ارائه یک مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره جهت تعیین مناسب‌ترین راهبرد انتقال فناوری توربین‌های بادی: مطالعه موردی از صنعت انرژی باد در ایران

■ **عباس دین‌محمدی** *+
دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه خوارزمی
■ **سید مهدی سادات رسول** [1]
عضو هیات علمی دانشگاه خوارزمی
■ **رضا یوسفی زنوز** [2]
عضو هیات علمی دانشگاه خوارزمی

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۶/۱۴ و تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۷/۱۷

چکیده

سرعت بالای پیشرفت فناوری و اهمیت اکتساب فناوری‌های نوین باعث گردیده تا کشورهای در حال توسعه و توسعه‌نیافته برای برطرف کردن ضعف خود و کسب مزیت‌های رقابتی به دنبال انتقال فناوری از کشورهای صاحب آن باشند. در این زمینه، رویکرد کشورهای توسعه‌یافته که تمایل به حفظ و یا انتقال فناوری به کشورهایی که دارای منافع سیاسی- اقتصادی مشابهی هستند، سبب شده است تا انتقال فناوری و روش‌های موثر آن به یکی از موضوعات مهم دهه اخیر تبدیل گردد. برای کسب و انتقال فناوری‌های گوناگون از کشورهای توسعه‌یافته به کشورهای مقصد راهکارهای متفاوتی می‌تواند مدنظر قرار گیرد. تصمیم‌گیری در مورد انتخاب موثرترین روش انتقال فناوری عموما براساس معیارهای متفاوت(و گاهی متناقض) و همچنین زیرمعیارهای فراوان صورت می‌گیرد. در این تحقیق، با توجه به سطوح فناوری ساخت توربین‌های بادی در ایران و همچنین رویکرد کشورهای دیگر نسبت به آن، روش‌های مرسوم انتقال فناوری براساس نظرات نخبگان و شرکت‌های سازنده قطعات توربین‌های بادی تعیین گردیده است. سپس با استفاده از روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی(AHP) اهمیت نسبی معیارها، زیرمعیارها و گزینه‌های انتقال فناوری مشخص گردیده و در نهایت مهندسی معکوس به عنوان برترین گزینه برای پیاده‌سازی در صنعت انرژی باد ایران انتخاب می‌شود. نتایج این مطالعه می‌تواند مورد استفاده تصمیم‌گیرندگان انرژی باد کشور جهت پیشرفت فناوری در زمینه طراحی و ساخت توربین‌های بادی قرار گیرد.

واژگان کلیدی: مدیریت انتقال فناوری، توربین بادی، تحلیل سلسله مراتبی(AHP)، تصمیم‌گیری چندمعیاره، انرژی تجدیدپذیر(پاک).

---

* عهده دار مکاتبات
+ شماره نمابر: ۰۲۱-۴۴۹۲۴۶۱۶ و آدرس پست الکترونیکی: Abbas.dinmohammadi@yahoo.com
۱ شماره نمابر: ۰۲۱-۶۶۹۷۵۳۱۵ و آدرس پست الکترونیکی: Sadat.rasoul@gmail.com
۲ شماره نمابر: ۰۲۱-۸۸۳۲۴۶۲۹ و آدرس پست الکترونیکی: Reza.yosefiizenouz@gmail.com

۱-مقدمه

رویکرد کشورهای پیشرفته و توسعه‌یافته برای انتقال برخی صنایع تولیدی خود به کشورهای در حال توسعه که امکانات تولیدی مانند نیروی انسانی ارزان‌تر و منابع طبیعی بیشتری دارند و همچنین تلاش کشورهای در حال توسعه برای دسترسی به روش‌ها و ابزارهای تولیدی جدید، باعث گردیده تا موضوع انتقال فناوری به یکی از مهم‌ترین مباحث جهان امروز تبدیل شود. انتقال فناوری یک راهبرد مهم برای صاحبان صنایع کشورها محسوب می‌شود؛ چراکه انتخاب مناسب‌ترین روش انتقال فناوری موجب بالا رفتن توانایی های نوآوری، قابلیت های فنی، بهبود بهره‌وری، افزایش توانمندی‌های صنعت، افزایش اثربخشی و بهبود نرخ رشد اقتصادی می‌شود. انتقال فناوری از دو جهت فنی و اقتصادی بسیار مورد توجه قرار گرفته است؛ به‌طوری‌که هم‌اکنون قوانینی برای حمایت از صاحبان فناوری در جهان وضع گردیده که به‌عنوان ابزارهای کنترل‌کننده مبادله و شناسایی مکانیزم‌های انتقال فناوری معرفی شده است. در حال حاضر، اگرچه با خرید و واردات ماشین‌آلات و استفاده از مهندسی معکوس پیشرفت‌هایی در زمینه فناوری کشورهای در حال توسعه و توسعه نیافته بوجود آمده اما باید توجه نمود که مفهوم انتقال فناوری و طریقه مبادله آن از حیث تجاری و حقوقی بسیار حائز اهمیت گردیده است؛ به‌طوری‌که مالکیت فکری انتقال بر مبنای جنبه‌های نرم‌افزاری و حقوقی استقرار یافته است و از مهم‌ترین بخش‌های یک قرارداد انتقال فناوری شناخته می‌شود. شناسایی و بررسی مدل‌های مختلف انتقال فناوری و دستیابی به یک مدل مناسب با توجه به شرایط کشور مقصد و مبداء در اینگونه قراردادها دارای اهمیت ویژه‌ای است.

