



دانشگاه کردستان



انجمن علوم و مهندسی
منابع آب ایران

The 6th Iranian National Conference on
Water Resources Management

CERTIFICATE

ششمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران

April. 20-22, 2016, Kurdistan University, Sanandaj, Iran

گواهینامه

بدین وسیله گواهی می گردد مقاله با عنوان

بررسی اثرات توسعه زیست محیطی شهر بر ابخوان و منابع آب مطالعه موردی شهر مشهد

توسط آقای / خانم جواد دولتی، غلامرضا لشکری پور، ناصر حافظی مقدس

در ششمین کنفرانس ملی مدیریت منابع آب ایران ارائه گردیده است

دبیر علمی کنفرانس

دکتر پرویز فتاحی

دبیر کنفرانس

دکتر رضا مکنون

دبیر علمی کنفرانس

دکتر محمدرضا کارآموز

WRMCI 6

۱۳ اردیبهشت ۱۳۹۵ - دانشگاه کردستان - سنندج - ایران





بررسی اثرات زیست محیطی توسعه شهر بر آبخوان و منابع آب مطالعه موردی شهر مشهد

جواد دولتی*، دانشجوی دکترای زمین شناسی مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، بخش زمین شناسی
 غلامرضا لشکری پور، استاد بخش زمین شناسی، دانشگاه فردوسی مشهد
 ناصر حافظی مقدس، استاد بخش زمین شناسی، دانشگاه فردوسی مشهد
 * تلفن نویسنده اصلی: ۰۹۱۵۱۱۸۵۰۹۳، پست الکترونیکی: jdowlati1349@gmail.com

چکیده

افزایش جمعیت و توسعه محدوده شهرها پیامدهای زیست محیطی مختلفی به ویژه برای منابع آب زیرزمینی در پی دارد. در این تحقیق با استفاده از اطلاعات موجود، اثرات توسعه شهر مشهد بر خصوصیات کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی در دوره زمانی ۱۳۹۰-۱۳۳۵ بررسی شده است. برای این منظور از اطلاعات موجود در شرکت آب منطقه ای خراسان رضوی، شرکت آب و فاضلاب مشهد، شهرداری مشهد و اطلاعات موجود از حفاری های ژئوتکنیکی در سال های اخیر همراه با اطلاعات مربوط به آمار جمعیتی استفاده شده است. نتایج این تحقیق نشان داد که افزایش شدید جمعیت (از ۱۴۳۰۰۰ به بیش از ۲/۷ میلیون نفر) و گسترش سریع وسعت شهر (از ۱۶ به ۳۲۰ کیلومتر مربع)، در ۵۵ سال گذشته سبب ایجاد تغییرات هیدروژئولوژیکی (کمی و کیفی) قابل توجه در آبخوان شده است. از جمله مهم ترین پیامدهای این تغییرات می توان به کاهش کیفیت و افت کلی سطح آب های زیرزمینی، بالآمدگی سطح آب زیرزمینی در برخی نقاط شهر، فرار گرفتن قنوات در داخل محدوده شهری و مسدود شدن مظهر این قنوات اشاره نمود. برای نمونه غلظت نیترات آب زیرزمینی در بیشتر مناطق شهر شدیداً افزایش یافته به طوری که متوسط غلظت آن از کم تر از ۲ میلی گرم در سال ۱۳۳۳ به بیش از ۳۸ میلی گرم در سال ۱۳۸۸ رسیده است. همچنین در چند سال اخیر در بیش از ۶۰ درصد مساحت شهر (۱۹۰ کیلومتر مربع) بالآمدگی سطح آب رخ داده است. همچنین توسعه شهر باعث تخریب بیش از ۸۰ رشته قنات که در گذشته برای تأمین آب شرب شهر یا آبیاری اراضی کشاورزی مورد استفاده می گرفت شده است که با توسعه شهر در محدوده شهری قرار گرفته اند. پر شدن این قنوات توسط فاضلاب شهری و همچنین پر کردن میله های آن ها با خاک دست ریز باعث نشست یا ریزش میله های مدفون قنوات شده و مشکلات متعدد سازه ای در سطح شهر ایجاد شده است.

واژه های کلیدی: اثرات زیست محیطی، آب زیرزمینی، آلودگی نیترات، بالآمدگی سطح آب، قنوات مدفون

۱- مقدمه

نقش آبخوان ها در توسعه شهرها و اثرات شهرها بر آن ها همواره مورد توجه محققین مختلف بوده و در نیمه دوم قرن بیستم تحقیقات مختلفی در مورد آن صورت گرفته است. فاستر و همکاران (۱۹۹۸) رابطه متقابل شهرها و آبخوان ها برهم را با توجه به مطالعات محققین مختلف بررسی کرده و به صورت ۴ مرحله ارائه کردند (شکل ۱) [1].



در مراحل اولیه تشکیل شهر، آبخوان به عنوان سهل الوصول ترین منبع نقش مهمی در تأمین آب شرب شهر ایفا می کند. در این مرحله از چاه های کم عمق برای تأمین آب شهر استفاده شده و بهره برداری از آب زیرزمینی باعث افت سطح آب شده و دفع پساب توسط چاه های جذبی شهر باعث ایجاد آلودگی در آبخوان می شود (شکل ۱-الف).

با گسترش شهر، نیاز آب شرب افزایش یافته و برای تأمین آن چاه ها عمیق تر شده و از بخش عمیق آبخوان بهره برداری می شود. بهره برداری از این عمق باعث افت بیشتر سطح آب زیرزمینی شده و دفع بیشتر پساب توسط چاه های جذبی باعث تشدید آلودگی آبخوان می شود (شکل ۱-ب).

