

نشست زمین در اثر افت سطح آبهای زیرزمینی در دشت نیشابور

غلامرضا لشکری پور^۱، محمد غفوری^۲، رمضان کاظمی گلیان^۳، مهدی دم شناس^{۴*}،

۱- استاد گروه زمین شناسی دانشگاه فردوسی مشهد

۲- دانشیار گروه زمین شناسی دانشگاه فردوسی مشهد

۳- مهندسین مشاور سیمای آب خاوران

۴- دانشجوی کارشناسی ارشد زمین شناسی مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد

m.damshenas@yahoo.com

چکیده

دشت نیشابور یکی از مهمترین دشت های استان خراسان رضوی از نظر حاصلخیزی کشاورزی و تراکم جمعیتی است. در سال های اخیر توسعه کشاورزی همراه با افزایش جمعیت سبب برداشت بی رویه از منابع آب زیرزمینی و فشار زیادی بر این منابع شده است. بدلیل افت سطح آب زیرزمینی نشست زمین در قسمتهایی از دشت مشاهده می شود. آثار نشست بصورت شکافها و ترکهایی در سطح زمین مشاهده می گردد. نشست زمین و ترک ها باعث بروز مشکلاتی برای زمین های کشاورزی، جاده ها و دیگر سازه های ساخته شده در نزدیکی این ترکها شده است. برای بررسی دلیل اصلی و دقیق تر این پدیده، افت سطح آب در دشت مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین جهت بررسی نوع خاکهایی که نشست در آن رخ داده، سه حلقه چاه دستی جهت تعیین پروفیل خاک همراه با آزمایشات بر جا حفر گردیده است. علاوه بر این اندازه گیری میزان دقیق نشست زمین از داده های ثبت شده در ایستگاه دائم GPS مستقر در ایستگاه هواشناسی نیشابور نیز استفاده شده است. نتایج این تحقیق نشان داد که نشست در قسمت هایی از دشت رخ داده که افت سطح آبهای زیرزمینی بیشتر و خاک تشکیل دهند آبخوان بیشتر از نوع *CL* و *ML* براساس طبقه بندی متحد بوده اند.

واژگان کلیدی: نشست زمین، شکاف، افت سطح آب زیرزمینی، برداشت بی رویه، ایستگاه دائم GPS

مقدمه

خطر نشست بر اثر افت آب های 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 پمپاژ بی رویه از آبهای زیرزمینی جهت مصارف کشاورزی مشاهده شده است. با توجه به اینکه نشست زمین معمولاً در محدوده بزرگی صورت می پذیرد معمولاً مقابله با آن مشکل می باشد.

این پدیده در نقاط مختلفی از جهان گزارش گردیده است. از نمونه های آن می توان به نشست زمین بدلیل پمپاژ آب در ۳۵ سال گذشته در شهر بانکوک در تایلند اشاره نمود. حداکثر نشست سالانه ۱۲۰ میلیمتر و در اوایل دهه ۱۹۸۰ گزارش گردیده است (Phien-wej et al. 2006). از نمونه های دیگر می توان به نشست دشت ساحلی تسالونیک (شمال یونان) به میزان حدود ۱۰ سانتیمتر در سال، شهر لس بانوس - کتلمن در کالیفرنیا با مقدار نشست ۸/۸ متر تا سال



۱۹۶۹ اشاره نمود (Larson. et al, 2001). شهر ونیز ایتالیا نیز در فاصله سالهای ۱۹۳۰ تا ۱۹۷۳ حدود ۱۵ سانتیمتر فرو نشست داشته است (Gambolati et al, 1974).

در سالهای اخیر نشست همراه با افت سطح آبهای زیرزمینی در خیلی از آبخوان‌های کشور نیز گزارش گردیده است. از جمله می توان نشست دشت سیستان (رهنما راد و فیروزان، ۱۳۸۱)، دشت کاشمر در استان خراسان رضوی (لشکری پور و همکاران، ۱۳۸۵) و دشت مشهد (لشکری پور و همکاران، ۱۳۸۶، حسینی سید علی، ۱۳۸۴) را نام برد. از دشت های مهم دیگر می توان به منطقه مهیار اشاره نمود که در طول ۱۰ سال گذشته یک رشته شکاف به طول ۱۰ کیلومتر و به عرض ۵ تا ۵۰ سانتی متر بوجود آمد که هر سال ۵ سانتی متر بازتر می شود (اجل لوثیان و بهادران، ۱۳۷۷). نمونه دیگر نشست زمین در دشت رفسنجان می باشد که به ازای هر ۱۰ متر افت سطح آب زیرزمینی، سطح زمین حدود ۴۲ سانتی متر نشست می نماید (عباس نژاد، ۱۳۷۷). در منطقه سیرجان به ازای هر ۱۰ متر افت سطح آب، نشست حدود ۲۷ سانتی متر گزارش گردیده است (رحمانیان، ۱۳۶۵). در دشت کبودرآهنگ و فامنین در استان همدان نیز نشست و تشکیل فروچاله ها در اثر افت سطح آبهای زیرزمینی گزارش شده است (فاطمی عقدا و همکاران، ۱۳۸۰، امیری ۱۳۸۴).

