




Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

 <https://doi.org/10.22067/jgrd.2024.86096.1379>

Evaluation of the Effects of Water Crisis and Land Subsidence in the Rural Areas of Neishabur Plain

Zhila Kalali Moghadam¹

Assistant Professor of Geography and Rural Planning, Payam Noor University,
Tehran, Iran

Received: 27 December 2023 Revised: 12 May 2024 Accepted: 14 May 2024

Abstract

Land subsidence is a phenomenon emerging in most of the alluvial plains of Iran in the last few decades due to the gradual or sudden lowering of the land surface. It is prompted by various factors such as over-harvesting of underground water, tectonic activities, mining, etc. Neyshabur Plain is not an exception to this rule and due to the over-exploitation of underground water in the last few decades, the water level of the aquifer has dropped and the hydrostatic pressure has declined. This has led to subsidence, which has affected rural and urban areas. This plain covers an area of 3477 square kilometers, of which an area of 591 square kilometers, which is home to a population of 59,000 people and 179 villages, struggles with severe land subsidence. In this research, the relationship between the aquifer and underground water level and its compatibility with the areas facing subsidence is investigated. Research shows that for every 83-cm decline in groundwater level, there is on average 10.5 cm subsidence in the surface of Neyshabur Plain. In this research, sentinel satellite images from October 2014 to December 2017 taken by the Mapping Organization have been used by radar interferometric method. The results suggest that the indiscriminate exploitation of underground water resources has triggered land subsidence and cracks in rural areas, especially in the periphery of the villages of Firuzeh, Abu Saadi, Birum Abad, Faiz Abad, Sarab Koushak, Urdughash, and Farrakhk which are in some cases as big as 15 to 20 cm per year. The highest and the lowest subsidence, i.e., 1 cm per year, is reported in the villages of Dasht, Mehdi Abad, and Khoresofla.

Keywords: Water crisis, Land subsidence, Radar interferometry, Rural areas, Neyshabur plain

1. Corresponding Authou; Email: jkalali@pnu.ac.ir



Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

doi <https://doi.org/10.22067/jgrd.2024.86096.1379>

مقاله پژوهشی

مجله جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای، سال بیست و دوم، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۳، شماره پیاپی ۴۷

ارزیابی اثرات بحران آب و پدیده فرونشست زمین در مناطق روستایی دشت نیشابور

ژیلا کلالی مقدم (استادیار جغرافیا و برنامه‌ریزی روستایی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران)

jkalali@pnu.ac.ir

صص ۲۰۱-۱۶۹

چکیده

فرونشست زمین، پدیده‌ای است که در چند دهه اخیر در اکثر دشت‌های آبرفتی ایران به چشم می‌خورد که در نتیجه پایین رفتن تدریجی یا ناگهانی سطح زمین در اثر عوامل مختلفی از قبیل: برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی، فعالیت‌های تکتونیکی، استخراج معادن و غیره به وقوع می‌پیوندد. دشت نیشابور نیز از این قاعده مستثنی نبوده و با برداشت بیش از حد آب‌های زیرزمینی در چند دهه اخیر، سطح ایستایی لایه آبدار پایین رفته و فشار هیدرواستاتیک کاهش یافته است. در نتیجه، فرونشست‌هایی رخ داده که مناطق روستایی و شهری را تحت تأثیر قرار داده است. دشت نیشابور با وسعتی معادل ۳۴۷۷ کیلومتر مربع محدوده‌ای از آن به وسعت ۵۹۱ کیلومتر مربع با جمعیتی بالغ بر ۵۹۰۰۰ نفر، با ۱۷۹ روستا با فرونشست شدید زمین مواجه است. در این پژوهش، سعی شده با بررسی وضعیت آبخوان و سطح آب زیرزمینی و انطباق آن با مناطقی که با پدیده فرونشست مواجه هستند، به رابطه بین این پدیده با کاهش سطح ایستایی آب پردازیم. بررسی‌ها نشان می‌دهد که سالانه به ازای هر ۸۳ سانتی‌متر پایین رفتن سطح آب‌های زیرزمینی، به‌طور متوسط ۱۰/۵ سانتی‌متر سطح دشت نیشابور نشست داشته است. در این پژوهش، از تصاویر ماهواره‌ای sentinel در دوره زمانی اکتبر ۲۰۱۴ تا دسامبر ۲۰۱۷ که توسط سازمان نقشه‌برداری به روش تداخل‌سنجی راداری تهیه شده، استفاده شده است. نتایج تحقیق در این دشت حاکی از آن است که بهره‌برداری بی‌رویه از منابع آب‌های زیرزمینی موجب نشست زمین و ایجاد درز و ترک‌هایی در مناطق روستایی، به‌ویژه در اطراف روستاهای فیروزه، ابوسعدی، بیروم‌آباد، فیض‌آباد، سراب کوشک، اردوغش و کال فرخک به میزان ۱۵ الی ۲۰ سانتی‌متر در سال با بالاترین فرونشست و کم‌ترین

تاریخ تصویب: ۱۴۰۳/۰۲/۲۵

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۲/۲۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۰۶

فرونشست مربوط به روستاهای دشت، مهدی آباد و خروسفلی به میزان ۱ سانتی‌متر در سال گزارش شده است.

واژگان کلیدی: بحران آب، فرونشست زمین، تداخل‌سنجی راداری، مناطق روستایی، دشت نیشابور.

۱. مقدمه

فرونشست 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. پدیده فرونشست زمین یکی از مخاطراتی است که در چند دهه اخیر، به‌ویژه در دشت‌های آبرفتی ایران، خسارت‌های جبران‌ناپذیر جانی و مالی به دنبال داشته است و به بسیاری از سازه‌های سطحی و زیرزمینی آسیب رسانیده است. «در مقیاس جهانی خطر فرونشست زمین در اثر افت سطح آب زیرزمینی در بین سال‌های ۱۹۵۰ تا ۱۹۷۰ هم‌زمان با صنعتی شدن و رشد شهرنشینی به اوج خود رسید» (والتام، ۱۹۸۹، ص. ۳۷).

این پدیده تحت تأثیر خشکسالی‌های چند دهه اخیر و برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی شدت یافته است. در ایران اولین بار، پدیده فرونشست زمین در دشت رفسنجان همراه با پدیده لوله‌زایی چاه‌های کشاورزی در سال ۱۳۴۶ ثبت شد (خبرگزاری سینا، ۱۳۹۷). اخیراً این پدیده در دشت‌های دیگر کشور همچون: خراسان، فارس، یزد، اصفهان، تهران، چهارمحال و بختیاری گزارش شده است. دشت نیشابور نیز از این قاعده مستثنی نبوده و در پی خشکسالی‌های اخیر و برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی، نشست زمین را در اکثر نقاط دشت تجربه کرده است. این دشت یکی از دشت‌های مهم استان خراسان رضوی است که توسعه سریع کشاورزی و صنعتی همراه با رشد سریع جمعیت و افزایش نیاز آبی باعث برداشت بی‌رویه و افت سطح آب زیرزمینی در این دشت شده است.

برداشت بی‌رویه از سفره آب زیرزمینی این دشت سبب افت سالانه حدود ۰/۸۳ متر سطح آب زیر زمینی شده است. با برداشت بیش از حد آب زیرزمینی سطح ایستابی لایه آبدار پایین رفته و فشار هیدرواستاتیک کاهش یافته است و در نتیجه، فرونشست‌هایی رخ داده که همچنان ادامه دارد. طبق اطلاعات اخذ شده از اداره منابع آب شهرستان نیشابور به علت برداشت بی‌رویه

از آب‌های زیرزمینی برای مصارف کشاورزی این دشت با کسری مخزن ۱۲۹/۵۵ میلیون متر مکعب در سال و افت شدید سطح آب زیرزمینی مواجه شده است (خجسته‌پور، ۱۴۰۰). «در پی این فرونشست‌ها، ۱۷۹ روستا با جمعیتی در حدود ۵۹۰۰۰ نفر تحت تأثیر مستقیم قرار گرفته و موجب بروز نارسایی‌ها و مشکلات عدیده‌ای برای ساکنین روستایی، به‌ویژه کشاورزان شده است» (سازمان نقشه‌برداری کشور، ۱۳۹۷).

از جمله این خسارت‌ها، فرونشست و شکاف در زمین‌های زراعی، آسیب‌رساندن به سیستم آبرسانی و ایستگاه‌های پمپاژ آب‌های سطحی و چاه‌های عمیق، سیستم حمل‌ونقل جاده‌ای و ریلی، تغییر شیب زمین، صدمه به محیط‌زیست؛ همچون: زمین‌های کشاورزی، گونه‌های گیاهی و جانوری، فروریختن جداره چاه‌ها و قنات‌ها و گل‌آلود شدن آب، ایجاد لرزش‌های کوچک در اثر ناپایداری زمین و ایجاد درز و ترک در مسکن روستایی است. یافته‌های تحقیق نشان می‌دهد که مناطق دارای نرخ حداکثری فرونشست، منطبق بر کاربری‌های زراعی و باغات است که بیشترین سهم را در برداشت از آب‌های زیرزمینی دارد.

۲. پیشینه تحقیق

محمودی‌نسب و محسنی (۱۴۰۰)، در پژوهشی به اثرات چاه‌های بهره‌برداری آب زیرزمینی بر تغییرپذیری پهنه‌های فرونشست دشت نیشابور و پیامدهای ژئومورفیک آن پرداخته‌اند. نتایج نشان می‌دهد که با نزدیک شدن به چاه‌های پمپینگ، وسعت محدوده‌های پرخطر افزایش یافته و برعکس، با دور شدن از چاه‌ها بر گسترش محدوده‌های کم‌خطر فرونشست افزوده می‌شود. خرمی (۱۳۹۸)، در تحقیقی به تعیین فرونشست شهر مشهد به روش تداخل‌سنجی راداری پراکنشگر دائمی پرداخته است. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که فرونشست مناطق شهری مشهد در دوره زمانی سال‌های ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۷ میلادی با ترکیب ۶۹ تصویر راداری پایین‌گذر و بالاگذر ماهواره sentinel-1A، بیانگر پیشینه نرخ فرونشست برابر ۱۴۰ میلی‌متر در سال در شمال غرب شهر مشهد است. همچنین، نتایج نشان می‌دهد که فرونشست در حال پیشروی به سمت مرکز شهر از سمت شمال غرب است که می‌تواند در آینده نزدیک، تبعات جبران‌ناپذیری به دنبال داشته باشد.

منتظریون و اصلانی (۱۳۹۸)، در پژوهشی به ارزیابی خطر فرونشست زمین با به‌کارگیری اطلاعات جغرافیایی در پهنه استان‌های تهران و البرز پرداخته است. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که تهران در وضعیت خطر بسیار بالای فرونشست قرار دارد. همچنین، شهرهای دماوند، محدوده مرکزی کرج، شهر ری، پیشوا، منطقه جنوب شرقی شهریار، بهارستان، اسلام‌شهر، نظرآباد، ساوجبلاغ در منطقه‌ای با خطرپذیری بالا ارزیابی شده‌اند و شهرستان‌های دماوند، فیروزکوه، مناطق جنوبی شهر ری، ورامین، ملارد و کل حاشیه‌های استان‌های تهران و کرج در معرض خطرپذیری کمتری قرار دارند.

رکنی، حسین‌زاده، لشکری‌پور و ولایتی (۱۳۹۵)، در مقاله‌ای به بررسی فرونشست زمین، چشم‌اندازها و تحولات ژئومورفولوژی ناشی از آن در دشت‌های تراکمی (مطالعه موردی: دشت نیشابور) پرداخته‌اند. نتایج تحقیق بیانگر آن است که افت شدید آب‌های زیرزمینی در سال‌های اخیر، منجر به بروز خطر ژئومورفولوژیکی فرونشست در این دشت شده است. بر اثر این نشست، ترک‌ها و شکاف‌هایی در دشت با اشکال و عمق و طول متفاوت ایجاد شده است. تغییرات این اشکال در طول زمان موجب ایجاد فرم‌های متفاوت و عوارض متعددی، به‌ویژه در شمال غرب، جنوب، جنوب شرق دشت شده و موجب تهدید شبکه انتقال نفت و گاز و سایر تأسیسات عمرانی از جمله خط آهن سراسری تهران-مشهد و کاهش برگشت‌ناپذیر ظرفیت مخزن آبخوان شده است.