متاسفانه در کشور عزیزمان ایران، در زمینه بهره‌برداری از انرژی‌های نو در مقایسه با سایر کشورهای در حال توسعه مانند هندوستان که به فناوری‌های نوین در زمینه ساخت توربین‌های بادی دست یافته و هم‌اکنون در محصولات شرکت‌هایی نظیر وستاز، مایکن، بونس، نوردکس به صورت Joint Venture فعالیت می‌کند، پیشرفت های چندانی صورت نگرفته است[۴]. موسی‌خانی و قراخانی در سال ۱۳۹۲ با شناسایی عوامل موثر بر انتقال فناوری در سازمان‌ها و استفاده از تکنیک‌های MADM، معیارهای موردنظر را شناسایی کرده و با استفاده از سه تکنیک به اولویت‌بندی گزینه‌ها پرداخته‌اند. یوآنا لویز در سال ۲۰۱۱ به بررسی انتقال فناوری در صنعت توربین‌های بادی در سه کشور چین، هند و کره جنوبی پرداخته و مدل‌های گوناگون پیشرفت و رشد فناوری را برای چندین کشور مورد بررسی قرار داده است. زارع و مختاری در سال ۱۳۹۲ در مقاله‌ای با بررسی اجزاء و فرآیند انتقال فناوری، انواع مختلف روش های انتقال فناوری را مورد مطالعه قرار داده و سپس اهمیت انتخاب روش مناسب انتقال فناوری با توجه به سیاست‌های کشور مبدا و مقصد را نمایان کردند[۳]. محمدی دیانی و سایران در سال ۱۳۹۴ با بررسی تاریخی استفاده از انرژی باد در ایران و همچنین فناوری موجود در ساخت و توسعه نیروگاه‌های بادی در کشور، به تشریح روند انتقال فناوری به کشور و وضعیت حال حاضر و آینده انرژی بادی ایران پرداخته و برای پیشرفت در این زمینه، طرحی جامع تحت عنوان الگوی پیشرفت ارائه نمودند[۷]. رحمانی و فاضلی در سال ۲۰۱۵ با آسیب‌شناسی انتقال فناوری توربین بادی در ایران، به بررسی سطح این فناوری در ایران پرداخته و با توجه به فاصله موجود فناوری بین ایران و کشورهای پیشرفته، لزوم پیشرفت ایران در زمینه طراحی و ساخت توربین‌های بادی را گوشزد نموده‌اند[۹]. دین‌محمدی و همکاران در سال ۱۳۹۵ با بررسی وضعیت کنونی کشور ایران و تعیین سطح فناوری ساخت و طراحی توربین‌های بادی براساس مدل سطح آمادگی فناوری(TRL) راهکارهای انتقال فناوری طراحی و ساخت توربین‌های بادی را معرفی کرده و سپس با توجه به شرایط کشور گزینه‌های مناسب انتقال فناوری براساس دانش محور شدن این صنعت در کشور انتخاب می‌گردند[۸].

با توجه به تحقیقات صورت‌گرفته در زمینه انتقال فناوری توربین‌های بادی در ایران و سایر کشورهای مختلف جهان این موضوع مشخص می‌شود که یکی از زمینه‌های پیشرفت این صنعت، انتقال صحیح فناوری است. هم‌اکنون کسب این فناوری در کشورمان از روش مهندسی معکوس همراه با ایجاد تغییراتی جهت بهره‌وری بیشتر محصول صورت می‌پذیرد که این امر اگرچه تا حدی قابل قبول است ولی مزیت رقابتی قابل توجهی برای کشور در این صنعت بوجود نخواهد آورد. برای کاهش شکاف فناوری بین ایران و سایر کشورهای جهان باید از سایر روش‌های انتقال فناوری نیز استفاده نمود. برای انتخاب مناسب‌ترین روش انتقال فناوری با توجه به معیارهای متفاوت و گاهی متناقض می‌توان از روش فرآیند سلسله مراتبی(AHP) استفاده نمود که یکی از روش‌های پرکاربرد تصمیم‌گیری چندمعیاره است.

۲- توربین‌های بادی

۲-۱- روند توسعه توربین‌های بادی

در سال ۱۸۸۷ چالز براش آمریکایی اولین توربین بادی را به‌منظور تولید الکتریسیته برای شارژ باتری‌های موردا ستفاده در

یک عمارت بزرگ احداث نمود. این توربین ۱۷ متر قطر و ۱۴۴ پره داشت، اما علیرغم اندازه بزرگ تنها ۱۲ کیلووات ظرفیت داشت. از سال ۱۹۷۵ پیشرفت‌های چشمگیری در زمینه ساخت توربین‌های بادی جهت تولید برق حاصل گردیده است. اولین توربین برق بادی در سال ۱۹۸۰ به شبکه سراسری متصل گردید و پس از مدت کوتاهی اولین مزرعه بادی در سال ۱۹۸۵ در منطقه Palm Spring کالیفرنیا متشکل از ۱۰۰۰ توربین بادی ۵۵ کیلووات جهت تولید بخشی از برق کالیفرنیا احداث گردید که هنوز هم در حال استفاده است.

انرژی باد با رشد تولید متوسط سالیانه بیش از ۲۶ درصد دارای بالاترین میزان رشد در بین منابع مختلف انرژی تجدیدپذیر از سال ۱۹۹۰ تاکنون بوده است. ظرفیت جهانی تولید انرژی باد در انتهای سال ۲۰۱۵ به بیش از ۴۳۲ گیگاوات رسیده است. این روند توسعه و پیشرفت در نیروگاه‌های بادی به سرعت ادامه دارد؛ به‌طوری‌که براساس پیش‌بینی‌های صورت گرفته توسط انجمن جهانی انرژی باد(WWEA)، الکتریسیته حاصله از انرژی باد تا سال ۲۰۲۰ قادر به تامین حداقل ۱۲٪ از برق مصرفی جهان خواهد بود و همچنین ظرفیت نصب شده جهانی در این سال به حداقل ۱۵۰۰ گیگاوات خواهد رسید. همچنین براساس پیش‌بینی آژانس بین‌المللی انرژی تا سال ۲۰۳۰، انرژی برق بادی دومین منبع بزرگ تجدیدپذیر بعد از برق آبی به‌شمار خواهد آمد و طبق برآورد شورای جهانی انرژی باد(GWEC) تا سال ۲۰۴۰ صنعت برق بادی توانایی گردش مالی سالیانه ۶۷ میلیارد دلاری را خواهد داشت.

