مجله پژوهش آب ایران
جلد ۱۴/ شماره ۱/ پیاپی ۳۶/ فروردین و اردیبهشت ۱۳۹۹

بررسی عوامل مؤثر بر بالاآمدگی سطح آب زیرزمینی در شهر مشهد

زهرا رجبیان‌مقدم[۱]، رضا جهانشاهی[۲*]، ناصر اسدی[۳] و ولی‌الله بهزادی‌فر[۴]

چکیده

در این تحقیق برای بررسی و تعیین عوامل اصلی تأثیرگذار بر بالاآمدگی سطح آب زیرزمینی شهر مشهد، طی سال‌های ۹۵-۱۳۸۹ از روش‌های تحلیل سری‌های زمانی در دو قلمروی زمان و فرکانس استفاده شد. همچنین، تأثیر گودبرداری‌های شهری و تغییر ویژگی‌های فیزیکی خاک منطقه بر آن، مورد بررسی قرار گرفت. میانگین تأخیر زمانی بین تغییرات تراز آب زیرزمینی با عوامل بارش و تبخیر، معادل ۹ ماه، با حجم آب انتقالی از سد دوستی، معادل ۲ تا ۳ ماه، با حجم آب استخراجی از آبخوان، معادل ۳ تا ۴ ماه، با گسترش شبکه فاضلاب، معادل ۱ تا ۲ ماه و با حجم پساب، معادل ۲ تا ۳ ماه محاسبه شد. همچنین، تغییر میانگین سالانه سطح ایستابی تحت تأثیر عوامل مختلف، شامل افت محاسباتی ۰/۵ متر در اثر بهره‌برداری از آبخوان، بالاآمدگی محاسباتی ۰/۴۴ متر در اثر انتقال آب سد دوستی، بالاآمدگی انتظاری ۲/۷ متر در صورت وجود نداشتن شبکه‌ی فاضلاب شهری و افت انتظاری ۱ متر در صورت حذف آب ورودی از سد دوستی بود. علاوه بر آن، محاسبات و بررسی‌های انجام شده در رابطه با خروج خاک از منطقه اشباع و غیراشباع در نتیجه حفاری تونل خط ۲ مترو و پروژه‌های شهری در مناطق مرکزی شهر نشان داد که این امر، باعث کاهش ظرفیت نگهداری آب، توسط خاک شده و بالاآمدگی سطح ایستابی به مقدار متوسط ۱/۲۵ متر را در پی داشت.

واژه‌های کلیدی: تأثیرگودبرداری، تحلیل سری‌های زمانی، سد دوستی، شبکه جمع‌آوری فاضلاب.

ارجاع: رجبیان‌مقدم ز. جهانشاهی ر. اسدی ن. و بهزادی‌فر و. ۱۳۹۹. بررسی عوامل مؤثر بر بالاآمدگی سطح آب زیرزمینی در شهر مشهد. مجله پژوهش آب ایران. ۳۶: ؟؟-؟؟.

۱- کارشناسی ارشد هیدروژئولوژی، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه سیستان و بلوچستان.
۲- استادیار هیدروژئولوژی، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه سیستان و بلوچستان.
۳- استادیار هیدروژئولوژی، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه سیستان و بلوچستان.
۴- کارشناسی‌ارشد هیدروژئولوژی، شرکت طوس‌آب، مشهد.
*** نویسنده مسئول**: **jahanshahireza@science.usb.ac.ir**
تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۶/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۹/۲۲

مقدمه

طی سال‌های اخیر، با توسعهٔ شهرنشینی و به موازات آن کاهش تغذیهٔ مستقیم از آبخوان، منابع و مسیرهای جدیدی برای تغذیه آن در اثر نشت از شبکه‌های آبرسانی و فاضلاب، اثر چاه‌های جذبی، و نفوذ از مسیل‌های زهکش شهری ایجاد شده است که همهٔ این عوامل در بالا آمدن سطح آب زیرزمینی نقش دارند. همچنین، با توجه به اینکه آب‌های زیرزمینی و ساخت‌وسازهای شهری به هم وابسته هستند، نوسانات سطح آب زیرزمینی این مناطق نیز می‌تواند بر روی سازه‌های شهری اثر داشته باشد. شهر مشهد به منابع مختلف برای تأمین آب نیازمند است که بخشی از نیاز آبی این شهر از آبخوان منطقه می‌گردد و بخشی نیز از سایر حوزه‌های آبریز تأمین می‌شود. ورود آب از منابع مذکور و عدم توسعه‌ی کامل سامانه‌های زهکشی و شبکه‌ی فاضلاب شهری، در کنار برخی از عوامل دیگر زمینه‌ی افزایش سطح آب زیرزمینی در برخی از نقاط شهر و بروز پیامدهای نامطلوب را فراهم کرده است. همچنین، توسعه‌ی شهرسازی و افزایش هرچه بیشتر حفاری‌های عمیق و گسترده در مناطق شهری، گاه ممکن است آثاری را بر وضعیت آب زیرزمینی منطقه بگذارد و حتی ممکن است پیامدهای نامطلوبی نیز به دنبال داشته باشد. این حفاری‌ها می‌توانند به‌طور مستقیم و غیرمستقیم بر خصوصیات فیزیکی خاک و عمق آب زیرزمینی، به‌خصوص در مناطقی که سطح آب‌زیرزمینی به سطح زمین نزدیک است، تأثیر گذارند؛ به‌طوری که چنانچه در این مناطق حفاری‌ها و ساخت بخشی از سازه‌ها تا زیر سطح آب زیرزمینی انجام شود، این سازه‌ها به‌عنوان مانعی در مسیر حرکت آب، بر جریان طبیعی آب زیرزمینی تأثیر گذاشته و بالاآمدگی هرچه بیشتر سطح آب را در این محدوده‌ها تشدید می‌کنند. افزایش سطح آب در برخی از مناطق شهر مشهد از زمانی به عنوان چالش مطرح شد که سرمایه‌گذاری‌های عظیم مجتمع‌های تجاری و اقامتی با عمق گودبرداری بیش از ۲۰ متر و بدون هر گونه آمادگی قبلی با ورود حجم قابل‌توجهی از آب به طبقات پایین مواجه شد. علاوه بر آن، به‌دلیل اینکه بر اساس روند نزولی سطح آب زیرزمینی در سال‌های گذشته، تمهیدات لازم در نظر گرفته نشده بود، برخورد به آب در حین حفاری تونل خط دوم مترو، مشکلات جدی را ایجاد کرده است. در ایران و سایر کشورهای جهان، مطالعات متعددی در این زمینه، عوامل مؤثر و پیامدهای آن توسط محققان مختلف انجام شده است (از جمله: کلانتری و رحیمی، ۱۳۹۱؛ کرمی و همکاران، ۱۳۹۲؛ کریمی‌پور و همکاران، ۱۳۹۱؛ قندهاری و همکاران، ۱۳۹۳؛ ترابی‌حکم آباد، ۱۳۹۳؛ تندیسه و همکاران، ۱۳۹۲؛ سلیک، ۲۰۱۵؛ هورست و ویلکینسون، ۲۰۱۵؛ ماکووتسکی، ۲۰۰۶؛ داوود و همکاران، ۲۰۰۶) که علاوه بر این موارد در زیر به پاره‌ای از آنها اشاره می‌شود.

