



اولویت‌یابی کاربردهای فناوری نانو در صنایع بالادستی نفت ایران

منصوره عبدی^{۱*}، محمدرضا امین ناصری^۲، مجتبی شریعتی نیاسر^۳

۱- دانشجوی دکتری سیاست‌گذاری علم و فناوری، گروه مدیریت فناوری اطلاعات، دانشگاه تربیت مدرس

۲- دانشیار، گروه مهندسی صنایع، دانشگاه تربیت مدرس

۳- دانشیار، گروه مهندسی شیمی، دانشگاه تهران

چکیده

در جهان صنعتی امروز، فناوری نانو یکی از فناوری‌های نوظهور و راهبردی به شمار می‌رود و در ایران نیز هدف برنامه ملی نانو حضور در بین ۱۵ کشور برتر در فناوری نانو تا سال ۲۰۱۵ است. از آنجا که هزینه پروژه‌های تحقیقاتی و اجرایی در زمینه فناوری‌های نوین بسیار قابل توجه است و همچنین، به دلیل تعدد شاخه‌های فناوری نانو، تعیین اولویت برای سرمایه‌گذاری در این عرصه اهمیت فراوانی دارد. افزون بر این، صنعت نفت و به‌ویژه بخش بالادستی آن، صنعتی راهبردی برای ایران است و برای کاربردهای علمی و تحقیقاتی فناوری نانو در این صنعت، افق روشنی پیش‌بینی می‌شود. با این همه، از آنجا که نمونه‌ای از تحقیقات علمی درباره تعیین اولویت‌های فناوری نانو در صنایع مختلف کشور و به‌ویژه در صنعت نفت یافت نشده، موضوع این پژوهش به یافتن اولویت‌های کاربرد فناوری نانو در صنایع بالادستی نفت اختصاص یافته است. برای این منظور، ابتدا با مرور آثار و متون پژوهشی مربوط به تصمیم‌گیری، AHP به‌عنوان یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره برای تعیین اولویت‌ها انتخاب شده است. در مرحله بعد، معیارهای اولویت‌دهی، براساس نظرات کارشناسان صنایع بالادستی نفت و بر پایه مرور معیارهای تصمیم‌گیری‌ای مشخص شده‌اند که در آثار پژوهشی این حوزه و پروژه‌های مشابه در داخل کشور، بکار رفته‌اند. در نهایت نیز با جمع‌بندی نظرات کارشناسی و با استفاده از نرم‌افزار Expert Choice، اولویت‌های کاربرد فناوری نانو در صنایع بالادستی نفت ایران، با توجه به کاربردهای شناسایی شده فناوری نانو در صنایع بالادستی نفت در مرکز مطالعات فناوری دانشگاه صنعتی شریف، تعیین شده است. روایی نتایج نیز از طریق بررسی همبستگی اسپیرمن آنها با نتایج حل مجدد مسئله، به‌کمک روش PROMETHEE سنجیده شده است.

کلیدواژه‌ها: اولویت‌دهی؛ فناوری نانو؛ صنایع بالادستی نفت؛ AHP.

۱- مقدمه

فناوری‌ها و نه ابداع‌کننده آنها هستند. در ایران نیز تلاش شده است تا این مهم به‌واسطه برنامه‌های توسعه اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی پوشش داده شود. با این همه، این برنامه‌ها در سطح کلان‌اند و دولت نمی‌تواند مستقیماً در نقش مجری آنها وارد عمل شود. از سوی دیگر، سازمان‌های مجری این برنامه‌ها نیز اغلب براساس الگوبرداری - و نه بر پایه روش علمی صحیح خاص ایران و

اولویت‌بندی سرمایه‌گذاری‌های تحقیقاتی و صنعتی در زمینه فناوری‌های نوین از دیرباز یکی از دغدغه‌های اصلی دولت‌های جهان و به‌ویژه کشورهای در حال توسعه بوده است؛ چرا که کشورهای اخیر اغلب انتقال‌دهنده این

* نویسنده عهده‌دار مکاتبات: msabdi@modares.ac.ir

زمینه‌های کاربردی فناوری نانو در صنایع بالادستی نفت در هشت دسته کلی شناسایی شده‌اند (نمودار ۱). این دسته‌ها عبارت‌اند از نانوذرات با شش زمینه کاربردی؛ نانوسنسورها با هشت زمینه کاربردی، نانوکامپوزیت‌ها با شش زمینه کاربردی، نانوپوشش‌ها با سه زمینه کاربردی، نانوکریستال، نانوفیلتر، نانومحاسبات و نانوسیالات. همچنین، درخصوص کاربردهای فناوری نانو در دیگر بخش‌های صنعت نفت از بین دسته‌های یادشده، نانوکامپوزیت (با دو زمینه کاربردی)، نانوذرات (با چهار زمینه کاربردی)، نانوپوشش (با شش زمینه کاربردی)، نانوفیلتر (با سه زمینه کاربردی) و نانوسنسور در بخش پالایش نفت و نانوکامپوزیت (با ۱۰ زمینه کاربردی)، نانوذرات (با پنج زمینه کاربردی) و نانوفیلتر نیز در بخش پتروشیمی نفت کاربرد دارند [۲].

