



بررسی مکانی و زمانی، علل و راه‌حل‌های مدیریت پدیده بالا آمدن سطح آب زیرزمینی در شهر مشهد

امیر گرد نوشهری^۱، احمد قندهاری^۲، رضا براتی^۳

۱- کارشناس دفتر مطالعات پایه منابع آب، شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی

۲- مدیر دفتر مطالعات پایه منابع آب، شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی

:

agnoshahri@ut.ac.ir

خلاصه

توسعه شهرنشینی و افزایش تراکم جمعیتی شهرها در مناطق خشک با ایجاد زمینه برای تغذیه آبخوان اغلب باعث افزایش سطح آب زیرزمینی نسبت به قبل از توسعه شهر می‌شود. طی سال‌های اخیر با گسترش شهر مشهد و افزایش نیاز آبی این کلان شهر، حجم زیادی آب از محدوده‌های اطراف و حوضه‌های آبریز مجاور به این شهر انتقال داده شده است. با ورود این آب، بخش زیادی از چاه‌های شرب واقع در محدوده شهر نیز از مدار بهره‌برداری خارج شده‌اند. لذا با تغذیه حجم زیادی آب در وسعت محدودی از آبخوان (سطح شهر مشهد)، افزایش تراز سطح آب زیرزمینی را در پی داشته که باعث ایجاد مشکلاتی در پروژه‌های عمرانی نیز شده است. در این مطالعه به منظور بررسی تغییرات مکانی و زمانی سطح آب زیرزمینی، آمار ماهانه ۶۸ پیزومتر در محدوده مطالعاتی مشهد-چناران از سال ۱۳۶۳ تا ۱۳۹۴ و همچنین ۹۴ حلقه چاه مشاهده‌ای در سطح شهر مشهد طی یازده نوبت از آذر ماه ۱۳۹۲ تا آذر ماه ۱۳۹۴ جمع‌آوری و سازماندهی شده، سپس نقشه‌های خطوط هم‌سطح آب زیرزمینی تهیه شده است. نتایج حاکی از افزایش موضعی سطح آب زیرزمینی در محدوده شهر مشهد می‌باشد. علت اصلی این پدیده انتقال آب بین حوضه‌ای به شهر مشهد و کاهش برداشت از چاه‌های سطح شهر شناخته شد.

کلمات کلیدی: شهر مشهد، انتقال آب بین حوضه‌ای، بالا آمدگی سطح آب زیرزمینی، اقدامات مدیریتی

۱. مقدمه

بشر عامل اصلی تاثیرگذار بر سطح زمین است (Sherlock، ۱۹۲۲؛ Underwood، ۲۰۰۱) و شهرسازی بعد از کشاورزی، فرآیند اصلی تاثیرگذار بر زمین می‌باشد. بیش از ۵۰ درصد جمعیت زمین در شهرها زندگی می‌کنند و تخمین زده می‌شود که تا سال ۲۰۲۵ این مقدار به ۶۷ درصد افزایش یابد (Ramsey، ۲۰۰۳). شهرها سطح وسیعی از قاره‌ها را پوشش می‌دهند. تبدیل زمین‌های طبیعی، کشاورزی و سایر مراکز کم جمعیت به شهرها یا مناطق شهری موجب تغییر هیدرولوژی آن ناحیه می‌شود (Sharp، ۲۰۱۰). به طور کلی شهرسازی با نفوذ ناپذیر کردن سطح زمین باعث کاهش تغذیه آب زیرزمینی از طریق باران می‌شود. اما باعث ایجاد منابع جدید تغذیه نظیر نشت از شبکه توزیع آب شرب و شبکه جمع‌آوری فاضلاب، نشت از شبکه جمع‌آوری رواناب سطحی و آب برگشتی از آبیاری فضای سبز می‌شود (Foster و همکاران، ۱۹۹۸). بنابراین در حال حاضر صحت این مطلب که در کل تغذیه آب زیرزمینی می‌تواند با شهرسازی افزایش یابد، تایید شده است. نرخ افزایش تغذیه شهری در اقلیم‌های خشک و شهرهای واقع در کشورهای در حال توسعه بیشتر است (Takizawa، ۲۰۰۸).

^۱ کارشناس منابع آب گروه تلفیق و بیلان دفتر مطالعات پایه منابع آب، شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی

^۲ مدیر دفتر مطالعات پایه منابع آب، شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی

^۳ کارشناس آب زیرزمینی گروه آب زیرزمینی دفتر مطالعات پایه منابع آب، شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی

در نواحی خشک، Foster و همکاران (۱۹۹۸) تغییرات تراز آب زیرزمینی را به صورت زیر توصیف می کنند: در مراحل اولیه توسعه شهری، تراز آب زیرزمینی در اثر برداشت آب زیرزمینی برای مصارف خانگی و صنعتی دچار افت می شود. اما در مرحله بعدی توسعه شهری، تراز آب زیرزمینی آبخوان آزاد به علت ورود آب به شهر از حوضه های مجاور، دچار بالا آمدگی می شود. در این مرحله نشت از شبکه توزیع آب و همچنین نفوذ فاضلاب باعث بالا آمدن تراز آب زیرزمینی در محدوده شهری می شود (Takizawa, ۲۰۰۸).

