مروری بر روش‌های کنترل رواناب شهری

مهدیه محمدی تهرودی[۱]، مسعود رضا حسامی کرمانی[۲]، ریحانه اکبری[۳]

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، بخش مهندسی، پردیس دانشگاهی دانشگاه شهید باهنرکرمان، کرمان، ایران.

۲- استادیار بخش مهندسی، پردیس دانشگاهی دانشگاه شهید باهنرکرمان، کرمان، ایران.

۳- دانشگاه شهید باهنرکرمان، کرمان، ایران.

mahdiemohamadi.msc@gmail.com

چکیده

در پی گسترش روزافزون شهرنشینی و افزایش چشمگیر رواناب ناشی از بارش، نیاز به مقابله با رواناب شهری و کنترل آن بیش از پیش احساس می‌شود. در این تحقیق عملکرد سقف سبز به منظور کنترل رواناب سطحی، یافتن بهترین پوشش گیاهی و عمق بستر با توجه به شرایط آب و هوایی منطقه و خصوصیات سقف، مورد ارزیابی و تحلیل قرار گرفته است. هدف از مقاله حاضر مرور، جمع بندی و روشن کردن دیدگاه پژوهشگران در روش های مدیریت سیلاب شهری بر اساس تجربیات جهانی در مورد این پدیده برای کشورمان می باشد. نتایج مقاله حاضر همچنین نشان می دهد که روش های توسعه کم اثر مانند بام سبز می تواند از راهکارهای مناسب مدیریت سیلاب های شهری در کشورمان باشد. شایان ذکر است مدیریت سیلاب شهری امری حیاتی در چرخه طبیعی زندگی انسان هاست که توجه به آن و ارایه راه کارهای مقابله جدی با سیلاب اعم از سازه ای و غیر سازه ای از ضروریات تحقیقات مهندسین منابع است.

کلمات کلیدی: مدل هیدرولوژیکی، سقف سبز، بارش، کنترل رواناب

مقدمه

زندگی انسان همواره با وقوع حوادث مختلفی همراه است. در همین راستا مخاطرات متعدد با منشا طبیعی یا انسانی به سرعت یک چشم بر هم زدن قادراند زندگی افراد را دگرگون کرده و به گونه‌ای نشانه‌های حیات را از پهنه‌های وسیع کره زمین بزدایند به شکلی که گویی حتی روزی یک موجود زنده در آن زندگی نمی‌کرده است. بنابراین لزوم طراحی راهبردهای پیشگیرانه و رعایت یکسری قواعد مدون علمی جهت مصون داشتن زندگی انسان‌ها از خطرات و آسیب‌های احتمالی مرتبط با جریان‌های سیلابی از اهمیت و ضروت غیر قابل انکاری برخوردار است (Tabatabaee et al., 2022). محققان پیشگام در این زمینه تاکید کرده‌اند باید برای مقابله جدی با کارآیی و اثربخشی مورد انتظار، برخی از شاخص‌ها مانند مسیل انتقال سیلاب و زیرمولفه‌های مرتبط با آن با دقت محاسبه شوند تا حتی المقدور از شدت خرابی‌ها و تبعات مخرب آن کاسته شود (Mahdiyar et al., 2019). گروهی دیگر از محققان با بررسی حوضه‌های آبریز بر این باوراند که برای کاهش اثرات ویرانگر سیلاب، باید میزان حداکثر آبی که به یک حوضه وارد می‌شود، را مشخص نمود. آنان معتقدند؛ سیلاب‌ها هنگامی اتفاق خواهد افتاد که تمام حوضه‌های آبریز از طریق رواناب‌های موجود در منطقه تعیین شده و در مدت کوتاهی پر می‌شوند (Haider et al., 2019).

اگر رواناب‌های موجود به یک حوضه آب‌ریز وارد شوند، دیری نخواهد پایید که قطرات آب باران می توانند از دوردست‌ترین نقاط وارد حوضه مذکور شده و به سرعت مبدل به سیلاب‌های ویرانگری شوند (Bick et al., 2018). با روند فزاینده تخریب محیط‌زیست به خصوص از بین رفتن پوشش گیاهی و سست شدن خاک زمین روند شکل‌گیری این گونه سیلاب‌ها با سرعت بیشتری به سمت مناطق شهری حرکت کرده است و توانسته موجبات از بین رفتن اراضی کشاورزی، غیر قابل سکونت شدن

www.SID.ir

برخی از مناطق و غیرو شود، در مجموع می توان گفت اگر روند کنونی ادامه پیدا نماید مناطق وسیعی از حوضه‌های شهری که قابل کشاورزی هستند در آینده نزدیکی غیرقابل کشت شده و به تبع آن محیط‌زیست مرتبط با حوضه‌های این چنینی را از بین خواهند برد (Dabbaghian et al., 2014). بررسی‌ها نشان داده است می توان یکی از علل اصلی پر شدن حوضه‌های آبریز در مناطق شهری توسط سیلاب‌ها را ناشی از افزایش سریع حجم و ارتفاع رواناب‌های مبتنی بر بارش بی‌وقفه، از بین رفتن پوشش‌گیاهی و حتی بارش‌های سیل‌آسای موسمی در حوضه‌های شهری دانست (Haider et al., 2019). جریان جاری شده در حوضه‌های شهری بدلیل عبور از مناطق مختلف در سطح شهر دارای کیفیت نامناسب بوده و همراه خود مقدار زیادی آلودگی موجود در سطح زمین را حمل نموده و از طریق تجاوز به حریم رودخانه‌ها و مسیل‌ها سبب تغییرات عمده و گسترده‌ای در الگوی زهکشی طبیعی و جاری شدن سیل می شود (Abolhabib et al., 2020). پدیده غالب امروزی که توانسته اغلب مناطق شهری را تحت تاثیر خود قرار دهد و از کیفیت شهری تا حدود زیادی بکاهد، آب گرفتگی سریع معابر می‌باشد اگر همین روند با همین سرعت ادامه پیدا کند و راهبردهای علمی متناسب با ویژگی‌های حوضه آبریز مناطق شهری نادیده انگاشته شود، می-تواند سبب افزایش هزینه‌های نگهداری شهر، تخریب اموال و امکانات شهری شود. به عنوان نمونه؛ باقی ماندن رسوبات سیل در مناطق شهری یکی از این آسیب‌ها است که پدیده‌ای رایج پس از جاری شدن سیل در مناطق شهری می‌باشد (Lu and Qin, 2019).

بررسی پیشینه شکل‌گیری سیلاب‌ها و علل بروز آن‌ها نشان می‌دهد؛ جمعیت‌های انسانی در طول تاریخ با بی‌توجهی خود نسبت به تغییرات اقلیمی، از بین بردن الگوی زیست‌بوم‌های طبیعی مناطق شهری به طرز شگفت‌انگیزی موجب تخریب رژیم و حدود رودخانه‌ها شده‌اند که این خود یکی از دلایل مهم عدم کنترل رواناب‌ها و وقوع سیل‌های متعدد در نواحی شهری است. امروزه افرادی که در دشت‌های سیلابی و آبرفتی نظیر نیل، رود دز و سایر آبرفت‌ها ساکن هستند، یکی دیگر از عوامل برهم خوردن تعادل زیست‌محیطی و زیست‌بوم این گونه مناطق شده‌اند که در نهایت تبعات آن با افزایش نرخ تعداد سیل‌های مخرب در نیم قرن اخیر مشاهده شده است. علاوه بر این، با ادامه یافتن ارجعیت دادن به فعالیت‌های اقتصادی مخرب در این گونه مناطق می‌توان افزایش تعداد سیل‌ها را انتظار داشت اعم ازکشت بی‌رویه در این مناطق، کاهش پوشش گیاهی و غیرو. با کاهش سطح باروری خاک در این گونه دشت‌های سیلابی از یک‌سو زمینه را برای وقوع سیل‌های ویرانگر بیشتر نموده و از سویی دیگر اثرات مخربی بر فعالیت‌های اقتصادی در خارج منطقه سیل‌زده را به همراه خواهند داشت (Abolhabib et al., 2020). صاحب‌نظران و کارشناسان این حوزه تاکید دارند، می‌توان با غنی ساختن اراضی‌کشاورزی و همچنین در دسترس قرار دادن آب بیشتر برای فعالیت‌های صنعتی، بطور متوسط تقریبا ۳۰ درصد بارش به رواناب‌ها را مهار نموده و از آن‌ها در راستای اهداف خدماتی، اقتصادی در حوزه کشاورزی و حتی توریسم استفاده نمود. آنان نشان داده‌اند، از جمله فواید عمده اقتصادی بکارگیری از راهبردهای مذکور در بلندمدت و حتی کوتاه‌مدت، می‌تواند مهار سیلاب‌ها، کنترل دقیق‌تر حوضه‌های آبریز و رواناب‌های وارد شده به حوزه‌های شهری یاد نمود. محققان با شناسایی پدیده‌ای با نام «سیلاب‌دشت»، بیان کردند که با افزایش تعداد فراوانی وقوع سیل در بسیاری از مناطق شهری در دنیا علاوه بر نقش از کنترل خارج شدن رواناب ها می تواند به دلیل ذوب شدن برف‌های انباشته شده، یخچال‌های طبیعی و همچنین تغییرات اقلیمی و گرم شدن هوا به خصوص در مناطق کوهستانی، سبب افزایش تعداد سیل شود. آنچه مسلم است؛ سیلاب‌هایی که در این قبیل مناطق شکل می‌گیرند بصورت متفاوت‌تری عمل کرده و می‌توانند منطقه‌ای به نام سیلاب‌دشت را در اطراف رودخانه بوجود آورند (خلیلی‌فر و امیدی، ۱۴۰۰).

