بررسی سناریوهای پیش‌بینی فرونشست زمین ناشی از برداشت بی‌رویه منابع آب‌های زیرزمینی دشت تهران- شهریار تا افق ۱۴۱۰

سیدحمیدرضاحسینی[۱]، سیدحبیب موسوی جهرمی[۲*]، حسین محمد ولی سامانی[۳]

۱. دانشجوی دکتری مهندسی عمران- مهندسی مدیریت منابع آب، دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهر قدس، تهران- ایران

E- email: Seyed.hr.hosseini@gmail.com

۲*. استاد گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی شهر قدس، تهران- ایران. (نویسنده مسئول)

۳. استاد گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی شهر قدس، تهران- ایران.

E- email: hossein.samani@gmail.com

Simulation and analysis of land subsidence phenomenon using poroelasticity theory, case study: Tehran-Shahriar Plain

Seyed Hamidreza Hosseini[1], Seyed Habib Mousavi Jahromi[2*] , Hossein Mohammad Vali Samani[3]

1) Ph.D. Student in Civil Engineering - Water Resources Management Engineering, Faculty of Engineering, Islamic Azad University, Ghods Branch, Tehran – Iran

E- email: Seyed.hr.hosseini@gmail.com

۲*) Professor, Faculty of civil engineering, Islamic Azad University, Shahr-e-Qods Branch, Tehran, Iran.

E- email: H-Mousavi@srbiau.ac.ir

روداب ویرایش نشده

2) **Professor, Faculty of civil engineering, Islamic Azad University, Shahr-e-Qods Branch, Tehran, Iran.**
E- email: hossein.samani@gmail.com

زودآیند ویرایش نشده

چکیده

مقدمه: در سالیان اخیر پدیده فرونشست زمین، به‌عنوان یکی از آثار زیان‌بار کاهش تراز سطح آب زیرزمینی، همواره محل بحث و نگرانی جوامع بشری بوده، بنایراین این مسئله در کنار تشدید سایر چالش‌ها مانند تغییرات اقلیمی، نیازمند یافتن راه حل‌های علمی و متعاقبا طراحی و تدوین آینده پژوی‌های مختلف برای مواجه با شرایط احتمالی پیش‌رو در آینده با کمترین هزینه و آسیب‌های اقتصادی و اجتماعی است.

دشت شهریار، یکی از دشت‌های ممنوعه و بحرانی کشور است که از نظر صنعتی و کشاورزی نیز فعال می‌باشد، این دشت طی چندین سال گذشته تحت تاثیر پدیده فرونشست زمین بوده است. وجود شریان‌های حیاتی، مناطق اقتصادی، زیارتی و نظامی آنرا به منطقه‌ای استراتژیک تبدیل کرده است که هزینه عواقب زیان‌بار ناشی از فرونشست را دو چندان می‌کند. بنابراین پیش بینی احتمالات زمین ساختاری با اعمال شرایط و احتمال وقوع مختلف در شرایط گوناگون برای جلوگیری و آمادگی از کاهش عواقب سوءِ آن در نحوه اجرای برنامه‌های آتی مدیریت منابع آب بسیار حائز اهمیت می‌باشد.

روش: با استفاده از داده های زمین‌شناسی، ژئوتکنیکی و آب‌شناسی دشت در نرم‌افزار COMSOL، فرونشست در ۲۲ نقطه منتخب منطقه مطالعاتی را طی سنوات ۹۸-۱۳۸۲ محاسبه و پس از صحت سنجی و کسب تطابق بالا با داده‌های واقعی و تصاویر تداخل سنجی راداری ، میزان فرونشست تا سال ۱۴۱۰ تخمین زده شده است.

یافته‌ها: در این پژوهش سعی شده است با تکیه بر یافته‌های حاصل از پیش‌بینی فرونشست دشت تهران- شهریار تا افق ۱۴۱۰ و بر مبنای روش آینده پژوهی چندگانه(وضع موجود، بدبینانه، میانه و خوش بینانه)، به‌منظور سیاست‌گذاری و جهت‌دهی به اقدامات آینده در عرصه مدیریت منابع و مصارف آب ارائه گردد.

نتیجه‌گیری: نتیجه کلی نشان داد که نرخ فرونشست در سال‌های ابتدایی با نرخ بالاتری در لایه‌های بالایی سفره آبخوان ظاهر شده که به مرور زمان پس از پر شدن خلل و فرج بین ذرات خاک به سمت لایه‌های فوقانی‌تر سطح آبخوان، و در نهایت به سطح زمین منتهی می‌گردد. بنابراین تغییرات تراز آب‌زیرزمینی و جنس زمین از جمله عوامل موثر بر الگوی و نرخ فرونشست بوده‌اند.

واژه‌های کلیدی:

فرونشست،آینده پژوهی، تخصیص، تراز آب زیرزمینی، جنس زمین.

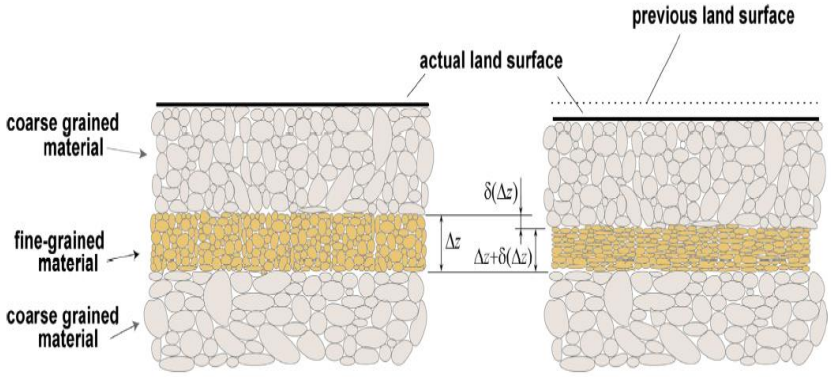
مقدمه

فرونشست زمین پذیرفته نشده

رشد جمعیت همراه با گسترش بی‌رویه در بهره‌برداری از منابع آب‌های زیرزمینی با هدف گسترش مصارف در کشاورزی، صنعت و شرب در کنار تغییرات اقلیمی و خشکسالی‌های فزاینده، پی آمدهای نامطلوبی را در جنبه‌های کمی و کیفی منابع آب به همراه داشته است[۱].

یکی از جنبه‌های منفی و فاجعه‌بار افزایش کسری آبخوان‌ها، پدیده فرونشست زمین است[۲]. که متاسفانه روندی افزایشی طی سال‌های اخیر داشته است که عمدتا به‌دلیل افزایش تنش عمودی موثر خاک در نتیجه کاهش فشاری منفذی رخ می‌دهد[۳].

طبق شکل ۱ این نوع از فرونشست در نتیجه افزایش بی‌رویه برداشت از آبخوان و افزایش کسری آنها ایجاد می‌شود[۴]. بنابراین در صورت اتمام و یا کاهش این حجم از آب، به‌صورت تدریجی لایه‌های خاک که عمدتا از رسوبات ریزدانه هستند بر همدیگر فشرده می‌شوند. در اثر این رخداد، سطح زمین به سطح جدید پایین‌تری می‌رسد[۵]. اثرات ناشی از این رخداد شوم در بلندمدت باعث پرداخت هزینه‌های کلان و هنگفتی جهت جبران تاثیرات مخرب آن می‌گردد[۶]. البته در بسیاری از موارد جبران خسارات وارده به‌دلیل عدم برگشت‌ناپذیر بودن رفتار طبیعی این رخداد، نامحتمل و تقریبا ناممکن می‌باشد[۷]. بنابراین تحقیق، مطالعه و ارائه آینده پژوی‌های متفاوت با احتمال وقوع بسیار زیاد با تکیه بر یافته های مدون در خصوص مدیریت بهینه منابع و مصارف آب‌های زیرزمینی بسیار مهم و ارزشمند است[۸].



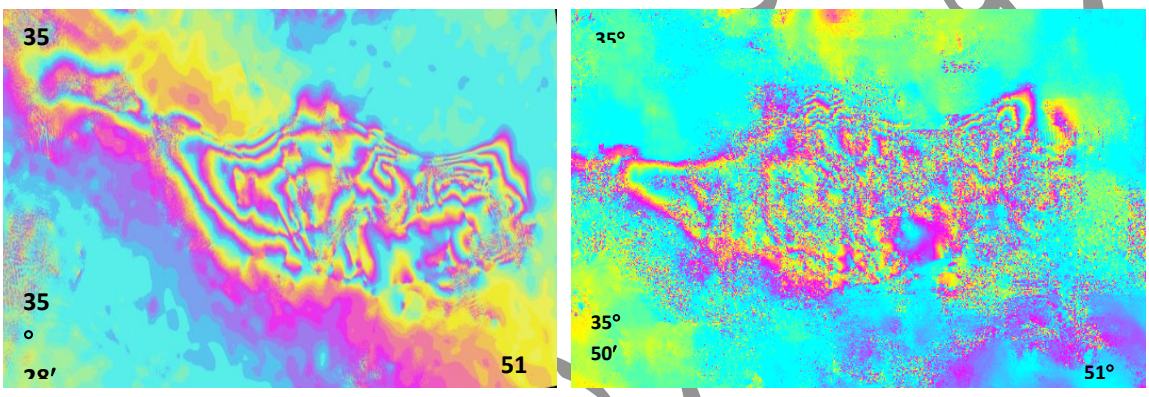
شکل۱-کاهش فشار حفره‌ای و ازدیاد تنش موثر و ایجاد فرونشست(محمدپور،۱۳۹۵)

امروزه پدیده شوم فرونشست به‌صورت مشکلی جهانی بروز نموده که در مناطق خشک و نیمه‌خشک نمود بیشتری پیدا می‌کند. حدود ۱۵۰ شهر از شهرهای بزرگ جهان را به‌نحوی با این پدیده درگیر می‌داند[۹]. این پدیده در بسیاری از کشورها مانند مکزیک، استرالیا، کلمبیا، چین، آمریکا، تایلند، هند، ژاپن، ایتالیا، هلند، ونزوئلا، مصر، عربستان سعودی، انگلستان، فرانسه، لهستان و سوئد گزارش شده است[۱۰].