Whitesides و همکاران (۱۹۸۳) گزارشی کلی از مشکلات ناشی از بالا آمدگی آب زیرزمینی در شهر Louisville واقع در ایالت کنتاکی در ایالات متحده آمریکا را ارائه می دهند. این محققان به بروز این پدیده در شهرهایی نظیر San Bernardino در ایالت کالیفرنیا، Greely و Fort Collins در ایالت کلرادو، نواحی Brooklyn و Queens در نیویورک نیز اشاره می کنند. در این پژوهش دلایل افزایش تراز آب زیرزمینی در آبخوان آبرفتی زیر شهر Louisville در سال ۱۹۷۰ به وقوع ترسالی و کاهش برداشت آب زیرزمینی نسبت داده شده است. George (۱۹۹۲) تجارب خود را که در طی انجام چندین پروژه و مطالعه بالا آمدگی آب زیرزمینی در خاورمیانه به دست آمده، ارائه می دهد. هدف وی بیان علل و مشکلات مربوط به بالا آمدگی آب زیرزمینی و ارائه ملاحظات و پیشنهادات مناسب برای رویارویی با این پدیده است. در این مطالعه مشکلات بالا آمدگی آب زیرزمینی در کویت (شهر کویت)، قطر (دوحه)، مصر (قاهره) و عربستان سعودی (ریاض، جدّه، جیزان، تبوک و مدینه) گزارش شده است.

Rushton و Al-Othman (۱۹۹۴) مشکلات بالا آمدن آب زیرزمینی ریاض در عربستان سعودی را گزارش کردند. تغذیه مازاد در ریاض موجب آبرگرفتنی زیر گذرها و در نتیجه مرگ بسیاری از گیاهان زینتی شده است. Al-Sefry و Sen (۲۰۰۶) به مطالعه مشکلات و ارزیابی ریسک بالا آمدگی آب زیرزمینی شهر جدّه در عربستان پرداختند. در ای مطالعه بر اساس ثبت تراز آب ۱۸ حلقه چاه بین سالهای ۱۹۹۶ تا ۲۰۰۰ نشان می دهد که به طور متوسط تراز آب زیرزمینی در داخل شهر ۰/۴۱ متر (به طور متوسط ۰/۱۰ متر در سال) افزایش یافته است.

Sharp (۲۰۱۰) اثرات شهرسازی بر سیستمهای آب زیرزمینی و تغذیه را تشریح کرده و توصیه می کند که باید در طراحی شهری اثرات شهرسازی بر سیستم های آب زیرزمینی از منظر ژئوتکنیکی، زیست محیطی و منابع آبی مد نظر قرار گیرد.

Selim و همکاران (۲۰۱۴) بالا آمدگی تراز آب زیرزمینی آبخوان کواترنری شهر اسوان در مصر را بررسی می کنند. بررسی تغییرات تراز آب زیرزمینی این شهر از سال ۱۹۷۱ تا ۲۰۱۴ حاکی از افزایش بین ۱۲/۵۵ تا ۱۳/۶۹ متری است و از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۴ یک افزایش ناگهانی در تراز آب زیرزمینی مشاهده است. نتایج نشان داده اند بالا آمدگی آب زیرزمینی که در ۲۰۱۰ اتفاق افتاده است مستقیماً به توقف پمپاژ آب زیرزمینی از چاه های El-Shallal و کاهش پمپاژ از چاه های کارخانه KIMA مربوط داد.

در دشت مشهد انتقال حدود ۶۳۰ میلیون متر مکعب آب از سد دوستی به شهر مشهد از مهر ماه ۱۳۸۸ تا مهر ماه ۱۳۹۴ و به طور همزمان عدم برداشت آب از چاه های سطح شهر منجر به افزایش سطح آب زیرزمینی خصوصاً در مناطق با تمرکز بالای جمعیتی و فاقد سیستم کامل جمع آوری فاضلاب شده است. تجربه رخداد بالا آمدگی زیرزمینی در کشور برای اولین بار در دهه ۵۰ و ورود آب به منازل جنوب شهر تهران مشاهده گردید که برای کنترل آن شهرداری نسبت به حفاری چاه بهره برداری اقدام و آب استحصال شده به مصارف مختلف تخصیص داده شد و این حفاری ها در دهه ۸۰ نیز ادامه پیدا کرد. در حال حاضر با پایین رفتن سطح آب زیرزمینی به علت توسعه شبکه جمع آوری فاضلاب نگرانی در خصوص نشست زمین در بعضی مناطق به وجود آمده است. این پدیده در دیگر مناطق کشور از جمله کرمان و بجنورد نیز ثبت شده است. محمدی و همکاران (۱۳۹۱) به بررسی تغییرات مکانی و زمانی سطح آب زیرزمینی دشت کرمان با استفاده از داده های دوره آماری ۱۰ ساله (۱۳۷۵-۱۳۸۵) پرداختند. نتایج بدست آمده از پهنه بندی زمانی و مکانی، حکایت از افت سطح آب زیرزمینی (حداکثر به میزان ۳۲ متر) در بیشتر نقاط دشت دارد. با این حال بررسی نتایج نشان دهنده بالا آمدگی آب در محدوده شهر کرمان، حداکثر معادل ۷ متر بوده است. مطالعات مژگانی فر و رهنما (۱۳۸۸) بیانگر آن است که پایین رفتن آب زیرزمینی در چاله اختیارآباد و افت سطح آب زیرزمینی در این منطقه با بالا آمدن سطح آب زیرزمینی در بافت قدیم شهر کرمان مرتبط می باشد. همچنین پیش بینی شد که غارهای زیرزمینی ایجاد شده در مسیر جریان آب ریزش کرده و مسیر طبیعی حرکت آب را مسدود نموده و لذا به این دلیل و عدم امکان خروج جریان آب زیرزمینی، سطح آب زیرزمینی در قسمت هایی از این شهر بالا آمده است.

