



## بررسی اثرات نشست زمین بر گسیختگی لوله های جدار چاههای آب در دشت مشهد و ارائه راهکارهای مناسب

محمد غفوری<sup>۱</sup>، سید محمد موسوی مداح<sup>۲</sup>

۱- عضو هیأت علمی دانشگاه فردوسی مشهد  
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه فردوسی مشهد

ghafoori@ferdowsi.um.ac.ir  
mousavi@yahoo.com

### چکیده

نشست منطقه ای زمین در اثر برداشت بی رویه آب زیرزمینی در نقاط مختلفی از جهان و دشت های زیادی از ایران گزارش گردیده است. در این تحقیق رابطه بین افت سطح آب و نشست زمین و تأثیر آن بر گسیختگی جدار چاه های آب مورد بررسی قرار گرفته است. دشت مشهد در طول ۴۰ سال گذشته با افت ۶۰ متری سطح آب مواجه بوده است. این افت سبب نشست زمین در محدوده ای از دشت شده است. آثار نشست به صورت گسیختگی و کج شدگی لوله های جدار نمایان بوده و موجب ایجاد مشکلاتی برای کشاورزان گردیده است. در این مقاله بر اساس آمارهای چندین ساله، داده های ایستگاههای GPS و با توجه به پارامترهای زمین شناسی، عوامل تأثیرگذار بر گسیختگی لوله های جدار چاههای دشت مشهد که سالانه خسارتهای فراوانی را بوجود می آورد مورد بررسی قرار گرفته است و راهکارهای لازم جهت کاهش این پدیده ارائه شده است.

کلمات کلیدی: آبهای زیرزمینی، نشست زمین، دشت مشهد، گسیختگی لوله جدار.

### ۱. مقدمه

نشست زمین پدیده ایست که در آن افت سطح زمین به طور آتی (در اثر تراکم سفره های ماسه ای) و یا تدریجی (در اثر تراکم لایه های رسی) صورت گرفته و باعث ایجاد ترکها و شکافهایی در روی زمین و آسیب زدن به سازه های سطح زمین می شود. خطر نشست بر اثر افت آبهای زیرزمینی یک خطر جهانی است و در مقیاس جهانی مورد توجه قرار گرفته است. در دهه های اخیر حالت تصاعدی این پدیده همراه با اوج صنعتی شدن، شهرنشینی شدن و پمپاژی رویه از آبهای زیرزمینی جهت مصارف کشاورزی مشاهده شده است. با توجه به اینکه نشست زمین معمولاً در محدوده وسیعی صورت می پذیرد معمولاً مقابله با آن مشکل می باشد. در سالهای اخیر نشست همراه با افت سطح آبهای زیرزمینی در بسیاری از آبخوان های کشور نیز گزارش گردیده است. از جمله می توان نشست دشتهای سیستان، کاشمر، رفسنجان و دشت کبودراهنگ و فامنین در استان همدان را نام برد. در مناطقی که لایه های خاک از تناوب ماسه و سیلت و رس تشکیل شده است. در هنگام افت سطح آب زیرزمینی به دلیل زه کش آب لایه رس توسط لایه های با نفوذ، کاهش فشار آب منفذی در لایه رس صورت گرفته که این پدیده باعث عمل تحکیم و فشردگی این لایه ها و نشست زمین می شود [۱]. ترک های بزرگ معمولاً در مجاورت مناطق کشاورزی ایجاد می شوند. نشست زمین به هر دلیلی می تواند تأثیرات منفی زیادی ایجاد نماید که برخی از این تأثیرات به این شرح است:

