

بررسی نشست زمین و ایجاد شکاف در دشت سبزوار

علی باقریان کلات^{۱*}، غلامرضا لشکری پور^۲، محمد غفوری^۳ و حسین پژمان^۴

۴-۱- کارشناسان پژوهشی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی

۳-۲- اساتید گروه زمین شناسی دانشگاه فردوسی مشهد

Email: Alibagheriankalat@yahoo.com

چکیده

دشت سبزوار با وسعت ۵۵۷۷ کیلومتر مربع در غرب حوضه آبریز کویر مرکزی در استان خراسان واقع شده است. از نظر اقلیمی این دشت دارای اقلیم نیمه خشک تا خشک می باشد. در چند دهه اخیر توسعه سریع کشاورزی و افزایش نیاز آبی باعث استحصال بی رویه و افت سطح آب زیرزمینی در این دشت شده است. برداشت سالانه از آب زیرزمینی این دشت حدود ۴۰۰ میلیون مترمکعب بوده که سالانه با حدود ۳۰ میلیون مترمکعب کسری مخزن مواجه است. متوسط افت سالانه سطح آب زیرزمینی دشت نزدیک به یک متر می باشد. در این راستا پدیده فرونشست سطح زمین ناشی از افت سطح آبهای زیرزمینی در بخشهای غربی دشت به طور محسوس مشاهده می گردد. در جنوب غربی روستای روداب افت شدید سطح آب زیرزمینی و وجود آبرفت ریزدانه سبب ایجاد پدیده فرونشست زمین و ایجاد شکاف و ترکهای طولی در سطح زمین گردیده است. در این مقاله ارتباط افت سطح آب زیرزمینی و وقوع پدیده فرونشست منطقه ای سطح زمین به همراه علل تشکیل شکافها در غرب دشت سبزوار مورد بحث قرار گرفته است.

کلمات کلیدی: نشست سطح زمین، دشت سبزوار، افت سطح آب زیرزمینی

۱- مقدمه

در اغلب مناطق کشور، به علت فقدان رودخانه های دائمی، بخش اعظم نیاز آبی (کشاورزی، صنعت و شرب) از منابع آب زیرزمینی تامین می شود. 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. تراکم سفره بر خصوصیات هیدرودینامیکی سفره تأثیر گذاشته و باعث کاهش نفوذپذیری و افت ضریب ذخیره آن خواهد شد. چنین دشتهایی مستعدترین مناطق برای وقوع پدیده فرونشست منطقه ای سطح زمین می باشند (لشکری پور و همکاران، ۱۳۸۶a). مهمترین علت فرونشست منطقه ای سطح زمین در حوضه های رسوبی مناطق خشک و نیمه خشک، تراکم سفره های آب زیرزمینی در اثر پمپاژ بی رویه از این منابع است (Pacheco et al., 2006). این وضعیت به ویژه در جایی که پمپاژ بی رویه از سفره های آب دار ماسه ای متخلخل که به صورت بین لایه ای با لایه های آب دار رسی نفوذناپذیر قرار دارد بسیار حاد بوده و موجب فرونشست گسترده می شود (Liu et al., 2006). مقدار فرونشست زمین برای هر 1 متر افت سطح آب زیرزمینی معمولاً بین 1 تا 10 سانتی متر متغیر است. دامنه این تغییرات به ضخامت و تراکم پذیری لایه ها، طول زمان بارگذاری، درجه و نوع تنش وارده بستگی دارد (Lofgern, 1969). میزان فرو نشست زمین برای دشت رفسنجان بین 5 تا 15 سانتیمتر به ازای هر متر افت سطح آب توسط سلیمانی و همکاران (2008) گزارش شده است. به طور کلی شکافهای طولی زمین با زمینهای در حال فرونشست مرتبط می باشند (Holzer, 1989). تشکیل شکافهای کششی طولی در نتیجه افزایش خطی فرونشست از حاشیه ارتفاعات به سمت مرکز دشت است. هرگاه نیروی ناشی از وزن

طبقات بالای سطح ایستابی بر مقاومت موادی که بر روی آبخوان هستند غلبه نمایند، باعث ایجاد شکاف در سطح زمین می شود .

