



وزارت صنعت، معدن و تجارت  
مندی زمین‌شناسی، اکتشافات معدنی کشور

کواهی پذیرش مقاله  
بایش تخصصی پدیده فرونشست زمین در ایران  
۱۳۹۵ آبان ماه ۱۳۹۵

شماره: ۱۰۰/۵۷۱۷  
تاریخ: ۱۳۹۵/۰۸/۲۶

پژوهشگران گرامی: مهندس سجاد دولتی، دکتر غلامرضا لشکری پور، دکتر ناصر حافظی مقدس، مهندس فیمه صالحی متهد  
بدینوسیله باسپاس از حضور ارزشمندتان در بایش تخصصی پدیده فرونشست زمین در ایران، مقاله شما تحت عنوان "بررسی روند توسعه، اثرات و مکانیسم  
فرونشست زمین در دشت مشهد" به صورت ارز پوستر در این بایش پذیرفته شده است. موفقیت شما در تمامی عرصه‌های زندگی از خداوند منان خواستاریم.

امیر شمسکی

محمد تقی کره‌ای  
معاون وزیر و رئیس سازمان



مدیرکل دفتر بررسی مخاطرات زمین‌شناسی، زیست‌محیطی و مهندسی و  
سازمان زمین‌شناسی و  
اکتشافات معدنی کشور  
دیرعلی بایش



### بررسی روند توسعه، اثرات و مکانیسم فرونشست زمین در دشت مشهد

جواد دولتی، دانشجوی دکتری زمین شناسی مهندسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد (jdwlati1349@gmail.com)

غلامرضا لشکری پور، استاد گروه زمین شناسی مهندسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد (lashkaripour@um.ac.ir)

ناصر حافظی مقدس، استاد گروه زمین شناسی مهندسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد (n.hafezi@um.ac.ir)

فهیمة صالحی متعهد، دانشجوی دکتری زمین شناسی مهندسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد (fahimehsalehi@ymail.com)

#### چکیده:

بهره برداری گسترده از منابع آب زیرزمینی در آبخوان مشهد در ۵۰ سال گذشته (۹۵-۱۳۴۵) منجر به افت شدید سطح آب زیرزمینی شده است. بررسی هیدروگراف واحد تهیه شده برای آبخوان مشهد، متوسط افت سطح آب زیرزمینی در ۳۰ سال گذشته در حدود ۰/۶۹ متر در سال و در مجموع حدود ۲۱/۴ متر می باشد. از جمله پیامدهای منفی افت سطح آب زیرزمینی در آبخوان مشهد نشست سطح زمین است که آثار آن به صورت ایجاد ترک های بزرگ در زمین های کشاورزی و ساختمان ها، بیرون زدگی لوله جدار چاه ها در بخش شمال غربی شهر مشهد در منطقه توس قابل مشاهده است. بررسی نتایج مطالعات مختلف صورت گرفته در زمینه فرونشست آبخوان مشهد در دوره زمانی ۱۳۷۲ تا ۱۳۹۵ نشان می دهد در بخش های شمال غربی (محدوده بین چناران و قوچان) مرکزی (مشهد چناران) و شرقی - جنوب شرقی آبخوان فرونشست رخ داده است. حداکثر نرخ فرونشست در این مناطق به ترتیب ۴/۴، ۸/۲ و ۳/۴ سانتی متر در سال است. بررسی شرایط هیدروژئولوژیکی آبخوان مشهد نشان می دهد که افت سطح آب زیرزمینی و انیزوتروپی رسوبات تشکیل دهنده آبخوان در محل بستر فعلی و قدیمی رودخانه کشف رود، مهم ترین عوامل فرونشست در دشت مشهد محسوب می شوند. روند فرونشست و عوارض ناشی از آن در دشت مشهد توسط ساختارهای تکتونیکی و مورفولوژی سنگ بستر آبخوان کنترل می شود.