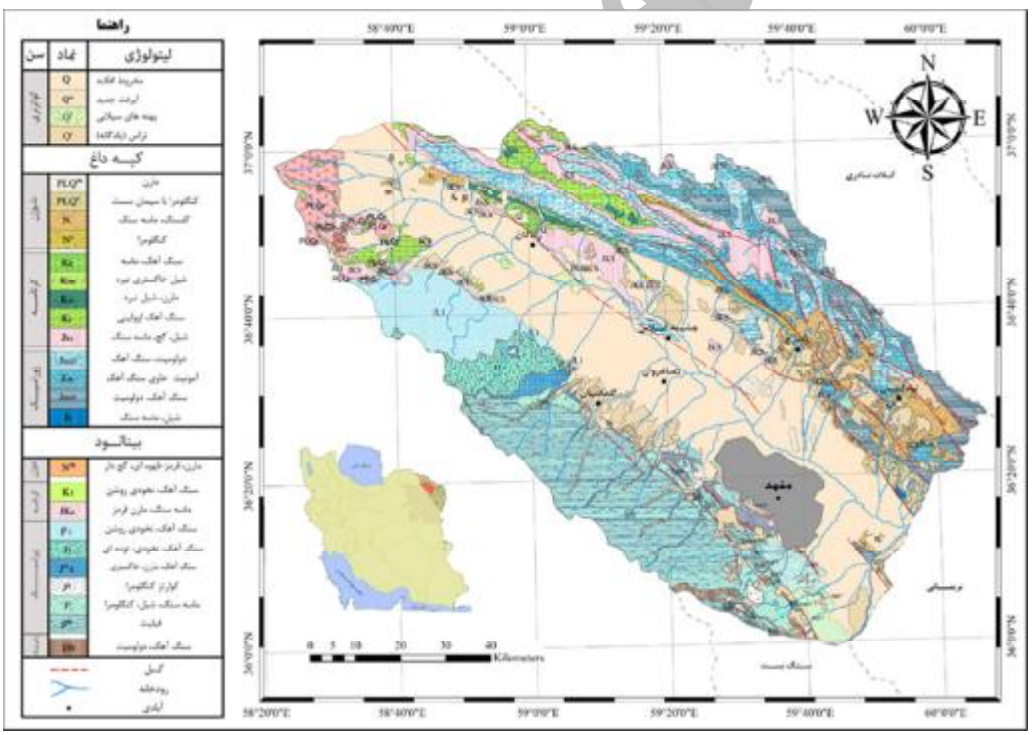
آل‌سنفی و همکاران (۲۰۱۵)، علل بالاآمدگی سطح آب زیرزمینی در القرین کویت را شیب تند توپوگرافی به سمت منطقه، عدم پوشش شبکه‌ی فاضلاب و نفوذ آب حاصل از آبیاری و آب باران دانستند. باب و همکاران (۲۰۱۵)، نیز عوامل مؤثر بر افزایش سطح آب زیرزمینی مدینه را وجود نداشتن شبکه‌ی فاضلاب، نشت آب از شبکه‌ی آبرسانی و آب حاصل از آبیاری تشخیص دادند. سلیم و همکاران (۲۰۱۴)، افزایش سطح آب در مناطقی از مصر را به‌عنوان مشکلی برای آلودگی محیط‌زیست دانسته و دلیل آن را افزایش میزان تغذیه نسبت به تخلیه به آبخوان بیان کرده‌اند و مشکلات ناشی از آن را ورود آب به ساختارهای زیرزمینی و ساختمان‌های با پی عمیق، و کاهش کیفیت آب زیرزمینی در این محدوده‌ها دانسته‌اند. میرزایی و همکاران (۱۳۹۴)، تأثیر سد کرخه را در افزایش سطح آب زیرزمینی دشت سرخه بررسی کردند. حسن‌پور و همکاران (۱۳۹۰)، به بررسی اثر بالا آمدن سطح آب زیرزمینی بر کیفیت آبخوان شهر کرمان پرداختند که نتایج، حاکی از تأثیر رخساره‌های زمین‌شناسی منطقه بر کیفیت آب زیرزمینی بود. مژگانی‌فر (۱۳۸۹)، مهم‌ترین عامل مؤثر بر بالاآمدگی سطح آب زیرزمینی در شهر کرمان را نبود سامانه‌ی جمع‌آوری فاضلاب شهری دانسته است. با توجه به اینکه تاکنون مطالعه‌ی جامع و یکپارچه‌ای در رابطه با عوامل تأثیرگذار بر افزایش سطح آب زیرزمینی شهر مشهد طی سال‌های اخیر انجام نشده است، در این تحقیق تلاش شده است تا با به‌کارگیری روش‌های تحلیل سری‌های زمانی متغیرهای هیدرولوژی و هیدروژئولوژیکی این عوامل شناسایی و مورد بحث و بررسی قرار گیرند. همچنین، با توجه به اینکه تاکنون مطالعه‌ای در شهر مشهد دربارهٔ تأثیر تغییرات محیط اشباع و غیراشباع تحت تأثیر حفاری‌های زیرسطحی و پیامدهای آن بر تغییرات سطح آب زیرزمینی انجام نشده

است. در این مطالعه، سعی شده است تا با استفاده از اطلاعات ژئوتکنیک به تحقق این مهم پرداخته شود.

زمین‌شناسی و هیدروژئولوژی منطقه

محدوده‌ی مطالعاتی شهر مشهد به لحاظ جایگاه زمین‌شناسی، در حدفاصل دو زون زمین‌شناسی کپه‌داغ و بینالود واقع شده است. رخساره‌های زمین‌شناسی زون کپه‌داغ، شامل سنگ‌های رسوبی از ژوراسیک تا عهد حاضر است و در این زون، آثاری از سنگ‌های آذرین و فعالیت‌های ماگمایی و سنگ‌های دگرگونی مشاهده نمی‌شود. سازندهای زمین‌شناسی در زون بینالود از سنگ‌های رسوبی، آذرین و دگرگونی متعلق به دوره‌های مختلف زمین‌شناسی تشکیل شده‌اند. در جنوب شهر مشهد، زون مفصلی با رخنمونی از سنگ‌های دگرگون‌شده همراه با ولکانیک‌های نفوذی متعلق به پرموکربونیفر قرار دارد که به‌شدت خرد شده و دارای گسل‌خوردگی است (آقانباتی، ۱۳۸۳) (شکل ۱).

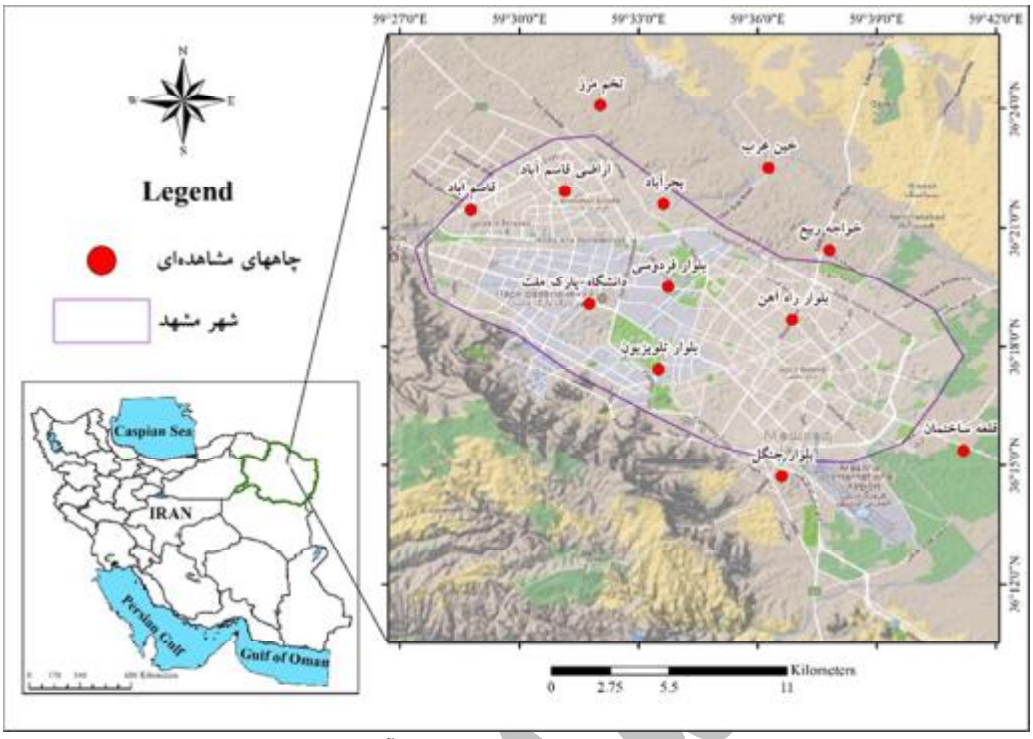
آبخوان آبرفتی مشهد با وسعت ۲۶۷۶ کیلومترمربع، از نوع آزاد است. مورفولوژی سنگ‌کف، بسیار ناهموار است؛ به‌گونه‌ای که در برخی از نقاط در سطح، رخنمون یافته و در برخی نقاط ضخامت آبرفت تا ۳۰۰ متر نیز می‌رسد. در نواحی شمال دشت مشهد، آبرفت دانه‌ریز پهنه‌های رسی را تشکیل داده و از گسترش جانبی و دانه‌بندی یکنواختی برخوردار است؛ اما دانه‌بندی آبرفت در حاشیه‌ی جنوبی، درشت‌دانه و نسبتاً همگن است که با نزدیک شدن به کشف رود، ریزدانه شده و دارای لایه‌بندی متناوب است. این روند در بخش شرقی آبخوان (خروجی دشت) نیز قابل مشاهده است (شرکت سهامی آب منطقه‌ای خراسان رضوی، ۱۳۹۱).