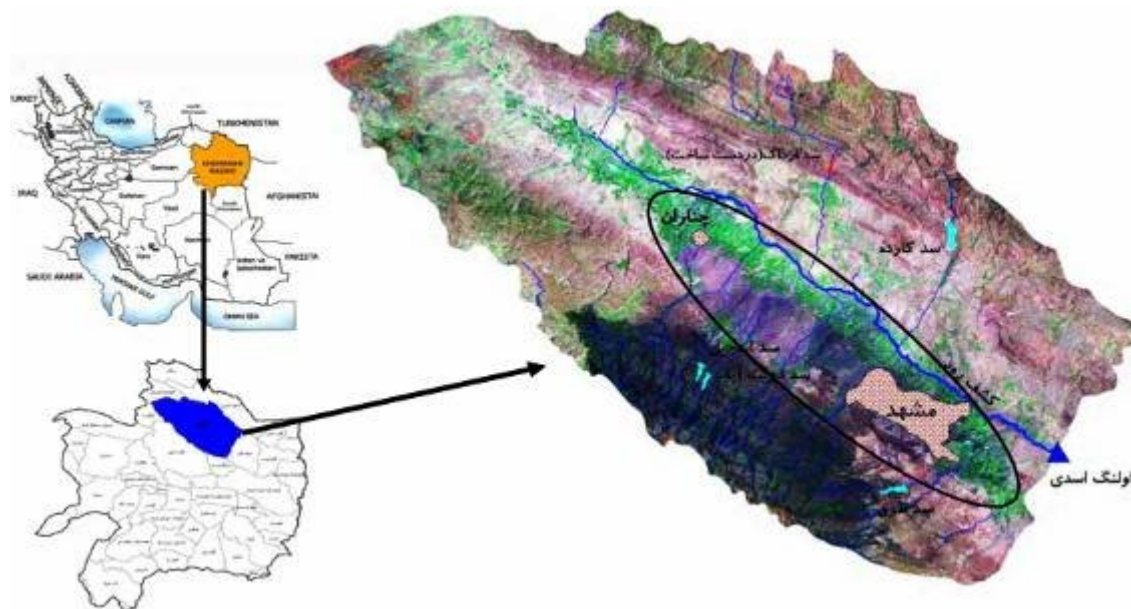
- تأثیر بر روی الگوی جریان های زیرزمینی و سطحی [۲]
- کاهش کیفیت آب های زیرزمینی و افزایش نمک این آبهای [۳]
- کاهش ظرفیت مخزن آبخوانها [۴]
- خراب شدن ساختمان چاه و پمپ های نواحی مستعد فرونشست [۵]



- ناتوانی چاه در آبدهی [۶]
- خسارت به بزرگراه‌ها، ساختمان‌ها و دیگر تأسیسات [۷]

## ۲. موقعیت جغرافیایی و وضعیت فیزیوگرافی حوضه آبریز دشت مشهد

حوضه آبریز مشهد با وسعت ۹۹۰۹ کیلومتر مربع بخشی از حوضه آبریز کشف رود است. این حوضه از شمال به ارتفاعات هزار مسجد و از جنوب به ارتفاعات بینالود محدود می‌شود و ۳۷٪ از وسعت آنرا دشت تشکیل می‌دهد که به صورت مستطیلی در جهت شمال غرب- جنوب شرق بینالود کشیده شده است. مقدار میانگین نزولات جوی در شهر مشهد از سال آبی ۵۳-۵۲ تا سال آبی ۸۲-۸۱ برابر ۲۴۹/۵ میلیمتر در سال گزارش شده است [۸]. کمترین ارتفاع حوضه آبریز، در محل روستای پل گزی برابر با ۳۹۰ متر و بلندترین نقطه ارتفاعی حوضه آبریز در ارتفاعات هزارمسجد و برابر ۳۰۴۰ متر و همچنین در بینالود برابر ۳۲۱۱ متر بالاتر از سطح دریا است. رودخانه کشف رود هم اکنون یکی از رودخانه های فصلی در استان خراسان بوده است که دارای پتانسیل قابل توجه سیلاب می باشد. این رودخانه دارای سرشاخه های زیادی است که از آن جمله می توان به رودهای فریزی، طرق، زشک، کارده و رادکان اشاره نمود. در شکل (۱) موقعیت جغرافیایی حوضه آبریز رودخانه کشف رود نشان داده شده است.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی حوضه آبریز رودخانه کشف رود (دشت مشهد)

## ۳. پدیده نشست در دشت مشهد

آبخوان دشت مشهد نیز با بیش از ۳۰۰۰ کیلومتر مربع وسعت از حدود ۱۰ کیلومتری جنوب شرقی شهر قوچان شروع شده و در جهت جنوب شرقی مابین دو رشته کوه هزار مسجد و بینالود ادامه می‌یابد. جهت عمومی جریان آب زیرزمینی در دشت مشهد از شمال غرب به سمت جنوب شرق می‌باشد منبع اصلی آب زیرزمینی تغذیه در اثر نفوذ جریانهای حاصل از بارندگی است. از نظر نفوذپذیری در مجموع دامنه جنوبی دشت نفوذپذیرتر و ضخیم‌تر (حداکثر تا ۳۰۰ متر) است. از سال ۱۳۴۹ تا ۱۳۸۴ به سبب استحصال بیش از حد، سطح آب زیرزمینی معادل ۲۸/۷۸ متر افت نموده (شکل ۲) و علاوه بر آن منجر به کاهش آبدهی یا خشک شدن چاهها، قنوات دائمی و فصلی، چشمه ها، و در برخی نقاط مانند منطقه توس مشهد موجب نشست زمین شده است. اگر علت نشست زمین در منطقه را تنها به افت سطح آب زیر زمینی نسبت دهیم، دوباره شارژ کردن آبخوان جهت تبدیل سطح آب زیرزمینی به حالت اولیه خود و در نتیجه تغییر ارتفاع سطح زمین، نتایج چشمگیری را به دنبال نخواهد داشت چون تحت اثر پدیده نشست از میزان



تخلخل خاک کاسته شده است. در برخی مناطق از جمله منطقه توس مشکلاتی که در اثر نشست زمین بروز کرده بارزتر است و می توان آنها را بصورت ریزش جداره چاهها، کج شدن و تخریب لوله های جدار چاهها، لوله زایی (بالا آمدن لوله های جدار چاه از سطح زمین) مشاهده نمود [۹].