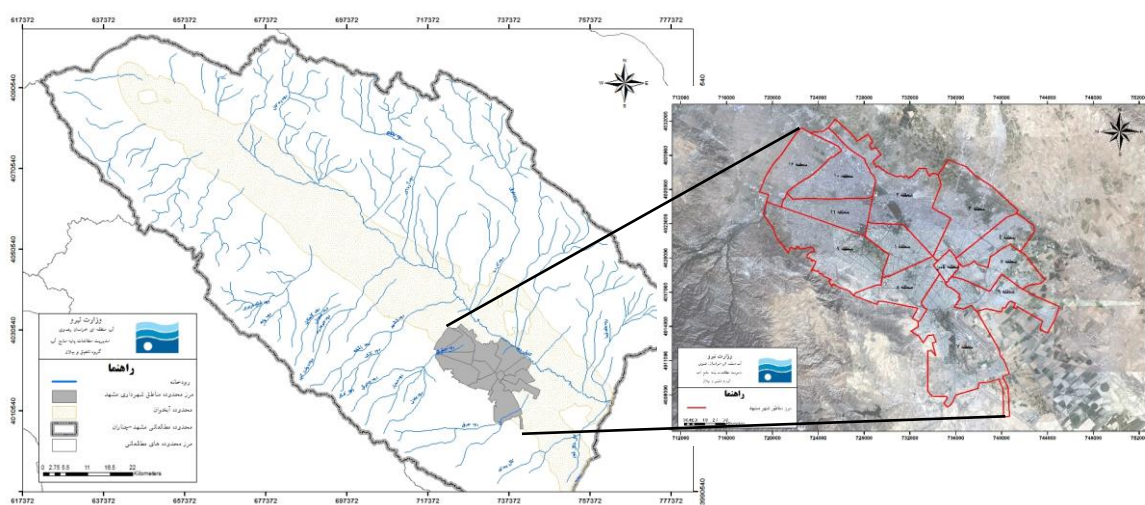
در این مطالعه به منظور بررسی تغییرات مکانی و زمانی سطح آب زیرزمینی حوضه شهری مشهد، آمار ۶۸ چاه پیزومتر و همچنین آمار ۹۴ چاه مشاهده ای در طی یازده نوبت جمع آوری و سازماندهی شده است. پس از ورود داده ها به سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) با استفاده از روش درون یابی کربجینگ نقشه های خطوط هم سطح و پهنه بندی افزایش سطح آب زیرزمینی تهیه شد. در نهایت تاثیر اقدامات مدیریتی اعمال شده (افزایش

برداشت از چاه‌های بهره‌برداری سطح شهر و کاهش آب ورودی سد دوستی) در طی مدت مطالعات بر وضعیت سطح آب زیرزمینی تحلیل و ارزیابی می‌شود.

۲. مواد و روش‌ها

۱.۲ منطقه مورد مطالعه

کلان شهر مشهد، در شمال شرق ایران در طول شرقی ۵۹ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۵۹ درجه و ۴۰ دقیقه و عرض شمالی ۳۶ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۲۰ دقیقه قرار دارد. این شهر با وسعت حدود ۳۵۲ کیلومتر مربع بین دو رشته کوه هزار مسجد و بینالود و در انتهای محدوده مطالعاتی مشهد-چناران قرار گرفته است. وسعت محدوده مطالعاتی مشهد-چناران ۹۹۵۷ کیلومتر مربع و وسعت آبخوان آن ۲۵۲۷ کیلومتر مربع می‌باشد. زهکش اصلی این محدوده، رودخانه کشف رود است که در قسمت شمالی شهر مشهد واقع شده است (شکل ۱).



شکل ۱ - موقعیت شهر مشهد در محدوده مطالعاتی مشهد-چناران و محدوده مناطق ۱۳ گانه شهر مشهد

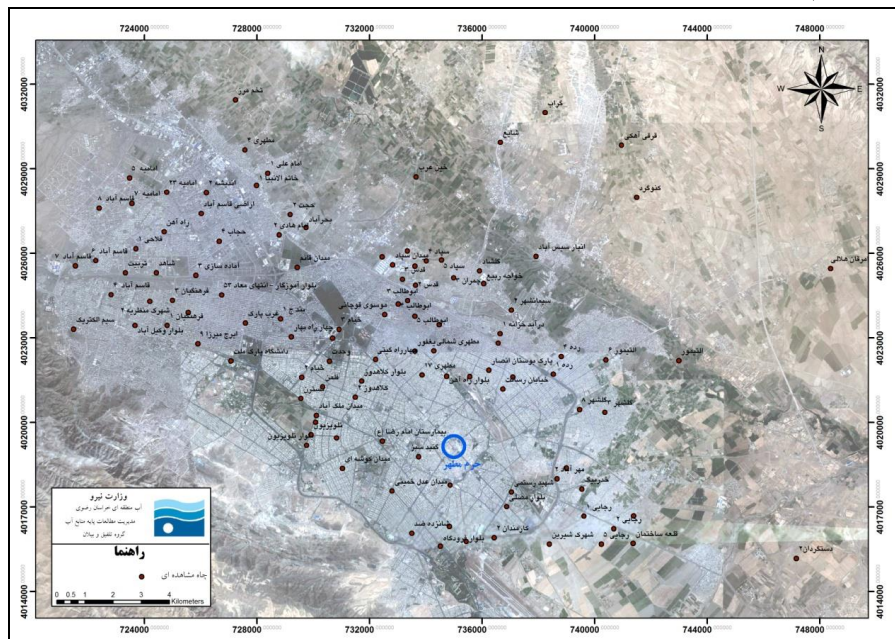
بررسی نقشه‌های توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰ نشان می‌دهند که مرتفع‌ترین بخش شهر مشهد با ۱۳۴۰ متر در جنوب غربی آن (منطقه ۹) و پست‌ترین قسمت با کد ارتفاعی ۹۲۰ متر در شمال شرقی شهر (منطقه ۴) واقع شده است و ارتفاع متوسط شهر از سطح آزاد دریا در حدود ۹۸۰ متر است (شکل ۱). بر اساس اطلاعات سرشماری‌های نفوس و مسکن سال ۱۳۹۰، جمعیت شهر مقدس مشهد ۲,۷۶۶,۲۵۸ نفر بوده است و پس از تهران دومین شهر پر جمعیت کشور به شمار می‌رود. نتایج تحلیل تراکم جمعیت بر اساس تابع کرنل در سه دوره سرشماری ۱۳۶۵، ۱۳۷۵ و ۱۳۸۵ نشان دادند که به طور کلی هسته‌های تراکم جمعیت در مناطق ۳ تا ۶ پراکنده شده‌اند و در سال‌های اخیر پهنه‌های پراکنده‌تری در مناطق ۲، ۱۱ و ۱۰ ظاهر شده‌اند. از جمله ویژگی‌های خاص شهر مشهد در مقایسه با سایر شهرهای کشور، حضور حدود ۲۰ میلیون زائر به صورت سالانه در مقاطع زمانی کوتاه در مناسبت‌های ملی و مذهبی علاوه بر داشتن جمعیت ثابت فوق می‌باشد. این امر در کنار مشکلات دیگری چون وضعیت اقلیمی و کاهش نزولات جوی که به موجب آن کمبود منابع و محدودیت‌های تامین آب را فراهم می‌سازد، موجب شده که توجه ویژه‌ای به مسائل و مشکلات مرتبط با مدیریت منابع آب در آن معطوف گردد.