در ایران، اولین دشتی که فرونشست زمین در اثر افت سطح آب زیرزمینی در آن گزارش شده است، دشت رفسنجان در سال ۱۳۴۶ شمسی است که به ازای هر ۱۰ متر افت سطح آب زیرزمینی، حدود ۴۲ سانتی‌متر فرونشست سطح زمین برای آن گزارش شده است[۱۱]. از آن زمان تاکنون دشت‌های فراوانی در اثر برداشت بی‌رویه آب‌های زیرزمینی درگیر این مساله شده‌اند که می‌توان از دشت‌های مهیار اصفهان، کاشمر، نیشابور، مشهد، کاشان، ورامین، تهران، سمنان، سبزوار، سیرجان، کبودر آهنگ و فامنین همدان نام برد. برای تعدادی از استان‌ها مانند سمنان، تهران(مناطق جنوب‌غربی و شرقی) و خراسان رضوی مقداری معادل ۲ تا ۴ سانتی‌متر فرونشست ثبت شده است. این نرخ از فرونشست برای کلان شهری مانند تهران به دلیل تراکم باالای جمعیتی و وجود پروژه‌های عظیم عمرانی و صنعتی، زنگ خطری جدی تلقی می‌شود[۱۲].

دشت تهران- شهریار، یکی از دشت‌های ممنوعه و بحرانی کشور است که از نظر صنعتی و کشاورزی نیز فعال می‌باشد و در گستره جنوب باختری تهران واقع شده است.

در پژوهشی که با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای راادار در روش InSAR ، پیرامون شهر تهران انجام شده، دو منطقه اصلی فرونشست مورد شناسایی قرار گرفته‌اند که یکی در جنوب باختری تهران و دیگری در جنوب دشت ورامین واقع می‌باشند[۱۳]. در شکل ۲ نخستین بررسی‌های راادار دشت مورد نظر در بازه سپتامبر ۲۰۰۴ تا مارس ۲۰۰۶ انجام گردیده است (شکل ۸–الف) که بیشینه نرخ فرونشست ۱۶/۵ سانتی‌متر بر سال را نشان می دهد. وسعت ناحیه فرونشستی بالغ بر ۴۱۵/۶۴ کیلومتر مربع می‌باشد. از سوی دیگر، آخرین تحلیل راداری ناحیه مطالعاتی (شکل ۸–ب) نشان می‌دهد که بیشینه نرخ فرونشست در یک دوره ۱۱۰ روزه (بهار تا تابستان ۲۰۱۰) حدود ۱۱۰ میلی‌متر می‌باشد. این بدین معنی است که در نقطه بیشینه نرخ فرونشست، روزانه حدود ۱ میلی‌متر جابجایی در بازه زمانی بهار و تابستان ۱۳۸۹ رخ داده است. همچنین بیشینه نرخ فرونشست استخراج شده برای این ناحیه در بازه زمانی ۲۰۱۰–۲۰۰۷ حدود ۵۹ سانتی‌متر است[۱۴].



(شکل ۸– الف) (شکل ۸– ب)

شکل ۲– تصاویر تداخل سنجی راداری دشت تهران– شهریار الف) محدوده فرونشست در سال ۲۰۰۴ ، ب) محدوده فرونشست در سال ۲۰۱۰(سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی، ۱۳۹۲)

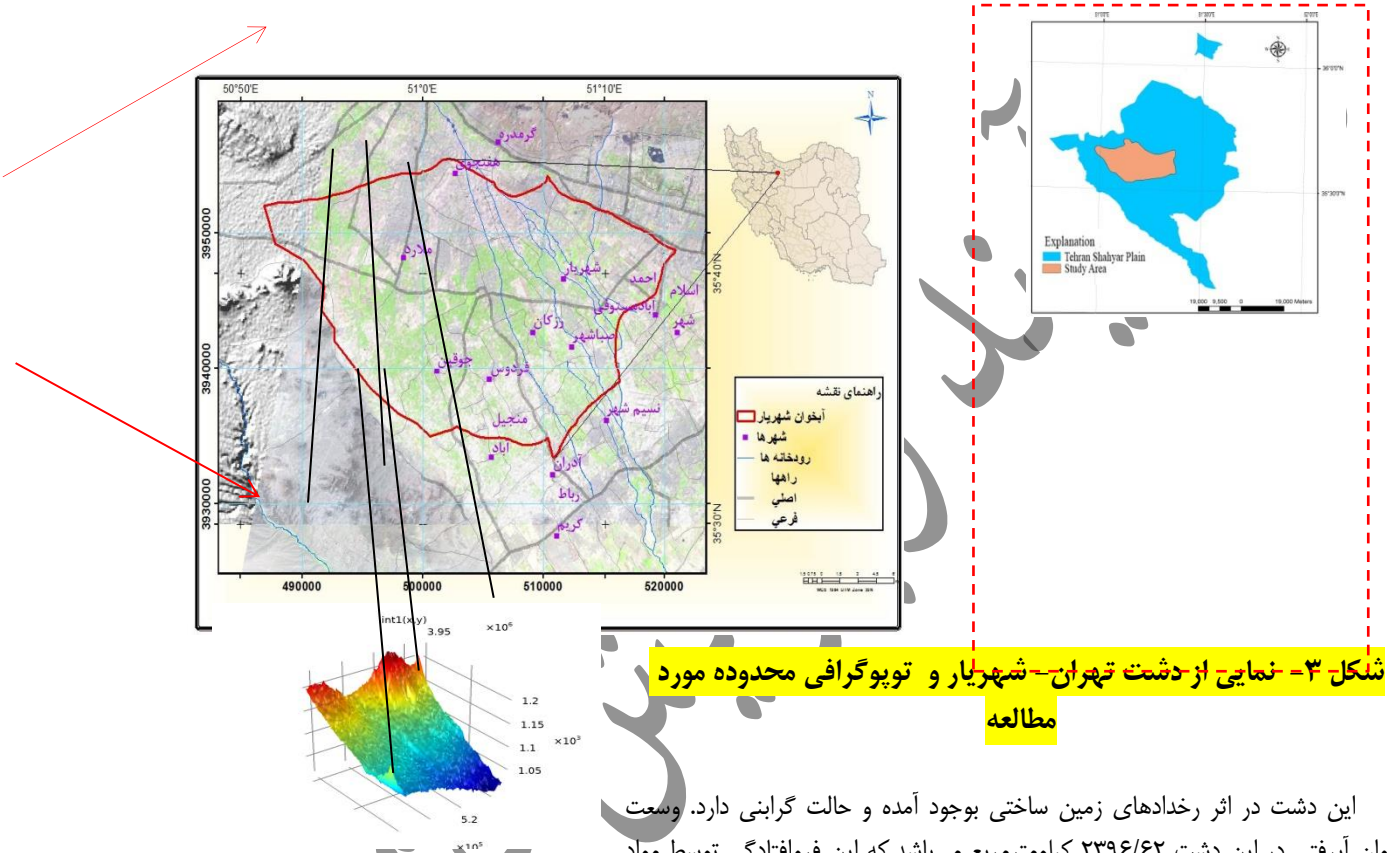
در مطالعه‌ای دیگری با عنوان بررسی و تحلیل اثرات اجرای طرح شبکه آب جمع آوری فاضلاب بر منابع آب و نشست زمین در شهر تهران، که با همکاری شرکت آب منطقه‌ای تهران انجام یافته است، حاکی از آنست که در سال های اخیر نرخ فرونشست در مناطق ۱۷، ۱۸، ۱۹ و۲۰ شهرداری تهران افزایش یافته و در برخی مناطق نیز گسترش پهنه ی فرونشست به سمت مناطق ۱۰ و ۲۰ شهرداری مشاهده می‌شود. همچنین شهرهای اسلامشهر، شهریار، چهاردانگه، نسیم‌شهر، صباشهر و کهریزک تحت تاثیر فرونشست دشت تهران قرار دارند. بیشینه مقدار فرونشست در برخی از مناطق دشت تهران، ۳۶ سانتی‌متر در سال می‌باشد[۱۵].

