Archive of SID

اکوهیدرولوژی

دورهٔ ۶، شمارهٔ ۳، پاییز ۱۳۹۸، ص ۵۸۴-۵۶۹

تغییرات آب‌وهوایی و بهره‌برداری از رویکرد WEF Nexus شهری برای بهره‌گیری از منابع موجود در شهر بروجرد

محمدرضا گودرزی[۱*]، رضا پیریایی[۲]، میررحیم موسوی[۳]

۱. استادیار، دانشکدهٔ عمران، دانشگاه یزد

۲. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشکدهٔ فنی و مهندسی، دانشگاه آیت‌الله العظمی بروجردی

۳. استادیار، دانشکدهٔ فنی و مهندسی، دانشگاه آیت‌الله العظمی بروجردی

(تاریخ دریافت ۱۳۹۷/۰۹/۲۰؛ تاریخ تصویب ۱۳۹۸/۰۲/۳۰)

چکیده

با توجه به متغیرهای هیدرولوژیکی از جمله بارش و دما که تحت تأثیر تغییرات اقلیمی بوده و در شبیه‌سازی فرایند آب، غذا و انرژی مؤثرند، بررسی تغییرات یادشده و بهره‌برداری از رویکرد WEF Nexus شهری برای بهره‌گیری از منابع موجود، ضروری است. با در نظر گرفتن محدودیت منابع آب و ارزش آن در کشاورزی، به‌کارگیری راه‌کارهای نوآورانه برای صرفه‌جویی در مصرف و استفادهٔ بهینه از آب موجود، امری مهم است. در حال حاضر، معتبرترین ابزار تولید سناریوهای اقلیمی، مدل‌های سه‌بعدی جفت‌شدهٔ گردش عمومی جو- اقیانوس هستند. در پژوهش حاضر سعی شده است از منابع آب موجود برای توسعهٔ پایدار شهری با توجه به تغییرات اقلیمی استفاده شود. برای انجام پژوهش حاضر از خروجی مدل HADGEM2 تحت دو سناریوی انتشار RCP2.6 و RCP8.5 مربوط به پنجمین گزارش ارزیابی هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم بهره گرفته و رویکرد WEF Nexus شهری برای منطقهٔ مطالعاتی شهر بروجرد استفاده شد. نتایج نشان داد در دورهٔ آتی دما بین ۱/۵ تا ۳ درجهٔ سانتی‌گراد افزایش خواهد داشت. همچنین، بارش در سناریوی RCP2.6 تا ۲۰ میلی‌متر افزایش و در سناریوی RCP8.5 تا ۴۰ میلی‌متر کاهش خواهد داشت. نتایج WEF Nexus نشان داد کشاورزی متمرکز شهری به‌ترتیب ۲۱/۲۹ و ۲۷۲ درصد تقاضای محلی میوه و سبزیجات را برآورده کرده و برداشت آب باران، ۳/۶ درصد تقاضای منابع آب شیرین را تأمین می‌کند. همچنین، چرخهٔ فاضلاب شهری و مصرف دوباره، تقاضای آب برای آبیاری کشاورزی شهری را تأمین می‌کند. تولید الکتریسیته و بیوگاز از پسماندهای شهری می‌تواند روزانه ۱/۰۸ درصد فعلی الکتریسیته را تأمین کند که هزینهٔ مدیریت فاضلاب ممکن است از نوسازی و عملیات جدید فاضلاب شهری کمتر باشد.

کلیدواژگان: تغییرات آب‌وهوایی، شهر بروجرد، کشاورزی شهری، مدل HADGEM2، WEF Nexus.

* نویسندهٔ مسئول

Email: goodarzimr@yazd.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

با توجه به رشد اقتصادی، در حال حاضر تقاضا برای آب و انرژی همچنان در سراسر جهان در حال افزایش است [۱]. انتظار می‌رود تقاضای جهانی انرژی طی بیست سال آینده یعنی تا سال ۲۰۳۰ به ۴۰ درصد و تقاضای غذا تا سال ۲۰۵۰ به ۶۰ درصد افزایش یابد [۲]. مناطق شهری منابع طبیعی فراوانی دارند [۳] و جمعیت شهری تا سال ۲۰۵۰ حدود ۷۰ درصد جمعیت جهان را تشکیل می‌دهد. الگوی نادرست مصرف بیش از حد منابع طبیعی سبب تغییرات خطرناکی در آب‌وهوا شده است [۴]. استفادهٔ درست از منابع طبیعی ریشه در آیندهٔ صلح‌آمیز دارد [۵] و در آینده برای جلوگیری از تأثیر تغییرات آب‌وهوایی باید از رویکردهای جدید استفاده کرد.

با این حال، تمرکز تحقیقات و همچنین سیاست در مورد چگونگی تأمین تقاضا روزافزون است و روش‌های آکادمیک[1] کمتر سبب کاهش آن می‌شود. یک مانع عمده برای پیاده‌سازی راه‌حل‌های صرفه‌جویی در منابع، درک این موضوع است که چه چیزهایی در زندگی انسان روی کرهٔ زمین محدود است [۶]. علاوه بر این، شهرها اغلب تأثیر کمی در کاهش تغییرات اقلیمی در قالب کارایی و سازگاری با این تغییرات دارند، بنابراین مدیریت منابع آب مهم است [۷]. با این حال، این دو حوزه باید برای حمایت و انعطاف‌پذیری شهرها یکپارچه شوند و همکاری مثبت بین آنها می‌تواند هزینهٔ بهره‌وری را برای دولت، به ویژه در بخش‌های ساختمانی و زیرساخت‌های شهری، افزایش دهد [۸]. از این رو، راه‌کارهایی که از بهره‌وری انرژی و مدیریت آب در یک رویکرد برنامه‌ریزی یکپارچهٔ شهری استفاده می‌کنند، به شهرها کمک می‌کنند تا از ظرفیت‌های محدود بهره ببرند.

طیف وسیعی از مفاهیم شهر در آینده با رویکرد توسعهٔ پایدار وجود دارد. مفهوم شهر ECO[2] به ساختمان‌هایی که بازیابی انرژی دارند، مانند استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر، بازیافت فاضلاب، جمع‌آوری آب باران، بازیافت زباله، دسترسی به فضای سبز، پیاده‌روی و دوچرخه‌سواری در شهر، تأکید و تمرکز دارد [۹].

یکی از راه‌کارها برای برنامه‌ریزی یکپارچه‌سازی شهری، رویکرد آب، غذا و انرژی است که در سال‌های اخیر به‌سرعت در حال پیشرفت است. این رویکرد ارتباطات بین بخش‌های آب، غذا و انرژی را نشان می‌دهد [۱۰]. واضح است که انرژی زیادی برای عرضهٔ آب شیرین و انتقال و دفع فاضلاب شهر نیاز است، همچنین آب فراوانی برای تولید انرژی و غذا استفاده می‌شود [۱۱]. رویکرد WEF Nexus به منظور بهینه‌سازی سیستم‌های آب و انرژی در روش سنتی و بهینه‌سازی تولید مواد غذایی است. مفهوم حاکمیت بر مسئولیت اجتماعی تأکید می‌کند و تصویر جدیدی از آب مورد نیاز را نشان می‌دهد، زیرا از نظر اجتماعی ارتباط آب و غذا اهمیت زیادی دارد [۱۱]. علاوه بر این، رویکرد WEF Nexus برای انطباق مؤثر با پایداری شهری بسیار مهم است [۱۲]. موارد بحث‌شده و عملیاتی رویکرد WEF Nexus ضروری است تا بتواند توانایی خود را برای ایجاد راه‌حل‌های جایگزین برای توسعهٔ تجاری به کار گیرد.

شهرها در مقایسه با مناطق روستایی در معرض تغییرات آب‌وهوایی قرار دارند. سطح بالای تراکم و ساختمان‌ها سبب گرمای شهری در تابستان و سیل ناشی از بارش باران می‌شود [۱۳]. علاوه بر این، برخی از انواع تغییرات شهری، تغییرات آب‌وهوایی مانند باران و گرما را تشدید می‌کنند. مطالعات نشان می‌دهد تا سال ۲۰۸۰ اگر افزایشی در پوشش سبز صورت نگیرد، دما تا ۴ درجهٔ سانتی‌گراد در مناطق شهری با فشردگی زیاد افزایش می‌یابد. همچنین اگر ۱۰ درصد پوشش سبز رو به رشد باشد، دما به‌سختی در همین مقیاس باقی می‌ماند [۱۴].

هوارته و مونتسرلو [۱۵] در مطالعه‌ای به بررسی درک موانع تصمیم‌گیری پیوند آب، انرژی و غذا در انگلستان با رویکرد WEF Nexus پرداختند. آنها با استفاده از یافته‌ها روش جدیدی را برای توسعهٔ بررسی شوک‌های ارتباطی و پی بردن به پیامدهای سیاست‌گذاری بر موانع تصمیم‌گیری ارائه دادند. پژوهش آنها رویکردی نوآورانه برای تجزیه و تحلیل مسئلهٔ کلیدی تصمیم‌گیری در پاسخ به شوک‌های آب‌وهوایی در سه بخش انرژی، غذا و آب ارائه داد. نتایج پژوهش آنها نشان داد ویژگی‌های ارتباط این منابع برای توسعهٔ توانایی‌ها در ایجاد انعطاف‌پذیری و ریسک پاسخ به شوک‌های ارتباطی مهم است. مارتینز و همکارانش [۱۶] در مطالعه‌ای به درک تعاملات آب، انرژی، غذا و اکوسیستم با استفاده از ابزار شبیه‌ساز Nexus

