بررسی عوامل موثر در فرونشست های دشت مشهد

و پیامدهای ژئومورفیک آن

ابوالفضل بهنیافر

استادیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد

هادی قنبرزاده

استادیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد

علی اشراقی

کارشناس ارشد ژئومورفولوژی در برنامه ریزی محیطی

تاریخ دریافت:۱۳۸۹/٤/٤ **تاریخ پذیرش: ۱۳۸۹/٦/۲۹**

چکیده

پدیده فرونشست به عنوان یکی از مخاطرات ژئومورفیک طی سال های اخیر در قسمت هایی از سطح کشور و از جمله در بخش هایی از دشت مشهد به مرحله بحرانی رسیده است و برنامه های عمرانی و سازه ای و کشاورزی را با محدودیت شدید در این بخش ها مواجه کرده است . اگرچه گروهی از عوامل در ایجاد این پدیده موثر بوده اند ولی مهم ترین آن ها در دشت مشهد ، عامل برداشت های بی رویه و بیش از حّد مجاز آب زیرزمینی و ممانعت از نفوذ آب برگشتی شرب ، صنعت و کشاورزی به دشت بوده است . دشت مشهد از نظر برداشت آب ، حالت فوق بحرانی دارد و با توجه به رشد سریع فیزیکی شهر مشهد هر ماه شاهد تغییرات کند ولی بسیار مخاطره آور فرونشست (به ویژه در جنوب شرقی ، طوس ، قرقی ، خواجه ربیع و شمال غرب) می باشیم . به طوری که در محدوده روستای حسن خوردو و در شمال غربی دشت مقدار افت سطح آب زیرزمینی طبق آمارهای ثبت شده به بیش از ۳۰ متر در طول ۲٤ سال آماربرداری می رسد . هدف اصلی این مقاله بررسی عوامل موثر در فرونشست دشت و تعیین افت سالانه سطح ایستابی در آبخوان دشت مشهد بر اثر برداشت بی رویه می باشد . از طرفی پیامدهای ژئومورفیک ناشی از پدیده سوبسیدانس (Subsidence) دشت نیز شناسایی و بررسی گردیده است . با استفاده از تکنیک راداری اینترفرامتری و عملیات GPS و آنالیز ارزیابی های انجام شده در قسمت هایی از آبخوان مشخص گردید که میزان افت سالانه سطح آب زیرزمینی دشت ۱/٤۷ متر و بیشترین فرونشست ها و حفرات با اشکال ژئومورفیک متفاوت در بخش های مرکزی و جنوب شرقی آن رخ داده است .

واژگان کلیدی:فرونشست زمین، سطح ایستابی، پیامدهای ژئومورفیک، برداشت آب زیرزمینی، دشت مشهد.

Archive of SID

www.SID.ir

مقدمه

منابع آب زیرزمینی در بسیاری از مناطق کشورمان از جمله نواحی مرکزی ، شرق و جنوب یکی از مهم ترین منابع تأمین آب جهت مصارف کشاورزی ، صنعت و شرب می باشد . وجود شرایط اقلیمی خشک و نیمه خشک در شهرستان مشهد و وقوع خشکسالی های نسبتاً درازمدت باعث گردیده است که بیش از ۹۰ ٪ نیاز آبی شهر مشهد فقط از طریق آبخوان های زیرزمینی تأمین گردد و در واقع آب زیرزمینی در دشت مشهد تنها منبع آب موجود مصارف شرب و کشاورزی و صنعت است . به این ترتیب یکی از مشکلات مهم در ارتباط با برداشت بی رویه آب از سفره های زیرزمینی افت ممتد سطح آب و متراکم شدن لایه ها و رسوبات سفره است (لشکری پور و همکاران ۱۳۸۷ص۹۵) . از نظر تعریف فرونشست یا سوبسیدانس تدریجی زمین پدیده ای ژئومورفیک است که تحت تأثیر عوامل طبیعی و انسانی رخ می دهد و صدمات ناشی از این نوع فرونشینی ها می تواند در بسیاری از موارد فاجعه بار باشد (رنجبر و جعفری ،۱۳۸۸ص۱۵۵) . بنابراین فرونشینی زمین را یکی از انواع مخاطرات محیطی قلمداد نموده اند . به طورکلی عوامل مختلفی باعث وقوع پدیده فرونشست می شود ، ولی در بسیاری مناطق برداشت بی رویه آب از سفره های زیرزمینی موجبات فرونشست زمین را فراهم می آورد . افزایش روزافزون بهره برداری از آب های زیرزمینی به ویژه در حوضه هایی که با نهشته های آبرفتی ، دریایی کم عمق یا دریاچه ای تحکیم نیافته انباشته گشته اند ، به نشست و یا فروریزش سطح زمین منجر شود . با برداشت بیش از حد آب زیرزمینی ، سطح ایستابی لایه آبدار پایین رفته و فشار هیدرواستاتیک کاهش می یابد که در نتیجه امکان نشست زمین را به صورت تدریجی فراهم می نماید . فرونشست ماندگار دشت ها عمدتاً در اثر همین عامل یعنی برداشت بیش از حّد مجاز آب و فشرده شدن لایه های رسی و سیلتی میان آبخوان صورت می گیرد . در این صورت حتی اگر سطح ایستابی مجدداً بالاتر آید ، امکان بازگشت زمین به تراز اولیه خود وجود ندارد (فولتن ، ۲۰۰۶ص۲۷) .

