محیط‌شناسی، دورهٔ ۴۳، شمارهٔ ۲، تابستان ۱۳۹۶، صفحهٔ ۳۱۶-۳۰۳

ارزیابی اثرهای محیط‌زیستی با استفاده از روش جای پای بوم‌شناختی (مطالعهٔ موردی: فعالیت دانشکدهٔ مهندسی انرژی دانشگاه صنعتی شریف)

امیررضا حیدری[۱]، اکرم عوامی[۲]*، و محمد آقچه‌لو[۳]

۱. دانشجوی کارشناسی‌ارشد، مهندسی سیستم‌های انرژی، دانشکدهٔ مهندسی انرژی، دانشگاه صنعتی شریف (heidari@energy.sharif.edu)

۲. استادیار، گروه مهندسی سیستم‌های انرژی، دانشکدهٔ مهندسی انرژی، دانشگاه صنعتی شریف

۳. دانشجوی کارشناسی‌ارشد، مهندسی سیستم‌های انرژی، دانشکدهٔ مهندسی انرژی، دانشگاه صنعتی شریف (m.aghchehlo66@gmail.com)

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۵/۰۶/۲۶ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۰۵/۰۳

چکیده

جای پای بوم‌شناختی شاخصی است که برای کمّی‌سازی اثرهای محیط‌زیستی زندگی انسان‌ها استفاده می‌شود. در این پژوهش، شاخص جای پای بوم‌شناختی برای ارزیابی تأثیرات محیط‌زیستی فعالیت‌های دانشکدهٔ مهندسی انرژی دانشگاه صنعتی شریف استفاده شده است. بدین منظور داده‌های مورد نیاز، از قبیل مصرف انرژی و آب و تولید پسماند دانشکده به‌صورت مستقیم جمع‌آوری شد. همچنین، برای محاسبهٔ مصرف غیرمستقیم انرژی ناشی از حمل‌ونقل دانشجویان، پرسشنامه‌ای تهیه و از نتایج آن برای تخمین مصرف سالانهٔ انرژی در هر یک از روش‌های حمل‌ونقل استفاده شد. در نهایت، با استفاده از روش استاندارد، شاخص جای پای بوم‌شناختی برای فعالیت‌های دانشکده محاسبه شد. نتایج حاکی از آن است که جای پای بوم‌شناختی دانشکده معادل با ۴۱۴۵۶٫۳۷ هکتار در سال و بخش عمدهٔ آن مربوط به مصرف گاز و برق دانشکده است. لذا، کاهش مصرف انرژی ساختمان تأثیر چشمگیری در کاهش این شاخص خواهد داشت. همچنین، افزایش درصد بازیافت زباله و نیز افزایش استفاده از حمل‌ونقل عمومی از دیگر راهکارهای کاهش این شاخص است. میزان تأثیر هر یک از این راهکارها در کاهش جای پای بوم‌شناختی دانشکده به تفصیل بررسی شده است.

کلیدواژه

ارزیابی اثرهای محیط‌زیستی، جای پای بوم‌شناختی، دانشکده، مصرف انرژی.

مقدمه

جای پای بوم‌شناختی یکی از مهم‌ترین ابزارهای بررسی تأثیر انسان بر طبیعت است که به کمک آن، میزان تأثیر انسان بر طبیعت بر مبنایی ساده بیان می‌شود (Wackernagel et al., 1999). در این روش فرض می‌شود که برای تولید انرژی یا مواد مورد نیاز و جذب پسماندهای تولیدی، مقدار معینی از زمین در یک یا چند دسته زیست‌بوم مورد نیاز است (Wackernagel & Rees, 1998). این شاخص به ما نشان می‌دهد که سطح مصرف ما از منابع، بیشتر یا کمتر از محدودیت‌های بوم‌شناختی کرهٔ زمین است (Ewing et al., 2010).

هدف جای پای بوم‌شناختی برقراری تعادل بین «مصرف منابع و تولید ضایعات به‌وسیلهٔ انسان‌ها» و «تولید منابع و جذب ضایعات به‌وسیلهٔ طبیعت» است (خاکپور و

* نویسنده مسئول: Email: heidari@energy.sharif.edu

همکاران، ۱۳۹۳). جای پای بوم‌شناختی اکنون شاخص عملیاتی ساده‌ای برای کمک به حفاظت در مقابل ناپایداری تعریف می‌شود (van den Bergh & Verbruggen, 1999).

شاخص جای پای بوم‌شناختی تاکنون در پژوهش‌هایی بسیاری برای کمّی‌سازی آثار محیط‌زیستی ناشی از فعالیت انسانی استفاده می شود. صمدپور و فریادی (۱۳۸۷)، با استفاده از روش جای پای بوم‌شناختی، آثار محیط‌زیستی ناشی از توسعهٔ نواحی شهری پرتراکم را بررسی کردند. در این پژوهش، منطقهٔ الهیهٔ تهران مورد مطالعهٔ موردی قرارگرفت. نتایج این پژوهش حاکی از آن است که میزان جای پای بوم‌شناختی منطقهٔ الهیه در سال ۱۳۸۴، بیش از پنج برابر مساحت این ناحیه و ۱/۶ برابر کل مساحت شهر تهران بوده است. همچنین، برای کنترل روند تغییر کیفیت محیط‌زیست و جلوگیری از تداوم روند تخریب فضای سبز راهکارهایی پیشنهاد شد. از جملهٔ این راهکارها می‌توان به ممانعت از افزایش ساخت‌وسازها در اراضی سبز و انتقال توسعه به اراضی فاقد توان توسعهٔ فضای سبز و تدوین و اجرای مقررات توسعهٔ فضای سبز اشاره کرد.

فریادی و صمدپور (۱۳۸۹) با استفاده از روش جای پای بوم‌شناختی، سیستم حمل‌ونقل درون‌شهری تهران را بررسی و با هدف حداقل‌سازی تخریب منابع محیط‌زیستی، ترکیب بهینهٔ روش های مختلف حمل ونقل را برای سال ۱۴۰۵ ارائه کردند. با پیش بینی جمعیتی حدود ۱۰ میلیون نفر در سال ۱۴۰۵، سهم بهینهٔ هر یک از وسایل نقلیهٔ اتوبوس، مینی‌بوس، تاکسی، موتورسیکلت، خودروهای شخصی و مترو به‌ترتیب برابر با ۰/۷۶، ۰/۴۵، ۰/۱۴، ۰/۱۶، ۰/۰۷۱ و ۹۸/۴ درصد محاسبه شده است. همچنین، برای کاهش هرچه بیشتر آثار محیط‌زیستی بخش حمل‌ونقل، راهکارهایی از جمله کاهش استفاده از خودروی شخصی با اعمال روش هایی نظیر افزایش قیمت سوخت، جانشینی خودروهای فرسوده و کاهش تقاضای سفرهای درون شهری ارائه شد.

از روش جای پای بوم‌شناختی در سطوح مختلف ملی، منطقه‌ای و شهری استفاده شده است. پوراصغر سنگاچیان و همکاران (۱۳۸۹)، نخست هشت شاخص را معرفی کردند. سپس با استفاده از روش تحلیلی– تطبیقی، این شاخص‌ها را تجزیه‌وتحلیل کردند. با توجه به پذیرش رویکرد توسعهٔ پایدار، هنوز اجماع کلی در مورد شاخص‌ها و روش‌های سنجش پایداری در جهان وجود ندارد و نتایج شاخص‌های ترکیبی حاصل از برخی روش‌ها مانند روش نرمالیزه‌کردن، باعث بروز این تفاوت‌ها در هر یک از روش‌ها شده است.

