرد باید نسبت به فعل خود شرم‌منده شود و از مسیر مواجهه با پیامدهای عملش، به جامعه بازگردد.**

همان جایی است که مفهوم شهر ترمیمی وارد بحث می‌شود. شهر ترمیمی، شهری است که شهروندان بتوانند بدون نقض مقررات در آن زندگی کنند. شاخص نخست چنین شهری این است که مقررات به‌گونه‌ای تنظیم شود که شهروند، بدون آنکه ناچار به تخلف شود، بتواند خانه بسازد، تردد کند یا خودروی خود را پارک کند. واقعیت این است که امروز در کشور ما، دست‌کم در شهری مانند مشهد، تقریباً امکان ندارد فردی خودرو خود را بیرون بیاورد، در مسیری به‌ویژه در مرکز شهر تردد کند و ناچار به تخلف نشود؛ از توقف غیرمجاز و پارک دوبله گرفته تا سایر تخلفات مشابه. در حوزه‌های دیگر نیز همین وضعیت وجود دارد و حوزه آب هم از این قاعده مستثنا نیست. در شهر ترمیمی، مقررات‌گذاری باید به‌گونه‌ای باشد که شهروندان وادار به ارتکاب جرم یا تخلف نشوند. اگر هم تخلفی رخ داد، باید نوع مواجهه با شهروندان به‌گونه‌ای باشد که آنان به‌سادگی در موقعیت مجرم قرار نگیرند.

واقعیت این است که طیف وسیعی از مقررات موجود، بخش بزرگی از مردم را عملاً مجرم کرده است. می‌توان چند قانون مشخص را نام برد که اکثریت مردم ایران در عمل خلاف آن رفتار می‌کنند و در نتیجه، از منظر آن قوانین، مجرم محسوب می‌شوند؛ مانند استفاده از وسایل ماهواره‌ای و برخی موارد مشابه. چنین وضعیتی قابل دوام نیست. در شهر ترمیمی، چند عنصر اساسی وجود دارد. نخستین عنصر، پرداختن به عوامل زیربنایی است.

امروز در جرم‌شناسی، جرم و تخلف صرفاً یک مسئله فنی تلقی نمی‌شود، بلکه یک مسئله

**سمن‌ها می‌توانند نقش تبادل معنا را میان مردم و حاکمیت بر عهده بگیرند و مطالبات شهروندان را به زبان قابل فهم برای دولت ترجمه کنند و از سوی دیگر، محدودیت‌های نهادهای حاکمیتی را نیز برای مردم توضیح دهند.**

انسان نتیجه عمل خیر و شر خود را خواهد دید. عدالت ترمیمی نیز بر همین معنا تأکید دارد. در این رویکرد، باید فرد را با آثار فعل زیان‌بارش روبه‌رو کرد تا ببیند عمل او چه پیامدهایی ایجاد کرده است. زیرا هدف، اثرگذاری بر وجدان فرد است. این اثرگذاری از خود فرایندها آغاز می‌شود و تلاش می‌کند فرد را نسبت به پیامدهای واقعی رفتار خود آگاه و مسئول کند.

شهر ترمیمی در این حوزه، پیش از هر چیز می‌تواند در زمینه قاعده‌سازی کمک کند. ما معتقدیم فرهنگ شهر ترمیمی، یا به تعبیر دقیق‌تر فرهنگ ترمیمی، هنوز به‌درستی شناخته نشده است. بنابراین یکی از ظرفیت‌های مهم این رویکرد، کمک به شکل‌گیری قواعد، هنجارها و ادبیات نظری و اجرایی در این حوزه است. در کنار این مسئله، شهر ترمیمی می‌تواند در حمایت از سازمان‌های مردم‌نهاد و ایجاد و تقویت سمن‌ها نیز نقش‌آفرین باشد. یکی از شاخص‌های مهم در این زمینه، عملکرد سمن‌هاست. ما نیز می‌توانیم در حمایت، پرورش و آموزش این نهادها مؤثر باشیم. من نیز در جایگاه مسئولیت مرتبط با سمن‌های دادگستری، حمایت از این نهادها، توانمندسازی، آموزش و پیگیری موضوعات مرتبط با آن‌ها را در دستور کار داریم و این مسیر در حال انجام است.

**حکمرانی بدون روان‌ساز؛ چرا بدون سمن‌های واسطه، فرونشست بیشتر منازعه می‌شود تا مسئله؟**

در بحث ظرفیت شورای راهبری سمن‌های قوه قضائیه نیز باید نگاه نهادی داشت. پرسش اصلی این است که چه نقش‌ها و ظرفیت‌هایی برای

مدیریت بحران فرونشست در این شورا دیده شده و چگونه می‌توان مشارکت سمن‌ها را در این زمینه جلب کرد. فلسفه تشکیل شورای راهبری سمن‌ها این بود که نهادی وجود داشته باشد که از جنس خود سمن‌ها و جامعه مدنی باشد؛ نهادی که بتواند میان ساختار رسمی و کنشگران اجتماعی نقش واسطه ایفا کند. این موضوع با رویکردی در دنیا پیوند دارد که از آن با عنوان حکمرانی با فاصله یاد می‌شود؛ رویکردی که ما در کشور از آن عقب مانده‌ایم. واقعیت این است که ما بیش از حد در زندگی و کنش‌های مردم مداخله می‌کنیم و حضور حاکمیت در عرصه‌های مختلف بسیار پررنگ است. در نتیجه، حاکمیت و شهروندان شبیه دو چرخ‌دنده شده‌اند که بدون روان‌ساز درگیر یکدیگرند. البته چرخ‌دنده دولت بزرگ‌تر است و در این درگیری، فشار بیشتری بر شهروند وارد می‌کند. در بسیاری از نظام‌های حکمرانی، تلاش می‌شود میان این دو چرخ‌دنده فاصله‌ای معنادار ایجاد شود و از نهادهای واسطه برای کاهش اصطکاک استفاده کنند. یکی از مهم‌ترین نهادهایی که می‌تواند این فاصله را پر کند، سمن‌ها هستند. سمن‌ها می‌توانند نقش تبادل معنا را میان مردم و حاکمیت بر عهده بگیرند.

استانداردهای دولتی معمولاً برای خود دولت قابل فهم است، اما آنچه شهروندان بیان می‌کنند، الزاماً برای دولت قابل ترجمه نیست. دولت، حتی اگر بخواهد، همیشه زبان مردم را به‌درستی نمی‌فهمد. سمن‌ها می‌توانند این فاصله معنایی را پر کنند؛ چون از جنس مردم‌اند، زبان آنان را بهتر می‌فهمند و می‌توانند مطالبات، نیازها و نگرانی‌های شهروندان را به زبان قابل فهم برای دولت ترجمه کنند. از سوی دیگر، سمن‌ها می‌توانند محدودیت‌ها، ملاحظات و معذوریت‌های نهادهای حاکمیتی را نیز برای مردم توضیح دهند. بنابراین، شورای راهبری سمن‌ها با این فلسفه شکل گرفته است که میان نظام رسمی، از جمله دستگاه قضایی، و جامعه مدنی

را تسهیل کند، صرفاً محدودش می‌کند، به دنبال دور زدن آن می‌رود. قانون خوب، قانونی است که عرف نیازهای واقعی را گذگذاری کند، نه اینکه با آن‌ها بجنگد. پیشنهاد می‌شود در حوزه‌های فنی (آب، انرژی، محیط‌زیست)، به جای افزایش مجازات‌ها، به جامعه‌شناسی تبعیت پرداخته شود. مردم زمانی از قانون اطاعت می‌کنند که آن را عادلانه و در راستای نیازهای واقعی خود ببینند.

### بازسازی سرمایه اجتماعی شرط عبور از دگماتیسم سمنی است

سمن زمانی تهدید است که از کارکرد اصلی خود (یعنی حل مسئله و مفاهمه) فاصله بگیرد. سمنی تهدیدکننده آن سمنی است که گرفتار دگماتیسم شده، تعریفش از کنشگری فقط مخالفت‌خوانی و هیاهو است و بدون ارائه‌ی هیچ راهکار فنی، صرفاً به دنبال یقه گرفتن است. این افراد باید ایزوله شوند تا فضا برای کنشگران واقعی و متخصص باز شود. سمن فرصت‌ساز آن سمنی است که با نگاهی چندجانبه، هم درد شهروند را می‌فهمد و هم محدودیت‌های حاکمیت را درک می‌کند و با زبان مشترک، مفاهمه ایجاد می‌کند. تا زمانی که حاکمیت نپذیرد بخشی از بحران (فرونشست یا تخلفات شهری) ناشی از مدل ناکارآمد خود اوست، و تا زمانی که برای تبعیض توزیعی چاره‌ای اندیشیده نشود، بحران تبعیت باقی خواهد ماند. راه نجات، بازسازی سرمایه اجتماعی و تقویت سمن‌هایی است که پل مفاهمه هستند، نه دیوار اختلاف. شهر ترمیمی نه با جریمه، که با بازسازی وجدان جمعی و اصلاح ساختارهای انگیزشی محقق می‌شود.

**سمن تهدیدکننده آن سمنی است که گرفتار دگماتیسم شده، تعریفش از کنشگری فقط مخالفت‌خوانی و هیاهو است و بدون ارائه‌ی هیچ راهکار فنی، صرفاً به دنبال یقه گرفتن است. این افراد باید ایزوله شوند تا فضا برای کنشگران واقعی و متخصص باز شود. سمن فرصت‌ساز آن سمنی است که با نگاهی چندجانبه، هم درد شهروند را می‌فهمد و هم محدودیت‌های حاکمیت را درک می‌کند و با زبان مشترک، مفاهمه ایجاد می‌کند.**

فاصله‌ای سازنده ایجاد کند؛ فاصله‌ای که نه به معنای جدایی، بلکه به معنای کاهش اصطکاک، افزایش فهم متقابل و تسهیل حل مسئله است. در بحران‌هایی مانند فرونشست نیز چنین نهادی می‌تواند نقش مهمی در ترجمه مطالبات مردم، ارزیابی ادعاها، توانمندسازی سمن‌ها و کمک به تصمیم‌سازی ایفا کند.

### سمن تراز در شهر ترمیمی جای یقه‌گیری راهکار فنی را می‌گیرد

مشکل بسیاری از نهادهای حاکمیتی، تمایل به ساده‌سازی بحران‌ها از طریق برخوردهای قهری (مانند پلمپ کارخانه‌ها) است؛ اقدامی که نه تنها مسئله (مثلاً آلودگی یا فرونشست) را حل نمی‌کند، بلکه بحران‌های ثانویه‌ای نظیر بیکاری را ایجاد می‌کند. در الگوی شهر ترمیمی، سمن تراز، سمنی است که به جای یقه‌گیری مدیران، به دنبال راهکار فنی می‌گردد. ما در کشور با بحران تبعیت مواجه هستیم. قانون دیگر آن جایگاه مشروع خود را از دست داده و تبدیل به اهرم قدرت شده است. وقتی شهروند می‌بیند که قانون به جای اینکه مسیر زندگی‌اش

## فرونشست؛ از مدیریت چاه تا مدیریت آبخوان

در ادامه‌ی تحلیل‌های پیشین، اینبار فرونشست را نه فقط پیامد افت سطح آب، بلکه صورت‌حساب تأخیرخورده‌ی نظام حقوق برداشت و پروانه‌های صادره می‌نگاریم. قانون تعیین تکلیف چاه‌های فاقد پروانه در سال ۱۳۸۹، اگرچه با هدف ساماندهی برداشت‌های غیرمجاز شکل گرفت، اما در عمل بخشی از تخلفات گذشته را به حقوق برداشت نهادینه‌شده تبدیل کرد؛ حقی که با ظرفیت طبیعی آبخوان تناسب نداشت و کسری مخزن را در ساختار رسمی تثبیت کرد. اینجا نقطه‌ای است که بحث از مدیریت چاه به مدیریت آبخوان ارتقا می‌یابد و پرسش از چند چاه غیرمجاز داریم؟ به آیا مجموع حقوق برداشت با ظرفیت آبخوان سازگار است؟ تغییر می‌کند.

در این گفت‌وگو، از ضرورت تفکیک قانونی بودن از پایداری برداشت، آسیب‌شناسی سیاست‌هایی مثل کنتور هوشمند و آبیاری تحت فشار، و لزوم گذار به حکمرانی تنظیم‌گری خواهیم گفت که در آن، به‌جای صدور مجوزهای ایستا، پایش پویای تراز آبخوان مبنای تصمیم‌گیری قرار می‌گیرد. فرونشست، نشانه‌ی ناسازگاری ساختارهای حقوقی ما با منطق طبیعت است؛ ناسازگاری‌ای که تا تراز آب را جایگزین تراز پروانه‌ها نکنیم، حل‌نشده خواهد ماند. زمین قراردادهای اداری را نمی‌خواند؛ زمین فقط تراز آب را می‌شناسد.

برای بررسی این موضوع، به سراغ آقای رضا براتی، رئیس گروه توسعه مدیریت شرکت آب منطقه‌ای خراسان و عضو هیئت‌مدیره خانه هم‌افزایی انرژی و آب، رفتیم تا از دریچه‌ی تجربه‌ی نهادی، به واکاوی ریشه‌های این بحران و مسیرهای پیش روی آن بپردازیم.



رضا براتی

رئیس گروه توسعه مدیریت شرکت آب منطقه‌ای خراسان و عضو هیات مدیره خانه هم‌افزایی انرژی و آب



## بازخوانی پیامدهای قانون تعیین تکلیف چاه‌های آب فاقد پروانه بهره‌برداری

مصاحبه

### قانونی برای حل یک بی‌قانونی

قانون تعیین تکلیف چاه‌های آب فاقد پروانه بهره‌برداری در سال ۱۳۸۹ تصویب شد. هدف قانون، در ظاهر، کاملاً روشن و قابل دفاع بود: ساماندهی چاه‌های کشاورزی فعال فاقد پروانه‌ای که پیش از پایان سال ۱۳۸۵ حفر و توسط وزارت نیرو شناسایی شده بودند. قانون برای این چاه‌ها، با رعایت شرایطی مانند ظرفیت آبی دشت، حریم چاه‌های مجاز و عدم اضرار به دیگران، امکان صدور پروانه بهره‌برداری را فراهم کرد. در کنار آن، قانون نصب کنترلهای هوشمند، تحویل حجمی آب، اجرای آبیاری تحت فشار و کنترل دستگاههای حفاری را نیز پیش‌بینی کرد. بنابراین نمی‌توان این قانون را صرفاً یک قانون برای قانونی کردن چاه‌های غیرمجاز دانست. قانون تلاش داشت یک واقعیت موجود را ساماندهی کند؛ چاه‌هایی حفر شده بودند، برداشت‌هایی انجام می‌شد و قانونگذار می‌خواست این وضعیت را شناسایی، کنترل و قانونمند کند. اما مسئله اصلی در جایی دیگر قرار دارد. ساماندهی حقوقی یک برداشت، الزاماً به معنای پایدار شدن آن برداشت نیست. قانون می‌تواند وضعیت حقوقی یک چاه را تغییر دهد؛ اما نمی‌تواند ظرفیت طبیعی آبخوان را افزایش دهد. آبخوان همان آبخوان است. بارش همان بارش است. تغذیه همان تغذیه است و اگر برداشت از ظرفیت پایدار آبخوان بیشتر باشد، تغییر وضعیت حقوقی چاه نمی‌تواند این کسری را از بین ببرد.

فرونشست زمین در ایران دیگر یک هشدار دوردست نیست؛ واقعیتی است که در بسیاری از دشت‌های کشور خود را در ترک ساختمان‌ها، آسیب به زیرساخت‌ها، تغییر شیب کانال‌ها و خطوط انتقال، خسارت به جاده‌ها و راه‌آهن و تهدید پایداری سکونتگاه‌ها نشان می‌دهد. اما فرونشست، خود مسئله نیست؛ نشانه‌ای از یک مسئله عمیق‌تر است. آبخوان‌ها سال‌ها بیش از ظرفیت خود تخلیه شده‌اند. آنچه امروز در سطح زمین می‌بینیم، بخشی از صورت‌حساب تصمیم‌هایی است که طی دهه‌های گذشته درباره منابع آب گرفته‌ایم. خشکسالی، کاهش تغذیه طبیعی آبخوان‌ها، توسعه کشاورزی، افزایش سطح زیرکشت، حفر چاه‌های غیرمجاز، اضافه‌برداشت از چاه‌های مجاز، انرژی مورد نیاز برای پمپاژ، الگوی مصرف و ضعف در حکمرانی آب، همگی در شکل‌گیری این بحران نقش داشته‌اند. اما در میان این عوامل، یک موضوع کمتر مورد توجه قرار گرفته است: چه اتفاقی می‌افتد وقتی بخشی از برداشت‌های غیرمجاز گذشته، به جای حذف شدن، در فرآیند سیاست‌گذاری به حق برداشت تبدیل می‌شود؟ برای پاسخ به این سؤال، باید به یکی از مهم‌ترین مداخلات قانونی در حوزه آب زیرزمینی بازگردیم: قانون تعیین تکلیف چاه‌های آب فاقد پروانه بهره‌برداری.

## قانون می‌تواند یک برداشت را قانونی کند؛ اما نمی‌تواند یک آبخوان را پرآب‌تر کند.

### از چاه غیرمجاز تا حق برداشت

باید میان دو مفهوم تفاوت بگذاریم: قانونی بودن برداشت و پایدار بودن برداشت. این دو الزاماً یکی نیستند. ممکن است یک چاه از نظر حقوقی دارای پروانه باشد، کنتور هوشمند داشته باشد و بهره‌بردار نیز دقیقاً مطابق پروانه خود برداشت کند؛ اما اگر مجموع برداشت‌های مجاز در یک آبخوان از ظرفیت پایدار آن بیشتر باشد، آبخوان همچنان با کسری مواجه خواهد بود. به بیان ساده، قانون می‌تواند یک برداشت را قانونی کند؛ اما نمی‌تواند یک آبخوان را پرآب‌تر کند. این نکته، در تحلیل پیامدهای قانون تعیین تکلیف چاه‌های فاقد پروانه، اهمیت بنیادی دارد.

### وقتی مجموع پروانه‌ها از ظرفیت آبخوان جلو می‌زند

فرض کنیم یک آبخوان در بلندمدت توان تأمین ۱۰۰ واحد آب پایدار داشته باشد. اگر مجموع پروانه‌های صادرشده اجازه برداشت ۱۲۰ واحد را بدهند، حتی اگر همه بهره‌برداران دقیقاً مطابق پروانه خود عمل کنند، ۲۰ واحد کسری ایجاد خواهد شد. در چنین شرایطی، مسئله فقط اضافه‌برداشت نیست. ما با یک مسئله ساختاری مواجهیم که حق برداشت ایجادشده از ظرفیت واقعی منبع بیشتر است. این همان جایی است که مفهوم بدهی نهادی آب اهمیت پیدا می‌کند.

### بدهی نهادی آب

بدهی آبی را می‌توان فاصله انباشته میان برداشت و ظرفیت پایدار آبخوان دانست. اما زمانی که بخشی از این برداشت مازاد، در نتیجه قوانین، مجوزها، تخصیص‌ها و تصمیم‌های مدیریتی در ساختار رسمی تثبیت می‌شود، با چیزی فراتر از بدهی آبی مواجهیم. بدهی نهادی آب؛ یعنی انباشت حقوق و تعهدات برداشت که از ظرفیت

پایدار آبخوان فراتر رفته و بخشی از فشار بر منبع را در ساختار رسمی و تصمیم‌گیری تثبیت کرده است. این مفهوم برای فهم بخشی از بحران آب زیرزمینی ایران اهمیت زیادی دارد. زیرا ممکن است یک برداشت غیرمجاز، در ابتدا یک تخلف فردی باشد؛ اما اگر در ادامه به حق برداشت تبدیل شود، بخشی از فشار بر آبخوان از سطح رفتار فردی به سطح ساختار نهادی منتقل می‌شود.

### خراسان رضوی؛ نمونه‌ای روشن از مسئله

خراسان رضوی یکی از نمونه‌های مهم برای درک این مسئله است. خراسان رضوی استانی است که بخش بزرگی از تأمین آب آن به منابع زیرزمینی وابسته است و سال‌هاست با کسری جدی مخزن آبخوان‌ها مواجه است. در این استان، مسئله امروز فقط تعداد چاه‌های غیرمجاز نیست. مسئله مهم‌تر این است که حجم پروانه‌های صادرشده برای چاه‌های دارای پروانه در مقیاس استان و برخی محدوده‌ها، از ظرفیت آب تجدیدپذیر فراتر رفته است. پیام روشن این وضعیت این است که حتی اگر فرض کنیم تمام بهره‌برداران دارای پروانه دقیقاً مطابق حجم مندرج در پروانه خود برداشت کنند، در شرایطی که مجموع این حقوق برداشت از ظرفیت آبخوان بیشتر باشد، امکان تداوم کسری مخزن وجود خواهد داشت.

بنابراین نمی‌توان مسئله را فقط با این جمله توضیح داد که چاه غیرمجاز را ببندیم. بستن چاه‌های غیرمجاز ضروری است. اما اگر حجم برداشت از چاه‌های مجاز نیز با ظرفیت آبخوان سازگار نباشد، بحران ادامه خواهد داشت. در چنین شرایطی، سؤال اصلی باید تغییر کند؛ آیا مجموع حقوق برداشت موجود با ظرفیت واقعی آبخوان سازگار است؟

### کنتور هوشمند؛ شرط لازم، نه شرط کافی

یکی از اقدامات مهم برای کنترل برداشت از منابع آب زیرزمینی، توسعه کنتورهای هوشمند است. در خراسان رضوی، بیش از ۹۵ درصد چاه‌های

در مزرعه و صرفه‌جویی واقعی در آبخوان. هدف سیاست آب زیرزمینی باید دومی باشد. افزایش راندمان زمانی یک موفقیت واقعی در مدیریت آب است که در نهایت به کاهش برداشت از منبع منجر شود. اگر راندمان افزایش یابد اما سطح زیرکشت، الگوی کشت و حجم کل برداشت متناسب با ظرفیت آبخوان اصلاح نشود، بخشی از آب صرفه‌جویی‌شده می‌تواند دوباره به مصرف برسد. در این حالت آب کمتری برای تولید یک واحد محصول مصرف می‌شود، اما الزاماً آب کمتری از آبخوان برداشت نمی‌شود. حتی نفوذ عمقی و تغذیه آبخوان کاهش پیدا می‌کند!