بر اساس آمار سال ۱۳۸۵ میزان مصرف آب شرب در شهر مشهد در حدود ۱۹۲ میلیون متر مکعب در سال بوده که از این مقدار در حدود ۱۴۲ میلیون متر مکعب توسط چاه‌ها، ۴۴ میلیون متر مکعب توسط آب‌های سطحی و در حدود ۷ میلیون متر مکعب توسط چشمه‌ها و قنوات تامین شده است. همچنین آمار حاکی از صرف حدود ۲۵ میلیون متر مکعب آب در سال برای مصارف فضای سبز است که ۸۴ درصد از چاه‌ها و ۱۶ درصد آن از آب شهری تامین می‌شود. آخرین آمار معاونت بهره‌برداری آب و فاضلاب مشهد نشان می‌دهند که طی سال‌های ۱۳۹۰، ۱۳۹۱ و ۱۳۹۲ به ترتیب در حدود ۲۰۷، ۱۹۸ و ۲۱۸ میلیون متر مکعب آب در داخل شهر مصرف شده است این در حالی است که به ترتیب ۱۱۸، ۱۲۸/۴ و ۱۲۸/۸ میلیون متر مکعب از این آب از طریق سد دوستی تامین شده است.

۲.۲ جمع آوری داده‌ها و روش تجزیه تحلیل

به منظور بررسی وضعیت تغییرات زمانی و مکانی سطح آب زیرزمینی آبخوان محدوده مطالعاتی مشهد-چناران از آمار ۶۸ پیزومتر موجود استفاده شد. داده‌های مورد استفاده مربوط به بازه زمانی سال آبی ۶۴-۱۳۶۳ تا ۹۴-۱۳۹۳ می‌باشد و به صورت ماهانه اندازه‌گیری شده‌اند. ۱۳ عدد از این پیزومترها در داخل محدوده شهری واقع شده‌اند. لذا به منظور پایش دقیق‌تر سطح آب زیرزمینی در داخل شهر مشهد، از چاه‌های بهره‌برداری متعلق به شرکت آب و فاضلاب مشهد استفاده گردید.

در سطح محدوده شهر مشهد در حدود ۳۵۰ حلقه چاه وجود دارد که توسط شرکت آب و فاضلاب مشهد مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد. با توجه به پراکندگی چاه‌ها در سطح شهر و همچنین با توجه به این نکته که برای اندازه‌گیری سطح استاتیک آب زیرزمینی باید چاه‌ها حداقل ۲۴ ساعت قبل از اندازه‌گیری سطح آب خاموش باشند، تعداد ۹۴ چاه بهره‌برداری متعلق به شرکت آب و فاضلاب مشهد که تقریباً با پراکنش مناسبی سطح شهر را پوشش می‌دهند و بیشتر اوقات مورد بهره‌برداری قرار نمی‌گیرند، انتخاب شدند (شکل ۲). اندازه‌گیری‌ها در طی یازده نوبت از آذر ماه ۹۲ تا آبان ماه ۹۴ با استفاده از عمق‌یاب الکترونیکی با دقت میلی‌متر انجام گرفته‌اند. با توجه به وسعت زیاد محدوده و تعداد زیاد چاه‌های مشاهده‌ای انتخابی، سعی در اتمام اندازه‌گیری‌ها در بازه‌ی زمانی حداکثر ۵ روزه از شروع اندازه‌گیری شد تا نتایج قابل مقایسه و معرف وضعیت آب زیرزمینی در یک زمان مشخص باشند. در اولین اندازه‌گیری، مختصات تمامی چاه‌های مشاهده‌ای با استفاده از GPS ثبت شدند. سپس با استفاده از نقشه‌های ۱:۲۰۰۰ شهر مشهد که دارای رقوم ارتفاعی هستند و از دقت قابل قبولی برخوردار می‌باشند، تراز هر چاه مشخص گردید و با استفاده از این مقدار و عمق برخورد به سطح آب در هر چاه، مقدار تراز سطح آب زیرزمینی مشخص شد. در نهایت نقشه‌های هم عمق و هم تراز آب زیرزمینی برای هر اندازه‌گیری در محیط GIS توسط روش کریجینگ ترسیم گردید.



