استحصال شهری، کاربرد منابع ثانویه در متابولیسم پایدار شهری

(افزایش پایداری شهرها، کاهش وابستگی به منابع خارجی)

زهرا عبدالله‌زاده[۱]

(abdollahzadeh.sara@stu-mail.um.ac.ir)

چکیده

الگوی خطی مصرف منابع در شهرها، بدون بازخوردهای کمی و کیفی به سیستم شهری، نمود یک توالی خطی و کم‌بهره است که به چالشی تهدیدآمیز برای پایداری شهرها بدل شده است. از یک سو فشار بر منابع محدود آبی باقی‌مانده در اثر افزایش جمعیت و الگوی نادرست در هر دو سوی عرضه و تقاضا و از سوی دیگر تولید حجم بالایی از پساب‌های شهری، وابستگی به سایر شهرها را در جهت تأمین منابع و دفع پساب‌ها افزایش می‌دهد. پیاده‌سازی مفهوم «استحصال شهری» با تأکید بر استفاده مجدد از کیفیت‌های باقی‌مانده در منابع مصرفی شهرها (در نتیجه عدم رعایت اصل تناسب کمی و کیفی عرضه با تقاضا)، تغییر متابولیسم شهری از یک روند خطی به یک الگوی چرخه‌ای را دنبال می‌کند. شهرها به عنوان بزرگترین مخازن منابع ثانویه، پتانسیل بالایی در استحصال مجدد کیفیت‌های مصرف‌نشده در سیستم شهری دارند. هدف از این مقاله، علاوه بر ارائه مفاهیم جدید در زمینه متابولیسم پایدار شهری، معرفی مفهوم «استحصال شهری» به عنوان یک ابزار مدیریتی کارآمد در جهت افزایش ارتجاع‌پذیری شهرها در برابر بحران تجدیدپذیری منابع و همچنین افزایش پایداری و بقای شهر در قالب مفهوم «متابولیسم پایدار شهری» است که در نهایت منجر به کاهش وابستگی شهر به منابع دیگر شهرها می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: متابولیسم شهری، استحصال شهری، منابع ثانویه، مدیریت منابع، پایداری شهر