در دهه‌های گذشته، توسعه شهری و بدنبال آن افزایش فضاهای متراکم شهری باعث افزایش سطوح نفوذناپذیر و در نتیجه افزایش حجم و اوج رواناب شده است، با توجه به گسترش مشکلات متاثر از سیلاب شهری در سراسر جهان، اقدامات مدیریتی متعددی به منظور کنترل رواناب معرفی شده است (ایزانلو و بردی شیخی، ۱۳۹۷). سامانه‌های جمع‌آوری و کنترل آب‌های سطحی ناشی از بارندگی از اجزاء مهم برنامه‌ریزی و عمران مناطق شهری هستند و هرگونه سهل‌انگاری در طراحی صحیح آن‌ها می‌تواند برای جوامع شهری مشکل‌آفرین باشد لذا به منظور پیش‌بینی عملکرد هیدرولیکی از کل سامانه، استفاده از روش‌های

www.SID.ir

محاسباتی پیشرفته و مدل‌سازی‌های جدید و کارآمدتر مورد نیاز است. کاهش پیامدهای زیان بار ناشی از سیلاب‌های شهری معمولاً با برآورد دقیق رواناب شهری و انتخاب روش مناسب کنترل آن محقق می‌شود، به این منظور لازم است میزان رواناب شهری به درستی برآورد شود بر این اساس، محققین در سال‌های اخیر به مدل‌سازی رواناب شهری روی آورده‌اند (آرمان و همکاران، ۱۳۹۸). در این مقاله ضمن معرفی سقف سبز، به عنوان روشی برای کاهش مخاطرات سیلاب شهری معرفی و مورد توجه قرار گرفته است و تحقیقات پیرامون آن و نتایج مربوط به آن ها آورده شده است.

رواناب و سقف سبز

بررسی چالش‌ها و ملاحظات زیست‌محیطی در مدیریت رواناب‌های شهری یکی از مهم‌ترین مباحث در پروژه‌های مدیریت شهری است. رویکرد توسعه کم‌اثر به عنوان یک راه‌حل پایدار برای مدیریت رواناب سطحی شهری در نظر گرفته می شود. اکبری امام‌زاده و فتحی آشتیانی (۱۴۰۰) براساس مطالعات کتابخانه‌ای به شرح رویکرد توسعه کم‌اثر و سپس به ارزیابی کاربرد این رویکرد در مدیریت رواناب‌شهری پرداخته‌اند و در نهایت به این نتیجه می‌رسند که در صورت پیاده‌سازی رویکرد توسعه کم‌اثر، کاهش آلودگی منابع آب، افزایش تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی، افزایش کیفیت رواناب و مزایای متعدد دیگر حاصل می شود. حوضه‌های آبخیز شهری به دلیل توسعه، دارای رفتار هیدرولوژیکی پیچیده‌تری نسبت به حوضه‌های طبیعی هستند که شناخت پاسخ هیدرولوژیکی آن‌ها به طراحی مناسب تسهیلات کنترل سیلاب کمک خواهد کرد. طبیعت می‌تواند برای محافظت از جوامع در برابر سیل یا گرمای بیش از حد یا کمک به بهبود کیفیت هوا، خاک و آب مورد استفاده قرار گیرد.

فضاهای شهری از دیرباز تاکنون بستر کالبدی جهت تعاملات اجتماعی مردم بوده‌اند. در این میان مسیل‌ها و رودخانه‌های شهری، به عنوان فضاهای پنهان شهری، گزینه‌هایی هستند که بی‌توجه رها شده‌اند و با توجه به کمبود فضاهای سبز و باز در شهرها و به رغم پتانسیل‌های فراوانی که دارند استفاده کامل و مناسبی از آنها نمی‌شود . با زنده‌سازی فضاهای شهری، فرآیندی ضروری جهت پایداری و بهبود کیفیت آن صورت گرفته است. متاسفانه در کشور ایران بی‌توجهی فراوانی نسبت به چنین فضاهایی شده است. به طوری که در اکثر شهرها آنها را تهدیدی برای شهر تلقی کرده و به همین دلیل به روش‌های مختلف سعی در مهار آنها می‌کنند. توسعه شهرنشینی و افزایش سطوح نفوذناپذیر در بسیاری از موارد منجر به افزایش حجم رواناب و ایجاد سیل در نواحی پایین دست شده است. (دهقانی نژاد و همکاران، ۱۴۰۰).

تعریف سقف سبز

سقف سبز سقفی است که به طور کامل یا جزئی، با گیاهان پوشیده شده و دارای یک غشای ضدآب در زیر پوشش گیاهی می‌باشد. که می‌تواند شامل لایه‌های اضافی مانند لایه‌ی ریشه، سیستم‌های آبیاری و زهکشی باشد. این تکنولوژی جدید نیست و ایجاد اولین پوشش سبز بر روی ساختمان را به ۴۰۰۰ سال قبل از میلاد و به زیگورات‌ها نسبت داده شده است (Seda, 2021). سقف‌های سبز برای اهداف مختلفی ساخته می‌شوند مثلاً جذب آب باران، ایجاد عایق‌بندی، ایجاد محل سکونتی برای حیات‌وحش، کمک به کاهش دمای هوای شهر و کاهش اثر جزیره‌ی حرارتی و غیره. سقفی که غیرایزوله باشد، سبب می‌شود که هوای گرم در زمستان از فضای ساختمان فرار کند و در تابستان به راحتی از محیط بیرون جذب گردد. در فضای شهری امروزی ایجاد پوشش گیاهی بر روی سقف‌ها از گزینه‌های مناسب برای افزایش مساحت فضای سبز شهری به نظر می‌رسد. از آنجایی که سقف‌سبز یک پوشش گیاهی زنده است می‌توان تمام خدمات اکوسیستمی که هر محیط سبز دیگری دارد را برای آن در نظر گرفت (Karteris et al., 2016).

مزایایی که برای سقف سبز در منابع مختلف عنوان شده‌اند عبارتند از: بهبود مدیریت آب طوفان (Shafique et al., 2020)، حفظ انرژی ساختمان (Teotónio et al., 2020)، کم کردن اثر جزیره‌گرمایی شهری (Shafique et al., 2020)، افزایش عمر غشای سقف نسبت به سقف معمولی، کاهش آلودگی هوا، کاهش آلودگی صوتی، افزایش تنوع زیستی در محیط شهری و ایجاد

www.SID.ir

محیطی زیباتر. در کشورهای توسعه یافته تحقیقات بسیاری در زمینه ایجاد بام‌های سبز صورت گرفته است و ایجاد این ساختار بر روی بناها، به خصوص در بخش مدیریت آب طوفان توصیه می‌شود، اما در ایران سبز کردن بام‌ها با وجود مزایای بسیار عمدتاً در حد یک ایده در مدیریت شهری باقی مانده است (چهکندی و همکاران، ۱۳۹۱). شایان ذکر است که هزینه‌ی به نسبت بالای ساخت و استقرار سقف سبز مختص کشور ما نیست. بطور کلی، در کشورهایی که این تکنولوژی نوپاست هزینه یکی از عوامل موثر محدود کننده‌ی گسترش سقف‌های سبز محسوب می‌شود. نهرلی و همکاران در سال ۱۳۹۰ عوامل محدود کننده توسعه بام‌های سبز در ایران را بر پایه تحلیل سلسله مراتبی بررسی کردند. آن‌ها عوامل موثر را در ۶ بعد اصلی طبقه بندی نمودند. محورها به ترتیب وزن‌دهی عبارت بودند از: ۱. ابعاد سرمایه‌گذاری، ۲. ابعاد مدیریتی و سیاست‌گذاری‌ها، ۳. ابعاد حقوقی، ۴. ابعاد زیرساختی فنی و علمی، ۵. ابعاد فرهنگی و ۶. ابعاد جغرافیایی. طبق نتایج بدست آمده موانع اصلی در توسعه این تکنولوژی در کشور به ترتیب هزینه‌ی استقرار آن (در بعد سرمایه‌گذاری)، محسوب نکردن بام سبز بعنوان بخشی از سیستم فضای سبز پایدار (در بعد مدیریتی)، ارزان بودن انرژی در ایران (در بعد سرمایه‌گذاری) و عدم بسترسازی حقوقی (در بعد حقوقی) است. شایان ذکر است که هزینه‌ی به نسبت بالای ساخت و استقرار سقف سبز مختص کشور ما نیست. بطور کلی، در کشورهایی که این تکنولوژی نوپاست هزینه یکی از عوامل موثر محدود کننده‌ی گسترش سقف‌های سبز محسوب می‌شود. از این‌رو محققان با کمّی کردن فواید سقف سبز سعی در آشکارسازی توجیه اقتصادی این ایده دارند.

ساختمان ها را می توان به شکل های مختلف از جمله باغچه های روی سقف، باغچه های روی بالکن، سبز کردن نمای جلوی ساختمان و ... سبز سازی کرد .تعریف سقف سبز توسط اسمودنسون ارائه شده است :ساختمان سبز به هر نوع کاشت گیاه در فضای باز که توسط ساختمان از زمین جدا شود، گفته می شود. سقف سبز نیز به چمن کاری روی سقف ساختمان اطلاق می گردد که هدف اصلی آن کاهش هزینه های انرژی می باشد (Osmundson, 1999). انواع مختلفی از سقف های سبز وجود دارد، اما عموما به دو نوع سقف سبز گسترده و فشرده تقسیم می شوند. ساختمان هایی که از سقف سبز استفاده می کنند نسبت به انواع معمولی آن از مزایای محیطی بسیاری برخوردارند. اگرچه هر دو مدل مزایای محیطی بسیاری دارند . همچنین هزینه نصب، نگهداری و طول عمر ساختمان به نوع سقف سبز وابسته می شود .در مقایسه ی دو نوع سقف سبز، سقف سبز گسترده سبکتر است و هزینه ی نگهداری کمتری لازم دارد .اگرچه نگهداری و تاخیر آب فاضلاب، کنترل دما و کار موثری که درمحیط کشاورزی آن انجام می شود کمتر است. همچنین تفاوت عمده ای بین قیمت این دو نوع سقف وجود دارد (Osmundson, 1999).