شکل ۲- نقشه افت سی ساله آب در دشت مشهد

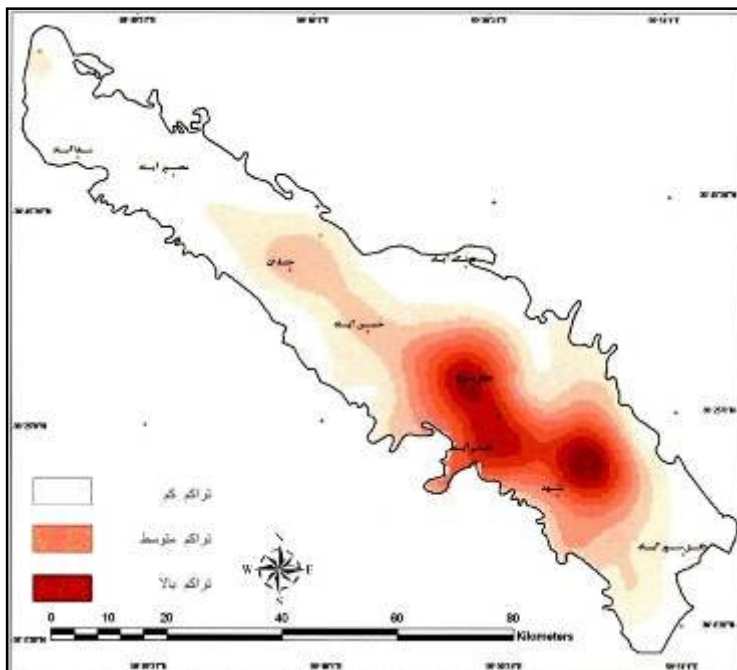
پدیده تشدید نشست زمین در دشت مشهد را به دو عامل میتوان نسبت داد:

الف- برداشت بی رویه از آبهای زیرزمینی، بطوریکه هرچه میزان برداشت از آب زیرزمینی افزایش یافته است، نشست زمین هم افزایش یافته است. نقشه پراکندگی چاههای دشت مشهد در شکل (۳) و نقشه پهنه بندی میزان نشست در شکل (۴) نشان داده شده است. مقایسه دو شکل (۳) و (۴) نشان میدهد که پدیده نشست در نقاطی از دشت که تراکم بالاتری از چاههای آب را دارا است بیشتر بوده و تقریباً مناطق با تراکم بالای چاه نواحی دارای نشست بیشتر در دشت مشهد را پوشش میدهند.

