

استفاده از مدل آینده‌نگاری به منظور تعیین اولویت‌های تحقیقاتی برای مدیران صنعت

مسعود قدوسی محمدی^۱، روزبه قوسی^۲ و مهدی حیدری^۳

چکیده: در دنیای امروز محدودیت‌های فراوانی در انجام کارها وجود دارد. محدودیت‌های رایجی همچون محدودیت‌های زمانی، مکانی و به‌ویژه مالی باعث شده تا افراد و شرکت‌ها و کشورها دست به انتخاب خاص بزنند. تحقیق و توسعه در هر سازمانی که به دنبال تولید یا استفاده از محصولات به‌روز دنیا است، مبحث مهمی به شمار می‌آید؛ اما نکته مهم این است که یک سازمان با توجه به تعدد موضوعات قابل تحقیق، به کدام موضوعات پرداخته و چگونه آنها را اولویت‌بندی می‌کند. در این تحقیق مدلی برای تعیین اولویت‌های تحقیقاتی فناوری با استفاده از مدل آینده‌نگاری فناوری توسعه داده شده است. مدل توسعه‌یافته بر اساس روش فناوری‌های حیاتی است. برای توسعه این مدل، ادبیات دو حوزه تدوین راهبردی تحقیق و توسعه و فناوری و روش‌های اولویت‌بندی مرور شده است. همچنین با توجه به نیاز روز کشور ایران در حوزه انرژی‌های تجدیدپذیر به‌ویژه انرژی خورشیدی، این روش‌شناسی در جهت اولویت‌بندی حلقه‌های فرایند تولید پودمان فتوولتائیک سیلیکونی پیاده‌سازی شده است.

واژه‌های کلیدی: اولویت‌بندی، فناوری حیاتی، مدل آینده‌نگاری، مدیریت فناوری

۱. کارشناس ارشد؛ دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران. masoud9s@yahoo.com
۲. استادیار دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران. (نویسنده مسئول). ghousi@iust.ac.ir
۳. دانشیار دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران. mhedydari@iust.ac.ir

(دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۱۰/۲)

(پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۱۲/۲۷)

DOI: 10.22047/ijee.2018.111109.1496

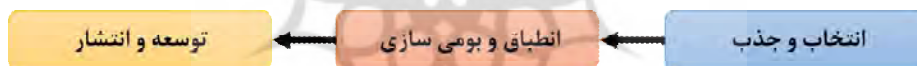
۱. مقدمه

تحقیق و توسعه در هر سازمانی، که به دنبال تولید یا استفاده از محصولات به‌روز دنیا است، مبحث مهمی به شمار می‌آید؛ اما نکته مهم این است که یک سازمان با توجه به تعدد موضوعات قابل تحقیق، به کدام موضوعات پرداخته و چگونه آنها را اولویت‌بندی می‌کند. نکته دیگر زمان شروع و طول مدت تحقیق است. همه سازمان‌ها اعم از خصوصی، دولتی یا غیر انتفاعی به دلیل محدودیت منابع مالی، انسانی و همچنین کمبود وقت، ناچار به طی فرایند فوق هستند.

در دنیای امروز محدودیت‌های فراوانی در انجام کارها وجود دارد. محدودیت‌های رایجی همچون محدودیت‌های زمانی، مکانی و به‌ویژه مالی باعث شده تا افراد و شرکت‌ها و کشورها دست به انتخاب بزنند. در تمام حوزه‌ها و صنایع مختلف نیز این موضوع صادق است (صحاف‌زاده، ۱۳۸۷؛ عبدلی و یدقار، ۱۳۸۵).

صنعت تولید پودمان^۱ های خورشیدی در حوزه انرژی‌های تجدیدپذیر در کشور نیز برای رشد و تعالی خود نیازمند یکسری سرمایه‌گذاری‌ها بر روی حلقه‌های تشکیل دهنده فرایند به منظور انتقال فناوری در صورت نیاز به ایران و در کنار آن، راه‌اندازی خط تولید حلقه مورد نظر است. اما مسئله اینجاست که کدام حلقه به عنوان حلقه کلیدی این صنعت به شمار می‌آید (قدوسی محمدی، ۱۳۹۶).

در انتقال فناوری و تولید محصول در کشور چند مرحله ضروری وجود دارد که در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱: فرایند انتقال فناوری و تولید محصول (باقری مقدم، ۱۳۸۳)

مرحله اول: انتخاب و جذب؛ در این مرحله شرکت‌های داخلی یا دستگاه آورنده فناوری باید فناوری را از نظر کارایی و مرقون به صرفه بودن از نظر اقتصادی انتخاب و سپس به داخل کشور منتقل کند. در صورتی که کار در همین مرحله به اتمام برسد و مراحل بعد مد نظر قرار نگیرد، قطعاً یک انتقال فناوری ناموفق و محکوم به شکست صورت خواهد گرفت.

مرحله دوم: که مرحله انطباق یا بومی‌سازی است، شرکت یا دستگاه داخلی باید شرایط اقلیمی اجتماعی و جغرافیایی و ... را در به‌کارگیری فناوری و تولیدات آن مورد بررسی دقیق و کارشناسی قرار دهند.

مرحله سوم: مرحله توسعه و انتشار است. در دو مرحله اخیر دانشگاه‌ها، پارک‌های علم و فناوری و شرکت‌های دانش‌بنیان نقش اصلی را بر عهده دارند و باید از فناوری وارداتی استفاده بهینه کنند به گونه‌ای که نوآوری در فناوری تحقق یابد.

بر اساس این نوآوری باید کمیّت و کیفیت فناوری وارداتی را ارتقا داده و در استقرار و انتشار این فناوری همراه با نوآوری در سایر نقاط کشور و حتی صادرات به سایر کشورها انجام شود که به این مجموعه اقدامات اجرایی و عملیاتی می‌توان عنوان پیوست فناوری اطلاق کرد (باقری مقدم، ۱۳۸۳).

حدود دو دهه پس از ورود سلول‌های فتوولتائیک به عرصه عمومی تولید انرژی، ارتباط تنگاتنگ سیاست و منابع انرژی موجب شد تا دیگر جایی برای بحث توجیه اقتصادی یافتن برای روی آوردن به سمت بهره‌گیری از انرژی خورشید و تولیدی الکتریسته نماند (زرین‌آبادی و همکاران، ۱۳۸۹).

