

# فرونشست زمین و بهسازی خاک

ایمان الیاسیان، دانشجوی دکترای عمران سازه

## فرونشست چیست؟

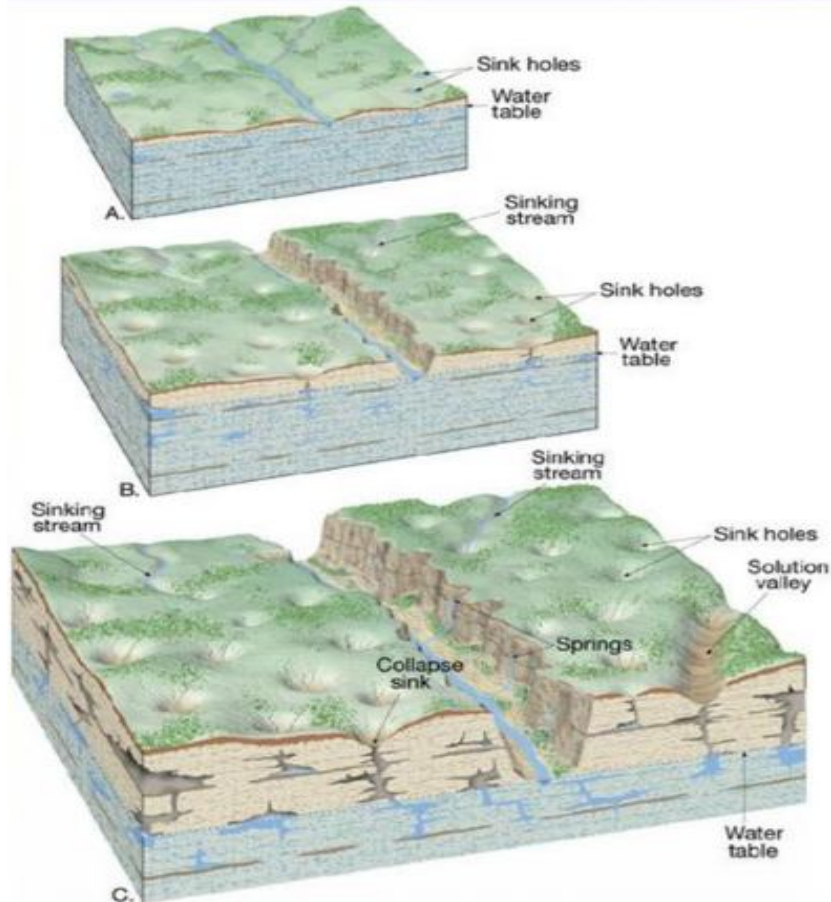
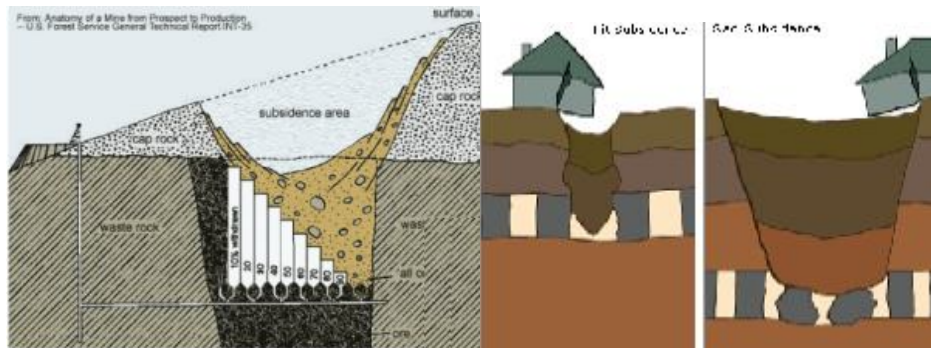
بنا به تعریف یونسکو، فرونشست عبارت است از فروریزش و یا نشست سطح زمین که به علت های متفاوتی در مقیاس بزرگ روی می دهد. به طور معمول این اصطلاح به حرکت قائم رو به پایین سطح زمین که می تواند با بردار اندک افقی همراه باشد، گفته می شود این تعریف پدیده هایی همچون زمین لغزش ها را به دلیل اینکه حرکت آنها دارای بردار افقی قابل توجهی است و همچنین نشست در خاک های دستی، که دارای مکانیزم متفاوتی می باشد شامل نمی شود.

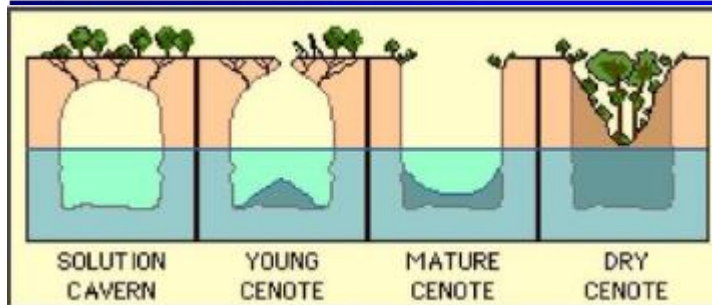
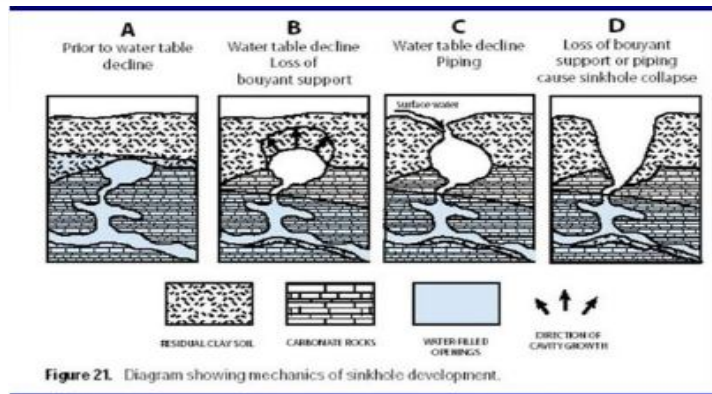
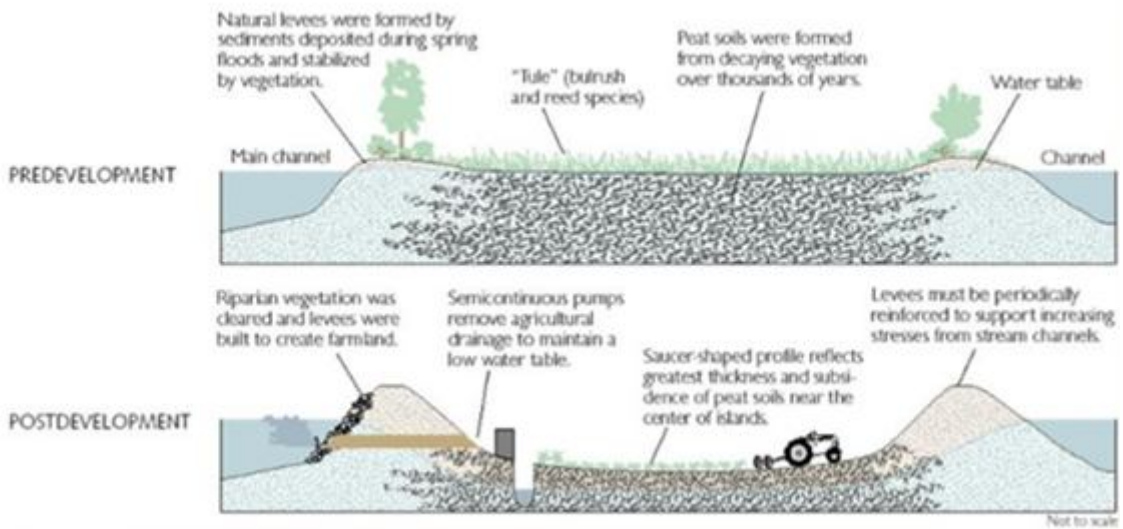
طبق تعریف انستیتو زمین شناسی ایالات متحده، پدیده فرونشست زمین شامل فروریزش یا نشست رو به پایین سطح زمین است که می تواند دارای بردار جابجایی افقی اندک باشد. حرکت از نظر شدت، وسعت و میزان مناطق درگیر محدود نمی باشد و فرونشست می تواند در اثر پدیده های طبیعی زمین شناختی مانند انحلال، آب شدگی یخها و تراکم نهشته ها، حرکات آرام پوسته و خروج گدازه از پوسته جامد زمین و یا فعالیتهای انسانی نظیر معدنکاری، برداشت آبهای زیرزمینی و یا نفت ایجاد شود. بنا به تعریف یونسکو فرونشست عبارت است از فروریزش و یا نشست سطح زمین که به علت های متفاوتی در مقیاس بزرگ روی می دهد. به طور معمول این اصطلاح به حرکت قائم رو به پایین سطح زمین که می تواند با بردار اندک افقی همراه باشد، گفته می شود. این تعریف پدیده هایی همچون زمین لغزش ها را بدلیل اینکه حرکت آنها دارای بردار افقی قابل توجهی است و همچنین نشست در خاکهای دستی، که دارای مکانیزم متفاوتی می باشد شامل نمی شود رشد جمعیت همراه با گسترش بی رویه بهره برداری از آب در مقاصد کشاورزی و صنعت، با اثرات نامطلوب زیادی در جنبه های کمی و کیفی منابع آب همراه بوده است. بدین ترتیب بر جامعه امروزی لازم است که از استفاده بی رویه از منابع طبیعی به ویژه آب دست برداشته، به سوی استفاده عقلانی و مدیریت پایدار بهره برداری از منابع آب روی آورد. افزایش روز افزون بهره برداری از آب های زیر زمینی بویژه در حوضه هایی که با نهشته های آبرفتی، دریایی کم عمق یا دریاچه ای تحکیم نیافته (Unconsolidated) انباشته گشته اند، فرونشست (Subsidence) و یا فروریزش سطح زمین می تواند منجر شود. پدیده فرونشست ممکن است به صورت نشست تدریجی یا ناگهانی سطح زمین و به هر دو علت طبیعی یا در اثر فعالیت بشر ایجاد شود. فرونشست سطح زمین نیروی قابل توجهی است که در بسیاری از نواحی تحمیل می شود و در صورت گسترش به ساختارهای زیربنایی موجود خسارت وارد می کند. فرونشست می تواند آسیب جدی به واحد های صنعتی و منازل مسکونی وارد کند. شماری از خسارت های ناشی از وقایع فرونشست در ایران، در نواحی مستعد این پدیده حاصل می شود. این گونه مناطق باید از پتانسیل بروز فرونشست آگاهی داشته باشند و نمایان سازی وضعیت و مقابله با آن به منظور حفاظت و امنیت صورت گیرد. نشانه اولیه فرونشست زمین به عنوان یکی از مخاطرات طبیعی همیشه قبل از وقوع ریزش مشاهده نمی گردد. به این دلیل تشخیص و نمایان سازی نواحی که به دلیل خطرپذیری و به مخاطره انداختن زندگی، مستعد فرونشست هستند ضروری به نظر می رسد.



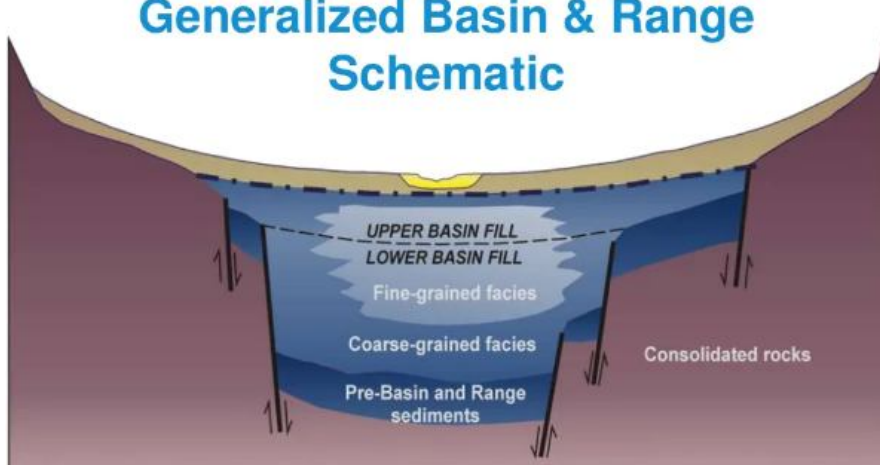


علت های ایجاد فرونشست: عوامل متعددی باعث ایجاد این پدیده می شوند: از جمله انحلال، آب شدگی، یخ ها و تراکم نهشته ها، حرکت آرام زمین و خروج گدازه و یا عملیات انسانی نظیر معدنکاری یا برداشت آب زیر زمینی و نفت. برداشت و استخراج مواد معدنی، ریزش سازه های زیرزمینی مانند تونل ها و یا ایجاد حفرات در اثر انحلال.

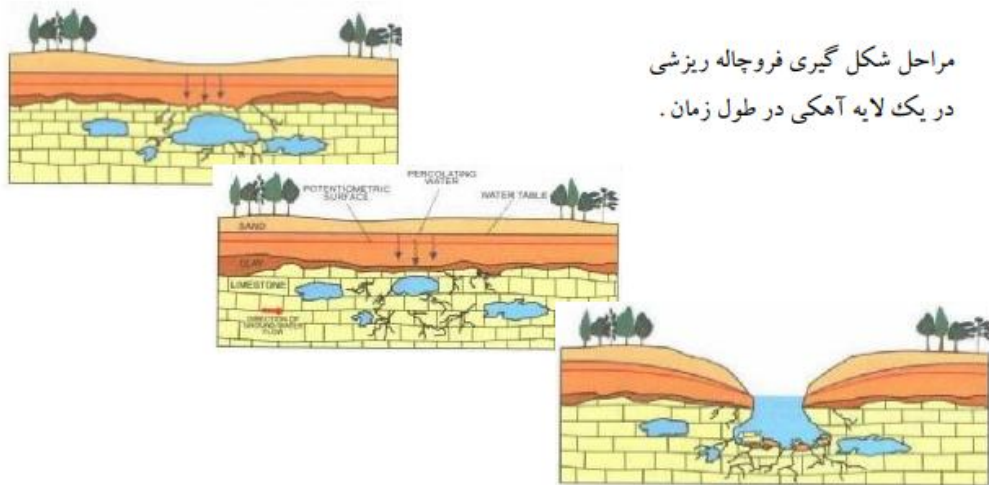
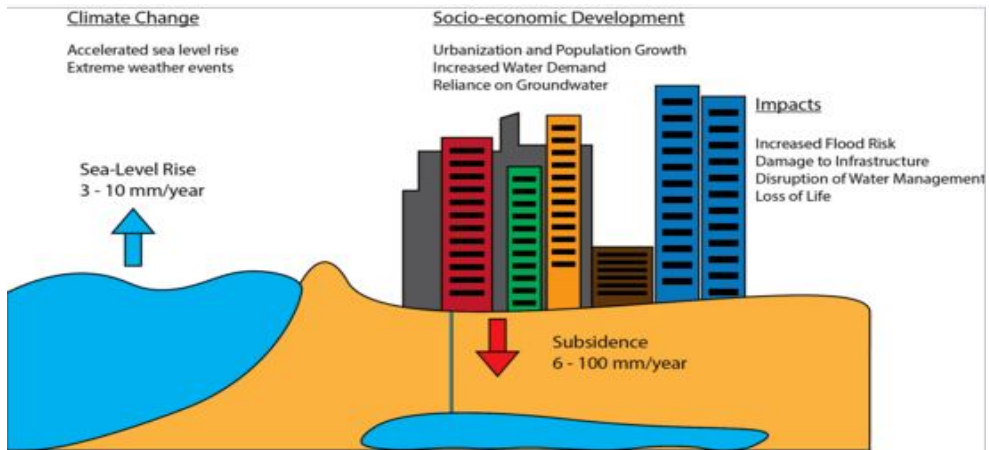




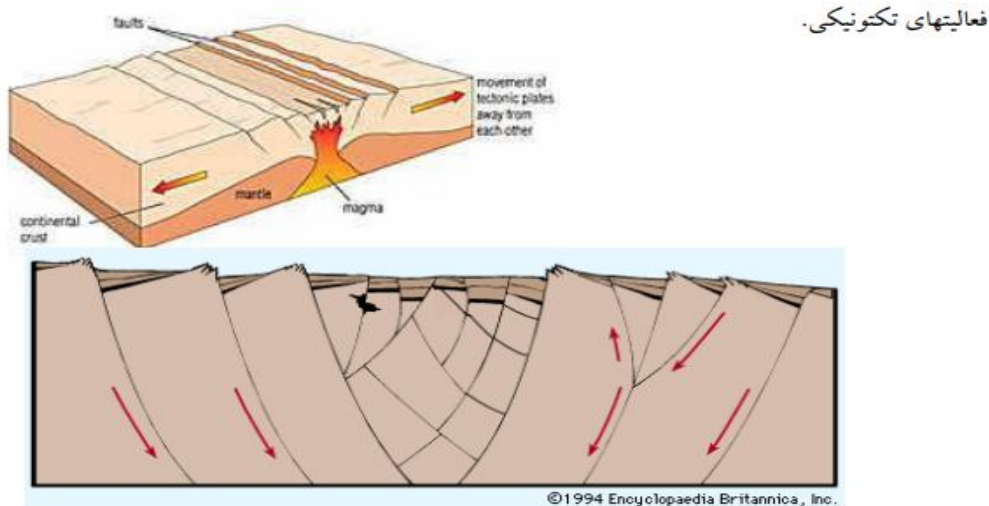
## Generalized Basin & Range Schematic





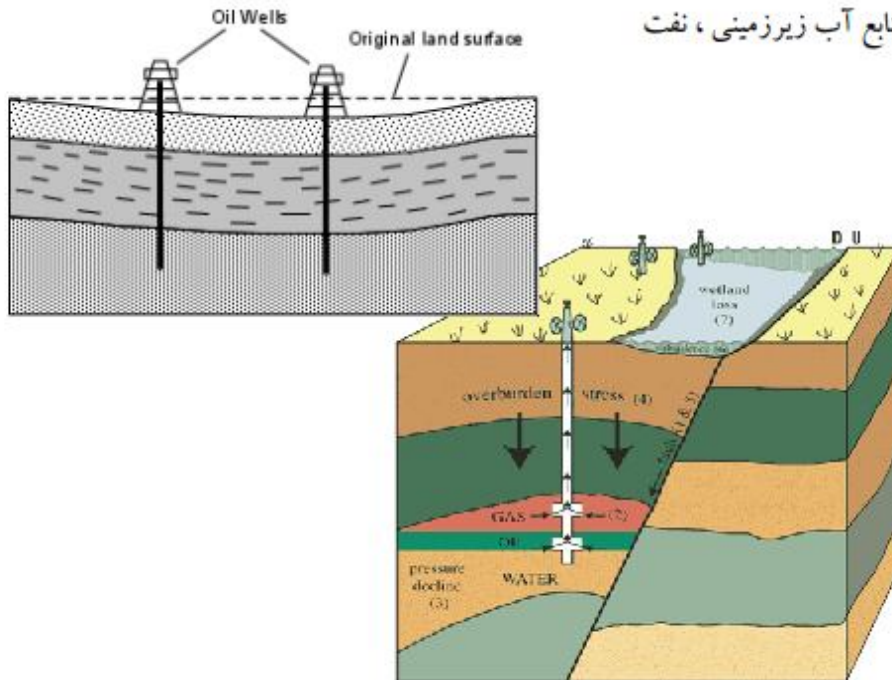


مراحل شکل گیری فروچاله ریزشی  
در یک لایه آهکی در طول زمان.