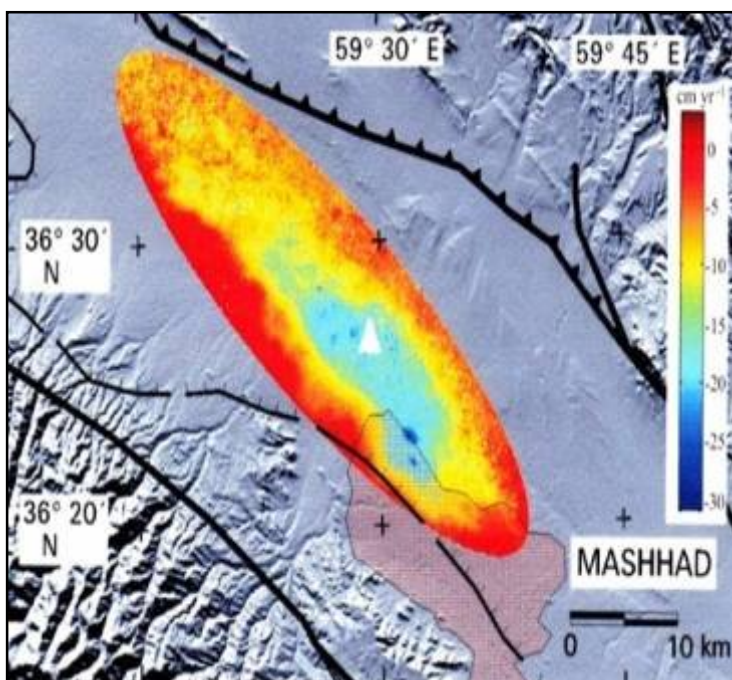
ب- خصوصیات زمین شناسی و فیزیکی رسوبات که در نتیجه هوازدگی و فرسایش ارتفاعات هزارمسجد و بینالود می باشند. عامل مؤثر بر توزیع دانه بندی رسوبات، توپوگرافی موجود در منطقه می باشد که تحت تأثیر زهکشها بخصوص رودخانه کشف رود و مسیلهای اطراف آن قرار گرفته است. از دیگر عوامل مؤثر بر ناهمسانی سفره آب زیرزمینی نحوه رسوبگذاری جریان سطحی حوضه و عملکرد فیزیکی و شیمیایی آنهاست که به موجب آن دبی چاههای عمیق دشت با خصوصیات فنی همسان نابرابر است و در محدوده مورد مطالعه علاوه بر پایین رفتن سطح ایستابی، دبی چاهها در نزدیکی جاده مشهد-قوچان کاهش بسیار کمی نشان میدهد. رودخانه کشف رود در حد فاصل بین کوههای بینالود و هزارمسجد قرار گرفته است، اما فاصله این رودخانه با کوههای هزارمسجد نسبت به کوههای بینالود بیشتر است. با وجود جهت شیب زمین از ارتفاعات منطقه بسمت رودخانه و با توجه به لاگهای موجود از منطقه هرچه از کوه به سمت رودخانه پیش می رویم بر مقدار مواد ریزدانه افزوده می شود. تفکیک دانه ها در حد فاصل کوههای بینالود و رودخانه کشف رود به علت فاصله زیاد آن به خوبی قابل مشاهده است بطوریکه در نزدیکی رودخانه کشف رود که در محدوده توس قرار دارد توالی چینه ای خاک بیشتر از مواد ریزدانه تشکیل شده است. در صورتیکه فاصله بین کوههای هزارمسجد و رودخانه کشف رود کم می باشد بطوریکه تفکیک مواد ریزدانه و درشت دانه در آن به خوبی مشاهده نمی شود. با وجود رس و سیلت در لایه های آبخوان دشت مشهد و محدوده مورد مطالعه



برداشت آب موجب پایین آمدن فشار آب در ماسه و شن می شود که این کاهش فشار موجب زهکشی آب از لایه های سیلت و رس گردیده است. در اثر زهکشی، لایه های سیلت و رس متراکم می باشد و تأثیر آنها به صورت نشست سطح زمین دیده می شود [۱]. پدیده نشست زمین در دشت مشهد خسارات فراوانی را از جمله ریزش جداره چاهها، کج شدن و تخریب لوله های جدار چاهها، لوله زایی (بالا آمدن لوله های جدار چاه از سطح زمین) را به دنبال داشته است که البته در برخی نقاط دشت (منطقه توس) بیشتر به چشم میخورد. وجود تفاوت در پراکندگی پدیده نشست و تخریب چاهها میتواند در اثر عواملی از جمله تفاوت میزان برداشت از منابع آب زیرزمینی و چگونگی توالی لایه های ریزدانه و درشت دانه بویژه در ضخامتی از خاک که افت سطح آب در آن صورت گرفته کنترل شود. در ادامه منطقه توس مشهد که از جمله مناطق مهم مواجه با پدیده نشست و تخریب چاههای آب دشت مشهد است در رابطه با این دو عامل مورد بررسی قرار میگیرد.



شکل ۳- نقشه پراکندگی چاههای دشت مشهد



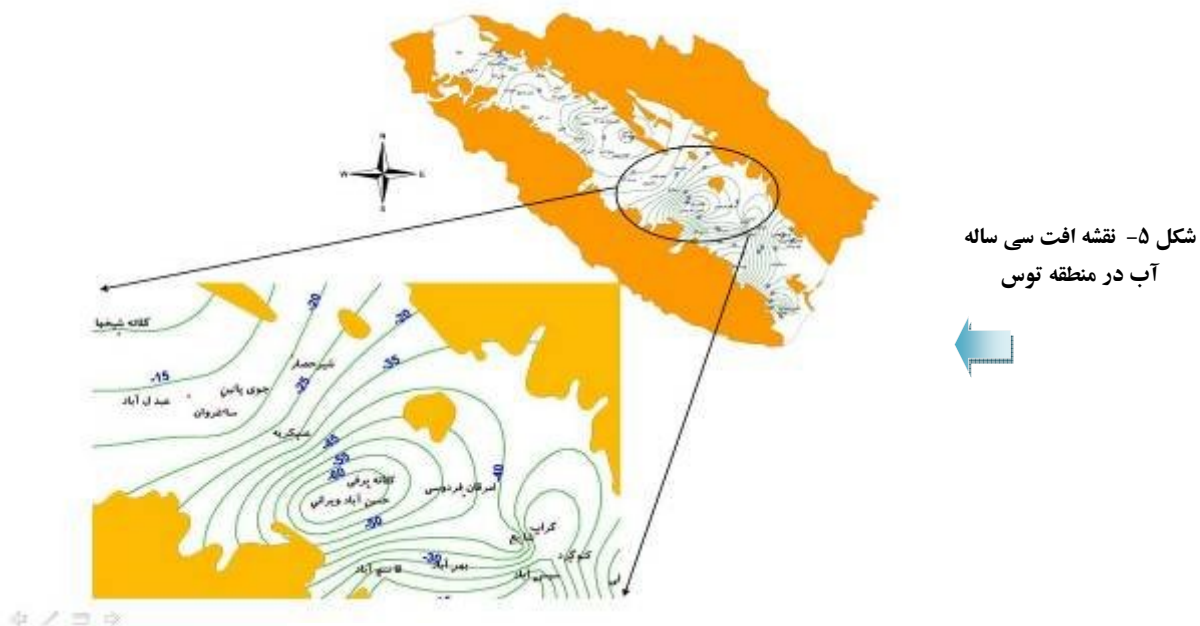
شکل ۴- نقشه پهنه بندی میزان نشست زمین در دشت مشهد



