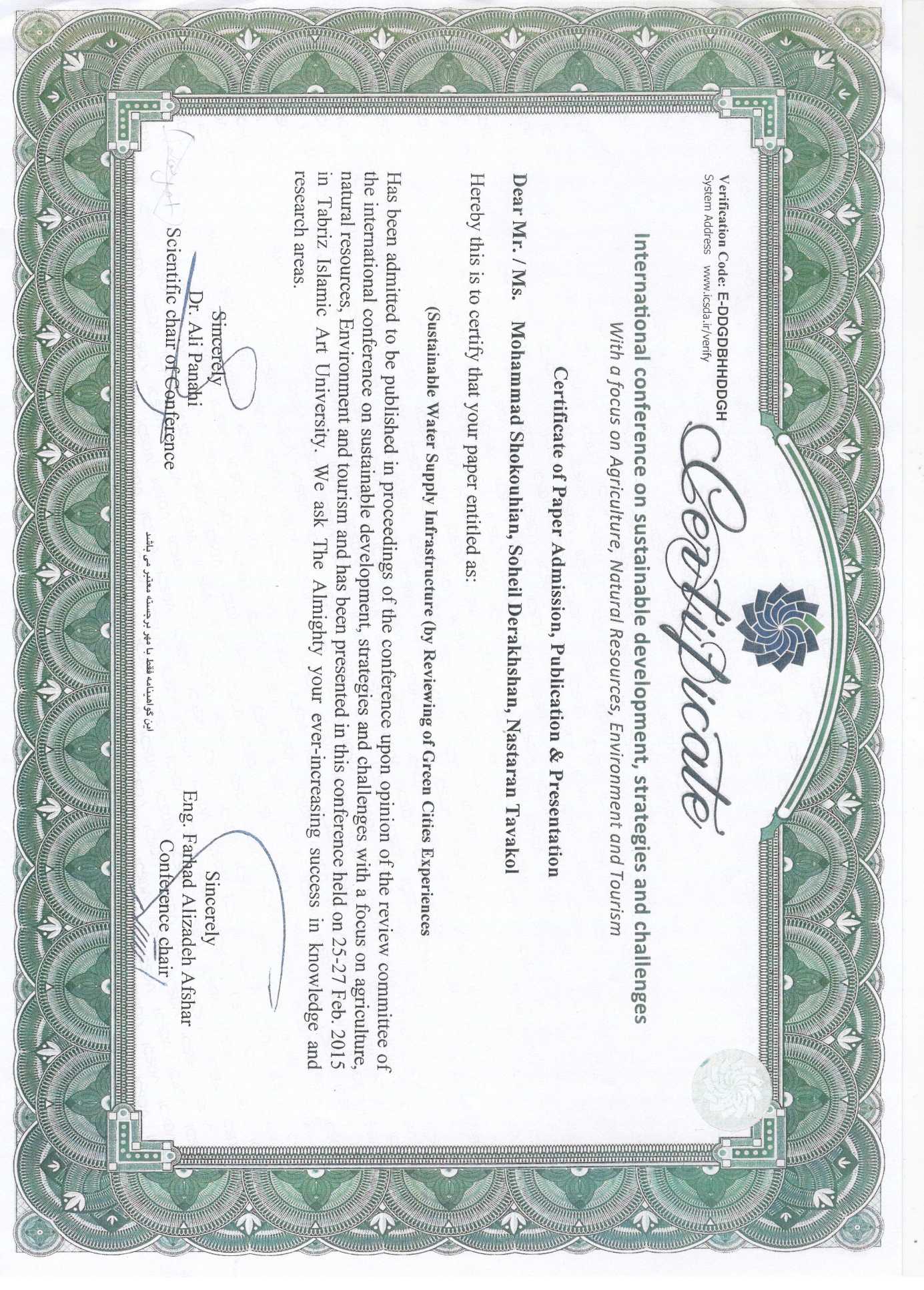
****

**زیر‌ساخت‌های تامین آب پایدار (با باز‌مطالعه تجربیات شهر‌های سبز)**

**محمد شکوهيان، سهیل درخشان**

گروه مهندسی عمران، مهندسی محیط‌زیست، دانشگاه فردوسی مشهد

**چکیده**

با توجه به افزایش جمعیت در کشور‌های در حال توسعه و نیاز جامعه بشری و موجودات زنده به آب، مصرف آب در بخش‌های مختلف شرب، کشاورزی و صنعت، در سال‌های اخیر روندی افزایشی داشته و تقاضا برای این ماده حیاتی گسترش یافته است. همچنین آلودگی منابع تامین آب مزید بر علت شده و کمیت و کیفیت آب در دسترس را در بحران جدی قرار داده است. از این رو، می‌توان گفت که آب عنصر اصلی توسعه پایدار می‌باشد.

در این مقاله سعی بر آن است تا با شناسایی عوامل محرک و همچنین تکنولوژی‌های روزی که در شهر‌های سبز برای توسعه پایدار آب وجود دارد، بتوانیم در جهت توسعه پایدار حرکت نمائیم.

**کلمات کلیدی:** توسعه پایدار، عوامل محرک، تکنولوژی‌های روز، شهر‌های سبز

**مقدمه**

امروزه رشد جمعیت و توسعه اقتصادی سبب افزایش استفاده از آب‌های سطحی و زیر‌زمینی به منظور تامین مصارف شهری، صنعتی و کشاورزی شده و این مسئله فشار زیادی را بر منابع آب وارد آورده و پیامد آن مشکلات بی‌شماری از قبیل افزایش تقاضا، کاهش عرضه، خشکسالی‌ها، سیل‌ها، آلودگی منابع آب و... فرا‌روی انسان عصر حاضر قرار گرفته است که هر روز بر بحران آب بیش‌تر دامن می‌زنند(1).

در مفهوم پایداری، تعاریف بسیاری آمده است که در قالب سیستم‌های زیرساختی بیان می‌شوند(36). اگر‌چه این مفهوم کاملا واضح و روشن است، اما همچنان مشخص کردن مقدار و کیفیت و اجرایی کردن آن دشوار است(22). در حقیقت به کار‌گیری این مفهوم در سیستم‌های توزیع آب تا حدودی چالش برانگیز و دشوار است. Schnoor پایداری آب را سیستمی می‌داند که به طور پیوسته، آب سالم و پاکیزه‌ای را برای مصرف انسان و سایر موجودات زنده تامین نماید(31). این تعریف به خوبی کلیات سیستم تامین آب شهری را بیان می‌کند. اما در تعریف مشخصات دقیق و یا شیوه‌های عملی کردن آن خاموش است.