هدف این تحقیق دستیابی به روشی مناسب برای اولویت‌بندی فناوری و تعیین الزامات و گام‌های روش مدنظر است. همچنین این تحقیق پس از یافتن روش مناسب به دنبال حل این مدل برای فناوری خورشیدی حوزه پودمان فتوولتائیک سیلیکونی در حوزه انرژی‌های تجدیدپذیر است. از اهداف جانبی این تحقیق می‌توان به بررسی ظرفیت حال حاضر ایران در این حوزه، همچنین شناسایی فرایند زنجیره تولید پودمان فتوولتائیک سیلیکونی اشاره کرد.

۲. مرور ادبیات تحقیق

همواره راه‌ها و روش‌های مورد استفاده در تحقیقات بیانگر راهبردها یا روش‌های متفاوت تحقیق هستند و هر یک از آنها راهی برای جمع‌آوری و تجزیه و تحلیل شواهد تجربی است. در این میان هر روش تحقیق نقاط قوت و ضعف خود را دارد و برای دستیابی به بهترین یا بیشترین نتایج باید متوجه این تفاوت‌ها بود و به این اختلاف‌ها و ویژگی‌ها توجه کرد (ین، ۱۳۷۶). در جدول ۱ با بررسی مقالات مشابه به بررسی روش حل و معیارهای استفاده برای مقایسه و اولویت‌بندی فناوری موضوع تحقیق پرداخته شده است.

تا به امروز روش‌های مختلفی نیز برای اولویت‌بندی فعالیت‌ها، فناوری‌ها و ... ارائه و پیاده‌سازی شده‌اند. این روش‌ها غالباً در دو دسته کمی و کیفی دسته‌بندی می‌شوند که با توجه با دسته‌بندی پایین نیز تعداد محدود استفاده از روش کیفی یا تلفیقی معرف این موضوع است. امروزه دنیا در مسائلی، که در سطوح بخشی و ملی قرار دارند و تا اندازه‌ای به حوزه‌های سیاست‌گذاری به‌خصوص سیاست‌گذاری علم و فناوری برمی‌گردد، از روش‌های کیفی و ناظر به تعامل با خبرگان و کارشناسان استفاده می‌کند. لکن این امر در کشور ما مغفول مانده و هنوز تمایل زیادی به سمت روش‌های کمی و عددی وجود دارد. مزایای روش‌های کیفی یا تلفیقی به

۱۴۶ استفاده از مدل آینده‌نگاری به منظور تعیین اولویت‌های تحقیقاتی برای مدیران صنعت

حدی است که در این تحقیق سعی می‌شود تا در حل مسئله از این رویکردها استفاده شود. در ادامه با بررسی مقالات دسته‌بندی شده در پایین به توضیحات بیشتر در این حوزه پرداخته می‌شود.

جدول ۱: شاخص‌های مورداستفاده در سایر تحقیقات مشابه به تفکیک سال، روش حل و موضوع موردبررسی (قدوسی، ۱۳۹۶)

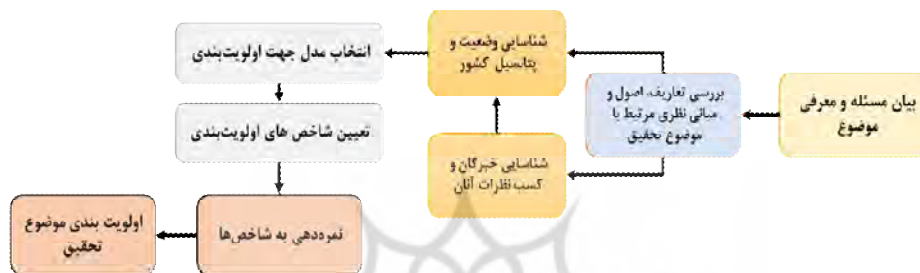
روش تحقیق	سال	روش‌های عمومی												
		۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱		
موضوع مورد بررسی	روش حل	مطابقت تصمیمات	کاربردپذیری	انطباق پذیری	روستک	فرهنگ	جذابیت استراتژیک	برخ از روش‌های مشابه	تاثیرات فرهنگی و اجتماعی	مدل‌های موجود	انحصاری بودن	مطابقت در تکنولوژی	استفاده از محرک	مسئله
اولویت بندی اطلاعات	1986													(Daft & Lengel)
مقایسه فناوری‌ها	1989													(Zaldmanand & Gevidalli)
اولویت بندی روش های ارسال اطلاعات	1990													(Reinsch & Beswick)
اولویت بندی الزامات برنامه ریزی کیفیت	1993													Gary S. Wasserman
مقایسه کانال‌های رسانایی	1999													(Carlson & Zmud)
انتخاب فناوری جهت توسعه	2001													(Liu & Jiang)
مبارهای رشد کسب و کار	2001													(Laurie)
مقایسه شرکت‌های خودروسازی	2002													(Hussain, Sushil, & Pathak)
انتخاب تامین کننده	2003													(Patterson, Grimm, & Corsi)
اولویت بندی منابع انتقال دانش	2004													(Siegel, Waldman, Atwater, & Link)
انتخاب تکنولوژی	2004													(Tingling & Parent)
بررسی خطر پروژه‌های برنامه ریزی منابع سازمانی	2004													Shi-Ming Huang, I-Chu Chang, Shing-Han Li, Ming-Tong Lin
بهبود انتقال تکنولوژی از دانشگاه‌ها	2005													(McAdam, Keogh, Gelbraith, & Laurie)
تصمیم‌گیری برای سرمایه‌گذاری	2005													(Coldrick, Longhurst, Ivey, & Hannis)
انتخاب برپایه فناوری اطلاعات	2005													(Kulak, Kahraman, Oztaysi, & Tanya)
بهبود عملکرد تامین کنندگان	2006													(De Silveira & Cagliano)
مدیریت تکنولوژی در ارتباط با کیفیت و نوآوری	2006													(Prnjago & Sohal)
انتخاب تکنولوژی	2006													(Awazu)
ارزیابی تکنولوژی پهنای باند تلفن همراه	2008													(Zhang, Daim, Choi, & Phan)
انتخاب تکنولوژی در صنایع الکترونیک	2008													(Daim & Kocaoglu)
انتخاب پروژه فناوری اطلاعات	2008													(Stewart R. A.)
مقایسه فناوری های مخفیاتی	2009													(Lee, Kim, Cho, & Park)
انتخاب تکنولوژی مناسب برای قالب بسته‌بندی	2009													(Peças, Ribeiro, Folgado, & Henriques)
انطباق ارتباط میان تحقیقات و تکنولوژی	2010													(Brown, Donnk, & Venkatesh)
انتخاب هن آوری و مدیریت آن	2010													(Farooq & O'Brien)
انتخاب تکنولوژی در حال ظهور	2010													(Shen, Chang, Lin, & Yu)
	مجموع	۱۳	۲	۶	۹	۷	۹	۲	۳	۸	۱	۵	۱۱	۲۶

برای تعیین اولویت‌های سرمایه‌گذاری بر روی فناوری‌ها و روش مناسب اکتساب آنها نیاز است تا مقدار و سطح امکان‌پذیری (از قبیل سخت‌افزار، نرم‌افزار، نیروی انسانی متخصص) و مقدار و سطح جذابیت (نظیر گستردگی کاربرد، وجود فناوری‌های زیربنایی، بازار فناوری) هر یک از فناوری‌ها به صورت نسبتاً دقیق مشخص شود (ین، ۱۳۷۶).