---

[۱] *دانشجوی کارشناسی ارشد مدیریت مناطق بیابانی، دانشگاه فردوسی مشهد*

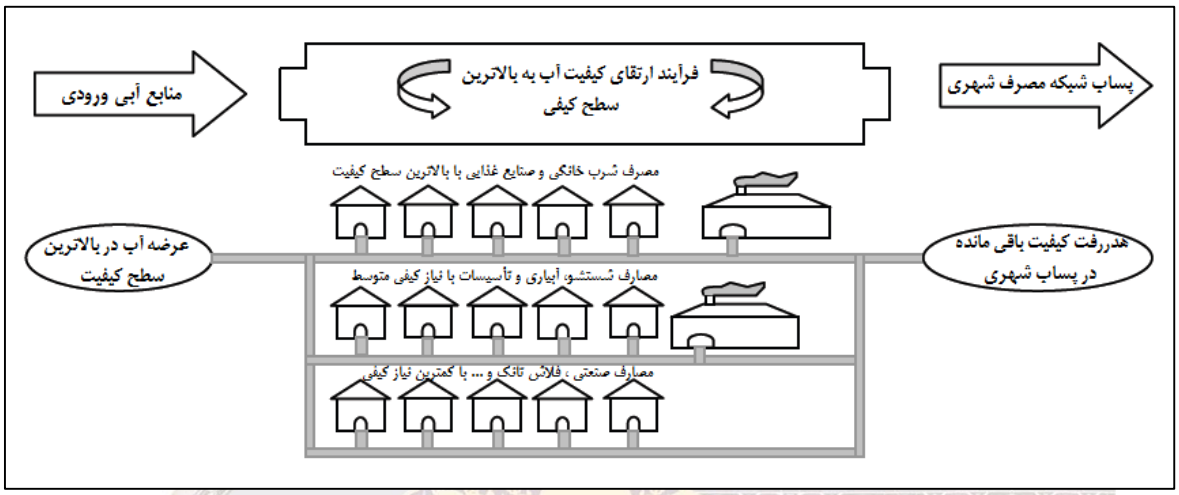
۱- مقدمه

در قرن اخیر، افزایش شهرنشینی و بالا رفتن استانداردهای کیفی زندگی موجب بالا رفتن فشار وارده به منابع آبی و انرژی در مقیاس جهانی شده است. شهرهای امروزی پایدار نیستند، چرا که منابع آب و انرژی را به طور موثر استفاده نمی‌کنند. به طورکلی، شهرها یک الگوی مصرف خطی و بدون بازخورد از نظر کمیت و کیفیت در استفاده از منابع و تولید پسماند دارند (Leduc et al. 2009). انرژی و آب که تحت عنوان «جریان‌های حیاتی و ضروری» در شهرها نام گرفته‌اند (Timmeren et al. 2007)، ریشه پایداری و بقای زندگی شهری را شکل می دهند. گسترش دامنه بحران کم آبی امروزه به چالشی تهدیدآمیز برای پایداری شهرها بدل شده است.اتکای بیش از حد به منابع آبی موجود و در دسترس و عدم استفاده مجدد از پتانسیل های موجود در آب‌های مصرفی این سیر نزولی را بخصوص در شهرهایی نظیر مشهد که علاوه بر مشکل افزونی جمعیت و مهاجر پذیری، تحت تأثیر اقلیم نیمه خشک و کم بارش قرار دارند، تشدید می-نماید. این روند یکطرفه مصرف منابع آبی، ناپایداری و وابستگی به منابع دیگر شهرها را افزایش می دهد. این وابستگی را می توان با محاسبه اثرات زیست محیطی[۲] شهرها اندازه گیری کرد. به عبارتی مطالعه اثرات زیست محیطی نشان می‌دهد که شهرها تا چه حد از ظرفیت‌های زیستی[۳] خود خارج شده (Doughty & Hammond 2004) و به سمت وابستگی و ناپایداری پیش می‌روند. آگودلو و همکارانش (۲۰۱۱) ریشه این ناپایداری را در الگوی مصرف خطی و بدون بازخورد منابع، به خصوص منابع آبی و تولید گسترده فاضلاب فراتر از ظرفیت چرخه‌های بازیافت طبیعی اکوسیستم‌ها قلمداد کرده و مدیریت منابع و اصلاح الگوی مصرف شهرها را به عنوان فاکتوری کلیدی در برنامه‌ریزی پایدار شهری عنوان می‌کنند. بنابراین، شهرها درسرتاسر جهان با چالشی برای پیدا کردن و پیاده‌سازی استراتژی‌های جایگزین به منظور مدیریت پایدار منابع شهری مواجه هستند (Cola et al. 2005). در یک نگرش کلی به شهر، با در نظر گرفتن یک شهر به عنوان یک سیستم پیچیده، می‌توان یک چهارچوب گسترده را برای آنالیز ارتباط منابع ورودی و خروجی به سیستم شهری و ارتباط‌شان را با محیط بیوفیزیکی پیرامون شهر فراهم کرد. مفهوم چنین نگرشی را امروزه تحت عنوان «متابولیسم شهری»[۴] مطرح می‌نمایند (McDonald and Patterson 2007). در واقع متابولیسم شهری روشی برای اندازه‌گیری جریان کلی منابع، اعم از تغییرات ورودی و خروجی به سیستم شهری می-

[2]Ecological Footprint
[3]Bio-Capacities
[4]Urban metabolism

باشد. در مطالعه‌ای در این ارتباط، کندی و همکارانش (۲۰۰۷) با ارزیابی و مقایسه متابولیسم ۸ کلان شهر در ۵ قاره جهان، به ارزیابی جریانات ورودی به شهرها، اعم از جریان آب، انرژی و ماده پرداخته و با توجه به الگوی مصرف بدون بازخورد منابع، روند تغییرات متابولیسم شهرها را همگام با رشد جمعیت و افزایش شهرنشینی و صنعتی شدن شهرها در طی یک دوره چند ساله آنالیز کرده‌اند و در نهایت به این نتیجه دست یافتند که پایداری شهرها تنها در قبال تغییر متابولیسم خطی شهرها، به منظور استفاده مجدد از منابع آب و انرژی و موادی که در سیستم شهری استفاده می‌شوند امکان‌پذیر خواهد بود. سیستم شهری به عنوان اولین و بزرگترین مصرف‌کننده منابع آبی و ذخیره‌کننده پساب‌ها در جهان، پتانسیل زیادی در تولید ثانویه این منبع حیاتی از آب‌های مصرفی دارد که در این زمینه نیز می‌توان اشاره‌ای به مطالعه آگودلو و همکارانش (۲۰۱۲)، در کشور هلند داشت. آن‌ها با ارزیابی پتانسیل استحصال مجدد منابع آب و انرژی در پساب‌های خانگی و پسماند شهری در یک مقیاس ملی، چنین برآورد کردند که استحصال مجدد منابع و استفاده دوباره از این منابع ثانویه در سیستم شهری می‌تواند تا ۱۰۰٪ از تقاضای برق، ۵۵٪ از تقاضای گرما و ۵۲٪ از تقاضای آب شهری را پوشش دهد. مفهوم «استحصال شهری»[5] به عنوان ابزاری مدیریتی برای تغییر الگوی مصرف خطی منابع آبی در شهرها و تولید پساب‌های ناکارآمد، به معرفی الگویی چرخه‌ای و برگشت پذیر و کارا در جهت برقراری متابولیسم پایدار شهری می پردازد (Agudelo-Vera et al. 2012). در یک الگوی مصرف خطی، عرضه منابع آبی در شبکه شهری با یک سطح کیفی (بالاترین سطح کیفیت) و بدون در نظر گرفتن نوع تقاضا صورت می‌گیرد (شکل۱). به عنوان مثال، حدود ۳۰٪ از آب شرب مصرف خانگی برای فلاش تانک توالت‌ها استفاده می‌شوند (Leduc et al. 2009). یعنی عرضه آب با بالاترین سطح کیفی برای تقاضای مصرف با کمترین نیاز کیفی. از نظر کمی نیز بررسی‌های آگودلو و همکارانش (۲۰۱۲)، در یک مطالعه موردی در هلند نشان می‌دهند که حدود ٤۳٪ از تقاضای آب در شبکه شهری، در نتیجه استفاده از الگوهای مصرفی نادرست و تدابیر غلط در نوع مصرف آب بوده است. در چنین الگوی مصرف خطی، پساب‌های تولید شده ممکن است با مقادیر زیادی از کیفیت مازاد[6] باقی مانده در خود، بدون استحصال و استفاده مجدد از این کیفیت باقی مانده[7]، از شبکه شهری خارج و به عنوان فاضلاب در خارج از شهر دفع شوند.