**کلیدواژه ها:** بهره برداری گسترده، افت آب زیرزمینی، فرونشست زمین، دشت مشهد

### Investigation of land subsidence development trend and its implications and mechanisms in Mashhad plain

Javad Dowlati, PhD candidate in Engineering Geology, Department of Geology, Faculty of Sciences, Ferdowsi University of Mashhad (jdwlati1349@gmail.com)

Gholam Reza Lashkaripour, Professor, Department of Geology, Faculty of Sciences, Ferdowsi University Of Mashhad (lashkaripour@um.ac.ir)

Nasser Hafezi Moghaddas, Professor, Department of Geology, Faculty of Sciences, Ferdowsi University Of Mashhad (n.hafezi@um.ac.ir)

Fahimeh Salehi Motaahed, PhD candidate in Engineering Geology, Department of Geology, Faculty of Sciences, Ferdowsi University of Mashhad (fahimehsalehi@ymail.com)

#### Abstract:



Groundwater intensive use in Mashhad aquifer, in the past 50 years (1966-2016), has led to a significant decline in the groundwater level. According to the unit hydrograph of Mashhad aquifer, in the past 30 years (1984-2014), the average decline in groundwater level is about 0.69 meters per year, which is about 21.4 meters in total. One of the negative implications of groundwater drawdown in Mashhad aquifer is land subsidence, which can be seen as the large cracks occurrence in farmlands, damage to buildings, well casings rising in northwest of Mashhad in Tous area. Reviewing the results of various studies carried out in the field of Mashhad land subsidence from 1993 up to 2016, indicate that land subsidence has mostly occurred in the northwest (Between Ghoochan and Chenaran), Center (Mashhad-Chenaran) and east - southeast parts of Mashhad plain. According to the hydrogeological investigations of Mashhad aquifer groundwater drawdown and anisotropic aquifer sediments forming the aquifer on the recent and the old river bed are the most important factors affecting the land subsidence in Mashhad plain. The process of land subsidence and its complications in Mashhad aquifer are controlled by the tectonic structures and the basement morphology.

**Keywords:** Intensive use, Groundwater decline, Land subsidence, Mashhad plain

#### مقدمه:

در دشت مشهد که مهم ترین مرکز جمعیتی، صنعتی و کشاورزی شمال شرق کشور است. بهره برداری بیش از حد از منابع آب زیرزمینی در ۵۰ سال گذشته باعث بروز افت شدید سطح آب زیرزمینی و ایجاد کسری مخزن در آبخوان شده است. در اوایل دهه ۷۰ شواهد فرونشست در این دشت مانند لوله زایی چاه ها و ایجاد درزه و شکاف ها در زمین های کشاورزی و ساختمان ها مشاهده شده و روندی در حال گسترش دارد. در فاصله زمانی ۱۳۷۶ تا ۱۳۸۴ گزارش هایی توسط کارشناسان شرکت آب منطقه ای خراسان (ترحمی (۱۳۷۶) و حسینی (۱۳۸۴)) در مورد آثار و شواهد نشست زمین دشت مشهد ارائه شد. همچنین در فاصله زمانی ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۰ مطالعات متعددی توسط محققین مختلف با استفاده از داده های هیدروژئولوژیکی و ژئودتیکی (لشکری پور و همکاران (۱۳۸۵))، ژئودتیکی (انواری و نوالهیان (۱۳۸۵)) و پردازش تصاویر راداری (حسینی و همکاران (۱۳۸۵)، دهقانی (۱۳۹۴) دهقانی و همکاران (۱۳۸۵)، معتق و همکاران (۲۰۰۷) و (۲۰۰۸)، اکبری (۱۳۸۷) و اکبری و همکاران (۲۰۱۱)) در مورد نشست زمین در این دشت صورت گرفته است. تعدد و تنوع تحقیقات صورت گرفته بر روی موضوع نشست زمین دشت مشهد لزوم بررسی و ارزیابی مجدد آن ها را به خوبی نشان می دهد. مطالعات حاضر با هدف ارائه نگرش صحیحی در مورد پدیده فرونشست دشت مشهد انجام شده است.

