

## به سوی طراحی شهری کم کربن مبتنی بر روش تحلیل یکپارچه منابع تولید کربن (مورد مطالعه: شهر سمنان)

الهه سادات موسوی سروینه باغی<sup>۱</sup>، احسان رنجبر<sup>۲\*</sup>

۱ دانش آموخته کارشناسی ارشد طراحی شهری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه تربیت مدرس، ایران

۲ استادیار گروه طراحی شهری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه تربیت مدرس، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۲/۰۲؛ تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۰۴/۰۹)

### چکیده

امروزه با گسترش شهرنشینی زندگی شهرنشینان با مشکلات بسیاری ازجمله آلودگی هوا مواجه شده است. فرم شهر عامل مهمی در جهت هدایت جریان آلاینده‌ها به شمار می‌آید که این موضوع نقش طراحی شهری را در بهبود کیفیت هوا پررنگ‌تر نموده است. گام نخست در راستای دستیابی به مفهوم ارتباط فرم شهر و کیفیت هوا، بررسی موقعیت عناصر اصلی شهر است که نقش تعیین‌کننده در شکل‌گیری فرم شهر دارند و به علاوه در آلودگی هوا نیز تاثیر گذارند. این عناصر عبارتند از واحدهای مسکونی، واحدهای صنعتی و بزرگراه‌ها. از این‌رو در پژوهش حاضر با در نظر گرفتن سمنان به‌عنوان یکی از شهرهای مهم ایران که از لحاظ جنبه‌های معماری و اقلیمی همواره مورد توجه بوده است، به بررسی پیرامون میزان تولید کربن منتشر شده در این شهر از سه منظر واحدهای مسکونی، واحدهای صنعتی و وسایل نقلیه موتوری پرداخته شده است. در این راستا از میان مدل‌ها و ابزار تحلیلی شناسایی شده، مدل Gauss و مدل Caline4 انتخاب شده است. با استفاده از داده‌های به‌دست آمده از مدل‌های مذکور میزان پراکنش گاز کربن‌دی‌اکسید از واحدهای مسکونی در محدوده مورد مطالعه و بزرگراه مجاور آن و همچنین کارخانه فروسیلیس محاسبه شده است. نتایج حاصله نشان می‌دهد که این شهر در محاصره واحدهای آلاینده قرار دارد و تمرکز فعالیت‌های صنعتی و بزرگراه‌ها در مجاورت شهر منجر به گسترش نفوذ کربن به مناطق مسکونی شده است. از سوی دیگر محاسبه میزان کربن انتشار یافته از مناطق مسکونی نشان می‌دهد که طراحی‌های نامتناسب با اقلیم منجر به افزایش سطح مصرف سوخت‌های فسیلی و به تبع افزایش سطح انتشار کربن، شده است.

**کلیدواژه‌ها:** سمنان، طراحی شهر کم‌کربن، آلودگی هوا، تغییر اقلیم، فعالیت‌های صنعتی، اتومبیل

## سرآغاز

بررسی‌های اقلیمی نشان می‌دهد که گرم شدن سطح زمین رابطه‌ی خطی با افزایش انتشار کربن دارد. در سال‌های اخیر گرمایش کره‌ی زمین به یکی از مشکلات جدی تبدیل شده که جامعه جهانی با آن مواجه است. شواهد بسیاری وجود دارد که ثابت می‌کند عامل اصلی گرمایش جهانی فعالیت‌های انسانی است (Awanthi & Navaratne, 2018). در اواخر دهه‌ی ۱۹۹۰ میلادی مقدار انتشار سالیانه دی‌اکسیدکربن تقریباً چهار برابر مقدار آن در سال ۱۹۵۰ بود و امروزه میزان تمرکز این گاز در اتمسفر زمین به بالاترین سطح خود در ۱۶۰ هزار سال گذشته رسیده است (Shayan & Ara, 2002). شهرها مراکز تراکم بالای جمعیت و مصرف انرژی به شمار می‌آیند. با وجود این که تنها ۲ درصد از سطح کره زمین را اشغال می‌کنند، نزدیک به ۷۵ درصد از انرژی جهان را مصرف می‌نمایند و بیش از ۸۰ درصد از گازهای گلخانه‌ای را تولید می‌کنند (Feng & zhang, 2012). این امر بدان دلیل است که بسیاری از فعالیت‌های صنعتی در شهرها اتفاق می‌افتد که اساساً به‌طور مستقیم با مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در ارتباط هستند. همچنین رشد سریع وسایل نقلیه موتوری در کشورهای در حال توسعه رابطه مستقیم با نرخ شهرنشینی دارد (Shen et al., 2018). گسترش شهرنشینی می‌تواند، در اقلیم محلی و منطقه‌ای نیز تغییراتی را ایجاد کند. هم‌زمان با این تغییرات اقلیمی ممکن است یک سلسله تحولات اقتصادی- اجتماعی نظیر مهاجرت گسترده روستائیان به شهرها نیز اتفاق بیفتد (Dehghan, 2003). طبق گفته‌ی بانک جهانی ایران جز ۳۰ کشور اول، تولیدکننده کربن دی‌اکسید در جهان به شمار می‌آید. بر اساس گزارش سازمان انرژی آمریکا میزان تولید دی‌اکسیدکربن در ایران ۱/۵ درصد و در آمریکا ۲۳ درصد است. بر اساس همین آمار میزان تولید دی‌اکسیدکربن در کشور آمریکا در سال ۲۰۰۳ برابر با ۰/۵۶ تن به ازای هر هزار دلار تولید ناخالص ملی بوده است، در حالی که این رقم برای ایران در همان سال ۴/۱۸ تن گزارش شده است. در سال ۲۰۱۴ میزان انتشار کربن دی‌اکسید در ایران ۶۲۰ مگا تن بوده است (PBL Netherlands). طبق (Environmental Assessment Agency, 2015). بررسی‌های صورت گرفته برای مقابله با تغییرات اقلیمی و گرم شدن کره‌ی زمین، انتشار گازهای گلخانه‌ای تا سال ۲۰۵۰

می‌باید به ۵۰ درصد کاهش یابد، که این رقم در کشورهای توسعه یافته ۸۰ درصد است (Shen et al., 2018). تمرکز بر کاهش اثرات جهانی تغییرات اقلیمی در سال ۱۹۸۹ با هیات بین دولتی تغییرات اقلیمی<sup>(۱)</sup> آغاز شد که در پی آن معاهده‌ی سازمان ملل تغییرات اقلیمی<sup>(۲)</sup> و اجلاس ریو ۲۰+ در سال ۱۹۹۲ برگزار شد. سپس در سال ۱۹۹۴ پروتکل کیوتو به‌عنوان نخستین عهدنامه کاهش گازهای گلخانه‌ای جهان معرفی شد. دو دهه بعد، در موافقت‌نامه پاریس دومین تاثیرات ارزیابی بیانیه هیات بین دولتی تغییرات اقلیمی جمع‌بندی شد که نتیجه آن ارایه راهنمایی برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای بوده است (Hasyimi & Azizalrahman, 2018). در سال‌های اخیر شهرها در سراسر جهان سیاست‌های متنوعی را در مواجهه با مشکلات محیط‌زیستی پدید آمده معرفی نموده‌اند که برخی از آن‌ها عبارتند از شهر سبز، اکوسیستی و شهر کم‌کربن. این ایده‌ها در کاهش انتشار کربن و تاثیرات سو ناشی از آن موثر بوده‌اند (Hu, 2017). به‌عنوان مثال کشور چین با بیش از ۱ میلیارد نفر جمعیت رشد قابل‌توجهی در افزایش آلودگی‌های محیط‌زیستی کره‌ی زمین داشته و اقتصاد فعال چین نیز این روند را تسریع کرده است. از این‌رو کشور چین از سال‌های پایان ۱۹۹۰ سیاست‌های کاربردی برای کاهش تولید گازهای گلخانه‌ای را آغاز نمود. بدین‌ترتیب شهر شنژن به‌عنوان یکی از شهرهای پرجمعیت چین، در کانون توجه قرار گرفت. به‌ویژه در حمل و نقل بخش عمومی که با سرعت بالایی گسترش یافت و از ۸۴۰۳ عدد در سال ۲۰۰۵ به ۱۵۱۲۰ عدد در سال ۲۰۱۵ رسید. در همین حال شنژن سرمایه‌گذاری قابل‌توجهی برای گسترش طول خطوط مترو انجام داد و از ۲۲ کیلومتر در سال ۲۰۰۵ به ۱۷۷ کیلومتر در سال ۲۰۱۵ رسید و در مجموع ۸ خط و ۱۹۸ ایستگاه احداث شد. بدین‌ترتیب توجه‌ها به کاهش مصرف انرژی و تولید کربن معطوف شد و شنژن به‌عنوان یکی از نخستین نمونه شهرهای چین به‌منظور کاهش تولید کربن در سال ۲۰۰۸ انتخاب شد (Dong et al., 2018). بدین‌ترتیب نوع جدید شهرنشینی با عنوان شهر کم‌کربن به موضوع مهمی در پژوهش‌های اخیر تبدیل شده است که هدف آن کاهش انتشار کربن با در نظر گرفتن اقدام‌هایی همچون بهبود ساختار صنایع، جابه‌جایی صنایع، ذخیره انرژی، استفاده از انرژی‌های دوستدار محیط‌زیست و حمل‌ونقل پایدار است. ابزار اصلی برای رسیدن به

این اهداف توسعه استاندارد انرژی، توجه به طراحی و برنامه‌ریزی شهری و بهبود حمل و نقل عمومی است (Sarker et al., 2018).

