

جای پای بوم شناختی (EF) به عنوان شاخص سنجش پایداری اجتماعات

محمدحسین سرایی^{1*}، عبدالحمید زارعی فرشاد²

1- استادیار جغرافیا و برنامه ریزی شهری دانشکده جغرافیا، دانشگاه یزد

2- دانشجوی کارشناسی ارشد جغرافیا و برنامه ریزی شهری دانشکده جغرافیا، دانشگاه یزد

تاریخ دریافت: 86/7/15 تاریخ پذیرش: 87/10/28

چکیده

با انتشار گزارش برانتلند، موضوع توسعه پایدار وارد مباحث و جهت گیری های دولت ها و تجارت جهانی شد و تلاش های زیادی برای ارائه تعریفی دقیق از مفهوم پایداری انجام گرفت. برای قابل اندازه گیری شدن این مفهوم و عملیاتی شدن ایده شهر پایدار، یک روش کمی جدید مورد نیاز بود، بنابراین روشی به نام «جای پای بوم شناختی» (EF) ارائه شد. روش EF توسط پروفسور ویلیام ریز و دکتر ماتیس واکرناگل در اوائل دهه 1990 ارائه شد. این روش، شاخص توسعه منابع است که تقاضای منابع انسانی را به مقدار زمینی که برای تولید منابع، تفکیک CO₂، و یا دفع مواد زاید لازم است، تبدیل می کند. در این زمینه، ریز و واکرناگل پایداری را به زبان ساده به منزله زندگی مسالمت آمیز و در حد ظرفیت طبیعت تعریف کرده اند. EF اصولاً، به عنوان روشی ساده و مناسب برای مقایسه پایداری استفاده از منابع در بین جمعیت های متفاوت، شناخته می شود. این روش هم اکنون به صورت گسترده ای به عنوان شاخص توسعه پایدار استفاده می شود. EF مصرف منابع را با مساحت زمین مورد نیاز برای به پایدار رساندن آن معادل سازی می کند و این امکان را فراهم می کند که با یک میانگین گیری، بتوان سرانه EF منطقه، یا کشور را با میانگین جهانی مقایسه کرد. سرانجام مصرف این جمعیت ها به سطحی از کره زمین قابل تبدیل است. این سطح، سپس با مقدار دقیق مساحت منطقه ای که جمعیت در آن ساکن هستند، مقایسه می شود، و درجه ناپایداری براساس تفاوت بین مساحت زمین موجود و زمین مورد نیاز (بر مبنای توان اکولوژیک) قابل محاسبه است. به عبارت ساده، جمعیت ناپایدار به جمعیت هایی گفته می شود که مقدار EF آنها از مقدار زمین در اختیارشان بیشتر است. همچنین نشان داده شده است که EF می تواند برای طراحی و برنامه ریزی خطومشی های آینده نیز مورد استفاده قرار گیرد. به طوری که EF محاسبه شده براساس این روش، تبدیل به ابزارهای آموزشی و برنامه ریزی مهمی شده اند که ناپایداری مصرف جهانی را بخوبی نشان می دهند.

کلید واژه

جای پای بوم شناختی- توسعه پایدار- مصرف منابع- مساحت سرزمینی- معادل سازی- روش EF

سر آغاز

زندگی، بویژه در جوامع شهری طی یک الی دو دهه گذشته، رهیافت توسعه پایدار به عنوان مهم ترین موضوع دهه آخر قرن بیستم، از سوی سازمان ملل مطرح شد (کاظمی و محمدی، 1380). کاربرد اصطلاح توسعه پایدار برای اولین بار در اواسط دهه 1970 به خانم «باربارا وارد» و کتاب معروف او با عنوان «تنها یک زمین» نسبت داده می شود (بدری، 1376).

ناپایداری توسعه جوامع بشری در دو قرن اخیر (پس از انقلاب صنعتی) و پیامدهای زیانبار آن که تابعی از متغیرهای جمعیت، سرانه و الگوی مصرف است، توجه به اصل پایداری را هر چه بیشتر مورد تأکید قرار می دهد. با بروز ضایعات زیست محیطی و کاهش سطح عمومی

و فلزات) بوده است. اخیراً توجهات به سوی استفاده از منابع تجدیدپذیر مختلف (بوئزه زمین و آب) تغییر یافته است (RIVM/UNEP, 1997). در این میان جای پای بوم‌شناختی در سال 1996 به وسیله پروفیسور ویلیام ریز و دکتر ماتیس واکرناگل مطرح شد و سرعت به عنوان شاخص توسعه پایدار مورد پذیرش قرار گرفت. این شاخص امروزه در بسیاری از کشورها، در سطوح ملی و محلی استفاده می‌شود. شاخص جای پای بوم‌شناختی، روشی یکپارچه مصرف منابع طبیعی و جذب ضایعات است. بدین ترتیب این شاخص، ابزاری محاسباتی برای منابع بوم‌شناختی است. EF در چند سال گذشته، مکرراً به عنوان شاخص بالقوه برای تخمین پیامدهای محیطی الگوهای تولید و مصرف استفاده شده است، و همچنین ما را قادر می‌سازد که کمبودها و منابع را به‌طور دقیق مشخص سازی (Barret, et al., 1999).

شاخص جای پای بوم‌شناختی (EF) به‌طور واضحی نشان می‌دهد که در کدام ناحیه و کجا، انسان بر روی منابع طبیعی فشار وارد می‌کند. در واقع این شاخص اندازه‌گیری مقدار استفاده اشخاص، سازمان‌ها، شهرها، مناطق، کشورها، و یا کل جمعیت انسانی از منابع طبیعی است. بدین ترتیب اندازه‌گیری جای پای فعلی و سپس محاسبه آن برای سبک زندگی خانوارهای مختلف و نیز خط‌مشی‌های دولتی، مؤثرترین روش برای محاسبه نیازهای زندگی است (Wilson, & Aneilski, 2004).

