

تأثیر پدیده فرونشست زمین بر حکمرانی یکپارچه شهر یزد

محمدحسین عارف^{۱*}

۱- دکتری آبهای زیرزمینی و شرکت آب و فاضلاب استان یزد، Aref27960@gmail.com

چکیده

پدیده فرونشست زمین در سال‌های اخیر به‌عنوان یکی از مخاطرات جدی محیطی و ژئوتکنیکی در سطح جهان شناخته شده است و در کشور ایران، به‌ویژه در مناطق مرکزی همچون دشت یزد، با شدت نگران‌کننده‌ای در حال گسترش می‌باشد. این دشت به‌عنوان اصلی‌ترین آبخوان شیرین شهر یزد، میزبان بیشترین تراکم جمعیتی، فعالیت‌های کشاورزی، صنعتی و شهری بوده و طی دهه‌های اخیر تحت تأثیر برداشت بی‌رویه و غیراصولی از منابع آب زیرزمینی، دچار افت شدید سطح ایستابی و تخلیه مخزن آبرفتی شده است. این روند منجر به افزایش نرخ فرونشست زمین و بروز خسارت‌های گسترده در زیرساخت‌های شهری، سامانه‌های حمل‌ونقل، بناهای تاریخی و حوزه‌های اقتصادی و اجتماعی شهر یزد گردیده است. در این پژوهش، با رویکرد تلفیقی میان داده‌های فنی و سیاست‌گذاری شهری، و با بهره‌گیری از شاخص‌هایی نظیر افت سطح آب، بارهیدرولیکی و فشار بین‌ذره‌ای در زون‌های اشباع و غیراشباع، مناطقی با پتانسیل بالای فرونشست در دشت یزد شناسایی شده‌اند. محاسبه اختلاف فشار بین‌ذره‌ای بر اساس فشار کل و فشار هیدرولیکی در بازه‌های زمانی مختلف و در اعماق متغیر، امکان مدل‌سازی و پیش‌بینی رفتار ژئومکانیکی آبخوان را فراهم کرده است. نتایج حاکی از آن است که تداوم روند فعلی بهره‌برداری، در غیاب حکمرانی یکپارچه و هماهنگ میان نهادهای ذی‌ربط، منجر به تسریع در تخریب زیرساخت‌ها و کاهش تاب‌آوری شهری خواهد شد. بنابراین، اتخاذ سیاست‌های مبتنی بر حکمرانی یکپارچه شهری شامل هماهنگی نهادی، مدیریت مشارکتی منابع، پایش مستمر آبخوان، استفاده از فناوری‌های هوشمند در کنترل برداشت، و تدوین طرح‌های تعادل‌بخشی مبتنی بر داده، امری ضروری برای کنترل و کاهش اثرات پدیده فرونشست در این منطقه حیاتی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: فرونشست زمین، آب زیرزمینی، آبخوان، حکمرانی یکپارچه شهری.

فهرست مطالب

۱. مقدمه.....	۳
۲. پیشینه.....	۴
۲-۱. سوابق مطالعاتی در مرکز پژوهش ها.....	۴
۲-۲. سوابق تقنینی به همراه آسیب شناسی.....	۴
۳. تیتراول.....	۴
۳-۱. مواد و روشها.....	۴
۳-۱-۱. معرفی محدوده مطالعاتی.....	۴
۳-۱-۲. فشار بین ذره ای (Intergranular pressure).....	۵
۳-۱-۳. فشار کل (Total pressure).....	۵
۳-۱-۴. فشار هیدرولیکی (Hydraulic pressure).....	۵
۳-۲. نتایج و بحث.....	۵
۳-۲-۱. تغییرات سطح آب زیرزمینی.....	۶
۳-۲-۲. افت سطح آب زیرزمینی.....	۶
۳-۲-۳. اختلاف فشار بین ذره ای.....	۶
۴. جمع بندی و نتیجه گیری.....	۷
۵. پیوست ها.....	۸
منابع و مآخذ.....	۱۲

