

فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال ۲۹، شماره اول، بهار ۱۳۹۳، شماره پیاپی ۱۱۲

I. Teimouri  
F. Salarvandian  
K. Ziari

ایرج تیموری، استادیار گروه جغرافیا و برنامه ریزی شهری، دانشگاه تبریز، پردیس بین المللی ارس  
فاطمه سالاروندیان، دانشجوی دکتری جغرافیا و برنامه ریزی شهری، دانشگاه تهران  
دکتر کرامت الله زیاری، استاد در گروه جغرافیا و برنامه ریزی شهری، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

E-mail: irajteimouri@yahoo.com

شماره مقاله: ۹۴۷

صص: ۲۰۴-۱۹۳

پدیرش: ۹۲/۹/۱۲

وصول: ۹۲/۲/۲۸

## رد پای اکولوژیک گاز دی اکسید کربن سوخت‌های فسیلی شهر شیراز

### چکیده

در سال‌های اخیر مسائلی چون: افزایش سطح گازهای گلخانه‌ای، تخریب محیط زیست و جنگل زدایی به همراه کاهش ظرفیت زیستی کره زمین برای پاسخگویی به نیازهای بشر از مهمترین دغدغه‌های جهانی بوده است. گاز دی اکسید کربن به عنوان عاملی مهم و مؤثر در گرمایش جهانی و تغییر اقلیم، مسؤول ۶۰ درصد گرم شدن جهان یا اثر گلخانه ای شناخته شده است. مهمترین منبع انتشار این گاز سوخت‌های فسیلی چون: بنزین، نفت و گازوئیل است که برای تولید انرژی، بخصوص در مناطق شهری به کار گرفته می شود. مصرف بیش از ظرفیت محیط این سوخت‌ها به بروز مشکلات زیست- محیطی بی شماری منجر شده است. تحقیقات نشان می دهد یکی از مؤثرترین راه‌ها برای کاهش میزان CO<sub>2</sub> اتمسفر، افزایش فضای سبز و جنگلکاری در شهرهاست. هدف از این پژوهش، محاسبه مقدار اراضی جنگلی برای جذب میزان گاز CO<sub>2</sub> منتشره شده از سوخت‌های فسیلی با استفاده از روش جابجایی اکولوژیک (EF) است. با توجه به آنکه یکی از مهمترین وظایف شهرداری‌ها حفظ و توسعه فضای سبز در شهرهاست، این مقاله با محاسبه جابجایی اکولوژیک (EF) گاز CO<sub>2</sub>، میزان انتشار این گاز طی سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۸۷ در سطح کلانشهر شیراز را بررسی کرده است. در ابتدا برای تخمین حجم گاز CO<sub>2</sub> منتشر شده، از روش IPCC استفاده گردید. بنابراین، ابتدا میزان مصرف سالانه بنزین و گازوئیل، میزان گاز دی اکسید کربن تولید شده و سپس میزان زمین (مترمربع/هکتار) تأمین کننده آن مقدار مصرف، یا جای پای اکولوژی (EF) این گاز محاسبه گردید. در طول پژوهش روشن شد سرانه موجود فضای سبز در سطح شهر شیراز برای کاهش جابجایی اکولوژیک گاز CO<sub>2</sub> منتشر شده از سوخت انرژی‌های فسیلی در شهر جوابگو نیست. نتایج نشان داد که حجم گاز CO<sub>2</sub> منتشر شده از سوخت‌های نفت و گازوئیل طی سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۸۷ به ترتیب برابر با ۵۲۱۰۵۸؛ ۴۷۶۷۶۷؛ ۴۹۰۱۰۶ تن بوده است. محاسبه جابجایی اکولوژیک این مقدار گاز منتشر شده نیز نشان داد، کل اراضی جنگلی مورد نیاز برای جذب گاز دی اکسید کربن حاصل از سوختن سوخت‌های فسیلی بنزین و گازوئیل برای سال‌های ۱۳۸۶، ۱۳۸۵ و ۱۳۸۷ به ترتیب ۷۸۱۶ هکتار؛ ۷۱۲۵ هکتار و ۷۳۵۲ هکتار است؛ حال آنکه مساحت فضای سبز شیراز در سال ۱۳۸۷؛ ۱۸۶۹ هکتار بوده است، که به معنای این است که گاز دی اکسید کربن تولید شده تنها از این دو سوخت ۳/۹ برابر ظرفیت زیستی شیراز است. در واقع، هر شهروند شیرازی به ۵۱/۷۸ متر مربع سرانه

فضای سبز به منظور جذب گاز CO<sub>2</sub> نیاز دارد. بنابراین، شهرداری موظف است با توسعه فضای سبز موجود، حجم و سرانه این کاربری را برای کاهش جایای گاز دی اکسید کربن افزایش دهد.