#### روش تحقیق:

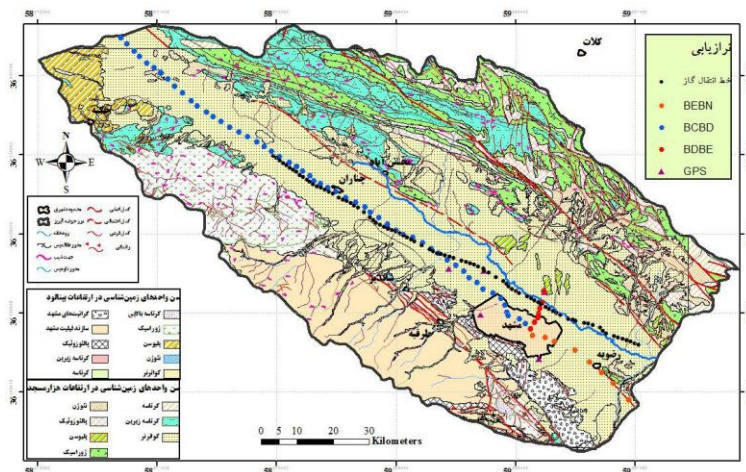
بررسی مطالعات مختلف صورت گرفته بر روی پدیده فرونشست زمین در نقاط مختلف دنیا نشان می دهد که جهت مطالعه فرونشست روش های مختلفی نظیر شکاف سنج ها، انبساط سنج ها (extensometer)، سیستم موقعیت یابی جهانی



(GPS)، ترازیبی و تداخل سنجی راداری با درجه مصنوعی (SAR) توسط محققین مختلف مورد استفاده قرار گرفته است. بررسی مطالعات نشست زمین صورت گرفته در دشت مشهد نشان می‌دهد که به جزء روش کشش سنجی سایر روش‌ها برای مطالعه فرونشست مورد استفاده قرار گرفته است. در این بخش ضمن مرور مطالعات صورت گرفته نتایج آن‌ها مورد تجزیه و تحلیل مجدد قرار گرفته است.

### بررسی نشست دشت مشهد با استفاده از روش‌های ژئودتیک

روش اندازه‌گیری‌های ترازیبی یکی از روش‌هایی است که با استفاده آن از می‌توان تغییرات ارتفاعی هر منطقه را بررسی نمود. بررسی ترازیبی صورت گرفته در دشت مشهد نشان می‌دهد تاکنون در دوره زمانی ۱۳۶۴-۱۳۷۶ و در نیمه اول دهه هشتاد ترازیبی انجام شده است. در سه مسیر مشهد-قوچان (BCBD)، مشهد-سرخس (BEBN) و مشهد-کلات (BDBE) ترازیبی صورت گرفته است در شکل ۱ موقعیت خطوط ترازیبی و نیز ایستگاه‌های دائم GPS نشان داده شده است.



شکل ۱: موقعیت خطوط ترازیبی و ایستگاه‌های دائم GPS

در مسیر مشهد - قوچان در سال‌های ۱۳۷۴ و ۱۳۸۱ ترازیبی صورت گرفته و بخش‌هایی از این خط در سال ۱۳۸۴ به‌منظور بررسی فرونشست دشت مشهد مجدداً اندازه‌گیری گردید. ترازیبی خط انتقال گاز سرخس - نکا توسط مدیریت نقشه‌برداری خراسان در دو مرحله در سال ۸۵ انجام شده است. بررسی برداشت‌های صورت گرفته در خط ترازیبی



قوچان- مشهد نشان می‌دهد که ماکزیمم نشست در دوره زمانی ۱۳۷۴ تا ۱۳۸۱ معادل ۵۸ سانتیمتر (۶/۵ سانتی‌متر در سال) و دوره زمانی ۱۳۸۱ تا ۱۳۸۴ حدود ۵۰ سانتیمتر (۱۶/۷ سانتی‌متر در سال) در منطقه توس رخ داده است. بررسی نتایج اولیه ترازیابی انجام شده در مسیر خط انتقال گاز نشان دهنده نشست بیش از ۱۵ سانتی‌متر طی شش ماهه می‌باشد. بررسی مسیرهای ترازیابی اصلی دیگر موجود در دشت مشهد (مشهد- سرخس و مشهد - کلات) نشان می‌دهد که حداکثر نشست در این دو محور به ترتیب ۸۲/۲ میلی‌متر (۷۴ سانتی‌متر در ۹ سال) در شهرک باهنر (شکل ۱) و ۳۴/۴ میلی‌متر (۳۱ سانتی‌متر در ۹ سال) در بخشی شرقی آبخوان مشهد (شکل ۱) اندازه‌گیری شده است.

در دشت مشهد، ۶ ایستگاه GPS دائم وجود دارد که از سال ۱۳۸۴ ثبت اطلاعات در آن‌ها شروع شده است. بررسی اندازه‌گیری‌های ارتفاعی انجام شده در این ایستگاه‌های GPS نشان می‌دهد که نرخ نشست سالانه در سه ایستگاه توس، نیروگاه توس و گل‌مکان به ترتیب ۲۲،۵ و ۱/۲۵ سانتی‌متر در سال می‌باشد.