رنجبر باروق و فتح‌الله زاده (۱۴۰۱)، در تحقیقی به بررسی فرونشست زمین با استفاده از سری زمانی تصاویر راداری و ارتباط آن با تغییرات تراز آب‌های زیرزمینی شهر کرج پرداخته‌اند. نتایج این تحقیق بیانگر فرونشست زمین در مناطق شهری؛ مانند: مهرشهر، کمال‌شهر و محمدشهر است که علت اصلی آن برداشت بی‌رویه از منابع آبی سفره‌های زیرزمینی به دلیل رشد جمعیت و مهاجرت در سال‌های اخیر است. بیشترین فرونشست در بخش شمال غربی مهرشهر بوده که مقدار آن بین ۱۰۰ تا ۱۴۵ میلی‌متر برآورد شده است.

یزدانی و منصوریان (۱۳۹۲)، در پژوهشی با عنوان پهنه‌بندی پتانسیل بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی با استفاده از داده‌های کمی و کیفی آبخوان دشت نیشابور به بررسی آبخوان دشت نیشابور پرداخته و به این نتیجه رسیده‌اند که کاهش سطح تراز آب زیرزمینی از شمال شرق به

جنوب غرب و از جنوب به سمت مرکز و غرب است. حداقل و حداکثر عمق سطح آب زیرزمینی به ترتیب ۳/۹۶ و ۱۴۳/۹ متر بوده و محدوده شرق و جنوب دشت پتانسیل بهره‌برداری بیشتری نسبت به سایر مناطق دشت دارد. محدوده مرکز دشت و شهر نیشابور علی‌رغم بالا بودن کیفیت آب و پایین بودن میزان افت سطح آب، مقدار شاخص پایینی دارد که علت اصلی آن پایین بودن ضریب انتقال آبخوان است.

قره چلو، اکبری قوچانی، گلیان و گنجی (۱۴۰۰)، در مقاله‌ای به ارزیابی میزان فرونشست زمین در ارتباط با آب‌های زیرزمینی به کمک داده ماهواره‌ای راداری سنتینل-۱ والوس-۱ در دشت مشهد پرداخته‌اند. یافته‌های تحقیق نشان می‌دهد که مناطق دارای نرخ حداکثری فرونشست منطبق بر کاربری‌های زراعی و باغات است که بیشترین سهم را در برداشت از آب‌های زیرزمینی دارند. همچنین، بررسی چاه‌های پیژومتری بیانگر کاهش پیوسته سطح آب در طول دوره آماری است. براساس نتایج این تحقیق، مهم‌ترین علت فرونشست در دشت مشهد، برداشت بی‌رویه آب زیرزمینی است.

حاتمی و پرویزی (۱۳۹۴)، در مقاله‌ای به بررسی تأثیر کاهش سطح آب زیرزمینی بر نشست زمین (مطالعه موردی: دشت ارسنجان) می‌پردازند. به همین سبب بیلان آبخوان و افت سطح آب زیرزمینی محاسبه و تأثیر آن بر فرونشست زمین بررسی شده است. نتایج تحقیق نشان می‌دهد، هر منطقه‌ای که با افت سطح ایستابی آب مواجه بوده، پدیده فرونشست هم در آنجا مشاهده شده است.

سادات وزیری و غفوری (۱۳۹۶)، در پژوهشی به بررسی اثرات افت آب‌های زیرزمینی در فرونشست دشت مشهد می‌پردازند. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که با توجه به رشد فیزیکی کلان‌شهر مشهد، هر ماه شاهد تغییرات کند ولی بسیار مخاطره‌آور فرونشست، به‌ویژه در مناطق جنوب شرقی، توس، قرقی، خواجه ربیع و شمال غرب هستیم. مقدار افت سطح آب زیرزمینی در دوره آماری ۲۰ ساله مورد مطالعه برای دشت مشهد، به بیش از ۱۳ متر می‌رسد که البته این میزان برای نواحی شمال غربی دشت بیش از ۳۰ متر در دوره آماری است. این مسئله خطر فرونشست و تبعات آن را هرچه بیشتر به دنبال دارد.

صالحی، غفوری، لشکری‌پور و دهقانی (۱۳۹۲)، در پژوهشی به بررسی فرونشست دشت مهیار جنوبی با استفاده از روش تداخل‌سنجی راداری پرداخته‌اند. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که پدیده فرونشست زمین در دهه‌های اخیر معضلات زیادی را برای زمین‌های کشاورزی، مناطق مسکونی، جاده‌ها و کانال‌های آبرسانی در برخی از دشت‌های استان اصفهان به وجود آورده است. در سال‌های اخیر، برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی این دشت رشد چشمگیری داشته و طبق آمار و اطلاعات موجود، بیشترین برداشت از منابع آب زیرزمینی این دشت در بخش کشاورزی صورت می‌گیرد. پیامدهای افت سطح آب زیرزمینی منجر به فرونشست زمین و ایجاد درز و ترک‌هایی در قسمت‌هایی از دشت شده است. افت سطح ایستابی و به دنبال آن افزایش تنش مؤثر، دلیل اصلی فرونشست دشت مهیار جنوبی است.

بهنیافر، قنبرزاده و اشراقی (۱۳۸۹)، در مقاله‌ای با عنوان بررسی عوامل مؤثر در فرونشست دشت مشهد و پیامدهای ژئومورفیک آن، با استفاده از تکنیک راداری اینترفرومتری و عملیات GPS و آنالیز ارزیابی‌های انجام‌شده به بررسی آبخوان دشت مشهد پرداخته و به این نتیجه رسیده‌اند که میزان افت سالانه سطح آب زیرزمینی دشت مشهد ۱/۴۷ متر و بیشترین فرونشست‌ها و حفرات با اشکال ژئومورفیک متفاوت در بخش‌های مرکزی و جنوب شرقی آن رخ داده است.

تحقیقی که توسط دانشکده علوم زمین در ایالت متحده آمریکا انجام شده، نشان می‌دهد که فرونشست زمین در بیش از ۱۷۰۰۰ مایل مربع در ۴۵ ایالت از آمریکا رخ داده است، منطقه‌ای تقریباً به اندازه مجموع نیوهمپشایر و ورمونت، مستقیماً تحت تأثیر فرونشست قرار گرفته است. بیش از ۸۰ درصد از فرونشست‌های شناسایی شده در این کشور، به دلیل بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی رخ داده است و توسعه روزافزون زمین و منابع آبی تهدیدی برای تشدید مشکلات موجود فرونشست زمین و ایجاد بحران جدید است. در بسیاری از مناطق خشک جنوب غربی و در مناطق مرطوب‌تر که در زیر سنگ‌هایی با قابلیت انحلال بالا؛ مانند: سنگ آهک، گچ، یا نمک قرار دارند، فرونشست زمین یک پیامد زیست‌محیطی است که اغلب نادیده گرفته می‌شود (Galloway, 1999: p 10). تحقیقی که توسط مؤسسات منابع آب و محیط‌زیست وژنو محیط‌زیست چین در دشت کانگژو Cangzhou (دشت چین شمالی) انجام شده، نشان می‌دهد

که فرونشست زمین عمدتاً ناشی از برداشت بی‌رویه از منابع آب‌های زیرزمینی بوده است که باعث آسیب‌های شدید به شبکه حمل و نقل، خدمات عمومی و سایر زیرساخت‌های عمرانی شده است. فرونشست زمین در دشت کانگزو ارتباط زیادی با برداشت آب برای آبیاری کشاورزی دارد (ایستگاه ملی مشاهده و تحقیقات آب‌های زیرزمینی و فرونشست زمین هبی کانگزو چین، ۲۰۲۲).

درمقابل دیدگاه فوق، دیدگاه دیگر ایجاد فرونشست را به عوامل زمین ساخت (تکتونیک) مرتبط می‌داند. در این مورد می‌توان به مطالعه‌های زیر اشاره کرد:

افرادی هستند که نسبت به این موضوع ابراز تردید کرده و معتقدند که علت اصلی فرونشست می‌تواند شامل مولفه‌های دیگری چون اکتیوتکتونیک و گسل‌ها نیز باشد. پورخسروانی (۱۳۹۴) معتقد است که فرونشست دشت‌ها در یک سیستم تعادلی و هم‌زمان با پدیده بالآآمدگی در ارتفاعات مجاور آنها صورت می‌گیرد. آبی‌دین و همکاران (۲۰۰۹)، در مطالعه فرونشست زمین در حوضه باندونگ اندونزی که دارای نرخ فرونشست ۲۰ سانتی‌متر در سال است، علت آن را استخراج بیش از حد آب زیرزمینی، بار ساختمان، تراکم رسوب و فعالیت‌های زمین‌ساختی می‌دانند. ماتینز و همکاران (۲۰۱۳)، اعلام کردند که نفوذ سریع در یک آبخوان نیمه‌اشباع منجر به نشست زمین، توسعه مناطق از پیش شکسته موجود و ایجاد ترک‌های جدید می‌شود. اگر یک لایه رس در شکستگی موجود باشد، مانند سد عمل کرده و مانع نفوذ از طریق شکستگی می‌شود. شدت نفوذ به ارتفاع آب، عرض شکستگی و نفوذپذیری شکستگی بستگی دارد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، اکثر محققان معتقدند که علت فرونشست در دشت‌های رسوبی به دلیل برداشت بی‌رویه از آب سفره‌های زیرزمینی است و پاره‌ای به تأثیر فعالیت‌های تکتونیک جنبا و تنها معدودی هم عامل اصلی در ایجاد این پدیده را تکتونیک جنبا و در تعامل با بالآآمدگی‌های مجاورتی می‌دانند.

۳. روش‌شناسی تحقیق

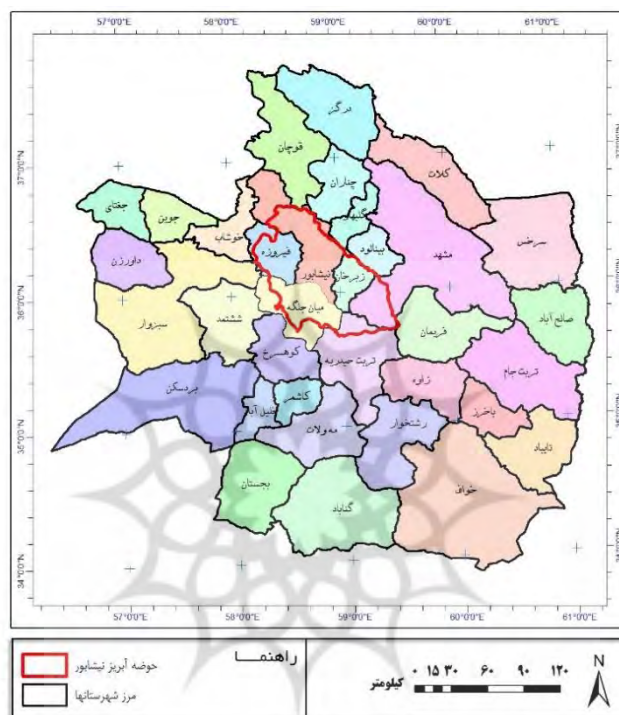
۳.۱. روش کار

روش تحقیق در این پژوهش، به صورت پیمایشی، توصیفی-تحلیلی و اسنادی است. در مرحله اول با استفاده از اطلاعات اداره منابع آب شهرستان نیشابور، آمار مربوط به سفره‌های آب زیرزمینی و آب‌های سطحی به دست آمد؛ سپس با استفاده از اطلس فرونشست دشت نیشابور که از تصاویر ماهواره‌ای sentinel توسط سازمان نقشه‌برداری کشور در سال ۱۳۹۷ تهیه شده است، به بررسی فرونشست زمین در این دشت پرداخته شد. تصاویر مورد استفاده حاصل پردازش ۵۶ تصویر ماهواره سنتینل از اکتبر ۲۰۱۴ تا دسامبر ۲۰۱۷ به روش تداخل‌سنجی راداری دهانه ترکیبی Interferometric Synthetic Aperture Radar (INSAR) است. اساس این روش، اندازه‌گیری تفاضلی فازهای تصاویر رادار گرفته‌شده از یک منطقه در زمان‌های متفاوت است. تعداد زوج تصاویر استفاده‌شده برای پردازش ۳۲۰ زوج است که حجم پردازش بسیار بالایی را شامل می‌شود و نتایج پردازش نیز از دقت حدود اسانتی متر برخوردار است. برای اعتبارسنجی نتایج روش تداخل‌سنجی راداری از سری زمانی ایستگاه دائمی GPS نیشابور و مسیر ترازیبی دقیق BCBK شامل ۳۱ ایستگاه و به طول حدود ۶۷ کیلومتر استفاده شده است. همچنین، در این پژوهش با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ و نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰، آمار و اطلاعات منابع آب‌های زیرزمینی، وضعیت آبخوان محدوده تحقیق بررسی و سپس با انجام بازدیدهای میدانی به شناسایی منطقه به لحاظ پدیده فرونشست زمین و اثرات آن بر مناطق روستایی پرداخته شده است.

