ACECR - Sharif University Branch
Quarterly Journal of
Industrial Technology Development

Technological Capability Assessment and Gap Analysis of Wind Energy Industry in Iran

■ **Seyed Moslem Mousavi Dorcheh** *+
Assistant professor at Iranian Research Organization for Science and Technology

Receive date: 1 October 2023, Revise date: 24 April 2024, & Accept date: 26 May 2024
10.22034/jtd.2024.2012694.1888

ABSTRACT

Based on economic, political and technological status of Iran, local manufacturing, especially in renewable power plants equipment, is emphasized by the high-level policies due to many sanctions in recent years. One of the requirements for developing local content policies is to evaluate the technological capabilities of the country, which is the purpose of this paper. In this paper, we attempt to assess the technological capability of the wind industry value chain in Iran, using the opinion of experts and in the form of targeted non-probability sampling. Then, by using the Technology Atlas Model, the technological gap between the actual and potential level in different areas of hardware, software, orga-ware and human-ware in the value chain of this industry has been identified and explained. In this research, it has been determined that the actual technological capability of the main parts of the large-scale wind turbines like gearbox, generator, hub, tower and control system is "manufacturing with a percentage of local design" and their potential capability is also "manufacturing with 100% local design". In the case of blade, due to specific knowledge, raw materials and hardware reasons, the current technological capability is "assembly" and "manufacturing with a percentage of local design" and its potential capability is also "manufacturing with 100% local design". Also, the common technological challenges among many main areas of this industry are: "lack of mass market", "lack of economic feasibility", "lack of test and lab equipment", "lack of R&D budget", and in some cases "lack of manufacturing machinery equipment".

Keywords:
Technological Capability Assessment, Technological Gap, Wind Energy, Wind Industry, Iran.

* Corresponding Author
+ Email: Mousavi@irost.ir

How to cite: Mousavi Dorcheh, S. M. (2025). Technological Capability Assessment and Gap Analysis of Wind Energy Industry in Iran, Quarterly journal of Industrial Technology Development, 23(59), 77-100.

فصلنامه علمی توسعه تکنولوژی صنعتی

ارزیابی توانمندی و تعیین شکاف فناوری در صنعت انرژی بادی در ایران

■ سید مسلم موسوی درچه *+
عضو هیأت علمی سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۷/۹ ، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۲/۵ و تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۳/۶
صفحات: ۱۰۰-۷۷
10.22034/jtd.2024.2012694.1888

چکیده

یکی از الزامات تدوین سیاست‌های ساخت داخل، ارزیابی توانمندی فناوری کشور است. در این مقاله، با استفاده از نظر خبرگان و به‌صورت نمونه‌گیری هدفمند غیراحتمالی، سطح توانمندی فناوری زنجیره ارزش صنعت انرژی بادی در کشور، سطح بالفعل و بالقوه توانمندی فناوری بررسی و احصاء شده است. سپس با استفاده از مدل اطلس فناوری، شکاف فناوری میان سطح بالفعل و بالقوه در حوزه‌های سخت‌افزار، نرم‌افزار، سازمان‌افزار و انسان‌افزار در این صنعت تبیین گردیده است. در این تحقیق مشخص گردیده است که سطح توانمندی بالفعل قطعات اصلی گیربکس، ژنراتور، هاب، برج و سیستم کنترل توربین‌های بادی محور مقیاس‌بزرگ «توان ساخت با درصدی طراحی بومی» و توان بالقوه آن‌ها نیز «توان ساخت با ۱۰۰درصد طراحی بومی» است. در مورد پره نیز به دلایل خاص دانشی، مواد اولیه و سخت‌افزاری، توان فعلی فناورانه «توان مونتاژ» و «توان ساخت با درصدی طراحی بومی» و توان بالقوه آن نیز «توان ساخت با ۱۰۰درصد طراحی بومی» است. همچنین چالش فناورانه مشترک میان بسیاری از حوزه‌های اصلی این صنعت را می‌توان «کمبود بازار انبوه»، «کمبود توجیه اقتصادی تولید محدود قطعات»، «کمبود تجهیزات تست و آزمایشگاهی»، «کمبود بودجه تحقیق و توسعه در صنایع، دانشگاه‌ها و پژوهشگاه‌های کشور» و در برخی از موارد «کمبود ماشین‌آلات ساخت» دانست. با تدوین و اجرای سیاست‌های تحریک طرف تقاضای احداث نیروگاه‌های بادی که منجر به ایجاد بازار با ثبات و انبوه تجهیزات این حوزه گردد، تولید بسیاری از این قطعات توجیه اقتصادی پیدا می‌کند و به تبع آن، رفع عمده چالش‌های مذکور و همچنین تعمیق فناورانه از وضع موجود به وضع مطلوب، میسر می‌گردد.

واژگان کلیدی: ارزیابی، توانمندی فناوری، شکاف فناوری، صنعت انرژی بادی، ایران.

* عهده دار مکاتبات
+ آدرس پست الکترونیکی: Mousavi@irost.ir

نحوه استناددهی به این مقاله: موسوی درچه، سید مسلم. (۱۴۰۴). "ارزیابی توانمندی و تعیین شکاف فناوری در صنعت انرژی بادی در ایران"، فصلنامه توسعه تکنولوژی صنعتی، ۲۳(۵۹)، ۱۰۰-۷۷.
ناشر: پژوهشکده توسعه تکنولوژی

۱- مقدمه

انرژی بادی بعد از انرژی خورشیدی، سریع‌ترین فناوری تولید برق در حال رشد در جهان است (RENEWABLE CAPACITY STATISTICS I,RENA, 2023). با توجه به عدم وابستگی به سوخت و عدم انتشار گازهای گلخانه‌ای، انرژی بادی می‌تواند نقش مهمی در امنیت تأمین انرژی و کاهش اثرات مضر زیست‌محیطی در مقایسه با نیروگاه‌های سوخت فسیلی بازی کند. می‌توان مهم‌ترین عوامل افزایش توجهات به انرژی بادی را در چهار عامل افزایش تقاضا، افزایش عرضه انرژی، افزایش توجهات به مسائل زیست‌محیطی و بهبود در فناوری توربین بادی اشاره کرد (Noorollahi et al., 2021). همچنین دولت‌ها علاوه بر توسعه برق بادی و استفاده از آن در جهت تأمین انرژی، به‌خاطر عواملی از قبیل اشتغال و ارزش‌افزوده زیاد در صنعت انرژی بادی، توسعه داخلی این صنعت را مهم ارزیابی کرده و سیاست‌هایی را در جهت حمایت از این صنعت وضع نموده‌اند. این دولت‌ها علاوه بر تولید برق از طریق انرژی بادی توجه ویژه به این صنعت نیز داشته‌اند و در جهت توسعه توانمندی‌های ساخت داخل همگام با تولید برق تلاش نموده‌اند(Bagheri Moghaddam et al., 2012). اکثر کشورهایی که در زمینه برق بادی فعال هستند، در حوزه صنعت ساخت توربین و قطعات توربین بادی نیز توانمند هستند. در این زمینه، جدول شماره ۱، همین موضوع را نشان می‌دهد.

جدول ۱: توانمندی تولید توربین بادی کشورهای پیشرو در نصب نیروگاه‌های بادی (RENEWABLE CAPACITY STATISTICS I,RENA, 2023)

کشور	ظرفیت نصب‌شده جدید ۲۰۲۱ (مگاوات)	توانمندی تولید توربین بادی	کشور	ظرفیت نصب‌شده جدید ۲۰۲۱ (مگاوات)	توانمندی تولید توربین بادی
چین	۴۴۱۸۹۵	بله	انگلستان	۳۰۲۱۵	بله
آمریکا	۱۴۸۰۲۰	بله	برزیل	۲۹۱۳۵	بله
آلمان	۶۹۴۵۹	بله	فرانسه	۲۲۱۹۶	بله
هند	۴۴۷۳۶	بله	کانادا	۱۶۹۸۹	بله
اسپانیا	۳۱۰۲۸	بله	سوئد	۱۶۲۵۲	بله

تولیدکنندگان توربین بادی در جهان در حال توسعه نسل‌های جدید توربین بادی در بازارهای اروپا و آمریکا هستند، به‌طوری‌که تولیدکنندگان اروپایی به‌علاوه کشور آمریکا، چین و هند که سهم زیادی در بازار توربین بادی به خود اختصاص داده‌اند، هزینه‌های سرمایه‌گذاری در بخش تحقیق و توسعه خود را افزایش داده‌اند. از طرف دیگر، سیاست‌های حمایتی دولت در بازارهای اروپا، هند، آمریکا و چین اثر قابل توجهی بر فروش تولیدکنندگان توربین داخلی و افزایش سهم بازار این تولیدکنندگان گذاشته است. مطالعات سایر کشورها نشان داده است که این کشورها در جهت بومی‌سازی یک صنعت به منافع ملی حاصل از توسعه آن توجه داشته‌اند و سپس با توجه به سطح توانمندی کشور خود بخشی از صنعت مورد نظر انتخاب و سیاست‌هایی را در جهت توسعه آن تدوین نموده‌اند(Bagheri Moghaddam et al., 2011).

توسعه نیروگاه‌های تجدیدپذیر در کشورهای در حال توسعه، با چالش‌های متعددی در نظام نوآوری آن‌ها روبروست. از جمله چالش‌های پیش‌روی توسعه این صنایع در کشورهای در حال توسعه، می‌توان به مواردی از قبیل شکست‌های بازار (انحصارها، عدم تقارن اطلاعات، سرریزهای خارجی) و شکست‌های سیستمی مانند فقدان توانمندی‌های فناورانه، ویژگی‌های اجتماعی، عدم مشروعیت‌بخشی به فرایند توسعه) اشاره داشت. موارد مرتبط با فقدان توانمندی‌های فناورانه نیز ناشی از کمبود دانش و یادگیری، کمبود اقتصاد مقیاس تولید و ناهماهنگی بازیگران و نهادهاست(Tabrizian, 2019). جدای از موانع فوق، می‌توان به موانع دیگری از قبیل موانع سیاسی، عدم آگاهی عمومی، موانع اقتصادی (هزینه سرمایه‌گذاری و . . .) و زیرساخت‌های ضعیف شبکه برق در کشورهای در حال توسعه نیز اشاره داشت(Baloch et al., 2021).

در کشور ایران نیز هرچند سیاست‌گذاری غیراصولی قیمت‌های حامل‌های انرژی، منجر به عدم توسعه نیروگاه‌های تجدیدپذیر شده است، منتهی طی یک دهه گذشته، توجه دولت به استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر افزایش یافته است و با اعمال سیاست‌های مختلف تاکنون حدود ۱۰۴۰ مگاوات از انواع نیروگاه‌های تجدیدپذیر نصب شده است که از این میان حدود ۳۵۴,۸۹ مگاوات نیروگاه بادی است (Mousavi Dorcheh & Karimian khuzani, 2022). همچنین طی سال‌های دهه ۹۰، کشور گام‌های مهمی در جهت توسعه صنعت توربین‌های بادی برداشته است و می‌توان گفت که عمده توربین‌های بادی نصب شده در دهه ۹۰، توربین‌های بادی ساخت داخل بوده است. اینکه یک کشور در جهت داخلی‌سازی صنعت بادی در داخل از کدام نقطه می‌بایست شروع کند براساس حداکثرسازی منافع اقتصادی، زیرساخت‌ها و توانمندی‌های بالفعل و بالقوه فناورانه کشور در زمینه طراحی و ساخت رقابت‌پذیر توربین‌های بادی و قطعات آن است. این موضوع نیز در گرو این است که توانمندی‌های فناورانه بالفعل و بالقوه کشور و همچنین شکاف فناورانه شناسایی شده تا در راستای تقویت آن، بتوان سیاست‌هایی را تدوین نمود(Bagheri Moghaddam et al., 2011). به عبارت دیگر، یکی از پیش‌نیازهای مهم در تدوین و اجرای سیاست‌های توسعه و

بومی‌سازی هر صنعتی در داخل کشور، ارزیابی توانمندی فناورانه آن صنعت است تا براساس آن بتوان سیاست‌های مناسب را تدوین نمود.

به‌صورت کلی، تحقیقات مختلفی در رابطه با ارزیابی توانمندی فناورانه در فناوری‌ها یا صنایع مختلف صورت پذیرفته است، ولی پژوهش‌هایی که توانمندی فناورانه را در طول زنجیره ارزش یک صنعت، مورد مطالعه قرار داده باشند، بسیار محدود بوده است. به عبارت دیگر، تحقیقات صورت پذیرفته، در رابطه با ارزیابی توانمندی فناورانه در سطح یک بنگاه بوده است و نگاه زنجیره ارزش صنعت در هیچ‌کدام نبوده است. به‌صورت اختصاصی نیز، پژوهشی که اختصاصاً در مورد ارزیابی توانمندی فناورانه نیروگاه‌های بادی صورت پذیرفته شده باشد، تنها یک مورد بوده که آن نیز بسیار قدیمی است و تحولات دهه اخیر این صنعت در ایران را مورد ارزیابی قرار نداده است و برای سیاست‌گذار در شرایط فعلی، کاربردی نیست. لذا در این تحقیق هم به عمق توانمندی فناورانه و هم به گستره توانمندی فناورانه در طول زنجیره ارزش صنعت توربین‌های بادی بویژه مرتبط با آخرین تحولات صنعتی و فناورانه این صنعت در ایران پرداخته شده است. در واقع، هدف از این مقاله، تبیین توانمندی فناورانه کشور در طول زنجیره ارزش صنعت توربین بادی و همچنین قطعات اصلی آن است تا براساس آن، شکاف فناورانه در هر یک از حوزه‌های اصلی احصاء گردد.

۲- مبانی نظری و پیشینه پژوهش

در ادبیات موضوعی، تعاریف مختلف و متعددی از توانمندی فناورانه ارائه گردیده است. در بسیاری از آنها، توانمندی فناورانه عبارت است از توانایی شرکت برای اجرای هرگونه عملکرد فنی مرتبط، از جمله توانایی توسعه محصولات، فرآیندها و دانش فناورانه جدید به‌منظور دستیابی به سطوح بالاتری از کارایی سازمانی. از طریق توانمندی‌های فناورانه، شرکت می‌تواند مزیت رقابتی را در صنعت، به‌ویژه در محیطی با فناوری سطح بالا بدست آورد(Wolcott & Goodman, 1996). در واقع موجودی منابعی که یک یا چند شرکت را قادر می‌سازد تا فعالیت‌های فناورانه را به شیوه‌ای مستقل انجام دهند، به‌عنوان توانمندی فناورانه شناخته می‌شود(Figueiredo, 2010). مفهوم اساسی توانمندی فناوری را می‌توان به دانش فناوری و توانایی توسعه محصولات یا فرآیندهای جدید در حین استفاده از دانش تولید برای دستیابی به سطوح بازده بالاتر مرتبط دانست.(Figueiredo, 2010)

توانمندی فناورانه به‌عنوان یک منبع راهبردی مهم درنظرگرفته می شود که شرکت‌ها را قادر می‌سازد تا به مزیت رقابتی در صنعت خود دست یابند(Kim, 2000). این توصیف نشان می‌دهد که توانمندی فناورانه تابعی از چهار جزء است که شامل توانمندی‌های راهبردی، تاکتیکی، تکمیلی و هدایتی می‌شود. از سوی دیگر، توانمندی‌های فناورانه به چهار کلاس عمده تقسیم می‌شوند. اولین مورد، توانمندی‌های راهبردی، از جمله توانمندی‌های ساخت و ساز، مهندسی و طراحی است. دومین مورد، توانمندی‌های تاکتیکی است که شامل توانمندی‌های خدمات، بازاریابی، تولید و فروش است. سومین مورد، توانمندی‌های تکمیلی است که شامل توانمندی‌های اکتسابی و پشتیبانی می‌شود. آخرین مورد به توانمندی‌های مدیریتی، از جمله توانمندی‌های تصمیم گیری و اجرایی‌سازی تصمیمات اشاره دارد(Bell & Figueiredo, 2012b, 2012a)

توانمندی‌های فناورانه شامل دگرگونی فناوری به دلیل پیکره‌بندی مجدد منابع و توانمندی‌های دیگر است. این موضوع در محیطی نامطمئن و پویا اهمیت بیشتری دارد که سازمان‌ها شش راه حل برای پاسخ به چنین تغییراتی دارند: بازنشستگی، تعدیل، تکرار، استقرار مجدد، ترکیب مجدد یا تجدید قابلیت‌های فناوری موجود خود. انتخاب هر راه حل به طور معناداری به توانایی های درون یا بیرون سازمان بستگی دارد (Helfat & Peteraf, 2003).