با استفاده از روش تداخل سنجی راداری اندازه‌گیری تغییرات سطح زمین در امتداد خط دید ماهواره صورت می‌گیرد. به دلیل اینکه عمده تغییرات سطح زمین در فرونشست به صورت تغییرات ارتفاعی است می‌توان جابجایی‌های استخراج شده را به تغییرات ارتفاعی تبدیل نموده و نقشه نرخ میانگین فرونشست را تهیه کرد. تاکنون مطالعات راداری متعددی (حسینی و همکاران (۱۳۸۵)، دهقانی و همکاران (۱۳۸۵)، معتمد و همکاران (۲۰۰۷ و ۲۰۰۸) و اکبری (۱۳۸۷) و اکبری و همکاران (۲۰۱۱)) برای پایش فرونشست دشت مشهد صورت گرفته است. در اغلب این مطالعات از تصاویر ماهواره ENVISAT مربوط به دوره زمانی ۲۰۰۳-۲۰۰۵ استفاده شده است. جمع‌بندی مطالعات تداخل سنجی راداری صورت گرفته در این دشت نشان می‌دهد که نشست زمین در دو بخش محدوده بین مشهد- چناران (محدوده بیضی شکل دارای امتداد شمال غربی- جنوب شرقی) و جنوب شرق شهر مشهد (شهرک باهنر) رخ داده به طوری که حداکثر نرخ میانگین فرونشست در محدوده بین مشهد-چناران ۲۵ سانتیمتر در سال و جنوب شرق شهر مشهد ۸/۶ سانتیمتر در بازه زمانی ۲۰۰۴ تا ۲۰۰۷ اندازه‌گیری شده است.

### شواهد میدانی نشست زمین در دشت مشهد

از جمله آثار و عوارض منفی ناشی از فرونشست زمین تغییر وضعیت هیدرولوژی منطقه و سیل‌گیر شدن زمین‌ها، بیرون زدن لوله‌های جدار چاه‌های بهره‌برداری و آسیب به موتورپمپ و منصوبات داخل چاه‌هاست. علاوه بر این بروز نشست نامتقارن در پی سازه‌ها و ایجاد شکاف در ساختمانها، آسیب به روسازی معابر، ایجاد ترک و شکاف‌های عمیق در زمین‌های

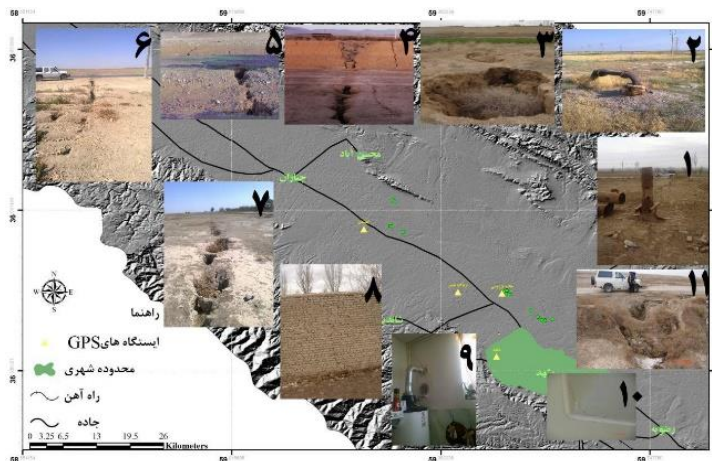


کشاورزی، آسیب دیدگی شریان‌های حیاتی (پل‌ها، خطوط راه آهن، جاده‌ها و کانال‌ها)، خمیدگی و کج شدگی نرده‌های حفاظ و دکل‌ها و تیرهای برق می‌گردد.

بررسی‌های میدانی متعدد صورت در سطح دشت مشهد نشان می‌دهد که آثار منفی نشست زمین به اشکال مختلف در برخی نقاط دشت مشهد قابل مشاهده است. بیشترین آثار منفی نشست در محدوده پیرامون ایستگاه توس و روستاهای حسن خورد، اسماعیل آباد، فریزی، مهدی آباد کوشک و نیسان در بخش شمالی جاده مشهد قوچان مشاهده می‌شود (شکل ۲).

