

## Investigation of Consumption Management and Estimation of the Drinking Water Demand in the Vision 1420 for the City of Mashhad (Technical Note)

H. Ansari<sup>1\*</sup>, A. Boostani<sup>2</sup>, A.R. Tabatabaee<sup>3</sup>, M. Forouzes<sup>4</sup>

1,2- Associate Professor & Ph.D. Student, Water Engineering Department, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran. 3, 4- Ph.D. Student, Water Engineering Department, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad Water and Wastewater Company, Iran.

\*(Corresponding Author Email: Ansariran@gmail.com)

Received: 07-10-2015

Accepted: 26-06-2016

## بررسی مدیریت مصرف و برآورد میزان تقاضای آب شرب شهری مشهد در افق ۱۴۲۰ (یادداشت فنی)

حسین انصاری<sup>۱\*</sup>، آرمین بوستانی<sup>۲</sup>، علیرضا طباطبایی<sup>۳</sup>، مجید فروزش<sup>۴</sup>

۱ و ۲- به ترتیب دانشیار و دانشجوی دکتری تخصصی گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد. ۳ و ۴- دانشجوی دکتری تخصصی گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، شرکت آب و فاضلاب مشهد

\*(نویسنده‌ی مسئول، E-Mail: Ansariran@gmail.com)

تاریخ دریافت: ۱۵/۱۰/۹۴

تاریخ پذیرش: ۰۶/۰۴/۹۵

### Abstract

The new management of water resources, due to the limitations in available water resources utilization and the development of urban communities, should be based on the demand management rather than supply management. However, achieving sustainable consumption patterns, with status indicators such as consumption patterns, culturing, tariff reform and incentive policies either corrective or preventative, is possible in macro management. The factors that determine water demand as well as the consumption reduction actions, should be considered as a connection between the policies for water supply and the availability of renewable resources. Due to the location and pilgrimage to the city of Mashhad, in addition to the urban community decision variables, the supply of water for drinking and other domestic uses is of considerable importance for decision makers. The lack of a program or a pilgrims schedule makes it difficult to estimate the level of water consumption or its demand in the network. Because the Mashhad plain is located in a restricted area the possibility of creating new wells in this critical plain does not exist. Therefore, considering future crisis and the unique location of the city of Mashhad, due to its religious status and the necessity of providing drinking water, investigating the ability to supply water from reservoirs must be included in the Vision 1420. Proposals relying on both conventional and unconventional sources of water must be included in urban domestic water management. By correctly estimating all the determinants of water consumption (30 year forecast) it is possible to predict the level of drinking water demand in the city of Mashhad and develop a suitable management approach.

**Keywords:** Consumption Management, Water Supply, Domestic Water, Mashhad, Vision 1420.

### چکیده

در مدیریت جدید منابع آب با توجه به محدودیت در بهره‌برداری و توسعه منابع آبی در دسترس جوامع شهری، بایستی به مدیریت تقاضا بیشتر از مدیریت تأمین توجه گردد. از طرفی رسیدن به الگوی مصرف پایدار، تنها با اعمال مولفه‌هایی نظیر رعایت الگوی مصرف، فرهنگ‌سازی، اصلاح قوانین تعرفه‌گذاری و سیاست‌های تشویقی، اصلاحی و یا بازدارنده در بخش مدیریت کلان امکان‌پذیر است. در نظر گرفتن فاکتورهای تعیین‌کننده تقاضای آب از یک سو و اقدامات کاهنده مدیریت مصرف از سوی دیگر، بایستی به عنوان یک راه ارتباطی مخصوص بین سیاست‌گذاری تأمین آب، قابلیت در دسترس بودن و منابع تجدیدپذیر تلقی شود. با توجه به موقعیت مکانی و زیارتی در شهر مشهد، علاوه بر متغیرهای تصمیم‌گیری جامعه شهری، تأمین آب شرب و بهداشتی برای زائران، اهمیت بالایی نزد مدیران تصمیم‌گذار دارد. عدم تبعیت برنامه ورود زائران از یک الگوی زمانی خاص و یکنواخت، برآورد میزان مصرف و تقاضای موجود در شبکه را مشکل می‌کند. به دلیل قرارگیری دشت مشهد در محدوده‌ی ممنوعه، امکان حفر چاه جدید در این دشت بحرانی وجود ندارد. لذا با توجه به بحران‌های آبی و موقعیت خاص شهر مشهد به لحاظ مذهبی و لزوم تأمین آب شرب این شهر، بررسی وضعیت تأمین آب از مخازن شرب برای برنامه‌ریزی کلان در تأمین آب شرب شهر در افق ۱۴۲۰ و ارائه رهیافت‌هایی برای بهره‌برداری از منابع آب متعارف و غیرمتعارف ضروری به نظر می‌رسد. با تعیین صحیح کلیه عوامل تعیین‌کننده مصرف (چشم انداز ۳۰ ساله)، می‌توان تخمین مناسبی برای میزان تقاضای آب شرب شهری مشهد با رویکرد مدیریت مصرف ارائه نمود.

**واژه‌های کلیدی:** مدیریت مصرف، تأمین آب، آب شرب مصرفی، شهر مشهد، افق ۱۴۲۰.

مجموع آب در دسترس شیرین برای تأمین جمعیت حال حاضر جهان با تکیه بر حداقل مصرف مورد تقاضا کافی به نظر می‌رسد. اما عدم توزیع یکنواخت منابع آب در دسترس و جمعیت؛ شرایط را به خصوص برای کشورهای در حال توسعه بسیار بحرانی کرده است. تنوع و دگرگونی شرایط اقلیمی ایران، پراکندگی نامناسب مکانی و زمانی بارندگی در سطح کشور (وقوع خشکسالی‌ها و ترسالی‌های شدید)، وجود فرهنگ‌ها، عقاید و شیوه‌های مختلف زندگی در ایران، نبود قوانین و مقررات مشخص و فراگیر در برگیرنده حقوق تمام مردم و برآوردنده نیازهای حال و آینده آن‌ها از یک سو و از سوی دیگر عدم هماهنگی، انسجام و هم‌سوئی سیاست‌های بخش‌های مختلف مرتبط با آب سبب شده است که همزمان با افزایش جمعیت و توسعه کشور، مدیران بخش آب کشور با مسائل و معضلات بسیاری در این بخش مواجهه باشند. برنامه‌ریزی برای مدیریت مصرف با تکیه بر روش‌های تأمین پایدار آب شهری از سوی دانشمندان، محققان و کارشناسان بین‌المللی به‌عنوان چالش استراتژیک مهمی در قرن بیست یکم محسوب می‌گردد.