با افزایش جمعیت و گسترش بیشتر شهر، حجم آب شرب مورد نیاز افزایش یافته و دفع پساب تولیدی توسط چاه های جذبی باعث افزایش آلودگی آبخوان می شود. در این مرحله برای تأمین آب شرب مورد نیاز از میدان های چاهی که در نزدیک ترین فاصله نسبت به شهر قرار دارند استفاده می شود. بهره برداری از این بخش از آبخوان برای تأمین آب شرب باعث افت سطح آب زیرزمینی در این محدوده شده و انتقال آب زیرزمینی استحصالی برای تأمین آب شرب به محدوده شهری، باعث افزایش سطح آب زیرزمینی در محدوده شهر می شود. در این مرحله ایجاد مخروط افت در بخش های مجاور شهر آبخوان باعث ایجاد شیب هیدرولیکی از طرف مرکز شهر به طرف خارج شده و حرکت آب زیرزمینی آلوده به طرف آن ها می شود (شکل ۱-ج).

با افزایش جمعیت و گسترش بیش تر شهر، از یک سو حجم آب شرب مورد نیاز شهر شدیداً افزایش می یابد و از سوی دیگر میدان های چاهی اولیه که در نزدیک ترین فاصله نسبت به شهر قرار داشتند، در محدوده شهری و آلودگی ناشی از دفع پساب توسط چاه های جذبی قرار گرفته و توانایی تأمین آب شرب مورد نیاز شهر را ندارند. در این مرحله آب شرب مورد نیاز شهر از منابع آب زیرزمینی و سطحی که در فاصله دورتری نسبت به شهر قرار دارند تأمین می شود (شکل ۱-د).

امروزه در خیلی از شهرهای کشورهای پیشرفته از منابع آب زیرزمینی شهری به دلیل آلودگی ناشی از نفوذ فاضلاب های خانگی و صنعتی استفاده نمی شود. عدم استحصال این آب ها و هم چنین تغذیه زیاد آبخوان از منابع آب برگشتی شهری سبب بالا آمدن سطح آب زیرزمینی در شهرها و ایجاد مشکلاتی برای سازه های شهری شده است [2].

بررسی پایان نامه ها و مقالات متعدد منتشر شده اخیر توسط محققین مختلف نشان می دهد که هر چند وضعیت آبخوان شهر مشهد از نظر آلودگی نیترات [3] [2] [4] [5]، نیترات و فسفات [6] و [7] و تغییرات کمی آب زیرزمینی در محدوده شهر [5]، [8] و [9] مورد بررسی قرار گرفته ولی تقریباً در تمامی موارد وضعیت آلودگی آبخوان در زمان تحقیق بررسی شده و روند تغییرات کمی و کیفی در طول زمان و مقایسه میزان آلودگی در زمان های مختلف باهم مورد توجه قرار نگرفته است.

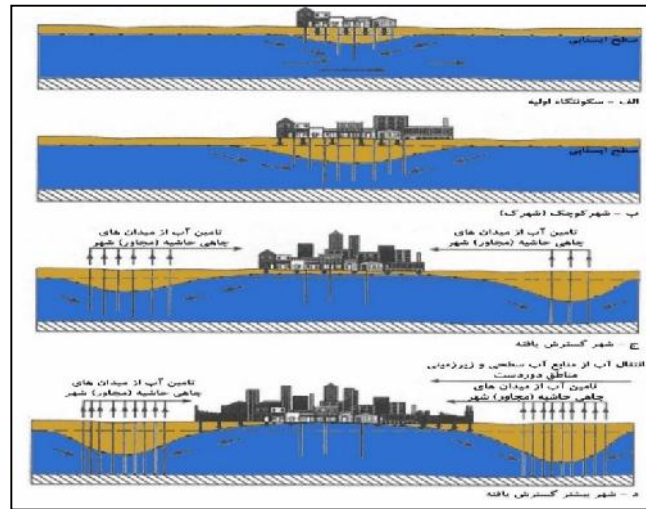
موقعیت جغرافیایی منطقه مطالعاتی

دشت مشهد با مساحت ۳۷۷۶ کیلومتر مربع در حوضه کشف رود قرار دارد (شکل ۴). از نظر جایگاه زمین شناسی این دشت در حدفاصل دو زون زمین شناسی کپه داغ و بینالود واقع شده که بخش شمالی دشت شامل سنگ های رسوبی ژوراسیک تا عهد حاضر زون کپه و بخش جنوبی و غربی آن از سنگ های رسوبی، آذرین و دگرگون شده متعلق به دوره های مختلف زمین شناسی تشکیل شده است [7]. آبخوان مشهد که در بخش مرکزی دشت قرار دارد، آبخوانی آزاد است که در بعضی بخش ها نشتی و دولایه است و جهت عمومی جریان آب زیرزمینی از شمال غرب به جنوب شرق بوده و ضخامت آبخوان متغیر از ۲۰ متر در خروجی (تنگل شور) تا بیش از ۳۰۰ متر در مرکز دشت تغییر می کند.

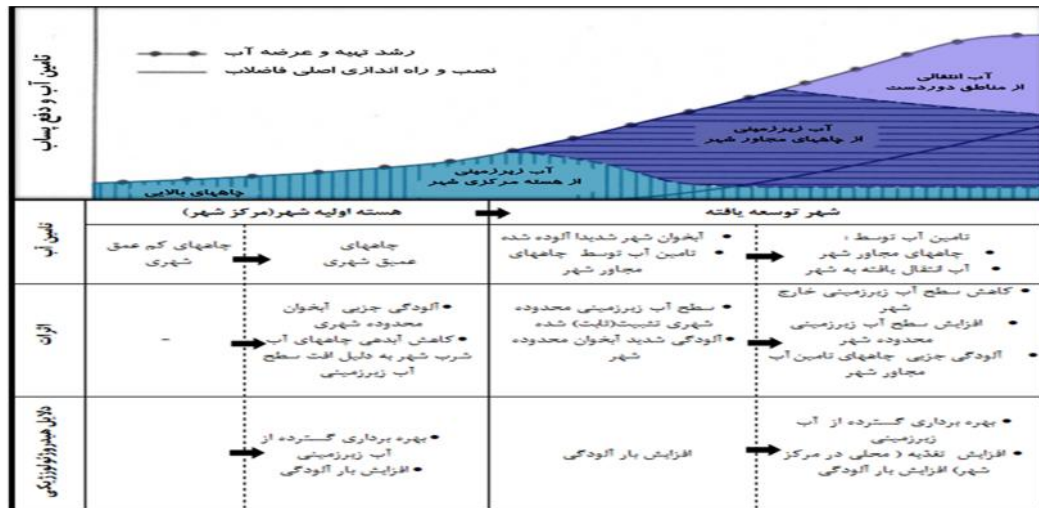
شهر مشهد با مساحت ۳۲۰ کیلومتر مربع بر روی نهشته های آبرفتی جوان حاصل فعالیت های رودخانه کشف رود و سیلاب های فصلی رودخانه های اطراف دشت گسترش یافته است. در محدوده شهر آبخوان از نوع آزاد بوده و بیشترین و