فعالتهای تکتونیک.

برداشت بی رویه از منابع آب زیرزمینی ، نفت و گاز.



### تاریخچه مطالعه فرونشست در کشور.

با توجه به مصرف بی رویه آب در سطح کشور و داده های پراکنده مربوط به پایین آمدن سطح آب زیر زمینی در کشور ، تشخیص اینکه فرونشستها و پیامد های حاصل از آن به پدیده ای مشکل ساز در کشور تبدیل گشته، کار دشواری نیست . بررسی های موردی در بخش های مختلف کشور نیز نمایانگر این امر می باشد .سازمان زمین شناسی کشور به عنوان مسئول بررسی مخاطرات زمین شناختی کشور پیشگام در مطالعه این پدیده و خطرهای وابسته به آن در کشور بوده است .در ادامه برخی از بررسی های موردی انجام گرفته در این زمینه اشاره شده است.

-دشت رفسنجان ،مشهدو کرمان که بسیاری از آثار پدیده فرونشست در آن دیده شده است و اولین گزارش این سازمان تحت عنوان " مطالعات فروریزش زمین در شمال غرب کرمان " در سال 1377 تهیه شده است.

-دشت کبودرآهنگ و فامنین در استان همدان که فروچالهای متعددی در این دشت دیده شده و روند شکل گیری آنها حتی نیروگاه شهید مفتاح را تهدید می نماید و گزارش آن تحت عنوان "بررسی ساز و کار فرونشستها و خطرات ناشی از آن در دشت کبودر آهنگ ، فامنین و همه کسی " که در سال 1381 تهیه شده است.

- دشت معین آباد ورامین در استان تهران که در آن شکاف زمین به طول 4/2 کیلومتر در منطقه مشاهده شد که حتی تا امروز شکافهایی به موازات آن در حال شکل گیری است و روند گسترش آن خطوط نیرو را تهدید می نماید و گزارش آن تحت عنوان " بررسی مکانیسم و علل تشکیل شکافهای زمین در منطقه معین آباد ورامین " در سال 1383 تهیه شده است. -دشت نظر آباد در استان تهران که بعضی از آثار فرونشست بصورت بالا آمدن لوله چاهها از سطح زمین و ماسه دهی چاهها مشاهده گردیده است و مطالعات تکمیلی قرار است در این منطقه صورت پذیرد .گزارش مقدماتی آن تحت عنوان " بررسی علت ماسه دهی و شکست لوله جدار چاههای آب در محدوده شهرستان نظرآباد " در سال 1383 تهیه شده است

-در جنوب باختر تهران بزرگ اندازه گیری های سازمان نقشه برداری کشور نشستی به میزان حدود یک و نیم متر را در 9 سال گذشته در منطقه 18 و 19 شهرداری نشان می دهد .مطالعات سازمان زمین شناسی کشور بزودی در این مورد آغاز خواهد شد .بر اساس بررسی های صورت پذیرفته ، شواهدی در دست است که نشان می دهد این پدیده در دشت های دیگر ایران چون اراک، نهاوند، خمین، گلپایگان، نطنز، یزد و ابر کوه در حال شکل گیری است.

### محیط های زمین شناختی دارای پتانسیل فرونشست

1.1. سنگهای انحلال پذیر ( سنگهای اهک ، دولومیت ، گچ و نمک ) که توسط نهشته های تحکیم نیافته

مدفون شده اند ، یا فرو چاله های کهن پر شده با نهشته های تحکیم نیافته که فشار هیدرو استاتیکی رو به بالا اب زیر زمینی در نگهداری آنها موثر است.

1.2. نهشته های جوان تحکیم نیافته و رسوبات اوری نیمه تحکیم یافته با تخلخل بالا که در زیر نهشته های ابرفتی ، دریاچه ای یا نهشته های دریایی کم عمق واقع شده اند .این محیطها شامل ابخوانهای بسته یا نیمه بسته ماسه ای یا شنی همراه با میان لایه های رسی است.

### خطرهای زمین شناختی مرتبط با فرونشست.

فرونشست و شکافهای زمین (Fissure) که به آهستگی و به تدریج گسترش می یابند شاید همان تاثیر خطرهای ناگهانی و فاجعه بار مانند سیل و زلزله را نداشته باشد .در منطقه در حال فرونشست شاید خرابی به میزان گسترده مشاهده نشده، حتی آثار سطحی حاصل از آن نیز براحتی قابل تشخیص نباشد .با این وجود بطور معمول خسارتهای ناشی از فرونشست ها و شکافهای زمین ترمیم ناپذیر، پر هزینه و مخرب می باشند .به عنوان نمونه فرونشستها می توانند به تخریب سیستمهای آبیاری و خاکهای حاصلخیز کشاورزی ( با پایین آوردن تخلخل آنها ) منجر شوند .خسارت به چاهها در منطقه های فرونشست روستایی و شهری به طور کامل متداول بوده ، موجب خرابی چاهها و ایجاد پدیده ای می شود که در اصطلاح به آن رشد چاهها می گویند .در این پدیده بنظر میرسد که لوله چاه از سطح زمین بالا آمده، در حالی که لوله ثابت بوده و این سطح زمین است که پایین رفته است. مناطق شهری به دلیل تراکم جمعیت ، ساختمانها و شریان های حیاتی به طور ویژه آسیب پذیرتر می باشند. این پدیده می تواند به خیابانها، پل ها و بزرگراهها آسیب زده، خطوط آبرسانی، گاز و فاضلاب را مختل کرده، به پی ساختمانها آسیب رسانده ، موجب ترک در آنها گردد .در این حالت سازه هایی که وسعت زیادتر و ارتفاع بیشتری دارند آسیب پذیرترند .به عنوان نمونه خطوط راه آهن ، سدهای خاکی ، تصفیه خانه ها و کانالها از آسیب پذیری زیادتری برخوردار هستند .به طور کلی هر سازه ای که در مسیر شکل گیری شکاف یا فروچاله (Sinkhole) واقع شده باشد، در معرض آسیب بیشتری قرار دارد .پدیده فرونشست با ایجاد تغییر در وضعیت توپوگرافی منطقه می تواند سبب بروز تغییرات چشمگیری در هیدرولوژی منطقه شود .به عنوان مثال در این مناطق ممکن است سیلاب های عظیم و مخربی بوقوع بپیوندد در حالی که قبل از ایجاد فرونشست از هیچ سابقه ای بر خوردار نبوده است .از سوی دیگر این پدیده می تواند با ایجاد تغییر در وضعیت زمین آشناختی منطقه از قبیل جهت و سرعت جریان آب زیر زمینی، بیلان آب زیر زمینی و غیره نتیجه های ناهنجار بیشتری در پی داشته باشد. با توجه به آنچه گفته شده شاید بتوان خسارت های ناشی از رخداد فرونشست و پدیده های پیرو آن را به شرح زیر خلاصه نمود:

1. تغییر ناهمسان در ارتفاع و شیب رودخانه ها ، آبراهه ها و سازه های انتقال آب
2. شکست و یا بیرون زدگی لوله جدار چاه ها در نتیجه تنش های تراکمی ناشی از تراکم آبخوان ها و ایجاد اختلال در بهره برداری از منابع آب زیر زمینی
3. پیشروی امواج در مناطق پست ساحلی
4. کاهش برگشت ناپذیر تمام یا بخشی از مخزن آب زیر زمینی در نتیجه از بین رفتن یا کاهش تخلخل مفید نهشته ها

5. کاهش میزان نفوذ پذیری سطحی و پیرو آن گسترش پهنه های بیابانی و سیلابی
6. کاهش بازدهی یا ایجاد تخریب در شریان های حیاتی و سازه های مهم

### علت های ایجاد فرونشست

عوامل متعددی باعث ایجاد این پدیده می شوند:

از جمله انحلال، آبدگگی یخ ها و تراکم نهشته ها، حرکت آرام زمین و خروج گدازه و یا عملیات انسانی نظیر معدنکاری یا برداشت آب زیر زمینی و نفت برداشت و استخراج مواد معدنی، ریزش سازه های زیرزمینی مانند

تونل ها و یا ایجاد حفرات در اثر انحلال

-فعالتهای تکتونیکی

- برداشت بی رویه از منابع آب زیرزمینی ، نفت و گاز

### علت وقوع فرونشست در ایران-

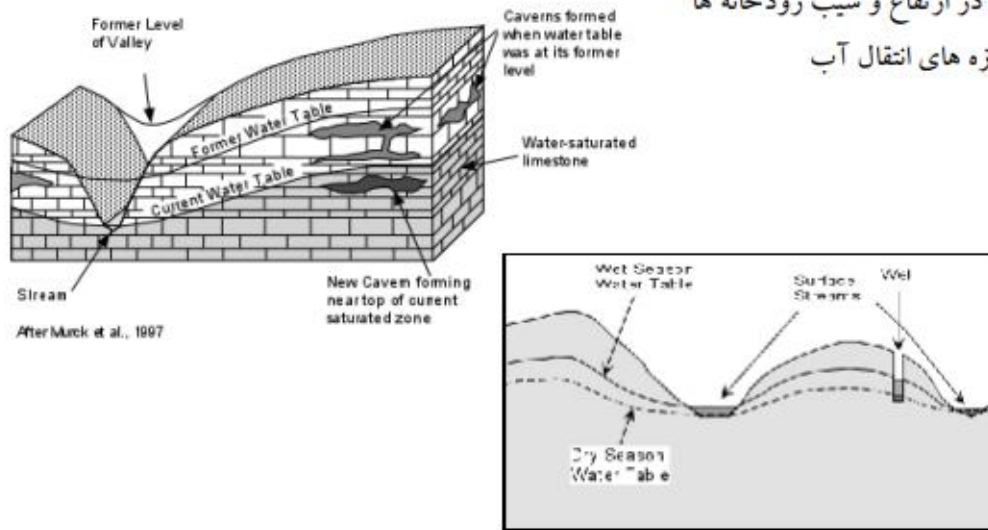
عمده رخدادهای فرونشست زمین در ایران بیشتر در اثر عواملی همچون افت سطح سیالات زیرزمینی، انحلال تشکیلات زیرسطحی و ریزش کارست به وجود می آیند . تغییر کاربری زمین، احداث و یا بارگذاری سازه های مهندسی، زهکشی خاک های آلی و نفوذ آب شور در امتداد سواحل نیز از جمله عوامل دیگری هستند که می توانند در ایجاد پدیده فرونشست موثر باشند . شرایطی همچون فرآیندهای تکتونیکی رخداده در منطقه، بارندگی، وجود عوارض توپوگرافی، نفوذ ریزش ها و یا رواناب های اسیدی، انحلال تشکیلات سطحی و وجود لایه های نامقاوم در تشکیلات رسوبی زیرین، منجر به توسعه پدیده های فرونشستی در کشور شده اند . از میان عوامل تشکیل فرونشست زمین در ایران، کارستی شدن علاوه بر ایجاد خطرات طبیعی، مشکلات پیچیده ای در عملکرد مهندسی و همچنین ارتباطات ایجاد می کند . کارست ها از جمله موارد مهمی هستند که باید در احداث سازه های مهندسی به خصوص احداث سد و تونل در این نوع تشکیلات مد نظر قرار گیرد . - - افزایش شدت در به وجود آمدن تشکیلات کارستی در نواحی مستعد مربوطه، حفرات و چاله های کارستی را در بخش هایی از سازه های احداث شده به وجود آورده است که در صورت ریزش کارست، منجر به فرونشست زمین در آن مناطق می گردد . فرونشست زمین به عنوان یکی از پیامدهای کارستی شدن ممکن است به صورت فرونشست ناگهانی و یا نشست های تدریجی بروز کند. علاوه بر خطرات ناشی از ریزش سنگ ها و تاثیر آن بر سازه های مهندسی، نشست آب از مخازن سد ها و یا تجمع آب های زیرزمینی و فشار ناشی از آنها بر دیواره داخلی تونل های زیرزمینی، از دیگر خطرات عمده ای هستند که در طراحی و عملیات اجرایی این سازه ها نمی توان نادیده گرفت . هر چند که آبخوان های کارستی از آبخوان های با کیفیت خوب محسوب می گردند، با این حال آلودگی سریع منابع آب زیرزمینی در نواحی کارستی، از جمله مشکلاتی است که پروژه های عمرانی ساخته شده در نواحی کارستی را تهدید می کند . همچنین تشدید وقوع زمینلغزش ها و سیلاب ها نیز از خطرات طبیعی . مرتبط با وجود کارست ها محسوب می شوند . مناطقی که هم اکنون در شرایط بحرانی ایجاد فروچاله ها . فرونشست قرار دارند شامل دشت کبودرآهنگ همدان ، ورامین ، نظرآباد، دشت تهران ، دشت مشهد و نیشابور ، دشت های استان کرمان، اصفهان و قزوین می شوند

### مناطق مستعد پدیده فرونشست در تهران

مدیر بخش زلزله شناسی مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، مناطق حاشیه ای جنوب، جنوب شرقی و جنوب غربی استان تهران را مستعد پدیده فرونشست دانست و گفت : منطقه 17 و 18 تهران درگیر این پدیده هستند . علی بیت اللهی اظهار داشت : در استان تهران با دو پدیده فرونشست و فروریزش روبرو هستیم که ساختارهای متفاوتی با یکدیگر دارند؛ فروریزش یا فروچاله، حفره های کوچکی هستند که پدیداری آنها ناگهانی است و طی ماه های گذشته در مناطقی مانند شهران، قیام و مولوی شاهد این پدیده بوده ایم؛ در حالی که فرونشست مقیاس ظاهری بزرگی دارد و در برخی مناطق استان تهران به ابعاد 50 در 50 کیلومتر یا در دشت شهریار به ابعاد 100 کیلومترمربع می رسد، فرونشست در مناطق شهری رخ نمی دهد و بیشتر در حاشیه شهرها به وقوع می پیوندد . در استان تهران هم، پدیده فرونشست منطقه 17 و 18 را درگیر کرده است و به سمت جنوب استان یعنی اسلامشهر، ورامین در جنوب و دشت شهریار در جنوب غرب کشیده می شود . بیت اللهی بیان کرد : پل ها، ساختمان ها و جاده های ساخته شده در زمین های نشست کرده ایمن نیستند، بعنوان نمونه بسیاری از پل های جنوب تهران دچار شکست شده و جاده های این منطقه ترک برداشته اند . وی به دیگر آثار پدیده فرونشست اشاره و تصریح کرد : لوله های انتقال نفت و گاز هم در اثر پدیده فرونشست خم می شوند؛ ضمن اینکه در این میان اراضی که دچار فرونشست می شوند، از بین رفته و خلل و فرج و حالت آبرگیری خود را از دست داده و امکان کشاورزی در آنها از میان می رود

## آسیب های ناشی از فرونشست:

۱- تغییر ناهمسان در ارتفاع و شیب رودخانه ها و آبراهه ها و سازه های انتقال آب

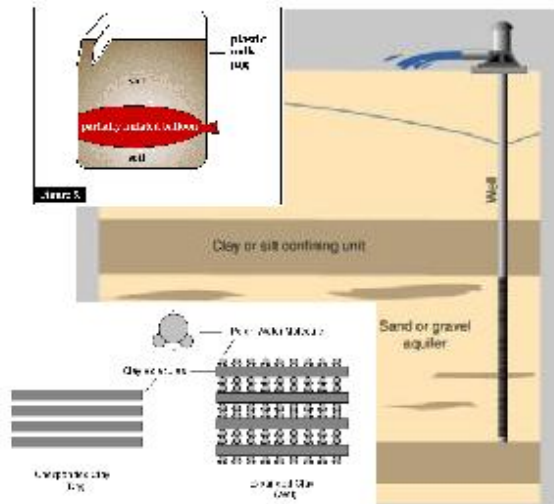


۲- شکست و یا بیرون زدگی لوله جدار چاه ها در نتیجه تنش های تراکمی ناشی از تراکم آبخوان ها. ایجاد اختلال در بهره برداری از منابع آب زیر زمینی و ماسه دهی چاهها.



۳- پیشروی امواج در مناطق پست ساحلی.





۴- کاهش برگشت ناپذیر تمام یا بخشی از مخزن آب زیر زمینی در نتیجه از بین رفتن یا کاهش تخلخل مفید نهشته ها.



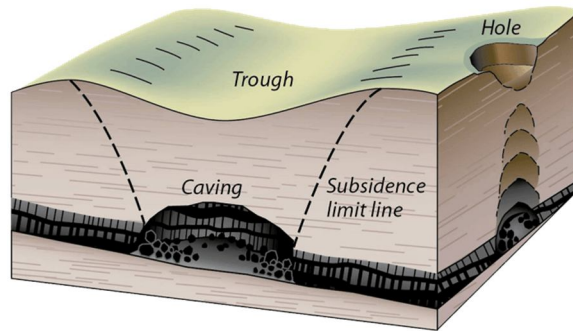
۵- کاهش بازدهی یا ایجاد تخریب در شریانهای حیاتی و سازه های مهم.



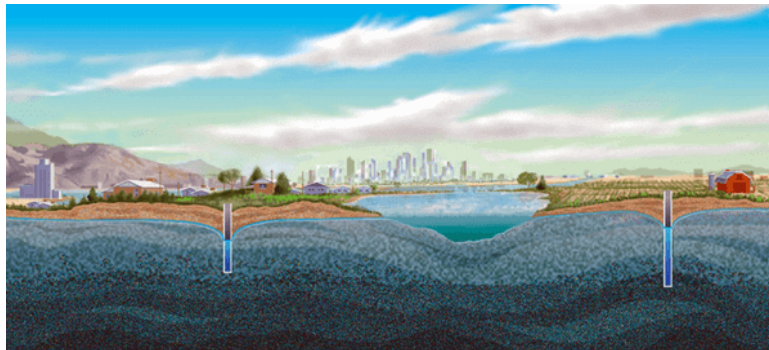
۶- کاهش میزان نفوذ پذیری سطحی و پیرو آن گسترش پهنه های بیابانی و تغییر در توپوگرافی و توسعه دشت سیلابی.