[5]Urban harvest
[6]Quality surplus
[7]Un-used remaining quality



شکل۱- طرح شماتیکی از الگوی مصرف خطی منابع آبی در شهرها بدون در نظر گرفتن تناسب کیفی میان عرضه و تقاضا (Leduc et al. 2009)

از دیدگاه مفهوم «استحصال شهری»، بازگردانی مجدد پساب‌ها به سیستم شهری برای استفاده در سطوح کیفی پایین‌تر می‌تواند فشار وارد شده به مختصر منابع آبی باقی‌مانده را در شرایط بحران کم آبی که اکنون بیشتر کلان‌شهرها را دچار خود کرده است، در یک مقیاس محلی و کشوری کاهش داده و میزان وابستگی شهرها به منابع آبی مجاور و شهرهای اطراف خود را کم کند. در یک مقیاس جهانی، استحصال شهری، فشار به منابع آبی جهانی را پایین آورده و ارتجاع‌پذیری[8] شهرها در برابر تنش‌های ناشی از بحران آب و پیامدهای وابستگی شهرها به منابع آبی یکدیگر را افزایش می‌دهد (Berkes and Folke 1998). در ارتباط با کلان شهری نظیر مشهد، با جمعیتی در حدود ۳ میلیون نفر و توریست‌پذیری بالا به خصوص در ایام گرم سال، بحران کم آبی هر ساله وضعیت حادتری به خود می‌گیرد. نگرشی عمیق به تناسب میان ذخایر آبی موجود و حجم مصرف آب در مشهد، ناهماهنگی شدیدی را بازگو می‌نماید. لذا استفاده مجدد از پساب‌های خانگی بی‌شک راه حلی هر چند پرهزینه اما کارآمد در جهت تأمین آب شهر و کاهش فشار به منابع آبی باقی‌مانده است. هدف از این مقاله علاوه بر شرح مفاهیمی در ارتباط با متابولیسم پایدار شهری، ارائه دیدگاه مدیریتی در تغییر الگوی مصرف شهری از یک الگوی خطی به سمت یک الگوی چرخه‌ای و با بازخورد است که در مفهوم «استحصال شهری» معنا پیدا کرده و به تحلیل پتانسیل نهفته در پساب‌های شهری به منظور بازآوری و استفاده مجدد از منابع آبی مصرف شده می‌پردازد. با پیاده‌سازی چنین الگویی در شهرها، می‌توان بازده مصرفی از منابع محدود آبی را بالا برده و ضمن کاهش وابستگی به منابع آبی شهرهای دیگر،

[8]Resilience

پایداری و بقای شهر را تضمین کرد و ارتجاع‌پذیری سیستم‌های شهری را با بالارفتن بحران کم آبی تقویت نمود.

۲- متابولیسم شهری

مفهوم متابولیسم برگرفته از علم زیست شناسی می باشد و به «فرآیندهای فیزیولوژیک موجودات زنده که آب و انرژی و مواد مورد نیاز یک موجود زنده را فراهم می‌کنند»(Tarr 2002)، بر می‌گردد. این مفهوم به عنوان «متابولیسم شهری» برای شهرها اقتباس شده است. متابولیسم شهری، شهر را به عنوان یک موجود زنده در نظر می‌گیرد و چهارچوبی گسترده را برای آنالیز ارتباط منابع ورودی و خروجی به سیستم شهری و ارتباط آن با محیط پیرامونش فراهم می‌کند (McDonald and Patterson 2007). به عبارت دیگر، متابولیسم شهری را می‌توان فرآیند انتقال آب، انرژی و مواد به شهر برای پایداری فعالیت‌های زیستی، اقتصادی و اجتماعی شهر در نظر گرفت (Huang et al. 2003). متابولیسم شهری روشی برای اندازه‌گیری جریان کلی منابع اعم از تغییرات ورودی و خروجی به سیستم شهری است و به عنوان پایه‌ای در طراحی شهری پایدار[9] و سیاست‌گذاری‌های شهری[10] قلمداد می‌شود (Kennedy et al. 2011). متابولیسم شهری در مقیاس‌های متفاوتی شامل مقیاس جهانی، منطقه‌ای، کشوری، شهری و حتی در سطح خانگی مورد مطالعه قرار می گیرد و با مطالعه آن اطلاعات ارزشمندی در مورد جریان منابع در سیستم شهری بدست می‌آید (Agudelo-Vera et al. 2012).

۱-۲- متابولیسم خطی[11] شهرها

متابولیسم شهری از اجزای مختلفی ساخته شده است: آب، انرژی و مواد. الگوی مصرف آب به عنوان مهمترین منبع و مؤلفه سیستم شهری می تواند همزمان در الگوی مصرفی انرژی و ماده در شهر تأثیرگذار باشد. لذا در بحث بیشتر به فرآیند ورود و خروج منابع آبی به سیستم شهری تأکید می‌شود. در حال حاضر، متابولیسم شهری عمدتاً از یک الگوی خطی پیروی می‌کند. شهرها برای تأمین تقاضای آبی خود علاوه بر مصرف منابع داخلی، منابع آبی دیگر شهرها را مورد بهره‌برداری یکطرفه خود قرار می‌دهند. و از طرفی برای دفع پساب‌ها و فاضلاب خروجی شهر به مناطق اطراف خود وابسته هستند (Bai 2007; Cola et al. 2005).