شکل ۱- نقشه زمین‌شناسی محدوده‌ی دشت مشهد؛ اقتباس از نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی (طاهری ترشیزی و همکاران، ۱۳۷۲)

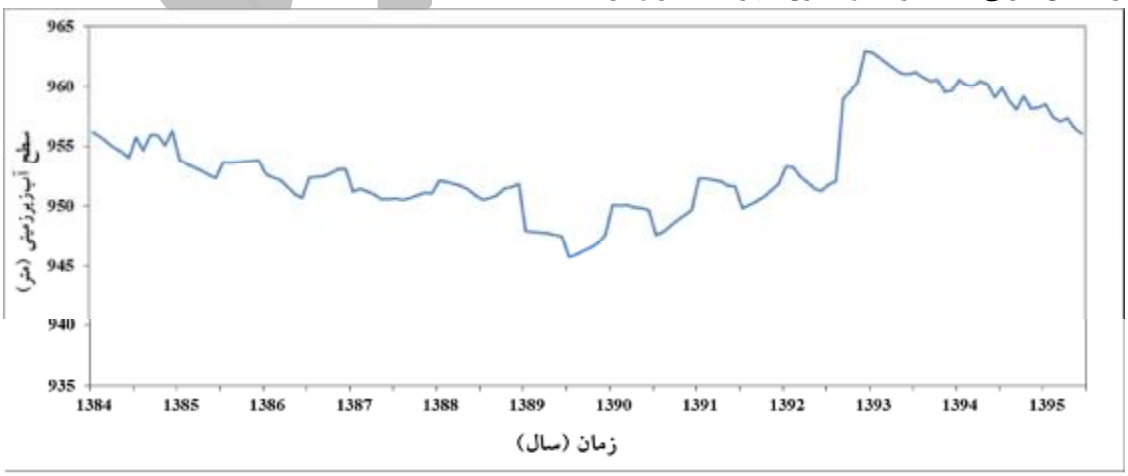
مواد و روش‌ها

برای بررسی تغییرات زمانی و مکانی سطح آب زیرزمینی در نقاط مختلف شهر مشهد، نقشه‌های هم‌عمق آب زیرزمینی و هیدروگراف میانگین آبخوان شهر، با استفاده از اطلاعات عمق آب، ۱۳ حلقه چاه مشاهده‌ای (شکل ۲) طی سال‌های آبی ۹۵-۱۳۸۲و ۸۲ حلقه چاه آب شرب غیرفعال موجود در سطح شهر، طی سال‌های آبی ۹۵-۱۳۹۲ ترسیم شده است.

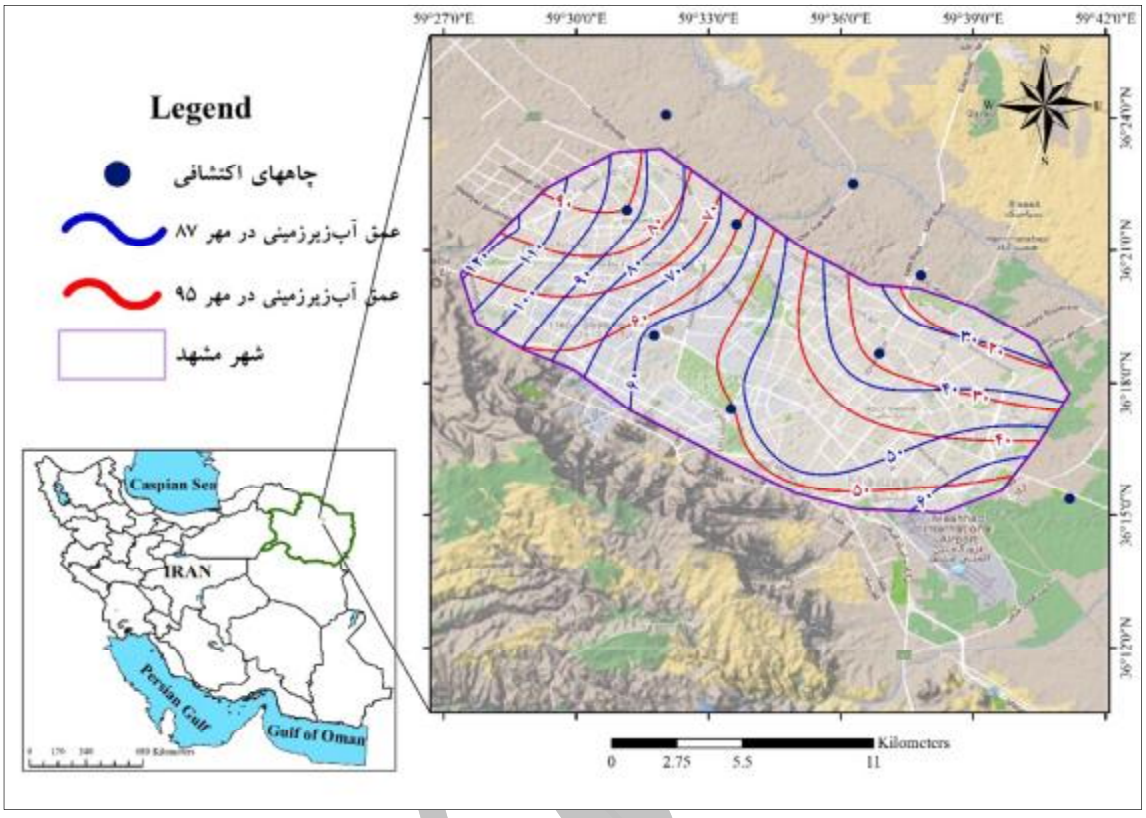


شکل ۲- موقعیت چاه‌های مشاهده‌ای شهر مشهد (شرکت سهامی آب منطقه‌ای خراسان رضوی، ۱۳۹۵)

بررسی هیدروگراف میانگین این آبخوان، از تغییرات با روند نزولی طی سال‌های ۸۸-۱۳۸۴ و تغییرات با روند صعودی طی سال‌های ۹۳-۱۳۸۸ در سطح آب زیرزمینی، و تشدید این روند طی سال آبی ۹۴-۱۳۹۳ حکایت می‌کند (شکل ۳). همان‌طور که در شکل ۴- الف مشاهده می‌شود؛ عمق آب زیرزمینی در مهرماه سال ۱۳۸۷ در شمال و شمال‌غرب شهر، به‌طور میانگین، ۹۵ تا ۱۱۵ متر، در مرکز شهر و در محدوده‌ی خط ۲ مترو، ۲۵ تا ۳۵ متر، در مناطق شرقی، ۳۲ متر، جنوب‌شرق شهر، ۳۰ متر و در جنوب شهر، ۷۶ متر بوده است؛ در حالیکه طی سال‌های آبی ۱۳۹۵-۱۳۸۸ عمق آب زیرزمینی به‌طور میانگین، در مناطق مرکزی شهر و اطراف حرم مطهر امام رضا (ع) به ۱۷ تا ۲۷ متر، در مناطق شرقی به ۱۱ تا ۲۹ متر و در جنوب و جنوب‌شرقی شهر به ۶۰ متر کاهش یافته است که نشان‌دهنده‌ی بالا آمدن سطح آب زیرزمینی به میزان ۲ تا ۱۷ متر از سال ۱۳۸۸ تا کنون در این مناطق است (شکل ۴- ب)).



شکل ۳- هیدروگراف میانگین آبخوان شهر مشهد در بازه‌ی زمانی ۹۵-۱۳۸۴



شکل ۴- نقشه‌های هم‌عمق آب زیرزمینی در محدوده‌ی شهر مشهد: الف) مهر ۱۳۸۷، ب) مهر ۱۳۹۵