### مسئله‌ای فراتر از آب؛ سرمایه اجتماعی قانون

اما پیامدهای سیاست تعیین تکلیف چاه‌های فاقد پروانه فقط به هیدرولوژی محدود نمی‌شود. هر قانون یک پیام اجتماعی نیز دارد. تصور کنیم فردی برای سال‌ها بدون مجوز اقدام به حفر چاه کرده و از منابع عمومی آب برداشت کرده است. در مقابل، فرد دیگری برای دریافت مجوز قانونی، مراحل اداری را طی کرده، محدودیت‌ها را پذیرفته و در چارچوب قانون فعالیت کرده است. اگر در نهایت برای بخشی از چاه‌های فاقد پروانه نیز امکان تعیین تکلیف و صدور پروانه فراهم شود، یک پرسش جدی در ذهن جامعه شکل می‌گیرد که مرز میان رعایت قانون و نقض قانون کجاست؟ اگر تخلف در یک مقطع زمانی انجام شود و بعد از گذشت زمان، امکان قانونی شدن نتیجه آن فراهم شود، ممکن است یک پیام ناخواسته شکل بگیرد که تخلف امروز، شاید حق فردا باشد. البته هدف قانون، ایجاد چنین پیامی نبوده است؛ اما سیاست‌گذاری فقط بر اساس نیت قانون ارزیابی نمی‌شود. پیامد واقعی سیاست نیز اهمیت دارد. قانون زمانی می‌تواند سرمایه اجتماعی خود را حفظ کند که شهروند احساس کند رعایت قانون، نسبت به نقض آن، رفتاری عقلانی، قابل اتکا و دارای مزیت است. اگر جامعه تصور کند که تخلف می‌تواند در آینده به حق تبدیل شود، انگیزه رعایت

**کنترل هوشمند ابزار اندازه‌گیری و کنترل برداشت است، نه ابزار تولید آب. بنابراین موفقیت در نصب کنترل‌ها نباید با موفقیت در احیای آبخوان اشتباه گرفت. باید یک مرحله جلوتر برویم و درباره حجم حقوق برداشت موجود نیز تصمیم‌گیری کنیم.**

مشمول به کنترل هوشمند مجهز شده‌اند. این اقدام ارزشمند است؛ زیرا بدون اندازه‌گیری، مدیریت برداشت تقریباً غیرممکن است. اما تجربه استان نشان‌دهنده یک واقعیت مهم است: کنترل هوشمند به تنهایی آبخوان را احیا نمی‌کند. کنترل مشخص می‌کند چه مقدار آب برداشت شده است. اما اگر حجم برداشت مجاز از ابتدا با ظرفیت آبخوان تناسب نداشته باشد، کنترل صرفاً برداشت را دقیق‌تر اندازه‌گیری می‌کند. به عبارت دیگر، کنترل هوشمند ابزار اندازه‌گیری و کنترل برداشت است، نه ابزار تولید آب. بنابراین موفقیت در نصب کنترل‌ها نباید با موفقیت در احیای آبخوان اشتباه گرفت. اگر پس از توسعه گسترده کنترل‌های هوشمند، آبخوان همچنان با کسری مخزن مواجه است، باید یک مرحله جلوتر برویم و درباره حجم حقوق برداشت موجود نیز تصمیم‌گیری کنیم.

### آبیاری تحت فشار؛ راندمان بیشتر، اما آیا برداشت کمتر؟

قانون، اجرای آبیاری تحت فشار را نیز در کنار ساماندهی چاه‌ها مورد توجه قرار داده بود. در نگاه نخست، این سیاست کاملاً منطقی است: مصرف کمتر ← تلفات کمتر ← راندمان بیشتر آبیاری اما در مقیاس آبخوان، رابطه به این سادگی نیست. فرض کنیم یک کشاورز با اجرای سیستم آبیاری تحت فشار، آب کمتری برای تولید یک هکتار محصول نیاز داشته باشد. اگر در نتیجه این افزایش راندمان، سطح زیرکشت کاهش پیدا نکند و آب صرفه‌جویی‌شده برای حفظ یا توسعه تولید مورد استفاده قرار گیرد، ممکن است برداشت کل از آبخوان کاهش قابل توجهی پیدا نکند. بنابراین باید میان دو مفهوم تفاوت گذاشت: صرفه‌جویی

معمولاً بخش مهمی از فرآیند تخریب آبخوان قبلاً اتفاق افتاده است و مهم‌تر اینکه بخشی از این تغییرات ممکن است برگشت‌پذیر نباشد. حتی اگر بتوانیم امروز برداشت را کاهش دهیم، بازگرداندن زمین و ساختار آبخوان به وضعیت اولیه الزاماً ممکن نیست.

### آیا مشکل فقط چاه‌های غیرمجاز هستند؟

سال‌ها سیاست آب زیرزمینی حول یک سؤال ساده چرخیده است: چند چاه غیرمجاز داریم؟ این سؤال مهم است، اما کافی نیست. سؤال بعدی باید این باشد که چقدر آب برداشت می‌شود؟ و سؤال مهم‌تر؛ چه میزان از این برداشت از نظر هیدرولوژیک پایدار است؟ ممکن است تعداد چاه‌های غیرمجاز کاهش یابد، اما برداشت از چاه‌های مجاز همچنان بیشتر از ظرفیت آبخوان باشد. ممکن است بیش از ۹۵ درصد چاه‌ها کنتور هوشمند داشته باشند، اما آبخوان همچنان کسری مخزن داشته باشد. ممکن است راندمان آبیاری افزایش یابد، اما سطح زیرکشت و برداشت کل کاهش پیدا نکند. و ممکن است چاه‌ها دارای پروانه باشند، اما مجموع حجم پروانه‌ها از توان تجدیدپذیر آبخوان بیشتر باشد. در این شرایط، مسئله اصلی دیگر فقط تخلف از قانون نیست. مسئله، تناسب قانون با ظرفیت طبیعت است.

### از مدیریت چاه به مدیریت آبخوان

این شاید مهم‌ترین درسی باشد که از تجربه سال‌های گذشته می‌توان گرفت. واحد فیزیکی برداشت، چاه است، اما واحد واقعی مدیریت، آبخوان است. نمی‌توان آبخوان را صرفاً با جمع‌آوری چاه‌های غیرمجاز مدیریت کرد. نمی‌توان آن را فقط با نصب کنتور مدیریت کرد یا با افزایش راندمان آبیاری، بدون توجه به سطح زیرکشت و الگوی مصرف، به تعادل رسید، و نمی‌توان صرفاً با صدور یا اصلاح

**فرونشست صورت حساب تأخیرخورده سال‌ها برداشت از آبخوان است. به همین دلیل، وقتی فرونشست آشکار می‌شود، معمولاً بخش مهمی از فرآیند تخریب آبخوان قبلاً اتفاق افتاده است و مهم‌تر اینکه بخشی از این تغییرات ممکن است برگشت‌پذیر نباشد.**

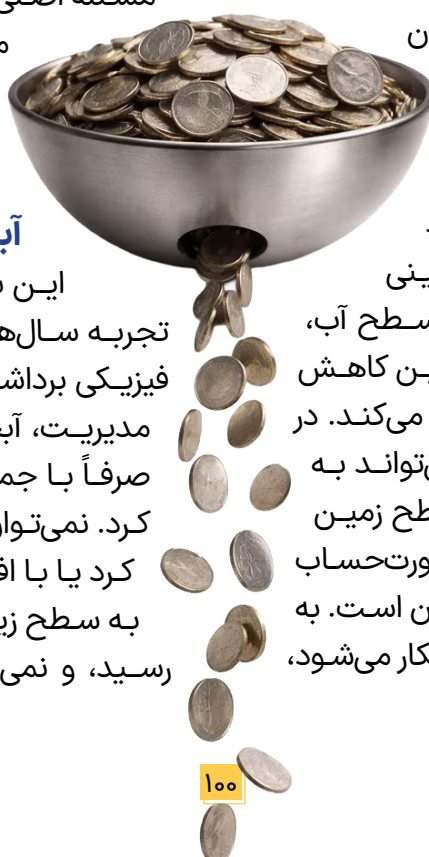
قوانین جدید نیز ممکن است تضعیف شود. این موضوع در منابع طبیعی اهمیت بیشتری دارد؛ زیرا بسیاری از تخلفات در این حوزه، مانند حفر چاه، آثار خود را نه در یک روز، بلکه طی ده‌ها سال نشان می‌دهند.

### از تخلف فردی تا بدهی نهادی

در اینجا می‌توان زنجیره‌ای را تصور کرد که برای فهم بخشی از بحران آب زیرزمینی اهمیت دارد. این زنجیره البته تنها مسیر ایجاد فرونشست نیست. فرونشست حاصل مجموعه‌ای از عوامل طبیعی، اقتصادی، اجتماعی و مدیریتی است. اما نکته مهم این است که سیاست‌گذاری می‌تواند نه تنها با کاهش فشار بر آبخوان، بلکه در شرایطی با تثبیت فشارهای گذشته نیز بر مسیر آینده اثر بگذارد.

### فرونشست؛ صورت حسابی که با تأخیر صادر می‌شود!

آبخوان می‌تواند برای سال‌ها بحران را پنهان کند. چاه هنوز آب می‌دهد، کشاورزی هنوز ادامه دارد، محصول تولید می‌شود، پروانه معتبر است، کنتور عدد نشان می‌دهد؛ اما ذخیره آب زیرزمینی آرام‌آرام کاهش می‌یابد. با افت سطح آب، فشار آب منفذی در لایه‌های زیرزمین کاهش می‌یابد و تنش مؤثر افزایش پیدا می‌کند. در لایه‌های تراکم‌پذیر، این فرآیند می‌تواند به تراکم رسوبات و کاهش ارتفاع سطح زمین منجر شود. فرونشست در واقع صورت حساب تأخیرخورده سال‌ها برداشت از آبخوان است. به همین دلیل، وقتی فرونشست آشکار می‌شود،



شناسایی شود. نمی‌توان آن را صرفاً با عنوان اضافه‌برداشت به بهره‌بردار نسبت داد. بخشی از مسئله ممکن است در ساختار حقوق، مجوزها و تصمیم‌های گذشته ایجاد شده باشد. این همان چیزی است که می‌توان از آن به عنوان بدهی نهادی آب یاد کرد.

### فرونشست، هشدار درباره آینده حکمرانی آب

فرونشست به ما می‌گوید که آبخوان فقط یک مخزن زیرزمینی نیست که بتوان هر مقدار آب از آن برداشت کرد. آبخوان یک سرمایه طبیعی محدود است. وقتی برداشت از آن از ظرفیت بازتولیدش بیشتر شود، در واقع از آینده برداشت می‌کنیم. و وقتی این برداشت مازاد در قالب تصمیم‌ها، مجوزها و سیاست‌ها تثبیت شود، بدهی فقط به طبیعت تحمیل نمی‌شود؛ بخشی از آن وارد ساختار حکمرانی می‌شود. این همان جایی است که مفهوم بدهی نهادی آب اهمیت پیدا می‌کند. نسل امروز آب را مصرف می‌کند، اما نسل‌های آینده با آبخوان‌های کم‌عمق‌تر، هزینه‌های بیشتر تأمین آب، کشاورزی محدودتر، زمین‌های فرونشسته، زیرساخت‌های آسیب‌دیده و گزینه‌های کمتر برای سازگاری مواجه خواهند شد.

**مسئله اصلی دیگر فقط تخلف از قانون نیست. مسئله، تناسب قانون با ظرفیت طبیعت است. حق برداشت باید تابع ظرفیت آبخوان باشد. پروانه نباید یک حق کاملاً مستقل از وضعیت منبع تلقی شود. وقتی وضعیت آبخوان تغییر می‌کند، نظام برداشت نیز باید قابلیت اصلاح داشته باشد.**

پروانه، مسئله پایداری را حل کرد. آنچه باید مدیریت شود، تراز آبخوان است. یعنی: تغذیه واقعی آبخوان - برداشت واقعی از آبخوان = مسیر آینده آبخوان اگر این معادله منفی باشد، فرونشست دیر یا زود خود را نشان خواهد داد؛ حتی اگر بخش بزرگی از برداشتها از نظر اداری و حقوقی مجاز باشند.

### برای آینده چه باید کرد؟

- تجربه چاه‌های فاقد پروانه نشان می‌دهد که سیاست آب زیرزمینی نیازمند یک تغییر پارادایم است.
۱. حق برداشت باید تابع ظرفیت آبخوان باشد: پروانه نباید یک حق کاملاً مستقل از وضعیت منبع تلقی شود. وقتی وضعیت آبخوان تغییر می‌کند، نظام برداشت نیز باید قابلیت اصلاح داشته باشد.
۲. مجموع پروانه‌ها باید با ظرفیت پایدار آبخوان مقایسه شود: پرسش اصلی نباید فقط این باشد که هر چاه چقدر مجاز به برداشت است؟ بلکه باید پرسید مجموع چاه‌های مجاز در این آبخوان چقدر اجازه برداشت دارند؟ اگر این عدد از ظرفیت پایدار بیشتر باشد، مشکل ساختاری است و با کنترل تخلف حل نمی‌شود.
۳. کنتور هوشمند باید از ابزار نظارت به ابزار حکمرانی تبدیل شود: داده کنتور باید مستقیماً وارد فرآیند تصمیم‌گیری درباره تخصیص، کاهش برداشت و احیای آبخوان شود.
۴. صرفه‌جویی باید در مقیاس آبخوان سنجیده شود: هر طرح افزایش راندمان باید پاسخ دهد که چقدر برداشت واقعی از آبخوان کاهش یافته است، نه اینکه صرفاً چقدر آب در سطح مزرعه صرفه‌جویی شده است؟
۵. سیاست‌های تعیین تکلیف گذشته نباید به مشوق تخلف آینده تبدیل شوند: هر سیاستی که برای ساماندهی تخلفات گذشته طراحی می‌شود، باید همزمان سازوکاری روشن برای جلوگیری از ایجاد انگیزه تخلف جدید داشته باشد.
۶. بدهی نهادی آب باید شناسایی و مدیریت شود: اگر در یک آبخوان مجموع حقوق برداشت از ظرفیت پایدار بیشتر است، باید این شکاف

## سخن پایانی؛ زمین فراموش نمی‌کند

قانون تعیین تکلیف چاه‌های آب فاقد پروانه در سال ۱۳۸۹ با هدف ساماندهی یک واقعیت موجود و کنترل برداشت از منابع آب زیرزمینی شکل گرفت. اما تجربه سال‌های پس از آن یک درس مهم برای حکمرانی آب دارد: تغییر وضعیت حقوقی یک برداشت، به معنای تغییر ظرفیت طبیعی منبع نیست. اگر چاه فاقد پروانه به چاه دارای پروانه تبدیل شود، آبخوان پرآب‌تر نمی‌شود. اگر کنتور هوشمند نصب شود، بارش افزایش نمی‌یابد. اگر راندمان آبیاری بالا برود، بدون تغییر در سطح زیرکشت الزاماً برداشت از آبخوان کاهش نمی‌یابد؛ و اگر مجموع پروانه‌های صادرشده از ظرفیت پایدار آبخوان بیشتر باشد، حتی رعایت کامل قانون نیز نمی‌تواند به‌تنهایی آبخوان را به تعادل برساند. بنابراین شاید زمان آن رسیده باشد که در حکمرانی آب، یک سؤال را جدی‌تر از گذشته بپرسیم: آیا آنچه از نظر قانونی حق برداشت است، از نظر طبیعت نیز حق برداشت محسوب می‌شود؟ پاسخ این سؤال، آینده بسیاری از دشت‌های ایران را تعیین خواهد کرد. زیرا آبخوان قراردادهای اداری ما را نمی‌خواند. آبخوان فقط یک چیز را می‌شناسد: تراز آب. و زمین نیز حافظه خود را دارد. سال‌ها برداشت، در عمق زمین ثبت می‌شود؛ و روزی که فرونشست آغاز می‌شود، زمین بخشی از این بدهی را به ما یادآوری می‌کند. شاید فرونشست، صدای آبخوانی باشد که سال‌ها با ما حرف زده است، اما صدایش را نشنیده‌ایم.



## از حق برداشت تا واقعیت آبخوان؛ جایی که قانون با تراز آب به گفت‌وگو می‌نشیند

جمع‌بندی گفت‌وگو با آقای دکتر براتی تصویری هشداردهنده از یک ناسازگاری ساختاری ارائه می‌دهد؛ تصویری که در آن، بخشی از برداشت‌های غیرمجاز گذشته نه حذف، بلکه به حق برداشت نهادینه‌شده تبدیل شده و فشار بر آبخوان را در ساختار رسمی تثبیت کرده است. در آن روایت، مفهوم «بدهی نهادی آب» مطرح شد؛ بدهی‌ای که نه فقط در طبیعت، بلکه در قوانین، مجوزها و تصمیم‌های مدیریتی انباشته شده است. پرسش محوری آن تحلیل این بود که آیا مجموع حق‌های برداشت با ظرفیت پایدار آبخوان سازگار است؟

اما همین‌جا، روایت از سطح ساختار حقوقی به سطح داده‌های میدانی جابه‌جا می‌شود. اگر بدهی نهادی آب محصول انباشت حق‌های برداشت فراتر از ظرفیت است، صورت‌حساب این بدهی را باید در تراز آبخوان و ارتفاع سطح زمین جست‌وجو کرد. دقیقاً در همین نقطه است که تحلیل علی‌رضایی، پژوهشگر ارشد حوزه فرونشست در شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی، وارد میدان می‌شود؛ جایی که افت سالانه حدود ۰.۷ متری سطح آب زیرزمینی، فرونشست ۱۶ تا ۲۰ سانتی‌متری در برخی دشت‌ها، و گسترش پهنه‌های فرونشستی به محدوده‌های شهری و زیرساخت‌های حیاتی، تصویری عینی از همان بدهی ترسیم می‌کنند. به بیان ساده‌تر، اگر گفت‌وگوی پیشین درباره این بود که چرا ساختار حقوقی برداشت با ظرفیت آبخوان ناسازگار می‌شود، تحلیل پیش‌رو نشان می‌دهد که این ناسازگاری چگونه خود را در زمین و زیرساخت‌ها باز می‌تاباند. فرونشست دیگر فقط یک پیامد هیدرولوژیک نیست، بلکه شاخصی است برای سنجش کارآمدی نظام حکمرانی آب؛ نظامی که تا زمانی که تراز آب را جایگزین تراز پروانه‌ها نکند، همچنان با ابزارهای اشتباه در حال تنظیم خودش خواهد بود.

## زخمی که توسعه غلط بر تن دشت‌های خراسان گذاشت

فرونشست، پیامد دهه‌ها ناهماهنگی میان توسعه، کشاورزی و مدیریت منابع آب است. تا زمانی که الگوی مصرف و حکمرانی منابع آب اصلاح نشود، سرعت فرونشست و دامنه خسارت‌ها کاهش نخواهد یافت.



علی رضایی

پژوهشگر ارشد حوزه فرونشست در شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی



مصاحبه

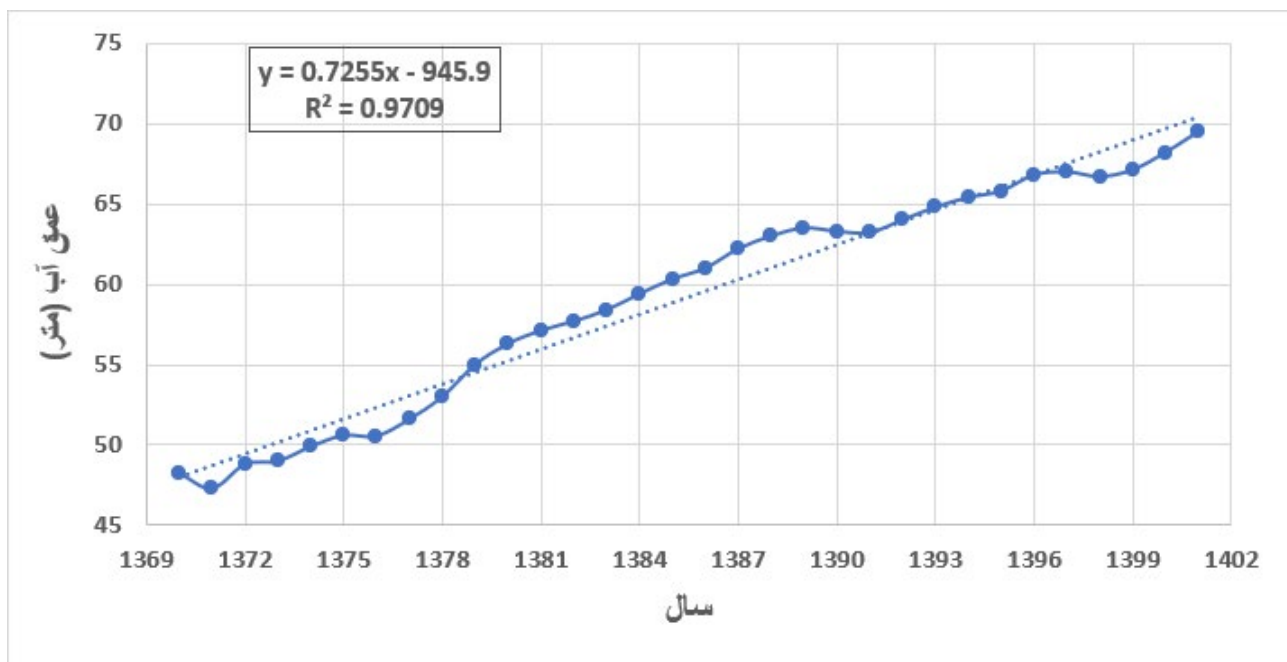
### افت مستمر آب‌های زیرزمینی در مشهد و خراسان رضوی

منابع آب زیرزمینی بخشی از یک سیستم دینامیک در چرخه هیدرولوژیک هستند و پایداری آن‌ها زمانی حفظ می‌شود که بین میزان تغذیه آبخوان و برداشت از آن تعادل برقرار باشد. در دشت مشهد و بسیاری از آبخوان‌های خراسان رضوی، این تعادل طی چند دهه گذشته به‌طور مستمر برهم خورده و برداشت‌ها به‌طور معناداری از میزان تغذیه طبیعی آبخوان فراتر رفته است. بررسی روند تغییرات سطح آب زیرزمینی در آبخوان مشهد طی دوره ۱۳۷۰ تا ۱۴۰۱ نشان می‌دهد که عمق متوسط سطح آب زیرزمینی سالانه حدود ۰.۷ متر افت داشته است. این روند مستمر افت، یکی از مهم‌ترین شاخص‌های ناپایداری منابع آب زیرزمینی در منطقه محسوب می‌شود و نشان می‌دهد که آبخوان در وضعیت برداشت مازاد قرار دارد.