[9] Sustainable urban design
[10] Urban policy
[11] Linear metabolism

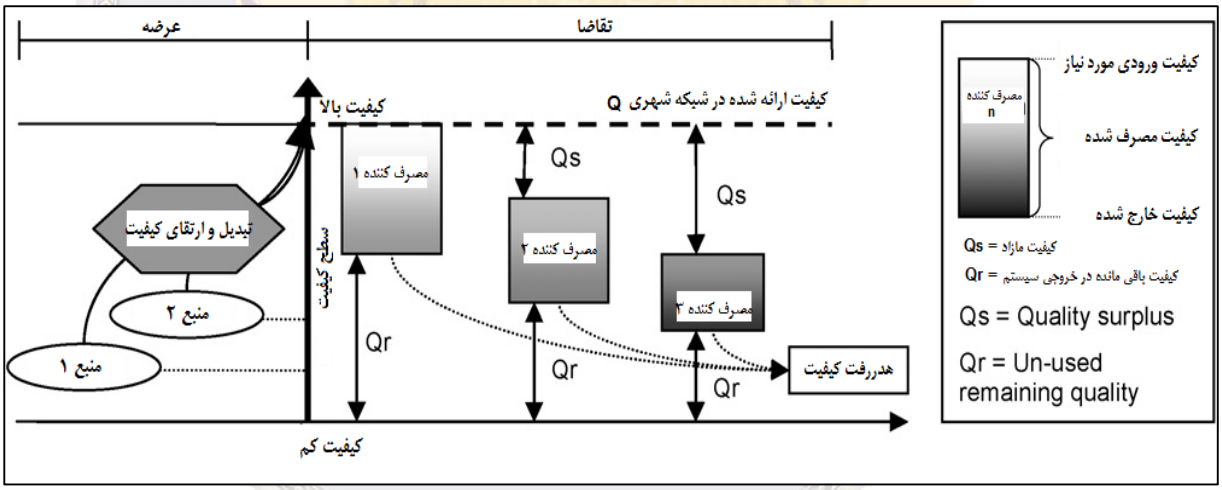
استفاده نا کارآمد و کم بهره از منابع آبی مورد استفاده در شهرها که در نتیجه هدر رفت مقادیر زیادی کیفیت باقی‌مانده در جریان فاضلاب‌ها می‌باشد، متابولیسم خطی شهرها را با دو مشکل اساسی روبرو کرده است: از یک سو، میزان بالای تقاضا و مصرف آب، منابع آبی را در تنش و استرس تجدیدپذیری و بحران تخلیه و اتمام منابع قرار می‌دهد و از سوی دیگر، معضل دفع مقادیر گسترده‌ای از پساب‌های صنعتی و فاضلاب خانگی که عامل ایجاد بیماری‌های مختلف نیز هستند وجود دارد که خود نیازمند مطالعات گسترده در زمینه مکان‌یابی مناسب جهت دفع این پساب‌ها و اجرای پروژه‌های ارزیابی زیست محیطی می‌باشند. ورود منابع آبی با بالاترین سطح کیفی به شبکه آبرسانی شهری، برای هر نوع فعالیت با نیازهای کیفی متفاوت و بدون استحصال مجدد و بازگشت این منابع به چرخه آبرسانی شهری نمود یک توالی خطی بدون بازخورد و کم بهره است. این الگوی خطی به مرور وابستگی به منابع خارجی را بیشتر کرده و بازده کم آن در استفاده از منابع آبی شهرها را بیش از پیش آسیب‌پذیر می‌نماید (Cola et al. 2005). در مقابل، متابولیسم چرخه‌ای[12] که مشابه متابولیسم اکوسیستم‌های طبیعی است داری حداقل میزان مصرف و شامل بازیافت و استفاده مجدد از جریان آب و همچنین انرژی می‌باشد. متابولیسم چرخه‌ای کم‌ترین تأثیر و وابستگی را به منابع داخلی و خارجی شهرها ایجاد کرده و انعطاف‌پذیری و پایداری شهرها را در برابر تنش‌های کم آبی افزایش می‌دهد (Agudelo-Vera et al. 2012).

۳- اصل تناسب عرضه وتقاضا از دیدگاه کمی و کیفی

رعایت اصل تناسب منابع آبی عرضه شده در شبکه آبرسانی شهری، متناسب با طبقات مختلفی از تقاضاها با نیازهای کیفی و کمی مختلف می‌تواند بخش قابل توجهی از کمیت و کیفیت منابع آبی موجود را برای استفاده پایدارتر از منابع آبی موجود حفظ کند. سیستم فعلی آبرسانی در شبکه شهری در شکل شماره۲ شرح داده شده است. در سمت عرضه منابع آبی در شبکه آبرسانی شهری (شکل۲، سمت چپ)، منابع مختلف آبی با سطوح کیفی مختلف جمع‌آوری شده و در تصفیه‌خانه‌ها و ایستگاه‌های پمپاژ به بالاترین سطح کیفی (کیفیت آب شرب) و کمی می‌رسند. در حقیقت یک گام تبدیل و ارتقای کیفیت به کیفیت اصلی در هر جریان ورودی آب الزامی است. که این ارتقای کیفیت نیز خود مستلزم صرف مقادیر زیادی انرژی، زمان و هزینه است. هر مرحله تبدیل کیفیت بدون در نظر گرفتن نیاز کیفی متقاضی، در کاهش میزان بهره-وری سیستم مؤثر است. در سمت تقاضا (شکل۲، سمت راست)، مصارف مختلف میزان متفاوتی از سطوح

[12] Circular metabolism

کیفیت منابع آبی را نیاز دارند. اما چون شبکه آبرسانی شهری تنها قادر به فراهم کردن یک سطح کیفیت می-باشد، بنابراین بخش‌های زیادی از صنایع شهری و حتی سکونتگاهی، کیفیتی بالاتر از حد مورد نیاز خود را دریافت می‌کنند (کیفیت مازاد Qs). (به عنوان مثال استفاده از آب شرب شهری برای مصارف آبیاری، که این نوع تقاضا نیازی به این سطح کیفیت ندارد). همچنین هنگامی که آب به مصرف برخی از فعالیت‌ها می-رسد، بخشی از کیفیت موجود در آب به صورت استفاده نشده باقی می‌ماند (Qr). به عنوان مثال در استفاده از آب شرب شهری برای مصرف فلاش تانک سرویس‌های بهداشتی، آب دارای کیفیت شرب آلوده می‌شود اما هنوز بخشی از کیفیت باقی مانده در آب بدون استفاده وارد سیستم فاضلاب شهری می‌شود و دیگر به شبکه شهری باز نمی‌گردد. چنین الگوی عرضه‌ای در شبکه آبرسانی شهری راندمان استفاده از منابع محدود آبی را بسیار کاهش داده و فشار وارد شده به منابع موجود را تشدید می‌نماید. با توجه به تحلیل فوق، رعایت اصل «تناسب برای هدف»[۱۳] به منظور افزایش بهره‌وری از سیستم آبرسانی شهری ملزوم می‌نماید.



