

بررسی زمان تأخیر واکنش آب زیرزمینی به حجم آب انتقالی خارج از حوضه (مطالعه موردی: انتقال آب از سد دوستی به شهر مقدس مشهد)

سید حسین شمس‌زاده^۱، رضا براتی^{۲*}، امیر گرد نوشهری^۳، مریم فخاری^۴

- ۱- کارشناس ارشد مهندس منابع آب، رئیس گروه آمار، شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی، مشهد، ایران.
۲- دکتری مهندسی عمران، عضو کمیته تحقیقات کاربردی و کارشناس گروه مطالعات آب‌های زیرزمینی، شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی، مشهد، ایران.
۳- دکتری آبیاری و زهکشی، کارشناس منابع آب گروه تلفیق و بیلان، شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی، مشهد، ایران.
۴- کارشناس ارشد زمین‌شناسی، کارشناس منابع آب گروه تلفیق و بیلان، شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی، مشهد، ایران.
* نویسنده مسئول: r88barati@gmail.com

چکیده

با توسعه شهرها و افزایش جمعیت مناطق و تأمین آب مورد نیاز از خارج حوضه، افزایش سطح آب زیرزمینی رخ می‌دهد. در 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 و به دنبال آن تغذیه از آب برگشتی در وسعت محدودی از آبخوان (سطح شهر مشهد)، افزایش تراز سطح آب زیرزمینی را در پی داشته است. در این مطالعه به منظور بررسی زمان تأخیر واکنش آب زیرزمینی که تعیین آن کمک شایانی به مدیریت انتقال آب از حوزه‌های مجاور و کنترل بالآمدگی سطح آب ناشی از آن خواهد نمود، آمار حجم آب ورودی از سد دوستی و آمار سطح آب پیژومتر راه آهن به عنوان شاخص تغییرات سطح آب در شهر مشهد از فروردین ۹۱ لغایت اسفند ۹۴ جمع‌آوری شده است، سپس از تحلیل رگرسیونی استفاده شده است. نتایج حاکی از وجود تأخیر زمانی ۴ ماهه در ظهور اثرات حجم آب ورودی به آبخوان از طریق بالآمدگی سطح آب آن می‌باشد.

کلمات کلیدی: انتقال آب بین حوضه‌ای، بالا آمدگی سطح آب زیرزمینی، رگرسیون، تأخیر زمانی

مقدمه

شهرسازی بعد از کشاورزی، مهمترین عامل تأثیرگذار 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, 2003). شهرها سطح وسیعی از قاره‌ها را پوشش می‌دهند. تبدیل زمین‌های طبیعی، کشاورزی و سایر مراکز کم جمعیت به شهرها یا مناطق شهری موجب تغییر خصوصیات هیدرولوژی آن ناحیه می‌شود (Sharp, 2010). به طور کلی شهرسازی با نفوذ ناپذیر کردن سطح زمین باعث کاهش تغذیه آب زیرزمینی از طریق باران می‌شود. با این حال شهرسازی باعث ایجاد منابع جدید تغذیه نظیر نشت از شبکه توزیع آب شرب و شبکه جمع آوری فاضلاب، نشت از شبکه جمع آوری رواناب سطحی و آب برگشتی از آبیاری فضای سبز می‌شود (Foster et al., 1998). 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, 2008; Ghandehary, 2014).

با شروع توسعه شهری، تراز آب زیرزمینی در اثر برداشت آب زیرزمینی برای مصارف خانگی و صنعتی دچار افت می‌شود. اما در ادامه تراز آب زیرزمینی آبخوان به علل مختلف از جمله ورود آب به شهر از حوضه‌های مجاور، دچار بالآمدگی خصوصاً به صورت موضعی می‌شود. در این مرحله نشت از شبکه توزیع آب و همچنین نفوذ فاضلاب باعث بالآمدن تراز آب زیرزمینی در محدوده شهری می‌شود (Takizawa, 2008). این موضوع می‌تواند منجر به مشکلات مختلفی در ارتباط با مدیریت شهری از جمله نیاز به خشک اندازی برای ساخت و سازها، ورود آب به منازل مسکونی، هتل‌ها و ساختمان‌های با گوده‌های عمق و تنش ناشی از نوسانات سطح آب زیرزمینی شود.

(Whitesides et al., 1983) در بررسی مشکلات ناشی از بالآمدگی آب زیرزمینی در شهر لوئیس ویل واقع در ایالت کنتاکی در ایالات متحده آمریکا بیان داشتند: این پدیده در شهرهایی نظیر سن برناندینو در ایالت کالیفرنیا،

گرلی و فورت کولینز در ایالت کلرادو، نواحی بروکلین و کوئینز در نیویورک رخ داده است. در این پژوهش دلایل افزایش تراز آب زیرزمینی در آبخوان آبرفتی زیر شهر لوئیس ویل در سال ۱۹۷۰ به وقوع ترسالی و کاهش برداشت آب زیرزمینی نسبت داده شده است. (George, 1992) تجارب خود را که در طی انجام چندین پروژه و مطالعه بالآمدگی آب زیرزمینی در خاورمیانه به دست آمده، ارائه داد. هدف وی بیان علل و مشکلات مربوط به بالآمدگی آب زیرزمینی و ارائه ملاحظات و پیشنهادات مناسب برای رویارویی با این پدیده است. در این مطالعه مشکلات بالآمدگی آب زیرزمینی در کویت (شهر کویت)، قطر (دوحه)، مصر (قاهره) و عربستان سعودی (ریاض، جده، جیزان، تبوک و مدینه) گزارش شده است. (Rushton Al-Othman, 1996) مشکلات بالآمدن آب زیرزمینی ریاض در عربستان سعودی را گزارش کردند. تغذیه مازاد در ریاض موجب آبگرفتگی زیرگذرها و در نتیجه مرگ بسیاری از گیاهان زینتی شده است. (Al-Sefry and Şen, 2006) به مطالعه مشکلات و ارزیابی ریسک بالآمدگی آب زیرزمینی شهر جده عربستان پرداختند. در این مطالعه بر اساس ثبت تراز آب ۱۱۸ حلقه چاه بین سالهای ۱۹۹۶ تا ۲۰۰۰ نشان می‌دهد که به طور متوسط تراز آب زیرزمینی در داخل شهر ۰/۴۱ متر (به طور متوسط ۰/۱۰ متر در سال) افزایش یافته است. (Frumkin and Gvirtzman, 2006) با بررسی آمار چهار ساله ۶۸ چاه کم عمق جدید به بررسی بالا آمدگی آب زیرزمینی گرم و شور در یک منطقه سازند سخت واقع در فلسطین اشغالی پرداختند. مشاهدات میدانی نشان داد که در فصل‌های پر بارش حداکثر سطح آب قابل مشاهده است. (Sharp, 2010) اثرات شهرسازی بر سیستم‌های آب زیرزمینی و تغذیه را تشریح کرده و توصیه می‌کند که باید در طراحی شهری اثرات شهرسازی بر سیستم‌های آب زیرزمینی از منظر ژئوتکنیکی، زیست محیطی و منابع آبی مد نظر قرار گیرد. (Al-Othman and Ahmed, 2012) به مطالعه بالآمدگی سطح آب زیرزمینی در شهر ریاض عربستان پرداختند. آنها اشاره نمودند که کمبود ظرفیت سیستم انتقال آب مازاد و فاضلاب این شهر از عوامل مهم بروز مشکل می‌باشد. به منظور کاهش اثرات این بالآمدگی