در مقیاس جهانی، خطر فرونشست زمین بر اثر افت سطح آب در بین سالهای ۱۹۵۰-۱۹۷۰ که همزمان با صنعتی شدن و رشد شهرنشینی است به اوج خود رسید (Waltam, 1989). گزارشهای متعددی از فرونشست زمین خصوصاً از نقاط خشک و کم باران در سراسر جهان ارائه گردیده است (Larson et al., 2001؛ Carminati & Martinelli, 2002؛ Pacheco et al., 2006؛ Hu et al., 2002). این پدیده در گذشته در بسیاری از نقاط دنیا مانند مکزیکوسیتی، تایلند، ژاپن و امریکا (Poland, 1981) بانکوک (Phien-wej et al., 2006)، شانگهای (Quanlong, 2006) و نقاط دیگری از چین رخ داده است. (Hu et al., 2004) عنوان نموده اند که این پدیده در بیش از 150 شهر جهان گزارش شده است .

در ایران اولین بار نشست زمین در دشت رفسنجان در سال 1346 همراه با پدیده لوله زایی در چاههای کشاورزی گزارش شده است (حسینی میلانی، ۱۳۷۳). در سالهای بعد با نصب GPS و رفتارسنجی سطح زمین، مقدار نشستهای رخ با نصب داده و تناسب آن با میزان برداشت آب مشخص شده است (موسوی و همکاران، 2001). در سالهای اخیر پدیده فرونشست منطقه ای زمین در ارتباط با افت سطح آبهای زیرزمینی در بسیاری از دیگر دشتهای کشور از جمله در دشت سیرجان (عباس نژاد، ۱۳۷۷)، زرنند و کرمان (رحمانیان، ۱۳۶۵)، اردکان یزد (عالمی، ۱۳۸۱)، فامنین - کبودرآهنگ همدان (امیری و همکاران، 1383، خورسندی آقایی و عبدالی، 1385)، معین آباد - ورامین (شمشکی و انتظام سلطانی، 1384)، تهران - شهریار (علیپور و همکاران، 2008)، دشت مہیار در استان اصفهان (Ghafoori et al., 2012) گزارش شده است. در استان خراسان رضوی نیز نشست زمین ناشی از افت سطح آبهای زیرزمینی در دشتهای کاشمر (لشکری پور و همکاران، 1385 و لشکری پور و همکاران، 1387) نیشابور (لشکری پور و همکاران، ۱۳۸۶c)، (Lashkaripour and Ghafoori, 2009) و مشهد (لشکری پور و همکاران، ۱۳۸۴، ۱۳۸۶b، Motagh et al., 2007) مشاهده شده است .

۲- مواد و روش ها

۱-۲- ویژگی های منطقه مورد مطالعه

دشت سبزوار با وسعت ۵۵۷۷ کیلومتر مربع تقریباً در غرب حوضه آبریز کویر مرکزی استان خراسان واقع شده است. شهر سبزوار در داخل این محدوده واقع است. راه دستیابی از طریق جاده اصلی و آسفالت مشهد-سبزوار-شاهرود میسر می باشد. اقلیم منطقه مورد بررسی به روش دومارتن گسترده، از نوع خشک بیابانی سرد می باشد. بارندگی متوسط سالیانه منطقه حدود ۲۰۰ میلیمتر است. حداقل بارندگی در ماه های تیر و مرداد و حداکثر بارش در ماه های بهمن و اسفند نازل می گردد. میانگین دمای سالانه ۱۷/۶ درجه سانتی گراد می باشد. در شکل (۱) موقعیت منطقه در استان خراسان رضوی نشان داده شده است.