در داخل زمین کشاورزی ترک‌های سطحی عریضی به وجود آمده که طول بعضی از آن‌ها به بیش از ۴ کیلومتر می‌رسد نمونه‌ای از این شکاف‌ها در در شکل ۲ نشان داده شده است. در بسیاری از موارد این شکاف‌ها در برخورد با تأسیسات حیاتی (جاده‌ها، خطوط انتقال و غیره) باعث تخریب آن‌ها می‌شوند (شکل ۲-عکس ۱).

برخی از ترک‌های موجود به صورت طولانی و عمیق بوده و درحالی‌که در برخی محل‌ها تعداد زیادی ترک در کنار یکدیگر مشاهده می‌شود. بر اثر ایجاد این ترک‌ها پهنه‌های وسیعی از زمین‌های حاصلخیز این منطقه غیرقابل کشت شده‌اند. یکی از فراوان‌ترین آثار نشست زمین قابل مشاهده در سطح منطقه ایجاد ترک و شکاف در دیوار منازل، مزارع و باغات است (شکل ۲). حفرات و گودال‌های ریزشی معمولاً علائم اولیه ایجاد شکاف‌ها می‌باشد به‌وفور در سطح منطقه (شکل ۲) مشاهده می‌شوند. معمولاً تعدادی از این حفرات به صورت متوالی و در امتداد هم تشکیل می‌شوند.



شکل ۲- آثار فرونشست زمین در سطح دشت مشهد

یکی دیگر از اثرات فرونشست در سطح منطقه بیرون زدگی لوله جدار چاه‌های آب است که در تعدادی از چاه‌ها قابل مشاهده است (شکل ۲) مقدار بیرون زدگی و بازه زمانی مرتبط با آن به‌طور دقیق قابل تشخیص نیست. این پدیده گاهی با جابجایی‌های کوچک نیز همراه است به‌طوری‌که بریدگی غلاف در عمق ۵۰ متر در تعدادی از چاه‌ها گزارش شده است.



#### مکانیسم فرورانش زمین در دشت مشهد

دشت مشهد از نظر هیدروژئولوژیکی آبخوان میان کوهی وسیعی است که در مرز بین دو ایالت زمین ساختی کپه داغ و بینالود قرار گرفته است. مرز دشت توسط گسل‌های شمال مشهد و کشف رود در شمال و مشهد چناران در جنوب کنترل می‌شود. رودخانه کشف رود بر اساس مدل رسوبی (Miall, 2000) نوعی رودخانه مئاندری ماسه-گراولی است که روند کلی حرکت آن از روند لایه‌های رسوبی (شمال غرب-جنوب شرق) پیروی کرده و جزو رودخانه‌های موافق (Subsequent River) محسوب می‌شود. موسوی و همکاران در سال ۱۳۸۱ رودخانه‌های فرعی تغذیه‌کننده این رودخانه که از ارتفاعات بینالود و کپه داغ سرچشمه می‌گیرند در محل خروج خود از کوهستان، مخروط افکنه‌های متعددی را به وجود آورده‌اند بررسی تغییرات اندازه رسوبات در این مخروط افکنه‌ها نشان می‌دهد، ذرات تشکیل‌دهنده از رأس مخروط‌ها به طرف مرکز دشت ریز شده بوده در انتهای مخروط‌ها معمولاً در حد ذرات سیلت و رس می‌باشند.

بررسی لاگ حفاری چاه‌های مشاهده‌ای و بهره‌برداری در سطح دشت مشهد نشان می‌دهد که در مجاورت ارتفاعات بینالود رسوبات درشت‌دانه بوده و به طرف مرکز دشت (دشت سیلابی رودخانه کشف رود) توالی رسوبات ریز شونده و درشت شونده در ستون‌های زمین‌شناسی دیده می‌شود. به‌طور کلی رسوبات آبرفتی در مسیر رودخانه کشف رود از شمال غرب به طرف جنوب شرق دشت توالی ریز شونده دارند.

بررسی تغییرات مورفولوژیکی رودخانه کشف رود در طول زمان نشان می‌دهد که بستر رودخانه ثابت نبوده و جابجایی مسیر رودخانه از مرکز دشت به طرف شمال رخ داده است، این پدیده باعث شده بستر قدیمی کشف رود بستر قدیمی کشف رود به صورت کانال پر شده در مقاطع زمین‌شناسی قابل تشخیص است.