**واژه‌های کلیدی:** جایای اکولوژیک، گاز CO<sub>2</sub>، فضای سبز، شهرداری، توسعه پایدار

## مقدمه

شهرها به خاطر تراکم جمعیت، فشردگی فعالیت‌های اقتصادی و اجتماعی، مهمترین مراکز مصرف منابع و تولید کننده مواد زائد و آلودگی به شمار می‌روند؛ به طوری که شهرهای جهان حدود سه چهارم منابع طبیعی مورد نیاز جهانیان را به مصرف می‌رسانند (صرافی، ۱۳۷۹: ۷ و Xing et al. 2009; P. 209). پس جوامع شهرنشین امروزی در پیدایش و ظهور نشانه‌های ناپایداری همچون افزایش آلودگی‌های زیست - محیطی، انقراض گونه‌های زیستی، افزایش گازهای گلخانه‌ای، افزایش دمای کره زمین و درنهایت، تغییر اقلیم بیش از همه مسؤولند. افزایش ۳۵ درصدی غلظت گاز دی اکسید کربن نسبت به ۱۵۰ سال پیش در سال ۲۰۰۵ تاییدی بر این مساله است. (IEA<sup>1</sup>, 2008, 19). از دهه ۱۹۸۰ به بعد توسعه پایدار به عنوان مفهوم اصلی و بنیادی در استراتژی حفاظت جهانی سازمان ملل<sup>۲</sup> و در گزارش برانت لند<sup>۳</sup> قرار گرفت (WCED<sup>۴</sup>, 1987, 43). همچنین، نگرانی‌های جهانی در ارتباط با افزایش حجم گازهای گلخانه‌ای و تغییرات اقلیمی سبب شد تا در راستای کنترل گازهای گلخانه‌ای، پروتکل کیوتو در سال ۱۹۹۷ به امضای برخی کشورهای جهان برسد و مطابق با این پروتکل سال ۱۹۹۰ به عنوان سال پایه برای کاهش گازهای گلخانه‌ای انتخاب شد. بر اساس این پروتکل، کشورهای صنعتی جهان موظف هستند ۵۵ درصد از حجم گازهای گلخانه‌ای خود را کاهش بدهند (Brandon and Lombardi, 2005, 7; Fan and et al, 2007, 378). گازهای گلخانه‌ای<sup>۵</sup> به مجموعه‌ای از گازهایی چون دی اکسید کربن (CO<sub>2</sub>)، کلروفلورو کربن (CFC)، متان (CH<sub>4</sub>) و اکسید نیتروزن (NO<sub>2</sub>)، اطلاق می‌شود که همانند لایه‌ای در اطراف زمین عمل کرده، از یک سو حرارت خورشید و از سوی دیگر حرارت منتشر شده از زمین را جذب می‌کنند و سبب بالارفتن دمای کره زمین می‌شوند (Holden and Hoyer, 2005, 399) (صالح و همکاران، ۱۳۸۸). بر اثر فعالیت‌های انسانی همچون: افزایش مصرف سوخت‌های فسیلی، جنگل زدایی و تخریب محیط زیست، حجم این گازها در اتمسفر افزایش یافته و دمای کره زمین روز به روز بالاتر می‌رود. گرمایش جهانی و تغییر اقلیم ناشی شده از آن موجب آب شدن یخ‌های قطبی و در معرض خطر قرار گرفتن زندگی و حیات کره زمین خواهد شد. گاز دی اکسید کربن حدود ۶۰ درصد از کل گازهای گلخانه‌ای را به خود اختصاص می‌دهد و ۸۱ درصد از کل گازهای گلخانه‌ای از مصرف سوخت‌های فسیلی به دست می‌آید (IEA, 2008, 20) (ترنر و همکاران، ۱۳۷۴). سوخت‌های فسیلی از یک سو مهمترین منابع انرژی شهرها و از سوی دیگر، اصلی ترین منبع آلودگی آنها محسوب می‌شوند. ایران در سال ۱۹۹۰ تنها ۱,۱ درصد از کل آلودگی هوای دنیا را دارد. سهم ایران در سال ۲۰۰۶، به ۱,۵ درصد افزایش یافته است. در گزارش توسعه انسانی سازمان ملل، تولید سرانه گاز دی اکسید کربن، برای هر نفر ۶,۴ تن بوده است؛ یعنی هر نفر ایرانی سالانه

1 - International Energy Agency

2 - United Nations World Conservation Strategy

3 - Brundt land Report

4- World Commission on Environment and Development

5- Greenhouse gases

ردپای اکولوژیکی گاز دی اکسید کربن سوخته‌های فسیلی شهر شیراز / ۱۹۵

۶,۴ تن دی اکسید کربن در اتمسفر منتشر می کند (IEA,2008,20). گزارش سیاره زنده در سال ۲۰۰۰، جای پای بوم شناختی میانگین ایرانیان را ۲,۴۷ هکتار برآورد نموده است (WWF,2000;pp25) بر اساس اطلاعات منتشر شده توسط "جامعه جهانی جای پای اکولوژیک" ۷، این رقم در سال ۲۰۱۰ (اطلاعات براساس داده های سال ۲۰۰۷ بوده است)، میانگین جای پای اکولوژیک هر ایرانی ۲,۶۸ هکتار، در حالی که ظرفیت زیستی ایران برای هر نفر ۰,۸۱ هکتار بوده است. به عبارتی، جاپای اکولوژیک هر ایرانی ۱,۸۷ هکتار بزرگتر از ظرفیت زیستی است (Ewing & others, 2010,p:50). بر اساس گزارش بانک جهانی، خسارت سالیانه آلودگی هوا در ایران ۱۸۱۰ میلیون دلار، معادل ۱۴۴۲۰ میلیارد ریال است که ۱,۶ درصد از تولید ناخالص داخلی را به خود اختصاص می دهد. شاخص های عملکرد زیست- محیطی در سال ۲۰۰۶ میلادی، ایران را از نظر شاخص هوا با کسب نمره ۱,۳۱ در میان ۱۳۳ کشور جهان در رتبه ۱۱۷ جای داده است (ورامش و دیگران، ۱۳۸۷؛ ۷۲). فضای سبز ( جنگل ها، مراتع، پارک ها ) نقش مهمی در کنترل گازهای گلخانه ای بر عهده دارند، از این رو، میزان سرانه فضای سبز شهری می تواند به عنوان عاملی در راستای کنترل گازهای گلخانه ای به شمار رود. اما مساله این است که چگونه می توان تعیین نمود که چه مقدار فضای سبز برای گازهای گلخانه ای منتشر شده در یک شهر نیاز هست تا طبیعت بتواند آلودگی های منتشر شده را از طریق خودپالایی کنترل نماید. " جای پای اکولوژیک " به وسیله واکر نیگل و ویلیام ریز (۱۹۹۵) به عنوان وسیله اندازه گیری مبتنی بر مفهوم اساسی " پایداری " و " ظرفیت کشش " به کار رفته است. به لحاظ تئوری جاپای اکولوژیک یک جمعیت به وسیله اندازه گیری مقدار زمین یا آب مورد نیاز مستمر برای تولید همه کالاها مورد استفاده و برای جذب همه زباله های تولید شده به وسیله جمعیت یا بخش اقتصادی، تخمین زده می شود (Marcelo and others,2005: 599)، (Calcott & Bull, 2007: 5). تمام فعالیت های انسانی رد پای اکولوژیک دارد و بنابراین، جای پای اکولوژیک را می توان در مورد زمینه فعالیت هایی چون: ساخت و ساز، حمل و نقل، مصرف مواد غذایی و مصرف انرژی را محاسبه کرد. به بیان دیگر EF بازگوکننده آثاری است که هر کدام از جوامع بر اثر سبک و شیوه زندگی خود بر طبیعت برجای می گذارند (Wilson and Anielski,2005). در این پژوهش رد پای اکولوژیک برای سوخت مصرفی (انرژی) محاسبه می شود. منظور از "رد پای انرژی" اندازه ای از زمین مورد نیاز برای جذب انتشارات آلودگی هاست. در این میان، چون گاز CO<sub>2</sub> ۶۰ درصد از کل گازهای گلخانه ای منتشر شده از مصرف سوخت ها را شامل می شود، بنابراین، رد پای انرژی به میزان فضای سبزی اطلاق می شود که برای جذب مقدار گاز CO<sub>2</sub> منتشر شده از مصرف سوخت لازم است. بنابراین EF سوخت های فسیلی، ظرفیت ضبط و توقیف CO<sub>2</sub> بیوسفر را از دید گرمایش جهانی، اندازه گرفته، انرژی سوخت فسیلی را به ناحیه تولید زیستی تبدیل می کند (Chen & others,2007;p1601). مؤثرترین راه برای توقف افزایش کربن می تواند افزایش مناسب و همزمان میزان جنگل های جدید ( دست ساخت بشر ) باشد، زیرا در مقیاس جهانی جنگل ها بزرگترین جاذب CO<sub>2</sub> در حال افزایش هستند (Suplee,1998). جنگل ها در نگهداری کربن درخارج از چرخه طبیعی آن برای مدت زمان طولانی اهمیت زیادی دارند. در هر فوت 12 اینچ مکعب چوب تجاری تولید شده از درخت تقریباً ۱۴,۹ kg کربن در کل بیوماس درخت ذخیره می شود. فضای سبز شهری در جلوگیری از انتشار CO<sub>2</sub> از نواحی