گفتنی است که این تقسیم‌بندی یا هر تقسیم‌بندی دیگری نمی‌تواند یک افراز مطلق ایجاد کند و در هر حال عملاً برخی همپوشانی‌ها بین گزینه‌ها وجود خواهد داشت.

۳- سابقه اولویت‌یابی فناوری نانو در ایران

اولویت‌یابی فناوری‌ها در کشور ما بدون سابقه نیست و در این زمینه چندین پروژه در سطح ملی به کوشش محققان انجام شده و غالباً برای این منظور پس از دسته‌بندی فناوری‌ها، با روش فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی^۱ (AHP) به هریک از فناوری‌ها وزنی تخصیص داده شده است. هرچند ارزیابی دقیقی از روش علمی همکاران دست‌اندرکار طرح‌های یادشده در دست نیست، اما حداقل می‌توان گفت که نتایج این طرح‌ها (صحیح یا غلط) تاکنون نتوانسته هیچ تأثیری بر سیاست‌های ملی و بخشی کشور داشته باشد و اولویت‌های فعلی کشور که در سندهای چشم‌انداز بیست ساله، آمایش سرزمین و برنامه چهارم توسعه آمده‌اند (مانند هسته‌ای، هوا- فضا، بیوتکنولوژی، فناوری نانو و اطلاعات) برگرفته از تحقیقات اشاره‌شده نیستند. این تجربه و دیگر موارد مشابه نشان می‌دهد که تنها انجام کار تحقیقاتی برای یافتن اولویت‌ها کافی نیست، بلکه باید به مواردی چون قابل فهم بودن روش اولویت‌بندی و همچنین درگیر کردن نهادهای ذی‌ربط نیز توجه کرد. شاید به همین دلیل هم طراحان برنامه ملی فناوری نانو ایران در پیوست این برنامه به ارائه نکاتی درباره اولویت‌بندی شاخه‌های فناوری نانو اکتفا کرده و تنها بر ضرورت استفاده از سازوکار بازار از یکسو و لزوم بازگذاشتن دست سازمان‌های ذی‌ربط از سوی دیگر تأکید ورزیده‌اند.

با توجه به شرایط مرتبط - عمل می‌کنند و به‌طورکلی، در تعیین اولویت‌های صنعتی یک فناوری نوین، کمتر مشاهده می‌شود که برنامه‌هایی به‌هنگام، براساس اصول علمی اجرا شوند و پارامترهای مؤثر بر مدل که از شرایط داخلی کشور منتج می‌شود، در نظر گرفته شوند.

در فناوری‌های نوین، اتخاذ تصمیماتی متناسب با شرایط داخلی و در نظر گرفتن ملاحظات بین‌المللی، زمینه را برای بهره‌برداری بیشتر از موقعیت‌های به‌وجودآمده و کسب مزیت رقابتی در عرصه بین‌المللی مساعد می‌سازد. متأسفانه، به این روند در سال‌های گذشته چندان توجه نشده است و تأثیرات ناگوار آن، امروزه و حتی در آینده، دامنگیر صنایع مرتبط با فناوری مورد نظر خواهد شد. از این‌رو، هدف مقاله حاضر، استفاده از روشی علمی برای اولویت‌دهی زمینه‌های به‌کارگیری فناوری نانو در صنایع بالادستی نفت است تا براساس معیارهای خاص ایران، اولویت‌های سرمایه‌گذاری بر روی زمینه‌های کاربردی فناوری نانو در صنایع بالادستی نفت مشخص شود. همچنین، از آنجا که این مقاله برای فناوری نوینی تدوین شده است، می‌تواند علاوه بر تعیین اولویت‌های به‌کارگیری فناوری نانو در صنایع بالادستی نفت، روش مناسبی برای صنایع مرتبط و نیز دیگر فناوری‌های نوین که هنوز اقدام جدی درباره آنها صورت نگرفته است، فراهم آورد.

