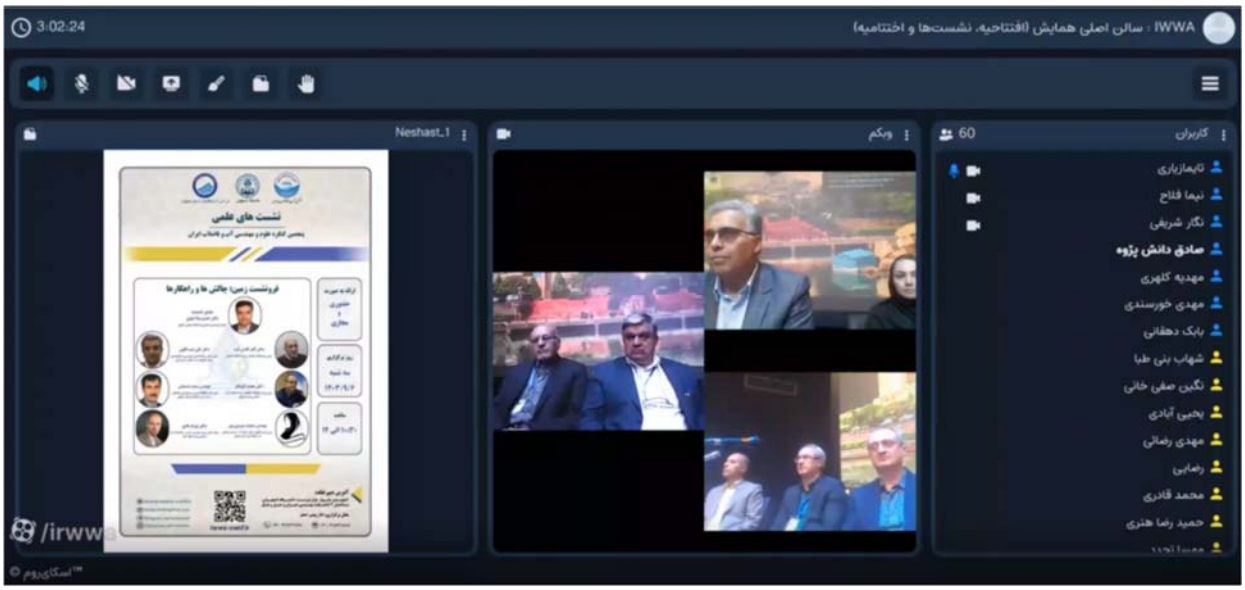
نشست علمی فرونشست زمین، چالش‌ها و راه‌کارها

(پنجمین کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران، ۶ تا ۸ آذرماه ۱۴۰۳، دانشگاه اصفهان)

لینک فیلم نشست: https://www.aparat.com/v/ylr1g40



اعضای نشست:

دکتر علی بیت‌الهی (رئیس بخش زلزله‌شناسی مهندسی و خطرپذیری مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی)

مهندس سعید شمسایی (مدیر دفتر مطالعات و بررسی‌های فنی فاضلاب شرکت آب و فاضلاب استان اصفهان)

دکتر حمیدرضا صفوی (معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه صنعتی اصفهان، مدیر نشست)

دکتر اکبر قاضی فرد (رئیس پژوهشکده محیط‌زیست دانشگاه اصفهان)

دکتر محمد کوشافر (رئیس مرکز تحقیقات مطالعات آب دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان)

مهندس سعیده موسوی پور (رئیس گروه تلفیق و بیلان منابع آب، شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان اصفهان)

دکتر بهرام نادی (هیئت علمی گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد)

دکتر حمیدرضا صفوی:

بسم‌الله‌الرحمن‌الرحیم، عرض سلام و احترام خدمت تمامی حضار محترم. در ادامه برنامه‌های این کنگره، میزبان ۶ نفر از متخصصان برجسته در حوزه فرونشست زمین خواهیم بود. تلاش می‌کنیم که این بخش را به‌صورت گفت‌وگویی سازنده برگزار کنیم و هر سخنران حداکثر ۱۰ دقیقه برای ارائه دیدگاه‌های خود در اختیار خواهد داشت.

دکتر علی بیت‌الهی:

با یاد و نام خدا. عرض سلام خدمت همه دوستان و عرض تشکر بابت کلیه عوامل برگزارکننده این کنگره بسیار ارزشمند. من خیلی سریع مطالب را عرض می‌کنم.

با توجه به تدوین برنامه هفتم و علی‌رغم پیگیری مکرر ما به ویژه از نمایندگان محیط‌زیست که یک بندی با عنوان طرح کاهش خطرات فرونشست در اصفهان در برنامه هفتم گذاشته

شود، که متاسفانه فرونشست هم در برنامه هفتم نیامده است. بنابراین به این جمع‌بندی می‌رسیم که ما باید طوری صحبت کنیم که بتوانیم به آن عمل کنیم و اگر این اتفاق بیفتد قطعا نتیجه‌بخش خواهد بود. در غیر این‌صورت طرح مجدد مسئله، آن را بی ارزش می‌کند. از نظر من هر طرحی که خطر بروز آن وجود دارد یک طرح ملی محسوب می‌شود. ما اثرات فرونشست را در مشهد خواهیم دید. در شیراز خواهیم دید. در تهران خواهیم دید. بنابراین یک الگو و طرح می‌تواند بسیار در دیدگاه ملی کمک‌کننده باشد.

در این بخش می‌خواهم به فرنشست در شهر اصفهان بپردازم. واضح است که فرونشست در اصفهان وجود دارد. هم‌چنین می‌دانیم که این فرونشست در اصفهان متقارن نیست. نقشه‌های مختلف نشان می‌دهد که در بخش‌هایی از اصفهان فرونشست کم و در بخش‌هایی زیاد است. بنابراین ما گرادیان نشست داریم. آخرین بار در تحقیق آقای شریفی و همکاران که در سال ۲۰۲۴ منتشر شده نشان داده شده است که نشست نامتقارن است و در برخی قسمت‌ها در جوار فرونشست‌های بالا، فرونشست پایین وجود دارد. بنابراین وقتی چنین باشد در زون‌هایی که در مجاورت هم هستند ترک‌ها، شکاف‌ها و فروچاله‌ها شکل می‌گیرند که در اصفهان زیاد است. موضوع مهم در ناهمگنی نشست در اصفهان، تغییر مسیر زاینده‌رود است. براساس یک مقاله قدیمی که من پیدا کردم، زاینده رود در شمال اصفهان در جریان بوده است و کم‌کم در اثر این تغییرات به سمت جنوب می‌آید. اما اثر نهشته‌های درشت‌دانه در این مسیر به‌صورت ناهمگنی در دانه‌بندی رسوبات خود را باقی می‌گذارد و این ناهمگنی نیز خود، ناهمگنی و نامتقارنی را در فرونشست ایجاد می‌کند. یک برش خطی نشان می‌دهد که در دو طرف اصفهان ما دو لکه درشت دانه داریم و وسط آن ریزدانه است که فرونشست بیشتری را ایجاد می‌کند. هم‌چنین ما در پهنه‌های نشستی در نقشه‌های فرونشست مشاهده می‌کنیم. یعنی در قسمت‌های مختلف فرونشست‌های متفاوت می‌بینیم که باعث ایجاد ترک‌هایی می‌شود که در اصفهان وجود دارد و بسیاری از مختصات ما را تحت‌تاثیر قرار می‌دهد. من باتوجه به تجربه خود می‌گویم که تا به‌حال در کمتر جایی دیده‌ام که به این شدت فرونشست وجود داشته باشد. من فرونشست‌های مختلف در اصفهان را به شکل نقشه آورده‌ام. همان‌طور که مشاهده می‌کنید مقدار این فرونشست‌ها در محدوده‌های شهری بسیار بیشتر از قسمت‌های دیگر است. یعنی دقیقا نامتقارنی در قسمت‌هایی است که بافت‌های فرسوده زیاد است. موضوع مهم دیگر این است که با بررسی‌های انجام‌شده در شمال به جنوب و شرق به غرب مشاهده شده است که در فاصله ۴ کیلومتری، ۱۲۰ میلی‌متر اختلاف نشست وجود دارد. این نشست نرخ سرعت است. یعنی دیمانسیون آن سرعت است. یعنی ۱۲۰ میلی‌متر در سال. نکته حیاتی این است که نشست تجمعی در طول عمر یک سازه چقدر خواهد بود و سازه‌ها تا چه اندازه قادر به تحمل این تغییرات هستند. به‌عنوان مثال، اگر نشست ۱۰ سانتی‌متری ایجاد شود، در طول ۲۰ سال این مقدار می‌تواند به ۲ متر برسد که بسیار خطرناک است و قطعاً سازه‌ها توان تحمل آن را نخواهند داشت.

