

## شاخص «ردپای اکولوژیک» در سنجش پایداری توسعه شهری (نمونه مورد مطالعه: شهر ساری)

حسن اسماعیل زاده<sup>۱</sup>، معصومه براری<sup>۲\*</sup>، علیرضا رحمتی<sup>۳</sup>، محسن کلانتری<sup>۴</sup>

۱- استادیار گروه جغرافیا، دانشکده زمین شناسی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

۲- دانشجوی دکتری جغرافیا و برنامه ریزی شهری، دانشکده زمین شناسی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

۳- استادیار پژوهشکده محیط زیست و توسعه پایدار، بزرگراه شهید حکیم، پارک طبیعت پردیسان، تهران، ایران

۴- کارشناس ارشد فیزیک، مدرس دانشگاه علمی کاربردی و دانشکده فنی شهید هاشمی نژاد ساری، ایران

### چکیده

جای پای بوم شناختی ابزاری است که با ارائه مقایسه جامعی از تقاضا و مقدار عرضه منابع طبیعی، اهداف و راهبردهای مفید را در جلوگیری از تخریب‌ها و نابرابری‌های مادی بیان کرده و تصمیم‌گیری‌های نهادی را در مجرای درستی هدایت می‌کند. در این پژوهش با روش توصیفی- تحلیلی و بهره‌گیری از مطالعات کتابخانه‌ای، اسنادی، آماری و همچنین روش جای پای اکولوژیکی، روند پایداری منابع آب و انرژی (برق، بنزین، نفت، نفت گاز و گاز طبیعی)، در سال ۱۳۹۳ ارزیابی شده است. در این پژوهش سعی شده است به این پرسش پاسخ داده شود که آیا فضای اکولوژیکی شهر ساری، توان برآوردن نیازهای اساسی جمعیت شهر را در تامین آب و انرژی دارد؟ نتایج نشان داده است که ردپای اکولوژیکی شهر ساری در منابع آب و انرژی ۰/۷۳۵ هکتار بوده است، که سهم میزان مصرف برق با ۰/۵۳ هکتار بیشترین سهم را در بین سایر موارد و کم‌ترین میزان سهم، برای مصرف گاز طبیعی به میزان ۰/۰۰۵۳ هکتار به ازای هر نفر بوده است. از آنجا که ظرفیت‌زیستی ایران ۰/۸ هکتار است، ردپای اکولوژیکی ۰/۷۳۵ هکتاری شهر ساری بدان معناست که بیش از سهم خود، از ظرفیت‌زیستی قابل تحمل کشور را به خود اختصاص داده است و با ادامه روند کنونی مصرف، شهر ساری برای تامین منابع آب و انرژی مورد نیاز به فضایی بیش از ۷۳ برابر مساحت کنونی خود و فضایی بیش از ۰/۸ برابر مساحت استان نیازمند است.

واژگان کلیدی: توسعه پایدار شهری، ردپای اکولوژیکی، پایداری، شهر ساری

## مقدمه

امروزه انسان با چالش‌های بی‌سابقه‌ای در عرصه‌های زیست‌محیطی روبروست و در این زمینه، ایده یکسان و یک جانبه‌ای میان صاحب‌نظران زیست‌محیطی وجود دارد، که بوم‌سازگان زمین در سطح موجود در فعالیت‌های اقتصادی و عرصه‌های مادی دیگر قادر به پایداری نیستند. زیرا فشارهای اقتصادی بر منابع طبیعی بیش از پیش روبه افزایش است (ارجمندنيا، ۱۳۸۰). افزایش بی‌سابقه جمعیت به همراه نسبت روزافزون شهرنشینی که در واقع تمرکز و فشار نقطه‌ای به همراه گسترش شیوه‌های زندگی مندمحیط‌زیست را در پی دارد، پیامدهای زیانباری برای زیست‌کره داشته است. به طوری که شهرهای جهان حدود سه چهارم منابع طبیعی مورد نیاز جهانیان را به مصرف می‌رسانند (Zhang, 2005). تداوم این گونه رشد شهری به‌ویژه شکل و کارکردی که در کشورهای جنوب دارد، چالش‌آفرین بوده و هشداری بر ناپایداری شهرنشینی به روال کنونی است. با بروز ضایعات زیست‌محیطی و کاهش عمومی سطح زندگی به‌ویژه در جوامع شهری طی یکی دو دهه گذشته، رهیافت توسعه پایدار به‌عنوان مهم‌ترین موضوع دهه آخر قرن بیستم از سوی سازمان ملل مطرح شد. کاربرد توسعه پایدار برای اولین بار در اواسط دهه ۱۹۷۰ توسط باربارا وارد مطرح شد. این مفهوم کلی با راهکار حفاظت جهانی به‌طور گسترده‌ای مورد بحث قرار گرفت. تا منابع و محیط‌زیست را در راستای ایفای نقش رفاه انسانی به نحو مطلوب مدیریت نماید. (مطیعی لنگرودی، ۱۳۸۲) اما بیشترین نابسامانی در مورد پارادایم توسعه پایدار، اضافه شدن تعداد زیادی تعریف رسمی (بیش از ۲۰۰ تعریف) به این پارادایم بود. (Parkin, 2000) تا این که توسعه بین‌المللی محیط‌زیست و توسعه در سال ۱۹۸۷ جامع‌ترین تعریف را از توسعه پایدار این چنین ارائه داد: توسعه‌ای که نیازهای فعلی را بدون خدشه دار کردن توانایی نسل آینده در تأمین ساختن نیازهای خود برآورده نماید و دربرگیرنده کیفیت زندگی انسان‌ها باشد (کیانی، ۱۳۸۳). توسعه پایدار اکولوژیک بهترین و ایده‌آل‌ترین نوع توسعه محسوب می‌شود. توسعه‌ای که کیفیت کلی زندگی

را در حال و آینده بهبود می‌بخشد؛ به طوری که فرایندهای اکولوژیک ضروری را برای ادامه زندگی حفظ نماید. چنین توسعه پایداری از زمین، آب، گیاهان و منابع ژنتیکی حفاظت می‌کند. از لحاظ زیست‌محیطی مخرب نبوده، از نظر تکنولوژیک مناسب و از نظر اقتصادی توجیه‌پذیر است (گودرزی، ۱۳۷۹). به موازات تکوین و تکامل پارادایم توسعه پایدار و به دنبال آن تعریف و شناسایی شاخص‌های توسعه پایدار، روش‌های گوناگونی برای اندازه‌گیری و سنجش شاخص‌های توسعه پایدار مطرح شده است که این پدیده از تفاوت در نگاه به توسعه پایدار ناشی می‌شود. نخبگان اقتصادی برای سنجش پایداری بیشتر از شاخص‌های اقتصادی و پولی برای سنجش و اندازه‌گیری پایداری استفاده می‌کنند، صاحب‌نظران محیط‌زیست و بوم‌شناسان بیشتر بر شاخص‌های فیزیکی و زیستی تأکید داشته و از آن‌ها برای سنجش پایداری استفاده می‌کنند. برخی نیز این نوع مطالعات را در مقیاس نواحی شهری به کار گرفته‌اند. اما فصل مشترک کلیه این روش‌ها، ایجاد حساسیت در افکار عمومی و سیاست‌گذاران و تصمیم‌گیران، برای برقراری توازن بین ابعاد مختلف توسعه پایدار است.