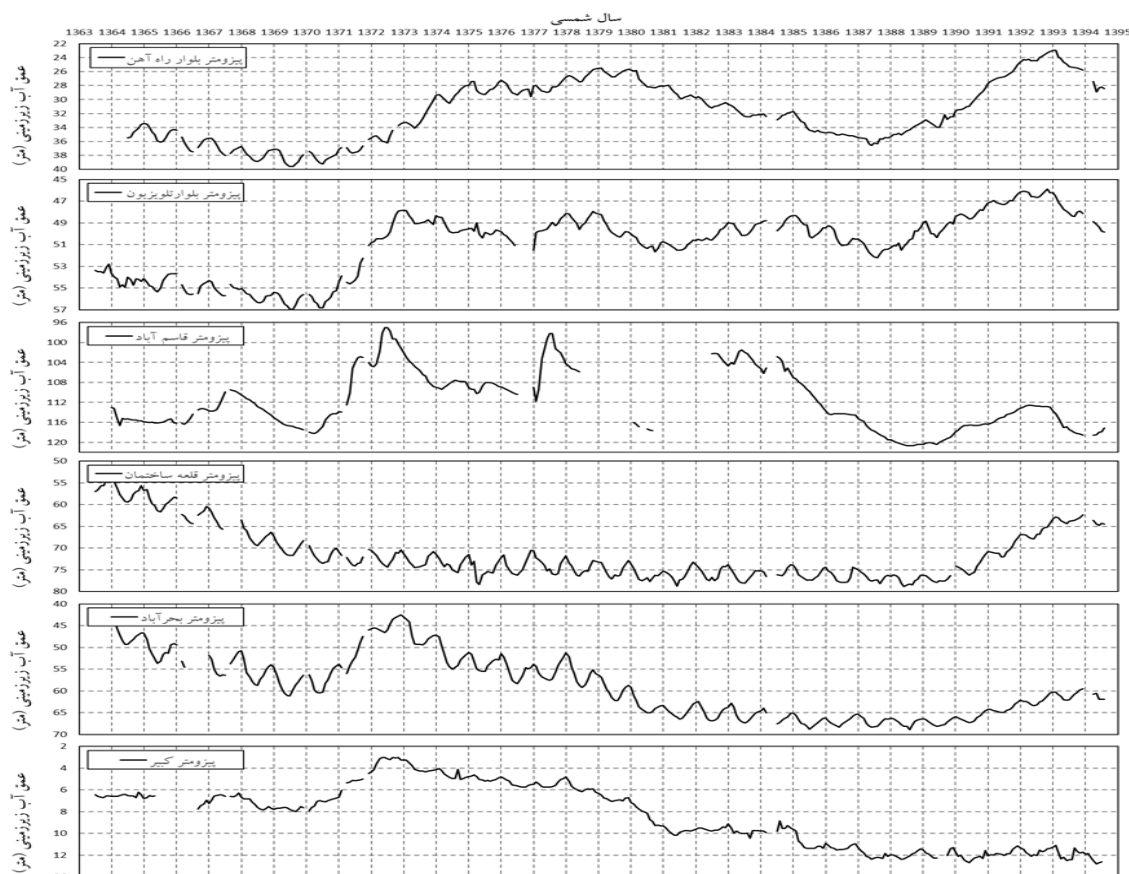
شکل ۲- پراکندگی چاه‌های مشاهده‌ای انتخابی در سطح شهر مشهد

۳. نتایج و بحث

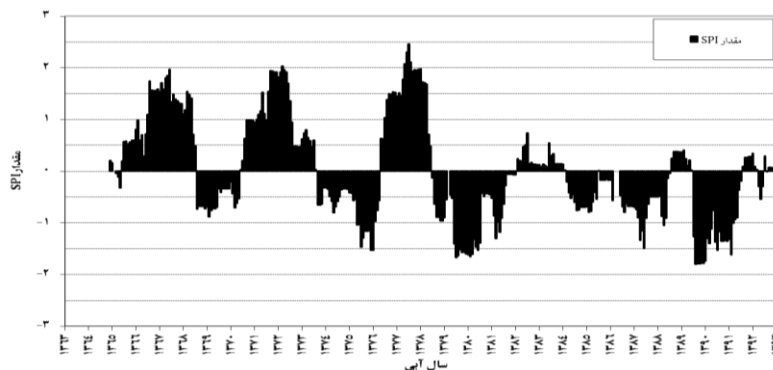
بر اساس مستندات موجود، بالا آمدگی سطح آب در حوضه شهری مشهد مربوط به زمان حال نمی‌باشد و در مقطع کنونی این موضوع تشدید یافته است. به منظور بررسی روند تغییرات سطح آب زیرزمینی شهر مشهد و محدوده مطالعاتی مشهد-چناران طی چند دهه گذشته، هیدروگراف تغییرات سطح آب در ۶ پیزومتر این محدوده به صورت نمونه رسم شده است (شکل ۳). از این میان ۵ پیزومتر اول به ترتیب از بالا به پایین در شکل ۳ یعنی پیزومترهای بلوار راه آهن، بلوار تلویزیون، قاسم آباد، قلعه ساختمان و بحر آباد در داخل محدوده شهری مشهد و پیزومتر کبیر در بخش غربی محدوده مطالعاتی

مشهد-چناران واقع شده‌اند. پیزومتر بلوار راه آهن تقریباً در محدوده مرکزی شهر مشهد قرار دارد و به عنوان شاخص تراز آب زیرزمینی در مرکز شهر مد نظر قرار خواهد گرفت (شکل ۲).