آب یک منبع تجدید‌پذیر است و در بسیاری از نقاط دنیا میزان آبی که در دسترس مردم قرار می‌گیرد بسیار بیش‌تر از نیاز آن‌ها می‌باشد. اما پایداری آب صرفا به معنی تامین آب به مقدار کافی نیست؛ بلکه تولید آبی با کیفیت بالا نیز مورد بحث قرار می‌گیرد. بنابراین مسئله پایداری آب نه تنها در نقاط کم بارش، بلکه در کشورهایی که از این نعمت الهی به میزان بالایی برخوردارند نیز نقش مهمی را ایفا می کند.

علاوه‌بر‌این، تامین آبی با کیفیت مناسب جهت استفاده در بخش‌های مختلف، نیازمند انرژی و زیرساخت‌های پیچیده‌ای است که این نیز باید در تعریف پایداری آب لحاظ گردد(35).

انجمن امور آب آمریکا، پایداری را تولید آبی با کیفیت عالی، به مقدار کافی و منطقی، برای حال و آینده تعریف می‌کند؛ و رسیدن به آن را از طریق روش‌هایی می‌داند که رشد اقتصادی، حفظ محیط‌زیست و توسعه اجتماعی را به همراه داشته باشد.(7) بنا‌بر‌این سیستم‌های توسعه پایدار آب آینده شامل تصفیه آب در سطوح و درجات مختلف و بر اساس کاربرد‌ آن در بخش‌های گوناگون است.

منبع تامین آب نیز از مسائل مهم در ارزیابی پایداری یک سیستم آب است. چرا‌که سیستم‌هایی که منبع تامین آب آن‌ها فاصله زیادی داشته باشند نسبت به سیستم‌های با منبع تامین آب نزدیک، نیازمند انرژی و زیر‌ساخت‌های بیش‌تری هستند(35).

علاوه‌بر‌این، تغییرات آب‌و‌هوایی و اقلیمی و همچنین سیاست‌های جمعیتی نیز می‌توانند یک سیستم پایدار را به سمت یک سیستم بی‌هدف سوق دهند. آژانس حفاظت محیط‌زیست آمریکا، راهنمایی را تهیه کرده است که تمرکز آن بر 4 بخش اصلی است: مدیریت بهتر، قیمت‌گذاری کامل، استفاده موثر از آب و رویکرد حفاظتی حوضه آبریز(34). که البته چند عامل دیگر از جمله مدیریت انرژی، سازگاری شرایط اقلیمی و جنبه‌های اجتماعی را می‌توان به آن اضافه کرد.(23و24)

دستیابی به تامین آب پایدار در دنیای تکنولوژی امروزی، نیازمند تغییر زیر‌ساخت‌های تامین آب با استفاده از تکنولوژی‌های به روز و شیوه‌های جدید است. به عنوان مثال، زیر‌ساخت‌های تامین آب در قرن بیست‌و‌یکم نیازمند خود کنترلی، سازگاری با تغییرات شرایط و تعمیر خود و از سر گرفتن تولید هستند؛ که البته همگی اثر متقابلی با انسان و سایر سیستم‌های طبیعی و زیر‌ساختی دارند. بدین منظور، باید از منابع آبی اطمینان حاصل کرد، زمان واقعی فرآیند تصفیه آب را تغییر داد و آب را با کیفیت‌های مختلف و برای اهداف مختلف از طریق یک سیستم مناسب توزیع کرد. در تمامی این مراحل باید پارامتر‌های اقتصادی، اجتماعی و سیاسی نیز مورد توجه قرار بگیرد.

نیاز به تعویض زیر‌ساخت‌های فرسوده

تغییرات اقلیمی، افزایش جمعیت و شهر‌نشینی

افزایش تقاضا و سطح توقع برای آب با کیفیت بالاتر

در دسترس بودن و تامین کیفیت منابع آب و انرژی، موانع اقتصادی و محدودیت‌های اقلیمی

زیر‌ساخت‌های کامپیوتری و تکنولوژی‌های تصفیه و توزیع دوگانه

شکل شماره1- تبدیل سیستم تامین آب شهری به سیستم پایدار آب شهری(35)

**1-1 نگرانی در تامین آب و کیفیت آن**

مقدار و کیفیت منابع آبی همواره یکی از مسائل مهم در بحث تصفیه و توزیع آب آشامیدنی بوده است. با این حال توزیع آب و کیفیت آن در تمام جهان یکسان نیست و همچنین مستقل از جمعیت می‌باشد. قاره آسیا حدود 60% جمعیت جهان را دارا می باشد و فقط 36% از آب‌های شیرین را به خود اختصاص داده است(38). انتظار می‌رود این شرایط تا چند دهه پیش رو تقریبا ثابت باقی بماند. در این رابطه، کشور چین به عنوان پر‌جمعیت‌ترین کشور دنیا که جز 25% پایین کشور‌ها (چارک اول) از لحاظ در‌اختیار داشتن آب‌شیرین است، توجه بیش‌تری به این مسئله داشته است(14). برای مقابله با این مشکل، زیر‌ساخت‌های مربوط به دخیره سازی آب (به عنوان مثال، سه سد Gorge با ظرفیت 39.3 میلیارد متر مکعب) و توزیع آب ایجاد شده‌است.

تغییرات اقلیمی شدید باعث ایجاد تغییرات در توزیع منابع آبی شده و در نتیجه سیستم‌های مهندسی‌سازی که بر اساس پیش‌بینی ثابت بودن چرخه هیدرولوژی طراحی شده‌اند را به چالش کشیده است(9و2و5). طبق گزارش‌ها مبنی بر گرم شدن کره زمین، انتظار می‌رود تبخیر آب در اتمسفر افزایش یابد، شدت، میزان و الگو‌های بارشی تغییر کنند، پوشش‌های برفی کاهش یافته و بخش عظیمی از یخ‌ها ذوب شوند. علاوه‌بر‌این، افزایش دمای آب، بر کیفیت آب نیز تاثیر می‌گذارد(20).

انجمن امور آب آمریکا به منظور تحقیق در رابطه با تاثیر تغییر شرایط اقلیمی بر کاربرد آب، در سال 2008 کمیته‌ تغییر اقلیمی را تشکیل داد(21).

