پژوهش‌های جغرافیای برنامه‌ریزی شهری، دورهٔ ۳، شمارهٔ ۲، تابستان ۱۳۹۴
ص ۱۲۳-۱۴۳

ارزیابی پایداری و تعیین اندازهٔ بهینهٔ جمعیت شهر مشهد بر اساس وضعیت منابع آبی

محمدرحیم رهنما – دکتری جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشیار دانشگاه فردوسی مشهد، گروه جغرافیا
لیا شاددل* ـ دانشجوی دکتری، دانشگاه فردوسی مشهد، رشتهٔ جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری

پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۴/۲۵ تأیید مقاله: ۱۳۹۴/۷/۱۸

چکیده

پژوهش حاضر در مرحلهٔ اول به ارزیابی پایداری شهر مشهد در ارتباط با منابع آبی بر اساس مدل‌های توسعهٔ شهری پایدار پیشنهادشده توسط هاتون اختصاص دارد و سپس جمعیت بهینهٔ مشهد را بر اساس دو گزینهٔ سازمان آب و فاضلاب برای تأمین آب مورد نیاز در سال ۱۳۹۵، با احتساب سد دوستی و ارداک و بدون احتساب این دو سد تعیین می‌کند. بر اساس ماهیت هدف‌گذاری، از روش تحقیق ترکیبی از نوع تودرتو استفاده شد؛ چرا که اطلاعات کیفی پشتوانه‌ای برای تحلیل‌های کمی محسوب می‌شود. در این راستا با استفاده از مطالعات کتابخانه‌ای فرم‌های پایدار شهری بررسی شدند و در ادامه، مدل‌های هاتون در ارتباط با شبکهٔ آب و فاضلاب شهری شناسایی گردیدند. وضعیت منابع آبی استان، دشت مشهد و شهر مشهد از طریق اسناد مرتبط تعیین گردید و سپس با استفاده از تحلیل‌های کمی، جمعیت بهینهٔ شهر بر اساس دو گزینهٔ سازمان آب و فاضلاب محاسبه شد. نتایج نشان می‌دهد دشت مشهد از منابع آب زیرزمینی استان ۲ درصد آن را داراست. در حالی که ۶۵/۹۷ درصد جمعیت شهری استان در این دشت و به‌ویژه در شهر مشهد ساکن‌اند و ۴۲ درصد آب مورد نیاز از منابع سطحی تأمین می‌گردد که ۹۲/۷ درصد آن متعلق به سد دوستی است. این سد در فاصلهٔ ۲۲۰ کیلومتری شهر مشهد واقع است و از کل فاضلاب خانگی تولیدشده، ۳۰ درصد آن بازیافت می‌شود. بنابراین، بر اساس مدل‌های شهری پایدار هاتون، مشهد در ارتباط با منابع آبی شهر پایداری نیست و بر اساس عدم وابستگی به خارج از حوزهٔ نفوذ (بدون احتساب سد دوستی و ارداک) ۱۱۹۲۶۶۰ نفر و حتی با وابستگی به خارج از حوزهٔ نفوذ ۵۵۰۴۵۹ نفر مازاد جمعیت دارد.

کلیدواژه‌ها: اندازهٔ بهینهٔ جمعیت، پایداری، مشهد، منابع آبی.

نویسندهٔ مسئول:
* E- mail: lia.shaddel@gmail.com

مقدمه

بر اساس پیش‌بینی سازمان ملل انتظار می‌رود تا سال ۲۰۵۰، ۷۰ درصد جمعیت جهان در شهرها زندگی کنند (United Nation, 2012). تمرکز زیاد جمعیت در مناطق شهری تهدیدهایی را برای رفاه اقتصادی، اجتماعی و محیطی ایجاد می‌کند و فشارهایی را بر این سیستم‌ها وارد می‌آورد (Sheikh Azim and Razavian, 2013; 32). یکی از چالش‌های مرتبط با افزایش سرعت شهرنشینی تأمین آب برای مناطق شهری خواهد بود (Lundqvist et al., 2003; Unalan, 2011). افزایش تقاضای آب شهری به دلیل رشد جمعیت به یک نگرانی تبدیل شده است (Nair et al., 2014; 2) و این جریان در مناطق خشک و نیمه‌خشک که تغییر اقلیم از طریق خشکسالی کمبود آب را تشدید می‌کند به ظهور چالشی عمده منجر شده است (McDonald et al., 2011; Field et al., 2014). مدیریت منابع آب همواره به‌طور سنتی بر مدیریت بخش عرضه متمرکز بوده است. تنها اخیراً مدیریت آب در بخش تقاضا به عنوان راهبردی جدید مرکز توجه قرار گرفته است (ذهبیون، ۱۳۸۱: ۵۹). برنامه‌ریزی شهری و در کنار آن برنامه‌ریزی برای تأمین آب شهر به میزان زیادی به افزایش جمعیت مرتبط است (اصغری مقدم، ۱۳۸۷: ۹۷). ایجاد توازن بین مصرف‌کنندگان آب و کنترل‌های جمعیتی از مهم‌ترین چالش‌های مدیران شهری است (ببران و همکاران، ۱۳۸۸: ۴۷). بنابراین نظارت دقیق و ارزیابی منظم در مناطقی که با کمبود آب مواجه می‌شوند، ضروری است (Townend and Chesseman, 2005; 400).

با رشد اندازه و تراکم جمعیت شهری، منابع آبی مورد نیاز می‌بایست از منابع آبی واقع در خارج از مرزهای شهری تأمین گردند (Lundqvist et al., 2003; 1986). خاسلنه و همکارانش در سال ۲۰۱۰، بیان کردند «آیا واقعاً ظرفیتی برای توسعهٔ شهری بر مبنای منابع آبی وجود دارد؟» (Khathlene et al., 2010; 20). بنابراین لزوم حرکت به سمت برنامه‌ریزی شهری، توسعهٔ پایدار و جمعیت بهینهٔ شهر بر اساس منابع آبی مشخص می‌گردد؛ چرا که «آب کلید توسعهٔ پایدار است» (UNESCO, 2014).

به دنبال ارائهٔ مفهوم توسعهٔ پایدار در سال ۱۹۸۷ (Blowers, 1994; 6)، مدل‌های شهرهای پایدار مطرح شد. برنامه ریزان شهرهای پایدار باید هدفشان را بر ایجاد شهرهایی با ورود کمتر انرژی و مصالح و خروج کمتر آلودگی متمرکز کنند (ترنر، ۱۳۷۶: ۱۸۰). شهر پایدار شهری است که در طول زمان از نظر زیست‌محیطی قابل سکونت، از نظر اقتصادی بادوام و از نظر اجتماعی هم‌بسته باشد (لشکری و خلج، ۱۳۹۰: ۳۷). تعداد زیادی از مدل‌های شهری پایدار مطرح شده است، اما مفهوم آن به عنوان بنیاد نظری و پایه‌های تجربی بررسی نشده است (Jones and MacDonal, 2004; 2). فرم‌های شهری پایدار بر ارتباط بنیان‌های اقتصادی، اجتماعی و محیطی دلالت دارد و تحقیقات نشان داده‌اند که تعدادی از فرم‌های شهری می‌توانند پایدار باشند (Jenks and Jones, 2010; 1). مطالعات هاتون روی مدل‌های پایدار شهری خیلی سودمند بود و هر مدل استراتژی‌های متفاوتی را در ارتباط با شبکهٔ آب و فاضلاب مطرح می‌کند (رهنما و عباس‌زاده، ۱۳۸۷: ۱۹). در ادامه، مدل‌های مرتبط تشریح می‌گردند.

مدل طراحی مجدد شهرها

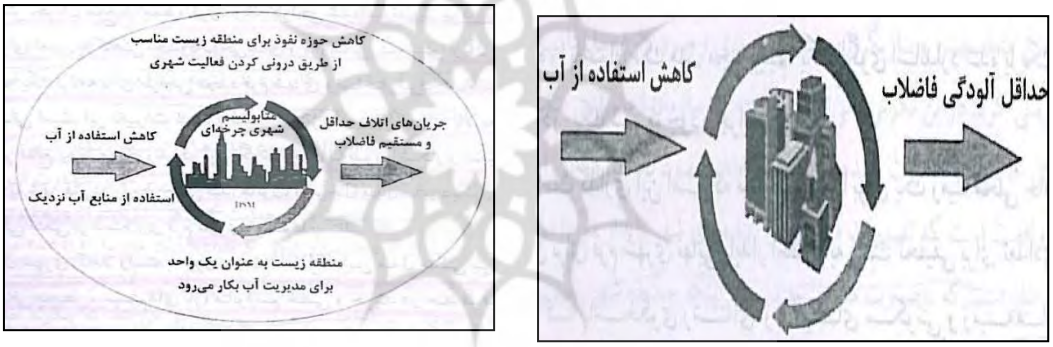
این مدل بر هدف برنامه‌ریزی برای کارآمد کردن انرژی و فشردگی نواحی شهری متکی است. سیاست‌های توسعهٔ شهری که با حداقل متابولیسم شهری از طریق کاهش جریان منابع فزاینده و تولید زباله طراحی شده‌اند، در درون شهر

تمرکز دارند. این تغیرات عمیقاً با تغییر استراتژیک به تراکم‌های بالا به خاطر تسهیل کاربرد آهستهٔ انرژی و دیگر منابع پیوند می‌خورند. در این نگرش مدل به‌طور آشکاری بسیاری از فرض‌های اساسی مربوط به شهر فشرده را مطرح می‌کند (رهنما و عباس‌زاده، ۱۳۸۷: ۸۱). توسعهٔ فشرده به کاهش ۳۰ درصد رواناب سطحی و ۴۰ درصد آلودگی آب منجر خواهد شد(U.S Environmental Protection Agency, 2004; 18).

مدل شهر خوداتکا

این مدل متکی بر درونی کردن فشردهٔ فعالیت‌های محیطی و اقتصادی، متابولیسم چرخشی، خودبسندگی شهری و ناحیه‌گرایی زیستی است. حوزهٔ نفوذ به یک ناحیهٔ زیستی مناسب کاهش می‌یابد که در داخل آن جریان‌های منابع به یک ناحیهٔ زیستی مطلوب تقلیل می‌یابد و بر استفاده از تکنولوژی‌های کوچک‌مقیاس، بازیافت مواد و مدیریت تقاضا تأکید ویژه‌ای دارد (رهنما و عباس‌زاده، ۱۳۸۷: ۸۲).