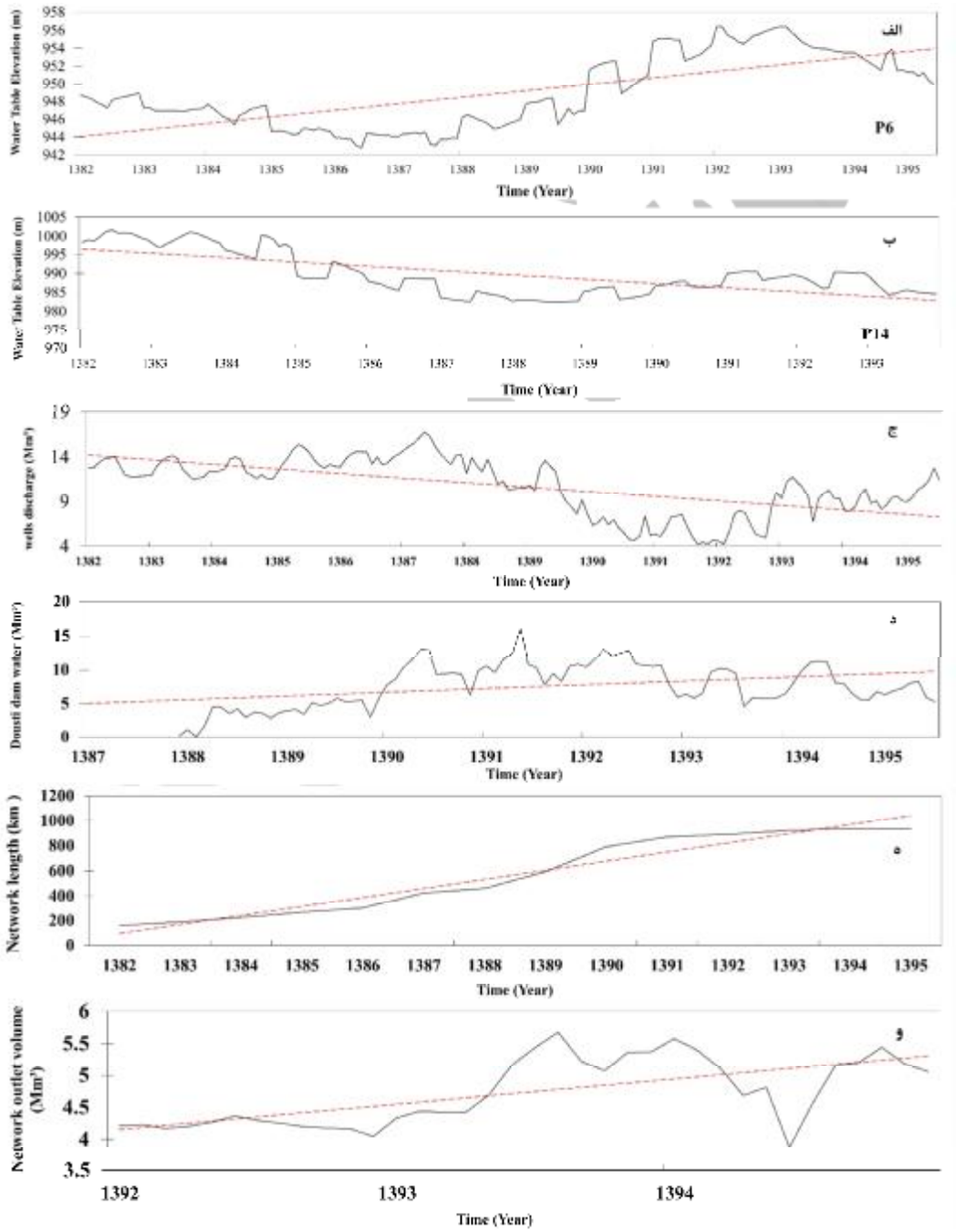
محاسبات سری‌های زمانی

در این تحقیق، تحلیل سری‌های زمانی در دو قلمروی زمان و فرکانس با استفاده از داده‌های ماهانه‌ی سطح آب زیرزمینی، بارندگی، تبخیر، حجم آب شرب تأمین شده شهر توسط منابع مختلف، حجم پساب و گسترش سالانه‌ی شبکه‌ی جمع‌آوری فاضلاب طی بازه‌ی زمانی ۹۵-۱۳۸۲ انجام شده است. از آنجا که تجزیه و تحلیل سری‌های زمانی بر روی سری‌های بدون روند و تناوب آنها انجام می‌شود؛ شناسایی و حذف این مؤلفه‌ها از سری زمانی اولیه ضروری است. به همین منظور از آنالیز خودهمبستگی برای تشخیص مؤلفه‌ی روند و توابع چگالی طیفی و ترسیم دوره‌نگار برای تشخیص مؤلفه‌ی تناوب، استفاده شده است. در بررسی روند نمودار، سری‌های زمانی (شکل ۵) نشان‌دهنده عدم وجود روند بارز در اطلاعات بارش (نمودار الف)، روند نزولی در اطلاعات تبخیر (نمودار ب)، روند صعودی در اطلاعات سطح آب زیرزمینی در چاه‌های مشاهده‌ای مناطق مرکزی، شرقی و جنوبی شهر (نمودار پ)، روند نزولی در اطلاعات سطح آب زیرزمینی در مناطق شمالی، شمال‌غرب و غرب شهر (نمودار ت)، روند صعودی در میزان آب آوردی از سد دوستی (نمودار ث)، روند نزولی در میزان آب تخلیه از آبخوان شهر و روند صعودی در گسترش سالانه شبکه فاضلاب (نمودار چ) و حجم پساب (نمودار ح)، استفاده شده است.

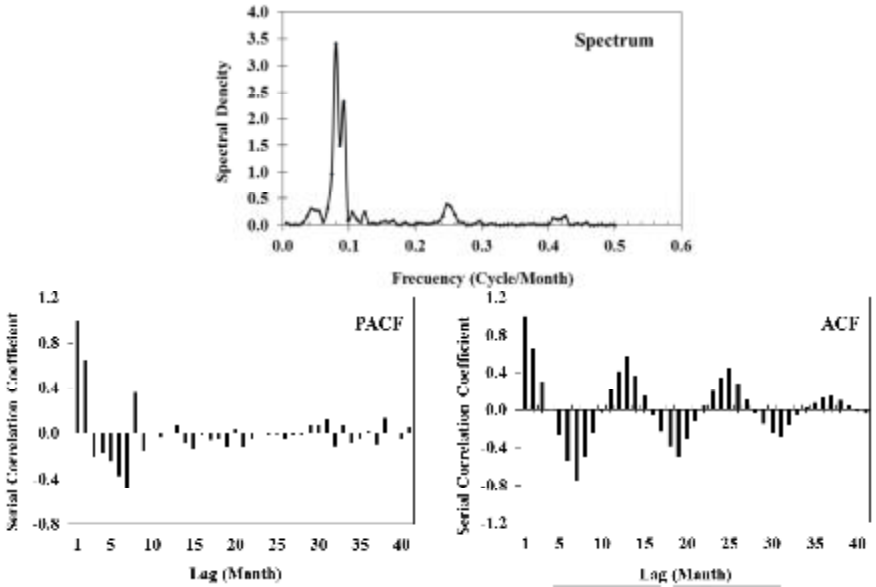
پس از رسم نمودارهای دوره‌نگار در تمامی سری‌های زمانی مذکور، یک دوره‌ی تناوب ۱۲ماهه مشاهده می‌شود؛ به‌گونه‌ای که در منحنی دوره‌نگار همگی سری‌ها، ماکزیمم پیک منحنی، فرکانس ۰/۰۸۳ را نشان می‌دهند که با توجه به وجود رابطه‌ی عکس بین دوره و فرکانس، این مقدار معادل با تناوب یا سیکل یک‌ساله است. شکل‌های ۶ و ۷ نمودارهای سری زمانی بی‌روند شده، همبستگی‌نگار و دوره‌نگار را برای برخی از این سری‌های زمانی را نشان می‌دهند. نوسانات با پیک‌های کوچک در نمودار همبستگی‌نگار، حاکی از وجود مؤلفه‌ی فصلی در این سری‌هاست.

برای بررسی میزان ارتباط بین سری زمانی سطح آب زیرزمینی با سری‌های زمانی عوامل ذکرشده، از توابع همبستگی متقابل، ضرایب همبستگی (R) و تأخیر زمانی

(Lag Time) در قلمروی زمان و از دو تابع چگالی طیف متقابل و کوهرنسی در قلمروی فرکانس استفاده شده و نمودارهای مربوطه رسم شد. شکل‌های ۸ و ۹، این نمودارها را برای برخی از عوامل و سطح ایستابی نشان می‌دهند. در این موارد، سری‌های زمانی بی‌روند شده‌ی مؤلفه‌های مذکور مورد استفاده قرار گرفته است. برای تعیین زمان تأخیر دقیق‌تر، نمودارهای ارتباط و وابستگی (Coherence) و نمودارهای فاز (Phase diagram) رسم شده و زمان تأخیر بین دو سری زمانی محاسبه شده است. نتایج تأخیر زمانی محاسبه شده از دو قلمروی زمان و فرکانس زمان بین سری‌ها، یکدیگر را تأیید می‌کنند (جدول ۱).



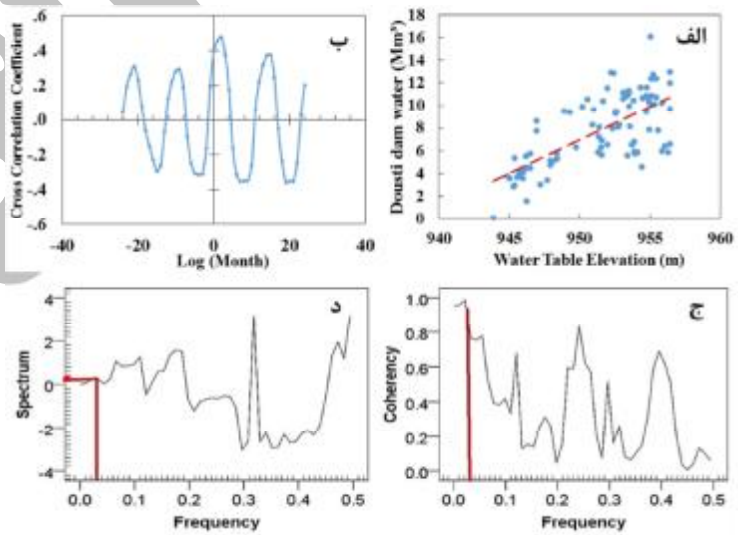
شکل ۵- تعیین مؤلفه‌ی روند در سری‌های زمانی مختلف: الف) چاه مشاهده‌ای P6، ب) چاه مشاهده‌ای P14، ج) چاه‌ها، د) سد دوستی، ه) گسترش طول شبکه‌ی جمع‌آوری فاضلاب، و) حجم پساب جمع‌آوری‌شده



شکل ۶- نمودارهای سری زمانی سطح ایستابی چاه مشاهده‌ای P6

جدول ۱- نتایج محاسبات سری‌های زمانی دومتغیره در قلمروی زمان و فرکانس

		Time domain			Frequency domain			
		Cross correlation coefficient	Lag time (month)	R	Max of coherency	Frequency (f)	Phase	Lag time (month)
P6- Precipitation		۱/۱۹	۹	۰/۰۴۹	۰/۹۷	۰/۰۱۲	۰/۸۱	۸/۸۷
P6- Evaporation		۰/۱۳	۹	۰/۰۱۲	۰/۹۸	۰/۰۱۶	۰/۹۴	۸/۸
P- Network length	Network	۰/۴۱	۱-۲	-۰/۶۸	۰/۹۹	۰/۱۲	۰/۹۴	۰/۳۶
	No network	۰/۸۴	۳-۴	۰/۴	۰/۹۸	۰/۱	۰/۸۶	۳/۱۸
P- Network outlet volume	Network	۰/۵۱	۱-۲	-۰/۵۶	۰/۹۵	۰/۰۸	۲	۲/۶۴
	No network	۰/۴۶	۵-۶	۰/۶۹	۰/۹۹	۰/۰۹۲	۱/۵	۶/۳۳
P6- wells		۰/۴۲	۱-۲	-۰/۷۵	۰/۸۶	۰/۰۸	۰/۴۳	۲/۶۹
P6- Dousti dam		۰/۴۷	۱-۲	۰/۸۱	۰/۹۲	۰/۰۳	۰/۵	۲/۲۱