توسعه پایدار شهری نیز به‌عنوان شاخه مهم در این مفهوم، پدیده‌ای با ابعاد گسترده و پیچیده است که در رشد و تکمیل شهرها عوامل اقتصادی، اجتماعی، جمعیتی، زیست‌محیطی و اکولوژیکی را مورد توجه قرار می‌دهد. راهبرد توسعه پایدار شهری در جهان کنونی حاصل فرهنگ به‌کارگیری شناخته‌های بشر از محیط شهری است (ازانی، ۱۳۸۵). در این نظریه موضوع نگهداری منابع، برای حال و آینده از طریق استفاده بهینه از زمین و وارد کردن کم‌ترین ضایعات به منابع تجدیدنابپذیر مطرح است (زباری، ۱۳۸۹). برای این منظور شاخص جای پای بوم‌شناختی، مدل کمی مناسبی برای اندازه‌گیری توسعه پایدار جوامع و شهرها به‌شمار می‌رود. جای پای اکولوژیکی اصولاً برای ارزیابی ظرفیت بوم‌شناختی، ظرفیت نهایی اکولوژیکی و همچنین توسعه پایدار به کار برده می‌شود (ژانگ، ۲۰۰۵). اساس کار شاخص جای پای

وان وارن و اسمیت (Van Vuuren and Smeets) در سال ۲۰۰۰ با استفاده از این شاخص به مقایسه پایداری منابع کشورهای بنین، بوتان، کاستاریکا و هلند در سال‌های ۱۹۸۷، ۱۹۸۰ و ۱۹۹۴ پرداختند، نتیجه این تحقیق مشخص ساخت که کشورهای بنین و کاستاریکا با توجه به ظرفیت زیستی و اکولوژیکی پایین و استفاده بیشتر از این ظرفیت ناچار به واردات کالای مصرفی خود شده‌اند.

مک دونالد و پترسون (۲۰۰۴) در مقاله (ردپای اکولوژیکی و اتکای متقابل نواحی نیوزلند) با استفاده از جدول داده - ستانده به بررسی ردپای اکولوژیکی ۱۶ منطقه در نیوزلند پرداخته‌اند. مطالعه موردی بر روی اکلند صورت پذیرفته است، نتیجه تحقیق نشان می‌دهد که ردپای اکولوژیکی نخست شهر اکلند ۲/۳۲ میلیون هکتار است؛ یعنی برای هر شهروند دو هکتار زمین مورد نیاز است.

لی و همکاران (۲۰۱۰) در مقاله «پیش بینی رد پای اکولوژیکی شهر وهان با استفاده از شبکه‌های عصبی» پیش بینی ردپای اکولوژیکی را برای ارزیابی اثرات انسان بر محیط لازم و ضروری می‌دانند.

فریادی و صمدپور در مقاله‌ای با عنوان «تعیین جای پای اکولوژیکی در نواحی شهری پتراکم و بلندمرتبه (نمونه مورد مطالعه: محله الهیه تهران)» به بررسی آثار زیست‌محیطی افزایش تراکم جمعیت و ساخت و سازهای شهری، به خصوص بلندمرتبه سازی در منطقه الهیه تهران پرداخته‌اند. در این مقاله، ابتدا به مقایسه روند تغییرات کاربری‌های محله الهیه پرداخته و سپس با استفاده از روش «ردپای اکولوژیکی» مشخص کرده‌اند 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 (صمدپور و فریادی، ۱۳۸۷).

نگارندگان همین مقاله 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

بوم‌شناختی شامل چندین کاربرد ویژه در نواحی تولید زیستی است. مانند: زمین کشاورزی، جنگل (هم برای تولیدات چوبی و هم برای جذب کربن)، مرتع، زمین ساخته شده و پهنه آبی. یک مفهوم کلیدی در محاسبه جای پای اکولوژیکی و ظرفیت‌زیستی در این شاخص، به کار بردن یک واحد یکسان (هکتار) در سطح جهانی است. به این ترتیب مقایسه نواحی مورد مطالعه با نواحی دیگر در سطح جهانی یکسان است. از نظر بوم‌شناختی سرانه مصرف انرژی و مواد مصرفی، در طول چهل سال گذشته سریع‌تر از رشد جمعیت، افزایش یافته است. اگر روند مصرف را کنترل نکنیم و همین‌گونه بر مصرف منابع سرمایه طبیعی خود روی آوریم، سلامتی، پایداری و رفاه زندگی خود و جامعه را به خطر انداخته و به حداقل ممکن می‌رسانیم (ارجمندیا، ۱۳۸۰). هم‌اکنون در بسیاری از کشورها و شهرهای دنیا برای ارزیابی توسعه پایدار منابع در سطح ملی و محلی، این روش به کار گرفته می‌شود. در این پژوهش، شهر ساری به‌عنوان مرکزیت و پرجمعیت‌ترین شهر استان مازندران و هم‌چنین مهم‌ترین قطب تجاری و اداری و تمرکز خدمات و امکانات دارای بیش‌ترین مصارف منابع آب و انرژی در استان می‌باشد. ما در این پژوهش در پی آن هستیم تا پایداری منابع آب و انرژی را بر اساس ردپای اکولوژیکی در شهر ساری بررسی کنیم و به این پرسش پاسخ دهیم که «آیا فضای اکولوژیکی شهر ساری توان برآوردن نیاز جمعیت شهر به این منابع را دارد؟».

سرچشمه علوم را می‌توان در پیشینه آن‌ها کاوش کرد (دمپی، ۲۰۰۶). جان دیویی، اعتقاد دارد که پیشینه تحقیق به محقق کمک می‌کند تا بینش عمیقی نسبت به جنبه‌های مختلف موضوع تحقیق پیدا کند. مطالعه منابع باید از منابعی باشد که به‌طور مستقیم در رابطه با موضوع تحقیق می‌باشند و نیز از منابعی باشد که به‌طور غیرمستقیم با آن موضوع ارتباط دارند (دلاور، ۱۳۸۳).

در ارتباط با محاسبه ردپای اکولوژیکی تحقیقات متعدد خارجی اما تحقیقات اندکی در سطح کشور صورت گرفته است.

حیبی و همکاران (۱۳۹۲) «ارزیابی ردپای بوم‌شناختی به منظور رویکردی نوین برای برنامه‌ریزی حمل و نقل پایدار برای شهر ارومیه» را بررسی نمودند. نتایج این پژوهش نشان داد که بیشترین ردپای بوم‌شناختی در شهر ارومیه مربوط به مینی‌بوس (۵۵۰۰۰۰ هکتار) و کمترین مقدار نیز مربوط به موتورسیکلت (۱۶۰۰۰۰ هکتار) می‌باشد. مقایسه نتایج میزان ردپای وسایل حمل و نقل شهری با مقادیر استاندارد نیز حاکی از آن است که به‌جز اتوبوس، سایر شیوه‌های حمل و نقل شهر ارومیه از میزان ردپای بیشتری نسبت به استانداردهای جهانی برخوردار است (حیبی، رحیمی کاکه چوب و عبدی، ۱۳۹۲).

رهنما و عبادی نیا (۱۳۹۳)، به تحلیل «پایداری حمل و نقل شهر مشهد با استفاده از روش جای پای بوم‌شناختی» پرداختند. نتایج این بررسی نشان داد که این شهر با مصرف بیش از ۳۱ میلیون گیگا ژول انرژی در سال برای برطرف ساختن نیاز به سوخت مصرفی در حمل و نقل، رقمی معادل ۴۹۷۵۵۵۴ تن کربن تولید می‌کند و معادل سرانه بوم‌شناختی آن به ازای هر ۱۰۰ گیگاژول در هکتار، ۰/۱۱ هکتار برای هر فرد است (رهنما و عبادی نیا، ۱۳۹۳).  
جمعه‌پور در سال ۱۳۹۲ به «بررسی وضعیت توسعه‌پایدار شهرستان رشت» با استفاده از این روش پرداختند. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد ردپای بوم‌شناختی در شهرستان رشت ۱/۹۷ هکتار به‌ازای هر نفر است و همچنین، ظرفیت زیستی ۰/۴۱۴ هکتار به ازای هر نفر می‌باشد که نشان از وضعیت ناپایداری در این شهر بود (جمعه‌پور، ۱۳۹۲).

### مواد و روش‌ها

روش مورد استفاده در این تحقیق به‌صورت روش توصیفی - تحلیلی با تکیه بر مطالعات اسنادی می‌باشد. داده‌های پژوهش به‌طور عمده از نوع کمی است. این داده‌ها در روش اسنادی با استفاده از مطالعات کتابخانه‌ای، پایگاه‌های علمی، سالنامه، مراجعه به مراجع رسمی نظیر آمارهای مستند شرکت آب و انرژی (حمل و نقل، گاز طبیعی و برق) و سازمان‌های مختلف به‌دست آمده است. برای

را که تأمین کننده میزان سوخت برای هر فرد است، محاسبه کرده و نشان داده‌اند 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 (صمدپور و فریادی، ۱۳۸۹).