۳.۲. محدوده مورد مطالعه

"حوضه آبریز دشت نیشابور، جزئی از حوضه آبریز کویر مرکزی ایران (کویر نمک یا دشت کویر) است. این حوضه در طول جغرافیایی 17° تا 58° تا 30° - 59° درجه شرقی و عرض جغرافیایی 35° - 40° تا 39° - 36° شمالی واقع شده است که از شمال به خط‌الرأس ارتفاعات بینالود، از شرق به بلندی‌های لیلجوق و یال‌پلنگ و از جنوب به تپه ماهورهای نیره‌بند، سیاه‌کوه و کوه نمک و از غرب به حوضه آبریز دشت سبزوار محدود می‌شود" (ولایتی، توسلی، ۱۳۷۰). وسعت کل حوضه آبریز دشت نیشابور حدود ۷۳۳۰ کیلومتر مربع است که ۳۱۶۰ کیلومتر مربع آن را

ارتفاعات و ۴۱۷۰ کیلومتر مربع را دشت تشکیل می‌دهد. بلندترین نقطه در ارتفاعات بینالود واقع در شمال شرقی دشت بوده که از سطح دریا ۳۳۰۰ متر ارتفاع دارد. منابع آبی موجود در دشت نیشابور شامل: رودها، قنات‌ها، چشمه‌ها و چاه‌ها هستند. چاه‌ها منبع اصلی تأمین آب مورد نیاز منطقه بوده که از آبخوان دشت نیشابور تغذیه می‌شوند.



نقشه ۱. موقعیت محدوده تحقیق در استان خراسان رضوی
منبع: (ویکی پدیا و مطالعات نگارنده)

۴. مبانی نظری تحقیق

"پدیده فرونشست زمین به عنوان مخاطره ای تدریجی نیازمند برنامه ریزی و سیاست گذاری جدی است. بررسی های متعدد نشان می دهد که عمده ترین عامل فرونشست زمین افت سطح آب زیر زمینی است. براساس اطلاعات سال ۱۳۹۸ هیجده استان کشور دارای محدوده هایی باخطر بالای فرونشست زمین هستند. فرونشست در ایران با نرخ بیش از ۵ برابر متوسط جهانی رخ می دهد و بیش از ۳۵ درصد از جمعیت کل کشور در معرض خطر فرونشست زمین قرار دارند. این پدیده بر خلاف وقایعی همچون سیل و زلزله آثار محسوس و لحظه ای به جای نمی

گذارد و پیامدهای آن به رغم خسارت بار بودن به دلیل پایین بودن سرعت وقوع و عدم بروز وجوه خارجی مشخص به راحتی قابل شناسایی نیستند. شناخت پدیده فرونشست و عوامل موثر بر آن با توجه به خسارت‌هایی که می‌تواند وارد کند، بسیار حایز اهمیت است. انجام اقدامات لازم در جهت کنترل آسیب‌های ناشی از فرونشست به خصوص در نواحی بحرانی فرونشست که دارای تراکم جمعیت، ابنیه وزیر ساخت‌های حیاتی هستند، بسیار ضروری است. در حال حاضر موضوع فرونشست زمین در کشور فاقد یک مرجع مورد وثوق واحد است و شاید تعیین متولی برای این موضوع بتواند دستیابی به اهداف مد نظر در کنترل و مقابله با این پدیده را هموارتر کند" (دفتر مطالعات زیر بنایی، ۱۴۰۲، ص. ۷).

بطور کلی در ایران سه عامل عمده در پدیده فرونشست زمین تاثیر گذارند: الف) کمبود قوانین جامع و تخصصی در بحث فرونشست، به صورتی که تمامی جنبه‌های مختلف این پدیده را مدنظر قرار دهد. ب) اجرای نامناسب و سلیقه‌ای قوانین موجود و عدم نظارت بر تحقق و دستیابی به اهداف برنامه‌های تدوین شده ج) ناهماهنگی بین دستگاه‌های مسئول در مدیریت واحد موضوع فرونشست و جزیره‌ای عمل کردن در بخش‌های مختلف.

در بحث کمبود قوانین جامع و تخصصی در مورد فرونشست، قوانین حاضر عمدتاً بصورت غیرمستقیم و در زمینه مدیریت منابع آب می‌باشد و قوانینی هم که مشخصاً و مستقیماً به موضوع فرونشست اشاره دارد از جمله قانون مدیریت بحران کشور و یا تکالیفی که در برنامه پنج ساله سوم شهرداری تهران برای شهرداری مشخص شده، جوابگوی این معضل گسترده و ملی نمی‌باشد.

از جنبه دیگر، نکته مهم در بحث کمبود قوانین جامع در مدیریت فرونشست این است که هرچند علت اصلی این پدیده در کشور ما برداشت از منابع آب زیرزمینی و پایین رفتن تراز آب و در نتیجه تراکم لایه‌های زیرسطحی می‌باشد و برای کنترل و کاهش نرخ آن باید مستقیماً به موضوع مدیریت آب و کاهش کسری مخازن زیرزمینی پرداخته شود اما از دید کلان برای حل تمامی تاثیرات فرونشست، نباید این پدیده را تنها به تصویب و اجرای قوانین و دستورالعمل‌های مربوط به مدیریت منابع آبی پیوند بزنیم. بدیهی است اجرای دقیق و اصولی اقدامات تعریف شده در مدیریت و تعادل بخشی منابع آب می‌تواند نقش موثری در کاهش نرخ

فرونشست در کشور داشته باشد. اما در بحث فرونشست ما علاوه بر کنترل نرخ فرونشست، نیازمند اقدامات همه جانبه دیگری از جمله تعیین اثرات آن بر سازه ها و شریانها، ارزیابی ریسک، افزایش تاب آوری در مناطق شهری و برون شهری و تعیین دستورالعملهای طراحی، بهسازی و اجرایی هستیم، بدیهی است دستیابی به این اهداف فراتر از وضع قوانین تنها در زمینه مدیریت منابع آبی بوده و نیازمند تدوین و ابلاغ قوانین جامع و همه جانبه در بحث فرونشست می باشیم. در زمینه اجرای نامناسب قوانین موجود نیز می توان به این مساله اشاره کرد که اندک قوانین حاضر در بحث فرونشست و همچنین قوانین موجود در زمینه مدیریت منابع آب بنا به دلایل مختلف، توسط دستگاه های اجرایی مربوطه از جمله وزارت نیرو و وزارت جهاد کشاورزی به درستی در سطح کشور اجرا و پایش نمی شوند. به عنوان نمونه می توان به برنامه مصوب کارگروه ملی سازگاری با کم آبی تصویب نامه ۱۳۹۶/۱۲/۱۲ هیات وزیران اشاره نمود که به نوعی جامع ترین و موثرترین برنامه برای مدیریت منابع آبی کشور و در نتیجه کاهش نرخ فرونشست در کشور بوده و متأسفانه بدرستی اجرا و پایش نشده است. همچنین در بسیاری از قوانین از جمله قانون سند ملی آمایش سرزمین، مصوب ۱۳۹۹/۱۲/۱۱ (ظرفیت منابع آبی قابل برنامه ریزی) برای مدیریت مصارف و منابع آبی اشاره شده، اما این موضوع در بسیاری از مواقع در برنامه ریزی ها مغفول مانده است. به عبارتی در حال حاضر در بحث مدیریت منابع آب، به عنوان عامل اصلی بحث فرونشست، قوانین نسبتاً جامع و مکفی در کشور وجود دارد ولی بسیاری از این قوانین به لحاظ اجرایی و عملیاتی شدن مورد غفلت قرار گرفته و چه بسا اگر تنها بخشی از این قوانین بدرستی اجرا شده بود اکنون از لحاظ وضعیت فرونشست به مراتب در شرایط بهتری قرار داشتیم. نهایتاً در زمینه ناهماهنگی بین دستگاههای مسئول در مدیریت واحد موضوع فرونشست باید اشاره شود که یکی از معضلات کنونی ما بابت برخورد با این پدیده یکپارچه نبودن برنامه ها، تصمیم گیر یها و روشهای اجرایی توسط دستگاهها و سازمانهای ذیربط می باشد. البته در این بین وجود تعدد قوانین خود می تواند یکی از عوامل اصلی در بی نتیجه ماندن برنامه ها و اقدامات باشد. به عنوان نمونه در قوانین موجود مسئول تعیین نرخ فرونشست و پایش تغییرات آن در کشور به روشنی مشخص نبوده و در حال حاضر هر دستگاهی برای خود بصورت جداگانه به این کار مبادرت نموده و این امر باعث سردرگمی

مدیران و تصمیم‌گیران شده است یا در بخش کشاورزی، تمرکز وزارت جهاد کشاورزی به خودکفایی محصولات براساس قوانین حاکم و وظایف ذاتی آن وزارتخانه بدون در نظر گرفتن مقوله آب قابل برنامه‌ریزی بصورت منطقه‌ای و ملی امری است که در جهت تشدید فرونشست خواهد بود. یا در بخش مدیریت منابع آب، وجود قوانین بعضاً چندگانه و موازی از جمله قانون برنامه پنج ساله ششم توسعه اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی جمهوری اسلامی ایران، برنامه مصوب کارگروه ملی سازگاری با کم‌آبی، سند ملی آمایش سرزمین سازمان برنامه و بودجه کشور، مصوبات شورای عالی آب، ضوابط ایجاد تعادل بین منابع و مصارف آب مصوبه ۱۳۸۷/۵/۲۹ هیات وزیران، راهبردهای توسعه بلندمدت منابع آب کشور مصوبه ۱۳۸۲/۸/۱۱ هیات وزیران و برنامه پنج ساله سوم شهرداری (۱۴۰۲-۱۳۹۸) تهران خود گویای این امر می‌باشد. همچنین بخشی از این قوانین به نظر می‌رسد در تعارض با مدیریت منابع آبی بوده و نیازمند اصلاح است. بعنوان مثال در ماده ۲۶ قانون توزیع عادلانه آب مصوب ۱۳۶۱/۱۲/۱۶ وزارت نیرو موکلف شده است براساس اطلاعات دریافتی از وزارت کشاورزی در مورد مقدار مصرف آب هر یک از محصولات کشاورزی برای هر ناحیه اقدام به صدور مجوز بهره‌برداری نماید. در واقع باید گفت این روال دقیقاً باید برعکس باشد یعنی وزارت نیرو براساس ظرفیت منابع آب قابل برنامه‌ریزی در هر منطقه باید حداکثر میزان برداشت آب را مشخص کرده و وزارت کشاورزی براساس این محدودیت نسبت به برنامه‌ریزی سطح کشت و نوع محصولات و روشهای آبیاری برنامه‌ریزی نماید. با توجه به مطالب فوق، جهت حل این معضل ضمن یکپارچه نمودن قوانین باید از واگذاری وظایف و اقدامات مشابه توسط دستگاه‌های مختلف اجتناب نمود. به این منظور باید نهادی واحد در سطح ملی به منظور تعیین اهداف، وظایف، برنامه‌ها و تدوین راهکارها ایجاد شده تا کل معضل فرونشست را بصورت واحد مدنظر قرار دهد. همچنین این نهاد وظیفه پایش و نظارت بر اقدامات دستگاه‌های مختلف را برعهده گیرد تا از این طریق مدیریت یکپارچه تبدیل به عملکرد یکپارچه شده و بتوان امیدوار بود اثرات معضل فرونشست در سالهای آتی بصورت چشمگیری کاهش یابد. با توجه به سه عامل برشمرده شده در بالا و برای تدوین خط مشی روشن برای مقابله با فرونشست زمین در کشور ابتدا راهکارهای فنی و اجرایی در زمینه کنترل و مقابله با تاثیرات فرونشست براساس تجربیات