فهرست جداول

جدول ۱. محاسبات اختلاف فشار بین ذره ای.....	۱۰
---	----

فهرست شکل ها

شکل ۱. منشا فرونشست طبیعی.....	۸
شکل ۲. منشا فرونشست انسانزا (غیرطبیعی).....	۹
شکل ۳. فشار کل.....	۹
شکل ۴. نمایش پارامترهای مرتبط با افزایش فشار بین ذره ای.....	۱۱
شکل ۵. الف) فشار کل ب) فشار بین ذره ای آبخوان آبرفتی یزد.....	۱۱

۱. مقدمه

فرونشست زمین، از حرکت تدریجی یا ناگهانی رو به پایین سطح زمین است ([۳]، [۴])، که میتواند منشاء طبیعی یا انسانزاد داشته باشد [۲]. فرونشست طبیعی به لحاظ گستردگی و سرعت فرونشست بسیار متفاوت هستند، اما گسترش اکثر فرونشست طبیعی همچون زلزله، سیل [۶]، کوهزایی، آتشفشان، تحکیم، حرکات صفحه ای زمین و تغییرات فیزیکی و شیمیایی خاک [۸] و پدیده کارست سرعت بسیار کمی دارند و به همین دلیل در زندگی بشری اهمیت کمی دارند.

مهمترین و گسترده ترین فرونشست زمین، مربوط به فرونشست انسانزا همچون تخلیه سیالات داخل زمین، شهر نشینی [۱]، معدن کاری، ایجاد لرزش مصنوعی مانند راه آهن و خطوط مترو، میله و گالری چاهها و قنوات متروکه، تسطیح و آماده سازی برای هر گونه ساخت ساز و کشاورزی می باشد که اصلی ترین نوع آن، تخلیه مواد زیر سطحی، به ویژه تخلیه سیالات داخل زمین می باشد.

بنابراین تخلیه سیالات داخل زمین که عمدتاً شامل نفت، آب و گاز می باشد، یکی از مهمترین دلایل گسترده فرونشست زمین می باشد [۷]. برداشت بی رویه از منابع آب زیرزمینی و افت سطح آب، باعث کاهش فشار بار هیدرولیکی، افزایش فشار بین ذره ای رسوبات زیرسطحی و اعمال تنش از بیرون و ایجاد تراکم، فشردگی و تغییر در حجم خاک و در نتیجه منجر به نشست زمین و فشردگی برگشت ناپذیر آبخوانها خواهد شد [۴]. در بیشتر نقاط دنیا به خصوص ایالت متحده، پکن [۲]، اندونزی [۶] و همچنین در کشور ایران به ویژه در مناطق خشک ایران مرکزی، با برداشت بی رویه و استحصال آبهای زیرزمینی از آبخوانها، موجب گسترش فرونشست زمین شده است ([۳]، [۴]). دشت یزد یکی از مهمترین آبخوان های آبرفتی ایران مرکزی است، که در سالهای اخیر، با افزایش برداشت بی رویه از آب با افت شدید سطح آب زیرزمینی و فرونشست زمین مواجه شده است. بنابراین در تحقیق حاضر با توجه به سطح آب پیرومترها و خصوصیات فیزیکی رسوبات تشکیل شده در آبخوان دشت یزد، به تعیین مناطقی که احتمال فرونشست در منطقه را دارد، پرداخته شده است. فرونشست زمین در دشت یزد صرفاً یک پدیده زمین شناختی یا فنی نیست، بلکه به عنوان یک بحران پیچیده با ابعاد اجتماعی، اقتصادی، زیست محیطی و به ویژه سیاسی-مدیریتی شناخته می شود. اهمیت این مسئله در آن است که به طور مستقیم زیرساخت های حیاتی شهری، سکونتگاه های انسانی، منابع اقتصادی و میراث تاریخی شهر یزد را تهدید می کند و در عین حال نشانه های آشکار از ضعف در سیاست گذاری، برنامه ریزی فضایی و نبود هماهنگی بین نهادی در مدیریت منابع آب است. در چارچوب حکمرانی یکپارچه شهری، فرونشست به عنوان یک چالش چندبخشی، نیازمند رویکردی است که در آن تصمیم گیری ها تنها محدود به بخش آب یا زمین شناسی نباشد، بلکه تمامی نهادهای تأثیرگذار در مدیریت شهر، منابع طبیعی، توسعه پایدار و حقوق شهروندی به صورت هم افزا و مشارکتی درگیر شوند. فرونشست، در واقع، بازتابی از نبود تعادل بین توسعه و ظرفیت های طبیعی سرزمین است و می تواند به بی ثباتی های اجتماعی، کاهش اعتماد عمومی به نهادهای رسمی، و تعمیق شکاف های اقتصادی منجر