اهمیت سقف سبز در آب و هوای ایران

ایران سرزمینی گرم و خشک است و دما در تابستان درمناطق جنوبی آن از ۴۰ درجه سانتیگراد نیز تجاوزمی‌کند. در این مناطق تابش آفتاب در تابستان بسیار شدید می‌باشد و این تابش شدید روی سقف ساختمان‌ها حرارت زیادی تولید می‌کند. از این رو می توان اهمیت سقف سبز را در کاهش میزان مصرف انرژی درک کرد. با توجه به اینکه آمارهای رسمی درکشور ایران، ارزش انرژی مصرفی را سالانه بیش از ۲۰ میلیارد دلار برآورد می کند، با استفاده از سقف سبز می توان بین ۶۰۰ تا ۸۰۰ میلیون دلار در مصرف انرژی صرفه جویی نمود (چهکندی نژاد و همکاران،۱۳۹۱). بطورکلی می‌توان مزایای و معایب بکارگیری سقف سبز را به شرح زیر بیان داشت:

مزایای سقف سبز: از جمله مزایای سقف سبز می توان به افزایش بازده انرژی، کاهش هزینه گرمایش وسرمایش ساختمان، تنظیم دما، کاهش اثر جزیره گرمایی، بهبود کیفیت هوا، مدیریت طوفان های آبی، ایجاد یک فضای زیبا و افزایش سلامتی انسان، کاهش سروصدا، ایجاد کار محلی اشاره نمود (چهکندی نژاد و همکاران،۱۳۹۱).

معایب سقف سبز: مهمترین عیب سقف سبز نگهداری آن در فصل زمستان است. در مناطقی که زمستانهای خیلی سرد و یخبندان دارند، پوشش گیاهی روی سقف سبز از بین رفته و بارش های زیاد در این فصل ان را گل آلود می کند. برای

www.SID.ir

حفاظت از سقف سبز در برابر یخزدگی، از مواد معدنی خاصی استفاده می کنند که با خاک مخلوط می شود و در برابر چرخه های یخزدگی از سقف سبز محافظت می کند .همچنین گیاه انتخابی نیز باید از نوع غیر برگ ریز در زمستان باشد و در برابر سرما مقاوم باشد. مهمترین گیاهی که در مناطق سردسیر از آن استفاده می شود، علف می باشد که در برابر سرما مقاوم است (چهکندی نژاد و همکاران،۱۳۹۱).

مروری بر تحقیقات انجام شده

ون‌لین و همکاران (۲۰۲۲) به مطالعه‌ای تحت عنوان شناسایی مناطق بالقوه و اولویت‌دار در مقیاس شهر برای مقاوم‌سازی بام‌های سبز و ارزیابی اثربخشی کاهش رواناب آنها در پهنه‌های کاربردی شهری پرداختند آنها بدین نتیجه رسیدند که ۱- مساحت بالقوه برای سقف سبز پشت بام در جاده کمربندی پنجم پکن ۱۴۳,۶۲ کیلومتر مربع بود .۲- مناطق عملکردی COZ و EGZ دارای اولویت بالاتری برای مقاوم‌سازی بام‌های سبز بودند همچنین بدین نتیجه رسیدند که میانگین حجم رواناب ۱/۳۴٪ - ۲/۷۳٪ با ۱۰٪ مقاوم سازی بام سبز، کاهش یافت .۳- میانگین کاهش رواناب به دست آمده ۹/۱۷٪ - ۱۹/۰۵٪ تحت ۱۰۰٪ مقاوم سازی بام سبز بود.

فلک و همکاران (۲۰۲۲) به مطالعه ای تحت عنوان بام‌های سبز شهری برای مدیریت ریزاقلیم های پشت بام (مطالعه موردی سیدنی استرالیا) پرداختند و بیان داشتند که سقف سبز سبب می‌شود تا دمای پانل/بام تابستانی بام سبز حدود ۹/۶۳ و ۶/۹۳ درجه سانتی گراد کاهش یابد. ریز اقلیم بام سبز به طور متوسط ۸ درجه سانتیگراد کاهش دما را تجربه کرده و دبی حرارتی به ترتیب ۱۳/۳۷ W/m و ۵/۳۷ W/m کمتر برای فصل بهار و تابستان می‌باشد.

سوفی جمیل و همکاران (۲۰۲۲) به مطالعه ای تحت عنوان یک نوع بام سبز، یک تکنوسول، یک جامعه زیست محیطی پرداختند و بیان داشتند که تنوع زیستی خاک و جوامع گیاهی بر روی ۱۲ بام سبز مولد و گسترده مورد بررسی قرار گرفته است. بام های سبز نسبت به خاک های جنگلی یا کشاورزی دارای فراوانی و تنوع بیشتری از کولمبولا هستند. بام‌های سبز نسبت به خاک‌های جنگلی یا کشاورزی دارای توده‌های میکروبی بیشتری هستند. تنها بام‌های سبز مولد نسبت به خاک‌های جنگلی یا کشاورزی دارای نماتدهای بیشتری هستند. پشت بام های مولد و گسترده جوامع متضاد (فراوانی و تنوع) را نشان می دهند.

آنا و همکاران (۲۰۲۱) بهینه سازی بام های سبز برای تعادل خدمات اکوسیستم را مطالعه کردند. این محققین بیان کردند که بام های سبز به سبک دشتی خدمات اکوسیستمی بیشتری نسبت به سقف های معمولی ارائه می دهند. خاک کمتر مهندسی شده باعث افزایش ماندگاری فسفر می شود اما از سلامت گیاه حمایت نمی کند. بام های سبز-آبی بیشترین خدمات را با کمترین تعداد معاوضه ارائه کردند. بام‌های سبز-آبی از جوامع سالم حمایت می‌کردند و رواناب‌های متلاطم را حذف می کنند. نوع سیستم بیشتر از گیاهان یا تلقیح میکوریزا بر خدمات اکوسیستم تأثیر می گذارد.

تیم بوسکر و همکاران (۲۰۲۲) سقف‌های سبز آبی با عملکرد مبتنی بر پیش‌بینی برای کاهش تأثیرات شدید آب و هوا را بررسی کردند. این محققین به دستاوردهای مهمی در این زمینه دست یافته و بیان داشتند که بام های سبز-آبی راه حل های موثر سازگاری با اقلیم شهری هستند. رواناب در طول بارش شدید ۷۰-۹۷٪ کاهش یافته است که این مقدار بسیار بیشتر از کاهش رواناب موجود در یک بام سبز معمولی است (۱۲٪). پیش‌بینی‌های بارش سنگین برای راه‌اندازی زهکشی، باعث افزایش نیاز به سقف سبز می‌شود. سقف های سبز-آبی به طور کلی نرخ تبخیر بالایی را در طول رویدادهای گرما نشان دادند.

حیم و جرمی (۲۰۲۲) تغییرات در ترکیب جامعه گیاهی و صفات عملکردی گیاه در یک دوره چهار ساله در یک بام سبز گسترده را مطالعه کردند آنها نتیجه گرفتند اکوسیستم های ساخته شده مانند بام های سبز به طور فزاینده ای در شهرها مستقر می شوند تا مسائل مرتبط با شهرنشینی را کاهش دهند. برای به حداقل رساندن هزینه زیر ساخت بام سبز، اغلب از محیط های رشد کم عمق (زیر بستر) برای گیاهان استفاده می شود. ناهمگونی فضایی در عمق بستر نیز بدین صورت فرض

www.SID.ir

شده است که تنوع گونه‌های گیاهی بیشتری را بدون افزودن به وزن فراهم می‌کند. استرس و رقابت می تواند جوامع گیاهی بام سبز را پس از کاشت اولیه تغییر دهد، اما اطلاعات کمی در مورد اثرات بلند مدت ناهمگونی فضایی بر ترکیب پوشش گیاهی و ویژگی های عملکردی وجود دارد. هدف از پژوهش آنها بدین صورت بود که چگونه جوامع گیاهی بام سبز و به نوبه خود، صفات عملکردی گیاهی، در طول زمان در جوابدهی به استرس محیطی و ناهمگونی بستر تغییر می کنند. این آزمایش چهار ساله از چهار تیمار عمق بستر استفاده کرد: سه تیمار با عمق بستر همگن ۵ سانتی‌متر، ۱۰ سانتی‌متر و ۱۵ سانتی‌متر، و یک تیمار با عمق زیرلایه ناهمگن که بین ۵ سانتی‌متر و ۱۵ سانتی‌متر (۱۵/۵ سانتی‌متر) متغیر بود. حجم بستر در تیمار ۱۰ سانتی متری و تیمار ۱۵/۵ سانتی متری برابر بود. در پایان این آزمایش چهار ساله، تنوع بین تیمارها برای ترکیب جامعه و تنوع عملکردی رخ داد که بیشترین غنای گونه‌ای در تیمار با کمترین استرس (۱۵ سانتی‌متر) و بیشترین تنوع عملکردی و یکنواختی در تیمار استرس‌زا (۵ سانتی متر) مشاهده شد. علاوه بر این، هر تیمار پس از چهار سال تنوع عملکردی کمتری نسبت به جامعه کاشته شده اولیه داشت. هنگامی که تیمار ناهمگن ۱۵/۵ سانتی‌متر با تیمار همگن ۱۰ سانتی‌متری مقایسه شد، تفاوتی در تعداد گونه‌های گیاهی وجود نداشت، اما تیمارها شامل دو جامعه گیاهی مجزا بودند. علاوه بر این، تیمار ۱۵/۵ سانتی‌متری گونه‌های بلندتر را پشتیبانی می‌کند. این یافته نشان می دهد که ایجاد بام های سبز با عمق زیرلایه ناهمگن می تواند عملکرد کلی بام سبز را بدون افزایش وزن سقف بهبود بخشد. عمق بستر را می توان توسط طراحان بام سبز برای تغییر ویژگی های پوشش گیاهی دستکاری کرد، اما گونه ها و تنوع عملکردی روندهای متضادی را در امتداد گرادیان عمق نشان دادند.