شکل۲- نمایشی از عدم رعایت تناسب کیفی در عرضه و تقاضا در سیستم آبرسانی شهری. با هر گام ارتقای کیفیت منابع آبی بدون توجه به کیفیت مورد نیاز مصرف کننده، راندمان سیستم افت می‌نماید (Leduc et al. 2009).

[13] Fit for purpose

٤- مفهوم اکسرژی[14] در چرخه آبی سیستم شهری

این دیدگاه نخستین بار در یکی از کنسرسیوم‌های دانشگاه‌های هلند به منظور بهره‌وری مؤثرتر و بیشتر از انرژی با در نظر داشتن اصل بقای انرژی[15] مطرح شد. بدین شکل که «انرژی از بین نمی‌رود بلکه انتقال پیدا می‌کند و بعد از هر استفاده مقداری از کیفیت آن باقی می‌ماند که می‌توان از آن در جای دیگر و برای کاربرد دیگری بهره برد». اما بعدها محققان مفهوم کاربردی‌تری از اکسرژی را برای انرژی ارائه دادند. در تعریف جدید، اکسرژی به مفهوم «استفاده از انرژی استفاده نشده در فرآیندهای تغییر و تبدیل انرژی» است(Gommans et al. 2007). بنابراین می‌توان اکسرژی را «انرژی باقی‌مانده در سیستم» و یا به عبارتی «کیفیت استفاده نشده»[16]عنوان کرد. حال چنانچه مفهوم اکسرژی را در ارتباط با چرخه منابع آبی در شهرها در نظر بگیریم، می‌توان چنین عنوان کرد که، «اکسرژی آب[17]، استفاده از آب استفاده نشده در فرآیندهای تغییر یا همان مصرف است». این مفهوم به دو جنبه مهم اشاره می‌کند: نخست، منابع استفاده نشده؛ که منجر به تأمین تقاضاها با چندین منبع[18]مختلف می‌شود و دوم، تأمین تقاضاها با استفاده از سطوح کیفیتی باقی مانده در منابع مصرف شده[19]. که هر دو جنبه در افزایش راندمان سیستم آبی شهری مؤثر خواهند بود و منجر به کاهش وابستگی به منابع اطراف شهر می‌شود (Leduc et al. 2009).

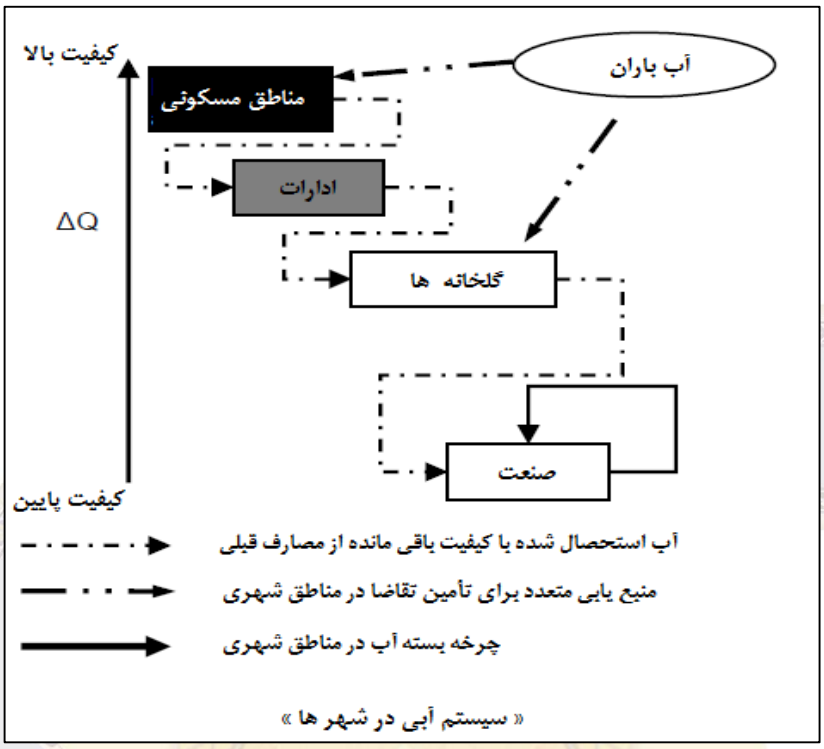
٥- مفهوم استحصال شهری؛ راهکاری در جهت مدیریت پایدار شهر

با توجه به مطالب ارائه شده در قسمت قبل، کاربرد مفهوم اکسرژی در سیستم شهری، خود در قالب مفهوم دیگری معنا پیدا می‌کند. برای درک این مفهوم نخست می‌بایست این تفکر که شهرها صرفاً محلی برای زندگی و مصرف یکطرفه منابع هستند را کنار گذاشته و این تفکر را جایگزین نماییم که شهرها به عنوان بزرگترین مخزن منابع استفاده نشده باید به محلی برای تولید ثانویه تبدیل شوند. در ابتدا پتانسیل سنجی شهرها در کشف کیفیت‌های قابل استحصال از منابع مصرف شده و بخصوص پساب‌ها بسیار حائز اهمیت جلوه می‌کند. لذا بدین منظور، گروه محیط زیست دانشگاه Wageninge مفهوم «استحصال شهری»