شکل ۸- نمودارهای همبستگی بین داده‌های ماهانه حجم آب ورودی از سد دوستی با سطح آب زیرزمینی چاه مشاهده‌ای P6: الف) همبستگی، ب) همبستگی‌نگار ج) کوهرنسی و د) تابع فاز

نتایج و بحث

تحلیل سری‌های زمانی

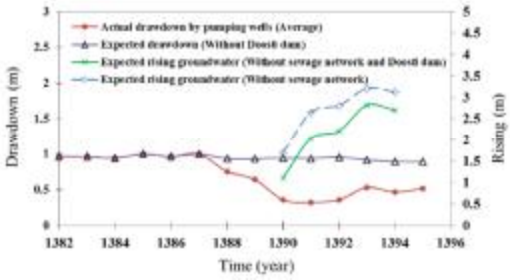
در نمودار بارش، روند بارزی مشاهده نمی‌شود؛ در حالی‌که در نمودار سری زمانی تبخیر، روند نزولی به‌دلیل تغییرات اقلیم و شرایط آب و هوایی منطقه قابل مشاهده است. در سری‌های زمانی سطح آب زیرزمینی چاه‌های مشاهده‌ای واقع در محدوده‌ی مرکزی و جنوبی شهر مشهد، روند صعودی مشاهده می‌شود که می‌تواند ناشی از نبود پوشش شبکه‌ی فاضلاب در این مناطق، پیوستن آب‌های ورودی از منابع جدید به شبکه آبرسانی شهر (به‌ویژه سد دوستی)، توقف بهره‌برداری از برخی از چاه‌های آب شرب و غیره باشد؛ در حالیکه در سطح آب چاه‌های مشاهده‌ای خارج از این محدوده، روند نزولی مشاهده می‌شود که ناشی از عواملی همچون برداشت رو به افزایش آب زیرزمینی و وجود پوشش شبکه‌ی فاضلاب در این مناطق است. وجود روند نزولی دبی تخلیه‌ی ماهانه‌ی چاه‌های آب شرب شهر، می‌تواند ناشی از توقف پمپاژ بیش از ۴۰ درصد چاه‌ها در بازه‌ی زمانی ۹۴-۱۳۸۸ باشد که در نتیجه‌ی جایگزینی آب انتقال یافته از سد دوستی به شهر صورت گرفته است. روند صعودی در نمودار سری زمانی حجم آب انتقالی از سد دوستی به شهر، طی بازه‌ی زمانی مذکور، شرح بیان شده را تأیید می‌کند. همچنین، روند صعودی در نمودار میزان پساب، به‌دلیل توسعه‌ی بهره‌برداری از سامانه‌ی شبکه‌ی فاضلاب طی سال‌های اخیر در شهر مشهد است. همان‌طور که در نمودار دوره‌نگار مشاهده می‌شود، دوره‌ی تناوب یک‌ساله در تمامی سری‌ها مشهود است؛ به‌جز سری زمانی پساب انتقالی به تصفیه‌خانه‌ها که با دوره‌ی تناوب ۷ ماهه قابل مشاهده است؛ در همه‌ی سری‌ها، نوسانات کوتاه مدت ۶ ماهه مشاهده می‌شود. مؤلفه‌های تناوبی یکسان، در سری‌های زمانی نشان می‌دهند که تنها اثر نوسانات طولانی‌مدت بارش و تبخیر به سطح آب زیرزمینی منتقل شده و تغییرات کوتاه‌مدت، به‌دلیل پراکندگی آن‌ها در بخش‌های مختلف چرخه‌ی هیدرولوژیک در سامانه‌ی آب زیرزمینی دیده نمی‌شوند. به‌عبارت دیگر، سرعت پایین جابه‌جایی آب و وجود ذخیره مخزن در سیستم آب زیرزمینی باعث تضعیف دوره‌های تناوبی کوتاه‌مدت بارش و تبخیر در سیستم آب زیرزمینی می‌شود؛ در حالیکه وجود مؤلفه‌ی فصلی در سری‌های زمانی سطح آب زیرزمینی، بیشتر ناشی از الگوی تغذیه و تخلیه است. به‌عبارت دیگر، تغذیه و تخلیه‌ی فصلی آب زیرزمینی، باعث تقویت مؤلفه‌ی فصلی کوتاه‌مدت، در سامانه‌ی آب زیرزمینی شده است. با رسم نمودارهای همبستگی‌نگار در قلمروی زمان و توابع طیف متقابل در قلمروی فرکانس، ارتباط بین نوسانات سطح آب زیرزمینی و مؤلفه‌های احتمالی تأثیرگذار بررسی شده است. بر اساس نتایج جدول ۱، تأثیر نداشتن بارش بر تغییرات سطح ایستابی، با همبستگی ناچیز (میانگین ۰/۰۴۶) و تأخیر زمانی زیاد (۹ماهه) به‌دلیل وجود سطوح نفوذناپذیر در مناطق شهری و در نتیجه نفوذ نکردن کامل آب به زمین و همچنین، زمان‌بر بودن عبور آب‌های نفوذی از محدوده‌ی زون غیراشباع و پیوستن آن به سفره‌ی آب زیرزمینی، قابل توجیه است. همچنین، چون عمق سطح آب زیرزمینی در این منطقه بیش از ۵ متر است، تبخیر نیز تأثیری در تغییرات سطح آب زیرزمینی در این مناطق ندارد. بررسی تحلیل‌های سری زمانی بین تغییرات سطح آب زیرزمینی با گسترش سالانه‌ی شبکه‌ی فاضلاب و پساب انتقالی به تصفیه‌خانه‌ها، نشان می‌دهد که نوسانات سطح ایستابی با گسترش شبکه‌ی فاضلاب، رابطه‌ی منطقی دارد؛ به‌طوری‌که اثر گسترش شبکه‌ی فاضلاب بر کاهش سطح آب زیرزمینی با میانگین تأخیر زمانی ۱ تا ۲ ماهه صورت گرفته است؛ از این‌رو، گسترش شبکه و انتقال پساب، طی سال‌های اخیر، نقش بسزایی در کاهش سطح آب زیرزمینی در همه‌ی مناطق شهر، به‌جز محدوده‌های فاقد شبکه (مناطق با بالاآمدگی سطح آب زیرزمینی) داشته است که این امر با نفوذ پساب از چاه‌های جذبی در این مناطق به آبخوان قابل توجیه است. همچنین، بررسی ارتباط بین سطح آب زیرزمینی و حجم منابع تأمین آب شرب شهر، بیانگر این مطلب است که با ورود بیش از ۸۰۰ میلیون مترمکعب آب از خارج حوزه به شهر از سال ۱۳۸۸ تاکنون و همچنین، عدم بهره‌برداری آب از برخی از چاه‌های شهر، طی بازه‌ی زمانی مذکور، سطح آب در همه‌ی چاه‌های مشاهده‌ای به میزان متغیری افزایش یافته است؛ به‌گونه‌ای‌که به‌طور میانگین با تأخیر زمانی ۱ تا ۲ ماهه، اثر این دو مؤلفه بر افزایش ارتفاع سطح آب زیرزمینی قابل مشاهده است.