از منظر ساختاری، مهم‌ترین عامل این وضعیت، وابستگی شدید توسعه منطقه به منابع آب زیرزمینی است. در استان خراسان رضوی، محدودیت منابع آب سطحی، توسعه گسترده کشاورزی، افزایش جمعیت، رشد تقاضای شهری و توسعه برخی فعالیت‌های صنعتی، همگی فشار مضاعفی بر منابع آب زیرزمینی وارد کرده‌اند. اگرچه بخش کشاورزی همچنان بزرگ‌ترین مصرف‌کننده آب است، اما رشد مصرف در بخش شرب شهری و خدمات نیز در سال‌های اخیر قابل‌توجه بوده است. از منظر سیاست‌گذاری نیز برخی تصمیمات در دهه‌های گذشته به تشدید این روند کمک کرده‌اند؛ از جمله توسعه کشاورزی بدون تناسب با ظرفیت واقعی منابع آب، سیاست‌های افزایش تولید محصولات آب‌بر و ضعف در کنترل برداشت‌های غیرمجاز.

البته در سال‌های اخیر اقداماتی مانند نصب کنتورهای هوشمند، محدودسازی برخی برداشت‌ها و افزایش نظارت بر چاه‌ها اجرا شده است، اما شواهد نشان می‌دهد این اقدامات

بحران فرونشست در خراسان رضوی دیگر یک پدیده صرفاً زمین‌شناختی نیست؛ بلکه به نشانه‌ای از ناترازی در مدیریت منابع آب، توسعه کشاورزی، گسترش شهرنشینی و سیاست‌گذاری‌های اقتصادی تبدیل شده است. افت مستمر سطح آب‌های زیرزمینی، گسترش پهنه‌های فرونشستی در دشت مشهد و افزایش مخاطرات برای زیرساخت‌ها، سکونتگاه‌ها و امنیت آبی استان، ضرورت بازنگری در الگوی توسعه را بیش از گذشته آشکار کرده است. در همین راستا، با مهندس علی رضایی، پژوهشگر ارشد حوزه فرونشست در شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی و پژوهشگر آب و محیط زیست دانشگاه فردوسی مشهد درباره عوامل شکل‌گیری این بحران، سهم سیاست‌های کشاورزی و برداشت‌های بی‌رویه از منابع آب، پیامدهای اقتصادی و اجتماعی فرونشست، نقش فناوری در مدیریت بحران و الزامات تدوین یک نقشه راه بلندمدت برای مهار این پدیده به گفت‌وگو نشستیم.



برداشت از آب‌های زیرزمینی بوده است. زمانی که این برداشت‌ها از میزان تغذیه طبیعی آبخوان فراتر می‌رود، افت مستمر سطح آب زیرزمینی رخ می‌دهد. تداوم این افت در آبخوان‌هایی که دارای لایه‌های ریزدانه و تراکم‌پذیر هستند، می‌تواند به فشردگی لایه‌ها و در نهایت بروز پدیده فرونشست منجر شود.

البته از منظر علمی، نسبت دادن مستقیم فرونشست تنها به سیاست خودکفایی کشاورزی، ساده‌سازی مسئله است. فرونشست نتیجه مجموعه‌ای از عوامل شامل رشد جمعیت، توسعه شهری، ضعف در حکمرانی آب، برداشت‌های غیرمجاز، الگوی کشت نامناسب و محدودیت‌های اقلیمی است. با این حال، اگر سیاست‌های تولید کشاورزی بدون در نظر گرفتن ظرفیت آبی هر دشت اجرا شوند، می‌توانند به عنوان یکی از عوامل مهم تشدیدکننده بحران آب زیرزمینی و فرونشست عمل کنند. در واقع، مسئله اصلی این نیست که خودکفایی هدف نادرستی است؛ مسئله این است که خودکفایی باید بر پایه بهره‌وری آب، الگوی کشت متناسب با اقلیم و مدیریت پایدار منابع آب دنبال شود، نه صرفاً افزایش سطح زیرکشت.

هنوز نتوانسته‌اند به اندازه کافی کسری مخزن آبخوان را جبران کنند. در مجموع، مسئله اصلی در مشهد و خراسان رضوی صرفاً کمبود منابع آبی نیست، بلکه شکاف میان ظرفیت طبیعی منابع آب و الگوی توسعه اقتصادی و جمعیتی منطقه است؛ شکافی که اگر اصلاح نشود، پیامدهایی مانند فرونشست زمین، کاهش کیفیت آب و تهدید امنیت آبی را تشدید خواهد کرد.

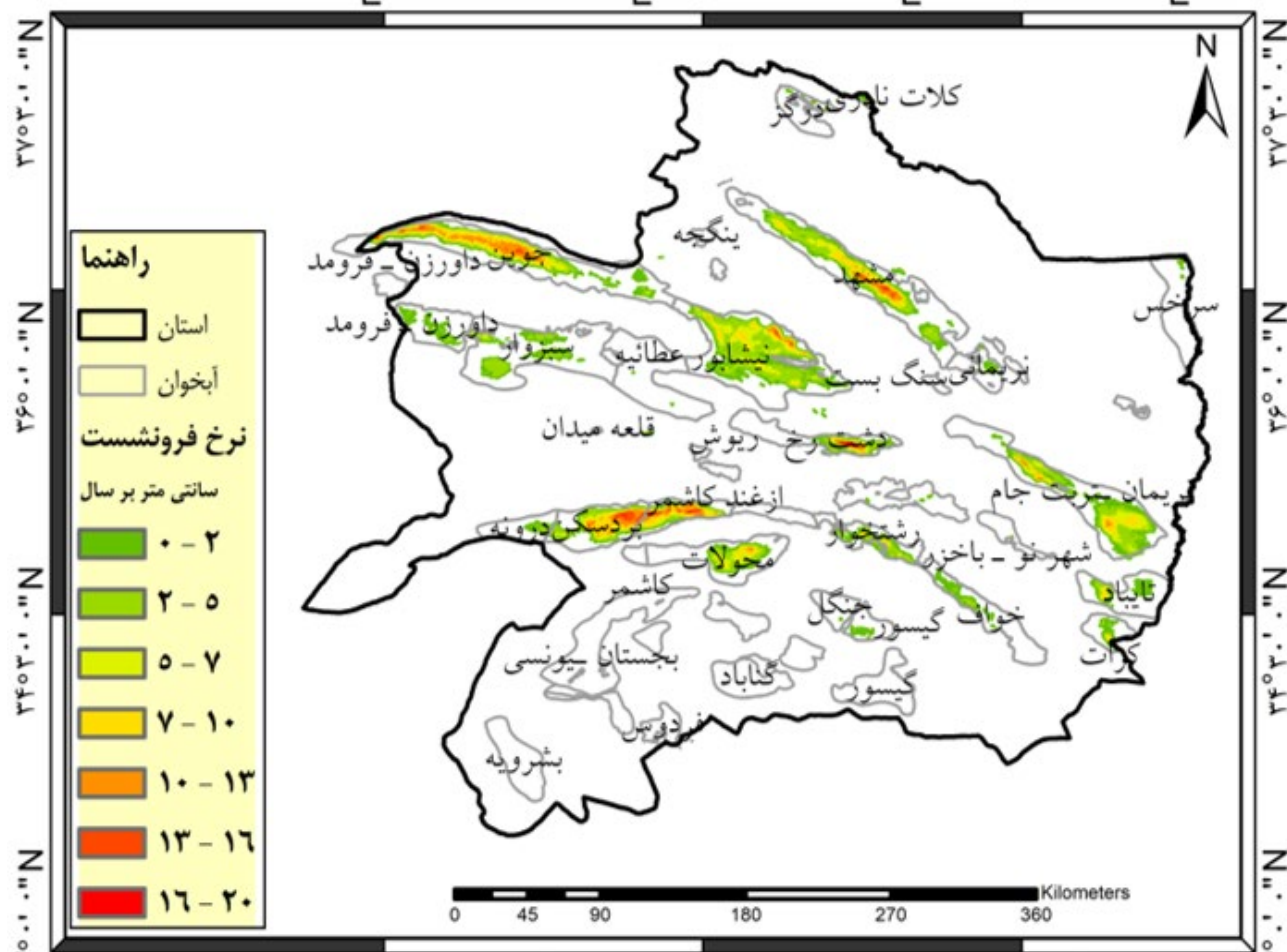
### خودکفایی کشاورزی و فشار بر منابع آب زیرزمینی

اصل خودکفایی در محصولات استراتژیکی مانند گندم، در سطح کلان اقتصادی و امنیت غذایی، سیاستی قابل دفاع است؛ اما مسئله مهم این است که چنین سیاستی باید متناسب با ظرفیت واقعی منابع آب، خاک، اقلیم و توان اکولوژیکی هر منطقه طراحی شود.

در برخی مناطق کشور، از جمله بخش‌هایی از خراسان رضوی، اجرای سیاست‌های خودکفایی در عمل با افزایش سطح زیرکشت محصولات نسبتاً آب‌بر همراه بوده، بدون آنکه محدودیت منابع آب زیرزمینی به اندازه کافی در تصمیم‌گیری‌ها لحاظ شود. نتیجه این رویکرد، افزایش تقاضای آب در بخش کشاورزی و وابستگی بیشتر به

سیاست خرید تضمینی محصولات کشاورزی یکی از ابزارهای مهم دولت برای حمایت از تولید داخلی و ایجاد ثبات اقتصادی برای کشاورزان است؛ اما این سیاست می‌تواند به‌صورت غیرمستقیم بر الگوی کشت و در نتیجه بر مصرف منابع آب نیز اثرگذار باشد.

به نظر می‌رسد در بسیاری از مناطق، مسئله اصلی، نبود پیوند مؤثر میان سیاست‌های حمایتی بخش کشاورزی و ظرفیت واقعی منابع



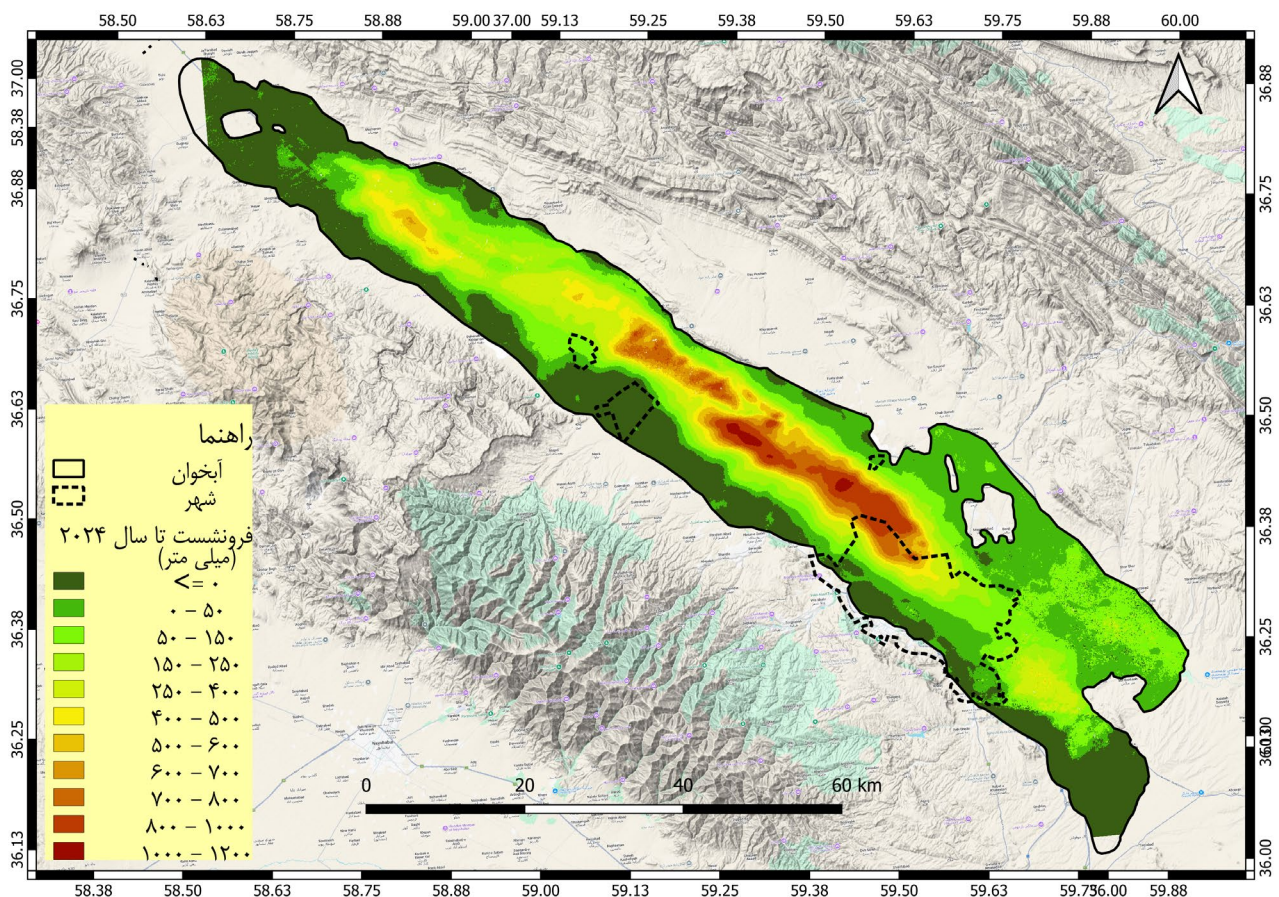
موضعی به یک بحران گسترده در بسیاری از دشت‌های ایران تبدیل شده است. این مسئله در استان خراسان رضوی نیز به‌طور جدی قابل مشاهده است.

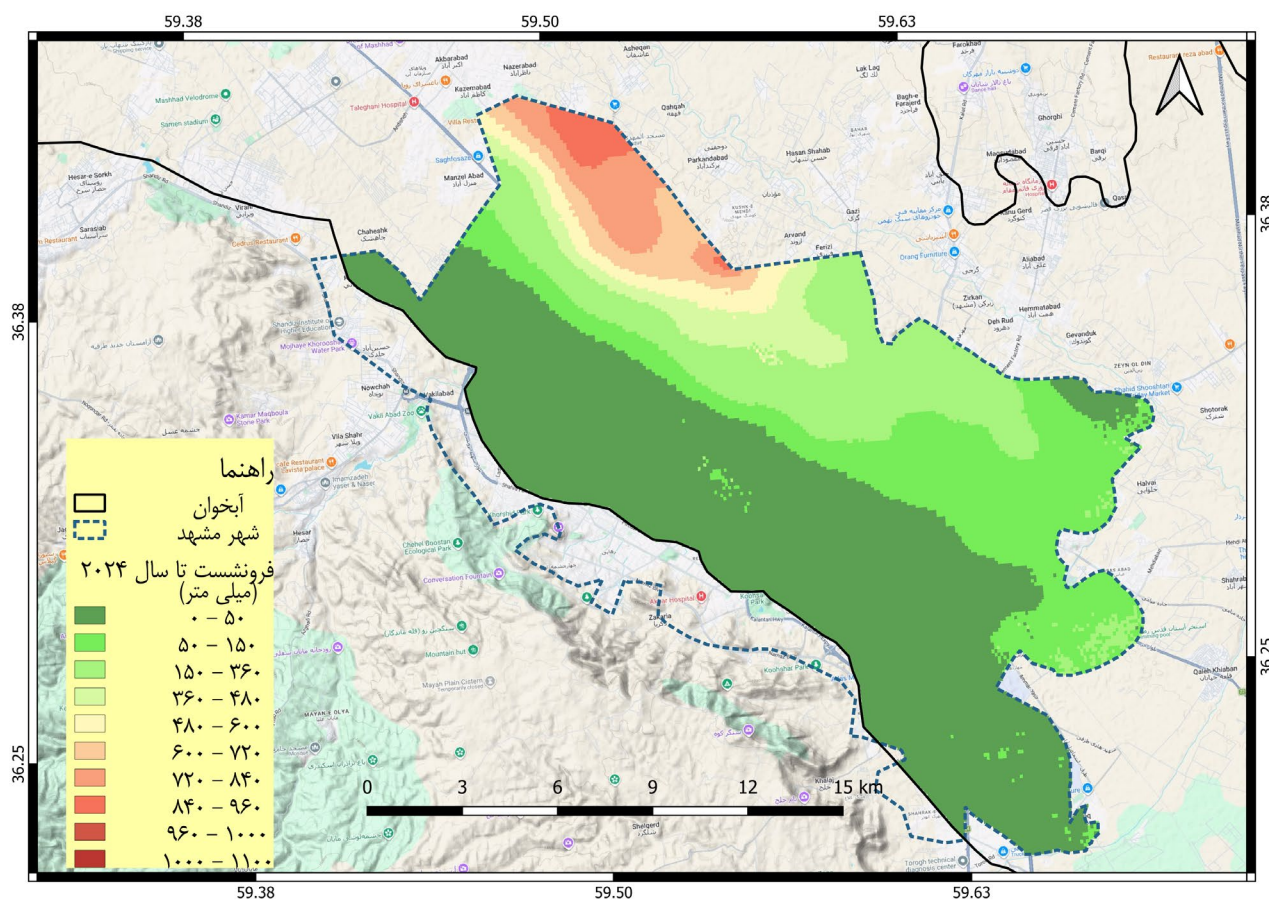
در مقیاس استانی، برخی از آبخوان‌های خراسان رضوی از جمله مشهد، نیشابور، فریمان، کاشمر، بردسکن و جویین در سال‌های اخیر نرخ‌های قابل توجه فرونشست را تجربه کرده‌اند. در برخی از این مناطق، نرخ فرونشست سالانه به حدود ۱۶ تا ۲۰ سانتی‌متر در سال رسیده که از منظر پایداری سرزمین، عدد بسیار قابل توجهی است. در مقیاس آبخوان مشهد، بررسی نقشه‌های فرونشست تجمعی نشان می‌دهد که این پدیده دارای الگوی فضایی بسیار گسترده‌تری نسبت به گذشته شده است. کانون‌های اصلی فرونشست با مقادیر تجمعی بالا، به‌صورت پهنه‌های کشیده و پیوسته در بخش‌های مختلف آبخوان دیده می‌شوند که این موضوع نشان می‌دهد فرونشست دیگر محدود به چند نقطه پراکنده

**مناطق بیشترین آسیب‌پذیری را دارند که در آن‌ها سه عامل همزمان وجود دارد: افت شدید آب زیرزمینی، رسوبات تراکم‌پذیر و تمرکز بالای جمعیت یا زیرساخت‌های حیاتی. متأسفانه بخش‌هایی از دشت مشهد هر سه ویژگی را همزمان دارند.**

آب است. اگر سیاست‌های خرید تضمینی بدون در نظر گرفتن محدودیت‌های آبی طراحی شوند، ممکن است ناخواسته به تشدید برداشت از منابع آب زیرزمینی منجر شوند. بنابراین، ضروری است سیاست‌های حمایتی کشاورزی در آینده به سمت حمایت از محصولات با بهره‌وری بالاتر آب، توسعه کشت‌های کم‌آبر و هماهنگی بیشتر با برنامه‌های مدیریت منابع آب حرکت کنند. گسترش فرونشست زمین در خراسان رضوی و دشت مشهد

بررسی داده‌های سنجش از دور، به‌ویژه داده‌های InSAR، در کنار مشاهدات میدانی نشان می‌دهد که فرونشست زمین در دهه اخیر از یک پدیده





فرونشست در ایران دیگر صرفاً یک مسئله محلی نیست، بلکه به یکی از مهم‌ترین چالش‌های محیط‌زیستی و مدیریتی کشور تبدیل شده است. مناطقی بیشترین آسیب‌پذیری را دارند که در آن‌ها سه عامل همزمان وجود دارد: افت شدید آب زیرزمینی، رسوبات تراکم‌پذیر و تمرکز بالای جمعیت یا زیرساخت‌های حیاتی. متأسفانه بخش‌هایی از دشت مشهد هر سه ویژگی را همزمان دارند و به همین دلیل در اولویت بالای مدیریت بحران قرار می‌گیرند.

### برداشت مازاد و عوامل چنگانه تشدید فرونشست در دشت مشهد

در دشت مشهد و بسیاری از آبخوان‌های بحرانی خراسان رضوی، فرونشست نتیجه عملکرد همزمان چند عامل انسانی و طبیعی است و نمی‌توان آن را به یک متغیر واحد محدود کرد. از میان عوامل تشدیدکننده، مهم‌ترین عامل همچنان برداشت مازاد از منابع آب زیرزمینی

نیست، بلکه به یک مسئله ساختاری در کل دشت تبدیل شده است.