حسین زاده دلیر و ساسان پور (۱۳۸۵)، در مقاله «رد پای اکولوژیکی شهرهای پایدار در کلان شهر تهران» به این نتیجه می‌رسند که فضای اکولوژیک 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.

قرخلو، مهدی و همکاران در مقاله‌ای تحت عنوان «ارزیابی پایداری توسعه شهری با روش جای پای اکولوژیکی در شهر کرمانشاه» به این نتیجه رسیده‌اند که جای پای اکولوژیکی ۱/۸۲ هکتاری شهر کرمانشاه ۲/۳۷۵ برابر بیش از ظرفیت زیستی قابل تحمل کشور می‌باشد و با ادامه روند کنونی مصرف، شهر کرمانشاه برای تأمین غذا و انرژی و زمین مورد نیاز برای جذب دی‌اکسید کربن به فضایی به حدود ۱۸۰ برابر مساحت فعلی خود نیازمند است (قرخلو، ۱۳۹۲). این پژوهش پارامترهای آب و انرژی توسعه پایدار شهری را با استفاده از شاخص جای پای بوم‌شناختی مدنظر قرار داده است.

تیموری (۱۳۹۳) به موضوع «ردپای اکولوژیک گاز دی‌اکسید کربن سوخت‌های فسیلی شهر شیراز» با هدف محاسبه مقدار اراضی جنگلی برای جذب میزان گاز دی‌اکسیدکربن منتشر شده از سوخت‌های فسیلی با استفاده از روش ردپای اکولوژیک پرداخت و نشان داد که هر شهروند شیرازی به ۵۱/۷۸ متر مربع سرانه فضای سبز به منظور جذب گاز دی‌اکسیدکربن نیاز دارد و شهرداری موظف است با توسعه فضای سبز موجود، حجم و سرانه این کاربری را برای کاهش جای پای گاز دی‌اکسیدکربن افزایش دهد (تیموری، ۱۳۹۳)

زمین‌ها برحسب ظرفیت آن‌ها برای تولید «زیست توده» سنجش می‌شود و دریا نیز برحسب تولید مواد پروتئینی برای مصرف انسان اندازه‌گیری می‌شود. روش «واحد سطح» مقیاس کاملی از جای پای اکولوژیکی مناطق و کشورهای مختلف را برحسب انواع کاربری اراضی، اراضی ساخته شده، ظرفیت‌های زیستی و کمبودهای اکولوژیکی برآورد می‌کند (Wackernagel and Rees, ۱۹۹۵). از جمله داده‌های مورد نیاز برای تحلیل می‌توان به مصرف آب و انرژی اشاره کرد. بر اساس روش کلی ابداعی تعیین ردپای اکولوژیکی توسط واکر ناگل و ویلیام ریز (۱۹۹۶)، این محاسبات مراحل اصلی زیر را شامل می‌شوند:

- برآورد سرانه‌ی مصرف سالانه‌ی مواد مصرفی اصلی، بر اساس مجموع داده‌های منطقه‌ای و تقسیم مصرف کل به میزان جمعیت.
- برآورد زمین اختصاص داده شده به هر نفر برای تولید هر مورد مصرفی، از راه تقسیم متوسط مصرف سالانه‌ی هر مورد بر متوسط سالانه‌ی تولید یا بازده زمین.
- محاسبه‌ی متوسط کل ردپای اکولوژیک هر نفر (EF) از طریق جمع زدن تمامی مناطق اکوسیستم که به هر نفر اختصاص یافته است.
- به‌دست آوردن ردپای اکولوژیک (EFp) برای جمعیت منطقه‌ی برنامه‌ریزی شده (N)، با محاسبه‌ی حاصل ضرب متوسط ردپای هر نفر در اندازه‌ی جمعیت (EFp = N × EF)

#### **محدوده مورد مطالعه**

مازندران نگین سبز ایرانویچ در شمال نقشه گربه سفید ایرانی، در میان دریای خزر و کویر ایران با تنوع کم نظیر آب و هوایی و زیست‌محیطی واقع شده است (ماه‌فروزی، زلیکانی، ۱۳۹۱). شهر ساری مرکز استان مازندران و شهرستان ساری است. این شهر در ۳۵ درجه و ۵۸ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۵۰ دقیقه عرض شمالی و ۵۲ درجه و ۵۶ دقیقه تا ۵۳ درجه و ۵۹ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ واقع شده است. که بر سر راه ارتباطی (تجاری، گردشگری و زیارتی) مرکز ایران، با بخش‌های شرقی

سنجش پیامدهای زیست محیطی مربوط به میزان مصرف کالا و انرژی شهر ساری، از روش جای پای اکولوژیکی ابداعی پروفیسور ویلیام ریز، زیست شناس و برنامه‌ریز منطقه‌ای در دانشگاه بریتیش کلمبیای کانادا، استفاده شده است. در این روش، میزان نیاز سالانه‌ی شهر ساری به مقدار زمین و دریای مولد (از نظر بوم‌شناختی) که با فناوری‌های موجود تمامی نیازهای آن‌ها را برآورده می‌کند، محاسبه شد. همان گونه که گفته شد، روش جای پای اکولوژیکی بر این ایده استوار است که برای هر مورد از موارد مصرف انرژی و مواد، مقدار معینی زمین در یک یا چند اکوسیستم مورد نیاز است تا جریان‌های مصرف منابع را فراهم کند. ارزیابی جای پای اکولوژیکی از جمعیت تعریف شده با فضای استقرار و نیازهای مصرفی آن یک روند چند مرحله‌ای است. در مرحله‌ی نخست برای محاسبه براساس آمارها و داده‌های موجود در سطوح ملی، منطقه‌ای و محلی، میانگین مصرف سالانه‌ی اقلام مورد نظر در حوزه‌های مصرفی مانند انرژی، حمل و نقل کالا و خدمات، موادغذایی و مدیریت آلودگی برحسب مصرف کل و حجم جمعیت برآورد می‌شود (Wackernagel and Rees, 1995). در مرحله‌ی دوم، سرانه‌ی مساحت زمین تصاحب شده برای تولید هر مورد از حوزه‌ها یا زیرحوزه‌های مصرفی تخمین زده می‌شود.

جای پای اکولوژیکی در واحد سطح اندازه‌گیری می‌شود. یک واحد سطح برابر است با یک هکتار فضای زیستی بارور، نسبت به میانگین جهانی بهره‌وری. زمین از نظر بهره‌وری متفاوت است. بارورترین زمین‌ها برای کشت غلات و کم بارورترین آن‌ها برای مراتع و چراای دام مورد استفاده قرار می‌گیرند (Wackernagel and Rees, ۱۹۹۵).

بدین ترتیب واحد سطح برابر است با حدود ۰/۳ هکتار از زمین‌های زراعی، نسبت به میانگین جهانی بهره‌وری. همین واحد برابر است با حدود ۰/۶ هکتار از میانگین اراضی جنگلی، یا ۲/۷ هکتار از میانگین زمین‌های مرتعی، یا ۱۶/۳ هکتار دریا (ساحل). بنابراین یک هکتار زمین کاملاً بارور، نشان دهنده‌ی میزان بیشتری از واحد سطح نسبت به همان مقدار زمین نه چندان بارور است. مساحت تمام

حاکمیت شرایط اقلیم بحری (تیپ مدیترانه‌ای) در این شهر شده است. بنابراین موقعیت ممتاز شهر ساری به دلیل موقعیت طبیعی، دارا بودن آب و هوای معتدل و قرارگیری در کنار ساحل شنی دریای خزر و بهره‌مندی از مناظر زیبای طبیعی و تاریخی از جایگاه برجسته‌ای در صنعت گردشگری برخوردار می‌باشد. مسجد جامع، میدان ساعت، برج رسکت، مجموعه تاریخی فرح آباد، آب انبار میرزا مهدی، آب انبار نو، حمام وزیری، پل تجن، امام‌زاده عباس، امام‌زاده یحیی، بقعه‌ی زین‌العابدین، سد سلیمان تنگه (شهیدرجایی)، ساحل دریای مازندران، پارک جنگلی شهید زارع، پناهگاه حیات وحش دشت ناز و سمسکنده و... مهم‌ترین جاذبه‌های تفریحی-توریستی شهر و شهرستان ساری به‌شمار می‌آیند (احمدی، ۱۳۹۰).

