

ارزیابی اثرات زیست محیطی کاربری‌های آموزشی با استفاده از مدل ردپای اکولوژیکی

مطالعه موردی: دانشگاه کردستان^۱

هوشمند علیزاده^۲ - دانشیار، گروه مهندسی شهرسازی، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه کردستان، ایران.
وریا لطفی - دانش آموخته کارشناسی ارشد برنامه‌ریزی شهری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه کردستان، ایران.
صلاح ویسی - استادیار، گروه مهندسی معماری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه کردستان، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۸/۲۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۱/۱۸

چکیده

یکی از ابزارهایی که با دقت بالا اثرات زیست محیطی کاربری‌های شهری را ارزیابی می‌کند و تأثیرات فعالیت‌های انسانی را بر محیط زیست اندازه‌گیری می‌کند، مدل ردپای اکولوژیکی (Ecological Footprint) است. این مدل مقدار بار وارد شده از سوی یک کاربری مشخص بر محیط زیست را برآورد کرده و سطح زمین موردنیاز برای ارائه خدمات پایدار به جمعیت استفاده کننده از آن کاربری را نیز تعیین می‌کند. امروزه کاربرد این مدل در مطالعات شهری و منطقه‌ای فراگیر شده و به همین خاطر در این تحقیق با استفاده از روش مؤلفه‌ای (یکی از دوروش محاسبه ردپای اکولوژیکی) و با اندازه‌گیری داده‌های واقعی، پنج شاخص تأثیرگذار بر محیط زیست (از جمله گاز طبیعی، برق، آب، غذا و زباله)، اثرات زیست محیطی دانشگاه کردستان در سال تحصیلی ۲۰۱۴-۲۰۱۵ ارزیابی شده است. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که شاخص ردپای اکولوژیکی دانشگاه کردستان در سال تحصیلی یاد شده برابر با ۰/۵۶- است که نشانگر عملکرد ناپایدار است. مقدار ردپای اکولوژیکی دانشگاه کردستان برابر ۱۶ هزار و ۶۷۵ هکتار جهانی است، بدین معنی که برای جبران مقدار منابع طبیعی مصرف شده و زباله‌های ناشی از آن به زمینی برابر با ۱۶۵ برابر وسعت دانشگاه کردستان نیاز است. همچنین شاخص‌های انرژی (گاز طبیعی و برق) و آب با ۷۲/۰۳ و ۹۷/۰ درصد کل ردپای اکولوژیکی به ترتیب بیشترین و کمترین اثر زیست محیطی را در این دانشگاه بر محیط پیرامون داشته است. بنابراین می‌بایست در این دانشگاه برنامه جامعی به منظور اصلاح الگوی مصرف و در نتیجه کاهش اثرات زیست محیطی این دانشگاه بر محیط پیرامونی ارائه گردد.

واژگان کلیدی: ردپای اکولوژیکی، دانشگاه کردستان، تأثیرات زیست محیطی، توسعه پایدار، کاربری‌های آموزشی.

۱ این مقاله برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد وریا لطفی، با عنوان "ارزیابی ردپای اکولوژیکی دانشگاه کردستان" با راهنمایی دکتر هوشمند علیزاده و استاد مشاور دکتر صلاح ویسی، در دانشگاه کردستان است.

۲ نویسنده مسئول مقاله: h.alizadeh@uok.ac.ir

امروزه معضلات زیست محیطی ناشی از روند سریع شهرنشینی به یکی از چالش‌های فراروی متخصصان این حوزه تبدیل شده است. یکی از راه‌حل‌های پیشنهادی، مفهوم شهرگرایی اکولوژیکی^۱ در برنامه‌ریزی و نظارت بر توسعه کیفی شهرهاست (Spim, 2014). کاربری‌های شهری اعم از مسکونی، درمانی، آموزشی و غیره سهم بالایی از مصرف منابع طبیعی دارند و نقش مهمی در پایداری محیط پیرامونی ایفا می‌کنند. مراکز آموزشی و به خصوص ساختمان‌های دانشگاهی به دلیل مساحت زیاد و تعداد زیاد کاربران (تراکم نفر در مترمربع زیربنا) و همچنین میزان قابل توجه مصرف منابع طبیعی و تولید زباله می‌توانند نقش مؤثری در رسیدن به اهداف توسعه پایدار محیطی در یک منطقه داشته باشند. دانشگاه‌ها با وسعت زیادشان همچون شهرک‌های کوچکی عمل می‌کنند که تأثیر بارزی بر تغییرات محیطی دارند (Klein-Banai & Theis, 2011). یکی از مدل‌هایی که در سال‌های اخیر کاربرد آن برای تحلیل عملکرد سبز سایت‌های دانشگاهی، اهمیت دوچندانی پیدا کرده، ردپای اکولوژیکی^۲ است.

در این تحقیق دانشگاه کردستان به عنوان یک مرکز آموزشی بزرگ مقیاس در شهر سنندج به عنوان مطالعه موردی انتخاب شده تا سطح پایداری و اثرات زیست محیطی آن بر اساس شاخص‌های گاز طبیعی، برق، آب، غذا و تولید زباله در یک سال تحصیلی (۲۰۱۵-۲۰۱۴) از طریق مدل ردپای اکولوژیکی مورد ارزیابی قرار گیرد. در این راستا با استفاده از محاسبات ردپای اکولوژیکی (بخش ۳، ۳) مقدار مصرف هر یک از شاخص‌های یاد شده و مقدار تولید زباله را در واحد مشترک این مدل (هکتار جهانی^۳) بیان کرده تا بتوان مقدار فشار وارد شده بر محیط زیست به وسیله هر یک از شاخص‌های پنج‌گانه (مصرف گاز طبیعی، برق، آب، غذا و تولید زباله) بر محیط را ارزیابی کرد. از طرفی دیگر با استفاده از شاخص ردپای اکولوژیکی^۴ (Ecological Footprint Index) سطح پایداری دانشگاه کردستان در سال تحصیلی ۲۰۱۴-۲۰۱۵ اندازه‌گیری شده است. به منظور بهینه‌سازی مصرف انرژی و کاهش اثرات زیست محیطی فعالیت‌های انسانی، تعیین وزن و اهمیت هر یک از شاخص‌های پنج‌گانه در جهت دادن به برنامه‌های پیشگیرانه و اقدامات عملی مؤثر است. بنابراین در این تحقیق با استفاده از مدل ردپای اکولوژیکی مشخص می‌شود که در دانشگاه کردستان و در بین شاخص‌های مختلفی که در محاسبات در نظر گرفته شده (انرژی، آب، غذا و زباله) کدام یک بیشترین فشار را بر روی محیط پیرامونی وارد می‌کند تا از این طریق بتوان اولویت‌بندی دقیقی را در اجرای برنامه‌ها و سیاست‌های کاهش مصرف منابع طبیعی در این دانشگاه ارائه داد.

۲. چارچوب نظری

۲.۱. مدل ردپای اکولوژیکی

مفهوم ردپای اکولوژیکی برای نخستین بار در اوایل دهه ۱۹۹۰ به وسیله ویلیام ریس^۵ و ماتیاس واکرناگل^۶ در دانشگاه بریتیش کلمبیا^۷ در ونکوور کانادا مطرح شد که بعدها ماتیاس واکرناگل این مدل را در رساله دکتری خود توسعه داد (Ewing et al., 2010: 9). تحلیل ردپای اکولوژیکی یک شاخص پایداری زمین مبتنا^۸ است که شدت استفاده انسان از منابع طبیعی و مقدار زباله‌های تولیدی آن را در یک سایت مشخص مورد بررسی قرار می‌دهد (Wackernagel and Yount, 1998: 512). این مدل از معادل مقدار زمین به منظور سنجش سهم فعالیت‌های انسانی از طبیعت بهره می‌گیرد (Bell et al., 2008: 3) و می‌تواند به عنوان یک ابزار سنجش پایداری در نظر گرفته شود که مقدار مصرف منابع طبیعی و زباله‌های تولیدی ناشی از آن را به واحد زمین تبدیل می‌کند (Flint, 2001: 48). سادگی این مدل به این موضوع برمی‌گردد که عامل اصلی در تعیین ردپای اکولوژیکی، زمین است (Rees, 1996: 203). مدل یاد شده بر این فرض استوار است که هر فرد به منظور فراهم کردن کالا و خدمات ضروری زندگی نیاز به میزان مشخصی از زمین دارد (Nunes et al., 2013: 276). به طور کلی، ردپای اکولوژیکی، تأثیر شیوه زندگی یک جامعه را بر محیط طبیعی اطراف بررسی می‌کند. به گونه‌ای که مقدار زمینی را که برای جبران مقدار مصرف منابع طبیعی در بخش‌های مختلف مورد نیاز است، مشخص می‌کند (Gottlieb et al., 2012: 195). مدل ردپای اکولوژیکی سه عامل اساسی را در نظر می‌گیرد:

- ۱- نوع مکان مورد مطالعه (روستا، شهر، حومه شهرها، منطقه‌ای از شهر یا روستا)،
- ۲- مقیاس (دانشگاه، شهر، ناحیه، ملی) و
- ۳- مدل ردپای اکولوژیکی هنجارهای رفتاری و فرهنگی جامعه آماری مورد بررسی را با کمی (quantify) کردن رفتارها ترسیم می‌کند که نسبت بین فعالیت‌های جمعیت مشخص را با توان زیستی آن منطقه نشان می‌دهد تا بتوان ارتباط بین منابع طبیعی و این فعالیت‌ها را هوشمندانه مدیریت کرد (Klein-Banai & Theis, 2011: 860).

به منظور دستیابی به نتایج قابل درک و قیاس الگوی مصرف، ردپای اکولوژیکی با یک واحد جهانی ثابت بیان می‌شود که این واحد ثابت در محاسبات ردپای اکولوژیکی، هکتار جهانی (gha) نام دارد. هکتار جهانی (gha) یک شاخص استاندارد برای محاسبه توان اکولوژیکی انواع مختلف زمین است که بهره‌وری و بازدهی متفاوتی دارند و با استفاده از این شاخص مشترک می‌توان قیاس معناداری بین نتایج حاصل از ردپای اکولوژیکی داشت (Anielski & Wilson, 2010: 36).

5 William Rees

6 Mathis Wackernagel

7 British Columbia

8 Area based indicator

1 Ecological Urbanism

2 Ecological Footprint

3 Global Hectares

4 Ecological Footprint Index

۲.۲. ظرفیت زیستی

یکی از مفاهیمی که در محاسبات ردپای اکولوژیکی نقش بنیادی دارد، ظرفیت زیستی (BC) است که به آن Biocapacity گفته می‌شود. BC در چند دهه اخیر به پارامتر مهمی در مسائل زیست‌محیطی تبدیل شده که معیار دقیقی برای بررسی الگوهای مصرفی به شمار می‌رود. ظرفیت زیستی به مقدار کل زمین‌های مولد یک منطقه گفته می‌شود (Chambers et al., 2014:177). در واقع این مفهوم، مکمل ردپای اکولوژیکی است و مقدار زمینی که برای جبران مصارف انسانی در اختیار است را تعیین می‌کند (Feng, 2014: 108). برای محاسبه BC، زمین مولد با دقت اندازه‌گیری می‌شود. زمین مولد شامل پنج دسته از اراضی است

که عبارتند از مزارع، مراتع، زمین‌های ساخته شده (مسکونی)، جنگل و منابع آبی (Bicknell et al., 1998: 154). ظرفیت زیستی میزان سرمایه طبیعی را از لحاظ تولید منابع (انرژی و غذا) تفسیر می‌کند (Rees, 1992: 125) و زمین‌هایی که مولد نیستند مانند کویر و بیابان را شامل نمی‌شود. پارامتری که سطح پایداری یک منطقه، شهر یا دانشگاه را با استفاده از رابطه بین ردپای اکولوژیکی و ظرفیت زیستی تعیین می‌کند، شاخص ردپای اکولوژیکی نام دارد. این شاخص نشانگر سطح پایداری در چهار حالت است که در جدول شماره ۱ بیان شده است.

جدول شماره ۱: تعیین سطح پایداری با استفاده از شاخص ردپای اکولوژیکی

سطح پایداری	EFI	سطح
بسیار پایدار	$0.5 < \text{EFI} < 1$	۱
نسبتاً پایدار	$0 < \text{EFI} \leq 0.5$	۲
ناپایدار	$-1 < \text{EFI} \leq 0$	۳
بسیار ناپایدار	$\text{EFI} \leq -1$	۴

(Liu et al., 2017: 273)

۲.۳. مدل ردپای اکولوژیکی دانشگاه‌ها

دانشگاه شامل بسیاری از عملکردهای یک جامعه کوچک مقیاس از جمله مسکن، آزمایشگاه، امکانات تفریحی و ورزشی، حمل‌ونقل، فعالیت‌های کشاورزی و ساختمان‌های اداری و آموزشی و غیره است که تأثیر زیادی را بر محیط زیست اطراف خود می‌گذارد (Klein-Banai & Theis, 2011: 854). این مؤسسات به دلیل تأثیر بسزایی که در توسعه اجتماعی دارند، نقش مهمی را در ارائه راهکارهای زیست‌محیطی برای رسیدن به توسعه پایدار ایفا می‌کنند (Bell et al., 2008: 3). در سال‌های اخیر مؤسسات آموزش عالی به تقویت نقش‌شان به منظور دستیابی به جامعه‌ای پایدار تشویق شده‌اند؛ زیرا این مؤسسات بازیگران کلیدی آموزش در جامعه هستند و دانشجویان را به منظور ارتباط هرچه بیشتر با مفهوم توسعه پایدار آماده می‌کنند (Lambrechts & Van Liedekerke, 2014: 402). توجه ویژه به رشته‌هایی در ارتباط با علوم محیطی، مهندسی محیط زیست، تجهیز ساختمان‌های دانشگاه به تکنولوژی پایدار، ارتباط بیشتر دانشگاه با سازمان‌های ملی و محلی که در زمینه مسائل زیست‌محیطی مشغول به فعالیت هستند و در نهایت تلاش بیشتر به منظور کاهش مصرف منابع طبیعی از جمله وظایفی است که دانشگاه باید در سیاست‌های سالانه خود در راستای توسعه پایدار به مرحله اجرا برساند (Flint, 2001: 58). همان‌گونه که آموزش برای پایداری در مؤسسات آموزشی بسیار مورد توجه قرار گرفته، نیاز به توسعه روش‌های اندازه‌گیری سطح پایداری این مراکز نیز بیشتر احساس می‌شود (Conway et al., 2008: 5). بنابراین ضروری است که روش‌هایی نیز برای سنجش بار اکولوژیکی این مؤسسات بر محیط زیست مورد توجه قرار گیرد و سهم آنها در توسعه پایدار در جامعه بارزتر گردد. مدل ردپای اکولوژیکی از جمله روش‌های مکانی ارزیابی توسعه پایدار است که در چند دهه اخیر در سطح دانشگاه‌ها محبوبیت

زیادی پیدا کرده است (Bell et al., 2008: 3). اجرای مدل ردپای اکولوژیکی در محیط‌های دانشگاهی دو مزیت بالقوه را دارد:

- ۱- نظارت بر عملکرد پایدار دانشگاه‌ها در بخش زیست‌محیطی از طریق اندازه‌گیری شاخص‌های مؤثر (انرژی و زباله) و
- ۲- افزایش آگاهی همگانی و اطلاعات عمومی در مورد اصول و شیوه‌های صحیح پایداری با مشارکت افراد (دانشجویان، کارمندان و کارکنان) در فرآیند نظارت، جمع‌آوری داده‌ها، نتایج و برنامه‌های اجرایی به منظور کاهش ردپای اکولوژیکی مؤسسات آموزشی (Gottlieb et al., 2012: 91).