### علت های ایجاد فرونشست

عوامل متعددی باعث ایجاد این پدیده می شوند: از جمله انحلال، آب شدگی یخ ها و تراکم نهشته ها، حرکت آرام زمین و خروج گدازه و یا عملیات انسانی نظیر معدن کاری یا برداشت آب زیرزمینی و نفت. برداشت و استخراج مواد معدنی، ریزش سازه های زیرزمینی مانند تونل ها و یا ایجاد حفرات در اثر انحلال



برداشت بی رویه از منابع آب زیرزمینی، نفت و گاز



نشست زمین در اثر حفر تونل برای گسترش خطوط مترو در تهران در شهر تهران، یکی از مهم‌ترین علل نشست زمین در اثر حفر تونل برای گسترش خطوط مترو است. به طور کلی تغییر شکل و نشست خاک در اثر حفر تونل از دو دیدگاه قابل بررسی است:

- نشست آبی (در حین احداث تونل روی داده و علت آن تغییر شکل در مقطع تونل است)
- نشست بلند مدت که بسیار خطرناک می‌باشد، چرا که سال‌ها پس از حفر تونل روی داده و می‌تواند خسارات جبران‌ناپذیری به‌وجود آورد. اما برای جلوگیری از وقوع نشست ابتدا باید آن را پیش‌بینی کرد.



آسیب‌های ناشی از فرونشست



۱. تغییر ناهمسان در ارتفاع و شیب رودخانه ها و آبراهه ها و سازه های انتقال آب
  ۲. شکست و یا بیرون زدگی لوله جدار چاه ها در نتیجه تنش های تراکمی ناشی از تراکم آبخوان ها (ایجاد اختلال در بهره برداری از منابع آب زیرزمینی و ماسه دهی چاه ها)
  ۳. پیشروی امواج در مناطق پست ساحلی
  ۴. کاهش برگشت ناپذیر تمام یا بخشی از مخزن آب زیرزمینی در نتیجه از بین رفتن یا کاهش تخلخل مفید نهشته ها
  ۵. کاهش بازدهی یا ایجاد تخریب در شریان های حیاتی و سازه های مهم
  ۶. کاهش میزان نفوذپذیری سطحی و پیرو آن گسترش پهنه های بیابانی و تغییر در توپوگرافی و توسعه دشت سیلابی
- فرونشست در ایران

### Subsidence Damage

- Buildings subside unevenly
- No longer square, level, plumb
- Underground utilities destroyed
- Most homes condemned
- Owners bankrupt / no insurance

### Categories of Subsidence

- Underground Mining
- Cavern Collapse
- Ground Water / Oil Withdrawal
- Sediment Loading
- Earthquake Movement
- Magma Chamber Deflation

در بین عوامل موثر در ایجاد فرونشست، به نظر میرسد که برداشت بیش از حد مجاز از منابع آب زیرزمینی، ضخامت لایه رسوبی و ویژگی های مهندسی رسوبات، عوامل اصلی ایجاد فرونشست در بیشتر دشت های ایران هستند. مناطقی که هم اکنون در شرایط بحرانی ایجاد فروچاله ها و فرونشست ها قرار دارند شامل دشت کبودرآهنگ همدان، ورامین، نظرآباد، دشت تهران، دشت مشهد و نیشابور، دشت های استان کرمان، اصفهان و قزوین می باشند.



استان هایی که برای انجام بررسی مخاطرات ناشی از فرونشست در برنامه چهارم توسعه تعیین شده اند عبارتند از: خراسان رضوی، کرمان، تهران، اصفهان و قزوین که با توجه به اهمیت بررسی فروچاله ها در همدان این منطقه نیز در بررسی ها گنجانده خواهند شد برداشت بیش از حد مجاز را میتوان نتیجه عدم وجود مدیریت درست منابع آب در بخش برداشت و از سوی دیگر به هدر رفتن حجم عظیمی از آب در در نتیجه نادرست بودن شیوه های کشاورزی و مصارف صنعتی و شهری یا بطور خلاصه مصرف نامتناسب دانست دکتر علی بیت اللهی، مدیر بخش زلزله و خطر پذیری مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی در گفت و گو با خبرنگار ایسنا، اظهار کرد: در کشور علاوه بر مخاطرات لرزه‌ای، مخاطره بزرگ دیگری با عنوان

«فرونشست زمین» به صورت خزنده از حدود ۳۰ تا ۴۰ سال قبل در حال شدت گرفتن است که همه دشت‌ها و مناطق شهری از جمله تهران را تحت تاثیر قرار داده است وی با بیان اینکه در فرونشست، سطح زمین بر اثر افت آب زیر زمینی پایین می‌رود و المان‌هایی که بر روی سطح زمین قرار دارند را به سمت پایین فرو می‌برد، افزود: روند گسترش فرونشست در کشور به گونه‌ای است که در بخش‌هایی مانند جنوب غربی تهران سالانه حدود ۳۵ سانتی‌متر است که این عدد، یک رکورد جهانی به شمار می‌رود. به این معنی که بر اساس برآورد‌های انجام شده در ۲ سال گذشته در این منطقه سطح زمین سالانه ۳٫۵ سانتی‌متر کاهش می‌یابد که بعد از ۱۰ سال ۳٫۵ متر کاهش سطح زمین را خواهیم داشت بیت‌اللهی با تاکید بر اینکه در چنین شرایطی در زیر زمین لوله‌های گاز، فاضلاب، آب و بر روی سطح زمین المان‌های شهری چون سازه‌های مسکونی و اداری و جاده و ریل وجود دارد که تحت تاثیر این خمش‌ها، آسیب‌پذیر و گسیخته می‌شوند و از بین می‌روند، ادامه داد: این پدیده علاوه بر آنکه زیر ساخت‌های شهری را نابود می‌کند، دشت‌ها را نیز از بین می‌برد؛ چرا که آب‌های زیر زمینی که میان ماسه‌ها و لایه‌های خاک قرار دارد، این آب از دل زمین به بیرون کشیده و مصرف می‌شود.

### زلزله خاموش و سرطان پوسته زمین

نشست یا فرونشستن زمین پدیده‌ای است که در اثر خالی شدن آب بافت‌های متراکم و لایه‌های زیرین سطح زمین رخ می‌دهد و در اثر آن سطح زمین به صورت تدریجی و در برخی موارد به صورت ناگهانی فرو می‌نشیند. به اعتقاد کارشناسان این نشست باعث ایجاد ترک و شکاف‌هایی در زمین شده و باعث تاثیر روی الگوی جریان‌های زیرزمینی و سطحی، تغییر کیفیت آب‌های زیرزمینی، تغییر شکل سطح زمین، سیل‌خیزی مناطق و ... می‌شود. آنان بر این باورند که پدیده فرونشست که هم‌اکنون در ۲۰۰ دشت کشور مشهود است خطرش بیش از زلزله است زیرا وقتی در شهری زمین لرزه رخ دهد بعد از چند سال بالاخره بازسازی می‌شود اما شهری که در اثر فرونشست از بین برود و آبخوانش تخلیه شود دیگر با هیچ انرژی و سرمایه‌گذاری بازسازی نمی‌شود مهندس «محمد مجتبابی» کارشناس و پژوهشگر در حوضه آب نیز به خراسان می‌گوید: حفر بی‌رویه غیراصولی و غیرکارشناسی چاه‌های آب و پمپاژهای گسترده منابع آب زیرزمینی در دهه‌های اخیر در کشور ما که در منطقه نیمه خشک و خشک قرار دارد صدمات و خسارات فراوانی را بر مخازن و منابع آب‌های زیرزمینی به عنوان منبع اصلی آب کشور وارد کرده است به گفته وی افت آب‌های زیرزمینی علاوه بر خشک شدن قنات‌ها، کاریزها و چشمه‌ها، حرکت لایه‌های آب شور به سمت منابع شیرین و تغییر کیفیت آب به شوری و تلخی را سبب شده ولی در عین حال افت آب در سفره‌های زیرزمینی دارای خطر نشست زمین به علت خالی شدن لایه‌ها و خلل‌هاست که این نشست‌ها علاوه بر تخریب برگشت‌ناپذیر منابع زیرزمینی، امکان بروز حوادث و فجایع در صورت واقع شدن در زیرسازه‌های حیاتی انرژی مثل پالایشگاه‌ها، نیروگاه‌ها، خطوط انتقال انرژی مثل گاز و برق، تأسیسات حمل و نقل مانند خطوط راه آهن، فرودگاه‌ها، پل‌ها و جاده‌ها و صنایع و کارخانجات را به دنبال خواهد داشت.

### فرونشست زمین؛ پدیده‌ای انسان‌ساخت

نصرت‌الله کمالیان، عضو کمیسیون عمران مجلس و متخصص زمین و زلزله در این باره می‌گوید: یکی از موارد مهم در دلایل فرونشست که از مشکلات ساخته دست انسان است برداشت بی‌رویه آب از سفره‌های زیرزمینی و خالی شدن لایه‌های تحتانی است. وقتی حجم آب کاهش می‌یابد منافذی در بین لایه‌های خاک ایجاد می‌شود که به دلیل سنگینی لایه‌های بالایی آرام آرام این منافذ پر می‌شود و به مرور که این یک دهم سانتی‌متر جابه‌جایی در لایه‌ها به سطح زمین می‌رسد در مجموع از عمق ۲۰۰ متری تا سطح زمین می‌تواند جابه‌جایی یا نشست ۵۰ سانتی‌متری اتفاق بیفتد. نماینده مردم «قوچان و فاروج» می‌افزاید: افزایش پدیده فرونشست در کشورمان نگران‌کننده است و با توجه به خطرهای تبعات آن باید با جدیت به مهار و کنترل آن پردازیم او با اشاره به تبعات پدیده فرونشست زمین می‌گوید: اگر پدیده فرونشست به صورت نامتقارن باشد و حتی در فاصله ۲۰ متری از یک سازه هم باشد باعث کج شدن ساختمان‌ها می‌شود و ممکن است با ادامه یافتن باعث تخریب سازه‌ها بشود وی می‌افزاید: علاوه بر آن پدیده فرونشست ذخیره سازی آب در سفره‌های زیرزمینی را هم دچار اختلال می‌کند، به دنبال کم شدن حجم مخزن و شکست لایه‌های خاک و پر شدن منافذ رسوب آب به لایه‌های پایینی با مشکل مواجه می‌شود و دیگر آب برای ذخیره به مخزن‌های زیرزمینی نمی‌رسد که خطر این پدیده به مراتب بالاتر از خطر تخریب سازه‌هاست چرا که برای یک عمر سفره‌های زیرزمینی را از دست می‌دهیم.



«کمالیان» با تأکید بر به حداقل رساندن عوامل وقوع فرونشست زمین می گوید: گاهی اوقات این فرونشست ها راه نفوذ آب های زیرزمینی را می بندد و قنات ها را خشک می کند و در نتیجه کشاورزی تعطیل و روستاها خالی از جمعیت می شود. فرونشست در ایران بحرانی تر از دیگر کشورهای جهان است شدت فرونشست در برخی دشت های ایران از جمله تهران دست کم ۹۰ برابر بیشتر از بحرانی ترین شرایط در کشورهای توسعه یافته جهان است. محمد جواد بلورچی، مدیر امور زمین شناسی، مهندسی، مخاطرات و زیست محیطی سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور به خراسان می گوید: نرخ فرونشست در دنیا ۴ میلی متر در سال است و در کشورهای پیشرفته این نرخ بحرانی قلمداد می شود با این حال در سال ۸۵ نرخ فرونشست در دشت تهران ۱۷ سانتی متر بوده که در سال جاری به ۳۶ سانتی متر در سال افزایش پیدا کرده است. به گفته وی تحقیقات و بررسی های سازمان زمین شناسی کشور نشان می دهد که به علت خشکسالی های پیاپی و تغییرات اقلیمی طی سال های اخیر نرخ فرونشست زمین در کشور افزایش یافته است ولی رقم دقیق و مستندی برای کشور نمی توان ارائه کرد چرا که هر دشت در نرخ فرونشست، عدد خاص خودش را دارد. وی رقم ۹۰ برابر نرخ فرونشست بحرانی ترین نقاط دنیا در ایران را به استناد تقسیم نرخ فرونشست سالانه ۳۶ سانتی متر در تهران صحیح می داند و می افزاید: شواهد حکایت از افزایش متوسط میزان فرونشست در کشور دارد و تصریح می کند: روند فرونشست رو به بهبودی ندارد!

این مسئول با اشاره به این که بیش از ۶ میلیارد متر مکعب اضافه برداشت از ذخایر زیرزمینی داریم، می افزاید: از حدود ۳۰۰ دشت کشور بیش از ۲۳۰ دشت حالت بحرانی دارد و گسترش پدیده فرونشست در این دشت ها ضرورت بازنگری و تغییر در استراتژی مدیریت منابع آب در راستای توسعه پایدار کشور را صدچندان می کند محمد درویش، مدرس دانشگاه و فعال زیست محیطی کشور نیز به خراسان می گوید: ظرفیت آب در کشور ما سالانه بین ۱۳۰ تا ۱۴۰ میلیارد متر مکعب است و باید چیدمان توسعه بر اساس این رقم صورت گیرد. ۸۷٫۹ درصد از سرزمین ما در اقلیم خشک واقع است و در برنامه ریزی ها باید تغییر میانگین بارش ها در سال تا ۶۰ درصد محاسبه و بر همین اساس برای مصرف آب برنامه ریزی شود. وقتی توسعه را بر اساس کشاورزی طراحی می کنیم و نیاز به آب بیشتر داریم و خشکسالی ها هم سبب فشار مضاعف بر سفره های زیرزمینی می شود در نتیجه شاهد فرونشست زمین هستیم.

#### فرونشست زمین در خراسان رضوی

فرونشست زمین در خراسان رضوی به مرحله بحران رسیده است. اخبار بسیاری تا کنون درباره فرونشست در این استان شنیده ایم. همین چند ماه پیش بود که فرونشست در خط راه آهن تهران-مشهد خبرساز شد. آستان قدس رضوی به عنوان ثروتمندترین نهاد خراسان رضوی، دارای بیشترین اراضی کشاورزی در این استان است. از آنجایی که مهم ترین عوامل فرونشست در دشت مشهد، برداشت های بی رویه آب زیرزمینی برای کشاورزی است، می توان گفت آستان قدس نقش اساسی در مساله فرونشست زمین در خراسان رضوی دارد. تاکنون آستان قدس نسبت به فرونشست در این استان بی توجه بوده است اما با توجه به اختیارات این نهاد به نظر می رسد اگر آستان قدس رضوی اراده ای برای حل بحران فرونشست داشته باشد، می توان به حل این مشکل امیدوار بود.

#### بحران فرونشست در دشت مشهد

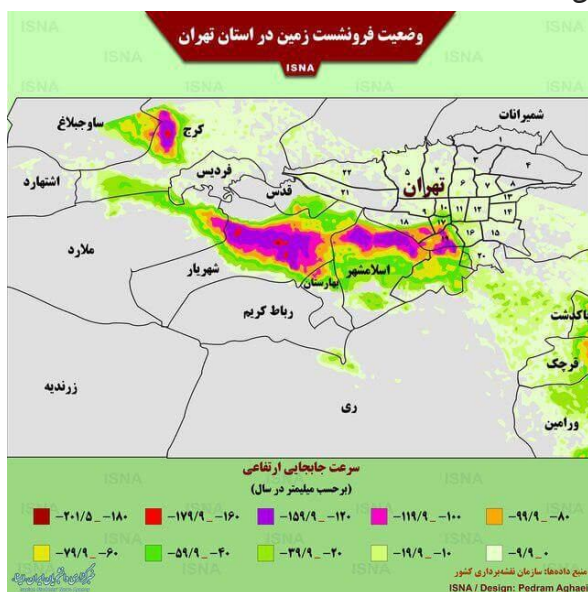
فرونشست، یکی از مشکلاتی است که در چند سال اخیر به لیست مشکلات کشور اضافه شده است. بسیاری از دشت های کشور با این معضل دست و پنجه نرم می کنند و به تازگی مخاطرات آن را از نزدیک لمس کرده اند. دشت مشهد جزو مناطقی از کشور است که فرونشست زمین در آن به مرحله بحرانی رسیده است و بسیاری از پروژه های عمرانی آن را با مشکل مواجه کرده است. فرونشست در خط راه آهن تهران-مشهد، یکی از نمونه های بارز مخاطرات فرونشست در این استان است. براساس تحقیقات صورت گرفته توسط کارشناس ارشد ژئومورفولوژی در برنامه ریزی محیطی در دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد، مهم ترین عوامل فرونشست در دشت مشهد، برداشت های بی رویه و بیش از حد مجاز آب زیرزمینی و ممانعت از نفوذ آب برگشتی شرب، صنعت و کشاورزی به دشت بوده است.

#### خطر فرونشست زمین در سه منطقه تهران

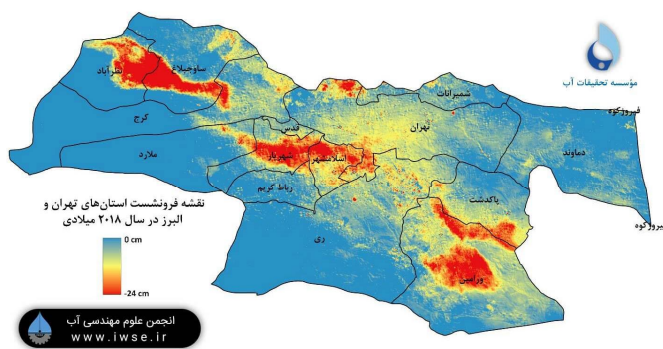
بر اساس مطالعات محققان مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی تهدید «زمین سست» و فروریزش، سه منطقه شهر تهران شامل مناطق ۱۲، ۱۷ و ۱۸ را به عنوان مناطق دارای ریسک بالا و کانون خطر در سریال فروریزش های زمین در پایتخت

تبدیل کرده است؛ و بر اساس برآورد های صورت گرفته، احتمال وقوع فروریزش های بعدی در صورت عدم چاره اندیشی موثر از سوی نهادهای متولی در شهر تهران در سطح بالایی وجود دارد از سال گذشته حداقل ۵ فروریزش عمده در مناطق مختلف شهر تهران در خیابان های “شهران”، “پیامبر”، “میدان قیام”، “مولوی” و در سه راهی خیابان “خیام” به ثبت رسیده است و با توجه به رشته قنات هایی که از شمال تهران به سمت ری کشیده شده است و عدم رویکرد مهندسی در ساختمان سازی می توان انتظار فروریزش های دیگری در پایتخت باشیم در کشور علاوه بر فروریزش، با پدیده فرونشست مواجه هستیم که به دلیل برداشت بی رویه آب های زیر زمینی رخ می دهد و به گفته دکتر علی بیت اللهی مدیر بخش زلزله و خطرپذیری مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، پدیده فرونشست زمین یک پدیده غیر قابل بازگشت است؛ از این رو باید به روش های مدیریت آب در کشور توجه شود.