در مقیاس جهانی ، خطر فرونشست زمین بر اثر افت سطح آب در بین سال های ۱۹۵۰ – ۱۹۷۰ که همزمان با صنعتی شدن و رشد شهرنشینی است به اوج خود رسید (والتام ، ۱۹۸۹ص۳۷) . گزارش های متعددی از فرونشست زمین خصوصاً از نقاط خشک و کم باران در سراسر جهان ارائه گردیده است (پاچکو ، ۲۰۰۶ص۱۵۱) . به طورکلی این پدیده در بیش از ۱۵۰ شهرجهان گزارش شده است (هو و

Archive of SID

www.SID.ir

همکاران ، ۲۰۰۴ص۶۹) . در ایران اولین بار فرونشست زمین در دشت رفسنجان در سال ۱۳۴۶ همراه با پدیده لوله زایی در چاه های کشاورزی گزارش شده است (حسینی میلانی ، ۱۳۷۳ص۹۳) . در سال های اخیر پدیده فرونشست زمین در بسیاری از دشت های کشور از جمله دشت سیرجان (عباس نژاد ، ۱۳۷۷) ، زرند و کرمان (رحمانیان ، ۱۳۶۵) ، اردکان یزد (عالمی ، ۱۳۸۱) ، فامینین ـ کبودرآهنگ همدان (امیری و همکاران ،۱۳۸۳) ، معین آباد ـ

ورامین (شمشکی و انتظام سلطانی ، ۱۳۸۴) ، تهران ـ شهریار (بلورچی ، ۱۳۸۴) و مشهد ، پیامدهای ژئومورفیکی و مخاطره آور به دنبال داشته و یکی از معضلات جّدی توسعه محسوب می شود . فرونشست زمین خسارات زیادی را به دنبال دارد که از تخریب اراضی کشاورزی تا تخریب سازه هایی مانند پل ها ، معابر ، خطوط لوله و ساختمان ها را شامل می گردد . این پدیده به ویژه آسیب های جّدی به سیستم های آبیاری مزارع و تجهیزات آبرسانی و چاه ها وارد می آورد . اگرچه با تغذیه مصنوعی می توان تا حدودی از نشست زمین جلوگیری نمود (کردوانی ،۱۳۸۷ص۲۷۴) ولی شکاف ها و فروچاله های ایجاد شده در سطح زمین خسارات زیادی را به خطوط لوله های گاز ، آبرسانی و کابل های زیرزمینی برق وارد آورده و پدیده لوله زایی را به دنبال داشته است . فرونشست ها انواع متعددی دارند که عمدتاً بر اثر کاهش فشار هیدرواستاتیک به صورت موضعی رخ می دهند (ولایتی ،۱۳۸۷ص۱۴۷) . نوع اول نشست زمین ناشی از بارگذاری می باشد که ممکن است به صورت الاستیک باشد و بلافاصله بعد از اعمال بارگذاری صورت می گیرد و مقدار آن بستگی به مقدار بار اعمال شده و جنس زمین دارد . این نوع نشست معمولاً در خاک های درشت دانه رخ می دهد . نوع دوم نشست زمین به صورت پلاستیک بوده که در خاک های ریزدانه به وقوع می پیوندد و به علت خروج آب از لابلای ذرات خاک صورت می گیرد و به آن عملکرد تحکیم خاکدانه می گویند . برخلاف نوع اول این نشست آنی نبوده بلکه تدریجی و در طول زمان رخ می دهد که برداشت آب زیرزمینی و خالی شدن فضاهای بین خاکدانه ها از آب یکی از علل اصلی این نشست است . نوع سوم شامل نشست های موضعی و طبیعی زمین است که مرتبط با فضاهای خالی در زیرزمین ، مناطق کارستی و شبه کارستی و معدن کاوی است . این فضاها به طور طبیعی یا به وسیله انسان ایجاد می شود و منجر به کاهش فشار هیدرواستاتیک و نشست زمین می گردد . مسیر قنات های قدیمی ، معدن کاوی توسط انسان ، حفرات زیرزمینی کارستی و شبه کارستی و انحلال سنگ

Archive of SID

www.SID.ir

های کربناته منجر به کاهش مقاومت زمین و فرو ریختگی موضعی می شود (ولایتی و بهنیافر، ۱۳۸۶ص۱۵۲) . گاهأ آب زیرزمینی در سفره محصور در داخل رسوبات تحت فشار قرار می گیرد و با حفاری چاه و خروج آب به تدریج فشار آب افت می کند و با بهره برداری بی رویه عدم تعادل در وزن لایه های فوقانی ایجاد شده و کاهش فشارهیدرواستاتیک بین ذرات رسوبات به وجود می آید و نشست زمین را سبب می شود . مشکل اصلی نشست زمین مربوط به فرونشست های ماندگار است که در دشت مشهد رخ داده و علت وقوع آن فشرده شدن لایه های رسی و سیلتی بین آبخوان می باشد . به طوری که لایه رس تحکیم شده و آب خود را از دست داده و هرگز به حالت اولیه باز نمی گردد . در نتیجه تغذیه سفره آب زیرزمینی هم امکان پذیر نیست .

دشت مشهد یکی از مهم ترین دشت های حاصلخیز استان خراسان رضوی است که زهکش اصلی آن رودخانه کشف رود می باشد . این دشت از نظر ژئومورفولوژی ساختمانی به صورت یک فرورفتگی است که بین ارتفاعات هزارمسجد در شمال و کوه های بینالود در جنوب قرارگرفته و سازندهای مختلف زمین شناسی از دوران پرکامبرین تا اواخر دوران سوم در حوضه آبریز اصلی آن وجود دارند . رسوبات دوران چهارم زمین شناسی که آبخوان دشت مشهد را تشکیل داده از موّاد فرسایش یافته و حمل شده این سازندها می باشد . شهر مشهد در جنوب شرقی دشت مذکور واقع شده است . اگرچه رسوبات تشکیل دهنده این بخش از آبخوان نیز در هر حال از رسوبات فرسایش یافته و حمل شده سرشاخه های رودخانه کشف رود تشکیل یافته اند ، معهذا رسوبات عمده و اصلی تشکیل دهنده آبخوان آن مواد رسوبی هستند که توسط دو رودخانه عنبران و طرق به این منطقه حمل می شوند . طبیعی است که رسوبات تشکیل دهنده آبخوان ، اجزاء فرسایش یافته سازندهایی هستند که در ارتفاعات بینالود و در حوضه آبریز این دو رودخانه یافت می شوند . اهمیت دشت مشهد علاوه بر تأمین آب مورد نیاز کشاورزی به مقدار بیش از ۱/۵ میلیارد مترمکعب در سال ، تأمین کننده آب شرب شهرهای مشهد ، چناران ، شاندیز و طرقبه نیز می باشد در اثر بهره برداری های بی رویه و غیرمجاز از منابع آب زیرزمینی دشت ، سطح آب زیرزمینی به تدریج پایین رفته و با کسری مخزن مواجه شده است . بنابراین دشت مشهد از جمله دشت های فوق بحرانی از لحاظ فرونشست زمین در بین دشت های کشور است که از آن به عنوان یک مخاطره ژئومورفیک نامبرده شده است ، زیرا فروریزش ها در اشکال متفاوتی ظاهرشده و پیکرشناسی دشت را دستخوش تغییرکرده است (منصوری و همکاران ،۱۳۸۸ص۲۶) . در حال حاضر از مهم ترین پیامدهای