با این حال، سازمان‌ها باید توانمندی‌های فناوری موجود خود را تغییر دهند تا بتوانند با موفقیت نیازهای محیط‌های جدید را برآورده کنند و بقای خود را حفظ کنند. (Helfat & Peteraf, 2003)

شرکت‌ها باید توانمندی‌های فناورانه خود را شناسایی کرده و تولیدات خود را از طریق پیکربندی‌های جدید و ترکیبی از توانمندی‌های بالقوه موجود با تولیدات جدید تغییر دهند. توانمندی فناوری مفهومی پیچیده و مبهم است که به سختی می‌توان آن را ارزیابی کرد. برای ارزیابی دقیق توانمندی فناوری، می‌بایست هر دو پارامتر محسوس و نامشهود در نظر گرفته شوند.(Mombeini et al., 2018)

ارزیابی توانمندی فناورانه فرآیندی است که در آن سطح فعلی توانمندی فناورانه سازمان / شرکت/ کشور برای شناسایی نقاط قوت و بهبودپذیر و همچنین مقایسه با قابلیت‌های فناورانه رقبا یا سطح ایده‌آل یا شکاف فناوری اندازه‌گیری می‌شود(Putranto et al., 2003).

در همین زمینه، پژوهش‌های مرتبط با ارزیابی توانمندی‌های فناورانه در ایران، در صنایع مختلف سابقه دارد. به عنوان مثال،

دقایقی و همکاران (۱۴۰۰) به بررسی مراحل شکل‌گیری قابلیت‌های فناورانه جهت تولید و توسعه تجهیزات حفاری در شرکت ملی حفاری نفت ایران طی سال‌های ۱۳۷۱ تا ۱۳۹۸ پرداخته‌اند. در این تحقیق مشخص گردیده است که شرکت ملی نفت طی سه مرحله «بهره‌برداری مشترک با شریک خارجی»، «خرید، راه‌اندازی و بهره‌برداری از تجهیزات وارداتی» و «ایجاد شبکه نواوری و ساخت تجهیزات به صورت مستقل»، قابلیت‌های فناورانه خود را افزایش داده است(Daghaieghi et al., 2021).

در تحقیقی دیگر، آراستی و همکاران(۱۴۰۰)، به بررسی نحوه انباشت توانمندی فناورانه بنگاه‌های متاخر در فرایند فرارسی کشورهای در حال توسعه پرداخته‌اند. در این تحقیق، چارچوبی مفهومی ارائه گردیده است که سعی دارد نشان دهد که در هریک از گام‌ها و زیرگام‌های مختلف مسیر فرارسی فناورانه، چه توانمندی‌های فناورانه محصول‌محور و فرآیندمحوری مورد نیاز بنگاه متاخر است. در این تحقیق، اشاره شده است که گام‌ها و زیرگام‌های فرارسی فناورانه عبارتند از «تقلید صرف» («شامل مونتاژ قطعات نیمه منفصل»، «مونتاژ قطعات کاملا منفصل»، «داخلی سازی قطعات با فناوری سطح پایین» و «داخلی سازی قطعات با فناوری سطح بالا»)، «تقلید خلاقانه» («شامل بازطراحی سطح سیستم محصول»، «طراحی محصول جدید») و «نوآوری» (شامل «خلق طرح مفهومی جدید»). همچنین توانمندی‌های فناورانه نیز به «توانمندی‌های محصول‌محور» (شامل «توانمندی طراحی و توسعه»، «توانمندی خلق فناوری») و «توانمندی‌های فرایندمحور» (شامل «توانمندی‌های ساخت و تولید»، «توانمندی نوآوری در فرایند» و «توانمندی تضمین کیفیت») تقسیم‌بندی شده است(Arasti et al., 2021).

حشمتی و همکاران (۱۳۹۸) نیز در تحقیقی، با استفاده از مدل‌های پاندا و هکس و مجلوف، به ارزیابی توانمندی فناورانه در هلدینگ صنایع غذایی سینا پرداخته‌اند و براساس آن، راهبردهای فناوری‌های نوین را ارائه نموده‌اند. آنها توانمندی‌های راهبردی، توانمندی‌های تاکتیکی و توانمندی‌های مکمل را ارزیابی نموده و راهبردهای «توسعه سیستم‌های اطلاعات مدیریت»، «ارتقای زیرساختهای اصلی تولید»، «توسعه سیستم بازاریابی مناسب»، و «تکمیل زنجیره تأمین» را ارائه نموده‌اند(Mir Mohammad Heshmati, 2019).

در تحقیق دیگری، خمسه و شفقت (۱۳۸۹) با استفاده از مدل ارزیابی نیازهای فناورانه، به ارزیابی سطح توانمندی فناورانه شرکت صنایع فلزی یاسان پرداخته‌اند. در این تحقیق، از نه بعد «آگاهی»، «جستجو»، «ایجاد شایستگی محوری»، «بهره‌برداری از پیوندهای خارجی»، «یادگیری»، «بکارگیری و جذب فناوری»، «راهبرد فناوری»، «ارزیابی و گزینش» و «اکتساب فناوری»، توانمندی‌های بنگاه را مورد ارزیابی قرار داده و پس از تعیین وضعیت بنگاه در هر یک از ابعاد مذکور، پیشنهاداتی بابت رفع شکاف‌های موجود ارائه کرده است (KHAMSEH ABBAS, 2011).

محمدی و همکاران (۲۰۱۳)، مدلی را برای ارزیابی سطح توانمندی فناورانه شرکت‌ها ارائه کرده‌اند. این مدل بر روی ۱۰ شرکت سازنده قطعات خودرو در ایران تست کرده‌اند. آنها برخی از مدل‌های ارزیابی توانمندی فناوری را به‌عنوان مبنای مدل ارزیابی خود انتخاب کرده‌اند. سپس با استفاده از مطالعه میدانی از طریق پرسشنامه و بازدید از محل، میزان توانمندی شرکت‌ها را مورد ارزیابی قرار داده‌اند. نتایج حاکی از آن است که در اکثر موارد جنبه‌های نرم توانمندی فناورانه مانند جنبه‌های مدیریتی، انسانی و دانشی، قابلیت متوازن فناورانه و دانش ضمنی مناسب وجود ندارد(Mohammadi et al., 2017).

در سطح بین‌المللی نیز، برای انجام فرآیند ارزیابی توانمندی‌های فناورانه، مطالعات مختلفی در حوزه‌های مختلف صورت پذیرفته است. والش و لینتون مدلی را براساس علم مدیریت قابل سنجش برای سنجش شایستگی و توانمندی‌ها توسعه دادند(Walsh & Linton, 2002). گریتمن و همکاران مدلی را برای تعیین بلوغ توانمندی‌های فناورانه، شایستگی‌ها و شایستگی‌های اصلی یک شرکت ارائه کردند(Greitemann et al., 2014). مارینو مدلی را براساس شایستگی‌ها و توانمندی‌های شرکت توسعه داده است(Marino, 1996). حافظ و همکاران (۲۰۰۲) چارچوبی ساختاریافته برای تعیین توانمندی‌های کلیدی با استفاده از فرآیند سلسله مراتب تحلیلی ارائه کردند(Hafeez et al., 2002). من و همکاران مدلی را براساس چهار ساختار شامل حوزه رقابتی، توانمندی‌های سازمانی، شایستگی‌های کارآفرینی و عملکرد توسعه دادند. براساس داده‌های جمع‌آوری‌شده از ۱۹۴ شرکت تولیدی کوچک تا متوسط، اوریگان و قبادیان نشان دادند که توانمندی‌های عمومی تأثیر مثبتی بر دستیابی به عملکرد کلی و استقرار استراتژی دارد(Man et al., 2002). وو و همکاران (۲۰۱۵) تجزیه و تحلیل رابطه خاکستری و اعداد فازی مثلثی با ارزش بازه‌ای را برای ارائه یک رتبه‌بندی اولویت رقابتی برای جنبه‌ها و معیارهایی اتخاذ کردند که به شرکت‌ها در تصمیم‌گیری کمک می‌کند. آنها نشان دادند که علاوه بر شایستگی‌ها در تفکر سیستمی، نوآوری در توانمندی‌های فناورانه و قابلیت‌های شبکه‌ای و اجتماعی مهم‌ترین جنبه‌های مدیریت کسب‌وکار

پایدار است(Wu et al., 2015). کارملی و تیشلر (۲۰۰۴) از یک تحلیل چندمتغیره استفاده کردند تا نشان دهند که چگونه منابع و توانمندی‌های فناورانه اصلی می‌توانند بر عملکرد شرکت‌های صنعتی تأثیر بگذارند(Carmeli & Tishler, 2004).

موریسون و همکاران (۲۰۰۸) سعی کرده‌اند با استفاده از ادبیات زنجیره ارزش جهانی در پرتو رویکرد «توانمندی‌های فناورانه»، به نوآوری و یادگیری در کشورهای حال توسعه بپردازند. آنها استدلال می‌کنند که پرداختن صریح به موضوعاتی از قبیل یادگیری، تلاش‌های فناورانه و سرمایه‌گذاری برای ایجاد و بهبود توانمندی‌های فناورانه در ادبیات زنجیره‌های ارزش جهانی با استفاده از مفاهیم توسعه‌یافته توسط ادبیات توانمندی‌های فناورانه می‌تواند به توضیح عملکرد شرکت‌های در حال توسعه کمک کند، و اینکه چرا و چگونه آنها در درجات مختلف از مشارکت در زنجیره‌های ارزش جهانی سود می‌برند(Morrison et al., 2008).

ممبینی و دیگران (۲۰۱۸)، یک مدل مبتنی بر فازی برای ارزیابی توانمندی فناوری انرژی‌های تجدیدپذیر توسعه داده‌اند. نتایج پژوهش نشان داده است که مدل پیشنهادی آنها، برای ارزیابی توانمندی‌های فناورانه به‌منظور شناسایی فرصت‌های آتی پاسخ‌گو است؛ به‌ویژه در مواردی که به دلیل پیچیدگی فضای کسب و کار انرژی که به‌طور دائم در حال تغییر است، اطلاعات کمتری وجود دارد. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داده است که مدل پیشنهادی پتانسیل بالایی برای ارزیابی توانمندی فناوری انرژی‌های تجدیدپذیر یک شرکت به منظور شناخت مؤثر چالش‌های مربوط به سرمایه‌گذاری در فناوری‌های تجدیدپذیر را دارد.(Mombeini et al., 2018)

بسیاری از مدل‌های موجود نیازمند ورود اطلاعات با میزان جزئیات فراوان هستند. در قبال دریافت این ورودی‌ها، مدل‌های بیان شده خروجی‌های مختلفی را به تحلیل‌گر ارائه می‌نمایند. برخی از محققان به ارائه مدل‌های ارزیابی توانمندی بر مبنای سطوح توانمندی فناورانه پرداخته‌اند که می‌توانند مبنایی برای ارزیابی قابلیت‌های فناورانه در سطح ملی قرار گیرد. مشروح مهمترین مدل‌های این حوزه عبارتند از:

مدل پاندا و راماناتان[1]

پاندا و راماناتان (۱۹۹۶) فرآیندی مرحله‌مند برای ارزیابی توانمندی فناورانه در سطح بنگاه ارائه داده‌اند. مدل مذکور دارای پنج مرحله به شرح زیر است(Panda & Ramanathan, 1996):

- مرحله ۱: شناسایی مراحل ایجاد ارزش افزوده
- مرحله ۲: شناسایی حوزه‌های توانمندی فناورانه مورد نیاز در مراحل معین شده
- مرحله۳: تدوین شاخص و ارزیابی توانمندی فناورانه در هر حوزه
- مرحله ۴: محک زنی سطح مطلوب توانمندی با انجام مطالعات الگوبرداری با نمونه‌های متکامل
- مرحله ۵: تجزیه و تحلیل شکاف فناورانه میان سطح موجود و مطلوب

مدل لیندسی[2]

لیندسی (۱۹۹۹) دستورالعمل جامعی را برای ارزیابی توانمندی یک بنگاه از بعد فناوری ارائه می‌کند، به‌طوریکه می‌توان آن را یک مدل ارزیابی فناوری دانست که دارای جزئی تحت عنوان ارزیابی توانمندی فناورانه است. اجرای این دستورالعمل که لیندسی از آن تحت عنوان ممیزی مدیریت فناوری[3] یاد می کند، نقاط قوت و ضعف سازمان/شرکت را از بعد فناوری و مدیریت فناوری مشخص می‌سازد (Lindsay, 1996):

لیندسی مراحل انجام ممیزی فناوری را به شرح ذیل پیشنهاد می‌کند:

- مرحله ۱: تحلیل و ارزیابی فناوری‌های فعلی (تهیه فهرست فناوری‌ها، ریزکردن فناوری‌ها، تهیه ساختار فناوری- محصول، رتبه بندی و ارزیابی توانمندی‌های فناورانه)
- مرحله ۲: نگاشت روابط فناوری- محصول – بازار (شناسایی نقاط ضعف و قوت اصلی فناورانه و شکاف های راهبردی در سبد محصولات)
- مرحله ۳: ارزیابی فناوری‌های فرآیندی (تحلیل فناوری‌هایی که در تولید محصولات و یا ارائه خدمات نقش دارند)
- مرحله ۴: تحلیل و ارزیابی توانمندی های سازمانی مدیریت فناوری
- مرحله ۵: ارزیابی شکاف ها و فرصت های فناورانه در پرتو راهبرد بنگاه

مدل لین[4]

جیمز لین لینگ (۱۹۹۷) شش بعد برای توانمندی فناوری در سطح بنگاه معرفی می‌نماید و برای هر بعد چندین شاخص معرفی می نماید، وی با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی

1 Panda & Ramanathan
2 Lindsey
3 Technology assessment audit
4 Lin

برای هر بعد و شاخص، وزن هرکدام را تعریف می‌کند. این شش بعد در جدول شماره ۲ ارائه شده‌اند(Lin, 1997):

جدول ۲: شاخص‌های توانمندی فناوری

بعد	شاخص	بعد	شاخص
توانمندی در تجربه	درصد کارکنان فنی نسبت به کل کارکنان نرخ گردش سالانه کارکنان تجارب مشابه در توسعه و معرفی فناوری	**توانمندی در بودجه بندی**	بودجه واحد تحقیق و توسعه در سال مالی معین درصد بودجه‌ی تحقیق و توسعه بر میزان فروش در سال انجام انتقال فناوری میزان تأکید مدیریت بر توسعه‌ی انتقال فناوری
توانمندی در تجهیزات	میزان جدید بودن تجهیزات فیزیکی فعلی توانمندی در اندازه گیری پارامترهای تولید و کیفیت میزان اتوماسیون تجهیزات، ماشین آلات و تسهیلات	**توانمندی در خروجی**	تعداد محصولات جدید معرفی شده در مقایسه با رقبا نسبت تعداد دفعات موفقیت آمیز در معرفی محصولات جدید ارزش سرانه فروش در سال
توانمندی در اطلاعات	میزان تمرکز تجارب گذشته در فعالیت‌های حل مسأله درجه بروزسازی اطلاعات میزان سهولت در دسترسی و بازیابی اطلاعات	**توانمندی در مدیریت**	تجربه و توانمندی مدیران پروژه انتقال فناوری توان نسبی چانه زنی با دارندگان فناوری کیفیت توانمندی عملیاتی و مدیریتی دریافت کننده فناوری

در مدل مذکور روش مشخصی برای جمع بندی ارزیابی ها و ارائه اقدام جهت مرتفع نمودن ضعف ها، ارائه نمی‌شود.