مطالعات ردپای اکولوژیکی در سایت‌های دانشگاهی، از اوایل قرن ۲۱ با اجرای این مدل در دانشگاه رلدندز^۱ در ایالت کالیفرنیا و دانشگاه نیوکاسل^۲ در استرالیا شروع شد. در این خصوص مطالعات زیادی انجام شده اما به جز دانشگاه‌هایی همچون آگاروه^۳ پرتغال (Nunes et al., 2013) و تیانجین^۴ چین (Liu et al., 2017) در سایر دانشگاه‌های دیگر از جمله اوهایو^۵ (Janis, 2007)، ویلامت^۶ (Torregrosa López et al., 2011) و رلدندز آمریکا (Venetoulis, 2001)، نیوکاسل استرالیا (Flint, 2001)، هولم لیس^۷ انگلستان (Dawe et al., 2004)، کوانتلن^۸ (Burgess & Lai, 2006) و تورنتو^۹ کانادا (Conway et al., 2008)، نورث ایسترن^{۱۰} چین (Li

- 1 Redlands
- 2 Newcastle
- 3 Algarve
- 4 Tianjin
- 5 Ohio
- 6 Willamette
- 7 Holme Lacy
- 8 Kwantlen
- 9 Toronto
- 10 Northeastern

SRM و (et al., 2008) و (Thattai, 2007) روند محاسبات ردپای اکولوژیکی به صورت کامل صورت نگرفته و نتایج به دست آمده به واحد جهانی ردپای اکولوژیکی (هکتار جهانی) تبدیل نشده و به واحد هکتار اکتفا نموده اند. از جمله محدود تحقیقات داخلی مرتبط با موضوع، کار تحقیقی حیدری و همکاران (۲۰۱۷) است. در این پژوهش، یکی از شاخص های ارزیابی ردپای اکولوژیکی، مصرف سوخت در بخش حمل و نقل است. در نظر گرفتن بخش حمل و نقل به تنهایی و بدون توجه به سایر شاخص ها دقت محاسبه ردپای اکولوژیکی و مقایسه آن با سایر دانشگاه های دیگر را کاهش می دهد، زیرا در یکی از تحقیقات دیگر در دانشگاه آگاره پرتغال (Nunes et al., 2013) به این سؤال پاسخ داده شده که آیا ردپای اکولوژیکی در دانشگاه های مختلف قابل مقایسه هستند یا خیر؟ که در نهایت با ارائه یک ساختار و با استفاده از مدل عدم قطعیت^۱ این نتیجه حاصل شده که استفاده از داده های همچون مصرف سوخت در بخش حمل و نقل (که داده های آن نمی تواند به طور دقیق قابل اعتماد باشد)، صحت و دقت مقایسه ردپای اکولوژیکی بین دانشگاه ها را پایین می آورد. یکی از آخرین مطالعات در حوزه ردپای اکولوژیکی در کشور ترکیه انجام شده است (Sudaş & Ozel, 2015). این تحقیق از اعتبار بسیار پایینی برخوردار است؛ به این دلیل که برای گردآوری داده ها فقط از روش پرسشنامه استفاده شده است (www.myfootprint.org). استفاده از پرسشنامه برای دانشگاه چوکوروآ در شهر آدانا^۲ به هیچ وجه نمی تواند نتایج مطلوبی را به همراه داشته باشد، چون آمار و ارقام دقیق مربوط به مصرف منابعی همچون گاز طبیعی، برق و آب یک دانشگاه را نمی توان صرفاً با استفاده از نظرسنجی جمع آوری کرد. در ارزیابی ردپای اکولوژیکی استفاده از پرسشنامه به عنوان ابزار گردآوری داده ها، دقت محاسبات را بسیار پایین می آورد. به منظور ارزیابی پایداری یک منطقه، شهر یا دانشگاه روش های گوناگونی وجود دارد. از جمله این روش ها ارزیابی براساس معیارها است و ردپای اکولوژیکی یکی از مدل هایی است که در این دسته از ابزارهای ارزیابی پایداری قرار می گیرد. شاخص هایی که در مدل ردپای اکولوژیکی استفاده می شود شامل انرژی (گاز و برق، انرژی های تجدید پذیر^۳)، مصرف سوخت در بخش حمل و نقل (به شرط امکان اندازه گیری دقیق)، مصالح ساختمانی، آب، غذا، لوازم اداری و زباله می شود. با مدل کردن این داده ها و در نهایت استفاده از شاخص ردپای اکولوژیکی، سطح پایداری مکان مورد نظر تعیین می گردد. تصویر شماره ۱ نشان می دهد که چگونه می توان توسعه پایدار را از طریق مدل ردپای اکولوژیکی ارزیابی نمود. مهم ترین شاخص های ارزیابی و سنجش ردپای اکولوژیکی در تصویر بیان شده اند و در بخشی از آن شاخص هایی که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفته اند، مشخص گردیده است.

۳. روش

۳.۱. روش انجام تحقیق

ردپای اکولوژیکی براساس دو روش ترکیبی (Compound method) و مؤلفه ای (Component-based method) اندازه گیری می شود که روش ترکیبی، روشی از بالا به پایین (Top-Down) است. در این روش، از داده های جزئی استفاده نمی شود و در مقیاس های کوچکتر دقت لازم را ندارد. اما روش مؤلفه ای یک روش از پایین به بالا (Bottom-up) است که داده های جزئی مانند مصارف آب، برق، گاز طبیعی و غیره در مقیاس سایت جمع آوری شده و تحلیل ها نیز براساس همین داده های جزئی و دقیق صورت می گیرد (Simmons et al., 2000: 377). در این تحقیق با توجه به مقیاس خرد مطالعه موردی و در دسترس بودن داده های واقعی و دقیق از روش مؤلفه ای استفاده شده است.

۳.۲. جامعه آماری و نحوه گردآوری داده ها

جامعه آماری تحقیق شامل دانشجویان، اساتید هیأت علمی و کارکنان دانشگاه کردستان در سال تحصیلی ۲۰۱۵-۲۰۱۴ میلادی می شود. میزان مصرف هر یک از منابع برق، گاز طبیعی و آب در سال تحصیلی ۲۰۱۵-۲۰۱۴، از اداره تعمیر و نگهداری ساختمان ها و تأسیسات دانشگاه کردستان گردآوری شده که برای بالا بردن دقت نتایج حاصل، از قبوض مصرف انرژی به صورت ماهیانه استفاده شده است. داده های مربوط به مصرف غذا شامل برنج، گوشت (مرغ و گوشت قرمز)، ماهی، لبنیات، سبزیجات و روغن خوراکی از روی فاکتورهای خرید غذاخوری های دانشگاه جمع آوری شده است. سایر اقلام دیگر از جمله نمک، حبوبات و نوشیدنی ها به دلیل ناقص بودن اطلاعات، بیان نشده است. میزان تولید زباله بر حسب واحد وزن (kg) از طریق مصاحبه با مسئولان سلف سرویس و تخمین بار روزانه تخلیه زباله در سطح دانشگاه به دست آمده است.

۳.۳. آنالیز داده ها و انجام محاسبات

۳.۳.۱. محاسبات مربوط به ردپای اکولوژیکی مصرف برق

واحد برق مصرفی kWh است که برای تبدیل این واحد به هکتار می بایست از رابطه های زیر استفاده کرد:

ابتدا مقدار انرژی برق مصرفی دانشگاه با استفاده از روابط ذیل به دست آمده است (X کیلووات ساعت برق مصرفی به Y هکتار زمین تبدیل شده است):

$$X_1 \text{ (kJ)} = X \text{ (kWh)} \times 1 \text{ (kJ/Sec)} \times 60 \text{ (Sec/min)} \times 60 \text{ (min/hr)}$$