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 قسمت‌هایی از این شهر بالا آمده است.

در دشت مشهد انتقال بیش از ۶۰۰ میلیون متر مکعب آب از سد دوستی به شهر مشهد از مهر ماه ۱۳۸۸ تا مهر ماه ۱۳۹۵ و به طور همزمان عدم برداشت آب در برخی از چاه‌های سطح شهر منجر به افزایش سطح آب زیرزمینی خصوصاً در مناطق با تمرکز بالای جمعیتی و فاقد سیستم کامل جمع‌آوری فاضلاب شده است. در این مطالعه برای نخستین بار به منظور بررسی زمان تأخیر واکنش آب زیرزمینی سطح آب زیرزمینی آبخوان آبرفتی شهر مشهد نسبت به حجم ورودی آب از سد دوستی، آمار حجم آب ورودی از سد دوستی و آمار سطح آب پیزومتر میدان راه آهن به عنوان شاخص تغییرات سطح آب در شهر مشهد از فروردین ۹۱ لغایت اسفند ۹۴ جمع‌آوری شده است. در ادامه بررسی زمان تأخیر با استفاده از تحلیل‌های آماری و رگرسیونی انجام شده است. زمان تأخیر اثرگذاری آب انتقالی از خارج حوضه می‌تواند عامل مهمی در مدیریت آب بالا آمده و کنترل اثرات نامطلوب آن باشد.

منطقه مورد مطالعه

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. وسعت محدوده مطالعاتی مشهد-چناران ۹۹۵۷ کیلومتر مربع و وسعت آبخوان آن ۲۵۲۷ کیلومتر مربع می‌باشد و زهکش اصلی آن رودخانه کشف رود است که در قسمت شمالی شهر واقع شده است. 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. موقعیت قرارگیری شهر مشهد در دشت مشهد-چناران در شکل ۱ نشان داده شده است. بررسی نقشه‌های توپوگرافی نشان می‌دهند که پست‌ترین قسمت شهر با ارتفاع ۹۲۰ متر در شمال شرقی شهر و مرتفع‌ترین بخش آن با ۱۳۴۰ متر در

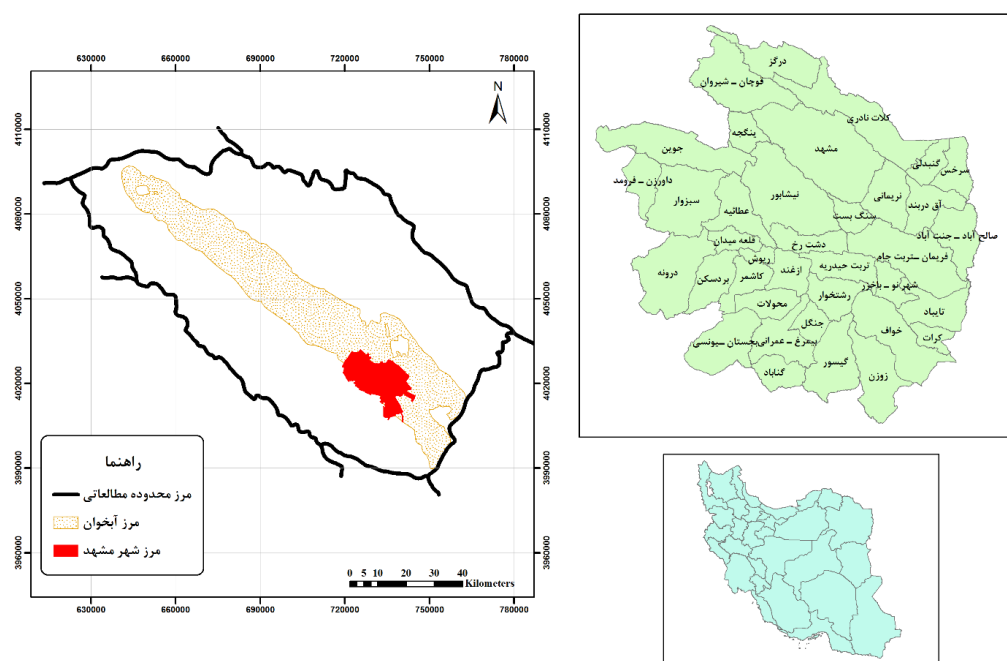
سیستم ثقلی زهکشی در شهر اجرا شد که تا حدود زیادی موثر واقع شد با این حال در سال‌های اخیر قسمت شرقی شهر دچار بالآمدگی آب به صورت موضعی شده است. علت اصلی بالآمدگی آب زیرزمینی در منطقه شرقی به حضور لایه ضخیم رسی که منجر به کاهش هدایت هیدرودینامیکی می‌شود و حرکت قائم آب را افزایش می‌دهد، نسبت داده شد. (Selim et al., 2014) بالآمدگی تراز آب زیرزمینی آبخوان کواترنری شهر اسوان در مصر را مورد مطالعه قرار دادند. 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 قابل مشاهده است. نتایج بررسی‌های آنها نشان داد، بالآمدگی آب زیرزمینی که در ۲۰۱۰ اتفاق افتاده است، مستقیماً به توقف پمپاژ آب زیرزمینی از چاه‌های الشلال و کاهش پمپاژ از چاه‌های کارخانه کیما ارتباط دارد.