شکل ۱ مدل‌های پایدار شهری هاتون را نشان می‌دهد.



مدل طراحی مجدد شهرها　　مدل شهر خوداتکا

شکل ۱. مدل‌های پایدار شهری هاتون

منبع: رهنما و عباس‌زاده، ۱۳۸۷

ایران با متوسط نزولات جوی ۲۵۰ میلی‌متر در سال از کشورهای خشک جهان است که اقلیم گرم و خشک و منابع محدود دارد. بنابراین توجه به منابع آبی مهم تلقی می‌گردد (نخستین ماهنامهٔ مدیریت به هم پیوستهٔ منابع آب، ۱۳۸۸: ۱). استان خراسان رضوی نیز با میانگین بارش سالانه ۲۱۰ میلی‌متر (آمارنامهٔ استان خراسان رضوی، ۱۳۹۱) دارای اقلیم خشک و از مناطق کم‌آب کشور است. شهر مشهد به عنوان مرکز استان، در دشت مشهد واقع شده و بزرگ‌ترین نقطهٔ شهری آن محسوب می‌شود. مشهد دومین کلان‌شهر جمعیتی ایران با جمعیت ۲۷۶۶۲۵۸ نفر (آمارنامهٔ ۹۰) است که ۱۲ برابر دومین شهر استان است و همچنین به عنوان دومین کلان‌شهر مذهبی جهان، سالانه پذیرای حدود ۲۰ میلیون نفر زائر و مسافر است (آمایش خراسان رضوی، ۱۳۹۱). روشن است که این رشد بی‌سابقهٔ جمعیت همهٔ امکانات موجود را با کمبود و مشکل روبه‌رو می‌کند. یکی از مهم‌ترین این امکانات تأمین آب شرب بوده که با مشکلات بی‌شماری مواجه شده است. به‌ویژه در فصل تابستان که گرمای هوا و جمعیت زائران نیازهای آبی را افزایش می‌دهد، کمبود آب آشکارتر

می‌گردد. این در حالی است که از سال ۱۳۴۷ استفاده از این دشت از طرف امور آب وزارت نیرو ممنوع اعلام شده است (ولایتی، ۱۳۷۶). این وضعیت منجر به استفادهٔ فزاینده از منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی واقع در دشت مشهد در راستای تأمین تقاضاها شده است (آمایش خراسان رضوی، ۱۳۹۱). بنابراین شهر مشهد برای تأمین آب مورد نیاز خود علاوه بر ادامهٔ بهره‌برداری از دشت، به خارج از حوزهٔ نفوذ نیز وابسته شده است و می‌بایست برای کاهش وابستگی شهر به ناحیهٔ پیرامون و مدیریت پایدار منابع آبی، شهر مشهد به فرمی پایدار هدایت گردد. راه‌حل‌ها برای مشکل آب شهری نه فقط به روش‌های تحلیلی، بلکه نیاز به توسعه و پیاده‌سازی پارادایم‌های جدید دارد (Seto and Satterthwaite, 2010; 128).

بر این اساس هدف نهایی در تحقیق پیش رو ارزیابی پایداری شهر مشهد در ارتباط با منابع آبی بر اساس مدل‌های توسعهٔ شهری پایدار پیشنهادی هاتون و تعیین جمعیت بهینهٔ شهر در سال ۱۳۹۵ بر اساس دو گزینهٔ سازمان آب و فاضلاب شهر مشهد برای تأمین آب مورد نیاز (توان تولیدی) و سرانهٔ مصرفی در این سال است.

پیشینهٔ تحقیق

در دههٔ اخیر به‌ویژه در سال‌های پایانی قرن بیستم آب به عنوان موضوعی مهم در کانون مباحثات و مذاکرات بین‌المللی قرار گرفته است و به سبب زمینه‌های گسترده در موضوع آب، سابقهٔ تحقیق متنوع است. بنابراین در ادامه به برخی از مهم‌ترین پژوهش‌ها در سطح جهان و ایران به‌طور خلاصه اشاره می‌گردد. اسرینیواسان و همکارانش در سال ۲۰۱۳ با به‌کارگیری رویکرد سیستم زوجی انسان– محیط اثرات شهرنشینی بر آسیب‌پذیری آب را بررسی کردند. آنها بیان کردند که اگرچه ارتباط بین شهرنشینی و آسیب‌پذیری آب مشخص است، اما نتایج نشان داده است که برخی عوامل تعمیمی نیز وجود دارد و آسیب‌پذیری شهری به کمبود آب به ترکیبی از چندین عامل از جمله زیرساخت‌های رسمی آب و الگوی فضایی تغییرات کاربری زمین بستگی دارد. همچنین به منظور کاهش آسیب‌پذیری کمبود آب به شکلی جدید از برنامه‌ریزی و حکمرانی شهری نیاز داریم (Srinivasan et al., 2013: 229-239). مک دونالد و همکارانش در سال ۲۰۱۱، رشد شهری، تغییر اقلیم و آسیب‌پذیری آب را مطالعه کردند. آنها از مدل هیدرولوژیکی، ارزیابی‌های جمعیتی و سناریوهای تغییر اقلیم برای پیش‌بینی آسیب‌پذیری آب در شهرهای عمدهٔ جهان در حال توسعه که شهرنشینی بسیار سریع است، استفاده کرده‌اند. نتایج مدل آنها نشان داد که حدود ۱۵۰ میلیون نفر از افراد در شهرهایی با کمبود آب دائمی زندگی می‌کنند. در آیندهٔ نزدیک شهرهای درحال‌توسعهٔ جهان برای تأمین آب مورد نیاز ساکنان تلاش و مبارزه خواهند کرد و به سرمایه‌گذاری‌های شایان توجهی برای تأمین آب نیاز خواهد بود (McDonald et al., 2011: 6312-6317). بائو و فنگ در سال ۲۰۰۷، منابع آبی را به عنوان نیروهای محدودکنندهٔ شهرنشینی در مناطق دچار کمبود آب مطالعه کردند. نتایج آنها نشان داد در زمانی که مقیاس‌های جمعیتی، اقتصادی و شهری تجاوز کنند، سیستم منابع آبی به‌طور معناداری توسعهٔ سیستم‌های اجتماعی – اقتصادی از جمله فرایندهای شهرنشینی را کاهش می‌دهد. آنها بیان کردند مناطقی که محدودیت‌های شدید دارند، می‌بایست اقدامات فوری از جمله انتقال آب از دیگر حوضه‌های آبی، محدود کردن توسعهٔ شهری و جمعیتی و توانمندسازی برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آبی برای حل مشکلات آب را به‌کار گیرند (Bao and Fang, 2007: 508-517).

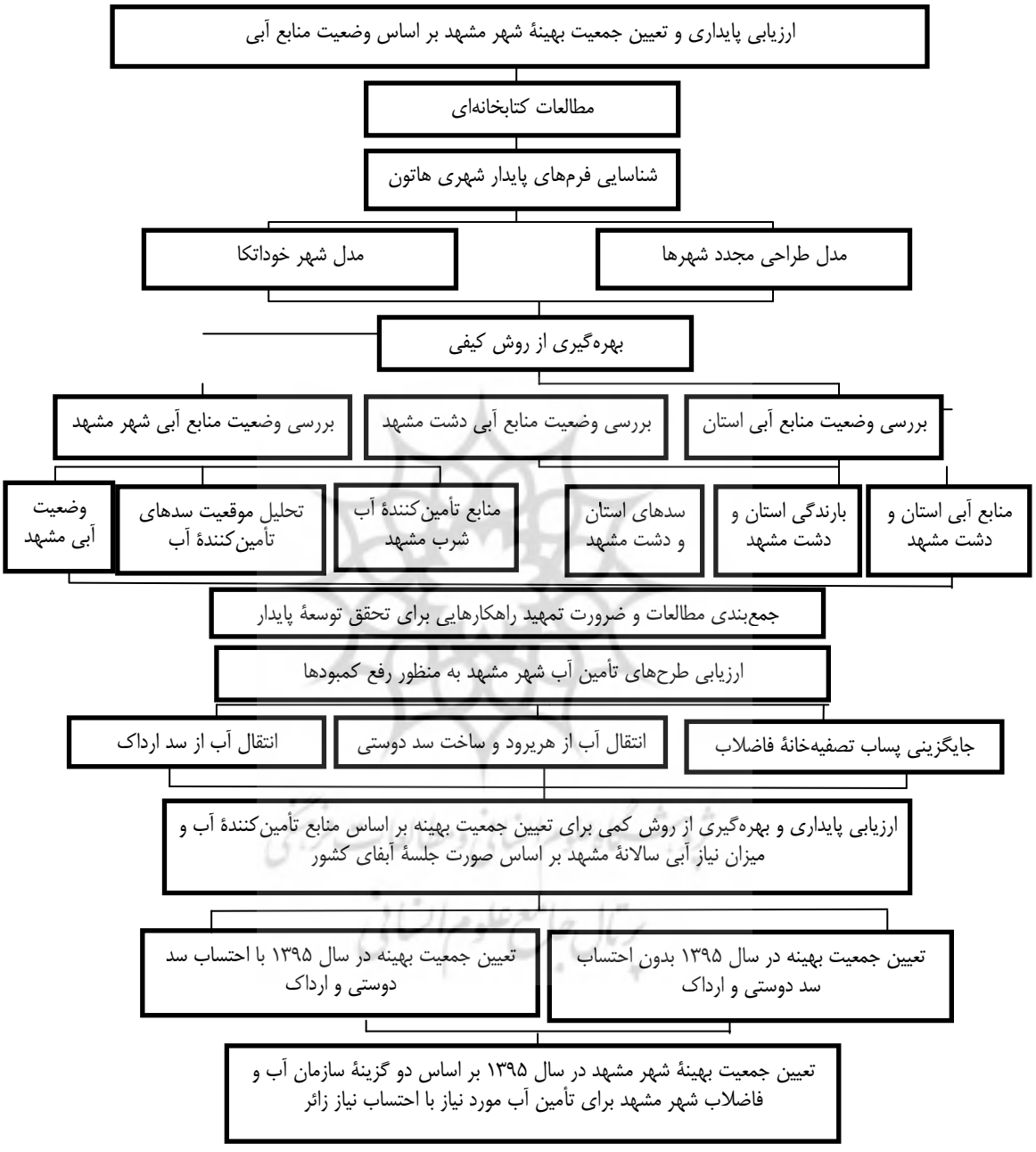
رهنما و میراثی در سال ۱۳۹۳، دربارهٔ خشکسالی و بحران آب در دشت‌های ایران و به‌ویژه دشت مرودشت و خانمیرزا مطالعه کردند. آنها بیان کردند میزان مصرف آب‌های زیرزمینی در اغلب دشت‌های کشور بسیار نگران‌کننده و جبران‌ناپذیر است. زیرا حجم برداشت در این سدها بیشتر از ظرفیت تجدیدپذیری آب است. در صورت ادامهٔ روند کنونی و انجام نگرفتن اقدامات جدی، شاهد بروز پیامدهای زیست‌محیطی و مشکلات اقتصادی – اجتماعی فراوانی خواهیم بود (رهنما و میراثی، ۱۳۹۳: ۱۵۴–۱۳۹). در سال ۹۱ حسینی و باقری پژوهشی با عنوان *مدل‌سازی پویایی سیستم منابع آب دشت مشهد برای تحلیل استراتژی‌های توسعهٔ پایدار* انجام دادند. هدف آنها بیان چگونگی عملیاتی کردن ارزیابی یکپارچهٔ منابع آب، ارزیابی سیستم منابع آب دشت مشهد در نتیجهٔ اقدامات و سیاست‌های اتخاذشده در فرایند برنامه‌های توسعهٔ اقتصادی کشور است. آنها بیان کردند که استفادهٔ فزاینده از منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی دشت مشهد در نتیجهٔ توسعهٔ کشاورزی، صنایع وابسته و افزایش شهرنشینی در این دشت به تشدید روند نزولی سطح آبخوان آن منجر شده است. همچنین نتایج نشان می‌دهد که تغییر الگوی کشت و تمرکززدایی صنایع و جمعیت به عنوان سیاست‌های برتر می‌توانند گامی اثربخش در راستای بهبود وضعیت منابع آب دشت مشهد باشد (حسینی و باقری، ۱۳۹۱: ۳۹–۲۸). خزانه‌داری و همکاران در سال ۸۸، پژوهشی با عنوان *دورنمایی از وضعیت خشکسالی ایران طی سی سال آینده* به انجام رساندند. آنها بیان کردند که پیامدهای ناشی از تغییر اقلیم طی سال‌های اخیر مشکلات زیادی را همراه داشته است که از مهم‌ترین پیامدهای آن در ایران وقوع سیل و کمبود منابع آبی است. از آنجا که کم‌آبی بخش‌های مختلف جامعه مانند کشاورزی، صنعت و بهداشت را تحت تأثیر قرار می‌دهد، ارزشیابی به منظور ارائهٔ برنامه‌ریزی صحیح در بخش‌های مختلف جامعه لازم و ضروری است. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که طی سی سال آینده شرایط خشکسالی در کشور رو به افزایش خواهد بود، به گونه‌ای که طی دورهٔ تحت مطالعه در سال‌های ۲۰۱۱، ۲۰۲۵، ۲۰۳۲، ۲۰۳۴، ۲۰۳۵ و ۲۰۳۹ بیشتر نقاط کشور با خشکسالی شدید و بسیار شدید روبه‌رو خواهد شد (خزانه‌داری و همکاران، ۱۳۸۸: ۹۸–۸۳).