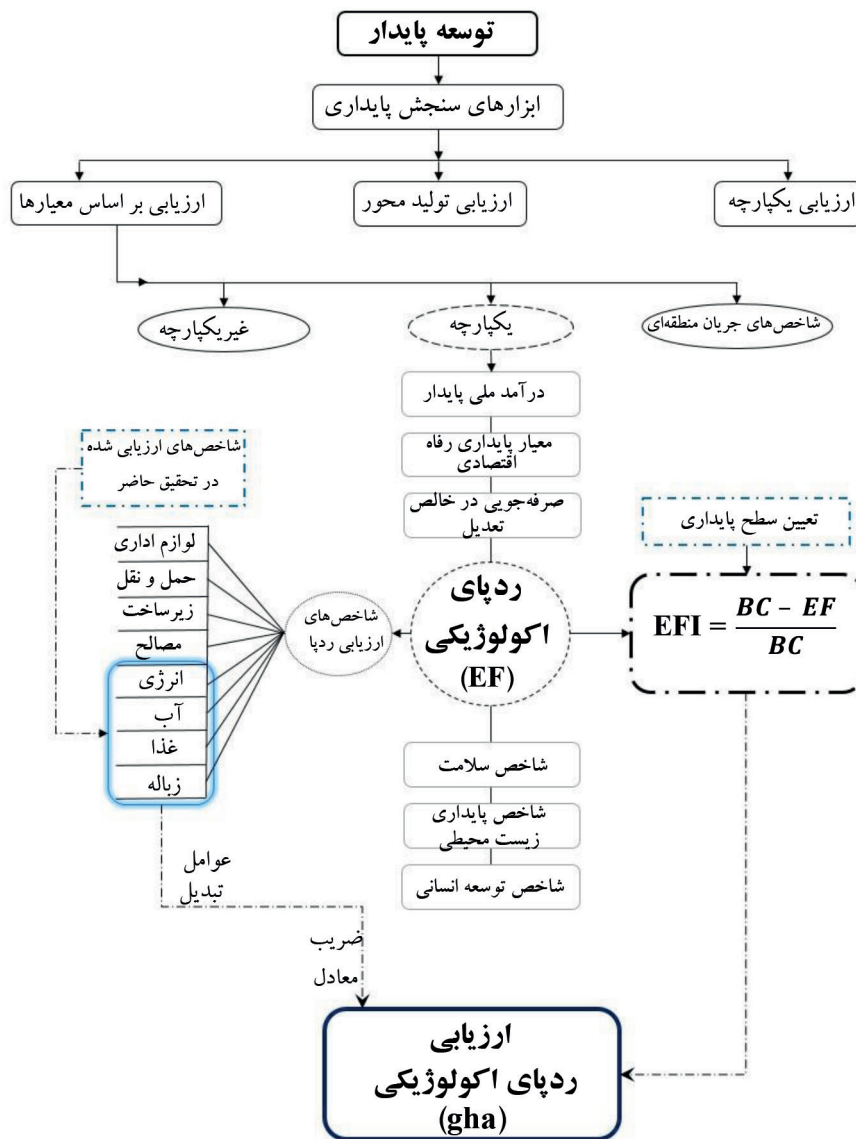
حال در این قسمت زغال سنگی که برای تولید X_1 کیلووات انرژی برق مورد نیاز است، محاسبه می گردد:

به طور متوسط هر گرم انواع زغال سنگ حدود ۲۰ کیلووات انرژی برق تولید می کند (Janis, 2007: 11).

$$X_1 \text{ (kJ)} \times 1 \text{ (gr)} / 20 \text{ (kJ)} = X_2 \text{ (gr) Coal}$$

با توجه به این که گیاهان حدود ۳۱/۴ درصد بازدهی تولید زغال سنگ دارند (Rahimi et al., 2015: 113):

- 1 Uncertainty analysis
- 2 Çukurova
- 3 Adana
- 4 Renewable energy



تصویر شماره ۱. چارچوب مفهومی پژوهش

زیر عمل کرد (X مترمکعب گاز طبیعی مصرفی به Y هکتار زمین تبدیل شده است):

با توجه به استانداردهای جهانی هر مترمکعب گاز طبیعی برابر است با ۳۵/۳۱۴ فوت مکعب گاز طبیعی پس:

$$X (m^3) \times 35.314 = X_1 (ft^3)$$

از طرفی دیگر در هر فوت مکعب گاز طبیعی حدود ۰/۲۴ گرم کربن وجود دارد، بنابراین:

$$X_1 (ft^3) \times 0.24 = X_2 (gr) Carbon$$

با توجه به این که هر هکتار زمین توانایی جذب ۱/۸ تن کربن را دارد پس:

$$X_2 (gr) Carbon \times 1,000,000 = X_3 (Ton) Carbon$$

$$X_3 (Ton) Carbon / 1.8 = Y (ha) \quad (2)$$

بنابراین با توجه به رابطه (۲) برای تولید X مترمکعب گاز طبیعی مصرفی به Y هکتار زمین نیاز است.

$$X_2 (gr) / 0.314 = X_3 (gr) Coal$$

با توجه به استانداردهای جهانی، به طور متوسط ۸۵ درصد زغال سنگ را کربن تشکیل می‌دهد، بنابراین:

$$X_3 (gr) Coal \times 0.85 = X_4 (gr) Carbon$$

از طرفی دیگر با توجه به آن که هر هکتار زمین توانایی جذب حدود ۱/۸ تن کربن را دارد (Rahimi et al., 2015: 113)، بنابراین ابتدا مقدار گرم کربن به تن کربن تبدیل شده، سپس عدد حاصل بر ۱/۸ تقسیم می‌شود.

$$X_4 (gr) Carbon \div 1,000,000 = X_5 (Ton) Carbon$$

$$X_5 (Ton) Carbon / 1.8 = Y (ha) \quad (1)$$

بنابراین با توجه به رابطه شماره ۱ برای تولید X کیلووات ساعت برق مصرفی به Y هکتار زمین نیاز است.

۳.۳.۲. محاسبات مربوط به ردپای اکولوژیکی مصرف گاز طبیعی برای تبدیل مترمکعب گاز طبیعی به هکتار زمین باید به صورت

۳.۳.۳. محاسبات مربوط به ردپای اکولوژیکی مصرف آب

برای جذب هر مترمکعب آب به $8/000000$ هکتار زمین نیاز است (Burgess & Lai, 2006: 11). بنابراین محاسبات مربوط به شاخص آب به صورت زیر انجام می‌گیرد (X مترمکعب آب مصرفی به Y هکتار زمین تبدیل شده است):

$$X \text{ (m}^3\text{)} \times 8 \times 10^{-5} = Y \text{ (ha)} \quad (3)$$

۳.۳.۴. محاسبات مربوط به ردپای اکولوژیکی مصرف غذا

علاوه بر مقدار مصرفی اقلام غذایی که بر حسب کیلوگرم از طریق فاکتورهای خرید سلف مرکزی دانشگاه کردستان جمع‌آوری شده است، براساس آمارهای ارائه شده از طرف سازمان جهاد کشاورزی حدود ۱۰ درصد از کل تولیدات محصولات کشاورزی به ضایعات پیش از مصرف اختصاص می‌یابد، بنابراین برای محاسبات مربوط به ردپای اکولوژیکی مصرف غذا در سطح دانشگاه، باید ۱۰ درصد به مقدار کل غذای مصرفی دانشگاه اضافه نمود. سپس این مقدار را به تن تبدیل کرد. از طرف دیگر به منظور برآورد مقدار اراضی موردنیاز برای تولید این مقدار غذای مصرفی، از تناسب سطوح زیرکشت و مقدار تولید محصولات سالانه سازمان جهاد کشاورزی استان کردستان استفاده شده است. براساس آمار ارائه شده از سوی سازمان جهاد کشاورزی استان کردستان در سال ۲۰۱۵ مجموع سطوح زیر کشت محصولات کشاورزی استان کردستان $59452/44$ هکتار و میزان کل تولید نیز برابر با $155095/5$ تن بوده است. به عبارتی دیگر برای تولید یک تن از محصولات کشاورزی در سطح استان به $34/0$ هکتار زمین نیاز داریم؛ بنابراین به منظور محاسبه مقدار زمین لازم برای تولید X تن غذای مصرفی در سطح دانشگاه کردستان براساس رابطه زیر عمل شده است:

$$X \text{ (Ton)} \times 0.1 \times 0.34 = Y \text{ (ha)} \quad (4)$$

۳.۳.۵. محاسبات مربوط به ردپای اکولوژیکی تولید زباله

برای محاسبه ردپای اکولوژیکی تولید زباله در سطح دانشگاه کردستان، مقدار زباله تولیدی به دو بخش تقسیم شده است: بخش نخست شامل فصل‌های پاییز، زمستان و بهار و بخش دوم شامل فصل تابستان است، زیرا حجم زباله تولیدی در فصل تابستان (به دلیل تعطیل بودن دانشگاه) با سایر فصول متفاوت است. در روابط زیر X کیلوگرم زباله تولیدی به Y هکتار زمین تبدیل شده است.