امروزه مطالعه‌ها در راستای کاهش انتشار کربن افزایش یافته و حوزه‌های بسیاری همچون شهرسازی، اقتصاد، حمل و نقل و انرژی را درخیل نموده است و راهکارهای عملی به‌منظور کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی و کاهش تولید گازهای گلخانه‌ای ارایه شده است. به عنوان مثال (Birge & berger, 2019) با بررسی محله‌های شهر ابوظبی امارات متحده عربی به ارزیابی انتشار گازهای گلخانه‌ای و ارایه‌ی سناریوهای ممکن به‌منظور کاهش انتشار آن و دستیابی به محله‌های بدون کربن پرداخته‌اند. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که بهبود طراحی منازل مسکونی از ۳۳/۷ تا ۴۹ درصد، استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر ۹۸/۱ درصد و درنهایت توجه به طراحی یکپارچه فضا و ارتقای سطح تکنولوژی و فناوری‌ها ۹۹/۴ درصد بر کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای موثر بوده‌اند. در پژوهشی دیگر (Guan, 2019) به بررسی اشکال شهری وابسته به حمل و نقل کم‌کربن در محله‌های شهرهای چین پرداخته‌اند و با بررسی ۴۰ محله در شهر چنگدو چین شاخص‌های موثر در انتخاب سیستم حمل و نقل کم‌کربن را ارایه نموده‌اند. طبق نتایج این پژوهش اکثر افراد خانواده در محله‌های مورد بررسی استفاده از دوچرخه و پیاده‌روی را ترجیح می‌داده‌اند، همچنین تنوع کاربری‌ها در یک محله به‌تنهایی در انتخاب نوع سیستم حمل و نقل کم‌کربن موثر نبوده است و در نهایت گسترش محله‌های پراکنده بر کاهش ارتباط فضایی موثر بوده و در انتخاب سیستم‌های حمل و نقل کم‌کربن تاثیر منفی داشته است. (Yang, 2016) نیز در پژوهش صورت گرفته در سال ۲۰۱۶ به بررسی ۶ نوع از محلات شهری در چین پرداخته‌اند و میزان مصرف انرژی ساختمان‌ها با توجه به فرم شهر را مورد بررسی قرار داده‌اند. طبق نتایج به‌دست‌آمده متغیرهایی همچون ارتفاع ساختمان‌ها و میزان تراکم آن‌ها بر مصرف انرژی موثر است و مناطق مسکونی با تراکم بالا صرفه‌جویی در مصرف انرژی را به همراه دارند که در نهایت منجر به شکل‌گیری محلات کم‌کربن می‌شوند. در پژوهش‌های صورت گرفته در ایران نیز، (Janzadeh & Zandieh, 2016) در پژوهشی به امکان‌سنجی طراحی یک واحد همسایگی بدون کربن در شهر قزوین پرداخته‌اند. طبق بررسی‌های صورت گرفته در این پژوهش بخش ساختمان با مصرف بیش از ۴۰ درصد

انرژی کشور سهم عمده‌ای در تعیین میزان مصرف انرژی دارد. نتایج نشان می‌دهد که با استفاده از عایق‌های حرارتی مناسب، سایه‌بان و تهویه‌ی طبیعی در ساختمان‌ها می‌توان به‌ترتیب به میزان ۳۳٪، ۲/۱٪ و ۱۲٪ در مصرف انرژی صرفه‌جویی کرد.

با این وجود در کشور ایران مصرف انرژی‌های فسیلی رو به افزایش است. عواملی همچون افزایش جمعیت، افزایش وسایل نقلیه، افزایش واحدهای مسکونی، ایجاد و تاسیس کارخانه‌هایی که مواد اولیه‌شان و همچنین منبع انرژی مصرفی‌شان انرژی فسیلی (مانند گاز، نفت و...) است و از دانش و فناوری‌های قدیمی در تولید مواد صنعتی استفاده می‌کنند و همچنین ساخت خودروهایی که مصرف سوخت بالایی دارند و ساخت منازل که استاندارد نبوده و میزان اتلاف انرژی در آن‌ها بالاست سبب شده تا مصرف سوخت‌های فسیلی به‌شدت افزایش یابد. می‌توان بیان نمود با توجه به قرارگیری ایران بر کمربند خورشیدی، وجود جریان باد در کوهپایه‌ها، حاشیه کویر و سواحل دریا، دارا بودن اقلیم‌های آب و هوایی متنوع که هرکدام پتانسیل‌های مثبت در طراحی به شمار می‌آیند، اقدام‌های صورت گرفته به‌منظور کاهش آلودگی شهرها هنوز در آغاز راه است و در مقیاس کوچک در مناطق مختلف اجرا شده است. همانند استفاده از انرژی تجدیدپذیر که در ایران هنوز کمتر از ۱٪ از کل مصرف انرژی در کشور است و یا به‌کارگیری معماری پایدار در تک بناهای مسکونی. به‌منظور بهبود شرایط کنونی می‌باید اقدام‌های اجرایی تعمیم داده شود، در این راستا نیاز به برنامه‌ریزی شهری در سطح کلان احساس می‌شود. یکی از راه‌های کاهش تبعات محیط‌زیستی سوخت‌های فسیلی توجه به اقلیم منطقه و ویژگی‌های آن در طراحی شهری است. با وجود این که تجربیات در زمینه‌ی کاهش آلاینده‌های محیط‌زیستی در ایران پایین است، در حال حاضر اقدام‌هایی هر چند اندک در ایران انجام شده است، به‌عنوان مثال پروژه‌ی شهرهای جوان<sup>(۳)</sup> که در سال ۲۰۱۱ با موضوع ساختمان‌سازی با بهره‌وری بهینه از انرژی در تهران آغاز شد. پروژه‌ای است که طی آن امکانات برنامه‌ریزی برای ساخت شهرک‌های جدید در حومه‌ی شهرهای جنوب تهران (شهر جدید هشتگرد) با بهره‌وری بهینه از انرژی بررسی شده است.

نگاه به مطالعه‌های علمی این حوزه در ایران نمایانگر آن است که حجم مطالعات در مقیاس طراحی شهری اندک است و راهنمای روشنی برای طراحان شهر در زمینه‌ی چگونگی

است:

#### – مدل یکپارچه سیستم‌های پایدار<sup>(۴)</sup>

مدل یکپارچه سیستم‌های پایدار نه فقط ابزاری برای اندازه‌گیری پایداری و میزان کاهش کربن پروژه‌های توسعه بلکه برای یاری رساندن به توسعه‌دهندگان جهت تصمیم‌گیری در پروژه‌های استراتژیک با توجه به مبالغ سرمایه‌گذاری مشخص‌شده نیز به کار می‌رود و مفاهیمی چون تحرک، انرژی، آب، تکنولوژی ساختمان، دارایی‌های اجتماعی- فرهنگی، بوم‌شناسی و اثرات کربن را شامل می‌شود. این مدل فرآیندی چندمرحله‌ای است که از تکنیک‌های مدل‌سازی و تجزیه و تحلیل سود و هزینه‌ها استفاده می‌کند و خروجی آن سیستم‌های کلی مدافع پایداری و استراتژی‌های کاهش کربن است. بدین طریق توسعه‌دهنده می‌تواند ارزش‌های محیط‌زیستی برنامه نهایی پایداری، به حداقل رساندن هزینه‌ها نسبت به منافع به‌دست‌آمده، توسعه یک استراتژی کم‌کربن و دستیابی به وضعیت یک جامعه جدید پایدار را بهینه‌سازی کند و بهترین راهکار در کاهش میزان کربن را انتخاب نماید (Sofian et al., 2015).

#### – مدل طرح کاربردی انرژی پایدار<sup>(۵)</sup>

در سال ۲۰۱۰ مدل طرح اجرایی انرژی پایدار به‌عنوان یک سند کلیدی ارائه شد که نشان می‌داد چگونه می‌توان به تعهد امضا شده تا سال ۲۰۲۰ دست یافت. هدف کاهش انتشار کربن دی‌اکسید از سال ۱۹۹۰ تا سال ۲۰۱۲ به میزان ۲۰ درصد، تا سال ۲۰۲۰ به میزان ۴۰ درصد و تا سال ۲۰۵۰ به میزان ۸۰ درصد است. در این مدل از نتایج حاصل از پرسشنامه برای شناسایی بهتر زمینه‌های عمل و فرصت‌ها توسط مقامات محلی با هدف کاهش کربن دی‌اکسید استفاده می‌شود و استراتژی‌های بلندمدت در نظر گرفته می‌شود. این مدل یک سند ثابت و انعطاف‌ناپذیر نیست بلکه با شرایط تغییر می‌کند و نیاز به تجدیدنظر به‌صورت منظم در طرح دارد. لازم به ذکر است که فرصت‌های در نظر گرفته شده برای کاهش میزان انتشار یا هر پروژه توسعه‌ای جدید می‌باید توسط مقام‌های محلی تایید شود. مدل مذکور بر اقدام‌های موثر با هدف کاهش انتشار کربن دی‌اکسید و میزان مصرف انرژی توسط کاربران تمرکز می‌کند، بنابراین اقدام‌های مربوطه به دو بخش خصوصی و عمومی تقسیم می‌شوند. مقامات محلی با اعمال اقداماتی در