رفتار نرخ فرونشست و نشست تجمعی را در این قسمت نشان داده‌ام. همان‌طور که مشاهده می‌کنید هر سال ۱۰ یا ۱۵ سانتی‌متر به عدد قبل اضافه می‌شود. این موضوع واقعیت بسیار خطرناک فرونشست زمین در اصفهان است. موضوع مهم بعدی وجود خاک واگرا در اصفهان است. البته ما به‌صورت دقیق پهنه‌بندی خاک‌های واگرا را نداریم و یکی از درخواست‌های ما تهیه آن است. فرسایش تونلی و شکاف‌ها در خاک‌های واگرا بسیار زیاد است. فرونشست زمین به‌طور دقیق قابل پیش‌بینی نیست، اما شواهد نشان می‌دهد که این پدیده در مناطق مجاور استادیوم و برخی مناطق شهری، مانند بخش‌های نزدیک به زاینده‌رود، شدت بیشتری دارد.

مطالعات نشان‌داده است که سطح آب زیرزمینی و حجم جریان زاینده‌رود رابطه مستقیمی با فرونشست زمین دارند. بااین‌حال، میزان افت سطح آب زیرزمینی با فرونشست زمین رابطه یکنواخت ندارد. من در چند پیزومتری که بررسی کردم ۴۰ میلی‌متر به ازای ۱ متر افت آب، ۷۵ میلی‌متر به ازای ۱ متر افت آب و ۹۰ میلی‌متر به‌ازای ۱ متر افت آب را مشاهده کردم. به‌طور متوسط می‌توان گفت به‌ازای هر ۱ متر افت سطح آب، نشست زمین به‌طور میانگین حدود ۷ سانتی‌متر خواهد بود. اگر این ۷ سانتی‌متر ضرب در ۲۵ متر بشود، یعنی ما در پهنه اصفهان به‌طور متوسط ۱/۴۰ متر نشست داشته‌ایم. خطوط لوله‌ها نیز هم‌زمان پایین‌تر خواهند رفت که در صورت نامتقارن بودن نشست، مشکلاتی جدی ایجاد خواهد شد. کاهش نرخ فرونشست زمین با رهاسازی زاینده‌رود به‌شدت ارتباط دارد. این موضوع در مقاله آقای شریفی و همکاران در سال ۲۰۲۴ بررسی شده است. زمانی‌که آب زاینده‌رود رهاسازی شود فرونشست در سری‌های زمانی کاهش پیدا خواهد کرد. هم‌چنین رفتار فرونشست در مقابل کاهش نزولات جوی همانند کاهش سطح آب زیرزمینی نیست. یعنی نمی‌توان بارش کم باران را به این اتفاق نسبت زیادی داد.

نکته پایانی این است که اگر با همین روند پیش برویم حدودا ۵۰ سال تا مرگ کلی آبخوان فاصله داریم و حدودا ۱۰ سال با

آبخوان زیر اصفهان فاصله داریم. یعنی زمانی‌که آب به‌طور کلی تمام شود و فرونشست کامل اتفاق بیفتد. این‌ها همه هشدارهایی است که بدانیم فرصت‌های ما بسیار محدود هستند. تجربیات متفاوتی در رابطه با کاهش نرخ فرونشست وجود دارد. مثلا در دشت توکیو ۱۲/۵ سانتی فرونشست وجود داشته که در حال حاضر توانسته‌اند آن را به صفر برسانند. دانش فنی ما در شهر اصفهان به مراتب بیشتر از سایر کشورها است و اگر اقدام کنیم قطعا موفقیت‌آمیز خواهد بود. انسان‌ها می‌توانند فرونشست را کنترل کنند. کاهش فرونشست با اقداماتی نظیر تغذیه، مباحث شهرسازی، چاه‌های جذبی، کاهش در معرض قرارگیری و کاهش آسیب‌پذیری موارد مهمی هستند که ما بر روی آن‌ها مطالعات زیادی انجام می‌دهیم.

درحال‌حاضر، تلاش‌هایی برای کاهش این بحران و ارائه راه‌کارهای مناسب انجام شده است. برخی از این پیشنهادها به هیئت محترم دولت ارائه شده‌اند تا اقدامات لازم برای کاهش این پدیده و جلوگیری از گسترش آن در دستور کار قرار گیرد. خیلی ممنون و متشکر.

دکتر حمیدرضا صفوی:

خیلی ممنونم از جناب آقای دکتر بیت‌الهی و دعوت می‌کنم از همکار محترمم جناب آقای دکتر کوشافر تا در رابطه با اثرات محیط‌زیستی فرونشست برای ما صحبت کنند.

دکتر محمد کوشافر:

به‌نام خداوند بخشنده و مهربان. سلام عرض می‌کنم خدمت حضار محترم. خیلی کوتاه صحبت می‌کنم و موضوع فرونشست را از منظر دیگری بررسی می‌کنم. به‌هرحال به‌دلایل مختلف در اصفهان زاینده‌رود خشک شد. پیامدهای متعددی داشت. یکی از پیامدهای آن فرونشست است. حال خود فرونشست نیز پیامدهای مختلفی دارد که یکی از تبعات آن مربوط به محیط‌زیست است. تمامی صحبت‌ها به این سمت می‌رود که خشکی زاینده‌رود و بحران فرونشست به‌هم مرتبط است. در موضوع فرونشست تمرکز زیادی بر روی بحران‌ها و آسیب‌ها بر روی پل‌ها، مکان‌های تاریخی، تاسیسات، فرهنگ، تمدن و خیلی از موارد دیگر است. همان‌طور که جناب آقای دکتر عین‌الهی توضیح دادند واقعا هولناک است. اما در کنار آن اتفاقات دیگری در حال رخ‌دادن است که اگر به مخاطرات آن فکر نکنیم ممکن است در آینده نه‌چندان دور همان‌قدر اتفاقات هولناکی بیفتد و ما آمادگی مواجهه با آن‌ها را نداشته باشیم.

باتوجه به مطالعاتی که در زمینه فرونشست انجام شده است، در حوزه محیط‌زیست آب، خاک و هوا تحت‌تاثیر قرار می‌گیرند. همان‌طور که می‌دانید یکی از اولین اتفاقاتی که می‌افتد کاهش تخلخل خاک و به تبع آن کاهش هوا در خاک است. کاهش ظرفیت مخزن و جلوگیری از حرکت آب در خاک و میزان آب موجود در خاک نیز تحت‌تاثیر قرار می‌گیرد و اگر از سطح خاک درنظر بگیریم، بروز آب در خاک کاهش خواهد یافت. بنابراین به‌دنبال کاهش نفوذ آب در خاک، پدیده فرونشست باعث افزایش احتمال وقوع سیل می‌شود و در محیط‌های برون شهری این مورد را بیشتر خواهیم دید. همان‌طور که در سال‌های اخیر سیل‌های بسیار متعددی در کشور اتفاق افتاد و یکی از دلایل آن کاهش نفوذ خاک در برابر شدت بارش موجود است.

موضوع مهم دیگری که وجود دارد این است که در اثر فرونشست، شیمی خاک نیز تحت تاثیر قرار می‌گیرد. زمانی‌که هوا در خاک کم شود و یا آب در خاک نتواند حرکت کند، دانه‌های خاک نیز تغییر خواهند کرد. در این‌حالت خصوصیات شیمی خاک تحت‌تاثیر قرار می‌گیرد و فرسایش خاک افزایش یافته و کیفیت آن کاهش می‌یابد. بنابراین این موضوع در محیط‌زیست می‌تواند اثر بگذارد.

