فصلنامه علوم محیطی، دوره شانزدهم، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۷

۳۱-۴۸

کمّی‌سازی رابطه بین انتشار گاز دی‌اکسید کربن با بعد فشردگی شکل شهر

فاطمه رضایی[۱]، سامره فلاحتکار*[۱] و هاشم داداش‌پور[۲]

[۱] گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، مازندران، ایران

[۲] گروه شهرسازی، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۵/۳۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۲/۱۷

رضایی، ف.، س. فلاحتکار و ه. داداش‌پور. ۱۳۹۷. کمّی‌سازی رابطه بین انتشار گاز دی‌اکسید کربن با بعد فشردگی شکل شهر. فصلنامه علوم محیطی. ۱۶ (۲): ۴۸-۳۱.

سابقه و هدف: گرمایش جهانی یک حقیقت مسلم و تهدیدی اجتناب‌ناپذیر برای زندگی در محیط زیست است. با توجه به اینکه مناطق شهری عامل مهمی در افزایش انتشار گاز CO_2 هستند، جامعه نیازمند انجام اقداماتی در راستای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای است. از آنجا که افزایش جمعیت زمینه‌ساز افزایش تقاضا برای سکونت و گسترش سریع مراکز فعالیت در حومه‌ها است و با توجه به رشد سریع شهرهای ایران، اهمیت سوخت در توسعه پایدار و نقش بالقوه و مهم شناخت شکل شهری در توسعه پایدار شهری، ضرورت کمی‌سازی ارتباط بعد فشردگی شکل شهر و انتشار CO_2 ناشی از مصرف سوخت فسیلی را آشکار می‌سازد.

مواد و روش‌ها: این پژوهش در دو مرحله طراحی شد. در مرحله اول به بررسی تغییرات شکل ۱۵ شهر دو استان گیلان و مازندران از جنبه بعد فشردگی با استفاده از سنجه‌های سیمای سرزمین (AI، PLADJ، PROXIM، COHESION) پرداخته شد. برای تهیه نقشه مناطق شهری از تصاویر سنجش از دور سنجنده‌های TM و OLI ماهواره لندست متعلق به سال‌های ۲۰۰۱ و ۲۰۱۵ استفاده شد. همچنین برای طبقه‌بندی تصاویر از روش نظارت‌شده بر اساس الگوریتم حداکثر احتمال استفاده شده است. روش مقایسه پس از طبقه‌بندی برای آشکارسازی تغییرات استفاده شد. در فاز دوم بعد از محاسبه انتشار CO_2 ازآنالیز داده پانل برای کمی‌سازی رابطه بین متغیرهای سری زمانی دی‌اکسید کربن و متغیرهای مقطعی سنجه‌های سیمای سرزمین استفاده شد.

نتایج و بحث: نتایج حاصل از سنجه‌ها برای تمامی مناطق بررسی‌شده در فاصله زمانی ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۴ نشان می‌دهد فشردگی در سطح سیمای تمامی شهرهای استان گیلان غیر از بندرانزلی نسبت به استان مازندران روند کاهشی در پیش داشته، اما برای استان مازندران در سه شهر رامسر، بهشهر و آمل افزایش فشردگی در سطح کلاس شهر مشاهده می‌شود. بنابراین می‌توان گفت که شهرهای استان مازندران فشرده‌تر از شهرهای استان گیلان است. مطابق با نتایج به‌دست‌آمده، این چهار متغیر معرف فشردگی (AI، PLADJ، PROXIM، COHESION)، همبستگی منفی را با انتشار CO_2 ناشی از مجموع فراورده‌های نفتی بنزین و گازوئیل در سطح کلاس شهری نشان دادند. در میان سنجه‌های مورد استفاده، سنجه COHESION، بالاترین همبستگی را به ترتیب (۸/۷۹- و ۱۰/۱۷-) با دی‌اکسید کربن ناشی از مصرف بنزین و گازوئیل نشان داد. بر اساس نتایج آنالیز داده پانل به ازای افزایش یک درصدی سنجه COHESION نزدیک به نه درصد

* Corresponding Author. *E-mail Address*: samereh.falahatkar@modares.ac.ir

انتشار CO_2 ناشی از مصرف بنزین کاهش می‌یابد، در حالی که افزایش یک درصدی سنجه COHESION سبب کاهش ۱۰ درصدی انتشار CO_2 ناشی از مصرف گازوئیل می‌شود. به‌طور مثال، با توجه به اینکه میزان انتشار ناشی از بنزین در سال ۱۳۹۴ برای شهر آمل معادل ۱۳۳/۳۶ تن CO_2 در هر هکتار است و همچنین مطابق با نتایج به‌دست آمده از سنجه COHESION که گویای آن است که اگر فشردگی شکل شهر یک درصد افزایش پیدا کند میزان انتشار CO_2 در آن ۸/۸ درصد کاهش خواهد یافت، این میزان درصد کاهش برابر ۱۱/۷۳ تن CO_2 در هکتار است.

نتیجه‌گیری: بر این اساس در نظر گرفتن فرم شهری در برنامه‌ریزی آتی توسعه شهرهای شمالی ایران برای شکل‌گیری شهرهای کم‌کربن توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی : بعد فشردگی، سنجه‌های سیمای سرزمین، کاربری اراضی، مدل داده پانلی.

مقدمه

دی‌اکسیدکربن یکی از مهم‌ترین گازهای گلخانه‌ای انسانی (Hammerling *et al*., 2012) و اصلی‌ترین عاملی است که سبب اثر گلخانه‌ای و گرم شدن زمین می‌شود (Wang SJ *et al*., 2014; Venkataramanan *et al*., 2011). مناطق شهری مصرف‌کننده بیش از ۶۷ درصد از انرژی تولید شده در سطح جهانی و مسئول تولید بیش از ۷۰ درصد از انتشار گاز CO_2 در جهان هستند (IEA, 2012). احتراق سوخت‌های فسیلی از طریق فعالیت‌های مختلف انسان در مناطق شهری به‌عنوان منبع اصلی انتشار گاز CO_2 جهانی در نظر گرفته شده است، در نتیجه راه کار اصلی در کاهش انتشار CO_2 تولید شده بر عهده مدیریت صحیح در مناطق شهری است (Fragkias, 2013). در این راستا بخش قابل‌توجهی از چالش‌های تغییر اقلیم می‌تواند از طریق طراحی و توسعه شهرها حل شود (Condon *et al*., 2013). شهرهایی با ساختار فشرده، تمام خدمات را به ساکنان در فواصل کوتاه ارائه می‌دهند و در نتیجه انتشار گازهای گلخانه‌ای به‌طور کلی کاهش می‌یابد (Baur *et al*., 2015). کاربری اراضی فشرده منجر به مصرف کمتر انرژی و اثرات گسترده آن بر مصرف انرژی حمل‌ونقل می‌شود (Condon *et al*., 2009). در نتیجه لازم است در مسیر توسعه شهرهای کم‌کربن[1] برای کاهش تغییر اقلیم گام‌های مؤثری برداشته شود (Wang *et al*., 2012). از جمله معیارهای شهرهای کم‌کربن می‌توان به توسعه کاربری مختلط، توسعه شهر فشرده، شبکه جامع عابر پیاده، شبکه جامع دوچرخه‌سواری و اثر جزیره حرارت شهری (UHIE) اشاره کرد. بنابراین، درک تأثیر الگوی توسعه فشرده و تغییر جهت به سمت حمل‌ونقل عمومی در کاهش انتشار CO_2 نیاز به بررسی بیشتر آن به‌عنوان یک سیاست و اولویت دارد (Andong and Sajor, 2017). در این راستا تحقیقات داخلی و خارجی درباره متغیرهای شکل شهری با انتشار دی‌اکسید کربن صورت گرفته است که می‌توان به تحقیقات Makido *et al*. (2012)، Lee *et al*. (2014)، Fang *et al*. (2015)، (2017) Osorio *et al*. و Wang *et al*. (2017) اشاره کرد. Abbasi *et al*. (2012) با هدف افزایش سطح آگاهی از ارتباط بین شکل شهر و مصرف سوخت در بخش حمل‌ونقل به بررسی و تبیین عوامل مؤثر شکل شهری بر مصرف سوخت خانوارها در بخش حمل‌ونقل پرداختند. نتایج این پژوهش حاکی از وجود ارتباط بین عوامل شکل شهری و مصرف سوخت در بخش حمل‌ونقل است. Hajipoor *et al*. (2014) در پژوهشی تأثیر شکل شهر بر میزان مصرف انرژی عملکردی در بخش مسکونی در شهر شیراز را بررسی کردند. در این پژوهش میزان مصرف انرژی عملکردی محاسبه و چگونگی ارتباط آن با مشخصه‌های شکل شهر بررسی شد. نتایج حاصل از تحلیل همبستگی نشان داد بین الگوی سکونت و میزان مصرف انرژی عملکردی، رابطه همبستگی مثبت قوی وجود دارد. با توجه به رشد سریع جمعیت، یکی از موضوعات اساسی در ارتباط با توسعه

