فصلنامه علوم محیطی، دوره بیست و یکم، شماره ۱، بهار ۱۴۰۲

۱-۱۴

مقاله پژوهشی

سازگاری زیست محیطی خدمات دیجیتال و صنعت فناوری اطلاعات ایران در بخش‌های میزبانی وب و خدمات ابری

مژده رضوانی کاشانی[۱]، سید حسین هاشمی[۱*] و مهدی محمدی[۲]

[۱] گروه فناوری‌های محیط زیست، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

[۲] گروه فناوری اطلاعات، مدیرعامل هلدینگ گرین وب، مشهد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۳/۲۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۴/۱

رضوانی کاشانی، م.، س.ح. هاشمی و م. محمدی. ۱۴۰۲. سازگاری زیست محیطی خدمات دیجیتال و صنعت فناوری اطلاعات ایران در بخش‌های میزبانی وب و خدمات ابری. فصلنامه علوم محیطی. ۲۱(۱): ۱-۱۴.

سابقه و هدف: با توجه به رشد و توسعه انواع فناوری‌های نوین ارتباطی و اطلاعاتی در سرتاسر جهان، استفاده از خدمات دیجیتال به شکل گسترده‌ای در حال افزایش بوده و کشور ما ایران نیز از این قاعده مستثنی نمی‌باشد. صنایع فناوری اطلاعات و خدمات دیجیتال مقادیر قابل توجهی از انرژی را به شکل‌های مختلف و نیز در بخش‌های متعددی مانند تولید، توزیع و استفاده از تجهیزات و خدمات مربوطه، مصرف می‌نمایند و در نتیجه باعث تولید آلاینده‌های مختلف از جمله گازهای گلخانه‌ای و انتشار آن‌ها در محیط زیست می‌گردند. بنابراین هدف از این مطالعه بررسی سازگاری زیست‌محیطی خدمات دیجیتال و صنعت فناوری اطلاعات ایران در بخش‌های میزبانی وب و خدمات ابری از طریق ارزیابی مرکز داده‌ای در شمال غرب ایران به عنوان نماینده‌ای از صنعت فناوری اطلاعات ایران در بخش‌های میزبانی وب و خدمات ابری می‌باشد.

مواد و روش‌ها: بدین منظور در این پژوهش ابتدا از طریق انجام مطالعات کتابخانه‌ای و بررسی منابع، جنبه‌های مؤثر فناوری اطلاعات بر محیط زیست و همچنین استانداردهای زیست‌محیطی مرتبط با مراکز داده شناسایی گشته و پس از آن، سرورهای ایران سرور واقع در مرکز داده شمال غرب ایران مورد بررسی قرار گرفتند. در گام بعدی پس از برآورد میزان انرژی مصرفی و کربن‌دی‌اکسید تولیدی مرکز داده شمال غرب ایران (که دارای ۳۱۹ سرور فعال می‌باشد)، معیارهای کارایی و سازگاری محیط زیستی این مرکز داده محاسبه گشته و در پایان هم از طریق تحلیل و جمع‌بندی نتایج حاصله، سازگاری زیست‌محیطی مرکز داده شمال غرب ایران به عنوان نماینده‌ای از صنعت فناوری اطلاعات ایران در بخش‌های میزبانی وب و خدمات ابری بررسی گردید.

نتایج و بحث: نتایج میزان انرژی مصرفی و آلاینده‌های تولیدی مرکز داده شمال غرب ایران حاکی از آن است که این مرکز داده به طور متوسط، ماهانه ۱۸۵٫۱۶ مگاوات ساعت انرژی الکتریکی مصرف نموده و در پی آن نیز ۵۳۳٫۲۶ تن کربن‌دی‌اکسید در ماه تولید می‌نماید. همچنین مقادیر معیارهای اثربخشی استفاده از کربن (CUE[1])، اثربخشی استفاده مجدد از انرژی (ERE[2]) و اثربخشی مصرف توان (PUE[3])

* Corresponding Author: *Email Address*. h_hashemi@sbu.ac.ir

http://dx.doi.org/10.48308/envs.2022.1204

http://dorl.net/dor/20.1001.1.17351324.1402.21.1.4.0

در این مرکز داده به ترتیب معادل ۲٫۸۸، ۴٫۰۳ و ۴٫۰۳ کیلوگرم CO_2 بر کیلووات ساعت بوده و مقادیر فاکتور استفاده مجدد از انرژی (ERF[4]) و ضریب انرژی سبز (GEC[5]) مرکز داده نیز برابر با صفر می‌باشد. این مقادیر بیانگر این هستند که انرژی مصرفی مراکز داده ایران از منابع انرژی تجدناپذیر تأمین گشته و پس از مصرف در بخش‌های مختلف نیز در نهایت به صورت گرمای مازاد در محیط رها می‌گردد که خود برانگیزنده تولید و انتشار مقدار زیادی گازهای گلخانه‌ای از جمله CO2 در محیط بوده و آسیب‌های متعدد و جبران‌ناپذیری همچون آلودگی هوا، گرمایش جهانی، برهم خوردن اقلیم و غیره را بر محیط زیست وارد می‌نماید.

نتیجه گیری: جمع‌بندی کلی اطلاعات بدست آمده از بررسی جوانب مختلف سازگاری زیست‌محیطی مرکز داده شمال غرب ایران به عنوان نماینده‌ای از صنعت فناوری اطلاعات ایران در بخش‌های میزبانی وب و خدمات ابری و مقایسه آن با دیگر مراکز سبز دنیا، این مرکز داده معیارهای لازم برای مطابقت با استانداردهای زیست‌محیطی مربوط به مراکز داده سبز یا دوستدار محیط زیست را کسب نکرده و در نتیجه سازگاری چندانی در زمینه محیط زیست نداشته و فاصله زیادی با دیگر مراکز داده سبز دنیا دارد.

واژه‌های کلیدی: انرژی، دوستدار محیط زیست، فناوری اطلاعات سبز، کارایی، مرکز داده.

مقدمه

یکی از فناوری‌های مهم و فراگیر در دنیای امروز، فناوری اطلاعات می‌باشد که سهم بالایی در مصرف منابع و انرژی جوامع دارد و امروزه به عنوان چالشی برای دستیابی به یک جامعه سازگار با محیط زیست مطرح است (Taqwa *et al.*, 2017). از طرفی با افزایش تقاضای مشتریان برای داده‌های بیش‌تر و پهنای باند بالاتر، انتظار می‌رود این صنعت با شتاب به رشد خود ادامه دهد (Kushwaha *et al.*, 2019). در قلب این صنعت مراکز داده هستند که در آن‌ها تجهیزات جمع‌آوری، ذخیره‌سازی، پردازش و توزیع داده‌ها قرار دارد (Mujawar *et al.*, 2018).

مساله مورد توجه در این مبحث، اثرات منفی خدمات دیجیتال و صنعت فناوری اطلاعات ایران بر محیط زیست می‌باشد. زیرا با وجود تاثیر مثبت فناوری اطلاعات بر زندگی جامعه، نگرانی‌های جدی در رابطه با مصرف انرژی و سایر منابع، انتشار گازهای گلخانه‌ای، پسماندهای ناشی از آن‌ها و سایر اثرات منفی احتمالی آن بر محیط زیست وجود دارد. بررسی اثرات فناوری اطلاعات و ارتباطات بر محیط زیست در کشورهای در حال توسعه نشان داده است که این فناوری متنوع، گسترده، پیچیده و چند وجهی مثبت و منفی بر محیط زیست دارد (Houghton, 2009). از مهم‌ترین تاثیرات منفی صنعت فناوری اطلاعات بر محیط زیست میتوان به مواردی مانند افزایش روزافزون میزان مصرف انرژی، از دست رفتن منابع تجدیدناپذیر و افزایش آلودگی‌های زیست محیطی، گازهای گلخانه‌ای، ضایعات الکترونیکی و محصولات سمی اشاره کرد (Taghavi Fard and Samadi, 2014).

طراحی سازگار با محیط زیست جزو اهداف توسعه پایدار هزاره و روشی برای گنجاندن الزامات محیطی در فرایند توسعه محصول می‌باشد و این پتانسیل را دارد که به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای کمک کند (Schafer and Lower, 2021). بنابراین فعالان صنایع خدمات دیجیتال و فناوری اطلاعات بر آن شدند تا به منظور رعایت تعهدات اجتماعی، استفاده بهینه از منابع طبیعی و کاهش آلودگی‌ها، مدل و چارچوبی را تحت عنوان طرح فناوری اطلاعات سبز تهیه و ارائه نمایند که امروزه یکی از داغ‌ترین مباحث روز دنیا است (Taghavi Fard and Samadi, 2014). بدین‌ترتیب، ایده ایجاد مراکز داده سبز نیز در پاسخ به نگرانی‌های زیست محیطی مطرح شد (Tejaswini *et al.*, 2020). بررسی پیامدهای پیاده‌سازی فناوری اطلاعات سبز نشان می‌دهد که اجرای آن با کاهش مصرف انرژی تجهیزات و افزایش سودآوری ارتباط مثبت دارد (Mithas *et al.*, 2010). با این وجود، گزارش موسسه آپ‌تایم[6]، بیانگر آن است که در سال ۲۰۲۰، اروپا کارآمدترین مراکز داده و خاورمیانه و آفریقا ناکارآمدترین مراکز داده در زمینه انرژی

را دارند (Ascierto and Lawrence, 2020).

اهمیت تحقیق در این حوزه از آن رو است که شرکت داده‌های بین‌المللی پیش‌بینی می‌کند که اندازه داده‌های ایجاد شده و دستکاری شده تا سال ۲۰۲۵ به ۱۷۵ زتابایت (ZB) می‌رسد. تحقق این امر به امکانات و خدمات بیش‌تری نیاز دارد و باید توسط فروشندگان ابری ایجاد شود. این موضوع باعث می‌شود تا مراکز داده و منابع بیش‌تری در بستر ابر توسعه یابند که خود منجر به افزایش مقدار توان مصرفی در بخش‌های مختلف خدمات دیجیتال و فناوری اطلاعات می‌شود. بدین ترتیب انتظار می‌رود که تا سال ۲۰۳۰ فعالیت‌های فناوری اطلاعات ۲۰٪/۹ تقاضای جهانی برای برق را تشکیل دهد. علاوه بر این، هر سال مراکز داده ۲۰۵ تراوات ساعت انرژی الکتریکی را مصرف می‌کنند و سهمشان از انتشار کل دی-اکسیدکربن حدود ۰٪/۳ می‌باشد (Alarifi *et al.*, 2020). بدین ترتیب و با توجه به عدم وجود مطالعات مشابه در زمینه سازگاری زیست محیطی خدمات دیجیتال و صنعت فناوری اطلاعات ایران در بخش‌های میزبانی وب و خدمات ابری، انجام تحقیقات در این زمینه ضروری می‌باشد. از طرفی هرچند این موضوع مورد توجه دولت‌ها و شرکت‌ها می‌باشد، اما مرور پژوهش‌های پیشین نشان می‌دهد اندک پژوهش‌های انجام شده در ایران بر ارزیابی مطلوبیت این موضوع از دیدگاه کارشناسان تمرکز داشته‌اند و تاکنون پژوهشی در زمینه ارزیابی میزان سازگاری زیست‌محیطی صنعت فناوری اطلاعات ایران به‌ویژه در بخش‌های میزبانی وب و خدمات ابری انجام نشده است.

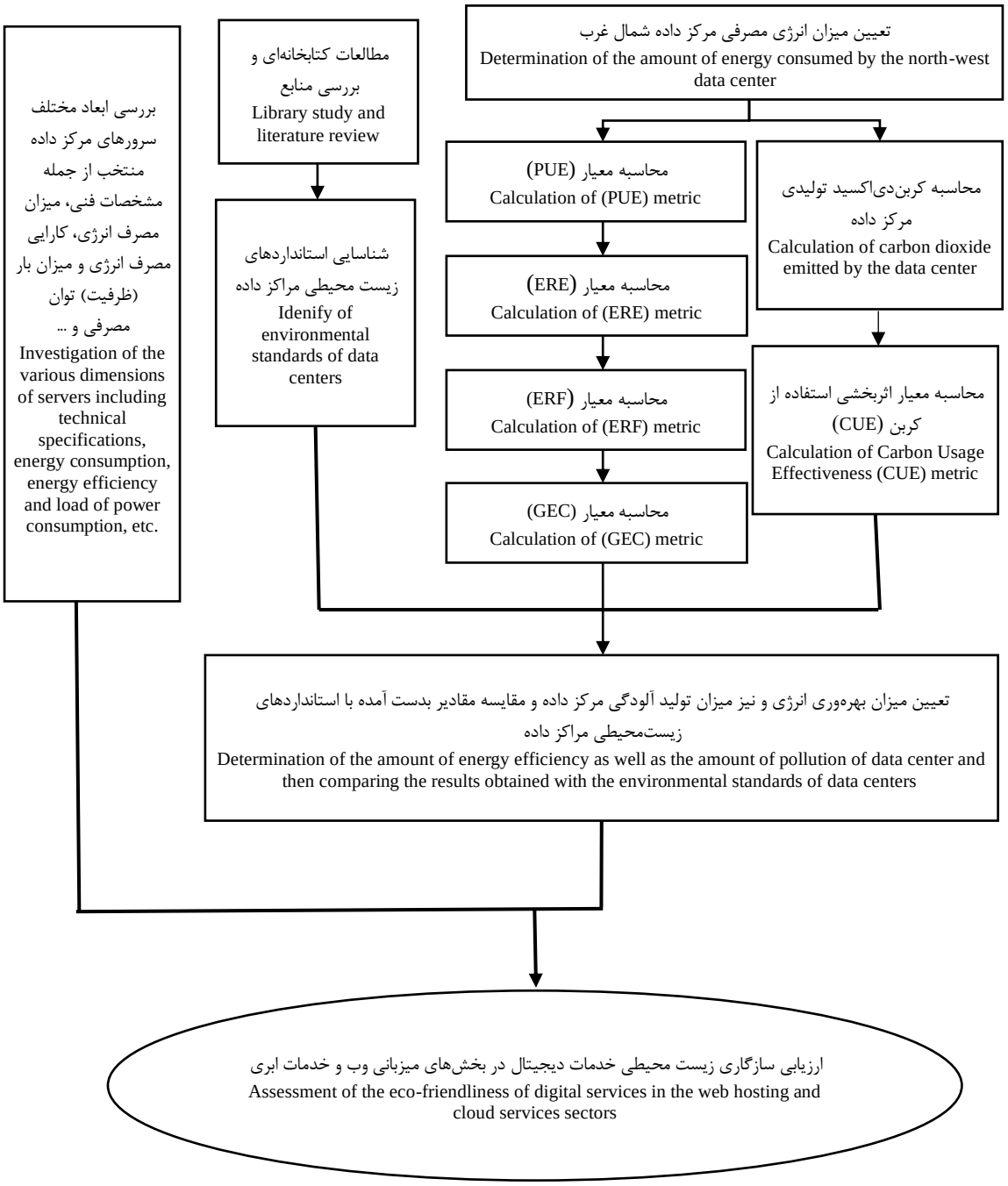
مواد و روش‌ها

ابتدا با مرور منابع، استانداردهای زیست‌محیطی مراکز داده شناسایی و پس از آن مجموعه‌ای از سرورهای شرکت ایران سرور به عنوان یکی از ارائه‌دهندگان اصلی خدمات ابری و میزبانی وب در ایران در یک مرکز داده در شمال غرب ایران انتخاب شد (جدول ۱). سپس داده‌های موردنیاز برای محاسبه معیارهای کارایی و سازگاری زیست‌محیطی جمع‌آوری و نتایج تحلیل شد. شکل ۱ الگوریتم مراحل انجام کار را نشان می‌دهد.

جدول ۱- اطلاعات مربوط به مجموعه سرورهای منتخب در مرکز داده شمال غرب ایران

Table 1. Information of the selected servers in the north-west data center, Iran

ویژگی Property	شرح Description
فناوری خنک‌کننده مرکز داده Data center cooling technology	یونیت‌های اینرو (InRow) و راهروهای سرد بسته InRow units and cold aisle containment
تعداد سرورهای فعال مرکز داده Number of active servers	319
نوع سرورهای مورد بررسی Type of servers	HP ProLiant DL360p Generation 8 (Gen8) – 1 unit
نوع منبع تغذیه Type of power supply	HPE Common Slot (CS) Power Supplies
نوع پاور ماژول Type of power module	656362-B21 460W Platinum Plus
نوع سرویسی که سرور ارائه می‌دهد The type of service that the servers provide	virtualization / proxmox
نوع سرویس ابری Type of cloud service	خدمات پایه IaaS IaaS Basic services
نرم افزار پایش سرور Server monitoring software	zabbix server
چیپست مدیریت سیستم System management chipset	HP iLO (Firmware: HP iLO 4)



شکل ۱- الگوریتم بررسی سازگاری زیست محیطی مرکز داده شمال غرب ایران

Fig. 1- Algorithm of assessing the eco-friendliness of the north-west data center, Iran

معیار کارایی خدمات مرکز داده

ارزیابی کارایی مرکز داده با معیار اثربخشی مصرف توان (PUE) به عنوان یک معیار بسیار رایج و کارآمد و توسعه یافته توسط کنسرسیوم جهانی شبکه سبز (TGG[7]) برای بهبود بهره‌وری انرژی در مراکز داده محاسبه شد. این معیار نسبت مقدار انرژی مصرفی تجهیزات در حال کار به کل انرژی مصرفی مرکز داده است و بیانگر نسبت توان مصرفی یک مرکز داده در مقابل توان مصرفی تجهیزات فناوری اطلاعات (IT) می‌باشد و از معادله ۱ به دست می‌آید (Moud *et al*., 2020).

$$\mathrm{PUE} = \frac{\mathrm{TFEC}}{\mathrm{ITEEC}} \qquad (۱)$$

که در آن:

$TFEC$[8] = کل مصرف انرژی یک مرکز داده

$ITEEC$[9] = مصرف انرژی تجهیزات فناوری اطلاعات در همان مرکز داده.

طبقه‌بندی سطح کارایی این معیار طبق جدول ۲ می‌باشد (42U group, n.d).

جدول ۲- سطح کارایی معیار (PUE) (42U group, n.d)

Table 2. The standard efficiency level of PUE metric (42U group, n.d)

	1.2	1.5	2	2.5	3
سطح کارایی Efficiency level	بسیار کارآمد Very efficient	کارآمد Efficient	متوسط Average	ناکارآمد Inefficient	بسیار ناکارآمد Very inefficient

معیارهای سازگاری زیست‌محیطی مرکز داده

برای ارزیابی سازگاری زیست‌محیطی مرکز داده معیارهای میزان انرژی مصرفی و کربن‌دی‌اکسید تولیدی بررسی شدند.

معیارهای انرژی

اثربخشی استفاده مجدد از انرژی (ERE): این معیار میزان بازیابی انرژی در مرکز داده بیان می‌کند. در بیش‌تر مراکز داده، گرمای مازاد مستقیم در اتمسفر رها می‌شود و در نتیجه ممکن است جزیره گرمایی ایجاد و میکرواقلیم اطراف مرکز را تحت تأثیر قرار دهد. در مقابل، می‌توان گرمای اضافی را بازیافت و برای گرمایش ساختمان‌ها یا در فرایندهای صنعتی استفاده کرد (Schedin, 2020). اثربخشی استفاده مجدد از انرژی (ERE) از معادله ۲ به‌دست می‌آید (Santos *et al*., 2019).

$$ERE = \left(1 - \frac{\text{میزان استفاده مجدد از انرژی}}{\text{کل انرژی}}\right) \times PUE \qquad (۲)$$

ضریب استفاده مجدد از انرژی (ERF): این معیار، استفاده مجدد از انرژی گرمایی مرکز داده را در دیگر بخش‌های ساختمان یا محوطه را نشان می‌دهد و هدف آن استفاده مجدد از انرژی در خارج از مرکز داده به جای دفع آن می‌باشد. مقدار این معیار بین صفر تا ۱ می‌باشد که صفر یعنی هیچ انرژی صادر نمی‌شود و یک یعنی تمام انرژی ورودی به مرکز داده، خارج از مرکز دوباره استفاده می‌شود (Verge, 2012). ضریب استفاده مجدد از انرژی از معادله ۳ به دست می‌آید (Tschudi *et al*., 2010).

$$ERF = \frac{\text{میزان استفاده مجدد از انرژی}}{\text{کل انرژی}} \qquad (۳)$$

ضریب انرژی سبز (GEC): این معیار بیانگر سهم انرژی سبز در تامین انرژی مصرفی یک مرکز داده است. انرژی سبز به هر شکلی از انرژی تجدیدپذیر گفته می‌شود که با استفاده از آن، به مرکز داده گواهی انرژی سبز یا گواهی انرژی تجدیدپذیر تعلق می‌گیرد. حداکثر مقدار GEC، یک است، که نشان می‌دهد ۱۰۰٪ کل انرژی مصرفی مرکز، سبز می‌باشد. ضریب انرژی سبز از معادله ۴ به‌دست می‌آید (Verge, 2012).

$$GEC = \frac{\text{میزان انرژی سبز استفاده شده در مرکز داده}}{\text{کل انرژی مرکز داده}} \times 100 \qquad (۴)$$

معیارهای انتشار کربن

معیار اثربخشی استفاده از کربن (CUE): اثربخشی استفاده از کربن، تخمینی از مقدار انتشار کربن‌دی‌اکسید مرکز داده است که بر حسب کیلوگرم کربن‌دی‌اکسید کربن بر کیلووات ساعت انرژی مصرفی بیان می‌شود (Ahmad and Pandey, 2020). مقدار این معیار برای مراکز داده‌ای که انرژی مصرفی خود را از شبکه برق دریافت می‌کنند و هیچ CO_2 در محل تولید نمی‌کنند، از معادله ۵ به دست می‌آید (Azevedo *et al*., 2010).

$$\mathbf{CUE} = \frac{\text{مجموع کل انتشار } CO2 \text{ ناشی از کل انرژی مرکز داده}}{\text{انرژی تجهیزات IT}} \qquad (۵)$$

مقدار کل انرژی مصررفی مرکز داده (صورت کسر) برابر با صورت کسر در معیار PUE می‌باشد. بنابراین معیار CUE مجموع انتشار کربن‌دی‌اکسید ناشی از انرژی مصرفی در معیار PUE را نشان می‌دهد (Azevedo *et al*., 2010).

برای محاسبه انتشار غیرمستقیم کربن‌دی‌اکسید مرکز داده، منبع تامین انرژی مرکز داده مهم می‌باشد. در صورت تأمین برق مصرفی مرکز از شبکه سراسری برق،

انتشارات غیرمستقیم کربن‌دی‌اکسید مرکز داده از معادله ۶ محاسبه می‌شود: (General department of health, safety, environment and passive defense, 2018)

$$E_{ID,\ GE,\ CO2} = \frac{EI_{grid} \times EF_{GE,\ CO2}}{1\text{-}TDL} \qquad (۶)$$

که در آن:

$E_{ID,\ GE,\ CO2}$: انتشار غیرمستقیم CO_2 ناشی از تامین برق از شبکه سراسری بر حسب تن CO_2

EI grid: مقدار برق دریافتی از شبکه سراسری بر حسب مگاوات ساعت

EF GE, CO_2: ضریب انتشار CO_2 برای برق شبکه سراسری بر حسب ton CO_2/ MWh

TDL: تلفات شبکه انتقال و توزیع برق (مجموع تلفات شبکه انتقال و شبکه توزیع برق).

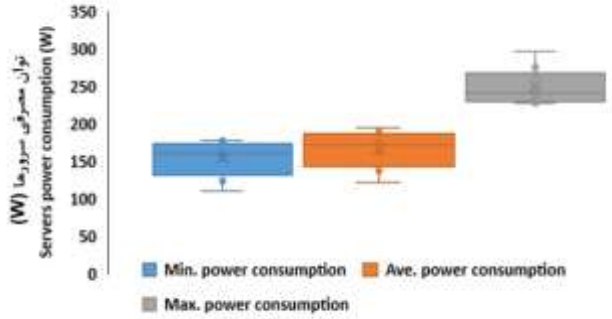
طبق ترازنامه سال ۱۳۹۷، ضریب انتشار CO_2 شبکه سراسری برق کشور۰٫۶۳۸۵ ton CO_2/MWh و تلفات شبکه ۰٫۱۱ بوده است (Amini *et. al*., 2020).

لازم به ذکر است که این پژوهش با محدودیت‌هایی از جمله کمبود مطالعات پژوهشی در این زمینه در ایران، عدم امکان حضور فیزیکی در مرکز داده به دلیل وجود لایه‌های امنیت فیزیکی متعدد در مراکز داده و در نتیجه جمع‌آوری داده‌های موردنیاز با کمک نرم افزارها و احتمال تاثیر بیماری کرونا بر افزایش استفاده از خدمات دیجیتال و تاثیر این موضوع بر نتایج به دست آمده، مواجه بوده است.

نتایج و بحث

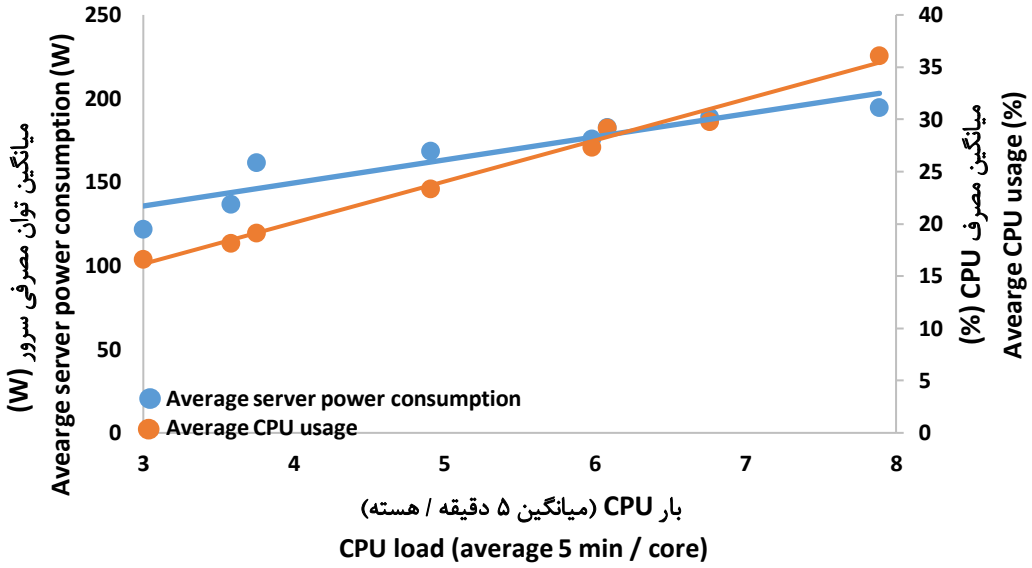
توان مصرفی و بار CPU سرورها

تحلیل داده‌ها نشان می‌دهد که میانگین توان مصرفی هر سرور ۱۶۶٫۷ وات، معادل ۳۶ درصد و بیشینه توان مصرفی مشاهده شده حدود ۳۰۰ وات معادل ۶۵ درصد میانگین توان ماژول پاور آن‌ها می‌باشد (شکل ۲). در یک مطالعه مشابه در زمینه تخمین توان مصرفی سرورها در مراکز داده توان مصرفی یک سرور با پیکربندی‌های مختلف حافظه، دیسک سخت و پردازنده و با فرکانس ۲٫۵ گیگاهرتز و بار (ظرفیت) توان مصرفی ۳۶ درصد ۱۶۱ تا ۱۶۷ وات گزارش شده است (Basmadjian *et. al*., 2011). همچنین در پژوهشی در زمینه مدل‌های مصرف توان سروها در مراکز داده، حداکثر توان ورودی سرورها ۵۰٪-۴۰٪ توان اسمی آن‌ها و در نتیجه حداکثر میانگین بار توان مصرفی حدود ۴۵ درصد به دست آمده است (Jin *et al*., 2020). این نتایج نشان می‌دهد که در سرورهایی که از ماژول‌های پاور مستقل استفاده می‌کنند، به‌طور معمول بخش قابل توجهی از توان ماژول پاور استفاده نمی‌شود و لازم است راهبردهای بهینه‌سازی توان ماژول‌های پاور مانند استفاده از ماژول پاور اشتراکی که در سرورهای Blade به کار می‌رود، می‌تواند به‌عنوان گزینه‌ای برای بهینه‌سازی مصرف انرژی و کاهش هزینه‌ها مدنظر قرار گیرد.



شکل ۲- توان مصرفی سرورهای منتخب در مرکز داده شمال غرب ایران
Fig. 2- Power consumption of servers in the north-west data center, Iran

رابطه بین مقدار بار CPU، میزان مصرف CPU و توان مصرفی سرورها (شکل ۳) نشان می‌دهد که بین بار CPU و توان مصرفی رابطه خطی افزایشی و بین بار CPU و میانگین مصرف CPU رابطه نمایی افزایشی وجود دارد. در واقع، میزان استفاده از CPU تجهیزات فناوری اطلاعات به ویژگی‌های فعالیت سرور (مانند اندازه و مدت زمان) بستگی دارد و افزایش میزان استفاده از CPU باعث افزایش مصرف انرژی آن می‌شود (Ghatikar *et. al.*, 2012). داده‌های مطالعه حاضر نشان می‌دهد که میانگین کل بار CPU سرورها، در ۵ دقیقه به ازای هر هسته ۵٫۲۴ می‌باشد و از آنجا که هر هسته CPU در هر لحظه تنها می‌تواند یک فرایند را پردازش کند مقدار به دست آمده بیانگر آن است که در سرورهای مورد بررسی تعداد فرایندها بیش از توان رسیدگی هسته می‌باشد و همین موضوع موجب افزایش میزان استفاده از CPU و در پی آن افزایش توان مصرفی آن‌ها می‌شود.