عامل دیگری که باعث تغییر کیفیت و کمیت آب می‌شود، تغییرات جمعیتی است. طبق آمار سال 2011، جمعیت جهان از 7 میلیارد نفر گذشته است و از این تعداد حدود 50% در شهر‌ها سکونت دارند. شهر‌نشینی خود نیز با افزایش جمعیت، گسترش می‌یابد. در شرایطی که عامل افزایش جمعیت به تنهایی باعث تاثیرات عمده‌ای بر میزان آب در دسترس و کیفیت آن می‌شود، گسترش شهرنشینی به شدت این مشکلات می‌افزاید(16). در حقیقت توزیع آب در مکان‌های متراکم جمعیتی نیاز به انرژی و تاسیسات کم‌تری دارد. اما وظیفه سیستم توزیع آب، رساندن آب به تمام نقاط شهر می‌باشد و اگر شهر گسترده باشد، این عملیات پیچیده‌تر و پر‌هزینه‌تر می‌شود(18).

**2-1 فرسودگی زیر‌ساخت‌ها و تعویض آن‌ها**

در اواخر قرن نوزدهم و اوایل قرن بیستم، پیشرفت‌های زیادی در تجهیزات تصفیه آب شهری در مقیاس وسیع صورت گرفت و استفاده از فیلتر‌های ماسه‌ای سریع، انعقاد و ته‌نشینی، و ضد‌عفونی با کلر یا ازون رواج یافت. این پیشرفت‌ها موجب کاهش شدید نرخ ابتلا به بیماری‌هایی شد که ناشی از آب آلوده بودند(8). نتایج موفق فیلتراسیون و ضدعفونی آب در ایمن‌سازی میکروبی و فراهم کردن آبی زلال جهت آشامیدن، باعث توجه بیش‌تر و سریع آمریکائی‌ها به بحث تصفیه آب آشامیدنی شهری و سیستم توزیع آن، در بین سال‌های 1910 تا 1960 شد. در اواسط 1960، سایر مباحث سلامت عمومی که با آب آشامیدنی مرتبط بودند، از جمله افزودن مواد شیمیایی یا تخلیه فاضلاب‌ها به منابع آب مورد توجه قرار‌گرفت. این مباحث با تحقیقات، قانون‌گذاری‌های جدید و روش‌های تصفیه به روز مانند جذب کربن فعال و انعقاد پیشرفته توام بود(35).

**3-1 کیفیت آب و معیار‌‌های سلامتی**

نتایج نشان می‌دهد که تقاضا برای آب با کیفیت بالا‌تر روزبه‌روز افزایش یافته و این در حالی می‌باشد که میزان آلودگی‌ آب‌ها رو به افزایش است و عده‌ای از مردم ترجیح می‌دهند که آب‌های بسته‌بندی شده را مصرف نمایند. این تمایل ناشی از آگاهی نسبت به کیفیت آبی است که در اختیار عموم قرار می‌گیرد و این آگاهی از طریق گزارشاتی که توسط رسانه‌ها منتشر می‌شود و روش‌های تحلیلی مرتبط با علم شیمی و میکروبیولوژی بدست‌ آمده است(32).

با وجود این‌که روش‌های تحلیلی در قانون‌گذاری‌ها موثر نبوده‌اند(12)، اما باعث توجه بهره‌برداران به کیفیت آب آشامیدنی مورد نظر و استفاده کم‌تر از مواد شیمیایی در آن شده است(29). با این حال برخی ترکیبات هستند که به دلیل ناشناخته بودن اثرشان با غلظت‌های مختلف و در بلند مدت بر انسان، احداث بخش‌های جدید در تصفیه‌خانه‌ها به منظور حذف‌ آن‌ها مقرون‌ به‌صرفه نیست(30). همچنین به دلیل نبود اطلاعات کافی از میزان خطرات این ترکیبات، تحلیل‌های ارزش-هزینه میسر نمی‌باشد. از جمله این ترکیبات می‌توان به ترکیبات دارویی(4) و یا ذرات نانو اشاره کرد(10).

یکی دیگر از مواردی که باعث افزایش نگرانی‌ها در بحث امنیت تصفیه‌خانه‌ها و سیستم‌های توزیع مطرح می‌گردد، بروز مشکلات عادی و یا تصادفی در این واحد‌ها می‌باشد. چرا که آلودگی سیستم‌های تصفیه و یا توزیع می‌تواند سلامت عمومی جامعه را به خطر انداخته، باعث از بین رفتن سرمایه گردد و از همه مهم‌تر این‌که اعتماد عمومی مردم را از بین ببرد(26).

**عوامل تمایل به پایداری**

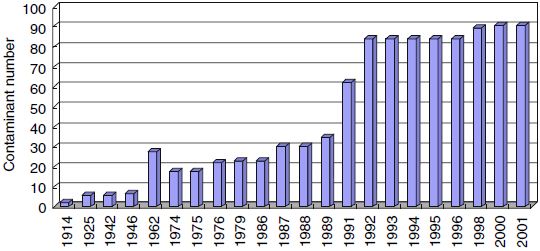
وضعیت نا‌پایدار زیر‌ساخت‌های تامین آب شهری موجود به شدت نیازمند تغییر هستند، اما به دلیل مجموعه‌ای از عوامل خارجی، اعمال این تغییرات دشوار شده است. محدودیت دسترسی به منابع آب شیرین، افزایش تقاضا‌ها برای آب با کیفیت بالا و همچنین هزینه‌های تامین آب، همگی بر اهمیت ایجاد تغییر به منظور رسیدن به مدیریت پایدار آب دلالت دارند. علاوه‌بر‌این، روش‌ها و سیاست‌های مدیریت منابع آب و انرژی در سطح منطقه‌ای و جهانی و خصوصیات اقلیمی هر منطقه،‌ مهندسان را به سمت طراحی و ساخت دوباره سیستم‌های تامین آب سوق می‌دهند(35).