انرژی‌گذاری طراحی فرم بر میزان تولید کربن در فضاهای شهری وجود ندارد. بر این مبنا این مقاله بر آن است با بررسی نمونه موردی مناسب، زمینه‌ی تحلیل میزان کربن در فضاهای شهری و چگونگی تاثیر گذاری برخی عناصر اصلی سازنده‌ی فرم شهر همچون واحدهای مسکونی، واحدهای صنعتی و بزرگراه‌ها را بر این موضوع مورد بررسی قرار دهد. برای دستیابی به این هدف یکی از مناطقی که در سال‌های اخیر تحت تاثیر آلودگی هوا و صنایع آلوده‌کننده قرار گرفته، بدین‌منظور مورد بررسی قرار گرفته است. این محدوده شهر سمنان است که مرکز استان سمنان، یکی از استان‌های مهم ایران به شمار می‌آید. شهر سمنان در سال‌های اخیر به‌عنوان جایگزینی برای تهران به‌عنوان پایتخت نیز مطرح شده است. با توجه به‌شدت افزایش آلودگی‌ها، امروزه روند افزایش جمعیت و مهاجرت‌پذیری این استان، توسعه صنایع و نیز افزایش خودروها و ترافیک در چندین سال گذشته بر ضرورت اتخاذ تدابیر مناسب برای جلوگیری از افزایش آلودگی هوا تاکید دارد. به نقل از سازمان محیط‌زیست سمنان، این استان در حال صنعتی شدن است و تراکم صنایع در برخی نقاط که بالاتر از ظرفیت پذیرش محیط است از عوامل اصلی آلودگی محیط‌زیست در این استان به شمار می‌رود. رشد جمعیت در استان سمنان افزایش آلودگی هوا و محیط را به دنبال خواهد داشت، احتمال دارد در سال‌های آینده در صورت رعایت نکردن مسایل محیط‌زیستی سمنان نیز به جمع استان‌های آلوده به لحاظ محیط‌زیستی اضافه شود. به نظر می‌آید چنین چالش‌هایی می‌تواند سمنان را به‌عنوان یک نمونه موردی مناسب جهت تحلیل تاثیر گذاری طراحی شهری بر میزان تولید کربن در ایران پیش رو قرار دهد.

#### مدل‌های تحلیل در برنامه‌ریزی شهر کم‌کربن

در حال حاضر مدل‌های بسیاری به‌منظور محاسبه میزان آلاینده‌ها و ارتباط آن‌ها با میزان مصرف انرژی، تولید ناخالص داخلی، طراحی شهری و ... وجود دارد. برخی از این مدل‌ها در سطح کلان و مرتبط با مقیاس جهانی می‌باشند. با توجه به این که پژوهش حاضر درصدد یافتن راهی برای طراحی شهری کم‌کربن است و از آن‌جایی‌که عنوان نمودن مباحث کلان در ساختار این پژوهش نمی‌گنجد، با فرض اعمال برنامه‌ریزی‌های صحیح با ساختار هدفمند در ادامه به توضیح پیرامون مدل‌های شهری که موثر بر طراحی شهر کم‌کربن می‌باشند، پرداخته شده

زمینه ساختمان، امکانات و تجهیزات و ... بر کاهش میزان مطلق و سرانه‌ی کربن‌دی‌اکسید تاثیر گذارند (Cornwall Council, 2013).

### - مدل مفهومی برنامه‌ریزی شهر کم‌کربن

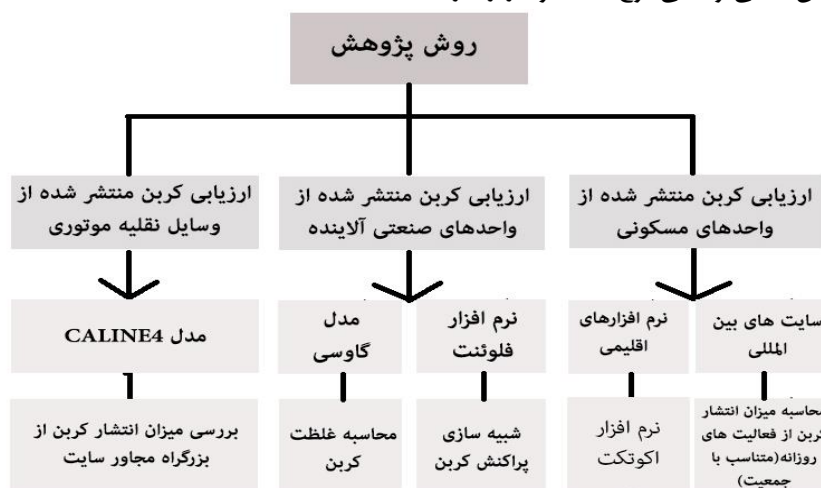
تینگ وی در پایان‌نامه‌ی خود تحت عنوان «ساخت شهر کم‌کربن از طریق برنامه‌ریزی کاربری اراضی منطقه‌ای: به‌سوی مدل توسعه شهری مناسب برای توسعه پایدار» به تعریف و توسعه مدل عملکردی شهر کم‌کربن با توجه به برنامه‌ریزی کاربری اراضی می‌پردازد. طبق این مدل پنج معیار شهر کم‌کربن به‌عنوان خروجی برنامه‌ریزی ایده‌آل می‌باشند که عبارت‌اند از: هماهنگی با سیستم طبیعی، سلامت انسان، آسایش روحی و ذهنی، محیط ساخته‌شده قابل زندگی و جامعه عدالت‌محور. به‌عبارت‌دیگر جوامع انسانی بخشی از یک اکوسیستم می‌باشند که باید اصول محیط‌زیستی را رعایت کنند و هماهنگی و تعادل را رعایت کنند. شهر کم‌کربن شهری است که در آن مصرف به میزان ضرورت صورت می‌گیرد، تولید به حداقل می‌رسد و هدف بازیافت مواد و کاهش تولید زباله است (Wei, 2011).

### روش تحقیق

بررسی‌های انجام شده از مدل‌های مذکور نشان می‌دهد که همگی مدل‌ها بر میزان تولید گازهای آلاینده تمرکز نموده‌اند و بدین ترتیب مدل کاملی در حوزه طراحی شهری که نشان‌دهنده نقش محیط و نوع ساخت‌وساز در نوع پراکنش آلاینده‌ها باشد، وجود ندارد، از این‌رو در این پژوهش سعی شده تا با استفاده از نرم‌افزارهای مرتبط به روش علمی و کمی نوع ساخت‌وساز را در

میزان تولید آلاینده‌ها بررسی نمود. بدین‌منظور سه عامل اصلی تولیدکننده کربن در شهر در نظر گرفته شد که عبارت‌اند از: واحدهای مسکونی، واحدهای صنعتی، وسایل نقلیه موتوری. برای بررسی میزان انتشار کربن از واحدهای مسکونی از سایت‌های بین‌المللی و اطلاعات به‌دست‌آمده از سازمان‌های ذی‌ربط همچون سازمان برق و گاز برای به دست آوردن سرانه مصرف انرژی در منازل مسکونی و تولید کربن به‌منظور محاسبه میزان کربن ناشی از فعالیت‌های روزانه استفاده شده است. همچنین به دلیل وجود کارخانه‌ی آلاینده در شرق سمنان از نرم‌افزار فلوئنت به‌منظور محاسبه نحوه انتشار کربن و مدل گاوسی برای محاسبه‌ی غلظت آن در فواصل مختلف استفاده شده است.

از سوی دیگر برای محاسبه کربن ناشی از وسایل نقلیه موتوری نیز بزرگراه مشهد- تهران در مجاور محدوده مورد مطالعه در نظر گرفته شده است. که از مدل CALINE4 که مدل اختصاصی انتشار کربن در بزرگراه‌ها است و همچنین مدل گاوسی برای تعیین میزان غلظت آن استفاده شده است. این مدل سومین نسل از مدل کیفیت هوای منبع خطی است که در دپارتمان حمل‌ونقل کالیفرنیا توسعه یافته است و می‌تواند به‌منظور برآورد غلظت آلاینده‌های ناشی از ترافیک بزرگراه‌ها استفاده شود. یک مدل گاوسی برای تعیین غلظت آلودگی هوا در مسیر باد، روی پل و یا قطعی از بزرگراه بر روی زمین‌های بدون عارضه استفاده می‌شود و غلظت آلاینده‌ها در بالای بزرگراه را دسته‌بندی می‌کند. موارد ذکر شده در شکل (۱) جمع‌بندی شده است.