۶- به نقل از متن سخنرانی دکتر مظفر صرافی در همایش موازین توسعه و ضد توسعه فرهنگی-اجتماعی شهر تهران، تیرماه ۱۳۸۰، ص ۲۷.

شهری تأثیرگذارند. فضای سبز شهری اکوسیستم‌های مشخص شده به وسیله درختان و پوشش‌های گیاهی دیگر در اجتماع مردم است که شامل درختان مناطق تحت نظر شهرداری‌ها و سازمان‌های دیگر، از قبیل: درختان موجود در امتداد خیابان‌ها و بزرگراه‌ها، پارک‌ها و ساختمان‌های عمومی و مناطق درخت کاری شده اطراف شهرها هستند (ورامش و دیگران، ۱۳۸۷: ۷۱). توسعه فضای سبز از دیرباز برعهده شهرداری‌ها بوده است. در ایران قبل از انقلاب در ماده ۵۵ قانون شهرداری‌ها (مصوب سال ۱۳۳۴) و ماده ۱ قانون نوسازی و عمران شهری (مصوب سال ۱۳۴۷) به وظایف شهرداری‌ها در زمینه حفظ و توسعه فضای سبز شهری اشاره شده است. پس از انقلاب نیز در خردادماه ۱۳۵۹ لایحه قانونی حفظ و گسترش فضای سبز در شهرها تصویب شد که جلوگیری از قطع بی رویه درختان و حفظ و گسترش فضای سبز را در دایره قانونی شهرداری‌ها می‌داند (منصور، ۱۳۹۱: ۶۹۷). بنابراین، هرآنچه به کاشت و حفاظت و آبیاری فضاهای سبز در فضاهای شهری مربوط می‌شود، وظیفه قانونی شهرداری‌های ایران در توسعه بهسازی و نگه داری فضاهای سبز است (سعیدنیا، ۱۳۷۹: ۲۶).

تحقیقات متعدد داخلی و خارجی در ارتباط با محاسبه رد پای اکولوژیکی صورت گرفته است. فریادی و صمدپور (۱۳۸۷) در مقاله ای با عنوان "تعیین جای پای اکولوژیکی در نواحی شهری پرتراکم و بلندمرتبه (نمونه مورد مطالعه: محله الهیه تهران)" به بررسی آثار زیست-محیطی افزایش تراکم جمعیت و ساخت و سازهای شهری، بخصوص بلندمرتبه سازی در منطقه الهیه تهران پرداخته اند. این مقاله که برگرفته از پایان نامه ای به همین عنوان است، ابتدا به مقایسه روند تغییرات کاربری‌های محله الهیه پرداخته و سپس با استفاده از روش "رد پای اکولوژیکی" مشخص کرده اند که میزان زمین مصرف شده "برای تأمین نیازهای مصرفی ساکنان ناحیه الهیه در سال ۱۳۸۴ بیش از ۵ برابر مساحت ناحیه و ۱٫۶ برابر کل مساحت شهر تهران بوده است (فریادی؛ صمدپور، ۱۳۸۷).

نگارندگان همین تحقیق در مقاله دیگری با عنوان "تعیین تناسب بهینه استفاده از انواع شیوه‌های حمل و نقل با هدف کاهش جای پای اکولوژیکی در شهر تهران" با استفاده از روش جای پای اکولوژیکی مقدار مصرف سوخت انواع وسیله نقلیه به ازای هر مسافر و سپس مقدار زمین معادل را که تأمین کننده میزان سوخت برای هر فرد است، محاسبه کرده و نشان داده اند که مترو با کسب ۰/۰۰۳ مترمربع زمین به ازای هر مسافر کمترین مقدار مصرف را، که معادل مقدار مصرف ۱۴۰۰ مسافر خودروی شخصی که بیشترین مقدار مصرف را داراست، به خود اختصاص داده است (فریادی؛ صمدپور، ۱۳۸۹).