کمبود آب در ایران یکی از عوامل محدودکننده اصلی توسعه فعالیت‌های اقتصادی در دهه‌های آینده به‌شمار می‌رود. کارشناسان بارها هشدار داده‌اند که ایران با متوسط نزولات جوی ۲۶۰ میلی‌متر در سال از کشورهای خشک جهان و دارای منابع آب محدود است. در ایران، کم بودن حجم آب تجدیدپذیر و عدم مدیریت صحیح منابع آب موجود، علاوه بر موارد فوق، عامل اصلی و زمینه‌ساز بحران آب می‌باشد. با توجه به رشد جمعیت در سال‌های اخیر، سرانه منابع آب تجدیدپذیر از ۷۱۰۰ متر مکعب در سال ۱۳۳۴ به ۲۱۰۰ متر مکعب در سال ۱۳۷۰ کاهش پیدا کرده است و در سال ۱۴۰۴ به میزان ۸۰۰ متر مکعب در سال خواهد رسید (نظرزاده و همکاران، ۱۳۸۲). کمبود آب در کشور و توزیع نامناسب منابع آبی و وجود مشکلات فوق، بیانگر لزوم نگرش دقیق به مساله عرضه و تقاضای آب می‌باشد. مسلماً مدیریت تقاضا در این شرایط از اهمیت خاصی برخوردار است. در این راستا استفاده از محققین کشور و متناسب‌سازی مراجع علمی موجود در دنیا با شرایط موجود می‌تواند در چگونگی مدیریت و توسعه منابع آب مفید باشد.

با توجه به محدودیت منابع آب قابل دسترس در کشور و افزایش روزافزون تقاضا برای مصارف مختلف آب در کلیه جنبه‌های آن و در نتیجه رسیدن به مرز بحرانی استفاده از منابع آب تجدیدپذیر ایجاب می‌کند که مدیریت تقاضا، مبنای کنترل مصرف و مدیریت منابع آب قرار گیرد تا ضمن تأمین امنیت آبی، قوانین مدون بر این مبنا جهت ایجاد تعادل بین مصرف و تأمین آب ایجاد گردد.

بطور کلی مدیریت منابع آب، دارای دو جنبه است:

۱- مدیریت تأمین آب که به تقاضای آب به عنوان نیازی می‌نگرد که باید برآورده شود و شامل فعالیت‌هایی برای شناسایی، توسعه و استحصال منابع جدید آب به اقتصادی‌ترین شیوه می‌باشد.  
۲- مدیریت تقاضا که به مصرف آب به عنوان یک تقاضا می‌نگرد که می‌تواند توسط روش‌های فنی اقتصادی- اجتماعی اصلاح شود و شامل فعالیت‌ها و رویکردهایی برای تخصیص و استفاده بهینه از منابع آبی موجود می‌باشد (انصاری، ۱۳۹۴). آگاهی مدیران، تصمیم‌گیران و به طور کلی کلیه اقشار ذی‌ربط از شیوه‌های مختلف مدیریت تقاضا و به خصوص تعیین و تخمین تابع تقاضای افراد مصرف‌کننده با اصلاح نظام تعرفه‌گذاری از جمله ضروری‌ترین اقدامات و برنامه‌های مدیریت آب تلقی می‌گردد.

در کلان شهر مشهد بطور تقریبی با احتساب میانگین‌گیری از روزهای پیک مناسبتی (در این روزها جمعیت ساکن و مسافران شهر مشهد گاهی به بیش از ۵ میلیون نفر نیز می‌رسد) و روزهای عادی سال و با احتساب جمعیت میانگین ۲/۵ میلیون نفر و سرانه ۲۰۰ لیتر در روز، حداقل به بیش از ۱۸۰ میلیون متر مکعب آب شرب بهداشتی در طول سال نیاز است. مصارف شرب شهر مشهد در سال ۱۴۲۰، حدود ۴۰۰ میلیون متر مکعب در سال برآورد شده است. با توجه به انتقال حدود ۳۰ میلیون مترمکعب آب از مخازن سدهای موجود (طرق و کارده)، انتقال به طور متوسط ۱۰۰ میلیون متر مکعب آب از سد دوستی (خارج از حوضه)، انتقال ۱۵ میلیون متر مکعب آب از سد ارداک و انتقال ۳۰ میلیون متر مکعب آب از ارتفاعات هزار مسجد (خارج از حوضه)، به طور میانگین حدود ۱۷۵ میلیون متر مکعب آب از این برآورد در سال توسط منابع سطحی داخل و خارج از حوضه تأمین می‌شود. با توجه به این‌که در بهترین شرایط بتوان سطح تأمین آب حال حاضر را تا سال ۱۴۲۰ نگاه داشت، حدود ۲۲۵ میلیون متر مکعب در سال کسری آب وجود دارد که باید از منابع آب زیرزمینی دشت ممنوعه مشهد تأمین شود. منابع زیرزمینی شهر مشهد از لحاظ کمی و کیفی بسیار متنوع بوده و به علت برداشت‌های اضافی از منابع آبی این دشت، کیفیت آب در این منطقه به شدت درحال تنزل بوده و بطور مستقیم سلامت شهروندان را تهدید می‌کند. اگر روند برداشت از منابع زیرزمینی تا سال ۱۴۰۰ افزایش یابد، بحران جدی‌تری پیش رو خواهد بود.

به دلیل قرارگیری دشت مشهد در محدوده‌ی ممنوعه، امکان حفر چاه جدید در این دشت بحرانی وجود ندارد. لذا با توجه به بحران‌های آبی و موقعیت خاص شهر مشهد به لحاظ مذهبی و لزوم تأمین آب شرب این شهر، بررسی وضعیت تأمین آب از مخازن شرب برای برنامه‌ریزی کلان در تأمین آب شرب شهر در افق ۱۴۲۰ و ارائه رهیافت‌هایی برای بهره‌برداری از منابع آب متعارف و غیرمتعارف ضروری به نظر می‌رسد.