در بسیاری از این نواحی، همزمان با تراکم بالای چاه‌های بهره‌برداری، افت شدید سطح آب زیرزمینی مشاهده می‌شود و ویژگی‌های زمین‌شناسی مانند ضخامت لایه‌های ریزدانه، ساختار رسوبات آبرفتی و موقعیت سنگ کف در تشدید الگوی فرونشست نقش دارند. در محدوده شهری مشهد، موضوع نگران‌کننده‌تر است؛ زیرا گسترش پهنه‌های فرونشستی به مناطق دارای جمعیت بالا، زیرساخت‌های شهری، شبکه‌های حمل‌ونقل، تأسیسات انرژی و مناطق مسکونی نزدیک شده است. در برخی نقاط، میزان فرونشست تجمعی از حدود یک متر نیز فراتر رفته که نشان‌دهنده سطح بالای ریسک برای زیرساخت‌های شهری است.

در سطح ملی نیز الگوی مشابهی در دشت‌هایی مانند تهران، اصفهان، کرمان، یزد و فارس مشاهده می‌شود و این نشان می‌دهد که

مدل‌های علی و سناریوهای مدیریتی می‌تواند سهم نسبی هر عامل را با دقت بیشتری مشخص کند. یکی از خلأهای مهم در کشور این است که هنوز در بسیاری از مناطق، بانک داده یکپارچه و دقیق برای چنین تحلیل‌هایی وجود ندارد؛ در حالی که بدون تحلیل دقیق سهم هر عامل، سیاست‌گذاری مؤثر بسیار دشوار خواهد بود.

### پیامدهای اقتصادی، اجتماعی و زیرساختی فرونشست در مشهد

فرونشست صرفاً یک مسئله زمین‌شناسی یا هیدرولوژیکی نیست؛ بلکه یک بحران چندبعدی با پیامدهای اقتصادی، اجتماعی و زیرساختی گسترده است، به‌ویژه در کلان‌شهری مانند مشهد که تمرکز بالای جمعیت، زیرساخت و فعالیت اقتصادی دارد. از منظر اقتصادی، فرونشست می‌تواند خسارات مستقیم به ساختمان‌های مسکونی، اراضی کشاورزی، تأسیسات صنعتی و شبکه‌های خدماتی وارد کند. ایجاد ترک در ساختمان‌ها، کاهش ارزش املاک، آسیب به زمین‌های کشاورزی و افزایش هزینه‌های تعمیر و نگهداری زیرساخت‌ها از جمله مهم‌ترین تبعات اقتصادی آن است.

از منظر اجتماعی، این پدیده می‌تواند احساس ناامنی عمومی ایجاد کند. مشاهده شکاف‌های سطحی، فروریزش‌های موضعی و انتشار اخبار مربوط به فروچاله‌ها در مناطق شهری، نگرانی عمومی را افزایش می‌دهد. در برخی مناطق، تداوم این شرایط حتی می‌تواند به مهاجرت اجباری یا تخلیه سکونتگاه‌ها منجر شود. در حوزه زیرساختی، ریسک بسیار جدی‌تر است. شبکه‌های انتقال آب، گاز، برق، خطوط راه‌آهن، جاده‌ها، خطوط انتقال انرژی و تأسیسات حساس شهری در معرض آسیب قرار دارند.

نکته بسیار مهم این است که خطر فقط محدود به کانون‌های اصلی فرونشست نیست. در بسیاری از موارد، مرز بین مناطق فرونشستی و مناطق پایدار، به دلیل ایجاد اختلاف نشست،

**یکی از خلأهای مهم در کشور این است که هنوز در بسیاری از مناطق، بانک داده یکپارچه و دقیق برای تحلیل سهم هر عامل در فرونشست وجود ندارد؛ در حالی که بدون تحلیل دقیق، سیاست‌گذاری مؤثر بسیار دشوار خواهد بود.**

است که ریشه اصلی افت سطح آب و در نهایت فرونشست محسوب می‌شود. این برداشت مازاد عمدتاً تحت تأثیر چند مؤلفه مهم شکل می‌گیرد: گسترش کشاورزی وابسته به آب زیرزمینی، توسعه کشت محصولات نسبتاً آب‌بر، برداشت از چاه‌های غیرمجاز، رشد جمعیت، افزایش تقاضای آب شهری و در برخی مناطق، توسعه فعالیت‌های صنعتی.

در کنار این عوامل، شرایط اقلیمی مانند کاهش بارش، افزایش دما و افزایش شدت خشکسالی نیز فشار مضاعفی بر منابع آب وارد کرده‌اند و وابستگی به منابع زیرزمینی را بیشتر کرده‌اند. در مقابل، عوامل تعدیل‌کننده شامل اصلاح الگوی کشت، افزایش بهره‌وری مصرف آب در کشاورزی، توسعه فناوری‌های نوین آبیاری، کنترل برداشت‌های غیرمجاز، استفاده از منابع آب جایگزین مانند پساب تصفیه‌شده و اصلاح سازوکارهای اقتصادی مانند قیمت‌گذاری واقعی‌تر آب هستند.

البته باید توجه داشت که اجرای منفرد هر کدام از این سیاست‌ها معمولاً اثر محدودی دارد و موفقیت واقعی زمانی حاصل می‌شود که این اقدامات به‌صورت همزمان و هماهنگ اجرا شوند. در مورد برآورد وزن نسبی هر عامل نیز، این موضوع نیازمند یک چارچوب داده‌محور است. برای این کار باید داده‌هایی مانند میزان برداشت چاه‌ها، تغییرات سطح آب زیرزمینی، الگوی کشت، اطلاعات اقلیمی، داده‌های جمعیتی، توسعه شهری و نرخ فرونشست به‌صورت یکپارچه تحلیل شوند.

در حال حاضر، استفاده از روش‌هایی مانند مدل‌های یادگیری ماشین، تحلیل حساسیت،

## بخش کشاورزی بزرگ‌ترین مصرف‌کننده منابع آب در خراسان رضوی است؛ بنابراین، بدون اصلاح تقاضای آب در این بخش، مدیریت بحران آب زیرزمینی و فرونشست عملاً امکان‌پذیر نخواهد بود.

بسیار پرخطرتر است؛ زیرا این نواحی می‌توانند باعث شکست خطوط انتقال، آسیب به جاده‌ها و اختلال در زیرساخت‌های حیاتی شوند. در استان خراسان رضوی، با توجه به حضور زیرساخت‌های مهم، جمعیت بالا و همچنین وجود میراث تاریخی و فرهنگی ارزشمند، این مسئله اهمیت دوچندان پیدا می‌کند. آسیب به بناهای تاریخی و میراث فرهنگی نیز یکی دیگر از تبعات کمتر دیده‌شده اما بسیار مهم فرونشست است. در مجموع، فرونشست یک بحران تدریجی اما با پیامدهای بالقوه بسیار پرهزینه است؛ بحرانی که اگر زودتر مدیریت نشود، هزینه‌های جبران آن در آینده بسیار سنگین‌تر خواهد بود.

## تجربه جهانی و راهبردهای قابل استفاده برای کنترل فرونشست در ایران

تجربه جهانی نشان می‌دهد که هیچ راه‌حل سریع و واحدی برای کنترل فرونشست وجود ندارد و موفق‌ترین کشورها معمولاً از ترکیب سیاست‌های فنی، اقتصادی، حقوقی و مدیریتی استفاده کرده‌اند. در آمریکا، به‌ویژه در ایالت کالیفرنیا و آریزونا، یکی از مهم‌ترین اقدامات، کنترل برداشت آب زیرزمینی از طریق قوانین سخت‌گیرانه، محدودسازی توسعه کشاورزی در مناطق بحرانی و حرکت به سمت مدیریت یکپارچه آب‌های سطحی و زیرزمینی بوده است. در چین، علاوه بر محدودسازی برداشت، پروژه‌های بزرگ تغذیه مصنوعی آبخوان و انتقال آب بین‌حوضه‌ای اجرا شد که در برخی مناطق توانست روند فرونشست را کنترل کند. اما نکته مهم این است که شرایط اقلیمی، اقتصادی و اجتماعی ایران، به‌ویژه خراسان رضوی، با بسیاری از این کشورها متفاوت است. ما با اقلیم خشک‌تر، محدودیت شدید منابع آب سطحی،

وابستگی بالاتر به کشاورزی و فشار جمعیتی مواجه هستیم؛ بنابراین امکان کپی مستقیم این مدل‌ها وجود ندارد. به نظر من، مناسب‌ترین راهبرد برای ایران ترکیبی از چند اقدام شامل کنترل واقعی برداشت‌های غیرمجاز، کاهش تدریجی وابستگی کشاورزی به آب زیرزمینی، اصلاح الگوی کشت، افزایش بهره‌وری مصرف آب، جلوگیری از توسعه صنایع آب‌بر در دشت‌های بحرانی، استفاده از پساب و منابع جایگزین و توسعه نظام پایش مستمر فرونشست است. مهم‌تر از همه، باید پذیرفت که کنترل فرونشست یک پروژه کوتاه‌مدت نیست. در بسیاری از کشورها، مطالعات پایه و اجرای سیاست‌ها بین ۵ تا ۱۰ سال زمان برده است. بنابراین، در ایران نیز نیاز به برنامه‌ریزی بلندمدت، تصمیم‌گیری علمی و پرهیز از راهکارهای مقطعی داریم.

## اصلاح الگوی کشت و بهره‌وری آب، شرط مدیریت بحران آب زیرزمینی

بخش کشاورزی بزرگ‌ترین مصرف‌کننده منابع آب در خراسان رضوی است؛ بنابراین، بدون اصلاح تقاضای آب در این بخش، مدیریت بحران آب زیرزمینی و فرونشست عملاً امکان‌پذیر نخواهد بود. یکی از مهم‌ترین راهکارها، اصلاح تدریجی الگوی کشت و حرکت به سمت محصولات کم‌آب‌بر، مقاوم به خشکی و دارای ارزش اقتصادی بالاتر است. اما تجربه نشان داده که صرف توصیه به کشاورزان برای تغییر محصول، معمولاً موفقیت محدودی دارد؛ زیرا تصمیم کشاورز تابع مسائل اقتصادی، بازار فروش، ریسک تولید و امنیت درآمد است. به همین دلیل، این تغییر باید با مجموعه‌ای از سیاست‌های از جمله ایجاد مشوق‌های اقتصادی برای کشت محصولات کم‌آب‌بر، اصلاح سیاست‌های خرید تضمینی، توسعه زنجیره بازار برای محصولات جایگزین، حمایت بیمه‌ای از کشاورزان در دوره گذار و کاهش ریسک اقتصادی تغییر الگوی کشت مکمل همراه باشد.

فرونشست ایجاد کرده‌اند. امروز می‌توان با دقت مناسب، تغییرات مکانی و زمانی فرونشست را در مقیاس‌های گسترده پایش کرد؛ موضوعی که در گذشته بسیار دشوار و پرهزینه بود. سامانه‌های GIS نیز نقش مهمی در تلفیق داده‌های مختلف مانند چاه‌ها، افت سطح آب زیرزمینی، کاربری اراضی، زیرساخت‌ها و پهنه‌های فرونشستی دارند و می‌توانند به اولویت‌بندی مناطق بحرانی کمک کنند.

در بخش تأمین آب جایگزین نیز استفاده از پساب تصفیه‌شده در کشاورزی و صنعت می‌تواند بخشی از فشار وارد بر منابع آب زیرزمینی را کاهش دهد؛ البته این موضوع نیازمند زیرساخت مناسب و نظارت دقیق بر کیفیت آب است. همچنین در آینده، استفاده از مدل‌های داده‌محور، هوش مصنوعی و سامانه‌های پیش‌بینی می‌تواند در مدیریت پیشگیرانه فرونشست نقش مهمی ایفا کند؛ موضوعی که در پروژه‌های جدید پژوهشی نیز اهمیت زیادی پیدا کرده است. اما نکته کلیدی این است که حتی پیشرفته‌ترین فناوری‌ها نیز بدون اصلاح سیاست‌های مصرف آب، کنترل برداشت مازاد و حکمرانی مؤثر منابع آب، نمی‌توانند بحران فرونشست را حل کنند. فناوری می‌تواند به ما کمک کند بحران را دقیق‌تر ببینیم و بهتر مدیریت کنیم، اما جایگزین تصمیم‌گیری سخت و اصلاحات ساختاری نخواهد شد.

### نقشه راه سه‌مرحله‌ای برای مهار فرونشست در مشهد و خراسان رضوی

مدیریت فرونشست نیازمند یک رویکرد مرحله‌ای است، زیرا این بحران طی چند دهه شکل گرفته و طبیعتاً با راهکارهای کوتاه‌مدت و مقطعی حل نخواهد شد. برای مشهد و خراسان رضوی باید یک نقشه راه در سه افق زمانی تعریف شود. اولویت اصلی باید مهار روند تشدید بحران باشد. این شامل کنترل برداشت‌های غیرمجاز، نظارت جدی‌تر بر چاه‌های بهره‌برداری، محدودسازی برداشت در کانون‌های بحرانی

**افزایش بهره‌وری مصرف آب، توسعه سامانه‌های نوین آبیاری، بهبود مدیریت مزرعه و استفاده از فناوری‌های دقیق کشاورزی می‌تواند نقش مهمی در کاهش مصرف آب داشته باشد. مدیریت تقاضای آب کشاورزی باید بخشی از یک برنامه جامع توسعه منطقه‌ای باشد.**

در کنار آن، افزایش بهره‌وری مصرف آب نیز بسیار مهم است. توسعه سامانه‌های نوین آبیاری، بهبود مدیریت مزرعه، استفاده از فناوری‌های دقیق کشاورزی، اصلاح بذرها و کاهش تلفات تولید می‌تواند نقش مهمی در کاهش مصرف آب داشته باشد. همچنین باید به مسئله بهره‌وری اقتصادی آب توجه شود؛ یعنی تولید محصولاتی که ارزش افزوده بیشتری به ازای هر مترمکعب آب ایجاد می‌کنند. در نهایت، مهم‌ترین مسئله این است که مدیریت تقاضای آب کشاورزی باید بخشی از یک برنامه جامع توسعه منطقه‌ای باشد؛ برنامه‌ای که همزمان به منابع آب، معیشت کشاورزان، امنیت غذایی و پایداری اقتصادی توجه کند. اگر صرفاً بر کاهش مصرف آب تمرکز شود و معیشت کشاورزان نادیده گرفته شود، بسیاری از سیاست‌ها در عمل با شکست مواجه خواهند شد.

### نقش فناوری در مدیریت بحران فرونشست؛ ابزاری برای تصمیم‌گیری دقیق‌تر

فناوری در مدیریت بحران فرونشست نقش بسیار مهمی دارد، اما باید توجه داشت که فناوری به‌تنهایی راه‌حل نهایی نیست؛ بلکه ابزاری برای تصمیم‌گیری دقیق‌تر، پایش بهتر و اجرای مؤثرتر سیاست‌هاست. در حوزه مدیریت برداشت، استفاده از کنتورهای هوشمند یکی از اقدامات مؤثر سال‌های اخیر بوده است. این ابزارها امکان پایش دقیق‌تر میزان برداشت، کنترل تخلفات و تحلیل الگوهای مصرف را فراهم می‌کنند و نسبت به گذشته شفافیت بیشتری در مدیریت منابع آب ایجاد کرده‌اند.

در حوزه پایش، داده‌های سنجش از دور و تصاویر ماهواره‌ای InSAR تحول بزرگی در شناسایی و رصد

## چارچوب یکپارچه برای پایش و ارزیابی فرونشست

برای مدیریت مؤثر فرونشست، صرفاً پایش نرخ نشست کافی نیست؛ ما به یک چارچوب ارزیابی یکپارچه نیاز داریم که بتواند هم روند فرونشست را پایش کند، هم عوامل ایجادکننده را تحلیل کند و هم اثر سیاست‌های مدیریتی را ارزیابی کند. این چارچوب باید حداقل در چهار لایه شامل پایش مستمر، لایه هیدروژئولوژیک، لایه انسانی و توسعه‌ای و لایه ارزیابی سیاستی طراحی شود.

در لایه پایش مستمر باید از داده‌های سنجش از دور، به‌ویژه تصاویر InSAR و داده‌های ماهواره‌ای استفاده شود تا تغییرات مکانی و زمانی فرونشست به‌صورت مستمر پایش شود. این لایه می‌تواند هشدار اولیه برای مناطق در حال بحرانی شدن فراهم کند.

در لایه هیدروژئولوژیک باید اطلاعات مربوط به افت سطح آب زیرزمینی، میزان برداشت چاه‌ها، تغذیه آبخوان، ویژگی‌های آبخوان، ضخامت لایه‌های ریزدانه، ساختار زمین‌شناسی و ویژگی‌های ژئوتکنیکی زمین تحلیل شود تا مشخص شود چه مناطقی از نظر فیزیکی مستعد فرونشست هستند.

لایه انسانی و توسعه‌ای شامل داده‌هایی مانند الگوی کشت، توسعه شهری، تراکم جمعیت، توسعه صنعتی، کاربری اراضی، سیاست‌های تخصیص آب و تغییرات تقاضای آب است. زیرا فرونشست صرفاً یک مسئله طبیعی نیست و به‌شدت تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی قرار دارد. در لایه ارزیابی سیاستی باید بررسی شود که سیاست‌هایی مانند انسداد چاه‌های غیرمجاز، اصلاح الگوی کشت، استفاده از پساب، محدودیت برداشت یا سایر مداخلات چه اثری بر کاهش نرخ فرونشست داشته‌اند. اینجاست که استفاده از مدل‌های داده‌محور، یادگیری ماشین، تحلیل سناریو و مدل‌های پیش‌بینی می‌تواند بسیار

**در بلندمدت باید به سمت اصلاح مدل توسعه منطقه‌ای حرکت کنیم. اگر رشد جمعیت، توسعه شهری، استقرار صنایع آب‌بر و الگوهای ناپایدار مصرف بدون اصلاح ادامه پیدا کند، حتی بهترین اقدامات کوتاه‌مدت نیز پایدار نخواهند بود.**

فرونشست و جلوگیری از توسعه فعالیت‌های جدید آب‌بر در دشت‌های بحرانی است. هم‌زمان، باید نظام پایش دقیق فرونشست و افت سطح آب زیرزمینی تقویت شود تا تصمیم‌گیری‌ها بر اساس داده‌های واقعی انجام شود. در برخی مناطق نیز پروژه‌های تغذیه مصنوعی آبخوان می‌تواند به‌صورت محدود بررسی شود.

در این مرحله باید تمرکز بر کاهش فشار ساختاری بر منابع آب زیرزمینی باشد. این اقدامات شامل اصلاح الگوی کشت، کاهش تدریجی سطح زیرکشت محصولات پرمصرف، توسعه فناوری‌های نوین آبیاری، استفاده از پساب در بخش کشاورزی و صنعت و افزایش بهره‌وری مصرف آب است. در این دوره، هماهنگی بین سیاست‌های کشاورزی، توسعه شهری و مدیریت منابع آب بسیار اهمیت دارد.

در بلندمدت باید به سمت اصلاح مدل توسعه منطقه‌ای حرکت کنیم. اگر رشد جمعیت، توسعه شهری، استقرار صنایع آب‌بر و الگوهای ناپایدار مصرف بدون اصلاح ادامه پیدا کند، حتی بهترین اقدامات کوتاه‌مدت نیز پایدار نخواهند بود. در این سطح، برنامه‌ریزی سرزمینی، بازنگری در توسعه صنایع، مدیریت تقاضای جمعیتی و بازتعریف الگوی توسعه متناسب با ظرفیت منابع آب ضروری است. مهم‌ترین نکته این است که فرونشست یک مسئله صرفاً فنی نیست؛ بلکه نتیجه نحوه توسعه اقتصادی، جمعیتی و مدیریتی یک منطقه است. اگر بخواهیم واقع‌بین باشیم، مهم‌ترین اولویت امروز مشهد و خراسان رضوی این است که ابتدا سرعت تشدید بحران را کاهش دهیم و سپس به سمت اصلاحات ساختاری بلندمدت حرکت کنیم.

نخواهد داشت.

مشارکت واقعی کشاورزان بسیار مهم است، زیرا آن‌ها در خط مقدم مصرف آب قرار دارند. اگر سیاست‌های اصلاح الگوی کشت، کاهش برداشت یا محدودیت مصرف بدون مشارکت و همراهی کشاورزان اجرا شود، احتمال موفقیت آن پایین خواهد بود. بخش خصوصی نیز می‌تواند در توسعه فناوری‌های بهره‌وری آب، بازیافت پساب، سامانه‌های پایش و سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های جدید نقش مهمی داشته باشد. از طرف دیگر، دولت باید نقش هماهنگ‌کننده اصلی را ایفا کند و از تصمیم‌گیری‌های بخشی فاصله بگیرد. مدیریت یکپارچه زمانی شکل می‌گیرد که تصمیمات مربوط به آب، کشاورزی، توسعه شهری، صنعت و محیط‌زیست در یک چارچوب مشترک و مبتنی بر داده اتخاذ شوند. می‌توان این‌گونه بیان کرد که مهم‌ترین تغییر مورد نیاز در ایران این است که از مدیریت واکنشی و کوتاه‌مدت فاصله بگیریم و به سمت حکمرانی پیشگیرانه، مشارکتی و مبتنی بر شواهد حرکت کنیم. فرونشست در واقع نشانه یک عدم تعادل عمیق در شیوه توسعه ماست و حل آن بدون اصلاح این الگو بسیار دشوار خواهد بود.