به طور تقریبی حدود ۸۰ درصد زباله‌های تولیدی را مواد آلی تشکیل می‌دهند و در هنگام دفن به ۲۵ درصد حجم اولیه خود تبدیل می‌شوند. برای دفن هر 450 کیلوگرم انواع زباله به طور متوسط به یک مترمکعب زمین نیاز است اما اگر زباله تولیدی را مواد آلی تشکیل داده باشد، این مقدار به $25/0$ مترمکعب می‌رسد (Rahimi et al., 2015: 113) بنابراین:

$$X \text{ (kg)} / 450 = X_1 \text{ (m}^3\text{)}$$

$$X_1 \text{ (m}^3\text{)} \times 0.25 = X_2 \text{ (m}^3\text{)}$$

به طور معمول برای دفن هر لایه زباله به عمق حدود دو متر نیاز است:

$$X_2 \text{ (m}^3\text{)} / 2 \text{ (m)} = X_3 \text{ (m}^2\text{)}$$

$$X_3 \text{ (m}^2\text{)} \div 1 \text{ (ha)} / 10000 \text{ (m}^2\text{)} = Y \text{ (ha)} \quad (5)$$

پس برای دفن X کیلوگرم زباله تولیدی به Y هکتار زمین نیاز است.

۳.۳.۶. تبدیل ردپای اکولوژیکی شاخص‌های مطالعه شده به واحد هکتار جهانی

به منظور محاسبه دقیق میزان ردپای اکولوژیکی دانشگاه کردستان و مقایسه آن با ردپای سایر دانشگاه‌ها در سطح جهان، نیاز است که هکتار زمین موردنیاز برای جبران فشار بر محیط زیست به هکتار جهانی تبدیل شود. رابطه‌ای که برای به دست آوردن ردپای اکولوژیکی براساس هکتار جهانی استفاده می‌شود، به شرح زیر است (Nunes et al., 2013: 279).

$$\text{Total EF (gha)} = \sum_n \frac{c_n \cdot ef_n}{p_n} \quad (6)$$

c_n : مقدار زمین به دست آمده برای هر کدام از شاخص‌های گاز طبیعی، برق، آب، غذا و زباله بر حسب هکتار است.

ef_n (Equivalence Factor): این عدد برای هر یک از شاخص‌ها مقدار ثابتی است که با عنوان ضریب معادل شناخته می‌شود و برای تبدیل مقدار هکتار مصرفی به هکتار جهانی استفاده می‌شود (جدول شماره ۲).

p_n (Land Productivity): ضریب ثابت دیگری است با عنوان بهره‌وری زمین که براساس استانداردهای جهانی بیان می‌کند، برای تولید یک تن از هر شاخص انرژی یا زباله در سال، چند هکتار زمین لازم است. تمامی ضرایب موردنیاز در جدول شماره ۲ ارائه شده است.

جدول شماره ۲. ضریب معادل و بهره‌وری زمین براساس شاخص‌های مورد مطالعه

p_n	ef_n	شاخص
۰/۵۶	۱/۳۷	برق
$2/11 \times 10^{-3}$	۱/۳۷	گاز طبیعی
۰/۲	۱/۳۷	آب
$1/65 \times 10^{-6}$	۰/۴۸	زباله
۲/۲۶۴	۰/۵	برنج
۰/۱۹	۰/۵	گوشت
۰/۰۳۳	۰/۲	ماهی
۰/۲۷۶	۰/۵	لبنیات
۲۲/۵	۰/۵	سبزیجات
۱/۴۸۵	۰/۵	روغن

۳.۳۷. نحوه محاسبه ظرفیت زیستی در واحد هکتار جهانی
 ظرفیت زیستی (BC) یک منطقه براساس هکتار جهانی از رابطه زیر به دست می‌آید (Stechbart & Wilson, 2010: 35):

$$\text{Total BC (gha)} = \sum_n A_n (\text{ha}) \cdot YF_n \cdot ef_n \quad (7)$$

A_n : مساحت اراضی مزروعی، جنگل، سطوح آبی، زمین‌های ساخته شده و مراتع برحسب هکتار است و در کل شامل زمین‌های مولد است.

YF_n : ضریب بازدهی زمین که برای هر منطقه متفاوت است و با استفاده از رابطه شماره ۸ به دست می‌آید:

$$\text{Yield Factor (YF)} = \frac{\text{میزان تولید سالانه زمین بر حسب تن}}{\text{مساحت زمین بر حسب هکتار}} \quad (8)$$

ef_n (Equivalence Factor): در محاسبات ظرفیت زیستی از ضریب ثابتی با عنوان ضریب معادل استفاده می‌شود (جدول شماره ۳). گفتنی است به دلیل این که اکثر زمین‌های ساخته شده (مسکونی) در مناطق با بیشترین حاصلخیزی قرار گرفته‌اند، بنابراین ضریب معادل زمین‌های ساخته شده در هر منطقه را برابر با معادل آن در اراضی مزروعی در نظر می‌گیرند (Wackernagel and Yount, 1998: 516).

برای محاسبه ظرفیت زیستی در پژوهش حاضر، به منابع زیستی موجود در استان کردستان ارجاع شده است (جدول شماره ۵). زیرا نخست در سطح شهر سنندج، تمامی منابع زیستی که در محاسبات آورده می‌شوند، وجود ندارند؛ دوم چون در کشور ایران سیستم متمرکز وجود دارد، بنابراین در استان کردستان می‌توان عملکرد استان را به مرکز آن (شهر سنندج) تعمیم داد. همچنین سرانه ظرفیت زیستی در استان کردستان به سرانه ردپای اکولوژیکی در دانشگاه کردستان تعمیم داده شده است تا از این طریق بتوان قیاس معقول تری را انجام داد.

۳.۳۸. تعیین سطح پایداری با استفاده از شاخص ردپای اکولوژیکی

EFI حاصل تقسیم تفاضل ردپای اکولوژیکی و ظرفیت زیستی (BC) (EF-) بر ظرفیت زیستی (BC) است (رابطه شماره ۹).

$$EFI = \frac{BC - EF}{BC} \quad (9)$$

۳.۴. منطقه مورد مطالعه

دانشگاه کردستان در سال ۱۹۷۴ با عنوان دانشکده تربیت دبیر رازی کار خود را آغاز نمود اما بعدها با توسعه دانشگاه در سال‌های ۱۹۸۴ و ۱۹۸۵ ساختمان اداری و آموزشی دانشگاه گسترش یافت و به دانشگاه کردستان تغییر نام و ماهیت داد. این دانشگاه در حال حاضر شامل هفت دانشکده است. دانشگاه در ۳۵ درجه و ۱۶ دقیقه عرض شمالی و ۴۶ درجه و ۵۹ دقیقه طول شرقی و در جنوب شهر سنندج، مرکز استان کردستان قرار گرفته است. مساحت محوطه اصلی و متمرکز دانشگاه کردستان ۱۰۱ هکتار است. در شمال و شمال شرقی دانشگاه کردستان، به ترتیب دانشگاه علوم پزشکی و بیمارستان تأمین اجتماعی قرار گرفته‌اند و سایر جبهه‌های جنوبی، شرقی و غربی را نواحی مسکونی تشکیل می‌دهند. البته جبهه جنوبی دانشگاه علاوه بر محله مسکونی به وسیله دانشگاه پیام نور نیز محدود شده است (تصویر شماره ۲). دانشگاه کردستان شامل دو کنتور اصلی آب، دو کنتور اصلی برق و یک کنتور اصلی گاز است. از طرفی دیگر این دانشگاه ۱۶ کنتور فرعی آب، ۱۶ کنتور فرعی برق و ۱۰ کنتور فرعی گاز را دارد. کنتورهای اصلی میزان برق، آب و گاز وارد شده به داخل دانشگاه را اندازه‌گیری کرده و کنتورهای فرعی، مصرف هر یک از ساختمان‌ها را به صورت جداگانه محاسبه می‌کنند.