مجانمی به مصرف‌کنندگان و ساختار جدید تعرفه در بخش شرب از راه‌کارهای ممکن در مدیریت تقاضا و کنترل مصرف می‌باشند (Garcia و Reynaud، ۲۰۰۴). وجود امور زیربنایی متمرکز و یا خدمات گسترده آبرسانی از جانب شرکت‌های متولی آبرسانی تأثیر بسزایی در مدیریت مصرف و به تبع آن مدیریت تقاضا خواهد داشت (Vanvliet و همکاران، ۲۰۰۵).

Memon و Butler (۲۰۰۶)، نشان دادند که طیف وسیعی از متغیرهای اقتصادی-اجتماعی و جمعیتی-اجتماعی وجود دارند که بر میزان تقاضای آب تأثیرگذارند که مهم‌ترین آن‌ها بُعد خانوار و سن افراد می‌باشد. Downward و Tylor (۲۰۰۷)، به این مطلب اشاره داشتند که پیش‌بینی تقاضای شرب خانگی و تعیین عوامل موثر بر مصرف آب، در توسعه برنامه‌ریزی‌های مربوط به خانوارهای کشورهای اروپایی از اهمیت قابل ملاحظه‌ای برخوردار است. Ansari و همکاران (۲۰۱۴) به بررسی مدیریت تقاضا و وزن‌دهی فاکتورهای مرتبط در کشور اردن پرداختند. قسمت عمده‌ای از آب مصرفی این خانوارها از منابع آبی با کیفیت بالا تأمین می‌شود و موازنه آن با میزان تقاضا در بیشتر مناطق، منفی است. تابش و همکاران (۱۳۸۷)، نشان دادند که روش‌های نروزمانی و سری‌های زمانی در تخمین میزان تقاضا روش‌هایی بسیار کارآمد می‌باشند. روش نروزمانی با الگو گرفتن از شبکه‌های پرسپترون (عصبی) و شبکه‌های چندلایه به برآورد میزان تقاضا می‌پردازد.

بررسی مطالعات در نهایت نشان می‌دهد متغیرهای زیادی از جمله متغیرهای مرتبط با عرصه و اعیان، وسائل و تجهیزات مدیریت فشار و ذخیره آب، پارامترهای اقلیمی، خصوصیات سیستم توزیع حتی مشخصه‌های فرهنگی-اقتصادی و اجتماعی مشترکان، شرایط مصرف در دوره‌های قبل؛ بر مصرف بلندمدت مشترکان آب شرب موثر می‌باشد. در تمامی مطالعات تفاوت‌های کمی و کیفی موجود است که در مطالعات به آن‌ها اشاره مستقیم نشده است و از جمله عوامل تأثیرگذار بر مصرف آب شرب در بازه‌های زمانی مختلف می‌باشند. در مطالعات انصاری و صالح‌نیا (۱۳۹۳)، ابعاد و عوامل موثر بر تقاضا - که می‌تواند برای پژوهش‌ها با روش‌های آماری موجود (رگرسیون و توابع نرمال و آزمون‌های آماری معیار) مورد استفاده محققین قرارگیرند- با توجه به گستردگی و میزان اهمیت، طبق جدول (۱) دسته‌بندی شده است.

جدول ۱- دسته‌بندی عوامل موثر بر تقاضای آب شرب در مطالعات انصاری و صالح‌نیا (۱۳۹۳)

گروه ۱	گروه ۲	گروه ۳	گروه ۴
قیمت آب	قیمت آب	متوسط تعرفه آبی	قیمت آب
عمر بنا (تعداد اتاق / استخر)	وسایل ذخیره آب در بنا	وجود توریسم	درآمد خانوار
نوع مالکیت	درجه حرارت و بارندگی	تعداد افراد خانوار	بُعد متوسط (سن خانوار)
بُعد خانوار	فاصله از مرکز شهر	متوسط درجه حرارت ماهانه	مساحت حیاط و باغچه
بودن یا خالی از سکنه	وضعیت اقتصادی و اشتغال	تراکم جمعیتی مناطق	نحوه مالکیت

موضوع کمیابی و کمبود نسبی آب و توأمان بالا رفتن هزینه‌های سرمایه‌گذاری در استحصال منابع آبی جدید، هزینه‌بر بودن ایجاد این ذخایر را باعث شده است. به منظور برآورده ساختن این تقاضای روزافزون در هزینه‌های منطقی، مدیران آبی به دنبال روش‌هایی می‌باشند تا به مدد آن‌ها منابع جدید عرضه آب موجود را به گونه‌ای مطلوب‌تر تخصیص داده و کاربران را نسبت به ذخیره آب تشویق و تهییج نمایند. این مطلب درست در مقابل گذشته است که دولت‌ها تقاضای جدید آبی را اساساً به واسطه یافتن تکنولوژی‌هایی در حد بضاعت مالی مردم برآورده می‌ساختند که می‌توانستند با این کار ذخایر آبی را افزایش دهند. بنابراین مدیریت تقاضای آب به عنوان رویکردی جدید جلوه نموده و متعاقب آن نیز اصلاح تعرفه‌ها می‌بایست به نحوی صورت پذیرد که در آن آب به عنوان یک دارایی ارزشمند تلقی گردد. همچنین با رشد سریع جمعیت، مدیریت پایدار آب که بتواند در برگیرنده فقیرترین افراد جامعه نیز باشد؛ به امری ضروری برای حیات بشر درآمده است.

در نتیجه اجرای سیاست منابع آب بانک جهانی در سال ۱۹۹۳، اعطای وام برای سرمایه‌گذاری در پروژه‌های آب اغلب مستلزم اجرای برخی روش‌های اصلاح تعرفه‌های آب شرب است (بوستانی، انصاری، ۱۳۹۰). Macupadia و همکاران (۲۰۰۱) به نقل از صالح‌نیا و همکاران (۱۳۸۶)، در یک بررسی بر روی تغییرات مصرف سرانه خانگی آب در کویت، درآمد خانوار، بُعد خانوار و... را عواملی تأثیرگذار دانسته و مدل‌های رگرسیونی و شبکه عصبی را برای پیش‌بینی مدیریت مصرف و تقاضای آب مورد استفاده قرار دادند. Butler و Memon (۲۰۰۶) نیز پتانسیل‌ها و شرایط عمومی اجرای مدیریت تقاضای آب را بررسی کردند. تدوین تعرفه‌ها به عنوان ابزاری برای کنترل مصرف نیز توسط Sandbach در ۲۰۰۴ صورت گرفت. البته نتایج حاصل از این تحقیقات در حالت کلی و آموزه‌های مفید بوده ولی با توجه به اینکه قیمت‌گذاری و تعرفه‌ها ریشه در فرهنگ و شرایط معیشتی مردم یک جامعه دارد؛ نمی‌توان از نتایج این تحقیقات به طور مستقیم در مطالعات آب‌بهای کشورمان بهره برد. با وجود سابقه کم مدیریت آب به خصوص در بخش شرب، اتخاذ روش‌هایی چون کنترل نشت، مدیریت فشار، اعطای تجهیزات