پریو (۲۰۲۱) به مطالعه ای تحت عنوان اثربخشی بام سبز در کاهش مصرف انرژی ساختمان در اقلیم های مختلف پرداخت وی معتقد بود بام‌های سبز فناوری جالبی هستند که به دلیل مزایای چند رشته‌ای از جمله بهبود مدیریت آب، کاهش اثر جزیره گرمایی شهری، طول عمر طولانی غشای سقف، افزایش زیبایی شهری، ایجاد فضاهای تفریحی و امکان صرفه جویی در مصرف انرژی برای گرمایش و سرمایش ساختمان توجه جهانی را به خود جلب کرده است. با توجه به این دلایل به چندین مقاله مرتبط با بام های سبز، فاصله گذاری از کمیت کیفیت و کمیت رواناب، ارزیابی ویژگی های ذاتی گیاه و بستر، تا جنبه های اجتماعی مربوط به نصب سطوح پوشش گیاهی در شهرهای پرجمعیت پرداخته شد. بخش بزرگی از تحقیقات عملکرد حرارتی راه حل های مختلف بام سبز را در تلاش برای ارزیابی تأثیر بر تقاضای انرژی ساختمان بررسی کرده است. مطالعات زیادی از طریق تحقیقات تجربی بر روی بام‌های سبز با ابزار دقیق یا شبیه‌سازی‌های عددی اجرا شده در محیط‌های مختلف یا حتی با توسعه و اعتبارسنجی مدل‌های ترموفیزیکی که تعامل بین بام سبز و محیط اطراف را توصیف می‌کنند، انجام شده است. اگرچه تعداد از مقالات مربوط به عملکرد حرارتی بام های پوشش گیاهی ، برآوردهای کمی کاهش مصرف انرژی ساختمان به دلیل بام های سبز به راحتی یافت نمی شود. مقاله پریو یک مرور ادبیات جامع را برای خلاصه کردن یافته‌های مربوطه از نظر صرفه‌جویی در انرژی تولید شده توسط یک بام سبز ارائه می‌کند تا پاسخ مناسبی به سؤال اثربخشی انرژی، چنین راه‌حلی ارائه دهد و نتایج به‌دست‌آمده در اقلیم‌های مختلف را گزارش کمی کند.

مانوس و همکاران (۲۰۲۱) به مطالعه ای تحت عنوان نقش بام های سبز در قرنطینه پس از کووید ۱۹ پرداختند آن ها بیان داشتند جمعیت شهری کمتر با طبیعت تماس می گیرند. با این حال، زیرساخت‌های سبز، به‌عنوان بام‌های سبز، خدمات اکوسیستمی متعددی را به عنوان ارتقای رفاه جسمی و روانی شهروندان ارائه می‌کنند. با شیوع ویروس کووید ۱۹ در جهان ، فضاهای عمومی مانند پارک ها و سایر مناطق تفریحی بسته شدند و اکثر شهروندان در خانه های خود محبوس شدند. در این زمینه نیاز به فضای بیرون در محیط مسکن بیش از پیش ضروری شد. بر اساس نظرسنجی انجام شده از شهروندان ساکن در ۳۵ کشور مختلف برای شناسایی دسترسی و ارزشی که به مناطق سبز موجود در محیط خانه در حین و پس از حبس داده شده است، و تمایل آنها برای هزینه کردن جهت داشتن یک بام سبز کاملا قابل مشاهده است. نتایج نشان می‌دهد که ۶۸ درصد از پاسخ‌دهندگان از داشتن یک باغ در حین محصور شدن غافل شده‌اند و ارزش فضای بیرونی پس از حبس افزایش یافته است. اکثر آنها مایلند برای یک بام سبز در دسترس با اندازه متوسط هزینه کنند و اگر فضای سبز بزرگتر باشد مقدار هزینه

www.SID.ir

ای که انجام می دهند افزایش می یابد. هزینه قابل پرداخت درکشورهای دیگر، برای بام‌های سبز با اندازه بالاتر از کشور پرتغال است، اما برای بام‌های سبز بزرگ‌تر تفاوت چندانی ندارد. برای ترویج سرمایه گذاری خصوصی در بام های سبز، شهروندان باید هنگام طراحی سیاست های تشویقی، زیرساخت سبز شهری جدید در نظر بگیرند.

گروهی از محققین با تمرکز بر عملکرد جذب آب سقف های سبز نشان داده اند که این سقف ها می توانند در مقیاس بزرگ بین ۱۵ تا ۸۶ درصد بارش و در مقیاس کوچک تا ۱۰۰ درصد بارش را ذخیره کنند. همچنین این سقف ها قادرند نرخ پیک رواناب را بین ۲۲ تا ۹۳ درصد کاهش داده و تا ۳۰ دقیقه آنرا به تأخیر بیاندازند (Stovin et al., 2012).

لشگری و طلیعی (۱۳۹۰) در مورد مزایای استفاده از سقف های سبز ارگانیک را تحقیق کردند. مقاله آنها درباره لزوم توجه به معماری پایدار در برقراری ارتباط ساکنان با محیط طبیعی است. سقف های سبز ارگانیک برای مشکلات ساخت و سازهای محیطی ، علاجی محسوب نمی شوند اما به عنوان یک استراتژی در ساخت و ساز پایدار ، در نظر گرفته می شوند، و می توانند نقش مهمی را ایفا کنند. این مقاله با روش تحلیلی- توصیفی در ابتداء یک شرح کلی از مفهوم سقف های ارگانیک سبز وپیشینه تاریخی آنها و همچنین به گسترش این رابطه در زمینه های مزایای محیطی، روانشناسی و زیبایی برای مصرف کنندگان می پردازد.

عبادی و احیایی (۱۳۹۰) مطالعه ای تحت عنوان آنالیز حرارتی مدل ساختمان مجهز به سقف سبز و مدیریت بهینه سازی انرژی انجام دادند. درمقاله آنها، مدلسازی و شبیه سازی مصرف انرژی برای یک ساختمان فرضی دو طبقه مجهز به سقف سبز در سه اقلیم مختلف ایران (بندر عباس: گرم و مرطوب، تهران: معتدل و خشک ,تبریز: سرد و خشک) صورت گرفته است. هدف از این شبیه سازی تاثیرات سقف سبز بر روی کاهش بارهای حرارتی ساختمان و نیز نقش آن در کاهش شار گرمایی عبوری از سقف ساختمان می باشد. روش کار بدین صورت است که ابتدا این ساختمان در یک نرم افزار مدل سازی مدل شده است سپس این مدل سه بعدی به موتور شبیه ساز انرژی پلاس تحویل داده شده , سپس شبیه سازی برای زمان های مختلف انجام شده است. برای هر یک از سه شهر، یک ساختمان معمولی با سقف آسفالت و یک ساختمان کاملا مشابه که در لایه آخر بام به جای آسفالت دارای پوشش گیاهی است شبیه سازی شده و نتایج خروجی با یکدیگر مقایسه شده است. برای تامین بارهای حرارتی و برودتی ساختمان از پمپ حرارتی استفاده شده است. نتایج شبیه سازی ها نشان داده است که با به کار گیری سقف سبز حالت پایه مصرف سالیانه انرژی الکتریسیته در شهرهای تهران، تبریز و بندر عباس به ترتیب ۱۲/۵ ,۱۶/۳ و ۲۳ درصد کاهش پیدا می کند. با توجه به مقادیر بدست آمده, استفاده از سقف سبز در مناطق گرمسیر (بندر عباس) نسبت به مناطق سردسیر (تبریز) کارایی بیشتری دارد. دلیل آن تاثیر سقف سبز به عنوان یک خنک کننده بر عملکرد سیستم سرمایشی ساختمان مورد مطالعه می باشد. شهر بندرعباس به دلیل دارا بودن آب و هوای گرم و خشک نیاز زیادی به انرژی در فصل تابستان برای خنک سازی محیط دارد ولی با توجه به متعادل بودن دما در ماه های سرد سال و نیاز نداشتن به انرژی جهت گرمایش میزان مصرف انرژی در طول سال برای شهر بندرعباس نسبت به دیگر شهرها بسیار پایین تر است. همچنین آزمون های حساسیت سنجی نشان داده است که مصرف انرژی ساختمان موصوف قویا به تغییرات پارامترهای ضخامت خاک و تراکم گیاهی ساختار سقف سبز وابسته است به طوری که هرچه ضخامت خاک مورد استفاده بیشتر باشد عایق حرارتی بهتری است و هرچقدر تراکم گیاهی بکار رفته بالاتر باشد قدرت بیشتری در ممانعت از تابش اشعه های خورشیدی دارد.