جمعه‌پور و شهنواز (۱۳۹۲) با استفاده از روش جای پای بوم‌شناختی به بررسی پایداری شهرستان رشت پرداختند. نتایج این پژوهش حاکی از آن است که میزان جای پای بوم‌شناختی شهرستان رشت از ظرفیت زیستی آن بالاتر است، در نتیجه این شهر از نظر بوم‌شناختی ناپایدار است.

مطابق نتایج قرخلو و همکاران (۱۳۹۱) میزان جای پای بوم‌شناختی شهر کرمانشاه برابر با ۱/۸۲ هکتار است. ظرفیت زیستی ایران ۰/۸ هکتار است و این مطلب بیانگر این است که شهر کرمانشاه برای برآوردن نیازهای زیستی و پایداری خویش به منطقه‌ای فراتر از استان کرمانشاه متکی است.

Amekudzi و همکاران (۲۰۰۹) در پژوهش خود با استفاده از مدل جاپای بوم شناختی به بررسی میزان پایداری شیوه‌های حمل‌ونقل بین شهری در شهرهای آتلانتا و شیکاگو پرداختند. آنان در این پژوهش با استفاده از رویکردی جدید، نخست میزان جای پای بوم‌شناختی هر کدام از مسیرهای بین دو شهر آتلانتا و شیکاگو را محاسبه، سپس با سنجش میزان جای پای بوم‌شناختی مربوط به هر کدام از وسایل حمل‌ونقل بین شهری (تاکسی، اتوبوس، قطار و...)رابطهٔ بین این دو (مسیرها و وسایل نقلیه) را بررسی و با استفاده از رابطهٔ موجود بین آن‌ها، تناسبی بهینه را در شیوه‌های حمل‌ونقلی سال ۲۰۲۰ برآورد کردند.

Lewan و Simmons (۲۰۰۱) جای‌پای بوم‌شناختی

سانتیاگو را بر اساس برآورد ملی شیلی انجام دادند. بر اساس محاسبات، ظرفیت زیستی شیلی ۵۰ درصد بیشتر از میانگین جهانی است. جای پای بوم‌شناختی شیلی ۲/۴۴ هکتار است، در حالی که ظرفیت زیستی موجود کشور ۳/۲ هکتار است.

بخش خانگی سهم عمده‌ای از مصرف انرژی نهایی کشور را به خود اختصاص می‌دهد، به‌نحوی که ۳۱/۷ درصد از کل فروش برق و ۳۳/۵ درصد از مصرف گاز کشور در سال ۱۳۹۲ مربوط به این بخش بوده است (ترازنامهٔ انرژی، ۱۳۹۲). از طرف دیگر، این بخش مواد و آب بالایی نیاز دارد و ضایعات پسماند آن قابل‌توجه است؛ برای مثال، سرانهٔ مصرف آب تهران در سال ۱۳۹۴، بیش از ۲۲۰ لیتر در روز (شرکت آب و فاضلاب استان تهران، ۱۳۹۴) و نیز سرانهٔ تولید زبالهٔ خانگی در تهران ۳۲۰ کیلوگرم در سال است (اطلس کلان‌شهر تهران، ۱۳۹۵) که این مقادیر بسیار بالاتر از مقادیر متوسط سرانهٔ جهانی است. مصرف بالای انرژی، آب و مواد غذایی و نیز حجم بالای تولید پسماند از این بخش، موجب ایجاد آثار محیط‌زیستی قابل‌توجهی می‌شود. لذا، بررسی توسعهٔ پایدار در این بخش به نحوی که جنبه های مختلف فعالیت آن بر زیست‌بوم بررسی شود، مورد نیاز است.

با توجه به این مطلب، مفهومی به نام ساختمان پایدار[1] توسعه داده شد که به معنای افزایش راندمان مصرف انرژی، آب و مواد در ساختمان‌ها و نیز کاهش آثار محیط‌زیستی آن در طول کل چرخهٔ حیات است (Howe & Gerrard, 2010). از گذشته تا کنون، تحقیقات بسیاری در حوزهٔ ساختمان‌های پایدار انجام شده است. Hakkinen و Bellon (۲۰۱۱) به بررسی انگیزه‌ها و موانع پیش‌روی توسعهٔ این ساختمان‌ها پرداختند و راهکارهایی را برای ترویج این ساختمان‌ها ارائه کردند. افزایش آگاهی مشتریان از مزایای ساختمان‌های پایدار و لزوم کار گروهی در طراحی از جمله راهکارهای پیشنهادی آن‌هاست.

در این پژوهش، به منظور ارزیابی آثار محیط‌زیستی ساختمان‌های آموزشی در ایران، فعالیت دانشکدهٔ مهندسی انرژی دانشگاه صنعتی شریف به‌عنوان مطالعهٔ موردی بررسی شد. پیش از این Soleimani Javid و Avami (۲۰۱۶) فعالیت این دانشکده با روش چرخهٔ عمر را ارزیابی کردند و برای کاهش انتشار دی‌اکسید کربن روش‌هایی کم‌هزینه نظیر احداث سایبان را پیشنهاد دادند.

در این مطالعه، فعالیت این دانشکده از دیدگاه جای پای بوم‌شناختی مطالعه شده است. پژوهش‌هایی که با استفاده از روش جای پای بوم شناختی در ایران صورت گرفته عمدتاً ناظر بر سطح کلان است. در این پژوهش، شاخص جای پای بوم‌شناختی در سطح خرد استفاده شده است که آثار محیط‌زیستی ساختمانی آموزشی، تأثیرپذیری و تأثیرگذاری این بخش بر سایر بخش های جامعه از قبیل حمل‌ونقل و آثار محیط‌زیستی ناشی از آن را به‌خوبی نمایش می‌دهد. داده‌های مورد نیاز از قبیل سهم هر یک از روش های حمل‌ونقل در جابه‌جایی دانشجویان، میزان مصرف آب، برق و گاز دانشکده، با استفاده از مطالعات میدانی برای مدت یک سال تهیه شده است. در این مطالعه، علاوه بر آثار مستقیم، اثرهای غیرمستقیم فعالیت دانشکده نیز تا حد امکان در نظر گرفته شده است.

۲. مواد و روش‌ها

صمدپور و فریادی (۱۳۸۷) و Wackernagel و Rees (۱۹۹۸) روش‌شناسی جای پای بوم‌شناختی را به‌صورت زیر بیان کردند:

«برآورد جای پای بوم‌شناختی برای جمعیتی معین فرایندی چند مرحله‌ای است. طبق روش واکرناگل، محاسبهٔ شاخص جای پای بوم‌شناختی شامل مراحل زیر است:

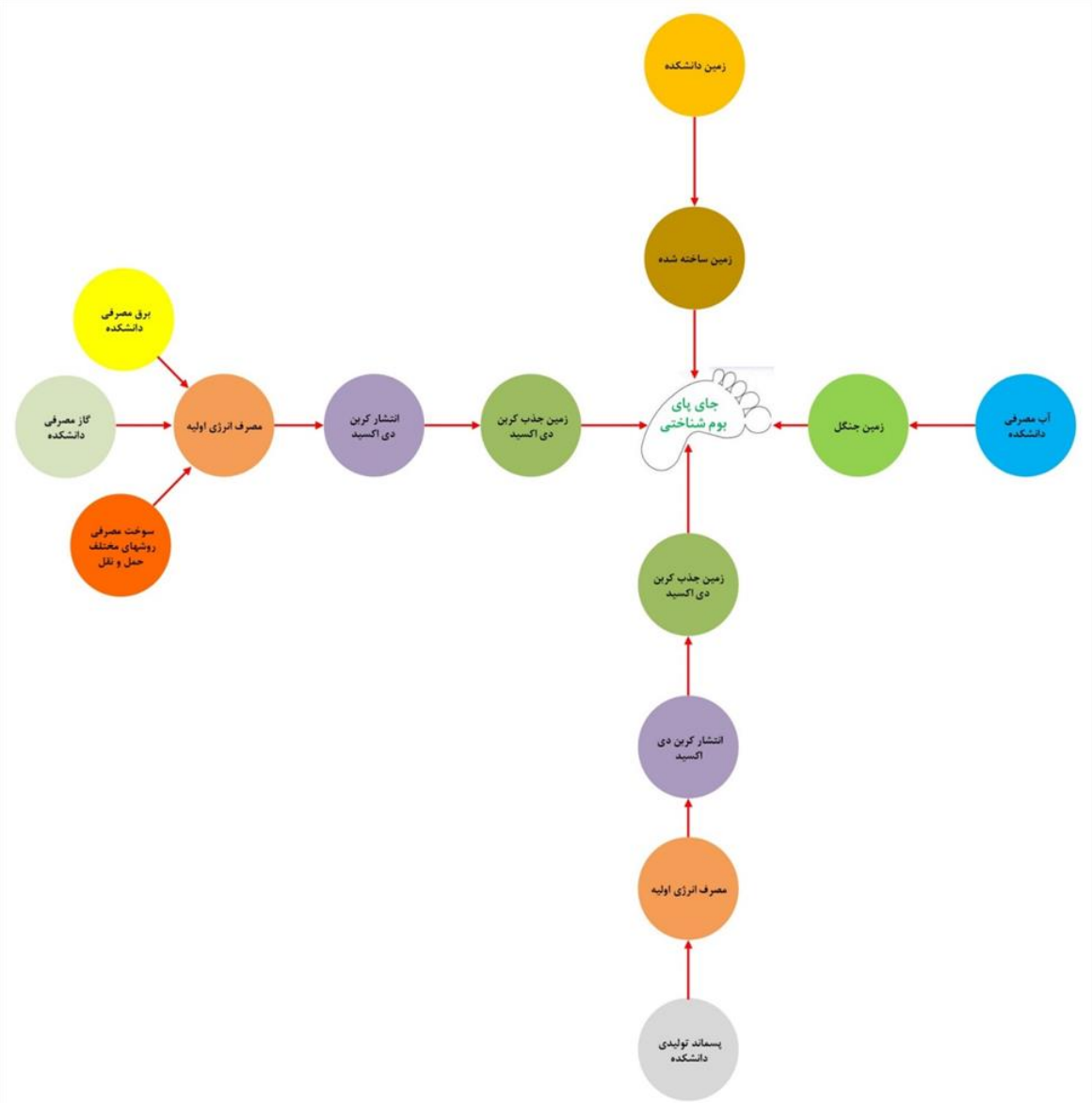
- ✓ تخمین سرانهٔ مصرف سالانهٔ مواد مصرفی اصلی، حاصل نسبت مصرف سالانهٔ کل بر اساس مجموع داده‌های منطقه به مقدار جمعیت
- ✓ تخمین زمین اختصاص داده‌شده به هر نفر برای تولید

هر مورد مصـرفی، از طریـق تقسـیم متوسـط مصـرف سالانهٔ هر مورد بر متوسط سالانهٔ تولید یا بازده زمین

✓ محاسبهٔ متوسط کل جای پای بوم‌شناختی هـر نفـر، از طریق جمع‌کردن تمام مناطق زیست‌بوم اختصاص داده شده برای همهٔ بخش‌هایی که در یک سال توسط یـک فرد مصرف شده است.

✓ محاسبهٔ جای پای بوم‌شناختی برای جمعیت منطقـه‌ای معین، از حاصل‌ضرب متوسـط جـای پـای هـر نفـر و جمعیت.»

با توجه به مراحل فـوق، روش مـورد اسـتفاده در ایـن پژوهش در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱. طرح مفهومی روش‌شناسی محاسبهٔ جای پای بوم‌شناختی ناشی ار فعالیت‌های دانشکده

نظر به پیچیدگی بحث جای پای بوم شناختی، این مطالعه تنها ناظر به مرحلهٔ بهره‌برداری از ساختمان بوده است و مراحل ساخت و تخریب را شامل نمی‌شود. آثار محیط‌زیستی دانشکده، شامل آثار مستقیم و غیرمستقیم است. آثار مستقیم ناشی از مواردی است که در محل دانشکده تولید یا مصرف می‌شود. در مرحلهٔ بهره‌برداری این موارد شامل مصرف انرژی دانشکده، مصرف آب، پسماند تولیدی و نیز زمین زیربنای ساختمان است. آثار غیرمستقیم از مصرف منابع در محلی غیر از دانشکده ناشی می‌شود. در این مطالعه حمل‌ونقل دانشجویان به دانشکده که با روش‌های مختلف حمل‌ونقل صورت می‌گیرد، از آثار غیرمستقیم به‌شمار می‌آید. در روش‌شناسی مورد استفاده در این پژوهش، با استفاده از ضرایب انتشار، دی‌اکسید کربن منتشر شده از مصرف سوخت‌های فسیلی محاسبه شد. سپس، مساحت زمین مورد نیاز برای جذب این میزان دی‌اکسید کربن به‌دست آمد. در نهایت با استفاده از ضریب تعادل، این زمین به هکتار جهانی تبدیل شد. پسماند تولیدی نیز با درنظرگرفتن شدت انرژی لازم برای تولید، به انرژی اولیه تبدیل شده است و مشابه با انرژی مصرفی، به زمین جذب دی‌اکسید کربن و در نهایت هکتار جهانی تبدیل می‌شود. در خصوص آب مصرفی نیز، زمین جنگل مورد نیاز برای تولید آب محاسبه می‌شود که با اعمال ضریب تعادل، به هکتار جهانی تبدیل می‌شود. همچنین، زمین اشغال شده توسط ساختمان دانشکده، از آثار محیط‌زیستی محسوب می‌شود که به واحد هکتار جهانی تبدیل می‌شود.