به طوری که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، پنج دوره تغییرات طی بازه زمانی سال ۱۳۶۳ تا ۱۳۹۴ در پیزومترهای داخل محدوده شهر قابل تفکیک است. به طور کلی سطح آب زیرزمینی در این پیزومترها از سال ۱۳۶۳ تا ۱۳۷۰ کاهش، از سال ۱۳۷۰ تا ۱۳۸۰ افزایش، از سال ۱۳۸۰ تا ۱۳۸۷ کاهش، از سال ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۳ کاهش و سپس تا اواسط سال ۱۳۹۴ کاهش یافته است. سه دوره اول به خوبی منطبق بر دوره‌های ترسالی و خشکسالی حاکم بر منطقه هستند و با شاخص SPI ایستگاه تبخیر سنجی اولنگ اسدی در خروجی محدوده مطالعاتی مشهد-چناران همخوانی دارند (شکل ۴). در طی دوره دوم (بازه زمانی ۱۳۷۰ تا ۱۳۸۰) عمق برخورد به آب زیرزمینی پیزومتر بلوار راه آهن از حدود ۴۰ متر به ۲۶ متر کاهش یافته است (به طور متوسط سالانه ۱/۴ متر). شکل ۴ نشان می‌دهد که از سال ۱۳۸۰ تاکنون شرایط خشکسالی بر منطقه حاکم بوده است. همان طور که در هیدروگراف پیزومتر بلوار راه آهن مشاهده می‌شود (شکل ۳)، در ابتدای دوره چهارم تا سال ۱۳۸۷ روند کاهشی منطبق بر شرایط خشکسالی منطقه است اما پس از آن با وجود ادامه یافتن خشکسالی در منطقه، عمق برخورد به آب زیرزمینی از حدود ۳۶ متر در سال ۱۳۸۷ به حدود ۲۳ متر در سال ۱۳۹۳ (به طور متوسط سالانه ۲/۲ متر) کاهش یافته است. نکته دارای اهمیت دیگر، حذف نوسانات کوتاه مدت در طی دوره چهارم افزایش سطح آب زیرزمینی می‌باشد که یک روند افزایشی طی ۶ سال و بدون نوسان فصلی می‌باشد. لذا می‌توان نتیجه گرفت که علت بالاآمدگی سطح آب در این چاه فارق از شرایط اقلیمی و هیدروژئولوژیک حاکم بر منطقه بوده است. روند مشابهی در سایر چاه‌های مشاهده‌ای سطح شهر مشهد در طی چند دهه گذشته مشاهده می‌شود. شرایط فوق به طور نسبی در پیزومتر کبیر که خارج از محدوده شهری مشهد قرار دارد نیز دیده می‌شود، اما روند افزایش سطح آب زیرزمینی در بازه زمانی ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۳ مشاهده نمی‌شود و روند سطح آب به صورت نزولی می‌باشد.

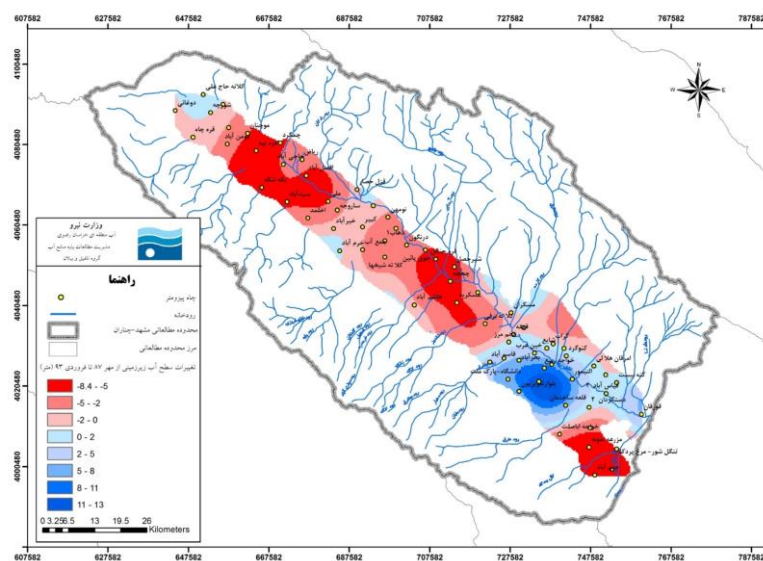


شکل ۳- هیدروگراف برخی پیزومترهای محدوده مطالعاتی مشهد-چناران



شکل ۴ - شاخص خشکسالی SPI دو ساله ایستگاه تبخیر سنجی اولنگ اسدی

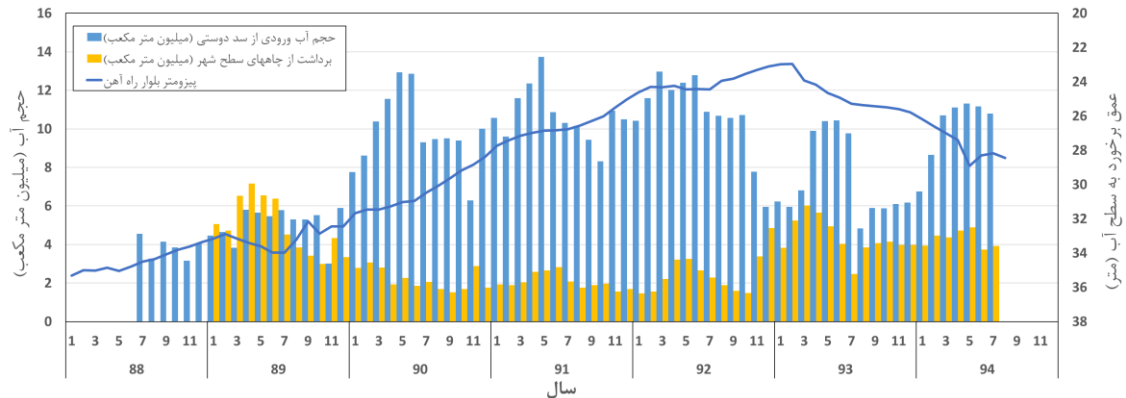
در نتیجه شواهد حاکی از یک پدیده بالآآمدگی موضعی آب زیرزمینی در سطح شهر مشهد طی سال‌های اخیر است. به منظور تعیین وسعت تاثیر محدوده بالآآمدگی موضعی سطح آب زیرزمینی، نقشه تغییرات سطح آب زیرزمینی آبخوان مشهد از مهر ۱۳۸۷ تا فروردین ۱۳۹۳ تهیه گردید (شکل ۵). همانطور که در این شکل مشاهده می‌شود دو فرورفتگی سطح آب زیرزمینی در شمال غربی آبخوان محدوده مطالعاتی مشهد-چناران و یک بالآآمدگی موضعی در جنوب شرقی آبخوان و در سطح شهر مشهد رخ داده است. دو فرورفتگی در اثر برداشت بیش از حد چاه‌های کشاورزی و شرب موجود به وجود آمده و سطح آب زیرزمینی تقریباً ۸/۵ متر در بازه زمانی مورد بررسی افت کرده است. اما در محدوده شهر مشهد به وسعت تقریباً ۴۴۰ کیلومتر مربع شاهد بالآآمدگی موضعی آب زیرزمینی از حدوداً ۲ متر تا ۱۳ متر هستیم و حداکثر میزان بالآآمدگی در هسته مرکزی شهر و منطقه ثامن رخ داده است و با دور شدن از مرکز شهر از شدت بالآآمدگی کاسته می‌شود. در نتیجه در مجموع به جز محدوده شهر مشهد در سایر نقاط آبخوان محدوده مطالعاتی مشهد-چناران شاهد افت سطح آب زیرزمینی هستیم.