در مناطقی که لایه های خاک تناوبی از ماسه و سیلت و رس است در هنگام افت سطح آب زیرزمینی به دلیل زه کش آب لایه رس به وسیله لایه با نفوذ باعث کاهش فشار آب منفذی در لایه رس و تحکیم و فشردهگی این لایه ها و نشست زمین می شود (Leake, 2004). ترک‌های بزرگ معمولاً در مجاورت مناطق کشاورزی ایجاد می شوند. نشست زمین به هر دلیلی می توان تأثیرات منفی زیادی ایجاد نماید که برخی از این تأثیرات به این شرح است:

تأثیر بر روی الگوی جریان‌های زیرزمینی و سطحی (Lofgren, 1979)

کاهش کیفیت آب‌های زیرزمینی و افزایش نمک این آبها (Belitz and Phillips, 1995)

کاهش ظرفیت مخزن آبخوان‌ها (Rudolph and Frind, 1991)

خراب شدن ساختمان چاه و پمپ‌های نواحی مستعد فرونشست (Ortega- Guerrero et al., 1999)

ناتوانی چاه در آبدهی (Holzer, 1989)

خسارت به بزرگراه‌ها و ساختمان‌ها و دیگر تأسیسات (Ireland et al., 1984)

معکوس شدن شیب کانال‌های آبیاری و زهکشی و فرونشست غیر یکنواخت (Bouwer, 1978)

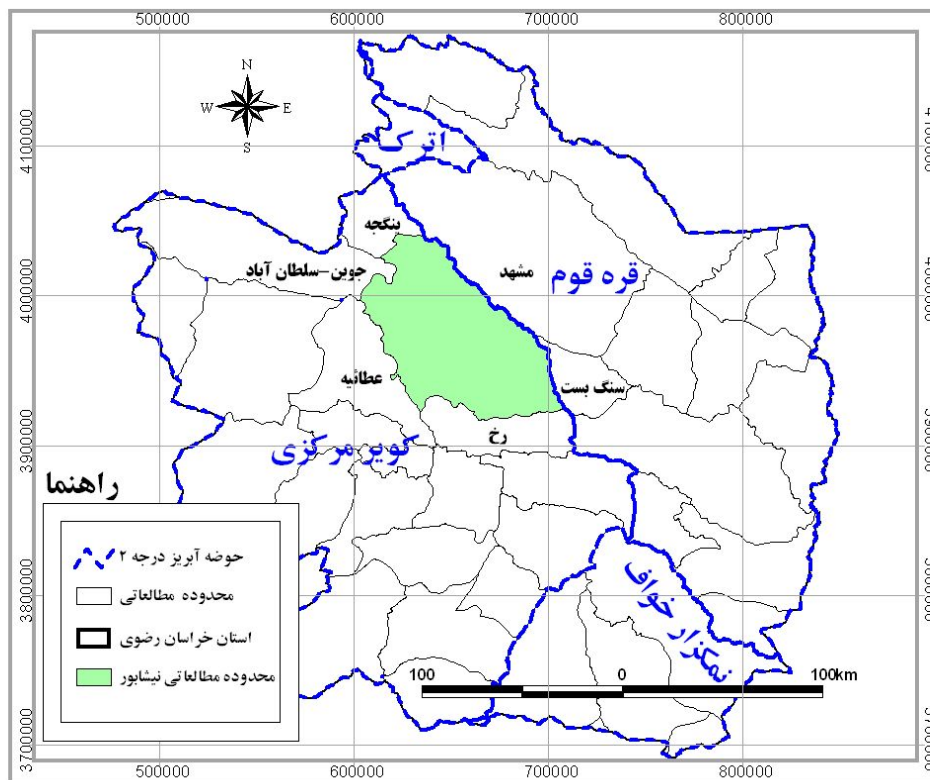
افت بیش از حد سطح آب زیرزمینی در نواحی ساحلی باعث پیشروی آب شور دریا بسمت سفره های ساحلی می گردد (Don et al. 2006).