حسین زاده دلیر و ساسان پور (۱۳۸۵) در مقاله «روش جای پای اکولوژیکی در پایداری کلانشهرها با نگرشی بر کلان شهر تهران» به این نتیجه می‌رسند که فضای اکولوژیکی تهران توان برآوردن نیازهای اساسی خود را ندارد و این عدم توان، ناپایداری را از یک سو به درون خود و از سویی دیگر به منطقه پشتیبان که مواد و انرژی را تأمین می‌کند، سوق می‌دهد (حسین زاده دلیر و ساسان پور، ۱۳۸۵).

الیس<sup>۸</sup> و ترنتون<sup>۹</sup> (۱۹۹۸) در مقاله «روند های اخیر در انتشار گاز Co2 مربوط به مصرف انرژی» بررسی روند انتشار گاز Co2 و منابع عمده انتشار این گاز را گام مهمی برای کمک به سیاستگذاران و برنامه ریزان در راستای کنترل گازهای گلخانه ای می دانند.

مک دونالد<sup>۱۰</sup> و پترسون<sup>۱۱</sup> (۲۰۰۴) در مقاله «رد پای اکولوژیکی و اتکای متقابل نواحی نیوزلند» با استفاده از جدول داده - ستانده<sup>۱۲</sup> به بررسی رد پای اکولوژیکی ۱۶ منطقه در نیوزلند پرداخته اند. مطالعه موردی بر روی اکلند صورت پذیرفته است. نتیجه تحقیق نشان می دهد که رد پای اکولوژیکی نخست شهر اکلند ۲/۳۲ میلیون هکتار است؛ یعنی برای هر شهروند ۲ هکتار زمین مورد نیاز است (Mac Donald and Patterson, 2004).

هولدن<sup>۱۳</sup> و هویر<sup>۱۴</sup> (۲۰۰۵) در مقاله «رد پای اکولوژیکی سوخت» استفاده از سوخت های جایگزین با آلودگی های کمتر را مهمترین راه برای کاهش رد پای اکولوژیکی سوخت مصرفی می دانند (Holden and Hoyer, 2005).

فان و همکارانش (۲۰۰۶) در مقاله «تحلیل اثرات انتشار گاز CO2 با استفاده از مدل STIRPAT» تاثیر جمعیت، تکنولوژی را در کشورهایی با درآمد سرانه متفاوت بر روی میزان انتشار گاز طی سال های ۱۹۷۵ - ۲۰۰۰ بررسی کرده اند. نتیجه کار نشان می دهد که رشد اقتصادی تاثیر مثبتی بر روی افزایش گاز CO2 داشته است. همچنین، نسبت جمعیت در گروه سنی ۱۵ - ۶۴ ساله در کشورهای با بالاترین درآمد سرانه تاثیر منفی و در سایر کشورها تاثیر مثبت داشته است (Fan & et al, 2006).

دراک من<sup>۱۵</sup> و جکسون<sup>۱۶</sup> (۲۰۰۹) در مقاله «رد پای اکولوژیکی کربن خانگی انگلستان برای سال های ۱۹۹۰ - ۲۰۰۴»، بر پایه مدلی شبیه داده - ستانده منطقه ای میزان انتشار گاز Co2 از انرژی مصرفی برای تولید مایحتاج خانگی را حساب می کنند. نتیجه تحقیق نشان می دهد که میزان انتشار گاز Co2 در طی این سال ها ۱۵ درصد افزایش داشته است (Druckman and Jackson, 2009).

لی<sup>۱۷</sup> و همکاران (۲۰۱۰) در مقاله «پیش بینی رد پای اکولوژیکی شهر وهان با استفاده از شبکه های عصبی» پیش بینی رد پای اکولوژیکی را برای ارزیابی اثرات انسان بر محیط لازم و ضروری می دانند (Li & et al, 2010). در تحقیقات پیشین بررسی روند تولید گاز دی اکسید کربن و رد پای این گاز و سایر منابع انرژی در ارتباط با حجم فضای سبز و جنگل کاری های انجام شده توسط شهرداری ها بررسی نشده است. مقاله حاضر با انتخاب شهر شیراز به عنوان مطالعه موردی در پی پاسخ به سؤال های زیر ابتدا رد پای اکولوژیکی گاز دی اکسید کربن را محاسبه کرده و سپس به ارزیابی عملکرد شهرداری شیراز در ارتباط با فضای سبز پرداخته است. سؤال هایی که تحقیق در راستای پاسخگویی به آن است، به قرار زیر است:

8 -Ellis  
9 - Treanton  
10 - Mac Donald  
11 - Patterson  
12 - input-output  
13 - Holden  
14 - Hoyer  
15- Druckman  
16 - Jackson  
17 - Li

۱- رد پای اکولوژیک گاز دی اکسید کربن شهر شیراز به چه میزان فضای سبز برای کنترل و خودپالایی نیاز دارد؟

۲- آیا عملکرد فضای سبز شهرداری شیراز در طی محدوده زمانی مورد مطالعه منطبق با رد پای اکولوژیک گاز دی اکسید کربن بوده است؟

برای این منظور، روند انتشار گاز دی اکسید کربن حاصل از سوخت‌های فسیلی مصرف شده طی سال‌های ۱۳۸۵-۱۳۸۷ محاسبه و سپس رد پای اکولوژیک گاز دی اکسید کربن با مساحت و سرانه فضای سبز در طی این دوره ارزیابی خواهد شد. محدوده مورد مطالعه تحقیق حاضر شهر شیراز در نظر گرفته شده است. شهر شیراز در بخش مرکزی شهرستان شیراز در حدود ۱,۷۱ درصد مساحت شهرستان شیراز و ۱۵٪ درصد از کل مساحت استان را شامل می‌شود. این شهر در ارتفاع ۱۴۸۴ متری از سطح دریا و در منطقه کوهستانی زاگرس واقع شده و آب و هوای معتدلی دارد. شهر شیراز از سمت غرب به کوه دراک و از سمت شمال به کوه های بمو، سبزپوشان، چهل مقام و باباکوهی (از رشته کوه های زاگرس) محدود شده است. یک رود فصلی از وسط شهر می‌گذرد که به رودخانه خشک معروف است و تنها در فصل زمستان و بهار آب دارد. این رود به دریاچه مهارلو، واقع در جنوب شرقی شیراز می‌ریزد. بر اساس سرشماری عمومی نفوس و مسکن در سال ۱۳۸۵، شهر شیراز با ۱۳۵۱۱۸۱ نفر، ۳۱,۱۶ درصد جمعیت استان و ۷۸,۹۶ درصد جمعیت شهرستان شیراز را در خود جای داده است. میزان جمعیت در سال ۱۳۸۷، ۱۴۱۹۵۸۵ و تراکم جمعیت ۷۵,۵۳ نفر در هکتار بوده است (آمارنامه شیراز، ۱۳۸۷). شهر شیراز به ۹ منطقه شهرداری تقسیم بندی شده و مساحتی بالغ بر ۱۷۸۸۹۱ کیلومتر مربع دارد.