بدین ترتیب EF نه فقط برای تخمین فضای استقرار با توجه به نواحی مورد نیاز برای پایداری بشر امروزی استفاده می‌شود بلکه در مورد بررسی راهبردهای مختلف برای آینده نیز ابزار مناسبی است. EF ابزار مناسبی برای اندازه‌گیری نسبت پیشرفت پایداری جوامع نیز است. بنابراین پایداری در این شاخص، به معنی دستیابی به زندگی راضی‌کننده، بدون تحمیل به ظرفیت اکولوژیک بیشتر سیاره است (2003 Redefining progress).

به‌طور کلی بیشترین توجه به شاخص EF توسط سازمان‌های زیست‌محیطی و آموزشی صورت می‌گیرد، با این وجود دانشمندان، تصمیم‌گیرندگان و سیاستمداران به‌طور فزاینده‌ای در حال روی آوردن به این روش هستند (Van Vuuren, 1999).

از زمانی که فرمول EF در سال 1996 ارائه شد، برخی محققان به این روش انتقاد کرده‌اند، اما به‌طور کلی این شاخص را به منزله ابزار

با مطرح شدن مفهوم پایداری، این مبحث در میان دولت‌ها و برنامه‌ریزان سراسر جهان گسترش یافت، و تلاش‌های زیادی برای مشخص کردن مفهوم پایداری صورت گرفت (Wackernagel & yount, 2000).

اما این اصطلاح به‌طور رسمی در سال 1987 توسط کمیسیون برانتلند¹ در گزارش «آینده مشترک ما²» مطرح شد. رایج‌ترین تعریف توسعه پایدار در کنفرانس ریو بیان شده است، که عبارت است از «تأمین نیازهای نسل کنونی، بدون به مخاطره انداختن ظرفیت‌های نسل آتی در برآوردن نیازهایشان» (حسین‌زاده دلیر، 1383؛ مینایی، 1374) با معرفی توسعه پایدار به جامعه علمی جهان، تحقیق برای ابداع شاخص‌هایی که بتوانند در این زمینه تصمیم‌گیرندگان و برنامه‌ریزان را به‌طور کلی و دانشمندان محیط زیست را به‌طور خاص یاری دهند، در حال گسترش و پیشرفت بوده است.

در این زمینه، سه نوع نظریه را می‌توان تشخیص داد:

1- شاخص‌های به‌هم پیوسته توسعه پایدار که مثال‌هایی از این روش، شاخص³ (ISEW) برای محاسبه هزینه‌های چندگانه مصرف‌کننده توسط ضریب جینی، شاخص⁴ (GPI) که توسط کلیف کوب برای محاسبه اوقات فراغت و هزینه‌های بیکاری ارائه شده است و بانک جهانی شاخص "ثروت ملت‌ها" است (Ecotec-uk, 2001).

2- یک چارچوب ارزیابی جامع که اخیراً ارائه و بسط یافته است و به‌طور سازمان‌یافته شاخص‌هایی از این سیستم منتج شده‌اند. مثال این روش، گزارش گروه بالاتن است (Meadows, 1998).

3- مجموعه‌ای از شاخص‌های توسعه پایدار مبنی بر توافق کلی و بدون جامعیت، که این نیز اخیراً در حال گسترش است مانند پروژه کمیسیون توسعه پایدار سازمان ملل متحد⁵ (UN.CSD) در زمینه شاخص توسعه پایدار (این کمیسیون شاخص‌های استاندارد را برای محاسبه توسعه پایدار به کشورهای جهان ارائه می‌دهد)، پروژه پایداری سیاتل و شاخص جای پای بوم‌شناختی⁶ (این شاخص برای محاسبه مقدار نیاز انسان به منابع اکولوژیکی و برآورد پایداری، یا عدم پایداری مصرف جمعیت‌ها در سطح ملی، منطقه‌ای و محلی ارائه شده است).

از مهم‌ترین اهداف شاخص‌های توسعه پایدار، این است که بتوان آنها را در مورد هدایت تصمیمات توسعه جدید، مورد استفاده قرار داد (فرجام، 1385). بنابراین مهم‌ترین جنبه توسعه پایدار، مدیریت منابع است. در گذشته، تمرکز مدیریت منابع بیشتر روی منابع تجدیدناپذیر (مانند انرژی

3- شاخص جای پای بوم‌شناختی نشان‌دهندهٔ برخوردی است که هر یک از ما به واسطهٔ شیوه‌های زندگی‌مان به طبیعت و سیاره داریم.

4- شاخص جای پای بوم‌شناختی اندازه‌گیری کل زمین‌های مولد اکولوژیک مورد نیاز برای تولید مداوم منابع مصرفی و جذب و تبدیل مواد زاید تولید شده توسط جمعیت یک ناحیه است.

5- کل اکراهایی⁹ که برای تولید منابع مصرفی جمعیت و جذب مواد زاید تولید شده معادل EF آن جمعیت است (Cheal Ryu, 2005).

6- EF گردآوری ماتریسی است که در آن مشخص شده که چه مقدار از مساحت زمین به چه نوع مصارفی اختصاص یافته است. به منظور محاسبهٔ سرنانهٔ EF، کل مساحت زمین‌ها جمع و به جمعیت تقسیم می‌شود، و سرنانه به هکتار جهانی (Gha) داده می‌شود.