تأثیر عوامل مختلف بر نوسانات سطح آب زیرزمینی

برای بررسی میزان افت میانگین (در اثر برداشت از آبخوان شهر و وجود شبکه‌ی فاضلاب در برخی از مناطق) و بالاآمدگی میانگین (در اثر انتقال آب از سد دوستی به شهر و حجم پساب نفوذی از چاه‌های جذبی به آبخوان) در سطح ایستابی آبخوان شهر، تغییرات سالانه مساحت شهر و میزان ضریب ذخیره آبخوان (۰/۰۶)، در نظر گرفته شد. نتایج محاسبات نشان داد که افت میانگین سالانه، حاصل از تخلیه‌ی آبخوان «افت محاسبه‌ای» (Calculated drawdown) طی سال‌های ۹۴-۱۳۸۲، حدوداً برابر با ۰/۷ متر، انتقال آب از سد دوستی «بالاآمدگی محاسبه‌ای» (Calculated rising)، بالاآمدگی میانگینی برابر با ۰/۴۴ متر طی سال‌های۹۴-۱۳۸۸ در سطح آب زیرزمینی شهر ایجاد کرده‌اند. بنابراین، چنانچه آب مورد نیاز شهر طی سال‌های ۹۴-۱۳۸۸ همچنان از تخلیه‌ی آبخوان تأمین می‌شد، افت هرچه بیشتر در آب زیرزمینی روی می‌داد؛ در حالیکه انتقال آب از سد دوستی و غیرفعال‌شدن برخی از چاه‌ها، بالاآمدگی در سطح آب زیرزمینی را نیز ایجاد کرده است؛ بنابراین، مجموع افت محاسبه‌ای و بالاآمدگی محاسبه‌ای در آبخوان به‌عنوان «افت انتظاری» (Expected drawdown) در صورت عدم وارد شدن آب از سد دوستی به شهر در نظر گرفته شده است و میانگین آن در طی دوره‌ی زمانی ۹۴-۱۳۸۷ نزدیک به ۰/۴۳ متر بوده است. پیش از احداث و بهره‌برداری از شبکه‌ی فاضلاب، چاه‌های جذبی، نقش تغذیه‌کننده‌ی آبخوان را داشته و موجب بالاآمدگی آب زیرزمینی در این مناطق می‌شده‌اند؛ اما پس از آن، طبیعتاً بالاآمدگی آب زیرزمینی با نرخ کمتری رخ داده است؛ بنابراین «بالاآمدگی انتظاری بدون شبکه فاضلاب» (Expected groundwater rising without sewage network) تقریباً ۲/۷ متر است. حال با در نظرگرفتن بالاآمدگی انتظاری بدون شبکه و همچنین، افت انتظاری حاصل از وارد نشدن آب از سد دوستی به شهر، می‌توان افزایش سطح آب زیرزمینی حاصل از جمع جبری دو مورد فوق را به‌دست آورد که حدوداً در طی سال‌های ۹۴-۱۳۹۰ برابر با ۲/۱۷ متر است (شکل ۱۰ و جدول ۲). همچنین، مناطق مرکزی و جنوبی شهر به‌دلیل وجود بافت قدیمی و فرسوده‌ی شهری، شبکه فاضلاب ندارند و در نتیجه، بخش اعظم پساب توسط چاه‌های جذبی منطقه به آبخوان نفوذ می‌کند و علاوه بر اینکه منجر به آلودگی آب‌های زیرزمینی در این مناطق و مناطق اطراف می‌شود، افزایش سطح آب زیرزمینی را در این مناطق به دنبال دارد.

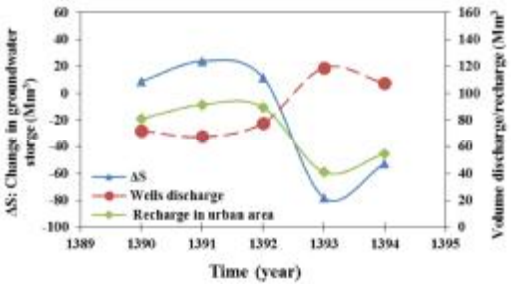
جدول ۲- نتایج محاسبات تغییرات زمانی مقادیر مشاهداتی و محاسباتی سطح آب حاصل از عوامل مختلف در آبخوان شهر مشهد

زمان (سال)	مساحت شهر (Km^2)	بالاآمدگی انتظاری بدون شبکه فاضلاب شهری (m)	افت محاسباتی حاصل پمپاژ چاه‌ها (m)	بالاآمدگی محاسباتی حاصل ورود آب سد دوستی (m)	افت انتظاری قطع ورودی از سد دوستی (m)	بالاآمدگی انتظاری بدون سد دوستی و بدون شبکه (m)
۱۳۸۲	۲۲۰	-	۰/۹۶۶	-	۰/۹۶۶	-
۱۳۸۳	۲۲۰/۴	-	۰/۹۶۱	-	۰/۹۶۱	-
۱۳۸۴	۲۲۰/۸۲	-	۰/۹۴۵	-	۰/۹۴۵	-
۱۳۸۵	۲۳۰	-	۰/۹۹۶	-	۰/۹۹۶	-
۱۳۸۶	۲۴۰	-	۰/۹۶۴	-	۰/۹۶۴	-
۱۳۸۷	۲۵۰	-	۰/۹۹۷	-	۰/۹۹۷	-
۱۳۸۸	۲۶۰	-	۰/۷۵۷	۰/۱۸۰	۰/۹۳۷	-
۱۳۸۹	۲۷۰	-	۰/۶۴۱	۰/۲۹۴	۰/۹۳۵	-
۱۳۹۰	۲۸۰	۱/۶۹۳	۰/۳۵۸	۰/۵۸۵	۰/۹۴۳	۱/۱۰۷
۱۳۹۱	۲۹۰	۲/۶۴۷	۰/۳۲۴	۰/۶۱۴	۰/۹۳۹	۲/۰۳۲
۱۳۹۲	۳۰۰	۲/۸۱۰	۰/۳۶۰	۰/۵۹۶	۰/۹۵۶	۲/۲۱۳
۱۳۹۳	۳۱۰	۳/۲۰۵	۰/۵۳۲	۰/۳۸۵	۰/۹۱۸	۲/۸۲۰
۱۳۹۴	۳۲۰	۲/۱۲۸	۰/۴۶۶	۰/۴۲۸	۰/۸۹۴	۲/۷۰۰
Average		۲/۷	۰/۷۱	۰/۴۴	۰/۹۵	۲/۱۸



شکل ۱۰- تغییرات زمانی افت محاسباتی، بالاآمدگی محاسباتی، بالاآمدگی انتظاری و بالاآمدگی حاصل از جمع جبری افت مجازی و بالاآمدگی انتظاری، در آبخوان شهر مشهد

برای محاسبه‌ی میزان تغییر در حجم سالانه‌ی آبخوان (ΔV)، به‌عنوان شاخصی از وضعیت سطح آب و نوسانات آن طی سال‌های ۹۴-۱۳۹۰، تغییرات میزان آب تخلیه از آبخوان و اختلاف بین میزان حجم آب ورودی از خارج حوزه به آبخوان و میزان پساب (جدول ۳) مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس نتایج به‌دست آمده، میزان ΔV در طول سال‌های ۹۲-۱۳۹۰ به‌دلیل انتقال آب سد دوستی (تغذیه به سفره) و عدم برداشت آب از برخی از چاه‌ها (تخلیه از سفره)، مثبت و بیشتر از صفر است؛ ولی در سال ۱۳۹۳ به‌دلیل بالاآمدگی سطح آب زیرزمینی، میزان تخلیه از سفره توسط چاه‌ها، بیشتر از میزان تغذیه به آن شده است؛ در نتیجه، ΔV کاهش یافته و منفی شده است. در حالیکه مجدداً از سال ۱۳۹۴ به‌دلیل کاهش برداشت آب از چاه‌ها و افزایش آورد آب از سد دوستی، میزان ΔV با روند کندتری رو به افزایش است (شکل ۱۲).



شکل ۱۲- تغییرات میزان آب تخلیه‌شده از آبخوان توسط چاه‌ها، اختلاف بین میزان حجم آب ورودی از خارج حوزه به آبخوان شهر و میزان پساب جمع‌آوری‌شده از شهر و اختلاف بین میزان تغذیه و تخلیه سفره آب زیرزمینی شهر مشهد (ΔV)

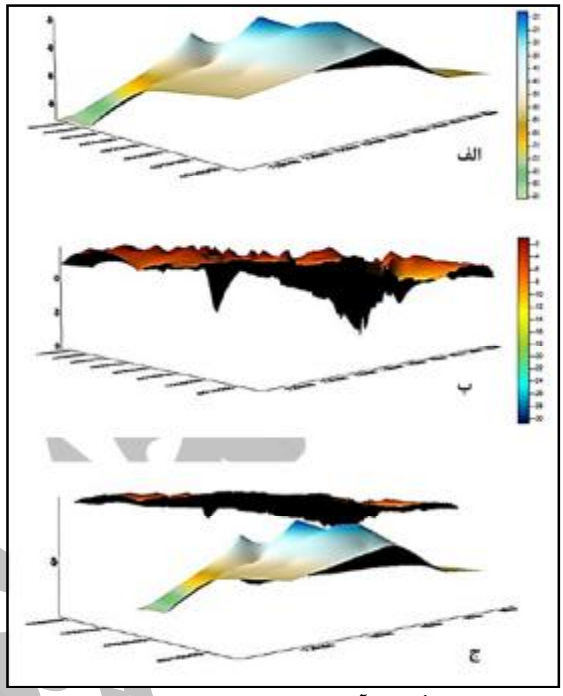
جدول ۳- تغییرات محاسباتی حجم ذخیره سالانه آبخوان شهر مشهد طی سال‌های ۹۴-۱۳۹۰

ΔV (Mm^3)	همه منابع تأمین آب به‌جز چاه‌ها- حجم پساب جمع‌آوری‌شده (Mm^3)	حجم آب خروجی از آبخوان توسط چاه‌ها (Mm^3)	مجموع ورودی‌های منابع تأمین آب شهر (Mm^3)	حجم پساب خروجی از شهر (Mm^3)	زمان (سال)
۸/۸	۱۰۲۳/۶۲۶	۷/۲۳	۱۳۰/۷۰	۴۹/۵۶	۱۳۹۰
۲۳/۹	۹۲/۴۴	۶/۷۷	۱۴۱/۵۱	۴۹/۸۵	۱۳۹۱
۱۱/۷	۸۹/۶۲	۷/۸	۱۴۰/۲۰	۵۰/۵۸	۱۳۹۲
-۷۷/۹	۴۰/۹۳	۱۱/۹	۱۰۰/۵۶	۵۹/۶۲	۱۳۹۳
-۵۲/۵	۵۴/۸۴	۱۰/۷۴	۱۱۴/۹۲	۶۰/۱	۱۳۹۴