۴. بحث و یافته‌ها

به منظور ارزیابی اثرات زیست‌محیطی دانشگاه کردستان، ردپای اکولوژیکی گاز طبیعی، برق، آب، غذا و زباله در سال تحصیلی ۲۰۱۵-۲۰۱۴ در این دانشگاه اندازه‌گیری شد. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که ردپای اکولوژیکی دانشگاه کردستان در سال یاد شده برابر با ۱۶ هزار و ۶۷۵ هکتار جهانی است. بدین معنی که این مقدار ردپای اکولوژیکی ۱۶۵ برابر بیشتر از توان اکولوژیکی دانشگاه کردستان است، یا به عبارتی دیگر برای جبران مقدار فشار وارد شده در سطح دانشگاه کردستان براساس پنج شاخصی که در این تحقیق بررسی شدند (گاز طبیعی، برق، آب، غذا و زباله) به زمینی با وسعت ۱۶۵ برابر مساحت دانشگاه نیاز است. ردپای اکولوژیکی مصرف گاز طبیعی با شش هزار و ۹۶۹ هکتار جهانی و مصرف آب با ۱۶۲ هکتار جهانی به ترتیب بیشترین و کمترین فشار را بر محیط وارد کرده‌اند. بعد از گاز طبیعی، برق، تولید زباله و مصرف غذا به ترتیب با ۵۰۴۳، ۲۹۷/۴ و ۲۰۴ هکتار جهانی بیشترین فشار را بر محیط زیست، در سال تحصیلی ۲۰۱۵-۲۰۱۴ در دانشگاه کردستان داشته‌اند. نتایج محاسبات و آنالیزها در جدول شماره ۴ ارائه شده است.

جدول شماره ۳. ضریب معادل زمین‌های مولد

ef_n	طبقه
۲/۸	اراضی مزروعی
۰/۵	مراتع
۱/۱	جنگل
۰/۲	سطوح آبی
۲/۸	زمین ساخته شده (مسکونی)

(Liu et al., 2017: 269)



تصویر شماره ۲: موقعیت و همجواری های دانشگاه کردستان

۱- بیمارستان تأمین اجتماعی ۲- دانشگاه پیام نور ۳- محلات مسکونی ۴- دانشگاه علوم پزشکی ۵- محور اصلی شهر (بلوار پاسداران)

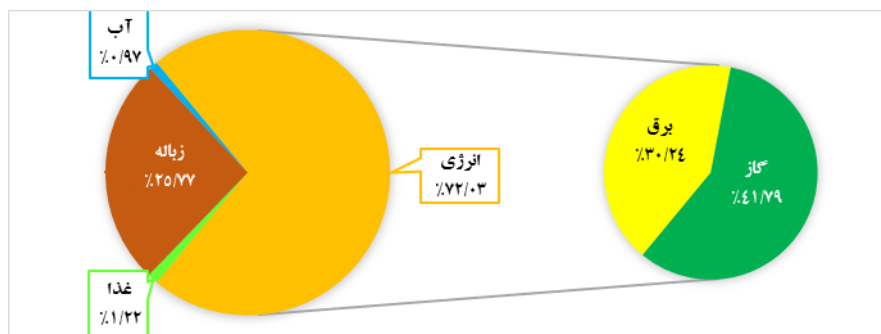
جدول شماره ۴: ردپای اکولوژیکی دانشگاه کردستان در سال تحصیلی ۲۰۱۴-۲۰۱۵

کل	زباله (Ton)	غذا (kg)	آب (m ³)	گاز طبیعی (m ³)	برق (kWh)	شاخص	
-	۵۳۱/۸	۱۹۰۴۸۷	۲۹۴۸۶۵	۳۳۰۸۷۹۳	۷۶۱۵۲۶۵	مصرف / تولید	جمعیت دانشگاه کردستان (۱۵-۲۰۱۴): ۹,۵۸۵ نفر
۱۶۶۷۶	۲۹۷/۴	۲۰۴	۱۶۲	۶,۹۶۹	۵۰۴۲	ردپای اکولوژیکی (gha)	
۱۰۰	۲۵/۷۷	۱/۲۲	۰/۹۷	۴۱/۷۹	۳۰/۲۴	درصد از کل ردپای اکولوژیکی	
۱/۷۴	۰/۴۵	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۷۳	۰/۵۲	سرانه ردپای اکولوژیکی (هکتار جهانی به ازای هر نفر)	

به ازای هر نفر است. سرانه شاخص گاز طبیعی، برق، آب، غذا و زباله نیز در این سال به ترتیب برابر با ۰/۷۳، ۰/۵۳، ۰/۰۲، ۰/۰۲ و ۰/۴۵ هکتار جهانی به ازای هر نفر است که نتایج محاسبات در جدول شماره ۴ ارائه شده است.

مجموع ظرفیت زیستی استان کردستان در سال ۲۰۱۵ برابر با یک میلیون و ۳۹۷ هزار و ۶۹۸ هکتار جهانی به دست آمده است. با در نظر گرفتن جمعیت این استان (The Spatial Plannig of Kurdistan province, 2013) در سال ۲۰۱۵ (۱۴۹۳۶۴۵ نفر) حاصل سرانه ظرفیت زیستی استان کردستان ۱/۰۷ هکتار جهانی به ازای هر نفر است (رابطه های شماره ۷ و ۸ و جدول شماره ۵).

شاخص مصرف انرژی (گاز طبیعی و برق) با ۷۲/۰۳ درصد بیشترین سهم را از کل ردپای اکولوژیکی به خود اختصاص داده که از این مقدار، گاز طبیعی ۴۱/۷۹ درصد و برق ۳۰/۲۴ درصد کل ردپای اکولوژیکی دانشگاه را شامل می شوند. بعد از شاخص انرژی بیشترین سهم از ردپای اکولوژیکی دانشگاه در تولید زباله با ۲۵/۷۷ درصد مشاهده شد. در نهایت غذا و آب به ترتیب با ۱/۲۲ و ۰/۹۷ درصد کمترین سهم را از کل ردپای اکولوژیکی دانشگاه کردستان در سال تحصیلی ۲۰۱۴-۲۰۱۵ دارند (تصویر شماره ۳). سرانه ردپای اکولوژیکی دانشگاه کردستان با توجه به جمعیت آن در سال تحصیلی یاد شده (۹۵۸۵ نفر) برابر با ۱/۷۴ هکتار جهانی



تصویر شماره ۳: سهم شاخص های مورد مطالعه از ردپای اکولوژیکی دانشگاه کردستان در سال تحصیلی ۲۰۱۴-۲۰۱۵

جدول شماره ۵. ظرفیت زیستی استان کردستان در سال ۲۰۱۵

طبقه	مساحت (ha)	ضریب معادل	تولید سالانه (Ton)	ضریب بازدهی	ظرفیت زیستی (BC)
اراضی مزروعی	۸۰۷۷۴۵	۲/۸	۱۷۷۸۴۹۴	۰/۴۵	۱۰۲۷۱۹۹
مراتع	۱۴۱۴۰۰۰	۰/۵	۵۴۱	۰/۰۰۰۴	۲۷۱
جنگل	۳۷۴۰۸۴	۱/۱	۹۷	۰/۰۰۰۳	۱۰۷
سطوح آبی	۱۲۲۲۴۷	۰/۲	۸۲۹۰	۱۴/۷۵	۳۶۰۵۳۹
زمین ساخته شده (مسکونی)	۷۶۰۵	۲/۸	-	۰/۴۵	۹۵۸۳
مجموع ظرفیت زیستی استان کردستان (gha)					
۱۳۹۷۶۹۸					
جمعیت کل استان کردستان (نفر) در سال ۲۰۱۵					
۱۴۹۳۶۴۵					
سرانه ظرفیت زیستی استان کردستان به ازای هر نفر (gha)					
۱/۰۷					