شود. هدف این پژوهش آن است که با تبیین علمی علل و روندهای فرونشست در دشت یزد و تحلیل آن در بستر حکمرانی شهری، نقش کلیدی سیاست‌گذاری هماهنگ، مدیریت داده‌محور، و مشارکت ذی‌نفعان را در مهار این بحران برجسته کند. این تحقیق می‌کوشد تا سازوکارهایی اجرایی، عملیاتی و قابل اعمال در ساختار مدیریتی شهر یزد ارائه دهد که از طریق آن بتوان از گسترش پدیده فرونشست جلوگیری کرده و تاب‌آوری شهری را در برابر این تهدید افزایش داد.

۲. پیشینه

۲-۱. سوابق مطالعاتی در مرکز پژوهش‌ها

- چالشهای ناشی از برداشت بی رویه آب های زیرزمینی در کشور، بررسی شرایط فعلی و بحران فرونشست زمین ، ۱۴۰۲ ، مطالعات راهبردی ، شماره مسلسل ۱۸۸۸۴.
- تأثیر فرونشست بر زیرساخت ها و راهکارهای کنترل این اثرات، ۱۴۰۱ ، مطالعات راهبردی ، شماره مسلسل ۱۸۶۲۰.

۲-۲. سوابق تقنینی به همراه آسیب شناسی

- لایحه کنترل فرونشست زمین و کاهش اثرات آن در کشور (طرح شورای عالی استان ها) ، ۱۴۰۲، تقنینی، شماره مسلسل ۱۹۴۲۶.

۳. تیتراول

۳-۱. مواد و روشها

۳-۱-۱. معرفی محدوده مطالعاتی

آبخوان آبرفتی دشت یزد دارای مساحت حدود ۱۱۰۶ کیلومتر مربع می باشد. محدوده مطالعاتی به لحاظ موقعیت جغرافیایی ، در مرکز کشور ایران و در استان یزد و بخشی از حوضه آبریز کویر سیاهکوه و جزئی از محدوده مطالعاتی یزد - اردکان می باشد . مهمترین و بلندترین ارتفاعات در این محدوده ، قله شیرکوه با ارتفاع ۴۰۷۵ متر از سطح دریا و گودترین نقطه در این محدوده دارای ۱۱۳۵ متر ارتفاع دارد . بیشترین آب بهره برداری از سفره آب زیرزمینی در این محدوده ، توسط ۵۳۹ حلقه چاه صورت میگیرد. در مجموع حجم تخلیه سالانه منابع آب موجود (چاه و قنات) در این محدوده ۱۲۳/۱۴ میلیون متر مکعب در سال بوده است. تخلیه بی رویه آب از زیر سطح زمین، باعث افت سطح آب و کاهش بار هیدرولیکی و در نتیجه افزایش فشار بین ذره ای میشود. به طوریکه به ازای هر ۱۰ متر افت سطح آب ، به

طور متغیر ۱ تا ۵۰ سانتیمتر فرونشست زمین اتفاق می افتد، که به تراکم پذیری و ضخامت لایه های زمین بستگی دارد. هر چه لایه های زمین ، دارای تراکم پذیری و ضخامت بیشتری باشند ، فرونشست زمین بیشتر خواهد شد.