خاک وظیفه استقرار گیاهان را دارد. در اثر فرونشست، خواص فیزیکی و شیمیایی خاک تغییر می‌کند. همان‌طور که گفته شد هوا در خاک کاهش می‌یابد. جذب آب در خاک کاهش می‌یابد. خاک نشست کرده است و دیگر نمی‌تواند برای استقرار درخت و گیاهان مناسب باشد. اگر به آمار موجود در اصفهان مراجعه کنید متوجه خواهید شد که در ۱۰ سال اخیر آمار سقوط و واژگونی درختان بسیار زیاد بوده است.

مورد بعدی تخریب و تغییر زیستگاه است. برخی از حیوانات که در خاک زندگی می‌کنند با کاهش اکسیژن موجود در خاک و کاهش تخلل خاک، محیط زندگی‌شان نا امن خواهد شد. بنابراین ممکن است که این حیوانات مجبور به تغییر محل زندگی خود شوند. بنابراین این تغییر محل زندگی ممکن است باعث ایجاد اختلال در زندگی انسان‌ها و حیوانات شود. مورد دیگری که لازم است موردتوجه قرارگیرد این است که فرونشست باعث افت کیفیت آب‌های زیرزمینی نیز خواهد شد. افت کیفیت در آب‌های

زیرزمینی نیز خود باعث ایجاد اتفاقات دیگری خواهد شد. تمامی این موارد در صورت مدیریت ناپایدار تشدید خواهند شد و ممکن است اتفاقات جبران‌ناپذیری به‌وجود بیاورد.

در بخش بعدی در مورد راه‌کارها صحبت خواهیم کرد. ما راه‌کارهای دائمی و موقت داریم. راه‌کارهای فنی و غیرفنی داریم. راه‌کارهای اجتماعی داریم. می‌دانیم که مهم‌ترین راه‌کاری که برای اصفهان وجود دارد نگهداری زاینده‌رود است. این راه‌کارها در قسمت‌های مختلف کشور متفاوت است. در حال‌حاضر تامین آب و مدیریت مصرف آب یکی از راه‌کارهای کلی است. مورد مهمی که برای انجام راه‌کارها باید مدنظر قرارداد این است که در وهله اول تغییراتی که در محیط اتفاق افتاده است از پیشروی آن جلوگیری کنیم. یعنی شرایط به شکلی که هست ثابت بماند و بعد دست به انجام راه‌کارها بزنیم.

تعدادی آیین نامه وجود دارد که می‌تواند در تصمیم‌گیری‌های مدیریتی تاثیرگذار باشد. اولین مورد آیین‌نامه جلوگیری از تخریب و آلودگی غیرقابل جبران تالاب‌ها است. در این آیین نامه محافظت از تالاب‌ها بعد از آب شرب اولویت دارد و مدیران موظف هستند تا موارد موجود در این آیین‌نامه را رعایت کنند.

یک قانون دیگر نیز داریم تحت‌عنوان قانون جوانی جمعیت، سیاست کلی جمعیت این مورد را ذکر کرده است: بازتوزیع فضایی و جغرافیایی جمعیت، با ظرفیت زیستی با تاکید بر تامین آب، با هدف توزیع متعادل و کاهش فشار جمعیتی. چند کلمه کلیدی در اینجا هست. یعنی ارتباط آب و جمعیت در کشور نیازمند تعریف آب شرب و آب شغل است.

به‌عنوان نتیجه، یکی از نکاتی که در رابطه با فرونشست خیلی باید به آن توجه کنیم مخصوصا در حوزه زاینده‌رود، ارتباط بارگذاری جمعیت با منابع آب است. خیلی ممنون و متشکر.

دکتر حمیدرضا صفوی:

خیلی ممنون از آقای دکتر. خدمت آقای دکتر نادی هستیم. استاد محترم دانشگاه آزاد نجف آباد که تحقیقات گسترده‌ای را در زمینه فرونشست در دشت‌های اصفهان انجام داده‌اند و چهره شناخته شده ما در بحث فرونشست‌های مربوط به استان هستند.

دکتر بهرام نادی:

به‌نام خدا. سلام عرض می‌کنم خدمت حضار محترم. در بحث فرونشست از لحاظ فنی بررسی‌های زیادی انجام شده است. اما چند نکته کلیدی را خدمت شما عرض می‌کنم. مورد اول این‌که فرونشست وابستگی زیادی با افت آب زیرزمینی دارد. یعنی اگر ما افت آب زیرزمینی داشته باشیم بالتبع فرونشست هم خواهیم داشت. نکته بعدی این‌که فرونشست تابعی از ضخامت آبرفت نیز هست. در مکانی که ضخامت آبرفت کم باشد، فرونشست نیز کمتر خواهد بود. در قسمت‌هایی که ضخامت آبرفت زیاد است به‌دلیل بیشتر بودن پتانسیل افت آب، فرونشست نیز بیشتر است. بنابراین ما با عدم تعادل فرونشست نیز سر و کار داریم و این عدم تعادل است که آسیب‌های جدی به سازه‌ها می‌زند. یعنی اگر فرونشست یکپارچه باشد حتی اگر ۱۰ متر هم باشد، آسیب نمی‌زند. آسیب شدید زمانی است که اختلاف نشست را داشته باشیم.

نکته کلیدی این است که راه‌حل مشکل فرونشست به‌گونه‌ای است که ما نمی‌توانیم به‌صورت یک مسئله مهندسی به آن نگاه کنیم و بگوییم اگر این‌چنین شود آن‌گاه این اتفاق رخ می‌دهد و ممکن است نتایج به‌صورت یک بعدی نباشد.

ما در رابطه با راه‌کارها چند نکته را می‌شنویم که در رابطه با آن‌ها صحبت می‌شود. ما طرح انتقال آب را داریم با حجم ۷۰ میلیون مترمکعب در سال برای این‌که وابستگی صنایع را از آب حذف کنیم و به فرونشست منتقل شود.

سازمان آب وزارت نیرو دفترچه بسیار خوبی را تهیه کرده است و من اعدادی را از این دفترچه می‌خوانم. یعنی اعداد و ارقامی را که من می‌خوانم یکی از آن‌ها برای حوضه آبریز اصفهان است. حوضه آبریز اصفهان را که در این دفترچه بررسی می‌کنم عنوان می‌کند که ۹۰ درصد برداشت‌های آب زیرزمینی مربوط به بخش کشاورزی است. مجدد تاکید می‌کنم که هدف ما از این صحبت‌ها پیدا کردن مقصر نیست. بلکه این صحبت‌ها برای یافتن مسیر بهتر است. صنعت و شرب یک عددی حدود ۱۰ درصد را دارند. صنعت به‌صورت مجاز و غیرمجاز مقداری حدود ۱۶۰ میلیون مترمکعب داشته است. فرض کنید که این ۱۶۰ میلیون مترمکعب را تماما انتقال دهیم. ۳ میلیون دلار به‌ازای هر مترمکعب آب باید هزینه تصفیه و انتقال آب را بدهیم. یعنی سالیانه حدود نیم میلیارد دلار باید هزینه کنیم تا بتوانیم بخش صنعت را از آب شرب جدا کنیم. بخش کشاورزی چیزی حدود ۲ میلیون و ۲۰ هزار مترمکعب در سال است. حال بخش صنعت و شرب که مجموعا حدود ۱۰ درصد است، اگر ما فقط ۱۰ درصد عملکرد را در بخش کشاورزی بهتر کنیم چه اتفاقی می‌افتد؟ شاید دیگر انتقال آب توجیهی نداشته باشد. منظور از شاید این است