Archive of SID

www.SID.ir

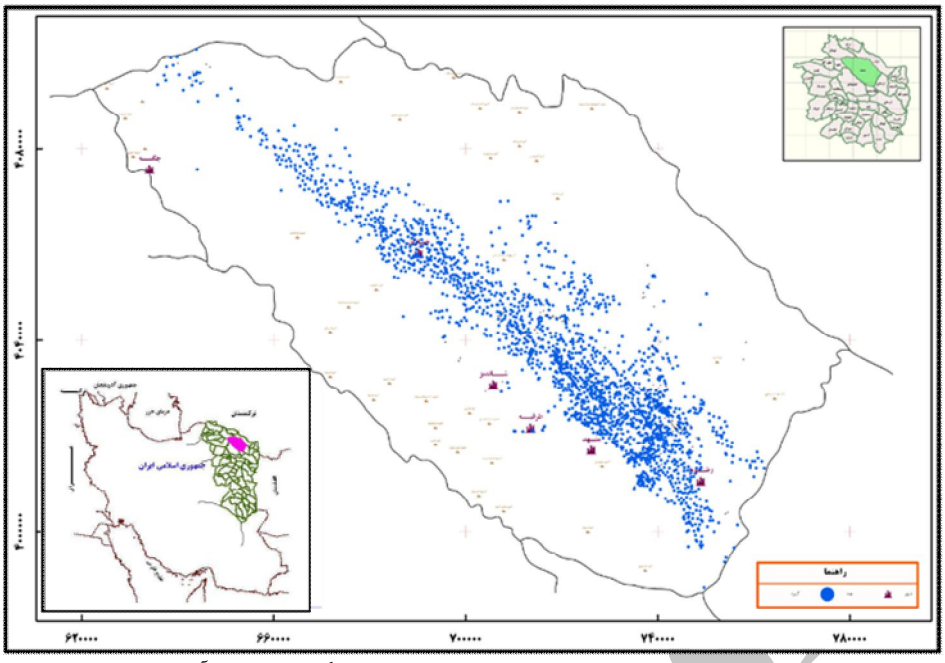
مخاطره آور فرونشست زمین در بخش جنوب شرقی و شمال غرب دشت مشهد ، مسأله احتمال آسیب دیدگی خطوط لوله گاز وآب است ، هم چنین فروچاله های ایجاد شده در اثر نشست زمین به محدوده شهری نیز نزدیک شده و در قسمت هایی از مناطق شهری مانند بلواراندیشه قاسم آباد ، جاده روستای قرقی و محدوده خواجه ربیع مشکلات جدّی برای معابر و سکونت گاهها به وجود آورده است .

موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه

دشت مشهد بخشی از حوضه آبریز کشف رود می باشد که در مختصات جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۰ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۳ دقیقه عرض شمالی و ۵۸ درجه و ۲۰ دقیقه تا ۶۰ درجه و ۸ دقیقه طول شرقی واقع شده است . از شمال به ارتفاعات هزارمسجد (کپه داغ شرقی) ، از جنوب به ارتفاعات بینالود ، از غرب به حوضه آبریز اترک و از جنوب شرق به حوضه آبریز جامرود محدود می شود . از نظر تقسیمات سیاسی این دشت در شهرستان مشهد و استان خراسان رضوی قرار دارد . مساحت کل دشت تا محل خروجی آن یعنی النگ اسدی حدود ۵۰۰۰ کیلومترمربع می باشد که ۳۳۵۱ کیلومتر مربع آن را آبخوان دشت مشهد تشکیل می دهد . طول کشیدگی حوضه کشف رود ۱۵۰ کیلومتر که از اراضی آبگرگ و دالو واقع در ۹ کیلومتری جاده قوچان – مشهد شروع و به کال تنگل شور در شرق حوضه ختم می گردد . بلندترین نقطه ارتفاعی حوضه ۳۳۰۰ متر در قله بینالود در جنوب غربی حوضه و پایین ترین ارتفاع ۸۸۰ متر در خروجی دشت در تنگل شور است .

Archive of SID

www.SID.ir



شکل شماره۱- نقشه موقعیت دشت مشهد و پراکندگی چاه ها در آن

متدولوژی و ابزار تحقیق

روش پژوهش به صورت تجربی و مبتنی بر آزمایشات ، اندازه گیری صحرایی و تجزیه و تحلیل داده ها بوده است . مراحل کار بدین صورت بوده که ابتدا لایه های محیطی دشت و اطلاعات هیدروژئولوژیکی آن تهیه گردیده و بر اساس آزمایشات ژئوالکتریک و ژئوتکنیک در قسمت های بحرانی دشت از نظر فرونشست زمین ، داده ها و اطلاعات طبقه بندی گردیدند . مرحله دوم با آنالیز داده های مورد استفاده در ارتباط با افت هیدروگراف سطح آب زیرزمینی و بررسی فرونشست ها انجام گرفت . در مرحله سوم با مقایسه اطلاعات حفاری پیزومترها (لوگ چاه های پیزومتری) و داده های ژئوالکتریک و برداشت های صحرایی از پدیده های شکاف خوردگی زمین و حفرات فرونشستی (به وسیله GPS) آنالیز نهایی ارتباط بین عوامل مختلف با پدیده فرونشست و پیامدهای ژئومورفیک ناشی از آن شناسایی گردید . ابزارهایی که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفته عبارتند از : نقشه های توپوگرافی به مقیاس ۵۰۰۰۰ : ۱ ، نقشه های زمین شناسی ۱۰۰۰۰۰ : ۱ در محیط ArcGIS ، داده ها و اطلاعات هیدروژئولوژیکی ، داده های بدست آمده از نتایج آزمایشات ژئوالکتریک و ژئوتکنیک دشت و برداشت های صحرایی به وسیله GPS . اساس این پژوهش مبتنی بر طرح این سئوال بوده است که کدام عامل مهم در پدیده فرونشست دشت مشهد تأثیر داشته است ؟ با توجه به مشاهدات اولیه ای که نگارندگان در