۳. روش تحقیق

در کنار مدل‌های تدوین راهبردی تحقیقات، مدل‌هایی نیز وجود دارد که به طور خاص برای اولویت‌بندی موضوعات تحقیقاتی به کار می‌رود. این مدل‌ها و رویکردها در واقع قسمتی از تدوین راهبرد به شمار می‌آیند؛ با

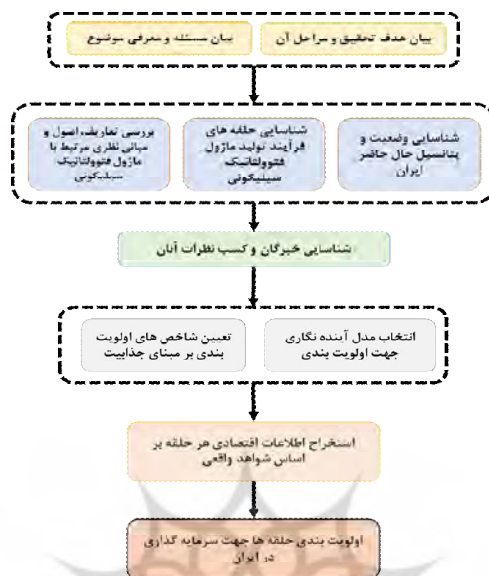
این تفاوت که بعضی از قسمت‌های مطرح در راهبرد را دربر نمی‌گیرند و تنها به بررسی اولویت‌ها اکتفا می‌کنند. بنابراین خروجی آنها تنها اولویت‌های مطرح در آن موضوع خواه فناوری یا برنامه‌های تحقیقاتی، است. به‌طور کلی می‌توان فرایند اصلی برای تصمیم‌گیری درباره اولویت‌بندی موضوع تحقیق را به‌صورت شکل ۲ نمایش داد.



شکل ۲: فرایند تصمیم‌گیری و اولویت‌بندی موضوع تحقیق

در این تحقیق پس از انجام مطالعات و تجزیه و تحلیل مدل‌های اولویت‌بندی و اخذ مشاوره از استادان فن و طی برگزاری جلسات متعدد، مدل آینده‌نگاری و در میان روش‌های آن، روش فناوری‌های حیاتی (کلیدی) به‌عنوان روش منتخب برای اولویت‌بندی حلقه‌ها برگزیده شد. چهارچوب فرایندی تحقیق به‌صورت شکل ۳ فرایند طی شده از مطالعات مقدماتی صورت‌گرفته تا اولویت‌بندی نهایی حلقه‌های زنجیره ارزش برای سرمایه‌گذاری در ایران است.

۱۴۸ استفاده از مدل آینده‌نگاری به منظور تعیین اولویت‌های تحقیقاتی برای مدیران صنعت



شکل ۳: نقشه راه مدل تحقیق

۴. مدل آینده‌نگاری

آینده‌نگاری فناوری ابزاری برای مدیریت راهبردی تحقیقات و فناوری است. این ابزار در سال‌های اخیر در کشورهای اروپایی زیادی برای شناسایی سیاست‌های عمومی R&D مورد استفاده قرار گرفته است. البته در سازمان‌های بخش خصوصی نیز نسبت به آن بی‌توجه نبوده‌اند.

واژه آینده‌نگاری را می‌توان چنین تعریف کرد: «آینده‌نگاری، فرایندی نظام‌مند در نگرشی بلندمدت‌تر به آینده علم، فناوری، اقتصاد، محیط و جامعه است. این نگرش در قالب شناسایی فناوری‌های عمومی پدیدار شده و شامل مباحث پشتیبان تحقیقات راهبردی است. تحقیقاتی که به بیشترین منفعت اقتصادی و اجتماعی منجر می‌شود». (گروه آینده‌اندیشی بنیاد توسعه فردا، ۱۳۸۴)

در بخش عمومی نیز هدف آینده‌نگاری همان کسب بیشترین منفعت اقتصادی و اجتماعی است. این نگرش خواستار ایجاد فرایند نظام‌مند برای گفت‌وگو و مشورت با ذی‌نفعان بی‌شماری است تا بتوانند فناوری‌های عمومی پدیدار شده را شناسایی کنند.

آینده‌نگاری بر خلاف پیش‌بینی، به دنبال پیش‌گویی توسعه آینده نیست. در این فرایند فرض بر آن است که چند آینده ممکن وجود دارد و آینده مورد نظر بر اساس تصمیم‌های امروز ما شکل خواهد گرفت. آینده‌نگاری تلاش می‌کند تا طیف وسیعی از گروه‌های ذی‌نفع را دربرگیرد و در یک فرایند نظر آنها را یکپارچه و دخیل سازد تا با آن بتوان به اولویت‌های تحقیقات دست یافت. فنونی همچون دلفی (فنی که برای افزایش دقت در

پاسخ‌ها، مصاحبه‌هایی به‌منظور بازبینی پاسخ‌های اولیه پرسش‌نامه انجام می‌دهد) و تحلیل سناریو در مطالعات آینده‌نگاری بسیار رایج هستند. این فنون در فرایند مشاوره به کار گرفته می‌شوند تا مشارکت‌کنندگان را در بحث اولویت‌های آتی تحقیقاتی درگیر کند. (مستقیم یا غیرمستقیم از طریق پرسش‌نامه). گاهی گفته می‌شود که فرایند به‌کارگرفته‌شده در آینده‌نگاری عموماً مهم‌تر از نتایج اولیه آن است.