۱.۲. جای پای بوم‌شناختی ناشی از مصرف انرژی دانشکده

انرژی مصرفی دانشکده شامل گاز طبیعی و برق است. مصرف سالانهٔ هر یک از این موارد از طریق قبض‌های گاز و برق دانشکده طی سال ۱۳۹۳ محاسبه شده است. پس از محاسبهٔ میزان انرژی مصرفی، با استفاده از رابطهٔ (۱) این انرژی مصرفی به زمین معادل تبدیل می‌شود.

$$EF = \frac{F}{EP} e_f \qquad (۱)$$

در این رابطه EF (gha/year) جای‌پای بوم‌شناختی، F(GJ) میزان مصرف سالانهٔ سوخت، e_f (gha/ha) ضریب تعادل برابر با ۱/۳۵ (Wackernagel et al., 1999)، و EP(GJ/ha/year) بهره وری انرژی سوخت است. بهره وری انرژی سوخت از طریق رابطهٔ (۲) محاسبه می‌شود. gha(global hectare) واحدی مرسوم برای جای پای بوم شناختی است که برای لحاظ کردن متوسط جهانی بهره‌وری تمام زمین‌ها و آب‌های حاصلخیز جهان در یک سال معین نرمال‌سازی شده است (Kitzes et al., 2007). این نرمال سازی با ضرب ضریب تعادل در هکتار مربوطه حاصل می‌شود.

$$EP = \frac{A}{E} \qquad (۲)$$

در این رابطه E (kg C/GJ) ضریب انتشار و A (ton CO_2/ha/year) ضریب جذب است که مقدار ۵/۵ برای ایران لحاظ شده است (Wackernagel & Yount, 1988). برق مصرفی با لحاظ راندمان متوسط نیروگاه‌های کشور، به سوخت اولیه تبدیل شده است. مطابق با آمار تفصیلی صنعت برق ایران، متوسط راندمان کل نیروگاه‌های برق ایران برابر با ۳۸/۹ درصد در نظر گرفته شده است (گزارش آمار تفصیلی صنعت برق ایران، ۱۳۹۴).

۲.۲. جای پای بوم‌شناختی ناشی از مصرف آب دانشکده

برای محاسبهٔ میزان مصرف آب دانشکده، از قبض‌های آب دانشکده در طول یک سال استفاده شده است. در محاسبهٔ جای پای بوم‌شناختی آب، جنگل تولیدکنندهٔ آب در نظر گرفته می‌شود و میزان آب مصرفی به زمین جنگل تبدیل می‌شود. بدین منظور از رابطهٔ (۳) استفاده شده است. در این رابطه W(m^3) میزان مصرف آب، FP (m^3/ha/year)بهره‌وری جنگل در تولید آب و EF (gha/year) جای پای بوم شناختی مصرف آب است.

$$EP = \frac{A}{E} \qquad EF = \frac{W}{FP} e_f \qquad (۳)$$

۳.۲. جای پای بوم‌شناختی ناشی از پسماند تولیدی دانشکده

بر اساس روش واکرناگل، جای پای بوم‌شناختی پسماند، بر اساس میزان انرژی لازم برای تولید موادی که پسماند از آن تولید شده محاسبه می‌شود. البته، در این روش، درصدی از انرژی که به‌واسطهٔ بازیافت پسماند قابل‌بازیابی است و از انرژی مصرفی کاسته می‌شود. قسمت عمدهٔ پسماند تولیدی دانشکده را پلاستیک و کاغذ تشکیل می‌دهد. محاسبهٔ جای پای بوم‌شناختی پلاستیک تنها بر مبنای انرژی مصرف‌شده برای تولید مواد پلاستیکی صورت گرفته است و نتیجهٔ حاصل بر مبنای زمین جذب دی‌اکسید کربن بیان می‌شود (رابطهٔ ۴).

$$EP = \frac{A}{E} \quad CR_x = \frac{EI_x}{EP}\left(1 - \frac{\%R_x}{100} \times \frac{\%SE_x}{100}\right) e_f \qquad (۴)$$

در این رابطه CR_x (gha/yr/t) نرخ تبدیل پسماند، EI_x (GJ/t) شدت انرژی مصرفی برای تولید ماده‌ای که پسماند از آن تولید شده است، EP (GJ/ha/yr) بهره‌وری انرژی پسماند و برابر با بهره‌وری تولید نفت در نظر گرفته می‌شود، R_x نرخ بازیافت پسماند x و SE_x میزان انرژی صرفه‌جویی‌شده در اثر بازیافت زباله است. نرخ بازیافت پلاستیک در ایران ۹ درصد لحاظ شده است (گزارش ستاد محیط‌زیست و توسعهٔ پایدار شهرداری تهران، ۱۳۹۳).

در محاسبهٔ جای پای بوم‌شناختی کاغذ، علاوه‌بر زمین جذب دی‌اکسید کربن باید زمین جنگل لازم برای تولید کاغذ نیز محاسبه شود (رابطهٔ ۵).

$$CR_x = \frac{EI_x}{EP}\left(1 - \frac{\%R_x}{100} \times \frac{\%SE_x}{100}\right) e_f + \frac{1}{NP}\left(1 - \frac{\%R_x}{100} \times 0.8\right) e_f \qquad (۵)$$

در این رابطه، NP (t/ha/yr) بهره‌وری تولید کاغذ است. بخش دوم رابطهٔ (۵) بیانگر میزان مساحت جنگل مورد نیاز برای تولید هر تن کاغذ است که البته میزان صرفه‌جویی‌شده در اثر بازیافت کاغذ از آن کسر شده است. بر اساس پژوهش اسدپور و همکاران (۱۳۹۰) نرخ بازیافت کاغذ در ایران میزان ۲ درصد در نظر گرفته شده است. در نهایت، میزان جای پای بوم‌شناختی تمام پسماندها با استفاده از رابطهٔ (۶) محاسبه می‌شود.

$$EF_{wws} = \sum_i CR_{xi} \times G_i \qquad (۶)$$

در این رابطه G_i (ton) میزان تولید پسماند نوع i است.

۴.۲. جای پای بوم‌شناختی ناشی از زمین مورد استفادهٔ دانشکده

زمینی که ساختمان دانشکده اشغال کرده است نیز از آثار محیط‌زیستی دانشکده محسوب می‌شود. برای محاسبهٔ جای پای بوم‌شناختی این زمین از رابطهٔ (۷) استفاده می‌شود.

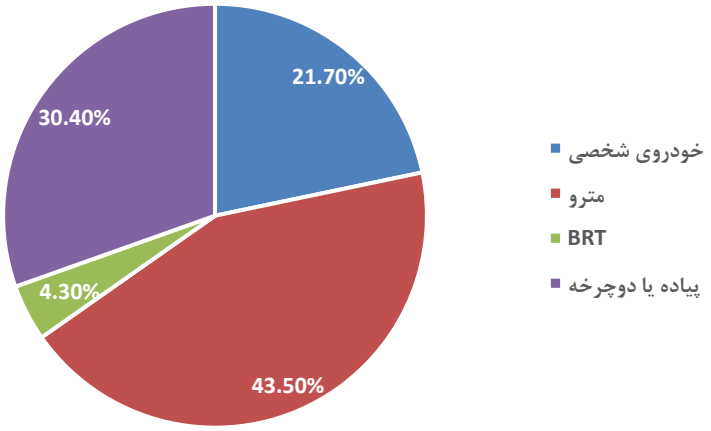
$$EF = S \times e_b \qquad (۷)$$

در این رابطه S (ha/year) مساحت زمین اشغال‌شده و e_b (gha/ha) ضریب تعادل زمین ساخته‌شده است. مقدار e_b با توجه به پژوهش سرایی و زارعی (۱۳۸۷) برابر با ۲٫۲ لحاظ شده است.