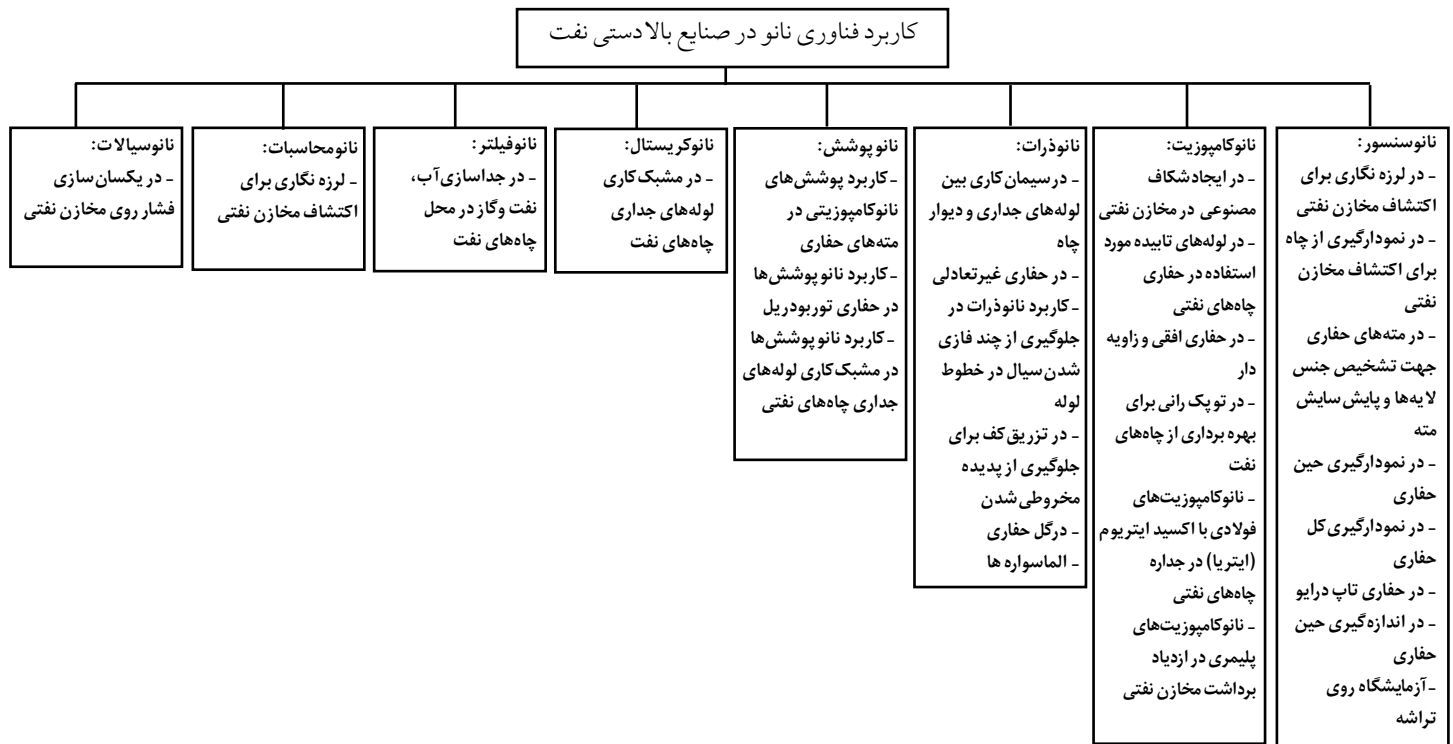
۲- زمینه‌های کاربردی فناوری نانو در صنایع بالادستی نفت

به مجموعه عملیاتی که از اکتشاف تا پیش از پالایشگاه در زمینه تولید و استخراج نفت انجام می‌گیرد، صنایع بالادستی گفته می‌شود. این عملیات شامل اکتشاف، حفاری، بهره‌برداری و مدیریت مخازن می‌شود.

فناوری نانو در زمینه اکتشاف نفت و گاز نیز همچون دیگر حوزه‌ها دارای تأثیرات بالقوه عظیمی است و از جمله به بهبود روند اکتشاف مخازن جدید نفت و تجهیزات اطلاعاتی مربوط به عملکردها، با قابلیت بالاتر می‌انجامد. این داده‌ها برای حفاری بهتر چاه‌ها، سرعت بخشیدن به این فرآیند، ارتقا و بهبود مدیریت مخازن، بهینه‌سازی عملیات تجهیزات بالادستی، طراحی و زمان‌بندی حفاظت از مخازن، افزایش میزان تولید و کاهش هزینه‌ها به‌کار می‌روند. همچنین، با استفاده از این فناوری امکان تهیه آرایه‌های لرزه‌نگاری پایدار و دیگر حسگرها (سنسورها) که اندازه‌گیری‌های لحظه به لحظه را از سطح یا زیرسطح چاه‌ها فراهم می‌آورند، به دست می‌آید.

با استفاده از فناوری نانو می‌توان جریان‌های درون چاهی را برای بهینه‌سازی تولید نفت و حداقل کردن تولید آب و گاز همراه، کنترل کرد. همچنین امکان کنترل از راه دور این تجهیزات و ارسال اطلاعات مخازن یا چاه‌ها به متخصص که بسیار حیاتی است، از رهگذر فناوری نانو برآورده می‌شود [۱].

1. Analytic Hierarchy process



نمودار ۱. تقسیم‌بندی زمینه‌های کاربردی فناوری نانو در صنایع بالادستی نفت [۲]

شناسایی شده است [۴]. در حال حاضر به‌کارگیری و انتقال سریع دانش چگونگی بهره‌گیری از فناوری‌های نوین، امری حیاتی است. صنعت نفت و گاز نیز با دامنه‌ای از چالش‌های مرتبط با مواد مواجه است که باعث افزایش هزینه و محدودسازی پوشش عملیاتی حفاری و فناوری محصولات می‌شود؛ زیرا زیرساخت صنایع نفت و گاز، قدیمی است و دست‌کم ۲۰ تا ۳۰ سال عمر دارد. این موضوع نشان می‌دهد که فرصت خوبی در بازار کاربردهای فناوری نانو فراهم است. با این همه، موانع ورود و پذیرش این فناوری بسیار زیاد است و اجماع بین صنعت نفت و پیشرانان این فناوری نوین باید از نظر زمانی محدود شود [۵]. در مجموع، می‌توان نتیجه گرفت که اولاً، اولویت‌یابی حوزه‌های کاربرد نانو باید در داخل هر شاخه صنعتی صورت گیرد تا هیچ‌یک از شاخه‌های صنعتی از برنامه حذف نشود و ثانیاً، شاخه صنایع نفت و گاز از این حیث اهمیت فراوان دارد. از این‌رو، در این تحقیق با رویکرد قرار دادن نتایج حاصل از اولویت‌دهی در اختیار مدیران و تصمیم‌سازان ستاد توسعه فناوری نانو (برای سیاست‌گذاری و تنظیم سند راهبردی فناوری نانو)، دفتر مطالعات فناوری دانشگاه صنعتی شریف (برای تحقیق و مشاوره کاربردهای فناوری نانو در صنایع مختلف کشور) و پژوهشگاه صنعت نفت (مجری عمده تحقیقات علمی فناوری نانو در صنایع بالادستی نفت) به این موضوع