[14]Exergy
[15]The energy conservation principle
[16]The un-used quality
[17]Water-exergy
[18]Multi-Sourcing
[19]Cascading

را توسعه دادند. محققان این مفهوم را به عنوان «یک استراتژی برای بررسی و یکپارچگی تمام گزینه‌های ممکن برای استفاده مجدد از تمامی جریان‌های خروجی از سیستم شهری و منابع بالقوه موجود در این پساب‌ها در داخل محیط شهری عنوان می‌کنند»(Rovers 2007). این عبارت که در واقع شکل کامل‌تر مفهوم اکسرژی در چرخه آبی سیستم شهر را توصیف می‌کند، چالش ناپایداری شهرهای امروزی را که بیشتر تحت تأثیر چشم‌پوشی از منابع بالقوه خود قوت می‌گیرد، برطرف می‌نماید. مدیریت سنتی منابع آبی، صرفاً بر روی منابع اولیه و طبیعی تمرکز دارد تا منابع ثانویه[20]. با افزایش شهرنشینی، منابع ثانویه مهم به نظر می‌رسند. منابع ثانویه در واقع خروجی فعالیت‌های انسانی هستند که می‌توانند به عنوان یک ورودی جدید به سایر فعالیت‌های انسانی با نیاز کیفی و کمی پایین‌تر وارد شوند(شکل۳). به عنوان مثال، آب خاکستری[21] یک منبع ثانویه است که بعد از ورود مجدد به شبکه آب شهری می‌تواند در بخش‌هایی که از لحاظ نیاز کیفی در رده‌های پایین‌تری قرار دارند مورد بهره‌برداری مجدد قرار گیرد. بنابراین شهرها را می‌توان مراکز تولید ثانویه منابع به حساب آورد. استحصال شهری با چرخشی کردن روند مصرف منابع آبی، میزان نشتی و هدر رفت کمی و کیفی آب را در سیستم شهری کاهش می‌دهد. بدین منظور لازم است مسئولان شهری در ابتدا فهرستی از انواع تقاضاهای شهری موجود را استخراج کنند و به منظور به حداقل رساندن میزان تقاضا-ها، به مطالعه الگوی مصرفی تمامی بخش‌های شهر بپردازند (یادآوری: ۴۳٪ از تقاضای آب شهری در نتیجه الگوی نادرست مصرف ایجاد می‌شود). همچنین بررسی منابع آبی محلی و نزدیک به شهر و همچنین ارزیابی محل‌های عرضه و تقاضا به منظور استحصال محلی می‌تواند از جمله راهکارهای ابتدایی در این اقدام قلمداد گردد.

[20] Secondary resources
[21] Gray water



شکل۳- بهینه سازی مدیریت منابع آبی در قالب استحصال کیفیت باقی مانده برای مصارف با نیاز کیفی پایین‌تر

(Leduc et al., 2009)

۱-۵- پتانسیل استحصال شهری

پتانسیل‌سنجی شهرها در کشف کیفیت‌های قابل استحصال نخستین قدم در پیاده‌سازی الگوی استحصال شهری می‌باشد. الگوی مصرف منابع شهری به طور نزدیکی با نوع کاربری اراضی و به ویژه با فعالیت‌های شهری در ارتباط است. توابع و فعالیت‌های مختلف شهری نظیر توابع مسکونی، توابع کسب و کار و تجارت در یک نگاه کلی همگی نیازمند منابع آبی هستند. توصیف و شرح فعالیت‌ها و عملکردهای توابع شهری می‌تواند یک نمای کلی از شدت مصرف منابع آبی و همچنین پتانسیل استحصال در مناطق مختلف شهر را در ارتباط با کاربری زمین فراهم نماید. بدین منظور الگوی توزیع کاربری و فعالیت‌های مختلف شهری نیاز به یک واحد عملیاتی[۲۲] دارد. در مطالعه‌ای در همین زمینه در کشور هلند، آگودلو و همکارانش (۲۰۱۲) بافت شهری[۲۳] (UT) را به عنوان واحد عملیاتی خود در نظر گرفتند. بافت شهری یک واحد استاندارد است که امکان شناسایی جریان‌های مختلف از قبیل آب، انرژی و مواد را حتی در یک سطح ۱ هکتاری فراهم می‌کند و به عنوان یک رویکرد مفهومی در تصویرسازی و تحلیل پتانسیل‌های تقاضا و عرضه منابع در یک محیط

[22] Functional unit
[23] Urban Tissue

شهری تعریف می‌شود(Leduc and Rovers 2008) . در یک منطقه شهری، حداکثر مقدار منابع آبی و انرژی که در داخل یک محدوده و مرز خاص وجود دارند یا می‌توانند به وجود آیند، پتانسیل استحصال شهری[۲۴](PUH) نامیده می‌شود. در زمان استخراج و یا تبدیل این پتانسیل‌ها، حتی با وجود استفاده از پیشرفته‌ترین تکنولوژی‌های روز، باز هم هدررفت زیاد و بازده کمی حاصل می‌شود. بنابراین فقط درصدی از پتانسیل حداکثر را می‌توان استحصال کرد. این میزان همچنین تحت تأثیر خصوصیات و نوع منطقه شهری و تناسب الگوهای زمانی عرضه و تقاضا می‌تواند تغییر کند (رابطه شماره۱). بنابراین پتانسیل واقعی که می‌تواند استحصال شود با در نظر گرفتن تکنولوژی، نوع شهر و خصوصیات زمانی، «حداکثر استحصال فنی شهری»[۲۵] (UMTH)، نامیده می‌شود.

$$UMTH = PUH \times \emptyset_{tech} \times \emptyset_{urban} \times \emptyset_{temp}$$ رابطه شماره (۱)

که در این رابطه، $\emptyset_{tech}$، $\emptyset_{urban}$ و $\emptyset_{temp}$، به ترتیب ضرایب کاهش مربوط به محدودیت‌های راندمان فنی، محدودیت نوع شهری و محدودیت‌های زمانی می‌باشند(Agudelo-Vera et al. 2012).