سوابق نشان می‌دهد که متناسب با شرایط کشورهای مختلف، پژوهش‌های متنوعی در زمینه‌های اهمیت آب در چرخهٔ حیات، حفاظت از منابع آبی و توسعهٔ پایدار انجام گرفته است. همچنین در ارتباط با تعیین اندازهٔ شهر، عابدین درکوش و نصیری در سال ۱۳۸۹ اندازهٔ بهینهٔ شهرهای ایران به روش تابع مازاد را برآورد کردند. همچنین آنها بیان کردند که تحقیقات انجام‌گرفته مانند دکتر زبردست و دکتر درکوش و مقالهٔ *تحلیل توزیع اندازهٔ شهر در سیستم شهرهای ایران* تألیف اکبری و همکاران، بیشتر جنبهٔ نظری داشته و در آنها به بحث قاعدهٔ زیف (رتبه – اندزه) و قاعدهٔ جیبرات (رابطهٔ اندازهٔ شهر و رشد شهر) توجه شده است (عابدین درکوش و نصیری، ۱۳۸۹: ۸۳–۷۱). تاکنون پژوهشی در زمینهٔ تعیین جمعیت بهینهٔ شهر بر اساس منابع آبی انجام نگرفته است.

روش تحقیق

تحقیق حاضر از نظر هدف کاربردی است و بر ارزیابی پایداری شهر مشهد در ارتباط با منابع آبی بر اساس مدل‌های توسعهٔ شهری پایدار پیشنهادی هاتون و تعیین جمعیت بهینهٔ شهر در سال ۱۳۹۵ بر اساس دو گزینهٔ سازمان آب و فاضلاب شهر مشهد برای تأمین آب مورد نیاز (توان تولیدی) و سرانهٔ مصرفی در این سال تأکید دارد و با توجه به ماهیت

هدف‌گذاری و ابزارهای دستیابی به اهداف، از روش تحقیق ترکیبی از نوع تودرتو استفاده می‌گردد کـه اطلاعـات کیفـی پشتوانه‌ای برای تحلیل‌های کمی محسوب می‌شود. فرایند انجام تحقیق در شکل ۲ آمده است.



شکل ۲. فرایند انجام تحقیق

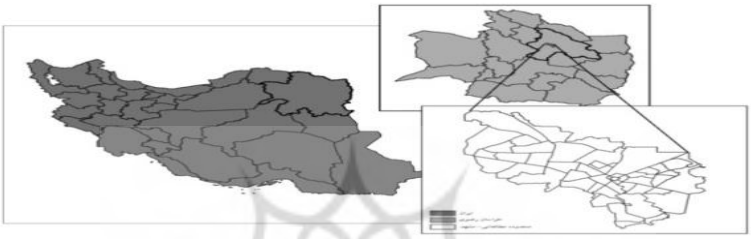
منبع: نگاندگان

محدودهٔ تحت مطالعه

شهر مشهد پیدایش و رشد خویش را مرهون وجود مرقد حضرت رضا (ع) اسـت. کـلان‌شـهر مشـهد در حاشـیهٔ جنـوبی کشف‌رود با مختصات جغرافیایی ۵۹ درجه و ۳۶ دقیقهٔ طول شرقی و ۳۶ درجه و ۱۷ دقیقهٔ عرض شمالی با مرکزیت حرم

مطهر حضرت رضا (ع) شناسایی می‌شود. متوسط ارتفاع شهر مشهد حدود ۹۷۰ متر است. از نظر اقلیمی مشهد در منطقهٔ گرم و خشک واقع شده و دارای تابستان‌های گرم و زمستان‌های نسبتاً سرد است (آمایش خراسان رضوی، ۱۳۹۱).

شهر مشهد ۲۷۶۶۲۵۸ نفر جمعیت و ۲۹۵۸۰ هکتار (با احتساب محدوده و حریم) وسعت را به خود اختصاص داده است. مشهد در حال حاضر دارای ۱۳ منطقهٔ شهرداری و ۴۲ ناحیهٔ خدمات شهری است (آمارنامهٔ ۹۰). امروزه کلان‌شهر مذهبی مشهد به عنوان دومین کلان‌شهر مذهبی جهان و دومین کلان‌شهر جمعیتی ایران شناخته می‌شود (پیله‌ور و پوراحمد، ۱۳۸۳، ۱۰۴). این وضعیت تأثیری بسزا در افزایش جمعیت شهری داشته است. شکل ۳ موقعیت محدودهٔ تحت مطالعه را نشان می‌دهد. همچنین جدول ۱ نشان‌دهندهٔ سهم مشهد از فعالیت‌های مختلف استان است.



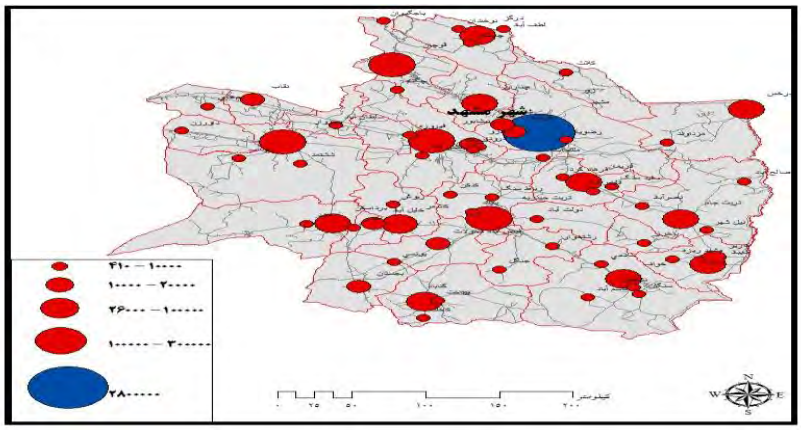
شکل ۳. موقعیت محدودهٔ تحت مطالعه

جدول ۱. سهم شهر مشهد از فعالیت‌های موجود در استان

ویژگی	سهم از استان (به درصد)
جمعیت	۶۷
خدمات بهداشتی درمانی	۶۵/۸۲
واحدهای بانکی استان	۵۷/۷
صنایع (اشتغال)	۸۲
هیئت علمی دانشگاه‌ها	۶۰/۶
دانش‌آموختگان دانشگاه‌ها و مؤسسات آموزش عالی	۵۷/۳۲
آب مصرفی و خطوط فاضلاب	۶۱

منبع: آمایش استان خراسان رضوی، ۱۳۹۱

بنابراین با توجه به نتایج مطالعات و تحلیل ساختار فضایی موجود، استان خراسان رضوی دارای ساختار فضایی تک‌مرکزی به مرکزیت شهر مشهد است. شکل ۴ نشان‌دهندهٔ جایگاه مشهد در ساختار فضایی موجود نظام سکونتگاهی استان خراسان رضوی است.



شکل ۴. جایگاه مشهد در ساختار فضایی موجود نظام سکونتگاهی استان خراسان رضوی

منبع: آمایش استان خراسان رضوی، ۱۳۹۱

بنابراین در مناطق خشک سیاست‌های تمرکزگرایی منجر به رشد جمعیت و بزرگ‌سری معدودی از شهرها در مقایسه با دیگر شهرها در شبکهٔ شهری می‌گردد که نیاز به تأمین نیازهای آبی و غذایی از فواصل دور را ضروری می‌نماید و وابستگی شهر را به محیط پیرامون تشدید می‌کند. همین وضعیت گریبان‌گیر مشهد نه تنها به عنوان مرکزیت سیاسی – اداری، بلکه مرکز فرهنگی – اقتصادی و مذهبی شده است.