۳-۱-۲. فشار بین ذره ای (Intergranular pressure)

فشار بین ذره ای ، فشاری است که از طریق ذرات منفرد در محل ها و نقاط تماس با یکدیگر، در رسوبات زیر سطحی اتفاق می افتد و علت اصلی نشست زمین است . افزایش فشار بین ذره ای موجب تراکم و فشردگی عمودی می شود فشار بین ذره ای (P_i) را می توان از اختلاف فشار کل (P_t) و فشار هیدرولیکی (P_h) در آن عمق بر واحد کیلو پاسکال (kPa) بر اساس معادله ذیل بدست آورد [۷].

$$P_i = P_t - P_h \quad (۱)$$

همچنین معادله فوق به صورت معادله ذیل نوشته می شود ، که σ' فشار بین ذره ای ، σ فشار کل و P فشار هیدرولیکی می باشد.

$$\sigma' = \sigma - P \quad (۲)$$

۳-۱-۳. فشار کل (Total pressure)

فشار کل عبارت است از جرم یا وزن رسوبات و آب موجود در داخل زمین گویند. فشار کل از نسبت جرم (m) به مساحت کل (A) محاسبه می گردد و واحد آن نیوتن بر سانتیمتر مربع می باشد.

۳-۱-۴. فشار هیدرولیکی (Hydraulic pressure)

فشار هیدرولیکی در سطح آب برابر با صفر است و در زیر سطح آب در منطقه اشباع از معادله زیر به دست می آید:

$$P_h = \rho g \times h_w \quad (۳)$$

در معادله فوق ρg برابر با وزن مخصوص آب و h_w ارتفاع آب می باشد.

۳-۲. نتایج و بحث

۳-۲-۱. تغییرات سطح آب زیرزمینی

عمق سطح آب زیرزمینی در محدوده آبخوان از حدود ۲۰ (مرز جنوبی) تا ۱۵۰ متر (مرز شمال غرب) متغیر می باشد. به دلیل عمق زیاد سطح آب زیرزمینی در آبخوان یزد، تبخیر از سطح آب زیرزمینی امکان پذیر نمی باشد. تراز سطح آب زیرزمینی در نواحی جنوبی آبخوان از ۱۵۰۰ متر و به تدریج به سمت شمال غرب آبخوان به حدود ۱۱۰۰ متر کاهش می یابد. جهت جریان آب زیرزمینی محدوده آبخوان یزد به صورت غالب، از جنوب و جنوب شرق به طرف مرکز و سپس به سمت شمال غرب حوزه می باشد (شکل a).

۳-۲-۲. افت سطح آب زیرزمینی

میزان افت سطح ایستابی در ۳۴ پیزومتر در محدوده آبخوان، در بازه زمانی ۲۰ ساله از مهر ماه سال ۱۳۸۰ تا شهریور ماه سال ۱۴۰۰ بین حدود ۰/۵ تا ۱۹/۹ متر می باشد. میزان افت سطح آب در محدوده آبخوان یزد به طور سالیانه ۰/۱ تا ۱ متر متغیر می باشد. بنابراین نوسانات سطح آب زیرزمینی در بخش های مختلف آبخوان متفاوت و متغیر است. با توجه به دوره آماری ۲۰ ساله، میانگین تراز سطح ایستابی آبخوان یزد، از مهرماه سال ۱۳۸۰ تا شهریور ماه ۱۴۰۰ (شکل ۵)، حدود ۹،۴ متر افت کرده است. بنابراین میانگین افت سالانه آبخوان، حدود ۲۵ سانتیمتر در سال می باشد. براساس هیدروگراف معرف آبخوان یزد، کاهش سطح ایستابی، به دلیل کاهش تغذیه و همچنین عامل اصلی برداشت بی رویه از منابع آب زیرزمینی از طریق چاه می باشد.