شکل (۱): روش پژوهش

### محدوده مورد مطالعه

استان سمنان یکی از استان‌های ایران، که در شرق استان تهران قرار دارد. نوع توپوگرافی این منطقه سبب شده تا این شهر شکل کاسه‌ای به خود بگیرد که همین امر آن را مستعد آلودگی هوا و پدیده وارونگی نموده است. این شکل کاسه‌ای در زمستان ایجاد سکون هوای سرد به روی شهر را سبب شده و تجمع آلودگی ذرات و گازهای آلاینده، با توجه به وجود کانون‌های ریز گرد طبیعی، آلودگی ناشی از وسایل نقلیه و آلودگی صنعتی موجود در پراکنش کانون‌های صنعتی بر روی شهر ساعت‌ها باقی بماند (Farhang & mirrahmati, 2013). به‌طور کلی کیفیت هوای سمنان آلوده نیست ولی آینده آن نگران‌کننده است. توسعه نامناسب صنعت در اطراف شهر و افزایش تراکم صنایع بیش از میزان ظرفیت، ایجاد شهرک صنعتی در شرق سمنان، وجود کارخانه‌های آسفالت، گچ و کاشی و شن و ماسه در شمال سمنان، وجود ناحیه‌ی صنعتی اعلا در جنوب سمنان، تعدد کارخانه‌های تولید آجر در جنوب سمنان و نزدیکی نواحی صنعتی سرخه و لاسجرد نشان‌دهنده این است که شهر سمنان در محاصره‌ی واحدهای آلاینده قرار دارد. طبق آمار وزارت راه و شهرسازی این استان از لحاظ جمعیت در کشور در رتبه ۲۹ قرار داشته ولی از نظر تعداد سرویس در رتبه ۲۱

و از نظر تعداد مسافر در رتبه ۲۳ واقع گردیده‌است. در این میان مهم‌ترین مسیرهای دسترسی از شهرهای بزرگ به شهر سمنان راه اصلی تهران- مشهد است که از شهر سمنان می‌گذرد. این مسیر به‌عنوان یکی از پرتددترین مسیرهای کشوری است و به‌خصوص در ایام خاص چون اعیاد مذهبی، تعطیلات نوروزی و تابستانی میزان ازدحام و تراکم آن افزایش می‌یابد، که خود عاملی موثر در افزایش اتومبیل‌ها در مسیرهای تردد به سمت سمنان و همچنین افزایش سطح آلودگی هوا به‌خصوص در محلات مسکونی مجاور مسیرهای بین‌شهری است. با توجه به مطالعه‌ها و بررسی‌های صورت گرفته، محدوده شمال‌شرق سمنان به‌عنوان محدوده مورد مطالعه انتخاب شد که تحت تاثیر بیشتر آلاینده‌های ناشی از استقرار صنایع و کانون‌های بیابان‌زا است. در شرایط کنونی در محدوده‌ی موردنظر بخشی از پروژه‌ی مسکن مهر در حال اجرا است. عامل مهم تاثیرگذار دیگر مجاورت محدوده‌ی مورد مطالعه با بزرگراه مشهد- تهران است. این شریان اصلی شهر سمنان که از مجاورت محدوده موردنظر عبور می‌کند، که به‌طور عمده بر میزان آلودگی هوا ناشی از جابه‌جایی اتومبیل‌های در حال سفر می‌افزاید. شکل (۲) موقعیت عناصر آلاینده نسبت به محدوده‌ی مورد مطالعه را نمایش می‌دهد.



شکل (۲): موقعیت عناصر آلاینده نسبت به محدوده‌ی مورد مطالعه در شهر سمنان

### نتایج و یافته‌ها

#### پراکنش آلاینده‌های بخش مسکونی

با توجه به آمار سازمان‌های مربوطه به خصوص شرکت برق منطقه‌ای سمنان، شرکت آب و فاضلاب و اداره‌ی آمار و سازمان

شهرداری شهر سمنان، اطلاعات پایه‌ی مورد نیاز برای محاسبه میزان انتشار کربن‌دی‌اکسید ناشی از مصرف سوخت فسیلی در سکونتگاه‌ها گردآوری شده است. در مرحله بعد با به‌کارگیری سایت‌های معتبر همچون سایت ارایه‌شده توسط دانشگاه برکلی

حاضر ۳۶۸۰ خانوار در محدوده‌ی مورد مطالعه ساکن هستند. از طریق نتایج به‌دست آمده از سازمان‌های مربوطه در جدول (۱) مصرف ماهانه‌ی گاز و برق به‌طور میانگین معادل ۲۰۴ مترمکعب و ۱۸۰ کیلووات ساعت برای هر خانوار است که منجر به تولید کربن‌دی‌اکسید جمعا به میزان ۳۰۴۵/۴۱ تن در یک سال می‌شود.

کالیفرنیا (CoolClimate Carbon Footprint Calculator, ) میزان کربن‌دی‌اکسید انتشار یافته محاسبه می‌شود. همان‌گونه که در شکل زیر نشان داده شده است با ورود داده‌هایی چون میزان مصرف گاز و برق در بخش مسکونی محدوده مورد مطالعه میزان کربن‌دی‌اکسید در این بخش را می‌توان محاسبه نمود. نتایج حاصله نشان می‌دهد که در حال

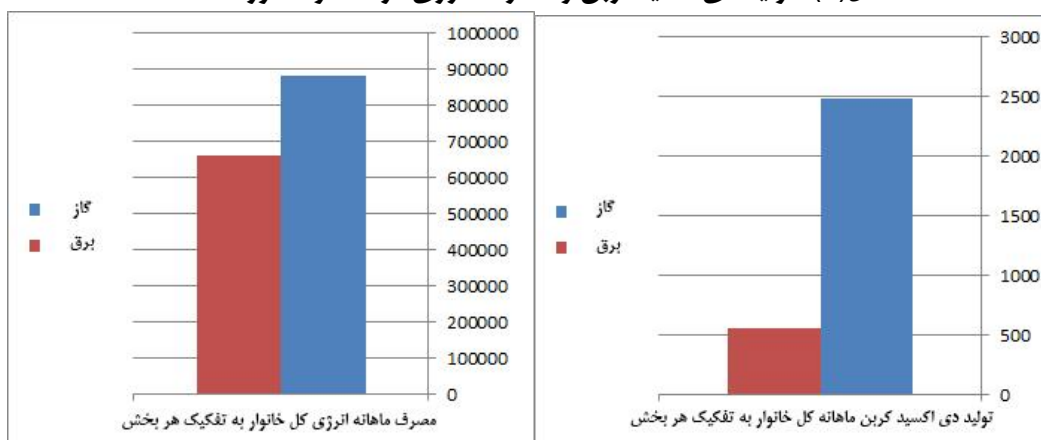
جدول (۱): مشخصات محدوده موردنظر

| اطلاعات پایه (محدوده مورد مطالعه)                             |              |                                             |
|---------------------------------------------------------------|--------------|---------------------------------------------|
| مساحت محدوده                                                  |              | ۳۳/۳۴ هکتار                                 |
| مساحت کاربری‌ها                                               | مسکونی       | ۸۰۵۰۰ مترمربع                               |
|                                                               | تجاری        | ۱۱۰۶۶ مترمربع                               |
|                                                               | فضای سبز     | ۳۴۰۳۳ مترمربع                               |
|                                                               | آموزشی       | ۱۲۹۰۹                                       |
| تعداد ساکنین                                                  |              | ۴۰۷۷ نفر                                    |
| خانه‌های مسکونی                                               |              | ۲۳۰ خانه ۴ طبقه                             |
| تعداد خانوار                                                  |              | ۳۶۸۰ خانوار                                 |
| بعد خانوار                                                    |              | ۳/۶۴                                        |
| تراکم ساختمانی                                                |              | حداکثر ۱۲۰ درصد با قطعات تفکیکی ۱۸۰ مترمربع |
| سرانه مصرف آب                                                 |              | ۴۷۶ لیتر در شبانه‌روز                       |
| سرانه تولید زباله                                             |              | ۶۸۸ گرم در روز                              |
| متوسط انرژی مصرفی ماهانه هر خانوار                            | گاز          | ۲۰۴ مترمکعب                                 |
|                                                               | برق          | ۱۸۰ Kwh                                     |
| میران انتشار کربن‌دی‌اکسید کل خانوارها در بخش مسکونی (ماهانه) | گرمایش (گاز) | ۲۴۸۹T                                       |
|                                                               | برق          | ۵۵۶/۴۱T                                     |

(Kazem dehbashi, 2010). استفاده از سوخت‌های فسیلی به‌ویژه در بخش مسکونی به دلیل سهولت دسترسی و مصرف بالا و عدم نیاز به تکنولوژی پیچیده و پرهزینه برای مصرف یکی از عوامل اصلی افزایش تولید کربن‌دی‌اکسید هوا است. مصارف خانگی عموماً با سوختن همراه‌اند، به‌عنوان مثال پخت‌وپز یا گرمایش که در این فرایند نقش اصلی را بازی می‌کنند. همان‌گونه که در شکل (۳) نشان داده شده است، در محدوده مورد بررسی با توجه به میزان مصرف انرژی و سوخت فسیلی در ماه تولید کربن‌دی‌اکسید در بخش سوخت‌های فسیلی به‌مراتب بیشتر است، که دلیل عمده آن نوع اقلیم منطقه و نیاز بالا به سیستم‌های گرمایشی و سرمایشی در فصول سرد و گرم سال است.