## روش پژوهش

همان‌طور که اشاره شد، روش به کاررفته در این مقاله، روش تعیین جاپای اکولوژیک (Ecological Footprint) است. روش کلی محاسبات EF مراحل اصلی زیر را شامل می‌شود:

✓ تخمین سرانه مصرف سالانه مواد مصرفی اصلی بر اساس مجموع داده های منطقه مورد بررسی و تقسیم مصرف کل به میزان جمعیت؛

✓ تخمین زمین اختصاص داده شده به هر نفر برای تولید هر مورد مصرفی از طریق تقسیم متوسط مصرف سالانه هر مورد بر متوسط سالانه تولید یا بازده زمین؛

✓ محاسبه متوسط کل جای پای اکولوژیک هر نفر از طریق جمع زدن تمامی مناطق اکوسیستم که به هر نفر اختصاص یافته.

✓ به دست آوردن جای پای اکولوژیک برای جمعیت هر منطقه مورد برنامه ریزی (N) که با حاصل ضرب متوسط جای پای اکولوژیک هر نفر در اندازه جمعیت ( $Efp = N \times EF$ ) به دست می‌آید (Rees and Wackernagel, 1996) (به نقل از: فریادی و صمدپور، ۱۳۸۷). فرضیه تحقیق «عملکرد فضای سبز شهرداری شیراز منطبق با رد پای اکولوژیک گاز دی اکسید کربن نیست» سبب شد تا در ابتدا حجم گاز CO2 منتشر شده تخمین زده شود. برای این منظور، از روش IPCC استفاده گردید. بنابراین، ابتدا میزان مصرف سالانه سوخت و میزان گاز دی اکسید کربن تولید

شده و سپس میزان زمین (مترمربع/هکتار) تأمین کننده آن مقدار مصرف، یا جای پای اکولوژی (EF) این گاز محاسبه می شود. مقدار کل CO<sub>2</sub> منتشر شده در بخش i بر اساس میزان مصرف انرژی آن بخش، ضریب انتشار کربن برای سوخت مصرفی، و کسر کربن اکسید شده بر طبق فرمول زیر به دست می آید:

$$CE_i^t = \sum_j CE_{ij}^t = \sum_j E_{ij}^t EF_j (1 - CS_j^t) O_j M, \quad (1)$$

که در آن:

$CE_i^t$ : میزان انتشار گاز CO<sub>2</sub> در بخش i در سال t به تن

$CE_{ij}^t$ : میزان انتشار گاز CO<sub>2</sub> در بخش i بر حسب نوع سوخت مصرفی زد در سال t به تن

$E_{ij}^t$ : میزان انرژی مصرفی به تراژول بخش i بر حسب نوع سوخت مصرفی زد در سال t به تن

$EF_j$ : رد پای اکولوژیکی نوع سوخت مصرفی j

$CS_j^t$ : کسری از میزان سوخت j که به عنوان مواد خام اکسید نشده است در سال t

$O_j$ : کسری از کربن اکسید شده برای نوع سوخت j

M: نسبت وزن مولکولی دی اکسید کربن به کربن

ضریب انتشار گاز دی اکسید کربن و کسری از کربن اکسید شده به شکل جدول (۱) است.

جدول (۱) ضریب انتشار کربن انواع سوخت به همراه کسری از دی اکسید کربن

سوخت	ضریب انتشار کربن	کسری از کربن اکسید شده
نفت خام	۲۰	۰/۹
گاز طبعی مایع	۱۷/۲	۰/۹۸
بنزین	۲۰/۲	۰/۹۸
گازوئیل	۱۸/۹	۰/۹۸
سوخت جت	۱۹/۵	۰/۹۸
نفت	۱۹/۶	۰/۹۸
نفت کوره	۲۱/۱	۰/۹۸
گاز طبعی	۱۵/۳	۰/۹۹
زغال سنگ نارس	۲۸/۹	۰/۹
زغال سنگ	۲۵/۸	۰/۹
کک	۲۹/۲	۰/۹

Zhang, 2009, 768; IEA, 2008, 25

هر گالن بنزین بدون سرب تقریباً معادل با ۱۲۵۰۰۰ BTU (انرژی حرارتی تولید شده) است که معادل با نرخ ۱۹,۳۵

تن کربن در هر بیلیون BTU آزاد شده است (Pezetta ad Drossman, 2002). از آنجایی که هر گالن برابر با ۳,۷۸۵۳

لیتر است، بنابراین، به ازای سوختن ۱ لیتر بنزین ۳۳۰۲۲,۴۸ BTU آزاد می شود.

$$\text{tonnes Carbon} \times 0.00064 / 0 \text{ BTU} = \text{tonnes Carbon} / \text{billion} 35 / 19 \text{ billion BTU} \times 0.00033 / 0$$

با توجه به آن که هر هکتار زمین ۱,۸ هکتار کربن جذب می کند:

$$m23 / 5 \text{ Hec.} = 0.0035 / 0 \text{ Carbon} = \text{tonnes} 8 / 1 \div \text{hectare} 1 \text{ tonnes Carbon} \times 0.00064 / 0$$