در یک بررسی اکثر متخصصان فناوری نانو به استفاده از توان داخلی و بین‌المللی برای تدوین برنامه و مشخص کردن اولویت‌ها تأکید کرده‌اند. به اعتقاد این متخصصان، برای تعیین اولویت فناوری نانو باید از استراتژیست‌ها استفاده کرد و به‌کمک یکی از روش‌های علمی، مانند روش چند شاخصه که در آن، ابتدا شاخص‌هایی برای اولویت‌گذاری تعیین می‌شود و سپس وزن هر یک از آنها مشخص می‌شود و براساس آنها امتیازدهی صورت می‌گیرد، اولویت‌ها را تعیین نمود [۳]. همچنین، در بررسی‌های ستاد توسعه فناوری نانو، مشخص شده است که انتخاب شاخه‌های خاصی از فناوری نانو براساس نیازها و امکانات کشور و با توجه به محدودیت منابع و گستردگی حوزه‌های کاربرد فناوری نانو، مناسب‌ترین گزینه در زمان حاضر، برای سرمایه‌گذاری بر روی فناوری نانو است [۳]. البته باید در زمینه‌هایی که کشور دست به سرمایه‌گذاری عظیمی در آنها زده است، مانند نفت، سیمان، فولاد، پتروشیمی، خودرو و غیره، در اولویت‌گذاری فناوری نانو توجه بیشتری شود و ضمن آشنایی این صنایع با فناوری نانو، بر طرح‌هایی تأکید افزون‌تری شود که به ارتقا و افزایش بازده در این صنایع می‌انجامد. براساس دیگر نظرسنجی انجام‌شده، کاربرد فناوری نانو در صنایع نفت و گاز و صنایع شیمیایی، یکی از شاخه‌های با اولویت بالا در فناوری نانو، در ایران

پرداخته شده است.

گفتنی است که براساس اطلاعاتی که ستاد توسعه فناوری نانو به دست داده است، سه تحقیق دانشگاهی درباره اولویت‌دهی در حوزه فناوری نانو صورت گرفته است [۶-۸]. همچنین از جمله تحقیقاتی که در این زمینه در صنایع نفت صورت گرفته است، می‌توان به مراجع [۹ و ۱۰] اشاره کرد؛ هرچند در این مقاله از روشی کاملاً متفاوت استفاده شده است.

۴- روش اولویت‌یابی

در بررسی متون و آثار مربوط به حوزه تصمیم‌گیری مشخص شده است که شیوه‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در تعیین اولویت‌ها درخصوص فناوری‌ها و زمینه‌های کاربردی آنها بسیار به‌کار رفته است. از جمله می‌توان به بهره‌گیری از AHP (به‌عنوان یکی از روش‌های MCDM) در پروژه‌های علمی، تحقیقاتی و مطالعات موردی اشاره شده در مراجع [۱۱-۱۵] اشاره کرد که به‌طور ویژه به تکنیک‌های کاربرد AHP در تصمیم‌گیری پرداخته‌اند. این تکنیک‌ها راه‌حلی را برای مسائلی که با موضوعات متضاد و چندگانه سروکار دارند، ارائه می‌دهند. با بررسی بیش از ۹۰ مقاله منتشرشده، تحلیل کارایی روش‌های گوناگون در مرجع [۱۱] بحث شده است و با دسته‌بندی زمینه‌های کاربردی و سال به‌کارگیری هر تکنیک، روندها مشخص شده است. پس از بررسی متون AHP در تصمیم‌گیری، مشخص شد که فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی یکی از پرکاربردترین تکنیک‌هاست. همچنین، بررسی کاربردهای AHP که به‌کوشش وایدا و کومار [۱۵] صورت گرفته، حاکی از آن است که روش AHP تقریباً در همه زمینه‌های مرتبط با تصمیم‌گیری استفاده شده است.