عناصر اصلی این فرایند در زیر به صورت خلاصه آورده شده‌اند:

- برقراری ارتباط میان تمام ذی‌نفعان؛
 - تمرکز بر افق بلندمدت؛
 - هماهنگ‌سازی راهبردی R&D با سایر راهبردهای نوآوری؛
 - ایجاد توافق جمعی بر روی جهت‌گیری‌ها و اولویت‌های آینده؛
 - ایجاد توافق میان تمام کسانی که مسئولیت پیاده‌سازی این اولویت‌ها را دارند. (United Nations Industrial... , 2005)
- ذی‌نفعان درگیر در این فرایند را می‌توان به چند دسته زیر تقسیم‌بندی کرد:
- کاربر اصلی که معمولاً یک فرد تصمیم‌گیرنده دولتی است، در برنامه آینده‌نگاری سرمایه‌گذار اصلی و با کمیته راهبری در تقابل است.
 - کمیته راهبری مسئول برنامه آینده‌نگاری است. رهبری، انتخاب روش‌های مورد استفاده، سازماندهی و سایر موارد جزء وظایف آن است. این کمیته را کاربر اصلی تعیین می‌کند و در نهایت، نتیجه کار را در قالب توصیه‌هایی ارائه می‌دهد. بخش مهمی از اعتبار برنامه و نیز کیفیت آن به این نهاد بستگی دارد.
 - متخصصانی که در برنامه شرکت می‌کنند و مستقیم یا غیرمستقیم از طریق کمیته راهبری انتخاب می‌شوند، می‌توانند به گونه‌های مختلفی در برنامه مشارکت کنند:
 - شرکت در یک گروه؛
 - همکاری در یک کارگاه؛
 - پاسخ به یک پرسش‌نامه.
- این متخصصان می‌توانند پیشینه‌ای مانند متخصص علمی یا فناوری، نماینده صنعت یا یک گروه با علاقه خاص، نماینده یک حزب سیاسی، نماینده اتحادیه یا قدرت‌های محلی، شخصیتی، که به هر دلیلی معروف است، و... داشته باشند. در برخی از حالات هم، طیف وسیعی از شهروندان از طریق کنفرانس‌هایی با مقیاس بزرگ و نیز با استفاده از وبگاه‌ها وارد فرایند می‌شوند.
- گروهی از اشخاص که مسئول حمایت و پشتیبانی از پروژه در مباحث سازمانی و روشمند هستند، ممکن است در کمیته راهبری نیز عضو باشند.

۱۵۰ استفاده از مدل آینده‌نگاری به منظور تعیین اولویت‌های تحقیقاتی برای مدیران صنعت

- شرکت‌کنندگان و مؤسسه‌های تحقیقاتی متنوع که نقش جمع‌آوری و آماده‌سازی ورودی‌های توصیفی و تحلیلی مورد نیاز (مانند پایگاه‌های داده و اطلاعات، ترکیب نوشتارها و...) برای کارکرد بهتر فرایند را بر عهده دارند.

آینده‌نگاری معمولاً به‌منظور پشتیبانی یا طراحی برنامه‌ها و راهبردهای ملی علم و فناوری به کار گرفته می‌شود. این روش در سطح سیاست‌گذاری ملی است؛ چرا که ایجاد توافق و ایجاد ارتباط میان افراد در آن سطح تأثیر سیاسی مهمی در تعریف پذیرش راهبردهای عمومی کلان تحقیقات دارد. در بخش خصوصی نیز به‌خاطر وجود عناصر مهم در این روش، ارزش آن حفظ شده است؛ به‌ویژه، ویژگی فرایند نظام‌مند آن برای جمع‌بندی نظرات ذی‌نفعان، ویژگی اصلی آن برای شناسایی اولویت‌های تحقیقاتی به شمار می‌آید. با این وجود برای سازمان‌های کوچک ایجاد اجماع شرط لازم نیست. (United Nations industrial, 2005)

روش‌هایی که در پروژه‌های آینده‌نگاری استفاده می‌شوند، عمدتاً به سایر جنبه‌های آینده‌نگاری وابسته‌اند. این روش‌ها متنوع و دارای اهداف متفاوتی است. انتخاب نهایی روش در پروژه‌های آینده‌نگاری، با جلب موافقت حامیان مالی پروژه همراه است، اما کمیته راهبری و مشاوران خارج از پروژه آنها را پیشنهاد می‌دهند. روش‌های رسمی در پروژه‌های آینده‌نگاری، روش‌هایی کاملاً برجسته‌اند و بیشتر به‌طور ترکیبی مورد استفاده قرار می‌گیرند. این روش‌ها مزایای ارزشمندی دارند که اگرچه ممکن است برخی از آنها روش‌های غیررسمی نیز داشته باشند، اما این مزایا در تمامی روش‌های رسمی به‌وفور و به‌صورت مشهودی موجودند. این مزایا عبارت‌اند از:

- سیستماتیک‌تر کردن فرایندهای پروژه آینده‌نگاری؛
 - افزایش شفافیت ورودی‌ها، فرایندها و خروجی‌های پروژه‌های آینده‌نگاری؛
 - تشکیل میزگردهایی متشکل از افراد گوناگون برای تعامل و ارتباط بازیگران حوزه‌ها و سیستم‌های مختلف؛
 - کمک به ترسیم آینده‌های مطلوب یا ممکن.
- معیارهای برگزیدن هر یک از روش‌های رسمی عبارت‌اند از:
- منابع، به‌ویژه زمان و پول، از مهم‌ترین معیارهای انتخاب روش‌های رسمی‌اند. به‌عنوان مثال، پیمایش‌هایی با مقیاس وسیع می‌توانند پرهزینه و وقت‌گیر باشند و چه‌بسا در صورت محدودیت منابع، باید روش کم‌هزینه‌تری را جایگزین کرد.
 - وسعت و میزان مشارکت مطلوب متخصصان و ذی‌نفعان در پروژه‌های آینده‌نگاری بسیار حائز اهمیت است. برخی روش‌ها مثل دلفی، برای مشارکت دادن سطحی تعداد زیادی از افراد مناسب هستند. اما درعوض برخی دیگر مانند روش پانل، گستره اندکی دارند ولی با مشارکت عمیق افراد همراه‌اند.