شاخص‌های توانمندی فناوری آرچیبوگی و کوکو[5]

آرچیبوگی و کوکو (۲۰۰۴) برای بررسی بیشتر توانمندی فناورانه کشورها شاخص‌هایی تعریف نمودند که طیف وسیعی از کشورها را مورد بررسی قرار می‌دهد. در این مدل سه دسته اصلی برای تعیین معیارها شناسایی شده‌اند: ایجاد فناوری[6]، زیرساخت‌های فناورانه[7]، توسعه مهارت‌های انسانی[8]. همچنین این مدل برای اولویت‌بندی در معیارها از روش سری زمانی استفاده شده است(Archibugi & Coco, 2004).

شاخص دستیابی به فناوری یو ان دی پی[9]

در گزارش برنامه توسعه سازمان ملل با عنوان اندازه‌گیری دستیابی به فناوری ملل و ظرفیت مشارکت در عصر شبکه به‌طور خاص بر روی توانمندی فناورانه کشورها بحث شده است. در این گزارش چهار بعد برای بررسی میزان دستیابی به فناوری بیان شده و برای هر کدام دو شاخص ارائه شده است(Desai et al., 2002): ایجاد فناوری، انتشار فناوری های جدید، انتشار فناوری‌های قدیم، مهارت‌های انسانی.

مدل بررسی توانمندی ملی IT

ولکات و همکاران (۱۹۹۶)، برای بررسی توانمندی فناوری اطلاعات در سطح ملی چارچوبی ارائه شده است که از پنج بعد اصلی تشکیل شده است که هر بعد نیز در پنج سطح تعریف می‌شوند(Wolcott & Goodman, 1996). این ابعاد و سطوح عبارتند از:

سطح نزدیکی فناوری به مرزهای فناوری[10] سطح صفر: عدم وجود فناوری[11] سطح یک: وجود فناوری منسوخ و از کار افتاده[12] سطح دو: وجود فناوری غیر رقابتی[13] سطح سه: وجود فناوری رقابتی[14] سطح چهارم: رهبری فناوری[15]	**عمق توسعه فناوری[16]** سطح صفر: مصرف کننده[17] سطح یک: مونتاژ کننده[18] سطح دو: بومی سازی و انطباق[19] سطح سه: پیشرفته[20] سطح چهارم: توانایی کامل[21]
میزان مهارت و توان استفاده و بکارگیری فناوری[22]	**میزان انتقال و انتشار[28]** سطح صفر: وجود ندارد[29] سطح یک: تازه مطرح‌شده[30]

5 ArCo
6 Creation of technology
7 Technological infrastructures
8 Development of human skills
9 The UNDP Technology Achievement Index
10 proximity of the technology to the technological frontier
11 Non-existent
12 Obsolete
13 Non-competitive
14 Competitive
15 Leading
16 Depth of development
17 Consuming
18 Assembling
19 Adapting
20 Advancing
21 Comprehensive
22 Sophistication of use
28 Pervasiveness
29 Non-Existent
30 Entrant

سطح صفر: هیچ[23]	سطح دو: توسعه داده شده[31]
سطح یک: با کمک دیگران[24]	سطح سه: رایج[32]
سطح دو: استفاده معمولی[25]	سطح چهارم: فراگیر[33]
سطح سه: توان ایجاد محصول جدید[26]	
سطح چهارم: توانایی تبدیل کردن[27]	
میزان بومی سازی[34]	
سطح صفر: مشاهده شده[35]	
سطح یک: عملیاتی‌شده[36]	
سطح دو: انجام خردی‌های مورد نیاز[37]	
سطح سه: توان مدیریت[38]	
سطح چهارم: مهارت و استادی[39]	

مدل اطلس فناوری

این مدل که توسط مرکز انتقال فناوری آسیا و اقیانوسیه[40] (از سازمان‌های وابسته به کمیسیون اقتصادی-اجتماعی سازمان ملل برای آسیا واقیانوسیه[41]) توسعه یافته است، به معرفی ۵ نوع ارزیابی می‌پردازد که عبارتند از(ESCAP, 1989): ارزیابی محتوای فناوری، ارزیابی فضای فناوری، ارزیابی موقعیت فناوری، ارزیابی توانمندی‌های فناوری، ارزیابی نیازهای فناوری.

در این میان، این مدل به ارزیابی موردنیاز این تحقیق نزدیکتر است. هدف از ارزیابی توانمندی فناوری در این مدل تعیین شکاف[42] فناوری بین دو صنعت از چند کشور مختلف است. منظور از شکاف فناوری اختلاف بین توانمندی فناوری میان دو یا چند کشور/ صنعت/ بنگاه است. توانمندی فناوری را می‌توان پس از تفکیک آن به چهار جزء و سپس اندازه‌گیری هر یک از اجزاء آن سنجید. تجزیه و تحلیل توانمندی فناوری در شناسایی دلائل وجود شکاف و همچنین مداخلات مورد نیاز برای کاهش آن کمک می‌کند. این مدل برحسب ۴ جزء سخت‌افزار، انسان‌افزار، نرم‌افزار و سازمان‌افزار به تحلیل موضوع می‌پردازد.

مدل کریستنسن[43]

کریستنسن (۱۹۹۷)، دو سطح را برای توانمندی‌های فناورانه پیشنهاد می‌کند که عبارتند از: توانمندی بازتولید، توانمندی پویا. سطح اول مربوط به توانایی جستجو و استفاده از منابع و توانمندی‌های موجود از طریق فرآیندهای یادگیری مبتنی بر تجربه است و سطح دوم (توانمندی‌های پویا)، شامل نوآوری و خلق توانمندی‌ها و فرآیندهای کاری جدید از طریق فرآیندهای یادگیری مبتنی بر تجربه و تحقیق و توسعه به‌صورت توأمان، است. در نتیجه، توانمندی‌های پویا مزیت رقابتی بلندمدت را تعیین می‌کند(Christensen, 1997, 2013).

مدل لل[44]

یک طبقه‌بندی دیگر از توانمندی‌های فناورانه که توسط لل در سال ۱۹۹۲ ارائه شده، سه کارکرد را مورد بررسی قرار می‌دهد(Lall, 1992): سرمایه‌گذاری، تولید (مهندسی فرآیند، مهندسی محصول و مهندسی صنعتی)، پیوند با اقتصاد.

لل در سال ۱۹۹۴، براساس سطوح پیچیدگی، طبقه‌بندی دیگری برای توانمندی‌های فناورانه ارائه می‌کند که از تفاوت میان دو مفهوم دانش چگونگی و دانش چرایی سرچشمه می‌گیرد. وی با توجه به پیچیدگی کمتر توانمندی‌های موردنیاز برای دانش چگونگی، نام «توانمندی‌های عملیاتی» را به آن‌ها نسبت می‌دهد و «توانمندی‌های پیچیده‌تر» را که متعلق به دانش چرایی می‌داند و شامل توانایی فهم اصول فناورانه است، توانمندی‌های نوآورانه می‌نامد.

او با ارائه ماتریسی که شامل دو بعد به نام‌های درجه پیچیدگی توانمندی فناورانه و کارکرد توانمندی فناورانه مربوطه است به طبقه‌بندی انواع توانمندی فناورانه می‌پردازد.

ماتریس توانمندی ساتو و فوجیتا[45]

ساتو و فوجیتا به تحلیل ارزیابی توانمندی فناوری در سطح

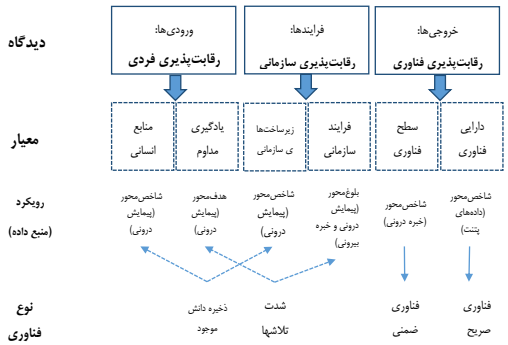
23 None
24 Assisted
25 Conventional
26 Innovating
27 Transforming
31 Established
32 Common
33 Pervasive
34 Indigenization
35 Observing
36 Operating
37 Supporting
38 Managing
39 Mastering
40 Asian and Pacific Center for Transfer of Technology (APCTT)
41 Economic & Social Commission for Asia & the Pacific (ESCAP)
42 Gap
43 Christensen
44Sanjaya Lall
45 - Sato & Fujita

زنجیره ارزش یک شرکت یا صنعت پرداخته‌اند. در این ماتریس زنجیره ارزش یک شرکت یا صنعت ترسیم می‌گردد و سپس عمق توانمندی فناورانه در هر یک از حلقه‌های زنجیره ارزش مورد ارزیابی قرار می‌گیرد(Sato & Fujita, 2009). جدول شماره ۳، این مدل را نشان می‌دهد.دهد.

جدول ۳: نمونه ماتریس توانمندی

		برنامه‌ریزی	تولید		بازاریابی
			مرتبط با تجهیزات	مدیریت تولید	
عملیاتی	فناوری فعلی عملیاتی می‌شود				
جذب‌کننده	بر فناوری فعلی چیرگی حاصل می‌شود و در طول زمان، بهره‌برداری بهبود می‌یابد.				
تطبیقی	بهبودهایی جزئی یا اساسی در فناوری موجود رخ می‌دهد				
نوآورانه	یک فناوری یا نوآوری جدیدی خلق می‌گردد.				

فناورانه پیشنهاد می‌کند. برای این منظور ابتدا عوامل مختلف مؤثر بر توانمندی‌های فناورانه را مورد بررسی قرار داده است و عوامل را به سه دسته رقابت فردی، سازمانی و فناوری تقسیم کرده است. دوم، آیتم‌های ارزیابی مناسب را برای هر دسته برای اندازه‌گیری توانمندی فناوری شناسایی کرده است. در نهایت، با استفاده از رویکرد ترکیبی از روش‌های کمی و کیفی، یک روش ارزیابی برای هر آیتم ایجاد کرده و روشی را برای ترکیب نتایج پیشنهاد کرده است(Lee & Lee, 2016). شکل زیر قالب کلی مدل پیشنهادی را ارائه می‌دهد:



شکل ۱: مدل ارزیابی توانمندی فناوری مینگوک لی و سانگجو لی
(Lee & Lee, 2016)

مدل مینگوک لی و سانگجو لی[۴۶]

این مدل چارچوبی جامع برای ارزیابی توانمندی‌های فناوری در شرکت‌های انرژی با درنظرگرفتن ویژگی‌های پیچیده دانش

خلاصه مدل‌های ارزیابی توانمندی فناوری

خلاصه مدلهای مطرح شده را می‌توان در جدول شماره ۴، ملاحظه نمود:

جدول ۴: مدل‌های ارائه شده برای ارزیابی توانمندی فناوری

نام مدل یا روش	توضیحات
مدل اطلس فناوری (ESCAP, 1989)	بر مبنای ۴ بعد مؤلفه‌ی فناوری (انسان‌افزار، نرم‌افزار، سخت‌افزار، سازمان‌افزار)، توانمندی فناورانه یک بنگاه و یا یک کشور ارزیابی می‌شود. بر مبنای این چهار بعد، شاخص‌هایی برای توانمندی فناورانه سیستم موردنظر تعریف می‌گردد.
مدل لل (Lall, 1992)	با تعریف یک ماتریس متشکل از درجه پیچیدگی و کارکردهای توانمندی فناورانه به‌عنوان ابعاد ماتریس، سطوح توانمندی فناورانه را مشخص می‌کند.
مدل پاندا و رامانتان[۴۷] (Panda & Ramanathan, 1997)	شناسایی حوزه‌های توانمندی فناورانه با توجه مراحل ایجاد ارزش افزوده و انجام آنالیز شکاف در حوزه‌های تعریف شده
مدل بررسی توانمندی ملی IT (Wolcott & Goodman, 1996)	مدل مطرح پنج بعد اصلی برای توانمندی فناورانه ارائه کرده و در هر بعد نیز به تشریح پنج سطح، به‌عنوان سطوح توانمندی، می‌پردازد.
مدل لین (Lin, 1997)	در این روش به بررسی توانمندی فناوری با تأکید بر اکتساب فناوری از طریق انتقال آن می‌پردازد. بر این اساس، ۶ مجموعه از معیارها شناسایی می‌شوند و برای آن‌ها شاخص‌هایی تعریف می‌شود. سپس بر مبنای این شاخص‌ها توانمندی بنگاه در انتقال فناوری سنجیده می‌شود.

46 Mingook Lee & Sungjoo Lee

47 Panda and Ramanathan

مدل کریستنسن (Christensen, 1997)	با بررسی دو سطح توانمندی بازتولید و توانمندی پویا، توانمندی فناورانه را معین می‌کند.
مدل زنجیره ارزش[۴۸]	برای اندازه‌گیری توانمندی فناورانه، توانمندی در فعالیت‌های زنجیره ارزش ارزیابی می‌شوند.
مدل ممیزی مدیریت فناوری (لیندسی)[۴۹] (Lindsay, 1996)	مجموعه‌ای از خطوط راهنما برای شناسایی و انتخاب فرصت‌های فناورانه، تعیین توانمندی‌های فناورانه در این حوزه‌ها، و بررسی علل وجود شکاف فناورانه در بنگاه است. این مدل دایره‌ای فراتر از ارزیابی توانمندی فناوری ار دربر می‌گیرد.
شاخص دستیابی به فناوری یو ان دی پی (Desai et al., 2002)	با بررسی دسته‌هایی از معیارها که توانمندی فناورانه را به‌صورت خروجی‌محور بررسی می‌کنند، ظرفیت فناورانه را در سطح ملی مورد سنجش قرار می‌دهد.
شاخص‌های توانمندی فناوری آرچیبوگی و کوکو (Archibugi & Coco, 2004)	با تعیین سه دسته اصلی از معیارها و ارائه شاخص برای اندازه‌گیری آن‌ها، توانمندی در سطح ملی معین می‌گردد.
ماتریس توانمندی ساتو و فوجیتا (Sato & Fujita, 2009)	در این ماتریس زنجیره ارزش یک شرکت یا صنعت ترسیم می‌گردد و سپس عمق توانمندی فناورانه در هر یک از حلقه‌های زنجیره ارزش مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.
مدل مینگوک لی و سانگجو لی (Lee & Lee, 2016)	با در نظر گرفتن ویژگی‌های پیچیده دانش فناورانه، عوامل مختلف مؤثر بر توانمندی‌های فناورانه را به سه دسته رقابت فردی، سازمانی و فناوری تقسیم کرده است. و سپس آیتم‌های ارزیابی مناسب را برای هر دسته ارائه داده است.