آلگاره پرتغال و تیانجین چین، در سایر مطالعات ردپای اکولوژیکی دانشگاه‌ها، شاخص‌های مدنظر به واحد هکتار جهانی تبدیل نشده تا بتوان قیاس معناداری را بین این مراکز انجام داد. با این وجود در این تحقیق نتایج حاصل از ارزیابی اثرات زیست محیطی دانشگاه کردستان با شش دانشگاه دیگر مورد ارزیابی قرار گرفت و نسبت کل ردپای اکولوژیکی به مساحت دانشگاه‌ها بررسی شد که از این نظر دانشگاه هولم لیسلی انگلستان و آلگاره پرتغال با ردپای اکولوژیکی ۱/۲۳ و ۳۷۶/۲ برابر مساحت دانشگاه به ترتیب کمترین و بیشترین فشار را بر محیط زیست وارد کرده‌اند. اعداد حاصل بدین معنی است که در دانشگاه‌های هولم لیسلی و آلگاره برای جبران مقدار منابع طبیعی مصرف شده و زباله‌های ناشی از آن به ترتیب به زمینی برابر با ۱/۲۳ و ۳۷۶/۲ برابر وسعت دانشگاه نیاز است. دانشگاه کردستان نیز با ردپای اکولوژیکی برابر با ۱۶۵ برابر مساحت دانشگاه بعد از دانشگاه آلگاره پرتغال بیشترین فشار را بر محیط زیست وارد کرده است. ردپای اکولوژیکی دانشگاه کردستان با ردپای سایر دانشگاه‌ها در سطح جهان مقایسه شد و نتایج و داده‌های مرتبط در جدول شماره ۷ آورده شده است.

با توجه به سرانه ردپای اکولوژیکی دانشگاه کردستان در سال تحصیلی ۲۰۱۴-۲۰۱۵ (۱/۷۴) هکتار جهانی به ازای هر نفر و سرانه ظرفیت زیستی استان کردستان در سال ۲۰۱۵ (۱/۰۷) هکتار جهانی به ازای هر نفر) شاخص ردپای اکولوژیکی برای دانشگاه کردستان ۰/۵۶- است که با استاندارد جهانی آن در سطح پایدار یا بسیار پایدار فاصله دارد، بنابراین عملکرد دانشگاه کردستان براساس شاخص یاد شده در سال ۲۰۱۵ ناپایدار است، چون شاخص ردپای اکولوژیکی بین ۱- تا ۰ به معنی عملکرد ناپایدار بستر مطالعاتی خواهد بود (جدول‌های شماره ۱ و ۶). در این تحقیق شاخص‌هایی همچون مصرف سوخت در بخش حمل‌ونقل و مصرف کاغذ در سطح دانشگاه به دلیل نبود داده‌های قابل استناد، در نظر گرفته نشدند. بنابراین انتظار می‌رود که حاصل شاخص ردپای اکولوژیکی دانشگاه کردستان از عدد یاد شده (۰/۵۶-) نیز کمتر و در نتیجه عملکرد دانشگاه کردستان در سال تحصیلی ۲۰۱۴-۲۰۱۵ ناپایدار تر باشد. در پژوهش حاضر شاخص‌های ارزیابی شده به واحد هکتار جهانی تبدیل شد (جدول شماره ۴) که به غیر از دانشگاه‌هایی همچون

جدول شماره ۶: سطح پایداری دانشگاه کردستان در سال تحصیلی ۲۰۱۴-۲۰۱۵

سطح پایداری	EF1	سرانه ردپای اکولوژیکی (هکتار جهانی به ازای هر نفر)	سرانه ظرفیت زیستی (هکتار جهانی به ازای هر نفر)
ناپایدار	-۰/۵۶	۱/۷۴	۱/۰۷

جدول شماره ۷: ردپای اکولوژیکی دانشگاه‌ها

دانشگاه منبع	ردپای اکولوژیکی	مساحت	ردپای اکولوژیکی	بیشترین مصرف ردپای اکولوژیکی (درصد)	EF1
ردلندز (امریکا)	۲۳۰۰	۵۷	۴۰	انرژی (۵۰/۲۶)	—
2001 (Venetoulis)	۳۵۹۲	۱۳۵	۲۷	مصالح (۴۳/۷۳)	—
Flint (2001)	۲۹۶	۲۴۰	۱/۲۳	زباله (۷۴/۹۰)	—
هولم لیسلی (انگلستان)	۸۷۴۴	۹۰	۹۷	انرژی (۶۹/۴۰)	—
Dawe et al (2004)	۷۵۲۴	۲۰	۳۷۶/۲	انرژی (۷۰/۰۳)	—
تورنتو (کانادا)	۴۶۵۹	۲۰۰	۲۳	غذا (۴۸/۲۸)	۰/۶۱
Conway et al (2008)	۱۶۶۷۵	۱۰۱	۱۶۵	انرژی (۷۲/۰۳)	-۰/۵۶
آلگاره (پرتغال)					
Nunes et al (2013)					
تیانجین (چین)					
Liu et al 2017 (۱)					
کردستان (تحقیق حاضر)					

۵. نتیجه‌گیری:

از مدل ردپای اکولوژیکی می‌توان به عنوان ابزاری به منظور مدیریت دقیق مصرف منابع در بخش‌های مختلف استفاده نمود زیرا مصرف منابع طبیعی مختلف و زباله‌های ناشی از آن را با یک واحد جهانی مشترک (هکنتر جهانی) بیان می‌کند. برای ارزیابی اثرات زیست محیطی و در نتیجه اجرای برنامه‌هایی در جهت حرکت به سمت کاهش اثرات مخرب بر روی محیط زیست اولویت‌بندی توجه به مصرف منابع مختلف ضروری است. در این پژوهش به منظور ارزیابی اثرات زیست محیطی دانشگاه کردستان به عنوان یک مرکز آموزشی، از مدل ردپای اکولوژیکی استفاده شد. براساس میزان مصرف گاز طبیعی، برق، آب، غذا و تولید زباله، مقدار ردپای اکولوژیکی هریک از این شاخص‌ها و در نتیجه مقدار فشاری که هر یک از آنها بر محیط زیست در سال تحصیلی ۲۰۱۵-۲۰۱۴ وارد می‌کند، اندازه‌گیری شده است. با توجه به سرانه ردپای اکولوژیکی دانشگاه کردستان در سال تحصیلی یاد شده و سرانه ظرفیت زیستی استان کردستان در سال ۲۰۱۵ و با استفاده از شاخص ردپای اکولوژیکی، سطح پایداری دانشگاه کردستان در این سال تعیین گردید. براساس شاخص‌های مصرف سالیانه گاز طبیعی، برق، آب، غذا و زباله کل ردپای اکولوژیکی دانشگاه کردستان در سال تحصیلی یاد شده (۲۰۱۵-۲۰۱۴) برابر ۱۶۶۷۵ هکنتر جهانی به دست آمده است. به عبارتی دیگر، برای جبران مقدار مصرف منابع طبیعی و زباله‌های ناشی از آن در این دانشگاه به زمینی با ۱۶۵ برابر وسعت دانشگاه کردستان نیاز است. یافته‌های تحقیق مشخص نمود که دانشگاه کردستان در سال تحصیلی ۲۰۱۵-۲۰۱۴ عملکرد ناپایداری را داشته است. بیشترین و کمترین فشار وارد شده بر محیط، به ترتیب ناشی از مصرف انرژی (گاز طبیعی و برق) با ۷۲/۰۳ و مصرف آب با ۰/۹۷ درصد از کل ردپای اکولوژیکی دانشگاه در سال تحصیلی یاد شده است. از این نظر، فشار وارد شده بر محیط زیست ناشی از مصرف انرژی، حدود ۲/۵ برابر فشار وارد شده ناشی از سایر شاخص‌های دیگر (آب، غذا و زباله) است که در این تحقیق بررسی شدند. مهم‌ترین شاخص‌هایی که در دانشگاه‌های مختلف جهان در مدل ردپای اکولوژیکی استفاده شده شامل انرژی، مصرف سوخت در بخش حمل‌ونقل، مصالح، غذا، آب، زباله و مصرف کاغذ هستند که در این میان، انرژی، بیشترین ردپای اکولوژیکی را در اکثر دانشگاه‌ها داشته و در دانشگاه کردستان نیز با ۷۲/۰۳ درصد چنین وضعیتی مشاهده شد. بنابراین ضروری است که توجه به مصرف انرژی در اولویت برنامه‌ها و سیاست‌های کاهش مصرف منابع طبیعی در دانشگاه کردستان قرار گیرد. دانشگاه کردستان بعد از دانشگاه آنگاروه پرتغال با ردپای اکولوژیکی ۱۶۵ برابر وسعت دانشگاه در رده دوم دانشگاه‌ها از لحاظ بیشترین تأثیر مخرب بر محیط زیست قرار می‌گیرد. دانشگاه کردستان به همراه دانشگاه تیانجین چین، دو دانشگاهی هستند که به تعیین سطح پایداری دانشگاه با استفاده از شاخص ردپای اکولوژیکی پرداخته‌اند و سایر دانشگاه‌ها تنها ردپای اکولوژیکی را در مقایسه با مساحت دانشگاه بررسی کرده‌اند. دانشگاه تیانجین چین با شاخص ردپای اکولوژیکی برابر

با ۰/۶۱ عملکرد پایداری را داشته اما دانشگاه کردستان با شاخص ردپای اکولوژیکی ۰/۵۶- در سال ۲۰۱۵ عملکرد ناپایداری داشته است. بنابراین می‌بایست در این دانشگاه برنامه جامعی به منظور اصلاح الگوی مصرف و در نتیجه کاهش اثرات زیست محیطی این دانشگاه بر محیط پیرامونی ارائه گردد.

References:

- Anielski, M., & Wilson, J. (2010). Environmental Footprinting for Agriculture in Alberta: Literature Review and Analysis. Environmental Stewardship Division of Alberta Agriculture and Rural Development
- Bell, I., Curry, V., Kuperus, S., Myers, L., Walsh, A., & Walton, S. (2008). An Ecological Footprint Analysis of the Department of Zoology, University of Otago. OTAGO MANAGEMENT GRADUATE
- Bicknell, K. B., Ball, R. J., Cullen, R., & Bigsby, H. R. (1998). New methodology for the ecological footprint with an application to the New Zealand economy. *Ecological economics*, Vol. 27(2), pp. 149-160
- Burgess, B., & Lai, J. (2006). Ecological footprint analysis and review: Kwantlen University College. Kwantlen University College, Canada
- Chambers, N., Simmons, C., & Wackernagel, M. (2014). Sharing nature's interest: ecological footprints as an indicator of sustainability: Routledge
- Conway, T. M., Dalton, C., Loo, J., & Benakoun, L. (2008). Developing ecological footprint scenarios on university campuses: a case study of the University of Toronto at Mississauga. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, Vol. 9(1), pp. 4-20
- Dawe, G. F., Vetter, A., & Martin, S. (2004). An overview of ecological footprinting and other tools and their application to the development of sustainability process: audit and methodology at Holme Lacy College, UK. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, Vol. 5 (4) pp. 340-371
- Ewing, B., Moore, D., Goldfinger, S., Oursler, A., Reed, A., & Wackernagel, M. (2010). Ecological footprint atlas 2010
- Ferng, J.-J. (2014). Nested open systems: An important concept for applying ecological footprint analysis to sustainable development assessment. *Ecological economics*, Vol. 106, pp. 105-111

Indicators, Vol. 32, pp. 276-284

- Rahimi, A., Habibi, K., & Abdi, H. (2015). Evaluating the tourism sustainability in historical-cultural sites using ecological footprint model. *Gardeshgari Shahri Journal*, 2nd time, No. 2, Summer. pp. 105-120. [in Persian]
- Rees, W. E. (1992). Ecological footprints and appropriated carrying capacity: what urban economics leaves out. *Environment and Urbanization*, Vol. 4(2), pp. 121-130
- Rees, W. E. (1996). Revisiting carrying capacity: area-based indicators of sustainability. *Population & Environment*, Vol. 17(3), pp. 195-215
- Simmons, C., Lewis, K., & Barrett, J. (2000). Two feet-two approaches: a component-based model of ecological footprinting. *Ecological economics*, Vol. 32(3), pp. 375-380
- Solis-Guzmán, J. González-Vallejo, P., Marrero, M & ,(2015). The ecological footprint of dwelling construction in Spain. *Ecological Indicators*, Vol. 52, pp. 75-84
- Spim, A. W. (2014). *Ecological Urbanism: A Framework for the Design of Resilient Cities* (2014) *The Ecological Design and Planning Reader*, pp. 557-571, Springer
- Statistical Center of Iran. (2014). *National Agriculture Census*. [in Persian]
- Stechbart, M., & Wilson, J. (2010). *Province of Ontario Ecological Footprint and Biocapacity Analysis: Global Footprint Network*
- Sudaş, H. D., & Özeltürkay, E. Y. (2015). Analyzing the Thoughts of Ecological Footprints of University Students: A Preliminary Research on Turkish Students. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, Vol. 175, pp. 176-184
- Thattai, D. (2007). Ecological footprint calculation for a college campus in South India. *Journal of Environmental Research And Development* Vol. 2(2)
- Torregrosa Lopez, J. I., Bellver Navarro, C. G., Ferreira, L. I., & Gladys, V. (2011). Experiences in the use of Ecological Footprint as a sustainability indicator
- Venetoulis, J. (2001). Assessing the ecological impact of a university: the ecological footprint for the University of Redlands. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, Vol. 2(2), pp. 197-180
- Wackernagel, M., & Yount, J. D. (1998). The ecological footprint: an indicator of progress
- Flint, K. (2001). Institutional ecological footprint analysis-A case study of the University of Newcastle, Australia. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, Vol. 2(1), pp. 48-62
- Gottlieb, D., Kissinger, M., Vigoda-Gadot, E., & Haim, A. (2012). Analyzing the ecological footprint at the institutional scale—The case of an Israeli high-school. *Ecological Indicators*, Vol. 18, pp. 91-97
- Gottlieb, D., Vigoda-Gadot, E., Haim, A., & Kissinger, M. (2012). The ecological footprint as an educational tool for sustainability: a case study analysis in an Israeli public high school. *International Journal of Educational Development*, Vol. 32(1), pp. 193-200
- Haidari, A., Avami, A., & Aghchehloo, M. (2017). Evaluating the environmental impacts of using ecological footprint model: case study of Department of Energy Engineering, Sharif University of Technology. *Mohit Shenasi Journal*, 43th time, No. 2, Summer. pp. 303-316. [in Persian]
- Hamoon 1 Consulting Engineers (2013), *The Spatial Planning of the Kurdistan Province* (Fourth Edition), Kurdistan governer's (office). [in Persian]
- Janis, J. (2007). Quantifying the ecological footprint of the Ohio State University. *The Ohio State University*
- Klein-Banai, C., & Theis, T. L. (2011). An urban university's ecological footprint and the effect of climate change. *Ecological Indicators*, Vol. 11(3), pp. 857-860
- Lambrechts, W., & Van Liedekerke, L. (2014). Using ecological footprint analysis in higher education: Campus operations, policy development and educational purposes. *Ecological Indicators*, Vol. 45, pp. 402-406
- Li, G., Wang, Q., Gu, X., Liu, J., Ding, Y., & Liang, G. (2008). Application of the componential method for ecological footprint calculation of a Chinese university campus. *Ecological Indicators*, Vol. 8(1), pp. 75-78
- Liu, H., Wang, X., Yang, J., Zhou, X., & Liu, Y. (2017). The ecological footprint evaluation of low carbon campuses based on life cycle assessment: A case study of Tianjin, China. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 144, pp. 266-278
- Nunes, L., Catarino, A., Teixeira, M. R., & Cuesta, E. (2013). Framework for the inter-comparison of ecological footprint of universities. *Ecological*

toward regional sustainability. Environmental Monitoring and Assessment, Vol. 51(1-2), pp. 511-52

۸۸

شماره سی و دو

پاییز ۱۳۹۸

فصلنامه علمی-پژوهشی

مطالعات محیط زیست

با استفاده از مدل ردیابی اکولوژیکی
ارزیابی اثرات زیست محیطی کاربری های آموزشی