[24]Potential Urban Harvesting
[25]The Urban Maximum Technical Harvest

٦- نتیجه گیری

اصلاح و تغییر الگوی مصرف منابع آبی تنها در سمت مصرف کننده کارآمد نیست. در یک مقیاس وسیع، تغییر الگوی عرضه منابع آبی در شهرها از سوی نهادها و سازمان‌های مرتبط، گامی بلندتر و سریع‌تر را در جهت دوام بیش‌تر اندک منابع آبی باقی مانده طی خواهد کرد. عرضه منابع آبی در شبکه آبرسانی شهری با بالاترین سطح کیفی و کمی، بدون توجه به سطح کیفی مورد نیاز مصرف کننده و بدون هیچ گونه بازخورد مجدد به سیستم آبرسانی، نمود یک توالی خطی کم بهره است. این الگوی یکطرفه مصرف، به مرور زمان وابستگی شهرها را به منابع خارجی بیش‌تر کرده و راندمان پایین این الگو شهرها را بیش از پیش آسیب‌پذیر می‌نماید. در مقابل این متابولیسم خطی، متابولیسم چرخه‌ای با کم‌ترین میزان ایجاد وابستگی شهر به منابع سایر شهرها، بقا و پایداری شهرها بخصوص کلان شهرها را تضمین می‌کند. نگاهی دوباره به آینده کلان شهری نظیر مشهد، از نقطه نظر تأمین منابع آبی شهرنشینان، این مسئله را به موضوعی جدی‌تر از تصور امروز همگان مبدل ساخته است. در دهه اخیر ارائه مجوز ساخت برج‌ها و ساختمان‌های مسکونی و غیر مسکونی متراکم و همچنین مراکز تجاری و تفریحی نظیر پارک‌های آبی، که اغلب بدون امکان‌سنجی و آینده‌نگری و عدم توجه به وضعیت بحرانی کمبود آب در شهر مشهد همچنان در حال احداث می‌باشند، پایداری شهر مشهد را در طی چند سال آینده به موضوعی بحث برانگیز و نگران کننده بدل ساخته است. طبق برآوردهای انجام شده میزان آب مصرفی در یکی از مجموعه‌های تفریحی-سرگرمی مشهد به اندازه نیاز آبی یکی از شهرهای کوچک اطراف آن تخمین زده شده است. ارائه پروانه ساخت و یا ارتقای درجه کیفی مجموعه‌های تفریحی و اقامتی منوط بر پیاده‌سازی سیستم‌های استحصال و تصفیه آب در این مجموعه‌ها از سوی نهادها و سازمان‌های مربوطه، به منظور استفاده دوباره و چندباره از منابع آبی مصرف شده برای کاربری‌هایی با نیاز کیفی پایین‌تر، می‌تواند راهکاری مفید در جهت کاهش فشار به اندک منابع آبی باقی مانده باشد. به عنوان مثال، با توجه به اینکه شهر مشهد از نقطه نظر سیاحتی-زیارتی به عنوان اولین کلان شهر ایران بشمار می‌رود، می‌توان با پیاده‌سازی طرح جمع‌آوری آب از سطوح پشت‌بام و پارکینگ‌ها و فضای سبز کلیه هتل‌ها و آپارتمان‌های اقامتی به منظور تأمین حداقل نیاز آبی این مجموعه‌ها برای مصارف فلاش تانک و آبیاری فضای سبز، بخشی از نیاز آبی این مجموعه‌ها را برطرف نموده و از طرفی فشار به عرضه منابع آب در شبکه شهری را کم‌تر نماید. استراتژی استحصال شهری با تمرکز بر جمع آوری و ایجاد منابع استفاده نشده و جریان‌های قابل استحصال (نظیر جمع آوری آب باران از سطوح آبگیر بام‌ها و آسفالت خیابان‌ها و غیره) و یافتن روش‌هایی جهت تولید منابع جدید (به عنوان مثال، تولید آب آشامیدنی از سلول‌های سوختی هیدروژن (Hristovski et al. 2009) و همچنین کشف بخش‌هایی از منابع مصرف شده که پتانسیل استحصال دارند، پیاده‌سازی و اجرا می‌شود. همچنین بررسی تکنولوژی‌های جدید به منظور ایجاد