در ایران اولین رخداد بالآمدگی آب زیرزمینی در دهه ۵۰ با ورود آب به منازل جنوب شهر تهران مشاهده گردید که برای کنترل آن نسبت به حفاری چاه و تخصیص آن به مصارف مختلف اقدام گردید و این حفاری‌ها در دهه ۸۰ نیز ادامه پیدا کرد. در حال حاضر با پایین رفتن سطح آب زیرزمینی به علت توسعه شبکه جمع‌آوری 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. (Mohammadi et al., 2012) به بررسی تغییرات مکانی و زمانی سطح آب زیرزمینی دشت کرمان با استفاده از داده‌های دوره آماری ۱۰ ساله (۱۳۸۵-۱۳۷۵) پرداختند. نتایج بدست آمده از پهنه‌بندی زمانی و مکانی، حکایت از افت سطح آب زیرزمینی (حداکثر به میزان ۳۲ متر) در بیشتر نقاط دشت دارد. با این حال بررسی نتایج نشان‌دهنده بالآمدگی آب در محدوده شهر کرمان، حداکثر معادل ۷ متر بوده است. بررسی (Moghianifer and Rahnam, 2009) بیانگر آن است که پایین رفتن آب زیرزمینی در چاله اختیارآباد و افت سطح آب زیرزمینی در این منطقه با بالآمدن سطح آب زیرزمینی در بافت قدیم شهر کرمان مرتبط می‌باشد. همچنین پیش‌بینی شد که

(Felfelani and Kerachian, 2016) در مقاطع زمانی کوتاه در مناسبت‌های ملی و مذهبی (حدود ۲۰ میلیون نفر) علاوه بر داشتن جمعیت ثابت فوق‌الذکر می‌باشد. این مسأله در کنار مشکلاتی چون وضعیت اقلیمی و کاهش نزولات جوی که به تبع آن کمبود منابع و محدودیت‌های تأمین آب را منجر می‌شود، باعث شده که توجه ویژه‌ای به مسائل و مشکلات مرتبط با مدیریت منابع آب در این شهر گردد.

جنوب غربی واقع شده است و ارتفاع متوسط شهر در حدود ۹۸۰ متر است.

بر اساس اطلاعات سرشماری‌های نفوس و مسکن سال ۱۳۹۵، جمعیت شهر مقدس مشهد ۳،۳۷۲،۶۶۰ نفر بوده است و پس از تهران دومین شهر پر جمعیت کشور به شمار می‌رود. از ویژگی‌های خاص شهر مشهد در مقایسه با دیگر شهرهای کشور، حضور میلیون‌ها زائر به صورت سالانه



شکل ۱. موقعیت شهر مشهد در محدوده مطالعاتی مشهد-چناران، در استان خراسان رضوی و کشور

Figure 1. Location of Mashhad city in the study area of Mashhad-Chenaran, in Razavi Khorasan province and country

سال‌های ۱۳۹۰، ۱۳۹۱ و ۱۳۹۲ به ترتیب در حدود ۱۹۸، ۲۰۷ و ۲۱۸ میلیون متر مکعب آب در داخل شهر مصرف شده است، که به ترتیب ۱۱۸، ۱۲۸/۴ و ۱۲۸/۸ میلیون متر مکعب از این آب از طریق سد دوستی تأمین شده است.

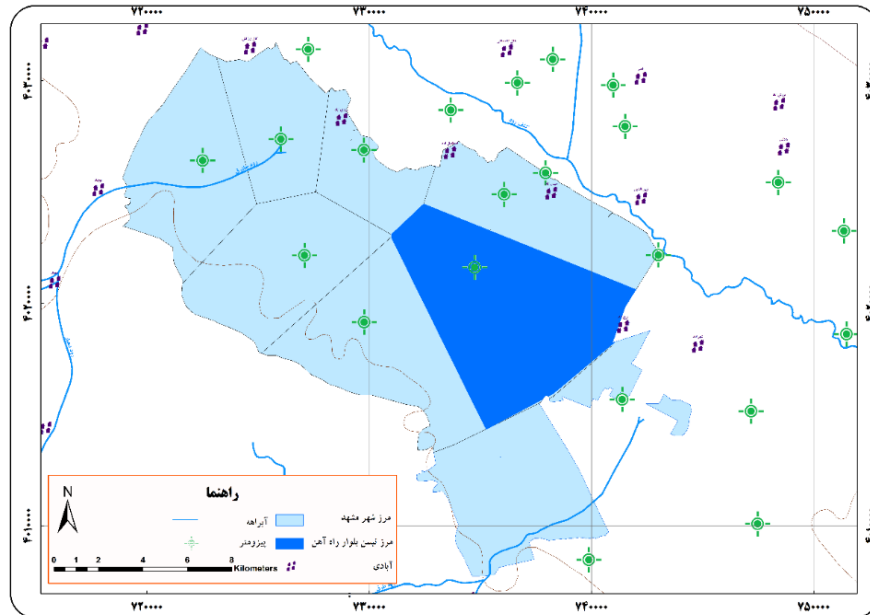
جمع‌آوری داده‌ها

به منظور بررسی زمان تأخیر واکنش آب زیرزمینی سطح شهر مشهد نسبت به حجم ورودی آب از سد دوستی، آمار حجم آب ورودی از سد دوستی و آمار سطح آب چاه مشاهده‌ای راه آهن به عنوان شاخص تغییرات سطح آب در شهر مشهد از فروردین ۹۱ لغایت اسفند ۹۴ جمع‌آوری شده