استان مازندران و استان خراسان به‌ویژه مشهد قرار دارد (شکل ۱). شهر ساحلی ساری به دلیل موقعیت سیاسی-اداری آن از اهمیت و اعتبار ویژه‌ای برخوردار است و از طریق راه آهن سراسری و راه آسفالتی با مرکز و سایر استان‌ها ارتباط می‌یابد. ساری از نظر موقعیت طبیعی در منطقه جلگه‌ای (دشت) شهرستان واقع شده و قسمت‌های جنوبی و جنوب غربی آن را کوه‌ها و تپه‌هاورهای کم ارتفاع فرا گرفته است که بخش‌های کوهستانی آن پوشیده از جنگل و در قسمت‌های تپه‌هاورهای کم ارتفاع، اراضی کشاورزی و باغات مرکبات گسترش یافته است و نیز در قسمت شمال آن سواحل زیبای دریای خزر واقع شده است (سالنامه آماری استان مازندران، ۱۳۹۳). موقعیت جلگه‌ای و ارتباط مستقیم با پهنه آبی دریای خزر باعث



شکل ۱- موقعیت عمومی شهر ساری (منبع: سالنامه آماری استان مازندران، ۱۳۹۳)

### معرفی روش ردپای اکولوژیکی

شاخص جای پای بوم‌شناختی در اوایل دهه ۱۹۹۰ توسط ویلیام ریز و ماتیس واکرناگل ارائه شد و به سرعت به‌عنوان یک شاخص توسعه پایدار مورد پذیرش قرار گرفت

(Barrett et al., 2001). هم‌اکنون این روش به‌طور عمومی در سطح جهانی و ملی به کار می‌رود (Ress, 1995) (Wackernagel and). ایده اولیه جای پای بوم‌شناسی این است که هر فرد، فرآیند، فعالیت و منطقه‌ای از کره زمین

تبدیل مواد زاید تولید شده توسط جمعیت یک ناحیه است (Bond, 2002).

گردآوری ماتریسی است که در آن مشخص شده که چه مقدار از مساحت زمین به چه نوع مصارفی اختصاص یافته است. به منظور محاسبه رد پای اکولوژیکی کل مساحت زمین‌ها جمع و به جمعیت تقسیم می‌شود و سرانه به هکتار جهانی داده می‌شود (Godrej, 2008).

کل مساحت زمین‌های به کار گرفته شده برای تولید منابع مصرفی جمعیت و جذب مواد زاید تولید شده معادل رد پای اکولوژیکی آن جمعیت است (Ewing et al., 2010).

### دو دیدگاه اصلی برای محاسبه روش رد پای اکولوژیکی

دیدگاه قیاسی یا ترکیبی: این دیدگاه توسط بنیان‌گذاران مدل جای پای بوم‌شناختی؛ یعنی ریز و واکرننگال گسترش یافته است. این دیدگاه یک روش متمرکز (بالا به پایین) دارد و برای محاسبه جای پای بوم‌شناختی از داده‌های ملی استفاده می‌کند. این روش بیشتر در سطح جهانی و ملی (به‌طور کلی، در سطح کوچک مقیاس) کاربرد دارد. منابع مورد مطالعه در پنج گروه اصلی طبقه‌بندی می‌شود: زمین‌های تولیدی (کشاورزی، مرتع و جنگل) تولید زیستی دریا (پهنه‌های آبی)، زمین مورد نیاز برای انرژی و زمین ساخته شده (ساختمان‌ها، جاده‌ها و غیره).

دیدگاه استقرایی یا جزء به جزء: این دیدگاه یک روش غیرمتمرکز (پایین به بالا) دارد. در این دیدگاه با توجه به برخورد های بوم‌شناختی فعالیت‌های خاص، مانند حمل و نقل و استفاده از انرژی و غیره؛ بوم‌شناسی مکان خاصی را محاسبه می‌کنند (Simmons et al., 2000). این دیدگاه بیشتر برای محاسبه جای پای بوم‌شناختی مناطق و شهرها (به‌طور کلی در سطح بزرگ مقیاس) مناسب است.

نوعی ارتباط با زمین دارد که این ارتباط از طریق استفاد از منابع، تولید مواد زائد و استفاده از خدمات تولید شده توسط طبیعت است.

از آنجایی که تعبیر جای پای اکولوژیکی به‌عنوان شاخص پایداری، منجر به معرفی ایده «ظرفیت تحمل» یا «ظرفیت برد» در بوم‌شناختی که عبارتست از «حداکثر جمعیتی که زمین می‌تواند نیازهای آن‌ها را به طور نامحدود تأمین کند» شده است (مک دونالد، پترسون، ۲۰۰۴)، با تجزیه و تحلیل جای پای اکولوژیکی، می‌توان وسعتی از زمین برای تأمین نیاز و ساکنان در محدوده‌های مشخص زمین را برآورد کرد (Wilson and Anielski, 2005) و نشان داد که در کدام ناحیه و کجا، بر منابع طبیعی فشار وارد می‌شود (صرافی و زارغ فرشاد، ۱۳۸۸). با اندازه‌گیری و سنجش جای پای بوم‌شناختی یک جمعیت (فرد، شهر، جامعه شهری یا کشور) که اصولاً برای ارزیابی ظرفیت بوم‌شناختی، ظرفیت نهایی اکولوژیکی و همچنین توسعه پایدار به‌کار می‌شود (ژانگ، ۲۰۰۵).

تعاریف گوناگون روش رد پای اکولوژیکی از نظر دانشمندان:

جای پای اکولوژیکی، به‌عنوان مقدار مساحت زمینی که برای مصرف یک جمعیت و جذب مواد زائد آن‌ها مورد نیاز است، نیز تعریف می‌شود (Lenzen and Amurry, 2003). شاخص رد پای اکولوژیکی بیشتر به‌عنوان روشی ساده و ظریف برای مقایسه پایداری منابع مورد استفاده در میان جمعیت‌های مختلف استفاده می‌شود (ویلسون، ۲۰۰۵). شاخص رد پای اکولوژیکی نشان دهنده برخورداری هر یک از ما به واسطه شیوه‌های زندگی که در طبیعت و سیاره داریم، است (Moffat, ۲۰۰۰).

شاخص رد پای اکولوژیکی اندازه‌گیری کل زمین‌های مولد اکولوژیکی مورد نیاز برای تولید منابع مصرفی و جذب و

### جدول ۱- جزئیات روش استقرایی

برق (تولید داخلی)	گاز (تولید داخلی)	برق (غیره)	گاز (غیره)	مسافرت با ماشین
مسافرت با اتوبوس	مسافرت با هواپیما	حمل و نقل جاده‌ای	حمل و نقل ریلی	حمل و نقل دریایی
حمل و نقل هوایی	محصولات غذایی	تولید چوب	مواد زائد بازیافت شده	مواد زائد بازیافت شده

(کاغذ و کارت)	(شیشه)		
آب	مواد زائد بازیافت شده (دیگر)	مواد زائد بازیافت شده (کامپوزیت)	مواد زائد بازیافت شده (فلزات)
	مواد زائد (تجاری)	مواد زائد (خانگی)	مواد زائد (دیگر)

(سیمونز و همکاران، ۲۰۰۰)

فراهم می‌کند. ارزیابی ردپای بوم‌شناختی به شهر امکان می‌دهد که کیفیت و سازگاری داده‌های حاصل از آزمایش‌ها و فضاهای خالی بین نتایج را شناسایی نمایند. با توجه به طبیعت جامع‌گرا و قابلیت آن برای بیان تقاضای منابع، می‌توان گفت که داده‌های حاصل از ارزیابی‌های ردپای بوم‌شناختی می‌توانند مرجع سایر داده‌ها قرار گیرند (واکرناگل، ۲۰۰۳).