کمترین ضخامت آبرفت آن به ترتیب ۳۰۵ متر (در نواحی شمال شرقی) و ۷۰ متر (در نواحی ارتفاعات جنوب) است. جهت جریان عمومی آب زیرزمینی از جنوب و جنوب غرب به سمت شمال شرق و شرق بوده و عمق سطح آب زیرزمینی در پای ارتفاعات بینالود زیاد بوده و به طرف شمال شهر کاهش می یابد. تغییرات عمق سطح آب زیرزمینی در محدوده شهر متأثر از شیب هیدرولیکی سطح آب زیرزمینی، مورفولوژی سطح زمین و اثرات ناشی از آب برگشتی است [9]. بررسی منابع آب نشان می دهد که ۹۱۵ حلقه چاه عمیق و نیمه عمیق و ۲ رشته قنات در سطح شهر مشهد وجود دارد که طبق آماربرداری ۱۳۸۸، تخلیه سالانه آن ها ۱۸۰/۱۷ میلیون مترمکعب است. از کل آب زیرزمینی استحصالی در این سال، ۱۲۰/۵ میلیون مترمکعب به مصرف کشاورزی، صنعت و فضای سبز رسیده و ۶۰/۶۷ میلیون مترمکعب (توسط ۲۵۰ حلقه چاه شرکت آب و فاضلاب) به مصرف شرب شهر می رسد [9] [10].



شکل ۱- مراحل مختلف توسعه شهر و نقش آب زیرزمینی در آن [1]



شکل ۲- نقش منابع آب زیرزمینی در توسعه شهرها [11]

۲- مواد و روشها

برای بررسی اثرات زیست محیطی توسعه شهر مشهد بر آبخوان با در نظر گرفتن روند گسترش شهر، تغییرات غلظت نیترات، تغییرات سطح آب زیرزمینی و نشست سطح زمین به دلیل قنات تخریب شده در داخل محدوده شهر بررسی



شده است. در این تحقیق با توجه به گستردگی موضوعات مورد بررسی اطلاعات متنوعی مورد استفاده قرار گرفته که در ادامه مورد بحث قرار خواهد گرفت.

۲-۱ روند توسعه شهر مشهد

شهر مشهد دومین شهر و مهم‌ترین مرکز جمعیتی شمال شرق ایران است که به دلیل جاذبه‌های زیارتی توریستی هرساله پذیرای مسافران فراوانی است. این شهر در اقلیمی خشک و نیمه‌خشک واقع گردیده و منابع آب سطحی و زیرزمینی سرشاری که بتواند آینده‌ای پایدار برای توسعه این شهر فراهم کند، برخوردار نیست [9].

بررسی روند رشد جمعیت و توسعه شهر مشهد نشان می‌دهد که جمعیت شهر در سال ۱۲۷۰ شمسی حدود ۴۵ هزار نفر و مساحت آن حدود ۷/۵ کیلومترمربع بوده است. طی یک دوره ۴۰ ساله (۱۲۷۰-۱۳۱۰) جمعیت شهر به ۱۰۰ هزار نفر و مساحت آن به ۱۰/۴ کیلومترمربع رسیده است. در این دوره زمانی جمعیت بیش از ۲ برابر و مساحت شهر ۱/۵ برابر شده است. در سرشماری سال ۱۳۳۵ (اولین سرشماری رسمی) جمعیت شهر مشهد ۲۴۳ هزار نفر و مساحت شهر ۱۶ کیلومترمربع بوده است. به عبارت دیگر در دوره زمانی ۱۳۱۰ تا ۱۳۳۵ جمعیت شهر ۴/۲ برابر و مساحت شهر ۱/۴ برابر شده است. با شروع رشد سریع شهرنشینی در ایران جمعیت و مساحت شهر مشهد به شدت افزایش یافته به طوری که در سرشماری‌های ۱۳۴۵، ۱۳۷۵، ۱۳۶۵، ۱۳۵۵ و ۱۳۸۵ جمعیت به ترتیب ۴۰۹، ۷۱۶، ۱۴۶۳، ۱۸۹۰ و ۲۴۳۰ هزار نفر و مساحت شهر به ترتیب ۳۳، ۷۸، ۱۳۰، ۱۸۵ و ۲۸۰ کیلومترمربع برآورد شده است. تغییرات جمعیتی و مساحت شهر در جدول ۱ ارائه شده است.

بررسی روند توسعه شهر مشهد در طی ۵۰ سال گذشته نشان می‌دهد که هرچند رشد شهر تقریباً در همه جهات رخ داده است ولی تأسیسات و مراکز مهمی نظیر فرودگاه، راه‌آهن، پادگان ارتش و ارتفاعات جنوبی شهر عوامل تأثیرگذار در توسعه شهر بوده و جهت رشد شهر به سمت غرب و شمال غرب بیشتر بوده است. وجود مناطق بیلاقی و خوش آب‌وهوا نظیر وکیل‌آباد، طبقه و شاندیز و نیز جاده اصلی مشهد - قوچان در سمت غرب جاذبه بیشتری جهت رشد و گسترش شهر به این سمت در دهه‌های اخیر بوده است.