در این قسمت به بیان چند نتیجه‌گیری کلی پیرامون مدل‌های مختلف ارزیابی توانمندی فناوری اشاره می‌شود:

۱. مدل‌های بررسی شده در این قسمت را می‌توان در دو دسته اصلی تفکیک کرد: «مدل‌های ارزیابی توانمندی فناوری» که به تعیین سطح (یا اندازه) توانمندی بالفعل (یا بالقوه) یک کشور (یا بنگاه) در توسعه فناوری می‌پردازند و «مدل‌های ارزیابی فناوری» که یک سطح بالاتر از مدل‌های قبلی بوده و علاوه بر سنجش توانمندی، به تحلیل توانمندی می پردازد. تحلیل توانمندی عبارت است از تعیین سطح مطلوب و آنالیز شکاف برای رسیدن از وضع موجود به وضع مطلوب. مدل پاندا و رامانا‌تان و مدل لیندسی نمونه‌هایی از مدل‌های گروه اول و مدل‌های کوکو، لین و یوان‌دی پی نمونه‌هایی از مدل‌های گروه دوم هستند. آنچه که بیشتر در این تحقیق مورد نیاز برای اولویت‌بندی حوزه‌های فناورانه است، مدل‌های توانمندی فناوری است که به سنجش سطح فعلی و بالقوه و شکاف توانمندی فناوری می‌پردازد.

۲. مدل‌های ارزیابی توانمندی فناوری در سه گروه می‌توانند تقسیم شوند: مدل‌های ارزیابی توانمندی در سطح بنگاه، مدل‌های ارزیابی توانمندی در سطح ملی و مدل‌های قابل کاربرد در هر دو حوزه. مدل لین نمونه‌ای از گروه اول، مدل رقابت صنعتی یونیدو برای نمونه‌ای از گروه دوم هستند. باتوجه به موضوع مورد مطالعه در این تحقیق که ارزیابی توانمندی فناوری صنعت انرژی بادی در سطح ملی است و نیز با توجه به اینکه مدل‌های ویژه‌ی سطح ملی هم در ارزیابی توانمندی فناوری توسعه پیدا کرده‌اند، مدل‌های گروه دوم مناسب هستند.

۳. بخشی از مدل‌های ارزیابی توانمندی فناوری بررسی شده به اندازه‌گیری توانمندی از جنس خروجی (مانند میزان ایجاد و سطح انتشار فناوری‌ها) می‌پردازند، گروهی دیگر به تعیین سطح فرآیندی توانمندی (مانند توانمندی در مدیریت) تمرکز می‌کنند و در نهایت گروهی از مدل‌ها سعی در درنظرگرفتن هر دو نوع معیارهای تعیین اندازه توانمندی بر حسب خروجی و فرآیندی دارند. مدل یو ان دی پی نمونه گروه اول، مدل یونیدو نمونه گروه دوم و مدل لین هم نمونه‌ای از گروه سوم هستند. برای تحقیق حاضر، مدل‌های فرآیندی/خروجی قابلیت استفاده دارند.

۴. روش ارزیابی توانمندی فناوری در مدل‌های بررسی شده به دو صورت کلی است: در گروهی از مدل‌ها مانند مدل کوکو ارزیابی توانمندی به‌معنی اندازه‌گیری آن است. در این مدل‌ها، با مشخص کردن ابعادی برای مفهوم توانمندی، به استخراج شاخص‌هایی در قالب هر بعد پرداخته و سپس با وزن‌دهی میان معیارها، توانمندی نهایی در سطح ملی یا بنگاهی را اندازه‌گیری

48 Value Chain of Activities
49 The Technology Management Audit

می‌کنند. اما در گروه دوم و مدل‌هایی مانند مدل اطلس فناوری، ارزیابی به‌معنی تعیین سطح به‌کار برده می‌شود و با تعیین سطوحی از توانمندی و تعیین جایگاه یک کشور یا بنگاه در آن سطوح پرداخته می‌شود. انتخاب روش مورد استفاده بسته به روش مورد استفاده در تحقیق خواهد بود که در این تحقیق، بر حسب سوال تحقیق، تعیین سطح توانمندی فناورانه کشور در صنعت انرژی بادی مد نظر بوده است.

برای ارزیابی توانمندی فناوری کشور در زنجیره ارزش صنعت انرژی بادی، در ادامه ضمن تشریح روش تحقیق، ارزیابی توانمندی فناورانه ایران و همچنین شکاف فناوری در هر یک از حوزه‌های اصلی توربین‌های بادی تبیین می‌گردد.

۳- روش‌شناسی پژوهش

پژوهش حاضر از حیث نوع کیفی، از منظر هدف کاربردی و استراتژی آن مطالعه موردی می‌باشد که با بررسی گزارش و مستندات و مصاحبه با خبرگان فعال انجام گرفته است. روش گردآوری داده‌ها نیز از طریق پرسشنامه و مصاحبات نیمه‌ساختاریافته با خبرگان این حوزه بوده است. روش تحلیل نیز در ادامه به‌صورت تفصیلی تبیین شده است.

دو سوال اصلی این تحقیق، این است که سطح توانمندی فناورانه کشور در هر یک از حلقه‌های اصلی زنجیره ارزش صنعت توربین‌های بادی به چه میزانی است؟ در صورت وجود شکاف فناورانه در هر یک از حلقه‌های زنجیره ارزش، دلیل شکاف فناورانه چیست؟

برای ارزیابی سطح توانمندی فناورانه در طول زنجیره ارزش صنعت توربین‌های بادی، از ماتریس زیر استفاده گردیده است:

شکل ۲: ماتریس زنجیره ارزش صنعت و سطوح توانمندی فناورانه

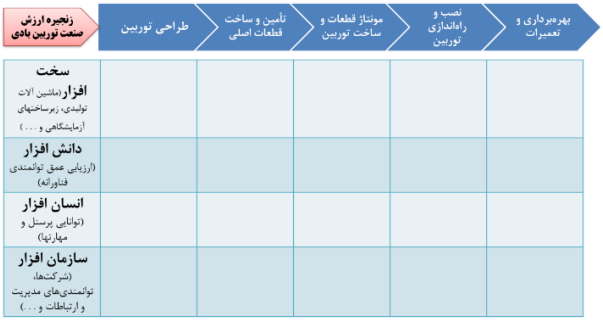
از ماتریس فوق، مشخص است که برای ارزیابی میزان توانمندی کشور در هر یک از قطعات اصلی توربین بادی، از سطوح ارزیابی توانمندی با تعاریف زیر (جدول شماره ۵) استفاده شده است:

جدول ۵: سطوح توانمندی فناوری (Bagheri Moghaddam et al., ۲۰۱۱)

ردیف	سطوح توانمندی	شرح
۱	عدم آگاهی از کاربرد	بی‌اطلاعی و عدم شناخت از پدیده، محصول یا فرآیند.
۲	آگاهی از کاربرد	شناخت از وجود و چگونگی کاربرد
۳	توان استفاده	در این سطح نه تنها آگاهی از کاربردهای محصول وجود دارد، بلکه توان استفاده از آن نیز بالفعل شده است.
۴	توان نگهداری و تعمیرات	در این سطح از قابلیت، امکان نگهداری و تعمیر محصول علاوه بر استفاده از آن وجود دارد و در کشور افراد یا مجموعه‌هایی وجود دارند که می‌توانند محصول مورد استفاده را نگهداری و تعمیر نمایند.
۵	توان مونتاژ	در سطح پنجم از قابلیت فناوری، کشور توان مونتاژ اجزای محصول و ساخت محصول نهایی را دارد که به صورت مونتاژ قطعات نیمه منفصله (S.K.D) یا مونتاژ قطعات منفصله (C.K.D) و یا تولید با مجوز، محقق می‌شود.
۶	توان ساخت با ۱۰۰ درصد کپی طراحی	در این سطح علاوه بر توان مونتاژ، امکان کپی طراحی قطعه مورد نظر نیز از روی نمونه‌های موجود وجود دارد.
۷	توان ساخت با درصدی طراحی بومی	در این مرحله از قابلیت فناوری، توانایی طراحی درونی قطعه با درصدی تغییر در نمونه موجود مطابق با شرایط کشور وجود دارد.
۸	توان ساخت با ۱۰۰ درصد طراحی بومی	در این مرحله از قابلیت فناوری توانایی طراحی درونی قطعه و سپس ساخت آن فراهم شده است. به عبارت دیگر کشور می‌تواند بدون نیاز به کپی برداری از روی نمونه‌های دیگر، قطعه را مستقلاً طراحی و تولید کند.
۹	توان تحقیقات کاربردی	در این حالت علاوه بر توانمندی‌های فوق، قابلیت اجرای تحقیقات کاربردی نیز در کشور وجود دارد.
۱۰	تحقیقات بنیادین	در آخرین سطح از قابلیت فناوری توان تحقیقات بنیادین در مورد فناوری مورد نظر وجود دارد.

به عبارت دیگر، در ادامه این مطالعه، سطوح توانمندی فناورانه هر یک از حلقه‌ها و قطعات اولویت‌دار، سنجیده می‌گردد و وضع موجود و مطلوب کشور در آن حوزه براساس نظرات خبرگان، تعیین می‌گردد.

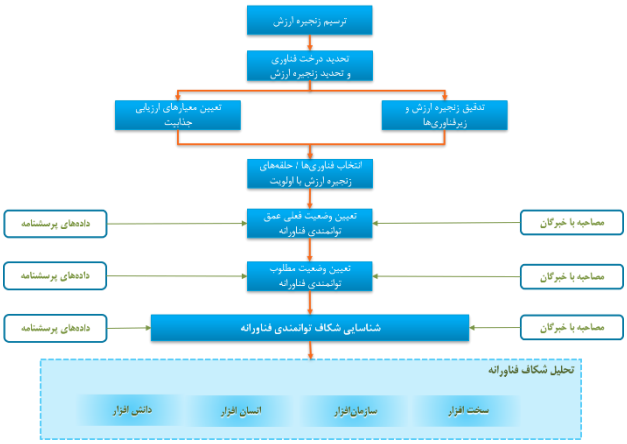
از طرف دیگر، یکی دیگر از پرسش‌های تحقیق، بررسی علل شکاف توانمندی فناورانه در هر یک از حلقه‌های زنجیره ارزش صنعت توربین‌های بادی بوده است که در همین راستا، از ماتریس زنجیره ارزش صنعت توربین‌های بادی و مدل اطلس فناوری بهره‌برداری شده است.



شکل ۳: ماتریس زنجیره ارزش صنعت و ابعاد اطلس فناوری

با شناسایی این دو سطح، شکاف فناورانه کشور هویدا می‌گردد. بدین معنا که مشخص می‌گردد که سطح توانمندی فناورانه کشور در آن فناوری اولویت‌دار، چقدر بوده و سطح مطلوب چقدر باید باشد. سپس باید دلایل این شکاف فناورانه احصا گردد. بدین منظور از مدل اطلس فناوری استفاده گردیده است. با تحلیل اطلس فناوری؛ مشخص می‌گردد که از ابعاد مختلف سخت‌افزار، نرم‌افزار، انسان‌افزار و سازمان‌افزار، دلیل شکاف فناورانه موجود در حلقه زنجیره چیست. با این تحلیل موشکافانه، می‌توان سیاست‌هایی را تدوین نمود تا هر یک از نواقص توانمندی فناورانه رفع گردیده و کشور بتواند طی مدت زمان معینی، حداقلی از سطوح توانمندی‌های مطلوب در هر یک از قطعات اولویت‌دار را به دست آورد.

برای پاسخ به سوالات پژوهش، روند زیر طی گردید:



شکل ۴: روند انجام تحقیق و تحلیل مطالب

- مرحله اول: ترسیم زنجیره ارزش و مشخص کردن محدوده فنی مورد مطالعه: در مرحله اول، پس از ترسیم زنجیره ارزش صنعت نیروگاه‌های بادی، ابتدا ارزیابی اولیه‌ای از زنجیره مطابق با وضعیت موجود کشور صورت پذیرفت و درخت فناوری و زنجیره ارزش محدود گردید. معمولاً در عمده روش‌های ارزیابی فناوری، این نکته ذکر شده است که قبل از مطالعات تفصیلی ارزیابی فناوری، پیش‌ارزیابی یا ارزیابی اولیه‌ای صورت پذیرد تا محدوده تحقیق، تدقیق گردد.
- مرحله دوم: شناسایی بازیگران اصلی در بخش صنعتی: در مرحله دوم، شرکت‌های فعال و بالقوه با پتانسیل در هر یک از قطعات اصلی توربین بادی، به‌صورت میدانی، مورد شناسایی قرار گرفت.
- مرحله سوم: نظرسنجی از خبرگان بخش‌های مختلف صنعتی، دولتی و دانشگاهی: در مرحله سوم، با ارائه لیست این شرکت‌ها به خبرگان موجود و مطرح در این صنعت، سطح توانمندی فناورانه موجود و مطلوب هر کدام از آنها با استفاده از نظرسنجی از آنان استخراج گردید.
- مرحله چهارم: برگزاری پنل خبرگی و تجمیع نظرات: از آنجاییکه، در برخی از موارد میان برخی از صاحبنظران موجود، در پرسشنامه و مصاحبه، در مورد سطح توانمندی فناورانه بالفعل یا بالقوه، اختلاف نظر وجود داشت (که این موضوع از درصدهای جداول ۶ و ۷، قابل استنباط است)، تیم تحقیق سعی نمودند با برگزاری پنل خبرگی با جمع محدودتری از صاحب‌نظران، نسبت به هر مورد به اتفاق نظر دست یابند که جمع‌بندی پیرامون هر مورد به صورت جمع‌بندی پنل خبرگی صورت پذیرفته است.
- مرحله پنجم: تحلیل شکاف فناوری: در این مرحله، فاصله میان وضع موجود توانمندی فناورانه و وضع مطلوب به‌عنوان شکاف فناوری شناخته شده و در مرحله پنجم سعی گردید با استفاده از مدل اطلس فناوری (سخت‌افزار، نرم افزار، انسان‌افزار و سازمان افزار)، دلیل این شکاف به‌صورت موشکافانه مورد پرسش قرار بگیرد و تشریح گردد. لیست خبرگان پرسش‌شونده و مصاحبه‌شونده نیز به صورت نمونه‌گیری غیراحتمالی هدفمند صورت پذیرفت. به این صورت که خبرگانی از صنعت، دانشگاه و دولت که هر یک بالای ۱۵ و ۲۰ سال سابقه فعالیت تخصصی در حوزه توربین‌های بادی مگاواتی بودند، شناسایی شدند و پرسشنامه مذکور میان آنها توزیع گردید و در برخی موارد معدود سعی گردید با مصاحبه، پرسشنامه‌ها تکمیل گردد.