رشد تقاضای گاز طبیعی در جهان و ایران در ۱۷ سال اخیر، همواره بیش از نفت خام بوده و سرعت نفوذ آن در سبد انرژی کشور با پشتوانه عظیم گاز طبیعی، از رشد قابل ملاحظه‌ای برخوردار شده است، به‌طوری که در حال حاضر بیش از ۶۱ درصد سبد انرژی سوخت‌های هیدروکربوری کشور را گاز طبیعی تشکیل می‌دهد که این امر نشان‌دهنده‌ی تقاضای روزافزون آن است. ضمن این که رشد غیرمتعارف مصرف، ایران را به سومین کشور مصرف‌کننده گاز طبیعی جهان تبدیل کرده است. در این میان بخش خانگی، یکی از متقاضیان اصلی گاز طبیعی محسوب می‌شود. بنابراین، با توجه به نقش این بخش در حجم گاز مصرفی و نیز با توجه به محدودیت این منبع انرژی، تاثیر به سزایی در افزایش میزان کربن‌دی‌اکسید دارد (Abbasi & )

شکل (۳): تولید دی اکسید کربن و مصرف انرژی در محدوده مورد مطالعه



آلوده می‌شود. از آنجایی که محدوده مورد مطالعه در شرقی‌ترین قسمت شهر سمنان قرار دارد و جز توسعه‌های اخیر شهر سمنان محسوب می‌شود، بیشترین تاثیر نامطلوب را از آلاینده‌های کارخانه‌های شرق سمنان دریافت می‌کند. با توجه به اطلاعات به‌دست آمده از سازمان محیط‌زیست شهر سمنان، گازهای خروجی از دودکش‌ها شامل آلاینده‌ها و ریزگردها می‌باشند. این اطلاعات در جدول (۲) نشان داده شده است. لازم به ذکر است که درصدهای موجود طبق آخرین به‌روزرسانی در تاریخ ۶ اکتبر ۲۰۱۴ است.

**پراکنش کربن ناشی از کارخانه فروسیلیس شرق سمنان**  
کارخانه فروسیلیس ایران واقع در کیلومتر ۱۱ جاده سمنان به دامغان با زمینی به مساحت ۵۰۰ هزار مترمربع و با زیربنای ۷۱ هزار و ۴۷۱ مترمربع و با ظرفیت ۲۵ هزار تن فروسیلیسوم و هشت هزار تن پودر میکرو سیلیکا مشغول به کار است که در شرق سمنان و محل شهرک صنعتی قرار دارد. بررسی‌های انجام‌شده توسط مسئولین امر نشان می‌دهد که محل شهرک صنعتی سمنان از ابتدا انتخاب درستی نبوده است و در انتخاب این محل اصول توسعه پایدار سمنان رعایت نشده و در صورتی که سمنان از سمت شرق به همین شکل رشد کند، با افزایش آلاینده‌گی بخش صنعت، این شهر همانند اراک و قزوین

جدول (۲): درصد آلاینده‌های ناشی از دودکش کارخانه فروسیلیس (Farhang &amp; mirrahmati, 2013)

| فاکتورهای مورد سنجش و نتایج     | دودکش شماره ۱ | دودکش شماره ۲ | دودکش شماره ۳ |
|---------------------------------|---------------|---------------|---------------|
| (%)CO <sub>2</sub>              | ۴/۶۶          | ۵/۶           | ۴/۶۹          |
| (PPM)Co                         | ۶۹            | ۷۴            | ۸۹            |
| (PPM)NO <sub>2</sub>            | ۰/۶           | ۱/۱           | ۰/۵           |
| (PPm)No                         | ۳۱            | ۲۹            | ۲۸            |
| (PPm)SO <sub>2</sub>            | ۰             | ۱             | ۰             |
| دمای از خروجی (درجه سانتی‌گراد) | ۱۱۰/۸         | ۱۱۲/۶         | ۱۲۱/۶         |

طی این مدت زمان بیشترین حد آلاینده‌ها به محدوده موردنظر می‌رسد. با توجه به اطلاعات موجود میانگین سرعت باد در جبهه شمال شرقی ۴/۷ متر بر ثانیه در نظر گرفته شده است. به‌منظور تحلیل دقیق نحوه جریان باد در محدوده موردنظر با استفاده از نرم‌افزار فلوئنت محله موردنظر شبیه‌سازی شده است. همان‌گونه که مشهود است جریان باد در راستای معابر با سرعت کمتر

به‌منظور مدل‌سازی جریان گازهای آلاینده، نیاز به تحلیل جریان باد از نظر شدت و جهت است. تا بدین ترتیب جهت حرکت آلاینده‌ها از کارخانه فروسیلیس به سمت سمنان تعیین شود. با توجه به اطلاعات ایستگاه هواشناسی سمنان تجزیه و تحلیل جریان باد حداکثر جریان باد جبهه شمال شرقی از اواخر زمستان تا اواخر فروردین به‌خصوص در ماه خرداد ادامه دارد و در نتیجه

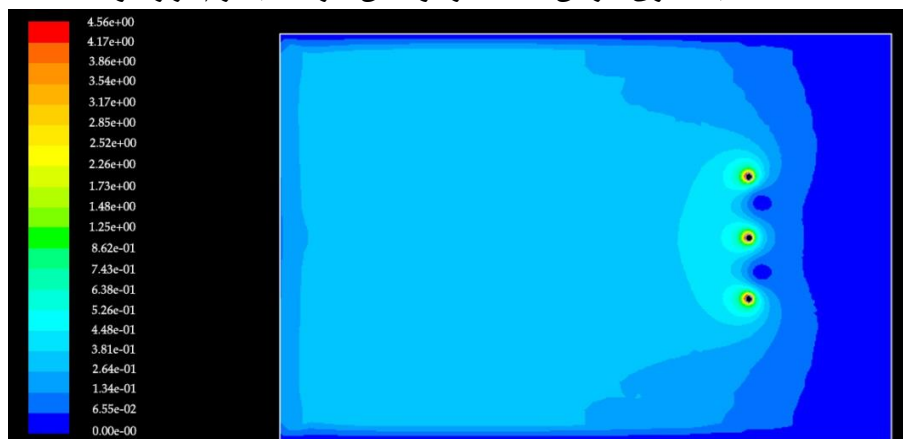
$$C(x, y, z) = \frac{Q}{\pi \sigma_y \sigma_z \bar{u}} \exp \left[ - \left( \frac{y^2}{2\sigma_y^2} \right) \right]$$

در این معادله  $Q$  دبی انتشار هر آلاینده،  $U$  سرعت باد،  $C$  غلظت هر آلاینده در هر نقطه با  $X, Y, Z$  و  $H$  معین،  $H$  ارتفاع موثر دودکش که برابر است با مجموع ارتفاع فیزیکی و ارتفاع توده گاز خروجی در دهانه دودکش،  $\sigma_y$  ضریب انتشار عمودی و  $\sigma_z$  ضریب انتشار افقی هستند. با توجه به بررسی‌های انجام شده و تحلیل غلظت آلاینده‌های منشعب از دودکش کارخانه‌ها و از طریق جمع‌بندی نتایج به‌دست آمده همان‌گونه که در شکل (۴) نیز مشخص شده است میزان غلظت آلاینده‌ها در فواصلی از منبع تولید افزایش می‌یابد تا به نقطه بحرانی برسد و پس از آن رفته‌رفته از میزان آن کاسته می‌شود. این نقطه بحرانی تابعی از سرعت باد و ارتفاع موثر دودکش است که در صورت تغییر این فاکتورها سرعت بحرانی پراکنش آلاینده‌ها نیز تغییر می‌یابد.

حرکت می‌کند و در قسمت‌هایی که عرض معابر بیشتر است و فضاهای خالی گسترده‌تر وجود دارد سرعت جریان باد افزایش می‌یابد. حرکت باد به‌گونه‌ای است که از راستای معابر عبور می‌کند و بدین‌ترتیب آلودگی‌های ورودی از این جبهه را به داخل معابر می‌کشانند.

در روش‌های تحلیلی به کمک مدل‌های تئوری استخراج‌شده از معادلات حاکم بر جریان سیال، نحوه انتشار گازهای خروجی از دودکش شبیه‌سازی می‌شود که از پرکاربردترین آن‌ها می‌توان به مدل گاوس اشاره کرد. در این روش با توجه به شرایط جوی و گراف‌های مرتبط که با توجه به پایداری هوا و سرعت باد، ضرایب موردنیاز در معادله تئوری را ارایه می‌دهند، میزان غلظت آلاینده‌ها در هر نقطه از میدان استخراج می‌شود (Ebrahimi & Jahangirian, 2013). در پژوهش حاضر به‌منظور تحلیل میزان کربن منتقل‌شده به محدوده مورد مطالعه از این مدل که مدلی عددی و به نسبت دارای کارکرد ساده است، استفاده شده است. این مدل به‌صورت زیر محاسبه می‌شود.

شکل (۴): شبیه‌سازی جریان آلاینده از دودکش کارخانه با نرم‌افزار فلوئنت



پایین‌تر از ۳۸۰ PPM است که این رقم در داخل ساختمان‌ها بیشتر می‌شود و ساختمانی که تهویه مطبوع داشته باشد، سطح دی‌اکسیدکربن آن بین ۶۰۰ PPM تا ۱۰۰۰ است. با این وجود استاندارد مشخصی تعیین نشده بنابراین، می‌باید بازه معمول مورد توجه قرار گیرد. افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن از سطح مجاز منجر به سردرد، خستگی، سوزش چشم و گلو می‌شود. غلظت بیشتر از ۴٪ (۴۰۰۰ PPM) دی‌اکسیدکربن برای سلامتی و حیات بسیار خطرناک است. در این میان گاز مونوکسید کربن نیز آثار مخرب بسیاری بر سلامت انسان وارد می‌سازد، وجود  $CO$

غلظت گاز کربن‌دی‌اکسید در فواصل مختلف با فرض برابر بودن میزان انتشار آلاینده‌ها از هر سه دودکش در جدول (۳) محاسبه شده است. طبق اطلاعات منتشر شده توسط سازمان ملی سلامت و ایمنی شغلی آمریکا<sup>(۶)</sup> متوسط غلظت دی‌اکسیدکربن در ۸ ساعت کاری برای افراد بزرگسال نباید از ۵۰۰ PPM (۰/۵٪) بیشتر شود. حداکثر مقدار مجاز در مدت کوتاه (کمتر از ۱۰ دقیقه) که توسط این سازمان اعلام شده است، ۳٪ (۳۰۰۰ PPM) است. خارج از فضای کاری و در مناطق مسکونی حداکثر میزان مجاز حجم دی‌اکسیدکربن در هوای تازه و فضای باز معمولاً

کربن مونوکسید بررسی شده‌اند و سایر آلاینده‌های سمی موثر بر آلودگی هوا خارج از حیطه بحث بوده است. با توجه به بررسی‌های انجام شده نتیجه می‌شود که گسترش شهر سمنان از سمت شرق منجر به ورود بیشتر آلاینده‌ها به محیط‌های مسکونی می‌شود که این موضوع تا حد بالایی سلامت ساکنین را به مخاطره می‌اندازد و در صورتی که روند گسترش شهر سمنان به همین صورت ادامه یابد، این شهر در سال‌های آتی شاهد بروز تاثیرات مخرب آلاینده‌ها بر سلامت ساکنین است.