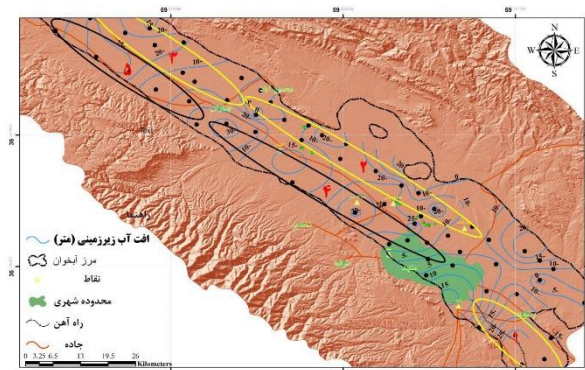
از نظر زمین ساختی، دشت مشهد چناران دشت جوانی است که تکتونیک از عوامل اصلی تشکیل آن بوده و شواهد حرکات جوان در ریخت‌شناسی رسوبی و تکامل مخروط افکنه‌های فعال منطقه قابل مشاهده بوده است.

دشت مشهد ناودیس بازی است که با دو طرف پلانژ دارد و سنگ کف آن عمدتاً از نهشته‌های شیلی-مارنی سرچشمه (در مجاورت ارتفاعات کپه داغ) و سنگ‌های دگرگونی - آذرین (در مجاورت ارتفاعات بینالود) تشکیل شده و کنتاکت آن‌ها در خط‌القعر دشت قابل تشخیص است (سجادیان، ۱۳۹۴).



بررسی مقاطع ژئوالکتریکی، زمین شناسی و گرانی سنجی تهیه شده در دشت مشهد نشان می دهد که گسل های طولی (حداقل سه گسل) به موازات گسل های جنوب مشهد و کشف رود قابل تشخیص است که باعث تغییر ضخامت رسوبات آبرفتی شده است.

بررسی وضعیت ساختاری و زمین شناسی مناطق دارای فرونشست در دشت مشهد (نواحی بیضی در شکل ۳) نشان می دهد که این بخش ها در مناطقی از دشت که توالی رسوبات دانه ریز و دانه درشت وجود داشته و تمرکز بالای چاه های بهره برداری در این بخش ها باعث افت شدید آب زیرزمینی شده قرار دارند. ساختارهای تکتونیکی موجود در دشت روند توسعه فرونشست را کنترل می نماید.



شکل ۳- نواحی دارای افت آب زیرزمینی شدید و فرونشست (مناطق زرد رنگ) در دشت مشهد

### نتیجه گیری:

در دشت مشهد به دلیل بهره برداری گسترده از منابع آب زیرزمینی در طی ۵۰ سال گذشته فرونشست وسیع زمین رخ داده است. از نظر مکانی آثار فرونشست در سه بخش چناران- قوچان، مشهد- چناران (محدوده بیضی شکل دارای امتداد شمال غربی- جنوب شرقی) و جنوب شرق شهر مشهد (شهرک باهنر) قابل مشاهده است. براساس ترازبایی های انجام شده در دشت مشهد فرونشست در دشت مشهد روندی افزایشی داشته و روبه گسترش است. حداکثر نرخ میانگین فرونشست در محدوده بین مشهد- چناران ۲۵ سانتیمتر در سال در منطقه توس اندازه گیری شده است. فرونشست در دشت مشهد بر اثر افت شدید آب زیرزمینی در مناطقی از آبخوان که دارای میان لایه های رسی وسیع بوده ایجاد شده و روند گسترش آن توسط ساختارهای تکتونیکی فعال در دشت و سنگ کف کنترل می شود.