در پژوهشی، فرونشست دشت ایذه با استفاده از کد ریاضیMODFLOW مدل‌سازی گردید. در این مطالعه بارش سالانه حوزه در دوره‌های آتی تحت سناریوهای مختلف با ۷/۲، ۱۸/۷۱ و ۲۳/۷ درصد کاهش مواجه بوده که به‌صورت کاهش تغذیه سطحی آبخوان نمود پیدا می‌نماید. نتیجه حاکی از آن است که مدل ریاضی استفاده شده جهت شبیه‌سازی آبخوان ایذه دارای خطای ۱۶ درصد می‌باشد. بررسی تغییرات عمودی ساختار زمین نیز نشان داده است در بلند مدت ۲۰ ساله با فرضیات اقلیمی مطرح شده، سطح آبخوان مجموعا حداکثر تا ۱/۵ و حداقل ۰/۹ متر فرونشست رخ می‌دهد[۱۶].

مواد و روش‌ها

دشت تهران- شهریار واقع در استان تهران می‌باشد. این دشت شامل بخش منتخبی از کل پهنه آبرفتی از شرق دشت تهران تا محدوده رودخانه کرج با مساحت حدود ۱۷۲۰ کیلومتر مربع می‌باشد که در شکل ۳ با رنگ آبی نشان داده شده است. محدوده مورد مطالعه در این پژوهش قسمت مرکزی این دشت می‌باشد که با رنگ قرمز در شکل مشخص شده است.

این محدوده به مساحت ۳۵۹/۶ کیلومتر مربع در حد فاصل ’۵۲ و °۳۹ تا ’۳۱ و °۳۹ طول شرقی و ’۵۰ و °۵۳ تا ’۵۰ و °۵۰ عرض شمالی واقع شده است. میانگین بارش سالانه دشت حدود ۲۰۰ میلی متر و میانگین تبخیر سالانه حدود ۲۵۰۰ میلی‌متر است[۱۷].



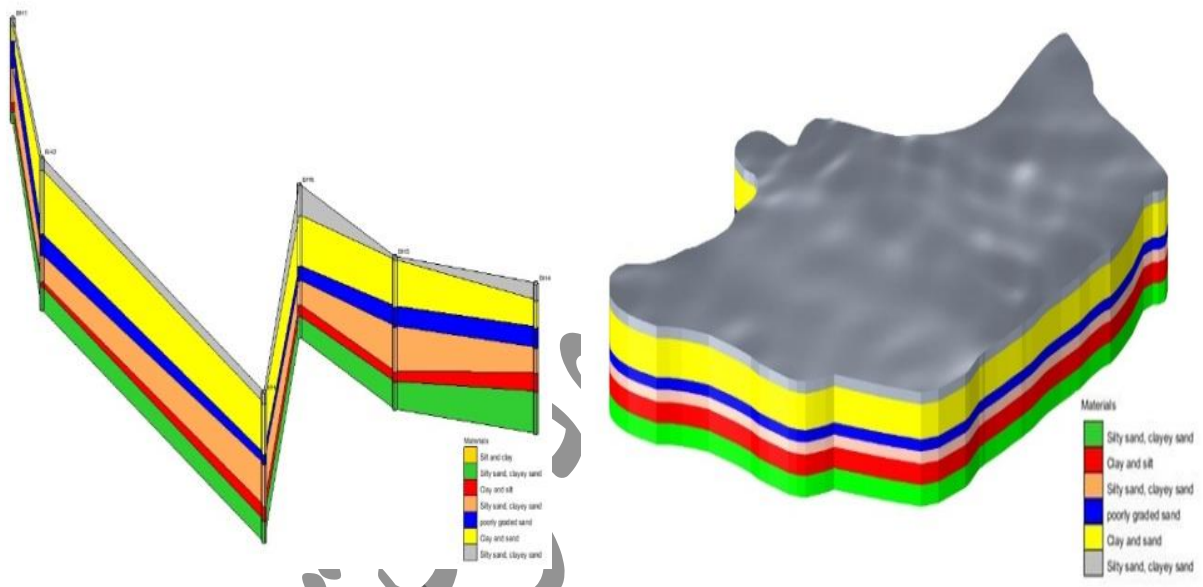
شکل ۳- نمایی از دشت تهران- شهریار و توپوگرافی محدوده مورد مطالعه

این دشت در اثر رخدادهای زمین ساختی بوجود آمده و حالت گرابنی دارد. وسعت آبخوان آبرفتی در این دشت ۲۳۹۶/۶۲ کیلومترمربع می‌باشد.که این فروافتادگی توسط مواد حمل شده از ارتفاعات مجاور بوسیله آب‌های جاری (بویژه رودخانه های کن، کرج و چیتگر) پر شده است. از مهمترین منبع تغذیه آبخوان منطقه رودخانه‌های دائمی و فصلی هستند که در ابتدای ورود به دشت بر روی مخروط افکنه‌های دانه درشت حرکت نموده و سپس وارد نواحی مرکزی و انتهایی دشت که از مواد دانه ریز سیلتی و رسی تشکیل شده، می‌گردند.

طبق شکل ۴ به لحاظ ویژگی‌های خاص تکتونیکی و زمین‌شناسی، آبخوان این محدوده را می‌توان به سه بخش کاملا متمایز تفکیک نمود. بدین معنی که در بخش‌های شمالی دشت سفره‌ها اکثرا منفرد و موضعی با پتانسیل ضعیف و در بخش جنوبی آن همراه با نیمه غربی دشت آبخوان اصلی و یکپارچه گسترش دارد. همچنین در اراضی فشافویه واقع در جنوب محدوده مطالعاتی آبخوان آبرفتی جداگانه‌ای وجود دارد. در اراضی واقع در شرق رودخانه کن آبخوان آبرفتی از نظر نوع و شکل آبخوان از نوع آزاد تشخیص داده شده و تنها در بخش‌های جنوبی به دلیل گسترش لایه‌های ریزدانه و نهشته‌های رسی کهریزک و عملکرد گسل‌های ناحیه که سبب روراندگی‌هایی شده است، امکان تشکیل سفره‌های تحت‌فشار در این محدوده وجود دارد[۱۸].

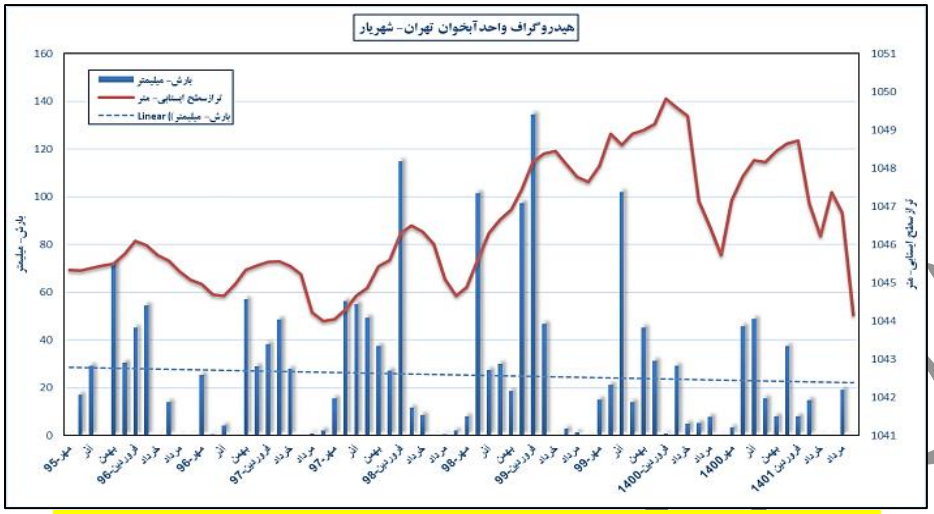
از نظر جنس و اندازه ذرات آبخوان، با توجه به فاصله کم از محورهای رسوب‌گذاری ذرات عموماً دانه درشت و زاویه‌دار و با سیمان ضعیف می‌باشند و در مجموع در حواشی مسیل‌ها و رودخانه‌ها بافت ذرات درشت‌تر و از این محور به طرفین و پائین دست ذرات ریزتر می‌گردند.

از نظر شیب هیدرولیکی و جبهه‌های تغذیه و تخلیه، با توجه به شیب عمومی این ناحیه، جبهه‌های تغذیه کننده آبخوان‌های این نواحی در امتداد ارتفاعات شمیران گسترش داشته و با توجه به شیب سنگ‌کف ناحیه،گرادیان هیدرولیکی این بخش زیاد و جبهه‌های تخلیه کننده آن (خروجی آب‌زیرزمینی) با توجه به اختلاف توپوگرافی زیاد با بخش پائین‌دست، به صورت سرریز به آبخوان اصلی خواهد بود. ضمن آنکه گسل‌های متعدد و پراکنده در این نواحی نقش زهکشی و انتقال و هدایت آب از بخش‌های دیگر از این نواحی را به عهده دارند.



شکل ۴- مدل زمین‌شناسی و توپوگرافی دشت تهران-شهریار

درشکل ۵ آبنمود معرف آبخوان دشت مربوط به سال آبی ۱۴۰۱-۱۳۹۵ با استفاده از آمار ماهیانه نوسانات سطح آب زیرزمینی ۵۵ حلقه چاه مشاهده‌ای و مساحت شبکه تیسن مربوطه رسم شده است. در مهرماه سال ۱۳۹۵ ارتفاع مطلق سطح آب‌زیرزمینی برابر ۱۰۴۵/۳۳ متر و در شهریورماه سال ۱۴۰۱ ارتفاع مطلق سطح آب‌زیرزمینی برابر۱۰۴۴/۱۵ متر است براساس آبنمود تهیه شده در طول دورهٔ آماری ۶ ساله سطح آب‌زیرزمینی ۱/۱۸ متر افت نموده که این پدیده به‌علت کاهش بارندگی و افزایش برداشت از آبخوان آبرفتی اتفاق افتاده است[۱۹].