یافته‌های تحقیق

بررسی منابع آبی استان و دشت مشهد

استان خراسان رضوی دارای ۴ حوضهٔ آبریز اصلی است. دشت مشهد در حوزهٔ قره‌قوم واقع شده و مساحت آن ۹۹۰۹ کیلومتر مربع است. به‌طور میانگین حدود ۸۲ درصد مصرف آبی استان از طریق منابع زیرزمینی تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر تأمین می‌شود. در ارتباط با استفاده از منابع آب زیرزمینی از میان ۳۷ دشت استان، ۱۲ دشت ممنوعهٔ بحرانی، ۲۲ دشت ممنوعهٔ عادی و ۳ دشت آزاد گزارش شده‌اند. دشت مشهد جزء دشت‌های ممنوعهٔ بحرانی است. از ۱۰۰ درصد منابع آب زیرزمینی استان، ۲ درصد آن موجود در دشت مشهد است در صورتی که ۶۵/۹۷ درصد جمعیت شهری استان در دشت مشهد ساکن‌اند و شهر مشهد به عنوان بزرگ‌ترین نقطهٔ شهری دشت محسوب می‌شود (آمایش استان خراسان رضوی، ۱۳۹۱).

مطابق با گفتهٔ ولایتی (۱۳۹۲)، آب‌های زیرزمینی دشت‌های خراسان و از جمله دشت مشهد جزء آب‌های زیرزمینی نیمه‌فسیل اند که فقط بخشی از آنها تجدید می‌شود و بخشی دیگر برای مدتی طولانی از چرخهٔ آب دور می‌ماند و تاریخ اولین آگهی ممنوعیت در برخی دشت‌ها مثل دشت مشهد از سال ۱۳۴۵ بوده است. اما نه تنها بهره‌برداری کاهش را نشان نمی‌دهد، بلکه حفر چاه‌ها روندی افزایشی داشته است.

وضعیت بارندگی استان و دشت مشهد

میانگین بارندگی استان ۲۱۰ میلی‌متر در سال است. ۲۴ میلیارد مترمکعب، متوسط حجم نزولات جوی سالانه است که ۱۹

میلیارد مترمکعب از طریق تبخیر و تعرق واقعی از بین می‌رود که بیشترین میزان تبخیر در استان ۸۶–۸۱ درصد است و در نواحی پست و کم‌ارتفاع حاشیهٔ کویر و شرق استان اتفاق می‌افتد. در دشت مشهد ۲ میلیارد مترمکعب، متوسط حجم نزولات جوی سالانه است و به‌طور متوسط تبخیر در دشت مشهد ۷۵–۷۱ درصد است (آمایش استان خراسان رضوی، ۱۳۹۱).

بررسی سدهای استان و دشت مشهد

در استان خراسان رضوی ۲۶ سد بهره‌برداری می‌شود که ۵ سد در دشت مشهد مستقر است. علاوه بر سدهای موجود در دشت مشهد، به دلیل افزایش جمعیت ساکن در دشت و شهر مشهد و بیلان منفی آب‌های زیرزمینی دشت (حسینی و باقری، ۱۳۹۱) بحث طرح عظیم انتقال آب از سد دوستی به شهر مشهد از سال ۱۳۷۲ آغاز گردید که طبق مطالعات ولایتی و توسلی (۱۳۷۰)، احداث و انتقال آب در خلاف جهت شیب توپوگرافی هزینهٔ بالایی داشته است. این سد که اولین بار در سال ۱۳۸۷ بهره‌برداری شد، با کشور ترکمنستان مشترک است (موقعیت سد ۲۲۰ کیلومتری مشهد واقع در حوضهٔ قره‌قوم و دشت سرخس). هدف از اجرای این طرح انتقال سالیانهٔ ۱۳۰ میلیون مترمکعب آب خارج از دشت مشهد برای تأمین بخشی از آب شرب و صنعت مشهد بوده است (سازمان آب و فاضلاب مشهد، ۱۳۹۳). طبق گزارش عملکرد مصوبات هیئت دولت در فروردین ۱۳۹۲، از ابتدای اجرای پروژهٔ سد دوستی تا پایان سال ۹۱ برای اتمام خط انتقال، رینگ و مخازن سد ۱۴۲۱/۷ میلیارد ریال هزینه شده است (گزارش عملکرد مصوبات هیئت دولت، ۱۳۹۲). شواهد نشان‌دهندهٔ وابستگی شهر مشهد برای تأمین آب به منابع خارج از دشت است.

ارزیابی وضعیت آبی استان و دشت مشهد

نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که ۶۴/۸ درصد جمعیت شهری استان، ۵۴/۲ درصد نقاط شهری استان، ۶۷/۱ درصد جمعیت روستایی و ۶۰/۲ درصد نقاط روستایی در دشت‌های آبی بحرانی قرار دارند. ۱/۳ میلیارد مترمکعب متوسط کسری مخازن استان است و پر نشدن سدهای استان به میزان حجم تنظیمی در ۸۰ درصد سال اتفاق می‌افتد. بر اساس شاخص فالکن مارک که وضعیت دسترسی به آب را بر حسب سرانهٔ آب تجدیدپذیر ارزیابی می‌کند، بخش اعظم استان در شرایط نامطلوبی از نظر دسترسی به آب قرار دارد (کمتر از (m^3/person) ۵۰۰) و شدت کمبود آب در قسمت‌های مختلف متفاوت است (آمایش استان خراسان رضوی، ۱۳۹۱). در جدول ۲ مقادیر سرانهٔ آب تجدیدپذیر بر اساس شاخص فالکن مارک مشخص شده است.

جدول ۲. مقادیر سرانهٔ آب تجدیدپذیر بر اساس شاخص فالکن مارک

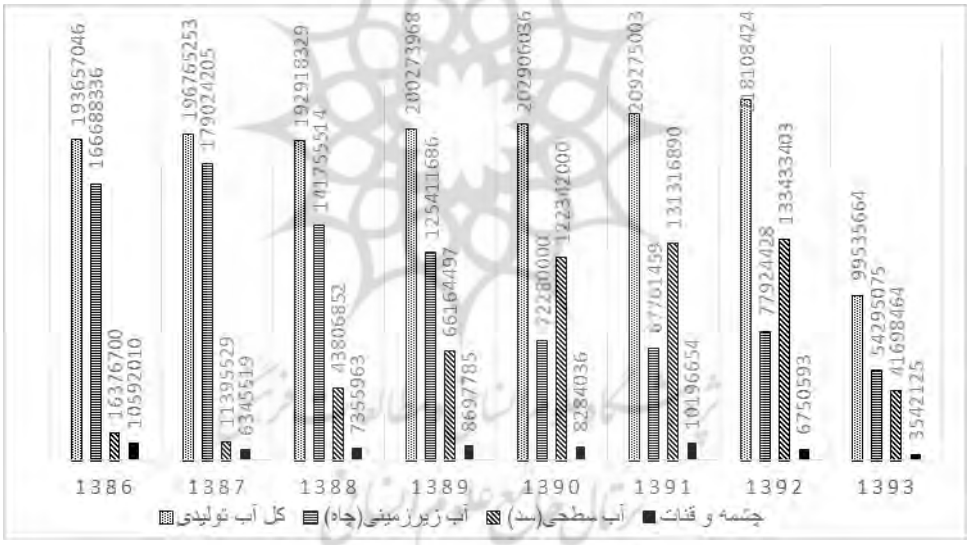
وضعیت	Fl (m^3/person)
مناسب	بیشتر از ۱۷۰۰
بحرانی	۱۷۰۰–۱۰۰۰
کمیابی	۱۰۰۰–۵۰۰
کمبود مطلق	کمتر از ۵۰۰

منبع: آمایش استان خراسان رضوی، ۱۳۹۱

در مجموع وضعیت فعلی منابع آبی استان و دشت مشهد ناپایدار ارزیابی می‌گردد و وقوع خشکسالی طولانی‌مدت در شرایط فعلی می‌تواند برای ادامهٔ حیات ساکنان مخاطره‌آمیز باشد (همان، ۱۳۹۱).

بررسی منابع تأمین‌کنندهٔ آب شرب در مشهد

منابع تأمین‌کنندهٔ آب در شهر مشهد از سال ۱۳۸۶ تا ۵ ماههٔ اول سال ۱۳۹۳ در شکل ۵ نشان داده شده است. در سال ۱۳۹۲ نسبت به سال ۱۳۸۶ وابستگی به منابع آب‌های زیرزمینی، ۴۶ درصد کاهش و وابستگی به منابع سطحی و خارج از حوزهٔ نفوذ ۱۲۲ درصد افزایش یافته است. همان‌گونه که ذکر شد، بهره‌برداری از سد دوستی به عنوان یکی از منابع سطحی تأمین‌کنندهٔ آب شهر از سال ۱۳۸۷ آغاز گردیده که باعث تغییر در این روند شده است و وابستگی به منابع زیرزمینی از سال ۱۳۸۸ تا حدی کاهش یافته است. هزینهٔ تولید و انتقال یک متر مکعب آب مشهد در مجموع ۷۰۰ تومان می‌شود، اما هزینه‌ای که توسط مصرف‌کنندهٔ خانگی در مشهد پرداخت می‌گردد، برای هر مترمکعب آب ۲۹۰ تومان (۴۱ درصد از هزینهٔ کل) است (کارشناس سازمان آب، ۱۳۹۳).