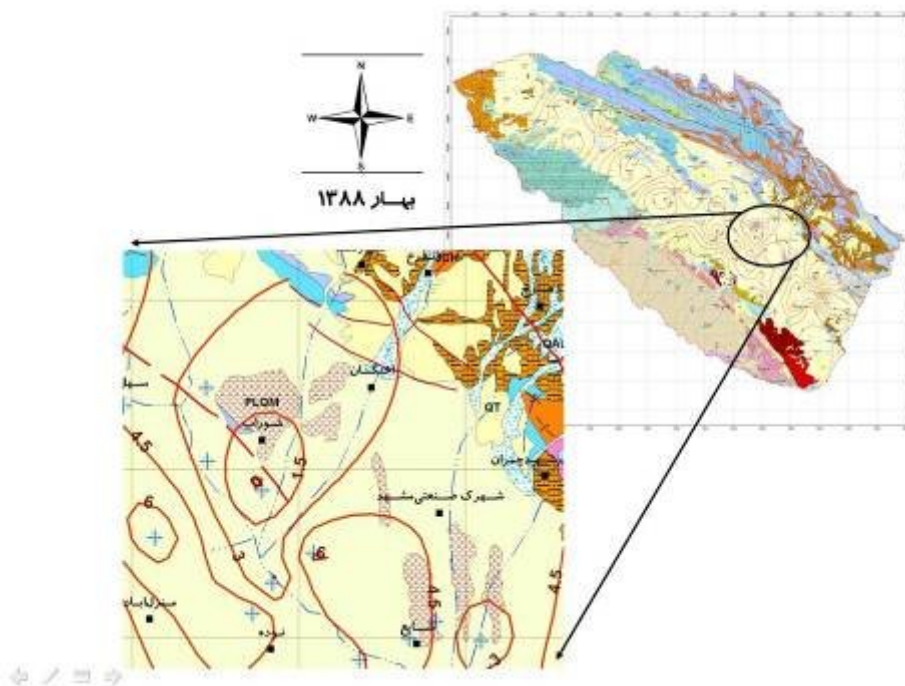


#### ۴. بررسی منطقه توس مشهد

محدوده مورد بررسی در بالادست شهر قرار گرفته است. باتوجه به لاگ ده پیزومتر که توسط سازمان آب منطقه ای خراسان تهیه شده است در محدوده توس در حد فاصل کوههای هزارمسجد و رودخانه کشف رود رسوبات بیشتر درشت دانه بوده و شامل شن، ریگ و به مقدار کم رس می باشد. در صورتیکه در جنوب غربی این محدوده حد فاصل رودخانه کشف رود تا جاده مشهد- قوچان بیشتر از رسوبات ریزدانه رسی تشکیل شده است که میان لایه های شنی در آنها دیده می شود [۱۰]. در قسمت شمالی منطقه مورد مطالعه میزان افت سطح آب زیرزمینی کم است و هرچه به قسمتهای جنوبی این محدوده می رویم میزان افت زیاد می شود. با افزایش میزان افت سطح ایستایی بروز مشکلات افزایش یافته است به طوریکه در محلهایی که میزان افت کم است، فقط کاهش دبی چاهها وجود دارد و در جنوب محدوده که بیشترین افت سطح آب وجود دارد ترکها در سطح زمین مشاهده می شوند. در شکلهای شماره (۵) و (۶) میزان افت سی ساله و پنج ساله منطقه توس نشان داده شده است که حاکی از وضعیت نامساعد و افت شدید آب و نشست زمین در پی آن در این محدوده می باشد [۱۱].