طبقه‌بندی زمین در روش EF

ریز و واکرناگل (1993، 1996) الگویی برای محاسبه EF با استفاده از ماتریس مصرف- کاربری اراضی ارائه داده‌اند که شامل:

الف - طبقه‌بندی‌های مصرف که عبارتند از: غذا، خانه، حمل و نقل، کالاهای مصرفی، خدمات و مواد زاید.

ب - طبقه‌بندی کاربری اراضی که به‌طورکلی شامل شش جزء جداگانه است. و کلیه کالاهای و خدمات مصرفی که انسان در طول زندگی استفاده می‌کند، باید در این شش جزء گنجانده شود (در ادامه فرمول آن ارائه می‌شود) (Cheal Ryu, 2005).

1- زمین کشاورزی: مساحت زمینی که برای تولید محصولاتی که افراد جامعه مصرف می‌کنند مورد نیاز خواهد بود.

2- زمین انرژی (جذب CO₂): مساحت جنگلی که برای جذب CO₂ ناشی از مصرف سوخت به طور مستقیم و غیرمستقیم، توسط افراد جامعه مورد نیاز خواهد بود. این مورد بیشترین بخش از EF کشورهای اروپایی را شامل می‌شود.

3- زمین مرتع: مساحت مرتعی که برای پرورش دام مورد نیاز و تولیداتشان، برای جمعیت منطقه، یا کشور مورد نیاز خواهد بود.

4- زمین جنگلی: مساحت جنگلی که برای تولید چوب و کاغذ، مورد نیاز خواهد بود.

5- پهناهای آبی: مساحت دریایی که برای تولید ماهی و غذاهای دریایی، برای جمعیت منطقه یا کشور مورد نیاز خواهد بود.

برنامه‌ریزی، آموزشی و تعیین‌کنندهٔ خط مشی آینده تأیید کرده‌اند (Van den, 1999 & Moffat, 2000 & Lenzen, 2003).

ما در این مقاله در پی آن هستیم تا روش‌شناسی و نحوهٔ تبدیل منابع مصرفی به واحد مساحت این شاخص را معرفی کنیم.

ادبیات تحقیق

روش‌های زیادی برای اندازه‌گیری واکنش ما در برابر طبیعت وجود دارد، که یکی از آنها، شاخص جای پای بوم‌شناختی (EF) است. در واقع یک جای‌پای، اندازه‌گیری تقاضای پیوسته بوم‌شناختی در ارتباط با فعالیت‌های انسانی در ناحیهٔ بوم‌شناختی به منظور تأمین منابع مصرفی و جذب مواد زاید تولید شده، با فناوری رایج است (Kitzes, 2006). چندین سازمان قبلاً محاسبه EF را در سطوح مختلف فردی و شهری تا سطح جهانی استفاده کرده‌اند (Milieudienst & Wackernagel, 1998).

از جمله تحقیقاتی که با روش جای پای بوم‌شناختی انجام گرفته بدین قرار است: در سطح جهانی، گزارش سالانهٔ سیارهٔ زنده⁷ توسط WWF ارائه شده است. در این پروژه جای پای بوم‌شناختی و ظرفیت زیستی کلیهٔ کشورهای جهان به طور سالانه شامل زمین کشاورزی، مرتع، جنگل، کربن، فوت‌پرینت زمین ساخته شده و تولید زیستی دریا با استفاده از اطلاعات سازمان ملل بررسی شده است. اندازه‌گیری EF یک مرکز توریستی در هیمالیا (Sinclair, & Cole, 2002)؛ تحلیل EF شهر ازیکس⁸ - شرق انگلیس (Vergoulas, & Simmons, 2004)؛ کاربرد EF در دو ناحیهٔ شهری ایرلند (Walsh, & others, 2006)؛ EF کینگستون (Birch, 2006). در ایران نیز رساله دکتری، خانم فرزانه ساسان‌پور با عنوان "بررسی پایداری کلانشهر تهران با روش جای پای بوم‌شناختی" در همین ارتباط است (ساسان‌پور، 1385).

تعاریف شاخص جای پای بوم‌شناختی

تاکنون تعاریف متعددی از سوی دانشمندان برای شاخص جای پای بوم‌شناختی ارائه شده است که به قرار زیر است:

1- شاخص جای پای بوم‌شناختی بیشتر به عنوان روشی ساده و ظریف برای مقایسهٔ پایداری منابع مورد استفاده در میان جمعیت‌های مختلف استفاده می‌شود (Rees, 1992).

2- شاخص جای پای بوم‌شناختی همچنین به منزلهٔ مقدار زمین مورد نیاز برای مصرف جمعیت و جذب مواد زاید آنها نیز تعریف شده است (Wackernagel, & Rees, 1996).

2- روش استقرایی، یا تفضیلی: این روش توسط سیستم مشاوره‌ای انگلیسی «BFF¹⁰» گسترش یافته است، و EF جمعیت‌های منطقه‌ای، تولیدات، کارخانه‌ها و خانواده‌ها را محاسبه می‌کند. در زیر، روش‌شناسی و مفهوم هر دو نظریه توضیح داده می‌شود.