بنابراین، جای پای یک لیتر بنزین بدون سرب ۳/۵ مترمربع زمین یا ۰/۰۰۰۳۵ هکتار است. با توجه به آنکه هر یک تن کربن برابر با ۴۴/۱۲ تن گاز CO<sub>2</sub> است، پس جای پای هر تن گاز CO<sub>2</sub> ۱۵۴,۴۲ مترمربع یا ۰,۰۱۵ هکتار است. سوخت گازوئیل نیز در هر گالن تقریباً ۱۳۸۷۰۰ BTU تولید می‌کند که در نهایت ۱۹,۹۵ تن کربن در هر بیلیون BTU آزاد می‌کند (Pezetta ad Drossman, 2002). و از آنجایی که هر گالن برابر با ۳,۷۸۵۳ لیتر است، بنابراین، به ازای سوختن ۱ لیتر بنزین ۳۳۰۲۲,۴۸ BTU آزاد می‌شود.

$$\text{tonnes Carbon} \times 0.00033 / 0.00064 \text{ BTU} = \text{tonnes Carbon} / \text{billion} \times 35 / 19 \text{ billion BTU} \times 0.00033 / 0$$

### یافته‌های پژوهش

بر اساس این محاسبات و با توجه به حجم بنزین، گازوئیل و گاز مصرف شده در شیراز طی سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۸۸، میزان CO<sub>2</sub> تولید شده و جای پای آن طی سال‌های مختلف در جدول زیر آورده شده است: همان‌طور که اشاره شد هر گالن بنزین بدون سرب تقریباً معادل با ۱۲۵۰۰۰ BTU (انرژی حرارتی تولید شده) است که معادل با نرخ ۱۹,۳۵ تن کربن در هر بیلیون BTU آزاد شده است. بر اساس جدول شماره (۲) میزان بنزین و نفت گاز مصرفی شیراز ۱۳۸۵-۱۳۸۷ به شرح زیر بوده است:

جدول (۲) میزان بنزین و نفت گاز مصرفی شیراز ۱۳۸۵-۱۳۸۷

نوع سوخت	۱۳۸۵	۱۳۸۶	۱۳۸۷
بنزین / به لیتر	۶۶۷۷۱۰۰۰۰	۶۱۳۰۹۸۰۰۰	۶۲۲۳۱۸۰۰۰
نفت گاز / به لیتر	۱۲۳۶۹۷۰۰۰	۱۱۶۲۸۸۰۰۰	۱۲۱۴۱۶۰۰۰
جمعیت شهر به نفر	۱۳۵۱۱۸۱	۱۳۹۴۴۱۹	۱۴۱۹۵۸۵
سراجه بنزین مصرفی (لیتر برای نفر)	۴۹۴	۴۴۰	۴۳۸
سراجه نفت گاز مصرفی (لیتر برای نفر)	۹۲	۸۳	۸۶

شهرداری شیراز ۱۳۸۸

بر اساس این محاسبات و با توجه به حجم بنزین مصرف شده در شیراز طی سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۸۷، میزان CO<sub>2</sub> تولید شده از نفت و گازوئیل و جای پای آن طی سال‌های مختلف در جدول شماره (۳) و (۴) آورده شده است:

جدول (۳) حجم گاز CO<sub>2</sub> تولید شده از سوخت بنزین و جای پای آن بین سال‌های ۱۳۸۵-۱۳۸۷

گاز دی اکسید کربن منتشره شده / به تن	۱۳۸۵	۱۳۸۶	۱۳۸۷
نوع سوخت و رد پای اکولوژیکی			
بنزین	۴۳۰۶۲۵	۳۹۱۷۶۰	۴۰۱۳۵۱
اراضی جنگلی مورد نیاز / هکتار	۶۴۶۰	۵۸۷۷	۶۰۲۱
سراجه فضای سبز مورد نیاز (مترمربع)	۴۸	۴۲	۴۲/۴۱



جدول (۴) حجم گاز CO<sub>2</sub> تولید شده از سوخت گازوئیل و جاپای آن بین سال‌های ۱۳۸۵-۱۳۸۷

گاز دی اکسید کربن منتشر شده / به تن			
۱۳۸۷	۱۳۸۶	۱۳۸۵	نوع سوخت و رد پای اکولوژیکی
۸۸۷۵۵	۸۵۰۰۷	۹۰۴۳۳	نفت گاز
۱۳۳۱	۱۲۷۵	۱۳۵۶	اراضی جنگلی مورد نیاز / هکتار
۹/۳۷	۹	۱۰	سرانه فضای سبز مورد نیاز (مترمربع)
۵۱/۷۸	۵۱	۵۸	جمع سرانه فضای سبز مورد نیاز (مترمربع)

حجم گاز CO<sub>2</sub> منتشر شده از سوخت های نفت و گازوئیل طی سال های ۱۳۸۵ تا ۱۳۸۷ به ترتیب برابر با ۵۲۱۰۵۸؛ ۴۷۶۷۶۷ و ۴۹۰۱۰۶ تن بوده است. بنابراین، کل اراضی جنگلی مورد نیاز برای جذب گاز دی اکسید کربن حاصل از سوختن سوخت‌های فسیلی بنزین و گازوئیل برای سال های ۱۳۸۵، ۱۳۸۶ و ۱۳۸۷ به ترتیب ۷۸۱۶ هکتار؛ ۷۱۲۵ هکتار و ۷۳۵۲ هکتار است. جدول شماره (۵) رد پای اکولوژیکی حاصل از سوخت های فسیلی را نشان می‌دهد.