شکل ۵. منابع تأمین‌کنندهٔ آب شرب مشهد (مترمکعب)

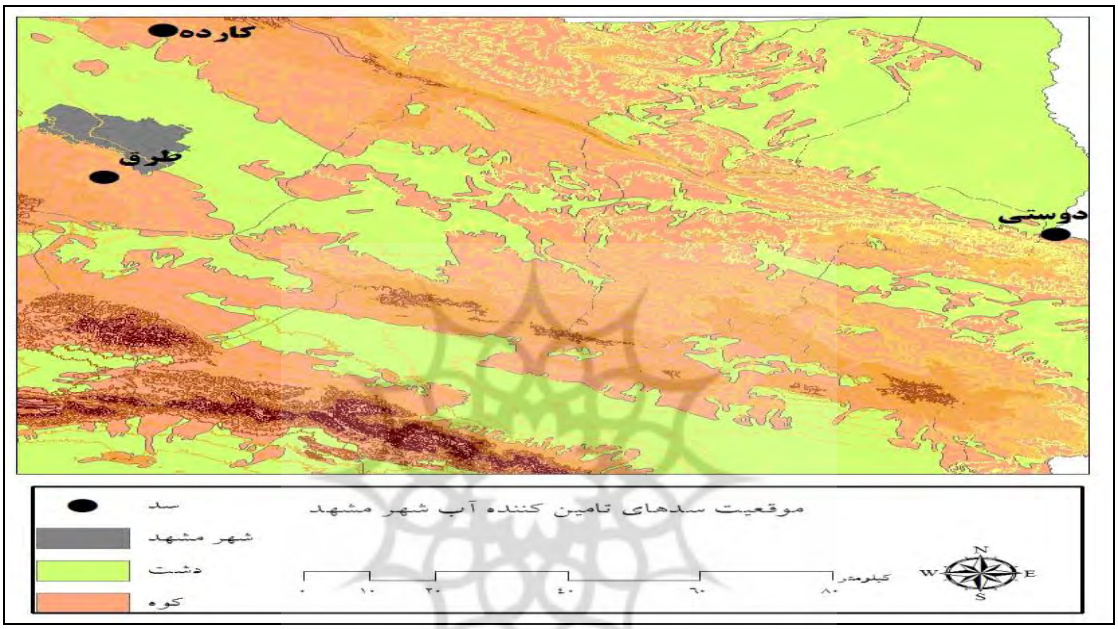
منبع: (سازمان آب و فاضلاب شهر مشهد، ۱۳۹۳)

تحلیل موقعیت سدهای تأمین‌کنندهٔ آب شرب مشهد

بخشی از آب شهر مشهد از سال ۸۷ تا ۹۳ از طریق سدهای کارده، طرق و دوستی تأمین می‌گردد. سد طرق در ۲۵ کیلومتری جنوب شرقی شهر مشهد، سد کارده در ۳۵ کیلومتری شمال شهر مشهد و سد دوستی در ۷۵ کیلومتری جنوب شهر سرخس (۲۲۰ کیلومتری مشهد) واقع‌اند.

در ۵ ماههٔ اول سال ۱۳۹۳، از ۱۰۰ درصد آب تأمین‌شدهٔ شهر ۴۲ درصد مربوط به منابع سطحی و سدها بوده است که از ۱۰۰ درصد آب سطحی تأمین‌شده در این زمان، ۹۲/۷ درصد از سد دوستی، ۳/۱ درصد از سد کارده و ۴ درصد از

سد طرق تأمین گردیده است (سازمان آب و فاضلاب شهر مشهد، ۱۳۹۳). این جریان نشان‌دهندهٔ وابستگی مشهد به خارج از حوزهٔ نفوذ شهر است. هم اکنون، به دلیل تغییرات اقلیمی، رژیم متغیر آبدهی رودخانهٔ هریرود و ساخت سد سلما در کشور افغانستان ۲۵٪ ظرفیت سد آب دارد که از این میزان ۵۰ درصد آن متعلق به کشور ترکمنستان است. شواهد نشان می‌دهد منبع سد دوستی نیز رو به پایان است و این منبع در درازمدت قابل اتکا نیست (کارشناس سازمان آب و فاضلاب شهر مشهد، ۱۳۹۳). شکل ۶ موقعیت سدهای تأمین‌کنندهٔ آب مشهد را نشان می‌دهد.



شکل ۶. موقعیت سدهای تأمین‌کنندهٔ آب مشهد

منبع: نگارندگان

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

ارزیابی وضعیت آبی شهر مشهد

در گذشته بیش از ۹۰ درصد آب مصرفی شهر مشهد از منابع آب زیرزمینی واقع در دشت مشهد تأمین می‌شده و از طرفی این منبع نیز خود با بیلان آبی منفی شدیدی روبه‌رو است. بنابراین در صورت ادامهٔ وضع موجود، این شهر بزرگ به لحاظ محدودیت منابع آب به‌ویژه در ایام حداکثر مصرف (مصادف با فصل تابستان)، همواره در شرایط بحرانی قرار می‌گیرد (منفرد و حسینی، ۱۳۸۴: ۲).

در جدول ۳ توان تولید و کسر تولید مشهد طی سال‌های ۱۳۹۲ تا ۱۴۱۵ نشان داده شده است. شایان توضیح است که اعداد مثبت در ستون کسر تولید نشان‌دهندهٔ این است که در آن سال شهر با کمبود آب با توجه به پتانسیل تولیدی منظورشده مواجه نخواهد بود. قابل ذکر است که در این جدول سد ارداک نیز به عنوان یکی از منابع تأمین آب در نظر گرفته شده است.

جدول ۳. توان تولید و کسر تولید شهر مشهد طی سال‌های ۱۳۹۲ تا ۱۴۱۵

سال	حداکثر نیاز آبی روزانه	توان تولید	کسر تولید
		مترمکعب بر ثانیه	
۱۳۹۲	۱۱/۲۲	۱۲/۲۷۲	۱/۰۵۲
۱۳۹۵	۱۳/۳۸	۱۳/۲۷۲	−۰/۱۰۸
۱۴۰۰	۱۴/۹۸	۱۳/۲۷۲	−۱/۷۰۸
۱۴۰۵	۱۶/۴۷	۱۳/۲۷۲	−۳/۱۹۸
۱۴۱۰	۱۷/۸۴	۱۳/۲۷۲	−۴/۵۶۸
۱۴۱۵	۱۹/۱۴	۱۳/۲۷۲	−۵/۵۶۸

منبع: مهندسین مشاور طوس آب، ۱۳۹۲

همان‌گونه که مشخص است، شهر مشهد از سال ۱۳۹۵ حتی با احتساب سد ارداک نیز با کمبود آب مواجه خواهد شد. به‌طور کلی بر اساس شاخص فالکن مارک نیز مشهد با سرانهٔ آب تجدیدپذیر ۲۶۴ مترمکعب در شدیدترین وضعیت کمبود مطلق آب است و تمهید راهکارهایی برای حفاظت از منابع طبیعی و تحقق توسعهٔ پایدار ضروری است (آمایش استان خراسان رضوی، ۱۳۹۱).

بررسی طرح‌های تأمین آب شهر مشهد

به منظور ارائهٔ راهکارهایی برای رفع کمبود آب، شرکت سهامی آب منطقه‌ای خراسان رضوی از سال‌های قبل طرح‌های متعددی را در دست مطالعه و اجرا قرار داده است. مهم‌ترین آنها عبارتند از:

۱. طرح جایگزینی پساب تصفیه‌خانهٔ فاضلاب با منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی کشاورزی

مطالعات اولیهٔ طرح شبکهٔ فاضلاب مشهد از سال ۱۳۶۸ آغاز و اجرای این طرح از سال ۱۳۷۲ شروع شد. سال ۱۳۹۰ زمان آخرین وعده‌های اتمام این پروژه بود، ولی محقق نشد و به سال ۱۳۹۴ موکول گردید. اما در این سال نیز به دلیل گسترش شهر این اتفاق نمی‌افتد و نمی‌توان پیش‌بینی کرد که این پروژه در چه سالی پایان می‌یابد. برای جمع‌آوری فاضلاب شهر مشهد، در حال حاضر ۶۵۰۰ کیلومتر خط مورد نیاز است که در ۲۳۱۵ (۳۵/۶ درصد) کیلومتر ساخته شده است و می‌بایست ۴۱۸۵ (۶۴ درصد) کیلومتر دیگر ساخته شود (کارشناس سازمان آب و فاضلاب مشهد، ۱۳۹۳). بر اساس اطلاعات می‌توان گفت که در ۵ ماههٔ اول سال ۹۳ از ۱۰۰ درصد فاضلاب جمع‌آوری‌شده ۳۵ درصد آن بازیافت شده است. نتایج نشان از بازیافت حدود ۱/۳ فاضلاب تولیدشده در شهر دارد و نیازمند فعالیتی گسترده در این زمینه است. در حال حاضر، ۳ تصفیه‌خانه در مشهد مشغول به فعالیت است که مشخصات آنها در جدول ۴ آمده است.

جدول ۴. مشخصات تصفیه‌خانه‌های مشهد

ردیف	تصفیه‌خانه	مناطق تحت پوشش	ظرفیت فعلی (مترمکعب در روز)
۱	پرکندآباد ۱	بخش غربی مشهد، شامل قاسم‌آباد	۱۵۰۰۰
۲	پرکندآباد ۲	مناطق توسعهٔ غرب مشهد	۶۰۰۰۰
۳	اولنگ	بخش شرقی مشهد	۲۵۰۰۰
		جمع	۱۰۰۰۰۰
		میزان آب تولیدشده در روز: ۶۱۵۴۸۵/۷۸ مترمکعب	

منبع: سازمان آب و فاضلاب مشهد، ۱۳۹۳

۲. طرح انتقال آب از هریرود و ساخت سد دوستی

سدی در فاصلهٔ ۲۲۰ کیلومتری از شهر مشهد و مشترک با کشور ترکمنستان است. بهره‌برداری از آن از سال ۱۳۸۷ آغاز شده و به منظور احداث و انتقال آب در خلاف جهت شیب توپوگرافی هزینهٔ زیادی صرف آن شده است. هدف از ساخت آن انتقال ۱۳۰ میلیون مترمکعب آب برای تأمین بخشی از آب شرب و صنعت مشهد بوده است (ولایتی و توسلی، ۱۳۷۰؛ گزارش عملکرد مصوبات هیئت دولت، ۱۳۹۲؛ سازمان آب و فاضلاب مشهد، ۱۳۹۳). به دلیل رژیم متغیر آبدهی رودخانهٔ هریرود و ساخت سد سلما در کشور افغانستان و همچنین تغییر شرایط اقلیمی، این منبع در درازمدت قابل اتکا نیست (کارشناس سازمان آب و فاضلاب مشهد، ۱۳۹۳).