### پیش‌بینی فرونشست در دشت مشهد؛ از تشدید تدریجی تا محدودیت‌های داده‌ای

فرونشست زمین در دشت مشهد عمدتاً نتیجه افت بلندمدت سطح آب زیرزمینی و تخلیه لایه‌های آبدار است که در نهایت باعث فشردگی لایه‌های ریزدانه و تراکم‌پذیر می‌شود. این فرآیند در بسیاری از موارد ماهیتی غیرقابل بازگشت دارد، زیرا پس از فشردگی این لایه‌ها، بخشی از ظرفیت ذخیره آبخوان از بین می‌رود. به همین دلیل، تداوم افت سطح آب زیرزمینی می‌تواند در آینده باعث تشدید نرخ فرونشست در برخی مناطق شود.

گسترش مکانی فرونشست به عواملی مانند میزان برداشت از منابع آب زیرزمینی، توزیع

**فرونشست زمین در دشت مشهد عمدتاً نتیجه افت بلندمدت سطح آب زیرزمینی و تخلیه لایه‌های آبدار است که در نهایت باعث فشردگی لایه‌های ریزدانه و تراکم‌پذیر می‌شود. این فرآیند در بسیاری از موارد ماهیتی غیرقابل بازگشت دارد، زیرا پس از فشردگی این لایه‌ها، بخشی از ظرفیت ذخیره آبخوان از بین می‌رود.**

مفید باشد. در نهایت، خروجی این چارچوب باید به مدیران کمک کند که بدانند کدام مناطق بحرانی‌تر هستند، کدام عامل نقش بیشتری دارد و کدام سیاست واقعاً مؤثر بوده است. یکی از مشکلات فعلی در کشور این است که داده‌ها اغلب پراکنده و بین دستگاه‌های مختلف توزیع شده‌اند؛ در حالی که بدون یک پایگاه داده یکپارچه، مدیریت علمی فرونشست بسیار دشوار خواهد بود.

### فرونشست؛ نشانه‌ای از عدم تعادل عمیق در الگوی توسعه

یکی از مهم‌ترین دلایل پیچیده‌شدن مسئله فرونشست این است که این پدیده صرفاً یک مسئله فنی، زمین‌شناسی یا هیدرولوژیکی نیست؛ بلکه نتیجه تعامل عوامل اقتصادی، اجتماعی، مدیریتی و حتی معیشتی است. به همین دلیل، راه‌حل آن نیز صرفاً فنی نخواهد بود. در ایران، یکی از چالش‌های اصلی این است که بسیاری از سیاست‌ها به‌صورت بخشی و جزیره‌ای طراحی می‌شوند. وزارت نیرو، بخش کشاورزی، مدیریت شهری، بخش صنعت و نهادهای محلی هرکدام جداگانه تصمیم‌گیری می‌کنند؛ در حالی که فرونشست نتیجه عملکرد مجموع این بخش‌هاست. برای مثال، سیاست انسداد چاه‌های غیرمجاز سال‌ها اجرا شده است، اما در برخی مناطق مشاهده می‌شود که این چاه‌ها دوباره فعال می‌شوند یا چاه‌های جدید ایجاد می‌شود. این مسئله نشان می‌دهد که اگر ریشه‌های اقتصادی و معیشتی مسئله، مانند وابستگی درآمد کشاورزان به برداشت آب، حل نشود، صرفاً برخوردهای قانونی اثر پایدار

## عوارض فرونشست؛ از خسارت به زیرساخت‌ها تا کاهش ظرفیت آبخوان

عوارض فرونشست را می‌توان در چند بخش اصلی تقسیم‌بندی کرد. نخست، خسارات مستقیم به زیرساخت‌ها و مناطق مسکونی، پیامدهای هیدروژئولوژیکی مانند کاهش دائمی ظرفیت ذخیره آبخوان، و تغییر در شرایط هیدروژئولوژیکی سطح زمین که می‌تواند شیب طبیعی زمین، مسیر رواناب‌ها و حتی رفتار سیلاب‌ها را تغییر دهد.

مکانی چاه‌های بهره‌برداری، نرخ افت سطح آب و ویژگی‌های زمین‌شناسی آبخوان، از جمله ضخامت لایه‌های ریزدانه، وابسته است. در مناطقی که افت سطح آب شدیدتر و شرایط زمین‌شناسی مستعدتر باشد، احتمال توسعه پهنه‌های جدید فرونشستی بیشتر خواهد بود. در طرح پیش‌بینی فرونشست که در شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی در حال انجام است، تلاش شده با استفاده از داده‌های مرتبط با افت سطح آب زیرزمینی، داده‌های سنجش از دور و سایر متغیرهای مؤثر، وضعیت آینده فرونشست در افق‌های زمانی مختلف بررسی شود تا بتوان تصویری اولیه از روندهای آینده ارائه کرد.

یکی از مهم‌ترین منابع عدم قطعیت در این پیش‌بینی‌ها، محدودیت داده‌های زیرسطحی و زمین‌شناسی است. اطلاعات دقیق مربوط به ضخامت و ویژگی لایه‌های زیرزمینی معمولاً نیازمند حفاری‌های پرهزینه است و در بسیاری از مناطق به‌صورت کامل در دسترس نیست. با این حال، مدل‌های پیش‌بینی می‌توانند دید مناسبی از روند آینده فرونشست ارائه دهند و در تصمیم‌گیری‌های مدیریتی مؤثر باشند.

بخش دوم، پیامدهای هیدروژئولوژیکی فرونشست است که اهمیت بسیار زیادی دارد، اما کمتر مورد توجه قرار می‌گیرد. فشردگی لایه‌های زیرزمینی می‌تواند باعث کاهش دائمی ظرفیت ذخیره آبخوان شود و حتی در صورت بهبود شرایط بارش، توان بازیابی آبخوان را کاهش دهد. بخش دیگر، تغییر در شرایط هیدروژئولوژیکی سطح زمین است. فرونشست می‌تواند شیب طبیعی زمین، مسیر رواناب‌ها و حتی رفتار سیلاب‌ها را تغییر دهد و در برخی مناطق باعث ایجاد مشکلات جدید در مدیریت آب‌های سطحی شود.

در مجموع، فرونشست تنها به نشست سطح زمین محدود نمی‌شود و می‌تواند همزمان پیامدهای زیرساختی، اقتصادی و هیدروژئولوژیکی بلندمدتی ایجاد کند که مدیریت آن را به یک مسئله جدی در برنامه‌ریزی منطقه‌ای تبدیل کرده است.

تصمیم‌گیری‌های مدیریتی مؤثر باشند.



**محمد رضا فلفلانی**

مدیرمسئول نشریه هم‌افزایی و مدیرعامل خانه هم‌افزایی انرژی و آب خراسان  
رضوی، تحلیل‌گر سیستم‌های اقتصادی اجتماعی



## پایان دوران حاتم‌بخشی از جیب آیندگان؛ کالبدشکافی فرونشست در تله اقتصاد سیاسی

مصاحبه

نگاه ساده‌انگارانه‌ای که تصور می‌کند با ابزارهایی نظیر کنتور هوشمند، آبیاری قطره‌ای و ماهواره می‌توان فرونشست را مهار کرد، از درک روابط بازخوردی سیستم غافل است. در غیاب اصلاح ساختار حقوق مالکیت و سقف‌گذاری مطلق برداشت، ارتقای راندمان آبیاری صرفاً به افزایش بهره‌وری مصرف در واحد سطح و سپس گسترش سطح زیرکشت منجر شده است؛ دامی کلاسیک که در آن، پیشرفت فنی شتاب تخلیه آبخوان را دوچندان می‌کند. مصاحبه با متخصصین تا حدی نشان داد که فرونشست با تخلیه ذخایر استاتیک، پیشروی جبهه آب‌های شور، آبخوان‌ها را به سمت مسمومیت دائمی هدایت می‌کند. بنابراین به نظر من سیاست‌گذار هنوز دریافته است که آب استخراج‌شده از اعماق زمین، جریان درآمدی نیست، بلکه اصل دارایی است که خرج هزینه‌های جاری شده است. از طرف دیگر اصرار بر پایش صرف نرخ فرونشست به جای تدوین اطلس آسیب‌پذیری و ریسک اقتصادی-امنیتی، نمودی از فرار ساختاری از مسئولیت‌پذیری است. سازه‌های زیربنایی، خطوط انتقال انرژی و شریان‌های زیستی کشور بر روی دشت‌های در حال فروریزش بنا می‌شوند، بی آنکه هیچ الزام حقوقی یا پیوست ژئوتکنیکی بازدارنده‌ای در مراجع تصویب طرح‌ها وجود داشته باشد یا حداقل بگذارید بگویم هیچ الزام حقوقی موثر و قابل اجرا.

### کالبدشکافی توهم رشد در بن‌بست اکولوژیک

مطالبی که در این شماره از نشریه هم‌افزایی خواندیم، روایتی از ورشکستگی ساختاری یک مدل توسعه رانت‌محور و کوتاه‌نگر است. فرونشست زمین در فلات ایران عارضه‌ای برآمده از خشم طبیعت است؛ این شکاف‌های دهان‌گشوده، صورت‌حساب سررسیدشده و تجسد فیزیکی دهه‌ها سیاست‌گذاری پوپولیستی، چانه‌زنی منطقه‌ای و تملک سرمایه‌های طبیعی برای تولید رفاه تصنعی است. ما در ادبیات اقتصاد سیاسی با پدیده‌ای روبه‌رویم که آن را شکست انطباق نهادی می‌نامند و البته اقتصاددانان متعددی از جمله اریک بین‌هاکر و دانی رودریک پیرامون این موضوع تحقیق کرده‌اند: نهادهای تصمیم‌گیر، رشد ناپایدار کوتاه‌مدت را به قیمت تخریب غیرقابل‌بازگشت سرمایه طبیعی خریداری کرده‌اند. فرونشست زمین، نرخ استهلاک سرمایه‌ای است که در هیچ حساب ملی ثبت نمی‌شود، اما با از بین بردن خلل و فرج آبخوان‌ها، عملاً ظرفیت زیستی تمدن را برای همیشه می‌بلعد.

### از مهندسی سطحی تا فروپاشی نهادی

آنچه در تحلیل‌ها و مصاحبه‌های تخصصی این شماره از واکاوی شکست حکمرانی تا ارزیابی ریسک‌های ژئوتکنیکال و بررسی دینامیک‌های سیستمی آشکار شد، بی‌پایگی راهکارهای متداول تکنوکراتیک را برملا ساخت:

فاقد اقتدار لازم برای اعمال حاکمیت قانون بر سرچاه‌ها و تخصیص‌هاست. نتیجه این شکاف عمیق، تصویب اسنادی پرطمطراق است که از روز ابلاغ، محکوم به شکست و بایگانی در کشوی ادارات هستند.

### ج) معماری یارانه‌ها و تراژدی منابع مشترک

توزیع سالانه ده‌ها میلیارد دلار یارانه پنهان انرژی و سرکوب قیمت برق و سوخت پمپ‌های آب کشاورزی، پاداش مستقیمی است که حاکمیت به مصرف بیشتر و تخریب سنگین‌تر می‌پردازد و از آن طرف حق حکمرانی نامطلوب در حوزه انرژی و آب را برای خود بدست می‌آورد. در شرایطی که آب عملاً کالایی مجانی و رانتی بی‌انتهای تعریف شده، رفتار عقلایی هر بازیگر اقتصادی در سطح خرد، برداشت حداکثری تا قطره آخر است. این سازوکار، تراژدی منابع مشترک را به خشن‌ترین شکل ممکن بازتولید کرده است.

### توصیه‌های سیاستی؛ الزامات خروج از مسیر خودویرانگری

مهار بحران فرونشست با بخشنامه‌های اداری، گفتاردرمانی و تشکیل ستادهای موازی ناممکن است. بازگشت به تعادل، مستلزم جراحی ساختاری در اقتصاد سیاسی منابع و تجدیدنظر بنیادین در مفهوم امنیت ملی است. من تصور می‌کنم اقدامات ضروری در چهار سطح دسته‌بندی می‌شوند:

### سطح اول: خلع ید پوپولیسم و اصلاح معماری نهادی

۱. جرم‌انگاری دست‌اندازی نمایندگان مجلس به حریم آمایش سرزمین  
تصویب هرگونه طرح توسعه صنعتی آب‌بر، سدسازی نامتعارف یا معافیت برای متخلفان منابع پایه با انگیزه‌های منطقه‌ای، باید به عنوان اقدام علیه پایداری سرزمینی طبقه‌بندی شده و شورای نگهبان و نهادهای بالادستی و نظارتی مانع از تبدیل چانه‌زنی‌های محلی به قانون شوند.

**برنامه‌های پنج‌ساله توسعه و اسناد آمایش در ایران در برج‌های عاج و در خلاء کارشناسی نوشته می‌شوند؛ متونی انباشته از آرمان‌های متناقض و تکالیف رویایی، بدون آنکه کمترین تناسبی با ظرفیت اداری، توان کارشناسی و قدرت اجرایی دستگاه‌ها داشته باشند.**

### ریشه‌یابی اقتصاد سیاسی بحران: مثلث رانت، پوپولیسم و بروکراسی ناتوان

اگر بخواهیم بدون تعارفات به چرایی تعمیق این فاجعه بنگریم، به نظرم باید ریشه‌ها را در سازوکارهای معیوب تصمیم‌گیری جست‌وجو کرد:

#### الف) پوپولیسم تقنینی و تله افق زمانی کوتاه‌مدت

به نظرم نمایندگان مجلس به دلیل وابستگی ساختاری به چرخه‌های انتخاباتی چهارساله و منطق نانوشته‌ی توزیع رانت محلی برای کسب رأی، به عاملان اصلی تخریب منابع عمومی بدل شده‌اند. طرح‌هایی نظیر استثنا کردن چاه‌های غیرمجاز، فشار برای احداث صنایع سنگین و پتروشیمی در دشت‌های ممنوعه، و مسدودسازی هرگونه واقعی‌سازی بهای حامل‌های انرژی و آب، محصول تبدیل پارلمان از نهاد تضمین منافع ملی بلندمدت به بنگاه چانه‌زنی منافع خرد منطقه‌ای است. تصویب قوانین با هدف کسب محبوبیت موضعی، هزینه‌های اکولوژیک سنگینی را به کل جغرافیای ایران تحمیل کرده است و امیدوارم این موضوع، روزی در این آب و خاک متوقف شود.

#### ب) توهم برنامه‌ریزی جامع و ناتوانی اجرایی دولت

برنامه‌های پنج‌ساله توسعه که بعد نام آن به پیشرفت تغییر یافت (که آرزو داشتم مفهوم توسعه نیز در برنامه به پیشرفت تغییر می‌یافت که نیافت.) و اسناد آمایش در ایران در برج‌های عاج و در خلاء کارشناسی نوشته می‌شوند؛ متونی انباشته از آرمان‌های متناقض و تکالیف رویایی مانند تحقق همزمان خودکفایی در محصولات آب‌بر و تعادل‌بخشی سفره‌های زیرزمینی! بدون آنکه کمترین تناسبی با ظرفیت اداری، توان کارشناسی و قدرت اجرایی دستگاه‌ها داشته باشند. بدنه بروکراسی ناتوان، بی‌انگیزه و فرسوده،

مستقر سازد.

## سطح سوم: الزامات الزام‌آور مهندسی و پدافند غیرعامل

### ۶. تدوین فوری مقررات ملی ریسک فرونشست در ساخت‌وساز و شریان‌های حیاتی:

هیچ طرح عمرانی، مسکن‌سازی دولتی، خط لوله نفت و گاز، ریل و جاده نباید بدون دریافت گواهی ریسک فرونشست از مراجع ذی‌صلاح از جمله سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور آغاز شود. استقرار سکونتگاه‌ها در مناطق بحرانی فرونشست باید قانوناً متوقف شود.

### ۷. ایجاد سامانه هشدار سریع و اطلس پویای فرونشست:

داده‌های نرخ نشست و نقشه‌های تفکیکی ریسک زیرساخت‌ها باید بدون طبقه‌بندی‌های امنیتی ناموجه، به صورت عمومی و شفاف منتشر شوند تا هزینه‌های ریسک در بازارهای مالی، بیمه و معاملات املاک ارزش‌گذاری شود.

سطح چهارم: استقرار نظام حقوق مالکیت مدرن و انضباط مالی

### ۸. تفکیک حقوق آب از حقوق زمین و ایجاد بازارهای محلی کنترل‌شده:

با تعیین سهم نهایی قابل‌برداشت برای هر حوضه، پروانه‌های حجمی مشخص اعطا شده و امکان مبادله آن میان بهره‌برداران با هدف تخصیص به بالاترین ارزش‌افزوده اقتصادی ایجاد شود؛ مشروط بر اینکه در هر چرخه، درصدی از سهمیه به نفع احیای آبخوان مسدود و ابطال گردد.

**نکته:** اگر خواننده از خود می‌پرسد پس چرا روش‌های نوین آبیاری در این راهکارها جایی ندارد باید بگوییم که موارد بالا خود به خود منجر به تحرک ذینفعان اقتصادی به سمت بهره‌وری خواهد شد فلذا روش‌های نوین آبیاری به این دلیل که صرفه و صلاح اقتصادی پیدا می‌کند مورد توجه فعالان اقتصادی قرار می‌گیرد.

حکمرانی آب باید از ذیل وزارتخانه‌های بخشی با تضاد منافع ساختاری (نیرو به عنوان سازه‌ساز و اندازه‌گیر و صورت‌حساب صادرکن و جهاد کشاورزی به عنوان متولی تولید فیزیکی) خارج شده و به فرآیندی فراقوه‌ای با اختیار وتوی تصمیمات ضدآمایشی واگذار شود.

### ۲. برچیدن یارانه‌های ضدپایداری در بخش انرژی:

یارانه حامل‌های انرژی برای استخراج آب زیرزمینی باید طی یک جدول زمانی شفاف و پلکانی حذف شود و منابع حاصل از آن، مستقیماً به حساب صندوق بازنشستگی آبخوان‌ها و تأمین معیشت مردم واریز گردد تا رانت مفت‌خواری از منابع مشترک به صفر برسد.

### ۳. ایجاد سازوکار تنظیم‌گر فرابخشی و مستقل آب:

حکمرانی آب باید از ذیل وزارتخانه‌های بخشی با تضاد منافع ساختاری (نیرو به عنوان سازه‌ساز و اندازه‌گیر و صورت‌حساب صادرکن و جهاد کشاورزی به عنوان متولی تولید فیزیکی) خارج شده و به فرآیندی فراقوه‌ای با اختیار وتوی تصمیمات ضدآمایشی واگذار شود.

## سطح دوم: واقع‌گرایی برنامه‌ای و تناسب بخشی با ظرفیت اجرایی دولت

### ۴. توقف اسناد آرمانی و اولویت‌بندی انقباضی وظایف دولت:

باید از تدوین برنامه‌های قطور غیرقابل اجرا دست کشید. دولت باید وظایف خود را در سه اقدام متمرکز کند: تثبیت و پلمب دائمی چاه‌های غیرمجاز، نصب کنتورهای غیرقابل دستکاری، و اعمال جریمه‌های سنگین و بازدارنده قضایی.

### ۵. گذار عادلانه و خرید حق‌آبه‌ها به نفع تعادل زیستی:

به جای شعار جایگزینی اشتغال بدون پشتوانه، دولت موظف است با مشارکت بخش خصوصی، اراضی بحرانی را خریداری و بازنشسته کرده و توسعه مزارع خورشیدی، خدمات بازرگانی و صنایع پاک کم‌آبر را با معافیت‌های مالیاتی در این مناطق

### سخن پایانی: لحظه انتخاب تاریخی

فرونشست زمین، پایان دورانی است که می‌شد با صدور بخشنامه‌های تشریفاتی، تقسیم یارانه‌های نامرئی و مقصر دانستن تغییر اقلیم، حقیقت را کتمان کرد. زمین در حال فرو ریختن است چون منطق تصمیم‌گیری ما دهه‌ها پیش از مبانی واقعیت و بقا جدا شده است. تعادل میان نیازهای اقتصادی و توان اکولوژیک، با توصیه‌های اخلاقی و خواهش از مصرف‌کننده محقق نخواهد شد؛ این تعادل مستلزم شجاعت ساختاری در متوقف کردن پوپولیسم تقنینی، برچیدن رانت انرژی، و پذیرش محدودیت‌های سرزمین است.

شماره هشتم نشریه هم‌افزایی انرژی و آب زنگ خطری بی‌پرواست برای آنان که هنوز گمان می‌برند فرصت برای بازی‌های سیاسی و مصالحه‌های کوتاه‌مدت باقی است. خاک ایران بیش از این توان بازپرداخت بدهی‌های مدل توسعه ما را ندارد؛ فردا برای هر تصمیمی بسیار دیر خواهد بود.