موقعیت و آب و هوای دشت

دشت نیشابور در طول جغرافیایی ۱۷° ۵۸' تا ۲۰° ۵۹' شرقی و عرض جغرافیایی ۳۵° ۳۹' تا ۳۴° ۳۹' شمالی و در محدوده ۷۲۸۰۰۰-۶۰۸۰۰۰ متر و ۴۰۵۸۰۰۰-۳۹۴۹۵۰۰ متر (بر حسب UTM) واقع شده است.

این دشت از زیرحوضه‌های آبریز کویر مرکزی ایران می باشد.

این حوضه از نظر موقعیت جغرافیایی از شمال به حوضه آبریز دشت مشهد، از شرق به حوضه آبریز سنگ بست، از جنوب به حوضه آبریز رخ، از جنوب غرب به حوضه آبریز عطائیه، از غرب به حوضه آبریز سبزوار و از شمال غرب به حوضه های آبریز جوین-سلطان آباد و ینگجه متصل می باشد. موقعیت حوضه آبریز نیشابور نسبت به حوضه های آبریز مجاور و حوضه های آبریز در استان خراسان رضوی در شکل (۱) ارائه شده است.



شکل ۱) موقعیت حوضه آبریز نیشابور نسبت به حوضه های آبریز مجاور و حوضه های آبریز در استان خراسان رضوی

حداکثر ارتفاع دشت نیشابور در ارتفاعات بینالود در ۳۲۰۰ متری از سطح دریا و پست ترین نقطه در خروجی دشت با ارتفاع ۱۰۵۰ متر از سطح دریا قرار دارد. ارتفاع متوسط دشت از سطح دریا ۱۹۰۰ متر می باشد. وسعت دشت برابر ۴۱۰۰ کیلومتر مربع بوده که معادل ۵۶ درصد از وسعت ۷۳۳۰ کیلومتر مربعی حوضه آبریز را شامل می شود. این حوضه ۵/۷ درصد وسعت استان خراسان رضوی را پوشش می دهد.

آب و هوای منطقه در دامنه ها معتدل ولی در نواحی پست خروجی دشت بر میزان گرما و خشکی هوا افزوده می شود. میزان بارندگی آن بطور متوسط برای کل حوضه ۲۹۲ میلی متر گزارش شده است (شرکت سهامی آب منطقه ای خراسان، ۱۳۸۴). دشت نیشابور در تاریخ ۱۳۶۶/۱۰/۵ به علت افت زیاد سطح آبهای زیرزمینی ممنوع اعلام شده است.

زمین شناسی

رخنمون های مربوط به دوران اول زمین شناسی محدوده مورد مطالعه شامل شیستها و آهکهای تیره رنگ است که در ارتفاعات شمالی حوضه رخنمون دارند. سازندهای دوران دوم شامل آهک، ماسه سنگ و کوارتزیت می باشد. از دوران سوم زمین شناسی رسوبات نئوژن از قبیل کنگلومرا، ماسه سنگ، مارن و سنگهای ولکانیکی ائوسن در ارتفاعات شمالی و جنوبی حوضه قابل مشاهده اند. رسوبات کواترن شامل تراسهای آبرفتی، مخروط افکنه ها، شنهای روان و واریزه ها



بوده که نقاط پست و دامنه ارتفاعات را پوشانده‌اند. 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 باغرو و سالاری حدود ۲۰۰ متر می‌باشد.

هیدرولوژی و هیدروژئولوژی

منابع آبهای سطحی در دشت نیشابور فصلی می‌باشند. تعدادی از این رودخانه‌های فصلی از ارتفاعات شمالی (ارتفاعات بینالود) سرچشمه می‌گیرند و تعدادی دیگر از ارتفاعات جنوبی جریان می‌یابند. مهمترین جریان‌های سطحی ارتفاعات بینالود شامل رودخانه‌های طاغون، بار، خروبرزگ و اندر آب می‌باشد که این جریان‌ها در نهایت به کال شور می‌پیوندند. متوسط دبی سال آبی (۷۴-۷۳) رودخانه‌های طاغون ۰/۳۴، بار ۰/۴۵ و خروبرزگ ۰/۳۴ و اندر آب ۰/۲ متر مکعب در ثانیه گزارش شده است. رودخانه‌هایی که از ارتفاعات جنوب و جنوب شرق حوضه سرچشمه می‌گیرند مانند کال سیاه، بازه‌خور، و حصار به یکدیگر پیوسته و کال شور را بوجود می‌آورند.