وضعیت فرونشست در استان تهران



نقشه فرونشست دشت های استان های تهران و البرز در سال ۲۰۱۸ میلادی



به گزارش روابط عمومی موسسه تحقیقات آب، گزارشی تحت عنوان “پایش نرخ و دامنه فرونشست دشت های کشور بصورت بروز و آنلاین با استفاده از تصاویر ماهواره ای (مطالعه موردی دشت های استان های تهران و البرز)” توسط پژوهشکده مطالعات و تحقیقات منابع آب تهیه و منتشر شده است همانطور که در این گزارش آمده است: فرونشست زمین از جمله مخاطرات و تهدیداتی است که منابع مختلف طبیعی و انسانی را با خطرات جدی مواجه نموده است. پدیده فرونشست که از آن به عنوان “مرگ پنهان خاک” یاد می شود، پدیده ای خزنده و کند بوده که در درازمدت منجر به از بین رفتن سکونت گاه های بشری و زیرساخت های آنها می شود. این پدیده با ایجاد تغییر در وضعیت مورفولوژیکی مناطق، می تواند سبب بروز تغییرات چشمگیری در خصوصیات هیدرولوژیکی آنها شود با توجه به برداشت بیش از حد از منابع آب زیرزمینی بسیاری از دشت های کشور، پدیده فرونشست تبدیل به بحرانی جدی برای کشور شده است. در همین راستا موضوع پایش فرونشست با استفاده از

تکنیک‌های سنجش از دوری در دستور کار پژوهشکده مطالعات و تحقیقات منابع آب قرار گرفت. شایان ذکر است الگوریتم‌های موردنیاز برای این موضوع، توسعه یافته و امکان پایش فرونشست در کل کشور با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای (راداری) تصاویر ماهواره Sentinel-1 با قدرت تفکیک زمانی ۱۲ روزه و قدرت تفکیک مکانی ۱۰ متر (به صورت آنلاین و بروز وجود دارد در فاز اول این مطالعه، وضعیت فرونشست دشت‌های استان‌های تهران و البرز مورد پایش و ارزیابی قرار گرفته و مقادیر فرونشست این دشت‌ها از سال ۲۰۱۶ تاکنون تعیین شده است. ضمناً موضوع ارائه وضعیت بروز فرونشست دشت‌های کشور در قالب "سامانه ملی پایش فرونشست کشور" در حال پیگیری می‌باشد.

۳۰۰ دشت کشور؛ مستعد پدیده فرونشست

محمدجواد بلورچی، زمین‌شناس و سخنگوی سابق سازمان زمین‌شناسی، در مورد اینکه آیا می‌توان گفت فرونشست در تهران کاهش یافته است، به خبرنگار ایرناپلاس می‌گوید: قطعاً اگر داده‌های برداشت شده تصاویر ماهواره‌ای وجود داشته یا GPS های برخطی در دشت تهران قرار داشت و ما می‌توانستیم داده‌های آن‌ها را با یکدیگر مقایسه کنیم، کاملاً می‌توانستیم از کاهش یا افزایش نرخ فرونشست زمین در این منطقه مطمئن شویم. متأسفانه دو سال است که داده‌های ماهواره‌ای جدی نداریم، مگر اینکه سازمان نقشه برداری کشور با شبکه GPS که در دشت تهران دارد، توانسته باشد به اعداد و ارقامی که نشان دهنده کاهش نرخ فرونشست است، دست پیدا کند. در غیر اینصورت، در حال حاضر ابزار ماهواره‌ای برای سنجش این ادعا در اختیار نداریم. چون اطلاعات ماهواره‌هایی با چنین قابلیت‌هایی بسیار گران قیمت است و در اختیار کشور ژاپن و آمریکا است که ما خیلی امکان خرید آن‌ها را نداریم. به گفته او، برای اینکه بگوییم نرخ پدیده فرونشست کاهش یافته است، نخست باید شناخت درستی از این پدیده داشته باشیم. این پدیده به صورتی است که شما ۳۰ سال از منابع آب زیرزمینی برداشت غیرمجاز کرده‌اید و سپس آرام آرام عارضه ایجاد می‌شود و اگر آن را مدیریت کنید نرخ فرونشست اندک اندک کاهش می‌یابد. یعنی اگر روزی به آن نقطه در کشور برسیم که استفاده از منابع آب زیرزمینی کاهش چشمگیر پیدا کند، من قاطعانه می‌گویم که بعد از ۵ تا ۱۰ سال بعد، فرونشست به تدریج کاهش پیدا خواهد کرد.

نرخ فرونشست در کشور ما در حال حاضر چقدر است؟ آیا ما در زمینه فرونشست در جهان رکورد داریم؟ بلورچی: مطالعات در سال ۸۸، ۹۰ و ۹۲ نشان داده که ما در حال حاضر حداکثر با نرخ روزی ۱ میلی‌متر فرونشست در دشت تهران روبه‌رو هستیم. دو نکته در اینجا وجود دارد: نخست آن که این پدیده در همه منطقه به یک میزان نیست و دیگر اینکه حساب دشت تهران با شهر تهران جداست. چون شهر تهران روی بستری درشت گونه بنا شده و پتانسیل فرونشست ندارد. اسلامشهر، دودانگه، رباط کریم و شهریار در منطقه جنوب شهرهایی هستند که روی دشت تهران قرار گرفته‌اند. من باور دارم در میزان برداشت از آب‌های زیرزمینی کشور هنوز کاهشی شکل نگرفته است. این در حالی است که ما در سال ۸۴ فریاد زدیم و هشدار دادیم که پدیده فرونشست مثل زلزله نیست که شما آثارش را ببینید و بعد شروع به مدیریت آن کنید، بلکه وقتی آثار آن را ببینید، پدیده تمام شده است و امروز، روزی است که حتی یک روز اضافه برداشت کردن از آبخوان‌های کشور، فاجعه بسیار بزرگی برای فرزندانمان رقم خواهد زد. امروز دشت‌هایی که شکاف برداشته یا در آن فروچاله اتفاق افتاده، ثمره برداشت بی‌حاصلی است که در ۱۰ تا ۲۰ سال گذشته به دشت‌ها تحمیل کردیم و هیچ نتیجه اقتصادی جدی نیز در کشور شکل نداده است. ۹۰ درصد ظرفیت آبی کشور در کشاورزی مصرف می‌شود، اما تنها ۱۷ درصد اشتغال کشور را تأمین می‌کند. از سوی دیگر، تنها دو درصد آب در بخش صنعت مصرف می‌شود در حالی که ۵۰ درصد اشتغال کشور در بخش صنعت اتفاق می‌افتد. این نگران‌کننده است و نیاز به تغییر رویکرد دارد. باید مصرف آب در کشور به‌طور کامل بهینه‌سازی و مدیریت شود و آب اضافه ناشی از محل این صرفه‌جویی، در توسعه صنایع صنعتی و پایین‌دستی و ایجاد اشتغال صرف شود. به اعتقاد من امروز دیگر آن روز گذشته است که ما بتوانیم به فکر احیای آبخوان‌ها و قنات‌هایمان باشیم، چون سفره‌های آب‌های زیرزمینی دشت‌های کشور را نابود کرده‌ایم و فرونشست زمین خلل و فرجی را که آبخوان تشکیل داده، از بین برده است. پس آبخوان‌های ما از دست رفته است. این نگرانی بزرگ ما بود که از سال‌ها قبل فریاد می‌زدیم. اگر همین امروز برداشتمان را از آبخوان دشت‌های کشور کاهش ندهیم، برآورد من این است که زمان زیادی برای انتهای این آب‌ها نداریم و آن وقت باید دست‌یاری به سوی کسانی دراز کنیم که می‌توانند برای آب، امنیت ملی ما را خدشه‌دار کنند. به یاد داشته باشیم منابع آب، استراتژیک‌ترین منبع هر کشور است.

ما نمی‌دانیم چقدر آب زیرزمینی داریم و برای همین نمی‌توانیم آن را مدیریت کنیم. آب سطحی ما کاملاً وابسته به تغییرات اقلیمی است. یک سال ممکن است ببارد و یک سال نبارد، اما آب قابل مدیریت ما آب زیرزمینی ماست که من به قطعیت می‌گویم نمی‌دانیم چقدر آب زیرزمینی داریم و این نگرانی ماست.

۳۰۰ دشت کشور تحت تاثیر فرونشست قرار دارند



رئیس سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور گفت: جنوب تهران به شدت با پدیده فرونشست روبه‌روست. در واقع در این شهر سالی ۳۵ سانتی‌متر فرونشست داریم. به گزارش ایسنا - علیرضا شهیدی شامگاه دیروز در مراسم افتتاحیه نخستین پارک موزه علوم زمین کشور در مشهد، اظهار کرد: این پارک موزه با تلاش ۱۰ ساله افتتاح شده و همواره برای ساخت آن معضلات و مشکلاتی وجود داشت. وی گفت: خوشبختانه با توجه با هدف والایی که دست اندرکاران ساخت این پروژه داشتند با وجود تمامی سختی‌ها توانستند بحث‌های مالی و اجرایی را به پایان برسانند. این پارک موزه در خاورمیانه بی‌نظیر است و گنجینه بسیار گران‌بهایی برای زمین‌شناسان محسوب می‌شود. در واقع چنین پارک موزه‌هایی می‌توانند اندکی از ویژگی‌های زمین‌شناسی ایران را به نمایش بگذارند. وی افزود: سازمان زمین‌شناسی دارای دو معاونت گوناگون است که یکی از آن‌ها معاونت زمین‌شناسی بوده و دارای ۱۱۰ پروژه اکتشافی در حوزه‌های گوناگون مخاطرات، زمین‌شناسی زیست‌محیطی و ... است. وظیفه سازمان از ابتدای کار، تولید اطلاعات پایه در قالب زمین‌شناسی بوده است. خوشبختانه در حال حاضر نقشه‌های زمین‌شناسی با پوشش ۵۰ هزار به پایان رسیده و حدود ۱۰ سال است که جزو معدود کشورهای جهان قرار گرفته‌ایم که تهیه نقشه با مقیاس ۲۵ هزار را آغاز کرده‌ایم. این نقشه‌ها در ۶ لایه تهیه می‌شوند که شامل زمین‌شناسی اقتصادی، زیست‌محیطی، مخاطرات، آب زمین‌شناسی و زمین‌شناسی مهندسی می‌شود. شهیدی تشریح کرد: سازمان زمین‌شناسی دو وظیفه حاکمیتی بسیار مهم دارد؛ یکی بحث تولید ثروت از طریق اکتشاف مواد معدنی و دیگری بحث صیانت از ثروت کشور که به واسطه مخاطرات زمین‌شناسی از کشور محافظت می‌کنیم. حدود ۵ درصد از تولید ناخالص داخلی کشور مربوط به حوزه اکتشافات مواد معدنی است. اگر از این میزان صیانت کنیم و مخاطرات زمین‌شناختی کشور را به دقت رصد کنیم، می‌توان از هزینه‌ای که بابت این مخاطرات به کشور تحمیل می‌شود جلوگیری کرد. شهیدی با بیان اینکه «متأسفانه حدود ۳۰۰ دشت کشور، تحت تاثیر فرونشست قرار دارند» گفت: فرونشست کشور از عده‌های گوناگونی تشکیل شده است. در اتحادیه اروپا، چهار میلی‌متر فرونشست را مخاطره و بحران به حساب می‌آورند، در حالی که در برخی از دشت‌های ایران این فرونشست تا ۳۵ سانتی‌متر می‌رسد. باید توجه داشت فرونشست‌ها بحثی بسیار جدی است و از آن به‌عنوان زلزله خاموش یاد می‌شود. برای نمونه جنوب شهر تهران به شدت با این پدیده روبه‌روست و این شهر سالی ۳۵ سانتی‌متر فرونشست دارد.

رئیس سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور ادامه داد: پدیده دیگری که کشور را تحت تأثیر خود قرار می‌دهد، پدیده گرد و غبار است. وظیفه ما تعیین منبع گرد و غبار در کشور است. در گذشته گفته می‌شد که گرد و غبارها منشأ خارجی دارد، اما با پایش کشور به این نتیجه رسیدیم که مناطقی با وسعت ۳۵ هزار کیلومتر مربع وجود دارد که می‌توانند منشأ گرد و غبار در کشور باشند. ما در سال جاری در خوزستان کار کردیم و از سال آینده در سیستان و بلوچستان فعالیت خواهیم کرد. شهیدی تشریح کرد: معاونت اکتشاف، معاونت دیگر سازمان زمین‌شناسی است. این معاونت دارای ۶۵ پروژه است که در بحث‌های گوناگون فعالیت می‌کند. در سال جاری قرارداد حفاری ۱۷ هزار متری اکتشاف داریم که در بخش‌های گوناگون کشور در حال انجام است. همچنین حدود ۲۵۰۰ کیلومتر آزادسازی پهنه‌های اکتشافی را در سال جاری داشتیم.

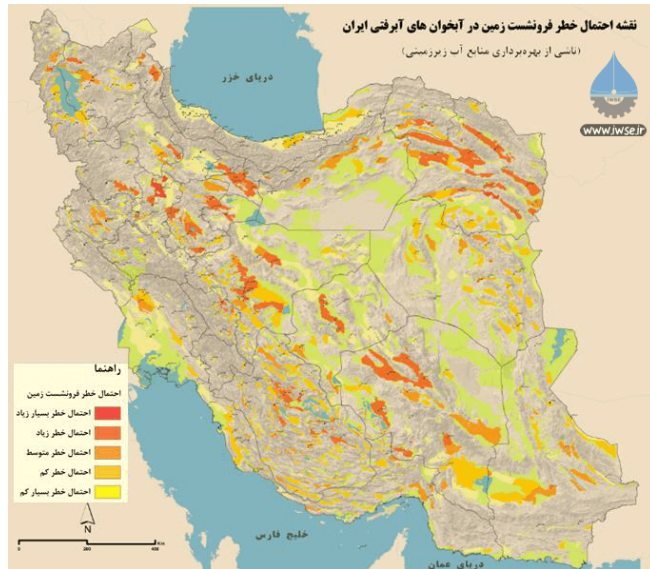


## فرونشست زمین در استان سمنان

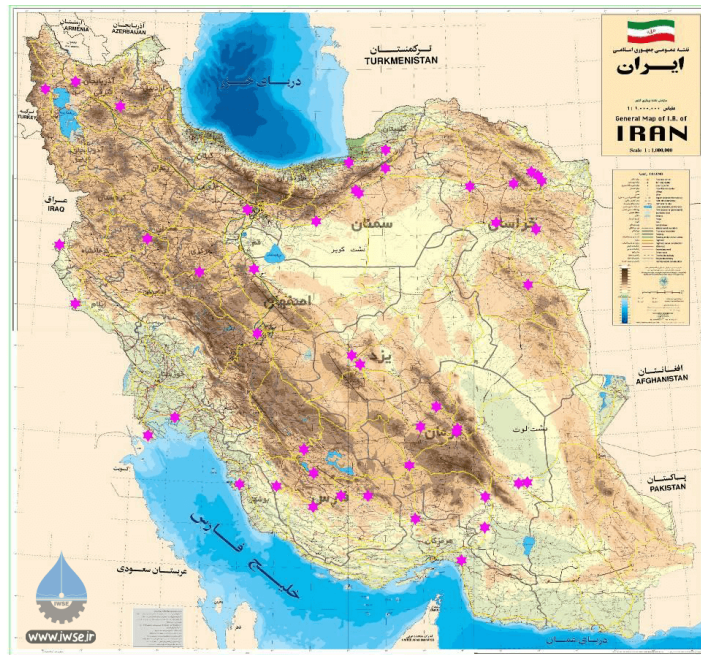


تصویری از فرونشست زمین در استان سمنان؛ این استان اقلیم نیمه بیابانی دارد و بدلیل برداشت بی رویه آب از منابع زیرزمینی دچار فرونشست زمین شده است. سازمان نقشه برداری کشور متولی اعلام نرخ فرونشست زمین است که با استفاده از داده های ثقل سنجی، داده های GPS و ترازبایی دقیق و تصاویر ماهواره ای میزان فرونشست را تعیین می کند. گزارش مصور فرونشست و فروریزش زمین

گزارش مصور از فرونشست و فروریزش زمین در ایران با تاکید بر گستره تهران - دکتر علی بیت اللهی  
سابقه فرونشست زمین در ایران به بیش از ۴۰ سال می رسد. فرونشست در اکثر دشت ها و آبخوان های ایران رخ داده و گزارش شده است. هر دشتی که افت سطح آب زیرزمینی دارد (همه دشت های ایران) مسلماً فرونشست زمین نیز در آنجا در حال رخداد است. نرخ فرونشست در بسیاری از مناطق مستعد در حال گسترش است. فرونشست در ایران به دلیل برداشت بی رویه آب های زیرزمینی بوده و نتیجه آن کمبود آب و تبدیل بسیاری از دشت ها به کانون های گرد و غبار است. برداشت بی رویه از منابع آب زیرزمینی کشور موجب گردیده که میزان افت سالیانه سطح آب سفره های زیرزمینی در اغلب دشت های کشور به حد بحرانی برسد. از ۶۰۹ دشت کشور، تا سال ۱۳۹۴ تعداد ۳۰۹ دشت از نظر توسعه برداشت آب زیرزمینی ممنوعه اعلام شده است، ۳۰۰ دشت دیگر کشور نیز فاقد منابع آب زیرزمینی شیرین قابل توجه و یا دارای آبهای شور و فاقد کیفیت مناسب است. به عنوان مثال میزان فرونشست در دشت رفسنجان، زرنده، مشهد و قزوین به میزان ۳۰، ۲۵، ۲۵ و ۲۴ سانتیمتر بر سال است. نرخ فرونشست زمین در محدوده دشت تهران - شهریار حدود ۱۷ سانتیمتر بر سال بوده که برداشت های جدید این میزان را در سال های ۱۳۸۸ و ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵ به ترتیب حدود ۲۴ و ۳۶ سانتیمتر بر سال نشان میدهد. منطقه جنوب و جنوب غربی تهران یکی از مناطق بسیار مهم است که فرونشست در آن گزارش شده است. نقشه های فرونشست در کشور  
نقشه های نشان داده شده در شکل های زیر توسط سازمان های نقشه برداری و زمین شناسی تهیه گردیده است. باید ذکر نمود که در حال حاضر مقدار و گستردگی فرونشست زمین در پهنه ایران بیشتر و گسترده تر شده است.