۳-۲-۳. اختلاف فشار بین ذره ای

به منظور شناسایی مناطق مستعد به فرونشست زمین در محدوده آبخوان، اختلاف فشار بین ذره ای در ۳۴ پیزومتر در سه عمق مختلف محاسبه گردیده است (جدول ۱).

همچنین جهت مقایسه فشار بین ذره ای برای شرایط قبل و بعد از پائین افتادن سطح ایستابی در عمقهای مختلف پارامترهای مرتبط با فشار بین ذره ای در چاه پیزومتر یزدگرد جدید ترسیم گردیده است (شکل ۶). بر این اساس فشار بین ذره ای در زون غیر اشباع، از سطح زمین تا عمق ۴۶ متری بالای سطح ایستابی، برابر صفر می باشد. اما از عمق ۴۶ متری فشار بین ذره ای بعد از افت تدریجی سطح آب، شروع به افزایش می کند و به میزان ۱،۳ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع می رسد و در عمق ۶۳ متری به پایین مقدار فشار بین ذره ای برابر ۱،۳ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع می شود. در شکل (۶)، خطوط و نقاط Pt1 و Pt2 مقادیر فشار کل را برای قبل و بعد از افت سطح آب نشان می دهد. که بر این اساس از عمق ۴۶ متر به بعد مقدار Pt2 بعد از افت سطح آب با شیب کمتری نسبت به Pt1، افزایش پیدا کرده و تا عمق ۶۳ متری این روند ادامه دارد و از عمق ۶۳ متر به بعد شرایط ثابت و خطوط تقریباً موازی می شود. فاصله افقی بین خطوط Pt1 و Ph1 و فاصله افقی بین خطوط Pt2 و Ph2 بعد از افت سطح آب بیشتر شده در نتیجه فشار بین ذره ای افزایش یافته است.

بر اساس نتایج بدست آمده و شکل (۷) از فشار کل و فشار بین ذره ای آبخوان ، نشان می دهد با توجه به برداشت بی رویه از آبهای زیرزمینی ، آبخوان آبرفتی یزد دچار تنش شده است به طوری که با تخلیه بی رویه منابع آب زیرزمینی ، فشار بین ذره ای و تراکم و فشردگی عمودی لایه های زیر زمین در مناطق یزدگرد ، چرخاب ، فهرج ، محمدآباد و شهر یزد و مناطقی که بیشترین چاههای در حال بهره برداری هستند (مناطق قرمز رنگ در شکل ۷) ، افزایش و بار هیدرولیکی کاهش یافته است، که منجر به ایجاد شکاف در سطح زمین و فرونشست زمین در این مناطق می شود. که با بازدید به عمل آمده در این مناطق شق ها و شکاف های فراوانی در این مناطق مشاهده شده است.

۴. جمع بندی و نتیجه گیری

بررسی های انجام شده نشان می دهد که برداشت بی رویه و بیش از توان طبیعی از منابع آب زیرزمینی، آبخوان اصلی دشت یزد را با تنش شدید مواجه ساخته است. با تخلیه بیش از حد آب از این سفره، هوا جایگزین آب در منافذ بین ذرات خاک می شود و در نتیجه، رطوبت بین ذره ای به شدت کاهش یافته، فشار کل و فشار بین ذره ای افزایش می یابد. این امر منجر به تراکم، فشردگی عمودی لایه های آبرفتی و کاهش بار هیدرولیکی شده و در نهایت به بروز پدیده فرونشست زمین می انجامد. مشاهدات میدانی از سطح دشت یزد نیز نشانگر گسترش شکاف ها و ترک های متعدد در سطح زمین است که مستقیماً ناشی از تخلیه بی رویه آب های زیرزمینی می باشد. ادامه این روند می تواند نه تنها بخش های پیرامونی، بلکه بستر شهر یزد را نیز در معرض خطرات جدی فرونشست قرار دهد.