بر اساس آمار آخرین آمار برداری سراسری منابع آب در سال ۱۳۸۷، میزان مصرف آب شرب در شهر مشهد در حدود ۱۹۲ میلیون متر مکعب در سال می‌باشد که از این مقدار در حدود ۱۴۲ میلیون متر مکعب توسط چاه‌ها، ۴۴ میلیون متر مکعب توسط آب‌های سطحی و ۷ میلیون متر مکعب توسط چشمه‌ها و قنوت تأمین شده است. همچنین حجم مصرف فضای سبز حدود ۲۵ میلیون متر مکعب آب در سال می‌باشد که ۸۴ درصد آن از چاه‌ها و ۱۶ درصد آن از آب شرب شهری تأمین می‌شود. با این حال در طی سال‌های اخیر و بعد از آخرین آمار برداری سراسری، بیشتر حجم آب شرب مصرفی از طریق سد دوستی تأمین شده است. در طی

تیسین چاه مشاهده‌ای راه آهن ۵۸/۶۶ کیلومتر مربع از کل تیسین ۲۴۴/۳۶ را شامل می‌شود. همچنین در جهت نشان دادن وقوع پدیده بالآمدگی و شدت آن در نقاط مختلف شهر آمار بلندمدت سطح آب چاه‌های مشاهده‌ای مذکور استفاده شده است.

است. مساحت تیسین کل محدوده مطالعاتی ۲۲۲۲ کیلومتر مربع و متوسط مساحت تیسین هر چاه مشاهده‌ای ۳۲ کیلومتر مربع می‌باشد. در شکل ۲ برای محدوده شهری مشهد و ۷ حلقه چاه مشاهده‌ای (بلوار راه آهن، خواجه ربیع، بحرآباد، اراضی قاسم آباد، قاسم آباد، دانشگاه-پارک ملت و بلوار تلوئیون) واقع در آن تیسین رسم گردید که مساحت



شکل ۲. نقشه تیسین شهر مشهد و محدوده چاه مشاهده ای بلوار راه آهن

Figure 2. Thiessen polygon of Mashhad city and illustration of the railway boulevard observation well

تعیین همبستگی دو متغیر است. ضریب همبستگی شدت رابطه و همچنین نوع رابطه (مستقیم یا معکوس) را نشان می‌دهد. این ضریب بین ۱ تا -۱ است و در عدم وجود رابطه بین دو متغیر، برابر صفر است. همبستگی بین دو متغیر تصادفی X و Y به صورت رابطه (۱) تعریف می‌شود:

$$(1) \quad \text{corr}(X, Y) = \frac{\text{cov}(X, Y)}{\sigma_X \sigma_Y} = \frac{E[(X - \mu_X)(Y - \mu_Y)]}{\sigma_X \sigma_Y}$$

که در آن E عملگر امید ریاضی، cov نشان دهنده کوواریانس، corr نماد معمول برای همبستگی (کوریولیشن) پیرسون، و σ نمایانگر انحراف معیار است.

امید ریاضی: در نظریه احتمالات؛ امید ریاضی، میانگین، مقدار مورد انتظار یا ارزش مورد انتظار یک متغیر تصادفی

روش تجزیه و تحلیل داده‌ها

برای بررسی تحلیل‌های آماری مطالعه حاضر و مشخص کردن تأخیر واکنش سطح آب زیرزمینی نسبت به حجم ورودی آب خارج از حوضه، از نرم‌افزار آماری SPSS و قابلیت‌های آن در تحلیل داده‌ها استفاده شده است. در این نرم افزار برای بررسی وابستگی چند پارامتر به یکدیگر چندین آماره در دسترس می‌باشد که در ادامه به طور مختصر معرفی می‌گردند.

ضریب همبستگی: ضریب همبستگی^۱ ابزاری آماری برای تعیین نوع و درجه رابطه یک متغیر کمی با متغیر کمی دیگر است. ضریب همبستگی، یکی از معیارهای مورد استفاده در

¹ Correlation Coefficient

شروع دوره بالآمدگی را سال ۱۳۸۶ مد نظر قرار داد که بررسی‌های آماری نیز این موضوع را نشان داده است.

جدول ۱. راهنما برای تفسیر مقادیر ضرایب همبستگی
Table 1. Guide for correlation coefficient values

ضریب همبستگی Correlation coefficient	تفسیر Description
۰/۰۰-۰/۱۹	خیلی اندک و قابل چشم پوشی Very small and negligible
۰/۲۰-۰/۳۹	خیلی اندک تا اندک Very small and small
۰/۴۰-۰/۶۹	متوسط Medium
۰/۷۰-۰/۸۹	زیاد High
۰/۹۰-۱/۰۰	خیلی زیاد Very high

سطح آب از سطح زمین در ابتدای دوره برای ۷ حلقه چاه مشاهده‌ای سطح شهر بلوار راه آهن، خواجه ربیع، بحرآباد، اراضی قاسم آباد، قاسم آباد، دانشگاه-پارک ملت و بلوار تلویزیون به ترتیب به صورت ۳۵/۱۷، ۲۵/۶۵، ۶۶/۳۶، ۹۰/۹۷، ۱۱۴/۴۵، ۵۶/۰۲ و ۵۰/۷۱ متر می‌باشد. مقادیر سطح آب برای انتهای دوره به ترتیب به صورت ۲۳/۵۴، ۱۸/۴۱، ۶۱/۷۰، ۸۷/۶۸، ۱۱۲/۸۸، ۵۲/۱۷ و ۴۶/۱۰ متر است. نقشه هم عمق اختلاف سطح آب ابتدا و انتهای دوره در شکل ۳ نشان داده شده است. همانطور که در این شکل قابل مشاهده است، سطح آب زیرزمینی داخل شهر مشهد به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش یافته است. بیشتر این افزایش در محدوده چاه مشاهده‌ای راه آهن در حدود ۱۱/۶۳ متر و کمترین افزایش در محدوده چاه مشاهده‌ای قاسم‌آباد در حدود ۱/۵۷ متر است. به این ترتیب می‌توان نتیجه گرفت که: (۱) وقوع پدیده بالآمدگی در سطح شهر مشهد قابل مشاهده است و (۲) چاه مشاهده‌ای راه آهن به عنوان نماینده منطقه برای بررسی و تحلیل روند تغییرات سطح آب مناسب می‌باشد.