شکل ۵- آبنمود واحد آبخوان تهران- شهریار (شرکت آب منطقه ای تهران – ۱۳۹۹)

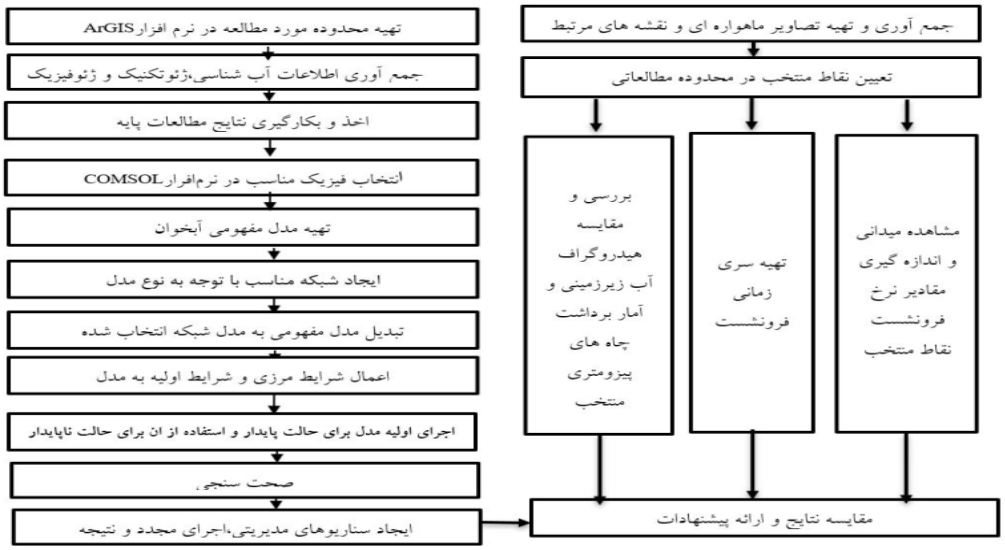
روش کار

هدف اصلی این تحقیق، شناخت، بررسی و درک صحیح از رفتار زمین در اثر تغییرات تراز سطح آب زیرزمینی در شرایط مختلف آتی است که به‌طور خاص پدیده فرونشست زمین می‌نامند که برای دستیابی به برنامه‌های استوار و راهبردی در مدیریت بهینه منابع آب می باشد.

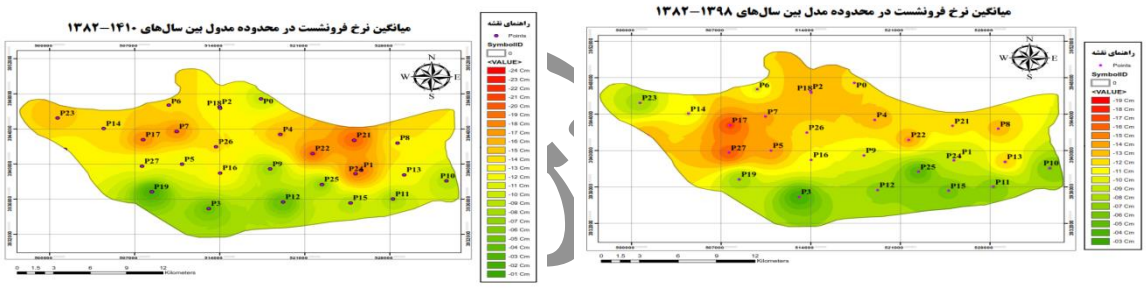
طبق فلوچارت ۶ جهت پیش بینی فرونشست از داده‌های زمین‌شناسی، ژئوتکنیکی و آب‌شناسی ناحیه به تفکیک در قسمت مربوطه نرم‌افزار COMSOL وارد گردید. سپس سه لایه مجزا شامل لایه های سطح، میانی و کف برای محدوده تعریف گردید که لایه سطح بصورت آزاد و لایه کف بصورت ناتروا می‌باشد بگونه‌ای که هیچ‌گونه تراوشی از آن صورت نمی‌پذیرد. لایه میانی نیز تا حدود زیادی ناتروا بوده که باعث می‌شود سفره بالایی دارای هد ثابت باشد.

بر اساس شکل ۷، داده‌ها فرونشست زمین از سال ۱۳۸۲ تا ۱۳۹۸ در ۲۲ نقطه انتخابی (منطبق بر محل پیزومترها) تخمین زده شد. همچنین طبق شکل ۸ جهت صحت‌سنجی، تصاویر تداخل‌سنجی راداری Sentinel 1 محدوده در سال‌های سال ۹۵-۱۳۸۲، با نقشه‌های متناظر هم‌نشست خروجی نرم‌افزار COMSOL مقایسه گردید. در مقایسه تصاویر و نقشه‌ها پهنه‌بندی فرونشست تطابق قابل قبولی از نظر پهنه‌ی فرونشست بین نقشه‌ها ملاحظه گردید.

ویرایش شده

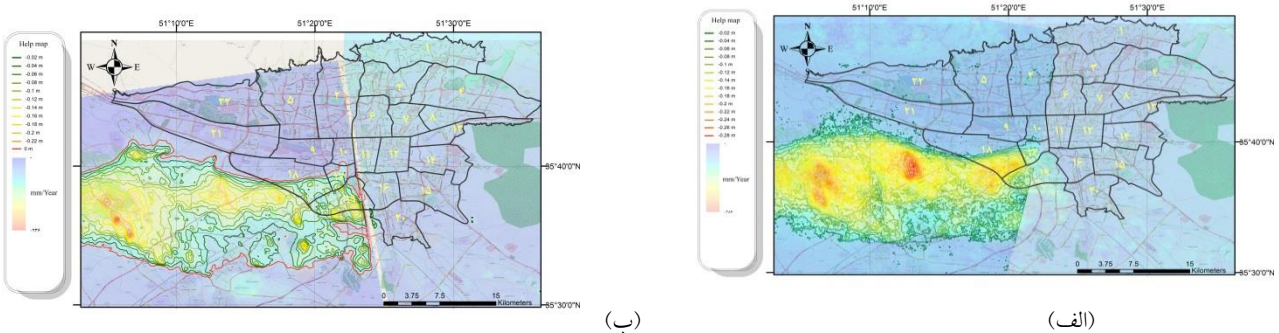


شکل ۶- فلوچارت پیش‌بینی نرخ فرونشست توسط نرم افزار COMSOL



(الف) (ب)

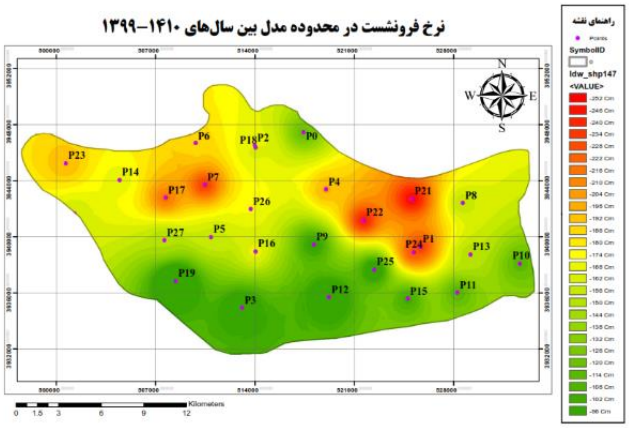
شکل۷- نقشه های هم نشست در محدوده مدل سال های ۸۵ و د) ۱۳۹۵



(الف) (ب)

شکل۸- نقشه فرونشست محدوده با استفاده از تصاویر تداخل سنجی راداری Sentinel 1 در سال های الف) ۸۵، ب)۱۳۹۵

در ادامه طبق شکل ۹ توسط نرم افزار مربوطه، پیش‌بینی نرخ فرونشست طی سال ۱۳۹۹ تا ۱۴۱۰ در منطقه مورد مطالعه انجام می‌گردد.



شکل ۹- نقشه تغییرات نرخ فرونشست طی سال‌های ۱۴۱۰-۱۳۹۹

همان‌طور که قبلا به آن اشاره گردید علت اصلی ایجاد فرونشست در گستره مورد مطالعه افت سالیانه سطح آب زیرزمینی است[۲۰]. تا سال ۱۳۹۸ میزان افت آب زیرزمینی در بعضی قسمت‌های منطقه مورد مطالعه، به حدود ۳۰ متر می‌رسد و پیش‌بینی افت سطح تراز آب زیرزمینی با ادامه روند فعلی، در سال ۱۴۱۰ حدود ۴۰ متر می‌باشد. لذا با توجه به این‌که پتانسیل فرونشست زمین در قسمت‌های مرکزی و جنوبی دشت بیشتر است، در نتیجه فرونشست زمین در این قسمت‌ها بـــا سرعت بیشتری در حال رخ دادن است، بنابراین فرونشست زمین از قسمت‌های شمالی و مرکزی دشت به قسمت‌های جنوبی و جنوب‌شرقی در حال گسترش است، به‌نحویکه در سال ۱۴۱۰ تقریبا یک سوم گستره مورد مطالعاتی متاثر از اثرات فرونشست یا نرخ بالا حدود ۱۹ سانتی‌متر و کمینه حدود ۹ سانتی‌مترخواهد بود. این میزان فرونشست زمین در بعضی نقاط، منجر به ایجاد ترک‌ها و شکاف‌هایی در ساختمان‌ها و زمین‌های کشاورزی شده است، همچنین نفوذ آب باران و آب‌های سطحی به درون ترک‌ها در آینده منجر به گسترش این ترک‌ها خواهد شد[۲۱]. بنابراین پیش بینی احتمالات زمین ساختاری با اعمال شرایط و احتمال وقوع مختلف در شرایط گوناگون برای جلوگیری و آمادگی از عواقب سوءِ آن در نحوه اجرای برنامه‌های آتی مدیریت منابع آب بسیار حائز اهمیت می‌باشد[۲۲].