چهکندی نژاد و همکاران (۱۳۹۱) انواع سقف سبز و رفتار آن در یک ساختمان در معرض تابش خورشید را بررسی کردند. با توجه به اینکه ایران سرزمینی گرم و خشک است و دما در تابستان در مناطق جنوبی آن از ۴۰ درجه سانتیگراد نیز تجاوز می کند، تابش شدید روی سقف ساختمان ها حرارت زیادی تولید می کند. از اینرو می‌توان اهمیت سقف سبز را در کاهش گرما (به وسیله افزایش جرم و مقدار مقاومت گرمایی) و خنک سازی (به وسیله تبخیر) و کاهش میزان مصرف انرژی درک کرد. ساختمان سبز می تواند با ایجاد مقاومت های حرارتی در طول سقف، سبب کاهش مصرف انرژی برای گرمایش و

www.SID.ir

سرمایش ساختمان شود. با توجه به مطالعات به عمل آمده، سقف سبز نسبت به سقف معمولی می تواند سبب پایین آمدن دما روی سقف شود و نیاز به انرژی را کم کند.

محمدی و همکاران (۱۳۹۳) الگویی را برای ارزیابی چرخه ی حیات سقف سبز معرفی کردند. در مقاله آنها الگویی برای ارزیابی عملکرد محیط زیستی و اقتصادی سقف سبز با استفاده از روش ارزیابی چرخه ی حیات معرفی شد. برای این منظور اثرات مثبت و منفی چرخه ی حیات یک سقف سبز از نوع گسترده بررسی شده است. جهت ساده سازی ارزیابی، در مرحله ی فهرست نویسی چرخه ی حیات، فهرست مواد و فرآیندها با توجه به مثبت و منفی بودن اثراتشان در دو بخش ارائه شدند. همچنین برای اندازه گیری فواید سقف سبز روش هایی مانند UFORE معرفی شده اند. در مرحله ی تفسیر این الگو آثار مثبت اقتصادی و محیط زیستی از میزان آثار منفی آنها کسر شده و در نهایت سودمند بودن و یا نبودن سقف سبز از نظر اقتصادی و محیط زیستی مشخص می شود. نتایج چنین تحقیقاتی می‌تواند در تصمیم گیری برای تشویق ایجاد سقف های سبز در ساختمان ها مورد استفاده قرار گیرد.

محمدی و همکاران (۱۳۹۴) ارزش اقتصادی کاهش آلاینده های هوا توسط سقف های سبز مطالعه موردی: شهر تهران را برآورد کردند. هدف ازتحقیق آنها بررسی میزان جذب چهار آلاینده ی هوا (PM_{10} و SO_2 و NO_2 و CO_2) توسط سقف‌های سبز و برآورد ارزش اقتصادی این عملکرد در شهر تهران بود. میزان جذب دو آلاینده ی PM_{10} و SO_2 از فرمول رسوب خشک و دو آلاینده ی دیگر از تحقیقات انجام شده بدست آمد. برای ارزش گذاری اقتصادی میزان جذب از روش هزینه ی جایگزین استفاده شد. در مرحله ی بعد ارزش اقتصادی جذب آلاینده های هوا به کل شهر (با در نظر گرفتن ساختمان های مسکونی) و برای کل عمر سقف سبز (۵۰ سال) تعمیم داده شد. طبق نتایج تحقیق ارزش عملکرد تصفیه‌ی ۴ آلاینده مورد بررسی در طی ۵۰ سال و در حالتی که تمام سقف های ساختمان های مسکونی شهر تهران سبز شوند، ۱۱۳۷۳ میلیارد ریال برآورد شد. این عملکرد با توجه به هزینه ی ایجاد سقف سبز در حال حاضر تنها ۸٪ از هزینه ی اولیه آن را جبران می کند. تحقیقات بیشتر برای کاهش هزینه های تولید لایه های سقف سبز و همچنین برآورد سود اقتصادی سایر خدمات آن از الزامات توسعه ی این تکنولوژی است.

ایزانلو و بردی شیخی (۱۳۹۷) سناریوهای مدیریت رواناب سطحی را با استفاده از روش TOPSIS در حالت های مختلف وزن دهی (مطالعه موردی: شهر بجنورد) اولویت بندی کردند. درپژوهش آنها، تعدادی سناریوی مناسب برای مدیریت رواناب سطحی در شهر بجنورد انتخاب و رتبه بندی شد. ابتدا با مطالعه و مرور منابع علمی در مورد نتایج حاصل از اجرای این اقدامات در سایر کشورها، بررسی شرایط اجرایی هر کدام و استفاده از نظر کارشناسان محلی، شش اقدام مدیریتی شامل سیستم نگهداشت زیستی، تراشه نفوذ، آسفالت نفوذپذیر، پیاده روی نفوذپذیر، پشت بام سبز و مخازن جمع آوری آب باران برای اجرا در سطح شهر بجنورد انتخاب شد و اثرات اجرای هر سناریو، از سه جنبه هیدرولوژیکی، اجتماعی و اقتصادی بررسی شد. به منظور ارزیابی سطح پذیرش مردمی تعداد ۶۰ پرسش نامه توسط جامعه شهروندان عادی و همچنین تعداد ۳۰ پرسش نامه توسط کارشناسان و مسئولان ذیربط تکمیل شد. بعد از محاسبه هزینه هر کدام از اقدامات مدیریتی و همچنین برآورد حجم رواناب تولیدی در هر سناریو با کمک مدل SWMM برای دوره بازگشت پنج سال، از روش تصمیم گیری چند معیاره برای اولویت بندی این اقدامات استفاده شد. تکنیک تصمیم گیری چند معیاره استفاده شده در این پژوهش TOPSIS بود که در حالت های مختلف وزن دهی (وزن‌دهی یکسان، دلفی، آنتروپی شانون، تاکید بر معیار هیدرولوژیکی، اجتماعی و اقتصادی) مورد بررسی قرار گرفت. براساس نتایج به دست آمده در این پژوهش با تاکید بر روش وزن دهی یکسان، دلفی و با تاکید بر معیار اجتماعی سناریوی ترانشه نفوذ که سازگارترین گزینه به راه حلی ایده آل است، در اولویت اول قرار گرفت. همچنین در این روش با تاکید بر معیار اقتصادی و آنتروپی شانون سناریوی مخازن آب باران و با تاکید بر معیار هیدرولوژیکی سناریو پشت بام سبز در اولویت قرار گرفت.

www.SID.ir

پورصاحبی و همکاران (۱۳۹۸) روش های LID-BMP را بر میزان رواناب شهری (مطالعه موردی: منطقه ۲۲ تهران) شبیه سازی کردند. پژوهش آنها در مورد اثر روش های LID-BMP با استفاده از مدل SWMM بر میزان رواناب منطقه ۲۲ تهران با مساحت ۵۴۰۰۰ هکتار انجام شد. این پژوهش شامل پنج سناریوی شرایط فعلی، بام سبز، صفحه نفوذپذیر، جوی باغچه و بام سبز- صفحه نفوذپذیر- جوی باغچه در پنج دوره بارش (۲، ۵، ۱۰، ۵۰ و ۱۰۰ ساله) برای ۱۹ زیرحوضه در این منطقه بود. نتایج نشان داد که اثر بخشی هر سه روش در کاهش رواناب با افزایش دوره بازگشت بارش تا ۵۰ سال اجرای روند صعودی داشت ولی در دوره بازگشت ۱۰۰ ساله، اثر این روش ها کاهش یافت. اجرای بام سبز بیشترین و جوی باغچه کمترین اثر را در کاهش مقدار رواناب داشتند. همچنین مقایسه دبی پیک این روش ها نسبت به طرح جامع مدیریت سیلاب تهران نشان داد که بام سبز بیشترین اثر را بر کاهش دبی پیک سیلاب داشت.

آرمان و همکاران (۱۳۹۸) در زمینه اثر توسعه شهری بر تولید رواناب با استفاده از مدل SWMM، (مطالعه موردی: شهرستان ایذه، استان خوزستان) تحقیق کردند. هدف از تحقیق آن ها، ارزیابی کارایی مدل بارش-رواناب SWMM در شبیه-سازی رواناب سطحی در حوضه شهر ایذه می‌باشد. برای مشخص کردن بارندگی طرح، زمان تمرکز حوضه محاسبه و تداوم رگبار طرح برابر زمان تمرکز حوضه در نظر گرفته شد. همچنین، از سه معیار NAS، BIAS و RMSE برای بررسی صحت واسنجی و اعتبارسنجی مدل استفاده شد. در نهایت پس از تأیید مدل، نقاط حساس به آب‌گرفتگی با دوره بازگشت‌های دو، پنج، ۱۰، ۲۰، ۵۰ و ۱۰۰ ساله تعیین شد. نتایج نشان داد، علت آب‌گرفتگی در بعضی از نقاط به دلیل نبود ظرفیت کافی آبگذرها است، در حالی‌که در سایر نقاط با وجود ظرفیت کافی برای عبور رواناب، آب‌گرفتگی مشاهده می‌شود که دلیل آن مربوط به احداث پل‌های نامناسب در مسیر کانال‌هاست که سبب کاهش ابعاد آبگذر و آشغال گرفتگی در محل گره‌ها است. برای واسنجی و ارزیابی مدل‌ها از سه واقعه بارندگی در تاریخ‌های ۱۳۹۵/۱۲/۲۳،۱۳۹۶/۰۱/۰۸ و ۱۳۹۶/۰۱/۱۷ استفاده شد. نتایج ارزیابی مدل SWMM نشان داد، انطباق خوبی بین دبی شبیه‌سازی شده و مشاهده‌ای وجود دارد. بنابراین، می‌توان از این مدل‌ها برای پیش‌بینی خطر آب‌گرفتگی، طراحی و برآورد مقدار و هزینه زهکشی، مدیریت حوضه‌های شهری و اولویت‌بندی مناطق برای رفع مشکل آب‌گرفتگی استفاده کرد.