### پراکنش کربن ناشی از وسایل نقلیه موتوری

در مدل CALINE4 نیاز به محاسبه‌ی تعداد وسیله نقلیه در ساعت و فاکتور انتشار است. تعداد وسایل نقلیه طبق آمار سازمان حمل‌ونقل و پایانه‌های کشور و میزان تردد برحسب نوع وسایل نقلیه (معادل سواری) در محورهای استان سمنان طی یک دوره آماری ۲۴ ساعته محاسبه شد. با توجه به این داده‌ها میانگین تردد وسایل نقلیه در هر ساعت و در دو جهت عبوری جمعاً برابر با ۷۵۰ خودرو در ساعت است. همچنین عرض راه برابر ۱/۵ متر در هر سمت است که با در نظر گرفتن عرض راه به‌اضافه ۳ متر از هردوست عرض موثر راه معادل ۲۹ متر به دست می‌آید. اندازه‌گیری غلظت گازهای خروجی از دودکش اتومبیل‌ها و محاسبه‌ی دبی گاز خروجی از آن موجب تعیین میزان جرم آلاینده‌های خروجی در واحد زمان می‌شود. بدین منظور فاکتور انتشار مورد محاسبه و ارزیابی قرار گرفته و یک ابزار کاربردی و اساسی در دست مدیران برای کنترل کیفیت هواست. فاکتور انتشار و برآورد مقدار آن برای مدیریت کیفیت هوا ابزار کلیدی محسوب شده و تخمین میزان نشر برای توسعه راهکارهای کنترل انتشار بسیار مهم است. این فاکتور معمولاً بر اساس جرم آلاینده تولیدی بخش بر محصول یا ماده‌ی اولیه (واحد وزن، حجم، فاصله، انرژی تولیدی یا زمان انتشار آلاینده) بیان می‌شود (Nazari et al., 2009). به‌منظور محاسبه‌ی فاکتور انتشار می‌توان با توجه به شرایط آب و هوایی منطقه و داده‌های به‌دست آمده از مطالعات میدانی از روش مدل‌سازی با استفاده از مدل‌هایی چون EMFAC, CT-EMFAC, MOBILE استفاده نمود، البته با توجه به این که نوع برنامه‌نویسی این مدل‌ها بیشتر بر اساس شرایط محیطی منطقه کالیفرنیا است و با شرایط محیطی کشور ما متفاوت است ممکن است مقادیر درستی ندهد. از این رو با استفاده از معادله‌ی زیر و داده‌های موجود فاکتور

هوای تنفسی قادر است از مقدار هموگلوبین که در رساندن اکسیژن به بافت‌ها نقش دارد، بکاهد و سبب اختلالات جزئی در برخی اعمال بدن، اثر بر سیستم اعصاب مرکزی، اختلال در تشخیص زمان، اشکالات بینایی، تغییر در اعمال قلب، تنفس، خستگی، خواب‌آلودگی، حالت کما و مرگ شود. در مناطق شهری غلظت گاز مونوکسیدکربن به بار ترافیکی وابسته بوده و با شرایط آب و هوایی مختلف نیز تغییر می‌کند. جدول (۴) میزان استاندارد کربن مونوکسید هوای پاک برگرفته از استاندارد سازمان جهانی بهداشت را نشان می‌دهد.

### جدول (۳): محاسبه غلظت دی‌اکسیدکربن تولیدی از

#### سه دودکش با مدل گاوس

| فاصله | میزان غلظت گاز دی‌اکسید کربن (Mg/m3) | میزان غلظت گاز مونوکسیدکربن (Mg/m3) |
|-------|--------------------------------------|-------------------------------------|
| ۱۰۰   | ۳۱۰/۶                                | ۲۵۸                                 |
| ۲۰۰   | ۷۸۸۵/۶                               | ۶۵۶                                 |
| ۳۰۰   | ۱۱۹۷۴/۹                              | ۹۹۷                                 |
| ۴۰۰   | ۱۱۷۵۴/۵                              | ۹۷۹                                 |
| ۵۰۰   | ۱۰۴۰۷/۵                              | ۸۶۶                                 |
| ۷۵۰   | ۷۱۸۰/۸                               | ۵۹۸                                 |
| ۱۰۰۰  | ۵۱۴۶/۶                               | ۴۲۸                                 |
| ۱۵۰۰  | ۳۰۲۲/۴                               | ۲۵۱                                 |
| ۲۰۰۰  | ۲۰۳۷/۲                               | ۱۶۹                                 |
| ۳۰۰۰  | ۱۱۶۶/۰۳                              | ۹۷                                  |
| ۴۰۰۰  | ۸۰۴/۰۵                               | ۶۶                                  |
| ۵۰۰۰  | ۶۱۳/۷                                | ۶۰                                  |
| ۶۰۰۰  | ۵۰۱/۸                                | ۴۱                                  |
| ۷۰۰۰  | ۴۳۱/۴                                | ۳۵                                  |
| ۸۰۰۰  | ۳۸۲/۰۵                               | ۳۱                                  |
| ۹۰۰۰  | ۳۴۵/۹۹                               | ۲۸                                  |
| ۱۰۰۰۰ | ۳۱۷/۵۸                               | ۲۶                                  |

به دلیل انتشار آلاینده‌ها، مراکز مسکونی تا فاصله حدود ۶ کیلومتری از کارخانه در محدوده غیرمجاز قرار دارند. البته باید به این نکته توجه نمود که نسبت‌های ذکرشده به‌صورت تقریبی در شرایط خنثی اتمسفری و با سرعت باد ۲ متر بر ثانیه در نظر گرفته شده است. در صورتی که شرایط آب و هوایی و وزش باد تغییر کند نسبت‌ها به میزان چشم‌گیری تغییر می‌کنند. همچنین در پژوهش حاضر دو عامل آلاینده کربن دی‌اکسید و

انتشار محاسبه شد.

جدول (۴): استاندارد غلظت مونوکسید کربن از سازمان بهداشت جهانی (Raub, 1999)

| نوع ترکیب     | غلظت                    | میانگین زمان |
|---------------|-------------------------|--------------|
| مونوکسید کربن | ۱۰۰ میلی گرم در مترمکعب | ۱۵ دقیقه     |
|               | ۶۰ میلی گرم در مترمکعب  | ۳۰ دقیقه     |
|               | ۳۰ میلی گرم در مترمکعب  | ۱ ساعت       |
|               | ۱۰ میلی گرم در مترمکعب  | ۸ ساعت       |

داشته باشد، میزان انتشار گاز کربن مونوکسید به ازای هر وسیله نقلیه به صورت میانگین برابر  $9/52 \text{ gr/vehicle mile}$  است. طول مسیر مورد مطالعه ۳ مایل و تعداد اتومبیل ها در هر مایل معادل ۲۴۲ عدد است. بدین ترتیب فاکتور انتشار برابر  $gr/ \text{mile}$  ۲۹/۵ است. نتایج حاصله از مدل CALINE4 برای محاسبه غلظت گاز مونوکسید کربن ناشی از جابه جایی وسایل نقلیه در دو وضعیت استاندارد و نامساعدترین شرایط برای نقاط پذیرنده آلاینده به دست آمده است که در جدول (۵) داده های ورودی به مدل و نتایج به دست آمده ارایه داده شده است.

$$E = A \times EF \times \left(1 - \frac{ER}{100}\right)$$

E= میزان انتشار آلاینده (مقدار جرم آلاینده)

A= نرخ فعالیت (تعداد وسایل نقلیه در هر مایل)

EF= فاکتور انتشار (مقدار جرم آلاینده به ازای نرخ فعالیت)

ER= درصد کلی کاهش انتشار (در صورت عدم استفاده از سیستم های کاهش آلاینده این مقدار صفر است) (Ebrahimi & Jahangirian, 2013).