دادن اطلاعات زیست‌محیطی در یک زمینه مشترک، امکان شناسایی اولویت‌های لازم را فراهم می‌آورد. به‌ویژه اگر این اطلاعات با اطلاعات اقتصادی و کیفیت ارزیابی زندگی همراه باشد، می‌توان موقعیت‌های اقتصادی را برای کاهش ردپای بوم‌شناختی شناسایی کرد. با بررسی امکانات فناوریانه برای کاهش مصرف انرژی بدون آن‌که بر کیفیت زندگی تأثیر بگذارد، می‌توان در انرژی و هزینه‌ها صرفه‌جویی‌های زیادی کرد (حق پرست و همکاران، ۱۳۹۴).

### مزیت‌های روش ردپای اکولوژیکی

نتایج جای پای بوم‌شناسی در افزایش آگاهی‌های عمومی و سیاسی نسبت به محیط طبیعی که توسط انسان اتفاق می‌افتد، مفید است. تحلیل‌های جای پای بوم‌شناسی در تهیه اطلاعات قابل توجه از سطح فعلی وابستگی انسان روی اکوسیستم بسیار مفید است (Rapport, 2000).

جای پای بوم‌شناسی برخورد انسان را با زمین در یک الگوی روشن و واضح نشان می‌دهد (موفات، ۲۰۰۰).

ارزیابی ردپای بوم‌شناختی، چهارچوب مشخصی برای جمع‌آوری اطلاعات مورد استفاده از منابع و ضایعات را فراهم می‌آورد. به بیان دیگر این روش به‌مثابه سازمان دهنده اطلاعات لازم برای مدیریت محیطی عمل می‌کند. ارزیابی ردپای بوم‌شناختی، اطلاعاتی در مورد داده‌های ورودی و منابع مربوطه به‌دست می‌دهد و امکان مطالعه مورد به مورد و جلوگیری از تداخل جزئیات اطلاعاتی را

### جدول ۲- مزایا و معایب تحلیل جایگاه بوم‌شناختی

مزایا	معایب
* ردپای اکولوژیکی، شاخصی جمعی ارائه می‌دهد که هم از نظر علمی قدرتمند بوده و هم شناخت و درک آن توسط افراد غیر متخصص آسان است.	* روش جاپای بوم‌شناختی تنها شامل مصرف و ضایعاتی است که مستلزم نواحی زمین است.
* از این روش می‌توان برای سطوح مختلف مصرف (از یک فرد تا سطح یک کشور و حتی جمعیت جهان) استفاده نمود.	* مشکل آفرین‌ترین بعد و جنبه، ایده‌ی جمع‌بندی گروه‌های مختلف زمین در یک عدد واحد است.
* ردپای اکولوژیکی، امکان ترکیب گروه‌های مختلف مصرف و نیز اثرات محیطی آن را در یک تحلیل واحد میسر می‌سازد.	* این شاخص، بیشتر روی مسائل کمی تأکید دارد و کمتر مسائل کیفی را در نظر می‌گیرد.
* از آنجایی که این روش یک مقدار واحد ارائه می‌نماید؛ بنابراین قابلیت مقایسه‌های کلی و جزئی را دارد.	* شاخص ردپای اکولوژیکی، تغییر فناوری را نادیده می‌گیرد.
* در این روش عدالت اجتماعی نیز مد نظر قرار می‌گیرد.	* این شاخص در سطح منطقه‌ای بیشتر مبتنی بر احتمالاتی است که اتفاق می‌افتد، که قسمتی از آن ناشی از کمبود اطلاعات در سطح محلی و منطقه‌ای است.
* تحلیل جاپای بوم‌شناختی هم روش آموزشی بوده و هم انگیزه‌بخش می‌باشد.	

(منبع: حبیبه، ی و همکاران، ۱۳۹۲)



## نتایج و بحث

در این بخش با استفاده از داده‌های موجود در سال ۱۳۹۳ برای شهر ساری، میزان رد پای اکولوژیکی را محاسبه خواهیم کرد در ادامه در مورد روش محاسبه در هر بخش توضیحاتی ارائه خواهد شد.

### حوزه‌های مصرفی

#### حمل و نقل

از آنجا که مصرف گازوییل و بنزین به‌عنوان سوخت اصلی خودروها، مبنای اصلی محاسبات بوده است، مقدار مصرف خودروها به‌صورت مستقیم با استفاده از آمار رسمی شرکت ملی پخش و فراورده‌های نفتی ایران، به‌دست آمده است. آمار مصرف سالانه‌ی انواع سوخت‌ها از سوی شرکت ملی پخش و فراورده‌های نفتی ایران، هر ساله در مقیاس شهرستان ارائه می‌شود. محاسبه‌ی مقدار مصرف شهر ساری از طریق برقراری تناسب جمعیت شهر و شهرستان با کل مصرف اعلام شده، انجام گرفته است.

با توجه به محاسبات انجام شده، میزان مصرف سرانه‌ی بنزین ساری، ۳۵۷ لیتر و مصرف نفت گاز نیز ۱۶۵ لیتر است. بنزین بدون سرب کم و بیش برابر ۱۲۵۰۰۰ BTU در هر گالن است که برابر با نرخ ۱۹/۳۵ تن کربن آزاد شده در هر میلیارد BTU است. سوخت گازوئیل نیز در هر گالن کم و بیش ۱۳۸۷۰۰ BTU تولید می‌کند که در نهایت ۱۹/۹۵ تن کربن در هر میلیارد BTU آزاد می‌کند. (فریادی و صمدپور به نقل از پزتا و دروسام، ۱۳۸۳).

بنابراین باید برای محاسبه‌ی میزان زمین مورد نیاز برای تأمین سرانه‌ی مصرف بنزین و گازوئیل به‌صورت زیر عمل کرد:

#### محاسبه جای پای بنزین

مصرف سرانه روزانه بنزین برحسب گالن برابر است با:

$$\text{گالن} = 94/418 = 357 \div 3/7853$$

$$\text{BTU} = 118.2235 = (\text{گالن} / \text{BTU}) \times 125000 \quad (\text{گالن})$$

$$(\text{تن کربن}) = 0/228373247 = (\text{میلیارد BTU} / \text{تن کربن})$$

$$\times 19/35 \quad (\text{میلیارد BTU}) \quad 0/11802235$$

حال با توجه به این‌که سالانه برای جذب ۱/۸ تن کربن، یک هکتار زمین نیاز است، بنابراین:

$$(\text{هکتار}) = 0/1267802 = (\text{تن کربن}) \div 1/8 \quad (\text{هکتار}) \times 1$$

$$(\text{تن کربن}) \quad 0/228373247$$

در نتیجه برای محاسبه‌ی کلی جای پای شهر ضروری است که عدد ۰/۱۲۶۷۸۰۲ را در تعداد جمعیت شهر ضرب کنیم:

$$(\text{هکتار}) \quad 39012 = 307483 \times 0/1267802$$

#### محاسبه جای پای گازوئیل

مصرف سرانه روزانه گازوئیل برحسب گالن برابر است با:

$$(\text{گالن}) \quad 43/669 = 3/7853 \div 165$$

$$\text{BTU} = 6056880 = (\text{گالن} / \text{BTU}) \times 138700 \quad (\text{گالن})$$

$$43/669$$

$$(\text{تن کربن}) = 0/12083478 = (\text{میلیارد BTU} / \text{تن کربن})$$

$$\times 19/95 \quad (\text{میلیارد BTU}) \quad 0/00656880$$

حال با توجه به این‌که سالانه برای جذب ۱/۸ تن کربن، یک هکتار زمین نیاز است، بنابراین:

$$(\text{هکتار}) = 0/06713043 = (\text{تن کربن}) \div 1/8 \quad (\text{هکتار}) \times 1$$

$$(\text{تن کربن}) \quad 0/12083478$$

در نتیجه برای محاسبه‌ی کلی جای پای شهر ضروری است که عدد ۰/۰۶۷۱۳۰۴۳ در تعداد جمعیت شهر ضرب شود:

$$(\text{هکتار}) \quad 206412/47 = 307483 \times 0/06713043$$

#### محاسبه جای پای اکولوژیکی حمل و نقل

محاسبه‌ی کلی رد پای اکولوژیکی حمل و نقل با مجموع رد پای انواع سوخت‌ها به‌دست می‌آید:

$$(\text{هکتار}) \quad 0/1940043 = 0/06713043 + 0/12687402$$

بنابراین رد پای حمل و نقل ۰/۱۹ هکتار است. نکته‌ی گفتنی این‌که امروزه بخش قابل توجهی از ناوگان حمل و