شهری، شکل شهر است و آگاهی از آن می‌تواند یکی از عوامل تأثیرگذار برنامه‌ریزی شهری محسوب شود (Pourahmad *et al.*, 2014). برخی از پژوهشگران معتقدند که شهرهای فشرده فرصت‌های تازه‌ای را برای کاهش مصرف سوخت ارائه می‌کنند، زیرا کار و فراغت در کنار هم هستند (ECOTEC, 1993; Hilman, 1993; Newman and Kenworthy, 1989). شهرهای فشرده از این نظر مورد توجه هستند که هم زمین‌های روستایی اطراف شهر حفاظت می‌شود و هم زمین‌های داخل شهر می‌تواند مورد استفاده مجدد قرار گیرد. مهم‌ترین دلایل مورد توجه قرار گرفتن فرم فشرده، ایجاد حمل‌ونقل پایدار، کاهش گستردگی و استفاده پایدار از زمین، همبستگی اجتماعی و توسعه فرهنگی، صرفه‌جویی اقتصادی در ارائه زیرساخت‌ها و حمایت از خدمات کسب و کار محلی است (Williams *et al.*, 2000). شمال ایران یکی از بزرگترین سرمایه‌های طبیعی کشور به حساب می‌آید و دارای توان اکولوژیکی بالا در بخش‌های کشاورزی و مرتع‌داری و جنگل‌داری است. کمی‌سازی الگوی توسعه مناطق شهری اهمیت ویژه‌ای می‌یابد. بر این اساس ، هدف اصلی تحقیق حاضر بررسی نقش فشردگی شکل شهر در انتشار گاز دی اکسید کربن ناشی از مصرف سوخت بنزین و گازوئیل می-باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد بررسی

محدوده تحقیقاتی شامل ۱۵ شهر از استان‌های گیلان و مازندران است که عبارت‌اند از لاهیجان، بندرانزلی، رودسر، رودبار، تالش، صومعه‌سرا، آستارا، آمل، قائم‌شهر، چالوس، بابلسر، تنکابن، رامسر، نکاء و بهشهر با جمعیت متوسط ۵۰ تا ۲۵۰ هزار نفر. تمامی شهرهای مذکور در طرح پایه آمایش سرزمین به‌عنوان شهرهای متوسط دسته‌بندی شده‌اند. استان مازندران با وسعتی حدود ۲۳۷۵۶/۴ کیلومتر مربع نزدیک به ۱/۴۶ درصد از مساحت کل کشور را شامل می‌شود و در موقعیت جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۷ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۳۵ دقیقه عرض شمالی و ۵۰ درجه و ۳۴ دقیقه تا ۵۴ درجه و ۱۰ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ قرار گرفته است و بر اساس آخرین تقسیمات کشوری در سال ۱۳۹۱ دارای ۲۰ شهرستان است (Statistical yearbook, 2012). استان گیلان با مساحتی حدود ۱۴۷۱۱ کیلومتر مربع نیز در ۳۶ درجه و ۳۳ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۲۷ دقیقه عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۳۲ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۳۶ دقیقه طول شرقی واقع شده است (Statistical center of Iran, 2011). دو استان گیلان و مازندران با توجه به موقعیت طبیعی و توان اکولوژیکی بالا در زمین‌های کشاورزی، اراضی مرتعی و جنگلی جزء استان‌های برتر از نظر سرمایه‌های طبیعی کشور محسوب می‌شود (Statistical center of Iran, 2012). قابل ذکر است که در این تحقیق شهرهای بزرگ و صنعتی به دلیل انتشار زیاد CO_2 در بخش صنایع نسبت به سایر بخش‌ها و از بین بردن هدف تحقیق برای مشاهده تأثیر شکل شهری کنار گذاشته شدند. در این تحقیق، موقعیت مکانی شهر و اندازه جمعیت جزء مهم‌ترین عوامل برای تعیین شهرهای مورد بررسی است.

روش تحقیق

در این پژوهش برای تهیه نقشه مناطق شهری از تصاویر سنجش از دور سنجنده‌های OLI و TM ماهواره لندست متعلق به سال‌های ۲۰۰۱ و ۲۰۱۵ استفاده شده است. برای طبقه‌بندی تصاویر از روش نظارت‌شده بر اساس الگوریتم حداکثر احتمال استفاده شده است. تصاویر در ۳ طبقه اصلی مسکونی، کشاورزی و ساحلی طبقه‌بندی شدند (Richards and Jia, 2006). انتخاب نمونه‌های تعلیمی مورد نیاز با شناخت قبلی از منطقه و با استفاده از تفسیر چشمی و همچنین استفاده از محیط Google Earth روی تصویر رنگی کاذب صورت گرفت.

سپس یک فیلتر Mode با پنجره ۳×۳ برای حذف پیکسل‌های منفرد و پراکنده برای به دست آوردن تصویر یکنواخت اعمال شد (Lillesand *et al.*, 2004). پس از طبقه‌بندی تصاویر، از روش آشکارسازی مقایسه پس از طبقه‌بندی[۲]، برای تعیین تغییرات کاربری و پوشش اراضی بین سال‌های ۲۰۰۱ و ۲۰۱۵ استفاده شد. این روش موثرترین روش برای تشخیص تغییرات است زیرا در این روش امکان تشخیص تغییرات رخداده در هر طبقه نسبت به سایر طبقات وجود دارد (Jensen, 2005). در نهایت نقشه طبقه‌بندی‌شده وارد نرم‌افزار Fragstats شدند و ۴ سنجه AI، PLADJ، COHESION، PROXIM برای شهرهای مورد بررسی محاسبه شد.

انتخاب و استخراج سنجه‌های سیمای سرزمین

از جمله کاربردهای مهم سنجه‌های سیمای سرزمین تشخیص الگوی سیمای سرزمین، تنوع زیستی و تکه‌تکه شدن زیستگاه (Gardner *et al.*, 1993; Keitte *et al.*, 1997) تحلیل تغییرات در سیمای سرزمین (Frohn, 1991; Dunn *et al.*, 1996) و بررسی اثرات مقیاس در توصیف ساختار سیمای سرزمین است (Turner, 1989; O'Neill *et al.*, 1996). در این پژوهش برای نشان دادن بعد فشردگی از ۴ متغیر PLADJ، AI، COHESION، PROXIM استفاده شده است. در جدول ۱ توضیحات مربوط به هر سنجه به همراه نوع آن و همچنین دامنه تغییرات عددی آن ارائه شده است. شاخص انسجام یا پیوستگی (COHESION) شاخص پیوستگی لکه است که ارتباط فیزیکی لکه‌های شهری را کمی‌سازی می‌کند. ارزش عددی این سنجه بین صفر و ۱۰۰ قرار دارد. زمانی که این شاخص افزایش می‌یابد توزیع مکانی لکه‌های شهری خوشه‌ایی‌تر می‌شود و لکه‌های شهری افزایش می‌یابد و به نوعی اتصال فیزیکی لکه‌ها افزایش می‌یابد. PROXIM معیاری از مجاورت است (Huang *et al.*, 2007). AI یکی دیگر از شاخص‌های فشردگی است. PLADJ هم یکی از شاخص‌های انبوهی لکه است که نشان‌دهنده مقدار فشردگی شهری است (McGarigal, 2011).