البته انتخاب روش AHP برای اولویت‌دهی زمینه‌های کاربردی فناوری نانو در صنایع بالادستی نفت، علاوه بر موارد پیش‌گفته، با در نظر گرفتن ملاحظات دیگری نیز همراه بوده است که عبارت‌اند از:

- * بیشتر کارشناسان با معیارهای تصمیم‌گیری برای گزینه‌ها آشنایی دارند؛
- * در این روش می‌توان تعامل خوبی با کارشناسان داشت و گروهی تصمیم گرفت؛
- * نرم‌افزارهای حرفه‌ای از این روش تصمیم‌گیری پشتیبانی کرده و امکان تحلیل نتایج را فراهم آورده‌اند؛
- * تجربیات فراوانی در استفاده از این روش در دنیا و کشور ما وجود دارد؛
- * سهولت کاربرد این روش به‌همراه در نظر گرفتن میزان سازگاری (به‌عنوان یکی از مزیت‌های روش AHP در بررسی درجه اعتبار ماتریس‌های

مقیاسات زوجی)، از احتمال خطا را می‌کاهد و امکان پیاده‌سازی را افزایش می‌دهد.

۵- شاخص‌های اولویت‌یابی

معیارهای اولیه شاخه اصلی با بررسی مقالات متعددی مشخص شدند که از روش AHP در تعیین اولویت‌های فناوری در صنایع مختلف استفاده کرده‌اند [۱۱-۱۹]. معیارهای زیرشاخه‌ها زیر با بررسی پروژه‌های تحقیقاتی ملی داخل کشور تعیین شدند که روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره را در فناوری‌های نوظهور به‌کار برده‌اند [۲۰ و ۲۱]. ملاحظات مربوط به صنایع بالادستی نفت نیز در مشخص کردن معیارهای اولیه با توجه به نظرات کارشناسان فعال در حوزه کاربردی‌های فناوری نانو در صنایع بالادستی نفت لحاظ شده‌اند. از آنجا که جامعه کارشناسان و مدیران آگاه به مسائل تصمیم‌گیری در صنایع بالادستی نفت که از سوی نهادها و سازمان‌های ذی‌ربط معرفی شدند، بسیار محدود بود، نظرسنجی در زمینه معیارهای اولویت‌دهی به‌صورت تمام‌شماری صورت گرفته است. بدین ترتیب معیارهای پیشنهادی شامل معیارهای شاخه اصلی (معیارهای کلان) و زیرشاخه‌ها، برای ارزیابی، در مصاحبه‌ای حضوری به ۳۰ کارشناس و مدیر صنایع بالادستی نفت ارائه شد و پس از بحث و بررسی نظرات کارشناسان، معیارهای نهایی درباره ایران به شرح زیر مشخص شدند (نمودار ۲):

۵-۱-۱- معیار فناوری

بررسی ملاحظات فناورانه زمینه‌های کاربرد فناوری نانو در صنایع نفت به سه زیرمعیار دسته‌بندی می‌شود:

۵-۱-۱- وضعیت تحقیقات بر روی فناوری در کشور: این زیرمعیار نشان‌دهنده توان بالفعل مراکز تحقیقاتی در تحقیقات و مطالعات آزمایشگاهی بر روی محصولات فناوری در کشور است که بستگی به تعداد متخصصان داخلی در زمینه فناوری مورد نظر و میزان دسترسی محققان و دانشمندان کشور به دانش و علوم مربوط و تجهیزات و مواد مورد نیاز ساخت این محصولات دارد. پیشرفت‌های تحقیقاتی در مراکز داخلی مبنی بر انتشار مقاله و فعالیت‌هایی برای ساخت نمونه آزمایشگاهی نیز از جمله پارامترهای بررسی این زیرمعیار است.

۵-۱-۲- وضعیت ساخت محصولات فناوری در کشور: در این زیرمعیار، با عنایت به وضعیت تحقیقاتی در زمینه فناوری مورد نظر، وضعیت فعلی تولید نیمه‌صنعتی و صنعتی محصولات فناوری در کشور با هدف

کرد که بازار واقعی فناوری نانو در صنایع بالادستی نفت در درجه اول استخراج نفت بیشتر و افزایش درآمد در این بخش است و نه صرف فروش محصولات نانویی تولیدشده در بازار. از این رو، این معیار به دو زیرمعیار دسته‌بندی می‌شود:

۵-۳-۱- حجم بازار پیش‌بینی‌شده و رشد آن: بررسی پیش‌بینی‌های به‌عمل‌آمده درباره حجم بازار محصولات فناوری و میزان رشد آن در سال‌های آتی در عرصه داخلی و خارجی در تعیین اولویت سرمایه‌گذاری در صورت تساوی دیگر شرایط بین دو گزینه به‌کار می‌رود.

۵-۳-۲- توانمندی بازاریابی و دسترسی به بازار: دسترسی به بازار داخلی و جایگزینی محصولات فناوری با تجهیزات فعلی مورد استفاده در صنایع بالادستی نفت ایران از دیگر معیارهای تعیین اولویت درخصوص فناوری نانو است. در این بین، بررسی توانایی کسب بازارهای داخلی و به‌دنبال آن بازارهای جهانی برای محصولات فناوری و نیز شناسایی رقبای شرکت‌های فعال در این عرصه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

۵-۴- معیار ملاحظات استراتژیک

به‌دلیل استراتژیک بودن صنعت نفت در ایران و اهمیت بسیار برخی از زمینه‌های کاربردی فناوری نانو در صنعت نفت، نسبت به دیگر گزینه‌های مطرح این فناوری در این صنعت، ملاحظات استراتژیک با هدف در نظر گرفتن اهمیت گزینه‌های مطرح از حیث انحصاری بودن و موارد مرتبط با امنیت ملی لحاظ شده است. این معیار، چشم‌انداز بلندمدت گزینه‌ها را در نظر می‌گیرد و اهمیت آنها را علاوه بر صنایع بالادستی نفت، در سطح ملی نیز ارزیابی می‌کند. طبیعی است که این‌گونه شاخص‌ها را نمی‌توان به‌سادگی کمی کرد و در دیگر معیارها گنجانده.