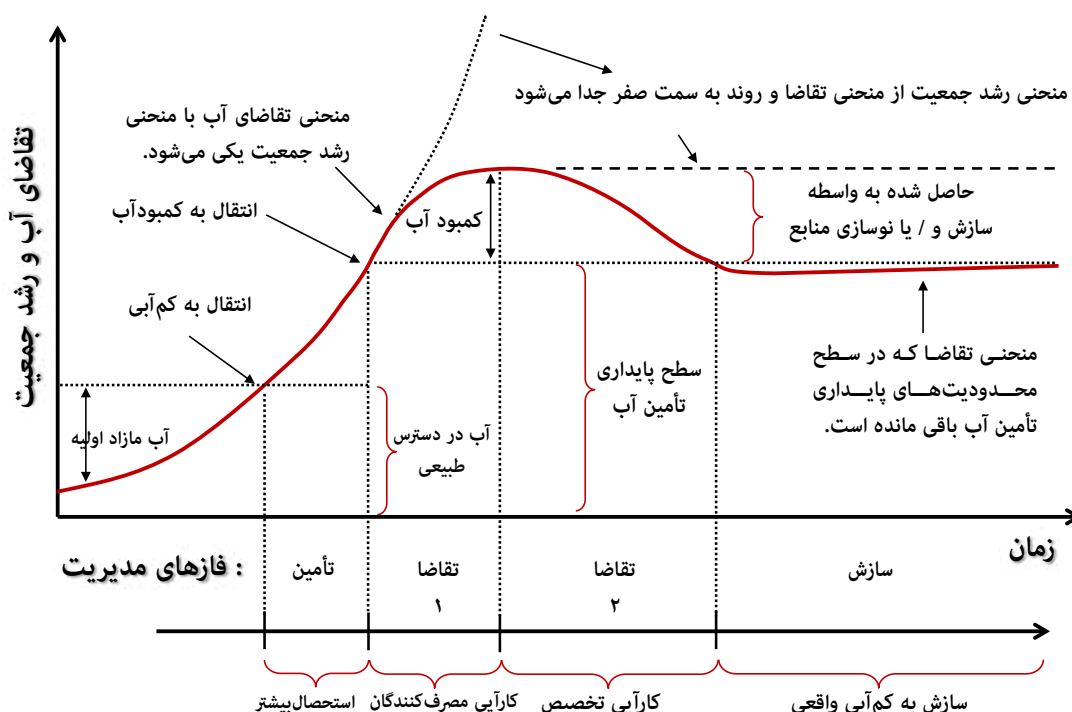
در کشور ما نیز در زمینه تقاضای آب و تخمین توابع تقاضا کارهایی انجام شده است که به برخی از آنها اشاره می‌شود. صدر و همکاران (۱۳۷۳) بر مبنای آمار سری زمانی و مدل لگاریتمی به بررسی تابع تقاضای آب مصرفی در شهر تهران پرداختند. محمدی دینانی و همکاران (۱۳۷۹) دریافتند که زیربنای واحد مسکونی، تأثیر مثبت و معنی‌داری با میزان مصرف آب هر خانوار دارد و وجود باغچه (مصرف خارج از منزل)، بر مصرف آب سرانه هر خانوار تأثیر چندانی ندارد. خوش‌اخلاق و همکارانش (۱۳۸۰)، در مطالعه‌ای به برآورد تابع تقاضای آب شهر تهران پرداخته‌اند و توابع تقاضای ۵ منطقه مصرفی آب این شهر مشتمل بر ۱۷ حالت را تخمین زدند. نظرزاده و همکاران (۱۳۸۲)، در زمینه مدیریت تقاضای آب شهر کاشان تحقیقی را انجام و نشان دادند که آگاهی‌ها و نگرش‌های مردم نسبت به آب در رفتار آنها به سمت صرفه‌جویی در مصرف آب تأثیر بسزایی دارد.

## بحث و بررسی

مدیریت مصرف و تقاضا به هر فعالیت اجتماعی و غیر اجتماعی اطلاق می‌شود که متوسط (حداکثر) مصرف یا برداشت آب از منابع را با حفظ کیفیت آب کاهش داده و یا اصلاح کند (Herbertson و Tate، ۲۰۰۱). اجرای یک استراتژی توسط یک نهاد آبی به منظور رسیدن به اهدافی از قبیل کارایی اقتصادی، توسعه اجتماعی،

تابش و دینی (۱۳۸۹)، اظهار داشتند که پیچیدگی و تأثیر عوامل و پارامترهای مختلف بر میزان تقاضای آب در سیستم‌های آبرسانی شهری سبب شده است که روش‌های تحلیلی و ریاضی کارآیی لازم را در این زمینه نداشته باشد، بنابراین آنها روش شبکه‌های عصبی مصنوعی را برای برآورد تقاضای روزانه آب شهر تهران بکار بردند. سجادی‌فر و خیابانی (۱۳۹۰)، به وجود رابطه بین متغیرهای جوی نظیر میزان بارندگی و درجه حرارت با میزان مصرف آب خانگی پی بردند. انصاری و صالح‌نیا (۱۳۹۳)، در بررسی مصرف آب شهر نیشابور به این نتیجه رسیدند که مصرف بلندمدت مشترکان و تقاضای هر شهر به پارامترهایی بیشتر حساس می‌باشد که در خصوص نیشابور، بیشتر به فشار شبکه حساس می‌باشد. مشخص است که در اکثر مطالعات، در نهایت پیش‌بینی تقاضای آب بخش خانگی به دلیل فقدان داده‌های تجربی مرتبط با مصرف آب شرب شهری، امری بسیار دشوار است.