که نمی‌توان گفت بحث انتقال آب درست یا نادرست است. فقط از یک نگاه دیگر به موضوع نگاه می‌کنیم. تنها چیزی که برای ما مهم است و در این اطلاعات موجود است این است که ۱۰ درصد از منابع آب زیرمینی مربوط به صنعت و شرب است. روی ۹۰ درصد دیگر می‌شود سرمایه‌گذاری کرد. مگر می‌شود که من اقتصاد کشاورز را نبینم و بتوانم فرونشست را حل کنم؟ مگر می‌شود معیشت کشاورز را نبینم و بخواهم فرونشست را حل کنم؟ و نتیجه این ندیدن‌ها چه می‌شود؟ مردمی آسیب می‌بینند که خودشان به‌طور مستقیم مقصر این آسیب‌ها نبودند. آب به‌گونه‌ای مصرف شده و حال تاثیرات آن را بر روی آثار تاریخی، منزل‌های مسکونی، راه‌ها و حمل و نقل می‌بینیم. چیزی که آقایدکتر عنوان کردند و بسیار مهم است این است که ما بحث تغییرات فیزیکی تنها نداریم و بحث تغییرات شیمیایی نیز مطرح است. من در تحقیقاتی که انجام دادم بالای ۹۵۰ گود در شهرستان برداشتم. ۹۵۰ گود معنی‌اش این است که من ۹۵۰ بار دیوارهای ساختمان را درون شهر دیدم. این ۹۵۰ دیواری که دیدم مشاهده کردم که در مقایسه با ۲۰ سال قبل وقتی که من خیابان امام خمینی را گودبرداری می‌کنم لایه‌های آهکی که من در ابعاد ۱ سانتی‌متر می‌دیدم الان دانه‌های آهکی به ابعاد ۳۰ و ۴۰ سانتی‌متر شده است. این چیزی است که من به وضوح می‌بینم و فقط در یک گمانه نیست، بلکه در یک مطالعه بسیار وسیع مشاهده شده است. این تحقیقاتی که برگشت‌پذیر نیست و ما زیست‌بوم را تحت‌تاثیر قرار می‌دهیم با توسعه در این بخش به‌سمت مسیری می‌رویم که غیرقابل برگشت است. مفهوم نشست را خوب مدل کردم و دیدیم که وقتی در یک لایه حدود ۸۰ سانتی‌متر افت آب ایجاد می‌شود چیزی حدود ۱۰۰ سانتی‌متر نشست اتفاق می‌افتد. اما حتی اگر آب را به‌جای خود بازگردانم حدود ۳۰ درصد از نشست برمی‌گردد، اما هم‌چنان ۷۰ درصد آن باقی می‌ماند. مگر این‌که تزریق انجام شود یعنی از دستگاه‌های مخصوص استفاده شود. ما این سیستم را برای مسائل ژئوتکنیک در قسمت‌های شمالی و جنوبی استفاده می‌کنیم و با فشار ۳۷۰ بار آب را تزریق می‌کنیم تا بتوانیم بهسازی را انجام دهیم. این مسائل فنی از لحاظ اجرایی فوق‌العاده پیچیده هستند، بنابراین آمار و ارقام بیهوده است. نکته بعد، خواهشم این است که یک نگاه کلی بر روی کل ایران داشته باشیم. ایران رتبه سوم فرونشست را در کل دنیا دارد. رتبه اول چین، رتبه دوم اندونزی و سپس ایران. استان گلستان نزدیک به دریا است و تقریبا بحرانی‌ترین استان از لحاظ فرونشست است. حجم آب سطحی پشت سد گلستان حدود ۱۷ میلیون مترمکعب بود. استان خوزستان نیز فرونشست دارد، اما نرخ آن به اندازه گلستان نیست. استان خوزستان به‌طور متوسط حدود ۳/۵ سانتی‌متر در سال فرونشست دارد. حجم آب موجود در مخزن سد خوزستان در ۳۱ شهریور ماه ۱۳/۳ میلیارد مترمکعب بوده است. یعنی ما در استانی که ۱۷ میلیون مترمکعب آب بوده فرونشست داشتیم و هم‌چنین در استانی که ۱۳ میلیارد مترمکعب آب داشته نیز فرونشست داشته‌ایم. حال اگر بخواهیم از این ۱۳/۳ میلیارد مترمکعب تصوری داشته باشیم به این‌صورت است که حجم کل آب پست سدهای مهم ایران مجموعا به جز خوزستان ۶/۵ میلیارد مترمکعب است. بنابراین مجموع استان‌ها باهم ۶/۵، استان خوزستان به تنهایی ۱۳/۳ میلیارد مترمکعب فرونشست دارد، گلستان نیز فرونشست دارد. چه مشکلی وجود دارد که ما این موارد را می‌بینیم؟ آیا نگرش را باید تغییر دهیم؟ اگر خوزستان با این حجم از آب نتوانسته فرونشست خود را کنترل کند آیا من با ۲۰۰ میلیون مترمکعب می‌توانم فرونشست را کنترل کنم؟ اگر همین دیدگاه را داشته باشیم به‌نظر می‌رسد که نمی‌توانم.

برای سد زاینده‌رود چه اتفاقی افتاد؟ در ۳۱ شهریور ۲۰۷ میلیون متر مکعب بود. باید اصفهان، کاشان، یزد و چهارمحال را تغذیه می‌کرد. چه تناسبی بین این‌ها وجود دارد؟ بنابراین آب شرب هم وابسته است. اگر بخواهیم موضوع را حل کنیم به‌نظر می‌رسد که یک خرد جمعی می‌خواهد. یعنی جامعه‌شناس، اقتصاددان، مسائل فنی، امنیت قضایی و ... را می‌خواهد تا بتوان این گره بدی را که ایجاد شده است باز کنیم.

اگر اعداد و ارقام را نادیده بگیریم ممکن است که اشتباه کنیم. متاسفانه ما مسیر نادرستی را رفته‌ایم. نکته مربوط به این مسیر بد را خدمت شما خواهم گفت. وزارت نیرو در بخشی به‌عنوان مجری مقصر است. بخشی هم به‌صورت قانون می‌توان گفت که اتفاق افتاده است. در سال ۱۳۴۷ قانون ملی شدن آب است. یعنی امکان مسدود کردن چاه‌ها بدون دادن خسارت به آب منطقه‌ای داده می‌شود. سال ۱۳۶۱ توزیع عادلانه آب است که ۱۵۰ هزار چاه بعد از این قانون مجاز اعلام می‌شود. بنابراین، این یک نگرش به آب است. نگرشی که ما بدون حفظ کردن آب قانونی را تصویب کردیم. یک بعدی است که ما می‌خواهیم امنیت قضایی را تامین کنیم به قیمتی که آب زیرزمینی را از دست بدهیم. این نگاه تک‌بعدی باید حذف شود و امیدوارم که این اتفاق بیفتد. خیلی ممنون و متشکر.

دکتر حمیدرضا صفوی:

خیلی ممنون جناب آقای دکتر. ما در خدمت نمایندگان محترم

دستگاه‌های اجرایی هستیم. سرکار خانم مهندس موسوی رئیس گروه تلفیق و بیلان منابع آب شرکت آب منطقه‌ای استان اصفهان که خواهش می‌کنم در مدت ده دقیقه مطالب خودشان را ارائه بفرمایند.

مهندس سعیده موسوی پور:

به‌نام خدا. عرض سلام و احترام دارم خدمت حضار گرامی. تشکر می‌کنم از برگزارکنندگان این کنگره بسیار ارزشمند. هم‌چنین تشکر می‌کنم برای فرصتی که به بنده و همکارانم داده شده است تا بتوانیم تجربیات خود را با دوستان عزیز به اشتراک بگذاریم.

همان‌طور که می‌دانید یکی از عمده‌ترین دلایل فرونشست، برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی برای مصارف مختلف است که الان بیشتر دشت‌های کشور ما دچار این معضل شده‌اند. از جمله دشت اصفهان-برخوار که خطری که بناهای تاریخی ما را تهدید می‌کند برای ما بسیار حائز اهمیت بوده و از حساسیت بسیار بالایی برخوردار است. این پدیده درصورتی‌که به‌درستی مدیریت نشود می‌تواند خسارات بسیار زیان‌باری برای ما به‌وجود بیاورد. بنابراین علل تاثیرگذار در فرونشست برای کنترل و مدیریت این پدیده بسیار حائز اهمیت است. بنابراین ما مطالعاتی را در این زمینه انجام داده‌ایم.

پدیده فرونشست یک پدیده بین رشته‌ای است و ما با یک تکنیک و یک روش نمی‌توانیم به دستاورد مورد نیازمان برسیم. ما برای شناسایی و مدیریت از چهار روش استفاده کردیم. تکنیک اول مطالعات هیدروژئولوژی است که ما تمام اطلاعات در این زمینه مثل زمین شناسی، هیدروشیمی و آبخوان را به‌طور جامع مطالعه کردیم. هیدروگراف آبخوان این دشت نشان می‌دهد که ما ۳ میلیارد مترمکعب آب در عرض ۴۰ سال که پایش را شروع کردیم کسری مخزن داشتیم. افت به‌طور متوسط سالیانه ۹۱ سانتی‌متر است. دستاوردی که در این بخش از مطالعه به‌دست آوردیم این بود که در قسمت‌هایی که افت سطح آب زیرزمینی دیده شده لزوما منطبق بر مکان‌هایی که نرخ فرونشست بالا دارند نیست. بنابراین تصمیم گرفتیم که وارد تکنیک‌های دیگر و بررسی عوامل دیگر هم بشویم.

مرحله دوم منطق فازی است که ما برای اجرای این مرحله پارامترهای موثر بر فرونشست را شناسایی کردیم، براساس میزان تاثیرشان بر روی فرونشست آن‌ها را وزن‌دهی کردیم. بعد از آن تمام پارامترهای وزن‌دهی شده را به‌صورت لایه‌های رستری تولید کردیم و در نهایت با همپوشانی این‌ها توانستیم نقشه پتانسیل فرونشست در دشت را تهیه کنیم.

مواردی مانند کاربری اراضی، ضرایب هیدرودینامیک آبخوان، فاصله از گسل، تغذیه خالص، افت سطح آب زیرزمینی، ضخامت اشباع آبخوان و ضخامت خاک رس تاثیرگذار بودند و تمامی این موارد مورد بررسی قرارگرفتند. بیشترین سهم مربوط به افت سطح آب زیرزمینی و ضخامت خاک رس می‌شود. در نهایت نقشه پتانسیل فرونشست دشت موردنظر را مشاهده می‌کنید. این نقشه به مدیران ما کمک بسیار زیادی می‌تواند داشته باشد. یعنی در قسمت‌هایی از این نقشه که نواحی پررنگ را مشاهده می‌کنید نباید بارگذاری مانند ساخت مسکن و غیره ایجاد شود.

تکنیک سوم رادار اینترفرومتری است. داده‌های موردنیاز برای ما داده‌های ماهواره‌ای بوده است. در نهایت نقشه فرونشست با استفاده از این تکنیک به‌دست آمده است. همان‌طور که ملاحظه می‌کنید قسمت‌هایی از شهر که با رنگ قرمز مشخص شده است مانند قسمت‌های پایین نقشه دچار فرونشست بالایی هستند.

نکته بسیار حائز اهمیت این است که اگر ملاحظه بفرمایید خط متروی ما در این‌جا دقیقا از ایستگاه چمران تا ایستگاه قدس در منطقه با فرونشست بسیار بالا قرار گرفته‌اند. بنابراین، این نکته حتما باید مورد بررسی قرار گیرد. سازه‌های خطی ما در نشست‌های نامتقارن بسیار آسیب‌پذیر هستند.

تکنیک چهارم مدل‌سازی و اجرای پکیج SUB است که فرونشست را به‌طور کامل مورد بررسی قرار داده است. همان‌طور که ملاحظه می‌کنید نقشه‌های فرونشستی که از طریق سازمان زمین‌شناسی تهیه شده و در اختیار ما قرارگرفته در دو مرحله بازهم کاملا انطباق خوبی را نشان می‌دهد. تصاویری از مناطقی که فرونشست‌های زیاد داشتیم و ابنیه‌های تاریخی مشاهده می‌کنید.

در نهایت برای خروجی‌هایی که ما از مدل گرفتیم، چهار سناریو تعریف کردیم که با محوریت رهاسازی آب در رودخانه بوده است. در مرحله بعد برای آن‌که به نتیجه مطلوب برسیم یعنی ببینیم تحت چه شرایطی ممکن است که فرونشست مهار شود، کاهش ۳۰ درصدی چاه‌های کشاورزی و در مرحله بعد مسدودسازی چاه‌های مربوط به شهرداری که برای آبیاری فضای سبز استفاده می‌شود را مطالعه کردیم. نهایتا با ۲۳۴ میلیون مترمکعب آب، کاهش ۳۰ درصدی چاه‌های کشاورزی و

مسدودسازی چاه‌های شهرداری مشاهده شد که می‌توان به‌طورکلی فرونشست را مهار کرد.

دردست داشتن این مدل‌ها برای ما و مدیران بسیار حائز اهمیت است، چون می‌توانند ببینند که میزان آب نیاز است. چه مقدار پساب می‌توان برای آبیاری فضای سبز جایگزین شود و تمامی این اعداد و ارقام برای تصمیم‌گیری مدیران حائز اهمیت خواهد بود.

در آخر می‌خواهم با اشاره به اقداماتی که در آب منطقه‌ای شده است عرایضم را خاتمه بدهم. اقدامات آب منطقه‌ای در دو بخش حفاظتی و مطالعاتی بوده است. بخش حفاظتی پروژه تعادل‌بخشی ما است که بخش عمده آن شامل مسدودکردن چاه‌های غیرمجاز، جلوگیری از اضافه برداشت و نصب کنتورهای هوشمند بوده است. این موارد توسط اکیپ‌های گشت بازرسی به‌طور منظم در سطح شهر در حال کنترل و بازرسی است. بخش دوم بخش مربوط به کارهای مطالعاتی است که اولین دشتی که ممنوع اعلام شده است حدود ۵۰ سال قبل بوده است. ما براساس نوسانات و افت سطح آب زیرزمینی که توسط هیدروگراف‌ها مشاهده می‌شود، دشت‌ها را ممنوعه برداشت از آب زیرزمینی اعلام می‌کنیم. در حال‌حاضر از ۳۵ دشت موجود، ۲۹ دشت ممنوعه برداشت و ۱۰ تا از آن‌ها ممنوعه بحرانی هستند. این به‌منزله این است که تخصیص جدیدی در این دشت‌ها نباید داده شود. ما دائما بیلان منابع آب زیرزمینی را به‌صورت دوره‌ای اندازه‌گیری می‌کنیم، اب تجدیدپذیر و آب قابل برنامه‌ریزی را بررسی می‌کنیم. هدف ما این است که تمامی برداشت‌ها به میزان آب قابل برنامه‌ریزی برسد. مورد بعدی استقرار مدیریت یکپارچه بوده است. اخیرا ممنوعیت کف‌شکنی در دشت‌هایی که برای ما فرونشست محرز شده اعمال شده است. اگر سازمان زمین‌شناسی دشتی را که فرونشست دارد به ما اعلام کند، ما مجوز کف‌شکنی و جابجایی برای آن صادر نمی‌کنیم. هم‌چنین ما در بسیاری از دشت‌ها مطالعات مربوط به فرونشست را انجام داده‌ایم.

اگر بخواهم درمورد راه‌کارها صحبت کنم اولین مورد آبدار شدن رودخانه‌ها است که نیازمند یک عزم ملی است و فقط کار یک دستگاه دولتی نیست و باید سازوکاری ایجاد کنیم تا حداقل پایداری اکولوژیک رودخانه را داشته باشیم و این موضوع به تغذیه آبخوان کمک می‌کند. جایگزینی پساب با چاه‌های شهرداری، ۷۰ حلقه چاه آب شربی که در زمان بحران آبی علی‌رغم مخالفت‌های زیاد کارشناسان حفاری شدند و بهتر است این چاه‌ها تعیین تکلیف شوند چون در فرونشست نامتقارن شهری بسیار تاثیرگذار هستند. اصلاح الگوی مصرف کشت، عدم استقرار صنایع پر آب در استان اصفهان و نصب ایستگاه‌های GPS نیز بسیار کمک‌کننده خواهند بود. ممنون از توجه شما.

دکتر حمیدرضا صفوی:

در ادامه در خدمت آقای دکتر قاضی فرد هستیم. استاد محترم دانشکده علوم زمین دانشگاه اصفهان که تحقیقات گسترده‌ای را در زمینه فرونشست به‌خصوص در شهر اصفهان داشته‌اند.

دکتر اکبر قاضی فرد:

بسم‌الله‌الرحمن‌الرحیم. عرض سلام و ادب و احترام خدمت حضار محترم و با تشکر از برگزارکنندگان جلسه امروز. می‌گویند که قرن بیستم قرن فرونشست دشت‌ها بوده است، اما قرن ۲۱ قرن فرونشست شهرها است. متاسفانه در ایران اولین شهری که گریبان ایران را گرفته شهر اصفهان بوده است، به‌دلیل شرایط خاص زمین‌شناسی که دارد و هم‌چنین بسته‌شدن رودخانه. عوامل ایجاد فرونشست‌ها می‌تواند طبیعی باشد مانند فعالیت‌های تکتونیکی. آخرین باری که یک حرکت گسل در اصفهان اتفاق افتاد ۱/۸ میلیون سال قبل بوده است که ما اطلاعاتی در این مورد نداریم. هم‌چنین می‌تواند در اثر فعالیت‌های انحلالی باشد مانند تخریب غارهای زیرزمینی که تابه‌حال در اصفهان رخ نداده است. عامل بعدی عوامل انسانی و فعالیت‌های معدنی است که در شهر اصفهان هیچ‌گونه فعالیت زیرزمینی نداریم. مورد چهارم برداشته مایعات از لایه‌های زیرین زمین است. به‌دلیل این‌که آب یک ماده غیرقابل تراکم است تا زمانی‌که در مخزنی در زیرزمین آب وجود داشته باشد فرونشست اتفاق نمی‌افتد. اما به‌محض این‌که آب تخلیه شود منافذ خاک از هوا پر می‌شود و خیلی راحت دچار تراکم شده و در نهایت فرونشست اتفاق می‌افتد.

موضوعی که دیگر دوستان نیز اشاره کردند این است که شهر اصفهان از میلیون‌ها سال پیش که رودخانه جاری بوده است در برخی از سال‌ها سیلاب اتفاق می‌افتاد و دانه‌های درشت را با خود می‌برد. این زمانی است که شاهین‌شهر در آن‌جا بوده است. به‌تدریج که گسل اتفاق افتاد جهت رودخانه نیز تغییر کرد و در نزدیکی سی و سه پل قرار گرفت. در گمانه‌زنی‌هایی که انجام شده مشاهده کردیم که برخی لایه‌ها رسی است و در برخی لایه‌ها شن وجود دارد. وجود دانه‌های شن به‌دلیل سیلاب‌هایی است که در

برخی سال‌ها اتفاق افتاده است. موردی که در رابطه با فرونشست وجود دارد و در همه‌جای دنیا نیز یکسان است این است که تنها خاک رس دچار فرونشست می‌شود. بیشترین حفاری برای ساخت راه آهن شهری انجام شده است که حدود ۴۲ متر بوده است. اما در شمال شهر اصفهان نزدیک ۳۰۰ متر رسوبات دیده می‌شود. اگر بخواهیم ببینیم که اصفهان تا چه مقداری دچار فرونشست می‌شود باید حتما ببینیم که در این ضخامت‌ها چه مقدار رس وجود دارد، زیرا ما تناوبی از لایه‌ها را در زیرزمین مشاهده می‌کنیم. اگر همه لایه‌ها از شن بود هیچ مشکلی وجود نداشت و فرونشست اتفاق نمی‌افتاد اما ما هیچ‌گونه نظری نداریم و فقط می‌دانیم که تناوبی از لایه‌های رس، شن و یا ماسه وجود دارد. همان‌طورکه در شکل مشاهده می‌کنید در بخش‌هایی که آب برداشت شده لایه رسی فشرده شده و نشست کرده است.

هرسال که دوستان کارهای پژوهشی را انجام می‌دهند یک سال در شمال غرب اصفهان فرونشست دیده می‌شود و دو سال بعد در جنوب شرق اصفهان فرونشست دیده می‌شود. این موارد به‌دلیل پایین‌رفتن آب است و در هر سالی در یک منطقه آب پایین رفته و به لایه رس رسیده‌ایم. این موارد به‌این دلیل است که ما در رابطه با تناوب لایه‌های خاک اطلاعاتی نداریم. من هرسال به شهرداری این پیشنهاد را می‌دهم که شما باید یک شبکه درست کنید و این گمانه‌ها را بزنید حال ممکن است صد میلیارد هزینه داشته باشد. اما تا زمانی‌که ما ندانیم در زیر خاک چه خبر است هیچ‌گاه نمی‌توانیم پیش‌بینی انجام دهیم و نمی‌دانیم که این فرونشست واقعا در چه زمانی متوقف می‌شود. مسلما اگر آب پایین نرود متوقف می‌شود. اما تا زمانی‌که آب در حال پایین رفتن است باید انتظار فرونشست را داشته باشیم.

ما عمق سنگ بستر در زیر شهر اصفهان را داریم. همان‌طور که مشاهده می‌کنید در نزدیکی رودخانه بسیار کم است و زمانی‌که به‌سمت شمال حرکت می‌کنیم می‌بینیم که تا حدود ۳۰۰ متر هم می‌رسد. بنابراین همان‌طور که اشاره کردم ما حداکثر گمانه‌زنی را تا عمق ۴۲ متر برای عملیات مترو داشته‌ایم و از این ۴۵ متر تا ۳۰۰ متر ما حدودا ۳۶۰ متر نقاط کور و ناشناخته داریم که حتما باید شناسایی بشوند.

ما در ژئوتکنیک مبحثی به نام تحکیم داریم که اکثر دوستان آشنا هستند. ما اگر بتوانیم مغزه‌گیری انجام دهیم و روی آن‌ها آزمایش تحکیم انجام دهیم می‌توانیم بگوییم که در هر لایه چه مقدار فرونشست اتفاق می‌افتد. بنابراین ما به‌راحتی می‌توانیم فرونشستی که در ۱۰ یا ۲۰ سال آینده اتفاق می‌افتد را پیش‌بینی و شناسایی کنیم.

عوامل تشدیدکننده فرونشست در شهر اصفهان عبارتند از: برداشت بی‌رویه آب، کاهش آورد رودخانه زاینده‌رود، برداشت بیش از حد آب‌های زیرزمینی، افزایش جمعیت شهر اصفهان به‌واسطه مهاجرت، استقرار و توسعه صنایع، تغییرات اقلیمی و خشکسالی، توسعه بی‌رویه فضای سبز خارج از توان تامین آب و عدم احساس خطر در بین مسئولین در سال‌های گذشته.

پیشنهادات مربوط به کاهش فرونشست در اصفهان عبارتند از: حذف، کاهش یا تغییر الگوی مصرف آب در فضای سبز شهری، ایجاد شبکه پایش سطح آب زیرزمینی، ایجاد شبکه پایش میزان فرونشست در شهر اصفهان، اجرای طرح‌های علاج‌بخشی از جمله تغذیه مصنوعی سفره آب زیرزمینی با استفاده از پساب تصفیه شده، نظارت بر برداشت آب زیرزمینی با نصب کنتورهای حجمی بر روی چاه‌های شهرداری و دیگر چاه‌ها و حذف چاه‌های عمیق در سطح شهر، تعیین خط قرمز برای حداکثر مجاز افت آب زیرزمینی و حداکثر مجاز فرونشست سالیانه. خیلی ممنون و متشکرم.

دکتر حمیدرضا صفوی:

خیلی ممنون. ارائه آخر را جناب آقای مهندس شمسایی مدیر محترم دفتر مطالعات و بررسی‌های فنی شرکت آب و فاضلاب استان انجام می‌دهند که اثرات فرونشست را بر روی تاسیسات آب و فاضلاب مانند لوله‌ها و تجهیزات ارائه خواهند کرد.