طبق اطلاعات سازمان حفاظت محیط زیست امریکا در شرایط متوسط و در صورتی که مسیر حرکتی هم تراز سطح زمین قرار

جدول (۵): تعیین نقاط پذیرنده آلاینده و غلظت کربن مونوکسید در هر مورد

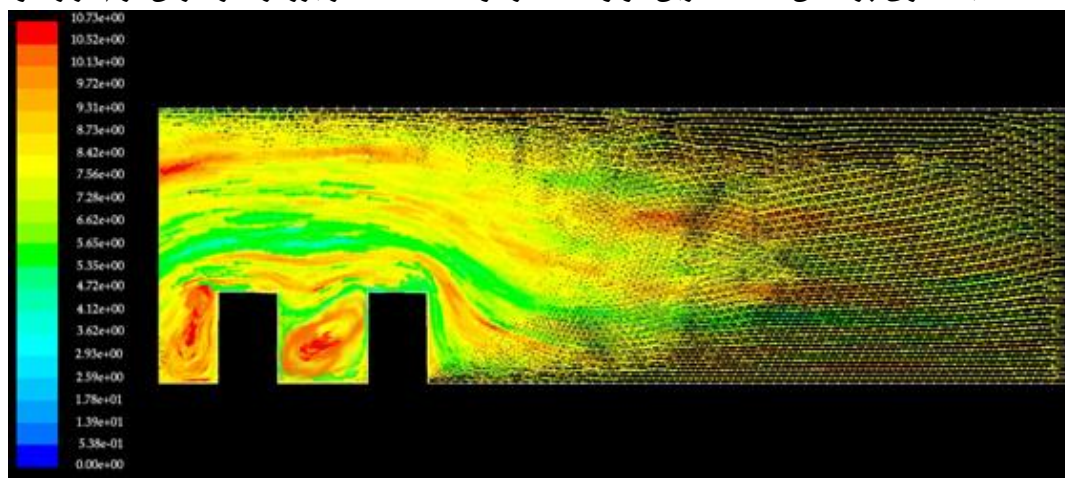
| نقاط پذیرنده | X    | Y    | Z   | غلظت (PPM) |         |
|--------------|------|------|-----|------------|---------|
|              |      |      |     | استاندارد  | نامساعد |
| ۱            | ۱۵۴۸ | ۱۳۹۱ | ۱/۸ | ۱۱/۴       | ۱۱/۵    |
| ۲            | ۸۷۲  | ۱۵۶۵ | ۱/۸ | ۱۱/۴       | ۱۱/۴    |
| ۳            | ۱۰۷۲ | ۱۲۹۴ | ۱/۸ | ۱۱/۲       | ۱۱/۲    |
| ۴            | ۱۲۳۹ | ۹۲۷  | ۱/۸ | ۱۱/۱       | ۱۱/۱    |
| ۵            | ۷۵۶  | ۱۲۳۲ | ۱/۸ | ۱۱/۱       | ۱۱/۲    |

نشان داده شده است. همان گونه که شکل (۵) مشهود است، در بخش هایی که سرعت باد به حداقل می رسد (به خصوص در معابر باریک و دسترسی های تعبیه شده میان منازل مسکونی) غلظت کربن مونوکسید نیز به دلیل نشست افزایش می یابد که این امر خطر گسترش بیماری های تنفسی و ناراحتی ساکنان را افزایش می دهد. از این رو در طراحی منازل مسکونی می باید با ایجاد خلل و فرج و منافذ مکش باد از رکود جریان هوا جلوگیری نمود.

طبق اعلام نظر انجمن مهندسی تهویه و گرمایش مطبوع امریکا<sup>(۷)</sup> بیشترین سطح قابل قبول برای کربن مونوکسید در فضای بسته PPM ۹ است و زمانی که این مقدار به PPM ۱۰ تا ۲۴ برسد در درازمدت تأثیرات جدی بر سلامت انسان وارد می سازد. همان گونه که از داده های به دست آمده نتیجه می شود میزان کربن مونوکسید وارد شده به محدوده مورد بررسی در حالت خطر است و در صورتی که تمهیدات جدی صورت نگیرد، در درازمدت آثار زیان باری بر سلامت ساکنین وارد می سازد.

در شکل های شبیه سازی شده توسط نرم افزار فلوئنت سرعت و غلظت گاز مونوکسید کربن از سمت بزرگراه به مناطق مسکونی

شکل (۵): شبیه‌سازی پراکنش غلظت کربن مونوکسید در فواصل مختلف از بزرگراه از طریق نرم‌افزار فلونت



### نتیجه‌گیری

از اواخر دهه ۱۹۸۰ گرمایش کره زمین به موضوع چالش‌برانگیز در جهان تبدیل شد و آلودگی‌های محیط‌زیستی به یک بحران بدل شد. از این‌رو در شرایط کنونی، ایجاد شهر کم‌کربن یکی از آرمان‌های طراحی شهری است، که کم‌وبیش در بسیاری از کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه مورد توجه قرار گرفته‌است. با توجه به روند روزافزون جمعیت و استفاده بیش از حد از وسایل نقلیه و گسترش کارخانه‌ها، آلودگی‌های محیط‌زیستی شهرها گسترش می‌یابد و از این‌رو توجه به الگوهای شهرسازی در امر کاهش آلاینده‌ها موضوعی واجد اهمیت است. بدین‌منظور در سال‌های اخیر پژوهش‌هایی با هدف کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در شهرها صورت گرفته است. نتایج مطالعه‌های پیشین نشان می‌دهد که استفاده از فناوری‌های نوین و طراحی مناسب، استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر و کاشت درختان تاثیر به‌سزایی بر کاهش انتشار کربن دارند. از سوی دیگر در برخی پژوهش‌ها انتخاب نوع سیستم حمل و نقل به عنوان عامل موثر در بهبود کیفیت هوا معرفی شده است که متاثر از شکل شهر می‌باشد. از آن جایی که مناطق مسکونی با تراکم بالا بر صرفه‌جویی مصرف انرژی ساختمان‌ها موثر است در بسیاری از پژوهش‌های مورد بررسی فرم شهری متراکم راهی به منظور ایجاد محلات کم‌کربن معرفی شده است. در مناطق مسکونی نیز استفاده از عایق‌های حرارتی مناسب، سایه‌بان و تهویه طبیعی در ساختمان‌ها به عنوان مهمترین عوامل موثر بر کاهش مصرف انرژی معرفی شده‌اند. همان‌گونه که مشهود است، در اکثر

در نهایت با توجه به روش گاوسی که پیشتر توضیح داده شده است، غلظت گاز کربن مونوکسید در فواصل تعیین‌شده از بزرگراه تخمین زده شده است. داده‌های مورد نیاز به‌منظور محاسبه میزان غلظت کربن در بزرگراه با توجه به اطلاعات اولیه برگرفته شده از سازمان محیط‌زیست شهر سمنان در جدول زیر جمع‌بندی شده است. درنهایت با توجه به اطلاعات به‌دست‌آمده و به کار بردن فرمول ذکر شده، غلظت کربن در فواصل تعیین شده از بزرگراه برابر با جدول (۶) است.

جدول (۶): محاسبه غلظت دی‌اکسید کربن تولیدی از بزرگراه با مدل گاوسی

| میزان غلظت گاز مونوکسید کربن<br>(Mg/m <sup>3</sup> ) | فاصله |
|------------------------------------------------------|-------|
| ۹/۵                                                  | ۴۰    |
| ۷/۱۳                                                 | ۶۰    |
| ۱/۶۱                                                 | ۸۰    |
| ۲/۳۳                                                 | ۱۰۰   |
| ۷                                                    | ۱۲۰   |

هر چه مدت‌زمان ماندن در یک مکان با خطر وجود گاز مونوکسید کربن بیشتر شود، احتمال بروز مشکلات جدی به‌خصوص در سلامتی افراد نیز بیشتر می‌شود. همان‌طور که در جدول بالا اشاره شد، غلظت مجاز کربن در ۸ ساعت برابر ۱۰ میلی‌گرم است، در نتیجه غلظت ورودی گاز کربن مونوکسید به محدوده در درازمدت بیشتر از حد مجاز می‌شود و این امر مستلزم به‌کارگیری اصول طراحی و ایجاد تمهیداتی به‌منظور کاهش ورود آلاینده‌ها است.

طراحی اصولی و صحیح می‌توان بدین‌منظور پیشنهادهایی به‌منظور زمینه‌سازی پژوهش‌های آینده ارائه شده است. این پیشنهادها برگرفته از نتایج تحقیق در کنترل آلودگی کارخانه‌ها، کنترل آلودگی ناشی از خودروها و کنترل آلودگی ناشی از منازل در درازمدت و کوتاه‌مدت است.

- بهینه‌سازی فاکتورهای موثر برافزایش غلظت آلاینده‌ها در طراحی کارخانه‌ها همچون ارتفاع و قطر لوله دودکش می‌تواند به‌عنوان یک موضوع مهم مورد توجه قرار بگیرد. دودکش‌های بلند به‌عنوان راه‌حلی مستقل در کاهش غلظت آلاینده‌ها محسوب می‌شوند و به‌طورکلی ارتفاع دودکش با توجه به میزان استاندارد آلاینده‌های گاز خروجی، درجه حرارت گاز، سرعت خروج آلاینده‌ها، نوع سوخت و یک سری عوامل مشابه دیگر انتخاب می‌شود.

- استفاده از سلول‌های خورشیدی در پشت‌بام‌ها و توربین‌های بادی به‌منظور کاهش مصرف سوخت‌ها فسیلی در منازل مسکونی

- توجه به توپوگرافی محدوده و ویژگی‌های اقلیمی آن در محاسبه میزان غلظت آلاینده‌ها راه‌یافته به محلات مسکونی

- توجه به ارتفاع ساختمان‌ها به‌گونه‌ای که خط آسمان هماهنگ ایجاد نمایند، در صورتی که ساختمان‌هایی با اختلاف ارتفاع بسیار زیاد وجود داشته سرعت باد تغییر کرده و موجب پیدایش خرده اقلیم می‌شود.