آینده پژوهی

دستاورد نهایی تمامی روش‌های آینده‌پژوهی، سناریوست. در واقع روشی است برای شناسایی و تحلیل وضعیت‌های مختلف یک پدیده با گزینه‌های بدیل و ممکن در آینده، که احتمال وقوع آنها در شرایط گوناگون، متفاوت خواهد بود[۲۳]. با تکیه بر یافته‌های حاصل از تحقیقات حاضر و بر مبنای روش‌های مرسوم آینده پژوهی، طبق جدول ۱ آینده پژوهی‌های چندگانه به‌منظور سیاست‌گذاری و جهت‌دهی به اقدامات آینده در عرصه مدیریت بهینه منابع آب دشت تهران- شهریار ارائه گردید.

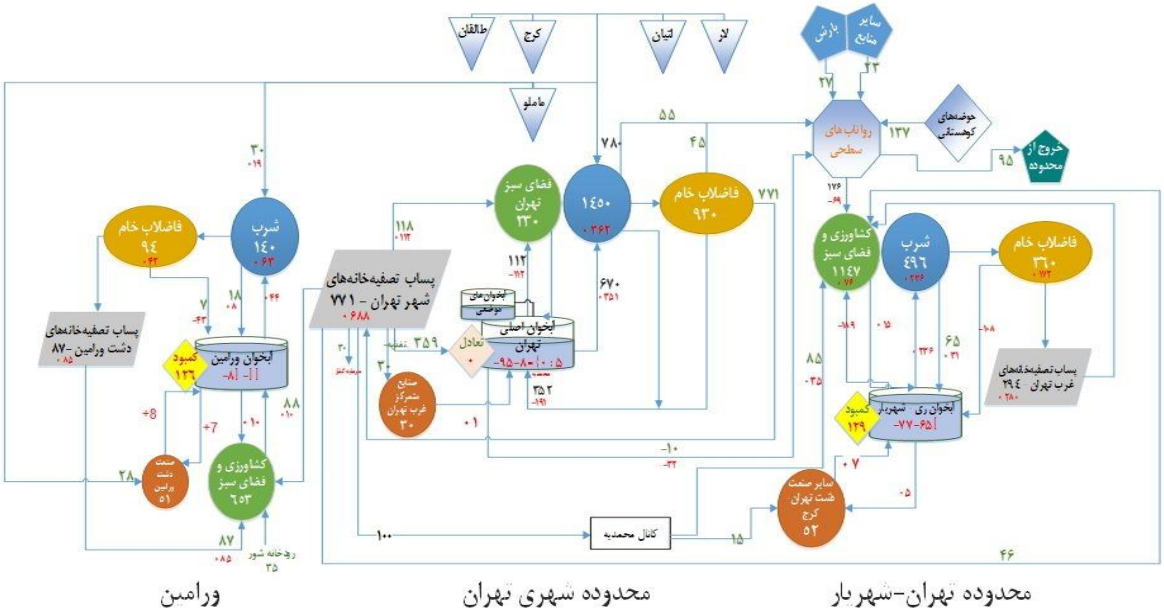
جدول ۱- آینده پژوهای تعریف شده

علامت اختصاری	عنوان آینده پژوهی	شرح آینده پژوهی
RS	وضع موجود Reference Scenario	ادامه شرایط موجود با اعمال سنوات گذشته
NCS	بدبینانه(غیرمحافظه کارانه) Non-Conservation Scenario	سرانه حجم مصارف آب کاهش نیافته و افزایش منابع آب سطحی و زیرزمینی دشت محقق نگردیده و در حدود سال‌های اخیر می‌باشد.
CS	میانه(محافظه کارانه) Conservation Scenario	۵۰ درصد از افزایش ظرفیت تامین آب سطحی برنامه‌ریزی شده برای سال ۱۴۱۰ و بخشی از کاهش سرانه آب در نظر گرفته شده محقق گردد.
FDS	خوش‌بینانه(توسعه کامل) Fll Development Scenario	۱۰۰ درصد مصارف در نظر گرفته از منابع آب سطحی و زیرزمینی تامین گردد.

تخصیص در آینده پژوهی بدبینانه

در طراحی این آینده پژوهی در یک نگاه بدبینانه فرض شده است که وضعیت موجود مصارف ادامه یافته و تغییری نیز در میزان تامین از منابع آب سطحی حاصل نشود. در سال‌های اخیر حداقل سرانه تامین آب در حدود ۳۴۸ لیتر در روز بوده است که درسال‌های ۹۲، ۹۳ و ۱۳۹۵ محقق شده است. لذا در این سناریو فرض شده است که در سال ۱۴۱۰ نیز سرانه تامین آب برابر با همین مقدار باشد که در این صورت میزان کل تامین آب مورد نیاز برای شهر تهران برابر ۱۴۵۰ میلیون مترمکعب خواهد بود. در این حالت فرض شده است ضریب تلفات فیزیکی و تبدیل آب به فاضلاب مطابق با فرض‌های طرح جامع فاضلاب ثابت باقی بماند. لذا با در نظر گرفتن مقادیر ثابت برای سایر ضرایب بیلان آب تا پساب، میزان پساب قابل برنامه‌ریزی برابر با ۷۷۱ میلیون مترمکعب خواهد بود. همچنین با در نظر گرفتن بیلان رواناب‌های سطحی، میزان خروجی رواناب سطحی از ۲۵۹ میلیون مترمکعب به ۲۷۰ میلیون مترمکعب افزایش خواهد داشت که حدود ۱۷۶ میلیون مترمکعب آن می‌تواند برای تامین نیاز اراضی کشاورزی جنوب تهران به کار برده شود. همچنین در این آینده پژوهی فرض شده است که برنامه‌های انتقال و افزایش ظرفیت تامین آب شهر تهران از منابع آب سطحی تا سال ۱۴۱۰ تحقق پیدا نکند. در این حالت برای تعیین میزان تامین از منابع آب سطحی، متوسط ۲۸ سال اخیر برای سدهای کرج، لار و لتیان برابر با ۵۹۵ میلیون مترمکعب و برای سدهای طالقان و ماملو برابر با ظرفیت تعیین شده یعنی ۱۸۵ میلیون مترمکعب در نظر گرفته شده است. لازم به توضیح است که قبل از ۲۸ سال اخیر، میزان تامین آب سدهای لار و لتیان با مقادیر فعلی تفاوت قابل توجهی داشته است لذا در محاسبه، میانگین تامین آب این سدها مدنظر قرار نگرفته است. با توجه به توضیحات بالا میزان تامین آب منابع سطحی برابر با ۷۸۰ میلیون مترمکعب و تامین از منابع آب زیرزمینی ۶۷۰ میلیون مترمکعب خواهد بود. از آنجائیکه تاکید مطالعه حاضر بر وضعیت کلان شهر تهران است، وضعیت سایر مناطق مطابق با فرض‌های قبلی در نظر گرفته شده است و نیاز سایر بخش‌های صنعت، کشاورزی و فضای سبز نیز ثابت در نظر گرفته شده است.

در شکل ۱۰ وضعیت سیستم در این آینده پژوهی ارائه شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، در این آینده پژوهی، کمبودهای پیش‌بینی شده ۱۳۹ میلیون مترمکعب در دشت تهران– شهریار افزایش خواهد یافت. که جز با کاهش نیاز خالص آبی کشاورزی به طریق تغییر الگوی کشت و یا سطح زیرکشت تا حدود ۲۰ درصد راهکاری برای جبران آن به نظر نمی‌رسد. البته باید توجه داشت که اگر کاهش نیاز کشاورزی با افزایش راندمان اتفاق بیافتد، به دلیل کاهش میزان آب برگشتی به آبخوان ، اثرگذاری بر وضعیت آبخوان محدودتر بوده و کاهش بیشتری بسته به میزان افزایش راندمان در نیاز کشاورزی باید مدنظر قرار گیرد. به عبارت دیگر مشکل صرفا با افزایش راندمان مرتفع نشده و کاهش سطح زیرکشت و یا الگوی کشت ضروری است. با توجه به اولویت‌های و الزام تامین آب بخش کشاورزی در هریک از این قسمت‌های دشت، می‌توان در جهت برنامه‌ریزی مدون و علمی کاهش نیاز خالص این بخش در شرایط آتی اقدام نمود.