## زنگ خطر خاموش

تحلیل بحران فرونشست زمین و نابودی آبخوان‌های ایران بر اساس داده‌های ماهواره‌ای

امین وطن‌پور ازغندی | کارشناس ارشد مهندسی عمران گرایش محیط زیست  
میترا ذکریا پور نائینی | کارشناس ارشد مهندسی عمران گرایش محیط زیست

مقاله

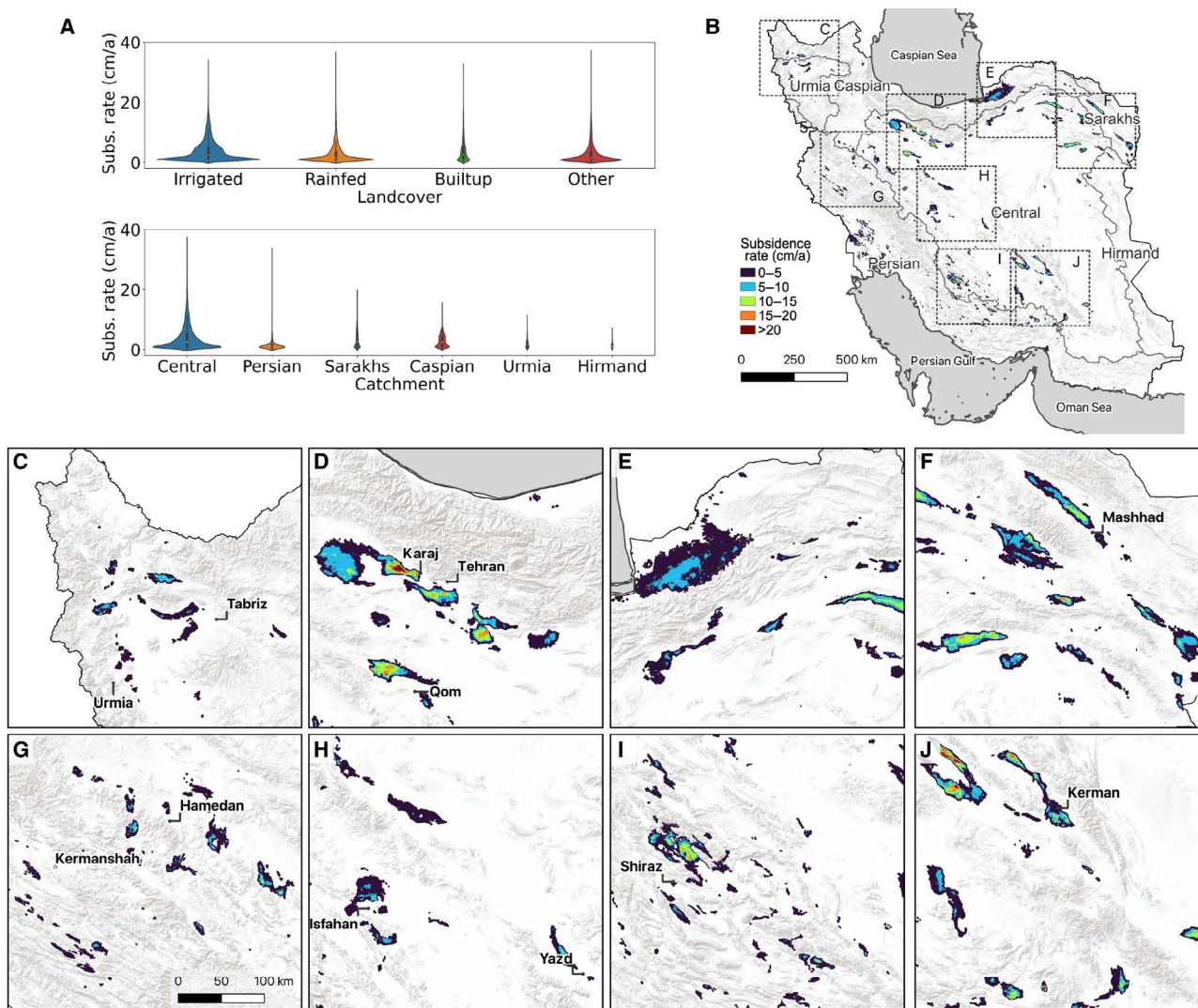


## مقدمه

دانشگاهی، بلکه یک هشدار علمی اثبات شده از معتبرترین سطح جهانی است که از فیلترهای دقیق علمی عبور کرده است. در ادامه، آنچه می‌خوانید، بازتابی دقیق از داده‌ها و استدلال‌های همین مقاله است.

ایران، سرزمینی با وسعت ۱.۶ میلیون کیلومتر مربع و جمعیتی بالغ بر ۸۴ میلیون نفر، با بحرانی خاموش اما ویرانگر دست‌وپنجه نرم می‌کند. مطالعه‌ای جامع و پیشگامانه با استفاده از فناوری پیشرفته سنجش از دور ماهواره‌ای، ابعاد هولناک این بحران را آشکار ساخته است: فرونشست زمین ناشی از تخلیه منابع آب زیرزمینی، که

این گزارش، تحلیلی است جامع و انحصاری بر پایه مقاله‌ای پیشگامانه که در تاریخ ۱۰ مه ۲۰۲۴ (۲۰ اردیبهشت ۱۴۰۳) در مجله معتبر Science Advances به چاپ رسیده است. این مجله در بالاترین سطح کیفی مجلات علمی (Q1) قرار دارد و یکی از معتبرترین منابع علمی در جهان به شمار می‌رود. فرآیند داوری فوق‌العاده سختگیرانه آن، به‌گونه‌ای است که تنها حدود ۱۰ درصد از مقالات ارسالی، شانس پذیرش و انتشار می‌یابند. بنابراین، یافته‌های ارائه شده در این پژوهش که توسط محققان آن انجام شده، نه تنها یک مطالعه



شکل ۱. فرونشست زمین در سراسر ایران بر اساس مشاهدات تصاویر ماهواره‌ای. (A) پراکندگی فرونشست برای پوشش‌های مختلف زمین و در شش حوضه آبریز اصلی کشور. (B) نقشه جامع نرخ فرونشست زمین در ایران. (خطوط نقشه، مرزهای حوضه‌های آبریز اصلی را نشان می‌دهند.) کادرها برای برجسته‌سازی مناطق اصلی متأثر از فرونشست زمین در نظر گرفته شده‌اند، همان‌طور که در (C تا J) نشان داده شده است. نرخ‌های فرونشست بر اساس اندازه‌گیری‌های ماهواره‌ای در راستای خط دید، با این فرض که فرونشست مؤلفه اصلی تغییر شکل سطح زمین است، تخمین زده شده‌اند.

این پدیده ۲۶۵ شهرستان از ۴۲۹ شهرستان کشور را تحت تأثیر قرار داده و در هشت شهرستان، مساحت فرونشستی از ۱,۰۰۰ کیلومتر مربع فراتر رفته است. نکته قابل تأمل این است که در میان تمام استان‌های کشور، تنها استان گیلان از این پدیده در امان مانده است که پژوهشگران آن را به عدم اتکای گسترده این استان به استخراج آب زیرزمینی در مقیاس وسیع نسبت می‌دهند.

### چرا فرونشست، فرزند تشنگی آبخوان‌هاست؟

این پژوهش فراتر از یک نقشه‌برداری ساده، با هم‌پوشانی هوشمندانه داده‌های فرونشست با لایه‌های اطلاعاتی گوناگون، به طور علمی ثابت می‌کند که ریشه اصلی این پدیده، برداشت بی‌رویه از آبخوان‌هاست. سه آزمون کلیدی برای اثبات این ارتباط انجام شده است:

۱. ۸۰ درصد از فرونشست‌های اندازه‌گیری‌شده، دقیقاً بر روی رسوبات دوره کواترنری رخ می‌دهد. این رسوبات جوان و تحکیم‌نیافته، به عنوان سفره‌های آب زیرزمینی خوب شناخته می‌شوند.

۲. ۸۰ درصد از فرونشست در مناطقی رخ می‌دهد که ضخامت خاک و رسوبات آن‌ها بیش از ۲۵ متر است، یعنی جایی که ظرفیت ذخیره آب زیرزمینی وجود دارد.

۳. قاطعانه‌ترین شاهد آن است که ۹۰ درصد از تمام فرونشست‌های شناسایی‌شده، درون مرزهای تعریف‌شده آبخوان‌های کشور قرار گرفته‌اند.

این شواهد متقن، به روشنی تأیید می‌کند که فرونشست مشاهده‌شده، نتیجه مستقیم فشردن اسکلتهای خاک در آبخوان‌ها (به‌ویژه در لایه‌های رسی و سیلتی با نفوذپذیری پایین) به دلیل افت سطح آب زیرزمینی است.

### محاسبه کسری مخازن

بر اساس این تحلیل، پژوهشگران توانسته‌اند حجم آب از دست رفته از آبخوان‌های تحت فشار و نیمه‌تحت‌فشار را محاسبه کنند. مفروض اصلی آن است که فرونشست، نتیجه مستقیم

نه‌تنها ذخایر آبی کشور را به طور دائمی نابود می‌کند، بلکه امنیت زیرساخت‌ها و سکونتگاه‌های میلیون‌ها ایرانی را نیز به شدت تهدید می‌کند. این یادداشت، با تکیه بر یافته‌های این پژوهش که با استفاده از بیش از ۶۰۰۰ تصویر ماهواره‌ای Sentinel-۱ بین سال‌های ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۹ (۲۰۱۴ تا ۲۰۲۰ میلادی) انجام شده، تصویری بی‌پرده و علمی از وضعیت بحرانی ایران ارائه می‌دهد.

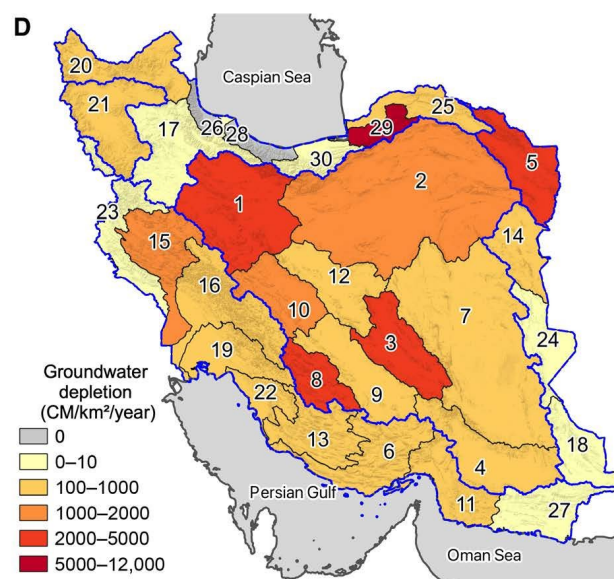
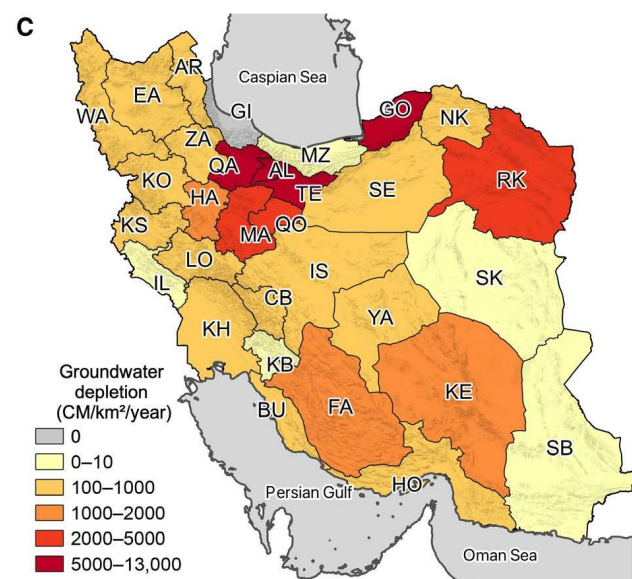
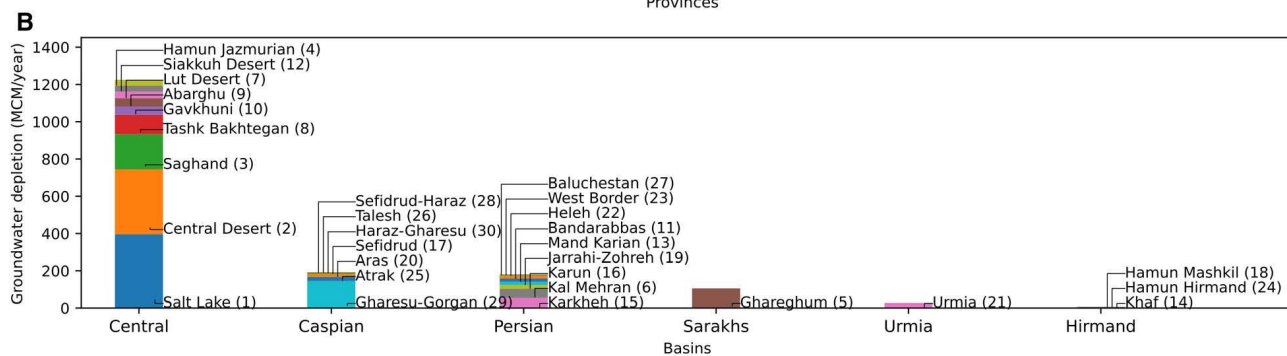
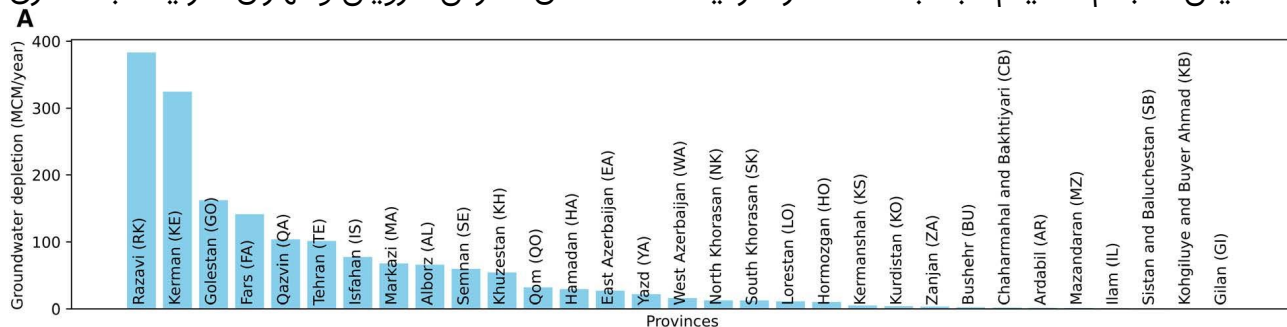
### کمیت و شدت فرونشست

نتایج این پایش سراسری نشان می‌دهد که مسئله فرونشست زمین در ایران، نه یک مشکل محلی، بلکه یک بحران فراگیر ملی است. بر اساس داده‌های ماهواره‌ای، حدود ۵۶,۰۰۰ کیلومتر مربع از مساحت کشور، معادل ۳.۵ درصد از کل خاک ایران، درگیر پدیده فرونشست زمین است. این رقم حیرت‌آور، وسعت فاجعه را نمایان می‌سازد. اما ابعاد ماجرا زمانی هشداردهنده‌تر می‌شود که به شدت فرونشست در مناطق مختلف توجه کنیم. بیش از ۴۰,۰۰۰ کیلومتر مربع با نرخ بیش از ۱ سانتی‌متر در سال در حال فروکش کردن است و مساحتی بالغ بر ۲۵,۰۰۰ کیلومتر مربع نرخ فرونشستی بیش از ۲ سانتی‌متر را تجربه می‌کند. در این میان، نقاط بحرانی با نرخ‌های سرسام‌آوری وجود دارند که زنگ خطر را به صدا درآورده‌اند. مساحتی حدود ۳,۰۰۰ کیلومتر مربع از ایران با سرعتی بیش از ۱۰ سانتی‌متر در سال فرومی‌نشیند. اوج این فاجعه در استان کرمان و به طور مشخص در شهرستان رفسنجان، قطب پسته‌کاری ایران، مشاهده می‌شود که رکورد حداکثر نرخ فرونشست را با رقم باورنکردنی ۳۷ سانتی‌متر در سال به خود اختصاص داده است. پس از آن، شهرستان ارزوئیه در همان استان با ۳۴ سانتی‌متر و شهرستان‌های ساوجبلاغ و نظرآباد در استان البرز با نرخ‌های ۲۹ و ۲۷ سانتی‌متر در سال، دیگر نقاط بحرانی را تشکیل می‌دهند.

نقشه سراسری فرونشست (شکل ۱) توزیع جغرافیایی این بحران را به وضوح نشان می‌دهد.

ذخیره‌سازی پنج سدی که آب شرب تهران را تأمین می‌کنند، برابری می‌کند. توزیع این کسری بودجه آبی در سطح کشور نیز نابرابر و نگران‌کننده است (شکل ۲). استان‌های خراسان رضوی (با ۳۸۰ میلیون متر مکعب) و کرمان (با ۳۲۵ میلیون متر مکعب) در صدر جدول مصرف‌کنندگان ذخایر دائمی آب قرار دارند. پس از آن‌ها، استان‌های گلستان، فارس، قزوین و تهران هر یک با کسری

فشرده‌شدن این لایه‌های محدودشده است. نتیجه این محاسبه، رقم هولناکی را نشان می‌دهد: ایران سالانه به طور متوسط ۱,۷۳۷ میلیون متر مکعب (معادل ۱۰۷ میلیارد متر مکعب) از ذخایر آب زیرزمینی خود را صرفاً از طریق فشرده‌سازی دائمی آبخوان‌های محصور از دست می‌دهد. برای درک بزرگی این فاجعه، پژوهش اشاره می‌کند که این حجم عظیم آب، با حداکثر ظرفیت



شکل ۲. تخلیه آب زیرزمینی از آبخوان‌های تحت فشار و نیمه‌تحت فشار در ایران. (A) سهم هر استان در استحصال سالانه آب زیرزمینی. (B) سهم هر حوضه و زیرحوضه آبریز در استحصال سالانه آب زیرزمینی. (C) و (D) استحصال سالانه آب زیرزمینی به ازای هر کیلومتر مربع در استان‌ها و زیرحوضه‌های مختلف. میزان تخلیه آب زیرزمینی با استفاده از داده‌های فرونشست و با این فرض برآورد شده است که تراکم بخش‌های تحت فشار و نیمه‌تحت فشار سیستم آبخوان، عامل غالب فرونشست است. نام استان‌ها در بخش (C) برای سادگی به صورت مخفف آمده و با نام‌های کامل در بخش (A) مطابقت دارد. زیرحوضه‌ها در بخش (D) برای سادگی شماره‌گذاری شده‌اند و با نام‌های کامل در بخش (B) مطابقت دارند. خطوط آبی رنگ در بخش (D) مرزهای حوضه‌های آبریز اصلی را نشان می‌دهند.

بلکه هر ساله به طور فزاینده‌ای فروتر می‌رود و ظرفیت ذخیره‌سازی آبخوان به طور جبران‌ناپذیری نابود می‌شود.

برای نمونه، دو نقطه در جنوب غرب تهران و کرج بررسی شدند که به ترتیب نسبت‌های ۰.۱ و ۰.۴ را نشان می‌دهند. نقطه اول با فرونشست سالانه ۱۸ سانتی‌متر، تنها ۲ سانتی‌متر تغییر فصلی دارد، و نقطه دوم با ۲۹ سانتی‌متر فرونشست دائمی، ۱۱ سانتی‌متر نوسان فصلی را تجربه می‌کند. این تحلیل در سطح حوضه‌های آبریز، ناپایداری را به وضوح ترسیم می‌کند: حوضه‌های فلات مرکزی، سرخس و هیرمند که در نواحی مرکزی شرقی و جنوبی کشور قرار دارند، نسبتی نزدیک به صفر را نشان می‌دهند که به معنای برداشت کاملاً ناپایدار از آب‌های زیرزمینی است. در مقابل، حوضه‌های ارومیه، خلیج فارس و دریای خزر که بارش بیشتری دریافت می‌کنند، نسبت بالاتری دارند، هرچند وضعیت آن‌ها نیز ممکن است شکننده باشد.

### موتور محرکه بحران

تحلیل کاربری اراضی در مناطق فرونشستی، انگشت اتهام را مستقیماً به سوی بخش کشاورزی نشانه می‌گیرد. بر اساس داده‌های سرویس جهانی زمین، بیش از دو سوم زمین‌های در حال فرونشست، به عنوان زمین‌های کشاورزی طبقه‌بندی شده‌اند. همچنین با استفاده از داده‌های امنیت غذایی جهانی، مشخص شده که تقریباً ۴۰ درصد از فرونشست در زمین‌های تحت کشت آبی رخ می‌دهد. به لحاظ حجمی، نزدیک به نیمی از کل کسری سالانه آب زیرزمینی (حدود ۸۴۰ میلیون متر مکعب) صرفاً در زمین‌های آبی به وقوع می‌پیوندد.

این پژوهش با مقایسه آمارهای رسمی وزارت جهاد کشاورزی و نرخ تخلیه آب زیرزمینی (شکل ۳)، پرده از ناکارآمدی شدید مصرف آب در این بخش برمی‌دارد. استان خوزستان با سهم ۱۳ درصدی از تولیدات کشاورزی کشور، به دلیل دسترسی به

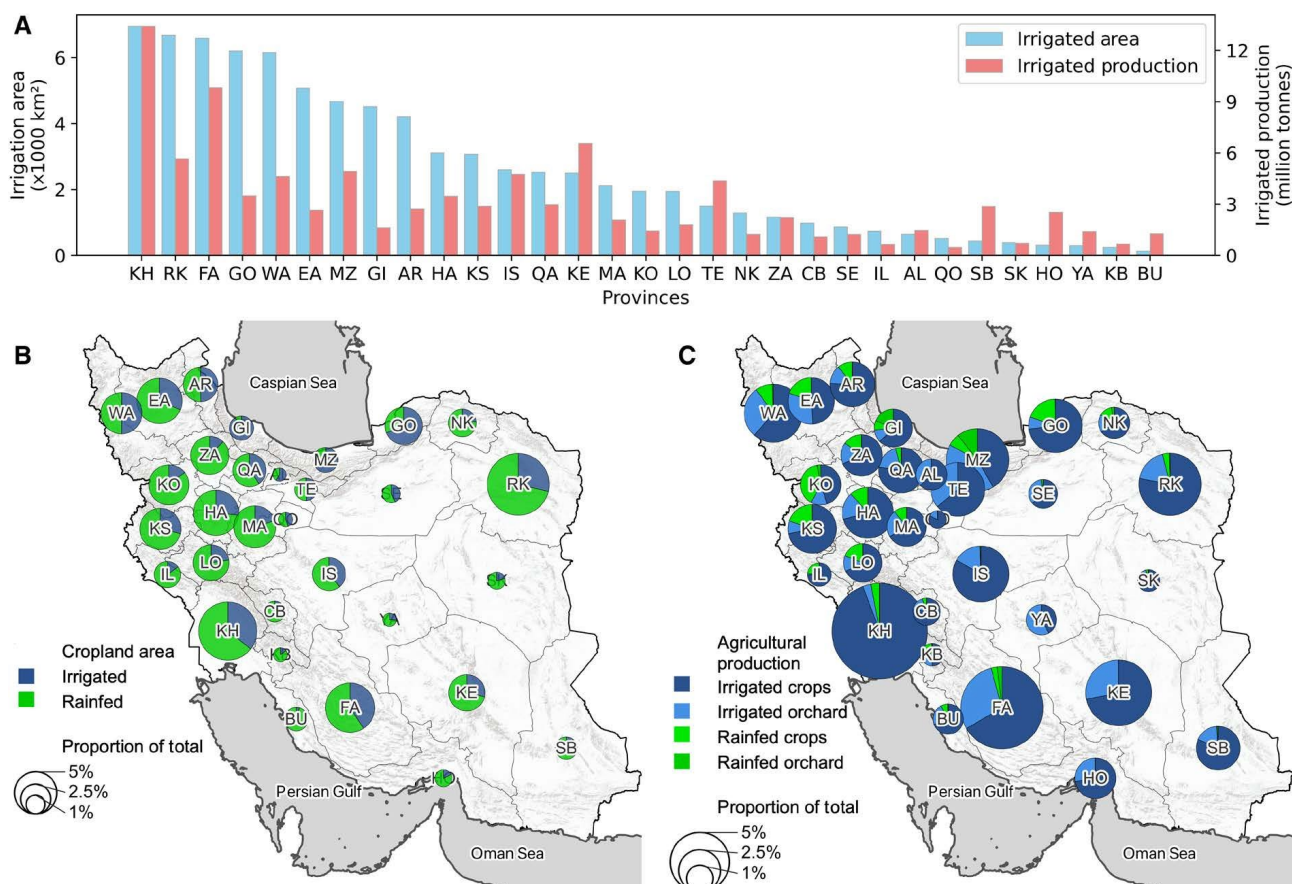
سالانه حدود ۱۰۰ تا ۱۶۰ میلیون متر مکعبی، وضعیت بحرانی‌ای را تجربه می‌کنند.