۲-۲- انواع توربین‌های بادی

فناوری طراحی، ساخت و به‌کارگیری توربین‌های بادی از جهات مختلفی قابل تقسیم‌بندی است:

۲-۲-۱- خشکی[3] و دریا[4]

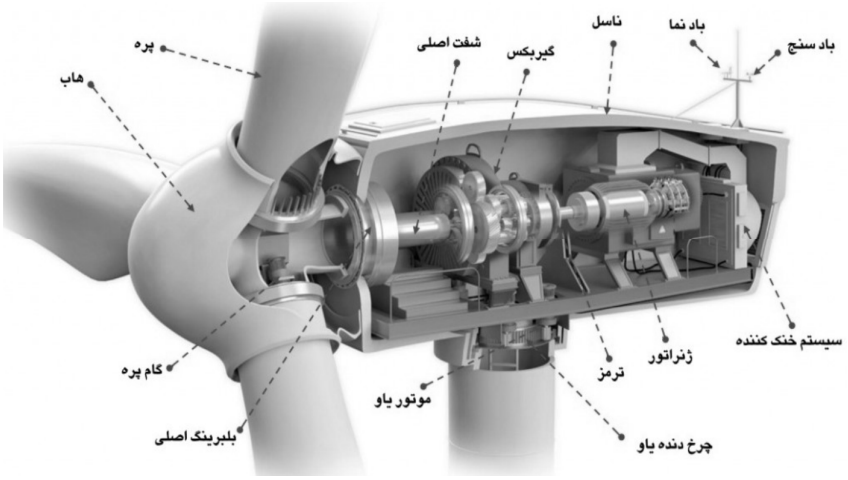
توربین‌های بادی در خشکی دارای مزیت‌های زیادی از جمله پایین‌تر بودن هزینه نصب، ساخت(از لحاظ کیفیت و کمیت)، هزینه بهره‌برداری، هزینه های تعمیرات و نگهداری و همچنین دسترسی آسان‌تر نسبت به توربین‌های بادی در دریا است. نیروگاه‌های بادی در دریا، نرخ خرابی و هزینه تعمیرات و نگهداری بالاتری دارد؛ به‌طوری‌که براساس تحقیقات اخیر، این هزینه بین ۲۰٪ تا ۲۵٪ بیشتر از نیروگاه‌های در خشکی است. در عوض، نیروگاه بادی در دریا از بادهایی با شدت بیشتر و مناسب‌تر از نیروگاه بادی ساحلی برخوردار است که این امر منجر به تولید بالاتر الکتریسیته و جبران مزیت های بیان شده در مورد نیروگاه‌های بادی ساحلی می‌گردد.

۲-۲-۲- محور افقی و محور قائم

مهم‌ترین مزیت توربین‌های محور قائم در مقایسه به محور افقی، عدم نیاز آنها به هر نوع سیستم جهت‌یابی است؛ درحالی‌که این سیستم یکی از ضروری‌ترین اجزای توربین‌های محور افقی محسوب می‌گردد و وسیله‌ای است که روتور را به‌طور دائمی در جهت باد قرار می‌دهد. بنابراین توربین‌های محور قائم از هزینه‌ای که باید صرف این سیستم شود یا افت‌هایی که از خطای این سیستم یا تاخیر آن در پاسخ به تغییر باد ناشی می شود؛ برحذر می‌باشد.

۲-۳- اجزای اصلی توربین‌های بادی

اجزای اصی توربین بادی در شکل شماره یک قابل مشاهده است.



شکل ۱- شمای کلی از قطعات اصلی یک توربین بادی

3 Onshore

4 Offshore

۲-۴- سطوح فناوری توربین بادی

با بررسی‌های انجام شده در زمینه طراحی و ساخت توربین‌های بادی در کشور و همچنین نظرسنجی از خبرگان و کارشناسان در این زمینه، دریافتیم که روش استفاده از فناوری در کشور براساس مهندسی معکوس برای طراحی مجدد و سپس بهینه کردن اجزاء به‌منظور بالا بردن کارایی توربین‌های بادی است. این امر بیانگر این مطلب است که هم‌اکنون سازندگان با اصول اولیه در طراحی و ساخت توربین‌های بادی آشنا هستند، اما نیاز به یک پله ترقی در زمینه دانش بنیان شدن و طراحی توربین بادی بومی سازگار با منطقه جغرافیایی و آب و هوایی کشور وجود دارد.

حال به بررسی فناوری طراحی و ساخت توربین‌های بادی در ایران پرداخته می‌شود. سپس با مقایسه با فناوری‌های روز جهان به میزان شکاف و وضع کنونی فناوری ایران نسبت به کشورهای صاحب فناوری در جهان پرداخته خواهد شد. همان‌طورکه اشاره شد، ایران به فناوری طراحی و ساخت توربین‌های بادی ۲,۵ مگاواتی دست پیدا کرده و تمامی مراحل طراحی و ساخت و نصب و راه‌اندازی و همچنین بهره‌برداری از این نوع توربین بادی به پایان رسیده است. همچنین ایران به‌عنوان دومین کشور جهان موفق به ساخت نیروگاه بادی موبایل ۲۵ مگاواتی گردیده است.

با توجه به تحقیقات انجام‌شده، چندین شرکت اروپایی که صاحب فناوری و جز اولین سازندگان توربین‌های بادی در جهان به‌شمار می‌آید، موفق به ساخت توربین ۱۰ مگاواتی شده‌اند. همچنین یک شرکت آمریکایی طرحی ارائه نموده که تا سال ۲۰۲۰ توربین بادی ۵۰ مگاواتی با ارتفاع ۴۷۹ متر خواهد ساخت که این موضوع سرعت بالای فناوری در زمینه ساخت توربین‌های بادی غول‌پیکر در جهان را نشان می‌دهد.

با توجه به مطالب بیان شده و شکاف عمیق موجود در فناوری طراحی و ساخت توربین‌های بادی در ایران در مقایسه با کشورهای دیگر، باید به دنبال راهکارهایی برای کاهش و از بین بردن این شکاف و بدست آوردن فناوری موردنیاز در این زمینه بود. راهکار عمده در این زمینه که وابسته به فرهنگ، توان علمی و نیروی انسانی یک کشور است، انتقال و کسب فناوری خواهد بود. با توجه به سیاست‌های جمهوری اسلامی ایران درخصوص اقتصاد مقاومتی و اندیشه بنیان شدن علوم در کشور و عدم وابستگی به کشورهای دیگر، هدف نهایی در این زمینه کسب فناوری بومی و دستیابی به این فناوری است.