کشورهای مختلف در مقابله با این پدیده بررسی شود و سپس با بومی سازی این راهکارها براساس ساختار حاکمیتی و شرح وظایف قانونی دستگاه های مختلف در کشور، وظایف انفرادی و مشترک دستگاهها، سازمانها و وزارتخانه های مختلف در راستای نیل به این اهداف تعریف گردید. ضروری است جایگاه یک متولی به لحاظ قانونی زیرنظر مستقیم دولت و مجلس، تحت عنوان "کارگروه کشوری فرونشست" تعریف و تعیین شده تا این کارگروه ضمن همسو کردن سیاستها و سیاستگذارها به تعیین، تدقیق و تبیین وظایف سازمانها و دستگاههای مختلف، اشتراک گذاری دادهها و دستاوردها و در عین حال پایش و نظارت بر انجام وظایف این دستگاهها بطور مستمر مبادرت نماید. (سرباز، ۱۴۰۲، ص. ۱۳۶)

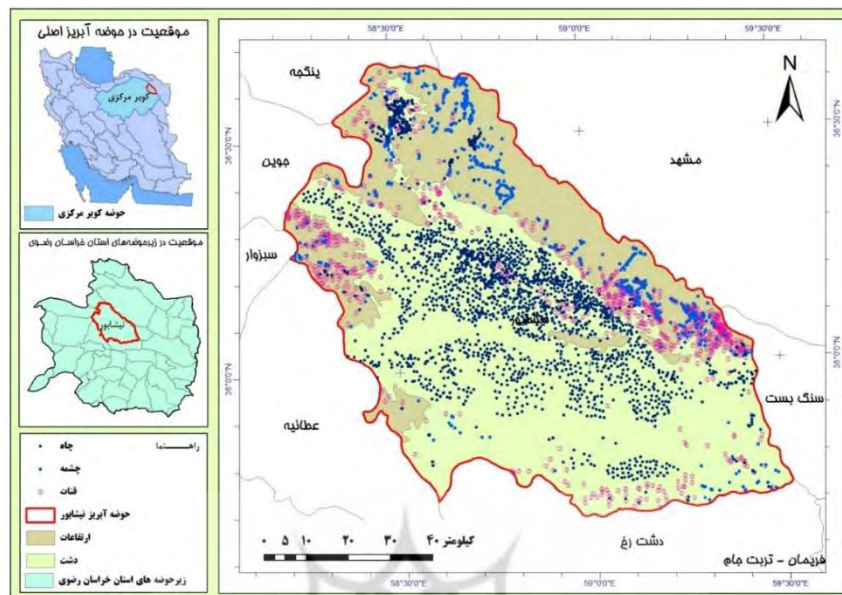
۵. یافته های تحقیق

دشت نیشابور دارای ۱۰۰ مسیل و رودخانه فصلی و ۲۰ رودخانه دائمی است که از ارتفاعات شمالی و جنوبی دشت سرچشمه می گیرند. مهم ترین جریانات سطحی ارتفاعات بینالود شامل: رودخانه های ملاغون، بار، خرو بزرگ و اندر آب و ... است که این جریانات در نهایت، به کال شور می پیوندند. رودخانه هایی که از ارتفاعات جنوب و جنوب شرقی حوضه سرچشمه می گیرند، مانند: کال سیاه، بازه خور، حصار به یکدیگر پیوسته و کال شور را به وجود می آورند. بر مبنای آخرین آمار برداری در سال ۱۴۰۱ میزان تخلیه آب های زیرزمینی از طریق ۳۴۶۶ حلقه چاه عمیق و نیمه عمیق، ۹۸۸ دهنه چشمه و ۸۹۳ رشته قنات، ۲۰ رودخانه دائمی با مجموع برداشت ۵۴۲/۹ میلیون متر مکعب منبع تأمین کننده آب مصرفی سه شهرستان نیشابور، فیروزه، زبرخان هستند.

بر اساس ایستگاه سینوتیپیک شهرستان نیشابور در سال آبی (۱۴۰۱-۱۳۹۹) میزان بارش معادل ۸۶ میلی متر بوده و این میزان به حدی نبوده تا در زمین نفوذ و منابع زیرزمینی را تغذیه کند؛ به همین دلیل هم اکنون تغذیه منابع آب زیرزمینی در دشت نیشابور نزدیک به صفر است. میانگین ۳۰ ساله بارش نیشابور برابر ۲۵۱/۹ میلیمتر است که در این مورد شاهد کاهش ۶۶ درصدی بارش در سال جاری هستیم. این کاهش نزولات جوی ظرف ۷۰ سال اخیر بی سابقه بوده است (خجسته پور، ۱۴۰۱).

میزان تخلیه و برداشت از منابع آب در مناطق مختلف حوضه به میزان متفاوتی بستگی به ضخامت آبرفت دارد. ضخامت آبرفت در غرب دشت ۸۰ متر و در شهرنیشابور حدود ۷۵ متر، در جنوب شرق ۵۰ متر، در شمال شرق ۱۸۰ متر و در اراضی باغرود و سالاری حدود ۲۰۰ متر است. مساحت آبخوان زیرزمینی دشت نیشابور ۲۵۶۰ کیلومتر مربع و آورد آب رودخانه‌ها به آن ۲۳۰ میلیون متر مکعب برآورده شده است. برداشت از منابع آبی حوضه عمدتاً از چاه‌ها صورت می‌گیرد. در نتیجه، با توجه به آمار میزان آبی تخلیه سالانه چاه‌ها که از اداره منابع آب شهرستان گرفته شده است، کمترین میزان تخلیه ۴۰۰ الی ۶۰۰ هزار متر مکعب در سال بوده که عمدتاً از منابع آبی قسمت‌های شرقی و مرکزی دشت برداشت می‌شود و بیشترین میزان برداشت از منابع آبی دشت، به میزان تخلیه بیش از ۲ میلیون متر مکعب در سال از منابع آبی قسمت‌های غرب و جنوب غربی حوضه استخراج شده است.

به‌طور کلی شاهد تفاوت میزان بحران در نقاط مختلف دشت هستیم و در کل هیچ قسمت از دشت خالی از بحران نیست و فقط میزان آن در نقاط مختلف منطقه متفاوت است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که شدت بحران در ۲۳ درصد از منطقه در حد بحران کم است که عمدتاً مناطق شرقی و به‌ویژه شمال شرق را در بر می‌گیرد. در این قسمت میزان نفوذپذیری پایین و در عوض میزان بارش بالا است؛ اما میزان تخلیه از منابع آبی، میزان افت و تبخیر نیز پایین است. الگوی کشت در این منطقه نیز نیاز آبی کمی دارد. این عوامل در مجموع، در پایین نگه‌داشتن میزان بحران در منطقه بسیار مؤثر بوده است. از قسمت شمال شرق دشت، هرچه به قسمت‌های شرق و جنوب حوضه حرکت کنیم، میزان تبخیر زیاد و میزان بارش کمتر می‌شود. در قسمت‌های جنوبی، میزان تخلیه نیز بیشتر می‌شود؛ ولی با توجه به نوع الگوی کشت نیاز آبی پایین در این مناطق، بحران آب در حد متوسط برآورده شده است که این محدوده ۴۶ درصد از حوضه را در بر می‌گیرد. بیشترین شدت درجه بحران در قسمت‌های جنوبی و غربی دشت برآورده شده است که ۳۱ درصد از وسعت حوضه را شامل می‌شود. در این مناطق بیشترین تخلیه از منابع آب صورت می‌گیرد که گرچه میزان نفوذپذیری بالایی دارند، ولی چون نوع الگوی کشت که همراه با کشت گیاهان زراعی و باغی با نیاز بالای آبی است، باعث تشدید بحران آب در این مناطق شده است (فرج‌زاده اصل، ۱۳۸۵، ص. ۲۳۲).



نقشه ۲. توزیع منابع آب زیرزمینی در دشت نیشابور

منبع: یزدانیان، ۱۳۹۲

جدول ۱. تعداد منابع آب زیرزمینی و میزان تخلیه به تفکیک نوع منبع آبی طی سالهای ۱۴۰۱-۱۳۶۸

(تخلیه: میلیون متر مکعب)

منبع: اداره منابع آب شهرستان نیشابور-۱۴۰۱

مجموع تخلیه سالانه m ³ /m	تعداد کل منابع آبی	چشمه		قنات		چاه		نوع منبع آب
		تخلیه	تعداد	تخلیه	تعداد	تخلیه	تعداد	
---	---							سال
۷۹۱	۲۵۵۱	۱۰۶/۱	۶۲۰	۱۴/۴	۱۰۳	۶۷۰/۵	۱۸۲۸	۱۳۶۸
۱۱۷۵/۴	۴۴۳۳	۱۱۹/۳	۹۱۴	۶۱/۱	۹۳۰	۹۹۵	۲۵۸۹	۱۳۸۱
۵۸۸	۴۷۱۲	۱۵/۲	۱۰۸۴	۴۹/۸	۹۲۴	۵۲۳	۲۷۰۴	۱۳۹۶
۵۴۲/۹	۵۳۴۷	۳۰	۹۸۸	۸۴/۱	۸۹۳	۴۲۸/۸	۳۴۶۶	۱۴۰۱

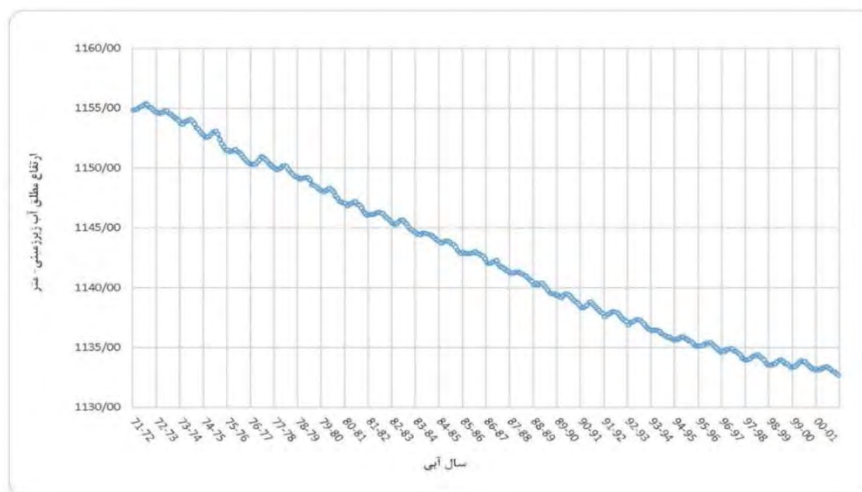
با توجه به جدول شماره (۱) مشاهده می شود که طی چهار دوره آماربرداری طی ۳۳ سال (۱۳۶۸-۱۴۰۱) ضمن افزایش ۱۶۳۸ حلقه چاه عمیق و نیمه عمیق، میزان تخلیه ۲۴۱/۷ میلیون متر مکعب کاهش داشته است که علت آن اثرات خشکسالی های چند دهه اخیر بر منابع آب است

که علی‌رغم افزایش تعداد چاه‌ها، میزان برداشت از منابع آب‌های زیرزمینی به علت افت سفره آب زیرزمینی کاهش نشان می‌دهد.