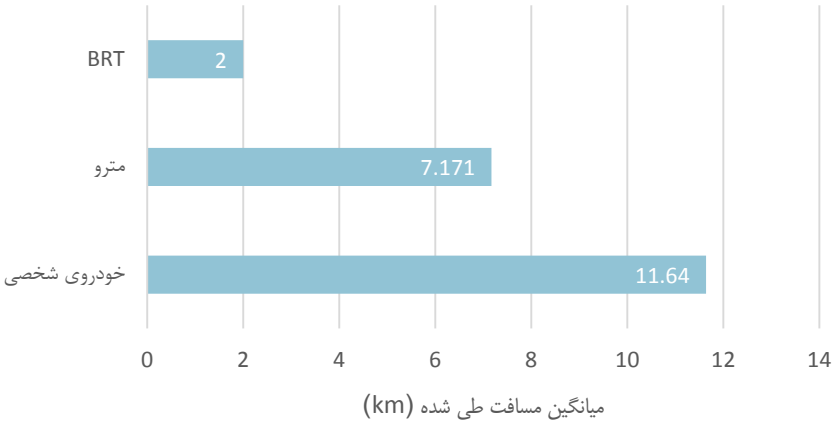
۵.۲. جای پای بوم‌شناختی ناشی از حمل‌ونقل

محاسبهٔ میزان مصرف انرژی سالانه، در نتیجهٔ حمل‌ونقل دانشجویان به دانشکده نیازمند اطلاعاتی از قبیل تعداد دانشجویانی است که از هر روش حمل‌ونقل استفاده می‌کنند و مسافت طی‌شده توسط این افراد تا دانشکده است. برای تخمین این موارد، پرسشنامه‌ای تهیه شد و در سطح دانشکده نظرسنجی به‌عمل آمد. شکل ۲ و ۳ به‌ترتیب درصد استفاده دانشجویان از هر روش حمل‌ونقل و میانگین مسافت طی‌شده در هر روش را نمایش می‌دهد.

داده‌های مورد استفاده برای محاسبهٔ مصرف انرژی در روش‌های مختلف حمل‌ونقل در جدول ۱ و ۲ بیان شده است.



شکل ۲. درصد استفادهٔ دانشجویان از روش‌های مختلف حمل‌ونقل



شکل ۳. میانگین مسافت طی‌شدهٔ روزانه با روش‌های مختلف حمل‌ونقل

جدول ۱. داده‌های مورد استفاده در محاسبهٔ سرانهٔ مصرف انرژی با روش‌های مختلف حمل‌ونقل (خشایی‌پور و همکاران، ۱۳۹۰)

	کیلومتر روزانهٔ هر وسیلهٔ نقلیه	مصرف سوخت سالانهٔ هر وسیلهٔ نقلیه (لیتر)	ضریب سرنشین
سواری شخصی	۳۰	۱۲۰۸٫۹	۵۲۴/۱
سامانهٔ اتوبوس‌های تندرو	۱۱۷	۱۸۰۷۲٫۹۴	۲/۴۷

جدول ۲. داده‌های مورد استفاده در محاسبهٔ سرانهٔ مصرف انرژی مترو
(طبق گزارش شرکت بهره‌برداری راه‌آهن شهری تهران و حومه، ۱۳۹۴)

	کیلومتر طی‌شدهٔ روزانه در کل شبکهٔ مترو	ضریب سرنشین	مصرف برق روزانه در کل شبکهٔ مترو	تعداد مسافر روزانه
مترو	۲۸۶۲۱	۶۵۸	GWh۴۰۰	۳۲۰۰۰۰۰

رابطهٔ (۸) نحوهٔ محاسبهٔ سرانهٔ مصرف انرژی را برای سواری شخصی و اتوبوس‌های تندرو و رابطهٔ (۹) نحوهٔ محاسبهٔ این سرانه را برای مترو بیان می‌کند.

(۸) سرانه مصرف انرژی = مصرف سوخت روزانه هر وسیله نقلیه / (ضریب سرنشین × کیلومتر روزانه هر وسیله نقلیه × ارزش حرارتی سوخت)

(۹) سرانه مصرف انرژی = مصرف برق روزانه کل شبکه مترو / (ضریب سرنشین × کیلومتر طی شده روزانه کل شبکه مترو)

سپس، با استفاده از رابطهٔ (۱۰) میزان مصرف انرژی سالانهٔ ناشی از رفت‌وآمد دانشجویان، با هر روش حمل‌ونقل محاسبه می‌شود.

(۱۰) مصرف انرژی سالانه هر روش = سرانه مصرف انرژی هر روش × تعداد کل دانشجویان × میانگین مسافت طی شده هر روش × درصد استفاده از هر روش

سپس، مصرف انرژی سالانهٔ هر روش، از طریق روابطی که برای مصرف انرژی ساختمان ارائه شد، به زمین‌جذب دی‌اکسید کربن تبدیل می‌شود.

۳. نتایج

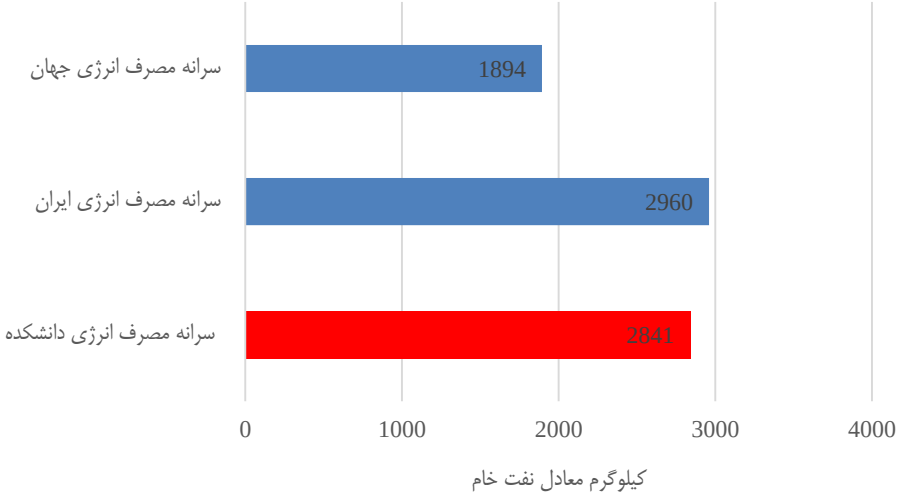
۱.۳. جای پای بوم‌شناختی ناشی از مصرف انرژی دانشکده

جدول ۳ میزان مصرف انرژی دانشکده و جای پای بوم‌شناختی مربوط را نمایش می‌دهد. جای پای بوم‌شناختی مصرف انرژی، بر حسب زمین لازم برای جذب دی‌اکسید کربن منتشر شده و ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی بیان می‌شود.

به‌منظور بررسی مصرف انرژی دانشکده، سرانهٔ مصرف انرژی دانشکده با مقادیر سرانهٔ ایران و جهان (Wordbank, 2013) در شکل ۴ مقایسه شده است.