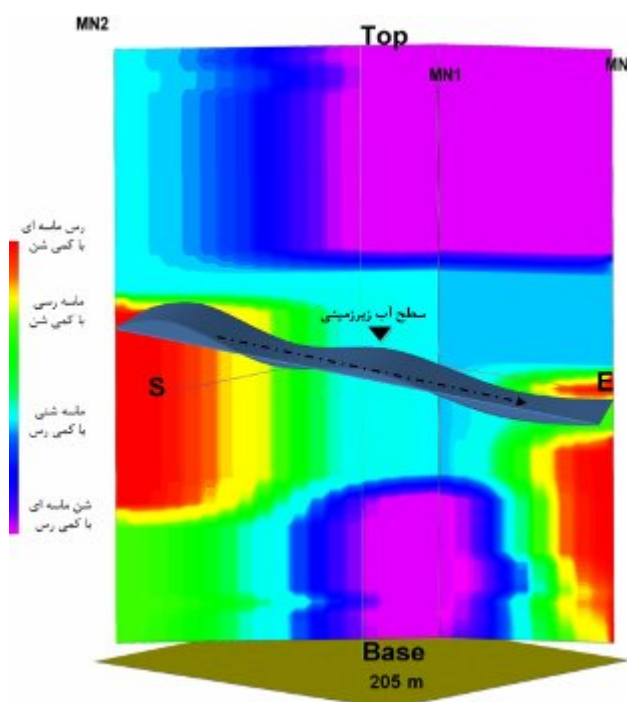
شکل ۶- نقشه افت پنج ساله آب در منطقه توس (۸۶-۸۱)





در بخش جنوب غربی این منطقه پدیده نشست زمین بارزتر بوده و می توان اثرات آن را بصورت ریزش جداره چاهها، کج شدن لوله های جدار چاهها، لوله زایی (بالا آمدن لوله های جدار چاه از سطح زمین) و ایجاد ترکهای عمیق مشخص نمود.

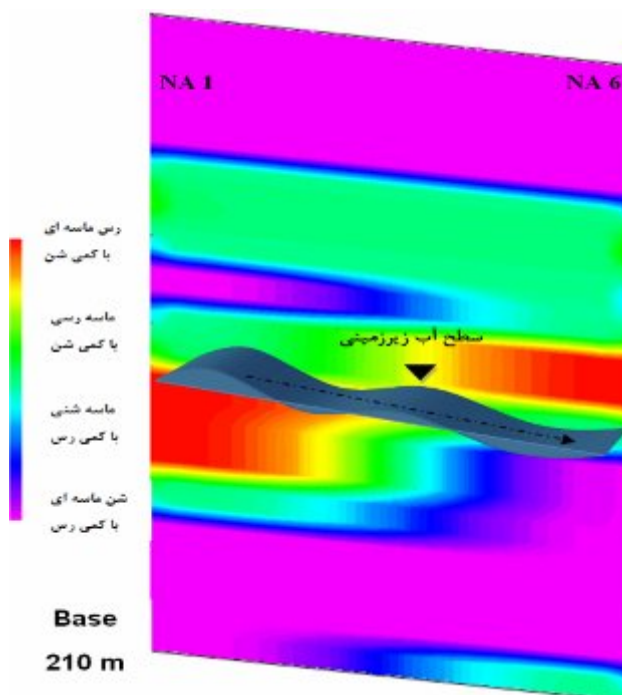
پروفیلهای دانه بندی تهیه شده از لاگهای حفاری در منطقه توس بعنوان یک منطقه برخوردار از پدیده نشست زیاد زمین و تخریب چاهها و منطقه ناظریه مشهد بعنوان یک منطقه با مشکل کم، نشان دهنده این مطلب است که محدوده توس مشهد از پروفیل ریزدانه تری مخصوصاً به طرف اعماق برخوردار میباشد. در نتیجه وضعت لایه بندی و اندازه دانه های خاک هر منطقه بویژه در زیر سطح ایستایی تأثیر زیادی را بر روی نشست و رانش زمین و در نتیجه تخریب چاهها دارد. در شکلهای شماره (۷) و (۸) چگونگی تغییرات دانه بندی خاک منطقه نمایش داده شده است. همانطور که در این شکلها مشاهده میشود ضخامت لایه های ریزدانه بخصوص زیر سطح آب زیرزمینی در منطقه توس بیشتر از ناظریه میباشد. با توجه به بررسی چگونگی تغییرات دانه بندی خاک منطقه و میزان افت سطح آب میتوان پتانسیل ایجاد نشست زمین و تخریب چاهها را پیش بینی و راهکارهای مناسب جهت جلوگیری از آن را مشخص نمود.