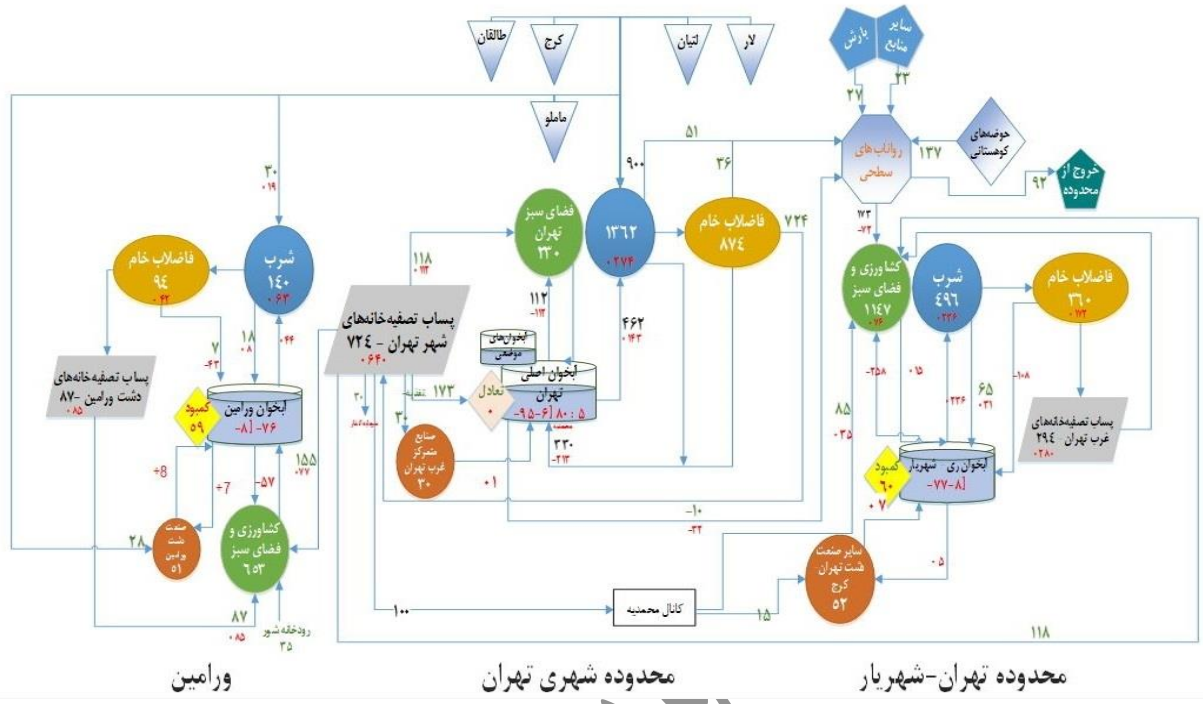
شکل۱۰- سیمای منابع و مصارف در دشت‌های تهران- شهریار در شرایط آتی با در نظر گرفتن آینده پژوهی بدبینانه

تخصیص در آینده پژوهی میانه

در این آینده پژوهی، فرض شده است که در سال ۱۴۱۰ سرانه تامین آب، متوسط مقدار فعلی و پیش‌بینی شده در طرح جامع فاضلاب شهر تهران یعنی برابر با ۳۲۷ لیتر به ازای هر نفر در شبانه روز باشد. در این صورت میزان کل تامین آب مورد نیاز در سال ۱۴۱۰ برابر ۱۳۶۲ میلیون مترمکعب برای شهر تهران خواهد بود. در این حالت فرض شده است ضریب تلفات فیزیکی و تبدیل آب به فاضلاب مطابق با فرض‌های طرح جامع فاضلاب ثابت باقی بماند. لذا با در نظر گرفتن مقادیر ثابت برای سایر ضرایب بیلان آب تا پساب میزان پساب قابل برنامه‌ریزی برابر با ۷۲۴ میلیون مترمکعب خواهد بود و میزان جریان ورودی به آبخوان نیز برابر با ۳۳۰ میلیون مترمکعب خواهد بود. همچنین با در نظر گرفتن بیلان رواناب‌های سطحی، میزان خروجی رواناب سطحی از ۲۵۹ میلیون مترمکعب به ۲۶۴ میلیون مترمکعب افزایش خواهد داشت که حدود ۱۷۳ میلیون مترمکعب آن می‌تواند برای تامین نیاز اراضی کشاورزی جنوب تهران به‌کار برده شود.

همچنین در این آینده پژوهی فرض شده است که تنها ۵۰٪ از آب تامینی پیش‌بینی شده از برنامه‌های انتقال و افزایش ظرفیت تامین آب از منابع آب سطحی تا سال ۱۴۱۰ تحقق پیدا کند. در این آینده پژوهی میزان تامین آب منابع سطحی برابر با ۹۰۰ میلیون مترمکعب و تامین از منابع آب زیرزمینی ۴۶۲ میلیون مترمکعب خواهد بود. وضعیت سایر مناطق مطابق با فرض‌های قبلی در نظر گرفته شده است و نیاز سایر بخش‌های صنعت، کشاورزی و فضای سبز نیز ثابت فرض شده است. در شکل ۱۱ وضعیت سیستم در این آینده پژوهی ارائه شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود، در این آینده پژوهی، کمبود به حدود ۶۰ میلیون مترمکعب افزایش خواهد یافت. که با کاهش کمتر از ۱۰٪ نیازخالص کشاورزی در دشت تهران- شهریار (تغییر الگو یا سطح زیرکشت) و نیز مدیریت و ذخیره‌سازی رواناب‌های سطحی در جنوب تهران (تا حدود ۶۰ میلیون مترمکعب) به راحتی قابل جبران است. البته با توجه به نوسانات رواناب‌های سطحی، توصیه کاهش نیاز خالص کشاورزی، افزایش راندمان و کاهش سطح زیر کشت در دشت همچنان مورد تاکید است.

ویرایش نشده

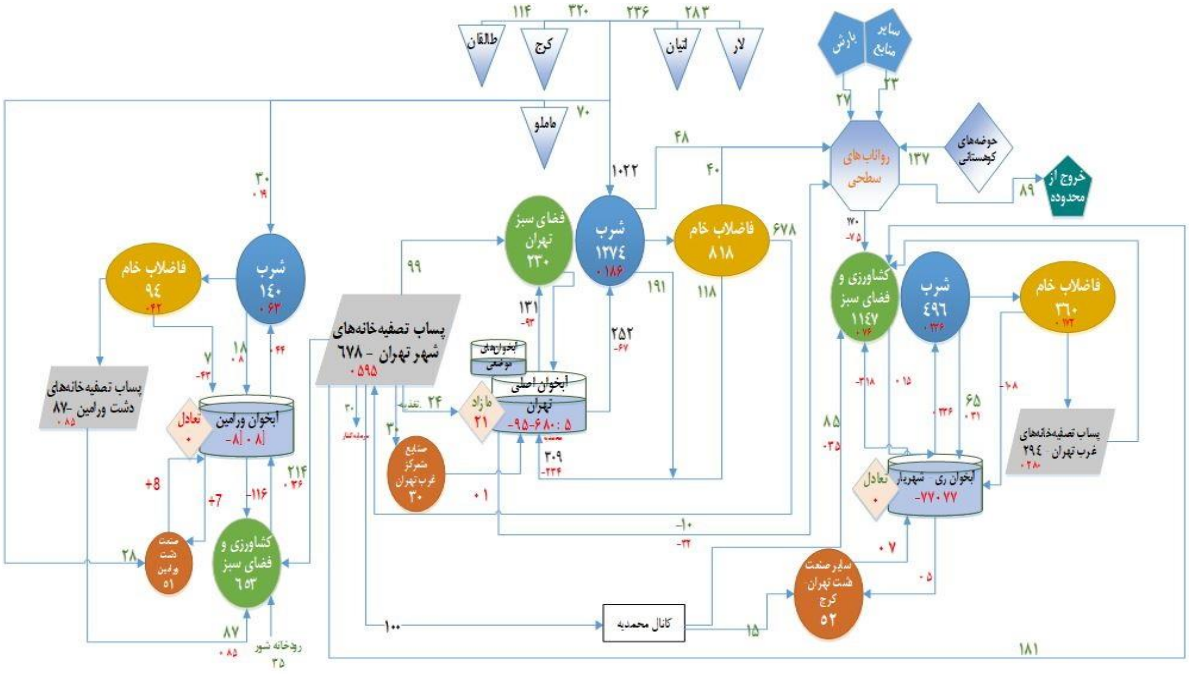


شکل۱۱- سیمای منابع و مصارف در دشت‌های تهران-شهریار در شرایط آتی با در نظر گرفتن آینده پژوهی میانه

تخصیص در آینده پژوهی خوش‌بینانه

درشکل ۱۲ سیمای منابع و مصارف در محدوده مطالعاتی کل استان تهران بدلیل مدیریت یکپارچه منابع آب(انتقال و توزیع) و در افق سال ۱۴۱۰ با لحاظ کردن برنامه‌ریزی و تخصیص‌های پیشنهادی و با در نظر گرفتن تمامی منابع تولید و مصارف ارائه شده است. در این آینده پژوهی کلیه نیازها در محدوده دشت تهران- شهریار تامین شده است. با توجه به اینکه تامین ۱۰۰ درصدی منابع آب سطحی و زیرزمینی مصارف در نظر گرفته شده این مهم برای دشت در افق سال ۱۴۱۰ خوش‌بینانه به نظر می‌رسد، در آینده پژوهی خوش‌بینانه احتمال وقوع شرایط در نظر گرفته شده با واقعی فاصله خواهد داشت که این امر باید در ارزیابی وضعیت آتی سیستم مدنظر قرار گیرد. با این هدف دو آینده پژوهی بدبینانه و میانه نیز برای سیستم در سال ۱۴۱۰ در نظر گرفته شد.