جدول (۵) رد پای اکولوژیکی حاصل از سوخت های فسیلی (بنزین، گازوئیل: به هکتار)

سال	۱۳۸۵	۱۳۸۶	۱۳۸۷
رد پای اکولوژیکی	۷۸۱۶	۷۱۵۲	۷۳۵۲

طبق محاسبات انجام شده در جدول (۴) ملاحظه می‌شود که سرانه رد پای اکولوژیکی حاصل از مصرف سوخت های فسیلی برای هر شهروند شیرازی طی سال‌های ۱۳۸۵، ۱۳۸۶ و ۱۳۸۷ به ترتیب برابر با ۵۸، ۵۱ و ۵۱/۷۸ مترمربع فضای سبز بوده است. و این در حالی است که مساحت فضای سبز شهر شیراز در سال ۱۳۸۷؛ ۱۸۶۹ هکتار و سرانه هر شهروند شیرازی در همین سال ۱۳،۱۷ مترمربع بوده است (آمارنامه شیراز، ۱۳۸۷). بر طبق محاسبات به‌دست آمده، اگر سال ۱۳۸۷ را مبنا قرار دهیم، علاوه بر سرانه فضای سبز موجود؛ هر شهروند شیرازی نیاز به ۳۸/۶۱ مترمربع فضای سبز اضافه برای جذب اثرهای گلخانه‌ای گاز دی اکسید کربن دارد. با عنایت به این مهم، می‌توان به اهمیت تحلیل های رد پای اکولوژیکی در برآورد دقیق و حقیقی سرانه فضای سبز مورد نیاز پی برد. به معنای دیگر، گاز دی اکسید کربن تولید شده از سوخت های بنزین و گازوئیل بیش از ۳،۹ برابر ظرفیت زیستی موجود شهر شیراز است. برای مقابله با این مشکل شهرداری موظف است به راهکارهای کنترلی روی آورده، از بروز بحران زیست-محیطی جلوگیری کند و از آنجایی-که حفاظت و توسعه فضای سبز در شهرها در حیطه وظایف شهرداری ها محسوب می‌شود؛ ضروری است شهرداری در کنار افزایش حجم فضای سبز و استفاده از سوخت های جایگزین؛ در راستای آموزش و فرهنگ سازی صحیح نیز تلاش کند تا همگان به مصرف بهینه و کاهش سرانه مصرف انرژی ترغیب شوند.

## نتیجه گیری

افزایش جمعیت شهرها باعث افزایش مشکلات شهرنشینی بیشماری شده است. شهرها در معرض انواع آلودگی های هوا، خاک، آب و صوت قرار گرفته و بر نظام های پشتیبان حیات بیش از ظرفیت کشش آنها فشار وارد آورده اند. یکی از مهمترین عوامل ناپایداری در شهرها، آلودگی هوا ناشی از مصرف انرژی های سوختی، افزایش آلاینده ها و در نتیجه افزایش گازهای گلخانه ای است. بر اثر افزایش مصرف سوخت های فسیلی در شهرها، حجم گاز CO<sub>2</sub> به عنوان یکی از مهمترین گازهای گلخانه ای رو به افزایش بوده و اقلیم کره زمین را دستخوش تغییرات سریعی کرده است. یکی از راه های پایداری محیط زیست شهری و مقابله با آلودگی ها، توجه ویژه به کاربری فضای سبز است؛ چراکه مهمترین راه کاهش اثر گاز CO<sub>2</sub> در شهرها، افزایش حجم فضاها، سبز و جنگل های شهری است. رد پای گاز CO<sub>2</sub> به ناحیه ای از جنگل ها اطلاق می شود که برای متوقف کردن دی اکسید کربن اضافی تولید شده از سوخت های فسیلی نیاز است. جای پای اکولوژیک این گاز در سال های اخیر سبب افزایش میزان آلودگی های زیست-محیطی در شهرها و در نتیجه افزایش نگرانی های جهانی را موجب شده است. در چنین شرایطی، یکی از مهمترین مسؤولیت های شهرداری ها ساختن محیطی مناسب و قابل زیست تر برای شهرنشینان است. پژوهش حاضر در راستای پاسخگویی به سؤال های تحقیق با در دست داشتن فرضیه تحقیق که «عملکرد فضای سبز شهرداری شیراز منطبق با رد پای اکولوژیک گاز دی اکسید کربن نیست»؛ اقدام به پاسخگویی به این سوال ها کرد. بر طبق نتایج به دست آمده از پژوهش، فرضیه تحقیق پذیرفته می شود. با توجه به تحلیل های به دست آمده در جداول (۵ و ۴) مشخص گردید که سرانه فضای سبز شهری در شهر شیراز انطباقی با رد پای اکولوژیک حاصل از مصرف سوخت های فسیلی ندارد و شهرداری برای تعادل بخشی به اثرهای گاز دی اکسید کربن حاصل از سوخت های فسیلی نیاز دارد به مقدار ۵۴۸۳ هکتار به اراضی جنگلی یا فضای سبز شهری خود اضافه نماید. در واقع، علاوه بر سرانه فضای سبز موجود در سال ۱۳۸۷، شهرداری به افزایش ۳۸/۶۱ مترمربعی فضای سبز برای هر شهروند شیرازی نیاز دارد. در واقع، پژوهش حاضر نشان داد که عملکرد فضای سبز شهرداری شیراز منطبق با رد پای اکولوژیک حاصل از سوخت های فسیلی نیست. این پژوهش توانست با استفاده از روش EF و محاسبه رد پای گاز CO<sub>2</sub> تولید شده از سوخت های فسیلی در شهر شیراز نشان دهد که حجم گاز دی اکسید کربن تولید شده ناشی از سوخت های بنزین و گازوئیل بیش از ظرفیت زیستی موجود این شهر است. همچنین، تحقیق حاضر نشان داد که برای محاسبه سرانه فضای سبز شهری علاوه بر رعایت استانداردهای مدنظر، لازم است به رویکرد حاضر که مبتنی بر رد پای اکولوژیک سوخت های فسیلی نیز هست، توجه گردد. در نهایت، می توان گفت شهرداری شیراز نیاز دارد راهکارهایی را برای کاهش گاز CO<sub>2</sub> حاصل از سوخت های فسیلی به همراه افزایش سرانه فضای سبز شهری به کار بگیرد.

## منابع

- ۱- ترنر، ر. ک و د. پیرس و ای. باتمن. (۱۳۷۴). اقتصاد محیط زیست، ترجمه سیاوش دهقانیان، عوض کوچکی، علی کلاهی اهری، انتشارات دانشگاه فردوسی، مشهد.
- ۲- حسین زاده دلیر، کریم؛ ساسانپور، فرزانه. (۱۳۸۵). «روش جای پای اکولوژیک در پایداری کلاتشهرها با نگرشی بر کلاتشهر تهران»، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ش ۸۲، پاییز.