حفاظت از محیط زیست و پایداری منابع، مدیریت تقاضا را تشکیل می‌دهد. این بخش از مدیریت، منابع آب را بهبود بخشیده، سود حاصل از یک بهره‌برداری معین را افزایش داده و هزینه‌ها را در جهت رسیدن به منابع خاص کاهش می‌دهد. یکی از اهرم‌های مدیریت تقاضا تعیین میزان تقاضای آب مصرفی با کمک توابع تقاضا می‌باشد. در حقیقت مدیریت تقاضای آب شامل چندین مرحله می‌باشد که در شکل (۱) نشان داده شده است.



شکل ۱- شماتیک فازهای تاریخی رشد تقاضا و تأمین آب (انصاری، ۱۳۹۶)

در صورتی که تلاش برای کنترل تقاضا موفق نباشد، مدیران منابع آب مجبورند فعالیت‌های شدیدتری انجام دهند و سیاست تخصیص مجدد منابع آب به مصرف‌کنندگان با کارایی بیشتر (کارایی تخصیص) را از طریق روش‌های مناسب قیمت‌گذاری و با

در نظر گرفتن رفاه کل اجتماعی اجرا کنند (شکل ۱). در حال حاضر در کشورهای عرب همسایه و خاورمیانه، اکثر کشورها برنامه‌هایی را برای هدفمند کردن تقاضا و اصلاح تعرفه‌ها انجام داده‌اند که برخی از این اقدامات در جدول (۲) آمده است:

جدول ۲- بررسی اقدامات مدیریت مصرف در برخی کشورهای منطقه

کشور	اقدامات مدیریت مصرف
بحرین	نظام این کشور برنامه‌های هشداردهنده معرف عمومی و کمبود منابع را به اجرا درآورده و با وضع قوانین جدید در بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی در جهت کاهش مصرف (برداشت)، تعرفه‌های جدید مصرفی را وضع کرده است.
مصر	با توجه به این‌که این کشور عربی از دیرباز در بخش منابع آب مصرفی شرب و آب آبیاری کشاورزی قوانینی را وضع کرده بود که این قوانین به بیش از ۲۰ سال پیش بازمی‌گردد، هم‌اینک با تکیه بر خصوصی‌سازی در این بخش به وزارت منابع آبی و آب آبیاری، سیاست‌های جدیدی را برای خصوصی‌سازی ابلاغ کرده است.
اردن	در سال ۱۹۹۷ میلادی این کشور یک استراتژی جامع مدیریت تقاضای آب مصرفی برای کشور خود ارائه داد. در این برنامه علاوه بر تکیه بر سیستم‌ها و تبلیغات هشداردهنده مصرف آب، در دیپارتمان‌ها و آژانس‌های منشعب از وزارت آب در بخش خصوصی، سیاست‌ها و قوانینی را برای اجرا در محدودیت استفاده مازاد بر الگوهای مصرف در بخش آب شرب و کشاورزی تأکید شده است.
نوار غزه	با توجه به وضعیت بحرانی این منطقه، تمامی تصمیمات به اوضاع سیاسی همان زمان منطقه برمی‌گردد و با این تغییر، مسئولین هر دو بخش این کشور قوانینی منعطف با اصلاح تعرفه‌ها پایه‌گذاری کرده‌اند تا در مواقع بحرانی، تعرفه‌ها و الگوهای مصرف تغییر کرده و در زمان صلح و عاری از تنش این وضعیت به حالت قبلی خود بازگردد (Decaluwe و همکاران، ۱۹۹۹).

در مطالعات انجام شده توسط سازمان ملل متحد در کشور سنگاپور، حداقل آب مصرفی هر شهروند برای حفظ بهداشت و سلامت جامعه ۹۹ لیتر در روز تعیین گردید. اما در کشور ما بر طبق برنامه سوم توسعه، الگوی مصرف آب هر خانوار ۲۲/۵ متر مکعب در ماه تعیین شده است که هر نفر به طور متوسط در شبانه‌روز می‌تواند ۱۵۰ لیتر آب مصرف نماید (حسینی و کریمی، ۱۳۸۱). با توجه به رشد بی‌رویه شهرنشینی در کشور، آمار چند سال اخیر مصرف سرانه، به طور متوسط ۲۵۰ تا ۳۰۰ لیتر در شبانه‌روز را نشان می‌دهد. در سال ۱۳۷۳ متوسط تقاضای سرانه آب شهری در کشور برابر ۲۴۲ لیتر نفر روز بوده است. در سال ۱۳۷۹، فقط ۴۷ درصد مشترکان کشور کمتر از الگوی مصرف، آب مصرف کرده و در مجموع ۲۴ درصد آب شرب تولیدی در کشور را به کار بردند (تجربیشی و ابریشم‌چی، ۱۳۸۳).