بر مبنای آماربرداری سال ۱۳۸۱، میزان تخلیه آب زیرزمینی از طریق ۲۵۸۹ حلقه چاه عمیق و کم عمق، ۹۱۴ رشته قنات و ۹۳۰ دهانه چشمه برابر با ۱۱۷۵/۴ میلیون متر مکعب می‌باشد. تعداد و تخلیه منابع آب زیرزمینی به تفکیک نوع منبع آبی طی دو دوره در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول (۱) آمار منابع آب زیرزمینی طی آماربرداری سال‌های ۱۳۷۸ و ۱۳۸۱ (میلیون متر مکعب)

منابع آب سال	چاه		قنات		چشمه		مجموع تخلیه سالانه
	تعداد	تخلیه	تعداد	تخلیه	تعداد	تخلیه	
۱۳۷۸	۱۸۲۸	۶۷۰/۵	۱۰۳	۱۴/۴	۶۲۰	۱۰۶/۱	۲۵۵۱
۱۳۸۱	۲۵۸۹	۹۹۵	۹۳۰	۶۱/۱	۹۱۴	۱۱۹/۳	۴۴۳۳

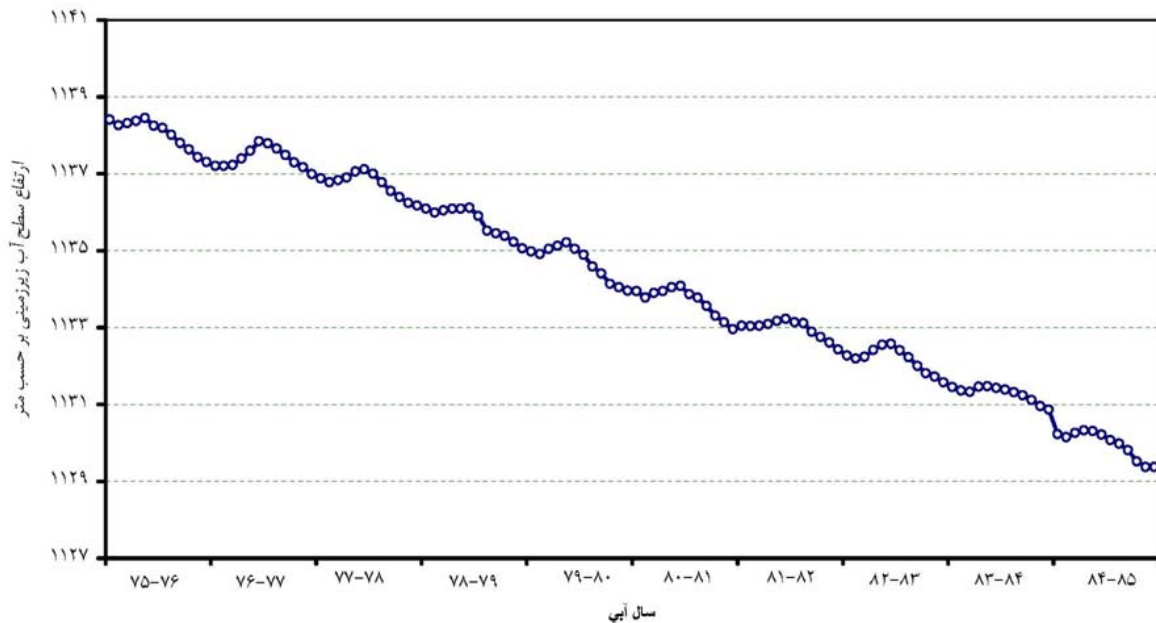
با توجه به جدول فوق طی دو دوره آماربرداری، ضمن افزایش ۷۶۱ حلقه چاه بهره‌برداری عمیق و کم عمق در این دشت، ۳۸۴/۴ میلیون متر مکعب به حجم برداشت آب زیرزمینی اضافه شده است. از مجموع چاه‌های بهره‌برداری، ۱۶۱۱ حلقه عمیق با تخلیه کل ۹۶۲ میلیون متر مکعب می‌باشد. افزایش تعداد و تخلیه قنات در آماربرداری جدید به سبب شناسایی و آماربرداری قنات واقع در کوهپایه‌ها و به خصوص چشمه قنات‌ها می‌باشد. افزایش تعداد چشمه‌ها (با وجود افزایش تخلیه کم) نیز ناشی از آماربرداری چشمه‌هایی با دبی کم و ناچیز می‌باشد.