۳. طرح انتقال آب از سد ارداک

سد ارداک در استان خراسان رضوی و در فاصلهٔ ۷۰ کیلومتری شمال غرب مشهد روی رودخانهٔ ارداک قرار دارد. طرح انتقال آب از سد ارداک نیز در دست اجرا است و در شرایط بهینهٔ بارندگی ۱۲ میلیون مترمکعب در سال آب مشهد از این سد تأمین خواهد شد. ورود آب سد ارداک از سال ۱۳۹۰ در نظر گرفته شده بود، ولی با توجه به تأخیرهای به‌وجودآمده در عملیات اجرایی این طرح، امکان بهره‌برداری هنوز وجود ندارد و احتمالاً بهره‌برداری به سال ۱۳۹۵ موکول گردد (سازمان آب و فاضلاب مشهد، ۱۳۹۳) و تا پایان سال ۱۳۹۱ برای ساخت و بهره‌برداری آن ۱۵۵/۵ میلیارد ریال هزینه گزارش شده است (گزارش مصوبات هیئت دولت، ۱۳۹۲).

ارزیابی پایداری شهر مشهد و تعیین جمعیت بهینه

با توجه به نتایج مطالعات می‌توان گفت که بر اساس منابع تأمین آب، چگونگی بازیافت فاضلاب و مقایسه با اصول مدل‌های پایدار شهری هاتون، مدل شهری حاکم بر شهر مشهد مدل شهری کاملاً وابسته به بیرون است. این مدل متکی بر خارجی کردن هزینه‌های اضافی محیطی، سیستم‌های باز، رعایت نکردن مدیریت آب، متابولیسم خطی و خرید در حد ظرفیت جاری است. در واقع این مدل شهر را به عنوان یک گره می‌بیند که منابع را از پسکرانهٔ گسترده برای مصارف شهری با توجه کم به سطح یا کیفیت مواد زائدی که به‌وسیلهٔ شهر تولید می‌شود، جذب می‌کند. شباهتی برای شهر با یک متابولیسم شهری خطی با یک سیستم خیلی باز که منابع را اسراف می‌کند و مدیریت کارآمدتر منابع را نادیده می‌گیرد (رهنما و عباس‌زاده، ۱۳۸۷: ۸۰). شکل ۷ مدل شهری حاکم بر این شهر را نشان می‌دهد.

شکل ۷. مدل شهری حاکم بر مشهد (مدل شهر کاملاً وابسته به خارج)

منبع: رهنما و عباس‌زاده، ۱۳۸۷

بنابراین شرایط شهر مشهد بر خلاف اصول توسعهٔ پایدار است و می‌بایست حرکت به سمت فرم‌های شهری پایدار برای کاهش وابستگی این شهر به خارج از حوزهٔ پیرامون و دستیابی به توسعهٔ پایدار مورد توجه مدیران و برنامه‌ریزان شهری قرار گیرد و در یک کلام نیازهای آبی از تولید پیشی گیرد. در چنین شرایطی تنها می‌توان با مطالعات و برنامه‌ریزی‌های دقیق جمعیتی، میزان عرضه و تقاضا را بر یکدیگر هماهنگ و منطبق کرد.

شاید بهترین راه برای جلوگیری از ایجاد بحران ملی و منطقه‌ای در شهر مشهد و گام برداشتن به سمت پایداری، مدیریت پایدار منابع آبی و فرم‌های پایدار شهری هاتون با هدف کاهش اندازهٔ شهر و کاهش حوزهٔ نفوذ، تمرکززدایی جمعیت از این شهر و سوق ساختار تک‌مرکزی استان خراسان رضوی به ساختار چندمرکزی باشد.

در این راستا میزان جمعیت بهینه در سال ۱۳۹۵ با توجه به دو گزینهٔ سازمان آب و فاضلاب مشهد، بر اساس وضعیت منابع تأمین‌کنندهٔ آب در سال ۱۳۹۵ (که در این سال شهر با کمبود آب مواجه خواهد شد) و میزان نیاز آبی سالانهٔ شهر مشهد و با احتساب نیاز آبی زائر در این سال بر اساس صورت‌جلسهٔ آبفای کشور تعیین می‌گردد. در جدول ۵ میزان نیاز آبی سالانهٔ مشهد در سال ۱۳۹۵ بر اساس صورت‌جلسهٔ آبفای کشور نشان داده شده است.

جدول ۵. میزان نیاز آبی سالانهٔ مشهد در سال ۱۳۹۵ بر اساس صورت‌جلسهٔ آبفای کشور

جمعیت (نفر)	۳۱۲۶۰۰۰				
	خانگی	عمومی	تجاری	فضای سبز	تلفات
سرانهٔ آب مصرفی (لیتر در روز)	۱۴۳/۶	۱۰/۸	۱۳/۷	۲	۴۸/۱
			کل: ۲۱۸		
سرانهٔ زائر (لیتر در روز)			۷۵		
متوسط نیاز آبی جمعیت ساکن (میلیون مترمکعب در سال)			۲۴۹/۵		
نیاز زائر (میلیون مترمکعب در سال)			۸/۶		
متوسط نیاز آبی کل (میلیون مترمکعب در سال)			۲۵۸/۱		

منبع: سازمان آب و فاضلاب مشهد، ۱۳۹۳

گزینهٔ ۱. تعیین جمعیت بهینه در سال ۱۳۹۵ بر اساس وضعیت منابع تأمین‌کنندهٔ آب در این سال بدون احتساب سد دوستی و ارداک

همان‌گونه که ذکر گردید، سد دوستی در درازمدت قابل اتکا نیست و سد ارداک بر اساس شرایط ممکن است به بهره‌برداری نرسد (کارشناس بهره‌برداری سازمان آب و فاضلاب مشهد، ۱۳۹۳). وضعیت منابع تأمین آب در سال ۱۳۹۵ بدون احتساب سد دوستی و ارداک در جدول ۶ ارائه شده است.

جدول ۶. وضعیت منابع تأمین آب در سال ۱۳۹۵ بدون احتساب سد دوستی و ارداک

تولید	منابع تأمین‌کننده (میلیون مترمکعب)	
برنامهٔ تأمین آب ۱۳۹۵	چاه‌ها	۱۴۴
	سد طرق	۸
	سد کارده	۳
	چشمه و قنوات	۶/۸۰
	جمع کل (توان تولید)	۱۶۱/۸

منبع: سازمان آب و فاضلاب شهر مشهد، ۱۳۹۳

در مرحلهٔ اول برای تعیین میزان کمبود آب جمعیت ساکن، تفاضل میزان نیاز زائر (۸/۶ میلیون مترمکعب در سال) از توان تولیدی (۱۶۱/۸ میلیون مترمکعب در سال) محاسبه می‌گردد، سپس تفاضل متوسط نیاز آبی جمعیت ساکن (۲۴۹/۵ میلیون مترمکعب در سال) از عدد حاصل (۱۵۳/۲ میلیون مترمکعب در سال) محاسبه می‌شود که کمبود آب برای جمعیت ساکن ۹۶/۳ میلیون مترمکعب در سال به‌دست می‌آید.

در مرحلهٔ دوم برای تعیین جمعیت مازاد، کمبود آب جمعیت ساکن (۹۶/۳ میلیون مترمکعب در سال) بر ۳۶۵ تقسیم و برای تبدیل به لیتر، در $۱۰^{۹}$ ضرب می‌گردد که $۲۶*۱۰^{۷}$ لیتر در روز محاسبه می‌شود و بر اساس فرمول سرانه که به‌صورت تقسیم حجم آب بر جمعیت است و سرانهٔ ۲۱۸ لیتر در روز، جمعیت مازاد ۱۱۹۲۶۶۰ نفر تعیین می‌گردد و جمعیت بهینه در سال ۱۳۹۵ با توجه به توان تولیدی (بدون احتساب سد دوستی و ارداک) و پذیرش زائر بر اساس توان آبی که پیش‌بینی سازمان آب و فاضلاب است، ۱،۹۳۳،۳۴۰ نفر محاسبه می‌شود. در این گزینه وابستگی شهر به خارج از حوزهٔ نفوذ قطع می‌شود، اما تمرکززدایی بالایی می‌بایست از شهر صورت گیرد.

در صورت عدم تمرکززدایی جمعیت، برای رفع کمبود آب مورد نیاز بر اساس این گزینه، ۱۴ پروژه در دست مطالعه قرار دارد که می‌بایست در ۲ فاز اجرا گردند. اما بر اساس مطالعات، اجرای این پروژه‌ها هزینهٔ بسیار زیادی می‌طلبد (کارشناس سازمان آب و فاضلاب مشهد، ۱۳۹۳) و وابستگی شهر را به خارج از حوزهٔ نفوذ موجب می‌شود که برخلاف اصول پایداری است.

گزینهٔ ۲. تعیین جمعیت بهینه در سال ۱۳۹۵ بر اساس وضعیت منابع تأمین‌کنندهٔ آب در این سال با احتساب سد دوستی و ارداک

وضعیت منابع تأمین‌کنندهٔ آب در سال ۱۳۹۵ با احتساب سد دوستی و ارداک در جدول ۷ ارائه شده است.

جدول ۷. وضعیت منابع تأمین‌کنندهٔ آب در سال ۱۳۹۵ با احتساب سد دوستی و ارداک

تولید	منابع تأمین‌کننده (میلیون مترمکعب)	
برنامهٔ تأمین آب ۱۳۹۵	چاه‌ها	۱۲۶
	سد دوستی	۶۵
	سد طرق	۸
	سد کارده	۳
	سد ارداک	۵
	چشمه و قنوات	۶/۸۰
	جمع کل (توان تولید)	۲۱۳/۸

منبع: سازمان آب و فاضلاب شهر مشهد، ۱۳۹۳

در این گزینه نیز ابتدا نیاز زائر (۸/۶ میلیون مترمکعب در سال) را از توان تولیدی (۲۱۳/۸ میلیون مترمکعب در سال) کم کرده و برای محاسبهٔ کمبود آب جمعیت ساکن، تفاضل متوسط نیاز آبی جمعیت ساکن (۲۴۹/۵ میلیون مترمکعب در سال) را از عدد حاصل (۲۰۵/۲ میلیون مترمکعب در سال) محاسبه می‌کنیم که کمبود آب برای جمعیت ساکن ۴۴/۳ میلیون مترمکعب در سال به‌دست می‌آید.

در مرحلهٔ دوم، برای تعیین جمعیت مازاد، کمبود آب جمعیت ساکن (۴۴/۳ میلیون مترمکعب در سال) بر ۳۶۵ تقسیم و برای تبدیل به لیتر در $۱۰^{۹}$ ضرب می‌گردد که $۱۲*۱۰^{۷}$ لیتر در روز محاسبه می‌شود و بر اساس فرمول سرانه که به‌صورت تقسیم حجم آب بر جمعیت است و سرانهٔ ۲۱۸ لیتر در روز، جمعیت مازاد ۵۵۰۴۵۹ نفر به‌دست می‌آید و جمعیت بهینهٔ شهر با توجه به توان تولیدی در این گزینه و پذیرش زائر بر اساس توان آبی که پیش‌بینی سازمان آب و فاضلاب شهر مشهد است، ۲۵۷۵۵۴۱ نفر محاسبه می‌گردد.