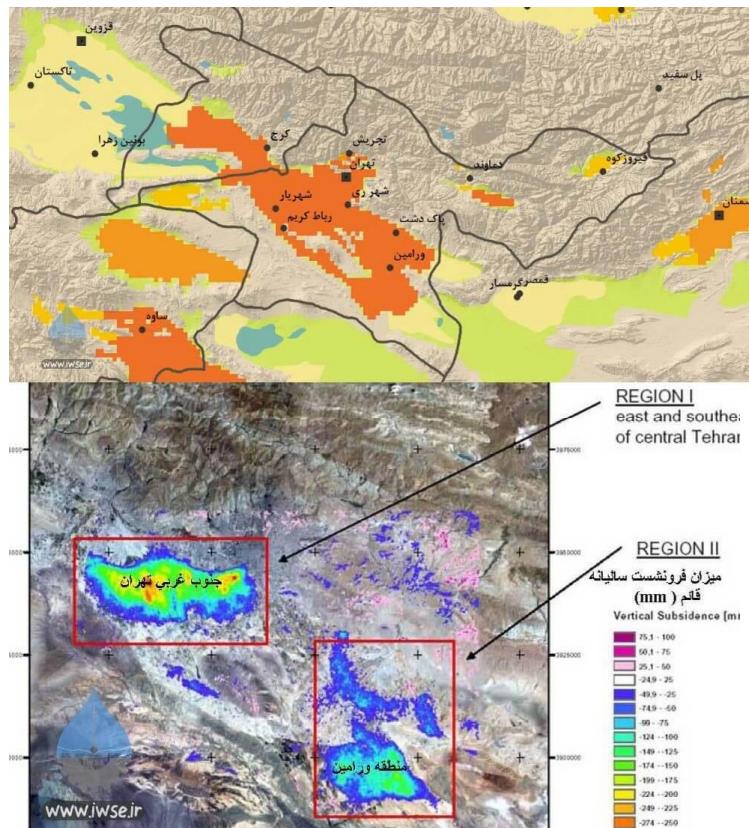


نقشه احتمال خطر فرونشست زمین در آبخوان های آبرفتی ایران



نقشه توزیع فرونشست در کشور (سازمان نقشه برداری)

نقشه های فرونشست در استان تهران



نقشه فرونشست در استان تهران

#### اثرات فرونشست

اثرات فرونشست بسیار گسترده، متنوع و در عین حال پرهزینه است و تقریباً همه المان ها را تحت تاثیر قرار می دهد که عبارتند از:

- کشاورزی و مرگ دشت ها
- مناطق شهری و جمعیت ساکن در آن
- سیستم حمل و نقل نظیر؛ جاده ها، خطوط راه آهن و فرودگاه ها
- شریانها و تسهیلات حیاتی مهم نظیر خطوط برق، نفت، مخابرات و آب
- محیط زیست نظیر؛ زمین های کشاورزی، پارک های ملی، گونه های گیاهی و جانوری نایاب
- تاسیسات مهم نظیر پالایشگاه ها، نیروگاه ها و بندار
- آثار فرهنگی و باستانی مهم

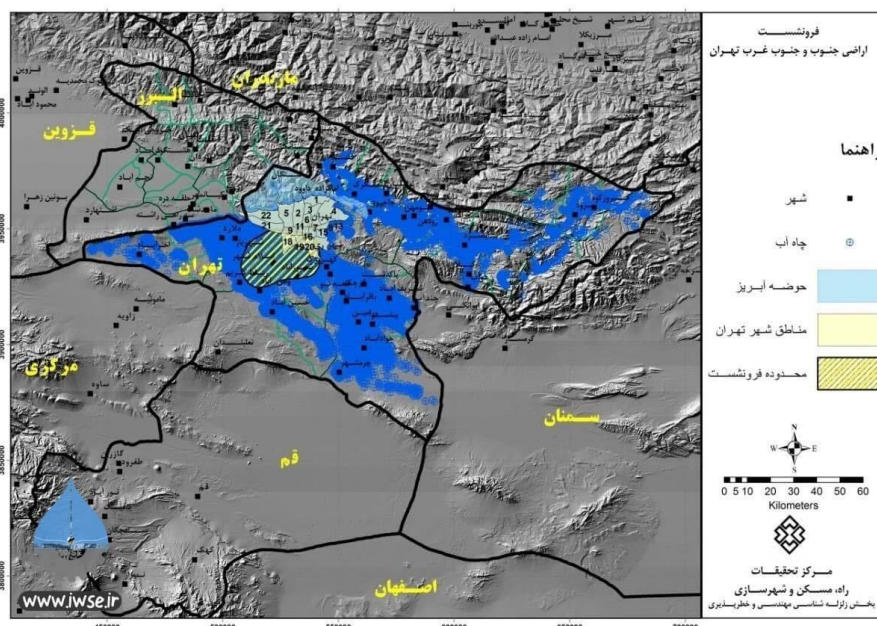
#### اثرات فرونشست در گستره تهران

بر مبنای مطالعات صورت گرفته دشت های جنوب غربی و جنوبی تهران متحمل فرونشست قابل ملاحظه ای بویژه در سال های اخیر شده و می شوند. بیشینه فرونشست در دشت شهریار، جنوب غرب تهران و دشت ورامین نیز گزارش شده است. در شکل زمین مبنا شده ۲ فرونشست با رنگ قرمز بر روی نقشه موقعیت ناحیه انداخته شده و نشان داده شده است. در نمایی نزدیکتر همین موقعیت برای جنوب غرب و جنوب تهران نشان داده شده است.

بر اساس همین مطالعات (سازمان زمین شناسی) محدوده در برگیرنده فرونشست که موقعیت شهری تهران و برخی از مراکز جمعیتی اطراف آن در جنوب و جنوب غربی (نظیر اسلام شهر) را مورد تهدید قرار داده تفکیک و نشان داده شده است. مراکز جمعیتی نظیر کهریزک، شورآباد، سلطان آباد و اسلام شهر از مراکز جمعیتی عمده در زون فرونشست جنوب و جنوب غرب تهران می باشند.

چاه های آب استان تهران





### چاه های آب استان تهران

بر اساس آمار رسمی تا سال ۱۳۹۱ حدود ۵۰ هزار حلقه چاه در استان تهران وجود دارد که از فیروزکوه در غرب استان تا اخترآباد در شرق و از چرمشهر تا فشم توزیع شده اند. در شکل بالا توزیع چاه های موجود نشان داده شده است که در برخی مناطق تراکم آنها بسیار زیاد است.

علاوه بر این تعداد از چاه های موجود، چاه های غیر مجازی نیز وجود دارند که بدون پروانه حفر شده اند. تعداد دقیق آنها معلوم نمی باشد ولی با درصد عمده ای از چاه های مجاز را برابری می کند که بدلیل عدم وجود کنترل بدون رعایت دبی مجاز و کارشناسی شده، اقدام به استخراج آب زیرزمینی می کنند که بدلیل سرعت پمپ در برخی موارد موجب ماسه دهی چاه ها و تشکیل حفرات ریز و درشت در آبرفت می گردند که مهاجرت این حفرات به سطح زمین موجبات تشکیل فروچال را فراهم می سازد.

### افت سطح آب

در بخش شمال غربی سطح ایستایی روند کاهشی دارد و به طور متوسط حدود ۲۰ متر افت نشان می دهد. بیشینه افت در حوالی یافت آباد به میزان حدود ۴۲ متر مشاهده می شود. به دلیل ویژگی آبرفت های ریز دانه، تغییری هر چند ناچیز در میزان تغذیه یا تخلیه سفره، تفاوتی محسوس در ارتفاع سطح آب زیرزمینی ایجاد می کند.

### ماسه دهی چاه ها و فروریزش زمین

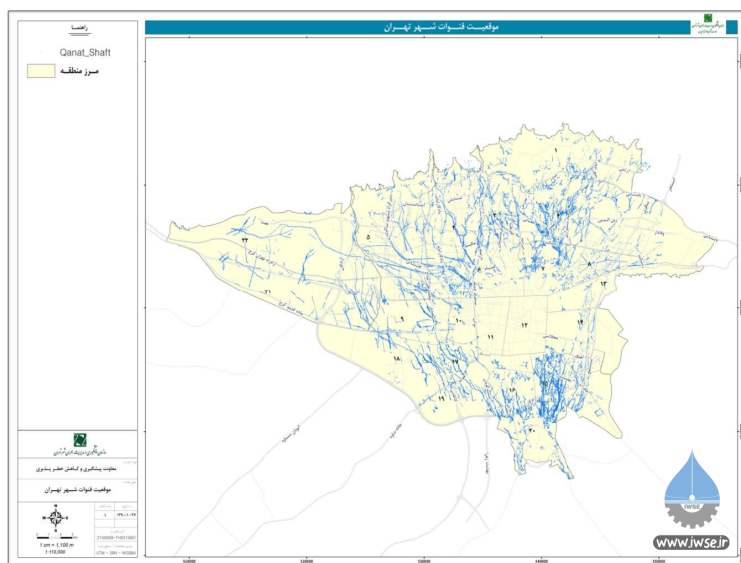
براساس مطالعات انجام یافته اثبات شده است که چاه های منطقه دارای ماسه دهی می باشند. مذاکرات انجام یافته با کارشناسان مرتبط تامین آب منطقه، نشان میدهد که منابع آب منطقه هر از چندی نیازمند شستشو می شوند که مبین ماسه دهی چاه های آب در منطقه می باشد. ماسه دهی چاه ها موجب ایجاد فضاهای خالی در بین لای های آبدار زمین شده که با افت سطح آب، فضاهای خالی با ریزش از سقف به سطح زمین مهاجرت می کنند و موجب ایجاد فروریزش های ناگهانی و خسارت بار می گردند.

### قنوات تهران و فروریزش زمین

تعداد قنات های شهر تهران و حومه به بیش از ۱۳۰۰ رشته قنات حدس زده می شود که دارای عمق بین ۲ متر تا ۱۳۰ متر می باشند. طول رشته قنات ها متغیر و گاه تا به بیش از ۲۰ کیلومتر نیز می رسد. در شهر تهران تعداد میله های مشخص شده تا کنون حدود ۵۱۰۰۰ عدد بوده که مسلماً اعداد به بیش از اینها بالغ می گردد. طول کلی رشته قنات اصلی شناسائی شده ۶۴۰ کیلومتر و طول کلی رشته قنات احتمالی ۵۷۰ کیلومتر حدس زده می شود. در شکل زیر نقشه قنات شهر تهران که توسط سازمان پیشگیری و مدیریت بحران شهرداری تهران تهیه شده نشان داده می



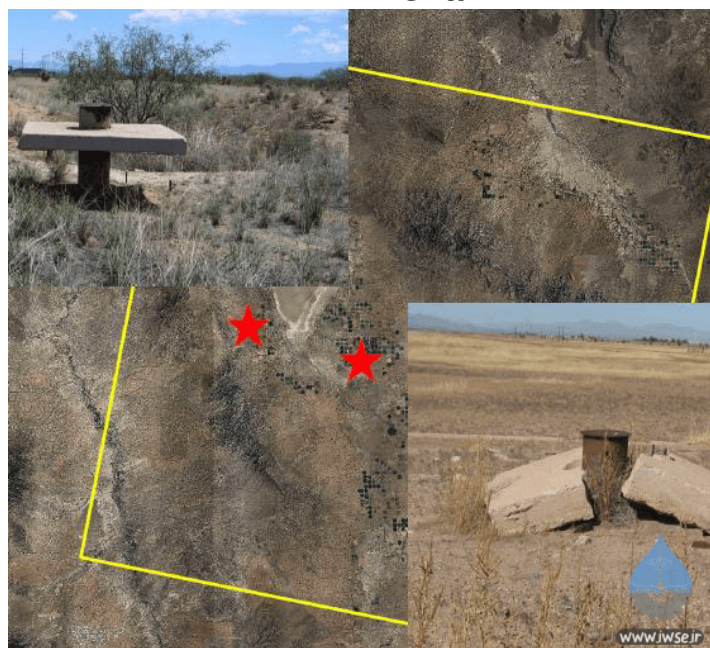
شود. اهمیت قنوات شهر تهران در فروریزش هایی است که در اثر دستکاری مسیر آنها توسط احداث مترو، ساختمان های با گودبرداری عمیق و مواردی از این قبیل رخ می دهد. در فروریزش های شهران، خیابان پیامبر، میدان قیام، خیابان مولوی، بیمارستان شهید اکبرآبادی این امر قابل مشاهده و مطالعه است.



نقشه قنوات شهر تهران

اثر فرونشست بر کشاورزی و دشت ها

اثر فرونشست در کشاورزی مهلک ترین و زیانبارترین است. در اثر افت سطح آب و فرونشست سطح زمین، خلل و فرج لایه هایی که قبلاً آبدار بودند مسدود شده و بصورت فشرده در می آیند. این امر موجب می شود که در طی سال های آتی حتی با تزریق آب و چندین برابر شدن میزان نزولات جوی، آب در لایه های آبدار نفوذ نکند و بصورت رواناب در سطح زمین جاری می شود. به این پدیده اصطلاحاً "مرگ آبخوان ها" می گوئیم که پدیده جبران ناپذیری است. در خاک های مسئله دار، فرونشست زمین با ترک خوردن خاک های سطحی همراه می شود که نمونه هایی از آن در بسیاری از دشت های کشور قابل مشاهده است (مانند دشت ورامین).



اثر فرونشست بر کشاورزی و دشت ها

مقصران اصلی فرونشست

دکتر علی بیت‌اللهی، مدیر بخش زلزله و خطرپذیری مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی در گفت و گو با خبرنگار ایسنا، با تأکید بر اینکه در پدیده فرونشست دو مقصر اصلی وجود دارد، اضافه کرد: وزارت نیرو و جهاد کشاورزی از جمله مقصران این امر هستند. اگر مسوولان این دو نهاد به پدیده فرونشست واقف هستند، نباید اجازه ایجاد این پدیده را می‌دادند و اگر نمی‌دانستند جای تاسف دارد. بیت‌اللهی با بیان اینکه بیشترین مصارف آب در کشور مربوط به بخش کشاورزی است، ولی به چه دلیلی باید در سرزمین خشکی مانند ایران با روش‌های سنتی غرقابی مزارع آبیاری شود، گفت: روش غرقابی روشی است که آب در مزارع رها می‌شود و این روش آب زیادی را می‌طلبد؛ در حالی که روش‌های مدرنی ارائه شده است، ضمن آنکه حتی کشورهای اروپایی که مشکل آب ندارند مانند کشور دانمارک، آب شستشو را از آب شرب جداسازی کرده است. وی با انتقاد از عملکرد سازمان محیط زیست اظهار داشت که سازمان محیط زیست نیز در پدیده فرونشست مقصر است و باید جوابگو باشد.

“مهاجرت”، “تابودی سفره‌های آب زیرزمینی” و “فرونشست” زمین در ایران



بر اساس آمارها بارش سالانه ۸ استان کشور کمتر از ۲۰۰ میلی‌متر بوده است و به اعتقاد محققان به دلیل تداوم خشکسالی و برداشت‌های بی‌رویه از سفره‌های زیرزمینی شاهد فرونشست زمین در مراکز جمعیتی چون تهران، اصفهان، مشهد و کرمان هستیم، ضمن آنکه این پدیده در مجاورت گسل‌های فعالی است که در چند ده سال اخیر فعالیت نداشته‌اند.

ایران نیز به دلیل ادامه دار بودن خشکسالی، دخالت انسان در طبیعت و برداشت‌های بی‌رویه از پدیده فرونشست در امان نمانده است، به گونه‌ای که به گفته دکتر مهدی زارع، استاد زلزله‌شناسی مهندسی پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، دشت “تهران” و “کرج”، منطقه “دریاچه ارومیه” و منطقه “مشهد” در طی حدود ۲۵ سال گذشته به ترتیب حدود ۳۰، ۷۵ و ۱۰۰ کیلومتر مکعب از حجم سفره‌های آب زیرزمینی خود را از دست داده‌اند.

هر سه منطقه یاد شده از نواحی لرزه خیز (و متاسفانه پرجمعیت ایران) هستند، ضمن آنکه در این نواحی “نبوده‌های لرزه‌ای” در بازه‌های زمانی چند ده تا چند صد ساله بر روی پهنه گسل‌های فعال منطقه وجود دارد. وی اعتقاد دارد، در شرایط کنونی، ما به جای ۴۰ درصد، حدود ۸۳ درصد از منابع آب تجدیدپذیر را مصرف می‌کنیم. اگر میزان مصرف آب تجدیدپذیر را با قبول برخی ریسک‌ها به دلیل قرار گرفتن کشور در منطقه خشک و نیمه خشک بین ۵۰ تا ۵۵ درصد بپذیریم، اکنون دست کم ۲۸ درصد بیش از میزان معقول بر منابع آبی کشور بارگذاری می‌کنند. ۵۱۷ شهر بزرگ و کوچک کشور با بحران کمبود آب شرب مواجهند که دلایل آن کاهش نزولات جوی و برداشت بیش از حد منابع آب سطحی و زیرزمینی است. دیدگاه‌ها و مطالعات دکتر زارع با ارسالی یادداشتی به خبرگزاری دانشجویان ایران (ایسنا) در خصوص فرونشست زمین و وجود گسل‌های فعال به این شرح بیان شد:

#### کاهش چشمگیر بارندگی در ایران

ارزیابی میانگین بارش در سال ۱۳۴۲ تا ۱۳۸۲ نشان می‌دهد میانگین بارش در ایران در طی این مدت حدود نیم میلی‌متر در سال کاهش یافته است. بر اساس گزارش سازمان هواشناسی کشور و بر اساس سنجش میزان بارش سالانه بین سال‌های ۱۳۳۰ تا ۱۳۹۰، فقط در سه استان “گیلان”، “چهارمحال و بختیاری” و “مازندران” بارندگی سالیانه بالاتر از ۷۵۰ میلی‌متر در سال بوده است. در عوض در ۸ استان “یزد”، “سمنان”، “قم”، “اصفهان”، “خراسان جنوبی”، “هرمزگان”، “کرمان” و “سیستان و بلوچستان” بارش سالیانه کمتر از ۲۰۰ میلی‌متر در سال بوده و استان یزد با ۶۰ میلی‌متر در سال کمترین بارش سالیانه را تجربه کرده است. نگاهی به آمار متوسط بارش در ایران نشان می‌دهد اگرچه بارندگی متوسط سالیانه در این مدت ۶۰ ساله تغییر قابل ملاحظه‌ای در ایران نکرده، ولی میانگین بارش به هر حال کم شده است. در عوض ارزیابی میانگین متوسط دمای روزانه در سال‌های بین ۱۳۳۰ تا ۱۳۹۰ نشان می‌دهد که حدود ۲٫۵ تا ۳ درجه افزایش دما در این مدت برای

بیشتر ایستگاه های هواشناسی ایران مشاهده می‌شود. از جمله نمادهایی که نشان دهنده دخالت انسان در تغییرات اقلیمی است را می‌توان به مواردی چون "استفاده نامتعادل از منابع آب"، "آمایش غلط سرزمین ایران در سال‌های بعد از جنگ تحمیلی" و "مساله خشکسالی" که تمرکز نامتناسب در مراکز استان‌ها و در کلانشهرها را موجب شده است، اشاره کرد. این موضوع را می‌توان به ویژه در تهران و کرج مشاهده کرد. حفر چاه های مجاز (به تعدادی که بر هم زنده تعادل اکولوژیک مناطق مختلف کشور بوده است) و حفر عمیق غیر مجاز که معمولاً تعدادشان فراتر از (گاه چند برابر) تعداد چاه‌های مجاز است، الگوی نامتناسب کشت در بسیار از نواحی که با کمبود آب مواجه هستند، انتقال های آب از حوزه‌هایی که منابع آب در آنها موجود بوده به اجبار به کلانشهرها (در تعریفی که در ایران به کار می‌رود: شهرهای با جمعیت بیش از یک میلیون نفر) مانند تهران، تبریز و کرمان و احداث جاده‌های مطالعه نشده در مناطق ویژه از نظر زیست محیطی مانند "جنگل ابر" و "دریاچه ارومیه"، نمونه‌هایی از این توسعه ناپایدار و در جهت تغییرات اقلیمی در ایران هستند. انتقال آب بین حوزه‌های علی‌الاصول کاری اشتباه از نظر تعادل و پایداری اقلیمی است و نمونه آخر آن انتقال آب از حوزه دریای مازندران به استان سمنان است که متأسفانه در دستور کار قرار گرفته است.

#### نابودی سفره‌های زیرزمینی

از بین رفتن منابع آب های زیر زمینی طی حدود ۲۵ سال اخیر، می‌تواند با تسریع در وقوع زمین‌لرزه های مهم بعدی در نواحی لرزه‌زا و در پهنه گسل‌های فعال همراه باشد. در مطالعات مشابهی در نواحی که وضعیتی مشابه از نظر لرزه خیزی و همچنین مساله خشکسالی با فلات ایران دارند می‌توان به ایالت کالیفرنیا آمریکا اشاره کرد. مطالعات اخیر نشان می‌دهد که در طی ۱۵۰ سال اخیر حدود ۱۶۰ کیلومتر مکعب آب از دره مرکزی کالیفرنیا با حفر چاه برداشت شده است. حدود ۳۰ درصد از این میزان به حدود ۱۰ سال اخیر مربوط بوده است.

مطالعات زمین‌شناسان نشان می‌دهد که الزاما بودن یا نبودن آب های زیر زمینی به لرزه خیز شدن یا بی لرزه شدن گسل‌ها (به‌ویژه پهنه گسل "سان آندریاس") و همچنین شکل‌گیری گسل‌ها ربط مستقیمی ندارد، ولی مساله آن است که همین مطالعات نشان می‌دهد تخلیه سفره های آب زیرزمینی می‌تواند به تسریع در رخداد یک زلزله مهم بعدی بینجامد. در واقع این بار برداری از لایه های آبدار سطحی می‌تواند به تغییر در ریتم رخداد زلزله های اصلی منجر شود. در ایران ارزیابی های انجام شده در دشت "تهران" و "کرج"، منطقه "دریاچه ارومیه" و منطقه "مشهد" نشان می‌دهد که در این نواحی در طی حدود ۲۵ سال گذشته به ترتیب حدود ۳۰، ۷۵ و ۱۰۰ کیلومتر مکعب از حجم سفره های آب زیرزمینی نابود شده است. هر سه منطقه یاد شده از نواحی لرزه خیز (و متأسفانه پرجمعیت ایران) هستند، ضمن آنکه در این نواحی "نبودهای لرزه‌ای" در بازه‌های زمانی چند ده تا چند صد ساله بر روی پهنه گسل‌های فعال منطقه وجود دارد.

در پایان سال ۹۶، ۲۴ میلیون و ۵۰۰ هزار نفر از جمعیت ایران در ۱۰ شهر اول پر جمعیت کشور زندگی می‌کردند. از نظر تعداد جمعیت مراکز استان‌ها در انتهای سال ۱۳۹۶ تعداد ۳۳،۵ میلیون نفر برای ۳۱ مرکز استان در ایران برآورد می‌شود. بنابراین حدود ۴۱ درصد جمعیت ۸۲ میلیونی ایران در ابتدای سال ۹۷ در این ۳۱ مرکز استان ساکن هستند. بر اساس سرشماری ۱۳۹۵، ۹۴ درصد جمعیت استان تهران در شهرها مستقر هستند. در ابتدای سال ۹۷، حدود ۱۷ میلیون نفر در استان های تهران و البرز زندگی می‌کردند که حدود ۱۳ میلیون و ۵۰۰ هزار نفر از این جمعیت در طی روز در تهران هستند. علاوه بر آن حدود ۳۷ درصد از جمعیت استان های تهران و البرز در درون یا نزدیکی پهنه گسل فعال ساکن هستند و در خوش‌بینانه ترین حالت حدود ۲۵ درصد از جمعیت این دو استان در بافت فرسوده زندگی می‌کنند.

از تبعات پدیده تغییر اقلیم جابجایی وسیع جمعیت در ایران است. سنجش جابه‌جایی جمعیت در ایران در طی سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۰ نشان می‌دهد که در مجموع ۵ میلیون و ۵۳۴ هزار نفر ایرانی در این سال‌ها محل سکونت قبلی خود را ترک کرده‌اند. از این میان حدود ۷۷ درصد از روستاها به شهرها نقل مکان کرده‌اند (مرکز آمار ایران، مرداد ۹۴)، حدود ۷۹ درصد، شهرهای کوچک قبلی خود را به مقصد مراکز استان‌ها و شهرهای بزرگتر و ۲۱ درصد روستاها را ترک کرده‌اند.

میزان بیشینه نرخ فرورنشست زمین سالانه در برخی از دشت‌ها

در پنجمین نشست شبکه سازمان های مردم نهاد محیط زیست و منابع طبیعی کشور تحت عنوان "نقش و جایگاه سازمان های غیردولتی برای مشارکت و مطالبه‌گری در نجات آبخوان‌ها" در تاریخ ۸ مهر ماه ۱۳۹۵ مطرح شد:



### راه حل مهار پدیده فرونشست

به عنوان راهکار دراز مدت بر مبنای تجربه سایر کشورها چاره ای جز اصلاح روش های مدیریت منابع آب وجود ندارد و تا زمان باقی است باید به سوی آن حرکت کرد. اما تا آن هنگام و بعنوان راهکار فوری و اضطراری دست کم میتوان به جلوگیری از ادامه فعالیت استفاده کنندگان غیرمجاز و چاه های حفر شده به این طریق مبادرت ورزید. در غیراینصورت و با روند موجود ضمن از دست دادن بخش عظیمی از منابع آب برای همیشه، پدیده هایی نظیر فروچاله ها و فرونشست های ناحیه ای با ابعاد نامعلوم و با آسیب های جبران ناپذیر، باز هم بوقوع خواهد پیوست.

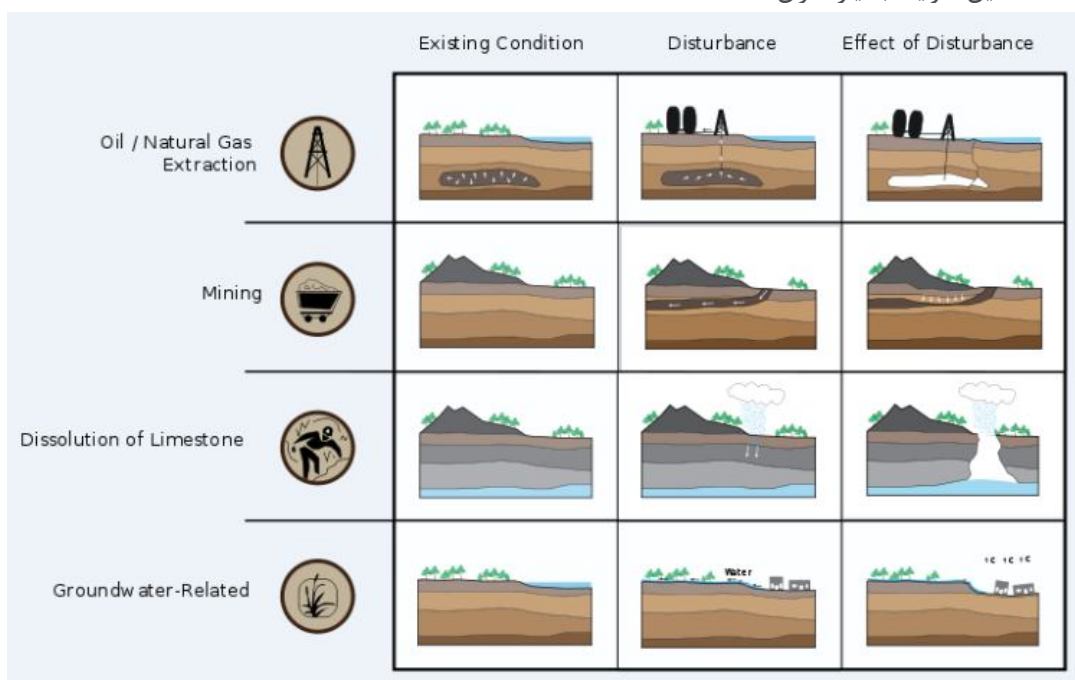
علاوه بر توضیحات بالا، به موارد ذیل نیز میتوان اشاره کرد:

- در مصرف آب بویژه در بخش کشاورزی باید بشدت صرفه جوئی کنیم.
- وزارت نیرو در ظرف یکسال باید در میزان پروانه بهره برداری چاه های آب مجاز بازنگری کند و به مردم گزارش پیشرفت کار ارائه دهد.
- وزارت نیرو در ظرف یکسال باید بشدت با چاه های غیرمجاز حفر شده مقابله کند و به مردم گزارش پیشرفت کار ارائه دهد.
- وزارت جهاد کشاورزی در ظرف یکسال باید در کاشت نوع محصولات و باغات و بویژه محصولات با مصرف بالای آب دخالت جدی کند و به مردم گزارش پیشرفت کار ارائه دهد.
- وزارت کشاورزی در ظرف یکسال باید در مورد بسط شیوه های نوین آبیاری اقدام بسیار جدی بعمل آورد و به مردم گزارش پیشرفت کار ارائه دهد.
- سازمان محیط زیست بعنوان حافظ محیط زیست کشور در این زمینه مسئولیت بسیار سنگینی دارد. این سازمان ظاهرا بجز مساله شکار و چند مشکل دیگر، در این زمینه احساس مسئولیت نمی کند.
- دولت باید برای پایش فرونشست کشور و مطالعات جدی تر آن حتما ردیف بودجه ای را اختصاص دهد. سازمان برنامه بودجه ظاهرا در این خصوص مشکلی را هنوز احساس نمی کند.

همان طور که صاحب نظران و کارشناسان «برداشت بی رویه از سفره های آبی و متعادل نبودن میزان آب ورودی و خروجی مخازن» را علت اصلی پدیده مخرب فرونشست بیان می کنند تنها راه مهار این پدیده هم کنترل برداشت ها و نجات سفره های زیرزمینی است. تراز منفی آبخوان های کشور که میزان آن از منفی ۶ میلیارد متر مکعب در سال هم گذر کرده به معنای آن است که سالانه دست کم ۶ میلیارد متر مکعب آب بیش از چیزی که در خاک فرو می رود برداشت می شود و این یعنی عین فاجعه. نصرالله کمالیان، نماینده مجلس و عضو کمیته زلزله می گوید: فرونشست زمین خود یک زلزله خاموش و مخرب است که تنها راه حل جلوگیری از گسترش آن مهار برداشت آب از سفره های زیرزمینی است.



وی با اشاره به نقش موثر انسان ها در افزایش این بحران می افزاید: شواهد امر نشان می دهد که راهکارها برای مهار این بحران ناکافی است. مهندس جمال روشن روان، رئیس سازمان زمین شناسی در خراسان رضوی هم تعادل بخشی به منابع آب زیرزمینی و کنترل برداشت آب را اصلی ترین راه حل به حداقل رساندن فرونشست زمین بیان می کند و به ما می گوید: خشکسالی های متوالی و برداشت بی رویه آب و حفر چاه های متعدد برای تامین آب شرب در برخی دشت ها نظیر مشهد سالانه یک متر افت سطح آب های زیرزمینی را در پی داشته است و اگر برداشت آب کنترل نشود روز به روز شرایط بحرانی تر خواهد شد. به اعتقاد وی کمتر شدن برداشت آب و به تعادل رساندن حجم آب ورودی و تغذیه مخازن با میزان آب استحصالی تنها راه نجات کشور از عواقب فرونشست زمین است. محمد درویش، مدرس دانشگاه نیز معتقد است: بی رویه توسعه دادن کشاورزی و تلاش نکردن برای افزایش راندمان آبیاری که همچنان ۳۰ تا ۳۵ درصد است دلیل اصلی این بحران است. به گفته وی در سال ۲۰۰۱ اعلام شد که افت سطح آب کشور در ۳۰ سال (از ۱۹۷۱ تا ۲۰۰۱) ۱۵ متر معادل نیم متر در هر سال بوده است ولی مدیر عامل شرکت منابع آب ایران به تازگی اعلام کرده است از سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۱ این وضع به مراتب بدتر شده و در ۸۰ دشت کشور میزان افت سالانه سطح آب ۲ متر و در نیمی از دشت های کشور هم به یک متر در سال رسیده است که این شرایط بسیار نگران کننده است.



#### • (Improvement) بهسازی

تغییر در خواص فیزیکی، رفتاری و مقاومتی خاک بدون نصب عناصر غیرخاکی

#### • (Reinforcement) تسلیح

استفاده از یک یا چند عنصر غیرخاکی و نصب آن ها درون محیط خاک

#### • (Treatment - Curing) بهبود

بهسازی یا تسلیح خاک پس از اتمام یک پروژه ژئوتکنیکی (در صورت بروز مشکل برای شرایط خاک)

وجود خاک مسأله دار

وجود فضای خالی زیاد در بافت مصالح خاکی

مقاومت پایین خاک بستر

میزان نامطلوب آب در خاک

چگونه؟

با پیدا کردن راه حلی برای

کاهش فضاهای خالی

افزایش مقاومت خاک

رساندن سطح آب زیرزمینی به عمق مطلوب

انواع خاک های مسأله دار

(Soft and Loose Soils) الف - خاک های نرم و شل

مانند: ماسه، لجن، لای و رس اشباع

(Expansive Soils) ب - خاک های انبساطی

مانند: رس های آهک دار، رس های دارای مقدار زیادی کانی ایلیت و کلریت

(Collapsible Soils) پ - خاک های رمبنده یا فروریزشی

بادرفتی (Loess) مانند: خاک های ماسه ای و لای متخلخل، ماسه های هوازده کنار ساحل، خاک لوس

روش های متداول بهسازی خاک	
تذریق	حفاری و برداشت، جایگزینی و تراکم
پیش بار گذاری	تراکم سطحی با عبور غلتک
انفجار	تراکم دینامیکی و ارتعاشی-شناوری
المان های حرارتی	انجماد
استفاده از مواد افزودنی	تکنولوژی خلأ
الکترولیز	زهکشی

## روش های متداول تسلیح خاک

ژئوپایپ	ژئوتکستایل
ژئوکامپوزیت	ژئوممبرین
میخکوبی (نیلینگ)	ژئونت
انکراژ	ژئوسل
پلیمرهای فیبری مسلح	ژئوگرید
ستون سنگی، شمع و ریزشمع	ژئوفوم

### بهبودی و تثبیت

- ۴- پی های عمیق: تعیین توان باربری ( آنالیز استاتیکی)
- ۵- پی های عمیق: آزمایشات بارگذاری استاتیکی و دینامیکی
- ۶- پی های عمیق: بارهای جانبی و طراحی سازه ای
- ۷- پی های عمیق: اندرکنش خاک و پی، تخمین نشست
- ۸- دیوارهای حائل خاص
- ۹- حفاری و گودبرداری، ترانشه های مهار شده و مهار نشده
- ۱۰- موارد عملی

### **1. بهسازی خاک**

امروزه علم ژئوتکنیک با تکیه بر تجربیات چند صدساله خود، امکان اجرای بسیاری از پروژه‌های عظیم را فراهم کرده است. که یکی از مهم‌ترین آنها اجرای پروژه های عمرانی بر روی خاک های مشکل ساز است. بهسازی خاک روشی نوین جهت ایجاد بستری مناسب برای اجرای پروژه است. ارتقای شرایط ژئوتکنیکی خاک متناسب با شرایط پروژه مورد نظر و به صورت کنترل شده، جهت احداث یک سازه را بهسازی خاک می نامند. بهسازی خاک سبب بهبود شرایط ژئوتکنیکی خاک، متناسب با نوع پروژه، کاهش هزینه و زمان اجرا و افزایش طول عمر بهره‌برداری می‌گردد.

### **2. اهداف بهسازی خاک**

هدف بهسازی خاک، به کارگیری ترکیبی از روش های مختلف، جهت بهبود خواص خاک می باشد. این خواص مطابق نمودار زیر می باشند:



نموگرام ۱ اهداف بهسازی خاک

### 3. خاک‌های مشکل‌ساز در مهندسی عمران

خاک‌های موجود در طبیعت بسیار متنوع بوده و هر یک از آنها در کاربردهای مهندسی رفتار متفاوتی را از خود نشان می‌دهند. مثلاً منشأ پیدایش یک خاک و نحوه تشکیل شدن آن تأثیر بسزایی بر ویژگی‌های آن می‌گذارد که ممکن است برای کارهای مهندسی مطلوب نباشد. بدین ترتیب برخی از خاک‌ها ممکن است برای اهداف مهندسی عمران مشکل‌ساز باشند که در ادامه به تفصیل آنها را شرح داده ایم:



نموگرام ۲ خاک‌های مشکل‌ساز در مهندسی عمران

#### 1.3. خاک‌های رمبنده (فروریزشی)

در طبیعت خاک‌هایی وجود دارند که تحت تنش، با افزایش رطوبت، میزان کاهش حجم زیادی از خود نشان می‌دهند. این خاک‌ها به خاک‌های رمبنده معروف‌اند. این نوع خاک‌ها، دارای پیوند بین ذرات ضعیف بوده و سست می‌باشند. هنگام قرار گرفتن تحت شرایط بارگذاری همراه با اشباع شدن و ارتعاش، پیوند بین ذرات آنها از بین رفته و دچار نشست میشوند. خاک‌های رمبنده تا زمانی که در رطوبت آنها تغییر ایجاد نشود، مشکل زیادی در پی نخواهند داشت. همچنین این نوع خاک‌ها بادرفت بوده و در محدوده دانه‌بندی لای قرار می‌گیرد. برای تثبیت این نوع خاک روش‌های گوناگونی از جمله جلوگیری از مرطوب شدن، تراکم خاک، جایگزینی مصالح، استفاده از پی‌های عمیق، تثبیت با مصالح درشت‌دانه و مواد افزودنی دیگر با توجه به شرایط پروژه میتوان در پیش گرفت.





شکل ۱ فروریزش خاک زیر سازه

### 2.3. خاک های نرم و شل

از ویژگی های این نوع از خاک ها، مقاومت کم، ناپایداری حجمی، رطوبت زیاد و تحکیم عادی یافته است. برای نمونه خاک هایی مانند ماسه، لایه ای شل و رس های نرم با رطوبت بالا را میتوان نام برد. همچنین روان گرای ماسه و لای ها را میتوان جزو این دسته به حساب آورد.

### 3.3. خاک های ریزدانه

در حاشیه مناطق شهری نیز ممکن است پروژه های عمرانی اجرا شود. به طور مثال ممکن است زمین هایی مورد استفاده قرار گیرند که قبلاً مکانی برای دفن زباله های مختلف مانند زباله های حفاری، ضایعات ساختمانی زباله های دیگر باشند. مهمترین مشکل این زمین ها، انباشتن مصالح بدون در نظر گرفتن تمهیداتی جهت تجزیه و تحکیم زباله هاست. ساخت و ساز روی این نوع بستر، مشکلاتی نظیر ضعف باربری، تغییرات حجم و ناپایداری داخلی پس از بارگذاری را در پی خواهد داشت.

### 4.3. خاک های انبساطی ( تورم پذیر)

خاک های انبساطی مقادیر زیادی از کانی مونت موریلونیت را در خود داشته و شامل خاک های ریزدانه رسی میشوند. رس ها معمولاً اندازه کلوئیدی داشته و سطح مخصوص آنها بسیار زیاد است؛ و میتوانند مقدار زیادی آب را در خود جذب کنند. در نتیجه، این نوع خاک با جذب آب، دچار تورم و انبساط شده و با از دست دادن آب منقبض میشود. این خاکها در صورت تورم، سبب ترک خوردن فونداسیون سازه میشوند. زمین های دارای خاک منبسط شونده معمولاً دارای ترک هستند.



شکل ۲ نمونه خاک منبسط شونده

### ? خاک ایده آل از نظر مهندسی عمران چه نوع خاکی است؟

از دیدگاه مهندسی عمران خاک ایده آل باید دارای ویژگی های زیر باشد:

- خاک مقاومت برشی و ظرفیت باربری مناسبی داشته باشد.
- خاک در مقابل بارهای سازه نشست های ناچیزی داشته باشد.
- تغییرات حجمی انبساطی و انقباضی خاک در حد معقولی باشد که مشکلی برای سازه ایجاد نکند.
- محل مورد نظر جهت اجرای پروژه مشکل خاصی نداشته باشد. به طور مثال، اگر سطح آب زیرزمینی بالا باشد، مشکلات زیادی به دنبال دارد.

### 4. روش های بهسازی خاک

از کاربردی ترین روش های بهسازی خاک، میتوان به موارد زیر اشاره کرد:



نموگرام ۳ روش های بهسازی خاک

#### 1.4. بهسازی خاک به روش تزریق

بهسازی خاک به روش تزریق جهت افزایش ظرفیت باربری خاک، افزایش مقاومت بارگذاری جانبی شمع ها، جلوگیری از نشست آب و نشست در سازه به کار میرود. در این روش، ابتدا چاله هایی به فواصل معین حفر کرده، سپس درون چاله ها را با دوغاب همراه با فشار و سرعت بالا پر میکنند. این روش، پرهزینه بوده و در مواقع خاص به کار میرود. روش های تزریق در خاک خود به چهار دسته تقسیم میشوند:



نموگرام ۴ روش های تزریق در خاک

#### 1.1.4.1. تزریق تراکمی در خاک

در این روش، دوغاب را با ویسکوزیته و فشار زیاد و طی مراحل متعدد، تزریق کرده، در نتیجه حباب هایی در دوغاب به وجود می آید که باعث جابه جایی خاک و متراکم شدن آن میشود. این روش، برای محیط های کارستی، خاک های بسیار سست و فروریزی ماسه ای و ریزدانه کاربرد دارد.

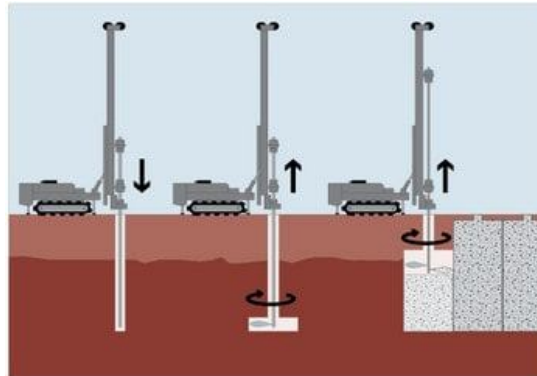
نکته: کارست (Karst) پدیده خوردگی و انحلال توده سنگ های کربناته از قبیل آهک، سنگ گچ و دولومیت است.

#### 1.1.4.2. تزریق نفوذی در خاک

این نوع تزریق، از قدیمیترین روش تزریق در خاک بوده که باهدف کاهش نفوذپذیری، کنترل جریان آب زیرزمینی، ایجاد توده ای منسجم و افزایش مقاومت خاک صورت میگیرد. در این روش، درزها و شکاف ها در سنگ و فضاهای خالی در خاک ها با دوغاب با حداقل فشار و بدون برهم زدن ساختار خاک یا سنگ پر میکنند. تزریق نفوذی از دیگر روش های تزریق گرانتر بوده و معمولاً در خاک هایی که مستلزم افزایش چسبندگی باشد و یا در برخی خاک های درشتدانه کاربرد دارد.

#### 3.1.4. تزریق جت در خاک

در این روش، پس از حفاری تا عمق موردنظر، توسط جت های تعبیه شده در انتهای سیستم حفاری، آب و یا دوغاب را با فشار زیاد وارد خاک میکنند؛ که همزمان با چرخش جت و بالا آمدن آن، ستونی از خاک اصلاح شده ایجاد میگردد.



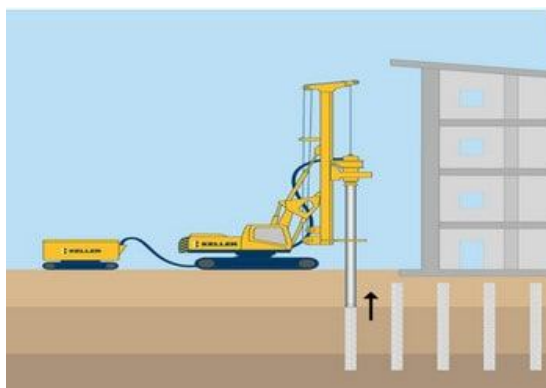
شکل ۳ تزریق جت در خاک

#### 4.1.4. تزریق شکست هیدرولیکی در خاک

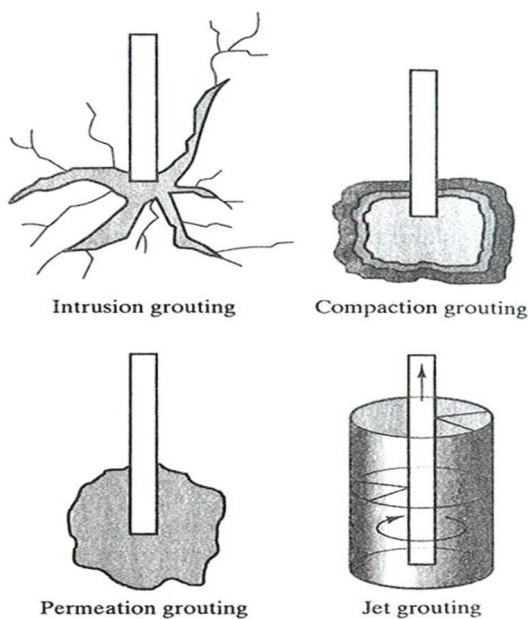
این روش، با هدف متراکم کردن و سخت کردن زمین و دسترسی به حفرات غیرقابل دسترس انجام می شود. هنگامی که فشار تزریق، بزرگتر از مقاومت کششی خاک یا سنگ باشد، سبب شکست هیدرولیکی، گسیختگی و ایجاد ترک شده و دوغاب سریعاً داخل محل ترک خورده نفوذ خواهد کرد؛ و زمانی میتوان از این روش استفاده کرد که برهم زدن ساختار خاک و ایجاد جابه جایی تحت فشار تزریق در سطح زمین مشکل ایجاد نکند.

### کاربردهای تزریق در بهسازی خاک

- ۱- پر کردن فضاهای خالی جهت جلوگیری از نشست های زیاد و تقویت خاک زیر پی
- ۲- کنترل نشست و کاهش قابلیت نفوذپذیری خاک و یا ایجاد پرده های آب بند در سازه های خاکی جهت جلوگیری از فرار آب
- ۳- مقاوم سازی خاک زیر سازه موجود به منظور جلوگیری از جابه جایی ساختمان به دلیل خاکبرداری در همسایگی، کوبیدن شمع و اجرای شمع های تزریقی
- ۴- کنترل جابه جایی زمین در حین عملیات احداث تونل
- ۵- مقاوم سازی خاک برای کاهش سیستم های حفاظت جانبی
- ۶- مقاوم سازی خاک برای افزایش مقاومت در برابر بارگذاری جانبی شمع
- ۷- تثبیت ماسه های شل در مقابل روانگرایی
- ۸- کنترل ناپایداری در خاک های مستعد واگرایی
- ۹- تثبیت شیروانی ها
- ۱۰- کنترل تغییر حجم خاک های انبساطی به کمک تزریق دوغاب آهک



شکل ۴ بهسازی خاک به روش تزریق



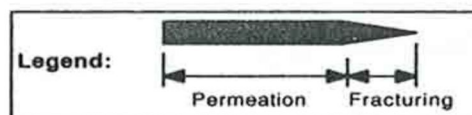
نموگرام ۵ مزایای بهسازی خاک به روش تزریق

در بهسازی به روش تزریق، مواد تزریقی از چه نوعی هستند؟



به‌طور معمول برای تزریق در شن و ماسه، از دوغاب سیمان پرتلند، کانی رس و رزین‌ها استفاده می‌کنند؛ اما به‌طور کلی انتخاب نوع ماده تزریقی و غلظت آن به عواملی مانند اقتصاد، عمق عملیاتی پروژه و نوع خاک بستگی دارد.

Grouts		Gravel	Sand		Silt	Clay
			coarse	med.	fine	
Suspensions	MC-500	[Arrow from Gravel to Silt]				
	Cement	[Arrow from Gravel to coarse Sand]				
	Bentonite	[Arrow from Gravel to med. Sand]				
	Sodium silicate-MC-500	[Arrow from Gravel to fine Sand]				
Solutions	Lignin group	[Arrow from Gravel to Silt]				
	Urea resin group	[Arrow from Gravel to Silt]				
	Acrylate (AC-400) grout	[Arrow from Gravel to Silt]				
Grain size (mm)		2	0.5	0.25	0.074	0.005

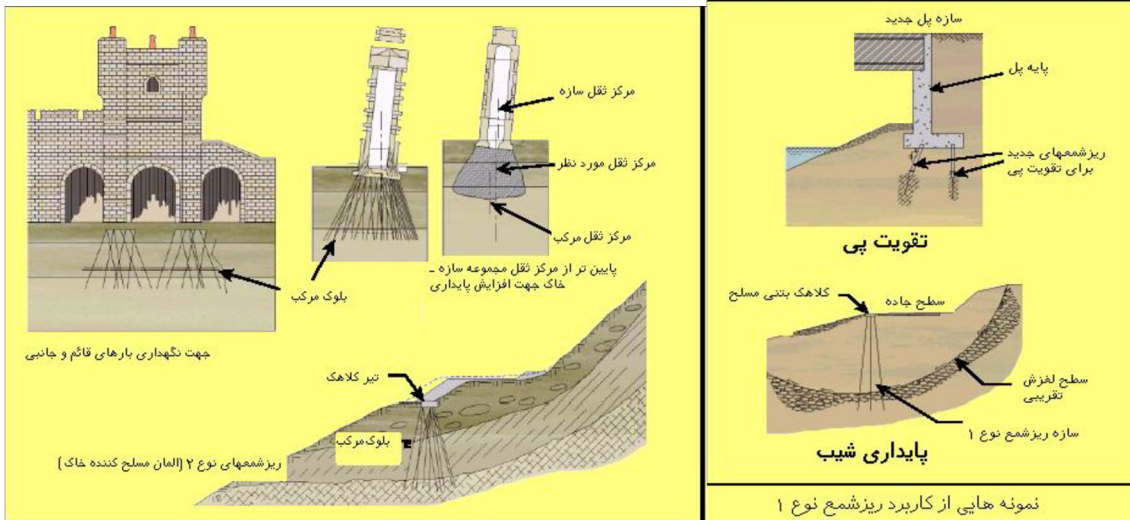


#### 2.4. بهسازی خاک به روش میکروپایل

بهسازی خاک با استفاده از میکروپایل‌ها از پیشرفته‌ترین روش‌های بهسازی بوده که با نام روش ریزشمع نیز معروف است. در این روش، میکروپایل به‌عنوان یک عضو باربر اضافه‌شده و علاوه بر افزایش مقاومت خاک، با تزریق دوغاب سیمان خصوصیات مکانیکی خاک را اصلاح می‌کند. میکروپایل دارای قطر کوچکی کمتر از ۳۰ سانتی‌متر بوده که جهت انتقال بارهای استاتیکی و دینامیکی به لایه‌های زیرین خاک به کار می‌رود.



نمোগرام ۶ مزایای بهسازی خاک به روش میکروپایل



## عوامل موثر در انتخاب ریز شمع

### ۱- ملاحظات فیزیکی

- الف) محدودیت دسترسی، فضای کم
- ب) نزدیکی شمع به سازه های موجود

### ۲- شرایط زیر سطحی

- الف) شرایط سخت زمین شناسی
- ب) قابلیت زمین برای روانگرایی در زمان راندن شمع در زمین

### ۳- شرایط محیطی

- الف) منطقه های حساس به لرزه و صدا
- ب) محدوده خاکهای آلوده و خطرناک
- ۴- شرایط انطباق با سازه های موجود

### ۵- محدودیتهای ریز شمع

### ۶- شرایط اقتصادی

#### مراحل بهسازی خاک به روش میکروپایل

- ۱) حفاری
- ۲) پوله کوبی
- ۳) تزریق و تسلیح



شکل ۵ بهسازی خاک به روش میکروپایل

## کاربردهای ریز شمع:

- تقویت پی های موجود
- جهت تثبیت پی های گسترده موجود و جدید
- دیوار حایل
- به عنوان سنگدوز
- تونل سازی

### 3.4. بهسازی خاک به روش تراکم سطحی

بهسازی خاک به روش تراکم سطحی به این صورت است که ابتدا لایه‌ها در ضخامت خود ریخته شده و تحت رطوبت بهینه قرار میگیرند. سپس با توجه به جنس خاک، در لایه‌های سطحی، با وزن و ارتعاش غلتک‌های مختلف، متراکم میشود. از مزایای این روش، میتوان افزایش باربری خاک، کاهش زیاد تخلخل، افزایش وزن مخصوص و دیگر پارامترها و خواص خاک را نام برد.



شکل ۶ بهسازی خاک به روش تراکم سطحی

### 4.4. بهسازی خاک به روش تراکم دینامیکی

در این روش، وزنه‌های سنگین حدود ۱ تا ۱۰۰ تن را جهت تراکم خاک به حالت سقوط آزاد از ارتفاع ۱۰ تا ۴۰ متری رها میکنند؛ که با توجه به وزن وزنه و ارتفاع سقوط آن، شدت و قدرت تراکم را کنترل میکنند؛ به این صورت که هر چه وزن و ارتفاع سقوط وزنه بیشتر باشد، نیروی تراکم بیشتر بوده و حتی میتوان نیروی زلزله را با آن شبیه‌سازی کرد. برای این کار ابتدا زمین را تقسیم‌بندی کرده و هر محل را به‌طور معمول در سه مرحله متراکم میکنند.

بهسازی خاک به روش تراکم دینامیکی روش مناسبی جهت متراکم کردن خاک‌های دستی، زباله‌ها، ماسه‌های سست، خاک‌ریزهای سنگی، ضایعات ساختمانی و خاک‌های آهکی و متخلخل است. البته از محدودیت‌های این روش میتوان به عدم قابلیت اجرا در خاک‌های ریزدانه و زمین‌های نزدیک به تأسیسات و ایجاد سروصدا و گردوغبار در محیط‌های مسکونی نام برد. از مزایای این روش از بهسازی خاک می‌توان به افزایش ظرفیت باربری خاک، کاهش نشست‌های ناخواسته، پایداری شیروانی‌ها و افزایش تراکم و کاهش حفره‌ها اشاره نمود.



نموگرام ۷ مزایا و معایب تراکم دینامیکی



شکل ۷ بهسازی خاک به روش تراکم دینامیکی      شکل ۸ بهسازی خاک به روش تراکم دینامیکی

#### 5.4. بهسازی خاک به روش پیش بارگذاری

پیش بارگذاری، به منظور پیش فشرده نمودن بستر به کمک خاک ریزی، پایین بردن سطح آب زیرزمینی از طریق زهکشی، مکش و با اعمال فشاری بزرگتر و شدیدتر از فشاری که فونداسیون سازه قرار است به خاک وارد کند، همراه است. در واقع استفاده از روش پیش بارگذاری، بایستی بر اساس مقدار باری باشد که سازه قرار است به بستر منتقل کند. از مزایای این روش، میتوان بهبود مقاومت برشی خاک، افزایش وزن مخصوص، کاهش تخلخل و رطوبت، کاهش نشست و عدم ایجاد سروصدا را نام برد؛ و از معایب آن میتوان به طولانی شدن زمان بهسازی، غیراقتصادی شدن خاک برداری و حمل مصالح به جای دیگر اشاره کرد.