جدول ۱- فرمول محاسباتی سنجه‌های مورد استفاده در این پژوهش
Table 1. Landscape metrics used in the study (Mc Garigal and Marks 1995)

سنجه Metrics	مخفف Abbreviation	فرمول محاسباتی Equation	واحد Units	محدوده تغییرات Range
Aggregation index	AI	$AI = \left[\frac{g_{ii}}{\max\left(g_{ii}\right)} \right] (100)$	درصد Percent	$0 \leq AI \leq 100$
Percentage of like adjacencies	PLADJ	$PLADJ = \left(\frac{\sum_{i=1}^{m} gii}{\sum_{i=1}^{m}\sum_{k=1}^{n} gik} \right) (100)$	درصد Percent	$0 \leq PLADJ \leq 100$
Patch cohesion index	COHESION	$COHESION = \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{m} p^{*}_{ij}}{\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} p_{ij}^{*} \sqrt{a^{*}_{ij}}} \right] \cdot \left[1 - \frac{1}{\sqrt{Z}} \right]^{-1} (100)$	درصد Percent	$0 \leq COHESION \leq 100$
Proximity index	PROXIM	$PROXIM = \sum_{s=1}^{n} \frac{a_{ijs}}{h_{ijs}}$	واحد ندارد None	$PROXIM \geq 0$

محاسبه انتشار گاز CO_2

با استفاده از ضرایب منتشر شده توسط IPCC برای هر سوخت از جمله LHV و EF، انتشار گاز CO_2 بر اساس رابطه ۳-۱ محاسبه شد. در این تحقیق میزان انتشار گاز دی‌اکسیدکربن حاصل از سوخت‌های فسیلی مصرف‌شده طی سال‌های ۱۳۸۰-۱۳۹۴محاسبه شد. اما قبل از محاسبه CO_2 مربوط به سوخت‌های مورد نظر، از آنجا که داده‌های مربوط به سوخت بر حسب واحد هزار بر لیتر بودند نیاز به تبدیل واحد به تن مطابق با فرمول احساس شد که برای این کار با استفاده از چگالی هر یک از فراورده‌ها، داده‌های مورد نظر به تن تبدیل شدند. سپس داده‌های به‌دست‌آمده بر حسب تن با استفاده از LHV و فاکتور انتشار مخصوص هر یک از فراورده‌ها در فرمول جای‌گذاری شد و در نهایت میزان CO_2 مربوط به سوخت هر کدام از فراورده‌ها برای سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۴ محاسبه شد.

$$CO_2\ emissions\left[t\ {co_2}/{yr}\right]=Fuel\left[{t}/{yr}\right]\times LHV_{fuel}\left[{Gj}/{t}\right]\times\left[{1t}/{1000kg}\right]\times EF_{fuel}\left[{kgco_2}/{Gj}\right] \quad (۱)$$

Fuel= Amount of fuel in ton per year
LHV_{fuel}= Lower heating value of fuel in Giagjoules per ton
EF_{fuel}= Emission factor of fuel in Kg CO_2 per Gigajoule

مدل داده‌های ترکیبی سری زمانی-مقطعی (داده‌های پانلی)

داده‌های ترکیبی به یک مجموعه از داده‌ها گفته می‌شود که بر اساس آن مشاهدات به وسیله تعداد زیادی از متغیرهای مقطعی N که اغلب به‌صورت تصادفی انتخاب می‌شوند، در طول یک دوره زمانی مشخص T، بررسی شده باشند. به این ترتیب دو نوع بعد وجود خواهد داشت: بعد زمان و بعد مقاطع، این N×T داده‌های آماری را داده‌های ترکیبی یا داده‌های مقطعی-سری زمانی می‌نامند (Nerlove, 2000). برای تعیین مدل بهینه به کار رفته در داده‌های ترکیبی از آزمون‌های مختلفی استفاده می‌شود. رایج‌ترین آنها آزمون هاسمن برای استفاده از مدل اثر ثابت در مقابل مدل اثر تصادفی و آزمون چاو (chaw) برای استفاده از مدل اثر ثابت در مقابل مدل برآوردی داده‌های ترکیب‌شده است (Baltagi, 2005). آنالیز مدل داده‌های پانل یکی از موضوعات جدید و کاربردی در اقتصادسنجی است، زیرا پانل دیتا یک محیط بسیار غنی از اطلاعات را برای گسترش تکنیک‌های تخمین و نتایج نظری فراهم می‌آورد و محققان قادر به استفاده از داده‌های مقطعی سری زمانی برای بررسی مسائلی می‌شوند که امکان بررسی آنها در محیط‌های فقط مقطعی و سری زمانی وجود ندارد (Baltagi, 2005).

نتایج و بحث

بعد فشردگی شکل شهر

نتایج آشکارسازی تغییرات در تمامی شهرهای مورد بررسی نشان‌دهنده توسعه سریع مناطق شهری و از دست رفتن زمین‌های کشاورزی مرغوب اطراف شهرهای شمال کشور است. نقشه آشکارسازی تغییرات و نتایج کمی مربوط به آن به علت محدودیت نگارش مقاله آورده نشده است. نتایج حاصل از سنجه‌های سیمای سرزمین در سطح کلاس شهری به‌صورت زیر است که در جداول ۲ تا ۱۶ نیز نشان داده شده است: طبق نتایج به‌دست‌آمده در سطح کلاس در شهر آستارا سنجه‌های PROX.MN، COHESION، AI وPLADJ بیانگر کاهش فشردگی در طبقه کشاورزی است اما افزایش شاخص‌های AI وPLADJ بیان‌کننده روند رو به افزایش فشردگی برای طبقه مسکونی است. در شهر بندرانزلی طبق نتایج حاصل از سنجه‌های PROX.MN، COHESION ، AI و PLADJافزایش فشردگی در طبقه کشاورزی مشاهده