در این چارچوب، ضرورت دارد که راهبردهایی مبتنی بر حکمرانی یکپارچه شهری اتخاذ گردد؛ حکمرانی که در آن نهادهای مختلف مرتبط با منابع آب، مدیریت شهری، بخش های کشاورزی و صنعتی، همراه با مشارکت فعال جامعه محلی، در قالب ساختاری منسجم و هم افزا به مدیریت این بحران بپردازند. برای تحقق این هدف، پیشنهادات اجرایی به عنوان گام های راهبردی و قابل پیاده سازی مطرح می گردد. نخست، تشکیل یک نهاد هماهنگ کننده بین بخشی با محوریت شهرداری یزد و مشارکت شرکت آب منطقه ای، جهاد کشاورزی، سازمان زمین شناسی، نهادهای دانشگاهی و سازمان های مردم نهاد، جهت طراحی و اجرای یکپارچه برنامه های مدیریت منابع آب زیرزمینی ضروری است. این نهاد می تواند برنامه کاهش تدریجی برداشت از منابع آب را با اولویت بستن چاه های غیرمجاز و کنترل چاه های پرمصرف طراحی و اجرا کند.

از سوی دیگر، بهره گیری از روش های نوین مدیریت منابع شامل استقرار سامانه های پایش هوشمند سطح آب و نرخ فرونشست با استفاده از فناوری سنجش از دور و ابزارهای ژئوفیزیکی، استفاده از مدل سازی عددی برای پیش بینی پایداری سفره ها، و نصب کنتورهای هوشمند برای کنترل برداشت چاه ها از دیگر اقدامات اساسی است.

همچنین، باید برای تأمین منابع آب جایگزین برنامه ریزی گردد، از جمله استفاده از پساب تصفیه شده در مصارف صنعتی

و فضای سبز، بازچرخانی آب در فرآیندهای صنعتی، و بهره‌گیری از آب شور یا آب سطحی محدود در مصارف غیر شرب. در بخش کشاورزی نیز، اصلاح الگوی کشت و ترویج محصولات کم‌مصرف و مقاوم به خشکی به کاهش فشار بر منابع آب کمک خواهد کرد. در سطح برنامه‌ریزی شهری، تدوین سند تاب‌آوری شهر یزد در برابر پدیده فرونشست و گنجاندن سناریوهای مقابله با فرونشست در طرح‌های توسعه شهری، به‌ویژه در اطراف حریم شهر یزد، بسیار حیاتی است. این سند می‌تواند شامل پهنه‌بندی خطر، ممنوعیت توسعه در مناطق پرخطر و ایجاد زیرساخت‌های مقاوم باشد. در نهایت، آموزش و توانمندسازی جوامع محلی، به‌ویژه بهره‌برداران آب، کشاورزان و فعالان اقتصادی در زمینه حفاظت از منابع آب زیرزمینی و مشارکت فعال در فرآیندهای تصمیم‌سازی، باید به‌عنوان بخشی جدایی‌ناپذیر از حکمرانی یکپارچه مورد توجه قرار گیرد. بدون تردید، حفظ پایداری شهر یزد در برابر تهدید فزاینده فرونشست، نیازمند اتخاذ نگاهی یکپارچه، علمی، مشارکتی و بلندمدت در سطح مدیریت شهری و منابع آب است؛ نگاهی که تنها در سایه حکمرانی یکپارچه و سیاست‌گذاری‌های توسعه پایدار مبتنی بر داده و عدالت بین‌نسلی محقق خواهد شد.