نموگرام ۸ مزایای روش پیش بارگذاری

#### 6.4. بهسازی خاک به روش انفجار



تراکم انفجاری خاک با جایگذاری مواد منفجره در اعماق مختلف و منفجر کردن آنها صورت میگیرد. این بار ناگهانی سبب شکستن پیوند ناشی از چسبندگی بین دانه‌های خاک گردیده و دانه‌های خاک به هم نزدیک و متراکم میگردند.



نموگرام ۹ مراحل بهسازی خاک به روش انفجار

**؟ روش انفجار جهت بهسازی خاک در چه مواردی مورداستفاده قرار میگیرد؟**

روش تراکم انفجاری معمولاً در موارد زیر مورد استفاده قرار میگیرد:

- جهت کاهش پتانسیل روانگرایی مصالح
- جهت کاهش پتانسیل نشست زمین در اثر ارتعاشات زلزله
- افزایش ظرفیت باربری فونداسیون



شکل ۹ بهسازی خاک به روش انفجار

7.4. بهسازی خاک با استفاده از مواد افزودنی

این روش از قدیمی ترین روش‌های بهسازی خاک است؛ و مهم‌ترین هدف این روش، بهبود یا کنترل پایداری حجمی و مقاومت خاک بستر است. معمولاً در این روش از مواد غیرآلی مانند آهک و سیمان و موادآلی مانند رزین ها، پلی‌استرها و قیر به‌عنوان مواد افزودنی استفاده میشوند.

#### 8.4. بهسازی خاک با استفاده از سیستم حرارتی

روش‌های حرارتی از قبیل سرمایی و گرمایی میتوانند جهت تثبیت خاک مورداستفاده قرار بگیرند. به‌عنوان مثال اگر خاک‌های ریزدانه تا ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد داده شوند، خشک‌شده و مقاوم‌شان افزایش می‌یابد. البته باید افزایش رطوبت نداشته باشند. به‌طورکلی حرارت دادن خاک از ۶۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ درجه سانتی‌گراد باعث بهبود دائمی خواص خاک میشود. از ویژگی‌ها و مزایایی که با این روش به خاک داده میشود، میتوان به کاهش حساسیت نسبت به آب، کاهش تورم و تراکم‌پذیری با افزایش مقاومت خاک اشاره کرد. نیاز به انرژی زیاد برای ایجاد حرارت از محدودیت‌های استفاده از این روش است. تأمین انرژی حرارتی به دو روش زیر صورت میگیرد:

• روش اول: در این روش ابتدا گمانه‌هایی در زمین قرار داده‌شده و یک مشعل در بالای گمانه میگذارند. هوای فشرده و مواد سوختنی به داخل گمانه تزریق‌شده و در یک‌لحظه چند گمانه که به یک دستگاه متصل شده اند، آتش زده می‌شوند. این روش احتراقی نامیده میشود.

• روش دوم: در این روش گرم‌کننده‌های الکتریکی داخل گمانه قرار داده شده و حرارت ۵۰۰ الی ۱۲۰۰ درجه سانتی‌گراد را ایجاد میکنند.

#### 9.4. بهسازی خاک به روش حفاری و برداشت

در صورتی که در پروژه‌های عمرانی خاک بستر پارامترهای مقاومتی موردنیاز را نداشته باشد و شرایط پروژه به گونه‌ای باشد که نتوانیم جز خاک بستر، راه دیگری را انتخاب کنیم، به‌ناچار باید خاک را بسته به شرایط پروژه تا عمق موردنظر با خاک مناسب جایگزین کنیم. جهت انجام این روش، ابتدا خاک پروژه را باید به‌جای دیگری که مشکل زیست‌محیطی ایجاد نکند، با رعایت مقررات، دپو کنیم و خاک مناسب را جایگزین کنیم.

#### ? عمق مناسب جهت حفاری چقدر است؟

به طور تجربی، معمولاً عمق متوسط اصلاح ۵ متر است؛ که بسته به شرایط پروژه می‌تواند تغییر کند.

#### 10.4. بهسازی خاک به روش شمع گذاری

در هنگامی که با کمبود ظرفیت باربری خاک مواجه باشیم، باید نیرو را به سطوح پایین‌تر خاک انتقال دهیم؛ زیرا در سطوح زیرین، تراکم و اصطکاک بیشتر باعث میشود که مقاومت خاک بیشتر باشد. در این موارد **روش شمع گذاری** در خاک پیشنهاد میشود؛ زیرا شمع گذاری بار ناشی از سازه را به خاک زیرین مقاوم‌تر منتقل میکند. انواع روش های شمع گذاری عبارت‌اند از:

• شمع درجا: شمع درجا از جنس بتن بوده و بدون تغییر مکان است. در این روش شمع گذاری ابتدا حفاری صورت گرفته و سپس بتن‌ریزی میشود. • شمع پیش‌ساخته: معمولاً به‌صورت مربعی بوده و اغلب دارای میلگردهایی جهت مقاوم نمودن شمع در مقابل خمش و افزایش مقاومت فشاری هستند.



شکل ۱۱ اجرای شمع بتنی پیش ساخته

شکل ۱۰ طریقه بهسازی خاک به روش شمع گذاری

#### 11.4. بهسازی خاک به روش نیلینگ

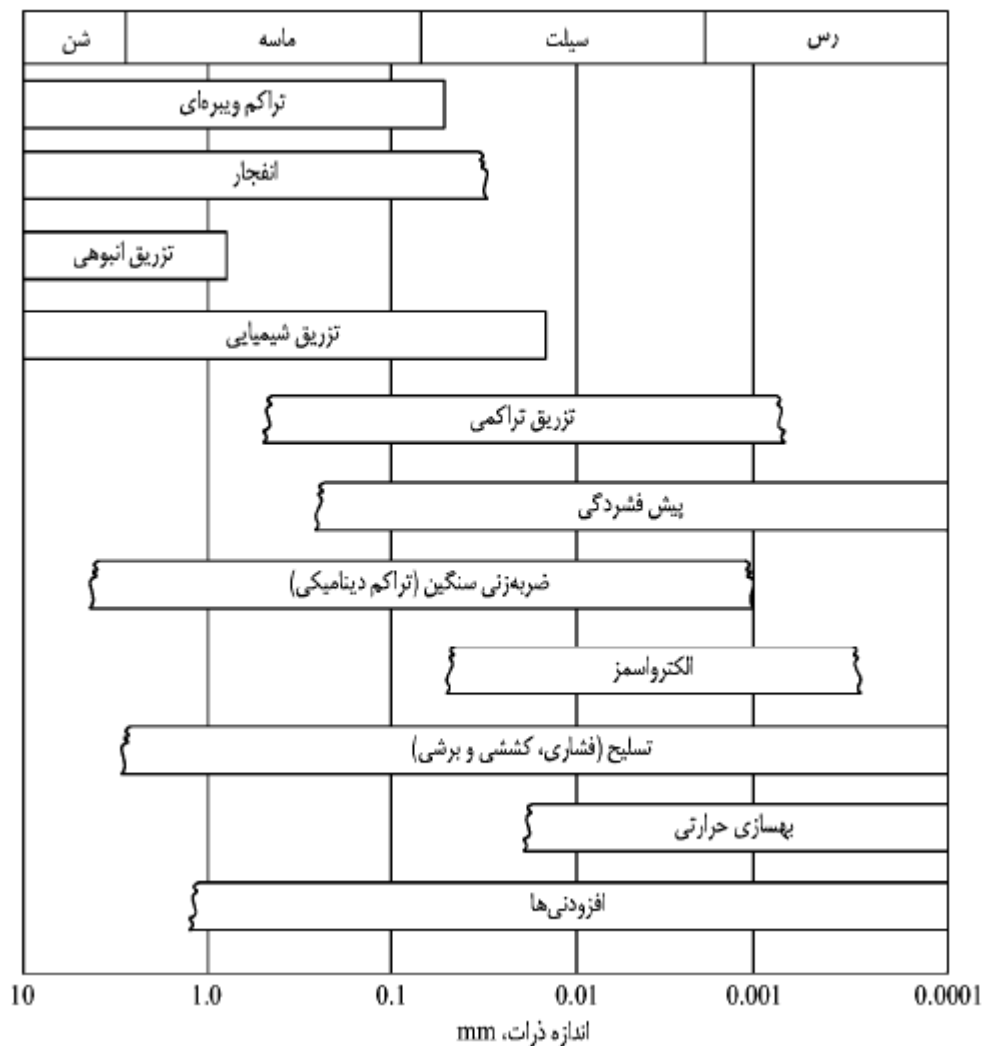
نیلینگ همان میخ‌کوبی در جدار دیوار است؛ که یکی از پرکاربردترین روش بهسازی خاک در محیط شهری است. روش نیلینگ یک مقطع مسلح پایدار به‌وسیله نصب میلگرد فولادی ایجاد میکند که میتواند خاک پشت خود را نگه دارد. برای اجرای این روش ابتدا **خاک‌برداری** صورت گرفته، در ادامه حفره‌هایی جهت نصب میخ‌ها ایجاد شده و سپس میخ‌ها نصب میشوند. در مرحله بعد دوغ ابریزی و اجرای پوسته موقت صورت می‌گیرد؛ و سپس سطح خاک‌برداری شده تراز می‌گردد و یک‌لایه پوسته دائمی و نهایی اجرا می‌گردد. این روش مزایا و معایبی دارد که از مزایای آن میتوان افزایش ظرفیت باربری خاک، کاهش تغییر شکل، پایدارسازی شیب‌ها و ترانشه‌ها و شیروانی‌ها، امکان اصلاح طرح در طی اجرا، هم‌زمانی عملیات خاک‌برداری و پایدارسازی را نام برد. از معایب این روش میتوان به نیاز به نیروی کار متخصص، ایجاد آلودگی صوتی و نیاز به تجهیزات ویژه حفاری اشاره کرد.



شکل ۱۲ بهسازی خاک به روش نیلینگ

**?** با توجه به تعداد روش هایی که گفته شد، به طور کلی چه عواملی در انتخاب روش مناسب جهت بهسازی خاک مؤثر است؟ عواملی مانند نوع و میزان بهسازی مورد نظر، نوع خاک و ساختار زمین شناسی و شرایط تراوش آب، هزینه ها، دسترسی به تجهیزات و مصالح، مدت زمان موجود، آسیب احتمالی به سازه های مجاور، دوام مصالح، آلودگی منابع آب زیرزمینی، خوردگی افزودنی های شیمیایی، اطمینان از روش های تحلیل و طراحی و سادگی کنترل عملیات در انتخاب روش مناسب بهسازی نقش دارند.

خلاصه روش های بهسازی خاک		
روش انجام	مشخصه	نام روش
حفر چاه ها و گمانه ها	تزریق دوغاب و مواد مناسب به لایه های زیرین خاک	تزریق
حفاری و لوله کوبی	انتقال بارهای استاتیکی و دینامیکی به لایه های زیرین	میکروپایل
تراکم خاک در درصد رطوبت بهینه	متراکم سازی با غلتک های مختلف	تراکم سطحی
سقوط وزنه	ایجاد ضربه جهت افزایش تراکم خاک	تراکم دینامیکی
اعمال بارهای موقت مشابه بار سازه	پیش بارگذاری به کمک خاک ریزی	پیش بارگذاری
جایگذاری مواد منفجره در اعماق مختلف	استفاده از مواد منفجره	انفجار
اضافه کردن مواد مناسب به خاک	تثبیت خاک با استفاده از مواد افزودنی	استفاده از مواد افزودنی
سرمايش يا گرمایش خاک	تبخیر یا انجماد آب موجود در خاک	سیستم حرارتی
دپوی خاک نامناسب به جای دیگر و انتقال خاک مناسب	تعویض خاک بستر و دپوی آن به جای دیگر	حفاری و برداشت
حفاری و بتن ریزی	انتقال بارها به لایه های زیرین خاک به منظور افزایش ظرفیت باربری خاک	شمع گذاری
خاک برداری و نصب میخ	میخ کوبی در جدار دیوار	نیلینگ



## روش‌های معمول بهسازی خاک

- ۱- حفاری و برداشت، جابه‌جایی و یا جایگزینی
- ۲- تراکم سطحی
- ۳- تراکم دینامیکی
- ۴- تراکم ویبره - شناوری در عمق
- ۵- انفجار
- ۶- پیش فشردگی از طریق پیش بارگذاری
- ۷- تزریق
- ۸- استفاده از مواد افزودنی
- ۹- سیستم‌های حرارتی
- ۱۰- تسلیح خاک

شاخص‌های کنترل و ارزیابی تسلیح و بهسازی

اندازه گیری نشست و تغییر مکان جانبی خاک  
اندازه گیری درصد رطوبت  
تعیین دانسیته خاک در محل  
N و مقایسه مقادیر (SPT) آزمون نفوذ استاندارد  
qc و مقایسه مقادیر (CPT) آزمون نفوذ مخروط  
(PLT) آزمایش بارگذاری صفحه  
تعیین سرعت امواج برشی لرزه‌ای  
تعیین مقاومت الکتریکی خاک

## کنترل و ارزیابی بهسازی

- ۱- شاخصهای اندازه گیری نشست و جابه‌جایی در سطح زمین
- ۲- اندازه‌گیری درصد رطوبت
- ۳- آزمایش تعیین دانسیته خاک در محل
- ۴- آزمایش نفوذ استاندارد (SPT) و مقایسه مقادیر N قبل و بعد از بهسازی
- ۵- آزمایش نفوذ مخروط (CPT) و مقایسه مقادیر قبل و بعد از بهسازی
- ۶- آزمایش فشار سنجی یا پرسومتر (PMT)
- ۷- آزمایش بارگذاری صفحه (PLT)
- ۸- تعیین سرعت امواج برشی لرزه‌ای
- ۹- مقاومت در برابر کوبیدن شمع
- ۱۰- تعیین مقاومت الکتریکی



## مقایسه و انتخاب روش‌ها

- اهمیت پروژه
- هدف از بهسازی
- گستره ساخت و ساز در ارتفاع، پلان و یا در عمق
- نوع خاک، مشخصات اولیه و تنوع آن در سایت
- وسعت منطقه مورد نظر تثبیت در پلان و پروفیل
- در دسترس بودن مصالح، تجهیزات و نیروهای متخصص مورد نیاز
- فاکتورهای زیست محیطی، دفع فاضلاب، فرسایش، آلودگی آب، تأثیر روش بهسازی بر سازه‌ها و تأسیسات مجاور
- تجارب و سلايق محلی
- زمان در اختیار جهت بهسازی
- اقتصاد پروژه و هزینه‌های انجام‌شده برای بهسازی

### نحوه کاهش پتانسیل وقوع روانگرایی

- صرفنظر کردن از پروژه و یا تغییر محل آن
- قبول خطرات مربوطه با اجرای پروژه، عبارتی پذیرش ریسک
- طراحی در برابر روانگرایی بوسیله اصلاح شرایط خاک بستر
- ملاحظات ویژه طراحی سازه ای در پی‌ها

### کاهش خطرات روانگرایی بکمک روشهای ژئوتکنیکی

۱- گودبرداری و تعویض خاکهای مستعد روانگرایی

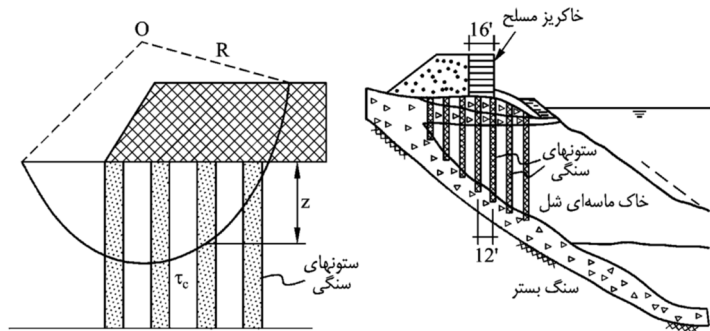
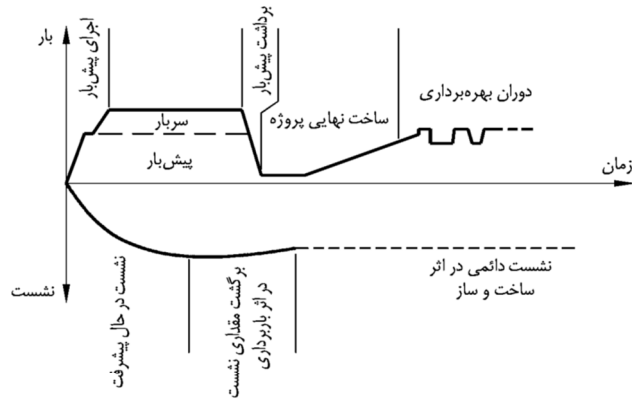
۲- چگالتز کردن خاکهای موجود

۳- تغییر ماهیت خاک

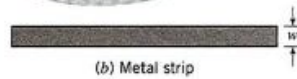
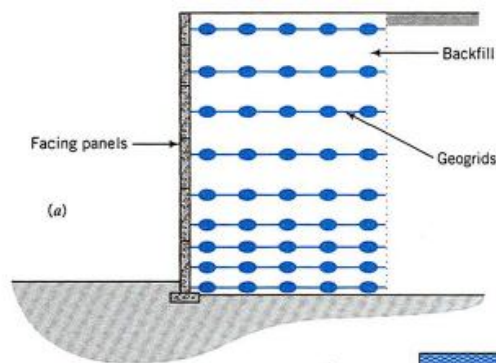
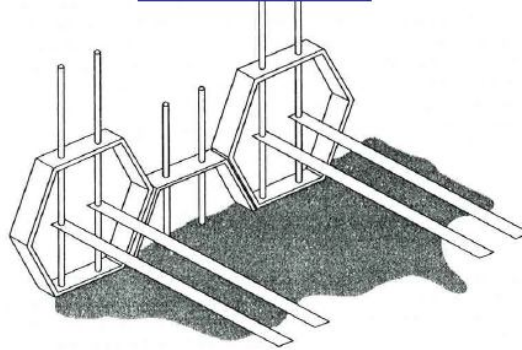
۴- زهکشی

### کاهش خطرات روانگرایی از طریق طراحی سازه ای

- پی های شبکه ای (نواری متعامد)
- پی های گسترده به شکل دال و تیر
- پی های صندوقه ای پس از گودبرداری خاک مستعد روانگرایی
- پی های عمیق و عبور از لایه روانگرا و اتکا به خاک و یا سنگ مناسب
- تلفیق پی های گسترده و ریز شمع ها



### شمایی از تکنیک خاک مسلح



### یک نمونه از خاک مسلح با ژئوتکستایل