انتقال فناوری را می‌توان به انتقال مهارت‌ها، دانش‌ها، تجهیزات و روش‌های ساخت جهت خلق کالا یا ارائه خدمات اطلاق نمود. انتقال فناوری غالبا به دو طریق صورت می‌گیرد: انتقال عمودی و انتقال افقی. در انتقال عمودی یا انتقال تحقیق و توسعه، اطلاعات فنی و دستاوردهای تحقیقات کاربردی به مرحله توسعه و طراحی مهندسی انتقال می‌یابد و سپس با تجاری شدن، فناوری به فرآیند تولید وارد می شود. در انتقال افقی، فناوری در یک سطح توانمندی در یک کشور با همان سطح توانمندی به جای دیگر منتقل می‌شود. انتقال اثربخش فناوری نیازمند شناسایی اهداف صنعت، فناوری‌های موردنیاز، منابع فناوری، روش‌های انتقال و عوامل موثر در نحوه جذب و توسعه آن است و بدون استفاده از کارشناسان متخصص در این زمینه معمولا انتقال به‌صورت ناقص و نامناسب انجام می‌گیرد.

۲-۵- مراحل انتقال فناوری

الف- انتخاب فناوری: نخستین و مهم‌ترین مرحله در انتقال فناوری، انتخاب نوع فناوری و پتانسیل کشور مقصد برای دریافت آن و همچنین مطابقت فناوری در کشور مبدا با مقصد، جهت تطبیق هرچه بیشتر با فرهنگ محیطی کشور مقصد است؛

ب- انطباق: فرآیند تطبیق دادن فناوری وارداتی با منابع و فرهنگ داخلی کشور از جمله سرمایه، فرهنگ جامعه، سطح دانش و آموزش، منابع نیروی انسانی، فناوری ساخت تجهیزات و همچنین شرایط اقلیمی و اهداف کشور بیان می‌شود. با این تعریف، انطباق به‌عنوان یک زیربنای اساسی برای خودکفایی فناوری به‌شمار می‌آید؛

پ- جذب و تحلیل: فرآیند آموزش و آگاهی کامل گیرنده فناوری برای کسب کلیه مهارت‌های لازم(نصب و راه‌اندازی، تولید و...) جهت استفاده بهینه از فناوری در کشور مقصد صورت می‌گیرد.

ت- کاربرد و اجرا: استفاده از فناوری کسب شده در تولید و توزیع کالاها و خدمات، پس از انطباق با کلیه شرایط محیطی کشور مقصد؛

ث: توسعه و بهره‌برداری از فناوری وارد شده و همچنین کسب تجربه و مهارت حاصل از مطالعات و انطباق با محیط داخلی و ترکیب دانش داخلی با فناوری وارد شده، فناوری نوینی در جهت فرآیند تولید کالا و ارائه خدمات جدیدتر بدست می‌آید.

روش‌های انتقال فناوری توربین بادی عموما از سایر صنایع متفاوت است. منظور از روش‌های انتقال فناوری، مجموعه فعالیت‌های برنامه‌ریزی شده است که طی آن فناوری موردنیاز از منابع موجود در اختیار گیرنده قرار می‌گیرد. گروه تصمیم‌گیری

با توجه به شرایط کشور مقصد و سیاست کشورهای توسعه یافته در قبال این کشورها، ۴ گزینه انتقال فناوری در این زمینه را معرفی کرد: مهندسی معکوس- آموزش کسب مهارت و دانش بنیان شدن فناوری- قرار داد کلید در دست- انتقال از طریق خرید لیسانس).

۱- مهندسی معکوس: معمولا زمانی انجام می‌پذیرد که شرکت‌های چندملیتی و یا کشور عرضه‌کننده فناوری از انتقال حق امتیاز فناوری‌های پیشرفته به کشورهای در حال توسعه امتناع می‌ورزد. این روش دارای سرعت بالای انتقال فناوری است ولی مشکل اساسی آن در متوقف شدن فناوری در همان سطح و عدم ورود به بازارهای جهانی است.

۲- آموزش کسب مهارت فناوری: صنایع رقابت‌پذیر که نگران آینده خود هستند، عمیقا دریافته‌اند که دیگر نباید در فکر انتقال رسمی و پرهزینه فناوری باشند. آنان از تحلیل فرصت‌های نوین آموخته‌اند که باید مرزهای حضور خود را در اقصی نقاط جهان بگسترانند و هرجاکه ردپایی از علوم و فناوری پیشرفته یافت می‌شود، حضوری آشکار یا پنهان داشته باشند و از طریق تماس مستقیم و نزدیک با مؤسسات و سازمان‌های صنعتی پیشرفته، درس‌هایی بیاموزند. به همین دلیل است که سیاست‌های درون‌گرای فناوری، به‌تدریج در چارچوب سیاست‌های برون‌گرای فناوری مورد توجه کشورها قرار گرفته است.

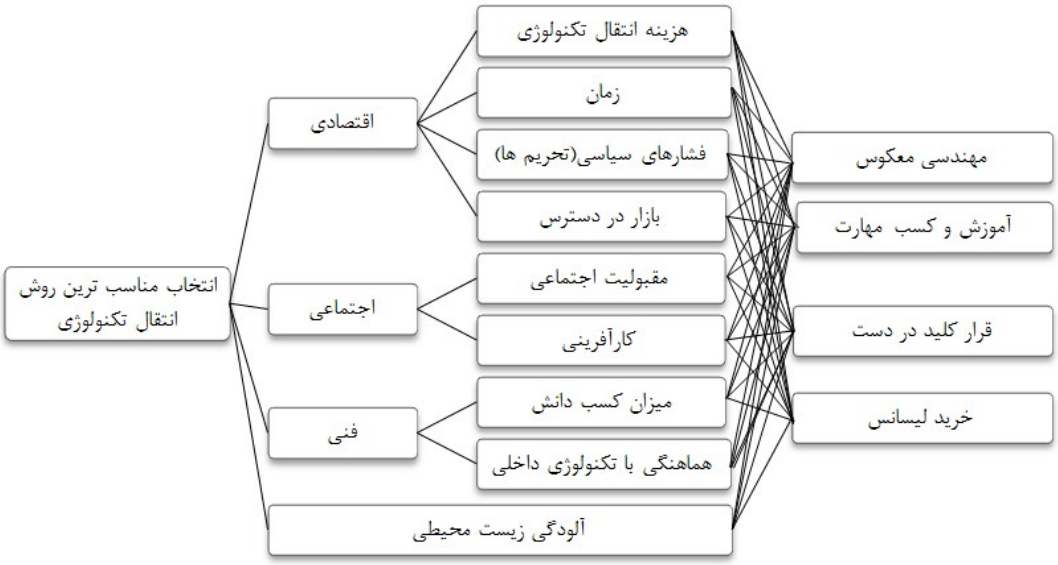
۳- قرارداد لیسانس: قراردادی است که به موجب آن لیسانس‌گیرنده در قبال پرداخت مبلغی، حق استفاده از حق مالکیت فکری لیسانس‌دهنده را بدست می‌آورد.