Archive of SID

www.SID.ir

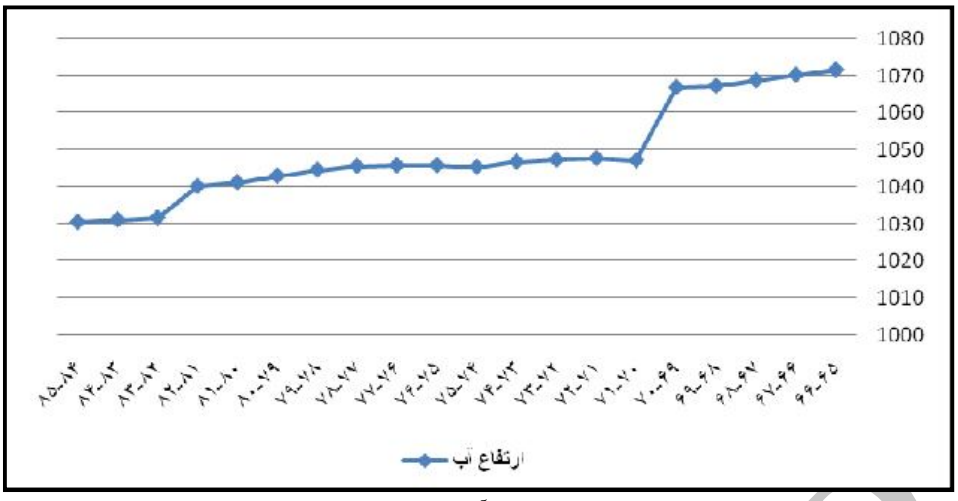
نواحی توس و حسن خوردو (شمال غرب دشت) در ارتباط با شکاف ها و فرونشست های زمین داشته اند ، موجبات این انگیزه را فراهم آورد تا عوامل موثر در فرونشست ها و پیامدهای ناشی از آن مورد بررسی و تحلیل علمی قرار گیرند .

ارتباط بین افت سطح آب زیرزمینی و فرونشست زمین در دشت مشهد

جهت جریان آب زیرزمینی در دشت مشهد عمدتاً از جهت جریان های سطحی و شیب توپوگرافی منطقه تبعیت می کند . مطالعات و آزمایشات انجام شده نشان داد که جهت جریان آب زیرزمینی در دشت مشهد از غرب به شرق و از جنوب به طرف محدوده میانی دشت است . ضخامت لایه آبدار در محدوده دشت متغیر بوده ودامنه تغییرات آن از ۲۰ متر در خروجی دشت تا ۱۵۰ متر در حاشیه ارتفاعات جنوبی نوسان دارد (شرکت سهامی آب منطقه ای خراسان ،۱۳۸۱ص۴۷) . با برداشت بیش از حّد آب زیرزمینی سطح ایستابی لایه آبدار پایین رفته و فشارهیدرواستاتیک کاهش یافته است و در نتیجه فرونشست هایی در قسمت هایی از دشت رخ داده است . در این قسمت با آنالیز نقشه هم افت سطح آب زیرزمینی و منحنی های تراز سطح ایستابی در دشت اثبات خواهیم نمود که از مهم ترین علل به وجود آمدن نشست های زمین مربوط به برداشت بیش از حّد آب زیرزمینی بوده است . با خروج آب از آبخوان دشت مشهد که عمدتاً با حفاری چاه ها صورت می گیرد به تدریج فشار آب افت می کند و از آنجا که این فشار با توجه به وزن لایه های فوقانی سفره در حال تعادل بوده با بهره برداری بیش از حّد آب با عدم تعادل مواجه گردیده و فرونشست رخ می دهد . با توجه به منحنی وضعیت سطح ایستابی در آبخوان دشت مشهد ملاحظه می گردد که از سال ۱۳۶۵ به سوی حال حاضر افت سطح ایستابی هم به صورت تدریجی و هم به صورت ناگهانی تداوم داشته است . با افزایش تعداد چاه های عمیق و نیمه عمیق (مجاز وغیرمجاز) در دشت سطح ایستابی در آبخوان هر ساله کاهش نشان می دهد و از آنجا که رودخانه کشف رود و شاخه های آن نمی تواند آب مورد برداشت را تأمین نماید ، تخلیه سفره دشت مشهد بسیار بیشتر از تغذیه آن می باشد . افت سطح آب زیرزمینی در دشت باعث نشست رسوبات و کاهش تخلخل آن ها شده است . بنابراین حتی اگرسطح آب زیرزمینی مجدداً بالا آید ، جبران این خسارات را نخواهد کرد .