گسسته برابر است با مجموع حاصل ضرب احتمال وقوع هر یک از حالات ممکن در مقدار آن حالت. در نتیجه میانگین برابر است با مقداری که بطور متوسط از یک فرآیند تصادفی با بی‌نهایت تکرار انتظار می‌رود.

کواریانس یا هم‌وردایی^۱: در نظریه احتمالات، اندازه تغییرات هماهنگ دو متغیر تصادفی است. به این ترتیب اگر دو متغیر یکی باشند، کواریانس برابر واریانس خواهد شد. چنانکه دو متغیر تصادفی نوابسته باشند کواریانس آنها صفر خواهد بود.

ضریب همبستگی پیرسون^۲: روشی پارامتری است و برای داده‌هایی با توزیع نرمال یا تعداد داده‌های زیاد استفاده می‌شود. در صورتی که تعداد داده‌ها کم و فرض نرمال بودن آنها معقول نباشد، از ضریب همبستگی اسپیرمن استفاده می‌شود.

انحراف معیار^۳: نوعی سنجش پراکندگی برای یک توزیع احتمالی یا متغیر تصادفی است و نماینده پخش‌شدگی مقادیر آن حول مقدار میانگین است.

براساس یک قاعده کلی و با در نظر گرفتن جدول ۱ می‌توان درباره میزان همبستگی متغیرها قضاوت کرد. همین تفسیر برای مقادیر منفی نیز قابل استفاده می‌باشد. شایان ذکر است که این مقادیر یک قانون ثابت نیستند و به صورت تجربی بدست آمده‌اند.

نتایج و بحث

بررسی وقوع پدیده بالآمدگی و دلایل آن

به منظور بررسی وقوع پدیده بالآمدگی سطح آب زیرزمینی در سطح شهر مشهد آمار ۷ پیزومتر واقع در سطح شهر مد نظر قرار گرفته شده است. اختلاف سطح آب در دو دوره دی ماه ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۲ مد نظر قرار گرفته شده است. در سال ۱۳۸۶ با راه اندازی سد دوستی قسمت عمده تأمین آب شرب شهر مشهد از طریق خط انتقال آب این سد تأمین شده است و در عین حال بسیاری از چاه‌های بهره‌برداری آب شرب سطح شهر مشهد خاموش شده‌اند. بنابراین می‌توان

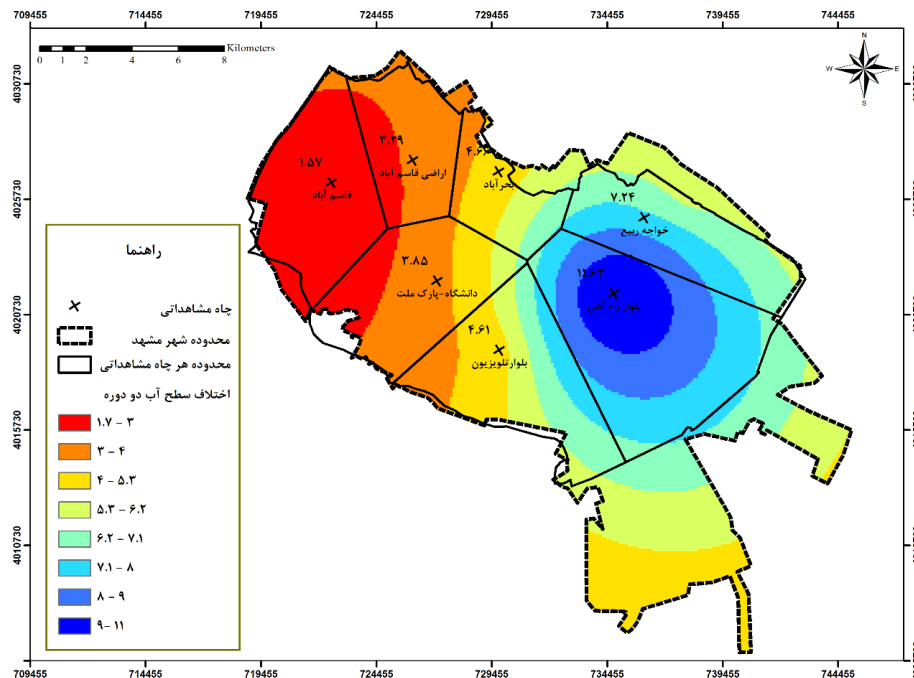
¹ Covariance

² Pearson correlation coefficient

³ Standard deviation

انتقالی از غرب آبخوان، (۷) عملیات اجرایی خط دو قطار شهری، (۸) عدم تکمیل شبکه جمع آوری فاضلاب و (۹) تغییر کاربری باغات. در این تحقیق اثرات این متغیرها ثابت فرض شده است و فقط عامل حجم ورودی از سد دوستی مورد بحث قرار خواهد گرفت.

در بالاآمدگی سطح آب زیرزمینی آبخوان ابرفتی شهر مشهد چندین عامل تاثیرگذار هستند: (۱) آب انتقالی از سد دوستی، (۲) خاموشی چاه‌های شرب داخل شهر، (۳) جریان ورودی زیرزمینی فنوآت متروکه و مدفون بخش غربی حوزه شهری، (۴) جریان انتقالی از گسل آب‌بر شمال مشهد، (۵) آورد کال چهل بازه و تغذیه مصنوعی گلستان، (۶) آب



شکل ۳. اختلاف سطح آب زیرزمینی در دو دوره آماری ۱۳۸۶ و ۱۳۹۲ بر اساس چاه‌های مشاهداتی سطح شهر

Figure 3. Groundwater level difference between periods of 2007 and 2013 based on observation wells in the city