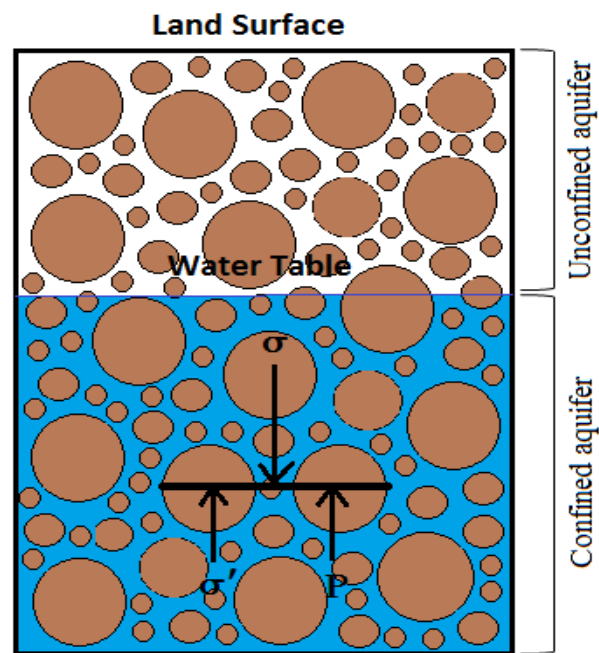
۵. پیوست‌ها



شکل ۱. منشا فرونشست طبیعی



شکل ۲. منشأ فرونشست انسانزا (غیر طبیعی)