مهندس سعید شمسایی:

به‌نام آن‌که جان را فکرت آموخت/ چراغ دل به نور جان برافروخت. عرض سلام و ادب و احترام دارم خدمت کلیه دوستان و اساتید محترم. من به‌عنوان شاگرد در این جلسه مطالب بسیار خوبی را یاد گرفتم. انشاالله که برای شما نیز سودمند بوده باشد. انشاالله که بتوانیم مطالب را به یک عملیات اجرایی تبدیل کرده و نهایت استفاده را از آن‌ها بکنیم. موضوعی که من می‌خواهم درباره آن صحبت کنم بحث فرونشست و تاثیر آن بر یکی از شریان‌های حیاتی شهر، فاضلاب و تاسیسات فاضلاب، است.

اصطلاح عمومی فرونشست، حرکت عمودی ناشی از تغییراتی که بر روی سطح آب زیرزمینی اتفاق می‌افتد و می‌تواند طبیعی و یا انسانی باشد. یک تفاوتی بین بحث فرونشست و تحکیم وجود

دارد و آن این است که علت وقوع تحکیم وزن خاک و سازه‌ها و تاسیسات بالادستی آن است که به‌تدریج و در طولانی‌مدت اتفاق می‌افتد. اما فرونشست خروج سیال از درون آبخوان و در بازه‌های زمانی کوتاه تعریف می‌شود.

در سال‌های اخیر، مطالعات و بررسی‌هایی انجام شده که نشان می‌دهد فرونشست زمین می‌تواند به دو شکل رخ دهد: یکنواخت و غیر یکنواخت. در حالت یکنواخت، سطح زمین به‌طور کلی تغییر می‌کند و تنش‌های فشاری را داریم، اما در حالت غیر یکنواخت، تنش‌های فشاری و کششی به‌شکل نامنظمی در نقاط مختلف ایجاد می‌شود که باعث تغییرات ساختاری در لایه‌های زمین می‌شود. این تنش‌ها می‌توانند به ایجاد شکاف در سطح زمین و تغییرات هیدرولیکی، هرچند جزئی، منجر شوند.

در سمت چپ تصویر، نمایی از یک تغییر ۶۰ درجه‌ای مشاهده می‌شود که نشان‌دهنده تأثیرات فرونشست غیر یکنواخت است. در این شرایط، علاوه‌بر مرکز زمین، مناطق اطراف نیز تحت‌تأثیر تنش‌های کششی قرار می‌گیرند و همین امر باعث تغییر در ساختار خاک و لایه‌های زیرزمینی می‌شود. فرونشست‌های غیریکنواخت در شهر اصفهان باعث بروز حرکت‌های افقی در سطح خاک می‌شود. تأثیر این پدیده نه‌تنها در لایه‌های زیرسطحی، بلکه در سیستم‌های شهری مانند تأسیسات آب و فاضلاب نیز دیده می‌شود.

شهر اصفهان ، دارای یکی از گسترده‌ترین شبکه‌های فاضلاب کشور با قدمتی نزدیک به ۶۰ سال است. چهار تصفیه‌خانه مهم در مناطق جنوب شرق، سپاهان‌شهر و سایر نقاط شهر فعال هستند. در حال‌حاضر، کل استان حدود ۹۰۰۰ کیلومتر شبکه فاضلاب دارد که معادل طول دور کره ماه است! اما شهر اصفهان حدود ۴۰۰۰ کیلومتر شبکه دارد. هم‌چنین، ۹۷ درصد جمعیت شهر تحت‌پوشش این شبکه قرار دارند (حدود ۲ میلیون نفر)، روزانه ۴/۵ مترمکعب در ثانیه فاضلاب تصفیه‌شده و به چرخه مصرف باز می‌گردد.

اما یکی از چالش‌های جدی در این سیستم، فرونشست زمین و تأثیر آن بر تأسیسات فاضلاب است. در برخی مناطق شمال‌شرقی اصفهان، گرادیان نشست بسیار بالا بوده و این مسئله باعث تخریب تأسیسات و جدا شدن اتصالات لوله‌ها شده است. برای مثال، در برخی نقاط شهر، سالانه ۱۰ سانتی‌متر نشست ثبت شده که می‌تواند شیب حرکت فاضلاب را مختل کند و موجب انسداد لوله‌ها شود.

وقتی حرکت زمین شروع می‌شه، مثلاً ده سانت جابه‌جایی در یک بخش از شهر، اگه به‌موقع متوجه نشویم و اقدام نکنیم، نشست زمین اتفاق می‌افتد. باید در نظر بگیریم که در این شرایط چی را از دست می‌دهیم. چهارراه‌ها، شبکه‌های انتقال آب، فاضلاب، و حتی زیرساخت‌ها دچار فاصله یا گسست می‌شوند. مثلاً من خودم جایی از شبکه را دیدم که نشست باعث شده بود یک بخش از لوله از بدنه جدا بشه و این جدایی باعث نشت شدید و آسیب جدی به سیستم شده بود. ما وقتی لوله‌کشی‌ها را طراحی می‌کنیم، یک سرعتی برای جریان آب و یک تناسبی بین فشار و مقاومت درنظر می‌گیریم. حالا وقتی نشست پیش می‌آید، این تناسب به‌هم می‌ریزه، مخصوصاً وقتی فضاهای خالی زیر شبکه‌ها ایجاد بشوند. در چنین شرایطی، سرعت جریان کم می‌شود، رسوب بیشتر می‌شود، و آلودگی‌ها راحت‌تر نفوذ می‌کنند. مثلاً دیدیم که در یک منطقه سفید، در اثر نشست، یک قسمت از شبکه تقریباً بدون فشار شده بود. یکی از پارک‌های تولید هیدروژن‌ما هم دچار مشکل شده بود. فشاری که روی لوله‌ها می‌آید در نتیجه نشست، باعث خرابی تدریجی‌شون می‌شه. یک جایی از شبکه را دیدم که در اثر فشار، ترک خورده بود و یک قسمتی از ظرفیت انتقالش از بین رفته بود. من خودم فکر می‌کنم اگر همین‌طور ادامه پیدا کند، ما یک بخشی از زندگی شهری را از دست می‌دهیم. بحث این است که وقتی زمین نشست می‌کند، لوله‌ها هم یا می‌برند یا تحت فشار می‌مانند. اگر لوله انعطاف‌پذیر نباشه، با کشش زمین می‌شکنند. اما اگر از جنس مناسب باشد، می‌تواند مقداری از فشار را تحمل کند. این تجربه‌ای است که ما در سطح شهر اصفهان زیاد دیدیم. وقتی نشست بین دو نقطه از زمین ایجاد می‌شود، لوله‌ای که آن وسطه دچار کشش می‌شود و ممکن است بشکند، ما با استفاده از فناوری‌های جدید مثل پلی‌اتیلن‌های مقاوم، توانستیم بعضی از این مشکلات را کم کنیم، چون این مواد انعطاف‌پذیرند و در برابر کشش مقاوم‌تر عمل می‌کنند. ما در بعضی خیابان‌ها دیدیم که نشست باعث باز شدن درزها، جابه‌جایی موزاییک‌ها و حتی ترکیدن لوله‌های اصلی شده است. لوله‌هایی که نشست کردن، معمولاً درگیر خاک نرم و سست بودند. این لایه‌ها توان نگه‌داشتن فشار را ندارند. یکی از خیابان‌ها در منطقه ستارخان، یک نشست بزرگ داشت که باعث شد فضای

بزرگی زیر آسفالت خالی بشود و ما نتوانیم به‌موقع عملیات تعمیر را انجام بدهیم. وقتی نشست زمین اتفاق می‌افتد، جدا شدن اتصالات، نفوذ آب یا پساب و از دست رفتن عملکرد سیستم کاملاً محتمل می‌شود. تأسیسات مکانیکی تصفیه‌خانه‌ها هم درگیر این موضوع می‌شوند. یک جاهایی که اتصال بین حوضچه‌ها قطع شده، فرآیند تصفیه به مشکل خورده، چون نمی‌توانیم انتقال دائمی و پیوسته فاضلاب را تضمین کنیم. اگر نشست ادامه‌دار باشد، لایه‌های هیدروشیمیایی هم دچار مشکل می‌شوند، که خودش باعث افت کیفیت خروجی تصفیه‌خانه می‌شود. ما نیاز داریم از اتصالاتی استفاده کنیم که در برابر کشش، فشار و نشست زمین مقاوم باشند. در یکی از پروژه‌ها از لوله‌هایی استفاده کردیم که خاصیت پلی‌رولا داشتن؛ این باعث شد که حتی وقتی زمین نشست کرد، لوله بدون پارگی خودش را با تغییر شکل زمین تطبیق بدهد. این یک تکنولوژی نسبتاً جدیده که ما در چند سال گذشته استفاده کردیم.