**1-2 محدودیت‌های آب شیرین**

مجموع آب‌های شیرین قابل استفاده تنها 1% از کل آب‌های موجود در زمین را تشکیل می‌دهد(13). انتظار می‌رود تا سال 2050 جمعیت جهان از مرز 9 میلیارد نفر بگذرد (2 میلیارد نفر بیش‌تر از جمعیت 7 میلیارد نفری سال 2011) و در این شرایط اکثریت مردم در ناحیه‌ای زندگی خواهند کرد که تامین سرانه آب شیرین آن‌ها جوابگوی رفع نیاز‌های زندگی روزمره‌شان نخواهد بود. حتی در کشور‌هایی مانند آمریکا که از نظر منابع آب شیرین غنی هستند، مناطق خاصی وجود دارند که به دلیل کاهش بارندگی‌ها و کاهش کیفیت آب و وجود تقاضا برای سایر مصارف آب در بخش‌های دیگر مانند انرژی و کشاورزی و یا ترکیبی از این عوامل، با مشکل مواجه است(35). گاهی جهت جلوگیری از این نوع مشکلات، انتقال آب از سایر مخازن مورد توجه قرار می‌گیرد(17). به عنوان مثال کالیفرنیا و بخش‌هایی از غرب آمریکا از این سیستم بهره می‌برند(15). اما انتقال آب به این صورت بسیار پر‌هزینه بوده و در خیلی از موارد برای یک دوره طولانی پایدار نیستند. به عبارت دیگر، استفاده از منابع آب محلی هسته اصلی پایداری آب است. راه‌کار دیگر استفاده دوباره از آب مخازن است که شامل جمع‌آوری آب مصرف شده و تصفیه آن در سطوح مختلف کیفیت (با توجه محل استفاده مجدد) می‌باشد(25).

**2-2 تقاضای افزایش کیفیت آب**

همانطور که قبلا اشاره شد، با افزایش آگاهی عموم مردم نسبت به نقش آلاینده‌های آب در سلامت انسان و سایر موجودات زنده و همچنین افزایش سطح رفاه اجتماعی و از طرف دیگر، نیاز صنایع جدید به آبی با کیفیت‌تر، باعث شد که تقاضا برای آن به شدت افزایش یابد. در نتیجه استاندارد‌های مربوط به آب آشامیدنی گسترش یافت و امروزه تامین کنندگان آب شهری موظف هستند تا با استفاده از جدید‌ترین تکنولوژی‌ها، این استاندارد‌ها را رعایت نمایند. چرا‌که رساندن آب آشامیدنی با کیفیت به وسیله سیستم‌های تصفیه و توزیع رایج، پایدار نبوده و حتی در مورد حذف برخی آلاینده‌ها نیز موفق نیستند(35). به عبارتی، استفاده از تکنولوژی‌های پر‌هزینه به صورت ترکیبی و توزیع آب با همان کیفیت محل تصفیه، پایدار و امکان‌پذیر نیست. بنابر‌این، ضروری هست تا روشی پایدار را در تامین آب آشامیدنی به کار گیریم(3). استفاده از سیستم‌های دوگانه توزیع و تصفیه آب در همان محل تصفیه‌خانه، دو روشی هستند که می‌توانند اهداف آبرسانی پایدار را محقق نمایند(35).(در انتهای این مقاله توضیحات کامل مربوط به این دو روش داده شده‌است.)



شکل2- آلاینده‌های شناسایی و قانون‌گذاری شده در طی 100 سال گذشته در آمریکا**(35)**

**3-2 محدودیت‌های انرژی**

طبق مطالعات Taylor و Goldstein میزان انرژی مصرفی برای پمپاژ در تصفیه‌خانه‌ها و انتقال آب و فاضلاب در آمریکا، حدود 5 درصد(33) (و یا طبق مطالعه Wilson(37) بیش‌تر از 13%) از کل مصرف برق آن کشور است. به‌عبارتی زیر‌ساختهای این بخش نیازمند انرژی زیادی هستند که نه تنها اقتصادی نیستند، بلکه از نظر زیست‌محیطی و عملکردی نیز پایدار نمی‌باشند. هر چه‌قدر که یک زیر‌ساخت به توزیع انرژی وابسته‌تر باشد، هزینه‌ها و تاثیرات زیست‌محیطی آن و همچنین آسیب‌پذیری آن به دلیل قطع شبکه برق بیش‌تر است(35). برای مقابله با این موضوع می‌توان به راه‌کار‌های زیر اشاره کرد:

الف) استفاده از محرکه‌هایی با فرکانس‌های مختلف به منظور تنظیم سرعت موتور‌های الکتریکی جهت انجام فرآیند‌ها(6)

ب) جایگزینی موتور‌های الکتریکی قدیمی و فرسوده با انواع موتورهای با راندمان بالا(6)

ج) ارتقا سیستم‌های کنترل مدیریت انرژی(27)

د) نصب و راه‌اندازی سیستم‌های فتوولتائیک انرژی خورشیدی در همان محل(27)

بنابراین در هنگام طراحی و اجرای زیر‌ساخت‌ها، جهت رسیدن به اهداف پایداری، باید مسئله انرژی نیز مورد توجه قرار بگیرد.

**4-2 اقتصاد**

زیر‌ساخت‌های تامین آب جهت رسیدن به پایداری، باید از نظر شخصی و اجتماعی مقرون به صرفه باشد. با توجه به اینکه نیاز به آب یک نیاز اساسی در زندگی هر موجود زنده‌ای می‌باشد، بنابر‌این رساندن آن به دست مصرف کنندگان در تمام نقاط شهر و با هر وضعیت مالی، ضروری است و این امر بدون طراحی، احداث و نگهداری زیر‌ساخت‌ها امکان پذیر نیست. با توجه به این‌که در اکثر کشور‌ها به امر نگهداری و مراقبت توجه کم‌تری می‌شود، بنابر‌این تعویض و نو‌سازی تجهیزات نیازمند هزینه‌های زیادی است که در یک دوره کوتاه مدت عملی به نظر نمی‌رسد.

از طرف دیگر، پایداری زیر‌ساختهای تامین آب نه تنها به هزینه‌های اقتصادی، بلکه به هزینه‌های اجتماعی و زیست‌محیطی نیز وابسته است. بنابر‌این به منظور کاهش این هزینه‌ها در بخش‌های طراحی، ساخت و مدیریت، باید اهداف زیر را مدنظر قرار داد(35):

الف) زیر‌ساخت آب بهتر است که به طور موثری مدیریت شوند و همچنین تمام هزینه‌های آن از مصرف‌کنندگان دریافت گردد.

ب) زیر‌ساخت‌ آب باید در برابر مشکلات اقتصادی، اجتماعی و طبیعی مقاوم باشد.

ج) زیر‌ساخت آب باید قادر باشد تا تامین گنندگان آب عمومی را به منظور توسعه اقتصادی جامعه، متحد کند.