روش قیاسی یا ترکیبی

هدف از این روش، استفاده از داده‌های استاندارد شده بین‌المللی برای رسیدن به یک EF دقیق است. این روش توسط WWF¹¹ و با استفاده از اطلاعات سازمان ملل در مورد تولیدات کشاورزی، تولیدات جنگلی، مساحت زمین ساخته شده و تجارت، برای کلیه کشورهای استفاده شده است. در روش قیاسی به دلیل این که سازمان‌ها و مناطق از طریق داده‌های تجارت ملی محاسبه می‌شوند، از آن به عنوان روش بالا به پایین نام می‌برند. علت توجه به کشورهای نیز بدان علت بوده که در این روش نیازی به شناسایی این که کدام یک از بخش‌ها، کارخانه‌ها، یا مناطق دارای منابع ویژه، چه مقدار مساحت دارند و یا آلودگی ایجاد کرده‌اند، نیست و همچنین نیازی به آگاهی داشتن از کاربرد موردهای مطالعاتی نیست. برای مثال محققان برای تخمین EF جامعه یا محل، با تخمین EF ملی شروع می‌کنند و سپس آن را با شاخص‌های موجود و مناسب محلی مانند جمعیت، درآمد خانواده، هزینه‌های خانواده، میانگین مساحت خانه، استفاده از برق و تولید مواد زائد تطبیق می‌دهند (Ecotec-uk, 2001).

روش استقرایی یا تفضیلی

این روش برای ارزیابی جمعیت (منطقه‌ای)، یا تولید است، و طبقه‌بندی‌های مصرف در آن به ترتیب اجزا تفکیک شده‌اند. این روش اجازه می‌دهد تا فعالیت‌هایی مانند مسافرت با ماشین و غیره توسط EF محاسبه شود. در این روش داده‌های بیشتری نسبت به روش ترکیبی لازم است و معمولاً مجموعه آمارهای ملی برای جریان‌های مواد و انرژی در سطح منطقه‌ای وجود ندارد. روش استقرایی به مقدار زیادی به اطلاعات تجاری و تبدیل تولیدات جمعیت به مصرف متکی است. اما اطلاعات مربوط به تولید، مصرف، یا تجارت در سطح منطقه‌ای به آسانی موجود نیست. اما این امکان وجود دارد که شهرداری‌ها بتوانند شروع به جمع‌آوری اطلاعات مربوط به کالاها و خدمات تولیدی و همچنین داده‌های تجاری در قلمرو تحت نفوذشان در مقایسه با سطح ملی کنند. اساس روش استقرایی، تحلیل چرخه زندگی با موردهای مصرفی و غیره در آن است. این روش، روش‌شناسی پایین به بالا دارد، بدین صورت که

6- ناحیه ساخته شده: مساحت زمینی که برای ساخت‌وساز ساختمان‌ها و زیرساخت‌های سکونتگاهها مورد نیاز خواهد بود. اطلاعات در مورد زمین ساخته شده معمولاً اندک است و بیشتر از طریق تفسیر عکس‌های ماهواره‌ای انجام می‌شود (شکل شماره 1) (world Wild Fund for Nature, 2000).



شکل شماره (1): جای پای بوم‌شناختی

مجموع زمین‌های مورد نیاز در طبقه‌بندی‌های فوق، مقدار کل EF جامعه را نشان می‌دهد. تقاضا برای هر کدام از این زمین‌ها با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\text{صادرات} - \text{واردات} + \text{مقدار تولید} = \text{مقدار زمین مورد نیاز}$$

بدین ترتیب تقاضا برای زمین کشاورزی از رابطه زیر به دست می‌آید.

صادرات آن کالاها - واردات کالاهای کشاورزی + کل محصول تولید شده = مقدار زمین مورد نیاز برای کشاورزی، مقدار کل تولید محصول با تقسیم به میانگین محصول جهانی، به دست می‌آید. این محاسبه برای کل محصولات تکرار می‌شود.

روش‌شناسی

از زمانی که روش EF توسط بنیانگذاران آن یعنی ریز و واکرنگال ارائه شد، کتاب‌های زیادی در روش‌شناسی آن ارائه شده است (Wackernagel, Rees, 1996 & Chambers, et al., 2000).

به طور کلی دو نظریه مشخص برای محاسبه شاخص جای پای بوم‌شناختی (EF) وجود دارد.

1- روش قیاسی، یا ترکیبی: این روش توسط بنیانگذاران مفهوم EF - ویلیام ریز و ماتیس واکرناگل - با استفاده از کل داده‌های اقتصادی کشور برای محاسبه EF ملی ارائه شده است.

ابتدا مقدار فعالیت انجام شده به واسطه جمعیت تعیین می‌شود؛ سپس این فعالیت‌ها به انرژی و کاربری‌های اراضی اصلی (جدول شماره 1) تبدیل

جدول شماره (1): موارد جزئی ملاحظه شده در 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 زاید بازیافت شده (شیشه)	مواد زاید بازیافت شده (کاغذ و کارت)
مواد زاید بازیافت شده (فلزات)	مواد زاید بازیافت شده (کامپوزیت)	مواد زاید بازیافت شده (دیگر)		آب
مواد زاید (دیگر)	مواد زاید (خانگی)	مواد زاید (تجاری)		

(Simmons, et al., 2000)

مزایای استفاده از شاخص EF

- 1- با استفاده از واحد اندازه‌گیری یکسان در سطح جهانی، مقایسه نواحی برای بارگذاری اکولوژیک آسان شده است.
- 2- EF مفهومی جاری است که می‌توان آن را با دیگر روش‌ها مانند GDP¹² و HDI¹³ مقایسه کرد.
- 3- EF را می‌توان در همه سطوح فضایی و بخش‌های فعالیتی استفاده کرد.
- 4- مشکلاتی در دستیابی به داده‌ها و روش‌شناسی وجود دارد، اما محققان در این زمینه در حال پیشرفت هستند. و به طور پیوسته این شاخص بهنگام و بهبود می‌یابد.
- 5- EF به ما نشان می‌دهد که در آینده باید چه کار انجام دهیم، همچنین خط مشی‌هایی برای تغییر مقولات اصلی مصرف فعلی را بیان می‌کند. این شاخص ظرفیت زیستی جهانی موجود را نیز به ما نشان می‌دهد (Moffat, 2000).