#### منابع و مآخذ

- ۱) اکبری، وحید (۱۳۸۷). نظارت بر فرونشست زمین ناشی از استخراج بی‌رویه آب زیرزمینی در دشت مشهد با استفاده از سری زمانی تکنیک تداخل سنجی راداری و مقایسه با مشاهدات ژئودتیک، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده فنی دانشگاه تهران.
- ۲) انواری، محمدعلی و نوراللهیان، حسین (۱۳۸۵). نگرشی نو به فرونشست دشت مشهد، همایش سالانه سازمان نقشه‌برداری ایران، تهران.
- ۳) آمیغ پی و همکاران (۱۳۸۸) بررسی مناطق فرونشست در ایران با استفاده از ترازیبی دقیق، نقشه‌برداری ۲۰(۱۰۴): ۱-۱۲
- ۴) ترحمی، احمد (۱۳۷۶)، اثرات اقتصادی و اجتماعی افت سطح آب و نشست زمین بر اثر تخلیه بی‌رویه آب زیرزمینی در دشت مشهد. آب و توسعه، ۵: ۵۹-۵۴.
- ۵) حسینی، سیدعلی (۱۳۸۴). بررسی عوامل زمینه‌ساز بحران آب دشت مشهد، همایش طرح جامع آب کشف رود، طوس آب، مشهد.
- ۶) حسینی، محمد، ولدان زوج، محمدجواد، مباشری، محمدرضا و دهقانی مریم (۱۳۸۵). بررسی نشست زمین با استفاده از InSAR و GPS. سمینار گروه نقشه‌برداری دانشکده نقشه‌برداری دانشگاه خواجه نصیر طوسی.
- ۷) دهقانی، م، ولدان زوج، م. و روستایی، م، ۱۳۸۵، تعیین نرخ فرونشست شمال غرب مشهد به کمک تکنیک تداخل سنج راداری، ۲۵ گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی ایران، تهران.
- ۸) سازمان نقشه‌برداری ایران (۱۳۸۷). گزارش مطالعات ژئودینامیک ایران.
- ۹) سجادیان، م. ۱۳۹۴. بررسی تکتونیک فعال در تشکیل آبخوان فرونشست دشت مشهد. پایان‌نامه برای دریافت درجه دکتری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران-شمال.
- ۱۰) لشکری پور، غلامرضا، غفوری، محمد، سویزی، زینب، پیوندی، زکيه (۱۳۸۴). افت سطح آب زیرزمینی و نشست زمین در دشت مشهد، مجموعه مقالات نهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران (۱۳۲-۱۲۴)، اصفهان.
- ۱۱) موسوی‌حرمی، ر.، محبوبی، ا.، برنرال، ر. و خانه‌باد، م. ۱۳۸۱. نقش تکتونیک در رسوبگذاری و مورفولوژی رودخانه کشف‌رود واقع در شمال شرق ایران. مجله علوم دانشگاه تهران، ۱.

12) Akbari, V., M. Motagh, M. A. Rajabi, Y. Djamour, (2011), Time Series Investigation of Land Subsidence Using a Weighted Least Squares Adjustment Based on Image Mode Interferometric Data, IEEE GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING LETTERS.

13) Bell, F.G., (1999), Geological Hazards: Their assessment, avoidance and mitigation, Department of Geological and Applied Geology, University of Natal, Durban, South Africa, 625 p.



- 14) Galloway, D. L., & Sneed, M. (2013). Analysis and simulation of regional subsidence accompanying groundwater abstraction and compaction of susceptible aquifer systems in the USA. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 65(1), 123-136.
- 15) Galloway, D.L. and Hoffmann, J., 2007, The application of satellite differential SAR interferometry-derived ground displacements in hydrogeology: *Hydrogeology Journal*, v. 15, no. 1, pp. 133-154.
- 18) Leake, S. A. (2004). Land subsidence from ground-water pumping. *U.S. Geological Survey*.
- 19) Miall, A. D. (2000). Principles of sedimentary basin analysis. Berlin: Springer.
- 20) Motagh, M., Djamour, Y., Walter, T. R., Wetzell, H. U., Zschau, J., & Arabi, S. (2007). Land subsidence in Mashhad Valley, northeast Iran: results from InSAR, levelling and GPS. *Geophysical Journal International*, 168(2), 518-526.
- 21) Motagh, M., Walter, T. R., Sharifi, M. A., Fielding, E., Schenk, A., Anderssohn, J., & Zschau, J. (2008). Land subsidence in Iran caused by widespread water reservoir overexploitation. *Geophysical Research Letters*, 35(16).
- 22) Poland, J.F., ed. 1984, Guidebook to studies of land subsidence due to ground - water withdrawal, V. 40 of UNESCO, Working Group 8.4, Studies and Reports in Hydrology, Paris, France, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, 305 p.
- 23) Waltham, A.C., 1989, Ground subsidence, Chapman and Hall, New York, 202 p.