**5-2 تغییر اقلیم**

سیستم‌های تامین آب در تمام دنیا تحت تاثیر تغییرات آب‌و‌هوایی قرار دارند. نتیجه مستقیم این تغییر شامل افزایش دمای اتمسفر و آب‌های سطحی، بالا آمدن سطح آب دریا‌ها، تغییر الگو‌های بارشی و خیلی از رخداد‌های آب‌و‌هوایی شدید و پی‌در‌پی می‌باشد(31و9). براساس مشاهدات ثبت شده و مطالعات اقلیمی انجام شده، منابع آب شیرین به شدت تحت تاثیر تغییرات اقلیم هستند(9). بنابر‌این تغییرات بلند‌مدت که به طور سالانه در منابع آب شیرین رخ می‌دهد، بر پیچیدگی طراحی سیستم‌های تامین آب پایدار می‌افزاید(35).

**سیستم‌های تامین آب شهری و زیر‌ساخت‌های سایبری**

پیشرفت‌های جدید در زمینه زیر‌ساخت‌های سایبری، حس‌گر‌ها، مدیریت داده‌ها و پردازش نقش مهمی را در تبدیل سیستم تامین آب موجود به یک سیستم پایدار ایفا می‌کند. از دو دیدگاه می‌توان نقش انقلاب دیجیتالی را بررسی کرد: اول اینکه بهبود سیستم‌های سنجش باعث منحصر‌به‌فرد شدن تصفیه آب شده‌اند. بنا‌بر‌این با شناسایی آلاینده‌هایی که وجودشان در آب باعث نگرانی می‌شوند، می‌توان آب را در کیفیت‌های مختلف تصفیه کرد و با از بین بردن آلاینده‌های آن، انسان را از معرض خطر این آلودگی‌ها دور نماید. دوم اینکه با بهبود این سیستم‌ها و به کار‌گیری آن‌ها در شبکه توزیع، می توان داده‌ها را مدیریت کرده، تاسیساتی را که در وضعیت خطر قرار گرفته‌اند را شناسایی کرده و زمان واقعی پاسخ به آن را کاهش دهد. به عبارت دیگر، با توسعه این سیستم‌‌ها می‌توان نقاط نشت‌خیز و مناطق حساسی را که دچار حادثه شده‌اند، به سرعت و با دقت مکان‌یابی بالا تشخیص داده و قبل از وقوع حوادث مخرب‌تر، نسبت به تعمیر و یا باز‌سازی

آن اقدام کرد(35).

به طور کلی، سیستم‌های تامین آب شهری نیازمند تغییرات عظیمی هستند که تنها با مطالعه، تحقیق و پیشرفت تکنولوژی این امر میسر خواهد‌شد. بهبود مدل‌سازی‌های هیدرولیکی و کیفیت آب در سیستم‌های توزیع، بهینه‌سازی سنجش‌گر‌های کیفیت آب و پایین آوردن قیمت آ‌ن‌ها از جمله این تغییرات است(35).

**1-3 حس‌گر‌ها و شبکه‌های حس‌گر**

انتظار می‌رود با استفاده از حس‌گر‌ها و شبکه‌های حس‌گر برای داده‌های زیست‌محیطی، انقلابی در زمینه نظارت و پایش محیط‌زیست رخ دهد و همچنین با ارتباط بر‌قرار کردن بین داده‌های حس‌گر و مدل‌های چند جزئی و چند مقیاسی به‌وسیله زیر‌ساخت‌های سایبری، درک ما از سیستم‌های زیست‌محیطی افزایش یافته و در زمینه تصمیم‌گیری و انتخاب روش‌ها بهتر عمل نمائیم. تاسیسات تامین آب در مقابل حوادثی که به طور عمدی و یا اتفاقی رخ می‌دهند به شدت آسیب‌پذیر بوده و این می‌تواند مقدمات آلودگی آب را فراهم آورد. بنا‌بر‌این پایش و نظارت پیوسته real time

این امکان را به ما می‌دهد تا بتوانیم از هشدار‌های اولیه خبر‌دار شویم و از وقوع این حوادث جلوگیری کنیم. سیستم‌ توزیع یکی از اجزاء نسبتا آسیب‌پذیر بوده که در تامین آب سالم نقش مهمی را ایفا می‌کند(19). بنابراین پایش پیوسته کیفیت آب در این سیستم می‌تواند در امنیت آب توزیع‌شده اهمیت خاصی داشته‌باشد(11). اگرچه در حال حاضر هیچ حس‌گری وجود ندارد که بتواند میکروب‌های بیماری‌زا و سمی را که احتمال وجود آن‌ها در سیستم توزیع وجود دارد، شناسایی کند، اما حس‌گر‌های تجارتی در بازار وجود دارند که به راحتی می‌توانند پارامتر‌های کیفی آب را بررسی کنند. از جمله این پارامتر‌ها می‌توان به دما، PH، هدایت، کدر بودن، مجموع کربن‌ آلی، مجموع کلر، ترکیبات کلر و کلر آزاد اشاره کرد. با توجه به این‌که اثر هیچ یک از این پارمتر‌ها به عنوان یک جایگزین برای نفوذ میکروب‌های بیماری‌زا به طور کامل مورد مطالعه قرار نگرفته است، کلر آزاد به دلیل واکنش با محدوده وسیعی از آلاینده‌ها، به عنوان پارامتر کیفی آب پیشنهاد شده‌است و بنابر‌این می‌توان گفت در شناسایی آلاینده‌های میکروبی پتانسیل بالایی دارد.

در نهایت، شبکه‌های حس‌گر در تاسیسات تامین آب شهری با زیر‌ساخت‌های سایبری موجود در سیستم‌های طبیعی در ارتباط است. به عنوان مثال شبکه‌های حس‌گری که در حال توسعه و به‌کار‌گیری در سیستم‌های اقیانوسی، اکولوژیکی، هیدرولوژیکی و زمین شناسی هستند(35).

**2-3 برنامه‌های کاربردی و مدل‌سازی**

در کنار فعالیت حس‌گر‌ها که داده‌های مختلفی را جمع‌آوری می‌کنند، نیاز به استفاده از برنامه‌های کاربردی جهت تفسیر این داده‌ها می‌باشد. اهمیت کار مهندسان و دانشمندان علوم کامپیوتری در توسعه و تعریف روش‌های تفسیر جریان داده‌های مختلف فضایی و زمانی به منظور تائید مفهوم داده‌هایی است که از طریق شیکه‌های حس‌گر جمع‌آوری شده‌است(35).