۴- قرارداد کلید در دست (ای. پی. سی): یک نوع قرارداد پیمانکاری است که به موجب آن پیمانکار متعهد می شود کلیه عملیات پروژه شامل مهندسی، تامین کالا و ساخت و اجرا پروژه را آماده تحویل کارفرما نماید، بطوریکه کارفرما با چرخش یک کلید از پروژه استفاده کند.

۳- مدل پیشنهادی

در این تحقیق برای اولویت‌بندی گزینه های انتخاب فناوری طراحی و ساخت توربین‌های بادی براساس معیارها و زیرمعیارهای کمی و کیفی از روش تحلیل سلسله مراتبی(AHP) استفاده خواهد شد.

روش تحلیل سلسله مراتبی یکی از متداول‌ترین روش‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه است که برای اولین بار توسط ساعتی در سال ۱۹۸۰ ارائه گردید. تصمیم‌گیری در مسائل چندشاخصه با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی با تشکیل درخت سلسله مراتبی و ماتریس مقایسه زوجی انجام می‌گیرد. درخت سلسله مراتبی یک نمایش گرافیکی از مساله پیچیده واقعی بوده که باعث فهم بیشتر مسئله برای خوانندگان می‌شود.



شکل ۲: نمودار سلسله مراتبی انتخاب فناوری

معیارها و زیر معیارهای اصلی انتخاب گزینه بهینه انتقال فناوری طراحی و ساخت توربین‌های بادی عبارتند از:

۱- معیار اقتصادی: در تعیین گزینه بهینه انتقال فناوری باید دقت نمود که آیا انتقال فناوری و هزینه‌های سربار اضافه شده به واسطه آن در برابر وارد کردن توربین بادی صرفه اقتصادی دارد یا خیر؛

۱-۱- هزینه انتقال فناوری: در انتقال فناوری به‌صرفه بودن انتقال روش موردنظر از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و باید در یک برنامه زمانی، توجیه اقتصادی گزینه موردنظر انتقال فناوری مورد بررسی قرار گیرد؛

۱-۲- زمان: یکی از معیارهایی که نقش عمده‌ای در سرمایه‌گذاری جهت انتقال فناوری دارد، عامل زمان است. تصمیم‌گیرندگان باید اطلاعاتی در زمینه اینکه گزینه انتقال فناوری از ابتدا تا انتها که دستیابی به یک محصول بومی است چقدر زمان می‌برد و آیا توجیه اقتصادی در این زمان مورد قبول واقع می‌شود یا خیر، بدست آورند؛

۱-۳- فشارهای سیاسی(تحریم‌ها): با توجه به رویکرد کشورهای جهان در قبال ایران، باید درنظرداشت که با توجه به فشار کشورهای دیگر، آیا امکان انتقال فناوری امکان‌پذیر است یا نه و چه مقدار بر قیمت گزینه‌های فناوری تاثیر می‌گذارد؛

۱-۴- بازار در دسترس: در برنامه‌ریزی برای انتقال فناوری باید توجه نمود که پس از انتقال فناوری و بومی شدن دانش آن بازار مصرف محصول چگونه خواهد بود.

۲- معیار اجتماعی: در انتخاب گزینه موردنظر باید توجه نمود که هر گزینه برای مردم آن کشور چه تاثیری خواهد داشت.

۲-۱- مقبولیت اجتماعی: برای انتخاب گزینه مناسب باید میزان تاثیر هر یک از گزینه‌ها را در میان افراد جامعه بررسی نموده و میزان مقبولیت آن را جستجو نمود. یکی از مسئله‌های دهه اخیر توجه به نیروهای اجتماعی درون کشور است که مقبولیت اجتماعی باعث همراستایی اهداف کشور با افراد جامعه خواهد شد؛

۲-۲- کارآفرینی: زیر معیار کارآفرینی نشان‌دهنده رابطه هر یک از گزینه‌ها با میزان اشتغال‌زایی در کشور است. با توجه به اینکه کشور نیاز به کارآفرینی و اشتغال‌زایی دارد، در نتیجه گزینه‌ای که این مهم را تحقق بخشد، از اهمیت بیشتری برخوردار خواهد بود.

۳- معیار فنی: برای انتخاب گزینه بهینه باید سطوح آمادگی فناوری کشور در طراحی و ساخت توربین‌های بادی را مورد بررسی قرار داده و سپس با توجه به دانش موجود، نیروی انسانی متخصص و ابزارهای موجود نسبت به انتخاب گزینه بهینه اقدام نمود.

۳-۱- میزان جذب دانش(میزان بومی شدن دانش- میزان پیچیدگی محصول): با توجه به سیاست‌های کلی نظام جمهوری اسلامی ایران در قبال خودکفایی و دانش بنیان شدن علوم و همچنین رتبه برتر علمی در منطقه باید در انتخاب گزینه بهینه دقت نمود که میزان انتقال فناوری گزینه موردنظر چه مقدار بر بومی شدن دانش طراحی و ساخت توربین‌های بادی تاثیر خواهد گذاشت؛

۳-۲- هماهنگی با فناوری داخلی: در انتخاب گزینه‌ها باید توجه نمود، کدام گزینه با شرایط فناوری و نیروی انسانی نخبه کشور هماهنگی بیشتر دارد و باعث رشد و شکوفایی بیشتر علمی کشور می‌شود.

۴- آلودگی زیست محیطی: یکی از معیارهای محیطی ارائه شده در این مقاله آلودگی زیست محیطی است که با توجه به نوع فناوری باید مشخص شود که آیا نیاز به ساخت کارخانه یا تجهیزات وجود دارد یا توربین بادی به‌صورت کامل وارد کشور می‌شود. اگر گزینه موردنظر موجب شود که طراحی و ساخت توربین‌های بادی در ایران انجام شود، این موضوع می‌تواند باعث آلودگی زیست محیطی شود. بنابراین باید اثرات زیست محیطی هر یک از گزینه‌ها مشخص گردیده و با یکدیگر مقایسه شوند.