نقل عمومی و حتی وسایل نقلیه شخصی شهر ساری، به استفاده از گاز طبیعی به جای گازوییل و بنزین روی آورده‌اند. به‌دلیل عدم تفکیک میزان مصرف خودروها و گاز مصرفی منازل و کارگاه‌ها از سوی شرکت ملی پخش و فراورده‌های نفتی ایران، جای پای اکولوژیکی ناشی از گرمایش گازهای طبیعی در بخشی جداگانه مورد بررسی

$$\text{مول} = 0.02 = (8/314 \times 290/3) / (0.283 \times 101000) \\ n = (0.25 \div 14/5 \times$$

نتیجه می‌گیریم که در یک فوت مکعب ۰/۰۲ مول متان وجود دارد و با این نکته که جرم ملکولی متان ۱۶/۰۴۳ گرم در مول است، بنابراین مقدار متان در هر فوت مکعب برابر است با:

$$\text{گرم} = 0.32 = 16.043 \times 0.02$$

با در نظر داشتن این نکته که ۷۵ درصد از متان، کربن است می‌توانیم مقدار کربن را در هر فوت مکعب محاسبه نماییم:  $0.24 = 0.75 \times 0.32$  (گرم)

با توجه به تبدیل واحدها، هر متر مکعب معادل ۳۵/۳۱۴ فوت مکعب است، می‌توان برای محاسبه کربن، مقدار مصرفی گاز شهر ساری را به فوت مکعب تبدیل کرد (قرخلو و همکاران، ۱۳۹۲).

فوت مکعب گاز طبیعی

$$1133/2 \times 35/314 = 40.17/825$$

$$\text{تن کربن} = 0.009604278 = (96.04/178 \text{ کربن}) \times 0.24 \\ 40.17/825 \times 0.24$$

با توجه به قانون یک هکتار به ازای ۱/۸ تن کربن داریم:

$$\text{هکتار} = 0.005336 = 0.009604278 \div 1/8$$

$$\text{هکتار} = 0.005336 \times 307483 = 1640/64$$

می‌توان گفت که زمین مورد نیاز برای جذب کربن ناشی از مصرف گاز طبیعی هر شهروند ساروی، ۵۳ متر مربع است و برای کل شهر نیز، این جای پای حدود ۱۶۴۰ هکتار است.

#### نیروی الکتریسیته

کل برق مصرفی شهرستان ساری در سال ۱۳۹۳، حدود ۹۵۵۷۱۶ مگاوات بوده است. با برقراری تناسب بین میزان مصرف برق به جمعیت شهری و روستایی شهرستان، مقدار برق مصرفی شهر ساری حدود ۶۰۴۳۵۸۷۵۶ کیلو وات ساعت محاسبه شده است (سالنامه آماری استان مازندران، ۱۳۹۳). برای تعیین مقدار کیلو ژول مصرفی باید از روش تبدیل واحدهای اندازه‌گیری، مشخص شود که در یک مقدار معین کیلو وات ساعت مصرفی چند کیلو ژول وجود

قرار گرفته است که بخشی از آن مربوط به بخش حمل و نقل است.

#### گرمایش گازهای طبیعی

کشور ایران با دارا بودن حدود ۱۵ درصد از کل ذخائر جهان، دومین کشور جهان از حیث دارا بودن این منبع با ارزش پس از روسیه است (عباس‌پور، ۱۳۸۶). در ایران نیز سرمایه‌گذاری‌های قابل توجهی در این زمینه انجام شده و گرایش به مصرف گاز طی سال‌های گذشته، روندی رو به رشد را نشان می‌دهد. برای محاسبه میزان مصرف گاز شهر از طریق محاسبه میانگین شهرستانی و تعمیم آن به محدوده مطالعاتی، میزان سرانه مصرف سالانه گاز طبیعی شهر ساری در سال ۱۳۹۳، برابر ۱۱۳۳/۲ متر مکعب برآورد شده است (سالنامه آماری استان مازندران، ۱۳۹۳). با وجود این حقیقت که بسیاری از روستاهای استان از لوله‌کشی گاز طبیعی بی‌بهره هستند و این گمان وجود دارد که ممکن است، میزان مصرف گاز شهر ساری بیش از مقدار برآورد شده باشد، اما به نظر می‌رسد، محاسبه مقدار حداقل مصرف به میزان خیلی زیادی اطمینان بخش تر باشد. برای محاسبه زمین مورد نیاز برای جذب کربن تولید شده گازهای طبیعی به روش زیر عمل شده است:

نخست برای محاسبه تعداد مول‌ها در فوت مکعب، باید از قانون گازها استفاده کرد. این گونه که تعداد مول‌ها در فوت مکعب مساوی است با تقسیم حاصل ضرب فشار (اتمسفِر) و حجم (فوت مکعب) بر حاصل ضرب ضریب ثابت (J/mol K)  $R = 8/314$  در درجه حرارت (کلوین) که در رابطه زیر نشان داده شده است.

$$n = P \times V / (R \times T)$$

گفتنی است میانگین سالانه دمای شهر ساری برابر ۱۷/۳ درجه سلسیوس (معادل ۲۹۰/۳ کلوین) می‌باشد (اداره کل هواشناسی استان مازندران، ۱۳۹۳). همچنین هر فوت مکعب برابر ۰/۰۲۸۳۲ متر مکعب است. فشار گاز داخل لوله در منازل ۰/۲۵ psi است و از آن جایی که هر psi معادل ۱۴/۵ اتمسفر است و هر اتمسفر معادل ۱۰۱۰۰۰ پاسکال می‌باشد، بنابراین می‌توانیم مقدار زیر را نتیجه‌گیری کنیم:

با توجه به بررسی‌های صورت گرفته برای هر ۰/۰۸ هکتار زمین، یک میلیون لیتر آب مورد نیاز است (صمدپور، ۱۳۸۵).

از آنجایی که مصرف آب شهر ساری در سال ۱۳۹۳ حدود ۲۲۰۵۵/۷۵۵ هزار متر مکعب بوده است (سالنامه آماری استان مازندران، ۱۳۹۳).

(هکتار)  $۱۷۶۲ = ۱۰۰۰۰۰۰ \div ۰/۰۸ \times$  (لیتر)  $۲۲۰۵۵۷۵۵۰۰۰$

بنابراین جای پای مصرف آب شهر ساری (به هکتار) برابر است با:  $۱۷۶۲ \div ۳۰۷۴۸۳ = ۰/۰۵۷$

با توجه به جمعیت ۳۰۷۴۸۳ نفری ساکن در شهر ساری و وسعت ۴/۵ هزار هکتاری آن در سال ۱۳۹۳، به‌طور متوسط به هر یک از ساکنان آن ۰/۰۱۷ هکتار زمین اختصاص می‌یابد. بنابراین ملاحظه می‌شود که مصرف زمین ساکنان شهر ساری ۷۳/۵ برابر بیش از مساحت اشغالی کنونی شهر است و حتی چنانچه آن را با مجموع سطوح زیر کشت استان که برابر ۲۷۳۴۷۱ هکتار است مقایسه کنیم، ۰/۸۳ برابر آن خواهد بود (که از تقسیم EFP کل به مساحت زیر کشت استان به‌دست می‌آید). به این ترتیب برای تأمین نیازهای مصرفی ساکنان شهر ساری، به فضایی بیش از ۰/۸ برابر مساحت استان نیاز است. به سخنی دیگر، سامانه‌های زیستی که برای حمایت از شهر ساری لازم است، محدوده‌های بسیار فراتر از محدوده سیاسی یا جغرافیایی را در بر می‌گیرد (جدول ۴).