افزایش تعداد و تخلیه قنات در آماربرداری سال ۱۳۸۱ نسبت به دوره‌های قبل به دلیل شناسایی و آماربرداری قنات واقع در کوهپایه‌ها و به‌خصوص چشمه قنات‌ها است که این تعداد در آماربرداری سال ۱۴۰۱ کاهش برابر ۳۷ رشته قنات را نشان می‌دهد. افزایش تعداد چشمه‌ها در سال ۱۳۹۶، ناشی از آماربرداری چشمه‌هایی با شدت جریان کم و ناچیز است که در سال ۱۴۰۱ این تعداد به ۹۸۸ دهنه چشمه کاهش یافته است. افزایش تعداد و تخلیه بیش از حد منابع آب زیرزمینی دشت نیشابور از طریق چاه‌های بهره‌برداری طی سال‌های ۱۳۶۸ الی ۱۴۰۱ بیانگر اعمال استرس و کسری مخزن غیرقابل جبران طی سال‌های اخیر است؛ این درحالی است که به سبب نبود نظارت بر بهره‌برداری و حفر چاه‌های غیر مجاز کم‌عمق در دشت‌های سیلابی رودخانه‌ها و مسیل‌های ورودی به دشت، حجم زیادی از مؤلفه‌های تغذیه آبخوان به سطح زمین کشانده و در کشاورزی استفاده می‌شود که این امر تنش واردشده را تشدید کرده است.

"منابع آب زیرزمینی دشت نیشابور عمدتاً شامل آب‌های ذخیره‌شده در خلل و فرج رسوبات آبرفتی کواترن (Qt2) است که آبخوان آزاد منطقه را تشکیل داده است. آبخوان این دشت عمدتاً از طریق مخروط افکنه‌ها و سیلاب‌ها، مسیل‌های ورودی از ارتفاعات شمالی حوضه آبریز تغذیه می‌شود. استحصال آب زیرزمینی نیز عمدتاً از طریق چاه‌های عمیق صورت می‌گیرد. تخلیه سازندی حوضه آبریز نیز از طریق چشمه‌های ظهوریافته و از سازندهای سخت در ارتفاعات شمالی صورت می‌گیرد. برداشت بیش از حد منابع آب سبب افت زیاد سطح آب زیرزمینی شده و پیامدهایی از قبیل نشست سطح زمین و افت کیفی آب را در پی داشته است" (لشکری‌پور و همکاران، بی تا، ص. ۱۰۸۵).

نمودار شماره (۱) میزان افت سطح آب زیرزمینی در دوره ۳۰ ساله (۱۴۰۱-۱۳۷۱) را نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، در سال آبی ۱۳۷۲-۱۳۷۱ ارتفاع مطلق آب‌های زیرزمینی برابر ۱۱۵۵ متر بوده است؛ درحالی‌که این میزان طی سال‌های مختلف به تدریج افت کرده، به حدی که در سال ۱۴۰۱ این رقم به ۱۱۳۰ متر یعنی معادل ۲۵- متر افت نشان می‌دهد و به عبارتی هر ساله حدود ۸۳ سانتی‌متر سطح ایستایی آب پایین رفته است.



نمودار ۱. آبنمود محدوده مطالعاتی در دشت نیشابور طی سالهای ۱۴۰۱-۱۳۷۱

منبع: شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی-۱۴۰۱

۵. ۱. مصرف‌کنندگان اصلی آب‌های زیرزمینی

نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که از کل منابع آب در سال ۱۴۰۱-۱۳۹۹ که معادل ۵۹۶ میلیون متر مکعب بوده، در حدود ۸۶/۵ درصد آن در بخش کشاورزی و زیرمجموعه آن، به‌ویژه زراعت و باغداری مصرف شده است. جدول شماره (۲) میزان مصرف آب در بخش‌های مختلف از منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی را نشان می‌دهد.

جدول ۲. مصارف آب کشاورزی، شرب و بهداشت، صنعت و خدمات از منابع آب‌های سطحی و

زیرزمینی

منبع: شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی-۱۴۰۰

مصارف	سطحی m/m ³	درصد	زیرزمینی m/m ³	درصد	جمع کل m/m ³	درصد
کشاورزی	۳۵/۱	۹۳/۱	۴۸۰/۲	۸۶	۵۱۵/۳	۸۶/۵
شرب و بهداشت	۰/۱	۰/۲	۶۱/۷	۱۱	۶۱/۸	۱۰
صنعت و معدن	۲/۴	۶/۴	۷/۱	۱/۲۷	۹/۵	۱/۸
خدمات	۰/۱	۰/۲	۹/۳	۰/۷	۹/۴	۱/۶
جمع کل	۳۷/۷	۱۰۰	۵۵۸/۳	۱۰۰	۵۹۶	۱۰۰

مصرف‌کننده اصلی در سطح محدوده تحقیق، بخش کشاورزی با ۵۱۵/۳ میلیون مترمکعب (۸۶/۵ درصد)، بخش شرب و بهداشت با ۶۱/۸ میلیون متر مکعب (۱۰ درصد) و صنعت و معدن با ۹/۵ میلیون متر مکعب (۱۸/۸ درصد)، بخش خدمات ۹/۴ میلیون متر مکعب (۱۶ درصد) مصرف‌کنندگان اصلی از منابع آب زیرزمینی وسط‌حی محسوب می‌شوند؛ علاوه بر این ۵۳/۱ میلیون متر مکعب از آب برگشتی در بخش‌های مختلف نیز استفاده می‌شود. طی چند سال گذشته در نیشابور در بخش کشاورزی گرایش الگوی کشت از زراعت به محصولات باغی تغییر کرده و باعث افزایش چندبرابری مصرف آب در بخش کشاورزی شده است. در بخش زراعت هر هکتار زمین چهار تا پنج نوبت نیاز به آبیاری دارد؛ اما همین مقدار زمین اگر تبدیل به باغ شود، دوره آبیاری آن بین ۱۲ تا ۱۵ نوبت خواهد بود و در نیشابور هم با تبدیل اراضی کشاورزی از زراعی به باغی، میزان مصرف آب در بخش کشاورزی افزایش یافته و مدیریت مصرف آب تحت تأثیر جاذبه‌های اقتصادی کم‌رنگ شده است.

با توجه به اینکه بخش کشاورزی بزرگ‌ترین مصرف‌کننده آب تجدیدشونده در منطقه است، با کاهش مصرف و تغییر الگوی کشت و گرایش به کشت‌هایی با نیاز آبی کم می‌توان در این بخش تا حد زیادی به تعادل بین سیستم عرضه و تقاضای آب امیدوار بود. هم‌زمان، افزایش سرمایه‌گذاری در بخش صنعت و انتقال فعالان بخش کشاورزی به این بخش، راهی برای تضمین ثبات اقتصادی خانوارهای این منطقه است. در این سناریو فرض می‌شود که سالانه یک درصد از سطح زیر کشت اراضی آبی کاهش یافته تقاضای کشاورزی در اختیار بخش صنعت قرار داده می‌شود. در این صورت با وجود اینکه مقدار کل تقاضا تغییر زیادی می‌کند، ولی به دلیل اینکه آب برگشتی از صنایع نسبت به کشاورزی بیشتر است می‌توان گفت که به‌طور کلی در مصرف آب صرفه‌جویی خواهد شد. "میانگین مصرف آب هر هکتار از اراضی کشاورزی در دشت نیشابور سالانه در حدود ۱۲۵۹۰ متر مکعب و میانگین مصرف سالانه هر واحد صنعتی حدود ۱۰۳۵۸ متر مکعب است؛ این بدین معنی است که مصرف سالانه آب یک واحد صنعتی برابر با مصرف آب ۰/۸۲ هکتار زمین کشاورزی آبی در سال است" (کرمانشاهی، ۱۳۹۲، ص. ۴۹۹).

عدم شناخت صحیح و بهره‌برداری بی‌رویه از منابع آب، خسارت جبران‌ناپذیری مانند افت شدید و غیر قابل برگشت سطح آب زیرزمینی، کاهش دبی چاه‌ها و قنوات، تغییرات الگوی جریان

آب زیرزمینی مانند پیشروی جبهه‌های آب شور و تداخل آب‌های شور و پدیده فرونشست را به دنبال خواهد داشت.

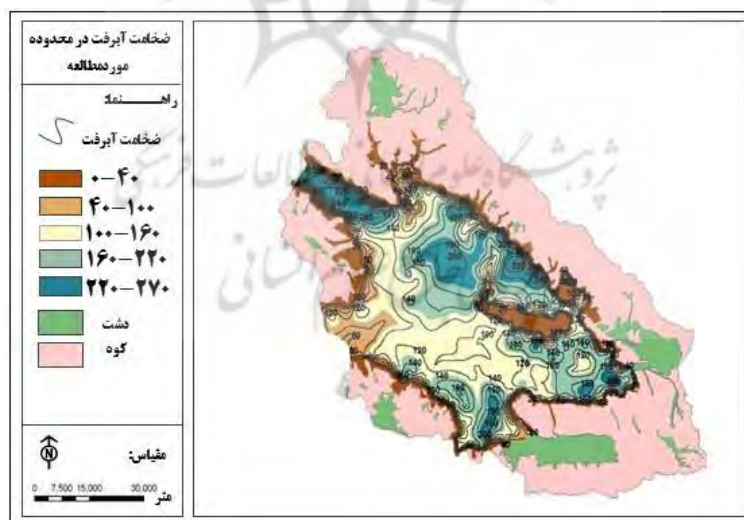
۵.۲. ارتباط پدیده فرونشست زمین با کاهش سطح آب‌های زیر زمینی

"با بررسی نقشه منحنی‌های هم‌عمق سطح آب زیرزمینی دشت نیشابور مشاهده می‌شود که سطح برخورد به آب در نقاط مختلف دشت متفاوت بوده و کمترین این عمق در حدود ۱۰ متر و حداکثر ۱۳۵ متر در قسمت‌های جنوبی حوضه است. حرکت آب‌های زیرزمینی در حوضه نیشابور از سمت ارتفاعات شمالی (بینالود) و ارتفاعات جنوبی به طرف کالشور و مقطع خروجی انتهایی دشت در جنوب غربی منطقه (حسین آباد جنگل) است" (فرج‌زاده اصل، ۱۳۸۵، ص. ۲۲۰).

تحقیقات نشان می‌دهد که کمترین میزان افت (کمتر از ۱۰ متر) در حوالی روستاهای مازول و قلعه‌نو جمشید است و در دو منطقه این حوضه در قسمت غربی و همچنین قسمت مرکزی متمایل به جنوب حوضه میزان افتی بیش از ۳۰ متر در طی دوره آماری ۱۴۰۱-۱۳۹۶ مشاهده می‌شود که در این مناطق بیش از ۸۰ درصد چاه‌های مورد بهره‌برداری، میزان تخلیه بیش از یک میلیون متر مکعب در سال را دارند و در منطقه دوم، نفوذپذیری پایین آن مزید بر علت شده است. به‌طور کلی، ضخامت آبرفت در غرب دشت ۸۰ متر و در شهر نیشابور حدود ۷۵ متر، در جنوب شرق ۵۰ متر، در شمال شرق ۱۸۰ متر و در اراضی باغرود و سالاری به ۲۰۰ متر می‌رسد (اداره منابع آب شهرستان نیشابور).

از پیامدهای منفی اضافه برداشت‌های مستمر از منابع آبی دشت نیشابور، پایین افتادن عمق سطح برخورد به آب زیرزمینی در این دشت است. معمولاً آب‌های زیرزمینی در دشت‌ها لابه‌لای ذرات شن و ماسه قرار دارند که آبرفت را تشکیل می‌دهند. وقتی سطح آب پایین می‌رود و برای چندین سال این اتفاق می‌افتد، آرام‌آرام فضای خالی که در گذشته با آب پر شده بود، با هوا پر شده، به ذرات ریز و درشت فشار وارد می‌کند، کم‌کم آن فضای خالی توسط ذرات ریز پر می‌شود و شاهد این هستیم که دشت دچار فرونشست می‌شود. این فرونشست به دلیل این است که ذرات ریز خرد، میان ذرات درشت جای می‌گیرند.