می‌شود. اما برای طبقه مسکونی به مقدار کمی کاهش یافته است. در این راستا Bezi and Vahdati (2011) در ارزیابی میزان فشردگی و پراکنش رشد شهری بجنورد به این نتیجه رسیدند که رشد افقی این شهر طی دوره‌های متوالی (۱۳۸۷-۱۳۰۵) همواره درصد بالایی را به خود اختصاص داده و در دهه اخیر حداکثر رشد را در مقایسه دوره‌ها نشان می‌دهد. در شهر لاهیجان برای شاخص‌های فشردگی نتایج افزایش فشردگی طبقه مسکونی و کاهش میزان سنجه‌های PROX.MN، COHESION، AI وPLADJ برای سایر طبقات را نشان می‌دهد که بیان‌کننده کاهش بعد فشردگی در این طبقات طی دوره تحقیقاتی است. در شهر رودبار از نتایج سنجه‌های معرف فشردگی مشخص شد که میزان فشردگی برای طبقه مسکونی و مرتع به مقدار کمی افزایش داشته اما برای طبقه کشاورزی سنجه‌های PROX.MN، AI وPLADJ بیانگر کاهش میزان فشردگی در دوره تحقیقاتی بوده است. شهر رودبار از لحاظ شهرسازی، دارای بافت کاملاً پراکنده و بی‌قواره است. ناپیوستگی بافت شهری کاملاً متأثر از مورفولوژی و شیب زیاد اراضی است (Rezaei and Ostad Malekroudi, 2010). در شهر رودسر همچنین سه سنجه COHESION، AI وPLADJ نشان از روند رو به کاهش بعد فشردگی برای هر چهار طبقه مسکونی، کشاورزی، آب و ساحلی دارند که این کاهش می‌تواند به دلیل گسترش مناطق مسکونی در حاشیه‌های شهر باشد .در شهر تالش افزایش سنجه‌های PROX.MN، COHESION، AI و PLADJ برای طبقه مسکونی نشان‌دهنده افزایش فشردگی و کاهش مقدار آنها برای طبقات کشاورزی و جنگل نشان‌دهنده روند رو به کاهش فشردگی برای این طبقات است. در شهر صومعه‌سرا برای سنجه‌های PROX.MN، COHESION ،AI وPLADJ هم کاهش ارزش آنها برای طبقات مسکونی و کشاورزی مشاهده می‌شود، اما فشردگی برای طبقه آب روند افزایشی را نشان داده است. در شهر رامسر چهار سنجه PROX.MN، COHESION ، AI وPLADJ نشان می‌دهد که فشردگی در طبقه مسکونی افزایش یافته و در این راستا برای طبقات کشاورزی و جنگل کاهش فشردگی را در پی داشته است. در شهر نکا افزایش مقدار شاخص‌های PROX.MN، COHESION، AI وPLADJ نشان‌دهنده فشردگی بیشتر برای طبقه مسکونی نسبت به سال ۱۳۸۰ است. در شهر تنکابن سنجه‌های بعد فشردگی PROX.MN، COHESION، AI وPLADJ میزان فشردگی بالایی را برای طبقات مسکونی و آب نشان می‌دهد اما برای طبقه کشاورزی کاهش مقدار فشردگی طی زمان مورد بررسی روی داده است. برای شهر آمل شاخص‌های مربوط به فشردگی یعنی PROX.MN، COHESION، AI و PLADJ افزایش فشردگی را برای طبقه مسکونی و کاهش فشردگی را برای طبقه کشاورزی نشان دادند. طبق این یافته‌ها Seyfodini *et al*. (2012) به این نتیجه رسیدند که شهر آمل با اینکه در طول ۴۰ سال گذشته از فرم پراکنده‌ای برخوردار بوده است اما در دهه‌های اخیر از میزان پراکنش آن کاسته شده است و روند تمرکزگرایانه‌ای را در پیش گرفته است که این امر شکل‌گیری بافت‌های متراکم و فشرده‌ای را در نواحی داخلی شهر برای طبقه مسکونی موجب شده است. در شهر بابلسر نتایج منتج از چهار سنجه فشردگی PROX.MN، COHESION، AI وPLADJ بیانگر افزایش فشردگی برای طبقه مسکونی و کاهش برای طبقه کشاورزی است. بررسی طرح جامع شهر به وسیله مهندسان مشاور بود. توسعه شهر در طرح جامع، در غرب و شرق تقریبا سه برابر پیشنهاد شده است، در حالی‌که گسترش شهر در بیرون از محدوده‌های شهری ممنوع شده بود. اما با این حال، با انتقال بعضی از واحدهای کارگاهی به بیرون از شهر و تشدید فعالیت، منجر به ساخت و سازهای غیرقانونی و تخریب اراضی مرغوب کشاورزی در بیرون از مرزهای شهر شده است که منجر به آثاری همچون رشد بی‌قواره (اسپرال) شهر شده است

که از نتایج آن تخریب مزارع و باغ‌ها در اطراف شهر است (Lotfi *et al*., 2014). در بهشهر نتایج مربوط به هر چهار سنجه PROX.MN، COHESION، AI وPLADJ که معرف فشردگی هستند گویای افزایش فشردگی برای طبقه مسکونی و کاهش فشردگی برای هر دو طبقه کشاورزی و جنگل هستندکه افزایش این سنجه‌ها برای طبقه مسکونی می‌تواند به دلیل افزایش توسعه شهری در قسمت‌های میانی شهر باشد. در شهر چالوس سنجه‌های PROX_MN، PLADJ، COHESION، AI برای نشان دادن بعد فشردگی به کار می‌روند. شاخص‌های فشردگی علاوه بر اینکه شکل لکه را اندازه‌گیری می‌کند میزان پراکندگی و چندپارگی شکل سیمای سرزمین را هم نشان می‌دهد (Lillesand *et al*., 2004). نتایج هر چهار سنجه نشان‌دهنده کاهش فشردگی برای طبقه کشاورزی و افزایش برای طبقه مسکونی است. شهر چالوس با توجه به رشد سریع و همچنین وجود اراضی با ارزش کشاورزی در بخش مرکزی شهر رشد آتی شهر را خواه ناخواه در مناطقی که دارای جذابیت‌هایی برای استفاده‌کنندگان و بازگشت سرمایه برای سرمایه‌گذاران باشد خواهد داشت. در قائم‌شهر تمامی شاخص‌های PROX.MN، COHESION، AI وPLADJ بیانگر کاهش فشردگی برای طبقه کشاورزی و افزایش برای طبقات مسکونی و آب است.

جدول ۲- سنجه‌های به‌دست‌آمده در سطح طبقات برای شهر آستارا

Table 2. Metrics calculated at the level of classes for Astara city

آستارا Astara	طبقه Class	PROX_MN	PLADJ	COHESION	AI
1380	مسکونی(Residential)	575.25	90.16	98.37	91.12
	کشاورزی(Agriculture)	975.19	94.14	98.63	94.84
	آب(water)	126.13	96.99	98.78	97.77
	جنگل(forest)	236.00	83.28	93.30	85.70
1394	مسکونی(Residential)	481.38	92.07	98.14	92.86
	کشاورزی(Agriculture)	290.25	92.39	97.87	93.18
	آب(water)	132.58	96.96	98.79	97.75
	جنگل(forest)	149.75	83.42	93.62	86.03

جدول ۳- سنجه‌های به‌دست‌آمده در سطح طبقات برای شهر بندرانزلی

Table 3. Metrics calculated at the level of classes for Bandar Anzali city

بندرانزلی Bandar Anzali	طبقه Class	PROX_MN	PLADJ	COHESION	AI
1380	مسکونی(Residential)	628.35	94.44	98.92	95.16
	کشاورزی(Agriculture)	331.54	90.14	98.18	90.79
	آب(water)	821.79	96.10	99.32	96.57
1394	مسکونی(Residential)	446.75	94.66	98.89	95.29
	کشاورزی(Agriculture)	464.84	92.58	98.58	93.21
	آب(water)	621.33	96.20	99.12	96.74

جدول ۴- سنجه‌های به‌دست‌آمده در سطح طبقات برای شهر لاهیجان

Table 4. Metrics calculated at the level of classes for Lahijan city

لاهیجان Lahijan	طبقه Class	PROX_MN	PLADJ	COHESION	AI
1380	مسکونی(Residential)	307.04	90.28	98.58	91.19
	کشاورزی(Agriculture)	3519.06	95.61	99.84	96.11
	آب(water)	0	84.78	91.04	92.22
	جنگل(forest)	25.28	85.17	95.44	86.77
1394	مسکونی(Residential)	585.96	91.14	98.98	91.94
	کشاورزی(Agriculture)	2636.95	95.06	99.63	95.57
	آب(water)	0	80.97	88.26	87.64
	جنگل(forest)	14.07	83.22	92.44	85.09

جدول ۵- سنجه‌های به‌دست‌آمده در سطح طبقات برای شهر رودبار

Table 5. Metrics calculated at the level of classes for Roodbar city

رودبار Roodbar	طبقه Class	PROX_MN	PLADJ	COHESION	AI
1380	مسکونی(Residential)	16.98	73.99	87.81	75.31
	کشاورزی(Agriculture)	74.21	93.14	96.88	94.15
	مرتع(Rangeland)	5133.36	96.70	99.61	97.09
	آب(water)	0	74.00	96.95	76.62
1394	مسکونی(Residential)	31.68	92.85	97.11	93.60
	کشاورزی(Agriculture)	5310.86	96.77	99.71	97.16
	مرتع(Rangeland)	55.01	79.89	93.10	81.04
	آب(water)	0	73.93	96.94	76.57