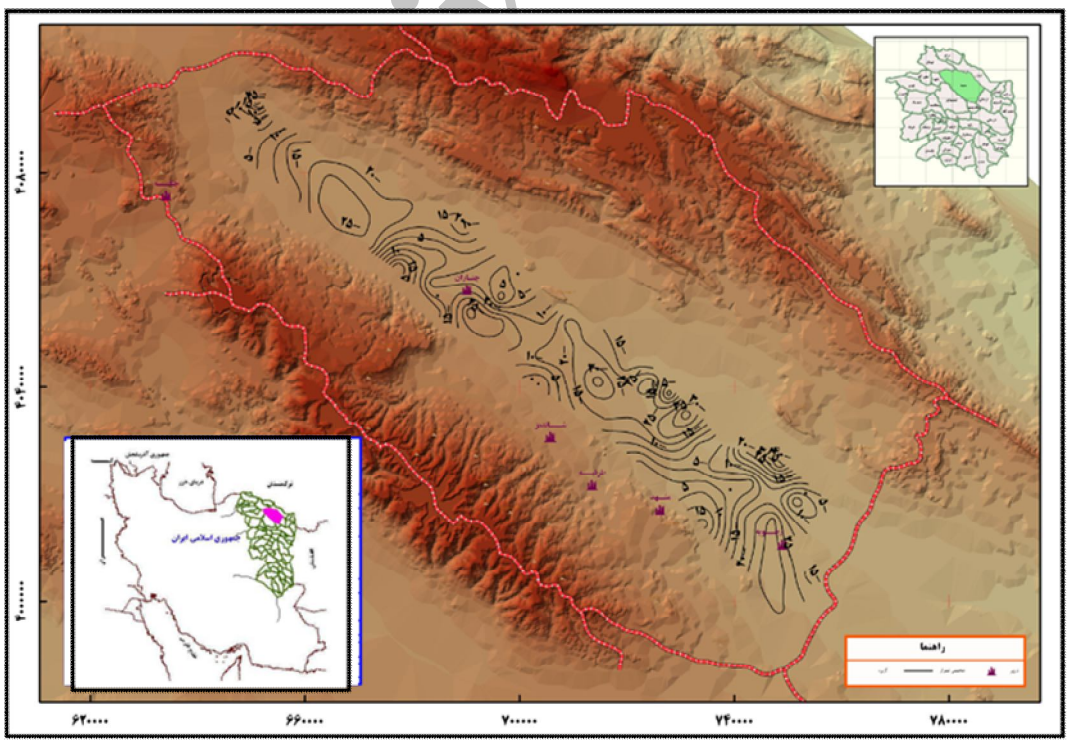
Archive of SID

www.SID.ir



شکل شماره۲- نموداروضعیت سطح ایستابی در آبخوان دشت مشهد (طی سال های ۸۵ – ۱۳۶۵)

با توجه به نقشه هم افت آب زیرزمینی دشت مشهد ملاحظه می شود که میزان افت سطح ایستابی آب در بعضی از قسمت های دشت مانند محدوده روستای حسن خوردو و یا منطقه طوس تا ۲۵ متر در طول دوره آماری نیز به ثبت رسیده است . در سال ۱۳۷۸ تعداد چاه های موجود در دشت ۵۲۹۷ حلقه ، قنات ها ۸۷۱ رشته و چشمه ها ۶۱۹ دهانه می باشد که در حال حاضر تعداد چاه های عمیق و نیمه عمیق به حدود دو برابر افزایش یافته و در نتیجه آزمایشات انجام شده در آبخوان دشت مشهد نشان می دهد میزان کسری مخزن ۱۲۵ میلیون مترمکعب است (جدول۱) .



شکل شماره۳- نقشه هم افت سطح آب زیرزمینی دشت مشهد طی دوره آماری

www.SID.ir

جدول شماره۱- وضعیت بیلان آبخوان دشت مشهد

ظرفیت تجدیدشونده آب زیرزمینی (میلیون مترمکعب)	میزان تخلیه کل (میلیون مترمکعب)	میزان کسری مخزن (میلیون مترمکعب)	میانگین افت طی سال های ۸۰ ـ ۱۳۶۰ (متر)	پیش بینی میانگین افت طی سال های ۹۰ ـ ۱۳۸۰ (متر)
۹۵۰	۱۰۷۵	۱۲۵	۹/۱۳	۱۴/۵

مأخذ : شرکت سهامی آب منطقه ای استان خراسان رضوی ، ۱۳۸۹

مازاد برداشت سالانه آب از منابع غیرقابل تجدید دشت مشهد به بیش از ۱۲۵ میلیون مترمکعب می رسد و این امر باعث شده میانگین افت سطح ایستابی در دشت مشهد سالانه ۱/۴۷ متر باشد . این مسأله می تواند خطر گسترش فرونشست ها در قسمت های متفاوت دشت را تشدید نماید . خشکسالی های اخیر موجب شده است که کشاورزان آب بیشتری را از آبخوان دشت برداشت نموده و متوسط سطح آبهای زیرزمینی دشت مشهد در بعضی از نقاط مانند طوس از ۱/۴۷ متر به ۳/۰۴ متر افزایش یابد و درنتیجه فرونشست ها به صورت حفره ای و به ارتفاع بیش از ۵ تا ۶ متر در اراضی کشاورزی به وجود آمده اند . بنابراین با کاهش نسبتاً شدید سطح ایستابی آبخوان در دشت مشهد ، پدیده لوله زایی در اغلب اراضی کشاورزی رخ داده است که نمونه آن در روستای حسن خوردو واقع در شمال غرب مشهد در نزدیک جاده مشهد – قوچان می باشد . این منطقه با افت شدید سطح آب زیرزمینی و نشست زمین مواجه گردیده است و به دلیل درز و شکاف هایی که در سطح زمین به وجود آمده است ، تخریب و لوله زایی در چاه های کشاورزی کاملاً مشهود است (تصویر ۱) . میزان آبدهی چاه های روستاهای اطراف این منطقه به شدت کاهش یافته است . نقشه ترازآب زیرزمینی منطقه نشان می دهد که افت سطح آب از سال ۱۳۶۰ تا ۱۳۸۵ به بیش از ۲۵ متر رسیده است (شرکت سهامی آب منطقه ای خراسان ،۱۳۸۶) و این میزان افت در طی این دوره نشست های بزرگی در اراضی کشاورزی این ناحیه به وجود آورده است . از این نظر عمده ترین دلیل نشست و ترک خوردگی زمین ، بهره برداری بیش از اندازه از منابع آب زیرزمینی می باشد .

دومین عامل مهم تأثیرگذار بر فرونشست های دشت مشهد مسأله کاهش شدید تغذیه ناشی از آب برگشتی شرب ، صنعت و کشاورزی به آبخوان می باشد . به عبارت دیگر نفوذ آب برگشتی از کشاورزی ، شرب و صنعت یکی از عوامل مهم در تغذیه آبخوان مشهد محسوب می شده است . مطالعات انجام شده در چاه های اراضی کشاورزی جنوب دشت مشهد و شمال آن نشان می دهد که جمع آوری فاضلاب و

Archive of SID

www.SID.ir

آب های برگشتی از سیستم های فوق الذکر یکی از علل پایین آمدگی سطح آبخوان دشت مشهد می باشد . با توجه به مقدار آب برگشتی یا فاضلاب که در طی سال از سطح این منطقه به وسیله شبکه جمع آوری فاضلاب انتقال داده می شود ، اکنون با این وضعیت روبرو هستیم که پساب های غیرصنعتی می توانست باعث تغذیه آبخوان گردد . به خصوص در قسمت هایی از شهر مشهد که بر روی رسوبات گراول ، سیلت و مخلوط ماسه و رس واقع شده اند ، مقدار نفوذ پساب ها به آبخوان زیاد بوده و می توانست نقش مهمی در تغذیه سفره آب زیرزمینی داشته باشد . اندازه گیری های انجام شده به روش GPS نشان می دهد که بعد از اجرای طرح جمع آوری فاضلاب ها و آب های برگشتی از سیستم های کشاورزی ، شرب و صنعت ، مقدار افت سطح آب زیرزمینی افزایش چشمگیری نشان می دهد . بیشترین برداشت آب از مناطق مرکزی دشت و از طریق چاه های عمیق بوده است و بیش از ۷۵ ٪ برداشت آب از آبخوان مشهد صرف بخش کشاورزی می شود . از نظر ژئوهیدرولوژی ضخامت متوسط آبرفت دشت مشهد ۹۵ متر و عمق آب زیرزمینی به طور متوسط ۵۰ متر و ذخیره ثابت آن ۵/۵ میلیارد مترمکعب است . اگرچه مجموع آب تجدیدشونده در آبخوان دشت مشهد ۹۵۰ میلیون متر مکعب برآورد می شود اما در حال حاضر سالانه ۱۰۷۵میلیون مترمکعب از آن تخلیه می گردد که در نتیجه بیلان آبخوان منفی است (۱۲۵ میلیون مترمکعب کسری مخزن) . در طی چند سال گذشته ، به دلیل برداشت بسیار زیاد از آبخوان ، متوسط کاهش سطح ایستابی از ۱/۴۷ متر در سال به بیش از ۳ متر رسیده است .

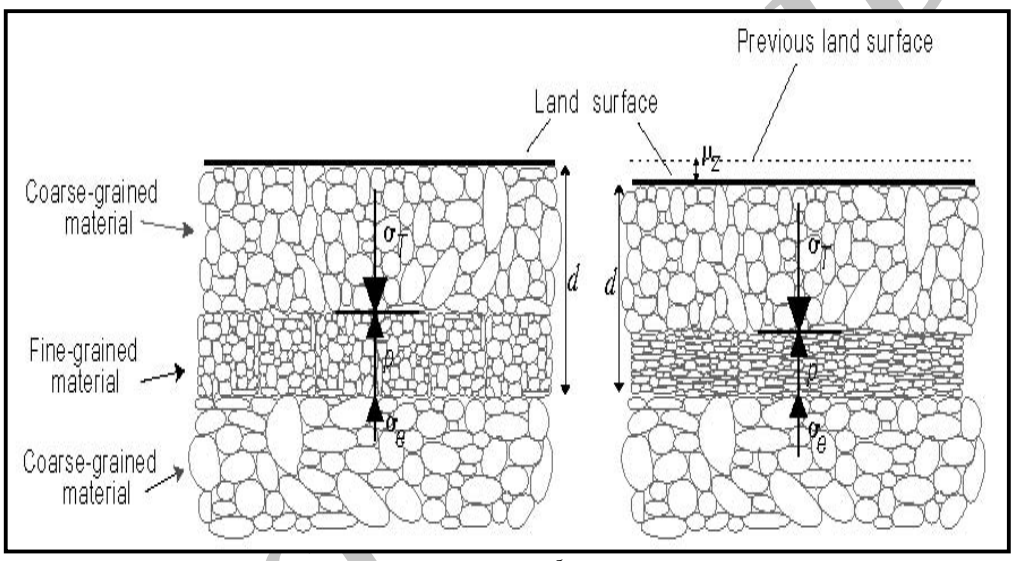
سنجش و اندازه گیری فرونشست و پیامدهای ژئومورفیک آن در دشت مشهد

اندازه گیری های انجام شده در خصوص فرونشست های دشت مشهد به دو روش GPS و InSAR صورت گرفته است . با استفاده از اطلاعات ایستگاه GPS واقع در ۸ کیلومتری شمال غرب شهر مشهد آشکار گردید که مقدار فرونشینی بیش از ۲۰ سانتی متر در سال بوده است در حالی که اطلاعات بدست آمده از روش GPS در ایستگاه طوس نشان دهنده آن است که سالانه ۲۴ سانتی متر فرونشینی در دشت مشهد رخ داده است که عمدتاً رابطه مستقیم با افت شدید سطح آب زیرزمینی دارد . اطلاعات حاصل از اندازه گیری های انجام شده به روش InSAR نشان می دهد که مقدار فرونشست بیش از ۱۵ سانتی متر در سال بوده است . مقدار فرونشست عمدتاً در قسمت های مرکزی و شمال غرب دشت بیشتر بوده است . مقدار افزایش فرونشست ها با مقدار افزایش پایین رفتن سطح آب زیرزمینی رابطه مستقیمی در آبخوان

Archive of SID

www.SID.ir

دشت مشهد داشته است . در عملکرد نشست زمین تراکم برگشت ناپذیر (ماسونت و همکاران ، ۱۹۹۴ص۲۲۶) در قسمت هایی از سفره که خاک های ریزدانه دارند (مانند طوس) رخ می دهد و در اثر آن زهکشی آب از لایه ریزدانه به دلیل افت فشارهیدرولیکی (در اثر افت ترازآب) انجام می گیرد . لایه های رسی ریزدانه بسیار تراکم پذیرند ، اما تنظیم فشار تخلخل آن ها کند ، وابسته به زمان و دائمی است (گودرزی نژاد ،۱۳۷۷ص۲۴۸) . در چنین حالتی افزایش تنش موثر موجب تراکم خاک گردیده و آرایش دانه های خاک به هم می خورد . در نتیجه آرایش جدیدی در دانه بندی خاک رخ می دهد که باعث کاهش حجم و ضخامت عمودی لایه و در نهایت نشست زمین می شود .



شکل شماره٤- کاهش حجم لایه ریزدانه و نازک شدن آن در اثر زهکشی(اقتباس از : لشکری پوروهمکاران ،۱۳۸۷ص۱۰٦)

اشکال و مورفولوژی فرونشست های انجام شده در سطح دشت مشهد در جدول (۲) آورده شده است . مهم ترین انواع فرونشست ها در دشت مشهد به شکل شکاف خوردگی زمین و یا سوبسیدانس های حفره ای بوده است که عمدتاً در محدوده اراضی کشاورزی و در خاک های ریزبافت متشکل از رس رخ داده اند . بررسی مورفولوژی شکاف ها آشکار می سازد که دو نوع شکاف بر اثر فرونشست زمین در سطح دشت رخ داده است :

الف) شکاف های کششی طولی که عمدتاً طول و عمق آن ها زیاد بوده و عرض آن ها بسته به نوع خاک متفاوت است . به طورکلی شکاف های طولی زمین با زمین های در حال فرونشست مرتبط می باشند (هولزر ، ۱۹۸۹ص۴۵۳) . فرونشست های مشاهده شده از این نوع در محدوده روستاهای حسن خوردو ،

www.SID.ir

طوس و جاده مشهد – سرخس اتفاق افتاده است . تشکیل شکاف های کششی طولی در نتیجه افزایش خطی فرونشست از حاشیه ارتفاعات به سمت مرکز دشت است (هرمن ، ۱۹۷۸ص۱۸۴) .

ب) شکاف های کوچک به صورت شعاعی یا خطی که عمدتاً در نزدیک محل چاه های عمیق و یا چاه های بهره برداری آب کشاورزی رخ داده اند . پراکندگی و فراوانی این نوع شکاف ها از گروه اول در سطح دشت مشهد بیشتر است . برخی از این شکاف ها بیش از ۵ سال قدمت دارد و در طول سال های اخیر گسترش بیشتری پیدا کردند .

دومین گروه فرونشست ها از نظر ژئومورفولوژی فرونشست های حفره ای و یا حفرات کوچک با عمق زیاد است . این نوع حفره ها معمولاً به شکل بیضی یا دایره در مناطقی که افت سطح آب بیشتر بوده است ، رخ می دهند . برخی از این شکاف های مشاهده شده در مسیر جاده سیمان مشهد عمقی بین ۲ تا ۵ متر دارند . این نوع فرونشست ها بر اثر تنش های کششی به وجود می آیند و در طول زمان تحت تأثیر فرسایش آبی قرار گرفته و شعاع آن ها بیشتر می شود . طبق اظهارنظر برخی از کشاورزان اغلب این شکاف ها در هنگام ایجاد شدن با صدای مهیبی همراه بوده که البته این مسأله هنوز در دست بررسی و مطالعه است . سومین شکل فرونشست در دشت مشهد به صورت لوله زایی با ترک خوردگی زمین ظهور کرده است . مسأله لوله زایی که از حدود یک دهه گذشته در سطح دشت مشهد تشدید شده است مربوط به فرونشست زمین و بیرون زدگی جدارهای لوله و سکوی بتنی مارک بتونی چاه های عمیق است . در اطراف این لوله ها ترک خوردگی های نسبتاً زیادی با عرض چند میلی متر تا چند سانتی متر به وجود می آید و در نتیجه اطراف چاه بهره برداری آب تخریب می شود .

جدول شماره۲- اشکال ژئومورفیک ناشی از فرونشست زمین در دشت مشهد

ردیف	نوع پدیده	مورفولوژی و ابعاد	موقعیت
۱	شکاف زمین – شکاف طولی بزرگ ـ ترک خوردگی	ـ چندین کیلومتر طول و چندین متر عرض با مورفولوژی خطی ـ چندین مترطول و حداکثر عرض ۵۰ سانتی با مورفولوژی	حسن خوردو و طوس
۲	فروچاله ها	با شعاع چندین متر و عمق ۳ تا ۵ متر با مورفولوژی دایره ای و بیضی شکل	مسیر جاده سیمان و جنوب طوس
۳	لوله زایی و ترک خوردگی	ابعاد ترک ها چند سانتی متر و عمدتاً به صورت سینوسی و انحناءدار	اغلب اراضی کشاورزی در قسمت شمال غرب و مرکزی دشت مشهد

(مأخذ : عملیات و مشاهدات صحرایی ۱۳۸۸ و ۱۳۸۹)

Archive of SID

www.SID.ir

شکل شماره۵-پدیده لوله زایی بر اثر فرونشست زمین درمحدوده روستای حسن خوردو (شمال غربی دشت)

Archive of SID

www.SID.ir

نتیجه گیری

بررسی های انجام شده در پژوهش حاضر نشان می دهد که فرونشست زمین در دشت مشهد ناشی از دو عامل بهره برداری بی رویه از سفره های آب زیرزمینی و جلوگیری از نفوذ آب برگشتی از بخش های کشاورزی ، صنعت و شرب به آبخوان بوده است . هم چنین آزمایشات و آنالیزهای انجام گرفته در مورد اندازه گیری سطح تراز آب نشان می دهد که ترازآب از دهه ۱۹۶۰ تا حال حاضر بیش از ۶۵ متر پایین رفته است و به عبارت دیگر متوسط سطح آب زریزمینی در دشت از ۱/۴۷ متر تا بیش از ۳ متر متفاوت بوده است . مقدار فرونشست در دشت که بر اثر برداشت بیش از حّد آب رخ داده است به وسیله GPS و به کمک ایستگاه های منطقه طوس و بلواروکیل آباد به ترتیب ۲۰ و ۱۵ سانتی متر در سال بوده است . مهم ترین پیامدهای ژئومورفیک این فرونشست ها به ویژه در قسمت های شمال غرب و مرکزی دشت ایجاد شکاف های بزرگ طولی ، حفرات و فرو چاله های نسبتاً بزرگ ، پدیده لوله زایی و تخریب زمین به صورت ترک خوردگی بوده است که این مسأله به خاطر بیلان منفی آب در آبخوان دشت در حال گسترش بوده و اخیراً گزارشاتی از فرونشست های مقطعی در سطح شهر مشهد منتشر شده است . بنابراین ضروری است کنترل فرونشست دشت را از طریق تغذیه و حفظ ترازآب زیرزمینی به عنوان یک استراتژی در نظر گرفت . اگر افت تراز آب در آبخوان دشت مشهد به همین روند ادامه داشته باشد ، امکان مخاطرات گسترده ناشی از فرونشست ها مانند آسیب دیدگی جّدی به شبکه های انتقال آب و خطوط گازرسانی و تأسیسات عمرانی هم در اراضی کشاورزی و هم در سطح شهر وجود خواهد داشت .