برای انتخاب مناسب‌ترین راهبرد انتقال فناوری طراحی و ساخت توربین‌های بادی، نمودار سلسله مراتبی معیارها، زیرمعیارها و گزینه‌ها در شکل شماره ۱ نشان داده شده است. بعد از تعیین هدف که انتخاب فناوری مناسب طراحی و ساخت توربین‌های بادی است، طی مراحل زیر الزامی خواهد بود:

۱- تشکیل گروه تصمیم‌گیری: ابتدا باید یک تیم تصمیم‌گیری تشکیل داد که اعضای آن را افراد نخبه با تجربه کاری مرتبط تشکیل دهند. این گروه اطلاعات لازم را با استفاده از مرور منابع، نظرات کارشناسان، شرایط محلی، دسترسی به اطلاعات جمع‌آوری خواهند نمود؛

۲- مشخص کردن گزینه‌ها: با توجه به سیاست‌های کلان کشور و برنامه‌ریزی‌های صورت گرفته در زمینه خودکفایی طراحی و ساخت توربین‌های بادی می‌توان گزینه‌های موثر در این زمینه را انتخاب کرد؛

۳- مشخص کردن معیارها، زیرمعیارها:

۳-۱- معیارها: با توجه به شرایط داخلی کشور، می‌توان آن دسته

از مشخصه‌های موردنظر برای انتخاب فناوری مناسب طراحی و ساخت توربین های بادی را مشخص کرد؛

۳-۲- زیر معیارها: هر معیار دارای تعدادی مشخصه های مربوط و تاثیر گذار به سطح معیارها می باشد.

۴- تعیین میزان وابستگی میان معیار ها، زیرمعیار ها و گزینه‌ها: گروه تصمیم‌گیری بعد از مشخص شدن گزینه‌ها، معیارها و زیرمعیارها، باید ارتباط و میزان ارتباط آنها را نیز با یکدیگر مشخص کنند؛

۵- ایجاد مدل شبکه‌ای: بعد از مشخص شدن چهار سطح در تصمیم‌گیری می‌توان یک مدل برای رسیدن به هدف ایجاد نمود.

۶- تشکیل ماتریس مقایسه زوجی: بعد از تعیین ارتباط گزینه‌ها، معیارها و زیرمعیارها و ایجاد مدل شبکه‌ای با استفاده از ماتریس مقایسات زوجی، گروه تصمیم‌گیری میزان ارتباط میان آنها را به‌صورت عددی نمایش می‌دهد؛

۷- بررسی ناسازگاری ماتریس: بعد از تکمیل شدن ماتریس مقایسات زوجی داده‌ها باید میزان ناسازگاری هر یک از ماتریس‌ها محاسبه شود. اگر میزان ناسازگاری کمتر از ۰,۱ باشد، محاسبات ادامه داده می شود؛ ولی اگر میزان ناسازگاری بیشتر از مقدار ذکر شده بود، از گروه تصمیم‌گیری درخواست می‌شود مجددا ماتریس مقایسه زوجی را بررسی کنند؛

۸- بدست آوردن وزن های ماتریس ها: در این مرحله، با استفاده از روش میانگین وزنی، وزن معیارها، زیر معیارها و گزینه‌ها محاسبه می‌گردد؛

۹- بدست آوردن حاصلضرب ماتریس‌ها: با توجه به وابستگی معیارها، زیرمعیارها و گزینه‌ها نسبت به یکدیگر و میزان وابستگی آنها، می‌توان از ضرب ماتریس‌ها با وزن مرتبط با هر یک، وزن نهایی گزینه‌ها را بدست آورد؛

۱۰- انتخاب گزینه برتر: پس از انجام مراحل فوق گزینه‌ای که وزن بیشتری پیدا کرده است، به‌عنوان گزینه برتر انتخاب خواهد شد.

با توجه به مدل پیشنهادی بعد از تشکیل گروه تصمیم‌گیری، گروه معیارها، زیرمعیارها و گزینه‌ها را تعیین کرده و سپس با پر کردن پرسشنامه‌ها، اهمیت نسبی معیارها، زیرمعیارها و گزینه‌ها نسبت به یکدیگر مشخص می شود. سپس با استفاده از مدلی که ساعتی ارائه نموده، ماتریس مقایسات زوجی معیارها، زیرمعیارها و گزینه‌ها را تشکیل داده می‌شود.

برای تبدیل معیارهای کمی و کیفی به اعداد قطعی(crisp) می‌توان از جدول ارائه شده در ساعتی(طیف لیکرت) استفاده نمود.

جدول۱: مقیاس‌های مورداستفاده در ماتریس مقایسات زوجی

ارتباط معیارها با یکدیگر	مقیاس
خیلی ضعیف	۱
ضعیف	۳
متوسط	۵
زیاد	۷
خیلی زیاد	۹
ارتباط مابین ارتباطات معیارها	۲، ۴، ۶ و ۸

پس از اطمینان از صحت سازگاری ماتریس‌ها، ماتریس‌های مقایسات زوجی را با روش خطی ساده نرمالایز شده و سپس با روش متوسط وزنی، وزن هر یک از معیارها و زیرمعیارها محاسبه می‌شود. درنهایت، با ضرب ماتریس وزن معیارها در ماتریس زیرمعیارها می‌توان وزن نهایی گزینه‌ها را بدست آورد. گزینه‌ای که بالاترین وزن را در میان گزینه‌ها دا شته با شد، به‌عنوان گزینه برتر انتخاب می‌شود.