تقوایی و شاکری (۱۳۹۹) تاثیر تغییر کاربری بر مشخصات هیدرولیکی رواناب های شهری مطالعه موردی منطقه ۷ شهر تهران مدل سازی کردند. هدف اصلی در پژوهش آنها این بود که با توجه به توسعه شهرها و بخصوص کلان شهرها و در پی آن تغییرات کاربری به وجود آمده در منطقه ۷ شهرداری تهران، چه تاثیری بر مدیریت رواناب حاصل شده در سطح منطقه حاصل خواهد شد. بررسی و تحلیل نتایج به دست آمده از مدلسازی ها در محیط نرم افزار SWMM صورت گرفته است. به صورت میانگین مقدار نفوذ کل از ۱۲/۸ میلیمتر به ۳/۸ میلیمتر رسیده است که کاهشی برابر با ۷۰ بوده است. همچنین، مقدار حجم رواناب از ۵۱/۹ متر مکعب به ۶۸/۷ متر مکعب رسیده است که افزایشی برابر با ۳۲ بوده است. بعلاوه، مقدار حجم رواناب از ۵/۹ متر مکعب بر ثانیه به ۸/۱ متر مکعب رسیده است که افزایشی برابر با ۳۷ بوده است. همچنین، افزایش ۲۵ در سطح کاربری مسکونی در منطقه ۷ شهرداری تهران منجر به افزایش دبی پیک در تخلیه کننده غیاثوند به میزان ٪۳۰ در دبی پیک رواناب عبوری شده است. تغییرات سطح کاربری بر روی تخلیه کننده خواجه نصیر و نیز تونل سهروردی تاثیری نداشته است. در نهایت، تغییرات در حجم رواناب برای تونل سهروردی وخروجی خواجه نصیر کمتر از ۱ ثبت شده است. با این حال در خروجی غیاثوند افزایش حجم رواناب از ۳۸۸۲۹ متر مکعب به ۴۷۵۶۲ مترمکعب مشاهده شده است که افزایشی برابر با ٪۲۲ بوده است.

کاظم زاده و شمس کیا (۱۳۹۹) در زمینه عملکرد شهری با رویکرد یافتن راهکار در جهت مدیریت رواناب های سطحی مبتنی بر افزایش تاب آوری (مورد مطالعه : دره شهر) تحقیق کردند. در پژوهش آن‌ها عملکرد خیابان نیروی هوایی شهر دره شهر در جنوب شرقی استان ایلام برای مبنای مشاهدات میدانی نگارندگان در جهت کشف راه حلی برای جلوگیری از تکرار فاجعه بار مواجهه مراکز جمعیتی با سیلاب ناشی از رواناب های سطحی مورد بررسی قرار گرفت. باز طراحی خیابان نیروهوایی

www.SID.ir

شهر دره شهر با ساخت بلوار مقعر (نهر) و میدان ها به مثابه استخر و حوضچه های کنترل سرعت و مدیریت جریان رواناب های سطحی برمبنای تحلیل حجم و آسیب های سیلاب فروردین ۱۳۹۸ می تواند تاب آوری شهری را تا حد بسیار مطلوبی افزایش دهد. تا در صورت تکرار این رخداد طبیعی، نه تنها از وارد شدن آسیب های جانی و مالی جلوگیری به عمل آورد بلکه با مهندسی و مدیریت جامع رواناب های سطحی، از این منبع نادر آب شیرین استفاده بهینه صورت پذیرد.

جمشیدی و همکاران (۱۳۹۹) به مطالعه ای تحت عنوان تعیین پارامترهای مدل کمی- کیفی رواناب شهر شوشتر با استفاده از واسنجی مدل SWMM پرداختند هدف از پژوهش آنها افزایش روز افزون جمعیت و تراکم شهرنشینی و در نتیجه افزایش سطوح نفوذ ناپذیر بود که منجر به افزایش حجم رواناب های شهری شده است همچنین رخداد بارش ها باعث تغییر در کیفیت رواناب و ورود آلاینده ها می گردد. استفاده از مدلهای شبیه سازی راهی مناسب برای آگاهی از میزان پارامترهای کیفی رواناب می باشد. در این مطالعه کیفیت رواناب های شهر شوشتر و تعیین ضرایب هیدرولیکی و هیدرولوژیکی با استفاده از مدل SWMM بررسی گردید. دو واقعه بارش شهر شوشتر در سال ۹۵ برای انجام فرآیند واسنجی و اعتبار سنجی مدل در نظر گرفته شد و پارامتر های مرتبط با واقعه بارش اول در نقطه خروجی سیستم جمع آوری رواناب اندازه گیری شد. واسنجی کمی و کیفی مدل با استفاده از بارش اول و اعتبار سنجی مدل با استفاده از بارش دوم انجام گردید. در واسنجی بخش هیدرولیکی، مقادیر میانگین نفوذ ناپذیری، شیب، عرض زیرحوضه و ضریب مانینگ به ترتیب ٪۵۰، ٪۷۵، ۲۵ متر و ۰/۰۱۳ تخمین زده شدند. در بخش کیفی نیز ضرایب معادلات Build-up برایTSS ، COD و Zn به ترتیب (۹۵، ۲۵)، (۴۸، ۱) و (۱ ، ۰/۰۹) و ضرایب معادلات Wash-off برای این پارامترها به ترتیب (۰/۲۱، ۰/۸)، (۰/۲، ۰/۸) و (۰/۱۹، ۰/۷۸) تخمین زده شدند. نتایج نشان داد که واسنجی دقیق مدل، توانایی مدل را در پیش بینی پارامترهای کمی و کیفی در بارش های بعدی برای منطقه مورد مطالعه افزایش می دهد.

ناصح پور و همکاران (۱۳۹۹) به مطالعه ای تحت عنوان ارزیابی اثرات توسعه شهری بر رواناب با استفاده از مدل SWMM (مطالعه موردی: استان قم) پرداختند. هدف پژوهش آنها بدین صورت بود که در یک حوزه آبخیز طبیعی بیشتر سطح زمین نفوذپذیر و به وسیله پوشش گیاهی پوشیده شده است، به همین جهت مقدار زیادی از بارش از راه گیرش گیاهی، نفوذ در خاک و تبخیر و تعرق از دست می‌رود. اما در یک حوضه آبخیز شهری به دلیل شهرسازی، سطح نفوذناپذیر حوضه افزایش می-یابد که افزایش حجم رواناب و دبی اوج، فرسایش کف و کناره‌های کانال‌های پایین دست وکاهش سطح آب زیرزمینی و تخریب کیفیت آب را به دنبال دارد. هدف از این تحقیق، کاربرد شبیه‌سازی SWMM برای برآورد ارتفاع رواناب و همچنین هیدروگراف رواناب و بررسی اثرات تغییرات پوشش اراضی و موقعیت پوشش اراضی و ابزارهای توسعه کم اثر بر پاسخ هیدرولوژیکی حوضه آبخیز شهری با استفاده از مدل مورد نظر می‌باشد. برای انجام این تحقیق اجرای مدل SWMM در یکی از مناطق شهری شهر قم مد نظر قرار گرفت. حوضه مورد مطالعه با وسعتی معادل ۲۵۶ هکتار در بخش شمال غربی قم واقع شده است. در این تحقیق نتیجه‌گیری شد که در دو زیرحوضه دو و شش افزایش ۷۰ و ۴۰ درصدی سطوح نفوذناپذیر موجب افزایش ۳۰ درصد در مقدار رواناب می‌شود. همچنین افزایش ۱۰ درصد سطح نفوذناپذیر در حوضه آبخیز بالادست و پایین دست حوضه به ترتیب موجب افزایش ۶/۵۱ و ۶/۸۷ درصد افزایش در دبی اوج می‌شود. که بیانگر آن است که موقعیت مکانی سطح نفوذناپذیر تاثیر اندکی بر میزان رواناب دارد. استفاده از ابزار ذخیره‌ای نیز تاثیر چشمگیری برکاهش میزان رواناب شهری داشته است. نتایج حاصل از مدل SWMM در برآورد رواناب شهری بیان می‌دارد که به منظور مدیریت بهینه رواناب در مناطق خشک بایستی اثرات میزان و موقعیت کاربری اراضی بر میزان رواناب شهری و همچنین استفاده از ابزارهای ذخیره باران در این مناطق مدنظرقرارگیرد.

قادری دهکردی و همکاران (۱۳۹۹) با استفاده از مدل SWMM قابلیت جمع‌آوری و استحصال رواناب شهر بابلسر، استان مازندران را مورد مطالعه قرار دادند. در پژوهش آنها، پتانسیل تولید رواناب شهری در بخشی از محدوده شهری بابلسر بررسی شد. هدف از آن، تحلیل قابلیت استحصال آب جمع‌آوری شده باران در دوره‌های بازگشت‌های مختلف برای کاربرد در مصارف

www.SID.ir

شهری است. بدین‌منظور منطقه ۶۵/۶۹ هکتاری مطالعاتی در قالب شش واحد هیدرولوژیکی (از ۵/۹۴ تا ۱۶/۸۲ هکتار)، شش گره خروجی و چهار کانال تعریف شد و ارتفاع رواناب حاصل از بارش ۲۴ ساعته با دوره بازگشت‌های مختلف به‌دست آمد. با توجه به این نتایج، مقدار بارش ۲۴ ساعته با دوره بازگشت ۲۵ سال برابر ۷۰/۳۷ میلی‌متر است که از این مقدار، ۳۳/۷۳ میلی‌متر صرف نفوذ و ۳۵/۶۰ میلی‌متر نیز مربوط به رواناب است. نتایج پژوهش نشان داد که در حدود ۵۲/۱ درصد از بارش طرح شهر بابلسر می‌تواند قابلیت تبدیل‌شدن به رواناب را داشته باشد. بیشترین ضریب رواناب در واحد هیدرولوژیک S3 است که در دوره بازگشت ۱۰۰ سال، مقداری برابر ۰/۶۳۷ دارد. در این حال، کمترین ضریب رواناب در واحد هیدرولوژیک S1 است که مقدار آن در دوره بازگشت دو سال برابر ۰/۳۵۲ است. همچنین، نتایج نشان داد که ضریب رواناب با دوره بازگشت ارتباط مستقیم دارد و بارش‌های بزرگ‌تر، ضریب رواناب بالاتری دارند.