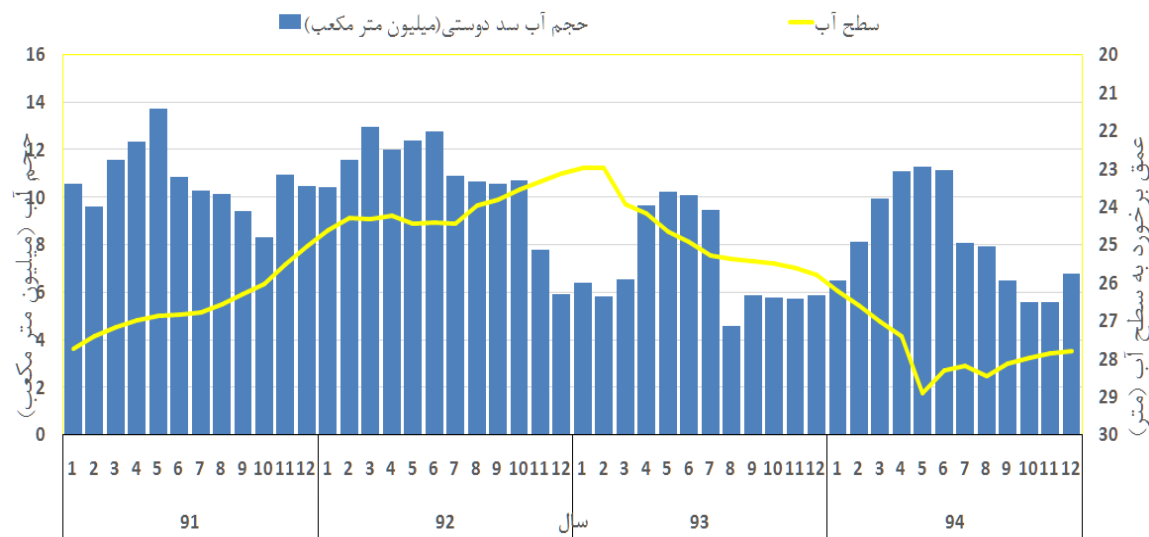
ورودی آب سد دوستی ۲۰ درصد آن به عنوان آب مصرفی و مابقی به عنوان آب بازگشتی به آبخوان مد نظر قرار گرفته شده است.

در شکل ۴ نمودار ماهانه حجم آب ورودی سد دوستی و عمق برخورد به آب چاه مشاهده ای راه آهن طی سالهای ۹۱ لغایت ۹۴ ترسیم شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود با ورود آب از سد دوستی تراز آب زیرزمینی افزایش یافته است. این روند افزایشی تا ابتدای سال ۱۳۹۳ ادامه داشته و در سال ۱۳۹۳ با کاهش حدود ۳۰ درصدی حجم

بررسی زمان تأخیر واکنش آب زیرزمینی به آب انتقالی خارج از حوضه

برای بررسی همبستگی بین آب ورودی از سد دوستی با تغییرات سطح آب چاه مشاهده‌ای راه آهن، ابتدا با تفاضل عمق سطح آب ماهانه نرخ تغییرات محاسبه شده و به عنوان متغیر وابسته استفاده شده است. از طرف دیگر بر مبنای مساحت تیسن چاه مشاهده ای راه آهن، درصد احجام ورودی از سد دوستی مشخص و به عنوان متغیر مستقل استفاده شده است. شایان ذکر است که برای مقادیر حجم

آب ورودی از سد دوستی، سطح آب زیرزمینی دچار افت شده است.



شکل ۴. نمودار عمق برخورد به سطح آب شهر مشهد و حجم آب ورودی از سد دوستی

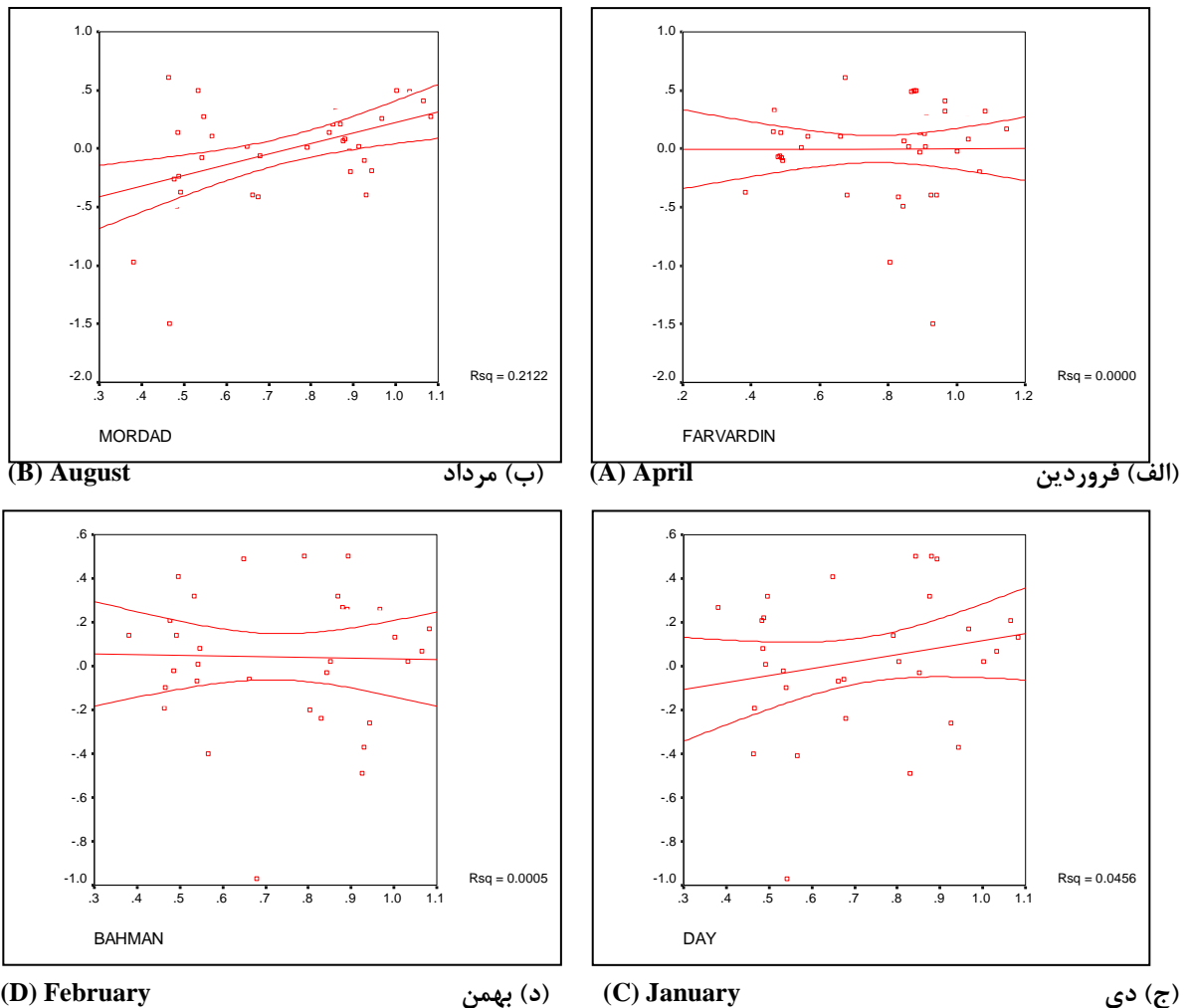
Figure 4. Groundwater depth of Mashhad city and the transported water volume from the Doosti dam