جدول ۶- سنجه‌های به‌دست‌آمده در سطح طبقات برای شهر رودسر

Table 6. Metrics calculated at the level of classes for Roodsar city

رودسر Roodsar	طبقه Class	PROX_MN	PLADJ	COHESION	AI
1380	مسکونی(Residential)	115.58	86.57	96.42	87.51
	کشاورزی(Agriculture)	3432.55	94.84	99.12	95.41
	آب(water)	37.06	95.96	98.01	96.91
	ساحلی(Coastal)	160.25	86.73	96.41	89.24
1394	مسکونی(Residential)	147.99	86.11	96.69	86.97
	کشاورزی(Agriculture)	2343.29	93.43	98.99	94.01
	آب(Water)	44.72	94.84	97.41	95.77
	ساحلی(Coastal)	136.75	84.82	96.15	87.50

جدول ۷- سنجه‌های به‌دست‌آمده در سطح طبقات برای شهر تالش

Table 7. Metrics calculated at the level of classes for Talesh city

تالش Talesh	طبقه Class	PROX_MN	PLADJ	COHESION	AI
1380	مسکونی(Residential)	213.18	88.65	97.35	89.76
	کشاورزی(Agriculture)	1373.05	94.08	99.11	94.71
	جنگل(Forest)	89.76	95.44	98.41	96.37
	آب(Water)	2.56	30.40	49.01	32.79
1394	مسکونی(Residential)	408.19	89.53	98.14	90.41
	کشاورزی(Agriculture)	456.47	91.83	98.16	92.49
	جنگل(Forest)	188.01	94.80	98.24	95.76
	آب(Water)	2.56	30.40	49.01	32.79

جدول ۸- سنجه‌های به‌دست‌آمده در سطح طبقات برای شهر صومعه‌سرا

Table 8. Metrics calculated at the level of classes for Some Sara city

صومعه سرا Some Sara	طبقه Class	PROX_MN	PLADJ	COHESION	AI
1380	مسکونی(Residential)	206.71	84.50	96.69	85.61
	کشاورزی(Agriculture)	5522.24	97.06	99.40	97.51
	آب(Water)	0.55	61.92	73.37	66.21
1394	مسکونی(Residential)	159.33	84.33	96.96	85.28
	کشاورزی(Agriculture)	3777.90	95.87	99.40	96.26
	آب(Water)	1.19	63.58	73.85	66.29

جدول ۹- سنجه‌های به‌دست‌آمده در سطح طبقات برای شهر رامسر

Table 9. Metrics calculated at the level of classes for Ramsar city

رامسر Ramsar	طبقه Class	PROX_MN	PLADJ	COHESION	AI
1380	مسکونی(Residential)	378.25	84.89	97.32	85.44
	کشاورزی(Agriculture)	262.66	86.94	96.72	87.48
	جنگل(Forest)	8575.96	97.96	99.69	98.31
	آب(Water)	481.21	98.32	99.15	98.34
1394	مسکونی(Residential)	643.16	89.83	98.10	90.28
	کشاورزی(Agriculture)	51.41	81.16	93.63	82.33
	جنگل(Forest)	5578.23	96.89	99.60	97.24
	آب(Water)	393.70	98.30	99.18	98.62

جدول ۱۰- سنجه‌های به‌دست‌آمده در سطح طبقات برای شهر نکاء

Table 10. Metrics calculated at the level of classes for Neka city

نکاء Neka	طبقه Class	PROX_MN	PLADJ	COHESION	AI
1382	مسکونی(Residential)	205.91	84.16	96.13	85.10
	کشاورزی(Agriculture)	7538.66	96.56	99.58	96.98
	آب(Water)	3.96	74.34	82.47	76.37
1394	مسکونی(Residential)	407.03	87.03	97.08	87.84
	کشاورزی(Agriculture)	2206.56	96.21	99.03	96.64
	آب(Water)	4.54	71.08	79.00	73.27

جدول۱۱- سنجه‌های به‌دست‌آمده در سطح طبقات برای شهر تنکابن

Table 11. Metrics calculated at the level of classes for Tonekabon city

تنکابن Tonekabon	طبقه Class	PROX_MN	PLADJ	COHESION	AI
1385	مسکونی(Residential)	188.32	86.09	97.81	86.91
	کشاورزی(Agriculture)	1245.61	94.94	99.41	95.50
	آب(Water)	1593.75	98.34	99.74	98.97
1394	مسکونی(Residential)	563.97	89.16	98.77	89.84
	کشاورزی(Agriculture)	556.09	92.54	98.75	93.15
	آب(Water)	2561	98.39	99.76	99.01

جدول۱۲- سنجه‌های به‌دست‌آمده در سطح طبقات برای شهر بابلسر

Table 12. Metrics calculated at the level of classes for Babolsar city

بابلسر babolsar	طبقه Class	PROX_MN	PLADJ	COHESION	AI
1380	مسکونی(Residential)	385.4	98.1	99.3	98.7
	کشاورزی(Agriculture)	183.4	84.4	97.4	85.3
	آب(Water)	3583.1	95.6	99.3	96.1
1394	مسکونی(Residential)	379.2	98.1	99.4	98.7
	کشاورزی(Agriculture)	567.1	87.6	98.5	88.37
	آب(Water)	960.6	94.3	98.9	94.8

جدول۱۳- سنجه‌های به‌دست‌آمده در سطح طبقات برای شهر بهشهر

Table 13. The calculated metrics at the level of classes for Behshahr city

بهشهر Behshahr	طبقه Class	PROX_MN	PLADJ	COHESION	AI
1380	مسکونی(Residential)	380.42	88.35	98.19	89.20
	جنگل(Forest)	1134.29	95.62	99.30	96.33
	کشاورزی(Agriculture)	1895.31	95.50	98.81	90.95
1394	مسکونی(Residential)	920.74	90.19	99.13	90.93
	کشاورزی(Agriculture)	1145.24	94.77	98.65	95.23
	جنگل(Forest)	943.98	95.46	99.29	96.20

جدول۱۴ – سنجه‌های به‌دست‌آمده در سطح طبقات برای شهر چالوس
Table 14. The calculated metrics at the level of classes for Chalos city

چالوس Chalos	طبقه Class	PROX_MN	PLADJ	COHESION	AI
1380	مسکونی(Residential)	0	98.9	99.6	99.6
	کشاورزی(Agriculture)	2064.1	94.5	99.3	95
	آب(water)	938.1	86.9	99	87.6
1394	مسکونی(Residential)	0	98.9	99.6	99.5
	کشاورزی(Agriculture)	1149.1	93	98.4	93.5
	آب(Water)	1440.1	89.1	99.4	89.7

جدول ۱۵- سنجه‌های به‌دست‌آمده در سطح طبقات برای شهرقائم‌شهر
Table 15. The calculated metrics at the level of classes for Ghaemshahr city

قائمشهر Ghaemshahr	طبقه Class	PROX_MN	PLADJ	COHESION	AI
1380	مسکونی(Residential)	1507.1	95.7	99.2	96.1
	کشاورزی(Agriculture)	1420.4	90.5	99.2	91.1
	آب(water)	0.6	80.5	84.4	85.5
1394	مسکونی(Residential)	1110.7	93.8	99.1	94.2
	کشاورزی(Agriculture)	1567.5	90.6	99.3	91.1
	آب(Water)	0.7	81.5	85.4	85.2

جدول۱۶ – سنجه‌های به‌دست‌آمده در سطح طبقات برای شهر آمل
Table 16. The calculated metrics at the level of classes for Amol city

آمل Amol	طبقه Class	PROX_MN	PLADJ	COHESION	AI
1380	مسکونی(Residential)	919.4	90.9	99.2	91.4
	کشاورزی(Agriculture)	1894.1	96	99.2	96.4
1394	مسکونی(Residential)	1623.3	92.3	99.4	92.9
	کشاورزی(Agriculture)	1151.9	94.9	99.1	95.3