اروند و همکاران (۱۳۹۹) به مطالعه ای تحت عنوان ارزیابی مدل مدیریت سیلاب SWMM5.0 در شبیه سازی رواناب شهری (مطالعه موردی: حوضه شهری نیشابور) پرداختند در مطالعه آنها، مدل مدیریت سیلاب SWMM5.0 برای شبیه‌سازی مقدار کمی رواناب یک زیرحوضه شهری واقع در شهرستان نیشابور انتخاب گردید. داده‌های مورد نیاز از ۹ رخداد بارش جمع آوری شد و مدل با استفاده از ۶ رخداد واسنجی و با ۳ رخداد دیگر ارزیابی گردید. کارایی مدل با استفاده از میانگین ریشه دوم خطای نرمال شده (NRMSE)، راندمان مدل (EFF) و ضریب باقیمانده (CRM) مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که مدل SWMM5.0 می تواند با دقت، شکل هیدروگراف، دبی پیک و زمان رسیدن به دبی پیک را شبیه‌سازی کند. به طوری‌که مقادیرEFF ، NRMSE، CRM در مرحله اعتبارسنجی به ترتیب ۸۰ درصد، ۲۹/۴ درصد و ۱۶ m^3/s بدست آمد. به طور کلی می‌توان گفت مدل SWMM5.0 می‌تواند ابزار مدل‌سازی مفیدی برای شبیه‌سازی هیدروگراف رواناب شهری باشد. در پایان از مدل ارزیابی شده برای شبیه‌سازی سیلاب با دوره بازگشت‌های ۲، ۵ و ۱۰ ساله استفاده گردید.

محمدزاده و همکاران (۱۴۰۰) به مطالعه ای تحت عنوان تاثیر زیرساخت های سبز بر کاهش مخاطرات سیل در حوضه های شهری (مطالعه موردی: شهر شیراز) پرداختند در پژوهش آنها، با استفاده از مدل SWMM پتانسیل تولید رواناب شهری در بخشی از محدوده شهری شیراز بررسی شد. برای واسنجی و ارزیابی از مدل SWMM سه واقعه بارندگی استفاده شد. نتایج ارزیابی مدل نشان داد، انطباق خوبی بین دبی شبیه سازی شده و مشاهده ای وجود دارد. در مدل SWMM منطقه ۶۳ هکتاری مطالعاتی در قالب ۱۳۷ زیرحوضه تعریف شده و ارتفاع رواناب حاصل از بارش یک ساعته با دوره بازگشت های مختلف براورد شد. نقاط بحرانی حوضه تعیین و متوجه شدند که برخی از شبکه های فرعی توانایی عبور سیلاب با دوره بازگشت دو ساله و عمده مناطق با دوره بازگشت پنج ساله را ندارند. بنابراین پیشنهاد شد با ایجاد زیرساختهای سبز و اصلاح شبکه جمع آوری آبهای سطحی، از سیلاب های شهری جلوگیری شود.

نظری و همکاران (۱۴۰۰) مدیریت رواناب شهری با رویکرد بهینه سازی روش های توسعه کم اثر و تلفیق مدل SWMM و SUSTAIN را شبیه سازی کردند. در پژوهش آنها، از مدل SWMM به منظور شبیه سازی فرایند بارش رواناب در ناحیه یک منطقه ۱۱ شهرداری تهران استفاده شد. ۶ سناریو شامل ترکیبات مختلفی از انواع LID شامل بام سبز، مخزن باران، سلول نگهداشت زیستی، معابر نفوذپذیر، جوی باغچه و حوضچه نفوذ در نظر گرفته شد. سپس مدلSUSTAIN به منظور ارزیابی عملکرد هر سناریو به کار گرفته شد. در گام بعد پاسخ های بهینه از طریق الگوریتم بهینه سازی NSGA-II به دست آمد و برای هر سناریو یک منحنی پارتوی هزینه-عملکرد ارائه شد. نتایج نشان داد پاسخ های منتخب پیاده سازی سناریوهای ۱ تا ۶ به ترتیب حجم رواناب را به میزان ۵۳، ۴، ۶۶، ۷۲، ۳۱ و ۳۴ درصد کاهش دادند. سناریوی ۴ با ترکیبی از مخازن باران، معابر نفوذپذیر و جوی باغچه با ۷۲ درصد و هزینه ۱۲/۲ میلیون دلار، بهینه ترین عملکرد را نسبت به پاسخ های متناظر از سناریو های دیگر نشان داد و سناریوی ۶ نیز با ۳۴ درصد کاهش حجم رواناب و هزینه ۷/۱ میلیون دلار در رتبه بعدی قرار گرفت. به کارگیری تلفیقی مدل هایSUSTAIN و SWMM کمک کرد تا علاوه بر عملکرد فنی، هزینه و عملکرد هر سناریو ارزیابی و

www.SID.ir

امکان بهینه سازی آن فراهم شود. نتایج به دست آمده از این پژوهش می تواند مدیران شهری و تصمیم گیرندگان را در طراحی، تخمین عملکرد و هزینه های اجرایی سناریو های LID یاری کند.

نتیجه‌گیری

سیلاب یکی از مهم‌ترین بلاهای طبیعی به شمار می‌آید که همواره خسارات سنگینی به بار می‌آورد. امروزه با پیشرفت تکنولوژی به خصوص در زمینه علوم رایانه می‌توان با پیش‌بینی صحیح و نزدیک به واقعیت زمان وقوع و میزان دبی حداکثر سیل، مدیریت صحیح و ارائه سناریوی کنترل سیلاب مناسب برای حوضه مورد نظر از خسارات ناشی از آن جلوگیری کرد و یا به حداقل ممکن رساند. فضاهای شهری از دیرباز تاکنون بستر کالبدی جهت تعاملات اجتماعی مردم بوده‌اند. در این میان مسیل‌ها و رودخانه‌های شهری، به عنوان فضاهای پنهان شهری، گزینه‌هایی هستند که بی‌توجه رها شده‌اند و با توجه به کمبود فضاهای سبز و باز در شهرها و به رغم پتانسیل‌های فراوانی که دارند استفاده کامل و مناسبی از آنها نمی‌شود . با زنده‌سازی فضاهای شهری، فرآیندی ضروری جهت پایداری و بهبود کیفیت آن صورت گرفته است. در فضاهای شهری امروزی ایجاد پوشش گیاهی در سقف ها علاوه بر ایجاد فضای سبز، افزایش زیبایی و کاهش دما باعث جذب رواناب و کاهش میزان سیلاب شهری می شود. همانگونه که در این مقاله بیان شد محققان بسیاری همواره با مطالعه و تحقیق پیرامون سقف سبز و بررسی هزینه های اجرایی آن سعی کردند تا مزایای بالقوه آن را بالاخص در کاهش مخاطرات سیلاب شهری نشان دهند.

مراجع

۱. آرمان، ن.؛ شهبازی، ع.؛ فرجی، م.؛ دهداری، س. (۱۳۹۸). اثر توسعه شهری بر تولید رواناب با استفاده از مدل SWMM (مطالعه موردی: شهرستان ایذه، استان خوزستان). فصلنامه مهندسی و مدیریت آبخیز، دوره: ۱۱(۳): ۷۵۰-۷۵۸.

۲. اروند، ص. دلقندی، م. گنجی نوروزی، ز. علیپور، ا. (۱۳۹۹). ارزیابی مدل مدیریت سیلاب SWMM5.0 در شبیه سازی رواناب شهری (مطالعه موردی: حوضه شهری نیشابور). مهندسی آبیاری و آب ایران، دوره: ۱۰، شماره ۳.

۳. ایزانلو، ر.؛ بردی شیخی، و. (۱۳۹۷). اولویت‌بندی سناریوهای مدیریت رواناب سطحی با استفاده از روش TOPSISدر حالت های مختلف وزن دهی (مطالعه موردی: شهر بجنورد). مجله آب و فاضلاب، دوره: ۲۹(۱۸): ۱۵-۲۶.

۴. اکبری امام زاده، ف.؛ فتحی آشتیانی، ف. (۱۴۰۰). بررسی تاثیر سناریوهای توسعه کم اثر در مدیریت رواناب شهری. ششمین همایش بین المللی دانش و فناوری علوم کشاورزی، منابع طبیعی و محیط زیست ایران، تهران، ایران.

۵. دهقانی نژاد، ح.؛ بختیاری، م.؛ هاشم پور، ص.س. (۱۴۰۰). بررسی نقش فضای سبز در کنترل سیلاب های شهری و نقش آن در پدافند غیرعامل. سیزدهمین کنفرانس ملی مهندسی عمران، معماری و توسعه شهری، بابل، ایران.

۶. پورصاحبی، ع. ذاکری نیری، م. معظمی گودرزی، ص. (۱۳۹۸). شبیه سازی روش های LID-BMP بر میزان رواناب شهری (مطالعه موردی: منطقه ۲۲ تهران). مجله آب و فاضلاب، دوره: ۳۰، شماره ۳.