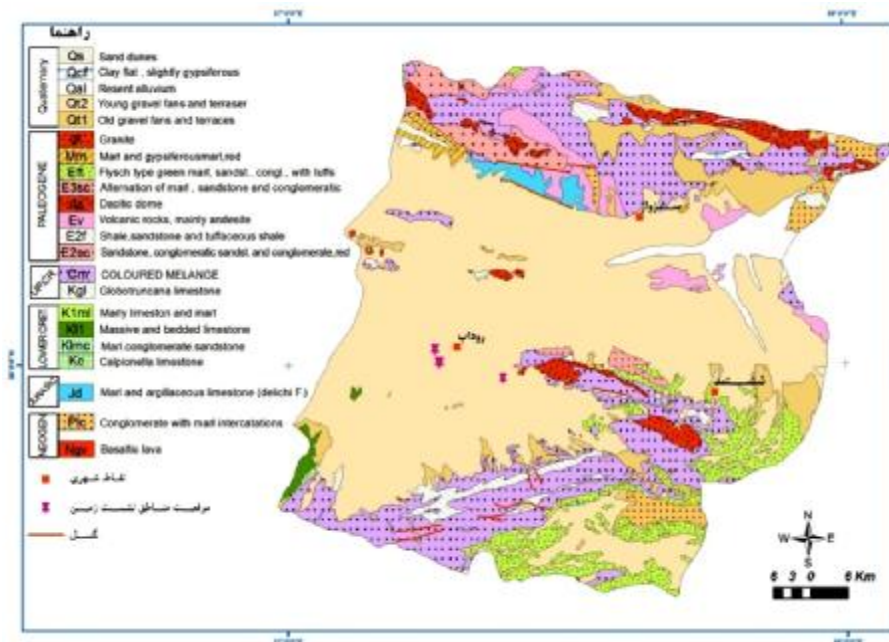
شکل (۱)- موقعیت حوضه آبریز سبزوار در استان خراسان رضوی

۲-۲- روش تحقیق

این بررسی بر اساس مشاهدات، اندازه گیری ها، تجزیه و تحلیل صحرایی استوار است. در ابتدا بعد از تعیین محدوده مورد مطالعه و شناسایی ویژگیهای طبیعی آن، از نقشه زمین شناسی 1:100000، نقشه توپوگرافی 1:50000، گزارش های هیدروژئولوژی و اطلاعات اقلیمی ایستگاه های پیرامون حوضه جهت تهیه اطلاعات پایه استفاده گردید. براساس بازدیدهای میدانی و بررسی نقشه های مذکور عوامل موثر در وقوع این پدیده شناسایی شد.

۲-۳- زمین شناسی منطقه

بر مبنای تقسیمات زمین شناسی ایران (نبوی، ۱۳۵۶) حوضه آبریز سبزوار تقریباً در مرز زون ایران مرکزی با واحد ساختاری بینالود قرار دارد. چینه شناسی حوضه آبریز با رخنمون های گسترده و پراکنده مجموعه افیولیتی فرومد (کرتاسه فوقانی) شروع شده و به آبرفت های عهد حاضر و تپه های ماسه ای ختم می گردد. نهشته های آبرفتی و بادرفتی کواترنر که عمدتاً در بخش مرکزی و شمالی و جنوبی حوضه گسترش دارد در مجموع با وسعت حدود ۳۴۵۳ کیلومتر مربع حدود ۶۲ درصد مساحت آن را پوشش می دهد. پادگانه ها، مخروط افکنه ها و نهشته های آبرفتی جدید (Q^{12}) تشکیل دهنده مخزن اصلی سفره آب زیرزمینی (آبخوان) دشت سبزوار می باشد. در شکل (۲) نقشه زمین شناسی منطقه ارائه شده است.



شکل (۲) - نقشه زمین شناسی منطقه

۲-۴- وضعیت منابع آب زیرزمینی منطقه

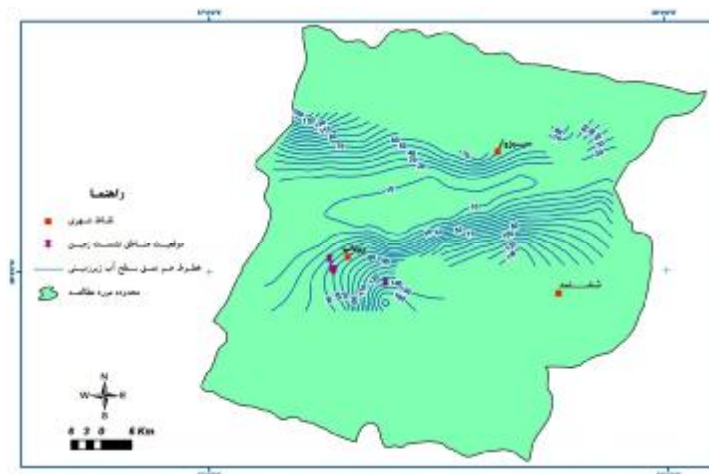
منابع آب زیرزمینی دشت سبزوار عمدتاً شامل آب های نهفته شده در خلل و فرج رسوبات آبرفتی Q^{12} است که آبخوان غنی منطقه را تشکیل داده است. آبخوان این دشت عمدتاً از طریق مخروط افکنه ها و سیلاب مسیل های ورودی از ارتفاعات شمالی و جنوبی حوضه آبریز تغذیه می گردد. استحصال آب زیرزمینی منطقه عمدتاً از طریق چاه های بهره برداری و قنوات صورت می گیرد. تخلیه سازندی حوضه آبریز نیز عمدتاً از طریق چشمه های ظهور یافته از سازند سخت صورت می گیرد. در سال ۱۳۷۰ میزان تخلیه آب زیرزمینی دشت سبزوار برابر با ۳۹۰ میلیون متر مکعب بوده است. بر مبنای آمار برداری سال ۱۳۸۲، میزان تخلیه آب زیرزمینی برابر با ۴۱۹ میلیون متر مکعب می باشد. تعداد چاهها، قنوات و چشمه های منطقه و تخلیه منابع آب زیرزمینی به تفکیک نوع منبع در جدول (۱) ارائه شده است. بر اساس این جدول اگرچه تعداد منابع برداشت آب در سال ۱۳۸۲ افزایش یافته ولی بدلیل افت سطح آب به همان نسبت برداشت آب از این منابع افزایش نیافته است.

جدول (۱): آمار منابع آب زیرزمینی طی آمار برداری سال های ۱۳۷۰ و ۱۳۸۲ (میلیون متر مکعب)

منابع آب سال	چاه		قنات		چشمه		تعداد کل منابع آبی	مجموع تخلیه سالانه
	تعداد	تخلیه	تعداد	تخلیه	تعداد	تخلیه		
۱۳۷۰	۱۰۲۴	۲۲۴/۳	۷۲۹	۱۱۴/۷	۲۰۰	۵۱	۱۹۵۳	۳۹۰
۱۳۸۲	۱۵۱۵	۲۸۸	۸۷۵	۶۲	۳۹۴	۶۹	۲۷۸۴	۴۱۹

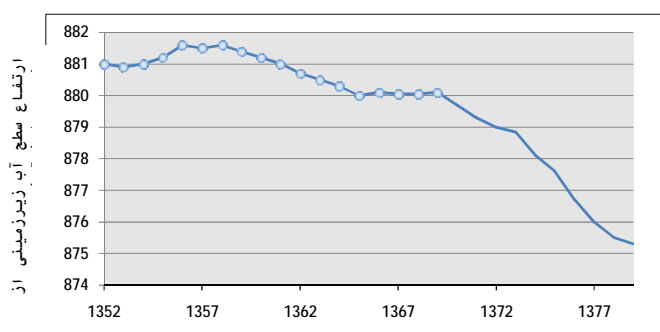
نقشه هم عمق سطح آب زیرزمینی دشت سبزوار با استفاده از اطلاعات عمق سطح آب در ۵۷ حلقه چاه مشاهده ای برای شهریور ۱۳۸۵ با منحنی های با فواصل ۱۰ متری ترسیم گردید (شکل ۴). بررسی نقشه هم عمق و موقعیت نقاط برداشت شده

نشست و شکاف نشان می دهد که محل های مزبور به لحاظ عمق سطح آب در محدوده ۶۰-۴۵ متر قرار دارد. در شهریور ۱۳۸۵، حداکثر عمق سطح آب زیرزمینی دشت سبزوار برابر با ۱۷۶/۷ متر شمال غرب دشت ملاحظه شد. کمترین مقدار عمق سطح آب نیز در چاه مشاهده ای شمال کال برآباد واقع در شمال روستای برآباد برابر با ۲/۳۸ متر گزارش شده است. متوسط عمق سطح آب در این دشت با توجه به مقادیر ۵۷ حلقه چاه مشاهده ای در شهریور ۱۳۸۵، حدود ۴۶/۵ متر محاسبه شده است.



شکل (۴)- نقشه هم عمق سطح آب زیرزمینی منطقه

هیدروگراف واحد دشت سبزوار (شکل ۵) نشان می دهد که از سال ۱۳۵۷ به بعد، سطح آب زیرزمینی دشت سبزوار حالت نزولی داشته است. نقاط مربوط به توسعه شکاف ها عمدتاً در حد فاصل چهار چاه مشاهده ای واقع شده است. بررسی ها نشان داد که میانگین افت سالیانه سطح آب زیرزمینی در این چاهها در حد فاصل سالهای ۱۳۷۵ تا ۱۳۸۵ حدود یک متر می باشد.



شکل (۵): هیدروگراف واحد دشت سبزوار

۲-۵- مورفولوژی شکافها

شکاف ها از نوع کششی طولی و با طول زیاد می باشند. عرض شکافها از چند سانتیمتر تا حداکثر ۱/۵ متر متغیر بوده و دارای عمق حداکثر ۳ متر می باشند. بزرگترین شکاف دارای حدود ۸۰۰ متر طول دارد و باز بازشدگی حداکثر ۱.۵ متر در فاصله ۶ کیلومتری جنوب غربی روستای روداب واقع است. در انتهای این شکاف ها، ترکهای کوچکتر و سوراخهای متعددی با عمق

زیاد وجود دارد که به وسیله آنها می توان جهت پیش روی شکافها را تشخیص داد . سوراخها و ترکهای کوچک با توجه به شرایط و شواهد موجود تمایل به گسترش داشته و در ابعاد و تعداد افزایش می یابند. در شکل های (۶) و (۷) به ترتیب تصاویری از طولیل ترین شکاف نشان داده شده است.



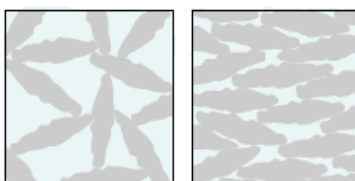
شکل (۶): تصویر ماهواره ای طولیل ترین شکاف منطقه



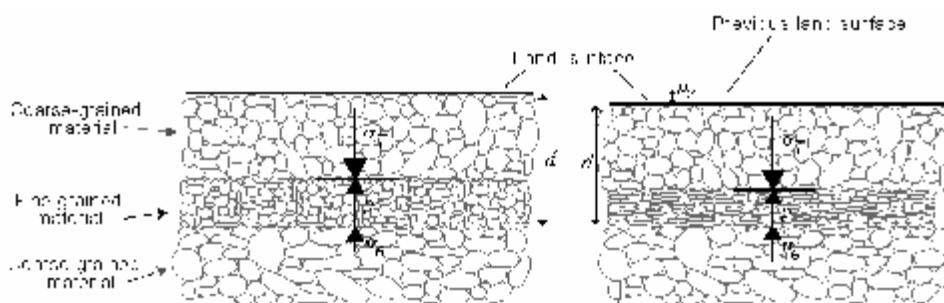
شکل (۷): تصویری از طولیل ترین شکاف منطقه

۲-۶- ساز و کار تشکیل شکاف ها

افت سطح آب زیرزمینی منجر به تشکیل شکافها در قسمتهای جنوب غربی تا غربی دشت سبزوار شده است. در اثر استفاده بی رویه از آب زیرزمینی منطقه و کاهش مداوم سطح آب زیرزمینی در سه دهه اخیر، در بخش هایی از سفره که از رسوبات ریزدانه تشکیل شده، تراکم برگشت ناپذیر (Nonrecoverable compaction) رخ داده است. در اثر آن زه کشی آب از لایه ریزدانه به دلیل افت فشار هیدرولیکی انجام می پذیرد. به دلیل کاهش فشار آب منفذی در لایه ریزدانه، وزن طبقات و لایه های بالایی منجر به تراکم غیرالاستیک خاک در لایه ریزدانه می شود. در چنین وضعیتی، آرایش دانه های خاک در لایه ریزدانه به هم خورده و آرایش جدید باعث کاهش حجم و ضخامت عمودی لایه و در نهایت نشست زمین گردیده است. در شکلهای (۸) و (۹) به ترتیب تغییر شکل غیر قابل برگشت خاک (آرایش خاکدانه ها در قبل و بعد از تراکم خاک) و کاهش حجم لایه ریزدانه و نشست زمین نشان داده شده است. بررسیهای میدانی نشان داد که شکافهای ایجاد شده دشت سبزوار شکاف های کششی ساده می باشد که ابتدا با طول و بازشدگی کمی ظاهر شده و همزمان با نشست بیشتر زمین توسعه می یابند .



شکل (۸): آرایش خاکدانه ها قبل از تراکم (سمت چپ) و بعد از تراکم خاک (سمت راست)



شکل (۹): کاهش حجم لایه ریزدانه و نازک شدن آن در اثر زهکشی آب

۳- نتیجه گیری

این بررسی نشان داد که در دشت سبزوار در سه دهه گذشته در اثر استفاده بی رویه از آب زیرزمینی منطقه، سطح آب زیرزمینی مرتباً کاهش یافته است. در اثر کاهش فشار هیدرواستاتیک که ناشی از کاهش مداوم سطح آب زیرزمینی است زهکشی آب از لایه های ریزدانه آبخوان مرتباً صورت گرفته و تراکم برگشت ناپذیر خاک در لایه ریزدانه را سبب شده است. در چنین وضعیتی، آرایش خاک دانه ها در لایه ریزدانه به هم خورده و آرایش جدید باعث کاهش حجم و ضخامت عمودی لایه و در نهایت نشست زمین گردیده است. بخشی از آثار ناشی از تراکم برگشت ناپذیر خاک و نشست زمین، ترک ها و شکافهای کششی طولی در سطح زمین می باشد که در قسمتهای غربی تا جنوب غربی دشت قابل مشاهده می باشد. جهت کنترل نشست زمین، مدیریت بهینه منابع آب زیرزمینی منطقه ضروری است. مدیریت بهینه و کنترل برداشت آب از طریق تغییر الگوی کشت، اصلاح سیستم های آبیاری سنتی و استفاده از سیستمهای آبیاری مدرن و همچنین تغذیه مصنوعی سفره آب زیرزمینی میسر می باشد.

منابع

- امیری، م.، نظری پویا، ه.، مظاهری، ح.، ۱۳۸۳. علل و مکانیسم وقوع فروچاله ها در دشت فامنین - کبودرآهنگ. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ۱۸۷-۱۷۲: ۷۳.
- ترشیزیان، ح.، برزکار، الف. گ.، ۱۳۸۶. نقش گسل کویر بزرگ (درونه) در وضعیت سفره های آب زیرزمینی دشت کاشمر. مجموعه مقالات اولین کنگره زمین شناسی کاربردی ایران، مشهد، ص ۱۲۳۷-۱۲۳۴.
- حسینی میلانی، م. ۱۳۷۳. اضافه برداشت از منابع آب زیرزمینی و اثرات آن. مجموعه مقالات کنفرانس ملی منابع آب زیرزمینی، سیرجان، ص ۹۸-۹۱.
- حمیدی، ب.، ۱۳۸۰. تحکیم سه بعدی زمین در یکی از طرحهای استان خوزستان، مجموعه مقالات نخستین کنفرانس به سازی زمین، تهران، ص ۸۳-۷۶.

- خوردندی آقایی، الف.، عبدالی، م. م.، 1385. بررسی پدیده فرونشینی زمین دشت همدان با دیدگاه متفاوت، مطالعه موردی: فرونشینی زمین طرح تغذیه مصنوعی جنوب نیروگاه. مجموعه مقالات دهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، دانشگاه تربیت مدرس، ص ۱۴۱-۱۳۵.
- رحمانیان، د. 1365. نشست زمین و ایجاد شکاف بر اثر تخلیه آبهای زیرزمینی در کرمان. مجله آب، ۴۲-۶۳۵.
- شرکت سهامی آب منطقه ای خراسان رضوی، ۱۳۸۵. گزارش مطالعات هیدروژئولوژی دشت سبزوار.
- شمشکی، الف.، انتظام سلطانی، الف.، 1384. سازوکار علل تشکیل شکافهای زمین در منطقه معین آباد ورامین. چهارمین کنفرانس زمین شناسی مهندسی و محیط زیست ایران، تهران، ص ۱۹۱-۱۷۸.
- عالمی، الف.، 1381. بررسی علل نشست در دشت یزد اردکان. مجموعه مقالات سومین همایش بین المللی ژئوتکنیک و مکانیک خاک ایران، تهران، ص ۴۳۴-۴۲۹.
- عباس نژاد، الف.، 1377. بررسی شرایط و مسائل زمین شناسی محیط زیست دشت رفسنجان. فشرده مقالات دومین همایش انجمن زمین شناسی ایران، مشهد، ص ۳۰۳-۳۱۰.
- لشکری پور، غ.، غفوری، م.، سویزی، ز.، پیوندی، ز.، 1384. افت سطح آب زیرزمینی و نشست زمین در دشت مشهد. مجموعه مقالات نهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، اصفهان، ص ۱۳۲-۱۲۴.
- لشکری پور، غ.، رستمی بارانی، ح.، کهندل، الف.، ترشیزی، ح.، 1385. افت سطح آب زیرزمینی و نشست زمین در دشت کاشمر. مجموعه مقالات دهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، تهران، ص ۲۴۳۸-۲۴۲۸.
- لشکری پور، غ.، رستمی بارانی، ح.، صداقت خواهی، (a) 1386. ارزیابی زیست محیطی نشست منطقه ای زمین بر اثر افت سطح آب زیرزمینی در دشتهای بحرانی ایران. مجموعه مقالات اولین کنگره زمین شناسی کاربردی ایران، مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد، جلد اول، ص ۴۳۲۸-۴۳۲۰.
- لشکری پور، غ.، رستمی بارانی، ح.، باقرپور، الف.، طالبیان، س. ل.، 1386. تأثیر افت سطح آب زیرزمینی در نشست زمین: مطالعه موردی. مجموعه مقالات اولین کنگره زمین شناسی کاربردی ایران، مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد، جلد دوم، ص ۹۲۲-۹۱۶.
- لشکری پور، غ.، رستمی بارانی، ح.، کاظمی گلیان، ر.، دم شناس، م.، 1386. نشست زمین در اثر افت سطح آبهای زیرزمینی در دشت نیشابور. پنجمین همایش زمین شناسی مهندسی و محیط زیست ایران، ص ۱۰۹۲-۱۰۸۲.
- نوی، م. ح. (1356)، دیباچه ای بر زمین شناسی ایران. سازمان زمین شناسی کشور.
- هرمن، بوئر، 1978. هیدرولوژی آبهای زیرزمینی (ترجمه لطفی صدیق، احمد). انتشارات دانشگاه صنعتی سهند، 184 ص.
- Alipour, A., Motagh, M., Sharifi, M., & Walter, T.R., 2008. Satellite radar interferometry time series analysis of land subsidence caused by groundwater overexploitation in Tehran, Iran. *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 10, EGU2008-A-10684.
- Carminati, E., & Martinelli, G. 2002. Subsidence rates in the Po Plain, northern Italy: the relative impact of natural and anthropogenic causation. *Engineering Geology*, 66:241-255.
- Ghafoori, M., Salehi Esfandarani, R., Lashkaripour, G.R. & Hedghan, M. 2012. Investigation of land subsidence in Southern Mahyar Plain in Isfahan province, Iran. The 86th Italian Geological Society Congress, Rende, Italy.
- Holzer, T.H., 1989. State and local response to damaging land subsidence in United States urban areas. *Engineering Geology*, 27:449-466.
- Hu, R.L., Wang, S.J., Lee, C.F., & Li, M.L. 2002. Characteristics and trends of land subsidence in Tanggu, Tianjin, China. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 61:213-225.
- 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*, 76:65-77.
- Larson. K.J., Basagaoglu, H., & Marino, M.A. 2001. Prediction of optimal safe ground water yield and land subsidence in the Los Banos-Kettleman City area, California, using a calibrated numerical simulation model. *Journal of Hydrology*, 242:79-102.
- Lashkaripour. G.R. & Ghafoori, M. 2009. Land subsidence due to groundwater level decline in Neyshabur plain, Ne Iran, The 1st Regional Conference on GeoEnvironment and GeoHazard in ASEAN. Kuala Lumpur, Malaysia.
- Liu, C.W., Lin, W.S. & Cheng, L.H. 2006. Estimation of land subsidence caused by loss of smectite inter layer water in shallow aquifer systems. *Hydrogeology Journal*, 14:508-525.
- Lofgern, B.E., 1969. Field measurement of aquifer system compaction, Sanjoaquin Balley, California, U.S.A. Proc, Tokyo Symp. on Land Subsidence, IASH-UNESCO, 272-284.



- Motagh, M., Djamour, Y., Walter, T.R., Wetzel, H.U., Zschau, J., & Arabi, S. 2007. Land subsidence in Mashhad Valley, northeast Iran, results from InSAR, leveling and GPS. *Geophysical Journal International*, 168:518-526.
- Mousavi, S.M, Shamsai, A., El Naggari, M.H., & Khamsehchian, M. 2001. A GPS-based monitoring program of land subsidence due to groundwater withdrawal in Iran. *Can. J. Civ. Eng.* 28:452-464.
- Pacheco, J., Arzate, J., Rojas, E., Arroyo, M., Yutsis, V., & Ochoa, G., 2006. Delimitation of ground failure zones due to land subsidence using gravity data and finite element modeling in the Queretaro valley, Mexico. *Engineering Geology*, 84:143-160.
- Phien-wej, N., Giao, P.H., & Nutalaya, P. 2006. Land subsidence in Bangkok, Thailand. *Engineering Geology*, 82,187-201
- Poland, J.F., 1981. The occurrence and control of land subsidence due to groundwater withdrawal with special reference to the San Joaquin and Santa Clara Valleys, California, Ph.D Dissertation, Stanford University, Palo Alto, California.
- Quanlong, W., 2006. Land subsidence and water management in Shanghai, Master thesis, Delft University, Netherlands.
- Solaimani, K., & Mortazavi, S.M. 2008. Investigation of land subsidence and its consequences of large groundwater withdrawal in Rafsanjan, Iran. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 11:265-269.
- Stiros, S.C. 2001. Subsidence of the Thessaloniki (northern Greece) coastal plain, 1960-1999. *Engineering Geology*, 61:243-256.
- Waltham, A.C. 1989. Ground subsidence. Blackie & Son Limited.
- Zhou, G.Y., & Esaki, T.J., 2003. GIS based spatial and prediction system development for regional land subsidence hazard mitigation. *Environmental Geology*, 44:665-678.