جدول ۱: روند توسعه جمعیت شهر مشهد ([12]، [13] و [14])

| سال | جمعیت (هزار نفر) | وسعت (کیلومترمربع) |
|------|------------------|--------------------|
| ۱۲۷۰ | ۴۵ | ۷/۵ |
| ۱۳۱۰ | ۱۰۰ | ۱۰/۴ |
| ۱۳۳۵ | ۱۴۳ | ۱۶ |
| ۱۳۴۵ | ۴۰۹ | ۳۳ |
| ۱۳۵۵ | ۷۱۶ | ۷۸ |
| ۱۳۶۵ | ۱۴۶۳ | ۱۳۰ |
| ۱۳۷۵ | ۱۸۸۷ | ۱۸۵ |
| ۱۳۸۵ | ۲۴۲۷ | ۲۸۰ |
| ۱۳۹۰ | ۲۷۶۱ | ۳۲۰ |
| ۱۳۹۵ | *۳۱۲۶ | - |
| ۱۴۰۰ | *۳۴۹۳ | - |
| ۱۴۰۵ | *۳۸۴۷ | - |
| ۱۴۱۰ | *۴۱۹۵ | - |

*پیش‌بینی شده

۲-۲ تأمین آب شرب شهر مشهد

بررسی نحوه تأمین آب شرب شهر مشهد در طی ۶۰ سال گذشته نشان می‌دهد که منابع تأمین‌کننده آب شرب شهر تغییر اساسی کرده و موقعیت مکانی این منابع از چاه‌های داخل محدوده شهری به طرف محدوده‌های خارج محدوده شهری و انتقال از حوضه‌های مجاور جابجا شده و مراحل و روند تغییر منابع تأمین‌کننده آب شرب شهر به خوبی



قابل مشاهده است. بررسی این روند که در جدول (۲) به صورت خلاصه بیان شده است، نشان دهنده کاهش چشم گیر نقش و اهمیت آب زیرزمینی در تأمین آب شرب شهر مشهد است. تا قبل از سال ۱۳۷۰، آب شرب شهر مشهد به طور کامل از منابع آب زیرزمینی (چاه های داخل و خارج شهر) تأمین می شد. با بهره برداری از دو سد طرق و کارده سهم آب زیرزمینی در تأمین آب شرب کاهش یافته و حدود ۲۰ درصد آب شرب شهر توسط منابع آب سطحی تأمین شده است. با توجه به افزایش نیاز آبی شهر در دهه هفتاد، شرایط اقلیمی حاکم بر حوضه و میزان بارندگی و حجم آب گیری این دو سد، درصد تأمین آب شرب شهر توسط منابع آب سطحی به تدریج کاهش یافته و به حدود ۶ تا ۸ درصد در سال های ۱۳۸۵ تا ۱۳۸۷ رسیده است. با تکمیل تصفیه خانه شماره ۳ و خط انتقال آن، انتقال آب سد دوستی به شهر مشهد در سال ۱۳۸۷ آغاز شده و حجم آب شرب انتقالی سد دوستی از ۳۶/۳ میلیون مترمکعب در سال ۱۳۸۸ به ۱۲۸/۴ میلیون مترمکعب در سال ۱۳۹۱ رسیده است. با توجه به حجم کل آب شرب مصرفی شهر، درصد تأمین آب شرب توسط منابع آب سطحی از سال ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۱ افزایش یافته و از ۶ درصد در سال ۱۳۸۷ به ۶۳ درصد در سال ۱۳۹۱ رسیده است.

جدول ۲ - روند تغییر منابع تأمین آب شرب شهر مشهد

| دوره زمانی | آب زیرزمینی | | آب سطحی |
|-------------|--|----------------------------------|--------------------------------------|
| | اجرایی | مطالعاتی | |
| قبل از ۱۳۲۸ | قنات و چاه های کم عمق | | |
| ۱۳۲۸ | حفر اولین چاه عمیق | | |
| ۱۳۲۸-۱۳۴۰ | حفر چاه های عمیق سطح شهر | مطالعات مجموعه چاه های قاسم آباد | مطالعه احداث سدهای کارده و طرق |
| ۱۳۴۰-۱۳۶۰ | حفر چاه های عمیق قاسم آباد | | ساخت و بهره برداری سدهای کارده و طرق |
| ۱۳۷۰-۱۳۷۵ | | مطالعات طرح جامع تأمین آب | مطالعه و احداث سد دوستی |
| ۱۳۷۳-۱۳۸۰ | حفر و بهره برداری چاه های غرب مشهد (منزل آباد-سوران - خبیج و جمع آب) | | بهره برداری از سد دوستی |
| ۱۳۸۷-۱۳۹۱ | کاهش چاه های داخل شهر و حفر چاه های جدید در محور مشهد-چناران | | مطالعه و احداث سد ارداک |

بررسی وضعیت منابع آب زیرزمینی تأمین کننده شرب شهر نشان می دهد که در سال ۹۱ از حدود ۷۸ میلیون مترمکعب آب زیرزمینی مورد استفاده برای شرب شهر، حدود ۱۰ میلیون مترمکعب توسط قنات قاسم آباد و امامیه و چشمه اندرک، ۲۵ میلیون مترمکعب توسط چاه های داخل شهر و شهرک های اقماری و ۴۳ میلیون مترمکعب توسط چاه های خارج شهر تأمین شده است.

۳- جمع بندی و نتیجه گیری

توسعه شهر با توجه به خصوصیات زمین شناسی و هیدروژئولوژیکی آبخوان ها (نوع آبرفت، آزاد و محبوس بودن و عمق سطح آب زیرزمینی) دارای اثرات زیست محیطی متفاوتی است که توسط محققین مختلف مورد بررسی قرار گرفته و به صورت افزایش بار آلودگی (نترات، آنیون ها و کاتیون ها، هدایت الکتریکی، میکروبی) آبخوان، بالا آمدگی و افت سطح آب زیرزمینی و فرونشست زمین گزارش شده است. با توجه به شرایط حاکم بر آبخوان مشهد و شرایط هیدروژئولوژیکی آن، اثرات زیست محیطی توسعه شهر مشهد را به صورت زیر می توان بیان کرد.