می‌باشد که بیانگر عدم وجود ارتباط بین دو متغیر می‌باشد. برای تأخیر اردیبهشت ماه ضریب همبستگی پیرسون برابر $0/114$ و آماره تصمیم برابر $0/455$ می‌باشد که نشان دهنده عدم وجود ارتباط بین دو متغیر بوده ولی همبستگی نسبت به فروردین ماه بهتر می‌باشد. برای تأخیر خرداد ماه ضریب همبستگی پیرسون برابر $0/168$ و آماره تصمیم برابر $0/275$ می‌باشد که بیانگر عدم وجود ارتباط بین دو متغیر بوده، ولی باز هم روند افزایشی ضریب همبستگی قابل مشاهده است. برای تأخیر تیر ماه ضریب همبستگی پیرسون برابر $0/268$ و آماره تصمیم برابر $0/082$ می‌باشد که نشان دهنده عدم وجود ارتباط بین دو متغیر بوده، ولی نسبت به خرداد ماه همبستگی بهتر می‌باشد. اولین تأثیر معنی‌داری در مرداد ماه دیده می‌شود که ضریب همبستگی پیرسون برابر $0/461$ و آمار تصمیم برابر $0/002$ می‌باشد که همبستگی نسبتاً خوبی را نشان می‌دهد و همچنین با توجه به آنکه مقدار آماره تصمیم از $0/05$ (مقدار خطا با سطح اطمینان $0/95$) کمتر می‌باشد فرض صفر رد می‌شود و نشانه وجود رابطه معنی‌داری می‌باشد که نشان دهنده تأخیر زمانی ۴ ماهه در وجود رابطه حجم ورودی آب سد دوستی و

پس از ورود اطلاعات در نرم افزار SPSS و تعیین بهترین برازش رگرسیونی، بهترین رابطه رگرسیونی خطی بوده است که با استفاده از تحلیل رگرسیونی خطی، ضریب همبستگی پیرسون داده‌ها محاسبه گردید. در مرحله بعدی با شیفت ماهانه داده‌ها مجدداً ضریب همبستگی پیرسون محاسبه گردیده و این عمل برای ۱۲ ماه تکرار شد و نتایج با یکدیگر مقایسه گردید. به این ترتیب زمان تأخیر اثرگذاری مشخص خواهد شد. مقادیر ضریب همبستگی پیرسون و آماره تصمیم p value برای تاخیرهای زمانی مختلف در جدول ۲ خلاصه شده‌اند. همچنین نمودارها و ضرایب همبستگی بین سطح آب و مقادیر حجم ورودی آب سد دوستی در ماه‌های فروردین، مرداد، دی و بهمن در شکل ۵ نشان داده شده است. در تفسیر آماره تصمیم p value می‌توان گفت اگر در شرایط مشابه ۱۰۰ بار آزمونی را تکرار کنیم p value تعداد دفعاتی است که نشان می‌دهد اختلاف مشاهده شده شانسی می‌باشد. هر چه قدر آماره تصمیم p value کوچکتر شود احتمال شانسی بودن نیز کمتر می‌شود. با توجه به جدول ۲ ضریب همبستگی پیرسون برای تأخیر فروردین ماه برابر $0/002$ و آماره تصمیم برابر $0/989$

نیست. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که بعد از یک تأخیر زمانی ۴ ماهه می‌توان مشاهده اثرات افزایش سطح آب زیرزمینی در اثر ورود آب خارج از حوضه بود.

افزایش سطح آب چاه مشاهده‌ای می‌باشد این رابطه تا آذر ماه با ضریب همبستگی ۰/۴۲۴ و آمار تصمیم ۰/۰۰۸ ادامه داشته و در دی، بهمن و اسفند ماه با توجه به مقادیر آماره تصمیم ۰/۲۰۴، ۰/۹۰۱ و ۰/۱۶۷ این تأثیرگذاری معنی‌دار



شکل ۵. نمودار و ضریب همبستگی بین سطح آب و مقادیر حجم ورودی آب سد دوستی در ماه‌های (الف) فروردین (تأخیر یک ماهه)، (ب) مرداد (تأخیر چهار ماهه)، (ج) دی (تأخیر نه ماهه) و (د) بهمن (تأخیر ده ماهه)

Figure 5. Chart and correlation coefficient between the water level and the transported water volumes from the Doosti Dam in months (A), April (one month delay), (B) August (four months delay), (C) January (nine months delay), and (D) February ten months delay)

جدول ۲. ضریب همبستگی پیرسون و آماره تصمیم p value برای تأخیرهای زمانی مختلف
Table 2. Pearson correlation coefficient and p value decision statistics for different time lags

تأخیر زمانی Lag time	ضریب همبستگی پیرسون Pearson correlation coefficient	آماره تصمیم (p value) p value decision statistics
بدون تاخیر زمانی Without delay	۰/۱۰۱	۰/۴۹۸
تأخیر فروردین April delay	۰/۰۰۲	۰/۹۸۹
تأخیر اردیبهشت May delay	۰/۱۱۴	۰/۴۵۵
تأخیر خرداد Jun delay	۰/۱۶۸	۰/۲۷۵
تأخیر تیر July delay	۰/۲۶۸	۰/۰۸۲
تأخیر مرداد August delay	۰/۴۶۱	۰/۰۰۲
تأخیر شهریور September delay	۰/۵۲۵	۰/۰۰۰
تأخیر مهر October delay	۰/۵۳۲	۰/۰۰۰
تأخیر آبان November delay	۰/۵۳۵	۰/۰۰۰
تأخیر آذر December delay	۰/۴۲۴	۰/۰۰۸
تأخیر دی January delay	۰/۲۱۴	۰/۲۰۴
تأخیر بهمن February delay	-۰/۰۲۱	۰/۹۰۱
تأخیر اسفند March delay	-۲/۳۹	۰/۱۶۷