قابلیت‌های استحصال پذیری (سیستم‌های نوین جمع آوری و تفکیک و تصفیه پساب)، از دیگر وظایف سازمان‌های مربوطه در اجرای این الگو است. همچنین، رعایت اصل تناسب کیفیت و کمیت در استفاده از آب در مصارف مختلف در مقیاس‌های مختلف خانگی، شهری، کشوری تا جهانی تضمین دیگری برای پایداری شهرها است. از سوی دیگر، چنانچه پساب‌های شهری بر حسب نوع مصرف تفکیک شوند، در چرخه استحصال شهری، مزایای بیش‌تری را برای منابع شهری دربر خواهند داشت. مطالعه و بررسی مناطق مختلف شهری از نظر نوع فعالیت و توابع شهری و کاربری اراضی و توسعه دیدگاه‌های یکپارچه و سازماندهی شده در جهت پیاده سازی فرآیند استحصال در بسیاری از نقاط شهر با توجه به مکان‌یابی‌ها و امکان‌سنجی‌های قبلی می‌تواند استحصال پساب‌های شهری را به حداکثر میزان ممکن برساند. ارائه دیدگاهی سیستمی جهت ارائه و توسعه یک مدل مفهومی با دید همه جانبه سیستم شهری، در درک صحیحی از مفهوم استحصال شهری می‌تواند مفید باشد. پیاده سازی الگوی استحصال شهری، نیاز به درک صحیح و کاملی از پیچیدگی‌های سیستم شهری دارد لذا توصیف این مفهوم در ارتباط با توابع شهری با پتانسیل‌های استحصال آب و انرژی و بسته به نوع کاربری زمین، با هدف پرورش تفکر استفاده مجدد از منابع آب و انرژی صورت می‌پذیرد. مفهوم استحصال شهری می‌تواند با برنامه‌ریزی شهری و تصمیم‌گیری برای درک سیستم‌های شهری و جریان منابع در این سیستم‌ها، با ارائه مدل-های هوشمندانه در طراحی شهرهای جدید گنجانده شود. چالش اخیر در ارتباط با پایداری شهرها در برگیرنده یک ارتباط تنگاتنگ میان منابع و تقاضا می‌باشد. در ارتباط با پایداری شهرها، تغییر شیوه رویکرد ما به مشکلات ضروری است. بحران کم آبی در کلان‌شهرهایی نظیر مشهد، مسئله‌ای فرابحرانی است که تنها با رویکرد پاک کردن صورت مسئله و برطرف کردن نیاز فعلی منابع آب شهر نه تنها حل نخواهد شد، بلکه بقا و پایداری شهر را به موضوعی چالش برانگیز تبدیل می‌کند. پارادایم «متابولیسم پایدار شهری»، نیازمند تغییرات عمقی در شیوه تحلیل و ادراک و برنامه ریزی در مدیریت کلان شهرها می‌باشد. استفاده مجدد و کارآمد از منابع محلی می‌تواند ارتجاع‌پذیری شهرها را افزایش دهد. مطالعات نشان می‌دهند که امکانات متعددی برای بهبود استفاده از منابع فعلی در مقیاس‌های مختلف وجود دارد و ترکیبی از استراتژی‌های مختلف در استحکام و پایداری سیستم شهری مؤثر خواهد بود. شهرها به عنوان بزرگترین مخزن منابع ثانویه پتانسیل زیادی در استحصال این منابع دارند. بنابراین استحصال شهری، به عنوان یک فاکتور کلیدی در طراحی شهری، ضامن بقا و پایداری شهرها در آینده خواهد بود.

۷- مراجع

[1] A. van. Timmeren and W. Roling, Urban and regional typologies in relation to self-sufficiency. In Proceedings of ENHR 2007 International Conference "Sustainable urban areas", Rotterdam, 2007.
[2] C. Kennedy, S. Pincetl, P. Bunje, The study of urban metabolism and its applications to urban planning and design. J Environ Pollut. 159(2011) 1965–73.
[3] C. Kennedy, J. Cuddihy, J. Engel-Yan, The Changing Metabolism of Cities. J Industrial Ecology. 11(2007) 43-59.
[4] C.M. Agudelo-Vera, A.R. Mels, K.J. Keesman, H.H.M. Rijnaarts, Resource management as a key factor for sustainable urban planning. J Environ Manage. 92(2011) 2295–303.
[5] C.M. Agudelo-Vera, W. Leduc, A.R. Mels, H.H.M. Rijnaarts, Harvesting urban resources towards more resilient cities. J Resources, Conservation and Recycling. 64(2012) 3-12.
[6] F. Berkes, C. Folke, Linking sociological and ecological systems for resilience and sustainability, in: F. Berkes, C. Folke (Eds), Linking Social and Ecological Systems. Management Practices and Social Mechanisms for Building Resilience, Cambridge University Press, Cambridge, 1998, pp. 1–25.
[7] F. Cola, G. Recine, G. Alessandro, Technologies Dossier Local New Energy Technology Implementation Project, Rome: Innova Spa, March, Sponsored by European Commission's Sixth Framework Programme, 2005.
[8] G.W. McDonald, M.G. Patterson, Bridging the divide in urban sustainability: from human exemptionalism to the new ecological paradigm. J Urban Ecosyst. 10(2007) 169–92.
[9] J.A. Tarr, The metabolism of the industrial city: the case of Pittsburgh. J Urban Hist. 28(2002) 511–45.
[10] K.D. Hristovski, B. Dhanasekaran, J.E. Tibaquirá, J.D. Posner, P.K. Westerhoff, Producing drinking water from hydrogen fuel cells. J Water Supply Res T. 58(2009) 327–35.
[11] L. Gommans and A.van den. Dobbelsteen, Synergy between exergy and regional planning. In Proceedings of the Energy Conference, WITT, UK, 2007, pp. 103-112.
[12] M.R.C. Doughty, G.P. Hammond, Sustainability and the built environment at and beyond the city scale. Build Environ. 39(2004) 1223–33.
[13] R. Rovers, Urban harvest, and the hidden building resources. In: Proceedings of the CIB World Building Conference, 2007.
[14] W. Leduc, C. Agudelo, R. Rovers, A. Mels, Expanding the exergy concept to the urban water cycle. In: Proceedings of the SASBE conference, 2009.
[15] W. Leduc and R. Rovers, Urban tissue: the representation of the urban energy potential. In: Proceedings of the PLEA—25th Conference on Passive and Low Energy Architecture, 2008.
[16] X. Bai, Industrial ecology and the global impacts of cities. J Ind Ecol. 11(2007) 1–6.