تحلیل بر اساس نرمال‌سازی بر مساحت (شدت تخلیه در واحد سطح)، الگوی مکانی بحران را بهتر نشان می‌دهد. استان‌های نیمه شمالی کشور، شدیدترین نرخ تخلیه را تجربه می‌کنند. در این میان، استان البرز با کسری سالانه ۱۲,۸۰۰ متر مکعب در هر کیلومتر مربع، رتبه نخست را دارد و استان‌های گلستان، تهران و قزوین در رتبه‌های بعدی قرار می‌گیرند. در سطح زیرحوضه‌ها نیز، زیرحوضه قره‌سو-گرگان با تخلیه سالانه ۱۱,۰۰۰ متر مکعب در هر کیلومتر مربع، بدترین وضعیت را دارد. در مقیاس حوضه‌های آبریز اصلی، حوضه فلات مرکزی که نیمی از مساحت کشور را پوشش می‌دهد، به تنهایی مسئول ۷۰ درصد از کل افت آب زیرزمینی ایران است.

### غلبه مرگ دائمی بر حیات فصلی

یکی از یافته‌های کلیدی و بسیار نگران‌کننده این مطالعه، تفکیک میان دو نوع تغییر شکل زمین است: الاستیک (کشسان و برگشت‌پذیر) و غیرالاستیک (دائمی و ماندگار). تغییر شکل الاستیک ناشی از چرخه‌های فصلی تغذیه و تخلیه است، مانند فرونشست موقت در فصل خشک و بازگشت در فصل مرطوب. اما تغییر شکل غیرالاستیک، گویای فشرده‌شدگی دائمی لایه‌های آبخوان است که با هیچ بارندگی‌ای جبران نمی‌شود و به معنای از دست رفتن همیشگی ظرفیت ذخیره‌سازی آب است.

تحلیل سری‌های زمانی سطح زمین در این پژوهش نشان می‌دهد که در اغلب آبخوان‌های ایران، نسبت تغییر شکل الاستیک به غیرالاستیک (نسبت برگشت‌پذیری فصلی به فرونشست دائمی سالانه) حدود ۰.۱ است. به بیان ساده، فرونشست دائمی و ماندگاری که سالانه رخ می‌دهد، به طور متوسط یک مرتبه بزرگی (ده برابر) از نوسان فصلی بزرگ‌تر است. این یعنی زمین نه‌تنها پس از هر فصل خشک به جایگاه قبلی خود بازمی‌گردد،



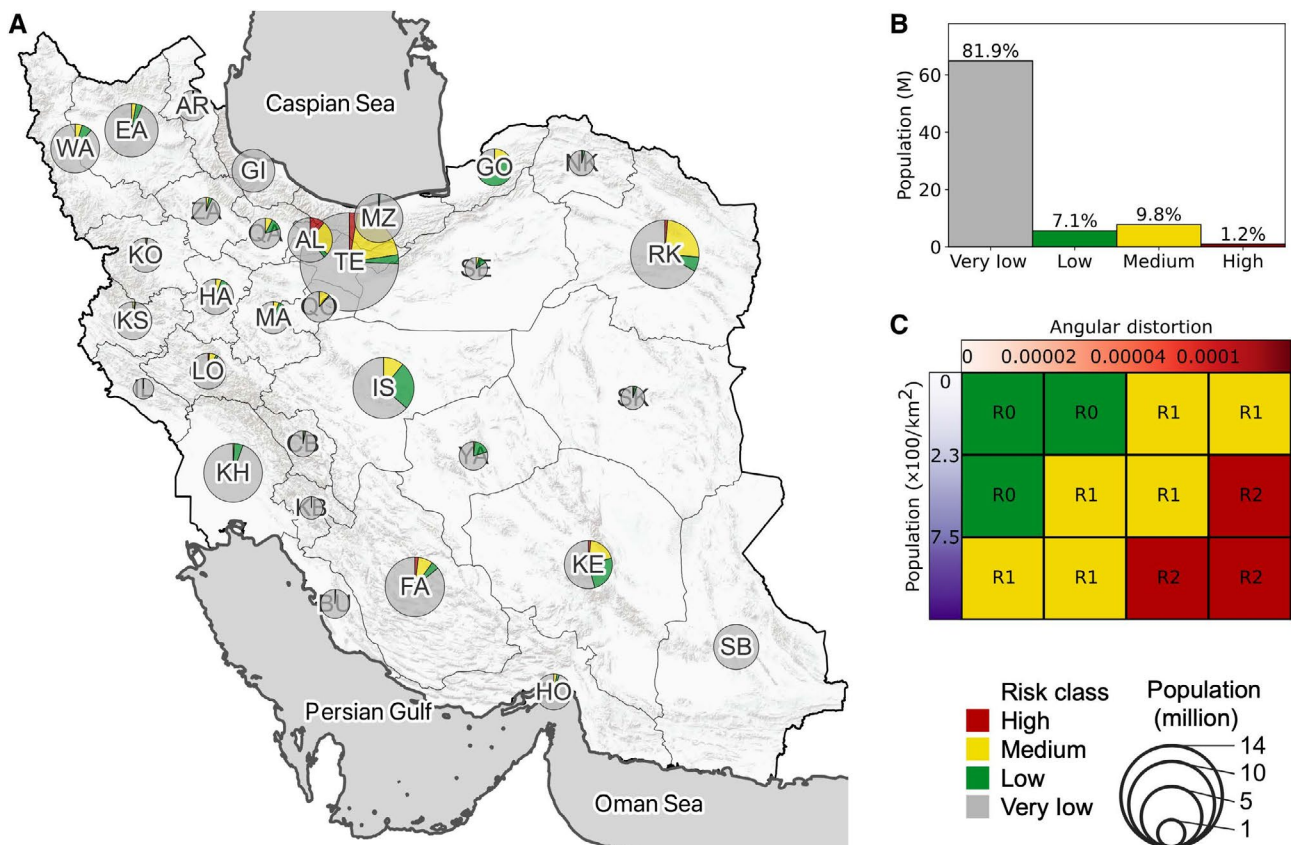
شکل ۳. انواع اراضی زراعی و تولیدات کشاورزی استان‌های مختلف ایران. (A) مساحت کل اراضی آبی و کل تولیدات کشاورزی هر استان. (B) سهم اراضی کشاورزی آبی و دیم در استان‌های مختلف. (C) سهم تولیدات آبی و دیم زراعی و باغی در استان‌های مختلف. اطلاعات مربوط به مساحت‌های کشاورزی بر اساس داده‌های تحلیل حمایت از امنیت جهانی غذا و آب (DASFG) و خدمات جهانی زمین کوپرنیک است. اطلاعات تولیدات کشاورزی بر اساس آمار وزارت کشاورزی ایران می‌باشد. نام استان‌ها برای سادگی به صورت مخفف ذکر شده است.

## خطر برای جمعیت و زیرساخت‌ها

این مطالعه با انجام یک تحلیل خطر، ابعاد اجتماعی و اقتصادی فاجعه را نیز کمی کرده است (شکل ۴).

یافته‌ها نشان می‌دهد که حدود ۱۴ میلیون نفر، یعنی بیش از یک‌پنجم جمعیت ایران، در مناطقی زندگی می‌کنند که به طور مستقیم تحت تأثیر فرونشست قابل توجه قرار دارند. با استفاده از یک ماتریس ریسک که پارامترهای اعوجاج زاویه‌ای (به‌عنوان معیار خطر سازه‌ای) و تراکم جمعیت (به‌عنوان معیار آسیب‌پذیری) را ترکیب می‌کند، جمعیت در معرض خطر به سه دسته تقسیم شده است:

آب‌های سطحی، تنها مسئول ۳ درصد از افت آب زیرزمینی است. در نقطه مقابل، استان‌های خراسان رضوی، کرمان و فارس که به ترتیب سهم ۶، ۶ و ۱۰ درصدی در تولید دارند، مسئولیت ۲۲، ۱۹ و ۸ درصدی از تخلیه منابع آب زیرزمینی را بر عهده دارند. این شکاف عمیق نشان می‌دهد که پمپاژ بالای آب از سفره‌های زیرزمینی لزوماً به تولید بالاتر منجر نشده و صرفاً حاصل شیوه‌های آبیاری ناکارآمد و اتکای مفرط به این منابع برای کشاورزی در مناطق خشک و نیمه‌خشک است. همچنین، قابل توجه است که کمتر از ۴ درصد از کل فرونشست‌ها در مناطق ساخته‌شده (شهری و مسکونی) رخ می‌دهد.



شکل ۴. خطر فرونشست برای جمعیت ایران. (A) نمودارهای دایره‌ای، سهم افراد هر استان را که در معرض کلاس‌های مختلف خطر فرونشست قرار دارند، نشان می‌دهند. مساحت دایره‌ها با کل جمعیت هر استان متناسب است. (B) سهم جمعیت کشور که در معرض کلاس‌های مختلف خطر فرونشست قرار دارد. (C) ماتریس خطری که برای محاسبه خطر فرونشست برای جمعیت استفاده شده است  $R_1$  تا  $R_4$  مربوط به کلاس‌های خطر کم تا زیاد هستند.

- حدود ۵.۶ میلیون نفر (۷٪ جمعیت) در مناطق کم‌خطر سکونت دارند.
- حدود ۷.۷ میلیون نفر (۱۰٪ جمعیت) در مناطق با خطر متوسط زندگی می‌کنند.
- به طور هشداردهنده‌ای، حدود ۹۰۰,۰۰۰ نفر (۱٪ جمعیت) در مناطق پرخطر ساکن هستند که بیش از ۹۵ درصد از آن‌ها در پنج استان تهران، البرز، فارس، خراسان رضوی و کرمان متمرکز شده‌اند. در کلانشهر تهران، بیش از ۳ میلیون نفر در سطوح مختلف خطر فرونشست زندگی می‌کنند.
- خطر تنها محدود به سکونتگاه‌ها نیست، بلکه شریان‌های حیاتی کشور نیز در معرض تهدید جدی قرار دارند. تحلیل داده‌های زیرساخت خطی از نقشه‌های مشارکتی نشان می‌دهد که درصد قابل توجهی از شبکه حمل‌ونقل ایران از مناطق فرونشستی عبور می‌کند:
  - حدود ۱,۳۸۰ کیلومتر از ۹,۵۰۰ کیلومتر خطوط ریلی کشور (۱۵٪) در مناطق فرونشستی قرار دارد. این موضوع به ویژه برای خطوط پرترددی مانند تهران-گرمسار-مشهد که ستون فقرات حمل و نقل ریلی شرق کشور است، حیاتی است.
  - ۵۵ کیلومتر از حدود ۳۷۰ کیلومتر خطوط متروی کشور (۱۵٪) در زون‌های فرونشست واقع شده است. چهار خط از هفت خط متروی تهران و تنها خط متروی اصفهان، از مناطق درگیر عبور می‌کنند.
  - ۵۸۰ کیلومتر از بزرگراه‌ها (۱۱٪) و بیش از ۷,۸۵۰ کیلومتر از جاده‌های اصلی و ترانزیتی (۱۰٪ و ۱۳٪) نیز از این مناطق عبور می‌کنند.
- علاوه بر این، زیرساخت‌های نقطه‌ای نیز بی‌نصیب نمانده‌اند. هشت فرودگاه از ۶۱ فرودگاه بزرگ و متوسط کشور، از جمله فرودگاه بین‌المللی امام خمینی تهران (با بیش از

در استان‌های کلیدی را نیز به نابودی خواهد کشاند.

۵. ابعاد این بحران از مرزهای محیط زیست فراتر رفته و با به خطر انداختن جان ۱۴ میلیون نفر و آسیب‌پذیری شریان‌های اقتصادی و زیرساخت‌های ملی، می‌تواند پایه‌های توسعه پایدار کشور را متزلزل کند.

نویسندگان مقاله هشدار می‌دهند که نرخ برداشت آب زیرزمینی اکنون دو برابر سطح پایدار است. با توجه به بازدهی کمتر از ۳۵ درصدی آبیاری و عدم وجود سیاست‌های قاطع و مؤثر، راه‌حل‌های موقتی مانند انتقال آب بین‌حوضه‌ای نه تنها کمکی به حل مشکل نمی‌کند، بلکه ممکن است به تنش‌های اجتماعی دامن بزند. این مطالعه در پایان، فراخوانی فوری و قاطع برای اقدام در سطح ملی ارائه می‌کند؛ اقدامی که باید مبتنی بر واقعیات علمی و با تمرکز بر پایداری منابع آب و اصلاح الگوی کشاورزی باشد، پیش از آن که فرصت باقی‌مانده برای همیشه از دست برود.

### منبع:

Haghighi, M. H., & Motagh, M. (۲۰۲۴). Uncovering the impacts of depleting aquifers: A remote sensing analysis of land subsidence in Iran, Science Advances.

۸ میلیون مسافر سالانه)، فرودگاه‌های اصفهان و ارومیه، در مناطق فرونشستی ساخته شده‌اند. همچنین ۵۴ ایستگاه راه‌آهن و ۲۵ ایستگاه مترو نیز در این پهنه‌های پرخطر جای گرفته‌اند.

### بحرانی ملی، اقدامی فوری

پژوهش منتشرشده، تصویری منسجم، مستند و عمیقاً نگران‌کننده از بحران آب و فرونشست زمین در ایران ارائه می‌دهد. یافته‌های این مطالعه هرگونه تردید در مورد مقیاس و عوامل اصلی این بحران را برطرف می‌سازد. این مطالعه تأکید می‌کند که:

۱. فرونشست دیگر یک مشکل محدود به چند دشت نیست، بلکه ۳۰۵ درصد از خاک کشور را فراگرفته است.
۲. هم‌پوشانی ۹۰ درصدی با مرز آبخوان‌ها، شواهد علمی تردیدناپذیری دال بر نقش برداشت بی‌رویه آب در این فاجعه است.
۳. با غلبه ده برابری فرونشست دائمی بر تغییرات فصلی، ظرفیت ذخیره‌سازی آبخوان‌ها به طور جبران‌ناپذیری در حال نابودی است، به‌ویژه در حوضه فلات مرکزی که قلب تپنده بحران است.
۴. سهم دو سوم کشاورزی در مناطق فرونشستی و هدررفت عظیم آب در این بخش، آن را به مهمترین عامل تبدیل کرده است. با این حال، تداوم این روند، آینده کشاورزی و امنیت غذایی

# آیا پاییز ۱۴۰۵ پربارش خواهد بود؟

عباس مفیدی

اقلیم‌شناس و هیات علمی گروه جغرافیای  
دانشگاه فردوسی مشهد



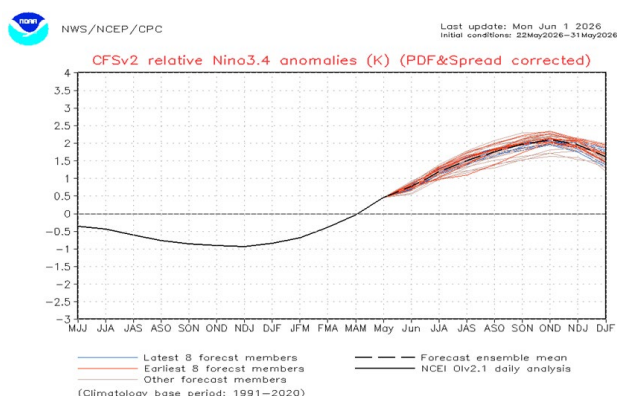
یک اقلیم‌شناس گروه جغرافیای دانشگاه فردوسی مشهد با استناد به ارزیابی خروجی مدل‌های پیش‌بینی و شواهد موجود و با ارائه توضیحاتی در رابطه با پدیده ال‌نینو، گفت: در صورتی که طی دو سه ماه آینده الگوی ارائه شده در ماه اردیبهشت تداوم یابد، ما می‌توانیم یک پاییز نسبتاً پربارش را برای سال آبی آینده انتظار داشته باشیم.

مقاله

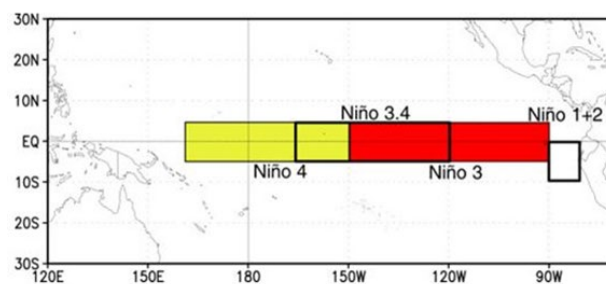
## نقش وضعیت فیزیکی اقیانوس‌های منطقه استوایی در تغییرات فصلی جو کره زمین

در ابتدا ذکر این نکته بسیار حائز اهمیت است که وضعیت فیزیکی اقیانوس‌ها، به ویژه تغییرات دما و بودجه گرمایی اقیانوس‌ها در مناطق استوایی کره زمین، نقش مهمی را در تغییرات فصلی و سال به سال جو کره زمین بازی می‌کند. از این رو، در تمامی مدل‌های پیش‌بینی فصلی، شبیه‌سازی شرایط حاضر و آینده دمای سطح آب و بودجه گرمایی اقیانوس‌های کره زمین از ارزش کلیدی برخوردار است. چه بسا این ویژگی، مهمترین مولفه برای پیش‌بینی‌های مقیاس فصلی قلمداد می‌شود. در این میان، وضعیت دمایی و ساختار گرمایی حاکم بر بخش‌های

بارش‌های نسبتاً خوب بهار ۱۴۰۵ در بخش‌های مختلف خاورمیانه و ایران که پس از چند سال خشکسالی پی در پی در این منطقه رخ داد، انواع گمانه زنی‌ها را در جامعه و در شبکه‌های اجتماعی به همراه داشته است. به طوری که در روزهای اخیر با انتشار آخرین خروجی‌های مدل‌های پیش‌بینی فصلی از وضعیت بارش و دمای سیاره زمین برای چندماه آینده، موج جدیدی از گمانه زنی‌ها در رابطه با بارش‌های سال آبی آینده در سطح کشور شکل گرفته است. برای جلوگیری از انتشار گمانه‌زنی‌های نادرست، در این یادداشت، وضعیت بارش ماه‌های آینده کشور با استفاده از آخرین خروجی مدل‌های پیش‌بینی فصلی مورد ارزیابی قرار گرفته است.



شکل ۲: پیش‌بینی بی‌هنجاری دمای سطح آب اقیانوس آرام در محدوده شاخص نینو ۳.۴ تا پایان سال میلادی ۲۰۲۶.

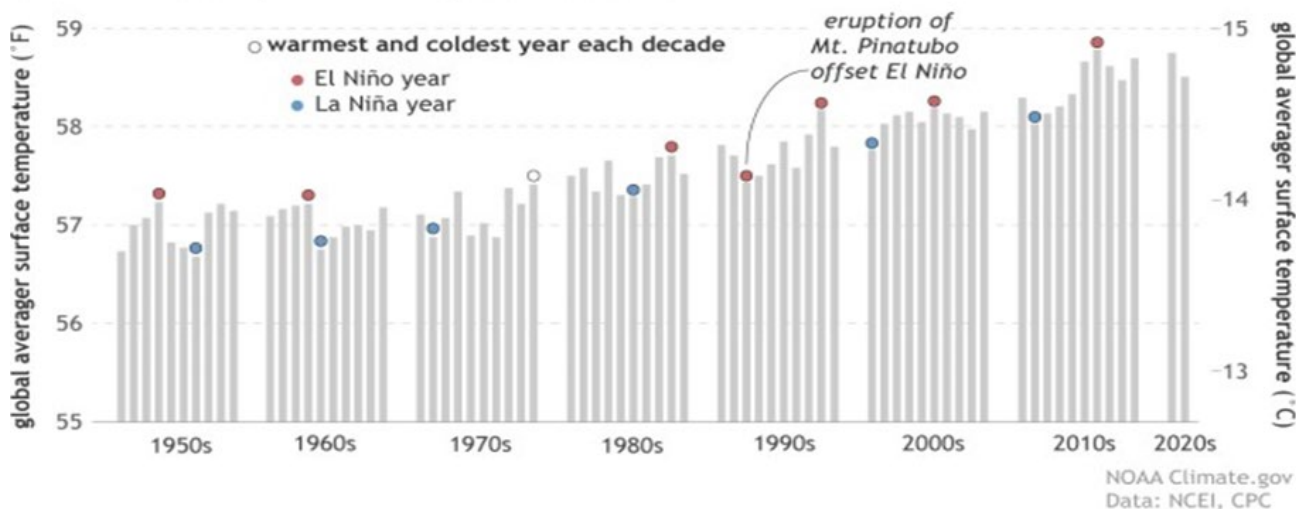


شکل ۱: محدوده شاخص نینو ۳.۴ برای بررسی وضعیت دمای سطح آب اقیانوس آرام.