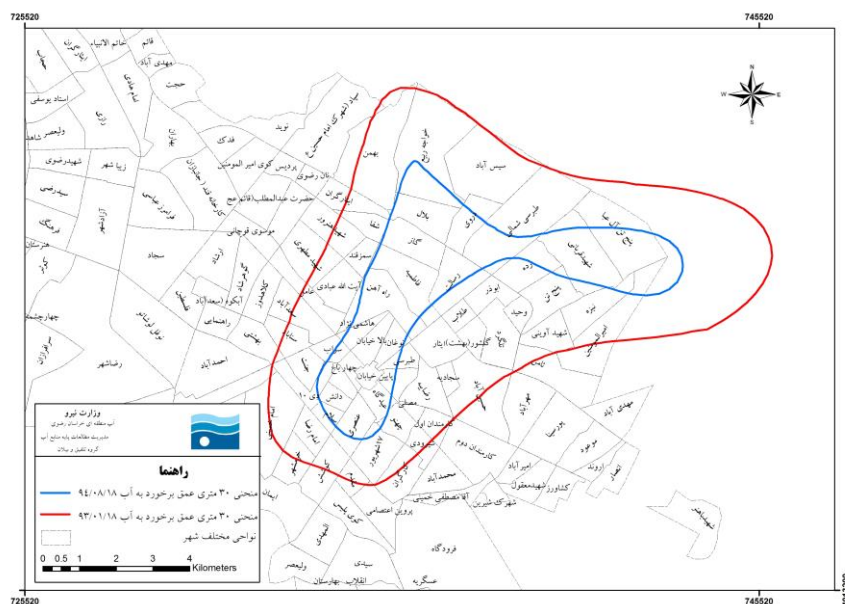
شکل ۵ - تغییرات سطح آب زیرزمینی آبخوان مشهد از مهر ۱۳۸۷ تا فروردین ۱۳۹۳ (بر حسب متر)

بر اساس نتایج تحقیقات انجام شده در سطح دنیا می‌توان نتیجه گرفت که یک تغییر موضعی در وضعیت هیدرولوژیک شهر مشهد رخ داده است. یعنی تغذیه در بازه زمانی سال ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۳ افزایش یافته است و در نتیجه بیلان آب زیرزمینی تغییر کرده است. دو پارامتر عمده تاثیر گذار در افزایش تغذیه آب زیرزمینی، کاهش برداشت از منابع آب زیرزمینی و افزایش میزان نشت و نفوذ از شبکه‌های توزیع آب و جمع آوری فاضلاب است. اتفاق قابل ملاحظه‌ای که در وضعیت منابع آبی شهر مشهد در این بازه زمانی رخ داده است، شروع بهره برداری از خط انتقال آب سد دوستی و ورود آب برای مصارف شرب شهر مشهد است که در نتیجه باعث کاهش برداشت از چاه‌های بهره‌برداری آب شرب سطح شهر گردید. به منظور بررسی دقیق‌تر علت وقوع این پدیده در شکل ۶ نمودار ماهانه حجم آب ورودی سد دوستی، حجم برداشتی از چاه‌های بهره‌برداری سطح شهر و عمق برخورد به آب پیزومتر راه آهن ترسیم شده است. به طوری که ملاحظه می‌شود با ورود آب از سد دوستی به تدریج حجم برداشتی از چاه‌های سطح شهر کاهش

یافته و همزمان تراز آب زیرزمینی افزایش یافته است. این رود افزایشی تا ابتدای سال ۱۳۹۳ ادامه داشته و با شروع سال ۱۳۹۳ و کاهش حجم آب ورودی از سد دوستی به میزان حدوداً ۳۰ درصد و همزمان افزایش تقریباً ۱۰۰ درصدی برداشت از چاه‌های سطح شهر، سطح آب زیرزمینی دچار افت شده است. لذا همانطور که مشاهده می‌شود همبستگی بالایی بین این سه پارامتر وجود دارد. این تاثیر پذیری در سال ۱۳۸۹ نیز قابل مشاهده است که با افزایش میزان برداشت از چاه‌های سطح شهر و ثابت بودن میزان حجم آب ورودی از سد دوستی، سطح آب زیرزمینی دچار افت شده است.



شکل ۶ - تغییرات ماهانه حجم آب ورودی و حجم آب برداشتی سطح شهر و عمق برخورد به آب پیزومتر معرف سطح آب زیرزمینی مشهد
نقشه‌های تهیه شده بر اساس اندازه گیری یازده دوره سطح آب ۹۴ چاه بهره‌برداری منتخب سطح شهر که در بازه زمانی آذر ماه ۱۳۹۲ تا آذر ماه ۱۳۹۴ انجام گرفته نیز به وضوح محدوده بحرانی بالاآمدگی آب زیرزمینی را نشان می‌دهد. محدوده بحرانی، محدوده‌ای که عمق برخورد به آب زیرزمینی کمتر از ۳۰ متر است در نظر گرفته شد و در ادامه به بررسی روند تغییرات سطح آب زیرزمینی در محدوده بحرانی پرداخته می‌شود. در شکل ۷ دو منحنی عمق برخورد به آب ۳۰ متری مربوط به تاریخ‌های ۱۳۹۳/۰۱/۱۸ و ۱۳۹۴/۰۸/۱۸ نشان داده شده است. به طوری که مشاهده می‌شود این محدوده تقریباً کل مرکز شهر و اطراف حرم مطهر رضوی را تحت تاثیر قرار داده و در راستای شمال شرقی-جنوب غربی دارای کشیدگی است و عمده پهنه آن در سمت شمال شرقی و به سمت رودخانه کشف رود و مناطق با تراکم جمعیت بالا می‌باشد. نکته حائز اهمیت کاهش قابل ملاحظه مساحت منحنی‌ها طی بازه زمانی فروردین ماه ۹۳ تا آذر ماه ۹۴ است. مساحت این منحنی در فروردین ماه سال ۱۳۹۳ معادل ۷۸ کیلومتر مربع بوده در حالیکه در آذر ماه ۱۳۹۴ این مقدار به حدود ۲۲ کیلومتر مربع رسیده است. لذا می‌توان تاثیر پذیری بسیار خوب پهنه بحرانی از کاهش ورودی آب به شهر و افزایش میزان بهره‌برداری از چاه‌ها را مشاهده کرد.