از طرف دیگر، تغذیه مصنوعی آبخوان‌ها یکی از راه‌کارهای موقته که می‌تواند نشست را کاهش بدهد. با استفاده از پساب تصفیه‌شده، می‌شود به سفره‌های آب زیرزمینی کمک کرد. البته این موضوع نیاز به بررسی‌های محیط‌زیستی دارد، چون ممکن است کیفیت آب تزریقی مناسب نباشد و خودش آلودگی جدید ایجاد کند. الان در شهر اصفهان، مقدار قابل‌توجهی پساب داریم که در تصفیه‌خانه‌ها فرآوری شده است. می‌توانیم از آن برای تغذیه سفره‌ها استفاده کنیم، ولی چالش‌های فنی، اقتصادی و حقوقی دارد. مثلاً بعضی از این آب‌ها قرارداد فروش دارند، یا برای مصارف صنعتی درنظر گرفته شده‌اند. ما باید ببینیم آیا دولت می‌تواند ورود کند و بخشی از این منابع را برای تزریق به سفره‌ها تخصیص بدهد یا نه. درنهایت، مهم است که مطالعاتی که انجام می‌دهیم، فقط عدد و رقم تولید نکنند. باید بتوانند به راه‌کار تبدیل بشوند. الان همکاران دانشگاهی‌مان می‌توانند در کنار مسئولان اجرایی، وارد عمل بشوند تا راه‌کاری برای مهار نشست زمین در اصفهان ارائه بدهند. نشست زمین، فقط یک مشکل فنی نیست؛ یک بحران اجتماعی، اقتصادی و حتی روانی است. اگر همکاری جمعی نباشد، فقط با حرف‌زدن و جلسه گرفتن، هیچ‌کدام از این مشکلات حل نمی‌شود. در پایان باید بگویم، حفظ جریان دائمی زاینده‌رود امکان‌پذیر است، ولی نیاز به اراده ملی دارد. همه سازمان‌ها باید همکاری کنند تا بتوانیم حقابه محیط‌زیستی رودخانه را حفظ کنیم. بازنگری در مصارف، برنامه‌ریزی دقیق و استفاده از فناوری‌های مناسب، از جمله کارهایی است که باید سریع‌تر به آن ورود کنیم.

یکی از مسائل مهم دیگر، ارتباط آبخوان‌ها با رودخانه زاینده‌رود است. برخی مطالعات نشان داده‌اند که سطح آب‌های زیرزمینی به‌دلیل کاهش جریان رودخانه، افت شدیدی داشته است. این سؤال مطرح است که آیا احیای این منابع در آینده امکان‌پذیر است؟ پاسخ مثبت است، اما نیازمند همکاری همه نهادهای مرتبط و تأمین منابع مالی در سطح ملی است. تنها با یکپارچه‌سازی مدیریت منابع آب و اتخاذ سیاست‌های پایدار می‌توان از پیامدهای منفی فرونشست جلوگیری کرد و تأسیسات شهری را حفظ نمود.

جمع‌بندی پرسش‌ها و پاسخ‌ها

بازنگری در تخصیص منابع آب رودخانه: برای مدیریت بهینه منابع آب، نیازمند بازنگری در تخصیص منابع و مصارف هستیم. این امر نیاز به عزم و اراده استانی دارد.

نقش مطالعات دانشگاهی در مدیریت بحران‌ها: یکی از سؤالات مطرح این است که چرا مطالعات دانشگاهی منجر به محاسبه نرخ دقیق فرونشست نشده‌اند و بیشتر بر رفتار لایه‌های مختلف تمرکز داشته‌اند. آیا بهتر نیست که این مطالعات، در کنار ارائه ایده‌ها و راه‌کارها، در مسیر عملیاتی شدن و کمک به حاکمیت برای مقابله با فرونشست به‌کار گرفته شوند؟

راه‌کارهای جبران کمبود منابع آب: آقای دکتر اشاره کردند که مسئله اصلی محاسبات عددی نیست، بلکه راه‌حل‌ها مهم هستند. اگر بتوانیم این ۱۰۰ میلیون مترمکعب ناترازی را جبران کنیم، مشکل تا حد زیادی حل می‌شود. این جبران یا از طریق کاهش برداشت از چاه‌ها یا افزایش تغذیه آبخوان‌ها امکان‌پذیر است.

اهمیت رویکردهای عملی و خرد جمعی: ما باید به‌جای صرفاً بحث‌های نظری، به راه‌کارهای عملی و تصمیم‌گیری بر پایه خرد جمعی بپردازیم. برای مثال، در مورد احیای دائمی زاینده‌رود، در حال‌حاضر یک راه‌کار اصلی و قطعی در دسترس نیست. اما یکی از راه‌کارهای موقت، تغذیه آبخوان است. سوال اساسی این‌جا است که این آب را از کجا تأمین کنیم؟

چالش‌های تأمین آب و نقش تصفیه پساب: در حوزه بسته

زاینده‌رود، آب و پساب از یکدیگر جدا نیستند. اگر آبی را برای استفاده در صنعت اختصاص دهیم، در واقع آن را از نقطه‌ای به نقطه‌ای دیگر منتقل کرده‌ایم، بدون این‌که واقعاً از بار مصرفی حوزه کاسته شود. یکی از راه‌کارهای پیشنهادی، تزریق پساب تصفیه‌شده به منابع آب اصفهان است. این امر چالش‌هایی دارد، از جمله:

۱) چالش محیط‌زیستی، کیفیت آب تزریقی باید استانداردهای لازم را داشته باشد.

۲) چالش فنی، با توجه به پتانسیل فنی موجود در اصفهان، متخصصان می‌توانند راه‌کاری ارائه دهند که کیفیت آب تزریقی حفظ شود.

۳) چالش اقتصادی: این پروژه هزینه‌بر است، اما دارای ارزش اقتصادی نیز هست و شرکت‌های وابسته به وزارت نیرو می‌توانند آن را برای فروش مدیریت کنند. با این‌حال، نیاز است که دولت نیز در تأمین بودجه ورود کند.

۴) چالش حقوقی: قراردادهای منعقدشده و مسائل مالی باید با درنظر گرفتن قوانین موجود حل و فصل شوند.

راه‌کارهای عملیاتی و نقش شهرداری در مدیریت آب: در حال‌حاضر، شهرداری با استفاده از چاه‌های سطح شهر، آب را برای ایجاد فضای سبز برداشت می‌کند. اگر این آب با عملیات تکمیلی تصفیه شود، می‌توان از آن در سطح گسترده‌تری استفاده کرد. در این راستا، شهرداری اصفهان تاکنون چندین قرارداد منعقد کرده و تصفیه‌خانه‌های تکمیلی در حال احداث هستند.

اثرات فرونشست بر زیرساخت‌های شهری: فرونشست زمین موجب جدا شدن فلنج‌های شبکه‌های آب‌رسانی و ایجاد نشتی‌های متعدد شده است. این مسئله بر سایر زیرساخت‌ها مانند مترو، گاز و مخابرات نیز تأثیر می‌گذارد. در حوزه آب و فاضلاب، این تغییرات بسیار سریع‌تر خود را نشان می‌دهند و نیاز به اقدامات فوری دارند.

نتیجه‌گیری و برنامه‌ریزی آینده برای مدیریت بهینه منابع آب و مقابله با فرونشست: باید راه‌کارهای کوتاه‌مدت و بلندمدت تدوین شود. اقدامات اصلاحی در شبکه فاضلاب اصفهان آغاز شده و باید با تقویت اعتبارات و اجرای برنامه‌های عملیاتی ادامه یابد. از سوی دیگر، برنامه‌هایی مانند تزریق پساب تصفیه‌شده، مدیریت بهینه مصرف و جلوگیری از تغییرات کاربری نامناسب، می‌توانند بخشی از راه‌کارهای پایدار باشند.