معایب شاخص EF

- 1- این شاخص بیشتر روی مسائل کمی تأکید دارد و کمتر مسائل کیفی را در نظر می‌گیرد.
- 2- شاخص EF تغییر فناوری را نادیده می‌گیرد.
- 3- این شاخص همچنین منابع زیرزمینی را نادیده می‌گیرد.
- 4- این شاخص در سطح منطقه‌ای بیشتر روی احتمالاتی است که اتفاق می‌افتد، که قسمتی از آن ناشی از کمبود اطلاعات در سطح محلی و منطقه‌ای است (Moffat, 2000).

نحوه محاسبه شاخص جای پای بوم‌شناختی

برای محاسبه شاخص EF باید به روش زیر اقدام کرد:

می‌شوند و سرانجام به واحد مساحت جهانی تبدیل می‌شوند، تا اجازه مقایسه با سایر بخش‌ها، سازمان‌ها و مناطق را بدهد. این روش تصویر کامل‌تری از برخوردهای مربوط به تولید مواد و نیز تفاوت معنی‌داری بین تولیدات اولیه (تولیدات کشاورزی و معدنی) و تولیدات ثانویه (تولیدات صنعتی) را می‌دهد. مثلاً برای محاسبه EF کاغذ، در کشور در روش قیاسی، ما باید اطلاعاتی در مورد کل میزان مصرف آن داشته باشیم. اما در مقابل در روش استقرایی، ما نیاز به به این شناخت داریم که چه بخش‌هایی، مصرف کاغذ را برای چه هدفی به کار برده‌اند.

در محاسبه CO₂ با استفاده از روش قیاسی، ما فقط به مقدار کل انتشار CO₂ در کشور نیاز داریم، اما در روش استقرایی ما باید بدانیم میزان انتشار CO₂ در هر بخش چه مقدار است.

سیمونز عقیده دارد که روش استقرایی، نباید به عنوان مدل کامل و جایگزینی برای روش قیاسی، یا ترکیبی تصور شود، بلکه هر دو دارای مزایا و معایبی هستند. برای مثال در روش استقرایی، EF‌های جزئی برای کارها و تولیدات بشمار محاسبه شود، اما ابهام زیادی دارد. درحالی‌که در روش قیاسی با این‌که نتایج آن دارای ارزش زیادی است، اما بیشتر در مورد کلیات است و برای جزئیات قابل اطمینان نیست.

بدین ترتیب با ترکیب کاربرد (که از ویژگی‌های روش استقرایی است) و دقت (از ویژگی‌های روش قیاسی است) به روش تلفیقی می‌رسیم. اما باید توجه داشت که اصل مهم در این تلفیق، درجه اهمیت روش استقرایی در مقابل روش قیاسی است (ECOTEC-UK, 2001).

مرحله اول - محاسبه مقدار سرانه EF موردهای مصرفی مختلف، با استفاده از رابطه زیر:

$$A_i = \frac{C_i}{Y_i} = \frac{(P_i + I_i + E_i)}{(Y_i + N)} \quad \text{رابطه (1)}$$

که i = نوع مورد مصرفی

Y_i = میانگین سالانه تولیدی مورد مصرفی i از نواحی تولید بیولوژیکی $\left(\frac{Kg}{hm^2}\right)$

C_i = مقدار سرانه مورد مصرفی i

A_i = مقدار تبدیل شده سرانه EF مورد مصرفی i

P_i = مقدار تولید سالانه مورد مصرفی i

I_i = مقدار واردات مورد مصرفی i

E_i = مقدار صادرات مورد مصرفی i

N = تعداد جمعیت

مرحله دوم - محاسبه EF با استفاده از رابطه زیر:

رابطه (2)

$$ef = \sum r_j A_i = \sum_{j=1}^6 r_j \frac{(P_i + I_i - E_i)}{(Y_i \times N)}$$

ef = سرانه EF (H برای هر نفر)

r_j = ضریب تعادل¹⁴ (جدول شماره 2).

جدول شماره (2): ضریب تعادل و بازدهی انواع شش گانه

کاربری اراضی در شاخص EF

کاربری اراضی	ضریب تعادل	ضریب بازدهی
زمین کشاورزی	2/1	0/98
زمین مرتع	0/5	1/81
زمین جنگل	1/4	0/82
پهنه‌های آبی	0/4	3/39
نواحی ساخته شده	2/2	0/98
زمین انرژی	1/4	-

(Wackernagel, et al., 2005)

کل جمعیت در ناحیه عبارت است از:

رابطه (3) $ef = N \times ec$ شناسی شماره

ef : EF کل جمعیت است.

N : تعداد جمعیت

مرحله سوم - محاسبه ظرفیت تحمل بوم‌شناختی:

ظرفیت تحمل بوم شناختی، حداکثر جمعیتی است که به وسیله منابع محدود ناحیه تأمین می‌شوند، به طوری که تولید اکولوژیک ناحیه دچار آسیب نشود. در محاسبه ظرفیت تحمل بوم‌شناختی کشورها، یا مناطق مختلف، نه تنها ظرفیت بوم‌شناختی زمین کشاورزی، مرتع، جنگل، ناحیه ساخته شده و پهنه‌های آبی به طور گسترده‌ای مختلف است، بلکه بازدهی بوم‌شناختی نیز به طور چشمگیری مختلف است. بدین ترتیب، نواحی تولید اکولوژیکی کشورها و مناطق مختلف نمی‌توانند به طور مستقیم مقایسه شوند. بنابراین به تطبیق انواع زمین نیاز داریم.