۱-۳ بررسی تغییرات نترات

یکی از اثراتی که توسعه شهر بر آبخوان دارد، افت کیفی و گسترش آلودگی آب زیرزمینی در محدوده شهری است که بارزترین شاخص آن افزایش غلظت یون نترات می باشد. وجود این یون در آب زیرزمینی مناطق شهری ناشی از دفع پساب



شهری به صورت مستقیم در آبخوان است. تاکنون مطالعات پراکنده و متعددی بر روی غلظت نترات آب‌های زیرزمینی شهر مشهد و امکان آلودگی آن صورت گرفته است. اولین بررسی بر روی غلظت نترات آب زیرزمینی شهر مشهد در سال ۳۵-۱۳۳۴ صورت گرفته که در طی آن از ۳۰ منبع (۱۳ حلقه چاه و ۱۷ دهنه قنات) نمونه برداری شده و آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی، نترات و فسفات و آلودگی میکروبی اندازه‌گیری شدند [6]. در سال ۱۳۶۲ در بررسی صورت گرفته توسط سازمان محیط‌زیست از ۶۲ حلقه چاه شرب شهر نمونه برداری و آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی و نترات و فسفات اندازه‌گیری شد [3]، در سال ۱۳۸۲ در مطالعات انجام شده توسط آب منطقه‌ای خراسان از ۳۰ حلقه چاه آب شرب عمیق موجود در سطح شهر مشهد نمونه برداری صورت گرفته و عناصر اصلی و نترات و فسفات نمونه‌ها اندازه‌گیری شد [4]. همچنین در مطالعات توزیع یکنواخت کمی و کیفی آب شرب شهر مشهد با استفاده از نتایج آنالیز کیفی سالهای ۱۳۸۴ و ۱۳۸۸ چاه‌های آب شرب وضعیت غلظت نترات بررسی شد [15].

با توجه به نتایج کیفی موجود، غلظت نترات نمونه‌های برداشته شده چاه‌های شهر مشهد مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفته که نتایج آن در جدول ۳ ارائه شده است. بررسی زمانی و مکانی غلظت یون نترات در آبخوان شهر نشان می‌دهد که در سال ۱۳۳۵ آب زیرزمینی در اکثر نقاط شهر فاقد نترات بوده (بیش از ۸۳ درصد نمونه‌ها) و فقط در ۲ منطقه خیابان طبرسی و میدان لشکر میزان نترات بین ۱ تا ۲ میلی‌گرم در لیتر (کمتر از ۱۶ درصد نمونه‌ها) بوده است.

با گسترش شهر و دفع پساب توسط چاه‌های جذبی در آبخوان، میزان نترات آب زیرزمینی در گستره شهر افزایش یافته به طوری که در سال ۱۳۶۲ در ۹۰ درصد نمونه‌های برداشت شده میزان نترات آن‌ها بین ۱ تا ۲۲ میلی‌گرم در لیتر اندازه‌گیری شده است. در این زمان حداکثر میزان نترات در منطقه فلکه برق بیش از ۳۰ میلی‌گرم و در دو محدوده میدان لشکر و میدان ضد میزان نترات به ترتیب حدود ۱۰ و ۲۰ میلی‌گرم در لیتر اندازه‌گیری شده است. در این زمان، غلظت نترات بیش از ۶۹ درصد نمونه‌ها کمتر از ۵ میلی‌گرم در لیتر و بیش از ۳۰ درصد نمونه‌ها بیش از ۵ میلی‌گرم در لیتر داشتند.

در سال ۱۳۷۹ با گسترش شدید وسعت شهر مشهد، غلظت نترات آب زیرزمینی نیز افزایش چشمگیری داشته به طوری که در دو ناحیه سیدی - حرم - احمدآباد - ابتدای رضاشهر و طلاب - خواجه ربیع - مطهری شمالی - میدان فردوسی که هر دو در محدوده توسعه شهر تا سال ۱۳۶۵ قرار داشتند، غلظت نترات بین ۵۰ تا بیش از ۱۶۰ میلی‌گرم در لیتر اندازه‌گیری شده است. در سال ۱۳۷۹ فقط ۱ درصد نمونه‌ها غلظت نترات کمتر از ۵ میلی‌گرم در لیتر و بیش از ۹۰ درصد نمونه‌ها غلظت نترات بیش از ۵ و کمتر از ۵۰ میلی‌گرم در لیتر داشتند. در این زمان حدود ۷/۵ درصد نمونه‌ها بیش از ۵۰ میلی‌گرم و ۱/۸ درصد نمونه‌ها بیش از ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر نترات داشتند.

در نمونه برداری سال ۱۳۸۴ درصد نمونه‌های دارای غلظت کمتر از ۱۰ میلی‌گرم در لیتر مشابه سال ۱۳۷۹ بوده ولی درصد نمونه‌های دارای نترات ۱۰ تا ۲۰ میلی‌گرم در لیتر کاهش یافته و درصد فراوانی نمونه‌های دارای نترات ۲۰ تا ۵۰، ۵۰ تا ۱۰۰ و بیش از ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر افزایش یافته است که به خوبی نشان‌دهنده افزایش نترات در آب زیرزمینی شهر است.

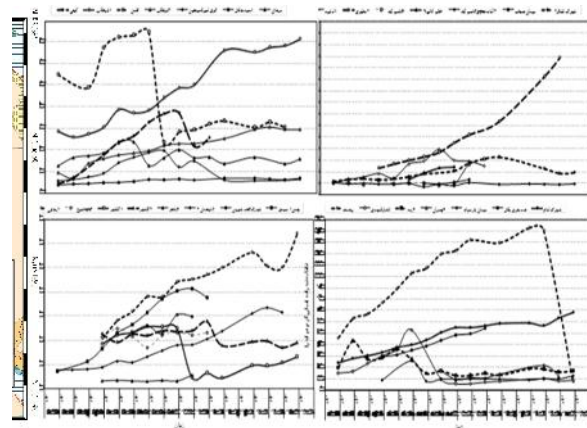
بررسی غلظت نترات آب زیرزمینی چاه‌های آب شرب شهر در سالهای ۱۳۸۴ و ۱۳۸۸ نشان می‌دهد که متوسط غلظت نترات از ۳۹ میلی‌گرم در سال ۱۳۸۴ به ۳۳ میلی‌گرم در سال ۱۳۸۸ رسیده است. در این ۲ سال از نظر درصد فراوانی، درصد نمونه‌های دارای غلظت نترات کمتر از ۱۰ درصد یکسان بوده ولی درصد نمونه‌های دارای نترات ۵ تا ۱۰، ۱۰ تا ۲۰، ۲۰ تا ۵۰ میلی‌گرم در لیتر افزایش و درصد فراوانی نمونه‌های دارای نترات ۵ تا ۱، ۱ تا ۵۰ تا ۱۰۰ میلی‌گرم و بیش از