جدول ۳. جای پای بوم‌شناختی مربوط به مصرف انرژی دانشکده

	میزان مصرف (GJ/year)	جای پای بوم‌شناختی زمین جذب دی‌اکسید کربن (gha/year)
گاز	۴۸٫۶۴۷۳	۸۷٫۲۴۳۱۰
برق	۱۹٫۱۶۱۵	۳٫۱۵۵۹۳

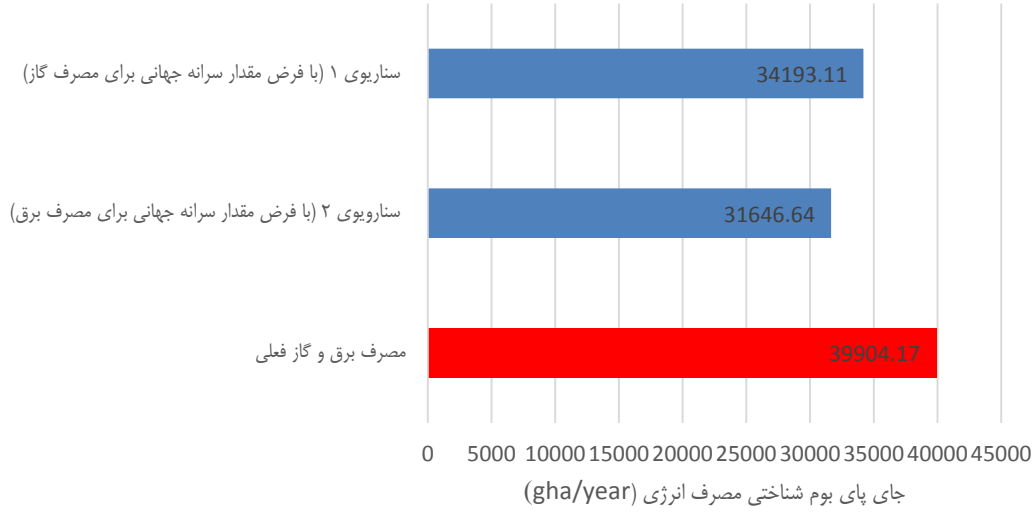


شکل ۴. مقایسهٔ سرانهٔ مصرف انرژی دانشکده با مقادیر سرانهٔ ایران و جهان در سال ۱۳۹۳

با توجه به شکل ۵، سرانهٔ مصرف انرژی دانشکده از سرانهٔ مصرف انرژی ایران پایین‌تر است، اما تقریباً ۱/۵ برابر سرانهٔ مصرف انرژی جهان است. مصرف انرژی دانشکده و جای پای بوم‌شناختی ناشی از آن مقدار قابل‌توجهی دارد و این مطلب پتانسیل بالای صرفه‌جویی در این بخش را نشان می‌دهد. برای ارزیابی پتانسیل کاهش جای پای بوم‌شناختی، میزان جای پای بوم‌شناختی مصرف برق و گاز دانشکده با فرض مقادیر متوسط جهانی برای سرانهٔ مصرف برق و گاز در دو سناریوی جداگانه محاسبه شده است. در سناریوی ۱ برای محاسبهٔ کل مصرف انرژی دانشکده، مصرف گاز با فرض میزان سرانهٔ جهانی مصرف گاز محاسبه و با مصرف برق فعلی دانشکده جمع شده است. همچنین، در سناریوی ۲ میزان مصرف برق بر اساس مقدار سرانهٔ جهانی محاسبه و با مصرف گاز فعلی جمع شده است. شکل ۵ مقایسهٔ این دو سناریو را با حالت فعلی نمایش می‌دهد. مطابق با نتایج، جای پای بوم‌شناختی ناشی از مصرف انرژی دانشکده، در سناریوی ۱ میزان ۱۴/۳ درصد و در سناریوی ۲ میزان ۲۰/۷ درصد کاهش خواهد یافت.

۲.۳. جای پای بوم‌شناختی ناشی از مصرف آب دانشکده

میزان آب مصرفی دانشکده و جای پای بوم‌شناختی مربوط در جدول ۴ بیان شده است. جای پای بوم‌شناختی ناشی از مصرف آب بر حسب زمین جنگل لازم برای تولید آب بیان می‌شود.



شکل ۵. مقایسهٔ جای پای بوم‌شناختی در سناریوهای فعلی، ۱ و ۲

جدول ۴. جای پای بوم‌شناختی مربوط به مصرف آب دانشکده

مصرف سالانهٔ آب (m^3)	۸٫۶۶۳۴
جای‌پای بوم‌شناختی بر مبنای زمین جنگل (gha/year)	۹۷۱٫۵

۳.۳ .جای پای بوم‌شناختی ناشی از پسماند تولیدی دانشکده

جدول ۵ تولید سالانهٔ پسماند دانشکده و جای پای بوم‌شناختی مربوط را نمایش می‌دهد.

نرخ بازیافت پلاستیک و کاغذ در ایران، به‌ترتیب ۹ و ۲ درصد است، در حالی که در سال ۲۰۱۴، این مقادیر برای اروپا به‌ترتیب ۶۹/۲ درصد (The Facts-An Analysis of European Plastics, 2015) و ۷۱/۷ درصد (European Declaration on Paper Recycling, 2014) بوده است.

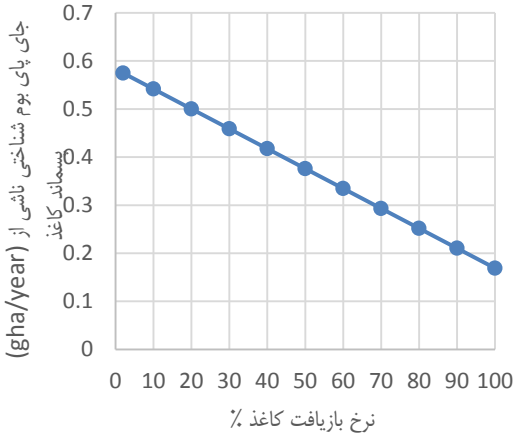
افزایش نرخ بازیافت راه‌حل مناسبی برای کاهش جای پای بوم‌شناختی ناشی از تولید پسماند است. شکل ۶ و ۷ تأثیر افزایش نرخ بازیافت را روی جای پای بوم‌شناختی کاغذ و پلاستیک تولیدی دانشکده نمایش می‌دهد.

۴.۳. جای پای بوم‌شناختی ناشی از زمین مورد استفادهٔ دانشکده

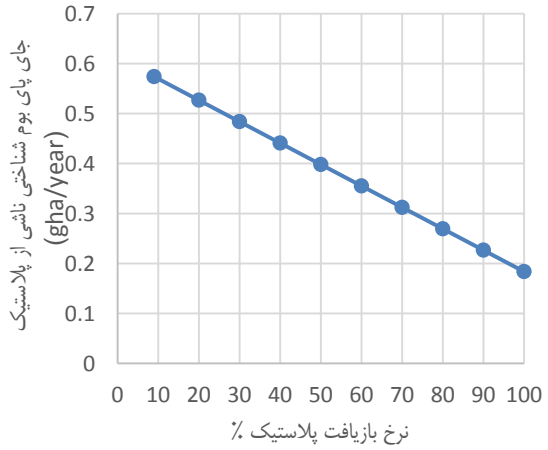
مساحت زمین زیربنای دانشکده و جای پای بوم‌شناختی مربوط در جدول ۶ بیان شده است.

جدول ۵. پسماند تولیدی دانشکده و جای پای بوم‌شناختی مربوط

		میزان تولید سالانه (ton)	جای پای بوم‌شناختی زمین‌جذب دی‌اکسید کربن (gha/yr)
پلاستیک	کیسهٔ زباله	۰۲۱۶/۰	۵۷۳۷/۰
	لیوان پلاستیکی	۷۲/۰	
	کاغذ	۳۰۸/۰	۵۷۴/۰



شکل ۷. تأثیر افزایش نرخ بازیافت بر جای پای بوم‌شناختی ناشی از پسماند کاغذ



شکل ۶. تأثیر افزایش نرخ بازیافت بر جای پای بوم‌شناختی ناشی از پسماند پلاستیک

جدول ۶. جای پای بوم‌شناختی زمین مورد استفادهٔ دانشکده

مساحت زیربنای دانشکده (m^2)	جای پای بوم‌شناختی زمین ساخته‌شده (gha/year)
۶۲۶۳	۳۷۷۸/۱

۵.۳. جای پای بوم‌شناختی ناشی از حمل‌ونقل

جدول ۷ مصرف انرژی ناشی از رفت‌وآمد دانشجویان و جای پای بوم‌شناختی مربوط را نشان می‌دهد.

بخش عمدهٔ جای پای بوم‌شناختی ناشی از رفت‌وآمد دانشجویان با سواری شخصی است. سواری شخصی، ضریب سرنشین پایینی دارد که موجب می‌شود سرانهٔ مصرف انرژی بالایی داشته باشد. در صورتی که تمام دانشجویانی که از سواری شخصی برای رفت‌وآمد به دانشکده استفاده می‌کنند، از مترو استفاده کنند، جای پای بوم‌شناختی ناشی از حمل‌ونقل به میزان ۹۳/۴ درصد و اگر از سامانهٔ اتوبوس‌های تندرو استفاده کنند به میزان ۷۷/۸ درصد کاهش خواهد یافت. لذا، اعمال سیاست‌هایی مناسب برای تشویق دانشجویان به استفاده از وسایل حمل‌ونقل عمومی تأثیر به‌سزایی در کاهش جای پای بوم‌شناختی ناشی از حمل‌ونقل خواهد داشت.

۴. بحث و نتیجه‌گیری

جدول ۸ خلاصهٔ نتایج پژوهش را نمایش می‌دهد.

جدول ۷. مصرف انرژی بخش حمل‌ونقل در نتیجهٔ رفت‌وآمد دانشجویان و جای پای بوم‌شناختی مربوط

	سرانهٔ مصرف انرژی $\left(\frac{\text{مگاژول}}{\text{نفر.کیلومتر}}\right)$	مصرف سالانهٔ انرژی در اثر رفت‌وآمد دانشجویان (GJ)	جای پای بوم‌شناختی زمین‌جذب دی‌اکسید کربن (gha/year)
سواری شخصی	۲/۵۱۱	۳۰۸/۰۳	۱۵۱۲/۱۴۷
سامانهٔ اتوبوس‌های تندرو	۰/۳۳۸	۱/۵۷	۷/۷
مترو	۰/۰۱۵	۲/۴۷۱۶	۲۳/۸۶

جدول ۸. خلاصهٔ نتایج جای پای بوم‌شناختی فعالیت‌های دانشکده در حالت فعلی

	مصرف انرژی دانشکده		پسماند تولیدی			زمین	مصرف انرژی حمل ونقل		
	گاز طبیعی	برق	آب	پلاستیک	کاغذ	زیربنا	سواری	سامانهٔ اتوبوس‌های تندرو	مترو
جای پای بوم‌شناختی (gha/year)	۸۷/۲۴۳۱۰	۳/۱۵۵۹۳	۹۷/۵	۵۷۳۷/۰	۵۷۴/۰	۳۷۷/۱	۱۴۷/۱۵۱۲	۷/۷	۸۶/۲۳

با توجه به این نتایج برای کاهش جای پای بوم‌شناختی موارد زیر پیشنهاد می‌شود:

- بخش اعظم جای پای بوم‌شناختی دانشکده مربوط به مصرف انرژی دانشکده است. لذا، با توجه به اینکه حدود ۵۰ تا ۷۰ درصد از کل مصرف انرژی ساختمان مربوط به سیستم‌های تهویه مطبوع است (Omer, 2008)، کاهش مصرف انرژی سیستم‌های تهویهٔ مطبوع، از طریق روش‌هایی مانند کنترل مناسب سیستم‌ها، بهره‌برداری بهینه از سیستم‌ها و جزآن تأثیر قابل‌توجهی در کاهش آثار محیط‌زیستی دانشکده و در نتیجه کاهش جای پای بوم‌شناختی دانشکده خواهد داشت. همچنین، استفاده از نمای تمام شیشه در دانشکده، موجب افزایش نفوذ حرارت تابشی خورشید به ساختمان و در نتیجه افزایش چشمگیر بار برودتی در فصل تابستان می‌شود. استفاده از سایبان متحرک برای کاهش نفوذ تابش خورشید در فصل تابستان اقدام مؤثری در کاهش جای پای بوم‌شناختی ناشی از مصرف انرژی دانشکدهٔ خواهد داشت.

- سرانهٔ مصرف انرژی ایران به میزان قابل‌توجهی بالاتر از مقادیر جهانی است، به‌گونه‌ای که جای پای بوم‌شناختی ناشی از مصرف انرژی، با فرض مقدار سرانهٔ جهانی برای مصرف گاز، میزان ۱۴/۳ درصد و با فرض مقدار سرانهٔ جهانی برای مصرف برق به میزان ۲۰/۷ درصد نسبت به حالت فعلی کاهش خواهد یافت. لذا، کاهش مصرف گاز و برق، تأثیر قابل‌توجهی در کاهش آثار محیط‌زیستی دانشکده خواهد داشت. فرهنگ‌سازی و اصلاح الگوی رفتاری ساکنان، از طریق اطلاع‌رسانی از میزان مصرف برق و گاز و آثار محیط زیستی ناشی از آن گامی مؤثری در راستای کاهش سرانهٔ مصرف گاز و برق دانشکده است.
- در بخش حمل‌ونقل، بخش اعظمی از جای پای بوم‌شناختی از استفادهٔ دانشجویان از خودروی شخصی ناشی می‌شود. خودروی شخصی، ضریب سرنشین کمتری دارد و در نتیجه سرانهٔ مصرف انرژی بالاتری خواهد داشت. لذا، سیاست‌گذاری مناسب در افزایش استفادهٔ دانشجویان از وسایل حمل‌ونقل عمومی موجب کاهش چشمگیر جای پای بوم‌شناختی در بخش حمل‌ونقل می‌شود. همچنین، برنامه‌ریزی مناسب کلاس‌های درسی تعداد دفعات عزیمت دانشجویان به دانشکده را کاهش خواهد داد که در طول سال تأثیر چشمگیری روی کاهش سوخت مصرفی در بخش حمل‌ونقل خواهد داشت.
- بازیافت پسماند باعث می‌شود بخشی از انرژی مصرف‌شده برای تولید ماده‌ای بازیابی شود که پسماند از آن حاصل شده است. در ایران، میزان بازیافت پلاستیک ۹۰ درصد و بازیافت کاغذ ۲ درصد است که در مقایسه با کشورهای پیشرفته رقم بسیار پایینی است. کمک به افزایش درصد بازیافت این پسماندها، از طریق اقداماتی مانند تفکیک زباله‌ها در دانشکده موجب کاهش جای پای بوم‌شناختی پسماند می‌شود. افزایش نرخ بازیافت پسماند نیازمند بهبود سیستم مدیریت پسماند در سطح کلان است. در سطح دانشکده نیز می توان از طریق اقداماتی ساده نظیر اطلاع‌رسانی و آگاه‌سازی دانشجویان از آثار محیط زیستی تولید پسماند در دانشکده تولید پسماند دانشکده را به حداقل رساند.
- لیوان پلاستیکی حجم قابل‌توجهی از زبالهٔ تولیدی دانشکده را تشکیل می‌دهد. مطابق با آمار جمع‌آوری‌شده، هر هفته حدود ۱۵۰۰ لیوان پلاستیکی در دانشکده تولید می‌شود که رقم قابل‌توجهی است. با توجه به اینکه این لیوان‌ها برای آب‌سردکن‌های دانشکده استفاده می‌شود، در صورتی که با ارائهٔ راهکاری مناسب تولید این لیوان‌ها متوقف شود، میزان جای پای بوم‌شناختی سالانهٔ دانشکده ناشی از تولید پسماند، به میزان ۴۸/۵ درصد کاهش خواهد یافت.
- با توجه به اینکه مصرف غذای افراد در حال حاضر در داخل دانشکده انجام نمی‌شود، مصرف غذا در این پژوهش بررسی نشده است. تغییر الگوی مصرف غذایی در کاهش آثار محیط‌زیستی و در نتیجه کاهش جای پای بوم‌شناختی ناشی از زندگی انسان‌ها مؤثر است. در حال حاضر، برنج بخش اصلی الگوی تغذیهٔ ایرانی را شامل می‌شود و این در حالی است که برای تهیهٔ برنج مقدار آب زیادی مصرف می‌شود. ارائهٔ الگوی مناسب تغذیه‌ای برای ایران، که ضمن تأمین نیازهای بدن، میزان مصرف آب را کاهش دهد موضوع مناسبی برای پژوهش‌های آینده است. با استفاده از رویکرد جای پای بوم‌شناختی می‌توان نتایج ملموس‌تری در این خصوص ارائه داد.

یادداشت

1. sustainable building (green building)

منابع

اسدپور، ق.، بریمانی آبکسری، ق. و گلی، م. ۱۳۹۰. وضعیت بازیافت کاغذ و مقوا در جهان و جایگاه ایران. انجمن بازیافت کاغذ و فرآورده‌های سلولزی.

اطلس کلان‌شهر تهران. ۱۳۹۵. (http://atlas.tehran.ir).

پوراصغر سنگاچین، ف.، صالحی، ا. و مثنوی، م. ۱۳۸۹. مقایسهٔ تطبیقی-تحلیلی روش‌های سنجش توسعهٔ پایدار. پژوهش‌های محیط‌زیست، ۱(۱): ۶۷-۸۲.

جمعه‌پور، م. و شهنواز، س. ۱۳۹۲. بررسی وضعیت توسعهٔ پایدار شهرستان رشت با استفاده از روش جای پای اکولوژیک. پژوهش‌های جغرافیای انسانی، ۴۵(۸۵): ۱۹۱-۲۰۸.

ترازنامهٔ انرژی. ۱۳۹۲. معاونت امور برق و انرژی، دفتر برنامه‌ریزی کلان برق و انرژی.

خاکپور، ب.، رهنما، م. و دماوندی، ه. ۱۳۹۳ .کاربرد روش جای پای بوم‌شناختی در ارزیابی پایداری توسعهٔ شهری (نمونهٔ موردی: شهر ساری). اولین کنفرانس ملی جغرافیا، گردشگری، منابع طبیعی و توسعهٔ پایدار، تهران، مؤسسهٔ ایرانیان، قطب علمی برنامه ریزی و توسعهٔ پایدار گردشگری، دانشگاه تهران

خشایی‌پور، م.، عابدینی، م. و بابایی، ش. ۱۳۹۰. تعیین هزینهٔ سیستم سفر با هر یک از مدل‌های حمل‌ونقل شهر تهران. دوازدهمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی حمل‌ونقل و ترافیک.

سرایی، م.ح. و زارعی فرشاد، ع. ۱۳۸۷. جای پای بوم‌شناختی (EF) به عنوان شاخص سنجش پایداری اجتماعات. محیط‌شناسی، ۳۵(۵۰): ۱۵-۲۶.

شرکت آب و فاضلاب استان تهران. ۱۳۹۴. (http://www.tpww.ir/fa/news)

صمدپور، پ.، فریادی، ش. ۱۳۸۷. تعیین جای پای اکولوژیکی در نواحی شهری پرتراکم و بلندمرتبه (نمونهٔ مورد مطالعه: محلهٔ الهیه تهران. محیط‌شناسی، ۳۴(۴۵): ۶۳-۷۲.

فریادی، ش. و صمدپور، ف. ۱۳۸۹. تعیین تناسب بهینهٔ استفاده از انواع شیوه‌های حمل‌ونقل با هدف کاهش جای پای اکولوژیک شهر تهران. محیط‌شناسی، ۳۶(۵۴): ۹۷-۱۰۸.

قرخلو، م.، حاتمی‌نژاد، ح.، باغوند، ا. و یلوه، م. ۱۳۹۱. ارزیابی پایداری توسعهٔ شهری با روش جای پای بوم‌شناختی (نمونهٔ موردی: شهر کرمانشاه). پژوهش‌های جغرافیای انسانی، ۴۵(۲): ۱۰۵-۱۲۰.

گزارش آمار تفصیلی صنعت برق ایران. ۱۳۹۴.

گزارش ستاد محیط‌زیست و توسعهٔ پایدار شهرداری تهران. ۱۳۹۳.

Amekudzi, A., Khisty, C. and Khayesi, M. 2009. Using sustainability footprint model to assess development impacts of transportation systems. Journal of Transportation Part A, 43: 339-348.

European Declaration on Paper Recycling. 2014. online available: http://www.cepi.org/system/files/public/documents/publications/recycling/2015/Final_MonitoringReport2014.pdf.

Ewing, B., Moore, D., Goldfinger, S., Oursler, A., Reed, A. and Wackernagel, M. 2010. Ecological footprint atlas. Global footprint network. Oakland.

The Facts-An Analysis of European Plastics. 2015. anline available: http://www.ikem.se/MediaBinaryLoader.axd? Media Archive_FileID=e4f6e86c-fef6-4795-b971-08d29c1158bf&FileName=FinalPlasticsTheFacts2015_30p_25112015.pdf.

Hakkinen, T. and Bellon, K. 2011. Barriers and drivers for sustainable building. Building Research & Information. 39: 239-255.

Howe, J.C.and Gerrard, M. 2010. The law of green buildings. Regulatory and legal Issues in Design, Construction, Operations and Financing.

Soleimani Javid, A.S. and Avami, A. 2016. Life cycle assessment of low retrofit options of educational building considering renewable and non-renewable energies. Life cycle assessment and other assessment tools for waste management and resource optimization conference, Cetraro, Itay.

Kitzes, J., Peller, A., Goldinfer, S. and Wackernagel, M. 2007. Current methods for calculating national ecological footprint accounts. Science for Environment & Sustainable Society: 1-9.

Lewan, L. and Simmons, C.2001. The use of ecological footprint and biocapacity analysis as sustainability indicators for sub-national geographical areas: A recommended way forward. European Common Indicators Project, Includes feedback from Oslo Workshop.

Omer, A.M. 2008. Renewable building energy systems and passive human comfort solutions. 31(6): 1562-1587.

Van den Bergh, J.C. and Verbruggen, H. 1999. Spatial sustainability, trade and indicators: an evaluation of the 'ecological footprint'. Ecological economics, 29(1): 61-72.

Wackernagel, M., Lewan, L. and Hansson, C.B. 1999. Evaluating the use of natural capital with the ecological footprint: applications in Sweden and subregions. Ambio.: 604-12.

Wackernagel, M. and Yount, J.D. 1988. The ecological footprint: an indicator of progress toward regional sustainability. Environmental Monitoring and Assessment, 51(1-2): 511-529.

Wackernagel, M. and Rees, W. 1988. Our ecological footprint: reducing human impact on the earth. New Society Publishers.

Wilson J, Anielski M. 2005. Ecological footprints of Canadian municipalities and regions. Canadin Federation of Canadian Municipalities.

wordbank. 2013.（www.data.wordbank.org）