اختلافات بین تولید منطقه‌ای و میانگین تولید جهانی می‌تواند با «ضریب بازدهی» تصحیح شود. برای محاسبه دقیق باید 12٪ از ناحیه تنوع زیستی را زمانی که ظرفیت تحمل بوم شناختی محاسبه می‌شود، کم کرد.

در نتیجه فرمول محاسبه سرانه ظرفیت تحمل بوم‌شناختی عبارت خواهد بود از:

$$ec = a_j \times r_j \times y_j \quad \text{رابطه (4)}$$

($j=1, 2, \dots, 6$)

ec : سرانه ظرفیت تحمل بوم‌شناختی (H برای هر نفر)

a_j : سرانه ناحیه تولید بیولوژیکی

r_j : ضریب تعادل

y_j : ضریب بازدهی¹⁵

بنابراین محاسبه ظرفیت تحمل بوم شناختی عبارت خواهد بود از:

$$EC = N \times (ec) \quad \text{رابطه (5)}$$

EC : ظرفیت تحمل بوم شناختی منطقه‌ای جمعیت است

N : تعداد جمعیت

مرحله چهارم - محاسبه کاهش، یا افزایش بوم‌شناختی

اگر در محاسبه، EF بیشتر از ظرفیت تحمل بوم‌شناختی منطقه باشد، کمبود بوم‌شناختی وجود خواهد داشت. ولی در صورتی که EF کمتر

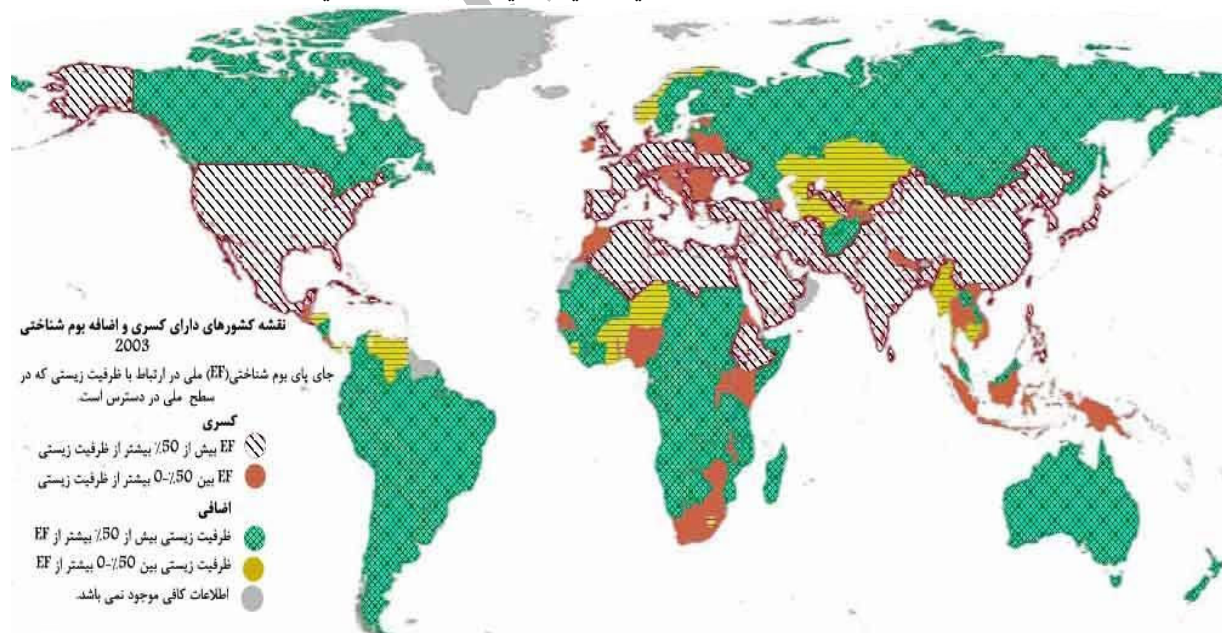
از ظرفیت تحمل بوم‌شناختی منطقه باشد، افزایش بوم‌شناختی وجود خواهد داشت (جدول شماره 3 و نقشه شماره 1) (Zhang, 2005).

جدول شماره (3): EF و ظرفیت زیستی تعدادی از کشورهای مختلف جهان

کشور	کل EF	سرنه EF (هکتار/)	ظرفیت زیستی	کاهش یا افزایش
جهان	14073	2/2	1/8	-0/4
ایالات متحده امریکا	2819	9/6	4/7	-4/8
چین	2152	1/6	0/8	-0/9
هند	802	0/8	0/4	-0/4
روسیه	631	4/4	6/9	-2/5
ژاپن	556	4/4	0/7	-3/6
برزیل	383	2/1	9/9	7/8
ایران	-	2/4	0/8	-1/6
آلمان	375	4/5	1/7	-2/8
فرانسه	339	5/6	3/0	-2/6
انگلستان	333	5/6	1/6	-4
مکزیک	265	2/6	1/7	-0/9
کانادا	240	7/6	14/5	6/9
ایتالیا	239	4/2	1/0	-3/1

Living planet report (2006)

نقشه شماره (1): نقشه کشورهای دارای کسری و اضافه بوم‌شناختی



Living planet report (2006)

EF مجموع کل جای پای بوم شناختی است که توسط ضریب تعادل (a_k) و جای پای زمین نوع k محاسبه شده است.