دارد. هر کیلووات ساعت برابر ۳۶۰۰ کیلو ژول است. مقدار مورد نظر بر مبنای رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$۶۰۴۳۵۸۷۵۶ \times ۳۶۰۰ = ۲۱۷۵۶۹۱۵۲۲۰۰۰ \text{ KJ}$$

از این‌رو می‌توان مقدار زغال سنگی که برای تولید مقدار کیلو ژول محاسبه شده، از رابطه زیر محاسبه کرد:

$$۲۱۷۵۶۹۱۵۲۲۰۰۰ \times ۰/۰۵ = ۱۰۸۷۸۴۶۰۰۰۰۰ \text{ (گرم)}$$

حال با در نظر داشتن این نکته که گیاهان حدود ۳۱/۴ درصد بازدهی تولید زغال سنگ دارند (حبیبی و همکاران، ۱۳۹۲):

$$\text{(گرم زغال سنگ)} \quad ۳۴۶۴۴۷۸۰۰۰۰۰ \times ۰/۳۱۴ = ۱۰۸۷۸۴۶۰۰۰۰۰$$

با پذیرش این که در زغال سنگ ۸۵ درصد کربن وجود دارد، به محاسبه مقدار کربن به مقیاس تن در آن می‌پردازیم: (قرخلو و همکاران، ۱۳۹۲)

$$\text{(تن کربن)} \quad ۳۴۶۴۴۷/۸ \times ۰/۸۵ = ۲۹۴۴۸۰/۶$$

در نتیجه با توجه به این نکته که هر هکتار زمین، حدود ۱/۸ تن کربن جذب می‌کند:

$$\text{(هکتار)} \quad ۲۹۴۴۸۰/۶ \div ۱/۸ = ۱۶۳۶۰۰$$

$$\text{(هکتار)} \quad ۱۶۳۶۰۰ \div ۳۰۷۴۸۳ = ۰/۵۳$$

در نتیجه، جای پای اکولوژیکی هر یک از شهروندان ساروی از نیروی برق ۰/۵۳ هکتار است.

جدول ۳- میزان مصرف حامل‌های انرژی، برق و آب شهر ساری

آب	برق	گاز طبیعی	گازوئیل	بنزین	موارد مصرفی
(متر مکعب)	(کیلو وات ساعت)	(متر مکعب)	(لیتر)	(لیتر)	
۲۲۰۵۵/۷۵۵ هزار	۶۰۴۳۵۸۷۵۶	۳۴۸۴۳۹۷۳۵	۵۰۷۳۴۶۹۵	۱۰۹۷۷۱۴۳۱	مقدار مصرف

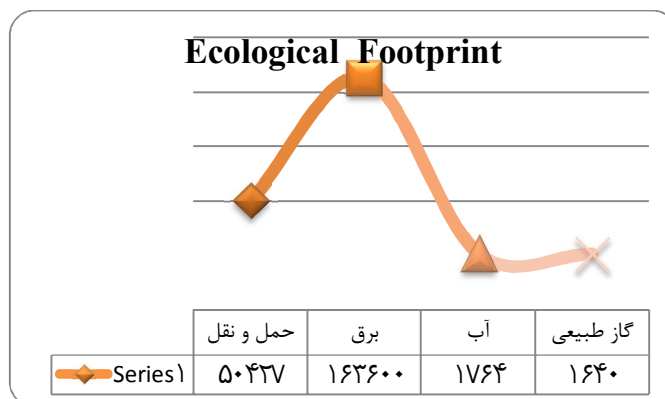
منبع: سالنامه آماری استان مازندران، ۱۳۹۳

جدول ۴- رد پای اکولوژیکی شهر ساری به تفکیک عناصر و مواد مصرفی

اجزا	EFP (به هکتار)	EF (هکتار به نفر)
حمل و نقل	۵۰۴۲۷	۰/۱۹۴
برق	۱۶۳۶۰۰	۰/۵۳
آب	۱۷۶۴	۰/۰۰۵۷

گاز طبیعی	۱۶۴۰	۰/۰۰۵۳
جمع	۲۲۶۰۰۰	۰/۷۳۵

منبع: یافته‌های تحقیق



شکل ۲- نمودار ردپای اکولوژیکی شهر ساری به تفکیک عناصر و مواد مصرفی (منبع: یافته‌های تحقیق)

۰/۵۳ هکتار بیشترین سهم را در بین سایر موارد و کمترین میزان سهم، برای مصرف گاز طبیعی به میزان ۰/۰۰۵۳ هکتار به ازای هر نفر بوده است.

برای به پایدار رسانیدن مصرف بوم‌شناسی و منابع طبیعی در دسترس شهر ساری، با توجه به مصرف ناپایدار منابع، نیازمند سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی‌های صحیح و متعادل در عرصه زیست‌محیطی و شهری هستیم؛ تا مصرف این منابع با انجام این سیاست‌ها و ابزارهای آگاهی‌دهنده در این زمینه در جهت تغییر الگوی زندگی، نحوه استفاده از حمل و نقل، آب، برق و گاز طبیعی به پایداری برسد.

با توجه به مطالعات و نتایج به‌دست آمده از این پژوهش در شهر ساری راهبردهایی چون آموزش و فرهنگ‌سازی برای مصرف بهینه هر یک از شاخص‌های به‌کار رفته در محاسبه ردپای اکولوژیکی به منظور کاهش سرانه مصرف، آموزش و اطلاع‌رسانی در مورد آثار محیط‌زیستی ناشی از بالا بودن میزان مصرف با استفاده از شاخص ردپای اکولوژیکی، فراهم آوردن اطلاعات جامع و کامل در مورد محیط‌زیست شهر ساری، توجه جدی به سیستم حمل و نقل عمومی در سطح شهر ساری، کاهش مصرف برق از طریق حذف توان راکتیو (نصب خازن)، مدیریت مصرف، استفاده از انرژی‌های نو و ایجاد، بازبینی و نصب

با توسعه شهرها و گسترش و تمرکز فعالیت‌های اقتصادی در مراکز شهری، توسعه پایدار در مفهوم توسعه پایدار شهری بیشتر مورد توجه قرار گرفت و بررسی پایداری شهرها و مناطق شهری را ضروری نمود.

یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که روش ردپای اکولوژیکی روشی مناسب برای محاسبه میان پیشرفت شهر ساری به سمت پایداری شهری در بخش‌های مختلف مصرفی از جمله انرژی است این پژوهش نشان داد که ساکنان این شهر در بهره‌برداری از منابع انرژی بسیار بیشتر از ظرفیت زیستی خود استفاده کرده‌اند به طوری که ردپای اکولوژیکی شهر ساری در منابع آب و انرژی (حمل و نقل، گرمایش گازهای طبیعی و برق)، ۰/۷۳۵ هکتار بوده است. اگرچه این موارد فهرست کاملی از مصارف شهری نیست، اما مقایسه آن با فضاهای اشغال شده شهر و حتی فضاهای پشتیبان آن مانند شهرستان و هم‌چنین استان بیانگر این است که شهر ساری برای برآوردن نیازهای خود در این منابع و پایداری خویش به منطقه‌ای فضایی بیش از ۷۳ برابر مساحت کنونی خود و فضایی بیش از ۰/۸ برابر مساحت استان نیازمند است. هم‌چنین نتایج نشان می‌دهد که از بین این موارد، میزان بالای ردپای اکولوژیکی مربوط به میزان مصرف برق با

- ۷- حسین نژاد دلیر، ک. ساسان پور، ف؛ (۱۳۸۵).  
رد پای اکولوژیکی شهرهای پایدار در کلانشهر  
تهران؛ فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، (۸۲)،  
۱۰۱-۸۳.
- ۸- حق پرست، ق، احمدی زاده، س، داودیان، ج  
، ارزیابی پایداری انرژی در توسعه شهری با  
شاخص رد پای اکولوژیکی (مطالعه موردی  
:کلان شهر مشهد)، همایش بین المللی زمین،  
فضا و انرژی پاک، دانشگاه تبریز، آبان ۱۳۹۴
- ۹- دلاور، ع. (۱۳۸۳)، روش های تحقیق پیشرفته  
تهران: انتشارات دانشگاه آزاد واحد علوم و  
تحقیقات.
- ۱۰- دمپی، ی. (۲۰۰۶). تاریخ علم. (مترجم:  
ع. آذرننگ). تهران: انتشارات سمت.
- ۱۱- رهنما، م. ر؛ عبادی نیا، ف؛ (۱۳۹۳). تحلیل  
پایداری حمل و نقل شهر مشهد با استفاده از  
روش جای پای بوم شناختی، جغرافیا و  
مخاطرات محیطی، (۱۱)، ۹۳-۱۰۵.
- ۱۲- زیاری، ک؛ (۱۳۸۹). برنامه ریزی شهرهای  
جدید. انتشارات سمت، تهران.
- ۱۳- سالنامه آماری استان مازندران، (۱۳۹۳).  
معاونت امور اقتصادی و برنامه ریزی استان  
مازندران
- ۱۴- صمد پور، پ. فریادی، ش؛ (۱۳۸۷). تعیین  
رد پای اکولوژیک در نواحی شهری پرتراکم و  
بلند مرتبه، نمونه مورد مطالعه: محل الهیه  
تهران؛ مجله محیط شناسی دانشگاه تهران،  
سال ۳۴، (۴۵)، ۶۳-۷۲.
- ۱۵- صمد پور، پ. فریادی، ش؛ (۱۳۸۹). تعیین  
تناسب بهینه استفاده از انواع شیوه های حمل و  
نقل با هدف کاهش جای پای اکولوژیک در  
شهر تهران. مجله محیط شناسی دانشگاه تهران،  
دوره ۳۶، شماره ۵۴، صص ۱۰۸-۹۷.