بازبینی نشده

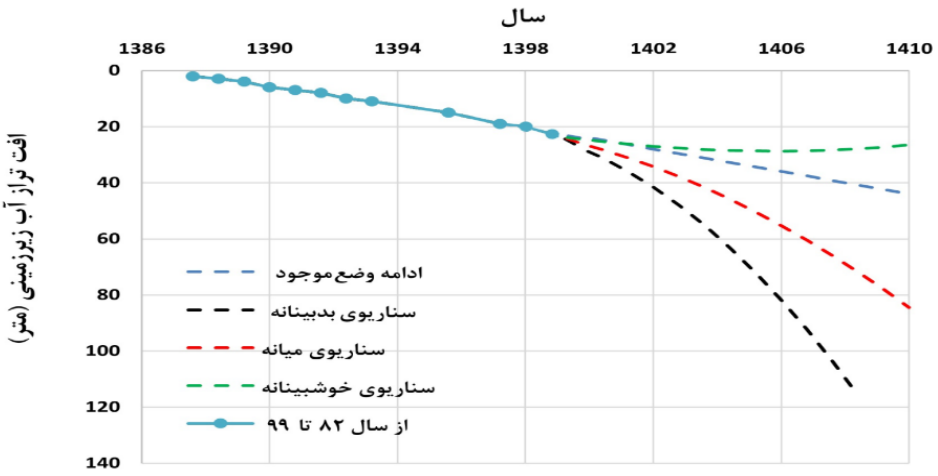


شکل ۱۲- سیمای منابع و مصارف در دشت‌های تهران-کرج و ورامین در شرایط آتی با در نظر گرفتن آینده پژوهی خوش‌بینانه

تغییرات تراز آب زیرزمینی

با توجه به آینده پژوهی پیشنهاد شده برای تخصیص می‌توان تغییرات ایجاد شده در حجم آبخوان را به تغییرات سالانه تراز آب زیرزمینی آبخوان مرتبط کرد. بر این اساس، با فرض اینکه تغییرات تراز آبخوان در محدوده فرونشستی با تغییرات تراز آبخوان در کل دشت تهران- شهریار یکسان باشد در شکل ۱۳ تغییرات سطح ایستابی آبخوان در آینده پژوهی مختلف برای محدوده فرونشستی در دشت تا سال ۱۴۱۰ پیش بینی شده است. تغییرات تراز آب سطح ایستابی از سال ۱۳۸۲ تا ۱۳۹۹ بر اساس اندازه‌گیری پیزومترها و از سال ۱۳۹۹ تا ۱۴۱۰ بر اساس مقادیر بدست آمده از آینده پژوهی مختلف محاسبه شده است. در تهیه این شکل فرض شده است که تغییرات سطح آبخوان در محدوده فرونشست با تغییرات تراز آبخوان در کل دشت در سال‌های آتی یکسان باشد. با فرض عدم محدودیت در عمق آبخوان، تراز ایستابی آبخوان در سال ۱۴۱۰ نسبت به سال ۸۲ به ترتیب ۲۶ ، ۴۴ و ۸۴ متر در آینده پژوهی مختلف(وضعیت موجود، خوش‌بینانه و میانه) خواهد بود. در آینده پژوهی بدبینانه این میزان افت در حدی خواهد بود که از ضخامت متوسط آبخوان در سال ۱۴۱۰ که حدود ۱۰۰ متر فراتر رفته که منتج به خشک شدن بسیاری از چاه‌های سطحی و نیمه عمق می‌شود.

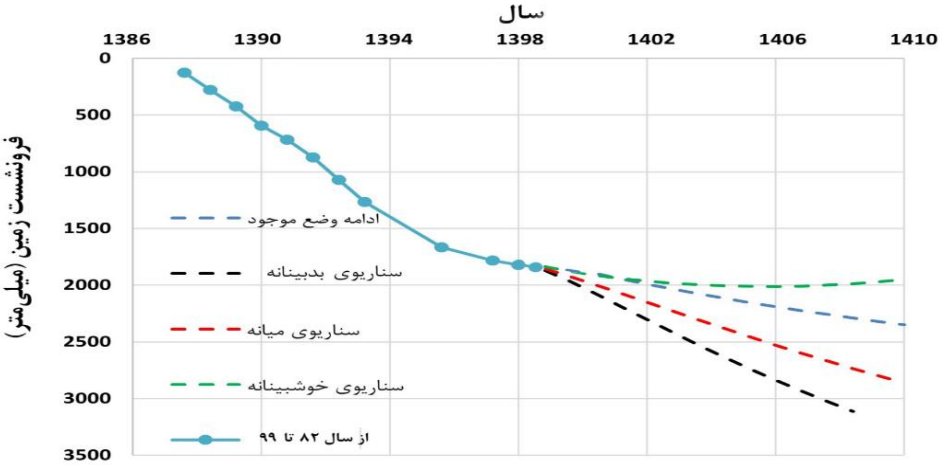
پژوهش نشده



شکل ۱۳- تغییرات تراز آبخوان در آینده پژوهای مختلف تا سال ۱۴۱۰

نرخ فرونشست زمین

با توجه به ارتباط بین فرونشست و پایین رفتن تراز آب زیرزمینی و با استناد به شکل ۱۴، می‌توان با در نظر گرفتن تغییرات تراز آب تا سال ۱۴۱۰ در آینده پژوهی مختلف، فرونشست محتمل را در محدوده دشت را از لحاظ حیث بحرانی‌ترین حالت و سایر موارد ممکنه تخمین زد. طبق نمودار ترسیم شده ، فرونشست محتمل با اجرای آینده پژوهی‌های مختلف تا سال ۱۴۱۰ را نشان داده شده است. به طور خلاصه، میزان فرونشست زمین حدود ۱۹۵۰، ۲۳۵۰ ، ۲۹۰۰ و ۳۱۰۰ میلی‌متر در سال ۱۴۱۰ نسبت به سال ۱۳۸۲ با اجرای آینده پژوهی‌های مختلف (وضعیت موجود، خوش بینانه، میانه و بدبینانه) محتمل و قابل پیش بینی است. البته باید توجه داشت که فرونشست در آینده پژوهی ادامه وضع موجود و بدبینانه با خشک شدن بخش اعظمی از آبخوان پیش از فرا رسیدن سال ۱۴۱۰، ناچارا موجب توقف فرونشست در آن زمان خواهد شد. در صورت اجرای آینده پژوهی خوش بینانه با توجه به ثابت بودن تراز آب زیرزمینی ممکن است تا مدت زمان محدود، اندک فرونشستی داشته باشد لیکن بعد از آن متوقف خواهد گردید.



شکل ۱۴- منحنی تغییرات احتمالی فرونشست در آینده پژوهای مختلف تا سال ۱۴۱۰

نتایج

در این پژوهش به کمک نرم افزار COMSOL، فرونشست در محدوده دشت تهران- شهریار در بازه زمانی ۹۸- ۱۳۸۲ در ۲۴ نقطه منتخب با تصاویر تداخل‌سنجی راداری Sentinel 1، صحت‌سنجی، مقایسه و بررسی گردید. سپس نرخ فرونشست از سال ۱۳۹۹ تا ۱۴۱۰ توسط نرم افزار مربوطه محاسبه گردید. همچنین به‌منظور سیاست‌گذاری و جهت‌دهی به اقدامات آینده در عرصه مدیریت بهینه منابع و مصارف آب با تکیه بر یافته‌های حاصل از پیش‌بینی فرونشست دشت تا افق ۱۴۱۰ و بر مبنای روش آینده پژوهی چندگانه(وضع موجود،بدبینانه، میانه و خوش‌بینانه) نشان می‌دهد:

* وقوع فرونشست در این دشت تا افق ۱۴۱۰ یک پدیده مستمر است و ارتباط مستقیمی با نوع لایه‌بندی خاک منطقه شامل سازندهای ریزدانه با ضخامت زیاد و تغییرات سطح تراز آب‌زیرزمینی دارد به نحویکه در سال‌های ابتدایی با نرخ بالاتر و در لایه بالایی سفره آبخوان ظاهر شده که به مرور زمان پس از پر شدن خلل و فرج بین ذرات خاک و با توجه به ارتباط هیدرولیکی بین لایه‌ها با سرعت کمتری نسبت به گذشته در لایه‌های فوقانی سطح آبخوان و سطح زمین مشاهده می‌گردد. بنابراین تغییرات تراز آب‌زیرزمینی و جنس زمین از جمله عوامل موثر بر الگوی و نرخ فرونشست بوده‌اند.

* تراز ایستابی آبخوان با اجرای آینده پژوهی‌های مختلف(وضعیت موجود، خوش‌بینانه و میانه) تا سال ۱۴۱۰ به ترتیب ۲۶ ، ۴۴ و ۸۴ متر خواهد رسید. در آینده پژوهی بدبینانه این میزان افت در حدی خواهد بود که از ضخامت متوسط آبخوان در سال ۱۴۱۰ از ۱۰۰ متر فاصله از سطح زمین فراتر رفته که منتج به خشک شدن بسیاری از چاه‌های سطحی و نیمه عمق می‌شود.