تأثیر ساخت و ساز بر بالاآمدگی سطح آب زیرزمینی

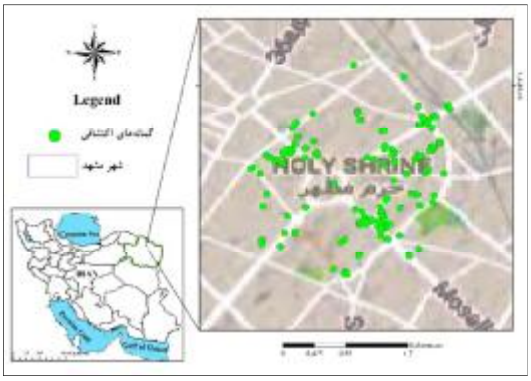
پروژه‌های شهری در اعماق ۹ تا ۲۰ متری، طی سال‌های ۹۵-۱۳۸۴ در محدوده‌ی مرکزی شهر مشهد انجام شده است. بررسی نقشه‌های سطح آب زیرزمینی در این منطقه نشان می‌دهد که قبل از سال ۱۳۸۸ آب زیرزمینی در اعماق بیش از ۳۲ متر قرار داشته است؛ ولی در سال‌های اخیر، آب به عمق ۱۳ تا ۲۷ متری رسیده است. تغییرات سطح ایستابی مربوط به چاه‌های مشاهده‌ای و ۱۷ چاه آب شرب غیرفعال واقع در منطقه، روند صعودی سطح آب زیرزمینی را به میزان ۲ تا ۳ متر در طی دوره‌ی زمانی مذکور به‌وضوح نشان می‌دهد. از این‌رو، سطح آب پس از کاهش تغذیه آبخوان و افزایش تخلیه‌ی آن، همچنان رو به افزایش است. بنابراین می‌توان به این نتیجه رسید که حفاری تونل خط ۲ مترو و تمرکز بالای پروژه‌های عمرانی با گودبرداری عمیق تا منطقه‌ی اشباع خاک در مرکز شهر (شکل ۱۳)، به‌صورت مستقیم بر جریان آب زیرزمینی در این مناطق تأثیر گذاشته است. همچنین، با توجه به اینکه جهت جریان آب زیرزمینی در منطقه، از سمت شمال‌غرب به سمت جنوب‌شرق است و تونل مترو نیز در منطقه اشباع و به‌صورت عمود بر مسیر جریان آب زیرزمینی در این منطقه حفر شده است؛ به‌عنوان مانعی در مقابل آن، باعث ایجاد اختلال در حرکت طبیعی آب شده و افزایش

سطح آب زیرزمینی را در این مناطق به دنبال داشته است؛ اما متأسفانه به‌دلیل نبود چاه مشاهده‌ای نزدیک به دو سمت خط مترو تأیید این موضوع امکان‌پذیر نیست.



شکل ۱۳- الف) عمق آب زیرزمینی مربوط به شهریور ۱۳۹۵، ب) عمق حفاری و گودبرداری‌های انجام شده در محدوده‌ی مرکزی شهر و ج) تلاقی هر دو پدیده

افزایش حفاری‌های عمیق، تغییراتی را در برخی از خصوصیات خاک مانند بافت، میزان رطوبت، نفوذپذیری و قابلیت انتقال ایجاد می‌کند؛ به‌طوری‌که با خارج‌کردن خاک از منطقه اشباع و غیراشباع، حجمی از منافذ خالی که قبل از انجام حفاری توسط آب و هوا پر می‌شده، اکنون از بین رفته است. چنانچه آب‌های سطحی، آب‌های ورودی از خارج حوزه و پساب به این مناطق وارد شوند؛ میزان حجم آب و رطوبت خاک، بیش از ظرفیت منافذ خالی آن می‌شود، در نتیجه، این میزان حجم باقیمانده آب و پساب به منطقه‌ی اشباع خاک وارد شده و منجر به افزایش سطح آب زیرزمینی می‌شود. به این منظور، پس از رسم نقشه‌ی عمق حفاری‌های انجام شده، حجم کل خاک‌برداری و مساحت منطقه موردنظر به‌دست آمد. همچنین، میزان تخلخل متوسط، چگالی ظاهری (ρd)، حجم کل خاک برداشت شده از منطقه (Vt)، حجم فضاهای خالی خاک (Vv)، حجم آب (Vw) و حجم رطوبت در خاک‌های خارج‌شده‌ی حاصل از گودبرداری (ω) برای هر گمانه محاسبه شد. موقعیت گمانه‌های مذکور در شکل ۱۴ ارائه شده است.



شکل ۱۴- موقعیت گمانه‌های حفاری‌شده برخی از پروژه‌های شهری

پس از رسم نقشه‌ی عمق حفاری‌های زیرزمینی، میزان حجم کل خاک تخلیه شده از محدوده‌ی موردنظر، حدوداً ۱/۵ میلیون مترمکعب برآورد شده است که با در نظرگرفتن مساحت محدوده‌ی گودبرداری شده (تقریباً ۷ کیلومترمربع) و با توجه به محاسبات انجام شده، حجم فضاهای خالی خاک‌ها، حجم رطوبت جای داده در آنها برآورد شده است. سپس با در نظرگرفتن ضریب ذخیره آبخوان (۰/۰۶)، میزان افزایش سطح آب زیرزمینی توسط حفاری‌ها در این مناطق به‌طور میانگین ۱/۲۵ متر محاسبه شده است (جدول ۵) که بررسی نقشه‌های تغییرات دو سالانه سطح آب زیرزمینی برای نزدیک‌ترین چاه مشاهده‌ای واقع در محدوده (P6) میزان فوق را تأیید می‌کند.

جدول ۵- میانگین میزان بالاآمدگی محاسباتی سطح ایستابی به‌دلیل حفاری و گودبرداری پروژه‌های شهری

میزان بالاآمدگی (m)	حجم رطوبت در خاک‌های خالی شده از منطقه	حجم فضاهای خالی (m^3)	Vv	Vt	ρd	Ww
۱/۲۵	۲۳۶۱۹۴/۸	۱۲۷۹۰۲۱	۰/۹۴	۱/۱	۱/۴۹	۰/۱۷۳

نتیجه‌گیری

بر اساس محاسبات سری‌های زمانی در دو قلمروی زمان و فرکانس، از یک سو، بارش به‌دلیل وجود سطوح نفوذناپذیر شهری و در نتیجه نفوذ نکردن کامل آب به زمین و همچنین، زمان‌بر بودن عبور آب‌های نفوذی از محدوده‌ی زون غیراشباع و پیوستن آن به سفره‌ی آب زیرزمینی در منطقه و از سوی دیگر، عدم تبخیر به‌دلیل عمق بیش از ۵ متر سطح آب زیرزمینی در منطقه، تأثیر ملموسی بر نوسانات سطح آب زیرزمینی این مناطق نداشته‌اند. گسترش سالانه‌ی شبکه‌ی فاضلاب و جمع‌آوری پساب با تأخیر زمانی ۱ تا ۲ ماهه، تأثیر بسزایی در کاهش سطح آب در مناطق دارای پوشش شبکه داشته‌اند؛ در حالیکه در مناطق فاقد پوشش شبکه به‌دلیل نفوذ پساب از چاه‌های جذبی به آب زیرزمینی، افزایش هرچه بیشتر سطح آب را در این مناطق به دنبال داشته است. ورود بیش از ۸۰۰ میلیون مترمکعب آب از خارج حوزه از سال ۱۳۸۸ تاکنون (از سد دوستی) و تقلیل بیش از ۴۰ درصدی در بهره‌برداری از آبخوان شهر توسط چاه‌ها طی این مدت با تأخیر زمانی ۱ تا ۲ماهه، تأثیرگذارترین عامل بر افزایش سطح آب زیرزمینی در مناطق مرکزی شهر محسوب می‌شود. همچنین، توسعه نیافتن شبکه‌ی فاضلاب در مناطق جنوبی و برخی از نقاط مرکزی شهر مشهد، باعث افزایش سطح آب زیرزمینی در این مناطق شده است. علاوه بر این موارد، خارج کردن خاک از محیط اشباع و غیراشباع، طی حفاری تونل خط ۲ قطار شهری و افزایش گودبرداری و ساخت پروژه‌های عمرانی در محدوده‌ی مرکزی شهر و به‌خصوص اطراف حرم مطهر امام رضا (ع)، باعث شده که فضاهای خالی درون خاک که قبلاً توسط آب و رطوبت اشباع می‌شده است، از بین رفته و مواد نفوذناپذیر جایگزین آن شود. میزان افزایش سطح آب زیرزمینی به‌دلیل حفاری‌های انجام شده در این مناطق به‌طور میانگین ۱/۲۵ متر است. البته این عامل در کل می‌تواند بسته به نوع شرایط بیلان حاکم بر آبخوان، موجب تشدید افزایش یا کاهش سطح آب زیرزمینی (افزایش دامنه‌ی نوسانات سطح آب) شود.