۴- نمونه کاربردی

در این بخش یک مطالعه موردی جهت یافتن مناسب‌ترین راهبرد انتقال فناوری طراحی و ساخت توربین های بادی در صنعت انرژی باد ایران ارائه می‌شود. بدین منظور پرسشنامه‌هایی طراحی گردید و توسط متخصصان و کارشناسان صنعت انرژی باد کشور مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت. با توجه به اینکه نتایج حاصله از نخبگان دارای هم‌گرایی قابل قبولی بود، با استفاده از میانگین حسابی یک عدد ثابت(Crisp) برای وزن معیارها و زیرمعیارها محاسبه گردید و سپس با استفاده از فرمول ناسازگاری تحلیل سلسله مراتبی(AHP)، ناسازگاری ماتریس‌ها محاسبه گردید. چنانچه میزان ناسازگاری در نظرات یکی از خبرگان بیشتر از حد قابل قبول بود، سعی شد تا با بررسی مجدد نرخ ناسازگاری بهبود یابد. چهار معیار اصلی در مدل ارائه شده شامل معیار فنی، اقتصادی، اجتماعی و آلودگی زیست محیطی تبیین و برای هر کدام از آنها زیرمعیارهای مربوطه به خوبی تعریف شدند. همچنین چهار راهبرد انتقال فناوری که با شرایط کشور همخوانی بیشتری داشته و سیاست‌های کلان کشوری در زمینه دانش‌بنیان شدن و خودکفایی را نیز مدنظر دارند، انتخاب گردیده است.

بعد از شناسایی معیارها و زیرمعیارها لازم است تا اهمیت نسبی آنها نسبت یکدیگر مشخص شود. این امر با تحقیق و پرس‌وجو از نخبگان و با استفاده از منابعی که ذکر گردید، انجام شده است. سپس ماتریس مقایسات زوجی معیارها نسبت به هدف مساله تشکیل داده شده و وزن معیارها محاسبه می‌گردد.

جدول۲- ماتریس مقایسه زوجی معیارها نسبت به هدف

معیارها	اقتصادی	اجتماعی	فنی	آلودگی زیست محیطی	وزن معیارها(W)
اقتصادی	۱	۴,۲	۲,۱	۵,۳	۰,۵۲۴۳۲۲
اجتماعی	۰,۲۴	۱	۰,۵۴	۱,۷۶	۰,۱۳۹۰۶۵
فنی	۰,۴۸	۱,۸۵	۱	۲,۵۴	۰,۲۴۵۱۹۹
آلودگی زیست محیطی	۰,۱۹	۰,۵۷	۰,۳۹	۱	۰,۰۹۱۴۱۴

I.I.R=۰,۰۰۴۱۵۷

بعد از تشـــکیل ماتریس مقایســـات زوجی معیارها و هدف، می‌توان ماتریس مقایســـات زوجی زیرمعیارها را نســـبت به معیار مربوطه تشکیل داد.

جدول۳- ماتریس مقایسات‌زوجی زیرمعیارها نسبت به معیار اقتصادی

معیار اقتصادی	هزینه	زمان	فشار سیاسی	بازار در دسترس	وزن معیارها(W)
هزینه	۱	۲,۲	۱,۳۱	۳,۴۱	۰,۳۸۷۹۰۶
زمان	۰,۴۵	۱	۰,۷۲	۱,۸۴	۰,۱۹۲۷۳۶
فشار سیاسی	۰,۷۶	۱,۳۹	۱	۴,۳	۰,۳۲۳۱۷۳
بازار در دسترس	۰,۲۹	۰,۵۴	۰,۲۳	۱	۰,۰۹۷۱۸۵

I.I.R=۰,۰۱۳۷۰۲

در قســمت آخر ماتریس مقایســات زوجی، گزینه‌ها برحســب زیرمعیارها محاسبه می‌شود. باید این نکته را خاطر نشان کرد که معیار آلودگی زیســـت محیطی به دلیل اینکه زیرمعیاری ندارد، خود یک زیر معیار لحاظ می‌شود.

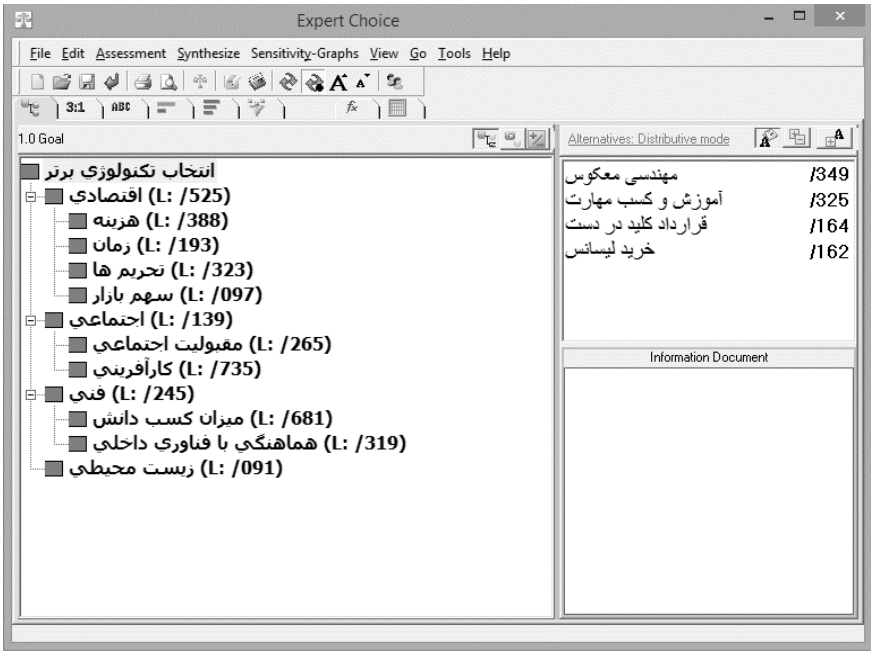
جدول۴- ماتریس مقایسات زوجی گزینه‌ها نسبت به زیرمعیار آلودگی زیست محیطی

زیر معیار آلودگی زیست محیطی	مهندسی معکوس	آموزش و کسب مهارت	قرارداد کلید در دست	خرید لیسانس	وزن گزینه ها(W)
مهندسی معکوس	۱	۲,۱	۰,۶۷	۰,۴۵	۰,۲۰۴۸۶
آموزش و کسب مهارت	۰,۴۸	۱	۰,۵۴	۰,۴۲	۰,۱۳۱۹۴
قراردادکلید در دست	۱,۴۹	۱,۸۵	۱	۰,۴	۰,۲۳۲۱۴
خرید لیسانس	۲,۲۲	۲,۳۸	۲,۵	۱	۰,۴۳۱۰۲