کنتورهای سه تعرفه، کاهش مصرف گاز از طریق ایجاد  
بانک اطلاعاتی جهت کلیه تاسیسات و تجهیزات، طراحی  
استانداردها جهت اجرای تاسیسات و افزایش عمر آن ها،  
مدیریت مصرف و ایجاد تجهیزات و تاسیسات مناسب  
جهت کاهش مصرف آب، نظیر ایجاد آگوسیستم و  
تصفیه خانه مناسب با مدیریت مصرف آب پیشنهاد  
می گردد.

## منابع

- ۱- احمدی، م؛ (۱۳۹۰). تاریخچه محلات ساری،  
پژوهشکده ساری شناسی، انتشارات آوای مسیح.  
ساری.
- ۲- ارجمندنیاء،؛ (۱۳۸۰) جای پای بوم شناسی،  
رهیافتی نو در ارزیابی تاثیر انسان بر  
محیط زیست؛ فصلنامه مدیریت شهری، سال  
دوم، (۶)، ۹۹-۹۲.
- ۳- ازانی، ا؛ (۱۳۸۵). مقایسه مدیریت سنتی و  
عصر جدید شهر اصفهان از منظر جغرافیا در  
قرن ۲۱، اولین همایش جغرافیا و قرن ۲۱،  
دانشگاه نجف آباد.
- ۴- تیموری، ا؛ (۱۳۹۳). رد پای اکولوژیکی گاز  
دی اکسید کربن سوخت های فسیلی شهر  
شیراز؛ فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال ۲۹،  
(۱)، شماره پیاپی ۱۱۲، ۲۰۴-۱۹۳.
- ۵- جمعه پور، م؛ (۱۳۹۲). بررسی وضعیت  
توسعه پایدار شهرستان رشت با استفاده از روش  
جای پای اکولوژیکی، پژوهش های جغرافیایی  
انسانی، دوره ۴۵، (۳)، ۲۰۸-۱۹۱.
- ۶- حبیبی، ک؛ رحیمی کاکه چوب، آ؛ عبدی،  
م. ح. (۱۳۹۲). ارزیابی جاپای بوم شناختی  
وسایل حمل و نقل شهری، رویکردی نوین به  
منظور برنامه ریزی حمل و نقل پایدار، نمونه  
موردی: شهر ارومیه؛ فصلنامه علمی-پژوهشی  
آمایش جغرافیایی فضا، سال دوم، (۵)، دانشگاه  
گلستان، ۹۹-۱۱۶.

- the University of Sydney, the University of Sydney press, p6.
- 28- Li X.M & et al. Urban Total Ecological Footprint by Using Radial Basis Function Neural Network ( A case Study of Wuhan City), China, Ecological Indicators, 10 , 2010: 241-248.12 - McDonald G, Patterson M . Ecological Footprints and Interdependencies of New Zealand Regions, Ecological Economics,, 2004, 50(1-2): 49-67.
- 29- Moffat I. (2000). Ecological Footprints and Sustainable Development, Ecological Economics,;359-362.
- 30- Parkin, S. (2000). Sustainable Development: the Concept and the Practical Challenge. Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Civil Engineering, 138, 3-8.
- 31- Rapport, D.J. (2000). Ecological Footprints and Ecosystem Health: Complementary Approaches to a Sustainable Future. Ecological Economics, 32, 367-370.
- 32- Rees, W. E. & Wackernagel, M. (1996). Urban Ecological Footprints: Why Cities Can not be Sustainable and Why They are a Key to Sustainability. Environmental Impact Assessment Review, 16, 223-248.
- 33- Simmons C., Lewis K. and Barrett J. (2000). Two Feet - Two Approaches: A Component-based Model of Ecological Footprinting. Ecological Economics 32. pp 375-380.
- 34- Van Vuuren D.P, Smeets E.M.W. Ecological Footprints of Benin, Bhutan, CostaRica and the Netherlands, Ecological Economics, 34, 2000: 115-130.
- 35- Wackernagel, M., 2003. Owards A Sustainable London: Eeducing the Capital Ecological Footprint,
- 36- WSP Environmental Ltd Natural Strategies LIS, London.
- 37- Wackernagel M, Ress W.E. Our Ecological Footprint, Reducing Human Impact on the Earth, New Society Publishers, Gabriola Island, Canada, 1995.
- 38- Wilson J, Anielski M. Ecological Footprints of Canadian Municipalities and Regions, The Canadian Federation Municipalities, 2005, Retrieved ferom www.anielski.com
- ۱۶- عباس پور، م.؛ (۱۳۸۶). محیط‌زیست و توسعه پایدار، انتشارات مؤسسه دانشگاه صنعتی شریف، (۱)، تهران، ۱۲.
- ۱۷- فریادی، ش. صمدپور، پ.؛ (۱۳۸۹). تعیین تناسب بهینه استفاده از انواع شیوه‌های حمل و نقل با هدف کاهش جای پای اکولوژیک در شهر تهران؛ مجله محیط‌شناسی دانشگاه تهران؛ سال ۳۶، (۵۴)، ۹۷-۱۰۸.
- ۱۸- قرخلو، م. حاتمی‌نژاد، ح. باغوند، ا. باوه، م.؛ (۱۳۹۲). ارزیابی پایداری توسعه‌ی شهری با روش جای پای اکولوژیکی، نمونه موردی: شهر کرمانشاه؛ پژوهش‌های جغرافیایی انسانی، دوره ۴۵، (۲)، ۱۰۵-۱۲۰.
- ۱۹- کیانی، م.؛ (۱۳۸۳). توسعه پایدار و بازسازی بم، آبادی، مرکز مطالعات و تحقیقات شهر سازی و معماری، سال چهاردهم، شماره ۴۲.
- ۲۰- گودرزی، م. (۱۳۷۹). توسعه پایدار منابع زیستی، مطالعه موردی حوزه سد کرخه، فصلنامه علمی، سازمان حفاظت محیط‌زیست، (۳۰).
- ۲۱- ماهفروزی، ع. زلیکانی، ر. ۱ (۱۳۹۱). ساری نگین فیروزفام گردشگری ایران، انتشارات شلفین.
- ۲۲- مطیعی لنگرودی، ح. (۱۳۸۲)، برنامه‌ریزی روستایی با تاکید بر ایران، جهاد دانشگاهی مشهد، مشهد.
- 23- Barrett J , Cherrect N , Birch R . Exploring the Application of Ecological Footprint to Sustainable Consumption Policy, University of York, 2001:234-247.
- 24- Bond S. (2002). Ecological Footprints: A Guide for Local Authorities, WWF-UK.
- 25- Ewing B, Moore D, Goldfinger S, Oursler A, Reed A, Wackernagel M. (2010). The Ecological
- 26- Godrej N. (2008). Ecological Footprint A business per person, India.
- 27- Lenzen, M, & Murry, S. (2003). The Ecological Footprint, Issues and Trends,

- 39- Zhang Y. The Change of Ecological Footprint and Its Effect on Sustainable Development in Beijing of China, Chinese Business Review, 4(10), 2005: 1-13.