- گوشه‌های تیز ساختمان‌ها محلی برای افزایش سرعت مکش باد می‌باشند تا حد امکان می‌باید از پیدایش گوشه‌های تیز رها شده خودداری شود.

- استفاده از حمل‌ونقل عمومی گسترده در محله

- طراحی واحدهای مسکونی در محله به‌گونه‌ای که باد حامل آلاینده‌ها به داخل محدوده نفوذ ننماید.

- استفاده از پوشش گیاهی و آب به‌عنوان دو عامل رطوبت زا و جاذب آلاینده‌ها

- در نظر گرفتن حیاط مرکزی برای خانه‌های مسکونی

#### یادداشت‌ها

1. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)
2. United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC)
3. Young Cities project

مطالعه‌ها تمرکز بر برخی از شاخص‌های موثر بر کاهش کربن (همچون توسعه حمل و نقل عمومی، گسترش فضای سبز، مصالح مورد استفاده در ساختمان و ...) بوده است، در حالی که هدف اصلی در پژوهش حاضر تلاش در جهت برقراری ارتباط میان طراحی شهری و سایر حوزه‌های موثر همچون محیط‌زیست با نگاهی جامع و مشمول بر ۳ عامل مهم موثر بر آلودگی شهرها یعنی منازل مسکونی، کارخانه‌ها و بزرگراه‌های شهری بوده است و سعی بر آن بوده تا با به‌کارگیری مدل‌ها و نرم‌افزارهای موجود و در دسترس به‌نوعی ارتباط قوی بین این دو برقرار نمود. از این‌رو در این پژوهش به‌عنوان گامی نخست در برقراری این ارتباط، عناصر اصلی سازنده فرم شهر که موثر بر آلودگی هوا نیز می‌باشند مورد بررسی قرار گرفت که عبارتند از: مجموعه‌های صنعتی، مجموعه‌های مسکونی و بزرگراه‌ها. نتایج حاصل از بررسی این عناصر می‌تواند آغازی در جهت مداخله بیشتر در فرم شهری و طراحی شهری کم‌کربن باشد. با توجه به شرایط کنونی کشور و در دسترس بودن سوخت‌های فسیلی و استفاده بیش از حد آن‌ها خطرات جدی زندگی ما را تهدید می‌کند که با توجه به پتانسیل‌های بالایی که کشور ایران در استفاده از انرژی‌های تجدید پذیر به‌خصوص باد و خورشید دارد می‌توان به میزان چشمگیری از بروز فجایع محیط‌زیستی کاست و زمینی پاک و قابل زیست را به دست نسل‌های آینده سپرد. بدین‌ترتیب پژوهش حاضر قدمی نخستین در جهت پیوند میان اصول محیط‌زیستی و طراحی شهری بوده است. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از شبیه‌سازی‌های انجام‌شده توسط نرم‌افزار فلوئنت میزان انتشار و تولید آلاینده‌ها در وضعیت موجود نشان‌دهنده میزان تاثیر طراحی بر ورود و یا عدم ورود آلاینده‌ها به مناطق مسکونی دارد. در این میان توجه به الگوهای معماری سنتی می‌تواند بسیار اثربخش باشد. مواردی همچون به‌کارگیری حیاط مرکزی در خانه‌های ویلایی، ایجاد واحد همسایگی، استفاده از طاق و گنبد به‌منظور سایه‌اندازی و خنک نمودن محیط، همچنین توجه به باد و تابش نور خورشید در جهت‌گیری بلوک‌ها و معابر از جمله عوامل اصلی اقلیمی موثر بر طراحی به‌منظور کاهش میزان کربن موجود در هوا هستند. بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد که در شرایط کنونی به دلیل قرارگیری معابر در مقابل باد و نبود فضای سبز کافی و طراحی ساختمان‌ها بدون توجه به اقلیم میزان ورود آلاینده‌ها از سمت بزرگراه و کارخانه‌های صنعتی و همچنین تولید کربن از طریق منازل مسکونی به نسبت زیاد است. که با باز

- |                                                                                       |                                                                                                                                                               |
|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 7. (ASHRAE) American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers | 4. (SSIM) Sustainable Systems Integration Model<br>5. (SEAP) Strategic Energy Action Plan<br>6. National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) |
|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

### فهرست منابع

- Awanthi, M.G.G. & Navaratne, C.M. 2018. Carbon Footprint of an Organization: a Tool for Monitoring Impacts on Global Warming. *Procedia Engineering*, 212: 729-735.
- Abbasi, E. & Khazem Dehbashi, S. 2010. Estimation of natural gas demand function in household section. *Jpurnal of financial economics (Financial economics and development)*. 4(11): 109-133 (in persian).
- Birge, D. & M. Berger, A. 2019. Transitioning to low-carbon suburbs in hot-arid regions: A case-study of Emirati villas in Abu Dhabi. *Building and Environment*. 147: 77-96.
- CoolClimate Carbon Footprint Calculator. 2013. Available at: [[www.coolclimate.berkeley.edu/calculators/business/ui.php](http://www.coolclimate.berkeley.edu/calculators/business/ui.php)].
- Cornwall Council. 2013. Sustainable Energy Action Plan (SEAP). Available at: [[www.cornwall.gov.uk/media/17217090/seap-2013-final.pdf](http://www.cornwall.gov.uk/media/17217090/seap-2013-final.pdf)].
- Dehghan, Mehdi. 2003. Urban heat island sample of climate change. *Geographical Education*. 65: 28-35. (in persian).
- Dong, D.; Duan, H.; Mao, R.; Song, Q.; Zuo, J.; Zhu, J.; Wang, G.; Hu, M.; Dong, B & Liu, G. 2018. Towards a low carbon transition of urban public transport in megacities: A case study of Shenzhen, China. *Resources, Conservation & Recycling*. 134:149-155.
- Ebrahimi, M. & Jahangirian, A. 2013. New analytical formulations for calculation of dispersion parameters of Gaussian model using parallel CFD. *Environmental fluid mechanics*. 13 (2), 125-144.
- Farhang, M. & Mirrahmati, A. 2013. Reported air pollution in Semnan, Environmental Protection Agency. Department of Environmental Protection Semnan province (in persian).
- Feng, Y. & Zhang, L. 2012. Scenario analysis of urban energy saving and carbon abatement policies: A case study of Beijing city, China. *Procedia Environmental Sciences*, 13: 632-644.
- Guan, Ch.; Srinivasan, S.; P & Nielsen, Ch. 2019. Does neighborhood form influence low-carbon transportation in China?, *Transportation Research Part D*, 67: 106-420.
- Hasyimi, V. & Azizalrahman, H. 2018. A Strategy-Based Model for Low Carbon Cities. *Sustainability*, 10: 1-13.
- Hu, C. 2017. Research on the strategy of low-carbon urban planning based on residents' living and consumption. 3rd International Conference on Energy Materials and Environment Engineering. Bangkok, Thailand.
- Janzadeh, A. & Zandieh, M. 2016. Feasibility Study of a Zero Energy Neighborhood in Qazvin. *Journal of Energy Planning And Policy Research*. 2(2): 103-132 (in persian).
- Nazari, S.; Sohrabi-Kashani, A.; Davari, S. & Delavar – Moghaddam, Z. 2009. Determination of CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub> Emission Factors in Irans Thermal Power Plants Comparing with North American Countries. *Iranian journal of energy*. 12 (3) :25-36 (in persian).
- PBL Netherlands Environmental Assessment Agency. 2015. Are global CO<sub>2</sub> emissions still rising?, Available at: <https://themasites.pbl.nl/o/global-co2/>.
- Raub, R. 1999. Environmental Health Criteria 213, Carbon Monoxide. USA: Environment Protection Agency and World Health Organization. Available at: [[www.apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/42180/WHO\\_EHC\\_213.pdf?sequence=1](http://www.apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/42180/WHO_EHC_213.pdf?sequence=1)].
- Sarker, N.I.; Hossin, A.; Hua, Y.X.; Anusara, J.; Warunyu, S.; Chanthamith, B.; Sarkar, K.; Kumar & N.; Shah. S. 2018. Low Carbon City Development in China in the Context of New Type of Urbanization. *Low Carbon Economy*. 9: 45-51.
- Shayan, S. & Ara, H. 2002. Global environment outlook-2000. *Geographical Education*. 18 (63). 3-14. (in persian).
- Shen, L.; Wu, Y.; Shuai, Ch.; Lu, W.; Chau, K. W. & Chen, XI. 2018. Analysis on the evolution of low carbon city from process characteristic perspective. *Journal of Cleaner Production*. 187: 348-360.
- Sofian, S.; Li, X.; Kusumawardhan, P. & Widiyani, W. 2015. Sustainable Systems Integration Model-Metrics in Design Process. 5th Arte Polis International Conference and Workshop – “Reflections on Creativity: Public Engagement and The Making of Place”, Arte-Polis 5, 8-9 August 2014, Bandung, Indonesia.
- Wei, T. 2011. Building Low-carbon Cities Through Local Land Use Planning: Towards an Appropriate Urban Development Model for Sustainability. Advisor: Zhenghong Tang. University of Nebraska-Lincoln.
- Yang, T.; Chen, Ch.; Zhang, Y.; Zhang, Sh. & Fengc, F. 2016. Towards Low-Carbon Urban Forms: A Comparative Study on Energy Efficiencies of Residential Neighborhoods in Chongming Eco-Island. *Energy Procedia*. 88: 321-324.