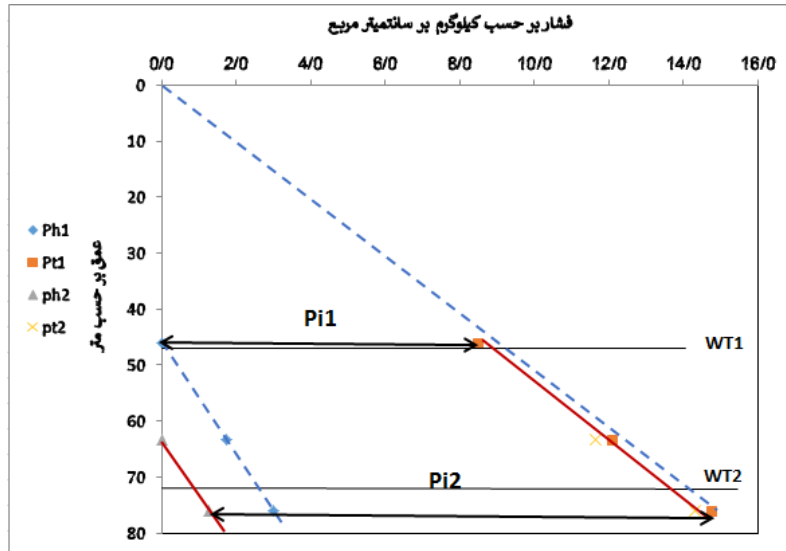


$$\sigma' = \sigma - P$$

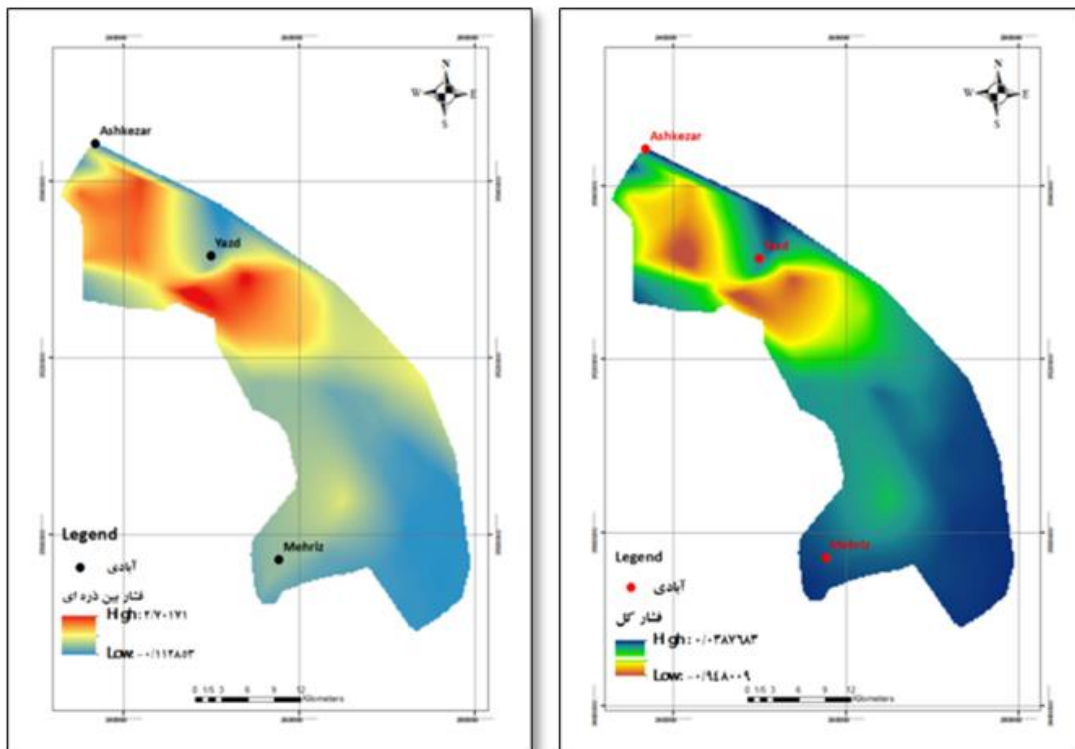
شکل ۳. فشار کل

جدول ۱. محاسبات اختلاف فشار بین ذره ای

اختلاف فشار بین ذره ای			کد
Pi 3	Pi 2	۱Pi	
1/30	1/30	0/00	p1
0/72	0/72	0/00	p2
0/95	0/95	0/00	p3
0/06	0/06	0/00	p4
0/29	0/29	0/00	p5
0/60	0/60	0/00	p6
1/90	1/90	0/00	p7
0/19	0/19	0/00	p8
0/14	0/14	0/00	p9
0/47	0/47	0/00	p10
1/61	1/61	0/00	p11
2/87	2/87	0/00	p12
1/59	1/59	0/00	p13
0/20	0/20	0/00	p14
0/12	0/12	0/00	p15
0/07	0/07	0/00	p16
1/70	1/70	0/00	p17
0/39	0/39	0/00	p18
2/74	2/74	0/00	p19
0/90	0/90	0/00	p20
0/47	0/47	0/00	p21
0/05	0/05	0/00	p22
-0/14	-0/14	0/00	p23
1/88	1/88	0/00	p24
0/08	0/08	0/00	p25
1/37	1/37	0/00	p26
0/35	0/35	0/00	p27
0/35	0/35	0/00	p28
1/17	1/17	0/00	p29
2/42	2/42	0/00	p30
0/14	0/14	0/00	p31
0/30	0/30	0/00	p32
2/08	2/08	0/00	p33
1/49	1/49	0/00	p34



شکل ۴. نمایش پارامترهای مرتبط با افزایش فشار بین ذره ای



شکل ۵. الف) فشار کل ب) فشار بین ذره ای آبخوان آبرفتی یزد

منابع و مآخذ

1. Ao, Z., et al. (2024). "A national-scale assessment of land subsidence in China's major cities." Science 384(6693): 301-306.
2. Cao, Q., et al. (2024). "Unveiling the driving factors of urban land subsidence in Beijing, China." Science of The Total Environment 916: 170134.
3. Davydenka, T., et al. (2024). "Unveiling the global extent of land subsidence: The sinking crisis." Geophysical Research Letters 51(4): e2023GL104497.
4. Glopper, R. d. and H. Ritzema (1994). Land subsidence
5. Peck, R. B. (1967). "Stability of natural slopes." Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division 93(4): 403-417.
6. Putri, S. I. P., et al. (2024). An overview of flood risk components: The Land subsidence case of Pekalongan City. E3S Web of Conferences, EDP Sciences.
7. Tzampoglou, P. and C. Loupasakis (2017). "Land subsidence due to the overexploitation of the aquifer at the Valtonera village." Bull. Geol. Soc. Greece 50: 1006.
8. Zhao, Y., et al. (2022). "Analysis of the spatial and temporal evolution of land subsidence in Wuhan, China from 2017 to 2021." Remote Sensing 14(13): 3142.