شکل ۷- پروفیل تغییرات دانه بندی خاک منطقه توس



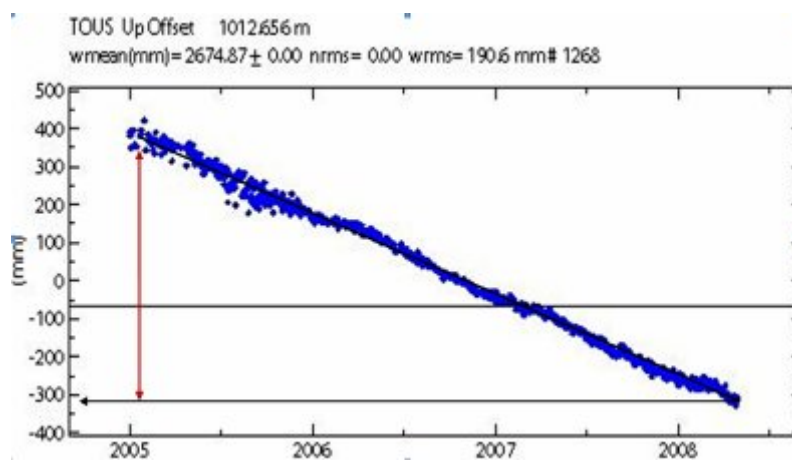
شکل ۸- پروفیل تغییرات دانه بندی خاک منطقه ناظریه



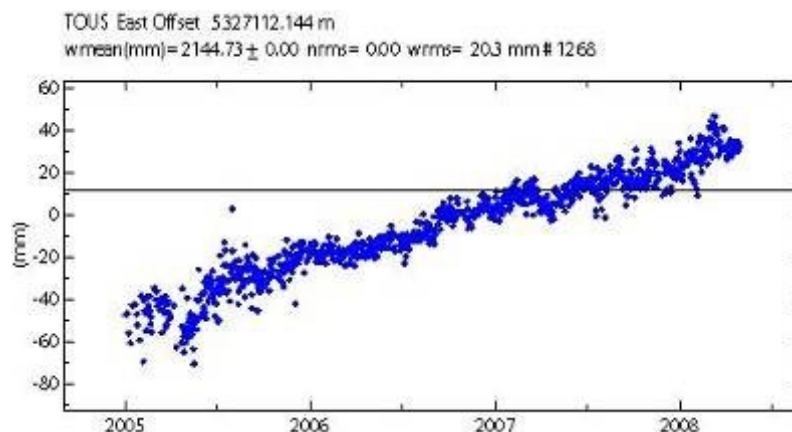


## ۵. اندازه گیری نشست دشت بر اساس ایستگاه دائم GPS

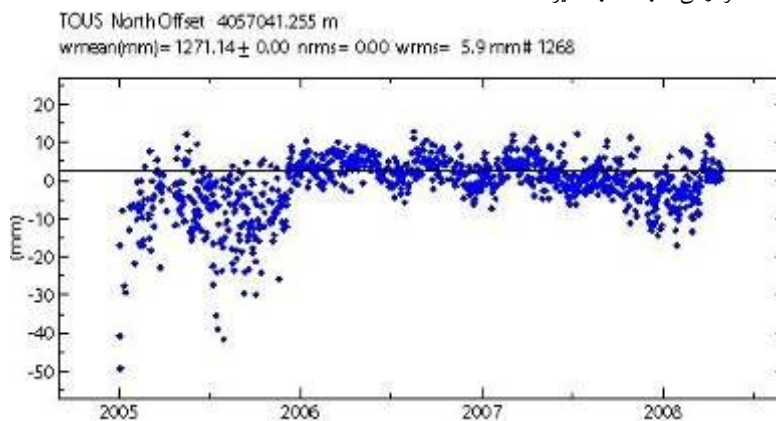
برای اندازه گیری نشست دشت مشهد، سه ایستگاه دائم GPS توسط سازمان نقشه برداری کشور در سه نقطه از دشت مشهد نصب گردیده است. یکی از این سه ایستگاه در غرب شهر مشهد، نزدیک منطقه ویلاشهر و دو ایستگاه دیگر یکی در منطقه طرق واقع در جنوب شرق مشهد و دیگری در منطقه توس واقع در شمال غرب شهر مشهد قرار دارند. از تاریخ نصب ایستگاه تاکنون در پایان هر روز به وقت گریونویج اطلاعات ذخیره شده در گیرنده با استفاده از خط تلفن به محل مرکز داده ها در شهر مشهد منتقل می شود. این داده پس از ساماندهی در مرحله محاسبات به همراه داده های سایر ایستگاهها به صورت یکجا پردازش می شود. داده های برداشت شده از این ایستگاهها میزان جابجایی عمودی، شرقی و شمالی هر نقطه را نشان می دهد. در اشکال شماره (۹) تا (۱۱) داده های برداشت شده از ایستگاه توس مشهد به صورت نمودار نشان داده شده است. بر اساس اطلاعات موجود از این ایستگاه، میزان نشست زمین از تاریخ نصب تاکنون بطور متوسط به میزان ۲۰ سانتی متر در سال اندازه گیری شده است.