رابطه (8) ضریب تعادل \times مساحت ناحیه = EF (gha)

نمودار (1) مشخص می‌سازد که بیشترین مقدار ظرفیت زیستی در ایران (طی سالهای 1355 تا 1380) مربوط به سال 1355 و به مقدار 1/16 هکتار برای هر نفر است و کمترین مقدار آن مربوط به سال 1375 و به مقدار 75/ هکتار است. همان‌طور که نمودار نشان می‌دهد، بیشترین مقدار ظرفیت زیستی مربوط به زمین‌های کشاورزی است.

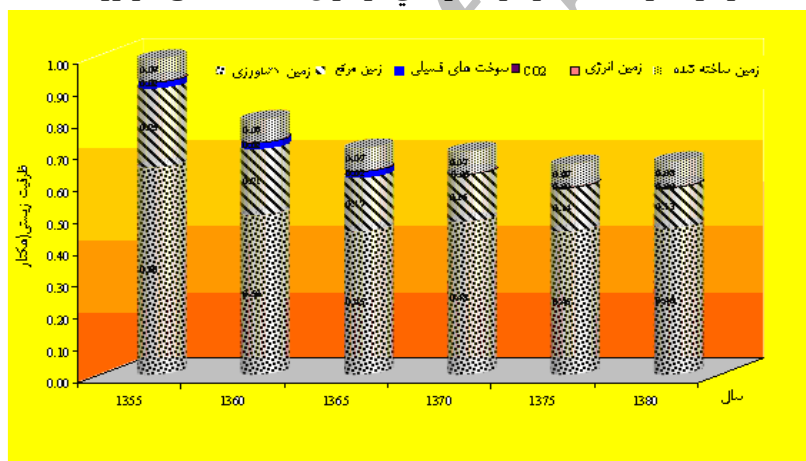
همچنین می‌توان با این مدل نیز در حرکت استقرایی مقدار EF را به دست آورد.

$$EF = \sum a_k \cdot ef_k \quad \text{رابطه (6)}$$

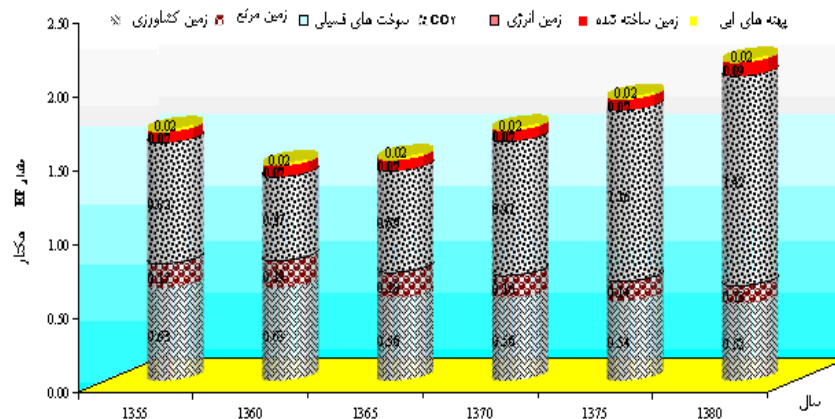
$$ef_k = \sum_{i=1}^n \left(\frac{c_i}{p_i} \right) \quad \text{رابطه (7)}$$

در این مدل ef_k جای پای بوم شناختی زمین نوع k است. ef اشغال شده توسط تولید محصول i که با تقسیم مقدار کالا (c_i) به میانگین محصول زمین (p_i) محاسبه می‌شود.

نمودار شماره (1): مقدار ظرفیت زیستی در ایران به تفکیک منابع اکولوژیک



نمودار شماره (2): مقدار ظرفیت زیستی در ایران به تفکیک منابع اکولوژیک



مقدار مصرف منابع در حال افزایش است و نمودار حالت صعودی دارد. این حالت مبین عدم پایداری مصرف منابع اکولوژیک در ایران است.

نتیجه گیری

شاخص جای پای بوم شناختی در زمانی که جهان به سوی مصرف بی رویه منابع غیرقابل تجدید روی آورده و همچنین نظریات اقتصاد نئوکلاسیک با تکیه بر رشد، کشورها را به این طرف سوق می داد، ارائه شد. این شاخص یکی از روش های جدید در اندازه گیری مصرف منابع طبیعی توسط جمعیت هر ناحیه، یا کشور و فشار وارده بر نظام اکولوژیک جهان است؛ و توسط کشورهای جهان در مقیاس های مختلفی استفاده

با بررسی نمودار شماره (2) مشخص می شود که بیشترین مقدار مصرف منابع اکولوژیک (EF) مربوط به سال پایانی دوره مورد بررسی یعنی سال 1380 و به مقدار 2/18 هکتار برای هر نفر است و کمترین آن مربوط به سال 1360 و به مقدار 1/48 هکتار است. با مقایسه دو نمودار نمایان می شود که ظرفیت زیستی منابع اکولوژیک ایران طی دوره مورد مطالعه و سالهای پایانی دوره مورد بررسی (1380) نقصان می یابد؛ اما مقدار EF نسبت به ظرفیت زیستی چنانچه در نمودار شماره (2) نیز مشخص است سیری بالعکس طی کرده است، یعنی با رسیدن به سالهای پایانی دوره مورد بررسی

6-Ecological Foot print

7-Living Planet Report

8-Essex

9- هر آکر حدود نیم هکتار است

10-Best foot forward

11-World Wild Fund for Nature

12-Gross Domestic Products

13-Human Development Index

14-Equivalence Factor

15-Yield Factor

شده است. با توجه به فقر منابع در جهان و بخصوص در کشورهای گرمسیری، نیمه گرمسیری و نیمه معتدل، این شاخص راه حل مناسبی برای مصرف بهینه و پایداری منابع و همچنین درک چگونگی بهره‌برداری از منابع درون کشورها و در نظام جهانی به وجود می‌آورد.