به محض این‌که با تحلیل داده‌ها، وجود یک حادثه شناسایی و تائید شد، باید به طور فوری به این حادثه آلوده‌کننده پاسخ داده‌شود و به‌منظور جلوگیری از وقوع یک اتفاق گسترده‌تر بر کل جمعیت، نسبت به رفع آن اقدام کرد. همچنین، مدل‌سازی سیستم‌های یکپارچه، قابلیت ذخیره‌سازی و تحلیل داده‌های پیچیده فضایی و موقت را داشته و باعث بهبود سیستم کنترل می‌شوند. علاوه‌بر‌این، این یکپارچگی راه را برای نصب و راه‌اندازی سیستم‌های دریافت-پاسخ (sense-response) در سیستم توزیع آب فراهم خواهد‌کرد. برای مثال، در حال حاضر خیلی از تجهیزات آبی در سیستم توزیع به ایستگاه‌های ضدعفونی تقویتی وابسته هستند تا بدین‌وسیله میزان کل ضد‌عفونی کننده‌هایی را که جهت اطمینان از یک ته‌نشینی کافی نیاز است، کاهش دهند(35). همچنین این سیستم‌ها قابلیت ادامه فرآیند ضدعفونی را حتی در شرایطی که سیستم دچار حادثه شده‌است، دارند(28).

داده‌هایی که از سیستم توزیع آب جمع‌آوری شده‌است، توسط یک سیستم اکتساب داده‌ها و کنترل نظارتی (Supervisory Control and Data Acquisition)، مدیریت می‌شود. این سیستم به کمک یک رایانه مرکزی، تجهیزات ارتباطی، کنترل‌کننده‌های منطقی قابل‌برنامه‌ریزی و تعداد زیادی حس‌گر، می‌تواند اوضاع و شرایط را در سیستم‌های توزیع آب (مانند ایستگاه‌های پمپاژ، شیر‌ها و مخازن)، از راه دور کنترل و نظارت کند. علاوه‌بر‌این، می‌توان سیستم SCADA را به‌گونه‌ای برنامه‌ریزی کرد که در مواقع لازم به صورت خودکار عمل نماید (مانند افزودن کلر، روشن کردن پمپ و...) و یا از طریق هشدار‌دهنده‌ها، نیروی‌انسانی را از وجود یک مشکل در سیستم آگاه نماید. بنا‌بر‌این، از جمله اهداف سیستم SCADA می‌توان: کنترل کیفیت و تقاضا، کنترل سیستم توزیع و عملکرد مناسب اجزای آن، اجرای خودکار فعالیت‌ها و استفاده از روش‌های ساده عملیاتی، اجرای فرآیند‌ها و کنترل عملیات از طریق یک واحد مرکزی، ذخیره کردن داده‌های مربوط به عملکرد سیستم به منظور رسیدن به یک وضعیت منظم و پایدارو در نهایت اعلام هشدار در شرایط خاص و به منظور رفع مشکلات و معایب احتمالی را نام برد(35).

**تامین آب به کمک سیستم توزیع دو‌گانه**

سیستم توزیع دو‌گانه آب با‌ کیفیت بالا و آب با کیفیت پائین در برخی از شهرهای سبز و پایدار اجرا شده و نتایج خوبی را به همراه داشته‌است.

از مزایای این سیستم می‌توان به موارد زیر اشاره کرد(35):

* این سیستم موجب کاهش هزینه‌ها شده ‌است. چرا‌که گاهی آب آشامیدنی با کیفیت بالا، برای برخی مقاصد خاص نیاز نیست و بدین ترتیب در هزینه‌های تصفیه صرفه‌جویی می‌شود.
* با اجرای این طرح، دسترسی به آب آشامیدنی برای عموم مردم بیش‌تر می‌شود. به این دلیل که از مصرف آب آشامیدنی در سایر بخش‌هایی که نیاز به آب با کیفیت بالا ندارند جلوگیری می‌شود.
* انتقال آب در لوله‌های جدا‌گانه باعث ثابت ماندن کیفیت آب در کل خط انتقال شده و علاوه‌بر آن کنترل کیفیت آن نیز ساده‌تر می‌گردد.

اما این سیستم در کنار مزایایی که دارد، معایبی را نیز به‌همراه دارد. از جمله(35):

* ارائه آب در دو کیفیت مختلف (آشامیدنی و غیر‌آشامیدنی) برای هر خانواده، می‌تواند باعث بروز مشکلاتی به دلیل اشتباه مصرف کردن این آب‌ها گردد. در حقیقت احتمال مصرف اشتباه بالا رفته و به‌تبع آن، بیماری‌ها و مشکلاتی را به‌همراه خواهد‌داشت.
* اجرای این طرح هزینه‌های تعمیر و نگه‌داری سیستم توزیع را افزایش می‌دهد.
* کیفیت آب غیر‌آشامیدنی می‌تواند باعث بروز ایراد‌های فنی در دستگاه‌هایی گردد که نسبت به کیفیت آب مورد استفاده حساس هستند.

سیستم تصفیه ثانویه برای تامین آب با کیفیت بالا

آب خام

سیستم تصفیه اولیه برای تامین آب با کیفیت پایین

استفاده در مواردی که نیاز به کیفیت کم یا متوسط دارد(آبیاری، آتش‌نشانی، کارواش، توالت و...)

استفاده در مواردی که نیاز به تصفیه بالا دارند(آشامیدن، نظافت و...)

استفاده از آب اصلاح‌شده

استفاده مستقیم از آب خام

تصفیه آب اصلاحی

شکل3- سیستم تصفیه و توزیع دو‌گانه (35)

**تامین آب به کمک سیستم‌های تصفیه در محل**

استفاده از این روش کاملا مقرون‌به‌صرفه و قابل اطمینان بوده و از نظر آژانش حفاظت محیط‌زیست آمریکا، این روش در بلند‌مدت نیز عملکرد خوبی را در حذف آلاینده‌ها از خود نشان داده‌است(7و34). پیشرفت‌هایی که در تکنولوژی تصفیه آب در محل مصرف صورت گرفته‌است، امکان تامین آبی با کیفیت بسیار بالا را عملی کرده‌است. علاوه‌بر‌این، این تکنولوژی‌ها در کشور‌های پیشرفته‌ و شهر‌های سبز دنیا، از نظر قیمتی قابل تهیه و در‌دسترس می‌باشد. در حقیقت استفاده از این روش، یک راه مناسب جهت رسیدن به دو هدف تامین آب با کیفیت بالا و هزینه کم می‌باشد که این همان معنی پایداری را می‌دهد(35).