شکل ۹- نمودار تغییرات جابجایی عمودی در ایستگاه دائم GPS منطقه توس



شکل ۱۰- نمودار تغییرات جابجایی شرقی در ایستگاه دائم GPS منطقه توس



شکل ۱۱- نمودار تغییرات جابجایی شمالی در ایستگاه دائم GPS منطقه توس

## ۶. نتیجه گیری

افت سطح آبهای زیرزمینی باعث نشست زمین شده که تأثیرات ناشی از آن از جمله تخریب چاههای آب در دشت مشهد و بطور موردی در منطقه توس مشهد می باشد. در نقاطی از دشت که به علت برداشت آب افت سطح آب بیشتری صورت گرفته پدیده نشست زمین بیشتر مشاهده میشود. در نواحی دارای نشست بیشتر تراکم چاههای آب بیشتر بوده که تأثیر میزان برداشت آب بر روی نشست زمین را نشان میدهد. بررسی پروفیل‌های دانه بندی خاک نشان دهنده این مطلب میباشد که نشست زمین در مناطق دارای خاک ریزدانه همراه با افت سطح آب بیشتر میباشد. نتایج حاصل از ایستگاههای ثابت GPS نصب شده در دشت نیز افت سطح زمین در دشت را بازگو می کند. داده های ثبت شده در ایستگاه توس مشهد بطور متوسط میزان نشست سطح زمین را ۲۰ سانتی متر در سال نشان می دهد. با توجه به اینکه برداشت بی رویه آب یکی از عوامل مهم در نشست زمین می باشد، برای جلوگیری از نشست زیاده و جلوگیری از خسارات فراوان از برداشت بی رویه آب جلوگیری گردد.

## ۷. مراجع

- 1- Leake, S. A., ۲۰۰۴, URL: <http://geochange.er.usgs.gov/sw/changes/anthropogenic/subside>
- ۲- Lofgren, B.E., (۱۹۷۹), Changes in aquifer-system properties with groundwater depletion, Proceeding of International Conference on Evaluation and Prediction of Land Subsidence, Pensacola, December ۱۹۷۸, American Society of Civil Engineers, pp.۴۶-۲۶.
- ۳- Belitz, K., Phillips, S.P., (۱۹۹۵). Alternatives to agricultural drains in California's San Joaquin Valley: Results of a regional-scale hydrogeologic approach, US Geological Survey Open-File Report ۹۱-۵۳۵, ۷۱pp.
- ۴- Rudolph, D.I., Frind, E.O., (۱۹۹۱), Hydraulic response of highly compressible aquitards during consolidation, Water Resources Research ۲۷ (۱), pp. ۳۰-۱۷.
- ۵- Ortega-Guerrero, A., Rudolph, D.L., Cherry, J.A., (۱۹۹۹), Analysis of long-term land subsidence near Mexico City: Field investigation and predictive modeling, Water Resources Research, ۳۵(۱۱), PP. ۳۳۲۷-۳۳۴۱.
- ۶- Holzer, T.H., (۱۹۸۹). State and local response to damaging land subsidence in United States urban areas. Engineering Geology ۲۷, ۴۴۹-۴۶۶.
- ۷- Ireland, R.L., Poland, J.F., and Riley, F.S., (۱۹۸۴). Land subsidence in the San Joaquin Valley, California, as of ۱۹۸۳, US Geological Survey, Professional Paper, ۴۳۷-I, ۹۳ pp.

- ۸- افشین س. ۱۳۸۴. تعیین و پهنه بندی حریم بهداشتی چاههای آب شرب شهر مشهد، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی.
- ۹- لشکری پور، غلامرضا؛ غفوری، محمد؛ سوزی، زینب؛ پیوندی، زکریا (۱۳۸۴). افت سطح آب زیرزمینی و نشست زمین در دشت مشهد، مجموعه مقالات نهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، صفحات ۱۳۲-۱۲۴.
- ۱۰- لشکری پور، غلامرضا، غفوری، محمد، باقرپور، احمد و طالبیان، سیده لیلا (۱۳۸۶). تأثیرات سطح آب زیرزمینی در نشست زمین: مطالعه موردی، مجموعه مقالات اولین کنگره زمین شناسی کاربردی ایران، مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد، جلد دوم، صفحات ۹۲۲-۹۱۶.
- ۱۱- حسینی، سیدعلی (۱۳۸۴)، برداشت بی رویه آب زیرزمینی، افت سطح آب و نشست زمین در منطقه توس (مشهد)، نشریه رساناب شرکت سهامی آب منطقه ای خراسان رضوی مشهد، شماره ۲۷، صفحات ۳۲.