حتی در صورت وابستگی به خارج از حوزهٔ نفوذ شهر با کمبود آب و مازاد جمعیت مواجه خواهد شد. البته سد دوستی در درازمدت قابل اتکا نیست. در این گزینه نیز به منظور رفع کمبود آب مورد نیاز، ۶ پروژه در دست مطالعه قرار دارد که می‌بایست در یک فاز اجرا گردند. اجرای این پروژه‌ها هزینهٔ بالایی می‌طلبد و بر خلاف اصول توسعهٔ پایدار است.

البته می‌بایست بر مدیریت سیستم آبرسانی نیز تأکید گردد تا میزان تلفات سیستم‌های آبرسانی به حداقل برسد. به‌طور کلی، علاوه بر کیفیت خوب اجرای شبکه که باعث کاهش میزان نشت و تلفات آبی می‌شود، مدیریت بهره‌برداری، نگهداری و تعمیر نیز نقش بسزایی در کاهش میزان نشت آب دارد. بر اساس آمار، در سال ۱۳۹۵ سرانهٔ میزان تلفات آب ۴۸/۱ لیتر در روز پیش‌بینی شده است، به گونه‌ای که استاندارد سرانهٔ میزان تلفات ۳۵ لیتر در روز است و در افق ۱۴۲۰ شهر مشهد می‌بایست به این میزان برسد (سازمان آب و فاضلاب شهر مشهد، ۱۳۹۳). همچنین حضور میلیونی زائران در این شهر (سالانه ۲۰ میلیون نفر) اگرچه این شهر را از پشتوانهٔ اقتصادی شایان توجهی برخوردار کرده، باعث روند صعودی افزایش تقاضای آب شهری گردیده است. به‌طوری که تقاضای ماهیانهٔ مصرف آب شرب در تابستان بالغ بر ۱۴۰ درصد مصرف متوسط ماهیانه طی سال خواهد شد. بر اساس پیش‌بینی‌ها، جمعیت زائر با ماندگاری سه روز برای سال ۱۴۲۰ به ۲۹۲۶۹۰۰۰ نفر خواهد رسید و ۲۰ تا ۸۰ درصد از کسری لحظه‌ای آب مشهد در بازهٔ سال‌های ۱۴۰۰ تا ۱۴۲۰ مربوط به زوار است (مهندسین مشاور طوس آب، ۱۳۹۲).

مجموعهٔ عوامل یادشده در کنار قرارگیری مشهد در منطقه‌ای خشک سبب گردیده تا تأمین و توزیع آب این کلان‌شهر در شرایط بحرانی و شکننده‌ای قرار گیرد. بنابراین برای مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آبی می‌توان تأکید کرد که اضافهٔ جمعیت به‌دست‌آمده حداقل میزان جمعیتی است که می‌بایست از شهر مشهد تمرکززدایی گردد.

نتیجه‌گیری

شهر مشهد به عنوان دومین کلان‌شهر جمعیتی ایران و دومین کلان‌شهر مذهبی جهان با روند روبه‌رشد جمعیت و گردشگر مواجه بوده و این رشد صعودی باعث افزایش تقاضای مصرف آب گردیده است. افزایش تقاضا باعث شده که در یک دورهٔ ۱۶ ساله سطح آب‌های زیرزمینی به‌طور متوسط افتی معادل ۱۳ متر را تجربه کند.

بنابراین، پاسخ‌گویی به تقاضاهای رو به افزایش و تأمین آب مورد نیاز شهر مشهد منجر به وابستگی شهر به خارج از حوزهٔ نفوذ و منابع تجدیدناپذیر برای تأمین آب مورد نیاز شده است و مسئولان راه‌حل‌هایی را برای تأمین آب مورد نیاز شهر به منظور جلوگیری از بحرانی ملی و منطقه‌ای در برنامهٔ مطالعاتی خود قرار داده‌اند. از جملهٔ این برنامه‌ها می‌توان به احداث سد دوستی اشاره کرد که از سال ۱۳۷۲ آغاز شد و برنامهٔ بهره‌برداری از آن در سال ۱۳۸۷ آغاز گردید و هزینهٔ اتمام آن ۱۴۲۱۷ میلیارد ریال تا سال ۱۳۹۲ برآورد شد. این راه حل نیز با روند روبه‌رشد توسعهٔ شهر و تداوم خشکسالی‌ها پاسخ‌گو نبوده و بنا به دلایل ذکرشده هم اکنون ۱/۴ سد آب دارد که ۱/۲ آن نیز متعلق به کشور ترکمنستان است و این منبع در درازمدت قابل اتکا نیست. در ارتباط با سد ارداک نیز هزینهٔ بالایی مورد نیاز است، زیرا اجرای یک کیلومتر از خطوط مورد نیاز برای تأمین آب مورد نیاز مشهد ۷۰ میلیون ریال هزینه دارد (کارشناس سازمان آب و فاضلاب مشهد، ۱۳۹۳) و تاریخ اتمام طرح جایگزینی پساب تصفیه‌خانهٔ فاضلاب به دلیل گسترش شهر و عدم تأمین بودجهٔ لازم قابل پیش‌بینی نیست و در شرایط حاضر کمتر از ۱/۳ فاضلاب تولیدی تصفیه می‌شود. در مجموع ۲ طرح پیشنهادی دیگر نیز وابستگی شهر را به خارج از حوزهٔ نفوذ بیشتر کرده و بر خلاف اصول توسعهٔ پایدار است، زیرا توسعهٔ پایدار کنترل اندازهٔ شهر و حفاظت از منابع طبیعی را بر تأمین آب از فواصل طولانی ترجیح می‌دهد.

با توجه به نتایج ذکرشده می‌توان گفت شهر مشهد بر اساس متابولیسم شهری هاتون در ارتباط با منابع آبی استان و دشت مشهد شهری پایدار نیست و وابستگی توسعهٔ فعلی استان و شهر مشهد به منابع آب نیمه‌فسیلی است که فقط بخشی از آنها تجدید می‌شود و بخشی دیگر برای مدت طولانی از چرخهٔ آب دور می‌ماند. به‌طوری که در گزینهٔ ۱ (بدون احتساب سد دوستی و ارداک)، ۸۹ درصد و در گزینهٔ ۲ (با احتساب سد دوستی و ادراک)، ۵۹ درصد از توان تولیدی متعلق به منابع آبی زیرزمینی است.

نتایج نشان داد بر اساس دو گزینهٔ سازمان آب و فاضلاب مشهد، این شهر برای تأمین آب مورد نیاز در سال ۱۳۹۵ و با احتساب نیاز زائر، بر اساس گزینهٔ ۱، ۱۱۹۲۶۶۰ نفر و بر اساس گزینهٔ ۲، ۵۵۰۴۵۹ نفر جمعیت مازاد دارد و جمعیت بهینهٔ شهر بر اساس دو گزینه به‌ترتیب ۱،۹۳۳،۳۴۰ و ۲،۵۷۵،۵۴۱ نفر است. می‌توان گفت که حتی با وابستگی به خارج از حوزهٔ نفوذ، باز هم شهر دارای اضافهٔ جمعیت است و این در صورتی است که دشت مشهد ۲ درصد از منابع آب زیرزمینی استان را داراست؛ ولی ۶۵/۹۷ درصد جمعیت شهری استان ساکن در این دشت و به‌ویژه در شهر مشهد ساکن‌اند و در شرایط حاضر شهر مشهد ۱۲ برابر دومین شهر استان جمعیت دارد.

بررسی مطالعات نشان می‌دهد که شهر لس‌آنجلس بخش اعظم آب خود را از رودخانهٔ کلورادو تأمین می‌کند که قریب ۹۷۰ کیلومتر با آن فاصله دارد. در پکن نیز صحبت از آن است که آب رودخانهٔ یانگ‌تسه که ۱۵۰۰ کیلومتر دورتر از پکن است، به شهر حمل شود (براون، ۱۳۸۷). در شهر مشهد نیز زمزمه‌هایی برای انتقال آب از کشور تاجیکستان شنیده می‌شود (کارشناس سازمان آب و فاضلاب شهر مشهد، ۱۳۹۳) که این جریان برخلاف توسعهٔ پایدار است و وابستگی شهر را به محدوده‌ای بسیار فراتر از حوزهٔ نفوذ شهری موجب می‌گردد و هزینه‌های بسیار گزافی ایجاد می‌کند. یکی از اهداف ویژه‌ای که شهر سیدنی به منظور دستیابی به پایداری تا سال ۲۰۳۰ دنبال می‌کند، تأمین ۳۰ درصد آب مورد نیاز از طریق منابع بارانی محلی است (Sustaiable Sydney, 2030; community Strategic Plan, 2014). پوراحمد و همکاران (۱۳۹۳)، نیز در تحقیق خود بیان کردند که رشد افقی، سریع و بی برنامهٔ مشهد در دهه‌های اخیر به بحران آب منجر شده و باعث گردیده این شهر برای تأمین آب از روش‌های جدیدی مانند حفر چاه‌های عمیق و احداث سدها استفاده کند که عمدتاً ناپایدارند. لذا با وجود صرف هزینه‌های زیاد برای تأمین آب شرب، هنوز این شهر با مشکل مواجه است. راه حل پیشنهادی برای حرکت به سمت پایداری، تمرکززدایی جمعیتی از شهر مشهد و هدایت ساختار تک‌مرکزی استان خراسان رضوی به ساختاری چندمرکزی است. همچنین می‌بایست به منظور هدایت فرم کاملاً وابسته به خارج از شهر به سمت فرم‌های شهری پایدار، از فرم‌های پیشنهادی هاتون و مدل طراحی مجدد شهرها بهره گرفت. در این مدل بسیاری از فرض‌های اساسی مربوط به شهر فشرده مطرح می‌شود و به‌ویژه مدل شهر خوداتکا معرفی می‌شود که بر کاهش الگوی وابستگی خارجی به استفاده از منابع برای محدود کردن حوزهٔ نفوذ، مدیریت تقاضا و بازیافت فاضلاب تأکید دارد. در شهر مشهد به منظور بهره‌گیری از مدل‌های مذکور، پروژهٔ فاضلاب شهری به عنوان راه حلی مهم می‌بایست با جدیت بیشتری از سوی مسئولان پیگیری شود. به‌طور کلی تمرکززدایی جمعیت به عنوان سیاستی برتر در کنار ارتقای فرهنگ مردم در استفاده از آب، کاهش سرانهٔ مصرف، مدیریت سیستم‌های آبرسانی، کاهش تلفات، افزایش قیمت آب‌بها و کاهش مصرف خانگی می‌تواند گامی اثربخش در بهبود وضعیت منابع آب باشد.