نتایج و بحث

مدل داده پانل

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از مدل داده پانل، برای تمامی سنجه‌های معرف بعد فشردگی رابطه معنی‌داری با CO_2 انتشاریافته از فرآورده‌های بنزین وگازوئیل نشان داده شد. برای برقراری ارتباط صحیح بین متغیرهای سری زمانی مصرف سوخت‌های فسیلی و متغیرهای مقطعی سنجه‌های سیمای سرزمین شهرهای مورد بررسی از آنالیز داده‌های پانل استفاده شد. جداول شماره ۱۷تا ۱۹ نتایج مربوط به همبستگی بین متغیرهای این پژوهش را نشان داده است. مطابق با نتایج به‌دست‌آمده، این چهار متغیر معرف فشردگی، همبستگی منفی را با انتشار CO_2 ناشی از مجموع فرآورده‌های نفتی بنزین و گازوئیل در سطح شهری

نشان دادند. یافته‌های این پژوهش نشان داد که رابطه همبستگی بین متغیرهای شکل شهری با انتشار CO_2 ناشی از مصرف بنزین و گازوئیل وجود دارد که این مطابق با نتیجه‌های Makido *et al.* (2012)، (2015) Fang *et al.* و Wang *et al.* (2017) است. در مقابل نیز هر چه مقدار ارزشی سنجه‌های COHESION، PLADJ، PROX.MN، AI کمتر شود فشردگی الگوی توسعه شهری بیشتر می‌شود. نتایج تحقیقات Wang *et al.* (2017)، Fang *et al.* (2015)، Makido *et al.* (2012)، Liu and Sweeney (2012) ، Lee (2014) و Ma *et al.* (2017) نیز تاییدکننده یافته‌های این پژوهش است.

جدول ۱۷ - نتایج مدل پانلی برای سوخت بنزین

Table 17. Coefficients estimated from panel data analysis Gasoline

	مدل Model	متغییر وابسته The dependent variable	Coefficient	Prop	R-square	F-statistic	Prob (F-statistic)	N
1	بعد فشردگی Compaction dimension	Ln COHESIOM	-8.79	0.00	0.23	8.64	0.00	30
2		Ln AI	-3.96	0.00	0.22	8.17	0.00	30
3		Ln PLADJ	-3.80	0.00	0.22	8.32	0.00	30
4		Ln PROX.MN	-0.06	0.04	0.08	2.47	0.01	30

جدول ۱۸ – نتایج مدل پانلی برای سوخت گازوئیل

Table 18. Coefficients estimated from panel data analysis Diesel fuel

	مدل Model	متغییر وابسته The dependent variable	Coefficient	Prop	R-square	F-statistic	Prob (F-statistic)	N
1	بعد فشردگی Compaction dimension	Ln COHESIOM	-10.17	0.00	0.08	2.69	0.11	30
2		Ln AI	-3.86	0.01	0.05	1.49	0.23	30
3		Ln PLADJ	-3.98	0.00	0.05	1.74	0.19	30
4		Ln PROX.MN	-1.3	0.00	0.89	7.75	0.00	30

جدول ۱۹ - نتایج مدل پانلی برای مجموع سوخت بنزین و گازوئیل

Table 19. Coefficients estimated from panel data analysis of Gasoline and Diesel fuel

	مدل Model	متغییر وابسته The dependent variable	Coefficient	Prop	R-square	F-statistic	Prob (F-statistic)	N
1	بعد فشردگی Compaction dimension	Ln COHESIOM	-12.50	0.00	0.35	15.23	0.00	30
2		Ln AI	-5.99	0.00	0.39	18.52	0.00	30
3		Ln PLADJ	-5.98	0.00	0.41	19.46	0.00	30
4		Ln PROX.MN	-0.63	0.00	0.99	782.97	0.00	30

با محاسبه ضریب همبستگی بین تمامی سنجه‌های سیمای سرزمین که معرف بعد فشردگی شکل شهر است سنجه COHESION برای تفسیر ارتباط بین CO_2 انتشار یافته از مصرف سوخت‌های فسیلی و بعد فشردگی شکل شهر مورد استفاده قرار گرفت. بر اساس نتایج آنالیز داده پانل به ازای افزایش یک درصدی سنجه COHESION نزدیک به نه درصد انتشار CO_2 ناشی از مصرف بنزین در سطح کلاس شهری کاهش می‌یابد در حالی که افزایش یک درصدی سنجه COHESION سبب کاهش ۱۰ درصدی انتشار CO_2 ناشی از مصرف گازوئیل می‌شود. نتایج حاکی از کاهش حدود ۱۳ درصدی انتشار CO_2 ناشی از مصرف مجموع گازوئیل و بنزین به ازای افزایش یک درصدی بعد فشردگی است. در حالی‌که نتایج به‌دست‌آمده از رابطه همبستگی بین متغیرهای شکل شهری با انتشار CO_2 ناشی از مصرف بنزین در سطح سیمای سرزمین، گویای رابطه همبستگی قوی‌تری نسبت به نتایج به‌دست‌آمده در سطح کلاس شهری بود به‌طوری که نتایج، همبستگی منفی بالایی را بین انتشار CO_2 ناشی از مصرف بنزین با سنجه‌های معرف فشردگی COHESION، PLADJ، PROX.MN، AI با ارزش‌های (۸۳/۸۶-، ۳۳/۶۳-، ۰/۲۳ -، ۳۴/۹۹-) نشان داد.

برای تفهیم مطالب گفته شده، شهر آمل از استان مازندران و شهر لاهیجان از شهر گیلان به عنوان مثال‌هایی برای بیان اینکه اگر یک درصد فشردگی شهر افزایش پیدا کند، چه میزان انتشار گاز CO_2 ناشی از مصرف بنزین و گازوئیل کاهش یا افزایش خواهد یافت، در نظر گرفته شدند. با توجه به اینکه میزان انتشار CO_2 ناشی از بنزین در سال ۱۳۹۴ برای شهر آمل معادل ۱۳۳/۳۶ تن CO_2 در هر هکتار است و همچنین مطابق با نتایج به‌دست‌آمده از سنجه COHESION که گویای آن است که اگر فشردگی شهر یک درصد افزایش پیدا کند میزان انتشار CO_2 ، ۸/۸ درصد کاهش خواهد یافت، این میزان درصد کاهش برابر ۱۱/۷۳ تن CO_2 در هکتار است. برای سنجه COHESION هم نتایج نشان داد به ازای افزایش یک درصدی این سنجه با فشردگی، انتشار CO_2 ناشی از گازوئیل ۱۰/۱ درصد کاهش خواهد یافت که این کاهش برابر با ۱۲/۴۳تن در هکتار با توجه به انتشار ۱۲۳/۰۷ تنی CO_2 ناشی از مصرف گازوئیل در سال۱۳۹۴ برای شهر آمل خواهد بود. برای شهر لاهیجان در استان گیلان هم محاسبات مشابه صورت گرفت. با توجه به اینکه میزان انتشار CO_2 ناشی از بنزین در سال ۱۳۹۴ برای این شهر معادل ۳۲۴/۹۳ تن CO_2 در هر هکتار است. از طرفی به ازای یک درصد افزایش شاخص فشردگی COHESION میزان انتشار CO_2 ناشی از بنزین ۸/۸ درصد کاهش می‌یابد. محاسبات نشان داد این مقدار برابر با ۲۸/۵۹ تن CO_2 در هر هکتار برای شهر لاهیجان است. بنابراین، با توجه به موارد بیان‌شده می‌توان نتیجه گرفت درک چگونگی تأثیر مؤلفه‌های شکل شهر بر مصرف انرژی و اصلاح گسترش آتی شکل شهر یکی از عوامل اصلی دستیابی به پایداری از طریق کاهش مصرف انرژی است که باید مورد توجه قرار بگیرد.