است که محدوده نینو ۳.۴ ظرف چند ماه آینده به سرعت گرم شده، به طوری که در فصل پاییز ۲۰۲۶ بی‌هنجاری مثبت دما در این محدوده، از آستانه دو یا ۲.۵ درجه سلیسیوس فراتر می‌رود (شکل ۲؛ پیش‌بینی نینو ۳.۴ تا پایان سال ۲۰۲۶ و ابتدای سال ۲۰۲۷). از گذشته‌های دور، این نوع افزایش دما در محدوده مرکزی تا شرقی اقیانوس آرام، زمانی که برای چند ماه متوالی بی‌هنجاری مثبت دما از آستانه ۰.۵ درجه سلیسیوس عبور نماید، با پدیده‌ای موسوم به ال نینو همراه بوده است. نتایج تحقیقات پژوهشگران نشان داده است که وقوع ال نینو در محدوده اقیانوس آرام با تغییراتی در ساختار گردش جو در مقیاس سیاره‌ای در سال پیش رو همراه خواهد بود که به نوبه خود موجب یک سری تغییرات در

استوایی اقیانوس آرام به عنوان یک پیش‌بین مهم و بسیار با ارزش برای پیش‌بینی‌های فصلی، همواره مورد توجه مراکز بزرگ پیش‌بینی دنیا بوده و به همین دلیل، در طی چند دهه گذشته، شاخص‌های مختلفی توسط دانشمندان علوم جو، برای بررسی و پایش وضعیت فیزیکی اقیانوس آرام استوایی از جمله دمای سطح آب اقیانوس، ارائه شده و مورد استفاده قرار گرفته است. بررسی وضعیت دمایی اقیانوس آرام استوایی و نتایج خروجی مدل‌های پیش‌بینی حاکی از آن است که محدوده مرکزی تا شرقی اقیانوس آرام استوایی که به محدوده نینو ۳.۴ معروف است؛ (شکل ۱)، از ابتدای تابستان ۲۰۲۶ دمای بالاتر از نرمال را تجربه خواهد نمود. خروجی مدل‌های پیش‌بینی فصلی حاکی از آن

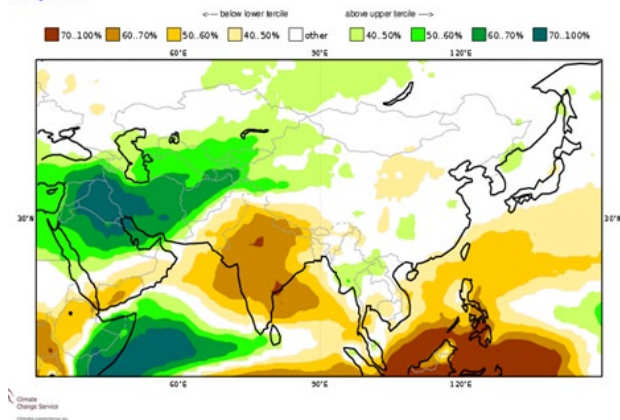
Global surface temperature each year since the 1950s



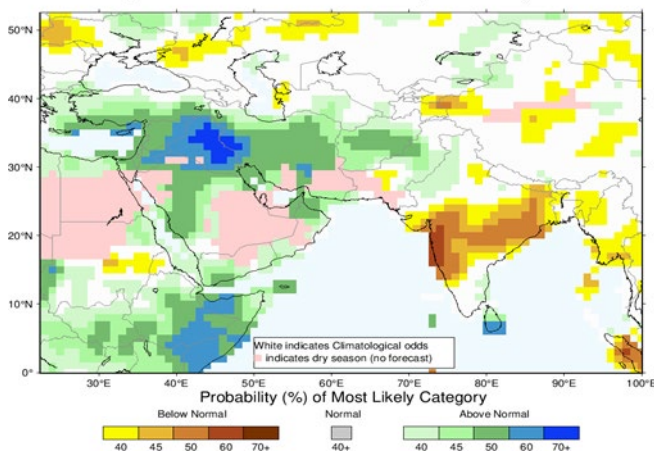
شکل ۳: ارتباط بین ال نینو (دایره‌های قرمز) و میانگین دمای سالانه کره زمین در ۷ دهه گذشته

ما می‌توانیم یک پاییز نسبتاً پر بارش را برای سال آبی آینده انتظار داشته باشیم. تصویری که در طی چند سال گذشته، به علل مختلف، از جمله وقوع مکرر بی‌هنجاری‌های منفی دما در منطقه نینو ۳.۴، امکان وقوع آن فراهم نشده است.

C3S multi-system seasonal forecast ECMWF/Met Office/Météo-France/CMCC/DWD/NCEP/JMA/ECCC/BOM  
Prob(most likely category of precipitation) ASO 2026  
Nominal forecast start: 01/05/26  
Unweighted mean



IRI Multi-Model Probability Forecast for Precipitation for September-October-November 2026, Issued May 2026



شکل ۴: پنل بالا، پیش‌بینی بارش با استفاده از خروجی ۶ مدل آمریکای شمالی و پنل پایین، خروجی ۹ مدل پیش‌بینی جهانی برای ماه‌های پایانی تابستان و فصل پاییز (سپتامبر، اکتبر و نوامبر) ۵۰۴۱. در شکل‌ها، مناطق با احتمال بارش بالاتر از نرمال با طیف سبز نشان داده شد.

الگوهای دما و بارش در مناطق مختلف کره زمین می‌شود. برای نمونه، در طول حدود هفت دهه، همزمان با وقوع ال‌نینوهای قوی و خیلی قوی (بی‌هنجاری مثبت شاخص نینو ۳.۴ در چند ماه متوالی به ترتیب از مرز دو و ۲.۵ درجه سیلسیوس عبور نماید)، دمای متوسط سالانه کره زمین در سال دارای ال‌نینو از سایر سال‌های آن دهه بالاتر بوده است (شکل ۳). از طرفی، در طول دهه‌های گذشته، استمرار یک ال‌نینوی قوی به طور معمول سبب کاهش بارش‌های فصلی و یا سالانه در برخی از بخش‌های کره زمین و افزایش آن در بخش‌های دیگر شده است. برای مثال، بخشی از کشورهای آمریکای جنوبی، جنوب و جنوب‌شرق ایالات متحده آمریکا، شرق تا شمال‌شرق آفریقا، از مناطقی هستند که در صورت استمرار یک ال‌نینوی قوی، ترسالی را در فصل اصلی بارش خود تجربه می‌کنند.

## ال‌نینوی قوی و اثر آن بر افزایش بارش‌ها در بخش‌های مختلف خاورمیانه و ایران در فصل پاییز

در این میان، غرب آسیا اگرچه در محدوده اثر مستقیم این پدیده اقیانوسی-جوی قرار ندارد، اما در سال‌های ال‌نینوی قوی، عمدتاً در فصل پاییز، ما شاهد افزایش بارش‌ها در بخش‌های مختلف خاورمیانه و ایران هستیم. شکل ۴ پیش‌بینی احتمال وقوع بارش برای فصل پاییز ۱۴۰۵ در محدوده غرب آسیا را با بهره‌گیری از تعداد زیادی از مدل‌های پیش‌بینی فصلی جهانی نشان می‌دهد. همان‌طوری‌که در دو شکل قابل تشخیص است، در ماه‌های انتهایی فصل تابستان و فصل پاییز امسال، بخش قابل‌توجهی از غرب آسیا، از جمله بخش وسیعی از ایران، بارش‌های بالاتر از نرمال را تجربه خواهند نمود. تصویر ارائه شده حاصل پیش‌بینی ماه‌های آینده با استفاده از داده‌های ماه اردیبهشت (ماه می) است، در صورتی‌که طی دو سه ماه آینده الگوی ارائه شده در ماه اردیبهشت تداوم یابد،

## بازچرخانی آب

# راهکاری برای کاهش فشار بر سفره‌های زیرزمینی و روند فرونشست

**فرونشست زمین چه پیامدهایی برای زیرساخت‌های شهری، کشاورزی و امنیت زیست‌محیطی کشور به همراه دارد؟**

برای درک ساده‌تر فرونشست، می‌توان آن را به خالی شدن یک تشک بادی از هوا تشبیه کرد. در حالت عادی، فشار یکنواخت هوا باعث می‌شود فردی که روی تشک قرار دارد، با تعادل روی آن بماند؛ اما با کاهش فشار، تعادل اولیه بر هم می‌خورد و سطح تشک متناسب با فشارهای واردشده، تغییر شکل می‌دهد. در مورد زمین نیز وضعیتی مشابه رخ می‌دهد. در شرایط طبیعی و در تراز اولیه آب زیرزمینی، ساختمان‌ها، تأسیسات و تجهیزات بر سطحی با تراز مشخص قرار دارند. اما از آنجا که فرونشست معمولاً یکنواخت نیست، این تراز اولیه دچار تغییر شده و به خطوطی منحنی و نامنظم تبدیل می‌شود. نتیجه این وضعیت، نشست نامتقارن سازه‌هایی مانند ساختمان‌ها و پل‌هاست که می‌تواند به تخریب آن‌ها بینجامد. خطوط لوله نیز با پستی و بلندی‌های جدیدی مواجه می‌شوند که احتمال شکستگی آن‌ها را افزایش می‌دهد. این موضوع در خطوط انتقال انرژی، به‌ویژه خطوط انتقال گاز، می‌تواند خسارات جانی سنگینی به همراه داشته باشد. در خطوط انتقال سوخت‌های مایع مانند بنزین و گازوئیل نیز خطر نشست، آلودگی محیط زیست و حتی آتش‌سوزی گسترده وجود دارد. خطوط انتقال آب نیز ممکن است در معرض نفوذ آلاینده‌ها قرار گیرند و علاوه بر افزایش تلفات آب، کمبود آب در مقصد را تشدید کنند. از سوی دیگر، شکستگی در خطوط انتقال فاضلاب می‌تواند



فضل اله ساغروانی

مدیرعامل شرکت نوفاوران طوس



مصاحبه

**به نظر شما مهم‌ترین عوامل ایجاد فرونشست زمین در ایران چیست و نقش برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی در این پدیده تا چه حد است؟**

فرونشست، بسته به ابعاد و ساختار زمین‌شناسی هر منطقه، می‌تواند دلایل مختلفی داشته باشد؛ اما آنچه امروز در ایران و در مقیاس چند تا چند ده کیلومتر مربع مشاهده می‌کنیم، عمدتاً ناشی از برداشت بی‌رویه و فراتر از ظرفیت از سفره‌های آب زیرزمینی است. اگر برداشت آب از این سفره‌ها – از طریق چاه‌ها، قنات و سایر روش‌ها – بیش از میزان تغذیه آن‌ها از محل بارش، نفوذ آب در حوزه‌های آبریز، رودخانه‌ها و دیگر منابع باشد، به تدریج سطح آب زیرزمینی افت می‌کند. این افت باعث می‌شود وزن لایه‌های بالایی زمین که پیش‌تر بخشی از آن به واسطه فشار آب زیرزمینی خنثی می‌شد، مستقیماً بر لایه‌های تخلیه‌شده وارد شود و در نتیجه، این لایه‌ها متراکم شوند. این پدیده ماهیتی ماندگار و غیرقابل جبران دارد؛ به این معنا که پس از وقوع فرونشست، عملاً امکان بازگرداندن زمین به وضعیت اولیه وجود ندارد و بخشی از ظرفیت ذخیره‌سازی آب در زمین، که طی میلیون‌ها سال شکل گرفته، در زمانی کوتاه و به‌صورت دائمی از بین می‌رود.

جمع‌آوری شده در شبکه فاضلاب شهری نیز به‌طور مناسب بازیافت شود، ابعاد این صرفه‌جویی بسیار معنادارتر خواهد شد. همین منطق درباره فاضلاب‌های صنعتی نیز صادق است و در برخی صنایع حتی می‌توان تا ۹۰ درصد آب را دوباره به چرخه تولید بازگرداند.

### چه فناوری‌ها و روش‌هایی برای تصفیه و بازچرخانی آب در شهرها و صنایع وجود دارد و کدامیک برای شرایط ایران مناسب‌تر است؟

فناوری‌های متنوعی برای تصفیه و بازچرخانی آب وجود دارد، اما انتخاب میان آن‌ها باید با توجه به شرایط واقعی کشور و نیازهای آینده انجام شود. در حال حاضر، تصفیه‌خانه‌های مبتنی بر فرایندهای زیستی، فیزیکی و شیمیایی قابل طراحی و اجرا هستند، اما مسئله اصلی این است که کدام فناوری‌ها از نظر فنی قابل اتکا هستند و کدامیک با توجه به محدودیت‌های مالی و امکان دسترسی، قابلیت اجرا دارند. به نظر من، استفاده از روش‌هایی عاقلانه‌تر است که ویژگی‌های زیر را داشته باشند:

قیمت معقولی داشته باشند، تجهیزات آن‌ها در دسترس بوده و امکان تعمیر و نگهداری اقتصادی داشته باشند، هزینه بهره‌برداری پایینی داشته باشند؛ به‌ویژه در ایران که یکی از مهم‌ترین آسیب‌ها، راهبری نامناسب، فراموشی تعمیر و نگهداری و اختصاص نیافتن بودجه کافی به این بخش است، مصرف برق کمی داشته باشند و در برابر هزینه، بازده قابل قبول و مناسبی ارائه دهند.

به‌عنوان منبعی پنهان و تقریباً غیرقابل ردیابی، موجب آلودگی آب‌های زیرزمینی شود.

### بازچرخانی آب چه جایگاهی در مدیریت بحران کم‌آبی و کاهش فشار بر سفره‌های زیرزمینی دارد؟

بازچرخانی آب، روشی مطمئن و در دسترس برای کاهش مصرف آب است. اگر این راهکار در کنار سایر تمهیدات ضروری، از جمله آمایش سرزمین و کنترل رشد جمعیت در مناطق کم‌آب، به کار گرفته شود، می‌تواند به کاهش برداشت از منابع آبی و در نتیجه کنترل فرونشست کمک کند. برای روشن‌تر شدن موضوع، می‌توان به یک نمونه اشاره کرد. حدود ۶۰ تا ۷۰ درصد فاضلاب تولیدی در منازل، ناشی از شست‌وشو و حمام است که به آن آب خاکستری سبک گفته می‌شود. بخش باقی‌مانده نیز مربوط به مصارفی مانند توالت، ظرف‌شویی و لباس‌شویی است. اگر این ۶۰ درصد به‌درستی بازچرخانی شود، حدود ۲۰ درصد از آن، یعنی معادل ۱۴ تا ۱۵ درصد کل فاضلاب، می‌تواند نیاز فلاش‌تانک‌ها را تأمین کند.

همچنین ۸۰ درصد باقی‌مانده، یعنی حدود ۵۰ درصد از کل فاضلاب تولیدشده، قابلیت استفاده در شست‌وشوی خودرو، شست‌وشوی راهروها و پارکینگ‌ها و نیز آبیاری درختان و فضای سبز را دارد. این به آن معناست که عملاً

می‌توان بیش از نیمی از مصرف آب در مناطق شهری را کاهش داد. ممکن است این میزان صرفه‌جویی در مقیاس هر واحد مسکونی حدود ۳۰ درصد باشد، اما همین رقم نیز قابل توجه است. اگر فاضلاب



## زنگ خطر فرونشست در ۱۷ دشت؛ از افت آبخوان تا تهدید زیرساخت‌ها



فهیمة صالحی  
کارشناس مخاطرات زمین‌شناسی

یادداشت

### فرونشست؛ بحرانی خاموش در خراسان رضوی

بحران فرونشست زمین در استان خراسان رضوی امروز به یکی از جدی‌ترین چالش‌ها در مقیاس استانی تبدیل شده است. این پدیده که عمدتاً ناشی از برداشت بی‌رویه آب‌های زیرزمینی، کاهش تغذیه طبیعی آبخوان‌ها و تداوم خشکسالی‌های اقلیمی است، موجب فشردگی لایه‌های آبرفتی و کاهش برگشت‌ناپذیر تخلخل آن‌ها می‌شود. پیامد این فرآیند، نشست تدریجی سطح زمین، ایجاد ترک‌ها و شکاف‌های سطحی، آسیب به اراضی کشاورزی و تهدید زیرساخت‌های حیاتی است؛ پدیده‌ای خاموش که در صورت نبود پایش و مدیریت مؤثر، خسارات گسترده‌ای به همراه خواهد داشت.

### گسترش فرونشست در دشت‌های استان

بر اساس بررسی‌های انجام‌شده، از مجموع ۴۵ دشت استان خراسان رضوی، تاکنون ۱۷ دشت درگیر پدیده فرونشست شده‌اند. این آمار نشان می‌دهد که بحران فرونشست دیگر محدود به یک یا دو محدوده خاص نیست، بلکه بخش قابل توجهی از پهنه‌های آبخوانی استان را تحت تأثیر قرار داده است. در میان این دشت‌ها، دشت مشهد به‌عنوان یکی از بحرانی‌ترین آبخوان‌های کشور، به‌دلیل تمرکز بالای جمعیت، توسعه شهری و استقرار زیرساخت‌های حیاتی، از اهمیت ویژه‌ای

برخوردار است. دشت‌های نیشابور، کاشمر، جوبین، بردسکن، فریمان-تربت جام و دشت رخ بحرانی نیز وضعیت بحرانی دارند. گسترده‌ی جغرافیایی پهنه‌های درگیر فرونشست نشان می‌دهد که این پدیده به یک مسئله فراگیر در سطح استان تبدیل شده است.

### تهدید هم‌زمان منابع آب و زیرساخت‌ها

این بحران ابعاد چندگانه‌ای دارد؛ از یک‌سو امنیت منابع آب را تهدید می‌کند، زیرا فشردگی لایه‌های آبرفتی موجب کاهش دائمی ظرفیت ذخیره آبخوان‌ها می‌شود و امکان بازیابی شرایط گذشته را از بین می‌برد. از سوی دیگر، زیرساخت‌های حیاتی استان شامل خطوط انتقال گاز و انرژی، شبکه‌های آبرسانی، راه‌آهن، محورهای اصلی مواصلاتی، خطوط انتقال نیرو و تأسیسات صنعتی در برخی از این پهنه‌های فرونشستی قرار گرفته‌اند.

نشست‌های ناهمگون می‌تواند موجب ایجاد تنش در خطوط لوله، ترک در سازه‌ها، آسیب به روسازی راه‌ها و اختلال در عملکرد تأسیسات حساس شود.

### ضرورت مدیریت و پایش مستمر

اهمیت پرداختن به بحران فرونشست در خراسان رضوی از آن جهت است که این پدیده ماهیتی تدریجی و عمدتاً برگشت‌ناپذیر دارد و هرگونه تأخیر در مدیریت آن، هزینه‌های اقتصادی و اجتماعی سنگینی در پی خواهد داشت. ایجاد حساسیت مدیریتی، تدوین نقشه‌راه مدیریت فرونشست، پایش مستمر با استفاده از فناوری‌های نوین سنجش‌ازدور، کنترل برداشت‌های غیرمجاز آب از جمله اقداماتی است که می‌تواند مسیر کاهش ریسک را هموار کند.

بدون برنامه‌ریزی علمی و هماهنگی بین‌بخشی، این بحران خاموش می‌تواند به تهدیدی جدی برای توسعه پایدار استان تبدیل شود.

# مرام‌نامه هم‌افزایی

## پیمان مشترک برای حکمرانی مشارکتی در حوزه انرژی، آب و محیط زیست

ما امضاء کنندگان این مرام‌نامه، با باور به هم‌افزایی، مسئولیت پذیری و مشارکت جمعی خود را متعهد می‌دانیم در مسیر تحقق پیشرفت مستمر بر پایه اصول و ارزش‌های این مرام‌نامه گام برداریم.

### اصول شش‌گانه



۳

#### واقعیت‌های اجتماعی

نگاه به بخش‌های آب و انرژی به عنوان یک واحد اجتماعی مستقل و واجد سرمایه اجتماعی مختص به خود



۲

#### مشارکت مردم نهاد

حضور، حق شرکت و نقش‌آفرینی آحاد جامعه و تشکل‌ها در تصمیم‌گیری و حل مسائل عمومی کشور



۱

#### سرمایه اجتماعی

تجميع شبکه ارتباطات درونی جامعه و ارتقای شاخص‌های اعتماد، مشارکت، آگاهی و هنجارهای اجتماعی



۶

#### عدالت اجتماعی

تخصیص منصفانه منابع در جامعه و پاسداشت حقوق اولیه و تخطی ناپذیر انسان‌ها



۵

#### اقتصاد به مثابه یک سیستم

فرآیند بهینه تولید، توزیع و مصرف کالاها و خدمات با خروجی بهره‌وری، عدالت و حفظ سرمایه اجتماعی



۴

#### ارتباط متقابل

پیوند هم‌بسته و دو سویه میان اصول مانیفست، به‌طوری‌که تقویت هر اصل موجب رشد و پایداری اصول دیگر می‌شود

### ارزش‌ها



شفافیت



عدالت



شجاعت



همبستگی با مردم



استان خراسان رضوی

**خانه هم افزایی انرژی و آب**

Water and Energy Synergy Home (WESH)



[www.wesh.ir](http://www.wesh.ir)



۰۵۱ - ۳۸۴۳۴۱۴۳



[wesh\\_ir](https://www.instagram.com/wesh_ir)