نتایج تحقیقات در سال‌های متمادی نشان می‌دهد که سطح برخورد به آب تقریباً در تمام چاه‌های دشت از سال آبی ۷۷-۷۶ نسبت به سال آبی ۸۱-۸۰ در حدود ۲ متر افت داشته و حتی در بعضی از چاه‌ها این میزان افت به ۱۰ متر نیز رسیده است (فرج زاده اصل، ۱۳۸۵، ص. ۲۲۱). براساس آمار اداره منابع آب شهرستان نیشابور، سطح برخورد به آب در سال ۱۴۰۱ برابر ۱۳۰ متر بوده است. با توجه به حجم بارش‌ها در سال آبی ۱۳۹۹-۱۳۹۸ میزان بارش در دشت نیشابور ۱۲۵ میلی‌متر بوده که حدود ۵۰ درصد از میانگین بارش بلندمدت کمتر بوده است و در سال آبی ۱۳۹۹-۱۴۰۰ این میزان به ۱۹۲ میلی‌متر رسید که حدود ۲۰ درصد از میانگین بارش بلندمدت کمتر بوده است و در سال آبی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ میزان بارش‌ها ۴۰ درصد از میانگین بارش بلندمدت کمتر بوده است. به همین دلیل طی سال‌های ۹۹ و ۹۸ میزان کسری مخزن آبی دشت نیشابور به ترتیب ۱۲۵ و ۷۸ میلیون مترمکعب برآورد شده است و در سال آبی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ براساس آمار اعلام‌شده از طرف اداره منابع آب شهرستان این میزان به ۴۲ میلیون مترمکعب رسیده است؛ اما در سال آبی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ دوباره این میزان به ۱۰۵ میلیون مترمکعب رسید. به‌طورکلی کسری مخزن بلندمدت ۱۲۹/۵۵- میلیون متر مکعب در سال برآورده شده است (اداره منابع آب شهرستان نیشابور-۱۴۰۰).



نقشه ۳. ضخامت آبرفت در محدوده مورد مطالعه

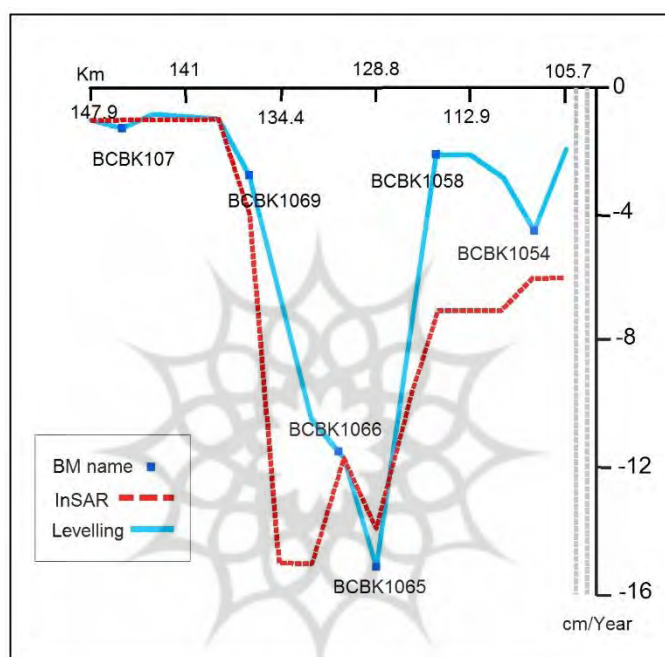
منبع: سربازی، اسماعیلی، ۱۳۹۱

از دیگر پیامدهای افت سطح آب، ایجاد شکاف‌های عمیق، حفره‌ای و طولی است. به‌طور کلی شکاف‌های طولی با زمین‌های در حال نشست مرتبط هستند. طبق گزارش‌های موجود، اولین شکاف‌ها از سال ۱۳۸۲ در دشت نیشابور و در محدوده روستای بازوبند در جنوب شهر فیروزه مشاهده شده است (شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی، ۱۳۸۷). در سال‌های بعد نیز در سایر مناطق دشت شکاف‌هایی با طول و ابعاد مختلف ایجاد شده است.

با توجه به شواهد و مطالعات میدانی، مهم‌ترین سازوکار ایجاد و گسترش ترک‌ها و شکاف‌های محدوده تحقیق را می‌توان به نشست قسمتی از آبرفت دانه‌ای فاقد چسبندگی ناشی از افت سطح آب زیرزمینی نسبت داد و به دنبال آن، ترک‌خوردگی و سپس شسته‌شدن خاک درون شکاف را بر اثر جاری‌شدن آب‌های سیلابی و روان‌آب‌ها در نظر گرفت. در اثر برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی در دشت نیشابور ترک‌هایی به طول حداکثر ۷۰ کیلومتر و متوسط ۳۰ کیلومتر ایجاد شده، آبخوان زیرزمینی این دشت دچار شکستگی شده و توان ذخیره آن کاهش یافته است.

بررسی‌های انجام‌شده حاکی از آن است که شکاف‌های اصلی ایجادشده در دشت، دارای امتداد تقریباً شمالی-جنوبی بوده و به طول چندین کیلومتر از شمال روستای بازوبند شروع شده و تا روستای اردمه قابل تعقیب است. این شکاف‌ها ناشی از افت سطح ایستابی بوده و در اکثر موارد در امتداد یک خط، اثر سطحی خود را بر روی سطح زمین نشان داده است؛ البته در حد فاصل این دو روستا در محدوده گسل در سطح زمین شکاف مشاهده نمی‌شود که عمدتاً به دلیل از بین رفتن آثار آن توسط کشاورزان به دلیل قرارگیری در زمین‌های کشاورزی بوده است. محل تشکیل این شکاف احتمالاً از یک گسل قدیمی در پی سنگ تبعیت می‌کند. "حداکثر عمق مشاهده‌شده در شکاف‌های این محدوده حدود ۴ متر است. معمولاً پس از بارندگی با عملکرد فرسایش آبی این شکاف‌ها عریض‌تر می‌شوند. در شرق شهر عشق آباد در جنوب شهر نیشابور نیز شکاف‌هایی مشاهده می‌شود. این شکاف‌ها در محدوده‌ای به شعاع حدود یک کیلومتر و در جهات مختلف مشاهده می‌شود. علت تشکیل این شکاف‌ها نیز افت سطح آب زیرزمینی است. البته در ایجاد این شکاف برخلاف شکاف قبلی، گسل نقش ندارد" (لشکری پور، بی‌تا، ص ۱۰۸۸) و تنها راه حل این وضعیت کاهش برداشت آب از مخازن آب زیرزمینی تا شعاع

۱۰ کیلومتری محل شکست زمین است؛ حتی اگر در سال‌های آینده نیز از وضعیت خشکسالی خارج شویم، به دلیل نابودی مخزن آب امکان ذخیره آب زیرزمینی فراهم نخواهد شد (خجسته پور، ۱۳۹۶)؛ زیرا زمانی که آب‌های زیرزمینی بیش از حد تخلیه شوند، فضای خالی بین سفره‌های زیرزمینی کم‌کم بسته شده و زمین نشست می‌کند. این عامل باعث می‌شود دیگر آب‌های باران و برف نتوانند به عمق رسیده و دوباره سفره‌ها را سیر آب کنند.



نمودار ۲. نرخ فرونشست زمین در مسیر نیشابور از طریق اندازه‌گیری ترازبایی دقیق (LEVELLING) در طی سال‌های ۲۰۱۴-۲۰۱۷

نرخ فرونشست زمین در مسیر نیشابور از طریق INSAR

۵.۳. اثرات فرونشست زمین بر مناطق روستایی محدوده تحقیق

با بررسی تصاویر ماهواره‌ای و انطباق آن بر مناطق روستایی محدوده تحقیق، مشاهده می‌شود مناطقی که قطب کشاورزی و صنعتی منطقه محسوب می‌شوند، بیشترین مصرف‌کننده منابع آبی به‌ویژه آب‌های زیرزمینی بوده و همچنین بیشترین اثرات فرونشست در همین مناطق رخ داده است.

نتایج بررسی‌های میدانی بیانگر آن است که اثرات فرونشست زمین در مناطق مختلف دشت متفاوت بوده و علت آن میزان بهره‌برداری از منابع آب‌های زیرزمینی، جنس زمین، ضخامت آبخوان و غیره بوده است. فرونشست در زمین‌های کشاورزی دلیلی جز الگوی کشت نادرست و استفاده بیش از حد سفره‌های آب زیرزمینی ندارد. در پی این اتفاق، عمدتاً زمین‌های کشاورزی تا شعاع بزرگی در اطراف شکاف، از بین خواهند رفت. ایجاد فرونشست در زمین‌های کشاورزی می‌تواند سبب تخریب یا غیر قابل استفاده شدن چاه‌های اطراف شود. همچنین، به دلیل تغییراتی که در تراکم بافت زمین ایجاد می‌شود، ممکن است تخریب زیادی در زمین‌های اطراف خود به وجود آورد.

شکاف‌های ایجادشده در دشت نیشابور عمدتاً در شمال و شمال غربی بوده؛ گرچه در جهت شمال شرقی نیز شکاف‌هایی شناسایی شده است. به‌طورکلی در دو بخش عمده، شکاف‌های شرقی (غرب و شرق روستای بشرو، قبل از مسجد چوبی و اطراف روستای کاریزک) و غربی (شکاف‌های حاشیه روستای بازوبند) شناسایی شده‌اند. از نظر سنی گسترش و ایجاد این شکاف‌ها باهم متفاوت است. شکاف‌های اطراف روستای بازوبندی از حدود ۲۴ سال پیش ایجاد شده است، در صورتی که شکاف‌های اطراف روستای کاریزک حدود ۱۴ سال پیش ایجاد شده و در سال‌های بعد گسترش یافته است و شکاف‌های اطراف روستای بشرو و مسجد چوبی در ۱۱ سال اخیر ایجاد شده‌اند.

با توجه به جدول شماره (۳) مشاهده می‌شود که در محدوده روستای بشرو غربی مشکلات ناشی از فرونشست زمین باعث بی‌استفاده شدن زمین‌های کشاورزی به دلیل ناتوانی در آبیاری، تغییر شیب طبیعی زمین، قطع مسیر رشته قنات، نزدیک شدن به قنات بیخج، آسیب به جاده‌های ارتباطی، قطع خطوط انتقال انرژی، آسیب به منازل مسکونی شده است؛ درحالی‌که اثرات فرونشست زمین در قسمت شرقی روستا با توجه به طول آن که ۶۰۰ و عمق ۲ متر بوده، اثرات مخرب‌تری داشته که منجر به قطع قسمتی از لوله انتقال نفت سراسری، نفوذ نفت در آبخوان، پیشروی به سمت ریل راه‌آهن، تغییر مسیر سیلاب کال که منجر به هدایت سیلاب به سمت روستای جیلو شده است. در روستای کاریزک بخش وسیعی از اراضی زراعی تخریب شده و

همچنین، فرونشست زمین درز و ترک‌هایی را دریافت مسکونی روستا ایجاد کرده و نیز منجر به هدایت سیلاب‌ها به بافت مسکونی شده است.

در محدوده روستای بازوبندی فرونشست زمین به طول ۱۲ کیلومتر و عمق ۶ متر منجر به تخریب ۷۰ هکتار از اراضی کشاورزی این محدوده شده است. همچنین، به علت ایجاد شکاف، امکان انتقال آب به زمین‌های زراعی وجود ندارد و نیز عمق آب‌های زیرزمینی در منطقه از ۳۰ متر به ۱۰۰ متر افزایش یافته است.

بررسی‌ها نشان می‌دهد، امتداد شکاف‌ها به سمت شمال غرب در حال گسترش است و همچنان این پیشروی مخرب ادامه دارد. در روستای حسنی‌ده، تخریب مساکن و ایجاد درز و ترک، ایجاد شکاف در جاده‌های ارتباطی، ایجاد شکاف در مزارع، آب‌گرفتگی و رانش زمین از جمله عوارض منفی فرونشست زمین است. در سایر روستاها، از جمله حقیقه واحمدیه نیز مشکلاتی مشابه مشاهده شده است؛ مانند: ایجاد شکاف‌های عمیق در زمین‌های زراعی، تغییر مسیر جریان آب و تخریب زمین‌های کشاورزی.