یادداشت‌ها

1-Brandtland

2-Our Common Future

3-Index of Sustainable Economic Welfare

4-Genuine Progress Indicator

5-United Nations Commission on Sustainable Development

منابع مورد استفاده

بدری، ع. 1376. توسعه پایدار، مفهوم، ارزش و عمل، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره پیاپی 44، ص 45.

حسین‌زاده دلیر، ک. 1383. برنامه‌ریزی ناحیه‌ای، سمت؛ تهران، ص 93.

ساسان‌پور، ف. 1385. بررسی پایداری کلانشهر تهران با روش جای پای بوم‌شناختی؛ پایان نامه دکتری جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه تبریز؛ تبریز.

فرجام، ر. 1385. شاخص‌هایی برای توسعه پایدار در نواحی شهری و طرح‌ریزی شهرهای پایدار؛ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان فارس؛ ص 32.

مجله محیط‌شناسی شماره

24

کاظمی، م.، محمدی، م. 1380. توسعه پایدار شهری، مفاهیم و دیدگاهها؛ فصلنامه تحقیقات جغرافیایی؛ شماره پیاپی 62؛ ص 96.
مینایی، و. 1374. توسعه پایدار گردشگری؛ ماهنامه اطلاعات سیاسی-اقتصادی؛ شماره 95-96؛ ص 134.

Barret, J., N., Charret. and R., Birch. 1999. Exploring The Application of the Ecological FootPrint to Sustainable consumption policy. University of York. Stockholm Environment Institute.

Birch, R. 2006. The Ecological Footprint of Kingston. Stockholm Environment Institute.

Chambers,N., C.,Simmons and M.,Wackernagel.2000.Sharing Nature's Interest: Ecological footprints as an indicator of sustainability. Earthscan, London.

Cheal ryu,H.2005. Modeling the per Capita Ecological Footprint for Dallas County, Texas: Examining Demographic, Environmental Value, Land-Use, and Spatial. M&S. Dissertation. University of Texas.

Cole,V. , J.,Sinclair.2002. Measuring the Ecological Footprint of a Himalayan Tourist Center. Mountain Research and Development Vol. 22 No. 2. Pp.132–141.

Ecotec-uk. 2001. Ecological Footprint. Editor, George Graham. European parliament.

Kitzes,J., S.,Goldfinger .2006. Measuring Marin County's Ecological Footprint. County of Marin Community Development Agency.

Lenzen,M., M.,Shauna.2003. The Ecological Footprint – Issues and Trends. University of Sydney.

Meadows,D.1998. Indicators and Information Systems for Sustainable Development. A report to the Balaton Group. The Sustainability Institute. Hartland Four Corners. U.S.A.

Milieudienst Amsterdam. Milieuverkenning. 1998. Environment Department of Amsterdam City Council. The Netherlands.

Moffat,I.2000. Ecological Footprints and Sustainable Development. Ecological Economics 32. Pp.359-362.

Redefining Progress .2003. Accelerating Sustainability with Local Footprints, Sustainability Program Ecological
25 جای پای بوم شناختی (EF) به عنوان شاخص سنجش

Footprint Accounts. www.rprogress.org

Rees,W.E.1992. Ecological footprint and appropriated carrying capacity: what urban economics leave out?
Environ. Urban. 4 (2). Pp. 120-130.

RIVM/UNEP.1997. The Future of the Global Environment: A Model-based Analysis Supporting UNEP's First Global Environmental Outlook.

Simmons,C., K.,Lewis, and J.,Barrett.2000. Two feet - two approaches: a component-based model of ecological footprinting. *Ecological Economics* 32. Pp. 375-380.

Van den,B. & et al. 1999. Spatial sustainability, trade and indicators: an evaluation of the ‘ecological footprint.’ *Ecological Economics*, 29. Pp.61–72.

Van Vuuren,D.P. & et al. 1999. *The Ecological Footprint of Benin, Bhutan, Costa Rica and the Netherlands.* Institute of man and environment.

Vergoulas,G. , C.,Simmons.2004. An ecological footprint analysis of Essex - East England. Essex County Council.

Wackernagel,M. & et al.2005. National Footprint and Biocapacity Accounts 2005: The underlying calculation method. *Ecological FootPrint Network*.

Wackernagel,M. , J.D.,Yount.1998. The ecological footprint: an indicator of progress toward regional sustainability. *Environmental Monitoring and Assessment*, 51. Pp.511-529.

Wackernagel,M. , D.,Richardson.1998. How to calculate a Household’s Ecological Footprint. Anahuac University of Xalapa and University of Texas (draft).

Wackernagel,M. , W.,Rees.1996. *Our ecological footprint: reducing human impact on the earth.* Gabriola Island, Canada: New Society Publishers.

Walsh,C., et al.2006. The application of the Ecological Footprint in two Irish urban areas: Limerick and Belfast. *مجله محیط شناسی شماره 50* 26

Irish Geography. Vol. 39(1).Pp. 1-21.

Wilson,J. , M.,Anielski.2004. Ecological Footprint of Canadian municipalities and Region. *The Federation of Canadian Municipalities*.

World Wide Fund for Nature. 2000. *Living Planet Report 2000*.

World Wide Fund for Nature. 2006. *Living Planet Report 2006*.

Zhang, Y. 2005. The Change of Ecological Footprint and Its Effect on Sustainable Development in Beijing of China. Chinese Business Review. Vol. 4. No.10.

Archive of SID