- مناسب بودن روش برای ترکیب آن با روش‌های دیگر به طوری که روش‌ها همدیگر را پشتیبانی کرده و نتایج مناسب یکدیگر را تکمیل کنند. روش‌های رسمی را به‌ندرت به‌تنهایی مورد استفاده قرار می‌دهند و اغلب آنها را با روش‌های دیگر ترکیب می‌کنند.
 - خروجی‌های موردانتظار از پروژه آینده‌نگاری ممکن است فرایندگرا یا نتیجه‌گرا باشند. به‌عنوان مثال، جهت‌گیری فرایندگرا بر روش‌هایی تمرکز می‌کند که گفت‌وگو تعامل میان گروه‌های مختلف را ترویج کند. درمقابل، روش‌های مورد استفاده در جهت‌گیری نتیجه‌گرا، به ارائه نتایجی مشخص همچون فناوری‌های حیاتی منجر می‌شود.
 - نیاز روش‌های مختلف به داده‌های کمی یا کیفی، عاملی تعیین‌کننده و مهم است، به‌ویژه زمانی که داده‌ها آسان به دست نمی‌آیند.
 - صلاحیت روش‌شناختی روش مورد استفاده نیز یک عامل کلیدی است. مشاورانی که درباره کاربرد روش‌های مختلف مشاوره می‌دهند، تمایل دارند راه‌حل‌های روش‌شناختی یکسانی را به طیف وسیعی از مشتریان ارائه کنند. بنابراین مناسب بودن روش مورد استفاده، از لحاظ روش‌شناختی نیز باید مد نظر قرار گیرد (United Nations Industrial..., 2005) و (ناظمی و قدیری، ۱۳۸۵).
- به‌منظور مشخص شدن تعاریف فنون آینده‌نگاری، معرفی کوتاهی در ادامه ذکر می‌شود.

۵. فن پیمایش محیطی

- سازمان‌ها برای درک نیروهای خارجی مسبب تغییرات، محیط را پیمایش می‌کنند تا در صورت لزوم واکنشی کارا و زود هنگام نسبت به تغییرات از خود نشان دهند. اهداف پیمایش محیطی شامل فهم شرایط و اوضاع و احوال سازمان، سازگاری با تغییرات سریع محیط، به وجود آوردن یک محیط مطلوب در آینده، تسهیل ارزیابی عملکرد مدیریت و... است. چهار روش اساسی برای پیمایش محیطی وجود دارد که عبارت‌اند از:
- تشکیل گروهی از کارشناسان؛
 - استفاده از مقالات بر خط رایانه‌ای؛
 - مرور نوشتارهای منتشر شده؛
 - درخواست از کارشناسان برای انتشار نوشته‌هایی درباره موضوع‌ها و مسائل مهم مورد نظر (ناظمی و قدیری، ۱۳۸۵)

۶. فن ذهن‌انگیزی یا نگاشت ذهن

ذهن‌انگیزی نام موقعیتی است که در آن گروهی از افراد برای تولید ایده‌های جدید در یک زمینه خاص گرد هم می‌آیند. قواعد این فن به گونه‌ای است که افراد می‌توانند با آزادی فکر کنند، به سوی زمینه‌های فکری جدید سوق داده شوند و در نتیجه ایده‌ها و راه‌حل‌های متنوعی ارائه دهند. در این فن هر فردی می‌تواند نظر خود را بدون هرگونه محدودیت آشکار سازد. شرکت‌کننده‌ها ایده‌های خود را مطرح می‌کنند و یا بر روی ایده‌های دیگران کار می‌کنند. همه ایده‌ها نوشته می‌شود و هیچ‌یک مورد انتقاد قرار نمی‌گیرد. تنها زمانی که مرحله ذهن‌انگیزی به پایان می‌رسد، ایده‌ها ارزش‌یابی می‌شوند (ناظمی و قدیری، ۱۳۸۵).

۷. فن تحلیل ثبت اختراع

یکی از راه‌های آشنایی با علوم و فناوری‌ها و شناخت مسیر تکاملی آنها، تحلیل و بررسی ثبت اختراعات است. بررسی روند انجام تحقیقات، ثبت اختراعات و سمت‌وسوی این تحقیقات در زمینه‌ای مشخص، جهت‌گیری واقعی تحقیقات در آن زمینه را معلوم می‌سازد. تحلیل و بررسی ثبت اختراعات شش مرحله مهم دارد که عبارت‌اند از:

- تعیین اهداف مطالعه؛
- مشخص کردن محدوده مسئله؛
- آگاهی از ثبت اختراعات مرتبط با موضوع مورد بررسی؛
- وارد کردن اطلاعات ثبتی به رایانه؛
- ایجاد خروجی؛
- تفسیر نتایج تحلیل (ناظمی و قدیری، ۱۳۸۵).

۸. فن درخت وابستگی

نقطه شروع درخت وابستگی، تشخیص نیازها یا اهداف آینده است. این فن برای تشخیص شرایط مورد نیاز برای رسیدن به آن اهداف مانند فعالیت‌ها و... طراحی شده است. همچنین، از این فن برای نمایش تأثیرات احتمالی فناوری استفاده می‌شود. در شیوه درخت وابستگی، یک مطلب گسترده به شکل صعودی به زیرمطالب کوچک‌تر تقسیم می‌شود. خروجی این فرایند نمایشی گرافیکی با ساختار ترتیبی است که مطلب کلی مورد نظر را به سطوح جزئی‌تر و ریزتر طبقه‌بندی می‌کند (ناظمی و قدیری، ۱۳۸۵).

۹. فن تحلیل ریخت‌شناسی

تحلیل ریخت‌شناسی فن مکمل درخت وابستگی است و برای تشخیص و تعیین فرصت‌های جدید تولید به کار می‌رود و چشم‌اندازی وسیع از پاسخ‌های ممکن ارائه می‌دهد. این فن به کمک نگاه‌ها و با استفاده از زبان ریاضی، چشم‌اندازی وسیع از پاسخ‌های موجود و گزینه‌های ممکن کاربردهای آینده را پیش‌رو می‌گستراند. دو ویژگی اساسی این فن به شرح زیر است:

- تحلیلی روشمند از ساختار جاری و آینده یک صنعت و ارائه شکاف‌های کلیدی آن ساختار (مانع رسیدن به اهداف موردنظر است)؛
- محرکی قوی برای ابداع گزینه‌های جدید پرکننده این شکاف‌ها (ناظمی و قدیری، ۱۳۸۵).

۱۰. فن تأثیرات متقابل

تأثیرات متقابل فنی برای تحلیل احتمال وقوع یک موضوع در یک مجموعه مورد پیش‌بینی است. احتمالات این موضوع می‌تواند با قضاوت‌هایی درباره قابلیت بالقوه تأثیر متقابل میان موضوع‌های مورد پیش‌بینی تنظیم شود. روند اجرایی این فن در گام‌های مختلف به‌اجمال از قرار زیر است:

- گام اول: مجموعه رخدادها تعیین می‌شود.
- گام دوم: احتمالات ابتدایی هر رخداد تخمین زده می‌شود. این احتمالات بیانگر شانس وقوع هر یک از رخدادها تا سال‌های آتی است.
- گام سوم: برآورد احتمالات شرطی در تحلیل تأثیرات متقابل است. (ناظمی و قدیری، ۱۳۸۵).