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، فشردگی در سطح سیمای تمامی شهرهای استان گیلان غیر از شهر بندرانزلی نسبت به استان مازندران روند کاهشی را در پیش داشته اما برای استان مازندران در سه شهر رامسر، بهشهر و آمل افزایش فشردگی در سطح سیمای شهر مشاهده می‌شود در صورتی که برای سایر شهرها کاهش فشردگی مشاهده شد. بنابراین می‌توان گفت شهرهای استان مازندران فشرده‌تر از شهرهای استان گیلان هستند. از دید بعد فشردگی شهرهای استان مازندران نسبت به شهرهای استان گیلان از جنبه فرم شهر برای انتخاب شهرهای کم‌کربن در حاشیه دریای خزر مستعدتر هستند. از آنجا که در میان ۱۵ شهر مورد بررسی شهرهای بابلسر، چالوس، تنکابن، رامسر، آستارا، بندرانزلی و رودسر جزء شهرهای ساحلی و شهرهای آمل، بهشهر، قائم‌شهر، نکاء، لاهیجان، رودبار، تالش و صومعه‌سرا جزء شهرهای غیرساحلی محسوب می‌شوند. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده تنها برای دو شهر ساحلی رامسر و بندرانزلی و

دو شهر غیرساحلی بهشهر و آمل افزایش فشردگی روی داده است. در حالی که برای سایر شهرها میزان فشردگی یا کاهش یافته یا تغییر محسوسی نداشته است. نتایج مدل‌سازی بر مبنای آنالیز داده پانل نشان‌دهنده همبستگی منفی بین سنجه‌های معرف بعد فشردگی و انتشار گاز دی‌اکسید کربن ناشی از مصرف سوخت‌های بنزین و گازوئیل است. اهمیت این موضوع زمانی دو چندان می‌شود که درک شود در استان مازندران به دلیل بهره‌برداری از شرایط طبیعی مناسب و وجود زمین‌های کشاورزی مرغوب، شرایط مناسبی را فراهم کرده تا شهر فشرده به‌عنوان تئوری هدایت‌گر در نظام مدیریت و برنامه‌ریزی شهری این استان معرفی شود. به بیان دیگر عوامل زیادی بر رشد شهر و جمعیت‌پذیری شهرها، تاثیرگذار است که مهم‌ترین آنها افزایش طبیعی جمعیت، افزایش مهاجرت‌های روستا-شهری، نقش‌دهی اداری-سیاسی به شهرها، تمرکز فعالیت‌های تجاری، خدماتی و بازرگانی واحدهای شهری، تمرکز تاسیسات رفاهی و خدمات عمومی زیر بنایی در مراکز شهر هستند که تغییرات زیادی در سازمان فضایی و زیست‌محیطی جامعه و سازمان اجتماعی فضا ایجاد می‌کنند. رشد روزافزون واگذاری زمین‌های کشاورزی استان گیلان و مازندران به افراد غیربومی برای ویلاسازی و تغییر کاربری آنها و کم‌رغبتی کشاورزان به ادامه فعالیت یکی از چالش‌های عمده این دو استان محسوب می‌شود. نتایج این تحقیق نشان‌دهنده توسعه سریع مناطق شهری و از بین رفتن زمین‌های کشاورزی در شهرهای مورد بررسی بوده و همچنین رابطه رشد شهری را با مصرف سوخت فسیلی مدل‌سازی کرده است. مطابق با بحث مفصل این روابط در بخش نتایج و بحث برنامه‌ریزی هدفمند رشد مناطق شهری با دیدگاه رشد شهرهای کم‌کربن باید در دستور کار برنامه‌ریزان قرار گیرد. در نهایت با توجه به اینکه پژوهش‌های جهانی ثابت کرده‌اند که سوخت‌های فسیلی از جمله گاز طبیعی در میزان و کم و کیف مصرف انرژی تاثیرگذار است که به دلیل عدم همکاری سازمان‌های ذیربط در قرار دادن اطلاعات، این مهم مقدور نشد. بنابراین پیشنهاد می‌شود که در تحقیقات آتی در این زمینه نسبت به دخالت دادن داده‌های گاز طبیعی در مدل‌سازی اقدام شود.

پی‌نوشت‌ها

[1] Low carbon city
[2] Post Calssification Comparsion

منابع

Abbasi, H., Hajipour, Kh. and Hossein pour, M., 2012. Explanation of effective urban form factors on households fuel consumption in transportation sector. Naghshe Jahan. 3, 7-18.

Andong, R.F. and Sajor, E., 2017. Urban sprawl, public transport, and increasing CO2 emissions: The case of Metro Manila, Philippines. Environment, Development and Sustainability: A Multidisciplinary Approach to the Theory and Practice of Sustainable Development. 19(1), 99-123.

Baltagi, B.H., 2005. Econometric Analysis of Panel Data, (Third ed), John Wiley and Sons., New York, USA.

Baur, A.H., Förster, M. and Kleinschmit, B., 2015. The spatial dimension of urban greenhouse gas emissions: Analyzing the influence of spatial structures and LULC patterns in European cities. Landscape Ecology. 30(7), 1195-1205.

Bazzi, Kh. and Vahdati, M., 2014. Evaluation of urban density and city rate's fraction and its effects on increasing of households costs in Bojnourd city. Journal of Geography and Planning. 46, 1-18.

Condon, P.M., Cavens, D. and Miller, N., 2009. Urban planning tools for climate change mitigation. Cambridge, MA: Lincoln Institute of Land Policy.

Dunn, C.P., Sharpe, D.M., Guntenspergen, G.R., Stearns, F. and Yang, Z., 1991. Methods for analyzing temporal changes in landscape pattern. Ecological studies: analysis and synthesis (USA).

ECOTEC, 1993. Reducing Transport Emissions Through Planning. HMSO, London.

Fang, C., Wang, Sh. and Li, G., 2015. Urban Forms Changing and Carbon Dioxide Emissions in China, A Case Study of 30 Provincial Capital Cities. Applied Energy. 158, 519-531.

Fragkias, M., Lobo, J., Strumsky, D. and Seto, K.C., 2013. Does size matter? Scaling of CO2 emissions and US urban areas. PLoS One. 8, e64727.

Frohn, R.C., McGwire, K.C., Dale, V.H. and Estes, J.E., 1996. Using satellite remote sensing analysis to evaluate a socio-economic and ecological model of deforestation in Rondonia, Brazil. Remote Sensing. 17, 3233-3255.

Gardner, R.H., O'Neill, R.V. and Turner, M.G. 1993. Ecological implications of landscape fragmentation. Humans as components of ecosystems: the ecology of subtle human effects and populated areas, 208-226.

Hajipour, Kh. and Frozan, N., 2014. Study of the urban form effect on operational energy consumption; the case of Shiraz, Honarhae-Ziba Memari va Sharsazi. 19, 17-26.

Hammerling, D.M., Michalak, A.M. and Kawa, S.R., 2012. Mapping of CO_2 at high spatiotemporal resolution using satellite observations: Global distributions from OCO-2. Journal of Geophysical Research: Atmospheres. 117, 1-10.

Herzog, F. and Lausch, A., 2001. Supplementing land-use statistics with landscape metrics: some methodological considerations. Environmental Monitoring and Assessment. 72, 37-50.

Hillman, M., 1996, In Favour of the Compact City, In the Compact City: A Sustainable Urban Form? Ed, Mike Jenks, Elizabeth Burton, and Katie Williams, E & FN Spon, London.

IEA., 2012. World energy outlook 2012. Paris.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2007, the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. England: Cambridge University Press.

Jensen, J.R., 2005. Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective, 3rd ed, Upper Saddle River: Prentice-Hall.

Keitt, T., Urban, D. and Milne, B., 1997. Detecting critical scales in fragmented landscapes. Conservation ecology. 1, 1-13.