شکل ۷ - مقایسه منحنی‌های هم عمق ۳۰ متر آب زیرزمینی در تاریخ ۱۳۹۳/۰۱/۱۸ و ۱۳۹۴/۰۸/۱۸



۱۰. نتیجه گیری

نتایج بررسی سطح آب زیرزمینی در محدوده مطالعاتی دشت مشهد نشان می‌دهد که با وجود افت عمومی سطح آب در آبخوان دشت، سطح آب زیرزمینی در محدوده شهر مشهد به صورت موضعی دچار افزایش شده است. این بالاآمدگی از اواسط سال ۱۳۸۷ شروع شده و تا ابتدای سال ۱۳۹۳ تداوم داشته است و تقریباً تمام سطح شهر مشهد را پوشش می‌دهد. میزان بالاآمدگی آب زیرزمینی در این بازه زمانی در مرکز شهر حداکثر مقدار را دارا بوده و به تدریج با نزدیک شدن به حاشیه شهر این مقدار کاهش یافته است. بررسی‌ها نشان دادند که همبستگی بالایی بین روند افزایشی سطح آب زیرزمینی شهر مشهد و افزایش حجم ورودی آب از سد دوستی و همچنین کاهش میزان برداشت از چاه‌های سطح شهر وجود دارد. به طوری که طی سال ۱۳۹۳ با کاهش حدوداً ۳۰ درصدی حجم آب ورودی از سد دوستی و همزمان افزایش تقریباً ۱۰۰ درصدی میزان برداشت از چاه‌های سطح شهر، شاهد افت قابل ملاحظه سطح آب زیرزمینی مشهد بوده‌ایم. نتایج نشان می‌دهند که با مدیریت صحیح عوامل موثر در تغذیه آبخوان در سطح شهر (حجم آب ورودی و برداشتی) می‌توان به طور موثر پدیده بالاآمدگی آب زیرزمینی شهر مشهد را کنترل کرد.

۱۲. مراجع

- محمودی، ص.، سلاجقه، ع.، مهدوی، م. و باقری، ر. ۱۳۹۱. بررسی تغییرات مکانی و زمانی سطح آب زیرزمینی دشت کرمان با استفاده از روش زمین‌آماري مناسب (طی یک دوره آماری ۱۰ ساله، ۱۳۸۵-۱۳۷۵). فصلنامه علمی-پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران، ۱۹(۱): ۷۱-۶۰.
- مژگانی فر، ن.، و رهنما، م. ب. ۱۳۸۸. بررسی چاه‌های مشاهده‌ای محدوده کرمان و اختیارات آباد در ارتباط با بالاآمدگی سطح آب زیرزمینی در قسمت‌هایی از شهر کرمان. دهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر، کرمان، ۲۱-۱۹ بهمن ماه ۱۳۸۸.
- Al-Sefry, S. A., Şen, Z. 2006. Groundwater rise problem and risk evaluation in major cities of arid lands-Jeddah Case in Kingdom of Saudi Arabia. *Water Resources Management*, 20(1), 91-108.
- Foster S., Lawrence A., Moris B. 1998. Groundwater in urban development assessing management needs and formulating policy strategies. *World Bank Technical Paper No. 390*
- George, D. J. 1992. Rising groundwater: a problem of development in some urban areas of the Middle East. In *Geohazards* (pp. 171-182). Springer Netherlands.
- Ramsey, M.S. 2003. Mapping the City Landscape From Space: The Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflectance Radiometer (ASTER) Urban Environmental Monitoring Program: in *Earth Sciences in the City* (Heiken, G., Fakundiny, R., and Sutter, J., eds.), Am. Geophysical Union, Washington, DC, Ch. 9, p.337-376.
- Rushton, Al-Othman. 1996. Control of rising groundwater levels in Riyadh, Saudi Arabia. In: Wilkinson WB (ed) *Groundwater problems in urban areas*. Thomas Telford
- Selim, S. A., Hamdan, A. M., Rady, A. A. 2014. Groundwater Rising as Environmental Problem, Causes and Solutions: Case Study from Aswan City, Upper Egypt. *Open Journal of Geology*, 2014.
- Sharp Jr, J. M. 2010. The impacts of urbanization on groundwater systems and recharge. *Aqua Mundi*, 1, 51-56.
- Sherlock, R.L. 1922. *Man as a Geological Agent*: H.F. & G. Witherby, London, 372p.
- Takizawa, S. 2008. *Groundwater management in Asian cities: Technology and policy for sustainability* (Vol. 2). Springer Science & Business Media.
- Underwood, J. R., Jr. 2001. Anthropogenic rocks as a fourth basic class: *Environmental and Engineering Geoscience*, v. 7, p. 104-110.
- Whitesides, D. V., Faust, R. J., Zettwoch, D. D. 1983. Problems of rising ground-water levels in urban areas with special reference to the Louisville. Kentucky, area: *US Geological Survey Water-Resources Investigations Report*, 83-4233.