۷. تقوایی، م.، شاکری، ع. (۱۳۹۹). مدلسازی و بررسی تاثیر تغییر کاربری بر مشخصات هیدرولیکی رواناب های شهری مطالعه موردی منطقه ۷ شهر تهران. اولین کنفرانس معماری، عمران، محیط زیست و کشاورزی، تهران، ایران.

۸. خلیلی‌فرد، ر. امیدی، م. (۱۴۰۰). مدیریت سیلاب های شهری در سیستم شهرسازی جدید. کنفرانس ملی معماری، عمران، شهرسازی و افق‌های هنر اسلامی در بیانیه گام دوم انقلاب، تبریز، ایران.

۹. چهکندی نژاد، پ. طالبی، م. بابایی مقدم، ز. چهکندی نژاد، آ. (۱۳۹۱). انواع سقف سبز و مطالعه رفتار آن در یک ساختمان در معرض تابش خورشید. دومین کنفرانس بین‌المللی رویکردهای نوین در نگهداشت انرژی، تهران.

۱۰. جمشیدی، ب. طهماسبی بیرگانی، ی. جعفرپور، م. علوی بختیاروند، ن. بابایی، ع ا. حقیقی، ع. گودرزی، غ ر. (۱۳۹۹). تعیین پارامترهای مدل کمی- کیفی رواناب شهر شوشتر با استفاده از واسنجی مدل SWMM. فصلنامه پژوهش در بهداشت محیط، دوره: ۶، شماره: ۳.

www.SID.ir

۱۱. لشگری، ط.، طلیعی، ژ. (۱۳۹۰). بررسی مزایای استفاده از سقف های سبز ارگانیک؛ عنصر هماهنگ‌کننده با محیط زیست. دومین گردهمایی و همایش ملی معماری پایدار، دانشگاه آزاد واحد همدان، همدان، ایران.
۱۲. کاظم زاده، ع. شمس کیا، ن. (۱۳۹۹). بررسی عملکرد شهری با رویکرد یافتن راهکار در جهت مدیریت رواناب های سطحی مبتنی بر افزایش تاب آوری (مورد مطالعه : دره شهر). دوماهنامه نخبگان علوم و مهندسی، دوره: ۵، شماره ۱.
۱۳. قادری دهکردی، ن. سلیمانی، ک. کاویان، ع. رشیدپور، م. (۱۳۹۹). بهره‌گیری از مدل SWMM در تعیین قابلیت جمع‌آوری و استحصال رواناب شهر بابلسر، استان مازندران. فصلنامه مهندسی و مدیریت آبخیز، دوره: ۱۲، شماره ۴.
۱۴. عبادی، م.، احیایی، م. (۱۳۹۰). آنالیز حرارتی مدل ساختمان مجهز به سقف سبز و مدیریت بهینه سازی انرژی. مجله تخصصی مهندسی مکانیک تبدیل انرژی. ۲(۳): ۱-۱۳.
۱۵. محمدزاده، ف. ملکی نژاد، ح. روشن، ا. ستوده، ا. (۱۴۰۰). تاثیر زیرساخت‌های سبز بر کاهش مخاطرات سیل در حوضه های شهری (مطالعه موردی: شهر شیراز). دومین کنفرانس بین المللی و پنجمین کنفرانس ملی صیانت از منابع طبیعی و محیط زیست، اردبیل.
۱۶. محمدی، ا.، میرکریمی، ح.، محمدزاده، م. (۱۳۹۳). معرفی الگویی برای ارزیابی چرخه حیات سقف سبز. دوازدهمین همایش ملی ارزیابی اثرات محیط زیستی ایران، تهران، ایران.
۱۷. محمدی، ا.، میرکریمی، ح.، محمدزاده، م. (۱۳۹۴). برآورد ارزش اقتصادی کاهش آلاینده های هوا توسط سقف های سبز مطالعه موردی: شهر تهران. سومین همایش ملی پژوهشهای محیط زست و کشاورزی ایران، گرگان، ایران.
۱۸. ناصح پور، م. خزیمه نژاد، ح. فروتن، ا. (۱۳۹۹). ارزیابی اثرات توسعه شهری بر رواناب با استفاده از مدل SWMM (مطالعه موردی: استان قم). فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره:۲۲، شماره: ۱۲.
۱۹. نظری، ا ح. روزبهانی، ع. هاشمی شاهدانی، س م. (۱۴۰۰). مدیریت رواناب شهری با رویکرد بهینه سازی روش‌های توسعه کم اثر و تلفیق مدل‌های SWMM و SUSTAIN. مجله آب و فاضلاب، دوره: ۳۲، شماره ۴
20. Abolhabib, M., Sharifi, F., & Dehaghani, A. R. (2020). *A hesitant fuzzy DANP for Identifying and prioritizing effects and challenges of green roof on mental health in developing countries*. Journal of Advanced Pharmacy Education & Research| Jan-Mar, 10(S1).
21. Amy, H., Lundholm, J. (2022). Changes in plant community composition and functional plant traits over a four-year period on an extensive green roof, *Journal of Environmental Management*, 304, 114154.
22. Anna, G.D., Coffman, R.R., Taylor G.F., Blackwood, B.C. (2021). Moving beyond habitat analogs: Optimizing green roofs for a balance of ecosystem services, *Ecological Engineering*, 173, 106422.
23. Bick, I. A., Bardhan, R., & Beaubois, T. (2018). *Applying fuzzy logic to open data for sustainable development decision-making: a case study of the planned city Amaravati*. Natural Hazards, 91(3), 1317-1339.
24. Bevilacqua, P. (2021). The effectiveness of green roofs in reducing building energy consumptions across different climates. A summary of literature results, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 151, 111523.
25. Busker, T., Moel, H., Haer, T., Schmeits, M., den Hurk, B., Myers, K., Cirkel, D.G., Aerts, J. (2022). *Journal of Environmental Management*, 301(1), 113750.
26. Dabbaghian, M., Hewage, K., Reza, B., Culver, K., & Sadiq, R. (2014). *Sustainability performance assessment of green roof systems using fuzzy-analytical hierarchy process (FAHP)*. International Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development, 5(4), 260-276.
27. Fleck, R., Gill, R.L., Saadeh, S., Pettit, T., Woosterd, E., Torpy, F., Irga, P. (2022), Urban green roofs to manage rooftop microclimates: A case study from Sydney, Australia, *Building and Environment*, 209(1), 108673.
28. Haider, H., Ghumman, A. R., Al-Salamah, I. S., Ghazaw, Y., & Abdel-Maguid, R. H. (2019). *Sustainability evaluation of rainwater harvesting-based flood risk management strategies: a multilevel decision-making framework for arid environments*. Arabian Journal for Science and Engineering, 44(10), 8465-8488.
29. Karteris, M., Theodoridou, I., Mallinis, G., Tsiros, E., & Karteris, A. (2016). *Towards a green sustainable strategy for Mediterranean cities: Assessing the benefits of large-scale green roofs implementation in Thessaloniki, Northern Greece, using environmental modelling, GIS and very high spatial resolution remote sensing data*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 58, 510-525.
30. Lu, W., & Qin, X. (2019). *An integrated fuzzy simulation-optimization model for supporting low impact development design under uncertainty*. Water Resources Management, 33(12), 4351-4365.

www.SID.ir

31. Mahdiyar, A., Tabatabaee, S., Durdyev, S., Ismail, S., Abdullah, A., & Rani, W. N. M. W. M. (2019). *A prototype decision support system for green roof type selection: A cybernetic fuzzy ANP method*. Sustainable cities and society, 48, 101532.
32. Manso, M., Sousa, B., Silva, C.M., Cruz, C.O. (2021). The role of green roofs in post COVID-19 confinement: An analysis of willingness to pay, *Journal of Building Engineering*, 44, 103388.
33. Osmundson T. (1999). *Roof gardens: history, design, and construction*, NewYork: W.W.Norton & Company Ltd, 420 p.
34. Seda, T. Ü. R. K. (2021). *An Intuitionistic Fuzzy-based MCDM Approach For Location Selection Of Pilot Area For Green Roof Systems In Igdir Province, Turkey*. Journal of the Institute of Science and Technology, 11(1), 179-191.
35. Shafique, M., Azam, A., Rafiq, M., Ateeq, M., & Luo, X. (2020). *An overview of life cycle assessment of green roofs*. Journal of Cleaner Production, 250, 119471.
36. SophieJoimel, S., Grard, B., Chenu, C., Cheval, P., Mondy, S., Lelièvre, M., Auclerc, A., Gonod, A.V. (2022). One green roof type, one Technosol, one ecological community, *Ecological Engineering*, 175, 106475.
37. Stovin, V., Vesuviano, G., & Kasmin, H. (2012). The hydrological performance of a green roof test bed under UK climatic conditions. *Journal of hydrology*, 414, 148-161.
38. Tabatabaee, S., Mahdiyar, A., Mohandes, S. R., & Ismail, S. (2022). *Towards the development of a comprehensive lifecycle risk assessment model for green roof implementation*. Sustainable Cities and Society, 76, 103404.
39. Teotónio, I., Cabral, M., Cruz, C. O., & Silva, C. M. (2020). *Decision support system for green roofs investments in residential buildings*. Journal of Cleaner Production, 249, 119365.
40. WenLiu, Y., Qian, Y., Yao, Y., Feng, Q., Engel, B.A., Chen, W., Yu, T. (2022). Identifying city-scale potential and priority areas for retrofitting green roofs and assessing their runoff reduction effectiveness in urban functional zones, *Journal of Cleaner Production*, 332(15), 130064.

www.SID.ir