

ارزیابی اقتصادی انرژی بادی با تأکید بر ابزارها و کانال‌های تأمین مالی: مطالعه موردی استان کرمان

۱ مهناز علی بیگی*، ۲ علیرضا شکیبایی

چکیده

امروزه، توجه به انرژی‌های تجدیدپذیر و کاهش استفاده از انرژی‌های سوخت فسیلی در اولویت کشورها قرار گرفته است. ایران و به ویژه استان کرمان از جمله مناطق با ظرفیت بالا برای ایجاد و نصب تجهیزات انرژی خورشیدی و بادی می‌باشد. با این وجود تأمین مالی یکی از چالش‌های اصلی سرمایه‌گذاری در این مناطق به منظور بهره‌گیری از ظرفیت انرژی باد است. در این مطالعه به بررسی تولید برق از انرژی تجدیدپذیر بادی برای مناطق بردسیر و شهر بابک با استفاده از داده‌های سال ۱۳۹۴ پرداخته می‌شود. که در ابتدا میزان تولید هریک از نیروگاه‌های مفروض برآورد می‌شود. با کمک معیارهای اقتصادمهندسی، به ارزیابی اقتصادی پروژه‌ها پرداخته و چند سناریوی تأمین مالی برای این پروژه‌ها براساس هزینه سطح‌بندی مورد نظر صورت می‌گیرد. در ارزیابی اقتصادی، هر دو پروژه بادی اقتصادی بوده، و براساس چهارسناریوی موجود در این پژوهش که شامل یارانه خرید تضمینی، سرمایه‌گذاری، تحقیق و توسعه و نسبت درآمد به مخارج برای کاهش انتشارات می‌باشد، بهترین سناریوی منتخب براساس کاهش هزینه سطح‌بندی مربوط به ابزار مالی تولید یا خرید تضمینی است. برای تعیین مناسب‌ترین کانال‌های تأمین مالی از روش سلسله مراتبی AHP استفاده شده است که براساس آن بهترین کانال‌ها به ترتیب مؤسسات پولی خارجی، فاینانس خارجی، بورس، صندوق توسعه ملی، بانک و صندوق بازنشستگی به دست آمده است.

تاریخ دریافت:

۱۳۹۸/۷/۱۵

تاریخ پذیرش:

۱۳۹۸/۱۱/۲۳

کلمات کلیدی:

ابزارها و کانال‌های
تأمین مالی،
ارزیابی-اقتصادی و فنی،
انرژی تجدیدپذیر بادی

۱. مقدمه

با توجه به اهمیت تولید برق، امروزه کشورهای سراسر دنیا در جستجوی جایگزینی (جایگزین‌هایی) برای تولید برق از انرژی‌های متعارف هستند، که بهترین گزینه برای این امر استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر از جمله انرژی بادی و خورشیدی است. و یکی از بیشترین فناوری‌های تولیدشده برای انرژی‌های تجدیدپذیر در جهان و به ویژه ایران مربوط به انرژی بادی می‌باشد^۱. که از لحاظ بهبود فناوری‌ها و مقیاس‌های کاربردی، برق بادی امروزه سهم بزرگی از تولید برق انرژی‌های تجدیدپذیر، به استثنای نیروگاه‌های برق آبی را به خود اختصاص داده‌است (حسینعلی‌زاده و همکاران، ۲۰۱۷)^۲.

به دلیل مزایای زیاد انرژی باد از جمله: رایگان بودن، عدم آلودگی‌های زیست محیطی، عدم استفاده از سوخت‌های فسیلی، هزینه پایین تولید برق و سازگاری با محیط زیست نسبت به سایر منابع تجدیدپذیر (کیهانی نسب و همکاران، ۱۳۹۶) به دلیل تولید انرژی الکتریکی توربین‌های بادی از انرژی باد به صورت تبدیل انرژی جنبشی باد به انرژی مکانیکی و سپس انرژی الکتریکی می‌باشد (حیدرزاده‌قره‌ورن و همکاران، ۱۳۹۷). و همچنین به علت دو عامل اساسی کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ایی و امنیت عرضه انرژی در آینده، دولت‌های سراسر دنیا به ویژه ایران برای توسعه منابع انرژی تجدیدپذیر به ویژه بادی تحریک می‌شوند، و توسعه تولید برق از انرژی بادی را امری ضروری تلقی می‌کنند. (حسینعلی‌زاده و همکاران، ۲۰۱۷).

علازغم اینکه، در بین انرژی‌های تجدیدپذیر، رشد فناوری‌های انرژی باد در جهان از سال ۱۳۷۹ آغاز شده، و کل ظرفیت بادی نصب‌شده در جهان تا نیمه اول سال ۱۳۹۵ حدود ۱۴/۷ درصد از تقاضای برق جهان را برآورد کرده‌است (فارسی و همکاران، ۱۳۹۶) و به طور کلی میزان رشد آن در سال ۱۳۹۵ به ۱۷/۳ درصد و برای ایران نیز تا سال ۱۳۹۵ به میزان ۱۲/۶ درصد می‌رسد و در سال ۱۳۹۷ به بیش از ۵۱ درصد افزایش یافته‌است (گزارش عملکرد صنعت آب و برق، ۱۳۹۸). در مورد کاربرد انرژی باد

۱. آمار براساس گزارش‌های bp است.

2. Hosseinalzadeh et al.

برای تولید برق در ایران نیز همگام با پیشرفت جهانی از ۱۳۷۳ با نصب ۲ توربین بادی به ظرفیت ۵۰۰ کیلووات در منطقه منجیل آغاز شد و دومین منبع انرژی تجدیدپذیر برای تولید برق در کشور می‌باشد (آمار تفصیلی صنعت برق ایران ویژه مدیریت راهبردی، ۱۳۹۶). همچنین در ایران ظرفیت تولید ۱۰ هزار مگاوات برق از نیروگاه‌های بادی پیش‌بینی شده که در حال حاضر نیروگاه بادی منجیل با ظرفیت ۷۰ مگاوات و نیروگاه بادی بینالود با ظرفیت ۲۸ مگاوات برق تولید می‌کند (زینالی و همکاران، ۱۳۹۵). که با توجه به تحقیقات پژوهشگران در مورد شناخت و بهره‌برداری بیشتر از انرژی باد و موضوعات مختلف آن در سطح دنیا و به ویژه کشور ایران و با توجه به پتانسیل بسیار خوب و ظرفیت بسیار بالای کشور ایران در زمینه انرژی باد در تولید انرژی الکتریکی (رزمجو و همکاران، ۱۳۹۴) و با توجه به توسعه این انرژی تجدیدپذیر، فعالیت‌ها و سیاست‌گذاری‌های مربوط به آن افزایش یافته و یکی از محرک‌های تسهیل سرمایه‌گذاری در زمینه انرژی‌های تجدیدپذیر که در کشورهای توسعه‌یافته نیز مورد قبول قرار گرفته تعرفه‌های تضمینی است. بنابراین، استفاده از تعرفه برای انرژی باد به‌طور خاصی تعیین و سالانه در ایران تعدیل شده است (حسینعلی‌زاده و همکاران، ۲۰۱۷). برای این مهم اتحادیه اروپا و سازمان هواشناسی قراردادهایی برای کاهش ۲۰٪ گازهای گلخانه‌ایی تا سال ۲۰۲۰ و کاهش مقدار ۸۰ تا ۹۵ درصد آن تا سال ۲۰۵۰ را به امضا رسانیده‌اند (رزمجو و همکاران، ۱۳۹۵).

از آنجایی که تقاضا برای برق در ایران و به ویژه در استان کرمان شدیداً در حال افزایش بوده و این افزایش براساس آمار سال ۱۳۹۶ به میزان ۳٪ نسبت به سال قبل آن است (گزارش عملکرد صنعت برق استان کرمان، ۱۳۹۶). درحقیقت، میزان کل مصرف برق در پایان سال ۱۳۹۷ نسبت به سال قبل ۲/۵ درصد افزایش داشته که بیشترین بخش مصرفی آن مربوط به بخش خانگی برابر با ۵/۱ درصد است (گزارش عملکرد صنعت آب و برق، ۱۳۹۸). در نتیجه توسعه و گسترش انرژی تجدیدپذیر به ویژه بادی برای افزایش تولید برق مورد توجه قرار می‌گیرد.

هدف از این مطالعه ارزیابی اقتصادی تولید برق از انرژی باد و مشخص نمودن منابع تأمین مالی می‌باشد که در این مطالعه سعی بر این است به دو سؤال «آیا تولید برق از انرژی بادی در استان کرمان توجیه اقتصادی دارد؟» و همچنین «کدام یک از ابزارها و کانال‌های تأمین مالی در تولید و مصرف برق مؤثر است؟» پاسخ دهد.

این مطالعه از شش بخش تشکیل شده است که بعد از مقدمه به پیشینه پژوهش پرداخته و در بخش سوم تصریح مدل پژوهش را مطرح کرده و در بخش چهارم اطلاعات و داده‌های این پروژه توصیف شده است و در بخش پنجم و ششم به ترتیب نتایج ارزیابی شده و جمع‌بندی و نتیجه‌گیری بیان می‌شود.

۲. پیشینه پژوهش

۲-۱. مطالعات داخلی

در این قسمت از پژوهش، از مطالعات داخلی و خارجی در زمینه ارزیابی اقتصادی انرژی‌های تجدیدپذیر و نیز ابزارها و کانال‌های تأمین مالی بکاررفته برای انرژی‌های تجدیدپذیر استفاده شده است.

محمدی و همکاران (۱۳۹۱) در مطالعه‌ای به نام پتانسیل سنجی باد در استان کرمانشاه، کاهش سریع سوخت‌های سنگواره‌ای، بحث گرمایش جهانی و اثر پدیده‌ی گلخانه‌ای، آلودگی‌های محیطی و ریزش باران‌های اسیدی، لزوم توجه به انرژی‌های تجدیدپذیر، به ویژه انرژی باد را به عنوان یک انرژی پاک، پایان‌ناپذیر و رایگان، بیش از پیش افزایش داده است. نتایج پژوهش بیان می‌کند که سه ایستگاه سرپل ذهاب، روانسر و کنگاور پتانسیل مناسب برای تولید انرژی باد را دارند اما کرمانشاه برای استفاده از انرژی باد پتانسیل مناسبی ندارد.

رزمنجو و همکاران (۱۳۹۴) در مطالعه‌ای به نام ارزیابی آماری داده‌های سرعت و پتانسیل انرژی باد جهت نصب توربین‌های بادی در سواحل خلیج فارس، که یکی از شهرهای استان بوشهر را بررسی می‌کند. برای این منظور داده‌های باد را در بازه زمانی یک ساعته و مربوط به ارتفاع ۱۰ متری برای تولید الکتروسیته با توجه به پارامترهای میانگین باد، واریانس، انحراف معیار و چگالی باد محاسبه می‌کند.

زینالی و همکاران (۱۳۹۵) در مطالعه‌ای با عنوان امکان‌سنجی پتانسیل انرژی بادی در شمال غرب ایران، امکان‌سنجی پتانسیل انرژی بادی در شمال غرب ایران را با استفاده از الگوریتم فازی مورد بررسی قرار داده است. ایستگاه‌های متفاوت را به صورت خوشه‌های یک تا چهار دسته‌بندی کرده و در نتیجه بیان می‌کند که خوشه اول تا سوم برای تولید برق از انرژی بادی مقرون به صرفه می‌باشد.

یوسفی و همکاران (۱۳۹۵) در مطالعه‌ای با نام ارزیابی منابع و پتانسیل سنجی انرژی بادی به منظور تعیین اولویت‌های مکانی احداث نیروگاه‌های بادی در شهرستان دامغان، در جستجوی پارامترهای مهم در مکان‌یابی نیروگاه‌های بادی، نقش و میزان تأثیرگذاری هر یک از عوامل می‌باشد

که با کمک روش فازی نقشه‌های مورد نظر تلفیق شده و با استفاده از روش جی‌ای اس^۱ مناطق مناسب انتخاب شده‌اند. نتایج این مقاله نشان می‌دهد که در مجموع ۲۲۴۰ کیلومتر مربع از شهرستان دامغان جهت احداث نیروگاه‌های بادی مناسب تشخیص داده شد، و میزان انرژی قابل استحصال از مزارع بادی در شهرستان دامغان حدود ۱۰۰۰ مگاوات برآورد شده‌است.

محمدزاده و همکاران (۱۳۹۶) در مطالعه‌ای با عنوان ارزیابی اقتصادی انرژی الکتریسیته از توربین‌های بادی مطالعه موردی توربین‌های بادی عون ابن علی، با استفاده از روش اقتصادسنجی آرما^۲ به پیش‌بینی سرعت باد شهرستان تبریز در طی سال‌های ۱۳۹۳-۱۴۰۹ پرداخته و همچنین میزان انرژی الکتریکی حاصل از توربین بادی را نیز محاسبه کرده است. نتایج حاکی از آن است که تولید برق از توربین‌های بادی دارای صرفه اقتصادی می‌باشد.

کیهانی نسب و همکاران (۱۳۹۶) در مطالعه‌ای با نام ارزیابی پتانسیل توان باد به عنوان منبع تولید برق در شهر پارس آباد مغان، ایران، به دنبال شناخت پتانسیل انرژی باد برای شهر پارس آباد در شمال غربی ایران است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که شهر پارس آباد از نظر پتانسیل تولید انرژی باد در موقعیت متوسط قرار دارد و برای اتصالات غیرشبکه‌ای مناسب است.

فارسی و همکاران (۱۳۹۶) در مطالعه‌ای با نام تعیین ارتفاع بهینه برای نصب یک توربین بادی بر روی ساختمانی در یزد، به دنبال استفاده از توربین بادی در مناطق شهری است که برای این منظور پارامترهای سرعت و اغتشاش در ارتفاعات مختلف بررسی کرده که ارتفاع ۲۲ متری به عنوان ارتفاع مناسب مشخص شده‌است.

حمیدیان پور و همکاران (۱۳۹۷) در مقاله‌ای با عنوان امکان‌سنجی احداث نیروگاه‌های بادی در شمال استان سیستان و بلوچستان از دیدگاه شرایط اقلیمی و محیطی، به دنبال تعیین مکان‌های مناسبی جهت احداث نیروگاه بادی در شمال استان است که برای این منظور از فرایند تحلیل سیستم فازی برای وزن‌دهی به لایه‌ها استفاده می‌کند. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که با نحوه آرایش و

-
1. GIS
 2. ARMA

چیدمان صحیح توربین‌های بادی ۱۰۰ کیلوواتی در این منطقه مورد مطالعه می‌توان نزدیک به ۳۰۷۱۰۶ توربین بادی نصب کرد.

امیدی و همکاران (۱۳۹۷) در مقاله‌ای با عنوان امکان‌سنجی احداث نیروگاه بادی در شهرستان تربت حیدریه جهت توسعه روستایی، با مقایسه سرعت باد در دو منطقه تربت حیدریه و نیشابور به دنبال بررسی امکان احداث نیروگاه بادی در این مناطق می‌باشد. نتایج حاکی از آن است که شهرستان تربت حیدریه به خصوص روستاهای حومه دارای پتانسیل لازم برای احداث نیروگاه بادی می‌باشند.

حیدرزاده قهرون و همکاران (۱۳۹۷) در مقاله‌ای با عنوان بهبود مدل‌سازی توربین بادی داده محور با استفاده از روش مه‌آلودگی داده‌های اندازه‌گیری شده، به دنبال بهبود مدل‌سازی سیستم توربین بادی داده محور می‌باشد که نشان می‌دهد مه‌آلودگی داده‌ها باعث کاهش چشمگیر تأثیر نویز بر روی مدل‌سازی سیستم توربین بادی داده محور می‌شود. از شبکه عصبی مصنوعی برای مدل‌سازی سیستم انتقال قدرت توربین بادی مربوط به نیروگاه بادی در شهر کهک استفاده شده است. و در نتیجه عملکرد بسیار مناسب و دقیق روش مه‌آلود کردن داده‌ها در حذف تأثیر نویز بر مدل‌سازی سیستم را اثبات می‌کند. که شبیه‌سازی‌ها با استفاده از نرم‌افزار متلب انجام شده است.

امیدی و همکاران (۱۳۹۸) در مطالعه‌ای به نام پتانسیل‌سنجی و بررسی خصوصیات و پارامترهای انرژی باد مطالعه موردی شهرستان دهلران، با استفاده از داده‌های باد منطقه دهلران به دنبال پیش‌بینی سرعت‌های مختلف باد و نیز پتانسیل توان باد بوده که از توابع ویبول و رایلی استفاده کرده است. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که میانگین سرعت باد در طی دوره ده ساله دارای نوسان اندکی بوده و بنابراین احداث مزارع بادی در این منطقه علاوه بر افزایش سهم انرژی‌های تجدیدپذیر می‌توان به پایداری و ثبات برق منطقه‌ای در ایام گرم سال کمک کند.

۲-۲. مطالعات خارجی

بوبینت و تارویداس^۱ (۲۰۱۴) در مقاله‌ای با عنوان ابزارها و کانال‌های تأمین مالی برای افزایش تولید و مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر، دو مسئله کانال‌ها و ابزارهای تأمین مالی و تأثیر آن‌ها بر هزینه انرژی را

1. Bobinaite et al.

در برمی‌گیرد. این تجزیه و تحلیل نشان می‌دهد که حمایت دولت در قالب تخفیف‌های مالیاتی، بارانه‌ها و وجوه بین‌المللی از مهم‌ترین کانال‌های بخش انرژی در کشورهای در حال توسعه است. همچنین از نظر اقتصادی کشورهای پیشرفته کانال‌ها و ابزارهای تأمین مالی متنوع‌تری را بکار می‌برند.

حسینعلی‌زاده و همکاران^۱ (۲۰۱۷) در مطالعه‌ای با عنوان تحلیل اقتصادی توربین‌های بادی در بخش انرژی مسکونی در ایران، با آزمون ۸۸ منطقه در کشور، بطور بالقوه‌ای استفاده از انرژی تجدیدپذیر بادی را مفید ارزیابی می‌کند. در نهایت نشان می‌دهد که تعرفه خرید تضمینی یکی از مؤثرترین عوامل برای کاهش هزینه کاربرد توربین‌های بادی می‌باشد.

کروپا و همکاران^۲ (۲۰۱۷) در مطالعه‌ای با عنوان تأمین مالی الکتروسیته انرژی‌های تجدیدپذیر در ایالت آمریکا، به دنبال طیف وسیعی از منابع تأمین مالی انرژی‌های تجدیدپذیر است و از بین منابع موجود معرفی شده تعرفه خرید تضمینی^۳ را بهترین نوع ابزار برای توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر معرفی می‌کند.

آلوهی و همکاران^۴ (۲۰۱۷) در مقاله‌ای با عنوان ارزیابی پتانسیل انرژی باد در مناطق ساحلی مراکش، به دنبال برآورد پارامترهای شکل و مقیاس با استفاده از تابع توزیع ویبول است و همچنین به تجزیه و تحلیل آماری داده‌های باد بر اساس سرعت و جهت باد برای مدت ۵ سال بین سال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۵ پرداخته است. نتایج نشان می‌دهد که دو منطقه داخلا و لایون برای نیروگاه بادی مناسب می‌باشند.

ابرس بروگل و همپل^۵ (۲۰۱۸) در مطالعه‌ای با عنوان تأمین مالی عمومی انرژی‌های تجدیدپذیر در اتریش و سوئیس: پروفایل سرمایه‌گذاران بالقوه، به دنبال بررسی شکاف و تأثیر ویژگی‌های اجتماعی- جمعیت‌شناختی و روان‌شناختی بر تمایل افراد به سرمایه‌گذاری در پروژه‌های انرژی تجدیدپذیر در جامعه است، که به صورت نظرسنجی بین سرمایه‌گذاران دو منطقه مذکور که حدود

-
1. Hosseinalizadeh et al.
 2. Krupa et al.
 3. Feed in Tariff
 4. Allouhi et al.
 5. Broughel and Hampl

۲۲۶۰ نفر پاسخ‌دهنده بوده‌اند، صورت گرفته است. نتایج نشان می‌دهند که بزرگترین گروه سرمایه‌گذاران بالقوه در هر دو کشور علاقه‌مند به سرمایه‌گذاری در انرژی بادی شهری بوده و استقبال بالایی از تأسیسات انرژی بادی در نزدیکی جوامع خود داشته‌اند.

جیانگ و همکاران^۱ (۲۰۱۸) در مقاله‌ای با نام مقایسه روش‌های عددی و الگوریتم‌های بهینه‌سازی فراذهنی برای تخمین پارامترهای ارزیابی پتانسیل انرژی باد در مناطق کم باد، با استفاده از توابع توزیع احتمال ویبول، ریلی، گاما و لانگ نرمال توان "سرعت کم" باد محلی را ارزیابی می‌کند. سپس روش‌های عددی، لحظه‌ای، حداکثر درستی و حداقل مربعات را برای برآورد پارامترها به کار می‌برد. سپس از سه الگوریتم بهینه‌سازی فراذهنی مقایسه‌ای، از جمله بَت^۲، کوکو^۳ و تراکم ذرات^۴ را برای تنظیم پارامترهای بهینه استفاده می‌کند. نتایج نشان می‌دهند که ارزیابی پتانسیل باد در مناطق با سرعت کم باد می‌تواند یک تکنیک اساسی برای سرمایه‌گذاری و توسعه بیشتر حتی برای ساخت و ساز بیشتر مزارع بادی و ارزیابی اقتصاد فراهم کند.

بنداک و همکاران^۵ (۲۰۱۸) در مقاله‌ای با نام ارزیابی مکانی پتانسیل انرژی باد در مقیاس جهانی، یک رویکرد جغرافیایی، با هدف تحلیل جغرافیایی توزیع و شدت منابع باد ساحلی (ارزیابی شده با استفاده از پارامتر چگالی توان باد) در سطح جهانی، قاره‌ای و ملی انجام داده‌است که با استفاده از جدیدترین مفصل‌ترین داده‌های مکانی جهانی در مورد چگالی توان باد، که پس از NREL (آزمایشگاه انرژی تجدیدپذیر ملی) در هفت کلاس بالقوه، عالی (۵۰۰-۶۰۰ W/M^2)، ممتاز (۶۰۰-۸۰۰ W/M^2) و برجسته ($W/M^2 < 800$)، که کلاس‌های EOS مقاله نامیده می‌شوند، طبقه‌بندی شده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که در سطح جهان پنج کانون اصلی از منابع باد فراوان وجود دارد که شامل منطقه مرکزی-شمالی آمریکای شمالی، آمریکای جنوبی، اروپای شمالی/شمال غربی، شمال آسیا و منطقه

-
1. Jiang et al
 2. Bat
 - 3, Cuckoo
 4. Particle swarm.
 5. Bandoc et al.

مرکزی-جنوبی-شرقی قاره آسیا است. این مناطق بیشترین سطح جهانی کلاس‌های EOS را جمع‌آوری می‌کنند.

مازوکاتو و سمینیوک^۱ (۲۰۱۸) در مطالعه‌ای با عنوان تأمین مالی انرژی تجدیدپذیر: چه کسی تأمین مالی می‌کند چه اهمیتی دارد و چرا، با مقایسه رفتار خصوصی و عمومی انواع تأمین مالی آغاز به کار کرده و سپس حدود بیش از ۱۱ حامی تأمین مالی مختلف (یعنی بانک‌های خصوصی، بانک‌های دولتی، و صنایع همگانی) و ۱۱ نوع تکنولوژی انرژی تجدیدپذیر (انواع مختلف تولید برق از انرژی بادی، تابش خورشیدی یا زیست توده) تفکیک می‌کند. در پایان حامیان تأمین مالی دولتی را در پرتفولیوهایی با تکنولوژی‌های پر ریسک‌تر قرار می‌دهد.

در نتیجه با استفاده از مطالعات انجام شده در داخل و خارج در زمینه ارزیابی اقتصادی و بررسی ابزارها و کانال‌های تأمین مالی، این مقاله سازماندهی شده و نوآوری این مقاله به نسبت مقالات پیشین در واقع بررسی تأثیر ابزارها و کانال‌های تأمین مالی بر اقتصادی بودن تولید برق از انرژی بادی در استان کرمان است.

۳. روش شناسی

برای محاسبه تولید برق از توربین بادی در یک ساعت خاص، داده‌های سرعت باد از منبع ساتبا گرفته شده و بعد با پروفایل قانون توان برای بالاترین بلندی تعدیل می‌شود. این اشاره به منحنی توان توربین بادی برای محاسبه تولید برق با شرایط استاندارد دما و فشار دارد.

$$V_{Hub} = V_{Anem} \times \left(\frac{Z_{Hub}}{Z_{Anem}} \right)^{\alpha} \quad (1)$$

که V_{Anem} (m/s) سرعت باد در ارتفاع بادسنج می‌باشد Z_{Hub} (m) و Z_{Anem} (m) ارتفاع بلندی توربین بادی و ارتفاع بادسنج می‌باشند، α نمای قانون توان است. نمای قانون توان یک پارامتر بدون

1 . Mazzucato and Semieniuk

بُعد می‌باشد (محمدی و همکاران، ۱۳۹۱). با توجه به رابطه بین سرعت باد و ارتفاع می‌توان تولید برق از توربین بادی را به صورت زیر برآورد کرد:

$$P = \frac{1}{2} \times \rho \times V^3 \times CP \times A \quad (2)$$

$$cp = \frac{(R.\omega)}{V_{wind}}, \quad A = \pi \left(\frac{D}{2} \right)^2 \quad (3)$$

که؛ P : تولید برق از توربین بادی، ρ : چگالی هوا که برابر با $1/225$ ، V^3 : سرعت وزش باد CP : ضریب توان تولید، A : مساحتی که توربین بادی آن را جاروب می‌کند که از رابطه (۳) به‌دست می‌آیند. R : طول پره‌های توربین بادی $46/5$ متر، ω : سرعت زاویه‌ای توربین بادی برابر با $0/27$ درجه، π : برابر با $3/14$ و D : قطر روتور توربین بادی که برابر با $9/5$ متر می‌باشد (دای و همکاران، ۲۰۱۶)^۱

۳-۱. ارزیابی اقتصادی تولید برق از انرژی بادی

- خالص ارزش فعلی^۲

ارزش همه جریان‌ات نقد مورد انتظار آینده بوده، که در نرخ تنزیل (٪) فعلی امروز کاسته می‌شود و مثبت بودن آن از نظر اقتصادی پروژه را موفقیت‌آمیز، و منفی بودن آن پروژه را ناموفق نشان می‌دهد. که C_n جریان نقد برای سال n و d نرخ تنزیل می‌باشد (اسکونژاد، ۱۳۷۸).

$$NPV = \sum_{n=1}^N \frac{C_n}{(1+d)^n} \quad (4)$$

1. Dai et al
2. NPV OR NPW

- نرخ بازده داخلی^۱

نرخ بازدهی داخلی یا نرخ بازدهی اقتصادی^۲ نرخ تنزیل اسمی است و باعث می‌شود که خالص ارزش فعلی پروژه برابر با صفر شود:

$$NPV = \sum_{n=0}^N \frac{C_n}{(1+IRR)^n} = 0 \quad (5)$$

- نسبت هزینه-منافع^۳

نسبت هزینه-منافع، بیانگر سوددهی نسبی پروژه می‌باشد. به صورت نسبتی از ارزش فعلی درآمد سالانه (درآمد و/یا پس انداز) هزینه‌های سالانه کمتری برای سرمایه پروژه محاسبه می‌شود (عدالتی و همکاران، ۲۰۱۷)^۴.

$$B - C = \frac{\sum_{n=1}^N \frac{B_n}{(1+d)^n}}{\sum_{n=1}^N \frac{C_n}{(1+d)^n}} \quad (6)$$

- دوره بازگشت سرمایه

دوره بازگشت یا دوره بازیافت سرمایه یک روش تقریبی برای مقایسه اقتصادی پروژه‌ها است، که هم می‌توان بدون در نظر گرفتن ارزش زمانی پول و هم با در نظر گرفتن آن این معیار را برآورد کرد، که اگر در روش دوره بازگشت سرمایه ارزش زمانی پول رعایت گردد، یک روش منطقی خواهد بود.

$$n = \frac{P}{cf} \quad (7)$$

-
1. IRR
 2. ERR
 3. B-C
 4. Edalati et al.

n : دوره بازگشت سرمایه، P : سرمایه‌گذاری اولیه، cf : جریانات نقدی در پایان سال زام می‌باشد.

$$\sum_{j=1}^n cf \left(\frac{P}{f}, i\%, j \right) \quad (8)$$

و در صورتی که ارزش زمانی پول در نظر گرفته شود آنگاه جریانات نقدی به صورت رابطه (۸) حاصل می‌شود (پرویزی عمرانی، ۱۳۸۸)

۳-۲. هزینه سطح‌بندی شده ابزارهای تأمین مالی

تقسیم هزینه انرژی^۱ یکی از وسیع‌ترین رویکردهای بکاررفته برای مقایسه تولید انرژی می‌باشد. این براساس اصلی است که با بررسی نرخ تنزیل انتخابی ارزش فعلی هزینه نهایی چرخه زندگی و هر یک واحد تولید توزیع و محاسبه می‌شود. اثر ابزارهای مختلف تأمین مالی بر هزینه انرژی را ترکیب می‌کند. اجرای کلاسیک هزینه سطح‌بندی در رابطه (۹) ارائه شده است.

$$LCOE = \frac{\sum_{t=0}^T \frac{(I_t + O \& M_t + F_t)}{(1+d)^t}}{\sum_{t=0}^T \frac{(C_t \times 8760 \times LF)}{(1+d)^t}} \quad (9)$$

که: I_t : هزینه سرمایه‌گذاری در زمان t ، \$ می‌باشد؛ $O \& M_t$: هزینه عملیات و نگهداری در محدوده زمانی t ، \$، F_t : هزینه سوخت در محدوده زمانی t ، \$؛ C_t : ظرفیت نصب (KW)؛ LF ضریب بار به درصد؛ d : نرخ تنزیل به درصد؛ t : دوره زمانی، به سال. که در اینجا هزینه سوخت با توجه به رابطه (۱۰) با عوامل زیر حاصل می‌شود C_t : ظرفیت نصب، LF_t : ضریب بار و E : کارایی و P_f : قیمت سوخت (کروپا و همکاران، ۲۰۱۷).

۱. بیشتر در زمینه LCOE.

2. Krupa et al.

$$F_t = \frac{LF_t \times C_I \times 8760 \times P_F}{E} \quad (10)$$

از آنجایی که فناوری‌های انرژی تجدیدپذیر فرم‌ها و سطوح حمایتی متنوعی را دریافت می‌کنند، همچنین ابزارهای تأمین مالی متنوعی استفاده می‌شود، بنابراین هزینه سطح‌بندی^۱ این‌ها را در محاسبه قرار می‌دهد (بوینت و تارویداس، ۲۰۱۴)^۲. بنابراین رابطه (۱۱) رویکرد گسترده هزینه سطح‌بندی را ارائه می‌کند:

$$LCOE = \frac{\left(\frac{\sum_{t=0}^T (I_t + O \& M_t + F_t - PTC_t - ITC_t - ATL_t)}{(1+d)^t} - \left(\frac{RV}{(1+d)^T} \right) \right)}{\sum_{t=0}^T \left[\frac{(C_I \times 8760 \times LF \times (1-DR)^t)}{(1+d)^t} \right]} \quad (11)$$

$$ATL_t = (F_t \times EF - ATL_{fi}) ATL_p \quad (12)$$

که؛ PTC_t ^۳: یارانه برای تولید انرژی، ITC_t - \$^۴: یارانه سرمایه‌گذاری، RV - \$^۵: مقدار

ATL_t - \$^۶: یارانه درآمد/هزینه برای کاهش آلودگی، LF - \$^۷: ضریب انتشار CO₂ در t: ATL_p

-
1. LCOE
 2. Bobinaite et al.
 3. Subsidy for energy production
 4. Investment subsidy
 5. Residual value
 6. Income/cost for emission allowances
 7. CO₂ Emission coefficient

۱: قیمت کاهش انتشارات، $t / \$ - ATL_{ft}$: مقدار بدون کاهش انتشارات $DR - \$$: نرخ تنزیل فناوری به درصد برای هر سال (بوینت و همکاران، ۲۰۱۴).^۴

ITC و PTCها سیاست‌های اصلی در ارتباط با مالیات الکتریسیته تجدیدپذیر هستند این معیارها به‌طور وسیعی در بازارهای الکتریسیته ایالت متحده آمریکا بکار می‌روند (کروپا و همکاران، ۲۰۱۷). امروزه، تجربه‌های موفق در مورد کاهش ریسک سرمایه‌گذاری در زمینه انرژی‌های تجدیدپذیر حاصل شده‌است، بنابراین، در کشورهایی که زمینه‌های انرژی‌های تجدیدپذیر و آزمایشگاه‌های تحقیق و توسعه ایجاد می‌شود، مؤسسات تأمین مالی بیشتری مایل به ارائه وام‌های مطلوب برای اجرای پروژه‌های تجدیدپذیر می‌باشند (بوینت و همکاران، ۲۰۱۴).

۳-۳. اولویت بندی کانال‌های تأمین مالی

یکی از مسائل تصمیم‌گیری مدیران، چگونگی انتخاب یک گزینه از میان چندین گزینه موجود است که با توجه به معیارهای انتخابی صورت می‌پذیرد. بدین منظور در دهه ۱۹۷۰ تکنیک تحلیل سلسله مراتبی (AHP)^۵ توسط توماس ال ساعتی^۶ برای حل چنین مسئله‌ای طراحی شده‌است. که شامل ساختن سلسله مراتبی، انجام مقایسات زوجی، محاسبه وزن‌ها و سازگاری سیستم می‌باشد.

شرط سازگاری برابر با $a_{ij} \times a_{jk} = a_{ik} \quad \forall i, j, k$ و همچنین اگر $\lambda_{\max} \leq n$ باشد ماتریس

سازگار و در غیر این صورت ناسازگار می‌باشد. در روش بردار ویژه، ابتدا λ_{\max} حاصل شده و بعد مقدار ناسازگاری با استفاده از معادله (۱۳) بدست آمده و در معادله (۱۴) قرار داده و نرخ ناسازگاری را به دست می‌آوریم (ساعتی، ۲۰۰۸).^۷

-
1. Price of emission allowance
 2. Number of free emission allowances
 3. Degradation rate of technology
 4. Bobinaite et al.
 5. Analytical Hierarchy process
 6. Tomas L. saaty
 7. Saaty

$$I.I = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (13)$$

$$I.R = \frac{I.I}{I.I.R_{n \times n}} \quad (14)$$

جدول ۱. شاخص تصادفی بودن I.I.R

| | | | | | | | | | | | | |
|-------|---|---|------|------|------|------|------|-----|------|------|------|------|
| N | ۱ | ۲ | ۳ | ۴ | ۵ | ۶ | ۷ | ۸ | ۹ | ۱۰ | ۱۱ | ۱۲ |
| I.I.R | ۰ | ۰ | ۰/۵۲ | ۰/۸۸ | ۱/۱۰ | ۱/۲۴ | ۱/۳۴ | ۱/۴ | ۱/۴۴ | ۱/۴۸ | ۱/۵۱ | ۱/۵۳ |

مأخذ: دلبری و داوودی، ۱۳۹۱

در نهایت وزن نهایی با استفاده از رابطه (۱۵) به دست آمده و مشخص می‌شود که کدام کانال از میان گزینه‌های انتخابی بهترین است. در صورتی که $I.R$ کمتر یا مساوی با ۱۰٪ باشد آنگاه ماتریس مقایسات زوجی سازگار است و در غیر این صورت ناسازگار می‌باشد. در صورت سازگاری اعتبار پاسخ‌دهنده‌ها تأیید می‌گردد.

تعیین وزن نهایی و اولویت‌بندی گزینه‌ها با استفاده از:

$$V_H = \sum_{k=1}^n W_k \times G_{ij} \quad (15)$$

که؛ V_H : امتیاز نهایی گزینه H ، W_k : ضریب اهمیت معیار K و G_{ij} : امتیاز گزینه Z در ارتباط با معیار i (دلبری و داوودی، ۱۳۹۱).

۴. برآورد مدل

روش به کار رفته در این مطالعه از نوع توصیفی بوده و داده‌ها از آژانس بین‌المللی انرژی، سازمان هواشناسی، وزارت نیرو، اطلس باد سازمان انرژی‌های نو (سانا) و اطلاعات ماهواره‌ای ناسا برگرفته از

نرم افزار مدیریت انرژی های پاک^۱ به صورت برخط برای استان کرمان از جمله شهر بردسیر و شهر بابک می باشد.

جدول ۲. اطلاعات و خصوصیات فنی توربین های بادی:

| خصوصیات توربین بادی W2E | | | |
|-------------------------|---------------------------|--------|----------------------------|
| مقادیر | عنوان | مقادیر | عنوان |
| ۹۵/۵-۱۰۰ | قطر روتور توربین (متر) | ۲۰۲۰ | هزینه سرمایه گذاری (\$) |
| ۷/۸۵ | منطقه جاروب شده (مترمربع) | ۵۰ | هزینه تعمیر و نگهداری (\$) |
| ۲/۵ | توان بیشینه (مگاوات) | ٪۲۸ | ضریب ظرفیت (/) |
| ۸۵-۱۰۰ | ارتفاع (متر) | ۲۵ | دوره پروژه (سال) |

مأخذ: آژانس بین المللی انرژی و اطلاعات توربین (۲۰۱۸).

۵. نتایج

۵-۱. ارزیابی اقتصادی

با استفاده از نرم افزار مدیریت انرژی های پاک^۲ میزان تولید برق بادی برای مناطق منتخب استان کرمان با کمک رابطه (۱)، (۲) و (۳) به میزان ۱۲۲۸۰۳ مگاوات برآورد شده است. و همچنین با کمک این نرم افزار معیارهای ارزیابی اقتصادی که شامل خالص ارزش فعلی، نرخ بازگشت سرمایه، نسبت منافع به مخارج و دوره بازگشت سرمایه است را با بکارگیری داده های مربوط به هریک، برآورد می کنیم. با استفاده از رابطه (۴) مقدار خالص ارزش فعلی به دست می آید که برای این امر نیازمند جریانات نقدی، نرخ بهره، مدت زمان لازم به معنی طول عمر پروژه می باشیم. از آنجایی که مقدار خالص ارزش فعلی انرژی بادی مقدار مثبت برای هر دو پروژه بادی بردسیر و شهر بابک به ترتیب برابر با ۲۶۸۷۰۳ و ۲۳۸۹۷۵ میلیون دلار برآورد شده است، در نتیجه این مقادیر برآورد شده اقتصادی بودن

1. RetScreen
2. RetScreen

طرح‌ها را نشان می‌دهد و بیان می‌کند که نیروگاه‌های بادی برای استان کرمان دارای صرفه اقتصادی می‌باشند. همچنین مقدار نرخ بازده داخلی با توجه به رابطه (۵) برای بردسیر و شهراباک به ترتیب برابر با ۱۹/۱ و ۱۷ درصد حاصل شده‌است که نسبت به نرخ تنزیل کنونی که برابر با ۱۲٪ بوده این معیارها طرح‌های مورد نظر را اقتصادی برآورد می‌کنند.

جدول ۳. تعیین ارزیابی اقتصادی برای انرژی بادی و سیکل ترکیبی

| انرژی بادی | | |
|-----------------------------------|---------|---------|
| مناطق منتخب | بردسیر | شهراباک |
| نام معیار | مقدار | مقدار |
| ارزش خالص فعلی (m\$) ^۱ | ۷۰۳،۲۶۸ | ۲۳۸،۹۷۵ |
| نرخ بازده داخلی (%) | ۱۹/۱ | ۱۷ |
| نسبت منافع به مخارج | ۹/۹ | ۸/۹ |
| دوره بازگشت سرمایه (سال) | ۶/۸ | ۸/۴ |

مأخذ: نتایج تحقیق

معیار بعدی که می‌توان اقتصادی بودن طرح را بررسی کند نسبت منافع به مخارج است که این معیار با استفاده از منافع و هزینه‌های موجود و همچنین نرخ تنزیل مربوطه، با جایگزینی در رابطه (۶) به دست آید. یک طرح در صورتی می‌تواند از نظر اقتصادی براساس این معیار قابل توجیه باشد که بیشتر یا مساوی یک باشد و نسبت‌های منافع به مخارج محاسبه شده در این پروژه برای بردسیر و شهراباک به ترتیب برابر با ۹/۹ و ۸/۹ است و این معیار نیز پروژه‌های بادی موجود را اقتصادی معرفی می‌کند. در مورد دوره بازگشت سرمایه نیز با توجه به مقادیر محاسبه شده در جدول (۳) می‌توان مشاهده کرد که تمامی طرح‌ها دوره بازگشتی کمتر از طول عمر پروژه (۲۵ سال) داشته و در نتیجه این پروژه‌ها

۱. میلیون دلار

از نظر اقتصادی قابل توجه می‌باشند.^۱ که جدول (۳) تمامی معیارهای برآوردی را برای هر کدام از شهرستان‌ها نمایش می‌دهد.

۵-۲. تأمین مالی

برای تأمین مالی پروژه‌های بادی با استفاده از روش هزینه همتراز شده و توسط رابطه (۹) و با کمک نرم افزار اکسل، ابتدا بدون اعمال هیچ یارانه‌ایی، مقدار هزینه را برآورد کرده و سپس با اضافه کردن تک‌تک یارانه‌ها به هزینه سطح‌بندی و ایجاد سه سناریو برای هر یارانه مقدار هزینه برآورد شده‌است. در این پژوهش به دلیل نوسانات ارزی موجود در ایران و برای ثبات و همچنین به‌دست‌آوردن نتیجه دقیقی برای کار انجام شده از قیمت دلاری استفاده شده است. با توجه به مقادیر تعرفه‌های خرید تضمینی برق که به صورت یارانه تولید بر هزینه اعمال شده و به میزان ۰/۱۴، ۰/۱۶۸ و ۰/۱۹۶ دلار حاصل شده‌است به ترتیب باعث کاهش هزینه‌های سطح‌بندی به صورت مقادیر ستون یارانه تولید در جدول (۴) شده است. ستون دوم، یارانه سرمایه‌گذاری را نشان می‌دهد که به ترتیب درصدهایی برابر با ۱۵، ۲۰ و ۳۰ درصد سرمایه‌گذاری اولیه اعمال می‌شود که باعث کاهش هزینه‌های سطح‌بندی انرژی تجدیدپذیر به میزان برآورد شده در جدول (۴) می‌شود. ستون چهارم نیز اعمال یارانه نسبت منافع به مخارج برای کاهش انتشار آلودگی بر هزینه سطح‌بندی را نشان می‌دهد که این یارانه به صورت ۲۰٪ قیمت اولیه کاهش انتشار آلودگی که به میزان ۰/۰۱ دلار، ۰/۰۱۲ دلار و ۰/۰۱۴ دلار که به ترتیب برای هر سناریو بکاررفته و هزینه را به صورت مقادیر ستون چهارم در جدول (۴) کاهش می‌دهد. درمورد یارانه تحقیق و توسعه که در واقع یارانه‌ایی است که بخشی از هزینه‌های تحقیق و توسعه را در برمی‌گیرد، و در واقع بگونه‌ایی حمایت از تکنولوژی می‌باشد. و به صورت درصدی ۱۵٪، ۲۰٪ و ۲۵٪ سرمایه‌گذاری اولیه محاسبه شده است.

۱. با توجه به اینکه طول عمر پروژه ۲۵ سال است.

جدول ۴. محاسبه هزینه سطح بندی برای انرژی بادی

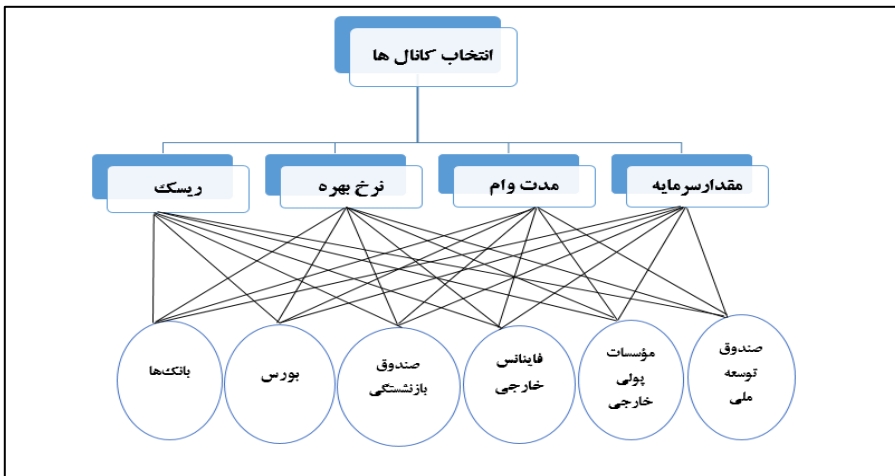
| محاسبه هزینه سطح بندی (LCOE) برای انرژی بادی شهرستان بردسیر و شهر بابک | | | | | |
|--|--------------------------|------------------------|-------------------------------------|--|--------------------------------------|
| سناریوها | بدون اعمال یارانه (دلار) | با اعمال یارانه (دلار) | با اعمال یارانه سرمایه گذاری (دلار) | با اعمال یارانه نسبت منافع به مخارج (دلار) | با اعمال یارانه تحقیق و توسعه (دلار) |
| سناریو ۱ | ۰/۰۸ | ۰/۰۲ | ۰/۰۵۷ | ۰/۰۳ | ۰/۰۳ |
| سناریو ۲ | ۰/۰۸ | -۰/۰۳ | ۰/۰۱۶ | ۰/۰۱۸ | -۰/۰۲ |
| سناریو ۳ | ۰/۰۸ | -۰/۰۹ | -۰/۰۵ | ۰/۰۱۱ | -۰/۰۵۷ |

مأخذ: نتایج تحقیق

۵-۳. محاسبه اولویت بندی کانال های تأمین مالی

بر اساس نظر خبرگان و به دلیل وجود محدودیت های قانونی یا ساختاری در ایران برخی از مهم ترین و امکان پذیرترین معیارهای اقتصادی و کانال های تأمین مالی برای اجرای پژوهش بر اساس شرایط اقتصادی انتخاب شده و با ایجاد درخت سلسله مراتبی مربوط به معیارها و کانال ها مراحل زیر گام به گام انجام می شود:

گام اول: ایجاد درخت سلسله مراتبی



شکل ۳. ساخت سلسله مراتبی (درخت تصمیم)

مأخذ: نتایج تحقیق (با توجه به شکل ۱ ساعتی، ۲۰۰۸) ^۱.

با ملاحظه‌ی معیارها و کانال‌های تعیین‌شده توسط خبرگان می‌توان درخت سلسله مراتبی (درخت تصمیم) را به صورت بالا طراحی کرد:

گام دوم: مقایسات زوجی

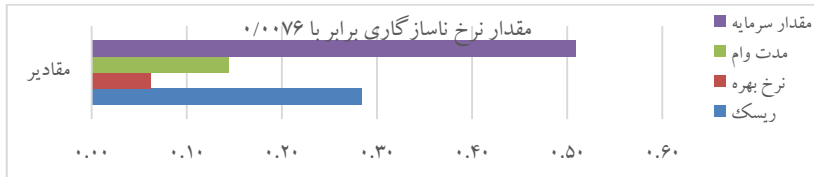
بعد از ایجاد درخت تصمیم، متخصصان و خبرگان به هر یک از گزینه‌ها (کانال‌ها) و معیارها یک امتیاز (از ۱ تا ۹) به منظور مقایسات زوجی می‌دهند و بعد از آن این مقایسات زوجی نرمال‌سازی شده و در نهایت میانگین حسابی هر سطر ماتریس نرمال‌شده مقایسات زوجی (که وزن‌های نسبی نامیده می‌شوند) محاسبه می‌شود، و سرانجام با ضرب وزن‌های نسبی شاخص‌ها در میانگین حسابی گزینه‌ها، گزینه‌ها رتبه‌بندی می‌شوند (پوررمضانی، ۱۳۹۳).

جدول ۵. تعیین ضریب اهمیت کانال‌ها براساس معیارها

| ضریب اهمیت کانال‌ها | اهمیت براساس ریسک | اهمیت براساس نرخ بهره | اهمیت براساس مدت وام | اهمیت براساس مقدار سرمایه |
|------------------------|----------------------|-----------------------------|----------------------------|------------------------------|
| بانک | ۰/۱۲ | ۰/۰۹ | ۰/۱۱ | ۰/۰۶ |
| بورس | ۰/۱۸ | ۰/۲۱ | ۰/۱ | ۰/۲۱ |
| صندوق بازنشستگی | ۰/۰۲ | ۰/۰۴ | ۰/۰۳ | ۰/۰۳ |
| فاینانس خارجی | ۰/۳۱ | ۰/۴ | ۰/۲۴ | ۰/۱۲ |
| صندوق توسعه ملی | ۰/۱۲ | ۰/۰۶ | ۰/۱۱ | ۰/۱۵ |
| مؤسسات پولی خارجی | ۰/۲۵ | ۰/۲۰ | ۰/۴۱ | ۰/۴۳ |
| جمع | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ |

مأخذ: نتایج تحقیق

جدول (۵) تمام کانال‌ها را براساس معیارها به صورت زوج مرتب نشان می‌دهد و ضریب اهمیت (وزن) این کانال‌ها را براساس معیارها برآورد کرده‌است.



شکل ۴. نرخ ناسازگاری ساختار سلسله مراتبی

براساس رابطه (۱۳) و (۱۴) و مقدار λ_{max} حاصل شده بر مبنای ضرایب به دست آمده و ضریب اهمیت معیارهای به دست آمده نرخ ناسازگاری حاصل می شود که برابر با ۰/۰۰۷۶ است و این نرخ نشان دهنده درستی و اعتبار پاسخ دهندگان می باشد که شکل (۴) این حقیقت را به درستی نمایش می دهد.

جدول ۶. ماتریس معیارها براساس هدف

| هدف | ریسک | نرخ بهره | مدت وام | مقدار سرمایه | ضریب اهمیت |
|--------------|-------|----------|---------|--------------|------------|
| ریسک | ۱ | ۴/۹ | ۴/۱۱ | ۰/۳۲۲ | ۰/۲۸۴ |
| نرخ بهره | ۰/۲۰۴ | ۱ | ۰/۲۱۷ | ۰/۲۰۴ | ۰/۰۶۲ |
| مدت وام | ۰/۲۴۳ | ۴/۶ | ۱ | ۰/۲۱۷ | ۰/۱۴۴ |
| مقدار سرمایه | ۳/۱ | ۴/۹ | ۴/۶ | ۱ | ۰/۵۰۹ |
| جمع | ۴/۵۴۷ | ۱۵/۴ | ۹/۹۲۷ | ۱/۷۴۴ | ۱ |

مأخذ: نتایج تحقیق

جدول (۶) نیز براساس ماتریس مقایسات زوجی ایجاد شده برای معیارهای مورد نظر این پژوهش، ضریب اهمیت یا وزن معیارهای موجود را محاسبه می کند. بنابراین براساس دو اصل سازگاری و ضریب اهمیت معیارها و کانال های به دست آمده وزن نهایی کانال ها محاسبه می شود.

گام سوم و چهارم: محاسبه وزن ها و اولویت بندی براساس وزن نهایی

برای اولویت بندی کردن کانال های مربوطه در ابتدا وزن ماتریس های زوجی را به دست آورده و سپس با استفاده از رابطه (۱۵) می توان وزن نهایی را با مجموع ضرب وزن هریک از گزینه ها در معیارها به دست آورد. در نهایت در جدول (۷) بهترین کانال تأمین مالی مؤسسات پولی خارجی مشخص شده است.

جدول ۷. وزن نهایی و اولویت‌بندی گزینه‌ها براساس معیارها.

| اولویت‌ها | وزن نهایی | مقدار سرمایه | مدت وام | نرخ بهره | ریسک | معیارها کانال‌ها |
|-----------|-----------|--------------|---------|----------|------|---------------------|
| ۵ | ۰/۰۹ | ۰/۰۶ | ۰/۱۵ | ۰/۰۹ | ۰/۱۱ | بانک |
| ۳ | ۰/۱۸ | ۰/۲۱ | ۰/۰۷ | ۰/۲۱ | ۰/۱۷ | بورس |
| ۶ | ۰/۰۳ | ۰/۰۳ | ۰/۰۳ | ۰/۰۴ | ۰/۰۲ | صندوق بازنشستگی |
| ۲ | ۰/۲۱ | ۰/۱۲ | ۰/۲۴ | ۰/۴ | ۰/۳۱ | فاینانس خارجی |
| ۴ | ۰/۱۳ | ۰/۱۵ | ۰/۱۱ | ۰/۰۶ | ۰/۱۲ | صندوق توسعه ملی |
| ۱ | ۰/۳۶ | ۰/۴۲ | ۰/۴۱ | ۰/۲۰ | ۰/۲۵ | مؤسسات پولی خارجی |

مأخذ: نتایج تحقیق

بنابراین، جدول (۷) وزن نهایی کانال‌ها را براساس رابطه (۱۵) با کمک ضریب اهمیت هر یک از کانال‌ها و معیارهای محاسبه می‌کند و ترتیب اولویت هرکانال را در این پژوهش مشخص می‌کند.

۶. جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

با رشد تقاضای انرژی، الزاماتی برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ایی، تأمین انرژی پایدار، کمبود انرژی، تخلیه سوخت‌های فسیلی صورت می‌گیرد، به همین دلیل بشر به دنبال روش‌هایی برای توسعه بخش انرژی خود در آینده می‌باشد. همچنین از نظر اقتصادی ضروری است که از پتانسیل-های موجود انرژی تجدیدپذیر استفاده شود. در این مطالعه بعد از محاسبه میزان برق تولیدی برای انرژی بادی، ارزیابی اقتصادی این انرژی برای مناطق منتخب صورت گرفته که با توجه به ارزش-های به دست آمده در جدول (۳) تمامی معیارهای اقتصادمهندسی نامبرده مثبت و از نظر اقتصادی قابل قبول می‌باشند. به منظور انتخاب بهترین ابزار تأمین مالی انرژی‌های تجدیدپذیر بادی برای مناطق منتخب، از روش هزینه‌سطح‌بندی استفاده شده و همچنین سناریوهایی توسط یارانه‌های تولید، سرمایه‌گذاری، نسبت درآمد به هزینه جهت کاهش انتشار آلودگی و تحقیق و توسعه صورت گرفته که نتایج مربوط به هرکدام از این سناریوها در جدول (۴) آورده شده است و به ترتیب برای

هر یک از یارانه‌ها سه سناریوی جداگانه اجرا شده‌است. در نهایت بهترین سناریوی منتخب مربوط به سناریوی یارانه تولید است که باعث کاهش بیشتر این هزینه نسبت به سایر سناریوها می‌شود. و در مورد کانال‌های تأمین مالی نیز با استفاده از روش سلسله مراتبی بهترین کانال مؤسسات پولی خارجی انتخاب می‌شود. از آنجایی که هزینه احداث واحدهای تولید برق از انرژی تجدیدپذیر بگونه‌ای است که وجود برق ارزان تولیدشده از سوخت فسیلی، امکان رقابت را برای توسعه انرژی تجدیدپذیر غیرمنطقی کرده اما تجربه کشورهای توسعه‌یافته در حوزه انرژی‌های نو مانند آلمان و چین با اتخاذ سیاست‌های خرید تضمینی، سرمایه‌گذاری در این حوزه را جذاب کرده‌اند. همچنین می‌توان از محل فروش سوخت‌های صرفه‌جویی شده به دلیل استفاده از انرژی تجدیدپذیر از سرمایه‌گذاری در این حوزه حمایت کرد و با اعمال مالیات بر آلودگی، هزینه تولید برق فسیلی را افزایش دهد.

به دلیل موقعیت مناسب کرمان از جمله مناطق مورد مطالعه به منظور استقرار و نصب توربین‌های بادی برای تولید برق و همچنین به دلیل بالا بودن سرمایه اولیه نصب این نیروگاه‌ها و کوتاه بودن دوره بازگشت سرمایه آن می‌توان برای تولید و توسعه برق بادی سرمایه‌گذاران خارجی را جذب کرده و برق تولیدی را به نقاطی از جهان که دارای فقر تولید برق هستند به خصوص کشورهای همسایه صادر کرد.

منابع

- [۱] معاونت تحقیقات و منابع انسانی دفتر فناوری اطلاعات، ارتباطات و آمار (۱۳۹۶). *آمار تفصیلی صنعت برق ایران ویژه مدیریت راهبردی*، نشر شرکت مادر تخصصی توانیر.
- [۲] اسکونژاد، محمدمهدی (۱۳۷۸). *اقتصادمهندسی یا ارزیابی اقتصادی پروژه‌های صنعتی*، (چاپ یازدهم)، تهران: نشر دانشگاه صنعتی امیرکبیر.
- [۳] امید، احمد؛ علیمردانی، رضا و مجید خانعلی (۱۳۹۸). "پتانسیل‌سنجی و بررسی خصوصیات و پارامترهای انرژی باد مطالعه موردی: شهرستان دهلران". *نشریه ماشین‌های کشاورزی*، جلد ۹، شماره ۱، صص ۱۹۵-۲۰۸.
- [۴] امید، مالک؛ غلام ولوجردی، علی؛ راستی، محمد و احسان تقی‌زاده طوسی (۱۳۹۷). "امکان‌سنجی احداث نیروگاه بادی در شهرستان تربت حیدریه جهت توسعه روستایی". *نشریه راهبردهای توسعه روستایی*، سال پنجم شماره ۲، صص ۲۵۰-۲۳۳.

- [۵] پرویزی عمرانی، مسعود (۱۳۸۸). *ارزیابی اقتصادی نیروگاه سیکل ترکیبی خورشید یزد*. پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه علامه طباطبایی.
- [۶] پوررمضانی، سپیده (۱۳۹۳). "بررسی آسیب پذیری شبکه معابر در زمان تخلیه اضطراری در زلزله- های احتمالی: مطالعه موردی منطقه ثامن مشهد". *مجله جغرافیا و توسعه ناحیه ای*، سال چهاردهم، شماره ۲، پاییز و زمستان ۱۳۹۵، شماره پیاپی ۲۷، صص ۱۰۸-۹۱.
- [۷] حمیدیان پور، محسن؛ خسروی، محمود و عزیزاله گوهرنیا (۱۳۹۷). "امکان سنجی احداث نیروگاه های بادی در شمال استان سیستان و بلوچستان از دیدگاه شرایط اقلیمی و محیطی". *نشریه کاوش های جغرافیایی مناطق بیابانی*، سال ششم شماره ۲، پاییز و زمستان ۱۳۹۷، صص ۲۰-۱.
- [۸] حیدرزاده قره‌ورن، مجتبی و علیرضا یزدی‌زاده (۱۳۹۷). "بهبود مدل سازی توربین بادی داده محور با استفاده از روش مه‌آلودگی داده‌های اندازه‌گیری شده". *نشریه انرژی ایران*، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۷، صص ۲۳-۵.
- [۹] دلبری، سیدعلی و سیدعلیرضا داوودی (۱۳۹۱). "کاربرد تکنیک فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) در رتبه‌بندی شاخص‌های ارزیابی جاذبه‌های توریستی". *مجله تحقیق در عملیات و کاربردهای آن*، سال نهم، شماره دوم (پیاپی ۳۳)، تابستان ۹۱، صص ۵۷-۷۹.
- [۱۰] رزمجو، علی و رضا شیرمحمدی (۱۳۹۵). "ارزیابی آماری داده‌های سرعت و پتانسیل انرژی باد جهت نصب توربین‌های بادی در سواحل خلیج فارس: یک مطالعه موردی". *نشریه انرژی ایران*، دوره ۱۹، شماره ۱، بهار ۱۳۹۵، صص ۱۷۹-۱۶۷.
- [۱۱] زینالی، بتول و علی عظیمی (۱۳۹۵). "امکان سنجی پتانسیل انرژی بادی در شمال غرب ایران با استفاده از الگوریتم فازی". *فصلنامه برنامه‌ریزی منطقه‌ای*، سال ۶، شماره پیاپی ۲۴، شاپای ۶۷۳۵-۲۲۵۱.
- [۱۲] فارسی، سبحان و محمدرضا نظری (۱۳۹۶). "تعیین ارتفاع بهینه برای نصب یک توربین بادی بر روی ساختمانی در شهر یزد". *نشریه انرژی ایران*، دوره ۲۰، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۶، صص ۱۰۱-۱۱۲.
- [۱۳] کیهانی نسب، فروغ؛ مصری گندشمین، ترحم و شیوا زرگر ارشادی (۱۳۹۶). "ارزیابی پتانسیل توان باد به عنوان منبع تولید برق در شهر پارس آباد مغان". *نشریه ماشین‌های کشاورزی*، جلد ۸، شماره ۲، نیمسال دوم ۱۳۹۷، صص ۴۶۱-۴۴۹.
- [۱۴] محمدرزاده، پرویز؛ زارع، کاظم زهرا رسول‌پور فرزین (۱۳۹۶). "ارزیابی اقتصادی انرژی الکتریسیته از توربین‌های بادی مطالعه موردی توربین‌های بادی عون ابن علی". *فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی*، سال دوازدهم، شماره ۴۹، تابستان ۱۳۹۵، صص ۲۰۰-۱۸۱.

- [۱۵] محمدی، حسین؛ رستمی جلیلیان، شیما؛ تقوی، فرحناز و علی اکبر شمسی پور (۱۳۹۱). "پتانسیل انرژی باد در استان کرمانشاه". پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، سال ۴۴، شماره ۲ (پیاپی ۸۰)، صص ۳۲-۱۹.
- [۱۶] گروه آمار و اطلاعات آب و انرژی وزارت نیرو (۱۳۹۸). "گزارش عملکرد صنعت آب و برق"، با همکاری سازمان انرژی‌های تجدیدپذیر و بهره‌وری انرژی برق (ساتبا)، دفتر برنامه و بودجه، شرکت توانیر، دفتر فناوری اطلاعات، ارتباطات و آمار و...، خرداد ماه ۱۳۹۸.
- [۱۷] گروه آمار و اطلاعات شرکت توانیر استان کرمان (۱۳۹۶). گزارش عملکرد صنعت برق استان کرمان، تیرماه ۱۳۹۶.
- [۱۸] یوسفی، حسین؛ موسوی، سید محمد مهدی و یونس نورالهی (۱۳۹۵). "ارزیابی منابع و پتانسیل سنجی انرژی بادی به منظور تعیین اولویت‌های مکانی احداث نیروگاه‌های بادی در شهرستان دامغان". فصلنامه علوم و فنون نقشه برداری، سال ششم شماره ۳، زمستان ۱۳۹۵، صص ۵۰-۳۵.

- [19] Allouhi A., Zamzoum O., Islam M.R., Saidur R., Kousksou T., Jamil A. and A. Derouich (2017). "Evaluation of Wind Energy Potential in Morocco's Coastal Regions". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 72, pp. 311-324.
- [20] Bandoc G., Prävãlie R., Patriche C. and M. Degeratu (2018). "Spatial Assessment of Wind Power Potential at Global Scale". *A Geographical Approach. Journal of Cleaner Production*, doi: 10.1016/j.jclepro.2018.07.288.
- [21] Bobinaite V. and D. Tarvydas (2014). "Financing Instruments and Channels for the Increasing Production and Consumption of Renewable Energy: Lithuanian Case". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 38, pp. 259-276.
- [22] Dai J., Liu D., Wen L. and X. Long (2016). "Research on Power Coefficient of Wind Turbines Based on SCADA Data". *Renewable Energy*, vol. 86, pp. 206-215.
- [23] Ebers Broughel, A., Hampl, N. (2018). Community Financing of Renewable Energy Projects in Austria and Switzerland: Profiles of Potential Investors. *Energy Policy*, vol. 123 722-736.
- [24] Hosseinalizadeh, R., Sadat Rafiei, E., Alavijeh, A. S., & Ghaderi, S. F. (2017). Economic Analysis of Small Wind Turbines in Residential Energy Sector in Iran. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, vol. 20, pp. 58-71.
- [25] International Energy Agency (2019). <https://www.iea.org>

- [26] Jiang H., Wang J., Wu J. and w. Geng (2017). "Comparison of Numerical Methods and Metaheuristic Optimization Algorithms for Estimating Parameters for Wind Energy Potential Assessment in Low Wind Regions". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 69, pp. 1199-1217.
- [27] Krupa J. and L.D. Harvey (2017). "Renewable Electricity Finance in the United States: A state-of-the-art review". *Energy*, vol, 135, pp. 913-929.
- [28] Mazzucato M. and G. Semieniuk (2018). "Financing Renewable Energy: Who is Financing What and Why It Matters". *Technological Forecasting & Social Change*, vol. 127, pp. 8-22.
- [29] Saaty T.L. (2008). "Decision Making With the Analytic Hierarchy Process", *Int. J. Services Sciences*, Vol. 1, No. 1.