فناوری نوظهور نانو کاربردها و تأثیرات عمدتاً بالقوه و نیز معیارهای خاص خود را دارد؛ معیارهایی همچون تأثیرات زیست‌محیطی (آلاینده‌گی ناشی از فرآیند تولید و پیامدهای نامطلوب ناشی از کاربرد محصولات فناوری)، ریسک توسعه محصولات فناوری، سرمایه اولیه مورد نیاز، قیمت تمام‌شده محصولات فناوری، و اثرات فرهنگی و اجتماعی فناوری. در این میان، خبرگان اتفاق نظر دارند که به‌دلیل نبود اطلاعاتی برای وزن‌دهی به زیرمعیارها، در حال حاضر موارد یادشده برای فناوری نانو قابل اندازه‌گیری و سنجش نیستند و از این رو، از درخت معیارهای تصمیم‌گیری حذف شدند. باید یادآور شد که با موافقت حداقل ۸۰ درصد از خبرگان، برخی از معیارهای اولیه حذف شده‌اند.

تجاری‌سازی محصولات فناوری نانو مورد توجه قرار می‌گیرد. بدین ترتیب توان تجاری‌سازی و ادغام فناوری در کسب‌وکار موجود نیز در این زیرمعیار بررسی می‌شود. همچنین، در صورتی که در زمینه تولید محصولات فناوری فوق، اقدام خاصی صورت نگرفته باشد یا تولید آن در داخل کشور میسر نباشد، امکان انتقال فناوری به داخل کشور مد نظر است.

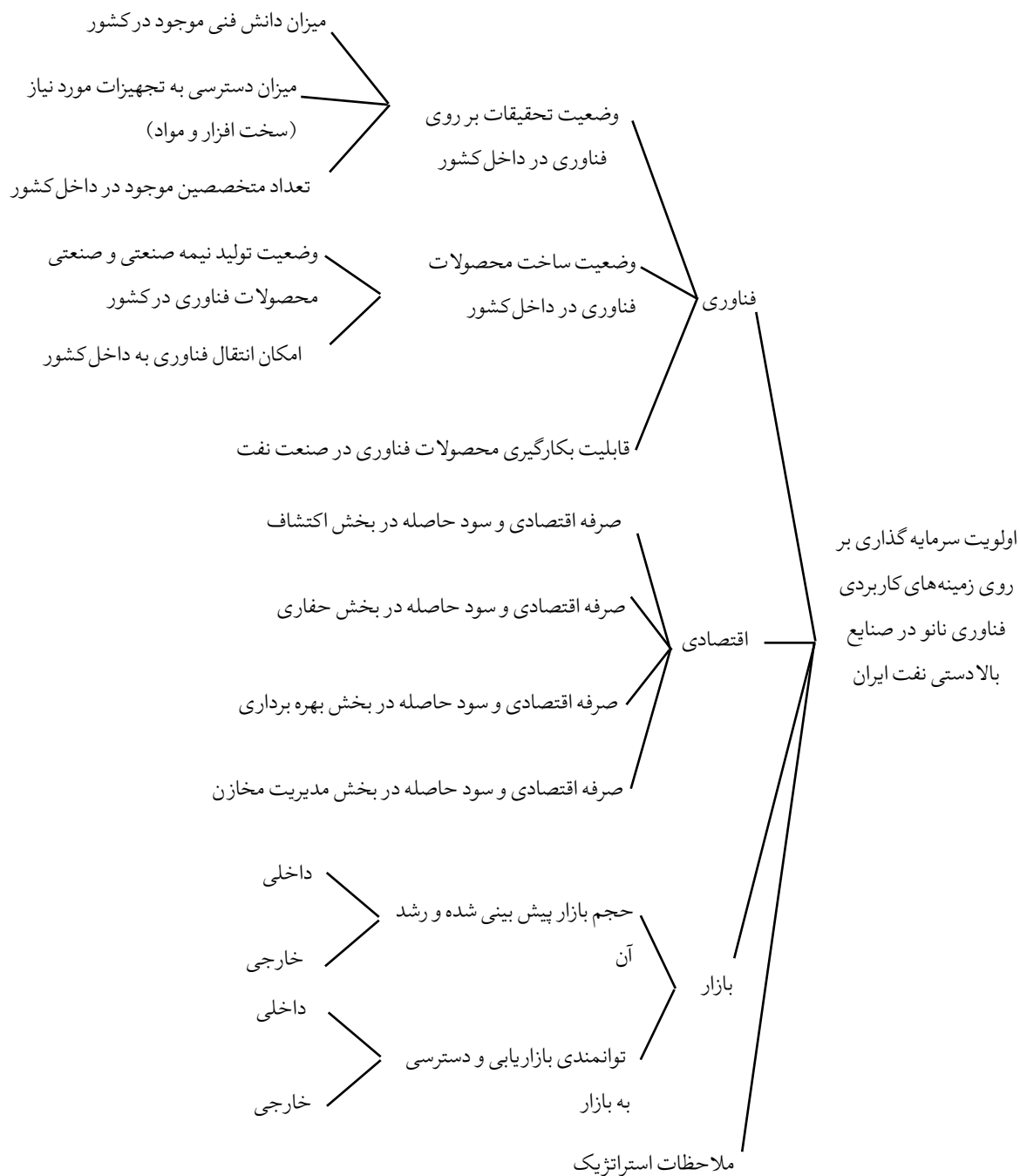
۵-۱-۳- قابلیت به‌کارگیری محصولات فناوری در صنعت نفت: هریک از گزینه‌های مورد بررسی کاربردهای مختلفی در صنایع بالادستی نفت دارند. همچنین، این گزینه‌ها ممکن است در دیگر بخش‌های صنعت نفت نیز کاربرد داشته باشند. از آنجا که تنوع کاربردهای هر فناوری از مزایای آن فناوری به‌شمار می‌رود و میزان انتفاع از آن فناوری را وسیع‌تر می‌سازد، این زیرمعیار برای تشخیص ارجحیت بین دو گزینه در معیار فناوری به‌کار می‌رود.