شکل ۳- رابطه بار CPU با مصرف CPU و توان مصرفی سرورها در مرکز داده شمال غرب ایران

Fig. 3- The relationship between CPU load, CPU consumption and power consumption of servers in the north-west data center, Iran

کارایی و سازگاری محیط زیستی مرکز داده

اثربخشی مصرف توان (PUE): میانگین ماهانه توان مصرفی تجهیزات فناوری اطلاعات و کل توان مصرفی مرکز داده به ترتیب ۶۳۸۰۰ و ۲۵۷۱۸۰ وات بر ساعت بوده است. بدین ترتیب، میانگین ماهانه معیار اثربخشی مصرف توان (PUE)، برابر است با:

$$PUE = \frac{TFEC}{ITEEC} \frac{257180}{63800} = 4.03$$

در حالی که میانگین PUE مراکز داده جهان در سال ۲۰۲۰، معادل ۱٫۵۹ برآورد شده است (Ascierto and Lawrence, 2020)، سهم اندک انرژی مصرفی تجهیزات IT مرکز داده مورد بررسی نسبت به کل انرژی مصرفی آن موجب بزرگی مقدار PUE و قرار گرفتن آن در سطح کارایی "بسیار ناکارآمد" شده است. این مقدار بسیار نازل‌تر از مراکز داده در اروپا و مشابه برخی مراکز در خاورمیانه و آفریقا می‌باشد (Ascierto and Lawrence, 2020). به عبارت دیگر، مصرف انرژی در این مرکز داده بهینه نیست و بخش بزرگی از آن صرف فعالیت‌های جانبی می‌شود. یکی از دلایل این موضوع می‌تواند تناسب بین ظرفیت طراحی مرکز داده با تعداد و نوع سرورهای فعال در آن باشد. به عبارت دیگر در صورتی که تعداد سرورهای فعال یک مرکز کم‌تر از ظرفیت طراحی شده آن باشد، نسبت انرژی مصرفی فعالیت‌های جنبی به مصرف انرژی تجهیزات IT افزایش خواهد یافت و موجب افزایش مقدار PUE و افت کارآمدی انرژی مرکز خواهد شد.

ضریب استفاده مجدد از انرژی (ERF) و اثربخشی استفاده مجدد از انرژی (ERE): در مرکز مورد بررسی انرژی استفاده مجدد نمی‌شود و در نتیجه مقدار ERF صفر می‌باشد و انرژی مصرفی در بخش‌های مختلف، در نهایت به صورت تلفات گرمایی در محیط رها و عملکرد زیست محیطی مرکز داده را کاهش می‌دهد. همچنین، با توجه به مقدار فاکتور استفاده مجدد از انرژی، مقدار ERE برابر با مقدار PUE و برابر است با:

$$ERE = (1 - \frac{\text{میزان استفاده مجدد از انرژی}}{\text{کل انرژی}}) \times PUE = (1 - \frac{0}{257180}) \times 4.03 = 4.03$$

هر چند استفاده مجدد از تلفات گرمایی مراکز داده در کاهش مصرف و افزایش بهره‌وری انرژی موثر است، اما نیاز به زیرساخت‌های ویژه‌ای دارد که تنها در برخی کشورهای پیشرفته مانند آلمان و منطقه اسکاندیناوی وجود دارد (Burton, 2021). با این وجود، مقدار ERE برابر با PUE در مرکز داده مورد بررسی نشان‌دهنده زیرساخت ناکارآمد انرژی آن است.

ضریب انرژی سبز (GEC): به دلیل عدم استفاده از منابع انرژی سبز و نداشتن گواهی کاربرد انرژی سبز در این مرکز داده، ضریب انرژی سبز آن صفر می‌باشد. این مقدار در مقایسه با مراکز داده سبز پیشگام در دنیا مانند فیسبوک، مایکروسافت و گوگل که ۱۰۰٪ انرژی مصرفی‌شان از منابع سبز تامین می‌شود (Moodie, 2016)، بسیار کم است. دلیل عدم استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر و نیز عدم استفاده مجدد از انرژی در این مرکز، می‌تواند سهولت دسترسی و ارزانی انرژی الکتریکی در کشور به همراه عدم وجود الزامات قانونی در زمینه بهینه‌سازی مصرف انرژی باشد.

معیار اثربخشی استفاده از کربن (CUE): برای محاسبه این معیار، ابتدا مقدار انتشار غیرمستقیم CO_2 ناشی از تامین برق مرکز داده از شبکه سراسری را از معادله ۶ به‌دست آورده و سپس با معادله ۵، مقدار CUE به دست می‌آید:

$$E_{ID,\,GE,\,CO2} = \frac{EI_{grid} \times EF_{GE,\,CO2}}{1\text{-TDL}} = \frac{0.25718 \times 0.6385}{1 - 0.11} = 0.184 \text{ ton } CO_2$$

$$CUE = \frac{\text{مجموع کل انتشار CO2 ناشی از کل انرژی مرکز داده}}{\text{انرژی تجهیزات IT}} = \frac{0.184 \times 1000}{63.8} = 2.88 \text{ kgCO2 / kWh}$$

بدین ترتیب، این مرکز داده ۲٫۸۸ کیلوگرم کربن‌دی‌اکسید بر کیلووات ساعت انرژی مصرفی منتشر می‌کند که در مقایسه مقدار ایده‌آل صفر و میانگین انتشار کربن دی اکسید ۰٫۴۵ کیلوگرم بر کیلووات ساعت مراکز داده در آمریکا (Siddik *et. al.*, 2021) بسیار بیش‌تر می‌باشد. میزان اثربخشی استفاده از کربن در کشورهای مختلف، بسته به منبع تولید انرژی الکتریکی متفاوت می‌باشد. زیرا منابع انرژی اولیه مورد استفاده برای تولید الکتریسیته مقادیر متفاوتی گازهای گلخانه‌ای از جمله کربن‌دی‌اکسید منتشر می‌کنند. بدین ترتیب، دو عامل (۱) سهم ناچیز منابع سبز در تولید انرژی الکتریکی در ایران و (۲) سرانه انتشار CO_2 بسیار بالاتر ایران نسبت به میانگین اروپا که ناشی از سیاست‌های ناکارآمد کاهش شدت انتشار گازهای گلخانه‌ای در ایران می‌باشد (Hosseini *et al.*, 2019)، موجب شده‌اند در مراکز داده که انرژی الکتریکی موردنیاز خود را از شبکه سراسری برق کشور تامین می‌کنند، معیار اثربخشی استفاده از کربن در سطح بسیار نامناسبی قرار گیرد.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش سازگاری زیست‌محیطی خدمات دیجیتال و صنعت فناوری اطلاعات ایران در بخش‌های میزبانی وب و خدمات ابری در یک مرکز داده در شمال غرب کشور، به‌عنوان نمونه‌ای از مراکز داده ایران، بررسی شد. با وجود مصرف بالای انرژی در این مرکز، سهم تجهیزات IT از انرژی مصرفی اندک است و بیش‌تر انرژی صرف فعالیت‌های جانبی می‌شود. بدین ترتیب، صنعت فناوری اطلاعات ایران در بخش‌های میزبانی وب و خدمات ابری از نظر سطح کارایی انرژی بسیار ناکارآمد ارزیابی شد.

علاوه بر این، منابع انرژی سبز سهمی در تامین انرژی این مرکز داده ندارند و سامانه‌ای برای بازیافت انرژی حرارتی وجود ندارد و انرژی مصرفی در بخش‌های مختلف در نهایت به صورت تلفات گرمایی در محیط رها می‌شود. در نتیجه این بخش از صنعت فناوری اطلاعات ایران سازگاری زیست محیطی پایینی دارد. از جمله دلایل ناکارآمدی انرژی مصرفی، استفاده از منابع انرژی تجدیدناپذیر و عدم استفاده مجدد از انرژی در صنعت فناوری اطلاعات ایران می‌توان به ارزانی و سهولت دسترسی به الکتریسیته با منشا سوخت‌های فسیلی، عدم تناسب بین ظرفیت طراحی مرکز داده و تاسیسات جنبی و اداری با تعداد سرورهای فعال در آن و نیز عدم الزام قانونی برای بهینه‌سازی مصرف انرژی اشاره کرد.

بدین ترتیب، با توجه به رشد شتابان این صنعت و مصرف بالای انرژی آن در ایران، لازم است پژوهش و اقدام عملی برای بهینه‌سازی مصرف انرژی و سازگاری زیست محیطی مراکز داده در ایران به عمل آید. در این زمینه پیشنهاد می‌شود:

۱) اندازه‌گیری میزان مصرف منابع طبیعی و برآورد انتشار آلاینده‌های مختلف ناشی از آن در دیگر بخش‌های صنعت فناوری اطلاعات ایران جهت پایش میزان مصرف منابع طبیعی و نیز کاهش اثرات منفی آن‌ها بر محیط زیست

۲) محاسبه و تحلیل دیگر معیارهای زیست‌محیطی نظیر کارایی مصرف آب، شاخص سبز، کاربرد شبکه و دفع الکترونیک در بخش‌های مختلف صنعت فناوری اطلاعات ایران

۳) مدیریت مصرف انرژی در بخش‌های مختلف مرکز داده با هدف بهینه‌سازی و افزایش کارایی مصرف انرژی در مراکز داده

۴) بررسی راه‌های کاهش، استفاده مجدد و بازیافت انرژی در مراکز داده و نیز مدل‌سازی زیرساخت‌های مورد نیاز جهت تولید برق از منابع انرژی تجدیدپذیر و استفاده از آن در مراکز داده، مورد توجه قرار گیرند.

سپاسگزاری

این پژوهش با حمایت هلدینگ گرین وب جهت دسترسی به نرم‌افزارها و داده‌های موردنیاز امکان‌پذیر شد. صمیمانه قدردان حمایت این شرکت و به‌ویژه کارشناسان بخش فنی آن هستیم.

پی‌نوشت‌ها

[1] Carbon Usage Effectiveness (CUE)
[2] Energy Reuse Effectiveness (ERE)
[3] Power Usage Effectiveness (PUE)
[4] Energy Reuse Factor (ERF)
[5] Green Energy Coefficient (GEC)
[6] Uptime Institute
[7] The Green Grid
[8] Total Facility Energy Consumption
[9] IT Equipment Energy Consumption

منابع

42U group., 2021. PUE & DCiE Calculator. Available online at: https://www.42u.com/measurement/pue-dcie.htm.

Alarifi, A., Dubey, K., Amoon, M., Altameem, T., Abd El-Samie, F.E., Altameem, A. and Nasr, A.A., 2020. Energy-efficient hybrid framework for green cloud computing. IEEE Access. 8, 115356-115369.

Amini, F., Saber Fattahi, L., Soleimanpour, P., Gol Ghahremani, N., Shafizadeh, M., Tavanpour, M. and Farmad, M., 2020. Energy balance sheet of 2018. Office of Planning and Macroeconomics of Electricity and Energy of the Ministry of Energy Report. Iran. (In Persian with English abstract).

Ascierto, R. and Lawrence, A., 2020. Uptime institute global data center survey 2020. Uptime Institute Report.

Azevedo, D., Patterson, M., Pouchet, J. and Tipley, R., 2010. Carbon usage effectiveness (CUE): a green grid data center sustainability metric. The

Green Grid. 32, 1-8.

Basmadjian, R., Ali, N., Niedermeier, F., De Meer, H. and Giuliani, G., 2011. A methodology to predict the power consumption of servers in data centres. In Proceedings of the 2nd International Conference on Energy-Efficient Computing and Networking, May 31 - June 1, 2011, Columbia University, New York. pp. 1-10.

Burton, G., 2021. Re-using waste heat from servers is not a new idea, but it remains mired in challenges. Available online at: https://www.datacenterdynamics.com/en/analysis/waste-heat-warms.

Anonymous, 2018. calculating and reporting guidance of greenhouse gas emissions. General department of health, safety, environment and passive defense Report, MOP-HSED-GL-307(1). (In Persian with English abstract).

Ghatikar, G., Ganti, V., Matson, N., & Piette, M. A. (2012). Demand response opportunities and enabling technologies for data centers: Findings from field studies (No. LBNL-5763E). Lawrence Berkeley National Lab.(LBNL), Berkeley, CA (United States).

Hosseini, S.M., Saifoddin, A., Shirmohammadi, R. and Aslani, A., 2019. Forecasting of CO2 emissions in Iran based on time series and regression analysis. Energy Reports. 5, 619-631.

Houghton, J.W., 2009. ICT and the Environment in developing countries: An Overview of Opportunities and Developments. Communications and Strategies. (76), 39.

Jin, C., Bai, X., Yang, C., Mao, W. and Xu, X., 2020. A review of power consumption models of servers in data centers. Applied Energy. 265, 114806.

Kushwaha, M., Singh, A. and Raina, B. L., 2019. Categorization of Metrics for Improving Efficiency of Green Data Centers. In 2019 International Conference on Computational Intelligence and Knowledge Economy (ICCIKE) (pp. 56-59). IEEE.

Mithas, S., Khuntia, J. and Roy, P., 2010. Green Information Technology, Energy Efficiency, and Profits: Evidence from an Emerging Economy. ICIS 2010 Proceedings – 31st International Conference on Information Systems. 12-15 December 2010, St. Louis, Missouri, USA. 11.

Moodie, A., 2016. Google, Apple, Facebook race towards 100% renewable energy target. Available online at: https://www.theguardian.com/sustainable-business/2016/dec/06/google-renewable-energy-target-solar-wind-power?CMP=share_btn_tw.

Moud, H.I., Hariharan, J., Hakim, H. and Kibert, C., 2020. Sustainability assessment of data centers beyond LEED. In 2020 IEEE Green Technologies Conference (GreenTech) (pp. 62-64). IEEE.

Mujawar, A., Kumar, S., Krishnan, S.S. and Sawant, A., 2018. IoT: Green data Center Strategies. International Journal on Future Revolution in Computer Science and Communication Engineering. 4(5), 170-174.

Pandey, A.K. and Ahmad, S., 2020. Design and Evaluation of a Novel Communication Protocol to Improve Energy Efficiency in Cloud Environment. International Journal of Grid and Distributed Computing. 13(1), 1286-1305.

Santos, A.F., Gaspar, P.D. and de Souza, H.J., 2019. Evaluation of the Heat and Energy Performance of a Datacenter Using a New Efficiency Index: Energy Usage Effectiveness Design–EUED. Brazilian Archives of Biology and Technology. 62.

Schäfer, M. and Löwer, M., 2021. Ecodesign—A Review of Reviews. Sustainability. 13(1), 315.

Schedin, L., 2020. Eco Datacenter. Available online at: https://ecodatacenter.se/why-ecodatacenter/sustainability.

Siddik, M.A.B., Shehabi, A. and Marston, L., 2021. The environmental footprint of data centers in the United States. Environmental Research Letters. 16(6), 064017.

Taghavi Fard, M. and Samadi, F., 2014. Factors Affecting the Implementation of Green Information Technology Projects with Emphasis on Virtualization (Case Study: Sapco company). Iranian Journal of Management Sciences. 9 (35), 88-112. (In Persian with English abstract).

Taqwa, M., Zahrabi, M. and Dehdashti Shahrokh, Z., 2017. The impact of green information technology on the economic component of organizational sustainability (case Study: small and medium Iranian organizations). Scientific Journal of Information Management. 3 (1), 143-161. (In Persian with English abstract).

Tejaswini, T.N., Raikar, P.V., Hegde, S.H. and & Nalina, V., 2020. Energy Efficiency in Green Data Centers: A Review. Journal of Network Communications and Emerging Technologies (JNCET), 10(4).

Tschudi, B.I.L.L., Vangeet, O.T.T.O., Cooley, J. and Azevedo, D., 2010. ERE: A metric for measuring the benefit of reuse energy from a data center. White Paper. 29, 82-83.

Verge, J., 2012. Green Grid Harmonizes Metrics on Green Energy. Available online at: https://www.datacenterknowledge.com/archives/2012/11/20/green-grid-harmonizes-metrics-on-green-energy-reuse.

Environmental Sciences Vol.21 / No.1 / Spring 2023

1-14
Original Article

Eco-friendliness of Iran's digital services and information technology industry in the web hosting and cloud services sectors

Mozhdeh Rezvani Kashani, [1], Seyed Hossein Hashemi[1*] and Mahdi Mohammadi[2]

[1]Department of Environmental Technologies, Research Institute of Environmental Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran
[2] Information Technology Group, CEO of Green Web Holding, Mashhad, Iran

Received: 2022.06.13 Accepted: 2022.06.22

Rezvani Kashani, M., Hashemi, S.H. and Mohammadi, M., 2023. Eco-friendliness of Iran's digital services and information technology industry in the web hosting and cloud services sectors. Environmental Sciences. 21(1): 1-14.

Introduction: Due to the growth and development of new types of communication and information technologies around the world, the use of digital services is widely increasing and our country, Iran, is no exception to this rule. Information technology and digital services industries consume significant amounts of energy in various forms as well as in various sectors such as production, distribution and use of relevant equipment and services and as a result, produce various pollutants, including greenhouse gases, and release them into the environment. Therefore, the purpose of this study is to investigate the eco-friendliness of digital services and IT industry of Iran in the web hosting and cloud services sectors through evaluating the north-west data center of Iran as a representative of the IT industry of Iran in the web hosting and cloud services sectors.

Material and methods: For this purpose, in this study, first the effective aspects of information technology on the environment as well as the environmental standards related to data centers were identified through library studies and review of existing domestic and foreign literature and after that, eight servers of "Iran Server" were investigated. In the next step, after estimating the amount of energy consumed and carbon dioxide produced by the north-west data center of Iran (which has 319 active servers), the efficiency and environmental compatibility metrics of this data center were calculated and finally, by analyzing and summarizing the obtained results, eco-friendliness of the north-west data center of Iran as a representative of IT industry of Iran in the web hosting and cloud services sectors, was investigated.

[*] Corresponding Author: *Email Address*. h_hashemi@sbu.ac.ir

Results and discussion: The results of energy consumption and pollutants production of the north-west data center of Iran indicated that this data center consumes an average of 185.16 MWh of electricity per month, and followed by that produces 533.26 tons of carbon dioxide per month. Also, the values of Carbon Usage Effectiveness (CUE), Power Usage Effectiveness (PUE) and Energy Reuse Effectiveness (ERE) metrics in this data center were equivalent to 2.88 (kg CO_2 per kilowatt hour), 4.03 and 4.03, respectively, and also the values of Energy Reuse Factor (ERF) and Green Energy Coefficient (GEC) were zero. These values indicate that the energy consumption of Iran's data centers is supplied from non-renewable energy sources and this energy is finally released in the form of excess heat in the environment after consumption in different sectors, which emits a large amount of greenhouse gases including CO_2 in the environment and inflicts numerous and irreparable damages on the environment such as air pollution, global warming, climate change, etc.

Conclusion: A general summary of the information obtained from the study of various aspects of the eco-friendliness of the north-west data center of Iran as a representative of the IT industry of Iran in the web hosting and cloud services sectors and its comparison with other green data centers in the world shows, this data center has not met the necessary metrics to comply with environmental standards related to green or eco-friendly data centers and as a result is not very compatible with the environment and is far from other green data centers in the world.

Keywords: Data center, Efficiency, Energy, Environmentally friendly, Green information technology.