1. Academic
2. Ecocity Builders, http://www.ecocitybuilders.org

www.SID.ir

Archive of SID

Nexsym پرداختند. تحقیق یادشده کارهای پیشین را گسترش داد تا دامنهٔ وسیع‌تر تعاملات مؤلفه‌ها را بتوان در نظر گرفت که می‌تواند تعادل منابع را سازگار کند. آنها رابطهٔ آب و انرژی در سطح محلی را بررسی کردند و نوعی ابزار شبیه‌سازی تحت عنوان Nexus Nexsym را در چارچوب تجزیه و تحلیل و شبیه‌سازی محلی ارائه دادند. لهمان [۱۷] در مطالعه‌ای به اجرای رویکرد Nexus شهری برای بهبود بهره‌وری منابع از شهرهای در حال توسعه در جنوب شرقی آسیا پرداخت. نتایج پژوهش ایشان نشان داد تفکر Nexus مفاهیم نوآورانهٔ اعمال‌شده در مدیریت فاضلاب و استفاده از فاضلاب تصفیه‌شده برای آبیاری، لجن آبگیری‌شده برای کود آلی و کمپوست در کشاورزی استفاده می‌شود. زیمینگ و همکارانش [۱۸] در مطالعه‌ای به بررسی مدیریت ارتباطات آب، انرژی و مواد غذایی و تحقیق در زمینهٔ منابع آب پرداختند. آنها چشم‌انداز رابطهٔ WEF را ارائه دادند و چگونگی ارتباط آن با منابع آب را مشخص کردند. چشم‌انداز آنها با فرایندهای مرتبط WEF، روابط ورودی و خروجی، نهادها و همپوشانی زیرساخت‌ها مشخص می‌شود. آنها این روابط را در فرایندها، سیستم‌ها، فناوری‌ها، زیرساخت‌ها و سیاست‌های کوچک بررسی کردند و راه‌کارهایی را برای محققان آب به منظور به اشتراک گذاشتن قوت‌های جوامع وسیع در حوزهٔ آب، غذا و انرژی ارائه دادند. حسین و همکارانش [۱۹] در مطالعه‌ای به ارزیابی ریسک در رابطهٔ آب، انرژی و مواد غذایی خانوارها تحت تأثیر تغییرات فصلی پرداختند. در مطالعهٔ یادشده ارزیابی ریسک در رویکرد آب، غذا و انرژی ارائه شد. در این رویکرد خطر تغییرات فصلی به عنوان احتمال و کمبود تقاضای سرانه برای آب، انرژی و مواد غذایی به عنوان ریسک تعریف شد.

بنابراین، به نظر می‌رسد که زیرساخت‌های سبز شهری ضروری‌اند و بیشتر در ساخت‌وسازهای شهرهای موجود تأثیرگذارند. استفاده از رویکرد WEF Nexus در چند سال اخیر برای بهره‌وری مناسب از منابع آب، غذا و انرژی در زمینه‌های مختلف به کار رفته است. با توجه به مطالعات انجام‌شده، تغییرات آب‌وهوایی، رشد جمعیت شهری و به تبع آن، افزایش دما در سطح شهرها و استفادهٔ مناسب از منابع سه‌گانهٔ این رویکرد پیاده‌سازی خواهد شد تا با توجه به روند رو به رشد جمعیت شهری و تغییرات اقلیمی در آینده شهرها برای تهیه و استفادهٔ درست از این منابع با مشکل روبه‌رو نشوند. تمرکز تحقیقات و پژوهش‌های ذی‌نفعان و دانشمندان بیشتر روی برنامه‌ها و روش‌های نوین برای صرفه‌جویی در منابع آب در بخش‌های گوناگون بوده است. با توجه به تغییرات اقلیمی و تأثیرات آن، به‌ویژه بر بارندگی و تأثیر مستقیم آن بر منابع آب و ارتباط با منابع غذا و انرژی، پژوهش حاضر قصد دارد موضوع پتانسیل گسترش شهری در آینده را با به کار بردن روش WEF Nexus در شهر بروجرد و اثبات پتانسیل کاهش تأثیر تغییر آب‌وهوا و سازگاری و بهره‌وری هرچه بیشتر از منابع آب موجود در شهر نشان دهد. پتانسیل ساختار فضای سبز در این منطقهٔ شهری با فرض اینکه ساختار فضای سبز بیشتری تا حد امکان در ساخت‌وساز موجود کامل می‌شود، ارزیابی شد که برای محاسبهٔ تأثیر هوای گرم و سیل ناشی از باران به طور مؤثری فضای سبز مورد نیاز خواهد بود. پژوهش حاضر به روش‌های مدیریت منابع آب، کشاورزی شهری و بهره‌وری انرژی در صورتی که زیرساخت‌های سبز شهری برای کشاورزی شهری استفاده شود، تأکید می‌کند.

مواد و روش‌ها

منطقهٔ مطالعه‌شده

منطقهٔ لرستان به دلیل واقع شدن در بستر پیشکوه‌های داخلی «زاگرس»، آب‌وهوای متنوع، رودهای پرآب و چند ناحیهٔ مستعد کشاورزی ازجمله دشت «سیلاخور» را داراست. شهر بروجرد از دیرباز شرایط مناسب جمعیت‌پذیری داشته است. وسعت شهر بروجرد در چارچوب محدودهٔ قانونی آن حدود ۳۵۵۰/۹۸ هکتار و جمعیت ساکن در این شهر بر اساس نتایج مهندسان مشاور امکو در سال ۱۳۹۰ حدود ۲۴۰۶۵۲ نفر بوده است. در نتیجه، عدد تراکم جمعیتی شهر که حاصل پراکنش جمعیت بر سطح معین تعریف‌شدهٔ آن است، در سال یادشده حدود ۶۵/۰۵ نفر در هکتار می‌شود که رشد و گسترش افقی شهر را نشان می‌دهد. آب‌های سطحی پیرامون شهر رودهای سراب سفید، گله‌رود، باغشاه، آبسرده هستند. رودهای جاری در پیرامون شهر بروجرد از نظر منابع اولیهٔ تأمین آب به دو دسته تقسیم می‌شوند: رودهایی که منابع تأمین آب آنها از ذخایر نزولات جوّی است و رودهایی که تأمین‌کنندهٔ آب آنها سفره‌های زیرزمینی‌اند. در پهنهٔ

www.SID.ir

Archive of SID

شهرستان بروجرد منابع آب زیرزمینی تنوع فراوانی دارند و کل تخلیهٔ سالانهٔ این منابع حدود ۳۸۶/۲ میلیون مترمکعب می‌شود که ۱۰۰/۴ میلیون مترمکعب متعلق به چاه‌ها، ۹۸ میلیون مترمکعب مربوط به قنات‌ها و ۱۸۷/۸ میلیون مترمکعب آن متعلق به چشمه‌هاست. در بروجرد حدود ۲۰ نوع سبزی و صیفی‌جات پرورش می‌یابند که می‌توان به درختان سیب، سبزیجات، گندم و جو اشاره کرد [۲۰]. در پژوهش حاضر شهر بروجرد به عنوان محدودهٔ مطالعاتی استفاده شد (شکل ۴).

رویکرد WEF Nexus

اطلاعات مربوط به میزان در دسترس قرار دادن آب شهر، میزان مصرف روزانهٔ جمعیت شهر، میزان فاضلاب شهری، اطلاعات مربوط به آب‌های سطحی و زیرزمینی و مصارف آنها از سازمان آب و ادارهٔ آب و فاضلاب شهر بروجرد تهیه شد. اطلاعات مربوط به کشاورزی مانند کشت و نوع محصولات، نوع کشت، نوع آبیاری، دورهٔ آبیاری، میزان نیاز غذای شهر، میزان واردات مواد غذایی از سایر شهرها و بیشترین محصولات کشت‌شده در شهر بروجرد از جهاد کشاورزی شهر دریافت شد. اطلاعات مربوط به میزان نیاز انرژی الکتریکی، میزان مصرف روزانهٔ شهر، تعداد اشتراک‌های مصرف‌کننده و نوع مصارف انرژی الکتریکی از ادارهٔ برق شهر بروجرد و اطلاعات مربوط به پسماند شهری نیز از مدیریت پسماند شهر تهیه شد.

ارتباطات آب، انرژی و امنیت غذایی

نبود امنیت غذایی، آب و انرژی به این معناست که سه امنیت یادشده با هم پیوند دارند و اقدامات در هر یک از این‌ها معمولاً در یک یا هر دوی دیگر تأثیر می‌گذارد. با توجه به اینکه جمعیت جهان حدود هشت میلیارد نفر است، با افزایش تقاضا برای خدمات اساسی و افزایش تمایل به استانداردهای زندگی بالاتر، نیاز به مراقبت بیشتری از منابع حیاتی مورد نیاز برای دست‌یابی به این خدمات و خواسته‌ها آشکار و الزامی شده است [۲۱].

- امنیت آب در اهداف توسعهٔ هزاره[1] به عنوان «دسترسی به آب آشامیدنی سالم و بهداشت» تعریف شده است که هر دوی آنها اخیراً به حق انسانی تبدیل شده‌اند. در حالی که بخش عمده‌ای از تعاریف امنیت آب در دست نیست، دسترسی به آب برای سایر کاربردهای انسانی و اکوسیستم از دیدگاه ارتباطی نیز بسیار مهم است [۲۲].
- امنیت انرژی به عنوان «دسترسی به خدمات انرژی پاک، قابل اعتماد و مقرون‌به‌صرفه برای پخت‌وپز و گرمایش، نورپردازی، ارتباطات و کاربردهای تولیدی» تعریف شده و به عنوان دسترسی فیزیکی بدون وقفهٔ انرژی با توجه به نگرانی‌های محیطی مقرون‌به‌صرفه است [۲۳].
- تأمین مواد غذایی توسط سازمان غذا و کشاورزی[2] به عنوان «دسترسی به غذای کافی و سالم برای رفع نیازهای غذایی و تنظیم غذا برای یک زندگی سالم و فعال» تعریف شده است. غذای مناسب نیز به عنوان حق انسانی تعریف شده است [۲۴].

تعاملات میان بخش‌های آب، انرژی و امنیت غذایی

تعاملات میان آب، انرژی و غذا زیاد و درخور توجه است. آب برای استخراج، معدن‌کاری، پردازش، تصفیه و دفع پسماندهای سوخت‌های فسیلی و همچنین به منظور رشد مواد اولیه برای سوخت‌های زیستی و تولید برق استفاده می‌شود. نیاز آب در بخش انرژی متفاوت است، به طوری که تولید نفت و گاز به آب بسیار کمتری نسبت به نفت از شن و ماسه و یا سوخت‌های زیستی[3] نیاز دارد. انتخاب سوخت‌های زیستی برای تولید انرژی، به تعادل دقیق آب مورد نیاز احتیاج دارد، زیرا آب‌های مورد استفاده برای تولید مواد اولیهٔ سوخت‌های زیستی، برای رشد مواد غذایی نیز قابل استفاده‌اند. بسیاری از شکل‌های تولید انرژی از طریق سوخت‌های فسیلی علاوه بر داشتن آب فراوان، به‌ویژه استخراج از شن و ماسه و شیل و استخراج از طریق شکستن هیدرولیکی[4]، بسیار آلودگی دارند.

تولید مواد غذایی همچنان بزرگ‌ترین مصرف‌کنندهٔ منابع آب شیرین در سطح دنیاست. صنعت کشاورزی در جهان به طور متوسط ۷۰ درصد از آب شیرین را مصرف می‌کند که در برخی کشورها این میزان به ۸۰ــ ۹۰ درصد

1. Millennium Development Goals (MDGs)

2. FAO
3. Biofuels
4. Hydraulic fracturing

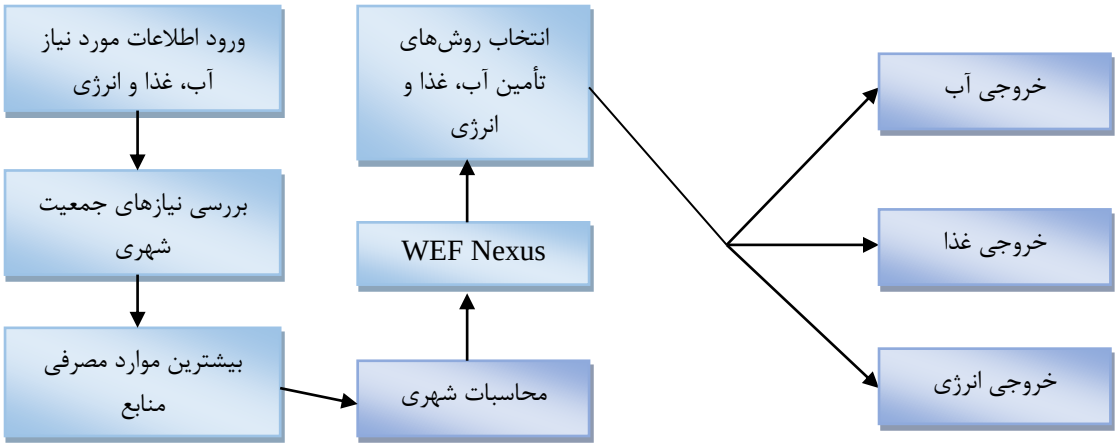
www.SID.ir

Archive of SID

نیز می‌رسد [۲۵]. بنابراین، در بخش کشاورزی مصرف آب شیرین بیش از حد معمول است. تولید مواد غذایی بیشتر در بخش آب از نظر تخریب زمین، تغییر در رواناب، اختلال در تخلیهٔ آب‌های زیرزمینی، کیفیت آب، دسترسی آب و زمین به مقاصد دیگر مانند زیستگاه طبیعی تأثیر می‌گذارد. افزایش تولید که به مکانیزه کردن و دیگر اقدامات مدرن منجر شده، با قیمت زیاد انرژی به وجود آمده است، زیرا زنجیرهٔ غذایی و زنجیرهٔ تأمین تقریباً ۳۰ درصد از کل تقاضای جهانی را به خود اختصاص می‌دهد. انرژی آماده‌سازی زمین، تولید کود، آبیاری و کاشت، برداشت و حمل‌ونقل محصولات کشاورزی است. ارتباطات بین مواد غذایی و انرژی در سال‌های اخیر کاملاً مشهود است [۲۵].

WEF Nexus Tools 2.0

جامعهٔ جهانی با پیامدها، چالش‌ها و خطرهای جدیدی مواجه است که با مدیریت فعلی منابع ارتباط مستقیمی دارد. بنابراین، ارائهٔ رویکردهای پایدار برای مقابله با این خطرها ضروری است. درواقع، ماهیت روابط آب، غذا و انرژی سبب تغییر در مدیریت رویکرد از منابع به روش‌های بهتر و جدیدتر می‌شود. چارچوب رویکرد WEF نوعی مدل پویا را برای یکپارچه‌سازی سیستمی منابع در تمامی برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری‌ها ارائه می‌دهد. بنابراین، فرصتی را برای حل مسائل و مشکلات حاضر و پاسخ به پرسش‌های مربوط به آب، غذا و انرژی تحت رویکردی کامل که نشان‌دهندهٔ روابط چندبعدی و بین‌رشته‌ای است، فراهم می‌کند. واضح است که تولید انرژی به آب نیاز دارد و بخش کشاورزی بزرگ‌ترین مصرف‌کنندهٔ آب شیرین است [۲۶]. این رویکرد به کاربر اجازه می‌دهد که سناریوهای مختلفی را برای پایداری منابع آب، غذا و انرژی در کشورهایی که واردکننده هستند، به وجود بیاورد. خروجی می‌تواند شامل خلاصه‌های آب مورد نیاز (m^3)، انرژی محلی مورد نیاز (kj)، انتشار محلی کربن (ton co_2)، زمین مورد نیاز (ha)، نیاز مالی (QAR)، انرژی مصرفی از طریق واردات (kj)، انتشار کربن از طریق واردات (ton co_2) باشد. نمودار شماتیک اجرای رویکرد در شکل ۱ نمایش داده شده است.



شکل ۱. نمودار شماتیک مراحل اجرای مدل WEF Nexus شهری

اطلاعات منطقهٔ مطالعه‌شده

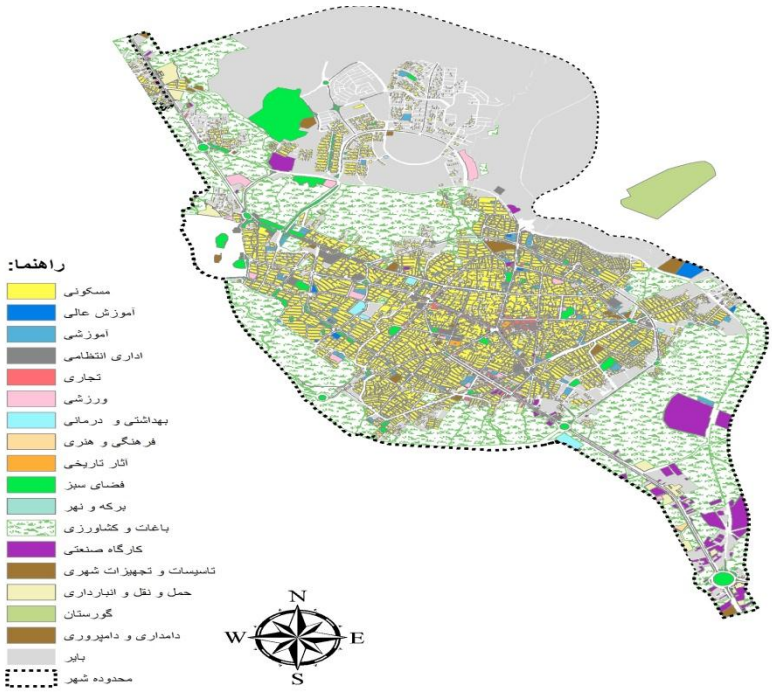
مجموعه داده‌های ریخت‌شناسی شهری و ویژگی‌های سطوح شهری از طریق سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان لرستان و شهرداری شهر بروجرد فراهم شد. آمارهای جدولی جمعیت در سطح بلوک و شهر از طریق بخش آمار سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان تهیه شد. داده‌های آمارگیری شامل آمارگیری نفوس که از طریق گروه‌های سنی و در بازه‌های پنج‌ساله نوشته شد، عمر ساختمان‌ها، ویژگی‌های ساختمان و آمارهای کمیت و استفاده از کف زمین تهیه شد. تراکم ساختمان‌ها و تراکم جمعیت بر این اساس محاسبه شد. آمارها با استفاده از ArcGIS به عنوان سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) محاسبه شدند. آمارهای فضایی و جدولی که در ArcGIS از طریق شماره‌گذاری بلوک‌ها و خانه‌ها به هم متصل‌اند، با توجه به نگرشی یکپارچه و اصل محاسبهٔ همهٔ داده‌های موجود تهیه شده‌اند. محاسبهٔ سطح منطقه به عنوان کاری استاندارد در ArcGIS برای منطقهٔ درون حیاط بلوک‌ها و سطح پشت‌بام‌ها اجرا شد. برای محاسبهٔ سطح نما، طول نما از طریق تعداد طبقات که هر

www.SID.ir

Archive of SID

یک ۳/۲۰ در نظر گرفته شده‌اند، چند برابر شد. نمای جلوی ساختمان‌ها از این محاسبات کنار گذاشته شد، زیرا هیچ‌گونه تغییری در آنها مجاز نیست. برای ارزیابی‌ها ۱۳ درصد از ساختمان‌های یک‌طبقه مسکونی و بقیه گاراژ و... هستند، از ساختمان‌های دوطبقه ۱۵ درصد آنها محاسبه شد و باقی کارگاه و... در نظر گرفته شدند که غیرمسکونی‌اند و در پژوهش حاضر حذف نشده‌اند.

- ساختمان‌ها سه‌طبقه و بیشتر مسکونی فرض شدند.
- پشت‌بام‌های تخت و پشت‌بام‌هایی با زاویه تا ۱۵ درجه برای کشاورزی بدون اصلاح خاصی مناسب‌اند.
- پشت‌بام‌های با بیشتر از ۱۵ درجه برای برداشت آب باران مناسب‌اند و ۱۵ درصد از سقف‌های شهر شیروانی تخمین زده شد.
- نماهای ساختمان به غیر از جلوی ساختمان، برای کشاورزی شهری عمودی مناسب‌اند.
- حدود ۳۰ درصد ساختمان‌ها پارکینگ به ارتفاع ۲/۵ متر دارند و عرض و طول پارکینگ‌ها ۱۰ متر در نظر گرفته شد.
- افزایش زیرساخت‌های سبز به همان اندازه مجاز است که ساخت‌وساز مجاز است.



شکل ۲. نقشهٔ کاربری اراضی شهرستان بروجرد به تفکیک فضاها

پردازش داده‌های اقلیمی

در پژوهش حاضر، از خروجی مدل HADGEM2 تحت دو سناریوی انتشار RCP2.6 و RCP8.5 مربوط به پنجمین گزارش ارزیابی هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم، استفاده شد. برای دسترسی به داده‌های مربوط به منطقهٔ مطالعاتی در دوره‌های ۲۰ سالهٔ پایه و آتی، با وارد کردن مختصات مکانی موقعیت مد نظر و همچنین طول آماری مورد نیاز سری‌های زمانی دما و بارش در دورهٔ پایه (۱۹۸۶ــ ۲۰۰۵) و دورهٔ آتی (۲۰۲۰-۲۰۳۹)، خروجی ماهانهٔ این متغیرها در دو دورهٔ زمانی به دست می‌آید. برای اجرای اولیهٔ مدل LARS-WG ابتدا دو فایل ورودی آماده شد، که یک فایل شامل نام، عرض جغرافیایی، طول جغرافیایی و ارتفاع مربوط به ایستگاه اندازه‌گیری داده‌های هواشناسی است و فایل دیگر شامل داده‌های هواشناسی ورودی به مدل که به‌ترتیب از سال کم به زیاد مرتب شده و شامل سال، شمارهٔ روز، کمترین دما، بیشترین دما، بارش و ساعت‌های آفتابی (دلخواه) روزانه می‌شود.

در قسمت نخست که واسنجی مدل نام دارد، به کمک آنالیزهای مدل روی داده‌های ورودی دو فایل به دست می‌آید. یک فایل شامل خصوصیات آماری داده‌های مشاهداتی است مانند طول سری‌های خشک و مرطوب به صورت فصلی و میانگین و انحراف معیار دوره‌های خشک و

www.SID.ir

Archive of SID

مرطوب به صورت ماهانه و... همچنین، با استفاده از توزیع‌های تجربی فصلی دوره‌هایی از سرما و گرما مدل‌سازی شد. فایل دیگر پارامترهای استفاده‌شده توسط مدل LARS-WG برای بازتولید داده‌های مشاهداتی است که بازه‌های هیستوگرام ماهانه و فراوانی رخدادهای مربوط به هر یک از بازه‌ها برای بارش، طول دوره‌هایی از سری‌های خشک و مرطوب و تشعشعات آفتابی، ضرایب فوریه مربوط به میانگین و انحراف معیار، بیشترین و کمترین دما در دوره‌های خشک و مرطوب به صورت جداگانه، متوسط خودهمبستگی مربوط به حداقل و حداکثر دما و تشعشعات آفتابی را نشان می‌دهد.

بعد از واسنجی مدل، توانایی آن برای شبیه‌سازی اقلیم در ایستگاه منتخب ارزیابی می‌شود. در این مرحله داده‌های ساختگی با فرض اینکه هیچ‌گونه تغییر اقلیمی وجود ندارد برای هر تعداد سال دلخواه مبتنی بر فایل پارامتر ایستگاه منتخب تولید شده و در دو فایل ذخیره می‌شود. سپس، مشخصه‌های آماری داده‌های هواشناسی مشاهده‌شده و ساختگی برای تعیین اینکه آیا اختلاف های درخور توجه آماری وجود دارد یا نه، تحلیل می‌شوند.

در مرحلهٔ سوم که تولید داده‌های هواشناسی نام دارد، داده‌های هواشناسی (کمترین دما، بیشترین دما و بارش) برای هر تعداد سال دلخواه طبق سناریوی تغییر اقلیم خاصی در آینده شبیه‌سازی می‌شوند. مدل برای تولید سری‌های زمانی روزانهٔ دما و بارش در آینده نیاز به معرفی فایل سناریوی تغییر اقلیم دارد که در بخش قبل به آن اشاره شد. در نهایت، با استفاده از بخش تولیدکنندهٔ آب‌وهوا، مقادیر سری زمانی داده‌های روزانهٔ دما و بارش تولید خواهد شد.

نرم‌افزار نت‌وات و کرپ‌وات

نرم‌افزار نت‌وات که به عنوان سند ملی آب نیز معروف است، برای برآورد نیاز آبی گیاهان باغی و زراعی در ایران به کار برده می‌شود. این نرم‌افزار در واقع خروجی و نتیجهٔ طرح «نیاز خالص آبیاری محصولات زراعی و باغی ایران» است که توسط وزارت جهاد کشاورزی و سازمان هواشناسی انجام گرفته است. در این نرم‌افزار اطلاعات مربوط به تبخیر و تعرق گیاهان کشت‌شده در ۶۲۰ دشت ایران موجود است. اساس روش محاسباتی نرم‌افزار، استفاده از روش پنمن مانتیث فائوست [۲۷].

برآورد تبخیر و تعرق یکی از نیازهای اساسی طراحی سیستم آبیاری و ساختمان‌های ذخیره و انتقال آب است. به خصوص در کشور ما که دچار کمبود منابع آب هستیم، ارزیابی دقیق نیاز آبی، ضرورت دارد. محاسبهٔ این معیار از طریق تبخیر و تعرق گیاه مرجع انجام می‌شود. پنمن- مانتیث از جمله معروف‌ترین روش‌هاست. مانتیث[1] (۱۹۶۵) در روش پنمن پارامترهای مربوط به مقاومت روزنه‌های تاج گیاه و مقاومت آئرودینامیکی را وارد کرد. معادلهٔ اولیهٔ پنمن- مانتیث با ترکیب روابط مربوط به مقاومت روزنه‌های تاج گیاه و مقاومت آئرودینامیکی با عنوان معادلهٔ پنمن- مانتیث- فائو ارائه شد [۲۸]. آلن و همکارانش (۱۹۹۸) در نشریهٔ ۵۶ فائو پنمن- مانتیث را به عنوان روشی استاندارد و جهانی معرفی می‌کند که به شکل زیر ارائه شده است (رابطهٔ ۱):

$$ET_c = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \qquad (1)$$

که در آن ET_0: تبخیر و تعرق گیاه مرجع $[mm\ day^{-1}]$، R_n: تشعشع خالص در سطح محصول $[MJ\ m^{-2}\ day^{-1}]$، G: شدت جریان گرمایی خاک $[MJ\ m^{-2}\ day^{-1}]$، T: متوسط روزانهٔ دمای هوا در ارتفاع دو متری [C]U، U_2: سرعت باد در ارتفاع دو متری $[ms^{-1}]$، e_s: فشار بخار اشباع [KPa]، e_a: فشار بخار حقیقی [KPa]، $e_s - e_a$: کمبود فشار بخار اشباع [KPa]، γ: ثابت سایکرومتری $[KPa^0C^{-1}]$، Δ: شیب منحنی فشار بخار اشباع برحسب $kPaK^{-1}$ هستند. آخرین نسخهٔ کرپ‌وات قادر است نیاز آبی حدود ۳۰ محصول مختلف را به صورت ترکیبی ارزیابی کند و برای هریک از محصولات، برنامهٔ آبیاری ارائه دهد [۲۹].

نتایج

خروجی مدل‌های اقلیمی

در سناریوی RCP2.6 تغییرات بارش در ماه‌های فصل زمستان از ژانویه تا مارس به صورت افزایشی، ولی در سناریوی RCP8.5 کاهشی خواهد بود و تا ۲۰ درصد کاهش

1. Monteith

www.SID.ir

Archive of SID

را تجربه خواهد کرد. در ماه‌های فصل بهار، این دو سناریو تغییرات مشابه خواهند داشت و در شرایط نسبتاً برابر با دورهٔ پایه قرار خواهند گرفت. در فصل تابستان هر دو سناریو تا ۴۰ درصد کاهش را تجربه خواهند کرد. طی فصل پاییز سناریوی RCP2.6 تا ۲۰ درصد افزایش بارش و سناریوی RCP8.5 حدود ۱۰ درصد کاهش را تجربه خواهند کرد.

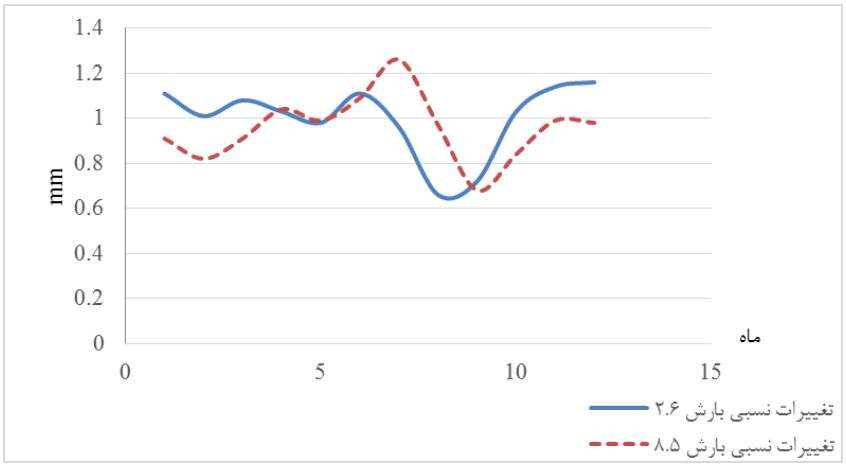
با توجه به تغییرات دمای کمینه در هر دو سناریو حداقل ۱/۵ درجه افزایش دما اتفاق خواهد افتاد. بیشترین افزایش دما در ماه‌های فصل پاییز اتفاق خواهد افتاد و تا ۲/۵ درجه افزایش در ماه اکتبر را نشان خواهد داد. سناریوی RCP2.6 به طور متوسط ۰/۵ درجه کمتر از سناریوی RCP8.5 افزایش دما را پیش‌بینی کرده است.

تغییرات دمای بیشینه نشان‌دهندهٔ افزایش حداقل ۲ درجه‌ای دما در هر دو سناریوست. برای این پارامتر اقلیمی در فصل زمستان بیش از ۲/۵ درجه افزایش دما در سناریوی RCP8.5 و در فصل پاییز حدود ۳ درجه افزایش دما را نشان داد.

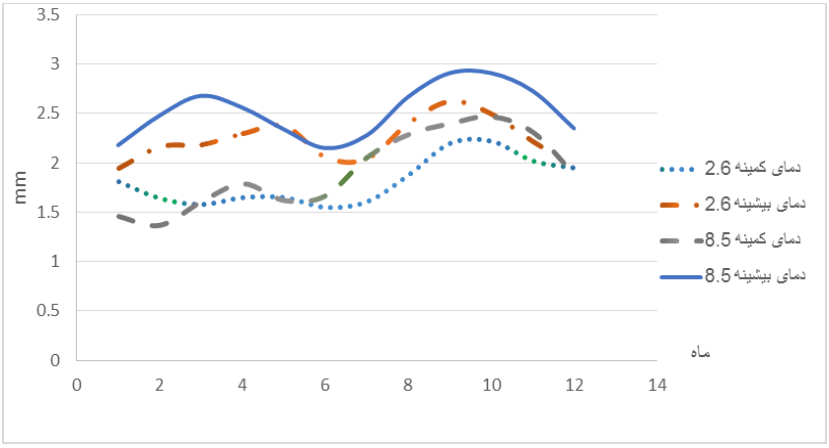
خروجی مدل GIS

با توجه به توضیحات و اطلاعاتی که از ادارات مرتبط جمع‌آوری شد، نقشه‌های مدل شهر به منظور محاسبهٔ سطوح مد نظر ترسیم شد. همچنین، برای تفکیک فضاهای موجود در شهر بروجرد، تعداد کل ساختمان‌ها، تعداد بلوک‌ها و سایر اطلاعات نقشهٔ کاربری اراضی وضع موجود در شکل ۲ ارائه شد.

در ضمن، سقف‌های با زاویه تا ۱۵ درجه و بیشتر از آن برای محاسبات در بخش‌های بعدی پژوهش، در جدول ۱ نمایش داده شد.



شکل ۳. نمودار مقایسهٔ تغییرات نسبی بارش در RCP2.6 و RCP8.5



شکل ۴. نمودار مقایسهٔ تغییرات دمای بیشینه و کمینه در سناریوهای RCP2.6 و RCP8.5

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱. مساحت سقف‌های مورد نیاز و حجم پارکینگ‌ها

تعداد بلوک مسکونی شیروانی	مساحت کل شیروانی‌ها (m^2) ($s>15^o$)	مساحت غیرشیروانی (m^2) ($s<15^o$)	حجم کل پارکینگ‌ها (m^3)
۵۳۰	۱۳۶۱۳۶۱	۷۳۱۴۴۵۳	۷۱۸۵۰۰

جدول ۲. بررسی نیاز آبی محصولات با استفاده از نرم‌افزار NETWAT و CROPWAT در مدل نرم‌افزاری شهر بروجرد

نوع محصول	منطقه (ha)	نیاز آبی هر هکتار (m^3) (NETWAT)	نیاز مدل نرم‌افزاری شهر (m^3)	نیاز آبی هر مرحله (mm/dec) (CROPWAT)
انگور	۸۸	۹۲۷۰	۸۱۵۷۶۰	۴۱۲
سیب	۱۰۴	۱۱۳۵۰	۱۱۸۰۴۰۰	۴۶۰
سبزیجات برگی (چاشنی)	۳۳۱	۷۳۰۰	۲۴۱۶۳۰۰	۱۴۲/۵
کاهو	۴۰۰	۷۲۰۰	۲۸۸۰۰۰۰	۱۴۲/۷

پیاده‌سازی رویکرد WEF Nexus

آب

در بروجرد به دلیل وجود آب‌های سطحی مناسب و بالا بودن سطح آب‌های زیرزمینی، روش‌های سیستماتیک برای آبیاری محصولات وجود ندارد. البته، در سال‌های اخیر و با توجه به کاهش بارش‌ها، روش آبیاری درختان و مزارع به سمت آبیاری تحت فشار و قطره‌ای سو گرفته است، ولی هنوز هم در بعضی مزارع هنگامی که محصول به آبیاری نیاز دارد، آب به راحتی استفاده می‌شود. درختان انگور و سیب در بروجرد به آبیاری نیاز دارند. براساس نت‌وات کل تقاضای خالص آبیاری برای انگور ۹۲۷۰ مترمکعب در هکتار، سیب ۱۱۳۵۰ مترمکعب در هکتار، سبزیجات برگی (چاشنی) ۷۳۰۰ مترمکعب در هکتار و کاهو ۷۲۰۰ مترمکعب در هکتار طی یک دورهٔ رشد گزارش شده است. با توجه به افزایش دما در سال‌های آتی و کاهش بارش باران و تأثیر آن بر منابع آب باید در روش‌های آبیاری سنتی تجدید نظر شود و استفاده از طرح‌های مکانیزهٔ آبیاری ضروری است. کل تقاضای آب برای محصولات مد نظر در مدل شهری طی یک دورهٔ رشد در جدول ۲ ارائه شد.

منابع آبی بروجرد برای ۲۴۰۶۵۲ نفر جمعیت ساکنانش، ۲۲ میلیون مترمکعب آب در سال تولید می‌کند. از این مقدار تولیدشده، حدود ۱۷ میلیون مترمکعب در دسترس قرار می‌گیرد و پنج میلیون مترمکعب باقی‌مانده هدررفت ناشی از نشت منابع و لوله‌کشی شهری است [۳۰]. میانگین مصرف آب شیرین در بروجرد برای هر نفر در روز ۱۹۶/۲۲ لیتر است [۳۰]. از این مقدار مصرف آب در شهر بروجرد حدود ۷۵ درصد آن برای سیفون، سینک ظرفشویی و... استفاده می‌شود [۳۰]. اگر آب سیاه و آب خاکستری قابل استفاده باشد، بعد از تصفیهٔ آن، آب موجود برای استفادهٔ مجدد حدود ۷۵ درصد فاضلاب خروجی است. فاضلاب روزانه در شهر ۳۵۴۱۶/۶ مترمکعب در روز است. کل فاضلاب تولیدی بروجرد در سال ۱۲۷۵۰ هزار مترمکعب است. فاضلاب تولیدی روزانه در شهر به طور تئوریک تقاضای آبیاری سبزیجات و درختان را فراهم می‌کند. فاضلاب شهر را می‌توان تصفیه کرد تا به طور محلی دوباره استفاده شود. بنابراین، چون شهر بروجرد در سال‌های آینده با کاهش بارش باران مواجه خواهد بود که ناشی از تغییرات آب‌وهوایی است، فاضلاب تولیدی شهر می‌تواند منبع آب برای آبیاری محصولات باشد. منبع مهم دیگر در شهر بروجرد که بهره‌برداری نمی‌شود، بارش باران است. همان‌طور که بررسی شد، سطوح بام‌هایی که از ۱۵ درجه بیشتر شیب دارند و نمی‌توانند برای کشاورزی بدون اصلاح به کار برده شوند را می‌توان برای برداشت آب باران استفاده کرد. همچنین، از کف خیابان‌ها و دیگر سطوح که کشاورزی نمی‌شوند، می‌توان برای برداشت آب باران استفاده کرد. کل منطقهٔ بام‌ها برای این کار در مدل نرم‌افزار ۱۳۶/۱۳ هکتار است. با توجه به بارش‌های پیش‌بینی‌شده در سال‌های گذشته و تغییرات بسیار کم در بارش سالانه، میزان بارش بین ۰/۴ تا ۰/۵ متر متغیر است که ۰/۴۵ متر فرض شد.

www.SID.ir

Archive of SID

همان‌طور که سطوح محاسبه شد، با توجه به رابطهٔ ۲ می‌توان میزان حجم آب باران را محاسبه کرد.

$$Vp = PS_G \quad (۲)$$

که در آن V_P کل بارش، p مقدار بارش و S_G مساحت سطوح شیروانی است. حجم بارش به‌دست‌آمده از بارش ۶۱۲۶۱۲/۴۵ مترمکعب در سال است، یعنی حجم کل آب باران موجود در مدل شهر برای پوشش دادن مقداری از تقاضای آب شیرین فعلی شهری مناسب است که به‌طور فرضی ۳/۶ درصد منبع آب شیرین را کاهش می‌دهد. برای ذخیرهٔ آب باران هم می‌توان پارکینگ‌های زیرزمینی که در جدول ۱ محاسبه شد را به مخازن آب تبدیل کرد. حجم این پارکینگ‌ها ۷۱۸۵۰۰ مترمکعب است که ظرفیت ذخیرهٔ آب محاسبه‌شده کمتر از حجم پارکینگ‌هاست، پس برای ذخیره‌سازی آب حاصل از باران محاسبه‌شده به لحاظ حجمی مشکلی وجود ندارد. با توجه به محاسبات، اگر در زیرساخت‌های شهری آب حاصل از باران قابل جمع‌آوری نباشد، با توجه به شیب شهر و مسیر حرکت آب باران که به سمت جنوب شهر و به رودخانهٔ فصلی منتهی می‌شود، می‌توان زیرساخت‌هایی را در محل تلاقی و خروجی آب از سطح شهر فراهم آورد تا بیشترین استفاده را از این منبع آب شیرین در شهر بروجرد داشت.

غذا

کشاورزی شهری در مدل نرم‌افزاری بروجرد درون بلوک‌ها قابل محاسبه است. اگر سطوح زمین و ساختمان‌های فرسوده و غیرقابل استفاده حذف شوند و سطوح دیگر مانند پارکینگ ماشین‌ها اضافه شوند، منطقهٔ به‌دست‌آمده ۲۱ هکتار است. اگر در کل شهر و درون بلوک‌ها فضای سبز در نظر گرفته شود، کل مساحت این فضاها ۱۰۴ هکتار است. در نتیجه، کل منطقهٔ شهری موجود در مدل نرم‌افزاری شهر برای کشاورزی شهری ۱۲۵ هکتار است. علاوه بر این، مساحت بام‌های مسطح با زاویهٔ کمتر از ۱۵ درجه، ۷۳۱ هکتار خواهد بود. در نهایت، نماهای ساختمان‌ها در نظر گرفته شدند (غیر از نمای جلوی ساختمان) و فرض شد که نماهای جنوبی، جنوب غربی و غربی مناسب‌ترین هستند. در کل، شهر بروجرد ۴۸۸ هکتار برای کشاورزی عمودی شهری محاسبه شد.

کل منطقهٔ موجود برای کشاورزی شهری در مدل نرم‌افزاری شهر بروجرد ۱۴۶۹ هکتار شد. به دلیل اینکه غذاهایی مانند غلات را نمی‌توان به‌خوبی در سطح‌های کوچک درون بلوک‌های شهری پرورش داد، از کاشت غلات صرف‌نظر شد، اما ممکن است برای پرورش درخور توجهی از سبزیجات و میوه‌ها امکان‌پذیر باشد. برای ارزیابی پتانسیل محصولات در بلوک‌های شهری مدل نرم‌افزاری با استفاده از منطقهٔ موجود فرض شد که زمین برای رشد میوه‌های درختی مناسب باشد و پشت‌بام‌ها برای پرورش سبزیجات مناسب باشند. بنابراین، تمام مساحت‌های موجود در شهر تقسیم‌بندی شدند. فضای پشت‌بام‌ها برای کاشت سبزیجات و بقیهٔ فضاهای شهری برای کاشت درختان میوه استفاده شد. علاوه بر این، در پژوهش حاضر چند نوع میوه و سبزیجات در کشت شهری در سطوح عمودی و افقی به منظور بیشترین بازدهی محصول در هکتار بررسی شد. حدود ۲۰ نوع سبزی و صیفی‌جات که اغلب در بروجرد پرورش می‌یابند، در نظر گرفته شدند. برای اینکه محصول انتخابی از منابع آب کمتری مصرف کند و طول دورهٔ آماری کمتر و پتانسیل بیشتری داشته باشد، از نرم‌افزار کرپ‌وات و نت‌وات استفاده شد.

در پژوهش حاضر، برای سهولت در انجام محاسبات، کل منطقهٔ افقی برای کشاورزی استفاده شد. برای کشاورزی عمودی شهر روی سطوح نماها غلات انتخاب شد. این محصولات در شهر بروجرد به دلیل آب‌وهوای مناسب و گرم تابستان به خوبی رشد می‌کنند، اما فرض شد که انواع خاصی از محصولات در شهر بروجرد کاشت می‌شود. با توجه به اینکه بام‌های سبز استفاده‌شده برای کشاورزی شهری در پژوهش حاضر تأثیر گرما را کاهش می‌دهند، اما هنوز دمای تابستانی تحت تغییر آب‌وهوایی در شهر بروجرد گرم خواهد بود و برای رشد غلات مناسب است. برای محصولات غلات پرورشی در سطوح عمودی شهرها، هیچ‌گونه اطلاعاتی موجود نیست، بنابراین محصول ۸ t/ha در نظر گرفته شد که میانگین عملکرد محصول، غلات پرورش‌یافته در شهر بروجرد است. بنابراین، با استفاده از اطلاعات در دسترس، کل منطقهٔ موجود برای سبزیجات (منطقهٔ پشت‌بام‌ها) ۷۳۱ هکتار است که از این مقدار مساحت ۳۳۱ هکتار برای سبزیجات برگی (چاشنی) و ۴۰۰ هکتار آن برای کاهو در نظر گرفته شد. فضای سبز و قسمتی از سطوح بسته‌شدهٔ پارکینگ‌های بلوک‌ها برای

www.SID.ir

Archive of SID

کاشت درختان سیب شامل ۸۰ هکتار در نظر گرفته شد. همچنین، ۴۵ هکتار از فضاهای سبز برای رشد درخت انگور در نظر گرفته شد. مقدار ۴۸۸ هکتار باقی‌مانده از سطوح عمودی برای کاشت غلات استفاده شد. عملکرد بالقوهٔ محصول برای میوه و سبزیجات در مدل نرم‌افزاری در جدول ۳ ارائه شد.

با اضافه کردن عملکرد محصول سبزیجات برگی و کاهو، کل عملکرد سالیانهٔ سبزیجات در مدل نرم‌افزاری ۴۷۷۹۰ تن است. همچنین، با اضافه کردن عملکرد محصول انجیر سیاه، انگور و سیب، کل پتانسیل میوه در مدل نرم‌افزاری به ۳۷۴۰ تن می‌رسد. سازمان بهداشت جهانی پیشنهاد می‌کند که هر فرد حداقل ۴۰۰ گرم میوه و سبزیجات در روز برای رژیم سالم یا ۲۰۰ گرم از هر یک استفاده می‌کند [۳۱]. از کل جمعیت ۲۴۰۶۵۲ نفری در بلوک‌های شهری بروجرد، ۱۶۹۲۵ کودک زیر ۱۵ سال هستند (۱۳۹۰) که رژیم سالم برای آن‌ها شامل میوه و سبزیجات نیز می‌شود و مواد غذایی را به میزان درخور توجهی مصرف می‌کنند. از این رو، رژیم غذایی میوه و سبزیجات مورد نیاز برای جمعیت با توجه به رابطهٔ ۳ محاسبه شد:

$$f_D = ۰/۴(P) \qquad (۳)$$

که در آن f_D میزان نیاز میوه و سبزیجات در یک روز (kg) و p جمعیت شهر، ضریب ۰/۴ میزان مصرف هر نفر در روز (kg) است. برای محاسبهٔ میزان مصرف سالانه، f_D در ۳۶۵ روز ضرب شد (رابطهٔ ۴).

$$f_y = f_D \times ۳۶۵ \qquad (۴)$$

که در آن f_y میزان نیاز میوه و سبزیجات در یک سال (kg)، f_D میزان نیاز روزانهٔ میوه و سبزیجات و ۳۶۵ تعداد روزهای سال است. در جدول ۴ میزان نیاز میوه و سبزیجات و تولید آن‌ها در مدل نرم‌افزاری به تفکیک آورده شد.

با توجه به جدول ۴، نیاز میوه و سبزیجات هر یک جداگانه ۱۷۵۶۷/۷۴ تن در سال است. با توجه به تولیدات کشاورزی شهری نتیجه گرفته شد که عملکرد محصول در مدل نرم‌افزاری می‌تواند ۲۱/۲۹ درصد از تقاضای سالانهٔ میوه و ۲۷۲ درصد از تقاضای سالانهٔ سبزیجات محلی را تأمین کند. برای کمبود ۷۸/۷۱ درصد میوه از اضافه تولید سبزیجات برگی (چاشنی) برای فروش و خرید میوه پیشنهاد شد. همچنین، بام‌های سبز می‌توانند به خنک شدن هوای شهری نیز طی فصل گرما کمک کنند.

جدول ۳. عملکرد بالقوهٔ میوه و سبزیجات در مدل نرم‌افزاری

	نوع محصول	منطقه (ha)	عملکرد محصول (t/ha)	بازده بالقوهٔ تن در سال
سبزیجات	سبزیجات برگی (چاشنی)	۳۳۱	۳۰	۲۹۷۹۰
	کاهو	۴۰۰	۴۵	۱۸۰۰۰
میوه	انگور	۴۵	۱۲	۵۴۰
	سیب	۸۰	۴۰	۳۲۰۰

جدول ۴. میزان نیاز و تولید سالانهٔ میوه و سبزیجات مدل شهر بروجرد

جمعیت	میزان نیاز میوه (t/y)	تولید میوه در مدل نرم‌افزاری (t/y)	میزان نیاز سبزیجات برگی (چاشنی) (t/y)	تولید سبزیجات در مدل نرم‌افزاری (t/y)
۲۴۰۶۵۲	۱۷۵۶۷/۷۴	۳۷۴۰	۱۷۵۶۷/۷۴	۴۷۷۹۰

انرژی

مصرف کلی الکتریسیتهٔ شهر بروجرد در سال ۲۰۸۳۲۱/۶۴ مگاوات ساعت است، یعنی ۱۱۶۷۲۰ مشترک شهر بروجرد به طور متوسط ۱/۷۸ مگاوات ساعت الکتریسیته مصرف می‌کنند که این میزان مصرف برای تأمین آب گرم، فریز کردن، روشنایی و دیگر مصارف خانگی که مصرف الکتریکی دارند، استفاده می‌شود. روش‌های خوبی که در سایر شهرهای بزرگ در حال انجام است و قبلاً بیان شد، استفاده از لجن آب خاکستری و پسماند شهری برای تولید بیوگاز و الکتریسیته است. به صورت فرضی اگر در مدل

www.SID.ir

Archive of SID

نرم‌افزاری شهر بروجرد افراد به همان اندازه که در حال حاضر مصرف دارند، انرژی مصرف کنند، می‌توان از میزان پسماند شهری مقداری از الکتریسیته و انرژی برای شهر تولید کرد. کل زبالهٔ تولیدی در شهر بروجرد حدود ۲۵۰ تن در روز است، یعنی سرانهٔ تولید زباله به ازای هر نفر در روز ۱/۰۳ کیلوگرم است.

مقدار انرژی تولیدی از یک سیستم تبدیل انرژی پسماند برای ظرفیت t/d ۲۵۰ برآورد شد. مقدار انرژی پسماند همان‌طور که محاسبه شد، برابر $(^{kj}/_{kg})$ ۱۱۷۸۱/۱ است. مقدار انرژی به دو روش: ۱. سیستم ترکیبی از گازساز بستر سیال- موتور احتراق داخلی- تولیدکنندهٔ الکتریکی و ۲. سیستم متشکل از ترکیب پسماندسوز شهری- دیگ بخار- توربین بخار- تولیدکنندهٔ الکتریکی محاسبه شد. با توجه به بررسی‌ها با روش یک واحد تولیدکننده- موتور- گازساز (MW)۶/۲ و با روش یک واحد دیگ بخار- توربین- تولیدکنندهٔ الکتریکی (MW)۵ انرژی الکتریکی تولید شد. با توجه به اینکه کل انرژی الکتریکی مصرفی در مدل نرم‌افزاری شهر بروجرد ۵۷۰/۷ مگاوات ساعت است، نتیجه گرفته شد که حدود ۱/۰۸ درصد از انرژی الکتریکی روزانهٔ شهر را می‌توان از پسماندهای شهری تأمین کرد.

نکسوس شهری و پیاده‌سازی برنامه‌ریزی یکپارچهٔ آیندهٔ شهری

در واقع، موضوع کشاورزی به‌طور گسترده مورد توجه واقع می‌شود و روشی مناسب برای حمایت از منابع و امنیت غذایی است [۳۲]. کشاورزی شهری فقط به اقتصاد کمک نمی‌کند، در حالی که غذا در شهر بروجرد و استان لرستان با توجه به موقعیت آب‌وهوایی به‌طور ارگانیک پرورش می‌یابد، اما هنوز قیمت‌ها به صورت صعودی و گران است و این امر گروه‌های کم‌درآمد را تحت تأثیر قرار می‌دهد. بروجرد مانند سایر شهرهای در حال توسعه با رشد فاصلهٔ درآمدی مواجه است، بنابراین می‌توان از کشاورزی شهری برای چنین انسجامی استفاده کرد. با توجه به روند رو به رشد گرما در تابستان و افزایش دما، حیاط‌های سبز می‌توانند تأثیر زیادی بر خنکی هوا و سلامت عمومی با توجه به سازگاری تغییرات آب‌وهوایی داشته باشند. برای پیاده‌سازی کشاورزی شهری در بلوک‌های شهر بروجرد همان‌طور که در بخش‌های قبل بیان شد، باید محصولات در شبکه‌های یکپارچه کشت شوند. به این منظور لازم است مطالعات زیستی انجام شود تا این اطمینان به وجود آید که نور آفتاب، باران و... را به اندازهٔ کافی برای رشد دریافت می‌کنند. همچنین، برای عملکرد کشاورزی در شهرها و خیابان‌ها، کاهش آلودگی ناشی از ترافیک خودروها نیز تأثیر زیادی دارد. نکتهٔ دیگر اینکه برای تنوع میوه و سبزیجات با توجه به فصلی بودن آنها، محصولات مختلف و آبیاری را نیز می‌توان در نظر گرفت. برای مثال، می‌توان از کندوهای عسل شهری نیز استفاده کرد که بازدهی بیشتری نسبت به کندوهای روستایی دارند، زیرا تنوع گل و گیاه در شهر بیشتر است [۳۳]. علاوه بر آن، می‌توان از گل‌ها و گیاهان زینتی نیز برای کشت در فضاهای تراس و پشت‌بام‌ها استفاده کرد. این‌ها می‌توانند درآمد درخور توجهی را ایجاد کنند. همان‌طور که بیان شد، همهٔ این اتفاق‌ها نیازمند یکپارچگی، هماهنگی بلوک‌ها و... هستند. کشاورزی شهری یک نوع هماهنگی و همفکری است، زیرا بام‌های سبز می‌توانند از کارایی انرژی در ساختمان از طریق افزودن تودهٔ گرمایی، ذخیرهٔ آب حاصل از بارش باران، خنک کردن جزئی آب‌وهوای محیط محافظت کنند و دارای چرخهٔ زندگی بالاتری نسبت به بام‌های معمولی هستند. با توجه به کشاورزی شهری می‌توان گفت که انرژی برای انتقال غذا و بسته‌بندی به‌طور درخور توجهی کاهش می‌یابد [۳۴]. همچنین، با مدیریت درست کشاورزی شهری می‌توان برای جذب آب باران برنامه‌ریزی کرد و از بروز سیل و سرد شدن آب‌وهوا در شهر کاست.

برای استفاده از آب باران، فقط بحث تصفیه و در اختیار قرار دادن آن مورد بحث است. به دلیل وجود آب شیرین ناشی از آب‌های سطحی (حدود ۳۰ درصد آب شرب را تشکیل می‌دهند) و آب‌های زیرزمینی مناسب (حدود ۷۰ درصد از آب شرب شهر را تأمین می‌کنند)، در شهر بروجرد انرژی زیادی هدر می‌رود. بنابراین، می‌توان از فاضلاب بازیافتی شهر بعد از تصفیه برای آبیاری کشاورزی شهری دوباره استفاده کرد. اگرچه در بروجرد آب‌های زیرزمینی مناسب مانند سفرهٔ آب زیرزمینی سیلاخور، وجود دارد، باید توجه داشت که با در نظر گرفتن تغییراتی که پیش از این گفته شده و مقدار بارش باران کاهش پیدا

www.SID.ir

Archive of SID

می‌کند، حفظ این منابع برای کم‌آبی‌های آینده ضروری است. آب باران به عنوان منبعی طبیعی در شهر بروجرد استفاده نمی‌شود و به صورت رواناب به رودخانه‌های فصلی می‌ریزد که می‌توان گفت برداشت آب باران برای کاهش کم‌آبی در آینده نوعی فرصت به شمار می‌آید. سیستم آب حاصل از بارش باران از طریق لوله‌های انتقال آب و سیستم فاضلاب هدایت می‌شوند. می‌توان بارش باران و آب حاصل از ذوب برف در زمستان را برای استفاده در فصل‌های کم‌آبی ذخیره کرد و از مازاد آن برای تغذیهٔ سفره‌های آب زیرزمینی بهره برد. همچنین، با توجه به تغییرات آب‌وهوایی و کشاورزی در بروجرد باید برنامه‌ای برای کاهش استفاده از منابع آبی در تابستان ارائه داد که در سال‌های نه چندان دور، انتظار اجرای آن می‌رود.

از بیوگازها به عنوان منبع غیراقتصادی انرژی تجدیدپذیر یاد می‌شود، زیرا دسترسی به پسماندهای ارگانیک یکی از عوامل محدودکننده به شمار می‌رود [۳۵]. می‌توان چنین گفت که بیوگاز تولیدشده با استفاده از کودهای انسانی، حیوانی یا فاضلاب، روشی رایج برای تولید انرژی در سراسر دنیاست. در روستاهای همجوار شهر بروجرد که متعلق به استان همدان هستند، از سیستم چینی برای تولید گرما از فضولات حیوانی و از کمپوست آن در زمین‌های کشاورزی استفاده می‌کنند. برای مثال، چین از دههٔ ۱۹۵۰ به بعد برای ذخیرهٔ غیرمتمرکز انرژی ترغیب شده است و حدود ۴۲ میلیون بیوگاز خانگی دارد [۳۶]. گیاهان با بیوگاز خانگی در ویتنام برای نصب ۴۵۰ یورو و ۲۰ کیلوگرم کود حیوانی و انسانی در روز هزینه دارند که این مقدار معادل دو گاو و چهار خوک برای تولید انرژی کافی در آشپزی و روشنایی در کل سال است [۳۷].

با توجه به آنچه گفته شد، می‌توان در مدل نرم‌افزاری برای روشنایی خیابان‌ها و... و آشپزی از بیوگازها استفاده کرد و به نظر می‌رسد برای پیاده‌سازی این مورد، موضوعاتی در استفاده از آنها مورد توجه قرار می‌گیرند. در شهر بروجرد فاضلاب به عنوان منبعی خاص استفاده نمی‌شود، در صورتی که می‌توان از فاضلاب انسانی برای تولید بیوگاز بهره برد و می‌توان آن را ذخیره کرد. به خلاف منابع انرژی تجدیدپذیر مانند انرژی خورشیدی، باد و... که قابل ذخیره نیستند، تا کنون بروجرد هیچ‌گونه گیاه که تولید بیوگاز داشته باشد را ندارد. در Jenfelder Au برای تولید انرژی از آب سیاه و یا فاضلاب دو هزار نفری با استفاده از فرایندهای تخمیر، مبدل گرما، ضخامت لجن و گیاهان هم‌نسل ۹۳۵ هزار یورو است [۳۸]. اگر فرض شود برای شهر بروجرد هم همان اندازهٔ گیاه برای تولید غیرمتمرکز انرژی نیاز باشد، برای ۲۴۰۶۵۲ نفر در بلوک‌های شهر بروجرد فرض می‌شود ۱۲۰ گیاه مورد نیاز خواهد بود. این گیاهان در زیرزمین قرار داده می‌شوند تا مجموعه‌ای از فاضلاب از طریق بلوک‌ها فعال شوند و آب سیاه از لوله‌های آب خاکستری جداسازی می‌شود. همچنین، با فرض گیاهان یادشده، هزینهٔ کلی و سرمایهٔ مورد نیاز ۱۱۲/۲ میلیون یورو خواهد بود. همچنین، برای این فرایند باید هزینه‌های نصب لوله‌ها، پمپ‌ها و... نیز در نظر گرفته شود. سیستم فاضلاب شهر بروجرد ۱۹۲ کیلومتر است و برای هزینهٔ گسترش هر متر آن متوسط ۳۵۰ هزار تومان (اگر هر یورو ۱۶۴۵۰ تومان فرض شود) معادل ۲۲ یورو سرمایه نیاز است. بنابراین، هزینهٔ زیرساخت فاضلاب شهر بروجرد حدود ۶۷/۵ میلیارد تومان (۳/۲ میلیارد یورو) است. در حقیقت، می‌توان این‌گونه برداشت کرد که سیستم فاضلاب پرهزینه و زمان‌بر است، بنابراین می‌توان از این فرصت برای اجرای تکنولوژی استفاده کرد. اگر دورهٔ زمانی ۲۰ ساله باشد، چرخهٔ فاضلاب غیرمتمرکز نسبت به سیستم فاضلاب متمرکز کم‌هزینه‌تر و اقتصادی‌تر است.

حال اگر به ۵۰ سال آینده نگاه شود و فاکتورهایی مانند تأمین آب شرب برای سطح تقاضا در نقاطی که شهر گسترش پیدا می‌کند در نظر گرفته شود، تأمین آب برای نقاط کم‌آب چگونه است؟ نمونه‌هایی از این موارد را می‌توان مانند شهر سائوپائولو در برزیل عنوان کرد که هنوز هزینه‌های هنگفتی را متحمل می‌شود. اگر در سال‌های اخیر، پروژه‌های تحقیقاتی شروع شده و چرخهٔ فاضلاب غیرمتمرکز شود، استفادهٔ دوباره از آن از لحاظ اقتصادی توجیه دارد. پژوهش حاضر محدودیت‌های فراوانی داشت و اینکه از فرض‌های زیادی استفاده شد، اگرچه هدف بهره‌برداری از رویکرد WEF Nexus برای مدل شهر بروجرد است تا نشان بدهد که این رویکرد برای شهر مفید است و وجه اشتراک بین کاهش دما و میزان سازگاری را نشان دهد. بنابراین، به‌طور خصوصی و صریح باید موضوعات اقتصادی-اجتماعی، سیاسی، موضوعات تکنیکی، اداری و... برای رسیدن به نتایج دقیق‌تر و مطمئن‌تر مطالعه شوند که خارج از محدودهٔ پژوهش حاضر است.

www.SID.ir

Archive of SID

نتیجه‌گیری

ارتباطات آب، غذا و انرژی تعدادی از پیچیدگی‌ها، فرصت‌ها و چالش‌هایی را که بین‌رشته‌ای، متقابلی و چندبخشی هستند را نشان می‌دهد. این پیچیدگی‌ها صرفاً به یک بخش محدود نمی‌شود، بلکه به دلیل وابستگی بین منابع آب، غذا و انرژی به منابع ذاتی مرتبط است تا این منابع برای رشد بیشتر انسانی و اقتصادی فراهم شود. در نتیجه، تعاملات و شوک به یکی از این منابع یک یا چند بخش دیگر را هم تحت تأثیر قرار می‌دهد. این رویکرد ارتباطی، سرمایه‌گذاری دانش و به‌اشتراک‌گذاری مهارت‌ها و تخصص را برای ایجاد راه‌حل‌های نوآورانه برای پیچیدگی‌های بین‌المللی مرتبط می‌کند.

کشاورزی شهری می‌تواند سطوح مختلف توسعهٔ اقتصادی و اجتماعی را منعکس کند. این اتفاق در شمال کرهٔ زمین، اغلب به شکل یک جنبش اجتماعی برای جوامع پایدار شکل می‌گیرد که در آن تولیدکنندگان غذاهای ارگانیک و شبکه‌های اجتماعی را تشکیل می‌دهند که براساس روحیهٔ مشترک طبیعت و همدلی جامعه است. این شبکه‌ها می‌توانند هنگام دریافت پشتیبانی رسمی نهادی به برنامه‌ریزی شهری یکپارچه به نوعی جنبش انتقال شهر برای توسعهٔ پایدار شهری تبدیل شوند. همچنین، می‌توان از سایر منابع شهری برای اشتغال‌زایی و درآمد استفاده کرد و از منابع اصلی سه‌گانهٔ آب، غذا و انرژی بهترین استفاده را داشت تا در افق‌های چندساله و برای توسعهٔ شهرها با توجه به روند رو به رشد جمعیت با مشکلات اقتصادی- اجتماعی مواجه نشد. بسیاری از محققان، دانشمندان، سیاستمداران و دیگر افراد متفکر روی این موضوع که سطح مناسب پایداری مصرف چیست؟ و چگونه به دست می‌آید؟ می‌اندیشند. شهرداری‌ها موظف‌اند روشی را برای کاهش سطح مصرف منابع بیابند تا بتوانند در حد امکان آن را اجرایی کنند.

در پژوهش حاضر، هدف اصلی نشان دادن روش و رویکرد WEF Nexus به عنوان موضوعی پیشرفته برای اقتصادها و شهرهای در حال پیشرفت است و می‌توان آن را در نظر گرفت. این مفهوم را می‌توان به‌طور گسترده در شهرهایی که دارای بافتی پیشرفته هستند و پتانسیل درخور توجهی دارند، به کار گرفت. جمعیت شهرها تحت تأثیر تغییرات آب‌وهوایی هستند، چون به سیستم‌های غیرانعطاف‌پذیری مانند تجارت معمولی و سیستم‌های فاضلاب متمرکز بستگی دارند و تحت تأثیر و فشار تغییرات آب‌وهوایی و جمعیت‌شناسی، با شکست مواجه می‌شوند. باید در نظر گرفت که اگر این سیستم‌ها مصرف شوند و به‌طور درخور توجهی منابع طبیعی را از بین ببرند، عملیات بازسازی این منابع بسیار پرهزینه خواهد بود. آیا این سؤال مطرح نمی‌شود که شهرها بدون این سیستم‌ها بهتر نخواهند بود؟ به هر حال، امکان از بین رفتن و منسوخ شدن این سیستم‌ها وجود دارد.

اگر بتوان در سطح بلوک‌ها و همسایگی روش WEF Nexus را اجرا کرد، می‌توان گفت که در سطح شهرهای دیگر استان‌های کشور می‌توان از این روش بهره گرفت. اگرچه می‌توان درس‌های زیادی در پژوهش حاضر آموخت، می‌توان این روش را برای تعریف راه‌کارها، سیاست‌ها و استراتژی‌های سازگاری و مقابله با تغییرات آب‌وهوایی و کاهش آثار آن در دیگر شهرهای کشور اجرا کرد که حتی می‌توانند تأثیر تغییرات آب‌وهوایی را مانند گرم شدن شهر و بخار گرمایی شهری را کم و حتی معکوس کنند.

منابع

[1]. OECD. OECD Environmental Outlook to 2050. OECD Publishing. Paris. France. 2012;p.353.

[2]. WBCSD. Co-optimizing Solutions:Water and Energy for Food, Feed and Fibre.World Business Council for Sustainable Development Geneva.Switzerland. 2014;p.237.

[3]. Rees W, Wackernagel M. Urban ecological footprints: why cities cannot be sustainable – and why they are the key to sustainability. Environ. Impact Assess. 1996;Rev.16:p.223–248.

[4]. IPCC. Climate Change 2014: Synthesis Report. Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC. 2014;p. 80.

[5]. Roberts E, Finnegan L. Building Peace around Water, Land and Food: Policy and Practice for Preventing Conflict. Quaker United Nations Office. Geneva. Switzerland. 2013;p.17.

[6]. EEA. The European Environment - State and Outlook 2015: Synthesis Report. European Environment Agency. Copenhagen. Denmark. 2015;p.212.

[7]. UN Water. Climate Change Adaptation: The Pivotal Role of Water. Policy Brief. Bonn. Germany. 2010;p.18.

www.SID.ir

Archive of SID

[8]. Klein RJT, Huq S, Denton F, Downing TE, Richels RG, Robinson JB, et al. Inter-relationships between adaptation and mitigation. In: Parry ML, Canziani OF, Palutikof JP, van der Linden JP, Hanson CE. (Eds.). Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. Cambridge. UK. 2007;pp.745–777.

[9]. Saringer-Bory B, Mollay U, Neugebauer W, Pol O. SmartCitiesNet: Evaluierung Von Forschungsthemen Und Ausarbeitung Von Handlungsempfehlungen für "Smart Cities" (Evaluation of Research Topics and Development of Recommendations for "Smart Cities"). Austrian Ministry for Transport. Innovation and Technology. Vienna. Austria. 2012;p. 136 [In German].

[10]. Hoff H. Understanding the Nexus. Background Paper for the Bonn2011 Conference: TheWater, Energy and Food Security Nexus. Stockholm Environment Institute. Stockholm. 2011; p. 52.

[11]. ADB. Thinking AboutWater Differently Managing the Water–Food–Energy Nexus. Asian Development Bank (ADB). Mandaluyong City Philippines. 2013;p. 47.

[12]. Rasul G, Sharma B. The nexus approach to water–energy–food security: an option for adaptation to climate change. Climate Policy. 2015;p,1–21.

[13]. Kuttler W. Urbanes Klima ,Urban climate. Umweltmeteorologie. 2010;Vol. 70 (9). 378–382 [In German].

[14]. Gill SE, Handley JF, Ennos AR, Pauleit S. Adapting cities for climate change: the role of the green infrastructure. Built Environ. 2007;22 (1), 113–133.

[15]. Howarth C, Monasterolo I. Understanding barriers to decision making in the UK energy-food-water nexus: The added value of interdisciplinary approaches, Environmental Science & Policy 61.2016; 53-60.

[16]. Martinez-Hernandez E, Leachb M, Yangc A. Understanding water-energy-food and ecosystem interactions using the nexus simulation tool NexSym. Applied Energy 206.2017;1009–1021.

[17]. Lehman S. Implementing the Urban Nexus approach for improved resource-efficiency of developing cities in Southeast-Asia, 2017.

[18]. Ximing C, Kevin W, Majid SJ, Landon M. Understanding and managing the food-energy-water nexus – opportunities for water resources research. Advances in Water Resources 111.2018; 259–273.

[19]. Hussien WA, Memon FA, Savic DA. A risk-based assessment of the household water-energy-food nexus under the impact of seasonal variability, Journal of Cleaner Production 171.2018; 1275-1289.

[20]. Statistics Center of Iran, Population and Housing Census, 2011. *[In Persian]*.

[21]. Lienhard JH, Thiel GP, Warsinger DM, Banchik LD. "Low Carbon Desalination: Status and Research. Development and Demonstration Needs". Report of a Workshop Conducted at the Massachusetts Institute of Technology in Association with the Global Clean Water Desalination Alliance. MIT Abdul Latif Jameel World Water and Food Security Lab. Cambridge. Massachusetts. 2016.

[22]. UNDP. Human Development Report. 2014. http://www.undp.org.

[23]. AGECC (UN Secretary General's Advisory Group on Energy and Climate Change). Summary Report and Recommendations. 2010;p.13.

[24]. FAO. Rome Declaration on World Food Security and World Food Summit Plan of Action. World Food Summit 13–17 November. 1996.

[25]. Lampert DJ, Hao C. Elgowainy Amgad. "Wells to wheels: water consumption for transportation fuels in the United States". Energy Environ. 2016;Sci.9(3):787–802. doi:10.1039/c5ee03254g.

[26]. Mohtar R.H, Daher B. A Platform for Trade-off Analysis and Resource Allocation The Water-Energy-Food Nexus Tool and its Application to Qatar's Food Security. Energy, Environment and Resources, December 2014.

[27]. Iran Meteorological Organization and Ministry of Agriculture. *[In Persian]*.

[28]. Allen RG, Perei RA LS, Rase D, Smith M. Crop evapotmospiartion. FAO Irrigation and Dranger Paper. 1998;No:56.

[29]. Smith M. Climate for cropwat, climatic database for irrigation planning and management. 1993;FAO Irrigation and Drainage page 49, Rome. p:113.

[30]. Water and wastewater department of Boroujerd city. *[In Persian]*.

[31]. WHO. Diet. Nutrition and the Prevention of Chronic Diseases: Report of a Joint WHO/FAO Expert Consultation. WHO Technical Report Series. No. 916. World Health Organization, Geneva, Switzerland. 2003.

www.SID.ir

Archive of SID

[32]. Tracey D. Urban Agriculture: Ideas and Designs for the New Food Revolution. New Society Publishers. Gabriola Island. Canada. 2011;p.245.

[33]. Carreck N, Williams I. The economic value of bees in the UK. Bee World. 1998;79(3): 115–123.

[34]. Garnett T, Bakker N. Urban agriculture in London: rethinking our food economy. Growing Cities. Growing Food: Urban Agriculture on the Policy Agenda. A Reader on Urban Agriculture. 2000;p.540.

[35] The Gold Standard. Financing Cities of the Future: Tools to Scale-up Clean Urban Development. The Gold Standard Foundation. Report. 2015;p.13.

[36]. Oos M. China's biomass energy development – a perception change from waste to resource. Rural2. 2014;pp.3.

[37]. Polarstern. Energiewende weltweit. https://www.polarstern-energie.de/ kambodscha/ #image-13 accessed. 2015.[In German].

[38]. Sedlak DL. Water 4.0 – a revolution. Talk given at Oskar von Miller Forum. Munich. Germany. 2015;on 10.12.15.

www.SID.ir