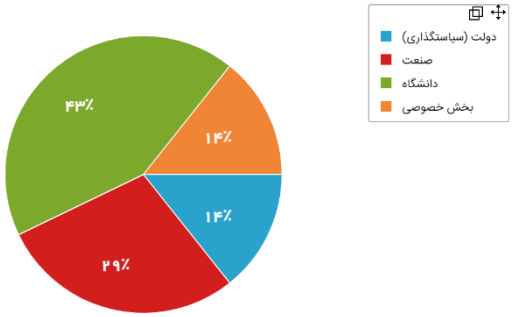
لیست خبرگان پرسش‌شونده و مصاحبه‌شده صنعت توربین بادی به شرح جدول شماره ۶ است:

جدول ۶: خبرگان پرسش‌شونده و مصاحبه‌شونده

خبره	حوزه فعالیت	میزان سابقه	خبره	حوزه فعالیت	میزان سابقه

وزیر اسبق نیرو	دولت	بیش از ۳۰ سال	مشاور پژوهشگاه نیرو	پژوهشگاه	بیش از ۱۰ سال
مدیرعامل اسبق شرکت صبانیرو	صنعت	بیش از ۱۵ سال	رئیس انجمن انرژی‌های تجدیدپذیر	بخش سوم	بیش از ۱۵ سال
مدیر سابق پژوهشکده هواخورشید دانشگاه فردوسی مشهد	دانشگاه	بیش از ۲۰ سال	کارشناس ارشد پژوهشکده هوا خورشید دانشگاه فردوسی مشهد	پژوهشگاه	بیش از ۱۰ سال
رئیس وقت پژوهشکده انرژی و محیط زیست پژوهشگاه نیرو	پژوهشگاه	بیش از ۲۰ سال	پژوهشگر صنعت توربین‌های بادی	دولت	بیش از ۱۰ سال
مدیر مرکز توربین ملی مگاواتی پژوهشگاه نیرو	پژوهشگاه	بیش از ۲۵ سال	پژوهشگر صنعت توربین‌های بادی	پژوهشگاه	بیش از ۱۰ سال
مدیر سابق طرح توربین ملی مگاواتی شرکت مپنا	صنعت	بیش از ۲۰ سال	پژوهشگر صنعت توربین‌های بادی	پژوهشگاه	بیش از ۱۰ سال
رئیس انجمن انرژی بادی	بخش سوم	بیش از ۳۰ سال	پژوهشگر صنعت توربین‌های بادی	صنعت	بیش از ۱۰ سال
مدیر برنامه ریزی ساتبا	دولت	بیش از ۱۵ سال	پژوهشگر صنعت توربین‌های بادی	صنعت	بیش از ۱۰ سال

جنس فعالیت‌های تخصصی پاسخ‌دهندگان در شکل شماره ۵ آورده شده است:



شکل ۵: حوزه‌های فعالیت خبرگان

با انجام مصاحبه‌هایی با برخی از خبرگان مذکور، از آنها در مورد پتانسیل بالفعل و بالقوه شرکت مذکور در زمینه ساخت هر یک از قطعات توربین بادی سوال شد. در انتها از هر یک از آنها خواسته شد تا براساس سطوح توانمندی فناوری، وضعیت کشور (شرکت‌های فعال در آن حوزه) را در تولید هر یک از این قطعات مشخص نمایند. براساس مصاحبه، سطوحی برای توانمندی فناورانه در هر یک از قطعات شناخته شد، سپس پرسشنامه میان تمامی آنان توزیع گردید و نتایج پرسشنامه با نتایج حاصل از مصاحبه، مورد آزمون قرار گرفت. به دلیل اینکه خبرگان موردنظر به‌صورت هدفمند انتخاب گردیده بودند و امکان استفاده از آزمون پارامتری t میسر نبود، از آزمون ناپارامتری علامت یکطرفه ویلکاکسون استفاده گردید. این آزمون برای بررسی همانندی دو نمونه با هم یا یک نمونه با مقداری ثابت در مقیاس‌های رتبه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد. در ادامه به ارائه نتایج حاصل از این مصاحبه‌ها و پرسشنامه‌ها پرداخته می‌شود.

۴- تحلیل داده‌ها و یافته‌های پژوهش

برای ارزیابی توانمندی فناورانه در طول زنجیره ارزش نیروگاه‌های بادی، می‌بایست از زنجیره ارزش این حوزه، شناخت حاصل نمود. در یک شمای کلی، می‌توان، زنجیره ارزش صنعت توربین‌های بادی را به صورت شکل شماره ۶ ترسیم نمود(Ayee et al., 2009):

شکل ۶: زنجیره ارزش صنعت توربین بادی

حلقه‌های اصلی زنجیره ارزش صنعت انرژی بادی، تأمین مواد اولیه، ساخت اجزای اصلی، یکپارچه سازی توربین بادی، حمل و نقل و نصب و راه‌اندازی و بهره برداری است. مواد اولیه لازم برای توربین‌های بادی به‌طور عمده فولاد، چدن، آلومینیوم، فایبرگلاس، فیبرکربن و ،مواد چسبی است. همچنین قطعات اصلی توربین‌های بادی عبارتند از: قطعات مربوط به فونداسیون، برج، ناسل، گیربکس، ژنراتور، هاب، پره، شفت، بلبرینگ‌ها، چرخنده پیچ و یا و سیستم کنترل. در حوزه تولید توربین نیز به توربین‌های بزرگ‌مقیاس متوسط و یا کوچک‌مقیاس قابل تقسیم است. در حوزه نصب و راه‌اندازی هم عمده فعالیت‌های اصلی مرتبط با حمل و نقل، خدمات ژئوتکنیکی، خدمات میکروسایتینگ، خدمات نصب با جرثقیل‌های مقیاسهای مختلف و سپس بهره‌برداری و نگهداری است. بعد از تولید برق نیز یا کاربرد در مقیاس عمومی است، و یا مقیاس صنعتی و یا مقیاس خانگی و یا پروژه‌های فراساحلی(Ayee et al., 2009).

با بررسی میدانی، مهمترین شرکت‌های توانمند بالفعل و بالقوه در حوزه‌های مختلف توربین‌های بادی به شرح جدول شماره ۷ است:

جدول ۷: شرکت‌های بالفعل و بالقوه توانمند در حوزه‌های مختلف توربین بادی

نوع تجهیز	شرکت‌های توانمند بالفعل و بالقوه
طراحی توربین بادی	پژوهشگاه نیرو، پژوهشکده هواخورشید دانشگاه فردوسی مشهد، شرکت صبا نیرو، گروه مپنا
یکپارچه‌سازی توربین بادی	شرکت مهندسی و ساخت ژنراتور مپنا (پارس)، شرکت سدید صبا نیرو
پره	شرکت مهندسی و ساخت ژنراتور مپنا (پارس)، شرکت صبا نیرو، شرکت هواپیما سازی ایران (هسا)
برج	شرکت مهندسی و ساخت تجهیزات سپاهان مپنا، گروه شرکت‌های هامون سازه، لوله و تجهیزات سدید، شرکت سداد ماشین، لوله و ماشین سازی ایران، لوله سازی ماهشهر، لوله سازی اهواز، کارخانجات نوردوپروفیل ساوه، لوله سازی سپاهان، شرکت نورد و لوله صفا، شرکت آذراب، شرکت ماشین سازی اراک،
سیستم کنترل	گروه مپنا، شرکت پرتو سیستم، صبانیرو
هاب	شرکت صنایع فولاد اخگر، شرکت ایرفو، گروه تولیدی متالوژی ماشین سازی اراک، شرکت نوین گدازه مطلق، شرکت مهندسی مرآت پولاد،
گیربکس	شرکت قالب‌های صنعتی سایپا، شرکت ماشین افزار شمس، شرکت تولیدی و صنعتی آلکان ماشین، شرکت طرح نگاشت،
ژنراتور	شرکت مهندسی و ساخت ژنراتور مپنا (پارس)، شرکت توربو ژنراتور، گروه صنعتی فن ژنراتور، شرکت جمکو،
نصب و راه‌اندازی توربین بادی	شرکت نصب نیرو مپنا، قدس نیرو، سرو نیرو توس، سنگ باد بهمن شرق، رامپکو، سپنتا انرژی سپهر، شرکت صبا نیرو.

هدف از این مقاله، تحلیل ارزیابی توانمندی فناورانه قطعات اصلی توربین بادی بزرگ‌مقیاس محور افقی سه پره در کشور، جهت استفاده سیاست‌گذار بابت تدوین سیاست‌های توسعه ساخت داخل آنهاست.

ارزیابی توانمندی فناوری در نصب و راه‌اندازی توربین‌های بادی

برای ارزیابی توانمندی این بخش، به دلیل اینکه نوع فعالیت،

از جنس خدمات است و نه تولید قطعه یا محصول، به‌صورت استثنا برای ارزیابی توانمندی فناورانه سعی گردید از ابعاد اطلس فناوری به‌صورت مستقیم پرسش شود. لذا برای اندازه‌گیری توانمندی فناورانه در این بخش از بعد توانمندی نیروی انسانی و دانش، توانمندی زیرساختی و تجهیزاتی در حوزه نصب و راه‌اندازی و توانمندی زیرساختی و تجهیزاتی در حوزه حمل و نقل، سه سوال مطرح گردید. همچنین درخواست شد براساس خط‌کش لیکرت از صفر تا ۵ نمره‌دهی شود. نتایج در قالب جدول شماره ۸ استخراج گردید:

جدول ۸: ابعاد سطوح توانمندی فناوری حلقه نصب و راه‌اندازی توربین بادی در ایران

عمق توانمندی	توانمندی نیروی انسانی و دانشی	توانمندی زیرساختی و تجهیزاتی در نصب و راه‌اندازی	توانمندی زیرساختی و تجهیزاتی در حمل و نقل تجهیزات
۰	۹,۱	۰	۰
۱	۰	۱۸,۲	۲۵
۲	۱۸,۲	۲۷,۳	۸,۳
۳	۰	۱۸,۲	۲۵
۴	۴۵,۵	۳۶,۴	۴۱,۷
۵	۲۷,۳	۰	۰
مجموع	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰

همانطوری که از نتایج تحقیق در جدول شماره ۹ مشخص است، بالای ۷۰ درصد پاسخ‌دهندگان توانمندی دانشی و نیروی انسانی کشور در نصب و راه‌اندازی توربین بادی را بسیار بالا ارزیابی کرده‌اند. همچنین توانمندی کشور در زیرساخت و تجهیزات نصب و راه‌اندازی توربین‌های بادی، نیز متوسط است. با توجه به اینکه نصب توربین‌های بادی بزرگ‌مقیاس در کشور، نیازمند جرثقیل‌هایی با ابعاد بالاتر از ۵۰۰ تن است، این تحلیل بدان معنی است که این تجهیزات در تعداد محدود در کشور وجود داشته و توان و تجربه استفاده از آن تجهیزات نیز وجود دارد. منتهی در صورت افزایش بازار نیروگاه‌های بادی در کشور، با توجه به محدودیت این تجهیزات زیرساختی، کشور با چالش مواجه خواهد شد.

در حوزه حمل تجهیزات توربین‌های بادی نیز از مجموع نظرات اینطور استنباط می‌گردد که توانمندی کشور متوسط رو به بالا است. این موضوع بدان معنی است که هم جاده‌های کشور تا حدودی مشکل حمل تجهیزات سنگین توربین بادی از قبیل پره و برج را ندارد و هم زیرساخت حمل و نقلی آن از قبیل کشنده‌های تخصصی در کشور موجود است.

براساس مصاحبه‌ها و پرسشنامه‌های ارسالی و تحلیل آنها، این جمع‌بندی حاصل شد که توانمندی فناورانه کشور هم از لحاظ نیروی انسانی و دانشی و هم از لحاظ زیرساختی و تجهیزاتی در نصب و راه‌اندازی توربین بادی، متوسط به بالا ارزیابی می‌شود.

در مورد بقیه قطعات نیز بر اساس مصاحبه نتایج زیر در جدول شماره ۹، حاصل گردید.

جدول ۹: وضعیت سطوح توانمندی فناورانه حوزه‌های اصلی توربین بادی در کشور براساس مصاحبه‌ها

حوزه‌های اصلی	سطح توانمندی فناورانه بالفعل	سطح توانمندی فناورانه بالقوه
یکپارچه‌سازی توربین بادی	توان ساخت با درصدی طراحی بومی	توان ساخت با درصدی طراحی بومی
گیربکس	توان ساخت با درصدی طراحی بومی	توان ساخت با ۱۰۰ درصد طراحی بومی
ژنراتور	توان ساخت با ۱۰۰ درصد طراحی بومی	توان ساخت با ۱۰۰ درصد طراحی بومی
پره	توان مونتاژ	توان ساخت با ۱۰۰ درصد طراحی بومی
سیستم کنترل و پیچ	توان ساخت با ۱۰۰ درصد طراحی بومی	توان ساخت با ۱۰۰ درصد طراحی بومی
برج	توان ساخت با درصدی طراحی بومی	توان ساخت با ۱۰۰ درصد طراحی بومی
هاب	توان ساخت با درصدی طراحی بومی	توان ساخت با ۱۰۰ درصد طراحی بومی

سپس پرسشنامه میان خبرگان توزیع گردید و بر اساس تحلیل پرسشنامه‌ها نتایج زیر حاصل گردیده است که در جداول شماره ۱۰ ارائه گردیده‌اند.

در کاربرد هلالین باید توجه شود که عبارت داخل آن برای توضیحی است که از اجزای جمله محسوب نشده، درصورت حذف خللی به آن وارد نمی‌شود. درمقابل، گیومه برای برجسته کردن جزئی از جمله بکار می‌رود.

جدول ۱۰: فراوانی نظرات خبرگان پیرامون سطوح توانمندی فناورانه حوزه‌های اصلی توربین بادی در ایران

سطح توانمندی فناورانه	یکپارچه‌سازی توربین بادی		گیربکس		ژنراتور	
	بالفعل	بالقوه	بالفعل	بالقوه	بالفعل	بالقوه
تخصصی در این مورد ندارم	۱۶,۶۷	۸,۳	٪۱۶,۷	٪۸,۳	٪۸,۳	٪۸,۳
توان نگهداری و تعمیرات	۸,۳	۸,۳	٪۰	٪۰	٪۱۶,۷	٪۰
توان مونتاژ	۸,۳	۰	٪۸,۳	۱۶,۷ ٪	٪۰	٪۰
توان ساخت با ۱۰۰ درصد کپی طراحی	۰	۸,۳	٪۰	٪۸,۳	٪۰	۱۶,۷ ٪
توان ساخت با	۵۸,۳	۵۰	٪۳۳,۳	۱۶,۷	٪۳۳,۳	۳۳,۳

درصدی طراحی بومی				٪	
توان ساخت با ۱۰۰ درصد طراحی بومی	۰	۱۶,۶۷	٪۸,۳	٪۲۵	٪۲۵
توان تحقیقات کاربردی	۰	۰	٪۱۶,۷	٪۸,۳	٪۸,۳
توان تحقیقات بنیادین	۸,۳	۸,۳	٪۱۶,۷	۱۶,۷ ٪	٪۸,۳
مجموع	۱۰۰	۱۰۰	٪۱۰۰	٪۱۰۰	٪۱۰۰

ادامه جدول ۱۱: فراوانی نظرات خبرگان پیرامون سطوح توانمندی فناورانه حوزه‌های اصلی توربین بادی در ایران

سطح توانمندی فناورانه	پره		سیستم کنترل و پیچ	
	بالفعل	بالقوه	بالفعل	بالقوه
تخصصی در این مورد ندارم	٪۱۳,۳	۱۶,۷ ٪	٪۱۶,۷	٪۱۶,۷
توان نگهداری و تعمیرات	٪۰	٪۰	٪۰	٪۰
توان مونتاژ	٪۲۰	٪۰	٪۸,۳	٪۰
توان ساخت با ۱۰۰ درصد کپی طراحی	٪۲۰	٪۰	٪۸,۳	٪۰
توان ساخت با درصدی طراحی بومی	٪۱۳,۳	۱۶,۷ ٪	٪۱۶,۷	٪۲۵
توان ساخت با ۱۰۰ درصد طراحی بومی	٪۲۰	٪۵۰	٪۳۳,۳	٪۴۱,۷
توان تحقیقات کاربردی	٪۶,۳	٪۸,۳	٪۸,۳	٪۸,۳
توان تحقیقات بنیادین	٪۶,۷	٪۸,۳	٪۸,۳	٪۸,۳
مجموع	٪۱۰۰	٪۱۰۰	٪۱۰۰	٪۱۰۰

ادامه جدول ۱۲: فراوانی نظرات خبرگان پیرامون سطوح توانمندی فناورانه حوزه‌های اصلی توربین بادی در ایران

سطح توانمندی فناورانه	برج		هاب	
	بالفعل	بالقوه	بالفعل	بالقوه
تخصصی در این مورد ندارم	٪۸,۳	٪۸,۳	٪۱۶,۷	۱۶,۷ ٪
توان نگهداری و تعمیرات	٪۰	٪۰	٪۰	٪۰
توان مونتاژ	٪۰	٪۰	٪۸,۳	٪۰
توان ساخت با ۱۰۰ درصد کپی طراحی	٪۸,۳	٪۸,۳	٪۸,۳	٪۸,۳
توان ساخت با درصدی طراحی بومی	٪۴۱,۷	۱۶,۷ ٪	٪۳۳,۳	۱۶,۷ ٪
توان ساخت با ۱۰۰ درصد طراحی بومی	٪۲۵	٪۵۰	٪۱۶,۷	۴۱,۷ ٪
توان تحقیقات کاربردی	٪۸,۳	٪۸,۳	٪۸,۳	٪۸,۳
توان تحقیقات بنیادین	٪۸,۳	٪۸,۳	٪۸,۳	٪۸,۳
مجموع	٪۱۰۰	٪۱۰۰	٪۱۰۰	٪۱۰۰

جدول شماره ۱۰، نمایان‌کننده میزان فراوانی نظرات خبرگان و متخصصین مختلف بابت تعیین وضعیت بالفعل و بالقوه توانمندی فناورانه در هر یک از حوزه‌های اصلی توربین بادی است. از آنجایی‌که در برخی از قطعات، به‌طور ملموس و دقیق مشخص نبود که توانمندی فناورانه در حوزه موردنظر در چه سطحی است. لذا در ادامه با استفاده از آزمون ناپارامتری علامت یکطرفه ویلکاکسون، مورد سنجش دقیق‌تر قرار گرفت. بدین صورت که میانگین نظرات خبرگان در پرسشنامه با استخراج شده در مصاحبه‌ها مورد آزمون قرار گرفت. برای همین منظور نتایج زیر حاصل گردید:

جدول ۱۳: نتایج تحلیل آزمون ناپارامتری علامت یکطرفه ویلکاکسون

ردیف	فرض صفر	نتیجه	تصمیم	ردیف	فرض صفر	نتیجه	تصمیم
۱	توانمندی فعلی یکپارچه‌سازی توربین بادی = سطح ۶	۰,۲۸۸	تایید فرض صفر	۹	توانمندی فعلی سیستم کنترل = سطح ۷	۰,۰۵۶	تایید فرض صفر
۲	توانمندی بالقوه یکپارچه‌سازی توربین بادی = سطح ۶	۰,۳۰۵	تایید فرض صفر	۱۰	توانمندی بالقوه سیستم کنترل = سطح ۷	۰,۷۷۴	تایید فرض صفر
۳	توانمندی فعلی گیربکس = سطح ۶	۱	تایید فرض صفر	۱۱	توانمندی فعلی هاب = سطح ۶	۰,۴۰۳	تایید فرض صفر
۴	توانمندی بالقوه گیربکس = سطح ۷	۰,۰۷۷	تایید فرض صفر	۱۲	توانمندی بالقوه هاب = سطح ۷	۰,۹۳۱	تایید فرض صفر
۵	توانمندی فعلی ژنراتور = سطح ۷	۰,۰۴۱	رد فرض صفر	۱۳	توانمندی فعلی برج = سطح ۶	۰,۰۲۱	رد فرض صفر
۶	توانمندی بالقوه ژنراتور = سطح ۷	۰,۱۹۸	تایید فرض صفر	۱۴	توانمندی بالقوه برج = سطح ۷	۰,۷۴۸	تایید فرض صفر
۷	توانمندی فعلی پره = سطح ۴	۰,۰۰۱	رد فرض صفر				
۸	توانمندی بالقوه پره = سطح ۷	۰,۵۵۸	تایید فرض صفر				

همانطوری که در جدول شماره ۱۱، از نتایج آزمون مشخص است، فرض برابری میانگین نظرات خبرگان در پرسشنامه با میزان مشخص شده در مصاحبه‌ها رد نشده و مورد قبول واقع شده است. تنها در موارد سطح بالفعل توانمندی فناورانه ژنراتور، پره و برج از نظر این تست رد گردید. لذا براساس خروجی نرم افزار مشخص گردید که سطح بالفعل توانمندی فناورانه قطعات

مذکور باید اصلاح گردد. مجددا با اصلاح آنها، آزمون مجدد گرفته شد و نتایج زیر حاصل گردید:

جدول ۱۴: نتایج تحلیل مجدد آزمون ناپارامتری علامت یکطرفه ویلکاکسون

ردیف	فرض صفر	نتیجه	تصمیم
۱	توانمندی فعلی ژنراتور = سطح 6	0.718	تایید فرض صفر
۲	توانمندی فعلی پره = سطح 6	0.4	تایید فرض صفر
۳	توانمندی فعلی برج = سطح 7	0.212	تایید فرض صفر

بدین‌ترتیب حسب تحلیل‌های فوق، می‌توان جمع‌بندی سطوح توانمندی فناورانه حوزه‌های اصلی توربین بادی را به شرح جدول شماره ۱۳ دانست:

جدول ۱۵: وضعیت نهایی سطح توانمندی فناورانه حوزه‌های توربین بادی

حوزه‌های اصلی	سطح توانمندی فناورانه بالفعل	سطح توانمندی فناورانه بالقوه
یکپارچه‌سازی	توان ساخت با درصدی طراحی	توان ساخت با درصدی طراحی بومی
توربین بادی	بومی	
گیربکس	توان ساخت با درصدی طراحی بومی	توان ساخت با ۱۰۰ درصد طراحی بومی
ژنراتور	توان ساخت با درصدی طراحی بومی	توان ساخت با ۱۰۰ درصد طراحی بومی
پره	توان ساخت با درصدی طراحی بومی	توان ساخت با ۱۰۰ درصد طراحی بومی
سیستم کنترل و پیچ	توان ساخت با ۱۰۰ درصد طراحی بومی	توان ساخت با ۱۰۰ درصد طراحی بومی
برج	توان ساخت با ۱۰۰ درصد طراحی بومی	توان ساخت با ۱۰۰ درصد طراحی بومی
هاب	توان ساخت با درصدی طراحی بومی	توان ساخت با ۱۰۰ درصد طراحی بومی

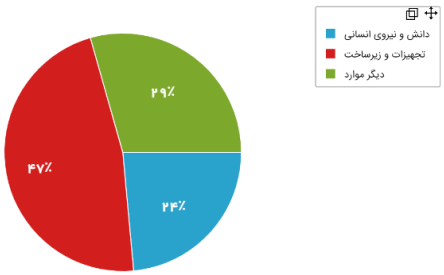
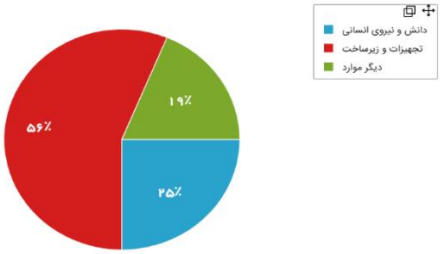
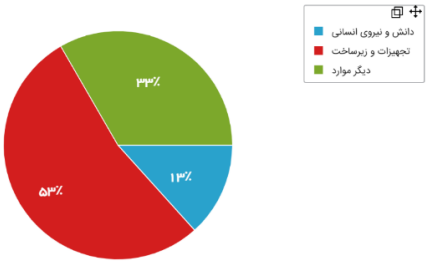
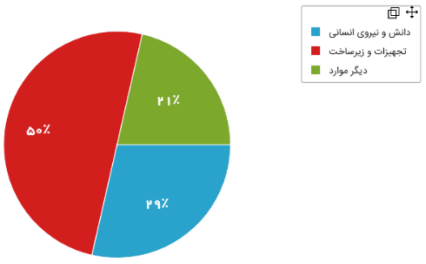
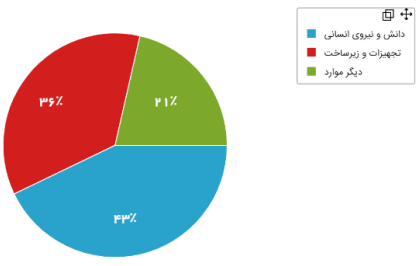
در راستای موارد فوق، موارد عنوان شده در مصاحبه‌ها و پرسشنامه‌ها بابت شکاف فناورانه در هر یک از موارد مذکور، به صورت جدول شماره ۱۴ جمع‌بندی شده است:

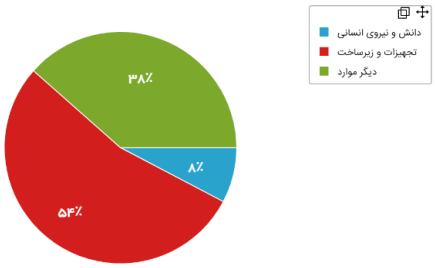
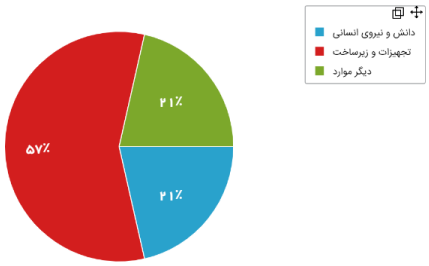
جدول ۱۶: دلایل شکاف فناورانه حوزه‌های اصلی توربین بادی در ایران

حوزه	یکپارچه‌سازی توربین بادی
دلایل شکاف فناورانه	عدم حمایت دولت عدم توجیه‌پذیری سرمایه‌گذاری در این حوزه به دلیل قیمتهای پایین انرژی و فقدان رقابت عادلانه میان نیروگاه‌های بادی و فسیلی سیاست‌های بازار بازیگران اصلی کمبود تجهیزات آزمایشگاهی و تست کمبود بودجه برای توسعه دانش عدم وجود تقاضا در بازار سیاستهای نامناسب تشویقی و حمایتی ساخت داخل عدم اعتماد به توانمندی‌های بومی در طراحی و تولید داخل عدم وجود عزم و صبر جدی در مدیران بالادستی عدم توانایی در خرید تجهیزات و قطعات با کیفیت به دلیل تحریم عدم اجرای قوانین حمایتی توسط سازمان‌های مسئول کارشکنی صنایع بزرگ در این حوزه و عدم ایجاد فضای پیشرفت برای مجموعه های کوچکتر دانشی و فناورانه عدم وجود تشکل‌های علمی کارآمد جهت رصد علمی این بخش و جریان‌سازی
حوزه	**گیربکس**
دلایل شکاف فناورانه	عدم توجیه‌پذیری سرمایه‌گذاری در این بخش عدم وجود تقاضای واقعی و بازار قابل اتکا عدم وجود امکانات زیرساختی مانند دستگاه سنگ زنی با دقت بالا عدم تامین بودجه تحقیقات و توسعه فناوری عدم توجیه اقتصادی ساخت داخل به دلیل عدم رعایت سیاستهای ساخت داخل متالورژی نقطه اصلی ضعف این بخش است. عدم وجود سرمایه لازم برای تامین تجهیزات تست عدم وجود توجه کافی برای توسعه دانش طراحی نبود دوره‌های آموزشی لازم جهت نیروی انسانی کارآزموده محدودیتهای اقتصادی در تولید گیربکسهای توربین بادی (به دلیل عدم وجود بازار و رقابت پذیری با شرکتهای آلمانی و ترکی) محدودیتهای ابزار دقیق در ساخت قطعات مربوطه
حوزه	**ژنراتور**
دلایل شکاف فناورانه	مقیاس تولید پایین که باعث عدم توجیه‌پذیری اقتصادی برای سرمایه‌گذاری در این حوزه می‌گردد. نبود زیرساخت تست تجهیزات کمبود بودجه توسعه فناوری عدم وجود تقاضای بازار

	عدم توجیه اقتصادی ساخت داخل به دلیل عدم رعایت سیاستهای ساخت داخل کمبود وجود نیروی انسانی ماهر و کارآزموده در تولید ژنراتورهای مغناطیس دائم، کمبود متریال اولیه بسیار جدی است. عدم هزینه‌کرد مناسب جهت یادگیری تجربیات جهانی کمبود تیمهای تخصصی طراحی و ساخت نمونه اولیه عدم توانایی خرید لوازم و قطعات مورد نیاز به دلیل تحریم نبود تجربه همکاری با تیمهای مجرب اروپایی و آلمانی نبود دوره‌های آموزشی لازم جهت نیروی انسانی کارآزموده عدم اقتصادی بودن تولید مگنت در ایران
حوزه	**پره**
دلایل شکاف فناورانه	کمبود سفارش کافی برای محصول نیازمند آموزش نیروی انسانی ماهر کمبود زیرساخت تست پره برای طولهای بلند پره نیاز به تحقیقات در کامپوزیت و مواد تولید پره در کشور انجام می شود. طراحی قابل انجام است. حتی ساخت قالب و طراحی فرایند مکش در خلاء در کشور وجود دارد، لکن به علت تولید کم و زمان بر بودن فرایندهای ساخت قالب و آزمون های تأییدیه نمونه اول با دانش بومی تولید نمی شوند. امکان بومی سازی الیاف و رزین مصرفی هم خارج از تصور نیست. عدم اقتصادی بودن ساخت و فرمولاسیون پلیمر زمینه و چسب عدم ورود صنایع بافندگی الیاف شیشه و کربن در داخل کشور جهت تامین الیاف مورد نیاز با آهار مناسب عدم وجود تجهیزات هسته و فومی مورد استفاده در ساخت توربین بادی عدم وجود ازمایشگاه مرجع در حوزه صحه‌گذاری قابلیت عملکردی کلیه تجهیزات توربین بادی
حوزه	**سیستم کنترل و پیچ**
دلایل شکاف فناورانه	عدم باور در مصرف‌کنندگان به طراحان و تولیدکنندگان نرم‌افزارهای داخلی عدم وجود تقاضا و بازار پایدار عدم وجود زیرساخت آزمایشگاهی، کمبود وجود نمونه‌های آزمایشگاهی کمبود بودجه تحقیقات و توسعه فناوری برای تجهیزات سخت‌افزاری قطعات الکترونیک، وابستگی به خارج وجود دارد. عدم هزینه‌کرد لازم برای تربیت نیروی انسانی متخصص دانش آن در کشور وجود دارد و تنها تجهیزات خارجی است . چون قدرت پردازنده بسیار بالا لازم دارد. صرفا نیاز به بودجه است و بقیه توانمندیها در کشور وجود دارد.
حوزه	**برج**
دلایل شکاف فناورانه	بسیار معتقدند شکافی فناورانه در این بخش وجود ندارد و کشور توانمندی کاملی دارد. عدم وجود تقاضا و بازار کمبود بودجه توانمندی کامل طراحی و ساخت وجود دارد و تنها فلنجها وارداتی هستند که آن نیز به دلیل اقتصاد مقیاس است. فولادهای مناسب نداریم. تجهیزات ساخت اندک است.
حوزه	**هاب**
دلایل شکاف فناورانه	فناوری کامل در کشور موجود است و تنها تیراژ تولید پایین است. زیرساخت ریخته‌گری هاب با ظرفیت ریخته‌گری بالا محدود است. کمبود تقاضا عدم توجیه اقتصادی در تولید با تعداد کم در مدل‌سازی دقیق ریخته‌گری محدودیت وجود دارد.

شکل ۷: نمودار وضعیت شکاف فناورانه در هر یک از حوزه‌های اصلی توربین بادی

حوزه	یکپارچه‌سازی توربین بادی
دلایل شکاف فناورانه	
حوزه	گیربکس
دلایل شکاف فناورانه	
حوزه	ژنراتور
دلایل شکاف فناورانه	
حوزه	پره
دلایل شکاف فناورانه	
حوزه	سیستم کنترل و پیچ
دلایل شکاف فناورانه	
حوزه	برج

دلایل شکاف فناورانه	
حوزه	هاب
دلایل شکاف فناورانه	

۵- بحث و پیشنهادهای پژوهش

۵-۱- تحلیل شکاف فناورانه در یکپارچه‌سازی (مونتاژ) توربین بادی

در این رابطه، ۲ شرکت صبانیرو و مپنا در کشور تجربه دارند. شرکت صبانیرو که سال‌هاست در این حوزه فعالیتی نداشته و البته درصورت داشتن تقاضا، درصدد بازگشت به بازار این حوزه در ایران است. شرکت مپنا نیز از اوایل دهه ۹۰ وارد ساخت توربین‌های ۲,۵ مگاواتی گردید که در سال‌های اخیر فعالیت بر روی توربین‌های ۴,۳ مگاواتی را نیز آغاز کرده است. بنا به نظر متخصصین و کارشناسان، توان بالفعل و بالقوه کشور در این حوزه، توان ساخت با درصدی طراحی بومی است. این موضوع بدان سبب است که توربین‌های ساخت شرکت صبانیرو که برای دهه ۷۰ و ۸۰ است، با اخذ لیسانس از شرکت وستاس دانمارک بوده است. پس از آن، شرکت صبانیرو در افزایش عمق توان فناورانه بابت طراحی آن توربین‌ها فعالیتی صورت نداده بود. همچنین توربین‌های ۲,۵ مگاواتی ساخت شرکت مپنا، با همکاری شرکت‌های آلمانی صورت پذیرفته است که حین این فرایند نیز ساخت توربین‌ها با استفاده از طراحی‌های شرکت‌های آلمانی صورت می‌پذیرد. هرچند که شرکت مپنا با استفاده از شرکت‌های زیرمجموعه خود، تا حدودی نسبت به تغییرات طراحی اصلی توربین‌های وارداتی تلاش‌هایی را کرده است، ولی تاکنون درباره ارائه طراحی کاملاً بومی، موردی را به بازار معرفی نکرده است.

تحلیل شکاف فناورانه در گیربکس

اغلب توربین‌های موجود در بازار دارای گیربکس هستند. شرکت‌هایی از قبیل آلکان ماشین، طرح نگاشت، شرکت قالب‌های صنعتی سایپا جزو شرکت‌های توانمند داخلی در زمینه ساخت گیربکس توربین بادی هستند. در مصاحبه‌ها و پرسشنامه‌ها، همگی به این نکته اذعان داشتند که در صورت وجود تقاضا می‌توانند در ظرف ۴ سال به توانمندی سطح بالقوه خود برسند. تنها عامل عدم ساخت این قطعه را در عدم تجربه دانستند. آنها بیان داشتند که در صورت تقاضای گیربکس‌های توربین‌های بزرگ‌مقیاس، توانمندی تأمین تجهیزات و نرم‌افزارهای لازم جهت ساخت این قطعه را دارند. تنها مشکل، عدم توان در ساخت چرخ‌دنده خورشیدی موردنیاز در گیربکس‌های بزرگ‌مقیاس است که این موضوع نیز به ماشین تراشکاری با ابعاد بالاتر از ۱,۵ متر نیاز است. همچنین تمام این کارشناسان به وجود نیروی انسانی متخصص و توانمند در زمینه ساخت گیربکس در کشور اذعان داشتند.

تحلیل شکاف فناورانه در ژنراتور

با توجه به وجود شرکت‌های توانمند در زمینه ژنراتورسازی (مانند مکو، فن‌ژنراتور و . . .)، ساخت ژنراتورهای توربین بادی کار مشکلی به نظر نمی‌رسد. در مصاحبه‌ها و پرسشنامه‌ها، همگی به این نکته اذعان داشتند که در صورت وجود تقاضا می‌توانند در ظرف ۴ سال به توانمندی سطح بالقوه خود برسند. تنها عامل عدم ساخت این قطعه را در عدم تجربه دانستند. آنها بیان داشتند که در صورت تقاضای ژنراتورهای مگاواتی توانمندی تأمین تجهیزات و نرم‌افزارهای لازم جهت ساخت این قطعه را دارند.

همچنین تمام این کارشناسان به وجود نیروی انسانی متخصص و توانمند در زمینه ساخت ژنراتور در کشور اذعان داشتند.

تحلیل شکاف فناورانه در پره

یکی از قطعات مشکل و در عین حال فناوری بالای توربین بادی، پره‌های این نوع توربین است که به دلیل استفاده از مواد کامپوزیتی و تجهیزات خاص، توانمندی تولید ۱۰۰ درصد بومی این محصول در ایران وجود ندارد.

امروزه در ساخت پره روتور از کامپوزیت‌های گوناگونی استفاده می‌شود که در ترکیب لایه داخلی مورد استفاده قرار می‌گیرند. کامپوزیت‌ها را از الیاف شیشه می‌سازند. با افزایش سایز توربین طول پره بیشتر شده و کامپوزیت‌های منعطف‌تری که نسبت به شکست مقاومت بالاتری دارند، مورد استفاده قرار می‌گیرند. به علت نیروهای گوناگون، خستگی در مواد کامپوزیتی بسیار بالاست. فوم داخلی پرکننده پره از اجزاء هایتک به حساب می‌آید. از دیگر فناوری‌های اصلی در پره توربین بخش ریشه یا روت جوینت[۵۰] است که شامل اتصال بخش کامپوزیتی به بخش فلزی است که به خاطر عدم تجانس این دو جنس از یک سو و نیز تمرکز انواع نیروهای وارد بر پره در این نقطه، پیچیدگی‌های خاص خود را داراست. فناوری نوک پره یا از بخش‌های با فناوری بالای پره است. طراحی مناسب این بخش تأثیر به‌سزایی در کاهش صدای مزرعه بادی دارد.

با انجام مصاحباتی با کارشناسان و متخصصین به این نکته اذعان شد که در حال حاضر یکی از مهمترین قطعاتی که کشور در تولید آن با مشکل مواجه است، پره توربین بادی است. طراحی پره، ساخت و تأمین مواد اولیه (مانند پری‌پرگ) و ساخت روت-جوینت را مشکل‌ترین بخش تولید این محصول دانسته است.

تحلیل شکاف فناورانه در سیستم کنترل و پیچ

سیستم کنترل و پیچ توربین بادی از چند بلوک پردازنده و کنترل‌کننده عملکرد توربین بادی تشکیل شده است. مهمترین بخش از سیستم کنترل و پیچ توربین بادی، پردازنده اصلی این قطعه است که بر فرآیند تولید توربین بادی نظارت می‌کند. سایر بلوک‌های این سیستم عبارتند از: سیستم Vog، سیستم Watchdog، سیستم Watchdog rcc، سنسورهای تولید، سیستم اسکادا (SCADA).

طراحی این سیستم مهمترین بخش از تولید این قسمت از توربین بادی است، به طوریکه در فرآیند طراحی این سیستم پنج مرحله وجود دارد که شامل موارد زیر است: طراحی سیستم کنترل مطابق با مدل توربین، طراحی حلقه‌های کنترلی (نرم‌افزارهای مربوطه)، شبیه‌سازی نرم‌افزار، اعتبارسنجی، پیاده‌سازی نرم‌افزارها روی PLCها و طراحی پروتکل.

در فرآیند ساخت سیستم کنترل و پیچ مشکلی وجود ندارد، به‌طوریکه در راه تأمین قطعات نیز مشکلی وجود ندارد. درخصوص سیستم کنترل و پیچ و یا توربین بادی، این نکته قابل ذکر است که با توجه به وجود کدهای برنامه‌نویسی پیشرفته‌ای که در این قطعه استفاده شده است، طراحی بومی این محصول راحت‌تر از کپی از نمونه مشابه خارجی است.

تحلیل شکاف فناورانه در برج

از آنجایی که بخش اصلی یک توربین یعنی ناسل، که شامل سیستم انتقال قدرت و تولید انرژی است، بر روی برج قرار می‌گیرد، لذا باید رابطه متقابل این دو بخش به دقت مورد توجه قرار گیرد. نیروهای تناوبی و یا متغیر اعمال شده به پره خود مهم ترین عامل جهت تحریک برج به شمار می‌رود. انواع برج‌های توربین از نظر جنس به سه گروه تقسیم می شوند: برج‌های بتنی، فلزی و هیبریدی.

از آنجایی‌که عملیات بتن‌ریزی و تهیه قالب‌ها از لحاظ اقتصادی و فنی چندان توجیه‌پذیر نیست و کمتر مورد استفاده قرار گرفته است. برج‌های فلزی به دو گروه تقسیم می‌شوند: برج‌های پوسته‌ای و برج‌های خرپایی.

تجربه نشان داده است که سازه‌های پوسته‌ای با شکل مخروطی دارای بهترین خصوصیات جهت تحمل نیروهای وارد بر آن و انتقال نیروها به زمین هستند. جهت ایجاد چنین سازه‌ای ابتدا پوسته‌هایی به شکل مخروط ناقص به روش نورد ۵ ساخته می‌شوند. سپس این قطعات به‌وسیله اتصالات پیچ و مهره‌های بهم متصل می‌شوند. پیشتر که «تبدیل» ساخت قطعاتی به شکل مخروط ناقص امکان‌پذیر نبود، لوله‌هایی با چندین قطر متفاوت بهم متصل می‌شدند.

سازه‌های خرپائی وزن کمی در مقایسه با سازه‌های پوسته‌ای دارند. ولی یکی از مشکلات این سازه مسئله برخورد پره با سازه است. راهکاری که برای حل این مسئله در برج‌های پوسته‌ای و خرپائی وجود دارد، طویل‌تر کردن ناسل است. به‌طوری‌که صفحه دوران پره از برج فاصله بگیرد.

به دلیل محاسن فراوان سازه‌های پوسته‌ای به‌خصوص از نظر ایمنی در رفت و آمد پرسنل جهت تعمیرات و همچنین هزینه‌های تعمیر و نگهداری کمتر، امروزه اغلب توربین‌های

50 - root joint

تجاری سایز بزرگ از برج‌های پوسته‌ای بهره می‌برند.

جهت ایجاد سازه‌ای مانند برج ابتدا پوسته‌هایی به شکل مخروط ناقص ساخته می‌شوند. سپس این قطعات به‌وسیله اتصالات پیچ و مهره‌های بهم متصل می‌شوند. پیشتر که تبدیل ساخت قطعاتی به شکل مخروط ناقص امکان‌پذیر نبود، لوله‌هایی با چندین قطر متفاوت بهم متصل می‌شدند.

از آنجایی که برج دارای طول زیادی است، معمولاً آن را به‌صورت چند تکه و مخروطی می‌سازند تا حمل و راه‌اندازی آن راحت‌تر باشد.

دو قطعه مهم در ساخت برج توربین بادی وجود دارد که با توجه به توانمندی کشور، توانایی ساخت آن در کشور وجود دارد. مهمترین این قطعات فلنج ورق و ورق مورداستفاده در ساخت برج است. در ساخت فلنج به‌نظر می‌رسد قطعه‌ای استاندارد است و در فرآیند ساخت آن مشکلی وجود ندارد. فلنج در ابعاد کوچک در داخل ایران ساخته می‌شود. از مشخصات تولید این قطعه را می‌توان به تولید آن به روش رولینگ اشاره کرد (ریخته‌گری نمی‌شود)، همچنین قطر این قطعه در حدود ۳ متر است و کاملا بدون درز است. ورق‌هایی که در ساخت برج مورد استفاده واقع می‌شوند، دارای عرض ۲/۵ متر هستند. می‌توان گفت که تأمین ورق توسط کارخانه‌های داخل کشور صورت می‌پذیرد.

طبق نظر کارشناسان و متخصصان حوزه ساخت برج، این نتیجه را می‌توان گرفت که کشور در زمینه ساخت برج توربین بادی توانمندی قابل توجهی را داراست. کشور به‌صورت بالفعل در زمینه ساخت این قطعه در سطح «ساخت با درصدی طراحی بومی» قرار دارد، ولی به‌طور بالقوه می‌تواند طی ۵ سال آتی به توان «ساخت با ۱۰۰ درصد طراحی بومی» این برسد. لازم به ذکر است که هرچه مقیاس توربین بادی بالاتر رود، ابعاد ورق افزایش می‌یابد. در واقع اگر امکانات و تجهیزات وجود داشته باشد، هیچ مشکلی درتولید برج در داخل کشور وجود نخواهد داشت، تنها مشکل در تولید برج مشکل تجهیزات است.

تحلیل شکاف فناورانه در هاب

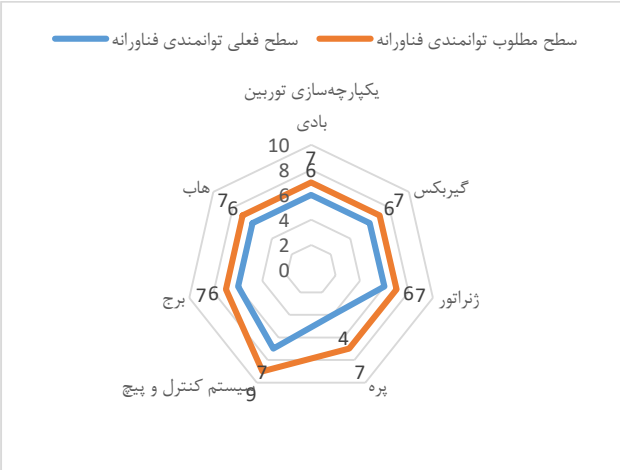
هاب یا توپی توربین بادی، کار اتصال پره های توربین بادی را به محور اصلی برعهده دارد. از لحاظ بارگذاری مکانیکی هیچ یک از قطعات توربین به اندازه هاب تحت بارگذاری های متعدد و پیچیده در عین حال سنگین نیستند. در صورتیکه در ساخت هاب از روش‌های ریخته گری استفاده می گردد، بهتر است ریخته‌گری دقیق صورت پذیرد. البته این روش هزینه‌های ساخت را به‌خصوص برای تعداد تولید کم، به نحو چشمگیری بالا می برد. در صورت استفاده از سایر فرایندهای تولید همچون جوشکاری، ماشین‌کاری، عملیات حرارتی و غیره نیز بایست تست‌های عیب‌یابی به‌طور کامل صورت پذیرد.

همانند برج توربین بادی، با توجه به توانمندی ریخته‌گری کشور، می‌توان گفت که در فرآیند ساخت هاب توربین بادی، مشکلی پیش روی ساخت این قطعه وجود ندارد. شرکت‌هایی از قبیل صنعت بیشه، گروه ماشین‌سازی اراک و شرکت آذراب توانمندی ساخت این قطعه از توربین بادی را دارند.

در حال حاضر توانمندی ساخت هاب توربین بادی به‌طورکامل در ایران وجود دارد.

طبق مصاحبه‌ها و پرسشنامه‌ها، می‌توان گفت که در حال حاضر تولید این قطعه در کشور میسر است و کشور توانمندی ساخت این قطعه را در هر سایزی از توربین بادی را داراست. لازم به ذکر است که اگر سایز توربین بادی بالا رود، جهت تولید هاب آن به کوره‌های بالاتر از ۳ تن نیاز است، که این نوع از کوره‌ها نیز در کشور موجود است.

در مجموع متناسب با ارزیابی توانمندی فناوری زنجیره ارزش و قطعات اصلی توربین‌های بادی مقیاس‌بزرگ محور افقی سه پره، می‌توان گفت با توجه به تجربیات دهه اخیر در کشور، تا حدودی توانمندی‌های فناورانه این حوزه در کشور شکل گرفته است. همانطوری که از نمودار شکل شماره ۸ قابل مشاهده است، در عمده بخش‌های این صنعت توان فناورانه فعلی کشور به غیر از پره، توان فناوری در سطح «توان ساخت با درصدی طراحی بومی» و توان بالقوه آن‌ها نیز «توان ساخت با ۱۰۰درصد طراحی بومی» است. در مورد پره نیز به دلایل خاص دانشی، مواد اولیه و سخت‌افزاری، توان فعلی فناورانه «توان مونتاژ» و «توان ساخت با درصدی طراحی بومی» و توان بالقوه آن نیز «توان ساخت با ۱۰۰درصد طراحی بومی» است.



شکل ۸: توانمندی فناورانه حوزه‌های اصلی توربین بادی مگاواتی

در واقع، به‌زعم عمده صاحب‌نظران و متخصصین، در بیشتر از حوزه‌های اصلی این صنعت، مشکل نیروی انسانی تحصیل‌کرده کمتر وجود دارد و عمده چالش منابع انسانی این حوزه، کمبود تجربه و مهارت آنها است که به دلیل کوچک بودن این بازار و به تبع آن کم بودن بازیگران صنعتی در کشور است. همچنین چالش فناورانه مشترک میان بسیاری از حوزه‌های اصلی این صنعت را می‌توان «کمبود بازار انبوه»، «کمبود توجیه اقتصادی تولید محدود قطعات»، «کمبود تجهیزات تست و آزمایشگاهی»، «کمبود بودجه تحقیق و توسعه در صنایع، دانشگاه‌ها و پژوهشگاه‌های کشور» و در برخی از موارد «کمبود ماشین‌آلات ساخت» دانست. البته علت اصلی کمبود بازار انبوه و کمبود توجیه اقتصادی تولید محدود قطعات نیز به پایین بودن قیمت حامل‌های انرژی و البته فقدان صادرات در این حوزه است. به‌نظر می‌رسد این موضوعات لاینحل نبوده و با ارائه سیاست‌های مناسب قابل رفع است. به‌عنوان نمونه، می‌توان برخی از دلالت‌های سیاستی ناشی از شناسایی چالش‌های اصلی و شکاف فناورانه موجود را موارد زیر دانست:

- ایجاد بازار پایدار و با ثبات احداث نیروگاه‌های بادی با استفاده از سیاست‌های تحریک طرف تقاضا با استفاده از سیاست‌های زیر:
  - حمایت از ورود صنایع بزرگ کشور (از قبیل صنایع فولاد، پتروشیمی، مس، آلومینیوم، سیمان و . . .) به سرمایه‌گذاری در ساخت سامانه‌ها و تجهیزات تجدیدپذیر؛
  - هماهنگی تعرفه‌ها و عوارض گمرکی تجهیزات تجدیدپذیر وارداتی با سیاست‌های تشویقی وزارت نیرو و سیاست‌های شرکت‌های دانش بنیان معاونت علمی و فناوری ریاست جمهوری متناسب با سطح بومی‌سازی و ظرفیت کارخانجات داخلی در کشور با تمرکز بر ایجاد فضای رقابتی و ارتقای کیفیت محصولات؛
  - تدوین و اجرایی‌سازی مگاپروژه‌های بادی و خورشیدی در ابعاد بالاتر از ۱۰۰ مگاوات جهت ترغیب سرمایه‌گذران و صنایع بزرگ جهانی به ورود به بازار ایران با هدف بومی‌سازی.
- بازنگری سیاست‌های تشویق ساخت داخل مانند بهبود دستورالعمل حمایت از بومی‌سازی فناوری نیروگاه‌های تجدیدپذیر ابلاغی از سوی وزیر محترم نیرو در سال ۱۳۹۷ با اصلاح موارد زیر:
  - متناسب‌سازی دستورالعمل با ارزش بومی‌سازی شده تجهیزات نیروگاه‌های بادی؛
  - سهل‌گیری در رابطه با تجهیزاتی که شکاف فناورانه زیاد است تا به مرور توانمندی آنها در کشور ایجاد گردد، مانند ژنرانور و گیربکس توربین‌های بادی،
  - تدوین دستورالعملی پویا متناسب با میزان پیشرفت فناورانه در کشور،
  - بازنگری دستورالعمل متناسب با تغییرات فناورانه نیروگاه‌های بادی.
- احداث، تجهیز و ارتقای توان سخت‌افزاری و نرم‌افزاری شبکه آزمایشگاهی فناوری انرژی‌های تجدیدپذیر با اولویت توسعه توانمندی ساخت داخل و ایجاد و ارتقای آزمایشگاه‌های مرجع ملی و منطقه‌ای به‌منظور تأیید کیفی و ارائه استانداردهای مربوطه
- تمرکز بر بومی‌سازی برخی از مواد اولیه پرکاربرد و مهم مانند برخی از رزین‌ها، مواد فایبرگلاس سه جهته و . . .
- تأسیس مرکز رشد و پارک فناوری اختصاصی انرژی‌های تجدیدپذیر
- حمایت از فعالیت‌های تحقیق و توسعه شرکت‌های فعال در این حوزه در قالب معافیت‌های مالیاتی و یا اعطای وام‌های بلندمدت کم‌بهره
- حمایت مالی ویژه از تولیدکنندگان این حوزه با تأسیس صندوق پژوهش، فناوری و نوآوری اختصاصی
- ایجاد تسهیلاتی بابت برقراری تعاملات بین‌المللی میان شرکت‌های داخلی و خارجی جهت انتقال فناوری
- تمرکز ویژه بر آموزش و افزایش مهارت نیروی انسانی در این حوزه

البته، اینکه به‌صورت اختصاصی، چه سیاست‌هایی باید مورد استفاده قرار گیرد تا شکاف‌های فناورانه رفع گردد، خود به تحقیقی جداگانه نیاز دارد. نکته دیگری که باید بدان توجه نمود این است که قاعدتاً رفع شکاف‌های فناورانه با اتخاذ سیاست‌های اختصاصی ممکن نیست، بلکه نیازمند سیاست‌های عام دیگری از قبیل اصلاح برخی از سیاست‌های کلان حوزه انرژی مانند قیمت‌گذاری انرژی، اصلاح برخی از چالش‌های کلان اقتصادی و مالی مانند تغییرات متعدد نرخ ارز، مشکلات تأمین منابع مالی توسعه فناوری و . . . است. در واقع، با تحلیل اکثر صاحب‌نظران این حوزه، می‌توان عنوان کرد علت‌العلل عمده شکاف‌های فناوری مذکور، به پایین بودن قیمت‌های حامل‌های انرژی در کشور برمی‌گردد که با اصلاح آن، می‌توان انتظار داشت بسیار از موارد مذکور در شکاف فناوری، مرتفع گردد. بدیهی است که هر کدام

از این موضوعات به تحقیقاتی مفصل و جداگانه نیازمند است که می‌تواند موضوع تحقیقات بعدی در این زمینه قرار بگیرد و پازل سیاست‌های توسعه در این صنعت را تکمیل نماید.

این پژوهش نیز مانند بسیار از پژوهش‌های دیگر، محدودیت‌هایی داشت. مهمترین محدودیت این تحقیق، فقدان اطلاعات دسته‌بندی شده و کمی از میزان تولید نمونه‌های بومی شده بود. این موضوع نیز ناشی از محرمانگی اطلاعات تجاری برخی از شرکت‌های توسعه یافته در این زمینه است. از دیگر محدودیت‌های این تحقیق نیز، کمبود نیروی انسانی متخصصی بود که هم نگاه کل‌نگرانه به صنعت توربین بادی داشته باشند و هم به‌صورت عملیاتی و دقیق، از جزئیات اطلاعات داشته باشند. ولی برای غلبه بر این محدودیت تحقیق، با توجه به تجربه زیسته ۱۵ ساله محقق در این زمینه، دست‌اندرکاران صنعتی، دانشگاهی و دولتی در این موضوع، حتی به‌صورت محدود شناسایی گردیدند و نظرات آنها اخذ گردید.

فهرست منابع

Arasti, M. R., Mokhtarzadeh, N., & Jafarpanah, I. (2021). The Developmental Path of Technological Capabilities in the Latecomer Firms through the Catch-up Process: A Systematic Review of the Literature by the Meta-Synthesis Method. Journal of Technology Development Management, 9(2), 129–162. https://doi.org/10.22104/jtdm.2021.4032.2429

Archibugi, D., & Coco, A. (2004). A new indicator of technological capabilities for developed and developing countries (ArCo). World Development, 32(4), 629–654.

Ayee, G., Lowe, M., & Gereffi, G. (2009). Wind Power: Generating Electricity and Employment.

Bagheri Moghaddam, N., Mousavi, S. M., Moallemi, E. A., & Nasiri, M. (2012). Formulating directional industry strategies for renewable energies in developing countries: The case study of Iran’s wind turbine industry. Renewable Energy, 39(1). https://doi.org/10.1016/j.renene.2011.08.052

Bagheri Moghaddam, N., Mousavi, S. M., Nasiri, M., Moallemi, E. A., & Yousefdehi, H. (2011). Wind energy status of Iran: Evaluating Iran’s technological capability in manufacturing wind turbines. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15(8). https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.07.029

Baloch, Z. A., Tan, Q., Kamran, H. W., Nawaz, M. A., Albashar, G., & Hameed, J. (2021). A multi-perspective assessment approach of renewable energy production: policy perspective analysis. Environment, Development and Sustainability, 1–29.

Bell, M., & Figueiredo, P. N. (2012a). Building innovative capabilities in latecomer emerging market firms: some key issues. Innovative Firms in Emerging Market Countries, 24–109.

Bell, M., & Figueiredo, P. N. (2012b). Innovation capability building and learning mechanisms in latecomer firms: recent empirical contributions and implications for research. Canadian Journal of Development Studies/Revue Canadienne d’études Du Développement, 33(1), 14–40.

Carmeli, A., & Tishler, A. (2004). Resources, capabilities, and the performance of industrial firms: A multivariate analysis. Managerial and Decision Economics, 25(6-7), 299–315.

Christensen, C. M. (1997). The Innovator’s Dilemma. Harvard Business School Press. Boston, MA.

Christensen, C. M. (2013). The innovator’s dilemma: when new technologies cause great firms to fail. Harvard Business Review Press.

Daghaieghi, A., Jafarnejad, A., & Bagheri Moghadam, N. (2021). Formation of Technological Capabilities for Catch-up in Complex Product Systems (The case of directional drilling equipments for oil & gas wells). Journal of Technology Development Management, 9(2), 13–45. https://doi.org/10.22104/jtdm.2021.4050.2440

Desai, M., Fukuda-Parr, S., Johansson, C., & Sagasti, F. (2002). Measuring the technology achievement of nations and the capacity to participate in the network age. Journal of Human Development, 3(1), 95–122.

ESCAP, U. N. (1989). A framework for technology-based development: technology content assessment.

Figueiredo, P. N. (2010). Discontinuous innovation capability accumulation in latecomer natural resource-processing firms. Technological Forecasting and Social Change, 77(7), 1090–1108.

Greitemann, J., Christ, E. E., Matzat, A. C., & Reinhart, G. (2014). Strategic evaluation of technological capabilities, competencies and core-competencies of manufacturing companies. Procedia CIRP, 19, 57–62.

Hafeez, K., Zhang, Y., & Malak, N. (2002). Determining key capabilities of a firm using analytic hierarchy process. International Journal of Production Economics, 76(1), 39–51.

Helfat, C. E., & Peteraf, M. A. (2003). The dynamic resource-based view: Capability lifecycles. Strategic Management Journal, 24(10), 997–1010.

KHAMSEH ABBAS, S. S. (2011). ASSESSMENT OF TECHNOLOGICAL CAPABILITIES LEVELS IN METAL INDUSTRY BY USE OF TECHNOLOGY NEED ASSESSMENT (CASE STUDY: YASAN STEEL STRUCTURE CO.). Technology Growth.

Kim, L. (2000). The dynamics of technological learning in industrialisation. UNU/INTECH Discussion Papers, 7.
Lall, S. (1992). Technological capabilities and industrialization. World Development, 20(2), 165–186.
Lee, M., & Lee, S. (2016). Evaluating internal technological capabilities in energy companies. Energies, 9(3), 145.
Lin, M. J. (1997). The research on the measurement of corporate technology capability. International Journal of Technology Management, 13(2), 133–139.
Lindsay, J. (1996). The technology management audit. Strategic Direction Publishers.
Man, T. W. Y., Lau, T., & Chan, K. F. (2002). The competitiveness of small and medium enterprises: A conceptualization with focus on entrepreneurial competencies. Journal of Business Venturing, 17(2), 123–142.
Marino, K. E. (1996). Developing consensus on firm competencies and capabilities. Academy of Management Perspectives, 10(3), 40–51.
Mir Mohammad Heshmati, K. R., N. F. F. (2019). Assessing the Technology Capability for Developing New Technology Strategies Using the Panda, HEX and Majlof Model in Sina Food Industry Shelter. Journal of Animal Environment, 11(1), 343–352.
Mohammadi, M., Elyasi, M., & Mohseni Kiasari, M. (2017). Technology assessment: technological capability assessment for automotive parts manufacturers. In Managing Technological Innovation: Tools and Methods (pp. 103–127). World Scientific.
Mombeini, H., Yazdani-Chamzini, A., Streimikiene, D., & Zavadskas, E. K. (2018). New fuzzy logic approach for the capability assessment of renewable energy technologies: Case of Iran. Energy & Environment, 29(4), 511–532.
Morrison, A., Pietrobelli, C., & Rabellotti, R. (2008). Global value chains and technological capabilities: a framework to study learning and innovation in developing countries. Oxford Development Studies, 36(1), 39–58.
Mousavi Dorcheh, M., & Karimian khuzani, H. (2022). Evaluating the Policy Mix of Renewable Energy Development in Iran. Journal of Science and Technology Policy, 15(2), 55–74. https://doi.org/10.22034/jstp.2022.13942
Noorollahi, Y., Khatibi, A., & Eslami, S. (2021). Replacing natural gas with solar and wind energy to supply the thermal demand of buildings in Iran: A simulation approach. Sustainable Energy Technologies and Assessments, 44, 101047. https://doi.org/10.1016/J.SETA.2021.101047
Panda, H., & Ramanathan, K. (1996). Assessment of a firm in the electricity sector. 16(10), 561–588.
Panda, H., & Ramanathan, K. (1997). Technological capability assessment as an input for strategic planning : case studies at Electricitd de France and Electricity berating Authority of Th. 17(97), 359–390.
Putranto, K., Stewart, D., & Moore, G. (2003). International technology transfer and distribution of technology capabilities: the case of railway development in Indonesia. Technology in Society, 25(1), 43–53.
RENEWABLE CAPACITY STATISTICS 2023 STATISTIQUES DE CAPACITÉ RENOUVELABLE 2023 ESTADÍSTICAS DE CAPACIDAD RENOVABLE 2023 about IRENA. (2023). www.irena.org
Sato, Y., & Fujita, M. (2009). Capability matrix: a framework for analyzing capabilities in value chains. Inst. of Developing Economies, Japan External Trade Organization.
Tabrizian, S. (2019). Technological innovation to achieve sustainable development—Renewable energy technologies diffusion in developing countries. Sustainable Development, 27(3), 537–544.
Walsh, S., & Linton, J. D. (2002). The measurement of technical competencies. The Journal of High Technology Management Research, 13(1), 63–86.
Wolcott, P., & Goodman, S. (1996). The IT Capability of Nations : A Framework for Analysis.
Wu, K.-J., Liao, C.-J., Tseng, M.-L., & Chou, P.-J. (2015). Understanding innovation for sustainable business management capabilities and competencies under uncertainty. *Sustainability*, *7*(10), 13726–13760.