این تصفیه‌خانه‌ها می‌توانند به دو صورت مورد استفاده قرار بگیرند. یا اینکه در محل ورود به ساختمان مورد تصفیه قرار گرفته و سپس به مشترکین برسد و یا اینکه در همان واحد‌های مسکونی جهت تامین آب‌آشامیدنی و شستشو و... مورد تصفیه قرار بگیرد(35).

برای کاهش غلظت یون‌های معدنی در این روش، معمولاً از سیستم تبادل یونی استفاده می‌شود. اصلی‌ترین هدف این سیستم، حذف یون‌های Ca2+ و Mg2+ است که باعث سختی آب نیز می‌شوند. بدین منظور از رزین‌های تبادلی کاتیونی استفاده می‌گردد. در صورتی که آب مورد نظر دارای سختی بسیار بالایی باشد، ته‌نشینی کلسیم، منیزیم و ترکیبات آهنی می‌تواند موجب از بین رفتن رزین‌ها شده و نرخ جریان آب و ظرفیت تبادل کاتیونی رزین‌ها را کاهش دهد. در چنین شرایطی استفاده از یک سیستم تصفیه مرکزی به منظور انجام فرآیند‌های پیش‌تصفیه و نرم‌سازی به کمک آهک ضروری است(35).

سیستم‌های اسمز معکوس در مقیاس کوچک (RO) جهت تصفیه آب در محل مصرف مشترکین توسعه داده‌شدند. این سیستم‌ها عملکرد بهتری نسبت به سیستم‌های تبادل کاتیونی در حذف گونه‌های یونی مختلف دارند. به‌عنوان‌مثال سیستم‌های اسمز معکوس در این نوع تصفیه‌خانه‌ها، قادر به کاهش غلظت آرسنیک محلول در آب تا کمتر از 5 میکروگرم در هر لیترهستند. البته هزینه بالا سیستم اسمز معکوس، موجب استفاده کمتر از آن شده است(35).

همچنین جهت از بین بردن اثرات آلاینده‌های آلی، می‌توان از جذب سطحی دانه‌های ریز کربن فعال استفاده کرد. نتایج نشان‌ داده‌است که این روش، عملکرد بسیاری مناسبی در حذف آلاینده‌های آلی و فلزات سنگین خاصی دارد. البته در این روش پارامتر‌های دیگری همچون زمان تماس، نوع کربن، مشخصات آلاینده و جذب‌کننده‌های رقیب تاثیر‌گذار هستند. رایج‌ترین گزینه دیگر جهت حذف اثرات آلاینده‌ها، همان روش اسمز معکوس است(35).

جهت ضد‌عفونی کردن آب و کنترل آلاینده‌های میکروبی و همچنین حذف مواد رسوبی شیمیایی می‌توان از اشعه ماوراء‌بنفش یا ضد‌عفونی به کمک ازون استفاده نمود. عدم وجود مواد رسوبی در انتقال آب اهمیت بسیار بالایی دارد. اما برای تصفیه در محل، این مورد چندان اهمیتی ندارد. علت استفاده نکردن از کلر در تصفیه‌خانه‌ها، تشکیل ترکیبات مضر برای انسان است. ضمن اینکه گاهی ارگانیسم‌هایی در آب وجود‌دارند که در برابر کلر مقاوم هستند(35).

علاوه‌بر‌آن، جهت حذف میکروب‌های بیماری‌زا و ویروس‌ها می‌توان از روش تصفیه‌ Ultrafiltration(UF) استفاده کرد. با استفاده از این روش می‌توان ویروس‌ها را به‌طور کامل و 100‌درصدی از‌ بین‌ برد. زیرا اندازه کوچکترین جزء عبوری در این سیستم حدود 10 نانومتر است که این مقدار خیلی کمتر از اندازه کوچکترین میکروب‌های بیماری‌زا و ویروس‌هاست(7). اما در مجموع به دلیل گران بودن غشا‌های این سیستم و هزینه‌های بالای نگه‌داری آن، این روش خیلی رایج نیست و باید به دنبال راه‌های جایگزین آن بود که تحقیقات زیادی در این زمینه در حال انجام است.(35)

آب خام

سیستم توزیع

استفاده در کیفیت‌های پایین(آبیاری، آتش‌نشانی و...؛ نیازی به تصفیه جداگانه ندارد)

سیستم تصفیه مرکزی

استفاده در کیفیت‌های متوسط(کارواش،توالت و...؛ نیاز به تصفیه جداگانه اولیه دارد)

استفاده در کیفیت‌های بالا(آب‌آشامیدنی، شستشو و...؛نیاز به تصفیه جداگانه اولیه و ثانویه دارد)

شکل4- سیستم تصفیه در محل مصرف(35)

**نتیجه‌گیری و پیشنهاد**

همانطور که اشاره شد، اکثر کشور‌های جهان از بحران آب رنج می‌برند و برای مقابله با این بحران، تغییر شرایط و زیر‌ساخت‌ها ضروری به‌نظر می‌رسد. اگرچه برای این تغییر و ایجاد زیر‌ساخت‌های جدید مشکلات و چالش‌های زیادی وجود دارد. به عنوان مثال عدم وجود شرایط اقتصادی مناسب و تحریم‌ها، رسیدن به توسعه پایدار را مشکل‌تر می‌نماید و تحقق این هدف، نیازمند عزم جهادی و اقتصادی است. با‌این‌حال، می‌توان با استفاده از تجربیات شهر‌های سبز در این زمینه، برنامه‌ریزی مناسب، همکاری و هماهنگی بین سازمان‌ها، اختصاص بودجه کافی برای تامین زیر‌ساخت‌ها و تغییر نظام مالیاتی به منظور تامین هزینه‌های بهره‌برداری و تعمیر و همچنین به‌کار‌گیری متخصصان در زمینه‌های مختلف اقتصادی، اجتماعی، زیست‌محیطی و مهندسی و استفاده از نظرات آن‌ها به بهبود شرایط حاضر و بحرانی آب، کمک کرد.