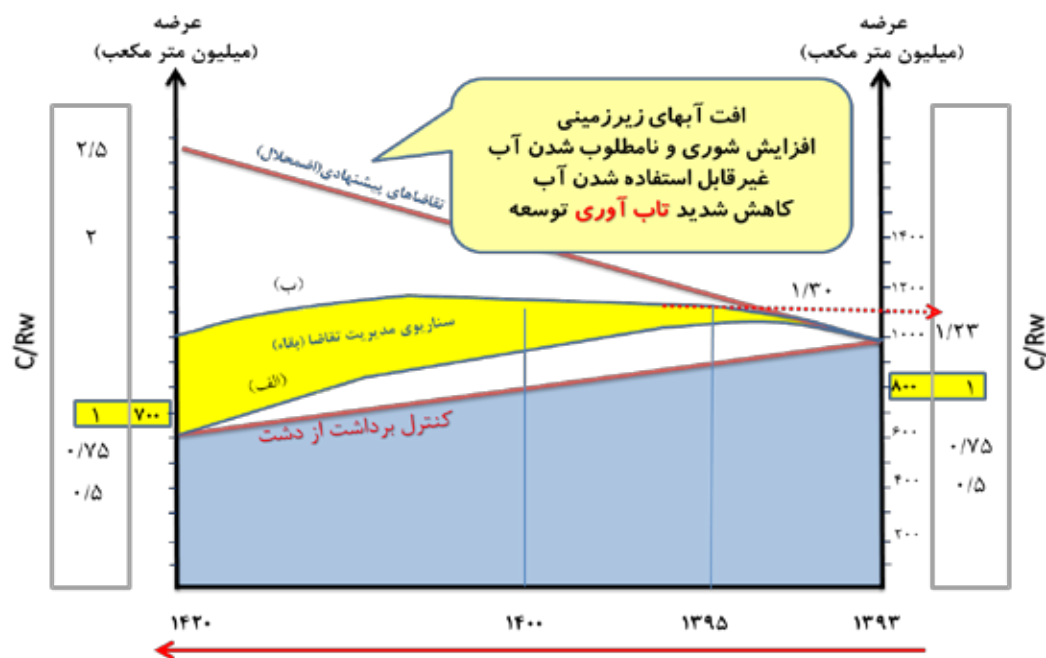
محدوده مطالعاتی مشهد یکی از پهناورترین محدوده‌های مطالعاتی استان خراسان رضوی می‌باشد. به‌علاوه، به دلیل قرارگیری شهر مشهد در این محدوده مطالعاتی، به لحاظ اجتماعی، اقتصادی و سیاسی مهم‌ترین محدوده مطالعاتی استان نیز محسوب می‌گردد. با ادامه روند توسعه فعلی محدوده مطالعاتی مشهد، میزان تقاضای آب در سال ۱۴۲۰ بر اساس اطلاعات جمع‌آوری شده شرکت آب وفاضلاب مشهد از دستگاه‌های اجرایی در جدول (۳) ارائه شده است. همانطور که در این جدول مشاهده می‌شود، با فرض مصرف آب مشابه با شرایط موجود، میزان تقاضا در افق ۱۴۲۰ در حدود ۱۵۶۵ میلیون متر مکعب و با فرض افزایش ۵٪ مصرف آب به دلیل گرم شدن هوا تحت تأثیر تغییر اقلیم، این میزان ۱۶۱۵ میلیون مترمکعب پیش‌بینی می‌گردد.

جدول ۳- میزان تقاضای آب محدوده مطالعاتی مشهد در افق ۱۴۲۰ (میلیون متر مکعب)

نوع تقاضا	مصرف آب مشابه شرایط موجود	با فرض افزایش ۵٪ مصرف آب به دلیل گرم شدن هوا
نیاز آبی سکونت‌گاه‌های واقع در محدوده مشهد (به جز شهر مشهد)	۱۳۶	۱۳۶
نیاز آبی شهر مشهد (به جز فضای سبز)	۴۰۰	۴۰۰
کشاورزی (با فرض سطح زیر کشت ثابت)	۹۱۸	۹۶۴
فضای سبز (مشهد ۵۲/۴ + سایر شهرها ۱۱/۹)	۶۴	۶۸
صنعت (برآورد غیر مستند)	۴۷	۴۷
جمع کل	۱۵۶۵	۱۶۱۵

در مطالعه‌ای دیگر (کارگروه تدبیر آب مشهد، ۱۳۹۴) نشان می‌دهد که در افق ۱۴۲۰، حدود ۱۰۰۰ میلیون متر مکعب تفاوت میان تقاضا و آب قابل تخصیص وجود دارد (یعنی حدود ۵۹٪ تقاضا!). در واقع بررسی مقدار نسبت C (مصرف) به RW (آب تجدیدپذیر) در دشت مشهد در سال ۱۳۹۰ نشان داد که این شاخص به حدود ۱/۲۳ رسیده و دشت مشهد در شرایط بحرانی کامل می‌باشد. باتوجه به میزان تقاضاهای گزارش شده، در افق ۱۴۲۰ این نسبت ۲/۵ برابر اعلام شده است (کارگروه تدبیر آب مشهد، ۱۳۹۴). پیش‌بینی شده است که روند افزایش C/RW در مقدار ۱/۳ تا سال ۱۳۹۵ کنترل شده و پس از آن روند کاهشی یافته و این نسبت در سال ۱۴۰۰ به ۱ و سپس در افق ۱۴۲۰ به ۰/۷۵ برسد. یادآوری می‌شود بر اساس جلسه شورای عالی آب کشور سقف تخصیص از منابع آب زیرزمینی معادل ۷۵ درصد آب تجدیدپذیر می‌باشد (کارگروه تدبیر آب مشهد، ۱۳۹۴). در شکل (۲)، فضای زرد رنگ توانایی مدیران

را در مدیریت تقاضا و کنترل برداشت تحت روش‌های مختلف مدیریتی را نشان می‌دهد. بر اساس مستندات ارائه شده آب منطقه‌ای خراسان رضوی، میزان برداشت‌های کنونی حدود ۱۱۳۰ میلیون متر مکعب و برداشت‌ها در افق ۱۴۲۰ معادل ۱۷۶۵ میلیون متر مکعب فرض گردیده است. علاوه بر این، بایستی دقت کرد که مقادیر آب تجدیدپذیر در محورهای عمودی سمت راست (سال ۱۳۹۳) و سمت چپ (سال ۱۴۲۰) متفاوت خواهند بود. در واقع با توجه به گرمایش تدریجی و تغییر رژیم بارندگی (کاهش شدید ذخایر برفی کوهستانی) میزان آب تجدیدپذیر از حدود ۸۰۰ میلیون متر مکعب در حال حاضر به حدود ۷۰۰ میلیون متر مکعب (با ۱۵٪ کاهش) خواهد رسید. به همین دلیل برای رسیدن به شاخص C/RW برابر با یک، میزان عرضه در این دو سال با هم متفاوت است. لازم به ذکر است که سطح زیر منحنی کنترل برداشت (پایین‌ترین منحنی) میزان برداشت از آبخانه زیرزمینی را نشان می‌دهد.