۱۰۰ میلی گرم در لیتر کاهش یافته است. از دلایل عمده کاهش غلظت نترات در سال ۱۳۸۸، خارج نمودن چاه‌های دارای نترات بالا از شبکه مصرف و سمنتاسیون بخش‌های از برخی از چاه‌های آب شرب دارای نترات بالا است. همچنین بررسی تغییرات غلظت نترات در ۳۰ حلقه از چاه‌های آب شرب در دوره ۱۶ ساله (۱۳۷۲-۱۳۸۸) نشان‌دهنده افزایش میزان نترات آب زیرزمینی در اغلب نقاط شهر مشهد در طی زمان است. موقعیت این چاه‌ها و تغییرات زمانی غلظت نترات در شکل ۳ ارائه شده است. با توجه به تغییرات زمانی غلظت نترات در نمودارهای ترسیمی این چاه‌ها را در ۳ گروه دارای روند افزایشی، ثابت و کاهشی می‌توان گروه‌بندی نمود.

جدول ۳- نتایج بررسی آماری غلظت نترات آب زیرزمینی شهر مشهد در سال‌های مختلف

| ۱۳۸۸ | | ۱۳۸۴ | | ۱۳۷۹ | | ۱۳۶۲ | | ۱۳۳۵ | | غلظت نترات (mg/L) |
|-------|------|-------|------|--------|------|-------|------|-------|------|-------------------|
| تعداد | درصد | تعداد | درصد | تعداد | درصد | تعداد | درصد | تعداد | درصد | |
| - | - | - | - | - | - | ۹/۶۸ | ۶ | ۸۳/۳ | ۱۰ | <۱ |
| ۰/۶۳ | ۲ | ۱/۹ | ۳ | ۱/۹ | ۱ | ۵۹/۶۸ | ۳۷ | ۱۶/۷ | ۲ | ۵-۱ |
| ۱۹/۶۸ | ۶۲ | ۱۶/۳ | ۴۵ | ۱۵/۲۲ | ۱۴ | ۹/۶۸ | ۶ | - | - | ۱۰-۵ |
| ۳۱/۱۱ | ۹۸ | ۲۸/۲۶ | ۷۸ | ۵۱/۹ | ۴۷ | ۱۶/۱۲ | ۱۰ | - | - | ۲۰-۱۰ |
| ۲۸/۸۹ | ۹۱ | ۲۵/۷۲ | ۷۱ | ۲۲/۸۳ | ۲۱ | ۴/۸۵ | ۳ | - | - | ۵۰-۲۰ |
| ۱۴/۲۹ | ۴۵ | ۱۸/۴۸ | ۵۱ | ۷/۶ | ۷ | - | - | - | - | ۱۰۰-۵۰ |
| ۵/۴ | ۱۷ | ۱۰/۱۵ | ۲۸ | ۲/۱۷ | ۲ | - | - | - | - | >۱۰۰ |
| ۱۰۰ | ۳۱۵ | ۱۰۰ | ۲۷۶ | ۱۰۰ | ۹۲ | ۱۰۰ | ۶۲ | ۱۰۰ | ۱۲ | جمع کل |
| ۴/۸ | | ۳/۱ | | ۴/۷۴ | | ۰ | | ۰ | | کمینه |
| ۱۹۳/۸ | | ۱۶۶/۱ | | ۱۱۷/۸۵ | | ۲۲ | | ۰/۳ | | بیشینه |
| ۳۳/۳۸ | | ۳۸/۹ | | ۲۴/۴۲ | | ۰/۹ | | ۰/۱ | | میانگین |
| ۳۴/۱۳ | | ۳۷/۳۸ | | ۲۲/۴۸ | | ۰/۶۳ | | ۰ | | انحراف معیار |



شکل ۳- موقعیت چاه‌های آب شرب منتخب و روند تغییرات نترات در آن‌ها و تغییرات غلظت نترات در چاه‌های آب شرب منتخب در دوره زمانی ۱۳۷۲ تا ۱۳۸۸

۳-۲- تغییرات سطح آب

یکی از اثرات توسعه شهرها بر آبخوان‌ها تغییر شدید وضعیت سطح آب زیرزمینی در محدوده شهر است که به صورت افت یا بالا آمدگی سطح آب زیرزمینی بسته به میزان برداشت از منابع آب زیرزمینی قابل مشاهده است. بررسی شبکه پیزومتر دشت مشهد نشان می‌دهد که ۱۳ حلقه در محدوده شهر واقع شده که موقعیت آن‌ها در شکل ۴ ارائه شده



است. بررسی روند تغییرات سطح آب در این پیزومترها در طی ۲۰ سال ۱۳۷۱-۱۳۹۱ نشان می‌دهد که علی‌رغم برداشت سالانه بیش از ۱۰۰ میلیون مترمکعب از چاه‌های داخل شهر مشهد توسط بیش از ۲۵۰ حلقه چاه برای تأمین آب شرب شهر تا سال ۱۳۸۶، سطح آب زیرزمینی در برخی نقاط شهر کاهش و در برخی نقاط دیگر افزایش یافته است. گزارش‌ها و اطلاعات مربوط به قبل از این دوره نشان‌دهنده افت سطح آب در بیشتر نقاط شهر می‌باشد. دلیل آن این بوده که در این دوره کل آب شرب شهر و فضای سبز آن از چاه‌های داخل شهر تأمین می‌شده و آب‌های سطحی نقشی در تأمین آب شهر نداشته‌اند. حتی اطلاعات مربوط به قبل از دهه ۴۰ نشان‌دهنده آن است که به دلیل بالا بودن سطح آب زیرزمینی در دشت مشهد رودخانه کشف رود در برخی نقاط این دشت به صورت زهکش عمل می‌کرده است.