افزایش تعداد و تخلیه بیش از حد منابع آب زیرزمینی دشت نیشابور از طریق چاه‌های بهره‌برداری بیانگر اعمال استرس و کسری مخزن غیر قابل جبران طی سال‌های اخیر می‌باشد. این در حالی است که به سبب نبود نظارت بر بهره‌برداری و حفر چاه‌های غیر مجاز کم عمق در دشت‌های سیلابی رودخانه‌ها و مسیل‌های ورودی به دشت، حجم زیادی از مولفه‌های تغذیه آبخوان به سطح زمین کشانده و مورد استفاده کشاورزی قرار می‌گیرد که این امر استرس وارده را تشدید نموده است.

منابع آب زیرزمینی دشت نیشابور عمدتاً شامل آب‌های ذخیره شده در خلل و فرج رسوبات آبرفتی Qt2 است که آبخوان آزاد منطقه را تشکیل داده است. آبخوان این دشت عمدتاً از طریق مخروط افکنه‌ها و سیلاب‌های ورودی از ارتفاعات شمالی حوضه آبریز تغذیه می‌گردد. استحصال آب زیرزمینی نیز عمدتاً از طریق چاه‌های

بهره‌برداری صورت می‌گیرد. تخلیه سازندی حوضه آبریز نیز از طریق چشمه های ظهور یافته و از سازند سخت در ارتفاعات شمالی صورت می‌گیرد.

برداشت بیش از حد منابع آب سبب افت زیاد سطح آب زیرزمینی در این دشت و پیامدهایی از قبیل نشست سطح زمین و افت کیفی آب را در پی داشته است. با توجه به شکل (۲)، میزان افت سطح آب زیرزمینی در دوره ۱۰ ساله ۸/۴ متر و در سال آبی ۸۴-۸۵ برابر با ۰/۸۵ متر گزارش شده است. با توجه به ناقص بودن شبکه پیزومتریک و افت سطح آب هر یک از چاههای مشاهده‌ای و کاهش آبدهی چاههای بهره‌برداری، و مشاهدات میدانی، افت سطح آب بیش از این مقدار بوده و به حدود ۱ متر در سال می‌رسد.



شکل ۲) نمودار هیدروگراف واحد دشت نیشابور بین سالهای ۷۵-۸۵

اندازه گیری نشست دشت بر اساس ایستگاه دائم GPS

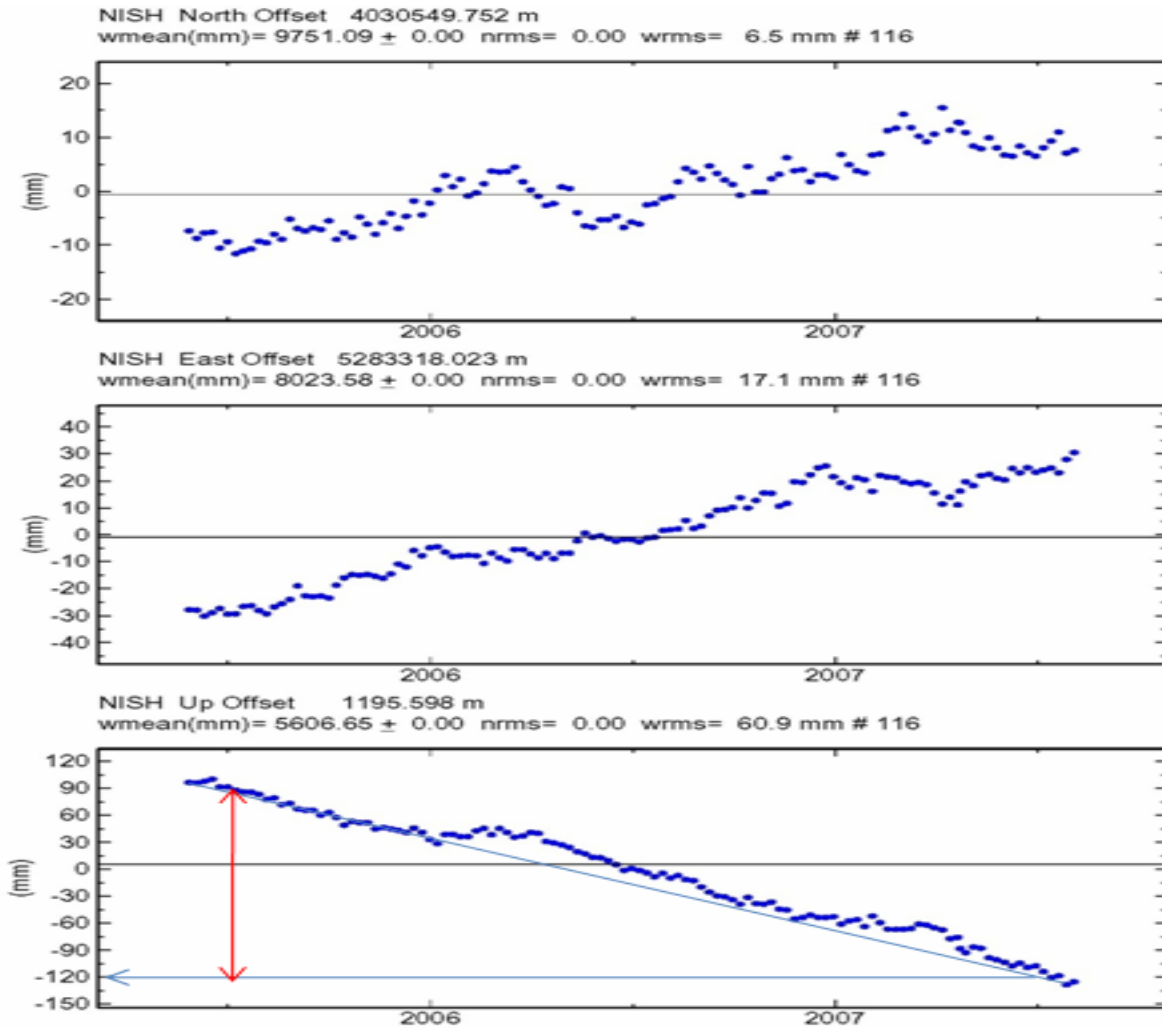
برای اندازه گیری نشست دشت، ایستگاه دائم GPS سازمان نقشه برداری کشور در تاریخ ۸۴/۳/۳ در محدوده مورد مطالعه نصب گردیده است. این ایستگاه در موقعیت ۵۸ درجه و ۴۹ دقیقه و ۱۲ ثانیه طول جغرافیایی و ۳۶ درجه و ۱۲ دقیقه و ۲۵ ثانیه عرض جغرافیایی در محل ایستگاه هواشناسی نیشابور راه‌اندازی شده است. از تاریخ نصب ایستگاه تا کنون در پایان هر روز به وقت گرینویچ اطلاعات ذخیره شده درگیرند با استفاده از خط تلفن به محل مرکز داده ها در شهر مشهد منتقل می‌شود. این داده پس از ساماندهی در مرحله محاسبات به همراه داده های سایر ایستگاه‌ها به صورت یکجا پردازش می‌شود. بر اساس اطلاعات موجود از این ایستگاه، میزان نشست زمین از تاریخ



نصب تا پایان شهریور ۸۶ به میزان ۲۳۰ میلیمتر اندازه گیری شده است. بر این اساس به طور متوسط سالانه ۱۰/۵ سانتیمتر را شامل می گردد شکل (۳).

علت پیدایش درز و شکافها در منطقه مورد مطالعه

در این تحقیق به منظور بررسی علت تشکیل این شکافها و بررسی نوع خاک در نزدیکی دو روستای بازوبند و اردمه در محدوده هایی که نشست اتفاق افتاده، تعداد ۳ حلقه چاه دستی مجموعاً به عمق ۱۰۰ متر حفر شده است. در این چاهها برای تعیین نوع خاک از نظر دانه بندی و همچنین مشخص نمودن خصوصیات مکانیکی آن، نمونه برداری به فواصل ۲ متری و در محل تغییر جنس خاک انجام شده است. آزمایش برجای SPT دستی نیز جهت تعیین مقاومت خاک در اعماق ۲ متری صورت پذیرفته است. بر اساس آزمایشات دانه بندی، خاک آزمایش شده عمدتاً شامل خاک های ریزدانه از نوع CL و ML بر اساس سیستم طبقه بندی متحد با میان لایه نازک از خاک های درشتتر در برخی اعماق تعیین شده است. افت سطح آبهای زیر زمینی سبب کاهش فشسار هیدرواستاتیک و خروج آب از این خاک ها و تحکیم و کاهش حجم آنها و در نهایت نشست زمین شده است.



شکل ۳) داده های ثبت شده در ایستگاه دائم GPS سازمان نقشه برداری کشور در نیشابور (از ۸۴/۳ تا ۸۶/۶).

شکاف اصلی ایجاد شده در دشت دارای امتداد تقریباً شمالی جنوبی بوده و بطول چندین کیلومتر از شمال روستای بازوبند شروع شده و تا روستای اردمه ادامه آن قابل تعقیب می باشد. البته در حد فاصل این دو روستا در محدوده در سطح زمین شکاف مشاهده نمی گردد که عمدتاً بدلیل از بین رفتن آثار آن توسط کشاورزان بدلیل قرار گیری در زمین های کشاورزی بوده است.

محل تشکیل این شکاف احتمالاً از یک گسل قدیمی در پی سنگ تبعیت می کند. شکل (۴) عکس هایی از این شکاف را در نزدیک روستای بازوبند نشان می دهد. حداکثر عمق مشاهده شده این شکاف ها حدود ۴ متر است. پس از بارندگی با عملکرد فرسایش آبی این شکاف ها عریض تر می شوند. در شرق شهر عشق آباد در جنوب شهر نیشابور نیز شکاف هایی مشاهده می گردد. این شکاف در محدوده ای به شعاع حدود یک کیلومتر و در جهات مختلف مشاهده می گردد. علل تشکیل این شکاف ها نیز افت سطح آب زیر زمینی است. البته در دیکته محل این شکاف ها بر خلاف شکاف خطی قبلی گسل نقش ندارد. این نکته لازم به یاد آوری است که در محدوده هایی از دشت که

نشست زمین رخ داده و شکاف ها مشاهده می گردند بر اساس آمار پیزومتر های موجود بیشترین افت سطح آب زیرزمینی گزارش گردیده است.

نتیجه گیری

در این مقاله رابطه بین افت سطح آبهای زیرزمینی و نشست زمین در دشت نیشابور مورد بررسی قرار گرفت. هیدرگراف واحد دشت نشان دهنده افت سطح آبهای زیرزمینی است. مشاهدات میدانی و نتایج حاصل از حفاریها در این تحقیق نشان داد که افت ایجاد شده در آبخوان دشت بیش از هیدرگراف واحد گزارش شده برای این دشت می باشد. در نفاطی از دشت که افت بیشتر وجود داشته نشست زمین نیز گزارش گردیده است. نتایج حاصل از ایستگاه GPS نصب شده در دشت هم نشان دهنده افت ۲۳ سانتیمتر از خرداد ۱۳۸۴ (نصب این ایستگاه) تا پایان شهریور ۱۳۸۶ می باشد.

بر اساس نتایج حفاری در محدوده های که نشست اتفاق افتاده، خاک ها عمدتاً خاک های ریزدانه CL و ML بر اساس سیستم طبقه بندی متحد می باشد. افت سطح آبهای زیر زمینی سبب کاهش فشسار هیدرواستاتیک و خروج آب از این خاک ها و تحکیم و کاهش حجم آنها و در نهایت نشست زمین شده است. محل تشکیل شکاف اصلی که از شمال بسمت جنوب در امتداد یک خط و بطول چندین کیلومتر امتداد داشته احتمالاً از یک گسل قدیمی در پی سنگ تبعیت می کند.





شکل ۴) نمونه هایی از این شکاف ها در نزدیک روستای بازوبند

منابع

- اجل لوئیان، رسول و بهادران، بهزاد (۱۳۷۷)، ارتباط نوسانات آب های زیر زمینی با زمین لغزش، نشست و ترک های سطحی زمین (بررسی موارد عینی)، فشرده مقالات دومین همایش انجمن زمین شناسی ایران، صفحات ۳۵-۲۷.
- امیری، منوچهر (۱۳۸۴)، ارتباط بین فروچاله های دشت فامنین، کبودرآهنگ، قهاوندبا سنگ کف منطقه، مجله علوم زمین، انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور شماره ۸۵، صفحات ۱۴۸-۱۳۴.
- 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.
- رحمانیان، داوود (۱۳۶۵)، نشست زمین و ایجاد شکاف بر اثر تخلیه آبهای زیرزمینی در کرمان، مجله آب، شماره ۳۶، ۲۹-۳۰-۳.
- رهنما راد، جعفر و فیروزان، مهرداد (۱۳۸۱)، بررسی تاثیرات پدیده متناوب خشکسالی و فرسایش بر ساختمانها در پهن دشت سیستان، نشریه ژئوتکنیک و مقاومت مصالح، شماره ۸۸، صفحات ۳۹-۳۰.
- شرکت سهامی آب منطقه ای خراسان، (۱۳۸۴)، تحلیل بحران آب در دشت نیشابور با رویکرد برنامه ریزی محیطی، کمیته تحقیقات شرکت پژوهشگران، منوچهر فرج زاده، سعیدالله ولایتی، آمنه حسینی.
- عباس نژاد، احمد (۱۳۷۷)، بررسی شرایط و مسائل زمین شناسی محیط زیست دشت رفسنجان، فشرده مقالات دومین همایش انجمن زمین شناسی ایران، صفحات ۳۱۰-۳۰۳.
- فاطمی عقدا، سید محمود، نعی، محمد، بیت الهی، علی و علیاری، علیرضا (۱۳۸۰)، بررسی مکانیزم تشکیل فرو چالهای دشت مرکزی همدان، مجموعه مقالات دومین کنفرانس زمین شناسی مهندسی و محیط زیست ایران، جلد دوم، صفحات ۷۰۱-۶۹۳.
- لشکری پور، غلامرضا، غفوری، محمد، باقرپور، احمد و طالبیان، سیده لیلا (۱۳۸۶)، تاثیرات 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.
- لشکری پور، غلامرضا، رستمی بارانی، حمیدرضا، کهندل، اصغر، ترشیزی، حسین (۱۳۸۵) افت سطح آب زیرزمینی و نشست زمین در دشت کاشمر، مجموعه مقالات دهمین همایش علوم زمین، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، صفحات ۲۴۲۸-۲۴۳۸.
- لشکری پور، غلامرضا، غفوری، محمد، سوزی، زینب، پیوندی، زکيه (۱۳۸۴). افت سطح آب زیرزمینی و نشست زمین در دشت مشهد، مجموعه مقالات نهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، صفحات ۱۳۲-۱۲۴.



- Belitz, K., Phillips, S.P., (1995). Alternatives to agricultural drains in California's San Joaquin Valley: Results of a regional-scale hydrogeologic approach, US Geological Survey Open-File Report 91-535, 71pp.
- Bouwer, H., 1978, Groundwater hydrology, McGraw Hill, 572p
- Gambolati, G., Gatto, P. and Freeze, R. A. (1974). Mathematical simulation of the subsidence of Venice, 2. Results, Water Resour. Res., 10, 563-577.
- Don, N. C., Hang, N. T. N., AraKi, H., Yamanishi, H., Koga, K. (2006). Groundwater resource and management for Paddy field irrigation and Associated environmental problems in an alluvial costal lowland plain, Agricultural Water Management, 84, 295-304.
- Holzer, T.H., (1989). State and local response to damaging land subsidence in United States urban areas. Engineering Geology 27, 449-466.
- Hou, C. S., Hu, J. C., Shen, L. C., Wang, J. S., Chen, C. L., Lai, T. C., Huang, C., Yang, Y. R., Chen, R. F., Chen, Y. G., Angelier, J. (2005). Estimation of subsidence using GPS measurements and related hazard: the Pingtung Plain, southwestern Taiwan. C. R. Geoscience 337, 1184-1193
- Ireland, R.L., Poland, J.F., and Riley, F.S., (1984). Land subsidence in the San Joaquin Valley, California, as of 1983, US Geological Survey, Professional Paper, 437-I, 93 pp.
- 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, Vol. 242, pp. 79-102.
- Leake, S. A., 2004, URL: <http://geochange.er.usgs.gov/sw/changes/anthropogenic/subside>
- Lofgren, B.E., (1979), Changes in aquifer-system properties with groundwater depletion, Proceeding of International Conference on Evaluation and Prediction of Land Subsidence, Pensacola, December 1978, American Society of Civil Engineers, pp.26-46.
- Ortega-Guerrero, A., Rudolph, D.L., Cherry, J.A., (1999), Analysis of long-term land subsidence near Mexico City: Field investigation and predictive modeling, Water Resources Research, 35 (11), PP. 3327-3341.
- Rudolph, D.L., Frind, E.O., (1991), Hydraulic response of highly compressible aquitards during consolidation, Water Resources Research 27 (1), pp. 17-30.
- Phien-wej, N., Giao, P. H., Nutalaya, P. (2006). Land subsidence in Bangkok, Thailand, Engineering Geology, 82, 187-201