شکل ۲- روند عرضه و سناریوی مدیریت تقاضا (کارگروه تدبیر آب مشهد، ۱۳۹۴)

مدل تقاضای آب شهری:  
تعیین میزان تقاضای آب شهری پیش‌نیاز طراحی سیاست‌های تقاضامحور آب می‌باشد. برای تخمین تقاضای آب شهری روش‌های متنوع و روش‌های اقتصادی گوناگونی بر اساس داده‌های در دسترس و طبیعی استفاده می‌شود. تخمین میزان تقاضای آب معمولاً به صورت تابعی از  $Q=f(P,H)$  است. منظور از  $Q$  میزان تقاضای آب،  $P$  قیمت آب و  $H$  نسبت خانوار می‌باشد. مدل اقتصادی که برای تقاضای آب شهری استفاده می‌شود، از رابطه (۱) محاسبه می‌شود:

$$Q_{(i,t)} = a + bP_{(i,t)} + cH_{(i)} + \xi_{(i,t)} \quad (1)$$

که در آن  $Q_{(i,t)}$  همان مصرف آب بر حسب متر مکعب برای خانوار  $i$  در زمان  $t$  است.  $P_{(i,t)}$  بردار متغیر قیمت است.  $H_{(i)}$  یک بردار ویژه اجتماعی است (بعد خانوار و فرهنگ و مسائل اقتصادی).  $\xi_{(i,t)}$  همان عبارت خطای استاندارد در آمار است.  $a, b, c$  ضرایب تخمین زده شده هستند. از مطالعات گزارش‌ها و پژوهش‌های صورت گرفته می‌توان نتیجه گرفت، تقاضای آب نسبت به قیمت، کم کشش است. بدین مفهوم که کشش قیمتی تقاضای آب کمتر از یک است. در هر حال مفهوم کشش قیمت برای تعیین تعرفه‌ی آب در بسیاری از شهرها استفاده

می‌شود و براساس آن تعرفه‌های معقول و مؤثری حاصل گردیده است. در یک نمونه در هاوایی افزایش ۴۰ درصدی قیمت موجب ۱۰ درصد کاهش مصرف گردید. البته، این افزایش قیمت مربوط به مدیریت توزیع آب در دوره خشکسالی بوده است (انصاری، ۱۳۸۹). سه سناریو «خوش‌بینانه» (برآورد غیر محافظه‌کارانه آب تجدیدپذیر و تعدیل مصرف)، «بر اساس اطلاعات آمایش» و «بدبینانه»، در تبیین وضعیت حاضر و آینده (افق ۱۴۲۰) مدیریت تقاضای آب مصرفی می‌تواند ارائه گردد. سه سناریو مذکور تا افق ۱۴۲۰ و ۱۴۵۰ مورد توجه

قرار می‌گیرد که در هر سه سناریو افزایش تقاضا بایستی مد نظر قرار گرفته و مورد بررسی قرار گیرد. اما این سه سناریو در برآورد منابع آب تجدیدپذیر و راندمان مصارف با یکدیگر تفاوت دارند. سناریوی اول: ثابت ماندن منابع آب دشت؛ سناریوی دوم: کاهش منابع آب تحت اثر گرمایش جهانی؛ و سناریوی سوم: افزایش منابع تحت اثر انتقال بررسی خواهد شد. در نهایت سناریوی شمای کلی مدیریت تقاضای آب شرب مشهد با اتخاذ سیاست‌های فعلی باید سناریو "بقا" باشد. اطلاعات جدول (۴) براساس سناریوی سوم پیش‌بینی و برآورد شده است.

جدول ۴- میزان تقاضای آبی سالانه شهر مشهد (آمار دفتر مهندسی آبفای کشور، ۱۳۹۳)

سال ۱۴۲۰	سال ۱۴۱۵	سال ۱۴۱۰	سال ۱۴۰۵	سال ۱۴۰۰	سال ۱۳۹۵	شرح
۴۹۴۹۳۰۰	۴۵۸۰۴۰۰	۴۲۲۶۸۰۰	۳۸۶۸۰۰۰	۳۵۰۶۸۰۰	۳۱۲۶۰۰۰	جمعیت (نفر)
۲۰۸	۲۱۲	۲۱۴	۲۱۶	۲۱۶	۲۱۸	سرانه کل مصرف آب LPCD
۳۷۵	۳۵۴/۲	۳۳۰/۲	۳۰۵	۲۷۶/۵	۲۴۹/۵	متوسط نیاز آبی جمعیت ساکن MCM
۷۵	۷۵	۷۵	۷۵	۷۵	۷۵	سرانه زائر (لیتر در روز)
۲۱/۲	۱۷/۴	۱۴/۵	۱۲/۲	۱۰/۲	۸/۶	حجم آب مورد نیاز زائر MCM
۳۹۶	۳۷۱/۸	۳۴۴/۷	۳۱۷	۲۸۶/۷	۲۵۸/۱	متوسط کل نیاز آبی شهر مشهد MCM

پیش‌بینی‌های اولیه رشد تقاضای آب براساس شرایط ویژه شهر مشهد تا افق ۱۴۲۰ بیانگر آن است که حداقل نیاز آب شرب، فضای سبز و صنایع مجاز این شهر به همراه روستاها و سه شهر طبقه، شاندیز و چناران حداقل یک میلیارد متر مکعب خواهد بود؛ این درحالی است که کل آب تجدیدپذیر دشت به طور خوشبینانه حدود ۱/۲ میلیارد متر مکعب در سال می‌باشد (کارگروه تدبیر آب مشهد، ۱۳۹۴). این وضعیت در کنار پیش‌بینی‌های نتایج تغییر اقلیم نحوه تأمین آب را برای این کلان شهر مذهبی (با عدم تبعیت زائران از یک برنامه زمانی مشخص) پیچیده‌تر می‌نماید. در این میان و با توجه به پیچیدگی‌های

نحوه و میزان تأمین منابع آبی شهر مشهد، محتمل‌ترین و اجرایی‌ترین روش در تأمین کفایت منابع آبی، مدیریت و تعادل‌بخشی و کاهش تقاضای آب در حوزه شهری می‌باشد. راه‌های پیشنهادی بهبود مدیریت تقاضای آب شهری را می‌توان به صورت زیر برشمرد:

- تعیین تابع تقاضای آب مصرفی مشترکان با توجه به متغیرهای زمانی و مکانی و تعیین حداکثر مصرف.
- تعیین پراکندگی و چگونگی تغییرات مصرف سرانه مشترکان.
- ارائه راهکارهای مناسب در جهت مدیریت بهینه تقاضای آب مصرفی مشترکان.

### نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادات

پیشنهاد می‌گردد تا در جهت مدیریت بهینه مصرف، ابتدا روند تقاضاهای گذشته و سپس شرایط تغییر روند تقاضاهای موجود در چشم انداز ۱۴۲۰ بطور جامع مورد بررسی قرار گیرد. میزان عرضه منعکس کننده آب تجدیدپذیر، میزان منابع موجود و میزان تقاضا منعکس کننده رفتار مصرف کنندگان به نسبت منابع خواهد بود. فهم فاکتورهای مؤثر بر عرضه و تقاضا در گذشته، به مدیران کمک خواهد نمود تا حالت‌های مختلف عرضه و تقاضا در آینده را شناسایی نمایند. اتخاذ روش‌هایی چون کنترل نشت، مدیریت فشار، اعطای تجهیزات مجانی به مصرف‌کنندگان و ساختار جدید تعرفه در بخش شرب نیز از راه‌کارهای ممکن در مدیریت تقاضا و کنترل مصرف می‌باشند. مدیریت مصرف در یک شبکه با بکارگیری توأمان روش‌های

اجرایی زیر امکان پذیر خواهد شد (شکل ۳):



شکل ۳- راهکارهای مدیریت مصرف در شبکه‌های توزیع آب شهری

در پایان پیشنهاد می‌شود تا برای تدوین و بهبود مدیریت مصرف، مجموعه‌ای از فعالیت‌ها و تخصص‌ها در قالب یک کارگروه که هم دارای توانایی فنی و تخصصی و هم دارای اهرم‌ها و قدرت اجرایی باشند در زیرمجموعه‌های ارگان‌های مسئول و ذی‌ربط (وزارت نیرو) ساماندهی شوند.

## پی‌نوشت

1-Consumption

2-Renew water

## منابع

انصاری، ح. ۱۳۸۹. بررسی و ارزیابی روش‌های موجود قیمت‌گذاری آب در بخش کشاورزی جهت انتخاب مناسب‌ترین روش تدوین تعرفه‌های آب کشاورزی، طرح پژوهشی، گروه مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد.

انصاری، ح. و صالح‌نیا، ن. ۱۳۹۳. ارزیابی پارامترهای موثر بر مصرف آب شرب شهری با استفاده از تکنیک تست گاما، مجله آب و فاضلاب، (۱): ۲-۱۳.

بوستانی، آ. و انصاری، ح. ۱۳۹۰. بررسی مدیریت تقاضای آب در راستای هدفمند کردن تعرفه‌های مصرفی، مجله نظام مهندسی کشاورزی و منابع طبیعی، ۹(۳۳): ۴۸-۵۲.

تابش، م. و دینی، م. ۱۳۸۹. پیش‌بینی تقاضای روزانه آب شهری با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی، مطالعه موردی: شهر تهران، آب و فاضلاب، ۱: ۸۴-۹۵.

تابش، م.، دینی، م.، خوش‌خلق، ع.ج. و زهرائی، ب. ۱۳۸۷. برآورد مصرف روزانه آب تهران با استفاده از سری‌های زمانی. تحقیقات منابع آب ایران، ۴(۲): ۶۵-۵۷.

تجریشی، م. و ابریشم‌چی، ا. ۱۳۸۳. مدیریت تقاضای منابع آب در کشور، مجموعه مقالات کنفرانس روش‌های پیشگیری از اتلاف منابع ملی: ۲۴-۳۹، فرهنگستان علوم، تهران، ایران.

حسینی، ش. و کریمی، ب. ۱۳۸۱. قیمت‌گذاری آب آبیاری: بررسی ادبیات موضوع، ویراسته فریود، نعمت اله، چاپ اول، تهران، کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران.

خوش‌اخلاق، ر.، صمدی، س.، عمادزاده، م. و هادی‌زاده خیرخواه، ح. ۱۳۸۰. برآورد تابع تقاضای آب شهر تهران، فصلنامه پژوهش‌های اقتصادی ایران، ۹: ۱۰۹-۱۲۸.

سجادی‌فر، س.ح. و خیابانی، ن. ۱۳۹۰. مدل‌سازی تقاضای آب خانگی با استفاده از روش مدل عوامل تصادفی، مطالعه موردی شهر اراک، مجله علمی-پژوهشی آب و فاضلاب، ۲۲(۳): ۵۹-۶۸.

صالح‌نیا، ن.، فلاحی، م.ع.، انصاری، ح. و داوری، ک. ۱۳۸۶. بررسی تعرفه‌های آب شرب شهری و تأثیر آن بر الگوی مصرف آب مشترکان، مجله آب و فاضلاب، ۱۸(۳): ۵۰-۵۹.

صدر، ک.، عبدیان، م. و خدارحمی، ر. ۱۳۷۳. برآورد تابع تقاضای آب شهر تهران، مجله آب و فاضلاب، ۱۳: ۴۷-۵۸.

کارگروه تدبیر آب مشهد (دانشگاه فردوسی، آبفای شهری و روستایی و شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی). ۱۳۹۴. سند تدبیر آب مشهد.

محمدی دینانی، م. و اکبری، ح. ۱۳۷۹. تخمین تابع تقاضای آب شرب در کرمان، فصلنامه پژوهش‌های اقتصادی ایران، ۷: ۶۷-۷۷. نظرزاده، م.، ابریشم‌چی، ا. و تجریشی، م. ۱۳۸۲. ارزیابی نگرش و نیات رفتاری شهروندان کاشان نسبت به آب شهری، مجله آب و فاضلاب، ۴۶: ۲۱-۲۸.

Al Ansari N, Alibrahiem N., Alsaman M. and Sven Knutsso. 2014. Water Demand Management in Jordan. Engineering, 6(1): 19-26.

Decaluwe B., Party A. and Savard L. 1999. When Water Is No Longer Heaven Sent: Comparative Pricing Analysis In an AGE Model. Working Paper, Economic Department, University Laval.

Downward S.R. and Taylor R. 2007. An Assessment of Spain Programma AGUI & its Implications for Sustainable Water Management in the Province of Almeria, J.Environ.Manag., 82: 277-289.

Garcia S. and Reynaud A. 2004. Estimating the Benefits of Efficient Water Pricing in France. Journal of Resource and Energy Economics, 26: 1-25.

Herbertson P.W. and Tate E.L. 2001. Tools for water use and demand management in South Africa. Secretariat of the World Meteorological Organization.

Memon F.A. and Butler D. 2006. Water Consumption Trend & Forecasting Techniques. Water Demand Management, IWA Publishing, London.

Sandbach J.N. 2004. Ramsey Pricing Versus EPMU for Regulation of Firms Operating in Competitive and non-Competitive Markets, The Economics of Electronic Communication Markets, Toulouse, October 15-16.

VanVliet B., Chappells H. and Shove E. 2005. Infrastructures of consumption, environmental innovation in the utility industries, Earthscan, London.