۱۱. فن چرخه آینده

چرخه آینده فنی برای سازماندهی اندیشه‌ها و پرسش‌ها پیرامون آینده و در واقع، یک ذهن‌انگیزی سازمان‌یافته است. فرایند یا واقعه بر وسط یک برگه کاغذ و منطبق با مرکز دایره فرضی کوچکی نوشته می‌شود. از مرکز این دایره (فرایند) خطوط کوچکی به محیط فرضی آن وصل می‌شود. هر یک از نقاط تقاطع این خطوط با محیط دایره یکی از تأثیرات و نتایج ابتدایی را نشان می‌دهد. تأثیرات دوم هر یک از تأثیرات ابتدایی به همین ترتیب دومین دایره را شکل می‌بخشند. ترسیم این تأثیرات کوچک و شکل‌گیری یک تصویر کلی مفید و کارا از فرایند و وقایع ادامه می‌یابد.

در این پژوهش همان‌گونه که بیان شد، از روش فناوری حیاتی بهره‌جسته و در ادامه به تفصیل بیشتر این روش پرداخته می‌شود (ناظمی و قدیری، ۱۳۸۵).

۱۲. فن فناوری‌های حیاتی

زمانی که انتخاب اولویت‌ها در پروژه آینده‌نگار مدنظر است، روش فناوری‌های حیاتی یا کلیدی، یک رویکرد ارزشمند و مفید برای ارزیابی حوزه‌های تحقیقاتی و فناوری‌های مختلف به شمار می‌رود. در این روش با به‌کارگیری مجموعه‌ای از معیارها که برای اندازه‌گیری میزان اهمیت یا کلیدی بودن فناوری‌ها به کار می‌روند، فهرستی از فناوری‌های مهم و کلیدی مشخص می‌شود. نوع پرسش‌هایی که معمولاً برای شناسایی فناوری‌های کلیدی پرسیده می‌شود، از این قبیل است:

- حوزه‌های کلیدی تحقیق و توسعه کدام‌اند؟
- فناوری‌های (حوزه‌های تحقیقاتی) حیاتی که باید به‌وسیله منابع عمومی حمایت شوند کدام‌اند؟
- چه معیارهایی باید به‌منظور انتخاب فناوری‌های حیاتی به کار گرفته شوند؟
- مهم‌ترین ابزارهایی که در سطح سیاست‌گذاری و به‌منظور پیاده‌سازی نتایج حاصله باید مورد استفاده قرار بگیرند کدام‌اند؟

این روش در چهار مرحله زیر انجام می‌پذیرد:

مرحله اول: اولین مرحله به شناسایی و انتخاب متخصصان اختصاص دارد. در این مرحله تلاش می‌شود تا متخصصان و کارشناسانی که می‌توانند به انجام روش کمک کنند، شناسایی و انتخاب شوند. در این خصوص می‌توان دو رویکرد متفاوت «مشورت محدود» و «مشورت گسترده» را به کار گرفت.

مرحله دوم: دومین مرحله مربوط به فهرست کردن فناوری‌هاست که در آن فهرست اولیه‌ای از تمامی فناوری‌ها تهیه می‌شود تا در مراحل بعدی بررسی شوند. این اقدام را می‌توان از راه‌هایی همچون بررسی مطالعات آینده‌نگاری قبلی، به‌کارگیری روش طوفان فکری، جست‌وجوی منابع و فعالیت پانل‌ها تعیین کرد.

مرحله سوم: در این مرحله اولویت‌بندی فناوری‌ها انجام شده و فهرست اولیه فناوری‌ها که در مرحله قبل تهیه شده بود، پس از تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد و بر حسب معیارهایی خاص اولویت‌بندی می‌شوند. این معیارها در کشورهای مختلف متفاوت‌اند و مواردی از قبیل میزان تأثیرگذاری بر رقابت‌پذیری اقتصاد، میزان تأثیرپذیری بر کیفیت زندگی، میزان تأثیرگذاری بر بخش‌های مهم صنعتی و میزان تأثیرگذاری بر امنیت ملی را دربرمی‌گیرند.

مرحله چهارم: این مرحله به تهیه فهرست نهایی فناوری‌های کلیدی اختصاص دارد. در این مرحله فهرست نهایی فناوری‌های دارای اولویت به همراه مشخصه‌های اصلی فناوری‌ها، زمینه‌های اصلی کاربرد آنها و مشکلات موجود بر سر راه توسعه فناوری‌های دارای اولویت بیان می‌شود. این فهرست نهایی قسمتی اساسی از گزارش نهایی است که پس از انجام روش ارائه می‌شود (ناظمی و قدیری، ۱۳۸۵).

۱۳. نتایج و تفسیر آنها

همانگونه که بیان شد، مدل آینده‌نگاری و از میان روش‌های آن، روش فناوری‌های حیاتی انتخاب شد و با توجه به روش تحقیق مطرح‌شده در ارتباط با موضوع تحقیق، که تعیین اولویت سرمایه‌گذاری در حوزه تولید پودمان فتوولتائیک سیلیکونی است، به پیاده‌سازی و بیان نتایج و تفسیر آنها پرداخته می‌شود. شکل ۴ نشان‌دهنده مراحل فناوری حیاتی است. بنابراین، پس از شناسایی موضوع تحقیق و ظرفیت حال حاضر ایران که در پایان‌نامه مرتبط با این مقاله به تفصیل آمده است (قدوسی محمدی، ۱۳۹۶) به پیاده‌سازی این مراحل پرداخته می‌شود.



شکل ۴: فرایند روش فناوری‌های حیاتی (ناظمی و قدیری، ۱۳۸۵)

مرحله ۱: این پروژه نیازمند دو نوع تخصص است. اول در حوزه فتوولتائیک خورشیدی که بتواند در این حوزه نظرات تخصصی خود را راجع به هر حلقه و معیارهای اولویت‌بندی اعمال کند و دوم تخصص در حوزه تولیدی که با صنعت خورشیدی و فناوری‌های مرتبط با این حوزه آشنایی داشته باشد و بتواند در حوزه شناسایی فنی موضوع و تعیین اولویت‌ها نظر بدهد. بنابراین، تعداد ۳۱ خبره در این حوزه تعیین شد که نام آنها در پایان‌نامه مرتبط با این مقاله آورده شده است. (قدوسی محمدی، ۱۳۹۶)

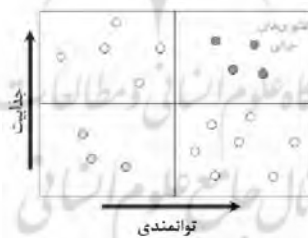
مرحله ۲: برای تولید پودمان فتوولتائیک سیلیکونی فرایندی زنجیره‌ای وجود دارد که در شکل ۵ نشان داده شده است. این فرایند شامل ۵ حلقه است؛ که معمولاً دو حلقه ابتدایی را با نام حلقه تولید پلی‌سیلیکون نیز می‌شناسند (Cheung, 2011; Badawys, 2015).