* فرونشست محتمل با اجرای آینده پژوهی‌های مختلف(وضعیت موجود، خوش‌بینانه، میانه و بدبینانه) تا سال ۱۴۱۰ به‌ترتیب ۱۹۵۰، ۲۳۵۰ ، ۲۹۰۰ و ۳۱۰۰ میلی‌متر در سال ۱۴۱۰ نسبت به سال ۱۳۸۲ قابل پیش بینی است. البته باید توجه داشت که فرونشست در آینده پژوهی ادامه وضع موجود و بدبینانه با خشک شدن بخش اعظمی از آبخوان پیش از فرا رسیدن سال ۱۴۱۰، ناچارا موجب توقف فرونشست در آن زمان خواهد شد. در صورت اجرای آینده پژوهی خوش بینانه با توجه به ثابت بودن تراز آب زیرزمینی ممکن است تا مدت زمان محدود، اندک فرونشستی داشته باشد لیکن بعد از آن متوقف خواهد گردید.

* رشد جمعیت همراه با گسترش بی‌رویه در بهره‌برداری از منابع آب‌های زیرزمینی در بخش‌های کشاورزی، صنعت و شرب در کنار تغییرات اقلیمی و خشکسالی‌های فزاینده، پی آمدهای نامطلوبی را در جنبه‌های کمی و کیفی منابع آب و افزایش نرخ فرونشست را به همراه داشته است. بنابراین شناسائی و تحلیل وضعیت‌های مختلف پدیده فرونشست زمین که ارتباط مستقیمی با تغییرات تراز آب زیزمینی و جنس زمین منطقه دارد برای دستیابی به برنامه‌های استوار و راهبردی در مدیریت بهینه منابع و مصارف منابع آب بسیار مهم و ارزشمند است.

منابع :

1- Haqshanas, Muhammad، 2016، "Evaluation of ground subsidence caused by water level changes in Baghistan region (Shahriyar plain) using electrical resistance data". Master's thesis in Engineering Geology, Tarbiat Modares University.

2- Faryabi, Muhammad. Kalantri, Nasraleh. Chit-Sazan, Manouchehr and Rahimi, Muhammad Hossein,2008 . "We are talking about the old days of Rafsanjan's homeland in the countryside of the city of Zarzamini." Hamish Domain of the Network Directorate of Abiyari and Zahkashi, Shahid Chamran Ahvaz University, Faculty of Water Science Engineering, page 8.[In Persian]

3- Organization of Geology and Mineral Exploration of the country ،2005، "The first generation of people in Dasht Tehran - Shahryar (First report)," page 54.

4- Zeng, C-.F., Wang, S., Xue, X.-L., Zheng, G. & Mei, G.-X. 2021. Evolution of deep ground settlement subject to groundwater drawdown during dewatering in a multi-layered aquifer-aquitard system: Insights from numerical modelling. *Journal of Hydrology*, 603**,** 12707.

5- Chao-Feng Zeng, Shuo Wang, Xiu-Li Xue, Gang Zheng, Guo-Xiong Mei., 2021. Evolution of deep ground settlement subject to groundwater drawdown during dewatering in a multi-layered aquifer-aquitard system: Insights from numerical 17odeling,Journal of Hydrology,Volume 603, Part C,
6- Lashkaripour, G., Ghafouri, M., Rostami Barani, H. 2020. Investigation of the causes of fissure formation and subsidence in the west of Kashmar plain. *Geological Studies*, 1(1),.111-95.[In Persian]
7- Mahmoudpour, M., Khamehchiyan, M., Nikoudel, M.R., Ghassemi, M.R.,2013, Characterization of regional land subsidence induced by groundwater withdrawals in Tehran, Iran, JGeope 3(2): 49-62.
8- Nguyen, Q., 2016. The main causes of land subsidence in Ho Ghi Minh City. Procedia Engineering, 142:334-341.
9- H.Guo, 2015 , Groundwater- abstraction induced land subsidence and groundwater regulation in the North China Plain, piahs- 372
10- Tran, D.-H., Wang, S.-J. & Nguyen, Q. C. 2022. Uncertainty of heterogeneous hydrogeological models in groundwater flow and land subsidence simulations–A case study in Huwei Town, Taiwan. *Engineering Geology*, 298**,** 106543.
11- Iranian, Riadullah،2014،Continuity analysis of south Alborz aquifer (Abhar to Varamin plains), conference on management of water resources and uses (based on sustainable development of central Alborz region, challenges, strategies and new approaches), University of Tehran, page 12. .[In Persian]
12- Manafi Azar, Ali ، 2018،"Prediction of the amount of subsidence in the southwestern plain of Tehran aquifer using intelligent models" Master's thesis in Engineering Geology, Tarbiat Modares University.
13- Mohammad Khan, S., Ganjian, H., Grossi , L., Zanganeh Tabar, Z. 2020. Evaluation of the effect of groundwater depletion on subsidence using radar images, study area, Qorveh plain, *Geographical Data Quarterly* 112(28),. 229-220.
14- Organization of Geology and Mineral Exploration of the country ،2005، "The first generation of people in Dasht Tehran - Shahryar (First report)," page 54.
15- Tehran Regional Water Company،2021، "South Tehran surface water management plan (quantitative and qualitative studies)". 1st consultant engineering, volumes 1 and 2.
16- Rajabi Khamseh, k, Nikbakht Shahbazi, A, Fatahhayan, H, Zahrabi, N., 2021,modeling of Izeh plain subsidence using MODFLOW mathematical code, Journal of Water Resources Research iran, 16(4): 112-126.
17- Tehran Regional Water Company. 2020. inventory of the third period of piezometers and wells in operation of Tehran-Shahriar aquifer., Tehran.[In Persian]
18- Angorani S, Shaiati Panahi M, Memaian H, Bolourchi MJ., 2015. Dynamic modeling of Land Subsidence in Tehran Plain. Geosciences 25(97):211-220
19- Tehran Regional Water Company. 2022. Artificial feeding studies through wide open wells in Tehran-Shahriar plain , Tehran.[In Persian]
20- Nadiri, A., Monafi Azar, A., Khamehchian, M. 2018. Comparison of aquifer subsidence vulnerability in southwestern Tehran plain with simple weighting model and genetic algorithm, *Journal of Kharazmi Earth Sciences*, 4(2),. 212-199.
21- Nadiri, A., Monafi Azar, A., Khamehchian, M. 2018. Comparison of aquifer subsidence vulnerability in southwestern Tehran plain with simple weighting model and genetic algorithm, *Journal of Kharazmi Earth Sciences*, 4(2),. 212-199.
22- Papi, R. & Solemani, M. 2020. Analysing Time Series of Land Subsidence in the West of Tehran Province (Shahriar Plain) and its Relation to Groundwater Discharge by InSAR Technique. *Geography and Environmental Sustainability*, 10**,** 109-128.
23- Mohammad Khan, S., Ganjian, H., Grossi , L., Zanganeh Tabar, Z. 2020. Evaluation of the effect of groundwater depletion on subsidence using radar images, study area, Qorveh plain, *Geographical Data Quarterly* 112(28),. 229-220

Examining the prediction scenarios of land subsidence caused by excessive extraction of underground water resources of Tehran-Shahriyar plain until the horizon of 2031

Abstract

Introduction: In recent years, the phenomenon of land subsidence, as one of the harmful effects of lowering thelevel of underground water, has always been the subject of discussion and concern of human societies, therefore, this issue, along with the intensification of other challenges such as climate change, needs to find a solution. scientific studies and subsequently designing and compiling various future researches to face possible future conditions in the future with the least cost and economic and social damage.

Shahryar Plain is one of the forbidden and critical plains of the country, which is also active in terms of industry and agriculture. This plain has been affected by the phenomenon of land subsidence for the past several years. The presence of vital arteries, economic, pilgrimage and military areas has turned it into a strategic area, which doubles the cost of the harmful consequences of subsidence. Therefore, it is very important to predict the possibilities of structural land by applying different conditions and probability of occurrence in different conditions to prevent and prepare to reduce its negative consequences in the way of implementing future water resource management plans.

Methods: Using the geological, geotechnical and hydrological data of the plain in COMSOL software, the subsidence in 22 selected points of the study area was calculated during the years 2012-2018 and after verification and obtaining a high agreement with the real data and radar interferometric images, the amount of subsidence has been estimated until 2031.

Findings: In this research, it has been tried to rely on the findings obtained from the prediction of the subsidence of the Tehran-Shahriar plain until the horizon of 2031 and based on the multiple scenario method (Reference, Non-Conservation, Conservation and Fll Development), in order to make policies. and provide guidance for future actions in the field of water resource and consumption management.

Conclusion: The general result showed that the rate of subsidence in the early years appeared at a higher rate in the upper layers of the aquifer, and over time, after filling the voids between the soil particles towards the upper layers of the aquifer surface, and finally leads to the surface of the earth. Therefore, the changes in the underground water level and the type of land have been among the factors affecting the subsidence pattern and rate.

Keywords

Subsidence, scenario, allocation, underground water level, land type.

نرم‌افزار ویرایش شده