Archive of SID

www.SID.ir

منابع

۱ ـ امیری ، م ، نظری پویا ، ه ، مظاهری ، ح (۱۳۸۳) ؛ علل و مکانیسم وقوع فروچاله ها در دشت فامنین ـ کبودرآهنگ ، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی ، شماره ۷۳ صص ۱۸۷ـ ۱۷۲ .

۲ ـ بلورچی ، م .ج (۱۳۸۴) ؛ احتمال فرونشست در اراضی وسیعی از تهران ، پایگاه خبری شریف نیوز .

۳ ـ حسینی میلانی ، م (۱۳۷۳) ؛ اضافه برداشت از منابع آب زیرزمینی و اثرات آن . مجموعه مقالات کنفرانس ملی منابع آب زیرزمینی سیرجان ، صص۹۸ ـ ۹۱ .

۴ ـ رحمانیان ، د (۱۳۶۵) ؛ نشست زمین و ایجاد شکاف بر اثر تخلیه آبهای زیرزمینی در کرمان ، مجله آب .

۵ ـ رنجبر ، م ، جعفری ، ن (۱۳۸۸) ؛ بررسی عوامل موثر در فرونشست زمین دشت اشتهارد ، فصلنامه جغرافیا ، شماره ۱۹ و ۱۸ .

۶ ـ سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح (۱۳۸۸) ؛ نقشه های توپوگرافی با مقیاس ۵۰۰۰۰ : ۱ حوضه .

۷ ـ سازمان زمین شناسی کشور (۱۳۶۶) ؛ نقشه زمین شناسی ۱۰۰۰۰۰ : ۱ مشهد .

۸ ـ شرکت سهامی آب منطقه ای خراسان رضوی (۱۳۸۶) ؛ گزارش اطلاعات پیزومتری اطراف روستای حسن خوردو ، مهندسین مشاور آبنمود طوس .

۹ ـ شرکت سهامی آب منطقه ای خراسان رضوی (۱۳۸۱) ؛ گزارش تعیین وضعیت آب زیرزمینی دشت مشهد ، امور حفاظت و بهره برداری منابع آب .

۱۰ ـ شمشکی ، الف ، انتظام سلطانی ، الف (۱۳۸۴) ؛ سازوکار علل تشکیل شکاف های زمین در منطقه معین آباد ـ ورامین ، چهارمین کنفرانس زمین شناسی مهندسی و محیط زیست ایران .

۱۱ ـ عالمی ، الف (۱۳۸۱) ؛ بررسی علل نشست در دشت یزد ـ اردکان ، مجموعه مقالات سومین همایش بین المللی ژئوتکنیک و مکانیکی خاک ایران ، تهران .

۱۲ ـ عباس نژاد ، الف (۱۳۷۷) ؛ بررسی شرایط و مسائل زمین شناسی محیط زیست دشت رفسنجان ، فشرده مقالات دومین همایش انجمن زمین شناسی ایران ، مشهد .

۱۳ ـ کردوانی ، پ (۱۳۸۷) ؛ ژئوهیدرولوژی در جغرافیا ، انتشارات دانشگاه تهران .

۱۴ ـ گودرزی نژاد ، ش (۱۳۷۷) ؛ ژئومورفولوژی و مدیریت محیط ، جلد اول ، انتشارات سمت .

۱۵ ـ لشکری پور ، غ ، غفوری ، م ، رستمی بارانی ، ح (۱۳۸۷) ؛ بررسی علل تشکیل شکاف ها و فرونشست زمین در غرب دشت کاشمر ، مجله مطالعات زمین شناسی ، شماره ۱ .

۱۶ ـ منصوری دانشور ، م ، بهنیافر ، الف ، قنبرزاده ، ه (۱۳۸۸) ؛ مخاطرات ژئومورفیک دامنه های شمالی بینالود ، پایان نامه کارشناسی ارشد ، دانشگاه آزاد اسلامی مشهد .

۱۷ ـ ولایتی ، س ، بهنیافر ، الف (۱۳۸۶) ؛ غارشناسی ، ترجمه : گلیسون ، دیوید ، انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی مشهد .

۱۸ ـ ولایتی ، س (۱۳۸۷) ؛ جغرافیای آبها ، انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد .

۱۹ ـ هرمن ، بوئر (۱۳۷۸) ؛ هیدرولوژی آبهای زیرزمینی ، ترجمه : لطفی صدیق ، احمد ، انتشارات دانشگاه صنعتی سهند.

20 - Fulton , a (2006) , Subsidance and Watertable . U.K

Archive of SID

www.SID.ir

21 – Hozler, T.H (1989) , State and local response to damaging land subsidence in United States urban areas. Engineering Geology,27.
22- Hu, R.L , Yue ,Z.Q, Wang, L.C, & Wang, S.J (2004 , Review on current status and Challenging issues of and subsidence in China. Engineering Geology,76.
23 - Massonnet, D. Feigl, K. Rossi, M . and Adragna, F (1994) , Radar interferometric mapping of deformation in the year after the landers earthquake , Nature, 369.
24 - Pacheco, J.Arzate, J., Rojas, E., Arroyo, M., Yutsis, V., & Ochoa, G., (2006) , Delimitation of ground failure zones due to land subsidence usind gravity data and finite element modelling in the queretaro valley, Mexico. Engineering Geology,84.
25 - Waltham, A.C (1989) , Ground subsidence . Blackie & Son Limites.

Archive of SID

www.SID.ir