Lee, S. and Lee, B., 2014. The influence of urban form on GHG emissions in the US household sector. Energy Policy, 68, 534-549.

Lillesand, T.M., Kiefer, R.W. and Chipman, J.W., 2004. Remote Sensing and Image Interpretation, Fifth ed John Wiley and Sons, New York, USA.

Liu, X. and Sweeney, J., 2012. Modelling the impact of urban form on household energy demand and related CO_2 emissions in the Greater Dublin Region. Energy Policy. 46, 359-369.

Lotfi, S., Mahdian Bahnamiri, M. and Mahdi, E., 2014. Analyzing the Physical Expansion of City and Its Impact on the Quality of Urban Environment (Case Study: Babolsar City). Journal of geography and regional development. 22, 106-128.

Ma J., Liu Z. and Chai Y., 2015. The Impact of urban form on CO_2 emission from work and non-work trips, the Case of Beijing, China. Habitat International. 47, 1-10.

Makido Y., Dhakal S. and Yamagata Y., 2012. Relationship between Urban Form and CO2 Emissions ،Evidence From Fifty Japanese Cities ، Urban Climate ،2, 55-67.

McGarigal, K., Cushman, S.A., Neel, M.C. and Ene, E., 2002. FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for categorical maps.

McGarigal K. and Marks B.J. 1995. FRAGSTATS: Spatial Pattern Analysis Program for Quantifying Landscape Structure, General Technical. Report. PNW-351. US Department of Agriculture Forest Service, P.141.

Nerlove, M., 2002. An Essay on the History of Panel Data Econometrics. Department of Agricultural and Resource Economics.

Newman, P. W. and Kenworthy, J.R., 1989. Gasoline consumption and cities: a comparison of US cities with a global survey. Journal of the American planning association. 55, 24-37.

O'neill, R.V., Hunsaker, C.T., Timmins, S.P., Jackson, B.L., Jones, K.B., Riitters, K.H. and Wickham, J.D., 1996. Scale problems in reporting landscape pattern at the regional scale. Landscape ecology. 11. 169-180.

Osorio, B.M., McCullen, N., Walker, I. and Coley, D., 2016. Understanding the relationship between energy consumption and urban form. Athens Journal of Sciences. 4, 115-141.

PourAhmad, A., Mohamadpour, S., Manochehri Miandoab, A. and Khalili, A., 2012. Evaluation of dispersal and compactness of urban form using quantitative models. Journal of Iranian geography society. 32, 50-74.

Rezaei, P. and Ostad Malekroudi, P., 2010. Geomorphological limitation for Roudbar physical development. Journal of natural geography. 7, 42-52.

Richards, J.A. and Jia, X., 2006. Interpretation of hyperspectral image data. Remote Sensing Digital Image Analysis. An Introduction. 359-388.

Seyfoddini, F., Ziari, K. and PourAhmad, A., 2012. Determination of dispersal and compactness of urban form in Amol by sustainable urban form approach. Human geography research quarterly. 44, 155-176.

Statistical center of Iran, 2011. Results of people and house public census of Guilan province.

Statistical center of Iran, 2011. Results of people and house public census of Mazandaran province.

Statistical yearbook of Mazandaran province., 2012. Land, weather and population, Firest and second chapter, 65-132.

Turner, M.G., O'Neill, R.V., Gardner, R.H. and Milne, B. T., 1989. Effects of changing spatial scale on the analysis of landscape pattern. Landscape ecology. 3, 153-162.

Venkataramanan, M., 2011. Causes and effects of global warming. Indian Journal of Science and Technology. 4, 226-229.

Wang, Z.H., Yin, F.C., Zhang, Y.X. and Zhang, X., 2012. An empirical research on the influencing factors of regional CO_2 emissions: evidence from Beijing city, China. Applied Energy. 100, 277–84.

Wang, S.J, Fang, C.L., Wang, Y., Huang, Y.B. and Ma, H.T., 2014. Quantifying the relationship between urban development intensity and carbon dioxide emissions using a panel data analysis. Ecological Indicators. 49, 121–31.

Wang, S., Liu, X., Zhou, C., Hu, J. and Ou, J., 2017. Examining the impacts of socioeconomic factors, urban form, and transportation networks on CO2 emissions in China's megacities. Applied Energy.185, 189-200.

Williams, K., Burton, E. and Jenks, M., 2000. Achieving sustainable urban form: an introduction. Achieving sustainable urban form. 1, 1-5.

Environmental Sciences Vol.16 / No.2 / Summer 2018

31-48

Quantifying the relationship between carbon dioxide gas emission in relation to the compactness dimension of urban form

Fatemeh Rezaei[1], Samereh Falahatkar [*1] and Hashem Dadashpoor[2]

[1] Department of Environmental Science, Natural Resources Faculty, Tarbiat Modares University, Noor, Mazandaran, Iran

[2] Depatment of Urban and Regional Planning, Art and Artichucter Faculty, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

Received: 2017.08.21 **Accepted:** 2018.05.07

Rezaei, F., Falahatkar, S. and Dadashpoor, H., 2018. Quantifying the relationship between carbon dioxide gas emission in relation to the compactness dimension of urban form. Environmental Sciences. 16 (2), 31-48**.**

Introduction: Global warming is an absolute fact and an inevitable threat to life in the environment. Considering that urban areas are an important factor in the increase in CO_2 gas emissions, the community needs to take action to reduce greenhouse gas emissions. Since the increase in the population is responsible for increasing the demand for housing and the rapid development of activity centres in the suburbs and the rapid growth of urban areas in Iran, we see the importance of fuel in sustainable development and the important and potential role of sustainable forms of urban development; the necessity of quantifying the relationship between the compactness of the urban form and CO_2 emissions due to fossil fuel consumption is thus released.

Materials and methods: The present study is designed in two phases. In the first phase, the changes of 15 urban forms in Guilan and Mazandaran Provinces are investigated according to the compactness dimension using landscape metrics (AI, PLADJ, PROXIM, COHESSION). OLI and TM Landsat satellite imagery from the years 2001 and 2015 was used to provide the urban maps. Also, a supervised classification based on the maximum likelihood algorithm was used for image classification. Post classification comparison was used for detection of change. In the second phase, after calculation of CO_2 emissions the panel data analysis was used to calculate the relationship between time series variables of CO_2 emissions and cross-section variables of landscape metrics.

Results and discussion: The results of the landscape metrics show that, for all the urban forms studied during the period 1380-1394 (Persian calendar), the compactness in the class level in all urban areas of Guilan Province except for Bandar Anzali has shown a decreasing trend compared with Mazandaran Province, but an increasing trend of compactness was observed only in Ramsar, Behshahr and Amol in Mazandaran Province. Therefore, it can be said that the urban areas of Mazandaran Province are more compact than those of Guilan Province. According to the results, these four compactness variables (AI, PLADJ, PROXIM, COHESION)

[*] Corresponding Author. *E-mail Address*: samereh.falahatkar@modares.ac.ir

showed a negative correlation with CO_2 emissions due to concentrations of gasoline and diesel oil at the urban class level. Among the metrics used, COHESIOM showed the highest correlations (8.79 and -10.17)) with carbon dioxide due to gasoline and diesel oil consumption, respectively. According to the results of the panel data analysis, the increase in the COHESION value of about one percent has caused CO_2 emissions from gasoline to decrease by about nine percent, while a one percent increase in the COHESION value caused a 10% reduction in CO_2 emissions from diesel oil. For example, if we consider that the amount of CO_2 emissions from gasoline is 133.63 tons CO_2 per hectare in Amol for 1394 and also, according to the results of the COHESION metrics which indicate that if the urban compactness increases by one percent CO_2 emissions will be reduced by 8.8 percent, a reduction of 11.73 tons per hectare will occur.

Conclusion: In sum, consideration of the urban form in the future planning of the northern cities development is recommended for creation of low carbon cities in Iran.

Keywords: Compactness dimension, Landscape metrics, Land use, Panel data model.