در حال حاضر به دلیل بی‌توجهی به این پدیده، تعدادی از خانه‌های روستایی قابلیت بهره‌برداری و سکونت خود را از دست داده‌اند و مسائلی نظیر مهاجرت، انتقال افراد و ایجاد خانه‌های جدید به وجود آمده که هزینه‌های زیادی را به دولت و مردم تحمیل کرده است. همچنین، یکی از مشکلات بسیار حاد در این زمینه، وجود فرونشست در امتداد ایستگاه راه‌آهن خیام به سمت ایستگاه عطار است که در نمودار شماره (۳) به تصویر کشیده شده است و همان‌گونه که دیده می‌شود، نرخ فرونشست زمین در ایستگاه خیام حدود ۶ سانتی‌متر و در ایستگاه عطار حدود ۸ سانتی‌متر در سال است. بیشینه نرخ فرونشست نیز در طول این مسیر نزدیک به ۱۲ سانتی‌متر در سال محاسبه شده است. برای بررسی نرخ فرونشست در امتداد بزرگراه مشهد به سمت سبزوار، یک مقطع طولی از حوالی شهر قدمگاه به سمت نیشابور و ادامه آن بررسی شده است. با توجه به نمودار شماره (۴) ملاحظه می‌شود که در اطراف شهر نیشابور نرخ فرونشست نزدیک به ۱۱ سانتی‌متر و در محدوده شهر قدمگاه حدود ۳ سانتی‌متر در سال گزارش شده است. بیشینه نرخ فرونشست نیز در این امتداد حدود ۱۸ سانتی‌متر در سال برآورد شده است.



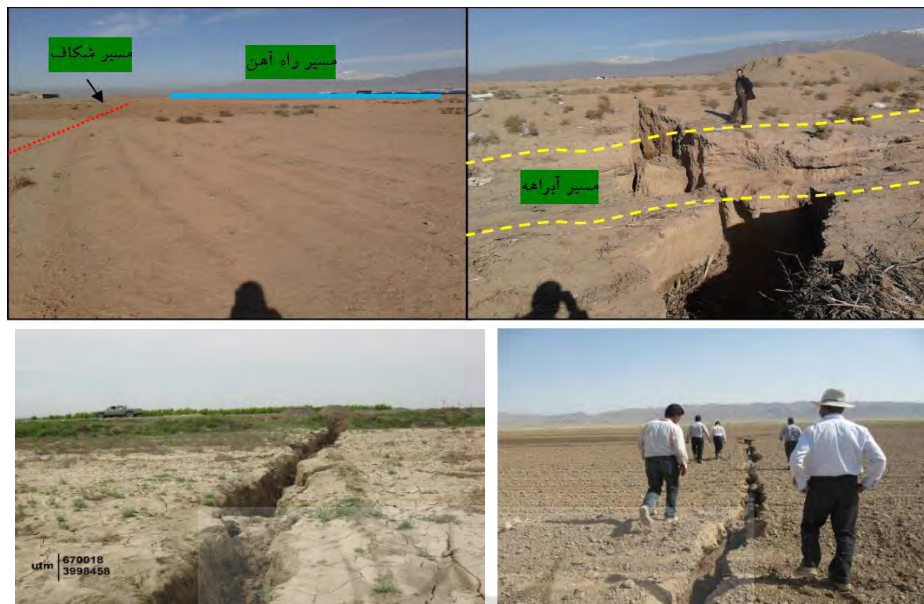
نمودار ۳. نرخ فرونشست زمین در ایستگاه خیام و عطار نیشابور

منبع: سازمان نقشه برداری کشور، ۱۳۹۷



نمودار ۴. نرخ فرونشست زمین در امتداد بزرگراه مشهد-نیشابور-سبزوار و خطوط راه آهن

منبع: سازمان نقشه برداری کشور، ۱۳۹۷



تصاویر ۱. اثرات فرونشست زمین در دشت نیشابور

منبع: سازمان آب منطقه‌ای خراسان رضوی، ۱۳۸۷



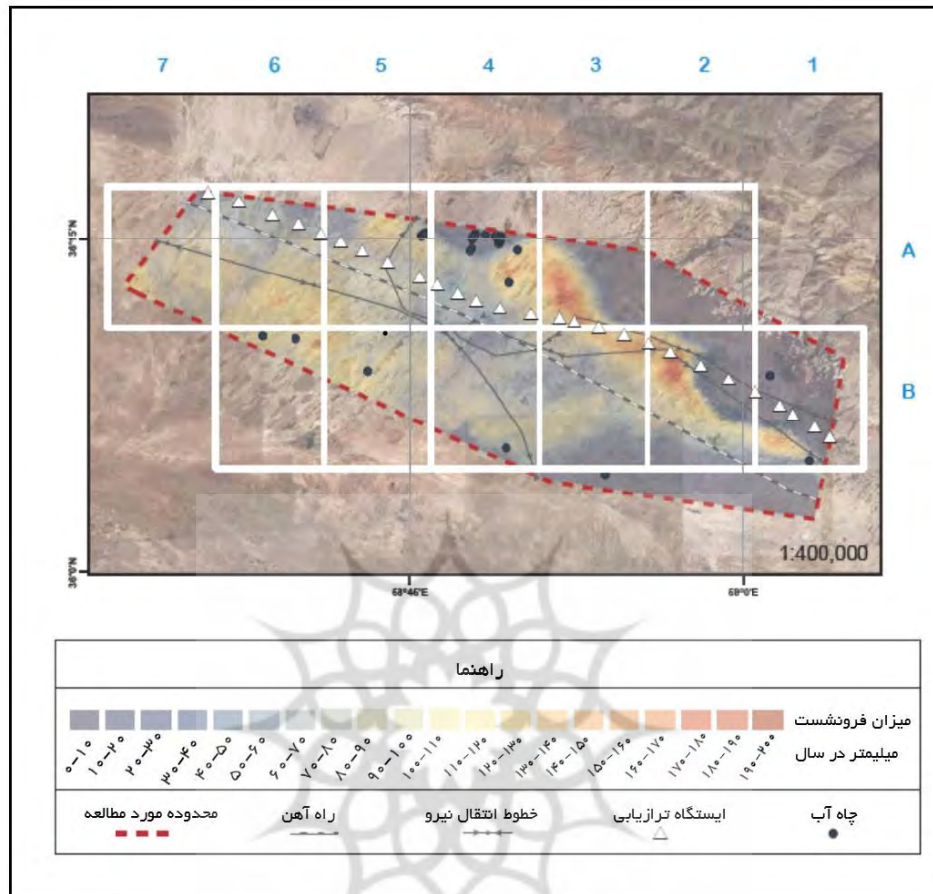
تصاویر ماهواره‌ای شماره ۲. شکاف‌های ایجادشده در برخی مناطق دشت نیشابور

منبع: سازمان آب منطقه‌ای خراسان رضوی، ۱۳۸۷

جدول ۳. اثرات پدیده فرونشست زمین در محدوده تحقیق

منبع: اطلاعات گرفته شده از تصاویر ماهواره‌ای سنتینل-مشاهده‌های میدانی نگارنده

اثرات فرونشست	موقعیت مکانی
<ul style="list-style-type: none"> -بی‌استفاده شدن زمین‌های کشاورزی به دلیل ناتوانی در آبیاری -تغییر شیب طبیعی زمین - قطع مسیر قنوات - آسیب به جاده‌های ارتباطی -قطع خطوط انتقال انرژی -نزدیک شدن به قنات بیخج - آسیب به منازل مسکونی 	بشرو (قسمت غربی)
<ul style="list-style-type: none"> -قطع قسمتی از لوله انتقال نفت سراسری -نفوذ نفت در آبخوان -پیشروی به سمت ریل راه آهن - تغییر مسیر سیلاب کال که منجر به هدایت سیلاب به سمت روستای جیلو شده است. 	بشرو (قسمت شرقی)
<ul style="list-style-type: none"> - تخریب زمین های کشاورزی -پیشروی داخل بافت روستا - هدایت سیلاب به داخل منازل روستا 	کاریزک
<ul style="list-style-type: none"> -تخریب ۷۰ هکتار از زمین‌های کشاورزی به علت قطع مسیر توسط شکاف که امکان انتقال آب به زمین‌های خود را از دست داده‌اند . -شکافها در امتداد پل و به سمت شمال غرب گسترده شده و به نظر می‌رسد در حال گسترش اند. -عمق آب‌های زیرزمینی در منطقه از ۳۰ متر به ۱۰۰ متر افزایش یافته است. 	بازویند
<ul style="list-style-type: none"> - تخریب مساکن و ایجاد درز و ترک -شکاف در جاده -ایجاد شکاف در مزارع - آب‌گرفتگی و رانش زمین 	حسنی‌ده
<ul style="list-style-type: none"> -ایجاد شکاف عمیق در زمین های زراعی - تغییر مسیر جریان آب 	حقیقه
<ul style="list-style-type: none"> - تخریب زمین‌های کشاورزی 	احمدیه
<ul style="list-style-type: none"> - قطع جاده آسفالتی 	مسجد چوبی
<ul style="list-style-type: none"> -نشست زمین در محدوده راه آهن 	ایستگاه خیام
<ul style="list-style-type: none"> -نشست زمین در محدوده راه آهن 	ایستگاه عطار



تصویر ماهواره‌ای ۳. میزان فروروشست زمین در مناطق مختلف محدوده تحقیق

منبع: سازمان نقشه برداری کشور، ۱۳۹۷

۶. نتیجه‌گیری

نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که به‌طور متوسط، دشت نیشابور سالانه ۱۰/۵ سانتی‌متر نشست می‌کند که در مقایسه با میانگین جهانی، این رقم تقریباً ۲۶ برابر بیشتر است. در واقع، بهره‌برداری غیر اصولی از سفره‌های آب زیرزمینی دشت نیشابور، باعث به‌هم‌خوردگی در آرایش ذرات خاک و کاهش فضای خالی رسوبات شده و در نتیجه، فروروشست زمین را در اکثر نقاط دشت شاهد هستیم.

در این پژوهش برای بررسی داده‌های هیدروگراف واحد و نیز تغییرات به وجود آمده در حجم ذخیره آبخوان دشت نیشابور به استناد داده‌های آماری با استفاده از آزمون هم‌بستگی تجزیه و تحلیل‌ها انجام شده است. شواهد نشان می‌دهد که سطح تراز آب زیرزمینی در طی دوره آماری (۱۳۷۱-۱۴۰۱) به میزان ۲۵- متر و سالانه معادل (۰/۸۳) متر افت داشته است. مقادیر هم‌بستگی بین دو عامل افت سطح آب و فرونشست زمین نشان می‌دهد که هم‌بستگی کامل میان پدیده فرونشست زمین با افت سطح آب‌های زیرزمینی محدوده تحقیق وجود دارد، به عبارتی سالانه در ازای هر ۸۳ سانتی‌متر افت سطح آب‌های زیرزمینی، به طور متوسط ۱۰/۵ سانتی‌متر تراز اراضی دشت نیشابور نشست می‌کند که تبعات آن به صورت شکاف‌هایی در اراضی زراعی، تخریب سیستم آبیاری و زه‌کشی، سیستم‌های انتقال آب و وارد کردن خسارات به چاه‌های کشاورزی با پایین آوردن تخلخل آنها و ایستگاه‌های پمپاژ آب‌های سطحی و چاه‌های زیرزمینی، تغییر شیب زمین و ایجاد مشکلات در شبکه آبرسانی سطحی و نیز تغییر در سرعت و جهت جریان آب زیرزمینی، آسیب‌رساندن به سیستم حمل و نقل جاده‌ای و ریلی، صدمه به محیط‌زیست؛ مانند: زمین‌های کشاورزی، گونه‌های گیاهی و جانوری، فروریختن جداره چاه‌ها و قنوت و گل‌آلود شدن آب، ایجاد لرزش‌های کوچک در اثر ناپایداری زمین و ایجاد درز و ترک در مسکن روستایی است.