۵-۲- معیار اقتصادی

بررسی ملاحظات اقتصادی در تعیین اولویت‌های سرمایه‌گذاری یکی دیگر از معیارهای مورد نظر است. این معیار خود به چهار زیرمعیار دسته‌بندی می‌شود که به‌طورکلی صرفه اقتصادی و سود حاصل از به‌کارگیری محصولات فناوری در هریک از بخش‌های صنایع بالادستی نفت (اکتشاف، حفاری، بهره‌برداری و مدیریت مخازن) را بررسی می‌کند. کم کردن هزینه‌های عملیاتی به‌کارگیری محصولات فناوری نانو به‌واسطه جنبه‌های فنی آنها، مزایای اقتصادی به‌همراه دارد که کاهش هزینه‌های تعمیر و نگهداری و افزایش عمر مفید محصولات از جمله آنها به‌شمار می‌رود. همچنین، به‌کارگیری محصولات فناوری در ازدیاد برداشت و بالا رفتن میزان استحصال نفت در سودآوری و افزایش بازدهی تولید در استخراج نفت اثرگذار خواهد بود. از این رو، این زیرمعیار در بخش‌های مختلف صنایع بالادستی نفت بررسی می‌شود و بدین ترتیب، مقایسه صرفه‌های اقتصادی و سود حاصل از هر فناوری، از دیگر معیارهای تشخیص مطلوبیت فناوری‌ها در صورت تساوی در دیگر شرایط است.

۵-۳- معیار بازار

تغییر و تحولات در بازارهای جهانی محصولات هر فناوری و روند این تحولات تحت عنوان معیار بازار بررسی می‌شود. این موضوع به‌ویژه برای ایران که کشوری در حال توسعه است، اهمیت قابل توجهی دارد؛ چرا که با توجه به هزینه‌های بالای توسعه فناوری نانو، تشخیص بازارهای مناسب با قابلیت درآمدزایی مطلوب برای ایران بسیار حائز اهمیت است. باید توجه