**مراجع**

1. زارع ف. و باقری ع. ؛ 1390؛ مدیریت یکپارچه منابع آب، موانع و مشکلات اجرای آن در ایران؛ نخستین کنفرانس ملی پژوهش‌های کاربردی منابع آب ایران؛ کرمانشاه
2. Alcamo, J., Doll, P., Kasper, F. and Siebert, S. (1997). Global change and global scenarios of water use and availability: An application of water GAP1.0. Report A9701. Kassel, Germany: Center for Environmental Systems Research, University of Kassal.
3. Al-Jasser, A. O. (2007). Chlorine decay in drinking-water transmission and distribution Systems: Pipe service age effect. Water Research 41(2), 387-396.
4. AP (2009). Probe: Pharmaceuticals in drinking water.
5. Arnell, N. W. (1999). Climate change and global water resources – A new assessment. Global Environmental change 9(supplement 1), 31-49.
6. Ataei, A. (2010). Wastewater treatment: Energy-conservation opportunities.
7. AWWA (2009). Sustainability and the American Water Works Association: Recommended activities and implemention strategy. Denver
8. Baker, M. N. and Taras, M. J. (1981). The quest for pure water – The history of the Twentieth century. Denver, Colorado: American Water Works Association.
9. Bates, B., Kundzweicz,Z. , W., Wu, S.H. et al. (2008). Climate Change and Water. Twenty-eighth Session of Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCCXXVIII/Dox 13(8.IV.2008). Budapest, Hungary.
10. Benn, T. M. and Westerhoff, P. (2008). Nanoparticle silver released into water from commercially available sock fabrics. Environmental Science and Technology 42(11)1 4133-4139.
11. Bukhari, Z. and Lechavellier, M. (2011). Enhancing monitoring to protect distribution system water quality. In clark, R. M., Hakim, S. and Ostfeld, A. (eds.) Handbook of water and wastewater systems protection: Protecting critical infrastructure 2, pp. 349-367. New York, NY: Springer.
12. Calder, R. S. D. and schimitt, K. A. (2010). Role of detection limits in drinking water regulation. Environmental Science and Technology 44(21), 8008-8014.
13. Caso, F. and Wolf, A. T. (2010). Freshwater supply. New York, NY: Facts on File Inc.
14. Cheng, H., Hu, Y. and Zhao, J. (2009). Meeting China’s water shortage crisis: Current practices and challenges. Environmental Science and Technology 43(2), 240-244.
15. Ghassemi, F. and White, I. (2007). Inter-basin water transfer: Case studies from Australia, United States, Canada, China and India. New York, NY: Cambridge University Press.
16. Gober, P. (2010). Desert urbanization and the challenges of water sustainability. Current Opinion in Environmental Sustainability 2(3), 144-150
17. Gupta, J. and van der Zaag, P. (2008). Interbasin water transfers and integrated water resources management: where engineering, sciences and politics interlock. Physics and Chemistry of the Eart, Parts A/B/C 33(1-2), 28-40
18. Jimenez, B. and Rose, J. (eds.) (2009). Urban water security: Managing risks. Urban water series UNESCO-IHP. The Netherlands: Taylor and Francis.
19. Khan, A. S., Swerdlow, D. L. and Juranedk, D. D. (2011). Precautions against biological and chemical terrorism directed at food and water supplies. Public health Reports 116(10, 3-14.
20. Kundzewicz, Z. W., Mata, L. J., Arnell, N. W., et al. (2007). Climate change 2007: Impacts, adaption and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, UK: Cambridge university Press.
21. Maddaus, M., Ahmed, A., David, W., et al. (2011). Committee report: Sustainability of water resources depends on implementing our knowledge on climate variability. Journal American Water Works Association 103(6) 42-535
22. Marshall,J.D. and Toffel,M.W. (2004). Framing the elusive concept of sustainability: A sustainability hierarchy. Environmental Science and Technology 39(3), 673–682.
23. Mehan, III, G. T. (2007a). Energy climate change and sustainable water management. Environmental reporter. Washington, DC: Bureau of National Affairs, Inc.
24. Mehan, III, G. T. (2007a). Viewpoint: Energy management: The fifth pillar of sustainable infrastructure? Water Environment and Technology 19,8.
25. Molinos-Senante, M., Hernandez-Sancho, F., Sala-Garrido, R., et al. (2011). Feasibility studies for water reuse projects: Economic valuation of Environmental benefits. In Hlavinek, P., Winkler, I., Marsalek, J. and Mahrikova, I. (eds) Advanced water supply and wastewater treatment: A road to safer society and environment, pp. 181-190. The Netherlands: Springer.
26. NRC (2006). Drinking water distribution systems: Assessing and reducing risks. Washington, DC: The National Academies Press.
27. NYPA (2009). Energy Savings for drinking water and wastewater treatment facilities targeted.
28. Propato, M. and Uber, J. G. (2004). Vulnerability of water distribution systems to pathogen intrusion: how effective is a disinfectant residual? Environmental Science and Technology 38(13), 3713-3722.
29. Roberson, J. A. (2001a). What’s next after 40 years of drinking water regulations? Environmental Science and Technology 45(1), 154-160.
30. Roberson, J. A. (2011b). When will enough be enough? Journal American Water Works Association 103(7), 16-19.
31. Schnoor, J. L. (2010). Water sustainability in a changing world. The 2010 Clarke Prize Lecture. Irvine, CA: National Water Research Institute
32. Schrinks, M., Heringa, M.B., van der kooi, M. M. E., de Voogt, P. and van Wezel, A. P. (2010). Toxicological relevance of emerging contaminants for drinking water quality. Water Research 44(2), 461-476.
33. Taylor, T. and Goldstein, R. (2010). Sustainable water resources management, volume3: Case studies on new water paradigm. Palo Alto, CA: Electric Power Research Institute.
34. USEPA (2011c). Water infrastructure: Moving toward sustainability.
35. VanBriesen, JM. , Dzombak, D. A. and Zhang, L. (2014). Sustainable urban water supply infrastructure, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, PA, USA 427-449
36. Vanegas, J.A.(2003).Road map and principles for built environment sustainability. Environmental Science and Technology 37(23), 5363–5372.
37. Wilson, C. (2011). Sustainable distribution system asset management: Risk migitation through control point management. Journal American Water Works Association 103(5), 100-103
38. Zimmerman, J. B., Mihelcic, J. R., Smith and James (2008). Global stressor on water quality and quantity. Environmental Science and Technology 42(12), 4247-4254.