- ۳- سعیدنیا، احمد. (۱۳۷۹). کتاب سبز شهرداری ها، جلد نهم، فضاهای سبز شهری، تهران: مرکز مطالعات برنامه ریزی شهری تهران.
- ۴- شهرداری شیراز. (۱۳۸۷). آمارنامه شیراز.
- ۵- شهرداری شیراز. (۱۳۸۹). آمارنامه شهر شیراز ۱۳۸۵-۱۳۸۷.
- ۶- صالح، ایرج؛ شعبانی، زهره؛ سادات باریکانی، سیدحامد؛ یزدانی، سعید. (۱۳۸۸). «بررسی رابطه علیت بین تولید ناخالص داخلی و حجم گازهای گلخانه ای در ایران (مطالعه موردی گاز دی اکسید کربن)»، اقتصاد کشاورزی و توسعه، سال هفدهم، ش ۶۶، تابستان.
- ۷- صرافی، مظفر. (۱۳۷۹). شهر پایدار چیست؟، فصلنامه مدیریت شهری، ش ۴، صص ۶-۱۳.
- ۸- صمدپور، پریماه، فریادی، شهرزاد. (۱۳۸۷). تعیین جای پای اکولوژیکی در نواحی شهری پرتراکم و بلندمرتبه (نمونه مورد مطالعه: محله الهیه تهران). مجله محیط شناسی، دانشگاه تهران، ش ۴۵، صص ۶۳-۷۲.
- ۹- (۱۳۸۹). «تعیین تناسب بهینه استفاده از انواع شیوه‌های حمل و نقل با هدف کاهش جای پای اکولوژیکی در شهر تهران»، مجله محیط شناسی، سال سی و ششم، ش ۵۴، تابستان ۸۹، صص ۱۰۸-۹۷.
- ۱۰- منصور، جهانگیر. (۱۳۹۱). قوانین و مقررات مربوط به شهر و شهرداری، تهران، نشر دیدار، چاپ بیست و هشتم.
- ۱۱- ورامش، سعید؛ حسینی، سیدمحسن؛ نوری، عبدالله. (۱۳۸۷). «پتانسیل جنگل شهری در کاهش گازهای گلخانه ای و حفظ انرژی»، مجله تازه های انرژی، سال اول، شماره اول، نیمه دوم شهریور ۱۳۸۷
- 12- Brandon, Peter S & Patrizia Lombardi(2005) Evaluating Sustainable Development in the Built Environment, Blackwell, Oxford
- 13- Chen. B, chen.G.Q, yang.Z.F, Jiang.M.M(2007). Ecological footprint accounting for energy and resource in China, Energy Policy 35 , 1599-1609
- 14- Calcott. Alen & Bull. Jamie (2007). Ecological Foot Print of British City resident, WWF-UK, wwf.org.uk
- 15- Druckman. Angela and Jackson. Tim. (2009). The carbon footprint of UK households 1990–2004: A socio-economically disaggregated, quasi-multi-regional input–output model, Ecological Economics , N. 68, pp. 2066-2077
- 16- Ellis. Jane & Treanton. Karen. (1998). Recent trends in energy- related CO2 emissions, Energy Policy, Vol.26, N.3, pp. 159-166
- 17- Ewing. Brad; Moore. David & others. (2010). The Ecological Foot Print Atlas 2010. Puhlised by; Global Footprint Network, Oakland, California, USA, <http://www.footprintnetwork.org>
- 18- Fan. Ying & et al. (2006). Analyzing impact factors of CO2 emissions using the STIRPAT model, Environmental Impact Assessment Review, N.26, pp. 377-395
- 19- Holden. Erling and Hoyer. Karl Georg (2005), The ecological Foot Prints of Fuels, Transportation Research Part D, N.10, pp. 395-403
- 20- IEA (2008a) Issues behind Competitiveness and Carbon Leakage: Focus on heavy industry,
- 21- IEA (2008b) World Energy Outlook 2008: Fact sheet. Paris: International Energy Agency  
IEA Information Paper. Paris: International Energy Agency and Organisation for Economic Co-operation and Development.
- 22- Li. X.M. & et al. (2010). Urban total ecological footprint forecasting by using radial basis function neural network: A case study of Wuhan City, China, Ecological Indicators, N. 10, pp. 241-248
- 23- Mac Donald. Garry and Patterson. Murray.(2004). Ecological Footprints and interdependencies of New Zealand Garry regions, Ecological Economics, N.50, pp. 49-67

- 24- Marcelo E. Dias De Oliveira, Burton E. Vaughan & Edward J. Rykiel Jr. (2005), Ethanol as Fuel, Carbon Dioxide Blances and Ecological Foot Print, Bio Science, Vol. 55, N.7, pp593-602
- 25- Pezzetta, W.E. , H., Drossman. 2005 .The Ecological Footprint of the Colorado College: An Examination of Sustainability. <http://www2.coloradocollege.edu/Sustainability/EcoFootprint>
- 26- Rees, W. ; Wackernagel, M. 1996. Urban Ecological Footprints: Why Cities cannot be Review 16, 223-48.
- 27- Suplee, Curt (1998) Untangling the science of climate. National Geographic, May 1998 44-67. Supply and Services Canada 1992. The Final Report of the Royal Commission on National Passenger Transportation.  
Sustainable and Why They Are a Key to Sustainability, Environmental Impact Assessment
- 28- WCED(1987). Our Common Future (Report of the UN World Commission on Environment and Development) University press Oxford
- 29- Wilson, J. ; Anielski , M. 2005 . Ecological Footprints of Canadian Municipalities and Regions.
- 30- WWF, Zoological Society of London, Global Footprint Network, 2006. Living Planet Report 2006 / <http://www.panda.org/downloads/general/LPR2006S>.
- 31- Xing, Yangang et al (2009) A framework model for assessing sustainability impacts of urban development, Accounting Forum, Volume 33, Issue 3, September 2009, Pages 209-224