با توجه به میزان تغییرات ۲۰ ساله (۱۳۷۱-۱۳۹۱) سطح آب زیرزمینی در چاه‌های مشاهده‌ای داخل شهر (شکل ۴)، این چاه‌ها به دو گروه دارای بالآمدگی و دارای افت سطح آب زیرزمینی قابل تقسیم است. در چاه‌های مشاهده‌ای بلوار جنگل، بلوار تلویزیون، بلوار راه آهن، قلعه ساختمان، بلوار فردوسی و دانشگاه-پارک ملت بالآمدگی و در چاه‌های مشاهده‌ای خین عرب، خواجه ابصلت، التیمور، خواجه ربیع، بحر آباد، اراضی قاسم‌آباد و تخم مرز افت سطح آب زیرزمینی رخ داده است. بررسی نقشه ترسیمی تغییرات سطح آب زیرزمینی ۲۰ ساله مشهد نشان می‌دهد که در حدود ۶۰ درصد از سطح شهر (۱۹۰ کیلومترمربع) بالآمدگی سطح آب رخ داده که منطبق بر بخش قدیمی و مرکزی شهر است. تکمیل و بهره‌برداری از طرح انتقال آب سطح سد دوستی برای تأمین آب شرب شهر از سال ۱۳۸۷ به بعد باعث شده که میزان تخلیه آب زیرزمینی توسط چاه‌های تأمین‌کننده آب شرب در محدوده شهر از ۹۹ میلیون مترمکعب در سال ۱۳۸۷ به حدود ۲۵ میلیون مترمکعب در سال ۱۳۹۱ رسیده و در برخی از نقاط بخش مرکزی شهر که برای احداث سازه‌ها گودبرداری‌های عمیق صورت گرفته است، نفوذ آب زیرزمینی به صورت مشکل‌جدی خودنمایی کند.

| ردیف | چاه مشاهده ای | تغییرات ۲۰ ساله سطح آب(متر) |
|------|------------------|-----------------------------|
| ۱ | تخم مرز | -۲۸/۹۹ |
| ۲ | خواجه ابصلت | -۲۵/۱۱ |
| ۳ | اراضی قاسم آباد | -۹/۳۹ |
| ۴ | خواجه ربیع | -۸/۶ |
| ۵ | بحر آباد | -۳/۷۱ |
| ۶ | خین عرب | -۲/۵۳ |
| ۷ | التیمور | -۱/۱۹ |
| ۸ | بلوار فردوسی | ۰/۱۹ |
| ۹ | دانشگاه-پارک ملت | ۱/۷ |
| ۱۰ | قلعه ساختمان | ۱/۷۳ |
| ۱۱ | بلوار تلویزیون | ۹/۵۵ |
| ۱۲ | بلوار راه آهن | ۱۱/۹ |
| ۱۳ | بلوار جنگل | ۱۶/۵۳ |



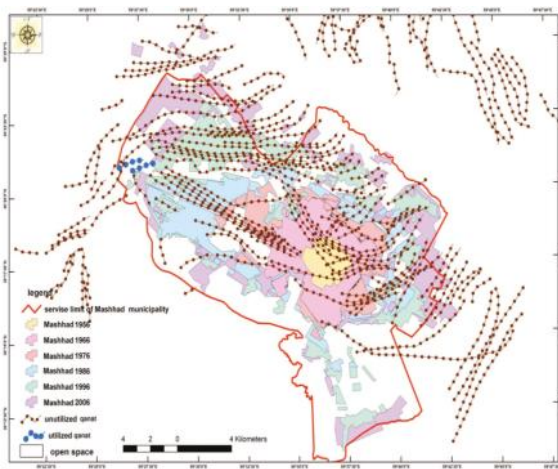
شکل ۴ - موقعیت چاه‌های مشاهده‌ای موجود در سطح شهر مشهد و تغییرات سطح آب زیرزمینی در آنها

۳-۳- قنوات متروکه شهر مشهد

توسعه شهرها در مناطق خشک باعث تخریب و بایر شدن قنوات موجود در داخل شهر و مناطق پیرامون آن‌ها شده است. توسعه شهر مشهد در طی ۵۵ سال گذشته باعث شده که بیش از ۸۰ رشته قنات که قبلاً در داخل یا اطراف شهر قرار داشتند در داخل محدوده شهری واقع شوند (شکل ۵). آبدهی این قنوات بر اساس آمار منابع آب سال ۱۳۴۴، حدود ۱۵۰۰ لیتر در ثانیه بوده که بخش عمده آن‌ها برای آبیاری اراضی کشاورزی و ۱۵ رشته قنات به‌عنوان تأمین‌کننده آب شرب شهر مورد استفاده قرار می‌گرفتند [13].



توسعه شهر باعث تغییر کاربری زمین‌های کشاورزی به مسکونی و متروکه شدن قنوات پیرامون شهر شده و همچنین تغییر سیستم آب‌رسانی شهر باعث عدم استفاده از قنوات تأمین‌کننده آب شرب شهر و رهاسازی آن‌ها شده است. پر کردن کنترل نشده و غیراصولی این قنوات از یک سو و افزایش بلندمرتبه‌سازی ساختمان‌ها در سطح شهر از سوی دیگر باعث شده که در محل میله‌های این قنوات زمین نشست کرده و سازه‌ها تخریب گردد برای نمونه می‌توان به شهرک اندیشه در قاسم‌آباد اشاره نمود. همچنین ریزش سقف قنوات و برخورد حفاری‌های انجام شده در زمان اجرای تأسیسات زیربنایی (شبکه فاضلاب و غیره) باعث تخریب‌های وسیع در سطح خیابان‌های شهر شده است. در شکل ۵ نمونه‌های از تخریب‌های ایجاد شده بر اثر ریزش قنوات ارائه شده است. همچنین با توجه به طول نسبتاً زیاد این قنوات متروکه و دفع فاضلاب خانگی در بخش وسیعی از سطح شهر، در بسیاری از مناطق شهر این قنوات به‌عنوان کانال جریان عمل کرده و انتقال آلودگی در آبخوان را تسریع کرده‌اند که نیاز به بررسی دقیق‌تر نقش قنوات در این مورد است.



شکل ۵: قنوات بایر و دایر واقع شده در محدوده شهر مشهد س [16] و نشست دایره‌ای شکل در اسفالت خیابان در اثر ریزش میله قنات

۴-۳- نتیجه‌گیری

بررسی اثرات زیست‌محیطی توسعه شهر مشهد بر آبخوان در طی ۵۵ سال اخیر نشان می‌دهد که توسعه شهر باعث تأثیرات زیاد کمی و کیفی بر منابع آب زیرزمینی در محدوده شهر شده و ادامه این روند باعث بروز مشکلات غیرقابل جبرانی خواهد شد. بررسی وضعیت تغییرات غلظت نیترات به‌عنوان یک شاخص کیفی توسعه شهری در طی ۵۵ سال گذشته در محدوده شهر مشهد نشان‌دهنده افزایش بارز غلظت نیترات می‌باشد. روند افزایش نیترات در سطح شهر یکنواخت نبوده و در برخی نقاط شدیدتر بوده است. بررسی زمانی تغییرات نیترات آب زیرزمینی شهر نشان می‌دهد که تا قبل از دهه ۷۰ میزان افزایش نیترات آب زیرزمینی کند بوده ولی از این دهه به بعد این روند افزایش یافته است. این افزایش در نقاط با تراکم جمعیت بیشتر و یا سطح آب زیرزمینی بالاتر و یا نفوذپذیری بیشتر آبرفت افزایش یافته است.

علی‌رغم برداشت سالانه بیش از ۱۵۰ میلیون مترمکعب آب زیرزمینی برای تأمین آب شرب شهر تا قبل از سال ۱۳۸۷ به دلیل انتقال آب از سایر نقاط حوضه به محدوده شهر سطح آب زیرزمینی در بیش از ۶۰ درصد مساحت شهر بالا آمده است. توسعه شهر در ۵۵ سال گذشته باعث مسدود شدن مسیر قنوات و تخریب آن‌ها به دلیل قرار گرفتن آن‌ها در



داخل محدوده شهری شده است. پر شدن کوره و میله‌های قنوت توسط فاضلاب شهری و همچنین پر کردن کنترل نشده و غیراصولی این قنوت باعث نشست زمین و آسیب به سازه‌ها در سطح شهر گردیده است.

فهرست منابع

- [1] Foster, S.S.D., Lawrence, A.R., and Morris, B.L. 1998. Groundwater in urban development Assessing. management needs and formulating policy strategies, Washington DC, World Bank Technical Paper 390, 55 p.
- [۲] لشکری پور، غ. ر. و غفوری، م. ۱۳۸۱. بررسی وضعیت نیترات آب زیرزمینی مشهد. آب و فاضلاب ۴۱، صفحات ۲-۷.
- [۳] سازمان محیط‌زیست استان خراسان. ۱۳۶۳. بررسی اثرات توسعه شهر مشهد بر منابع آب.
- [۴] لطیف، م. ۱۳۸۱. بررسی آلودگی نیترات و منشأیابی آن در آب‌های زیرزمینی دشت مشهد. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی اصفهان، ۱۳۷ صفحه.
- [۵] دولتی، ج. ۱۳۸۹. بررسی اثرات زیست محیطی توسعه شهر مشهد بر آبخوان و منابع آب. پنجمین کنگره ملی عمران ایران مشهد دانشگاه فردوسی، ۱۴ تا ۱۶ اردیبهشت.
- [۶] پورحریری، ع. ۱۳۳۵. بررسی بهداشتی آب‌های شرب شهر مشهد. دانشگاه پزشکی مشهد، رساله دکتری.
- [۷] شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی. ۱۳۸۳. مدل ریاضی دشت مشهد، معاونت مطالعات پایه.
- [۸] سیادتی، س. ج. ۱۳۸۳. مدل ریاضی کمی و کیفی شهر مشهد. پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی عمران، منابع آب دانشگاه خواجه‌نصیرالدین طوسی.
- [۹] نیک پیمان، و. ۱۳۹۲. شبیه‌سازی تأثیر کمی انتقال آب سد دوستی بر آبخوان محدوده شهر مشهد. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۵۵ صفحه.
- [۱۰] شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی. ۱۳۸۷. گزارش بیان ممنوعیت دشت مشهد، معاونت مطالعات پایه.
- [11] Morris, B.L., Lawrence, A.R., and Foster, S.D. 1997. Sustainable groundwater management for fast-growing cities: Mission achievable or mission impossible? In J. Chilton et al. (eds). Groundwater in the Urban Environment, Volume 1: problems, processes and management; Proceedings of the XXVII IAH Congress on Groundwater in the Urban Environment, Nottingham, UK, 21–27 September, Rotterdam: Balkema, 55–66.
- [۱۲] شهرداری مشهد. ۱۳۹۰. آمارنامه شهر مشهد.
- [۱۳] غمامی، م. ۱۳۷۲. طرح جامع مشهد. آبادی شماره ۶۹.
- [۱۴] مرکز آمار ایران. ۱۳۹۰-۱۳۳۵. نتایج سرشماری های عمومی نفوس و مسکن مشهد.
- [۱۵] مهندسین مشاور طوس آب. ۱۳۹۲. مطالعات مرحله اول طرح جداسازی آب شرب از سایر مصارف شهر مشهد. جلد پنجم: منابع آب زیرزمینی، ۱۵۶ صفحه.
- [16] Hosseini, S. A., Shahraki, S. Z., Farhudi, R., Hosseini, S. M., Salari, M., and Pourahmad, A. 2010. Effect of urban sprawl on a traditional water system (quanta) in the City of Mashhad, NE Iran. Urban Water Journal, 7(5), 309-320.