۱۵۶ استفاده از مدل آینده‌نگاری به منظور تعیین اولویت‌های تحقیقاتی برای مدیران صنعت



شکل ۵: زنجیره ارزش فتوولتائیک سیلیکونی (Cheung, 2010; Badawys, 2015)

مرحله ۳: همان‌طور که ذکر شد، به‌منظور ارزیابی حلقه‌های پودمان فتوولتائیک سیلیکونی، باید معیارهایی مدنظر قرار گیرند که به‌وسیله آنها به ارزیابی پرداخت. این معیارها به دو دسته کلی تقسیم می‌شوند: معیارهای جذابیت حلقه‌ها از منظر سرمایه‌گذار برای راه‌اندازی خط تولید و معیارهای توانمندی هر حلقه به معنای توانمندی کشور در جهت راه‌اندازی خط تولید طبیعی است که هرچه میزان جذابیت و توانمندی یک حوزه بالاتر باشد، تصمیم‌گیران تمایل بیشتری به انتخاب آن از خود نشان می‌دهند که می‌توان این مسئله را در ماتریس جذابیت - توانمندی مطابق شکل ۶ نشان داد (باقری‌مقدم، ۱۳۸۳).



شکل ۶: ماتریس جذابیت - توانمندی (باقری‌مقدم، ۱۳۸۳)

باتوجه به بررسی‌های صورت‌گرفته در ارتباط با ظرفیت حال حاضر ایران و نظرات کسب‌شده از خبرگان، تفاوت محسوسی میان حلقه‌ها از منظر توانمندی وجود ندارد. بنابراین، معیار اولویت‌بندی براساس شاخص‌های جذابیت خواهد بود. جذابیت یک حلقه با مشخص کردن منافع بالقوه آن و همچنین توانایی مجموعه موردنظر در جذب منافع حاصل می‌شود (باقری‌مقدم، ۱۳۸۳).

پس از بررسی شاخص‌های مورد استفاده در تحقیقات مشابه در سایر مقالات، مطابق جدول ۱ و همچنین اخذ نظرات خبرگان این حوزه، معیارهای زیر به عنوان شاخص‌های جذابیت برای اولویت‌بندی برگزیده شدند.

- سود عملیاتی خالص (۱)
- هزینه سرمایه‌گذاری اولیه (۲)
- امکان استفاده در سایر حوزه‌ها (۳)
- ظرفیت بالقوه بازار (۴)
- وجود شرکت‌های تولیدکننده در داخل (۵)
- دوره بازگشت سرمایه (۶)

مرحله ۴: برای اولویت‌بندی حلقه‌ها نیاز است تا در ابتدا به شاخص‌های تعیین‌شده، وزن‌دهی انجام گیرد. سپس با توجه به اطلاعات کسب‌شده از ظرفیت ایران و شواهد واقعی به تکمیل آنها پرداخت. معیارهایی شماره ۳، ۴ و ۵ بر اساس ظرفیت ایران و معیارهای ۱، ۲ و ۶ نیز به دلیل نیازمندی به اطلاعات دقیق بر اساس شواهد واقعی، محاسبه و نمره‌دهی خواهند شد. در انتها لازم به ذکر است ظرفیت مورد نیاز ایران در سه سناریوی تولیدی به صورت زیر محاسبه شده‌اند:

- سناریوی محتمل (ظرفیت ۵۰ مگاوات)
- سناریوی مبتنی بر برنامه (ظرفیت ۱۵۰ مگاوات)
- سناریوی خوشبینانه (ظرفیت ۲۵۰ مگاوات)

برای نمونه جدول نهایی، امتیازدهی شده، مرتبط با سناریوی محتمل (ظرفیت ۵۰ مگاوات) به عنوان نمونه در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۲: جدول نهایی ارزیابی جذابیت حلقه‌های زنجیره ارزش با ظرفیت ۵۰ مگاوات

ردیف	معیار	نام حلقه								
		وزن معیار	تولید پلی‌سایکون	تولید پلی‌سایکون	تولید وینیل	وزن * حلقه تولید وینیل	تولید سلول	وزن * حلقه تولید سلول	تولید پودمان	وزن * حلقه تولید پودمان
۱	سود عملیاتی خالص	۲	۰/۵	۱	۰/۲۷	۰/۵۴	۰/۱۴	۰/۲۸	۰/۰۹	۰/۱۸
۲	هزینه سرمایه‌گذاری اولیه	۲	-۰/۵۲	-۱/۰۴	-۰/۲۸	-۰/۵۶	-۰/۱۳	-۰/۲۶	-۰/۰۷	-۰/۱۴
۳	امکان استفاده در سایر حوزه‌ها	۱	۰/۴	۰/۴	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۲
۴	ظرفیت بالقوه بازار	۲	۰/۴۴	۰/۸۸	۰/۳۳	۰/۶۶	۰/۱۱	۰/۲۲	۰/۱۱	۰/۲۲
۵	وجود شرکت‌های تولیدکننده در داخل	۱	-۰/۱۷	-۰/۱۷	-۰/۱۶	-۰/۱۶	-۰/۱۷	-۰/۱۷	-۰/۵	-۰/۵
۶	دوره بازگشت سرمایه	۲	-۰/۲۷	-۰/۵۴	-۰/۲۷	-۰/۵۴	-۰/۲۴	-۰/۴۸	-۰/۲۱	-۰/۴۲
	مجموع	۱۰			۰/۵۳	۰/۱۴		-۰/۲۱		-۰/۴۶

۱۵۸ استفاده از مدل آینده‌نگاری به منظور تعیین اولویت‌های تحقیقاتی برای مدیران صنعت

مطالب تکمیلی در ارتباط با نمرات کسب‌شده و محاسبات مربوط به هر یک از معیارها نیز به تفصیل در پایان‌نامه مرتبط با مقاله، به تفکیک هر حلقه آورده شده است. (قدوسی محمدی، ۱۳۹۶)

برای نمونه نحوه هزینه سرمایه‌گذاری اولیه برای حلقه تولید پلی‌سیلیکون در سناریوی تولیدی ۵۰ مگاوات به صورت جدول ۳ محاسبه شده است.

جدول ۳: هزینه سرمایه‌گذاری اولیه برای تولید پلی‌سیلیکون (دلار)

نام مرحله	هزینه کل (\$/W)	برای ظرفیت ۵۰ مگاوات پودمان (\$)
مرحله اول: تولید پلی‌سیلیکون	۲	۲۷,۰۰۰,۰۰۰

نحوه محاسبه هزینه سرمایه‌گذاری اولیه:

$$۲۷۰۰۰۰۰۰ = ۰/۷۵ \times (۱ - ۰/۶۴) \times (۱۰^{\wedge}۶) \times (\text{ظرفیت تولید مازول} = ۵۰) \times (\text{هزینه کل} = ۲)$$

دلیل وجود $(۱ - ۰/۶۴)$ به خاطر کسر هزینه زمین از سرمایه‌گذاری اولیه است و دلیل ضرب مقدار $۰/۷۵$ همان‌گونه که عنوان شد، به خاطر به‌دست آوردن معادل چینی سرمایه‌گذاری اولیه است.

برای سایر حلقه‌ها نیز به صورت مشابه محاسبه شده و در انتها با متوازن کردن جدول، اعداد در جدول مرتبط با سناریوی موردنظر وارد می‌شود. پس از نمرات کسب‌شده و نتایج حاصله که در جدول برای هر سه سناریو به دست آمد، مشاهده می‌شود که به‌دلیل بالاتر بودن مجموع امتیازات حلقه تولید پلی‌سیلیکون، این حلقه در اولویت اول است.

۱۴. نتیجه‌گیری و جمع‌بندی

اهمیت انتخاب فناوری مناسب با توجه به اهمیت منابع نیازی است که امروزه در سطح ملی یا سازمانی مورد توجه مدیران است. بنابراین، نیاز به یک راهکار به‌عنوان روش‌شناسی برای اخذ تصمیم با توجه به موضوع تحقیقاتی حس می‌شود. تحقیق پیش‌رو گامی در این راستا بوده است که با ایجاد این روش‌شناسی و پیاده‌سازی آن بر روی مطالعه‌ای موردی که نیاز روز کشور نیز است، انجام گرفته است.

توسعه منابع انرژی تجدیدپذیر جایگزین برای تأمین انرژی موردنیاز جوامع، به‌عنوان یک اصل بسیار مهم و حیاتی، همچنین توجه به برنامه ششم توسعه کشور ایران به‌منظور افزایش سهم تولید انرژی از انرژی‌های تجدیدپذیر به‌ویژه خورشیدی، باعث شده تا مقاله پیش‌رو گامی در جهت پیشرفت و بهبود این امر در پیش گیرد. لذا پس از شناسایی حوزه فتوولتائیک خورشیدی و حلقه‌های زنجیره ارزش آن در کنار امکان‌سنجی طرح با ظرفیت‌سنجی توان حال حاضر ایران و بهره‌مندی از مدل روز اروپا، همراه با به‌کارگیری معیارهای اولویت‌بندی به‌صورت تلفیقی کمی (شواهد واقعی) و کیفی (ناظر به تعامل با خبرگان) درصد اولویت‌بندی

حلقه‌ها شد و نتایج حاصل آمد که ماحصل آن از نظر جذابیت سرمایه‌گذاری به جهت راه‌اندازی خط تولید حلقه‌ها به شرح جدول ۴ است:

جدول ۴: اولویت سرمایه‌گذاری در حلقه‌های تولید پودمان فتوولتائیک سیلیکونی

۱	تولید پلی‌سیلیکون	۲	تولید ویفر	۳	تولید سلول	۴	تولید پودمان
---	-------------------	---	------------	---	------------	---	--------------

فعالیت‌های صورت‌گرفته در این تحقیق تنها به وجهی از مسائل در این حوزه پرداخته است که به نظر محقق در کشور تا حدی مغفول مانده است. لذا فعالیت‌هایی که در ادامه این کار قابل تعریف است، گستره زیادی دارد. برخی از این موارد عبارت‌اند از:

- شناسایی روش‌های تأمین منابع مالی سرمایه‌گذاری در حلقه‌های اولویت‌دار با کمک نهادهای مرتبط
- شناسایی اولویت‌های سرمایه‌گذاری در صنایع دیگر چون نفت، گاز و ...

مراجع

- باقری‌مقدم، ناصر (۱۳۸۳) مطالعات تحلیل جذابیت و تدوین استراتژی توسعه فناوری پیل سوختی در کشور و راهکارهای پیاده‌سازی آن. کمیته راهبری پیل سوختی. مقاله پنجمین کنفرانس ملی صنایع. دانشگاه علامه طباطبایی.
- زرین‌آبادی، سروش و صمیمی، امیر (۱۳۸۹). استفاده و کاربرد انرژی‌های پاک انرژی خورشیدی در حفظ محیط‌زیست، همایش تحقیقات نوین در مهندسی شیمی، ماهشهر. دانشگاه آزاد اسلامی واحد ماهشهر، ۷-۳.
- صحاف‌زاده، مهدی (۱۳۸۷). ارائه مدلی جهت تعیین اولویت‌های تحقیقاتی فناوری مطالعه موردی فناوری غشایی در صنعت پتروشیمی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ۱۲۰-۱۵.
- قدوسی محمدی، مسعود (۱۳۹۶). توجیه‌پذیری سرمایه‌گذاری در حلقه‌های اولویت‌دار زنجیره ارزش ماژول فتوولتائیک سیلیکونی در ایران. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه علم و صنعت ایران، ۱۰۰-۷.
- گروه آینده‌اندیشی بنیاد توسعه فردا (۱۳۸۴). روش‌های آینده‌نگاری فناوری، بنیاد توسعه فردا، ۴۰-۱۰.
- عبدلی، محمدعلی و یدقار، امیرمحمد (۱۳۸۵). انرژی، توسعه و محیط‌زیست. نشریه انرژی ایران، ۱۰ (۲۶) ۶-۲.
- ناظمی، امیر و روح‌اله قدیری (۱۳۸۵). آینده‌نگاری از مفهوم تا اجرا. انتشارات مرکز صنایع نوین، ۲۷-۱۵.
- ین، رابرت ک. (۱۳۷۶). تحقیق موردی، پارسائیان، علی و اعرابی، سیدمحمد، تهران، دفتر پژوهش‌های فرهنگی.
- Cheung, N. (2011). Solar cells fabrication technologies. U.C. Berkeley.
- United Nation Industrial Development Organization (2005). UNIDO Technology Foresight Manual, 1, 2.
- Badawy, W. A. (2015). A review on solar cells from Si-single crystals to porous materials and quantum dots. *Journal of Advanced Research*, 6, 123-132.