محققان امیدوارند که با بررسی وضعیت منابع آبی و تعیین جمعیت بهینهٔ شهر و فرم‌های پایدار شهری، زمینهٔ لازم برای تحقق توسعهٔ پایدار، مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آبی فراهم گردد. چرا که حفاظت و بهره‌برداری صحیح از منابع آب برای تعادل اکولوژیک سرزمین و تحقق توسعهٔ پایدار انکارناپذیر است. لذا برای محققان آتی پژوهش‌هایی در ارتباط با تمرکززدایی جمعیتی از شهر مشهد و هدایت ساختار تک‌مرکزی استان خراسان رضوی به ساختاری چندمرکزی پیشنهاد می‌شود.

منابع

اکبری، نعمت‌الله؛ عسگری، علی؛ فرهمند، شکوفه؛ (۱۳۸۵). تحلیل و توزیع اندازهٔ شهرها در سیستم شهری ایران، فصلنامهٔ پژوهش‌های اقتصادی، سال ششم، شمارهٔ ۴.

آمارنامهٔ استان خراسان رضوی، ۱۳۹۱.

آمارنامهٔ شهر مشهد، (۱۳۹۰). معاونت برنامه‌ریزی و توسعهٔ شهرداری مشهد.

آمایش استان خراسان رضوی، (۱۳۹۱). جهاد دانشگاهی مشهد، معاونت پژوهشی.

اصغری مقدم، محمدرضا؛ (۱۳۸۷). جغرافیای طبیعی شهر اقلیم آب و سیل‌خیزی در برنامه‌ریزی شهری، انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکز.

ببران، صدیقه؛ هنربخش، نازلی؛ اکرامی، عطیه؛ (۱۳۸۸). توسعهٔ پایدار و محیط زیست ۶، مجمع تشخیص مصلحت نظام، پژوهشکدهٔ تحقیقات استراتژیک، گروه پژوهشی مطالعات بین‌الملل.

براون، لستر؛ (۱۳۸۷). طرح امید دو آینده محیط زیست، مترجم حمید تراوتی، انتشارات جهاد دانشگاهی، مشهد.

پیله‌ور، علی‌اصغر؛ پوراحمد، احمد؛ (۱۳۸۳). روند رشد و توسعهٔ کلان‌شهرهای کشور، مطالعه موردی مشهد، فصلنامهٔ پژوهش‌های جغرافیایی، شمارهٔ ۴، صص ۱۲۱-۱۰۳.

پوراحمد، احمد؛ حسینی، سیدعلی؛ حسینی، سید محمد؛ نصیری، محمد؛ (۱۳۹۲). بررسی گسترش افقی شهر مشهد در چند دههٔ اخیر و تأثیر آن بر منابع آب، پژوهش‌های جغرافیای انسانی، (۳)۴۶، ۵۰۴-۴۸۵.

ترنر، تام؛ (۱۳۷۶). شهر همچون چشم‌انداز؛ نگرشی فراتر از نوگرایی به طراحی و برنامه‌ریزی شهری، ترجمهٔ فرشاد نوریان، تهران، شرکت پردازش و برنامه‌ریزی شهری.

حسینی، سیداحمد؛ باقری، علی؛ (۱۳۹۱). مدل‌سازی پویایی سیستم منابع آب دشت مشهد برای تحلیل استراتژی‌های توسعهٔ پایدار، آب و فاضلاب، شمارهٔ ۴، صص ۳۹-۲۸.

خزانه‌داری، لیلی؛ زابل عباسی، فاطمه؛ قندهاری، شهرزاد؛ کوهی، منصوره؛ ملبوسی، شراره؛ (۱۳۸۸). دورنمایی از وضعیت خشکسالی ایران طی سی سال آینده، مجلهٔ جغرافیا و توسعهٔ نهایی، شمارهٔ دوازدهم، صص ۹۸-۸۳.

ذهبیون، باقر؛ (۱۳۸۱). اثرات تغییر اقلیم بر روی منابع آب، وزارت نیرو، کمیتهٔ ملی سدهای بزرگ.

رهنما، حسین؛ میراثی، سهراب؛ (۱۳۹۳). خشکسالی و بحران آب در دشت‌های ایران، مطالعهٔ موردی: دشت مرودشت و خانمیرزا در استان فارس و چهارمحال بختیاری، فصلنامهٔ بین‌المللی پژوهشی تحلیلی منابع آب و توسعه، (۱۰)۲، صص ۱۵۴-۱۳۹.

رهنما، محمدرحیم؛ غلامرضا، عباس‌زاده؛ (۱۳۸۷). اصول مبانی و مدل‌های سنجش فرم کالبدی شهر، انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد.

سازمان آب و فاضلاب شهر مشهد، ۱۳۹۳.

عابدین درکوش، سعید؛ نصیری، حسین؛ (۱۳۸۹). بررسی و برآورد اندازهٔ بهینهٔ شهرهای ایران به روش تابع مازاد، اقتصاد شهر، (۷)۸۹، صص ۸۳-۷۱.

کارشناس سازمان آب و فاضلاب شهر مشهد، ۱۳۹۳.

گزارش عملکرد مصوبات هیئت دولت، (۱۳۹۲). شمارهٔ مصوبهٔ ۳۴۸۷۱/۸۷۹۵.

لشکری، الهام؛ خلج، مهرشاد؛ (۱۳۹۰). اصول پایداری در اقلیم گرم و خشک ایران با تأکید بر شهرهای کهن، انتشارات گنج هنر.

منفرد، یوسف؛ حسینی، سید محمود؛ (۱۳۸۴). پیامدهای کمی طرح جامع تأمین آب شرب مشهد بر منابع زیرزمینی، پنجمین کنفرانس هیدرولیک ایران، ۱۷ لغایت ۱۹ آبان‌ماه.

مهندسین مشاور طوس آب، (۱۳۹۲). طرح تأمین آب شرب، صنعت و خدمات در دشت مشهد.

نخستین ماهنامهٔ مدیریت بهم پیوستهٔ منابع آب، (۱۳۸۸). معاونت هماهنگی حوضه‌های آبریز، شمارهٔ اول.

ولایتی، سعدالله؛ توسلی، محمد؛ (۱۳۷۰). منابع و مسائل آب استان خراسان، انتشارات آستان قدس رضوی.

ولایتی، سعدالله؛ (۱۳۷۶). آب و جغرافیای آب‌ها، انتشارات خراسان.

----------؛ (۱۳۹۲). منابع و مسائل آب در ایران با تأکید بر بحران آب، انتشارات همدل.

Bao, C and Fang, C., (2007). Water resources constraint force on urbanization in water deficient regions: A case study of the Hexi corridor, arid area of NW china, Ecological Economics, 62(2007), 508-517.

Blowers, A., (1994). Planning for Sustainable Environment:A Report by the Town and Country Planning Association, p.6.

Field, C. B., Barros, V. R., Mach, K. and Mastrandrea, M., (2014). Climate change: impacts, adaptation, and vulnerability, Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

Jenks, M. and Jones, C., (2010). Dimension of the sustainable city, Springer Dordrecht Heidelberg London: New York.

Jones, C. and MacDonald, C., (2004). Sustainable urban form and real estate markets, The Annual European Real Estate Conference. Milan. 2-5June.

Kathelene, L., Lynn, J., Greenwade, A., Sullivan, W. and Lung, Q., (2010). Colorado Review Water Management and Landuse Planning Integration, Prepared by the Center for Systems Integration on behalf of the Colorado Water Conservation Board and the Colorado Department of Natural Resources.

Lundqvist, J., Appasamy, P. and Nelliyat, P., (2003). Dimensions and Approaches for Third World City Water Security, the Royal Society, 358(2003), 1985-1996.

McDonald, R.I., Grenn, P., Balk, D., Fekete, B.M., Revenga, C., Todd, M. and Montgomery, M., (2011). urban growth, climate change and fresh water avaibility, Proceeding of the National Academy of Sciences, 108(15), 6312-6317.

Nair,S., George, B., Malano, H.M. and Arora, M., (2014). Nawarathna B. Water˚ energy˚ greenhouse gas nexus of urban water systems: review of concepts, state-of-art and methods, Resource Conserve Recycle, 89 (2014), 1˚10.

Pruneau, D., Lang, M., Kerry, J., Fortin, G., Langis, J. and Liboiron, L., (2014). Leaders of sustainable development projects: Resources used and lesson learned in a context of environmental education? Journal of Education for Sustainable Development, 8(2), 155-169.

Seto, K.C. and Satterthwaite, D., (2010). Interactions between urbanization and global environmental change, Current Opinion in Environmental Sustainability, 2(3), 127-128.

Sheikh Azim,A., Razavian,M., (2013). Analysis moving towards sustainable development of a city with emphasis on the quality of urban life: The case of Noor, Journal of environment and urbanization asia,4(1), 31-56.

Sirinivasan, V., Seto, K.C., Emerson, R. and Gorelick, S.M., 2013, the impacts of urbanization on water vulnerability: A coupled human-environment system approach for Chennai, India. Journal of Global Environmental Change, 23 (2013), 229-239.

Sustainable Sydney 2030 Community Strategic Plan, (2014). Available at www.cityofsydney.nsw.gov.au

Townend. K.W. and Cheeseman. R.Ch. (2005). Guidline for the evaluation ans assessment of the sustainable use of resources and of wastes management at healthcare facilities, Waste Management and Research, 23 (2005), 398-408.

Unalan, D., (2011). why cities cannot be sustainable: governance and planning for Istanbul, Local Economy, 24(4), 305-313.

UNESCO., (2014). Water in the post-2015 development agenda and sustainable development goals, International Hydrological Programme.

United Nation. (2012). World Urbanization Prospects: The 2011 Revision Highlights (New York: United Nations Department of Economic and Social Affairs/Population Division), Available from: http://esa.un.org/unup/pdf/WUP2011 Highlights.pdf

U.S Environmental Protection Agency., (2004). Protection water resources with smart growth. EPA 231-R-04-002, May.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی