نشریه علمی (فصلنامه) «انرژی ایران»
دوره ۲۱، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۷، صفحه ۱۳۴ – ۱۰۹

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

[۱] مهناز علی بیگی*، [۲] علیرضا شکیبایی

تاریخ دریافت:
۱۳۹۸/۷/۱۵

تاریخ پذیرش:
۱۳۹۸/۱۱/۲۳

کلمات کلیدی:
ابزارها و کانال‌های تأمین‌مالی،
ارزیابی–اقتصادی و فنی،
انرژی تجدیدپذیر بادی

چکیده

امروزه، توجه به انرژی‌های تجدیدپذیر و کاهش استفاده از انرژی‌های سوخت فسیلی در اولویت کشورها قرار گرفته‌است. 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 تأمین‌مالی 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 شهربابک با استفاده از داده‌های سال ۱۳۹۴ پرداخته می‌شود. که درابتدا 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 تأمین‌مالی از روش سلسله مراتبی AHP استفاده شده‌است که براساس آن بهترین کانال‌ها به ترتیب مؤسسات پولی خارجی، فاینانس خارجی، بورس، صندوق توسعه ملی، بانک و صندوق بازنشستگی به‌دست آمده‌است.

۱. کارشناس ارشد اقتصاد انرژی (نویسنده مسئول) mahnaz.mahani2020@gmail.com
۲. دانشیار دانشکده اقتصاد و مدیریت دانشگاه شهید باهنر کرمان ashakibaee@yahoo.com

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-05]

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).

علارغم اینکه، در بین انرژی‌های تجدیدپذیر، رشد فناوری‌های انرژی باد در جهان از سال ۱۳۷۹ آغاز شده، وکل 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 طورکلی 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 وبرق، ۱۳۹۸). در مورد کاربرد انرژی باد

۱ . آمار براساس گزارش‌های bp است.

2. Hosseinalizadeh et al.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-05]

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 مـی‌باشـد (آمار تفصیلی صنعت برق ایران ویژه مدیریت راهبردی، ۱۳۹۶). همچنین در ایران ظرفیت تولید ۱۰هزار مگاوات برق از نیروگاه‌های بادی پیش‌بینی شده که درحال حاضـر نیروگـاه بـادی منجیـل بـا ظرفیـت ۷۰مگاوات و نیروگاه بادی بینالود با ظرفیت ۲۸ مگاوات برق تولید می‌کند (زینالی و همکـاران، ۱۳۹۵). که با توجه به تحقیقات پژوهشگران در مورد شناخت و بهره‌برداری بیشـتر از انـرژی بـاد و موضـوعات 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 (رزمجـو و همکـاران، ۱۳۹۴) و بـا توجـه بـه توسعه این انرژی تجدیدپذیر، فعالیت‌ها و سیاست‌گذاری‌هـای مربـوط بـه آن افـزایش‌یافتـه و یکـی از محرک‌های تسهیل سرمایه‌گذاری در زمینه انرژی‌های‌تجدیدپذیر که در کشورهای توسعه‌یافته نیز مورد قبول قرارگرفته تعرفه‌های تضمینی است. بنابراین، استفاده از تعرفه برای انرژی باد به‌طورخاصی تعیین و سالانه در ایران تعدیل شده‌است (حسینعلی‌زاده و همکاران ، ۲۰۱۷). برای این مهـم اتحادیـه اروپـا 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 آنجایی‌که تقاضا برای برق در ایران و به ویژه در استان کرمان شدیداً در حـال افـزایش بـوده 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 قبـل ۲/۵ درصد افزایش داشته که بیشترین بخش مصرفی آن مربوط به بخش خانگی برابـر بـا ۵/۱ درصـد است (گزارش عملکرد صنعت آب و برق، ۱۳۹۸). درنتیجه توسعه وگسترش انرژی تجدیدپذیر بـه ویـژه بادی برای افزایش تولید برق مورد توجه قرار می‌گیرد.

هدف از این مطالعه ارزیابی اقتصادی تولید برق از انرژی باد و مشخص نمودن منابع تـأمین مـالی 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 تأمین‌مالی در تولید و مصرف برق مؤثر است؟» پاسخ دهد.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-05]

این مطالعه از شش بخش تشکیل شده‌است که بعد از مقدمه به پیشینه پـژوهش پرداختـه و در بخـش سوم تصریح مدل پژوهش را مطرح کرده و در بخش چهارم اطلاعات و داده‌های این پـروژه توصـیف شـده-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 وکانال‌های تأمین مالی بکاررفته برای انرژی‌های تجدیدپذیر استفاده شده‌است.

محمدی و همکاران (۱۳۹۱) در مطالعه‌ایی به نام پتانسیل‌سنجی باد در اسـتان کرمانشـاه، کـاهش سریع سوخت‌های سنگواره‌ایی، بحث گرمایش جهانی و اثر پدیده‌ی گلخانه‌ایی، آلودگی‌های محیطـی 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 داده‌است. نتایج پژوهش بیان می‌کند که سه ایسـتگاه سرپل ذهاب، روانسر و کنگاور پتانسیل مناسب برای تولید انرژی باد را دارند اما کرمانشاه برای اسـتفاده از انرژی باد پتانسیل مناسبی ندارد.

رزمجو و همکاران (۱۳۹۴) در مطالعه‌ایی به نام ارزیابی آماری داده‌هـای سـرعت و پتانسـیل 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 الکتریسیته با توجه به پارامترهای میانگین باد، واریانس، انحراف معیار و چگالی باد محاسبه می‌کند.

زینالی و همکاران (۱۳۹۵) در مطالعه‌ایی با عنوان امکان‌سنجی پتانسـیل انـرژی بـادی در شـمال غرب ایران، امکان‌سنجی پتانسیل انرژی بادی در شمال غرب ایران را با استفاده از الگوریتم فازی مورد بررسی قرار داده‌است. ایستگاه‌های متفاوت را به صورت خوشه‌های یک تا چهار دسته‌بنـدی کـرده 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 مطالعه‌ایی با نام ارزیابی منابع و پتانسیل‌سـنجی انـرژی بـادی بـه منظور تعیین اولویـت‌هـای مکـانی احـداث نیروگـاه‌هـای بـادی در شهرسـتان دامغـان، در جسـتجوی پارامترهای مهم در مکان‌یابی نیروگاه‌های بادی، نقش و میزان تأثیرگذاری هر یک از عوامل مـی‌باشـد

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-05]

که با کمک روش فازی نقشه‌های مورد نظر تلفیق شده و با استفاده از روش جی‌ای اس[1] 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 مطالعه‌ایی با عنوان ارزیابی اقتصادی انرژی الکتریسیته از توربین‌های بادی مطالعه موردی توربین‌های بادی عون ابن علی، با استفاده از روش اقتصادسنجی آرما[2] 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 مطالعه‌ایی 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 غیرشبکه‌ایی مناسب است.

فارسی و همکاران (۱۳۹۶) در مطالعه‌ایی 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 مقاله‌ایی 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

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-05]

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

امیدی و همکاران (۱۳۹۷) در مقاله‌ایی 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 قره‌ورن و همکاران (۱۳۹۷) در مقاله‌ایی با عنوان بهبود مدل‌سازی توربین بادی داده محور با استفاده از روش مه‌آلودگی داده‌های اندازه‌گیری‌شده، 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 شده‌است. و درنتیجه 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 شده‌است.

امیدی و همکاران (۱۳۹۸) درمطالعه‌ایی 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 کرده‌است. 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 منطقه‌ایی در ایام گرم سال کمک کند.

۲-۲. مطالعات خارجی

بوبینت و تارویداس[1] (۲۰۱۴) در مقاله‌ایی با عنوان ابزارها و کانال‌های تأمین‌مالی برای افزایش تولید و مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر، دو مسئله کانال‌ها و ابزارهای تأمین‌مالی و تأثیر آن‌ها بر هزینه انرژی را

1. Bobinaite et al.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-05]

در برمی‌گیرد. این تجزیه و تحلیل نشان می‌دهد که حمایت دولت در قالب تخفیف‌های مالیاتی، یارانه‌ها و وجوه بین‌المللی از مهم‌ترین کانال‌های بخش انرژی در کشورهای درحال توسعه است. همچنین ازنظر اقتصادی کشورهای پیشرفته کانال‌ها و ابزارهای تأمین‌مالی متنوع‌تری را بکار می‌برند.

حسینعلی‌زاده و همکاران[1] (۲۰۱۷) در مطالعه‌ایی با عنوان تحلیل اقتصادی توربین‌های بادی در بخش انرژی مسکونی در ایران، با آزمون ۸۸ منطقه در کشور، بطوربالقوه‌ایی استفاده از انرژی تجدیدپذیر بادی را مفید ارزیابی می‌کند. درنهایت نشان می‌دهد که تعرفه خرید تضمینی یکی از مؤثرترین عوامل برای کاهش هزینه کاربرد توربین‌های بادی می‌باشد.

کروپا و همکاران[2] (۲۰۱۷) در مطالعه‌ایی با عنوان تأمین مالی الکتریسیته انرژی‌های تجدیدپذیر در ایالت آمریکا، به دنبال طیف وسیعی از منابع تأمین‌مالی انرژی‌های تجدیدپذیر است و از بین منابع موجود معرفی شده تعرفه خرید تضمینی[3]را بهترین نوع ابزار برای توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر معرفی می‌کند.

آلوهی و همکاران[4] (۲۰۱۷) در مقاله‌ایی 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[5] (۲۰۱۸) در مطالعه‌ایی با عنوان تأمین‌مالی عمومی انرژی‌های تجدیدپذیر در اتریش و سویس: پروفایل سرمایه‌گذاران بالقوه، به دنبال بررسی شکاف و تأثیر ویژگی‌های اجتماعی- جمعیت شناختی و روان‌شناختی بر تمایل افراد به سرمایه گذاری 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

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-05]

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[1] (۲۰۱۸) در مقاله‌ایی 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، لحظه‌ایی، حداکثر درستنمایی و حداقل مربعات را برای برآورد پارامترها به‌کار می‌برد. سپس از سه الگوریتم بهینه‌سازی فراذهنی مقایسه‌ایی، ازجمله بَت[2]، کوکو[3] و تراکم ذرات[4] 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[5] (۲۰۱۸) در مقاله‌ایی با نام ارزیابی مکانی پتانسیل انرژی باد در مقیاس جهانی، یک رویکرد جغرافیایی، با هدف تحلیل جغرافیایی توزیع و شدت منابع باد ساحلی (ارزیابی‌شده با استفاده از پارامتر چگالی توان باد) در سطح جهانی، قاره‌ای و ملی انجام داده‌است که با استفاده از جدیدترین و 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 (>۸۰۰ W/M^2) ، 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.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-05]

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

مازوکاتو وسمینیوک[1] (۲۰۱۸) در مطالعه‌ایی با عنوان تأمین‌مالی انرژی تجدیدپذیر: چه کسی تأمین‌مالی می‌کند چه اهمیتی دارد و چرا، با مقایسه رفتار خصوصی و عمومی انواع تأمین‌مالی آغاز به کار کرده و سپس حدود بیش از ۱۱ حامی تأمین‌مالی 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 تأمین‌مالی دولتی را در پرتفولیوهایی با تکنولوژی‌های پر ریسک‌تر قرار می‌دهد.

درنتیجه با استفاده از مطالعات انجام شده در داخل و خارج در زمینه ارزیابی اقتصادی و بررسی ابزارها وکانال‌های تأمین مالی، این مقاله سازماندهی شده و نوآوری این مقاله به نسبت مقالات پیشین درواقع 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.

$$V_{Hub} = V_{Anem} \times \left(\frac{Z_{Hub}}{Z_{Anem}} \right)^{\alpha} \qquad (۱)$$

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

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-05]

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:

$$p = \frac{1}{2} \times \rho \times V^3 \times CP \times A \qquad (۲)$$

$$cp = \frac{(R.\omega)}{V_{wind}}, \quad A = \pi\left(\frac{D}{2}\right)^2 \qquad (۳)$$

که؛ p : تولید برق از توربین بادی، ρ : چگالی هوا که برابر با ۱/۲۲۵، 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 ۴۶/۵ متر، ω : سرعت زاویه‌ایی توربین بادی برابر با ۰/۲۷ درجه، π: برابر با ۳/۱۴ و D: قطر روتور توربین بادی که برابر با ۹۵/۵ متر می‌باشد (دای و همکاران، ۲۰۱۶)[1]

۳-۱. ارزیابی اقتصادی تولید برق از انرژی بادی

ـ خالص ارزش فعلی[2]

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).

$$NPV = \sum_{n=1}^{N} \frac{C_n}{(1+d)^n} \qquad (۴)$$

1 . Dai et al
2. NPV OR NPW

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-05]

ـ نرخ بازده داخلی[1]

نرخ بازدهی داخلی یا نرخ بازدهی اقتصادی[2] نرخ تنزیل اسمی است و باعث می‌شودکه خالص ارزش فعلی پروژه برابر با صفر شود:

$$NPV = \sum_{n=0}^{N} \frac{C_n}{(1+IRR)^n} = 0 \qquad (۵)$$

ـ نسبت هزینه–منافع[3]

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)[4].

$$B-C = \frac{\sum_{n=1}^{N} \frac{B_n}{(1+d)^n}}{\sum_{n=1}^{N} \frac{C_n}{(1+d)^n}} \qquad (۶)$$

ـ دوره بازگشت سرمایه

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

$$n = \frac{p}{cf} \qquad (۷)$$

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

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-05]

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

$$\sum_{j=1}^{n} cf\left(\frac{p}{f}, i\%, j\right) \qquad (۸)$$

و درصورتی که ارزش زمانی پول درنظرگرفته شود آنگاه جریانات نقدی به صورت رابطه (۸) حاصل می‌شود (پرویزی عمرانی، ۱۳۸۸)

۳-۲. هزینه سطح‌بندی‌شده ابزارهای تأمین‌مالی

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.

$$LCOE = \frac{\sum_{t=0}^{T} \frac{(I_t + O\&M_t + F_t)}{(1+d)^t}}{\sum_{t=0}^{T} \frac{(C_I \times 8760 \times LF)}{(1+d)^t}} \qquad (۹)$$

که؛ I_t : هزینه سرمایه گذاری در زمان t , $ می‌باشد؛ $O\&M_t$: هزینه عملیات و نگهداری درمحدوده زمانی t ,$ ، F_t : هزینه سوخت درمحدوده زمانی t ,$ ؛ C_I: 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_I: ظرفیت نصب، LF_t: ضریب بار و E:کارایی و P_F: قیمت سوخت (کروپا و همکاران، ۲۰۱۷)[۲].

۱. بیشتر در زمینه LCOE.

2. Krupa et al.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-05]

$$F_t = \frac{LF_t \times C_I \times 8760 \times P_F}{E} \qquad (۱۰)$$

از آنجایی که فناوری‌های انرژی تجدیدپذیر فرم‌ها و سطوح حمایتی متنوعی را دریافت می‌کنند، همچنین ابزارهای تأمین‌مالی متنوعی استفاده می‌شود، بنابراین هزینه سطح‌بندی[1] این‌ها را در محاسبه قرار می‌دهد (بوبینت و تارویداس،۲۰۱۴)[2]. بنابراین رابطه (۱۱) رویکرد گسترده هزینه سطح‌بندی را ارائه می‌کند:

$$LCOE = \frac{\left(\sum_{t=0}^{T} \frac{\left(I_t + O\&M_t + F_t - PTC_t - ITC_t - ATL_t\right)}{\left(1+d\right)^t} - \left(\frac{RV}{\left(1+d\right)^t} \right) \right)}{\sum_{t=0}^{T} \left[\frac{\left(C_I \times 8760 \times LF \times \left(1-DR\right)^t\right)}{\left(1+d\right)^t} \right]} \qquad (۱۱)$$

$$ATL_t = \left(F_t \times EF - ATL_{ft}\right) ATL_P \qquad (۱۲)$$

که؛ PTC_t [3]: یارانه برای تولید انرژی، $ – ITC_t [4]: یارانه سرمایه‌گذاری، $ – RV [5]: مقدار $ – ATL_t [6]: یارانه درآمد/هزینه برای کاهش آلودگی، $ – LF [7]: ضریب انتشار CO_2 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. CO_2 Emission coefficient

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-05]

[۱]: قیمت کاهش انتشارات، $ / t- $ [۲] ATL_{ft}: مقدار بدون کاهش انتشارات$- DR [۳]: نرخ تنزیل فناوری به درصد برای هر سال (بوبینت وهمکاران، 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 موفقی درمورد کاهش ریسک سرمایه‌گذاری در زمینه انرژی‌های تجدیدپذیر حاصل شده‌است، بنابراین، در کشورهایی که زمینه‌های انرژی‌های تجدیدپذیر و آزمایشگاه‌های تحقیق و توسعه ایجاد می‌شود، مؤسسات تأمین‌مالی بیشتری مایل به ارائه وام‌های مطلوب برای اجرای پروژه‌های تجدیدپذیر می‌باشند (بوبینت وهمکاران، ۲۰۱۴).

۳-۳. اولویت‌بندی کانال‌های تأمین‌مالی

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 مسئله‌ایی طراحی شده‌است. که شامل ساختن سلسله مراتبی، انجام مقایسات زوجی، محاسبه وزن‌ها و سازگاری سیستم می‌باشد.

شرط سازگاری برابر با $\forall i.j.k \quad a_{ij} \times a_{jk} = a_{ik}$ و همچنین اگر $\lambda_{\max} \le n$ باشد ماتریس سازگار و در غیر این‌صورت ناسازگار می‌باشد. در روش بردار ویژه، ابتدا $\lambda_{\max}$ حاصل‌شده و بعد مقدار ناسازگاری با استفاده از معادله (۱۳) بدست‌آمده و در معادله (۱۴) قرار داده و نرخ ناسازگاری را به‌دست 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

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-05]

$$I.I = \frac{\lambda_{\max} - n}{n-1} \quad (۱۳)$$

$$I.R = \frac{I.I}{I.I.R_{n\times n}} \quad (۱۴)$$

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 وداوودی، ۱۳۹۱

در نهایت وزن نهایی با استفاده از رابطه (۱۵) به‌دست آمده و مشخص می‌شودکه 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 درغیر این صورت ناسازگار می‌باشد. درصورت سازگاری اعتبار پاسخ‌دهنده‌ها تأیید می‌گردد.

تعیین وزن نهایی و اولویت‌بندی گزینه‌ها با استفاده از:

$$V_H = \sum_{k=1}^{n} W_k \times G_{ij} \quad (۱۵)$$

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

۴. برآورد مدل

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

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-05]

نرم‌افزار مدیریت انرژی‌های پاک[1] به صورت برخط برای استان کرمان ازجمله شهر بردسیر و شهربابک می‌باشد.

جدول ۲. اطلاعات و خصوصیات فنی توربین‌های بادی:

خصوصیات توربین بادیW2E			
عنوان	مقادیر	عنوان	مقادیر
هزینه سرمایه‌گذاری ($)	۲۰۲۰	قطر روتور توربین(متر)	۹۵/۵-۱۰۰
هزینه تعمیر و نگهداری ($)	۵۰	منطقه جاروب‌شده (مترمربع)	۷/۸۵
ضریب ظرفیت (٪)	٪۲۸	توان بیشینه (مگاوات)	۲/۵
دوره پروژه (سال)	۲۵	ارتفاع (متر)	۸۵-۱۰۰

مأخذ: آژانس بین‌المللی انرژی و اطلاعات توربین (۲۰۱۸).

۵. نتایج

۵-۱. ارزیابی اقتصادی

با استفاده از نرم افزار مدیریت انرژی‌های پاک[2] میزان تولید برق بادی برای مناطق منتخب استان کرمان با کمک رابطه (۱)، (۲) و (۳) به میزان ۱۲۲۸۰۳ مگاوات برآورد شده‌است. و همچنین با کمک این نرم افزار معیارهای ارزیابی اقتصادی‌که شامل خالص ارزش فعلی، نرخ بازگشت سرمایه، نسبت منافع به مخارج و دوره بازگشت سرمایه است را با بکارگیری داده‌های مربوط به هریک، برآورد می‌کنیم. با استفاده از رابطه (۴) مقدار خالص ارزش فعلی به‌دست می‌آید که برای این امر نیازمند جریانات نقدی، نرخ بهره، مدت زمان لازم به معنی طول عمر پروژه می‌باشیم. از آنجایی‌که مقدار خالص ارزش فعلی انرژی بادی مقدار مثبت برای هر دو پروژه بادی بردسیر و شهربابک به ترتیب برابر با ۲۶۸۷۰۳ و ۲۳۸۹۷۵ میلیون دلار برآورد شده‌است، درنتیجه این مقادیر برآوردشده اقتصادی بودن

1. RetScreen
2. RetScreen

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-05]

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

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

انرژی بادی		
مناطق منتخب	بردسیر	شهربابک
نام معیار	مقدار	مقدار
ارزش خالص فعلی (m$)[1]	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 کـه ایـن معیار با استفاده از منافع و هزینه‌های موجود و همچنین نرخ تنزیل مربوطه، با جـایگزینی در رابطـه (۶) به‌دست آید. یک طرح در صورتی می‌تواند از نظر اقتصادی براساس این معیـار قابـل توجیـه باشـد کـه بیشتر یا مساوی یک باشد و نسبت‌های منافع به مخارج محاسبه شده در ایـن پـروژه بـرای بردسـیر و شهربابک به ترتیب برابر با ۹/۹ و ۸/۹ است و این معیار نیز پروژه‌های بادی موجود را اقتصادی معرفـی می‌کند. در مورد دوره بازگشت سرمایه نیز با توجه به مقادیر محاسبه‌شده در جدول (۳) می‌توان مشاهده کرد که تمامی طرح‌ها دوره بازگشتی کمتر از طول عمر پروژه (۲۵ سال) داشته و درنتیجه این پروژه‌هـا

۱. میلیون دلار

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-05]

از نظر اقتصادی قابل توجیه می‌باشند.[۱] که جدول (۳) تمامی معیارهای برآوردی را برای هرکدام از شهرستان‌ها نمایش می‌دهد.

۵-۲. تأمین‌مالی

برای تأمین‌مالی 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 برآوردکرده 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، ۰/۱۶۸و ۰/۱۹۶دلار 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 برآوردشده در جدول (۴) می‌شود. ستون چهارم نیز اعمال یارانه نسبت منافع به مخارج برای کاهش انتشارآلودگی بر هزینه سطح‌بندی را نشان می‌دهد که این یارانه به صورت ۲۰٪ قیمت اولیه کاهش انتشار آلودگی که به میزان ۰/۰۱دلار، ۰/۰۱۲دلار 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 درواقع یارانه‌ایی است که بخشی از هزینه‌های تحقیق و توسعه را دربرمی‌گیرد، و درواقع بگونه‌ایی حمایت از تکنولوژی می‌باشد. و به صورت درصدهای ۱۵٪، ۲۰٪ و ۲۵٪ سرمایه‌گذاری اولیه محاسبه شده است.

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

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-05]

جدول ۴. محاسبه هزینه سطح‌بندی برای انرژی بادی

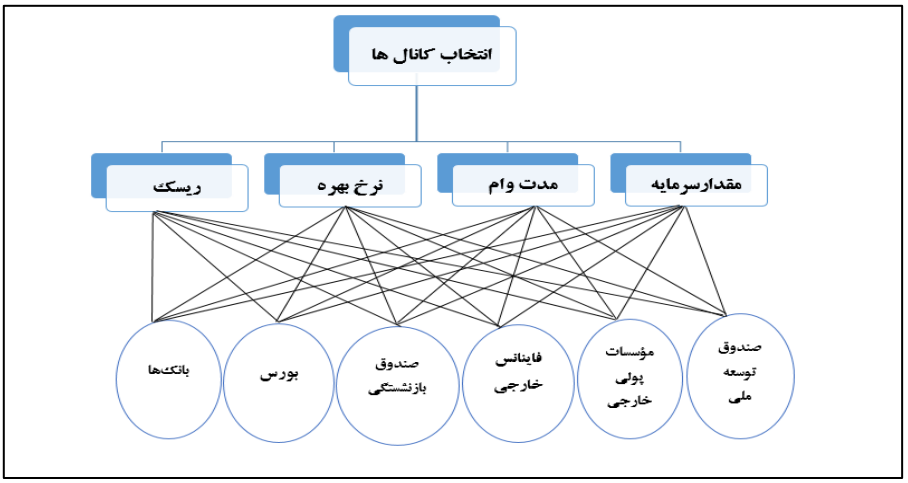
محاسبه هزینه سطح‌بندی (LCOE) برای انرژی بادی شهرستان بردسیر و شهربابک					
یارانه‌ها / سناریوها	بدون اعمال یارانه(دلار)	با اعمال یارانه تولید (دلار)	با اعمال یارانه سرمایه‌گذاری (دلار)	با اعمال یارانه نسبت منافع به مخارج (دلار)	با اعمال یارانه تحقیق و توسعه(دلار)
سناریو ۱	۰/۰۸	۰/۰۲	۰/۰۵۷	۰/۰۳	۰/۰۳
سناریو 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 اولویت‌بندی کانال‌های تأمین‌مالی

براساس نظر خبرگان و به دلیل وجود محدودیت‌های قانونی یا ساختاری در ایران برخی از مهم‌ترین و امکان‌پذیرترین معیارهای اقتصادی وکانال‌های تأمین‌مالی برای اجرای پژوهش براساس شرایط اقتصادی انتخاب شده و با ایجاد درخت سلسله مراتبی مربوط به معیارها و کانال‌ها مراحل زیر گام به گام انجام می‌شود:

گام اول: ایجاد درخت سلسله مراتبی



شکل ۳. ساخت سلسله مراتبی (درخت تصمیم)

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-05]

مأخذ: نتایج تحقیق (با توجه به شکل ۱ ساعتی، ۲۰۰۸)[1].

با ملاحظه‌ی معیارها وکانال‌های 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 ۱تا ۹) به منظور مقایسات زوجی می‌دهند و بعد از آن این مقایسات زوجی نرمال‌سازی شده و درنهایت 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

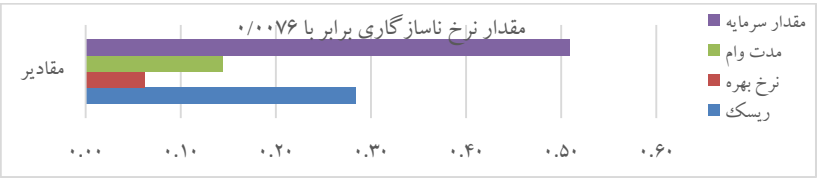
ضریب اهمیت / کانال‌ها	اهمیت براساس ریسک	اهمیت براساس نرخ بهره	اهمیت براساس مدت وام	اهمیت براساس مقدار سرمایه
بانک	۰/۱۲	۰/۰۹	۰/۱۱	۰/۰۶
بورس	۰/۱۸	۰/۲۱	۰/۱	۰/۲۱
صندوق بازنشستگی	۰/۰۲	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۳
فاینانس خارجی	۰/۳۱	۰/۴	۰/۲۴	۰/۱۲
صندوق توسعه ملی	۰/۱۲	۰/۰۶	۰/۱۱	۰/۱۵
مؤسسات پولی‌خارجی	۰/۲۵	۰/۲۰	۰/۴۱	۰/۴۳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

1. Saaty

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-05]



شکل ۴. نرخ ناسازگاری ساختار سلسله مراتبی

براساس رابطه (۱۳) و (۱۴) و مقدار λ_{max} حاصل شده برمبنای ضرایب به‌دست آمده وضـریب اهمیـت معیارهای به‌دست آمده نرخ ناسازگاری حاصل می‌شود که برابر با ۰/۰۰۷۶ است و این نرخ نشان‌دهنـده درستی و اعتبار پاسخ‌دهندگان می‌باشد که شکل(۴) این حقیقت را به درستی نمایش می‌دهد.

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
مقدارسرمایه	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 موردنظر این پـژوهش، ضریب اهمیت یا وزن معیارهای موجود را محاسبه می‌کند. بنابراین براساس دو اصل سازگاری و ضریب اهمیت معیارها و کانال‌های به‌دست آمده وزن نهایی کانال‌ها محاسبه می‌شود.

گام‌سوم و چهارم: محاسبه وزن‌ها و اولویت‌بندی براساس وزن نهایی

برای اولویت‌بندی کردن کانال‌های مربوطه در ابتدا وزن ماتریس‌های زوجی را به‌دست آورده و سپس بـا استفاده از رابطه (۱۵) می‌توان وزن نهایی را با مجموع ضرب وزن هریک از گزینه‌ها در معیارها به‌دسـت آورد. درنهایت در جدول (۷) بهترین کانال تأمین‌مالی مؤسسات پولی خارجی مشخص شده‌است.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-05]

جدول ۷. وزن نهایی و اولویت‌بندی گزینه‌ها براساس معیارها.

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

مأخذ: نتایج تحقیق

بنابراین، جدول(۷) وزن نهایی کانال‌ها را براساس رابطه (۱۵) با کمک ضریب اهمیت هـر یـک 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 روش‌هـایی بـرای توسعه بخش انرژی خود در آینده می‌باشد. همچنین ازنظر 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 به‌دست آمده در جدول (۳) تمامی معیارهای اقتصادمهندسی نامبرده مثبت و ازنظر اقتصادی قابل قبول می‌باشند. به منظور انتخاب بهترین ابزار تأمین‌مالی انرژی‌های تجدیدپذیر بادی بـرای مناطق منتخب، از روش هزینه‌سطح‌بندی استفاده شده و همچنین سناریوهایی توسط یارانـه‌هـای 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 شده‌است و به ترتیب برای

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-05]

هر یک از یارانه‌ها سه سناریوی جداگانه اجرا شده‌است. درنهایت بهترین سناریوی منتخب مربوط به سناریوی یارانه تولید است که باعث کاهش بیشتر این هزینه نسبت به سایر سناریوها می‌شود. و در مورد کانال‌های تأمین‌مالی نیز با استفاده از روش سلسله مراتبی بهترین کانال مؤسسات پولی خارجی انتخاب می‌شود. از آنجایی‌که 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 صرفه‌جویی‌شده 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 ازجمله 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] امیدی، 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، صص۱۹۵-۲۰۸.

[۴] امیدی، 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.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-05]

[۵] پرویزی عمرانی، مسعود (۱۳۸۸). *ارزیابی اقتصادی نیروگاه سیکل‌ترکیبی خورشید یزد*. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد دانشگاه علّامه طباطبایی.

[۶] پوررمضانی، سپیده (۱۳۹۳). "بررسی آسیب‌پذیری شبکه معابر در زمان تخلیه اضطراری در زلزله-های احتمالی: مطالعه موردی منطقه ثامن مشهد". *مجله جغرافیا و توسعه ناحیه‌ایی*، سال چهاردهم، شمارهٔ ۲، پاییز و زمستان ۱۳۹۵ ، شمارهٔ پیاپی ۲۷. صص۱۰۸-۹۱.

[۷] حمیدیان پور، محسن؛ خسروی، محمود و عزیزاله گوهرنیا (۱۳۹۷). "امکان سنجی احداث نیروگاه‌های بادی در شمال استان سیستان و بلوچستان از دیدگاه شرایط اقلیمی و محیطی". *نشریه کاوش‌های جغرافیایی مناطق بیابانی*، سال ششم شماره ۲، پاییز و زمستان ۱۳۹۷، صص۲۰-۱.

[۸] حیدرزاده قره‌ورن، مجتبی و علیرضا یزدی‌زاده (۱۳۹۷). "بهبود مدل‌سازی 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، شمارهٔ 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، صص۱۰۱-۱۱۲.

[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] محمدزاده، 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.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-05]

[۱۵] محمدی، حسین؛ رستمی جلیلیان، شیما؛ تقوی، فرحناز و علی‌اکبر شمسی‌پور (۱۳۹۱). "پتانسیل انرژی باد در استان کرمانشاه". *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، سال ۴۴، شماره ۲ (پیاپی ۸۰)، صص۳۲-۱۹.

[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، دفترفناوری 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 پتانسیل‌سنجی 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، صص۵۰-۳۵.

[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., Prăvălie 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

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-05]

[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.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-05]