نتیجه گیری

در مدیریت انتقال آب از حوضه‌های مجاور و کنترل بالآمدگی سطح آب ناشی از آن خواهد نمود. با توجه به نتایج اولین تأثیر معنی‌داری در مرداد ماه دیده می‌شود که تا آذرماه نیز ادامه داشته، ولی از دی ماه این تأثیرگذاری معنی‌دار نیست. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که یک تأخیر زمانی ۴ ماهه بین حجم ورودی آب و بالآمدگی سطح آب وجود دارد که این بالآمدگی سطح آب از آذر ماه به علت

پیش‌بینی رفتار آبخوان‌ها خصوصاً در مناطق شهری و تحت بهره‌برداری پویا با کمک مدل‌سازی هیدرودینامیکی بسیار پیچیده بوده و نیازمند اطلاعات و داده‌های ورودی فراوانی می‌باشد (Nassery et al., 2017; Barati, 2018a,b). در مطالعه حاضر یک روش آماری ساده به منظور بررسی زمان تأخیر واکنش آب زیرزمینی سطح شهر مشهد نسبت به حجم ورودی آب از سد دوستی با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS ارائه شده است. تعیین این زمان تأخیر کمک شایانی

آب ورودی سد دوستی کاهش می‌یابد.

کاهش مصرف آب در فصل پاییز و همچنین کاهش حجم

منابع

- Al-Othman, A. A., Ahmed, I. 2012. Hydrogeological framework and its implication on water level rise in Eastern ArRiyadh, Saudi Arabia. *Environmental Earth Sciences*, 67(5):1493-1502.
- 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.
- Barati, R. 2018a. Discussion of “Study of the spatial distribution of groundwater quality using soft computing and geostatistical models” by Saman Maroufpoor, Ahmad Fakheri-Fard and Jalal Shiri (2017). *ISH Journal of Hydraulic Engineering*, 1-4.
- Barati, R. 2018b. Discussion of ‘Modeling water table depth using adaptive Neuro-Fuzzy Inference System by Umesh Kumar Das, Parthajit Roy and Dillip Kumar Ghose (2017). *ISH Journal of Hydraulic Engineering*, 1-4.
- Felfelani, F., Kerachian, R. 2016. Municipal water demand forecasting under peculiar fluctuations in population: a case study of Mashhad, a tourist city. *Hydrological Sciences Journal*, 61(8):1524-1534.
- Foster, S., Lawrence, A., Moris, B. 1998. Groundwater in urban development assessing management needs and formulating policy strategies. *World Bank Technical Paper No. 390*
- Frumkin, A., Gvirtzman, H. 2006. Cross-formational rising groundwater at an artesian karstic basin: the Ayalon Saline Anomaly, Israel. *Journal of Hydrology*, 318(1):316-333.
- 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.
- Ghandehary, A., Noshahri, A. G., Barati, R., Hasani, K. 2014. Localized increase of ground water in metropolitan cities; opportunities and challenges. *Journal of water and sustainable development*, 2, 75-82.
- Moghianifer, N. Rahnam, M. B. 2009. Investigation of wells in Kerman and Yazabad areas regarding elevation of groundwater level in parts of Kerman. The 10th National Irrigation and Evaporation Seminar, Kerman, January 21-19.
- Mohammadi, S., Salajeqeh, A., Mahdavi, M., Baqir R. 2012. Investigation of spatial and temporal variations of groundwater level in Kerman Plain using a suitable geospatial method (during a 10-year statistical period, 1995-1375), *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 19 (1): 60-71.
- Nassery, H. R., Adinehvand, R., Salavitabar, A., Barati, R. 2017. Water management using system dynamics modeling in semi-arid regions. *Civil Engineering Journal*, 3(9), 766-778.
- 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*, Am. Geophysical Union, Washington, DC, Ch. 9:337-376.
- 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.
- Takizawa, S. 2008. *Groundwater management in Asian cities: Technology and policy for sustainability* (Vol. 2). Springer Science & Business Media.

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.



Study of Groundwater Response to Water Transfer from Outside Basin (Case Study: Water Transfer from Doosti Dam to Holy City of Mashhad)

Seyyed Hosein Shamszadeh ¹, Reza Barati ^{*2}, Amir Gord Noshahri ³, Maryam Fakhari ⁴

1- M. Sc. in Water Resource Engineering, Head of Statistics Department, Khorasan Razavi Regional Water Authority, Mashhad, Iran

2- Ph.D. of Civil Engineering, Groundwater Expert of Basic Studies Office, Khorasan Razavi Regional Water Authority, Mashhad, Iran.

3- M. Sc. in Irrigation and Drainage Engineering, Water Resources Expert of Basic Studies Office, Khorasan Razavi Regional Water Authority, Mashhad, Iran.

4- M. Sc. in Geology, Water Resources Expert of Basic Studies Office, Khorasan Razavi Regional Water Authority, Mashhad, Iran.

*Corresponding Author Email: r88barati@gmail.com

Abstract

With the development of cities and the increasing population and also the supply of water from outside of basins, an increase in the groundwater level occurs. In recent years, with the expansion of the boundary of the Mashhad city and increasing water needs of this metropolis, a large amount of water has been transferred from the surrounding area and catchment areas adjacent to the city. The transportation of the water and subsequent feeding of the water back into a limited area of the aquifer (in the Mashhad city) led to an increase in the groundwater level. In the present study, to analysis the delay time of the groundwater reaction, the data of the volume of transported water from the Doosti dam and the railway piezometer well data of Mashhad city has been collected from April 2005 to March 2013, then regression analysis has been used. Such analysis will help to manage water transmissions from adjacent areas and control the water level rising in cites. The results indicated that a 4-month delay exists for the observing the effects of the water volume entering the aquifer.

Keywords: Inter-basin water transfer, Localized groundwater level increasing, Regression, Lag time