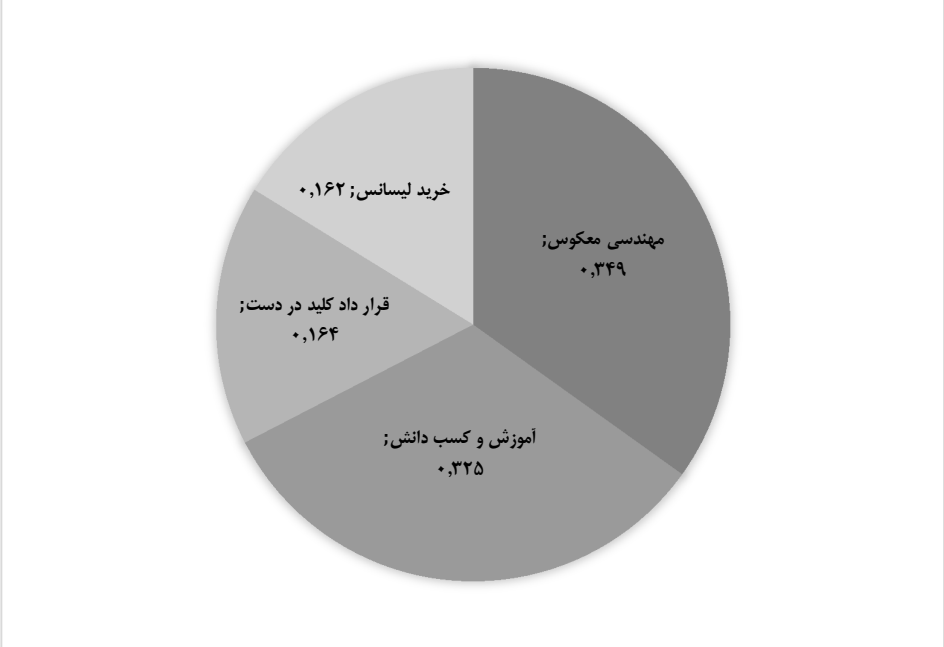
I.I.R=۰,۰۳۳۶۹۳

۵- نتیجه‌گیری

پس از وارد کردن ماتریس های مقایســـات زوجی و حل با نرم‌افزار Expert Choice (شـکل شـماره ۳)، مشـاهده شـد که مناسب‌ترین راهبردها به‌ترتیب شامل مهندسی معکوس، آموزش و کسـب دانش، قرارداد کلید در دسـت و خرید لیسـانس اسـت. اوزان نسبی گزینه‌ها در شکل شماره ۳ نمایش داده شده است.



شکل۳- شمایی از نرم‌افزار Expert Choice



شکل۴- نتایج بدست آمده با استفاده از نرم‌افزار Expert Choice

با مشاهده وضعی فعلی کشور ایران و همچنین رویکرد کشورهای توسعه یافته در قبال آن که مانع از ورود دانش و تجهیزات و حتی دستگاه‌های موردنیاز به کشور می‌شوند، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که بهترین روش انتقال فناوری ساخت توربین‌های بادی، استفاده از نیروهای انسانی داخل کشور است. با استفاده از نیروی انسانی متخصص داخلی و همچنین دانش بنیان شدن فناوری طراحی و ساخت توربین‌های بادی، می‌توان طی مدت چند سال یک مزیت رقابتی در این صنعت برای کشور ایجاد کرد. البته می‌توان طی این دوره با استفاده از روش مهندسی معکوس که گزینه بعدی است، کشور را در حد فناوری روز جهانی پیش برد و یا اگر دیدگاه‌های کشورها نسبت به ایران تغییر کرد، می‌توان از گزینه‌های بعدی برای بهره‌وری و اثربخشی بیشتر استفاده نمود.

فهرست منابع

[۱] خلیل، طارق(ترجمه: اعرابی، محمد)؛ **مدیریت تکنولوژی**، دفتر پژوهش‌های فرهنگی، ۱۳۹۵.

[۲] موسی خانی، مرتضی؛ قراخانی، داود؛ **"شناسایی و رتبه‌بندی عوامل موثر بر انتقال تکنولوژی با استفاده از تکنیک‌های MADM"**، فصلنامه مدیریت و توسعه و تحول، شماره ۱۵، ۱۳۹۲، صص ۸-۱.

[۳] زارع، علی؛ مختاری، محمدرضا؛ **"الگوهای قراردادهای انتقال تکنولوژی"**، دانشنامه حقوق و سیاست، شماره ۲۰، پاییز و زمستان ۱۳۹۲.

[۴] قرشی، امیرحسین؛ **"رهیابی به تکنولوژی توربین‌های برق بادی در جمهوری اسلامی"**، دومین همایش ملی انرژی ۱۳۷۸.

[۵] زهتابچیان، محمد حسین؛ ناصری گیگلو، علی؛ **"انتقال تکنولوژی"**، نشریه عصر مدیریت، سال چهارم، شماره چهاردهم، خرداد ۱۳۸۹، صص ۱۱۵-۱۱۰.

[۶] سلامی، رضا؛ **"سیاست‌های انتقال بین‌المللی تکنولوژی و توسعه صنعتی کشورهای در حال توسعه"**، مجله پژوهشی دانشگاه امام صادق علیه السلام، شماره ۵، مهر ۱۳۸۸.

[۷] محمدی دیانی، رشید؛ سعدی، سجاد؛ نوروزی، سجاد؛ **"پیشرفت ایران؛ گذشته، حال، آینده"**، چهارمین کنفرانس الگوی اسلامی ایرانی پیشرفت، اریبهشت ۱۳۹۴.

[۸] دین محمدی، عباس؛ سادات رسول، سید مهدی؛ نوری، روح الله؛ **"بررسی روند انتقال و مدیریت تکنولوژی در ساخت و**

تجهیز توربین‌های بادی در ایران"، اولین کنفرانس بین المللی مدیریت صنعتی، اردیبهشت ۱۳۹۵.

[9] Rahmani, Sajjad; Fazeli,Mohammad, Hassan; "*Pathology of the Model of Wind Turbine Manufacturing Technology Transfer in Iran*", Ciência e Natura, Santa Maria, 2015.

[10] Joanna, I. Lewis; "*Building a National Wind Turbine Industry: Experiences from China, India and South Korea*", International Journal of Technology and Globalization, 5, No. ¾, 2011, pp. 281-305.