منابع

۱. آقانباتی ع. ۱۳۸۳. زمین‌شناسی ایران. وزارت صنعت و معدن و تجارت سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور. ۶۴۰ ص.

۲. ترابی‌حکم‌آباد ف. ۱۳۹۳. بررسی بالاآمدگی سطح آب زیرزمینی و اثرات آن در مرکز شهر مشهد. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد. دانشگاه فردوسی مشهد. ۱۴۲ ص.

۳. تندیسه ز. حافظی‌مقدس ن. کرمی غ. و جعفری ه. ۱۳۹۲. پیش‌بینی تأثیر اجرای طرح فاضلاب بر سطح آب زیرزمینی مطالعه موردی: آبخوان شهر مشهد. هشتمین همایش انجمن زمین‌شناسی مهندسی و محیط‌زیست ایران. تهران، ۸ ص.

۴. حسن‌پور ن. عباس‌نژاد ا. دادالاهی ح. قاسمی‌پور افشار ی. ۱۳۹۰. بررسی اثر بالا آمدن سطح آب زیرزمینی شهر کرمان بر کیفیت آبخوان شهر. پنجمین همایش ملی و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط‌زیست. تهران، ۸ ص.

۵. شرکت سهامی آب منطقه‌ای خراسان رضوی. ۱۳۹۱. مطالعات آب سطحی و روانآب شهر مشهد.

۶. شرکت سهامی آب منطقه‌ای خراسان رضوی. ۱۳۹۵. فایل اطلاعاتی.

۷. طاهری ترشیزی ج. و قائمی ف. ۱۳۷۲. نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ دشت مشهد. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور. تهران.

۸. قندهاری الف. گرد نوشهری الف. براتی ر. و حسنی. خ. ۱۳۹۳. بالاآمدگی موضعی سطح آب زیرزمینی کلان‌شهرها. فرصت‌ها و چالش‌ها (مطالعه موردی: شهر مشهد). نشریه آب و توسعه پایدار. ۱(۲): ۷۵-۸۲.

۹. کرمی ر. لشکری‌پور غ. ر. غفوری م. حافظی‌مقدس ن. ۱۳۹۲. بررسی علل افزایش سطح ایستابی در منطقه بهبهان (مطالعه موردی: آبگرفتی معدن مارن کارخانه سیمان- بهبهان). مجله زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته. ۶-۲۲.

۱۰. کریمی‌پور ا. رخشنده‌رو غ. و بنی‌طالبی دهکردی گ. ۱۳۹۱. ارزیابی استفاده از سامانه زهکشی به منظور پایین انداختن سفره آب زیرزمینی دشت

شیراز با استفاده از مدل PMWIN". آب و فاضلاب. ۲. ۲۳-۳۶.

۱۱.کلانتری ن. و رحیمی م. ح. ۱۳۹۱. بررسی تأثیر کمی سد کرخه بر آبخوان دشت آوان دزفول استان خوزستان. تحقیقات منابع آب ایران. ۸(۱). ۱۵-۳۰.

۱۲.مژگانی‌فر ن. ۱۳۸۹. بررسی علل بالا آمدن سطح آب زیرزمینی شهر کرمان با استفاده از نرم‌افزار MODFLOW. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد. دانشگاه شهید باهنر کرمان. ۱۴۵ ص.

۱۳.میرزائی م. مرشدی ج. و عظیمی ف. ۱۳۹۴. اثر سد کرخه در افزایش سطح آب زیرزمینی دشت سرخه با استفاده از روش زمین‌آمار کریجینگ. نخستین همایش ملی کاربرد مدل‌های پیشرفته تحلیل فضایی (سنجش از دور و GIS) در آمایش سرزمین. ۱۶۲ ص.

14. Al-Senafya M. Hadia K. Fadlelmawlaa A. Al-Fahada K. Al-Khalida A. and Bhandarya H. 2015. Causes of Groundwater Rise at Al-Qurain Residential Area. Kuwait"Procedia Environmental Sciences. 25: 4-10.
15. Bob M. Rahman N. Elamin A. and Taher S. 2015. Rising Groundwater Levels Problem in Urban Areas: A Case Study from the Central Area of Madinah City. Saudi Arabia. Civil Engineering.
16. Celik R. 2015. Temporal changes in the groundwater level in the Upper Tigris Basin. Turkey. determined by a GIS technique. Journal of African Earth Sciences.
17. Dawoud M. A. El Arabi N. E. Khater A. R. and Wonderen J. 2006. Impact of rehabilitation of Assiut barrage. Nile River on groundwater rise in urban area. Journal of African Earth Sciences. 45: 395-407.
18. Hurst C. W. and Wilkinson W. B. 2015. Rising groundwater levels in cities. Groundwater in Engeineering Geology. 1986: 75-80.
19. Makovetsky.O. 2006. Geotechnicalproblems in urban terrains.
20. Selim1 S. A. Hamdan1 A. M. and Rady A. 2014. Groundwater Rising as Environmental Problem, Causes and Solutions: Case Study from Aswan City. Upper Egypt. Open Journal of Geology. 4: 324-341.

Factors affecting on the groundwater uplift in the Mashhad city, Iran

Z. Rajabian moghaddam[5], R. Jahanshahi[6*], N. Asadi[7] and V. Behzadifar[8]

Extended Abstract

In recent years, rising water table has been reported in many cities of the world. Therefore, water table fluctuations in these areas can affect structures. Mashhad city is one of the major metropolises in Iran and due to indigenous population and tourists, it needs various resources to supply water. The city's water needs are supplied from the Mashhad aquifer, Dousti dam and other catchment areas. The water table uplift in Mashhad city has been made problem for commercial and residential complexes with a depth of more than 20 meters of excavation and groundwater penetrates to buildings basement. In addition, the existence of groundwater during the excavation in the second metro tunnel has been created serious problems. The lack of full development of drainage systems and municipal sewage networks have led to an increase in rising groundwater levels in some parts of the city. Also, the development of urbanization and the ever-increasing depth of soil excavation in urban areas may be affected on the ground water situation. Therefore, approach of this research is to assess the major factors effecting on the groundwater uplift in Mashhad city. In order to determine the relationship of these factors with water table fluctuations, time series analysis was used in both time and frequency domains.

According to the groundwater hydrograph, a decreasing trend are observed during the years 2005-2009. While, from 2009 to 2014, these fluctuations followed the uptrend. Time series analysis show rainfall and evaporation did not have a tangible impact on the fluctuations in groundwater levels in these areas, due to existence of impermeable surface in the city, low infiltration of rainfall in the soil and water table depth more than 5m. The annual expansion of the sewage network and the transfer of wastewater collected to wastewater treatment plants with a lag tome 1 to 2 months have a significant effect on reducing the water table in areas with sewage network; While in areas without sewage network, due to the penetration of water from septic wells into ground water, water table has been increased in these areas. The arrival of more than 800 million cubic meters of water from the Dousti dam and reduction of more than 40 percent of discharged groundwater in Mashahd aquifer with lag time 1 to 2 months, are the most influential factors in groundwater uplift. The lack of development of sewage networks in the southern regions and some parts of central Mashhad city has led to an increase in groundwater levels in these areas. Due to the extraction of soil from saturated and unsaturated zones during the drilling of the 2nd line of metro and the development of excavation and construction of civil engineering projects in the city's central area, especially around the Imam Reza's holy shrine, soil porosity has been decreased. This porosity was

5- M.Sc of Hydrogeology, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran.
6- Assistant Professor, Department of Geology, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran.
7- Assistant Professor, Department of Geology, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran.
8- M.Sc of Hydrogeology, Toossab Consulting Engineers Company, Mashhad, Iran.
*** Corresponding Author: jahanshahireza@science.usb.ac.ir**
Received: 2018/02/09 Accepted: 2018/12/13

previously filled with water. While they are now occupied by impenetrable materials. Therefore, the water has been forced to migrate to other places.
The aim of this research is to assess the major factors affecting on the groundwater uplift in Mashhad city, Iran. In order to determine the relationship of these factors with water table fluctuations, time series analysis was used in both time and frequency domains. Results show lag times between water table with rainfall/evaporation, transferred water (Dousti Dam) to the town, discharged water from aquifer, expansion of sewage network in region with network and region without network were 9, 2-3, 3-4, 1-2, 3-4, 2-3 and 3-4 months respectively. In this study a calculated drawdown by exploitation from aquifer equals 0.5 m, the calculated rising equals 0.44 m due to transferred water from Dousti Dam, the expected groundwater rising equals 2.7 m in region without sewage network and an expected drawdown equals 1 m (if no water was transferred from Dousti dam). Also, effects of soil excavation in line 2 of subway and urban foundation digging on the groundwater and soil properties were studied. Results show that the water storage capacity in saturated/unsaturated zones have been reduced and water table raised about 1.25 m in the town aquifer.

Keywords: Dousti dam, Digging effect, Sewage collection network, Time series analysis.

Citation: Rajabian moghaddam Z. Jahanshahi R. Asadi N. and Behzadifar V. 2020. Factors affecting on the groundwater uplift in the Mashhad city, Iran. Iranian Water Research Journal. 36: ??-??.