

بررسی اثر استفاده از منابع تجدیدپذیر انرژی بر شاخص ردپای اکولوژیکی در محیط‌های روستایی (مطالعه موردی: روستای نجوبران استان کرمانشاه)

احسان خان محمدی *، عباس مهروان **

تاریخ دریافت مقاله:

1396/06/07

تاریخ پذیرش مقاله:

1397/06/07

چکیده

این مقاله به ارزیابی تغییرات شاخص ردپای اکولوژیکی در محیط‌های روستایی در اثر جایگزینی انرژی فسیلی با منابع تجدیدپذیر انرژی می‌پردازد. رشد جمعیت و به تبع آن افزایش استفاده از سوخت‌های فسیلی، اثرات مخرب زیست‌محیطی گوناگونی را به دنبال داشته است. بیش از 40 درصد استفاده از کل انرژی که 70 درصد آن را مصرف برق تشکیل می‌دهد، در ساختمان‌ها مصرف می‌شود. از این رو ضروری می‌نماید با تمرکز بر بخش ساختمان، انرژی‌های تجدیدپذیر که به مراتب اثرات زیست‌محیطی کمتری دارند، جایگزین انرژی حاصل از سوخت‌های فسیلی گردند. محیط‌های روستایی نیز بخشی از جمعیت ساکن در زیست‌کره را شامل می‌شوند که نسبت به محیط‌های شهری از پتانسیل‌های متنوعی در بهره‌گیری از منابع تجدیدپذیر انرژی برخوردار می‌باشند. ردپای اکولوژیکی شاخصی به منظور بررسی تأثیرات زیست‌محیطی تولیدات، فعالیت‌ها و خدمات بشری بر زیست‌کره است. شاخص ردپای اکولوژیکی در ایران و در سال 2015 میلادی برابر با 2.8 هکتار در مقیاس جهانی به ازای هر نفر بوده است، این در حالی است که ظرفیت زیستی ایران 0.9 هکتار در مقیاس جهانی به ازای هر نفر است که نشان از برداشت بیش از حد از منابع طبیعی دارد. با توجه به ضرورت موضوع، روستای نجوبران در استان کرمانشاه به عنوان نمونه موردی انتخاب و پس از جمع‌آوری اطلاعات از طریق مشاهدات، پرسشنامه و مصاحبه، آمارهای رسمی، سایت‌ها و منابع کتابخانه‌ای مورد بررسی قرار گرفت تا میزان اثرگذاری بهره‌گیری از انرژی‌های تجدیدپذیر بر شاخص ردپای زیست‌محیطی کشوری به شیوه تحلیلی-توصیفی، محاسبه و بررسی گردد. نتایج این مقاله نشان داد که ردپای اکولوژیکی برق مصرفی در روستای نجوبران در سال 1396 برابر با 6.894 هکتار در مقیاس جهانی می‌باشد. استفاده از صفحات فتوولتائیک به مساحت 1000 مترمربع و دو توربین آبی کوچک ردپای اکولوژیکی مصرف برق در این روستا را به صفر رساند. استفاده از این دو سامانه در کنار یکدیگر و تزریق برق تولیدی مازاد بر نیاز به شبکه سراسری، در مجموع 10.364 هکتار در مقیاس جهانی به ظرفیت زیستی منطقه و کشور اضافه نمود که می‌تواند سایر فعالیت‌ها در نقاط شهری را از لحاظ زیست‌محیطی پشتیبانی نماید.

کلمات کلیدی: پایداری، اجتماعات پایدار، ردپای اکولوژیکی، اکوویلیج، انرژی‌های تجدیدپذیر.

* دانشجوی کارشناسی‌ارشد معماری دانشگاه رازی، کرمانشاه.

** استادیار گروه معماری دانشگاه رازی، کرمانشاه. a.mahrvan@razi.ac.ir

این مقاله مستخرج از پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد معماری نویسنده اول با عنوان تدوین ضوابط برنامه‌ریزی و طراحی اکوویلیج مبتنی بر سیاست‌ها و استراتژی‌های پایداری (نمونه موردی: روستای نجوبران، استان کرمانشاه) است.

مقدمه

افزایش مصرف سوخت‌های فسیلی و انتشار گازهای گلخانه‌ای، گرم شدن کره زمین، تغییرات اقلیمی، ذوب شدن یخ‌های قطبی، بحران کمبود آب و در معرض خطر قرار گرفتن گونه‌های طبیعی و جانوری از جمله اثرات قابل توجه افراط در بهره‌برداری از منابع طبیعی بوده است. اکوویلیج¹ها به‌عنوان سکونت‌گاه‌های پایدار، با در نظر گرفتن پتانسیل‌های موجود در محیط، اقدام به تولید انرژی مورد نیاز خود از منابع تجدیدپذیر نموده‌اند.

به‌عنوان نمونه 99 درصد از برق مصرفی در استان کرمانشاه از طریق سوخت‌های فسیلی تولید می‌شود. با توجه به اینکه بیش از یک چهارم برق مصرفی مشترکین خانگی در استان کرمانشاه به مشترکین روستایی اختصاص دارد، الگو قرار دادن اکوویلیج‌ها در زمینه شناخت توانمندی‌های محیط روستایی و تولید انرژی‌های پاک می‌تواند شاخص‌های زیست‌محیطی را تا حد زیادی تعدیل بخشد. در این راستا روستای نجویران به‌عنوان نمونه موردی انتخاب گردید تا پس از انجام پژوهش و دستاوردهای احتمالی، به مانند یک اکوویلیج بتوان از نقاط مثبت آن در سایر نقاط کشور و روستاهای دیگر استفاده نمود. چنانچه بتوان مصرف سوخت‌های فسیلی را کاهش داد و انرژی را از منابع تجدیدپذیر تأمین نمود، میزان بهره‌برداری از منابع طبیعی کاهش خواهد یافت و در نتیجه اثرات سوء مصرف سوخت‌های فسیلی بر زندگی انسان‌ها نیز کاهش می‌یابد.

از فناوری‌های تولید انرژی پاک مانند توربین‌های بادی و صفحات فتوولتاییک می‌توان در نقاط دور دست که به شبکه سراسری متصل نیستند بهره برد. هزینه برق‌رسانی به

یک روستا در ایران 1298000000 ریال است. چنانچه از انرژی‌های تجدیدپذیر برای تولید برق در محل استفاده شود این هزینه صرفه‌جویی می‌گردد و حتی پس از مدتی درآمندی به‌وجود خواهد آمد. علاوه بر اثرات زیست‌محیطی و اقتصادی ذکر شده، الگوگیری از اکوویلیج‌ها در این زمینه می‌تواند در ترویج فرهنگ استفاده از انرژی‌های پاک در سایر نقاط کشور مؤثر باشد.

این مقاله ابتدا به بررسی معضلات زیست‌محیطی و عوامل ایجادکننده آن‌ها می‌پردازد. سپس به توضیح شاخص ردپای اکولوژیکی² و نحوه محاسبه آن خواهد پرداخت. در ادامه نیز آمار رد پای زیست‌محیطی ایران بررسی می‌گردد و پس از تعریف اکوویلیج، روستای نجویران به‌عنوان نمونه مورد مطالعه معرفی خواهد شد. در انتها نیز ردپای اکولوژیکی مصرف برق در این روستا محاسبه خواهد شد و اثر تأمین انرژی الکتریکی مورد نیاز از طریق منابع تجدیدپذیر در مقایسه با مصرف انرژی الکتریکی برآمده از سوخت‌های فسیلی بر روی ردپای اکولوژیکی محاسبه و پیش‌بینی می‌گردد.

رشد جمعیت و اثرات آن بر محیط زیست

در سده‌های گذشته، شتاب فزاینده‌ای در رشد جمعیت اتفاق افتاد. نمودار شماره 1 تغییرات جمعیت را قبل از میلاد مسیح تاکنون نشان می‌دهد. جکسون (1998) عنوان می‌دارد رشد بی‌رویه و سریع جمعیت اثراتی همچون تخریب محیط زیست، فقر، جنگل‌زدایی به‌منظور تهیه سوخت و افزایش سطح زیر کشت و شکار بی‌رویه را به دنبال داشته است.

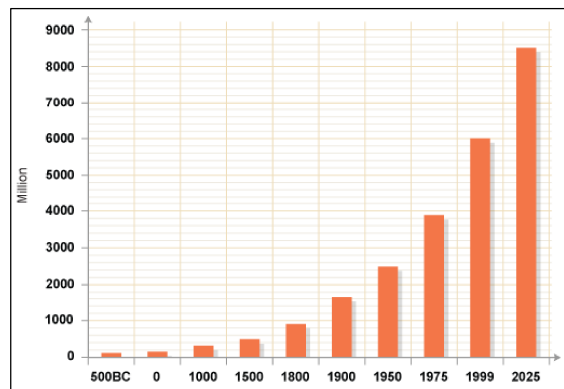
مهاجرت، کاهش منابع تأمین مواد غذایی، سوء تغذیه و مرگ و میر کودکان، جنگ بر سر تسلط بر منابع و بسیاری آسیب‌های اجتماعی دیگر می‌توانند ناشی از رشد بی‌رویه جمعیت باشند.

به گفته ژو و همکاران (2015) در سال 2015 میلادی، 40 درصد انرژی مصرف شده در آمریکا به صنعت ساختمان اختصاص داشته است و به خصوص در انرژی برق سهم مصرف ساختمان‌ها به بیش از 70 درصد برق تولیدی می‌رسد. کروکام (2011) نیز عنوان می‌دارد در نیروگاه‌هایی که با سوخت فسیلی کار می‌کنند، به ازای هر مگاوات برق تولیدی 2 تن آب مصرف می‌شود و 1.5 تن گاز گلخانه‌ای آزادسازی می‌گردد.

بدون تردید این میزان از تمرکز مصرف انرژی در بخش ساختمان، مقابله با آثار زیانبار آن را ضروری و ادامه وضع موجود را ناممکن می‌سازد. بنابراین توجه به منابع جایگزین برای تولید انرژی پاک و مخصوصاً تولید برق پاک، بسیار حیاتی می‌باشد. ژو و همکاران (2015) از باد، خورشید، زیست توده و جذر و مد به عنوان منابع تجدیدپذیر انرژی یاد می‌کنند. این انرژی‌ها به انرژی پاک معروف هستند و دارای حداقل اثرات نامطلوب زیست محیطی‌اند.

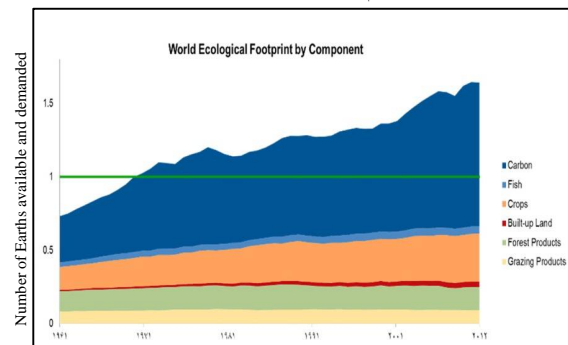
ردپای اکولوژیکی و روش محاسبه آن

ردپای اکولوژیکی، یک شاخص کمی است که به گفته تینسلی و جرج (2006) مشخص می‌کند چه مقدار انرژی و ماده در یک بازه زمانی مشخص مصرف و چه مقدار پسماند جامد، مایع و گاز در طبیعت رهاسازی شده است. سپس مقدار زمینی که جهت تأمین انرژی و پشتیبانی از این پروسه مورد نیاز است را تعیین می‌کند تا بتوان میان برداشت از منابع و توان تجدیدپذیری طبیعت تعادل برقرار نمود. ردپای اکولوژیکی که توسط وکرناگل و ریس مطرح شد "میزان زمین یا آبی را مشخص می‌کند که برای تأمین مقدار مشخصی ماده یا انرژی مورد نیاز است" (وکرناگل و ریس، 1996). بنا بر مطالب مندرج در وبسایت شبکه رد پای



1. روند تغییرات جمعیت جهان و پیش‌بینی آن، <http://www.bbc.co.uk>، بازدید شده در خرداد 1396).

با پیشرفت روزافزون صنایع و میل به رشد اقتصادی بیشتر در کشورها، نیاز به تأمین انرژی افزایش یافته و این امر شتاب در رشد استفاده از سوخت‌های فسیلی را سبب شده است. نمودار شماره 2 رد پای زیست محیطی (مطالعه شود ردپای اکولوژیکی و روش محاسبه آن) را به تفکیک اجزا نمایش می‌دهد. مشاهده می‌شود سهم کربن دی‌اکسید (قسمت آبی رنگ) که ناشی از سوزاندن سوخت‌های فسیلی است از سایر اجزا بیشتر بوده و همچنان نیز این سهم رو به افزایش است.



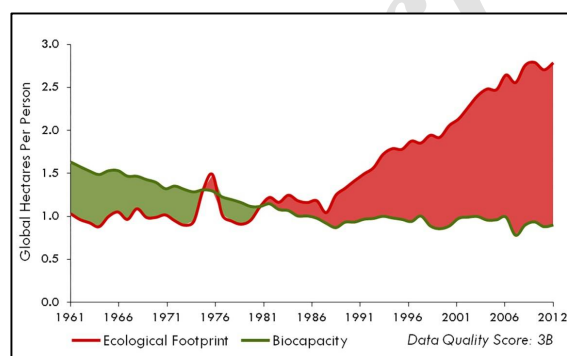
2. ردپای اکولوژیکی جهانی به تفکیک اجزا. (دیوید لین و همکاران، 2016، به نقل از www.footprintnetwork.org، بازدید شده در دی 1396).

Ecological Footprint (Gha) = Lifecycle Energy Use (GJ) / Carrying Capacity (GJ/Gha)

رویکرد پژوهش حاضر محاسبه و مقایسه اثرات زیست‌محیطی مصرف انرژی الکتریکی حاصل از سوخت‌های فسیلی و انرژی الکتریکی حاصل از منابع تجدیدپذیر است. این ارزیابی از طریق شاخص ردپای اکولوژیکی صورت خواهد گرفت.

ردپای اکولوژیکی در ایران

در ایران نیاز به انرژی و بهره‌برداری از منابع طبیعی در سالیان گذشته رو به فزونی گذاشته است. همان‌طور که در نمودار شماره 3 قابل مشاهده است، گرایش به مصرف انرژی بیشتر، ردپای اکولوژیکی ایران را افزایش یافته است. به گزارش شبکه جهانی ردپا (www.footprintnetwork.org)، بازدید شده در دی 1396، ردپای اکولوژیکی ایران در سال 2012 میلادی 2.8 هکتار جهانی به ازای هر نفر بوده است و این در حالی است که میزان ظرفیت زیست‌محیطی ایران 0.9 هکتار جهانی برآورد شده است. مقایسه این اعداد نشان از برداشت $(1/7 = 2/8 - .9)$ از برداشت 1/7 هکتار جهانی به ازای هر نفر بیشتر از سرانه منابع طبیعی موجود و اعمال فشار بیش از حد بر زیست‌کره دارد.



ن 3. روند تغییرات ردپای اکولوژیکی و ظرفیت زیستی در ایران تا سال 2012، (دیوید لین و همکاران، 2016، به نقل از www.footprintnetwork.org، بازدید شده در دی 1396).

زیست‌محیطی (www.footprintnetwork.org) بازدید شده در ماه دی 1396) این شاخص امکان محاسبه میزان فشاری که انسان جهت استخراج منابع به طبیعت اعمال می‌کند را فراهم می‌سازد. واحد ردپای اکولوژیکی، هکتار در مقیاس جهانی³ است. به گفته یوینگ و همکاران (2010) واحد هکتار جهانی، میزان متوسط زمین‌های تولیدگر در کره زمین به لحاظ زیستی را به ازای هر نفر مشخص می‌نماید. براساس مطالب مندرج در سایت شبکه جهانی ردپا (www.footprintnetwork.org)، بازدید شده در دی 1396، ردپای اکولوژیکی می‌تواند برای یک فرد و یا مجموعه‌ای از افراد در قالب یک مجموعه، کشور و یا کل دنیا محاسبه گردد.

در انجام محاسبات ردپای اکولوژیکی اطلاعات مربوط به مصارف فرد یا افراد حاضر در مجموعه مدنظر، مورد نیاز است. به گفته وکرناگل و ریس (1996) محاسبه میزان مصرف ده‌ها هزار کالا امری غیرممکن است. از این رو اطلاعات به پنج دسته بزرگ شامل غذا، اقامت، حمل و نقل، کالای مصرفی و خدمات که در مقایسه با سایر تولیدات، فعالیت‌ها و خدمات ردپای اکولوژیکی بیشتری دارند تقسیم‌بندی می‌گردند. رایان (2004) این دسته‌بندی را در یک محیط روستایی به حمل و نقل، آب، غذا، انرژی و پسماند تقسیم می‌کند.

به اذعان وکرناگل و ریس (1996) مصرف 80 تا 100 گیگا ژول انرژی فسیلی به لحاظ زیست‌محیطی معادل یک هکتار زمین مولد محسوب می‌شود. بنابراین در محاسبه ردپای اکولوژیکی چنانچه در هر کدام از دسته‌ها 80 تا 100 گیگا ژول انرژی مصرف شود، یک هکتار زمین مولد جهت جذب دی‌اکسید کربن حاصل از آن می‌بایست مورد بهره‌برداری قرار گیرد. از مباحث ذکر شده فرمول زیر منتج می‌گردد.

باشد تا رفتارهای فردی را اصلاح و جامعه را به سمت مصرف بهینه منابع و تولید پایدار سوق دهند، چرا که ردپای اکولوژیکی جهانی از مجموع فعالیت‌های خرد تأثیر می‌پذیرد.

رایان (2004) معتقد است ردپای اکولوژیکی در سطح ملی و منطقه‌ای مستقیماً قابل مقایسه نیستند، چرا که روش محاسبه آن‌ها متفاوت است. او (2004) عنوان می‌دارد شاخص ردپای اکولوژیکی در شهر و روستا در بخش‌های مختلف اعداد متفاوتی را نشان می‌دهد. به‌عنوان مثال در بخش پسماند روستاها کالای کمتری نسبت به جمعیت شهری مصرف می‌کنند و ردپای کمتری از خود به جا می‌گذارند در حالی که در شهرهای با سیستم حمل و نقل عمومی قوی ردپای اکولوژیکی حمل و نقل کمتر از روستاها است. به گفته ایتن و همکاران (2007) اگرچه در مجموع ردپای اکولوژیکی روستاها کمتر از نقاط شهری است، اما باید این نکته را در نظر داشت که جمعیت ساکن در روستاها نیز از مزایای اقتصادی، آموزشی، درمانی و امکانات رفاهی شهرها بهره‌مند می‌گردند. در نتیجه می‌بایست تعاملی میان روستاها و شهرها صورت گیرد تا روستاییان نیز در کاهش ردپای اکولوژیکی در سطح ملی مشارکت نمایند.

انرژی‌های تجدیدپذیر

انرژی‌های تجدیدپذیر می‌توانند از منابع مختلفی تأمین گردند. وکرنات و موففردا (2006) عنوان می‌دارند که ترکیبی از صفحات فتوولتائیک، توربین‌های بادی و سوخت اتانولی بر پایه زیست‌توده توانایی تولید متوسط 95 گیگا ژول بر هکتار را در سال دارا است که این میزان از انرژی در مقایسه با انرژی که یک زمین باکیفیت متوسط می‌تواند تولید کند بالاتر است و کمترین اثر زیست‌محیطی را به‌دنبال دارد.

طبق اطلاعات ارائه شده در آمار برق روستایی (1395)، استان کرمانشاه دارای 2514 روستای متصل به شبکه برق‌رسانی است. با توجه به مطالب درج شده در آمار تفصیلی صنعت برق ایران در سال 1395 (1396) مشترکین خانگی روستاهای استان کرمانشاه 230110000 کیلووات ساعت معادل 835956 گیگا ژول برق مصرف نموده‌اند. با توجه به مطالبی که ذکر شد، به‌منظور جذب کربن دی‌اکسید حاصل از مصرف این میزان انرژی فسیلی، $835956 \text{ GJ} = 100 \text{ GJ/ha} = 8359.56 \text{ Gha}$ زمین مولد مورد نیاز است. در صورتی که بتوان این میزان از انرژی را از طریق منابع تجدیدپذیر تأمین نمود، میزان قابل توجهی از اثرات زیست‌محیطی مصرف برق و به تبع آن بهره‌برداری از منابع طبیعی کاهش خواهد یافت.

ردپای اکولوژیکی در محیط‌های شهری و روستایی

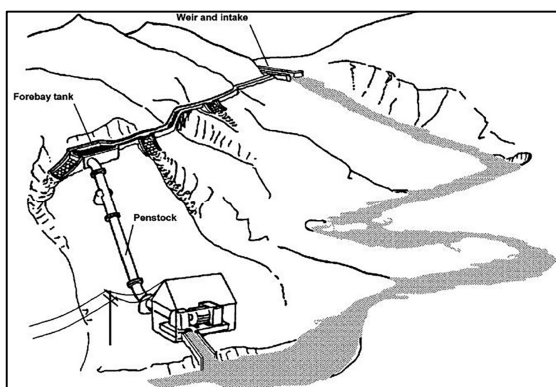
شاخص ردپای اکولوژیکی برای تمامی کشورها محاسبه شده است. به گزارش دیوید لین و همکاران (2016)، به نقل از www.footprintnetwork.org، بازدید شده در دی 1396) میانگین این شاخص در سطح دنیا در سال 2012 برابر با 2.8 هکتار جهانی به ازای هر نفر بوده است. رایان (2004) عنوان می‌دارد تا کنون ارزیابی‌های اندکی در سطح منطقه‌ای و روستایی از شاخص ردپای اکولوژیکی انجام گرفته است، در حالی که ارزیابی در این سطح می‌تواند ابزاری مناسب و بسیار مفید در اختیار سیاست‌گذاران قرار دهد. ایتن و همکاران (2007) معتقدند به‌منظور رفع معضلات زندگی بشر می‌بایست جهانی اندیشید و در سطح محلی عمل نمود. آن‌ها (2007) به نقل از بوند، (2002) بر این نکته تأکید دارند که مزیت ارزیابی زیست‌محیطی به وسیله شاخص ردپای اکولوژیکی در سطح محلی و روستایی می‌تواند ابزاری مناسب برای سیاست‌گذاران

سامانه‌های فتوولتائیک

بهره‌گیری از نور خورشید می‌تواند به صورت مستقیم باشد و یا با استفاده از تجهیزاتی مانند صفحات فتوولتائیک، نور را به انرژی الکتریکی تبدیل نمود. میزان بهره‌گیری از این روش در نقاط مختلف دنیا بسته به منطقه جغرافیایی متفاوت است. به عنوان مثال آتیانتس و براین (2015) عنوان می‌دارند در کانادا که در عرض جغرافیایی 45 تا 53 درجه شمالی قرار دارد، یک سطح فتوولتائیک توانایی تولید 6 کیلووات ساعت برق در هر مترمربع در روز را دارا است. شین و هشیم (2012) فرمول $Sp(w) = h \times A(m^2) \times I(w/m^2)$ را جهت محاسبه میزان توان تولیدی توسط صفحات فتوولتائیک ارائه می‌کنند. در این فرمول، h نشان‌دهنده راندمان صفحات فتوولتائیک، A نشان‌دهنده مجموع مساحت صفحات فتوولتائیک و I نشان‌دهنده شدت تابش آفتاب است. وکرناگل و موفنردا (2004) عنوان می‌دارند که صفحات فتوولتائیک [تحت تأثیر انرژی نهان تولید صفحات و تعمیر و نگهداری آن‌ها] ردپای اکولوژیکی برابر با 10 هکتار به ازای تولید هر مگاوات برق را دارند.

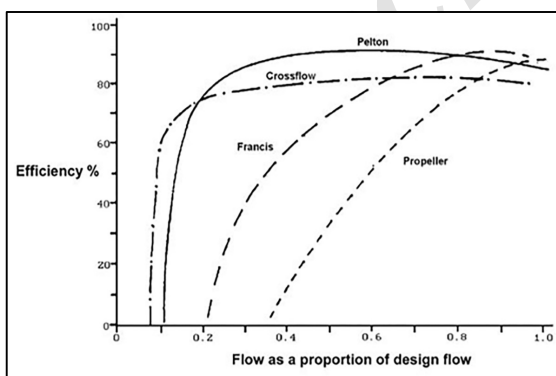
توربین‌های آبی کوچک

مطابق تصویر شماره 1 در شیوه کار سیستم توربین‌های آبی کوچک ابتدا آب در پشت یک آب‌بند کوچک متوقف می‌شود تا ذرات موجود در آب ته‌نشین گردد. سپس آب بعد از انتقال به مخزنی که در ارتفاع قرار گرفته است، از طریق لوله‌ای به سمت پایین جریان می‌یابد و با برخورد با پره‌های توربین باعث گردش آن و تولید برق به وسیله ژنراتور می‌گردد. نبابان و همکاران (2012) فرمول $Ns(m) = \frac{h(r/min) \times P^{1/2}(kw)}{H^{5/4}}$ را جهت محاسبه توان خروجی توربین مطرح می‌نمایند که در آن Ns = توان خروجی توربین، h سرعت توربین، P توان محور و H اختلاف ارتفاع مخزن با توربین می‌باشد.



ت 1. طرح‌بندی سایت توربین آبی کوچک (پیش، 2002).

بر مبنای فرمول مذکور، نبابان و همکاران (2012) فرمول $P(kw) = 7 \times H(m) \times F(m^3/s)$ را برای محاسبه تقریبی تولید برق توسط یک توربین آبی کوچک پیشنهاد می‌نمایند که در آن P توان تولیدی، H اختلاف ارتفاع مخزن با توربین و F دبی آب ورودی به توربین است. در انتخاب نوع توربین نیز متغیرهایی دخیل هستند. پلتون، تورگو، کراس فلو، تیوب تاپ و فرانسیس از جمله توربین‌های آبی کوچک هستند. نمودار شماره 4 ضریب بهره‌وری توربین‌های مختلف را بر حسب درصد آب ورودی به توربین که متناسب با آن طراحی شده است، نشان می‌دهد.



ن 4. ضریب بهره‌وری انواع توربین نسبت به درصد شدت جریان (پیش، 2002).

سالانه 60000 کیلووات ساعت (معادل 216 گیگا ژول) برق به وسیله صفحات فتوولتائیک تولید می شود. تصویر شماره 2 صفحات فتوولتائیک اکوویلیج ایثاکا را نشان می دهد. تولید این میزان انرژی تجدیدپذیر، باعث کاهش ردپای اکولوژیکی کل اکوویلیج به میزان $2.16 = (216GJ \div 100GJ/ha)$ هکتار جهانی شده است. بنابراین می توان عنوان داشت اکوویلیج ایثاکا در رسیدن به اهداف خود که کاهش فشار انسان بر طبیعت به منظور استحصال منابع بوده، دست یافته است.



ت 2. تولید برق به وسیله صفحات فتوولتائیک در اکوویلیج ایثاکا، (<http://community-that-works.org>، بازدید در خرداد 1396).

اکوویلیج فایندهورن⁶

اکوویلیج فایندهورن از دیگر نمونه های موفق در زمینه تولید انرژی از منابع تجدیدپذیر است. براساس مطالب منتشر شده در وبسایت اکوویلیج بوک (<https://ecovillagebook.org>، بازدید در مرداد 1396)، اکوویلیج فایندهورن دارای 400 نفر سکنه و در سواحل شمال شرقی اسکاتلند واقع شده است. در وبسایت اکوویلیج فایندهورن (<https://www.ecovillagefindhorn.com>)، بازدید در اردیبهشت 1396) عنوان شده است این اکوویلیج از

به گفته وکرناگل و ریس (1994) رد پای زیست محیطی تولید برق با استفاده از توربین آبی تحت تأثیر زمین های زیر آب رفته و تولید تجهیزات، 0.1 هکتار جهانی به ازای 100 گیگا ژول است.

اکوویلیج ها، موفق در کاهش ردپای اکولوژیکی

ماری گاردن (2006) عنوان می دارد حرکت جهانی اکوویلیج در سال 1990 میلادی و از آنجا شروع شد که روس و هیلدر جکسون، مؤسسان بنیاد گایا تراست⁴ به این نتیجه رسیدند که جهان به منظور حرکت به سمت پایداری نیازمند نمونه هایی است که در جامعه ای با تکنولوژی پیشرفته در همسازی کامل با طبیعت و از مسیری پایدار پاسخگوی نیازهای روانی نیز باشند. روس و هیلدر جکسون این نمونه را اکوویلیج نامیدند. گیلمن (1991) اکوویلیج را مکانی تعریف نمود که دارای مقیاس انسانی است و تمامی فعالیت ها به صورتی که طبیعت را متوجه خطر نسازد در قالب یک مسکن تمام و کمال انسانی به وقوع می پیوندند. این فعالیت ها باید به گونه ای باشند که سلامت توسعه انسانی را تضمین نماید و بتواند به صورت نامحدود به کار خود ادامه دهد.

اکوویلیج ایثاکا⁵

اکوویلیج ایثاکا یکی از نمونه های موفق ساخته شده در زمینه پایداری زیست محیطی است. براساس مطالب منتشر شده در وبسایت انجمن کوهاوزینگ ایالات متحده (www.cohousing.org)، بازدید در اردیبهشت 1396)، یکی از اهداف بنیان گذاران اکوویلیج ایثاکا حساسیت نسبت به طبیعت و ایجاد نمودی عینی از اصول پایداری است. در وبسایت لنداسکیپ پرفورمنس (<https://landscapeperformance.org>)، بازدید در خرداد 1396) آمده است، در اکوویلیج ایثاکا

یک مزرعه بادی متشکل از 4 توربین بادی بهره می‌برد که ظرفیت آن‌ها 750 کیلووات است و در کنار سامانه‌های خورشیدی نصب شده بر بام خانه‌ها، بیش از 100 درصد نیاز این اکوویلیج به برق را تأمین می‌کنند. با توجه به قرارگیری اکوویلیج فایندهورن در نزدیکی ساحل، امکان تولید برق از طریق امواج آب و جذر و مد نیز فراهم است که نیازمند توجه و سرمایه‌گذاری است. در نتیجه اقدامات صورت گرفته در اکوویلیج فایندهورن، میزان فشار سکونت انسانی بر طبیعت، به خصوص در بخش مصرف برق کاهش چشم‌گیری داشته است. به گزارش تینسلی و جرج (2006) در سال 2005 میزان رد پای زیست‌محیطی اکوویلیج فایندهورن برابر 2.71 هکتار جهانی به ازای هر نفر در سال بوده است.

سؤال پژوهش

با توجه به ضرورت‌هایی که در بالا بیان شد این مقاله درصدد است در ابتدا میزان بهره‌برداری از منابع طبیعی به‌منظور تأمین انرژی الکتریکی در منطقه مورد مطالعه را از طریق شاخص رد پای اکولوژیکی محاسبه نماید. سپس با شناسایی نقاط قوت منطقه و امکان‌سنجی استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر، اقدام به جایگزینی سوخت‌های فسیلی با انرژی‌های پاک نماید تا بدین وسیله گامی در جهت کاهش فشار بر محیط زیست و پیش‌گیری از اثرات سوء آن بردارد. بنابراین سؤال پژوهش به این شکل عنوان می‌گردد:

جایگزینی انرژی‌های تجدیدپذیر به جای انرژی‌های فسیلی به‌عنوان منبع تولید برق، چه مقدار بر شاخص رد پای اکولوژیکی نمونه مورد مطالعه (روستای نجوبران، کرمانشاه) تأثیر خواهد گذاشت؟

روش تحقیق

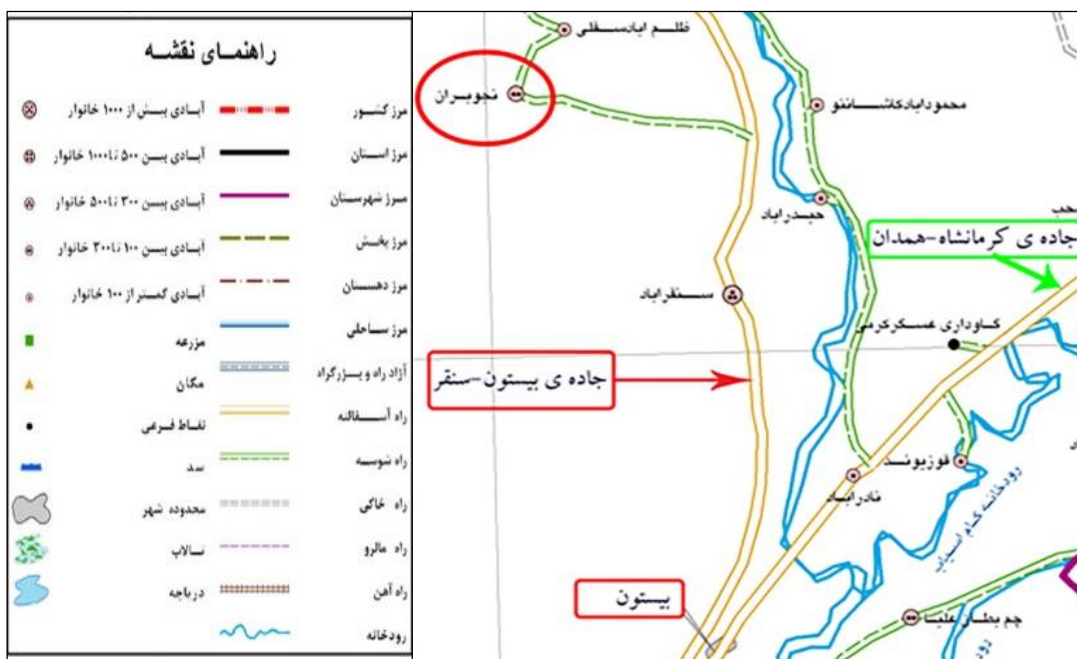
در این پژوهش پس از امکان‌سنجی بهره‌گیری از انرژی‌های تجدیدپذیر در منطقه مورد مطالعه (روستای نجوبران، استان کرمانشاه)، میزان تغییرات شاخص رد پای اکولوژیکی در اثر استفاده از منابع تجدیدپذیر انرژی جهت تولید الکتریسیته محاسبه می‌گردد. اطلاعات مورد نیاز از جمله میزان مصرف برق اهالی، شدت تابش آفتاب، دبی آب خروجی سراب روستا و شیب مسیل به شیوه‌های مشاهده، مصاحبه، پرسشنامه، عکس‌برداری و فیلم‌برداری، استفاده از آمار و نقشه‌های سازمانی، سایت‌ها و منابع کتابخانه‌ای جمع‌آوری گردید. تجزیه و تحلیل اطلاعات در این مقاله به شیوه تحلیل آماری و برگرفته از روش و کرناگل و ریس در کتاب "رد پای اکولوژیکی ما" می‌باشد.

روستای نجوبران

روستای نجوبران واقع در استان کرمانشاه می‌باشد. بنا بر اطلاعات مندرج در سایت مرکز آمار ایران (www.amar.org.ir، بازدید شده در فروردین 1396) روستای نجوبران در بخش بیستون واقع شده و از توابع شهرستان هرسین می‌باشد تصویر شماره 3 موقعیت قرارگیری روستای نجوبران نسبت به شهر بیستون را نشان می‌دهد.

براساس اطلاعات جمع‌آوری شده توسط خانه بهداشت روستای نجوبران، در سال 1396 جمعیت روستا 472 نفر در قالب 121 خانوار است. روستای نجوبران دارای دو سراب است. محل قرارگیری سراب‌ها در ضلع جنوبی روستا و در پای کوه نجوبران است. براساس مشاهدات انجام شده سراب شرقی

320 مترمربع و دارای توپوگرافی نسبتاً مسطح و سراب با بستر رودخانه 3.5 متر است. تصویر شماره 4 سراب غربی 1765 مترمربع و اختلاف ارتفاع دریاچه



3. موقعیت قرارگیری روستای نجویران نسبت به شهر بیستون، (مرکز آمار ایران، به نقل از www.roostanet.com، بازدید در اسفند 1395).



4. سراب غربی روستای نجویران.

تجزیه و تحلیل اطلاعات

مطالب این بخش در قالب سه سناریو بیان می‌گردد. ردپای اکولوژیکی وضع موجود مصرف برق روستای نجوبران در قالب سناریوی اول محاسبه می‌شود. در سناریوی دوم، با توجه به 2906.7 ساعات آفتابی در کرمانشاه و نیز در دسترس بودن زمین‌های مناسب، میزان تأثیرگذاری احداث یک نیروگاه خورشیدی بر شاخص ردپای اکولوژیکی بررسی می‌شود. در سناریوی سوم نیز با فرض قرار دادن دو توربین آبی کوچک در مسیر رودخانه نجوبران، میزان تغییرات ردپای اکولوژیکی مصرف برق محاسبه می‌گردد.

سناریوی اول

در این سناریو، ردپای اکولوژیکی مصرف برق در وضعیت موجود محاسبه می‌گردد. براساس مشاهدات انجام شده بخش خانگی تنها مصرف‌کننده برق شبکه سراسری می‌باشد. به‌منظور به دست آوردن سرانه مصرف برق هر خانوار در روستای نجوبران، به‌صورت تصادفی از 10 درصد خانوارها خواسته شد تا قبض برق خود را ارائه دهند. براساس ارقام درج شده روی قبوض برق، میانگین سرانه مصرف هر خانوار در روستای نجوبران معادل 1597 کیلووات ساعت در سال 1395 بوده است.

پس میزان مصرف برق روستای نجوبران $1597 \text{Kwh/Family} \times 121 \text{Family} = 193237 \text{Kwh}$ می‌باشد. در آمار تفصیلی صنعت برق ایران (1393) آمده است در استان کرمانشاه 99 درصد از انرژی الکتریکی توسط نیروگاه‌های سوخت فسیلی و 1 درصد آن به شیوه برق‌آبی تولید می‌شود. بنابراین، $191305 \text{Kwh} = 193237 \text{Kwh} \times 99/100$ برق فسیلی و $1932 \text{Kwh} = 193237 \text{Kwh} - 191305 \text{Kwh}$ انرژی برق آبی مصرف گردیده است.

با توجه به اینکه 1 کیلووات ساعت معادل $10^{-4} \times 36$ گیگا ژول انرژی است، پس میزان مصرف برق فسیلی روستای نجوبران در طول 1 سال، $688.7 \text{Gj} = 10^{-4} \times 36 \text{Gj} \times 191305 \text{Kwh}$ و میزان مصرف برق تأمین شده به شیوه برق آبی در طول 1 سال، $7 \text{Gj} = 10^{-4} \times 36 \text{Gj} \times 1932 \text{Kwh}$ می‌باشد. همچنین میزان ردپای اکولوژیکی برق فسیلی مصرفی روستای نجوبران $6.887 \text{gha} = 100 \text{GJ/ha} \div 688.7 \text{GJ}$ و میزان ردپای اکولوژیکی انرژی برق آبی مصرفی، $0.007 \text{gha} = 1000 \text{GJ/ha} \div 7 \text{GJ}$ است. بنابراین ردپای اکولوژیکی کل در سناریوی اول $6.894 \text{gha} = 0.007 \text{Gha} + 6.887 \text{Gha}$ می‌باشد.

سناریوی دوم

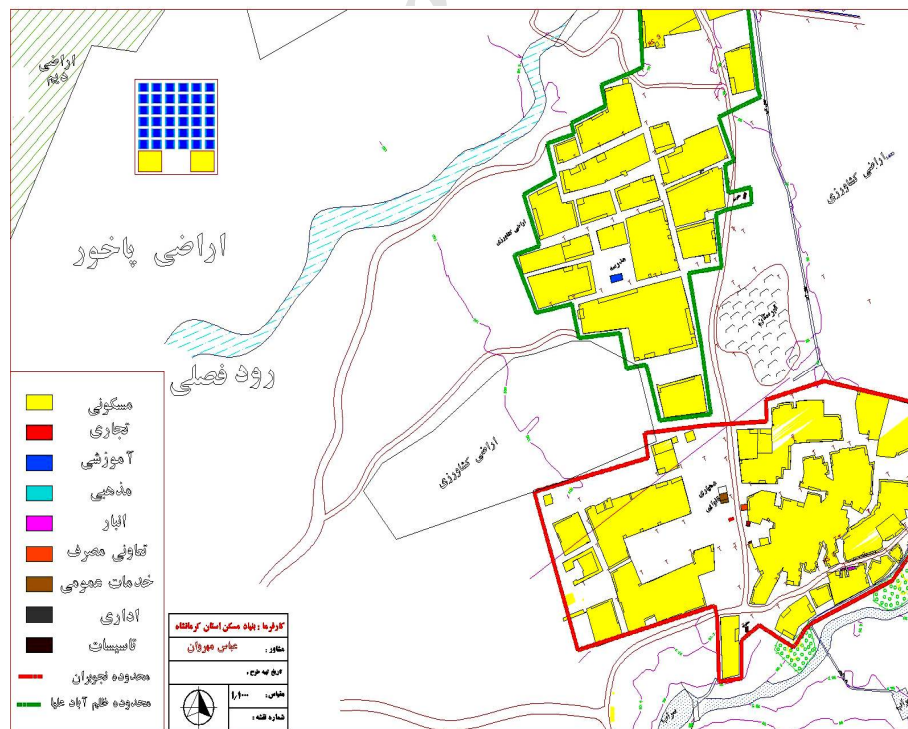
با توجه به مشاهدات صورت گرفته و به استناد عکس هوایی در تصویر شماره 5 بیش از 15 هکتار زمین پاخور در قسمت غربی روستای نجوبران قرار دارد که از آن می‌توان جهت احداث نیروگاه فتوولتائیک استفاده نمود. فرض بر این است در این زمین‌ها، نیروگاهی که مجموع مساحت صفحات فتوولتائیک آن 1000 مترمربع باشد احداث گردد. به گفته مجرد و همکاران (1394) میانگین تابش دریافتی سطح زمین در ایستگاه کرمانشاه 402.9 کالری بر سانتی مترمربع در روز گزارش شده است. طبق آمار 25 ساله ایستگاه سینپتیک کرمانشاه متوسط ساعات آفتابی در یک سال 2906.7 ساعت می‌باشد.

با توجه به 2906.7 ساعت میانگین تابش سالانه کرمانشاه، به طور متوسط در هر روز $7.96 \text{hour} = 365 \text{day} \div 2906.7 \text{hour/year}$ تابش آفتاب وجود دارد. این عدد معادل $28656 \text{sec} = 3600 \text{sec} \times 7.96 \text{hour}$ است بنابراین در هر ثانیه، هر سانتی مترمربع از زمین $140 \times 10^{-4} \text{Cal} = 28656 \text{s} \div 402.9 \text{Cal/cm}^2$

1 مگاوات، برابر با 10 هکتار جهانی است، ردپای اکولوژیکی به ازای تولید 92843 وات برق فتولتاییک، $(10\text{ha} \times 92843 \times 10^{-6}\text{MW}) \div 1\text{MW} = 0.928\text{gha}$ خواهد بود. با تولید برق به این شیوه، در این سناریو به میزبان $100\text{GJ/ha} \div 10^{-9}\text{GJ} = 9.716\text{gha}$ در مصرف منابع طبیعی صرفه جویی می شود. بنابراین ردپای اکولوژیکی مصرف برق در این سناریو $9.716\text{gha} - 0.928\text{gha} = 8.788\text{gha}$ خواهد بود. ردپای اکولوژیکی منفی بدان معنا است که استفاده از صفحات فتولتاییک به منظور تأمین برق در روستای نجوبران، از بهره برداری از منابع طبیعی جلوگیری می کند و ردپای اکولوژیکی مصرف برق را به صفر می رساند، به علاوه با تزریق انرژی پاک مازاد بر نیاز به شبکه، به میزان 1.894 هکتار جهانی به ظرفیت زیستی منطقه و کشور اضافه می گردد که توانایی پشتیبانی از سایر فعالیت ها را خواهد داشت.

، انرژی دریافت می کند. این رقم معادل 140 کالری در هر ثانیه برای هر مترمربع است. با توجه به اینکه هر کالری برابر با 4.184 ژول می باشد انرژی دریافتی هر مترمربع از زمین در هر ثانیه $4.184\text{j} = 585.76\text{j}$ خواهد بود.

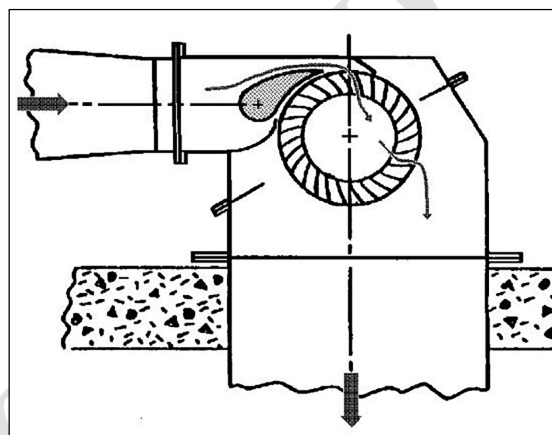
راندمان صفحات فتولتاییک براساس کاتالوگ شرکت کوآرتک⁸ در مدل CS6P-255P برابر با 15.85 درصد می باشد بنابراین، توان تولیدی نیروگاه $92843\text{w} = 92843 \times 0.1585 \times 1000\text{m}^2 \times 585.76\text{J/m}^2/\text{s}$ خواهد بود. این عدد معادل 92843 ژول بر ثانیه است. با توجه به اینکه آفتاب در طول یک سال $2906.7\text{hour/year} \times 3600\text{sec} = 10464120\text{sec}$ می تابد، بنابراین مجموع انرژی تولیدی نیروگاه در طول یک سال $92843\text{j} \times 10464120\text{sec} = 971520293160\text{j}$ خواهد بود. ردپای اکولوژیکی تولید برق فتولتاییک در هر



ت 5. محل پیش بینی شده برای احداث نیروگاه خورشیدی، (طرح هادی روستای نجوبران، مهران، 1384).

سناریوی سوم

بر اساس برداشت‌های صورت گرفته، سراب غربی نجوبران از توپوگرافی مناسبی جهت بهره‌گیری از توربین‌های آبی کوچک جهت تولید برق برخوردار است. از میان توربین‌هایی که به آن‌ها اشاره شد، توربین کراس فلو (تصویر شماره 6) تحت جریان متغیر آب تقریباً ضریب بهره‌وری ثابتی دارد. بنابراین استفاده از این نوع توربین پیشنهاد می‌گردد.



ت 6. توربین کراس فلو، (پیش، 2002).

طبق اعلام شرکت آب منطقه‌ای کرمانشاه، متوسط دبی آب سراب غربی نجوبران 0.720 مترمکعب در سال است. طبق نقشه‌های برداشت شده در سال 1384 توسط بنیاد مسکن انقلاب اسلامی (مهروان، 1384)، از محل سراب تا فاصله 540 متری، بین بستر رودخانه و آب‌بند سراب، $95\text{m} - 87\text{m} = 8\text{m}$ اختلاف ارتفاع وجود دارد. 3.5 متر از این ارتفاع مربوط به آب‌بند روی سراب است. پس می‌توان در فاصله 540 متری از سراب، آب‌بند دومی ایجاد نمود که اختلاف ارتفاع آن با بستر رودخانه $8\text{m} - 3.5\text{m} = 4.5\text{m}$ باشد. حال با فرض اینکه بر روی هر آب‌بند یک توربین آبی کوچک بسته شود و این توربین‌ها 9 ماه از سال را به صورت

یکسره برق تولید کنند، با توجه به فرمول ارائه شده در قبل مجموع توان تولیدی دو توربین $40.32\text{kW} = (7 \times 4.5 \text{ m} \times 0.72\text{m}^2/\text{s}) = 17.64\text{kW} + 22.68\text{kW}$ $P_{kw} = (7 \times 3.5\text{m} \times 0.72\text{m}^2/\text{s})$ خواهد بود. این عدد معادل 40320 ژول بر ثانیه است. میزان انرژی تولیدی توربین در طول 9 ماه فعالیت $940584960000\text{J} = 940584960000\text{J}$ معادل 940.58 گیگا ژول خواهد بود.

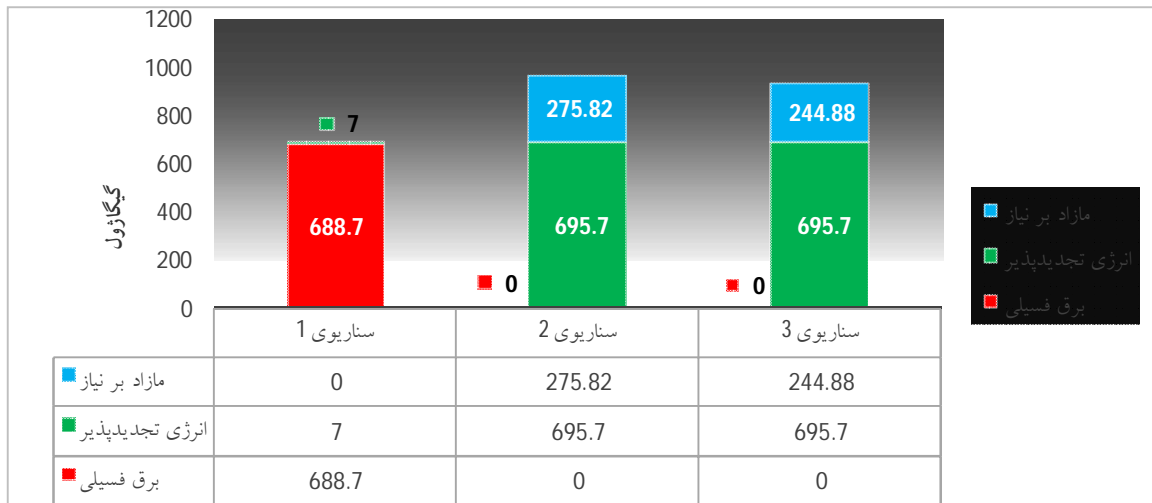
با توجه به مطالبی که قبلاً عنوان شد در روستای نجوبران ردپای اکولوژیکی تولید 940.58 گیگا ژول برق با استفاده از توربین‌های آبی کوچک، $0.94\text{ha} = 100\text{GJ}/\text{ha} \div (940.58\text{GJ} \times 0.1\text{ha})$ خواهد بود. با تولید این میزان برق، معادل $9.41\text{gha} = 100\text{GJ}/\text{gha} \div 940584960000 \times 10^{-9}$ از برداشت از منابع طبیعی جلوگیری به عمل خواهد آمد. در نتیجه عدد خالص رد پای زیست‌محیطی در این سناریو $6.894\text{gha} + 0.94\text{gha} - 9.41\text{gha}$ ردپای اکولوژیکی منفی بدان معنا است که نه تنها ردپای اکولوژیکی مصرف برق به صفر می‌رسد، بلکه با تزریق انرژی پاک مازاد بر نیاز به شبکه، به میزان 1.576 هکتار جهانی به ظرفیت زیستی منطقه و کشور اضافه می‌گردد که توانایی پشتیبانی از سایر فعالیت‌ها را خواهد داشت.

نتیجه

در سناریوی اول مشاهده می‌گردد در سال 1395 مصرف برق روستای نجوبران، 695.7 گیگا ژول بوده است. سناریوی دوم نشان می‌دهد یک نیروگاه فتوولتائیک 1000 مترمربعی در سال توانایی تولید 971.52 گیگا ژول برق را دارا است و در سناریوی سوم در صورت استفاده از دو توربین آبی کوچک، می‌توان در سال 940.58 گیگا ژول برق تولید نمود. در صورت بهره‌گیری هم‌زمان از صفحات فتوولتائیک

انرژی مازاد بر نیاز تولید می‌گردد (نمودار شماره 5).

و دو توربین آبی کوچک مطابق سناریوهای دو و سه، $940.58Gj + 971.52Gj - 695.7Gj = 1216.4Gj$



ن 5. نسبت تشکیل‌دهنده برق تولیدی و مصرفی روستای نجوهران در یک سال بر حسب نوع منبع تولید.

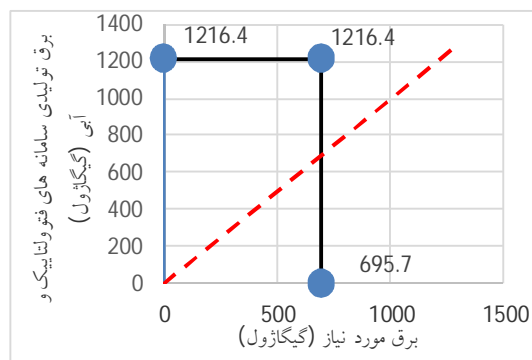
می‌یابد. در سناریوی سوم رد پای اکولوژیکی مصرف برق به صفر رسیده و 1.576 هکتار جهانی در مصرف زمین‌های مولد کشور صرفه‌جویی به ارمغان می‌آید. نتایج مربوط به رد پای زیست‌محیطی هر سه سناریو در نمودار شماره 7 نشان داده شده است.

بنابراین در صورت استفاده از یک نیروگاه خورشیدی و 2 توربین آبی کوچک در کنار یکدیگر، نه تنها ردپای اکولوژیکی مصرف برق روستای نجوهران به صفر می‌رسد بلکه با تزریق برق مازاد بر نیاز به شبکه سراسری، می‌توان در سطح کشور به میزان $10.364 = (6.894 - 9.41 + 9.716)$ هکتار جهانی به ظرفیت زیستی منابع طبیعی و ملی اضافه می‌گردد که توانایی پشتیبانی از سایر فعالیت‌ها را دارا می‌باشد. نتایج ذکر شده در نمودار شماره 8 قابل مشاهده است. این پژوهش نشان می‌دهد توجه به ظرفیت‌های موجود در هر منطقه به‌منظور بهره‌گیری از انرژی‌های تجدیدپذیر تا چه اندازه می‌تواند

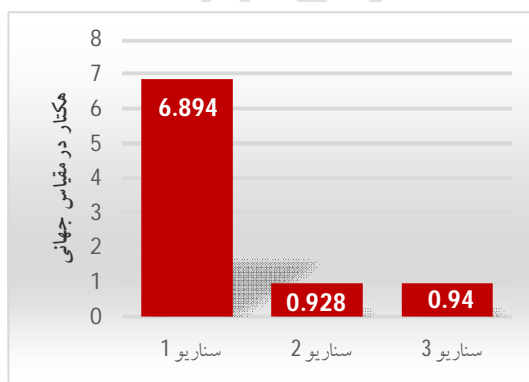
ووس و موسال (2013) عنوان می‌دارند در یک ساختمان [یا مجموعه] در صورتی که میزان استفاده از انرژی شبکه‌ی سراسری با میزان تزریق انرژی تولیدی از طریق سامانه‌های تجدیدپذیر به شبکه در یک بازه زمانی برابر باشد، به آن ساختمان [یا مجموعه]، واژه صفر انرژی متصل به شبکه⁹ اطلاق می‌شود. در نمودار شماره 6 مشاهده می‌گردد در روستای نجوهران مجموع برق تولیدی سامانه‌های تجدیدپذیر در طول یک سال بیشتر از نیاز روستا می‌باشد. در این حالت می‌توان عنوان داشت این مجموعه، مجموعه‌ای انرژی پلاس¹⁰ است.

ردپای اکولوژیکی در سناریوی اول برابر با 6.894 هکتار جهانی است. در سناریوی دوم نه تنها عدد رد پای زیست‌محیطی به صفر می‌رسد، بلکه با تولید و تزریق برق مازاد بر نیاز به شبکه سراسری 1.894 هکتار جهانی رد پای اکولوژیکی در سطح کشور کاهش

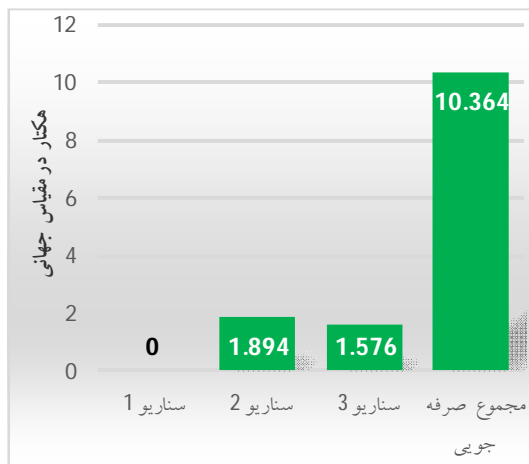
در کاهش ردپای اکولوژیکی و کاهش فشار سکونت انسان بر زیست کره مؤثر باشد.



ن 6. مقایسه میزان برق مورد نیاز روستای نجوبران.



ن 7. ردپای اکولوژیکی تولید برق روستای نجوبران.



ن 8. میزان ذخیره سازی منابع طبیعی در سناریوهای 1، 2، 3 و مجموع.

پی نوشت

1. Ecovillage
2. Ecological Footprint
3. Gha: Global Hectare
4. Gaia Trust
5. Ithaca
6. Findhorn
7. Wackernagel, M. Rees, W. 1994. Our Ecological Footprint. Canada: New Society Publisher
8. Quartech: Canadian Solar Panels
9. Net Zero Energy
10. Energy Plus

فهرست منابع

- سایت سازمان هواشناسی استان کرمانشاه. (1396، خرداد)، بازیابی از <http://www.kermanshahmet.ir>
- سایت اداره کل میراث فرهنگی و صنایع دستی و گردشگری استان کرمانشاه. (1396، اردیبهشت)، از www.kermanshah.ichto.ir
- سایت مرکز آمار ایران. (1396، فروردین)، بازیابی از www.amar.org.ir
- مجرد، فتح نیا و رجایی. (1394)، برآورد تابع خورشیدی دریافتی سطح زمین در استان کرمانشاه. مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، 19، صص 55-69.
- معاونت تحقیقات و منابع انسانی. (1395)، آمار برق روستایی در سال 1394.
- معاونت تحقیقات و منابع انسانی. (1396)، آمار تفصیلی صنعت برق ایران ویژه تولید در سال 1395.
- مهروان، عباس. (1384)، گزارش طرح هادی روستای نجوبران. کرمانشاه: بنیاد مسکن انقلاب اسلامی.
- نقشه آماری. (1385)، (مرکز آمار ایران) بازیابی در اسفند 1395، از: <http://www.roostanet.com>
- Athienitis, A., & Brien, W. O. (2015). Modeling, Design, and Optimization of Net-Zero Energy Buildings. Berlin, Germany: Ernst & Sohn.
- BBC. (2017, June). Retrieved from http://www.bbc.co.uk/schools/gcsebitesize/geography/population/population_change_structure_rev1.shtml.
- Bond, S. (2002). Ecological Footprints: A Guide for Local Authorities. UK: WWF.
- Crocombe, A. (2011). A Lighter Footprint: A Practical Guide To Minimizing Your Impact On The Planet. Victoria, Australia: Scribe Publication.

- Footprint of the Findhorn Foundation and Community. Findhorn: SDRC Publication.
- Voss, K., & Musall, E. (2013). NET ZERO ENERGY BUILDINGS: INTERNATIONAL PROJECTS OF Athienitis, A., & Brien, W. O. (2015). Modeling, Design, and Optimization of Net-Zero Energy Buildings. Berlin, Germany: Ernst & Sohn.
 - BBC. (2017, June). Retrieved from http://www.bbc.co.uk/schools/gcsebitesize/geography/population/population_change_structure_rev1.shtml.
 - Bond, S. (2002). Ecological Footprints: A Guide for Local Authorities .UK: WWF.
 - Crocombe, A. (2011). A Lighter Footprint: A Practical Guide To Minimizing Your Impact On The Planet. Victoria, Australia: Scribe Publication.
 - Eaton, R., Hammond, G., & Laurie, J. (2007). Footprints on the landscape: An environmental appraisal of urban and rural living in the developed world. *Landscape and Urban Planning*, 83, 13-28.
 - Ecovillage at Ithaca Website. (2017, 6). Retrieved from <https://ecovillageithaca.org>.
 - Ecovillage Book Website. (2017, July). Retrieved from <https://ecovillagebook.org>.
 - Ewing, B., Reed, A., Galli, A., Kitzes, J., & Wackernagel, M. (2010). Calculation Methodology for the National Footprint Accounts, 2010 Edition. Oakland: Global Footprint Network.
 - Finhorn Ecovillage Web Site. (2017, May). Retrieved from <https://www.ecovillagefindhorn.com>
 - Footprint Basics. (n.d.). Retrieved January 14, 2017, from Footprint Network: http://www.footprintnetwork.org/en/index.php/GFN/page/footprint_basics_overview/.
 - Garden, M. (2006). The eco-village movement: Divorced from reality. *The International Journal of INCLUSIVE DEMOCRACY*, 2(3).
 - Gillman, R. (1991). The Ecovillage Challenge. Context Institute.
 - Global Footprint Network. (2017, May). Retrieved from <http://www.footprintnetwork.org.faq>.
 - Google Inc. (2017, June). Retrieved from Gooele Earth: kh.google.com.
 - Google Maps. (2017, May). Retrieved from www.google.com/maps.
 - Jackson, H. (1998). What is an Ecovillage. Gaia Trust Education Seminar. Denmark.
 - Landscape Performance. (2017, June). Retrieved from <https://landscapeperformance.org>.
 - Nababan, S., Muljadi, E., & Blaabjerg, F. (2012). An Overview of Power Topologies for Micro-hydro Turbines. 3rd IEEE International Symposium on Power Electronics for Distributed Generation Systems (PEDG). Alburg, Denmark.
 - Paish, O. (2002). Small hydro power: technology and current status. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 6, 537-556. Retrieved March 2017
 - Rayan, B. (2004). Ecological Footprint analysis: An Irish rural study. *Irish Geography*, 235-223.
 - Shin, H. W., & Hashim, H. (2012). Integrated Design of Renewable Energy Decentralized Power Plant Comprising Energy Storage for Off-Grid Eco Village. *Global Journal of Technology and Optimization*, 3. Retrieved from www.pcoglobal.com/gito.htm.
 - The Cohousing Association Of The United States. (2017, May). Retrieved from www.cohousing.org
 - Tinsley, S., & George, H. (2006). Ecological

Turbines. 3rd IEEE International Symposium on Power Electronics for Distributed Generation Systems (PEDG). Alburg, Denmark.

- Paish, O. (2002). Small hydro power: technology and current status. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 6, 537-556. Retrieved March 2017

Rayan, B. (2004). Ecological Footprint analysis: An Irish rural study. *Irish Geography*, 235-223.

- Shin, H. W., & Hashim, H. (2012). Integrated Design of Renewable Energy Decentralized Power Plant Comprising Energy Storage for Off-Grid Eco Village. *Global Journal of Technology and Optimization*, 3. Retrieved from www.pcoglobal.com/gjto.htm.

- The Cohousing Association Of The United States. (2017, May). Retrieved from www.cohousing.org

Tinsley, S., & George, H. (2006). Ecological Footprint of the Findhorn Foundation and Community. Findhorn: SDRC Publication.

- voss, k., & musall, e. (2013). net zero energy buildings: international projects of carbon neutrality in buildings. munich: kösel gmbh & co. kg, altusried-krugzell.

- Wackernagel, M., & Monfreda, C. (2004). Ecological Footprints and Energy. *Encyclopedia of Energy*, 2.

- Wackernagel, M., & Rees, W. (1996). *Our Ecological Footprint*. Canada: New Society Publisher.

- Welcome Home. (2017, June). Retrieved from <http://community-that-works.org>

- Zhu, D., Kung, M., & Zhou, L. (2015). Analysis of Sustainable Energy Systems in Ecovillages: A Review of Progress in BedZED and Masdar City. *Low Carbon Economy*, 6, 1-6. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.4236/lce.2015.61001>.

Archiv