مسئله برای کنترل فرونشست زمین، با راهکارهایی چون کاهش مصرف و کنترل برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی، تغذیه مصنوعی آبخوان‌ها از طریق مهار یا هدایت جریان‌های سطحی و افزایش پروژه‌های آبخیزداری، اصلاح الگوی کشت، افزایش بهره‌وری در روش‌های آبیاری و تولید محصولاتی با نیاز آبی کمتر، می‌توان از فرونشست زمین جلوگیری کرد.

۷. پیشنهادها

برای جلوگیری از نشست زمین به دلیل افت سطح آب‌های زیرزمینی راه‌حل‌های زیر مطرح می‌شود:

۱- پیشگیری از پمپاژ بی‌رویه آب و در صورت امکان استفاده از آب‌های سطحی به جای آب زیرزمینی به ویژه در مناطق پایکوهی.

- ۲- تغذیه سفره‌های زیرزمینی توسط آب‌های سطحی و در صورت امکان انتقال آب از حوضه‌های مجاور و یا تغذیه توسط فاضلاب شهری، خصوصاً اگر در نقاط شهری این مشکل وجود داشته باشد.
- ۳- مطالعه دقیق لایه‌ها و خواص فیزیکی، شیمیایی و مکانیکی آنها.
- ۴- شناخت مناطق کارستی و بررسی امکان تشکیل سینک هول در محدوده پروژه‌ها.
- ۵- پروژه‌های پخش سیلاب یکی از راه‌هایی است که می‌تواند میزان فرونشست زمین را کمتر کند، به این صورت که آب‌های حاصل از بارش از طریق کانال‌هایی که به شکل تپه بوده از بالادست به دشت‌هایی که دچار فرونشست هستند منتقل و آب بر سطح دشت پخش می‌شود که با این اقدام حداقل می‌توان جلوی فرونشست زمین را گرفت.
- ۶- کاهش بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی (حداقل به میزان ۲۵ درصد) و جلوگیری از برداشت شن و ماسه در مناطق بالادست و داخل محدوده فرونشست زمین که موجب تغذیه سفره آب زیرزمینی می‌شود.
- ۸- تغذیه مصنوعی و آبخوان‌داری در دشت‌های بحرانی.
- ۹- رعایت حق‌آبه‌های زیست‌محیطی در مناطق به‌گونه‌ای که از آب‌های زیرزمینی و سطحی طوری استفاده شود که تعادل لندفرم‌های ژئومورفولوژیکی منطقه حفظ شود.
- ۱۰- تخصیص درصدی از منابع آب از سرچشمه حوضه‌ها به پایاب حوضه‌ها و بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی در حد کمتر از میزان تغذیه آبخوان تا بیلان منفی ایجاد نشود و در نتیجه، تعادل لندفرم‌های محیطی بر هم نخورد.
- ۱۱- تغییر اساسی در الگوی کشت و نیز الگوی مصرف و بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی و استفاده از روش‌های نوین آبیاری کشاورزی برای به‌حداقل رساندن مصرف و هدررفت آب.
- ۱۲- کنترل دقیق سطح ایستابی آب‌های زیرزمینی برای برنامه‌ریزی و جلوگیری از وقوع فرونشست زمین.
- ۱۳- عدم بهره‌برداری از چاه‌هایی که در سنگ بستر حفاری شده و آبدهی بالایی دارند.
- ۱۴- با توجه به خطر فرونشست زمین، از ساخت‌وسازهای مسکونی، تجاری و کاربری‌های کشاورزی در مناطق پرخطر جلوگیری شود و این مناطق به‌عنوان مناطق ممنوعه قلمداد شود.

۱۵- ایجاد تشکل‌های بهره‌برداران آب زیرزمینی و سپردن مدیریت آبخوان و بهره‌برداری و حفاظت از آبخوان به آنان.

کتابنامه

۱. اداره منابع آب شهرستان نیشابور، (۱۴۰۲).
۲. امیری کاریزکهنی، ف.س.، خاشعی سیوکی، ع.، احمدی حاجی، ا.ح.، و کاووسی گیوشاد، م. (۱۴۰۰). بررسی اثر افت آب زیرزمینی بر تغییرات شوری آب آبخوان، (مطالعه موردی دشت نیشابور). *آبخوان و قنات*، ۳(۱)، ۹۲-۱۰.
۳. بهنیافر، ا.، قنبر زاده، ه.، و اشراقی، ع. (۱۳۸۹). بررسی عوامل موثر در فرونشست‌های دشت مشهد و پیامدهای ژئومورفیک آن. *جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری چشم انداز زاگرس*، ۲(۵)، ۱۸-۲.
۴. پورخسروانی، م. (۱۳۹۴). بررسی و تحلیل علت فرونشست دشت‌ها و اثرات آن، اولین کنفرانس بین المللی علوم جغرافیایی، آباءه، <https://civilica.com/doc/562105>
۵. جلینی، م.، عادل، س.، لشکری‌پور، غ.، و راشکی، ع. (۱۳۹۶). بررسی همبستگی مورفومتری ترک‌های حاصل از فرونشست با تغییرپذیری ادافیک در دشت نیشابور. *پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی*، ۵(۴)، ۷۵-۵۹.
۶. حاتمی، ف.، و پرویزی، م. (۱۳۹۴). تاثیر کاهش سطح آب زیرزمینی بر نشست زمین (مطالعه موردی: دشت ارسنجان). *چهارمین کنفرانس ملی مصالح و سازه‌های نوین در مهندسی عمران*.
۷. حسین زاده، ر.، رکنی، ج.، لشکری‌پور، غ.، و ولایتی، س. (۱۳۹۵). بررسی فرونشست زمین، چشم اندازها و تحولات ژئومورفولوژی ناشی از آن در دشت‌های تراکمی (نمونه موردی: دشت نیشابور). *جغرافیای مناطق خشک*، ۷(۲۴)، ۳۸-۲۱.
۸. خبرگزاری سینا. (۱۳۹۷/۱۱/۱۰).
۹. خجسته پور.س. (۱۳۹۶)، کد خبر: ۲۰۱۱۴۳۷.
۱۰. خجسته پور.س. (۱۴۰۰)، روزنامه خراسان ۱۲/۳/۱۴۰۰.
۱۱. دفتر مطالعات زیر بنایی، مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی، (۱۴۰۲)، ۱۱(۱۹۴۲۶)، ۳۸-۱.
۱۲. رنجبر باروق، ز.، و فتح‌الله‌زاده، م. (۱۴۰۱). بررسی فرونشست زمین با استفاده از سری زمانی تصاویر راداری و ارتباط آن با تغییرات تراز آبهای زیرزمینی (مطالعه موردی: کلان شهر کرج). *پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی*، ۱۰(۴)، ۱۵۵-۱۳۸.

۳۳. زارع مهرجردی، ا. (۱۳۹۰). بررسی پدیده نشست زمین و شکستگی‌های موجود در منطقه رستاق جنوب میبد. *جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*، ۴۳(۱)، ۱۶۶-۱۵۵.
۴۴. سادات وزیری، ن.، وزیری، س. م.، غفوری، م. (۱۳۹۶). اثر افت آب‌های زیرزمینی در فرونشست‌های دشت مشهد. دومین همایش زمین‌شناسی مهندسی و محیط زیست شهر مشهد <https://civilica.com/doc/772834>
۵۵. سازمان نقشه برداری کشور، ۱۳۹۷.
۶۶. سازمان آب منطقه ای خراسان رضوی، ۱۳۸۷.
۷۷. سرباز، ح.، و آقامیری، س. م. (۱۴۰۲). سیاست‌گذاری و مدیریت فرابخشی حل معضل پدیده فرونشست در ایران. *پژوهش‌های سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی انرژی*، ۹(۲)، ۱۴۷-۱۰۶.
۸۸. صالحی، ر.، غفوری، م.، لشکری‌پور، غ.، و دهقانی، م. (۱۳۹۲). بررسی فرونشست دشت مهبیار جنوبی با استفاده از روش تداخل سنجی راداری. *مهندسی آبیاری و آب ایران*، ۳(۱۱)، ۵۷-۴۷.
۹۹. فرج‌زاده اصل، م.، و حسینی، آ. ب. (۱۳۸۶). تحلیل بحران آب دشت نیشابور، *مدرس علوم انسانی (ویژه نامه جغرافی)*، ۱۱(۵۳)، ۲۳۸-۲۱۵.
۱۰۰. قره‌چلو، س.، اکبری قوچانی، ح.، گلیان، س.، و گنجی، ک. (۱۴۰۰). ارزیابی میزان فرونشست زمین در ارتباط با آب‌های زیرزمینی به کمک داده ماهواره‌ای راداری سنتینل-۱ والوس-۱ (منطقه مورد مطالعه: دشت مشهد). *سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی*، ۱۲(۳)، ۱۴-۱۱.
۱۱. کرمانشاهی، س.، داوری، ک.، هاشمی‌نیا، م.، فرید حسینی، ع.، و انصاری، ح. (۱۳۹۲). کاربرد مدل WEAP در ارزیابی تاثیر مدیریت مصرف آب آبیاری بر منابع آب دشت نیشابور. *آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)*، ۲۷(۳)، ۴۹۵-۵۰۵.
۲۲. لشکری‌پور، غ.، ر.، غفوری، م.، کاظمی گلیان، ر.، و دمشناس، م. (بی تا). نشست زمین در اثر افت سطح آب‌های زیرزمینی در دشت نیشابور، کنفرانس زمین‌شناسی مهندسی و محیط زیست ایران. (صص. ۱۰۸۲-۱۰۹۱).
۳۳. محسنی، ن.، و محمودی نسب، ف. (۱۴۰۰). اثرات چاه‌های بهره‌برداری آب زیرزمینی بر تغییرپذیری پهنه‌های فرونشست دشت نیشابور و پیامدهای ژئومورفیک آن، *تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*، ۸(۳)، ۲۰۰-۱۸۷.

۴۴. محمودی نسب، ف. ، و محسنی، ن. (۱۴۰۰). اثرات چاه‌های بهره‌برداری آب زیرزمینی بر تغییرپذیری پهنه‌های فرونشست دشت نیشابور و پیامدهای ژئومورفیک آن. *تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*، ۸(۳)، ۲۰۰-۱۸۷.
۵۵. منتظریون، م.، و اصلانی، ف. (۱۳۹۸). ارزیابی خطر فرونشست زمین با به کارگیری سیستم اطلاعات جغرافیایی در پهنه استان‌های تهران والبرز. *دانش پیشگیری و مدیریت بحران*، ۹(۱)، ۳۵-۴۷.
۶۶. ولایتی، س.، و توسلی، س. (۱۳۷۰). *منابع و مسائل آب استان خراسان*. مشهد: آستان قدس رضوی.
۷۷. یزدانی، و.، و منصوریان، ح. (۱۳۹۲). پهنه‌بندی پتانسیل بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی با استفاده از داده‌های کمی و کیفی آبخوان دشت نیشابور. *مهندسی آبیاری و آب ایران*، ۴(۱۵)، ۱۱۸-۱۱۸.

28. Abidin, H.Z, Andreas, H. Gumilary, I, Wangsaatmaja, S, & Fukuda, Y. (2009). Land Subsidence and groundwater extraction in Bandung Basin. *IAHS Publ*, 329, 145-156.
29. Devin L. Galloway, David Richard Jones, S. E. Ingebritsen U.S. Geological Survey, 1999 -177 pages.
30. Hebei Cangzhou Groundwater and Land Subsidence National Observation and Research Station, Cangzhou, China. (2022) Experimental study on consolidation characteristics of deep clayey soil in a typical subsidence area of the North China Plain
31. Martinez, I., Hinkelmann, R., & Savidis, S. (2013). Fast water infiltration: a mechanism for fracture formation during land subsidence. *Hydrogeology Journal*, 21, 761-771.
32. Waltham, A.C. (1989). *Ground subsidence*. Blackie: Scotland.