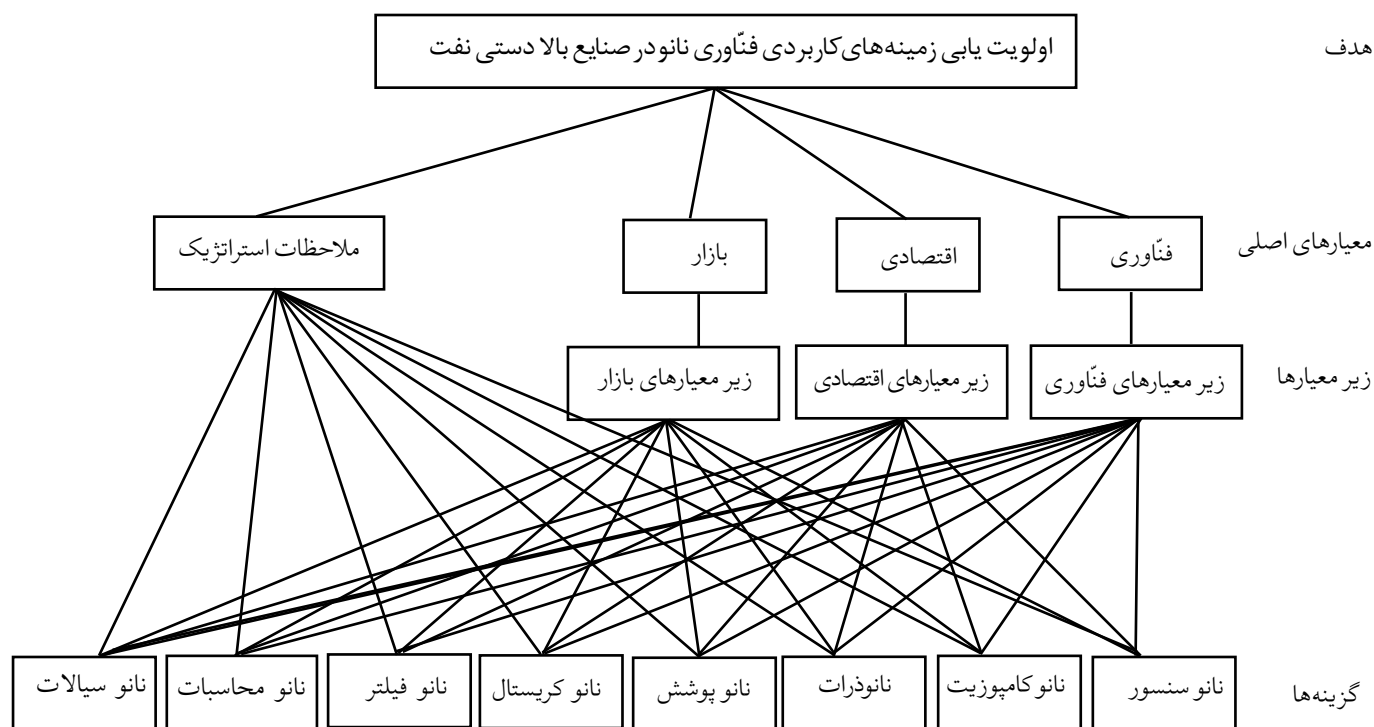


نمودار ۲. درخت نهایی معیارهای تصمیم‌گیری در تعیین اولویت‌های سرمایه‌گذاری فناوری نانو در صنایع بالادستی نفت در ایران

۶- اجرای تحقیق

با استفاده از روش AHP، سلسله‌مراتب مورد استفاده در تصمیم‌گیری

تحقیق حاضر در نمودار ۳ مشخص شده است. برای امتیازدهی به معیارهای نهایی، ۲۰ کارشناس صنایع بالادستی نفت انتخاب شدند و پرسشنامه‌ای برای آنها فرستاده شد که ۱۶ مورد (۸۰ درصد) پس از امتیازدهی برگشت داده



نمودار ۳. سلسله‌مراتب درخت تصمیم‌گیری تعیین اولویت‌های فناوری نانو در صنایع بالادستی نفت ایران

همچنین برای بررسی اعتبار روش مورد استفاده، علاوه بر در نظر گرفتن میزان ناسازگاری کمتر از ۰/۱، واریانس امتیازات در مورد هر یک از معیارها نیز حداکثر ۰/۵ در نظر گرفته شد. گفتنی است که در جریان امتیازدهی

شد. مقایسات زوجی معیارها در ۸ ماتریس (به تعداد سطوح و زیرسطوح موجود در درخت نهایی معیارهای تصمیم‌گیری)، تعریف و پس از اعمال نظرات کارشناسان، نتایج مربوط به ماتریس مقایسات معیارها مشخص شد.



نمودار ۴. مقایسه معیارهای شاخه اصلی

ملی بدیهی است. معیارهای شاخه نهایی ۱۵ معیار هستند که وزن هر یک در شاخه اصلی، در جدول ۱ مشخص شده است. در سال‌های اخیر به تحقیق درباره فناوری نانو در صنعت نفت ایران بسیار توجه شده که نتایج مثبتی به همراه داشته است. در نظر کارشناسان این

کارشناسان، میزان ناسازگاری کمتر از ۰/۱ بوده است. با استفاده از نرم‌افزار Expert Choice و با مقایسه معیارهای شاخه اصلی در نمودار ۴ مشخص می‌شود که معیار ملاحظات استراتژیک در اولویت‌دهی، بیشترین میزان را به خود اختصاص داده است. البته این موضوع با توجه به اهمیت صنعت نفت در ایران و به‌ویژه از نظر درآمدزایی

جدول ۱. وزن نهایی معیارها و زیرمعیارها در هر شاخه درخت تصمیم‌گیری

۰.۳۲۴	میزان دانش فنی در کشور	۰.۳۹۸	وضعیت ساخت محصولات فناوری در داخل کشور	فناوری				
۰.۳۵۵	میزان دسترسی به تجهیزات مورد نیاز							
۰.۳۲۱	تعداد متخصصان در کشور							
۰.۶۶۶	وضعیت تولید نیمه‌صنعتی و صنعتی محصولات فناوری در کشور	۰.۳۱۳	وضعیت تحقیقات بر روی فناوری در داخل کشور					
۰.۳۳۳	امکان انتقال فناوری به داخل کشور	۰.۲۸۹	قابلیت به‌کارگیری محصولات فناوری در صنعت نفت					
۰.۳۱۵	صافه اقتصادی و سود حاصل در بخش بهره‌برداری				۰.۲۸۲	صافه اقتصادی و سود حاصل در بخش حفاری		
							۰.۲۴۵	صافه اقتصادی و سود حاصل در بخش مدیریت مخازن
		۰.۶۰۳	داخلی				۰.۵۵۸	توانمندی بازاریابی و دسترسی به بازار
۰.۳۹۷	خارجی							
۰.۵۰۸	داخلی	۰.۴۴۲	حجم بازار پیش‌بینی شده و رشد					
۰.۴۹۲	خارجی							

در مقایسه معیارهای شاخه بازار، توانمندی بازاریابی و دسترسی به بازار نسبت به حجم بازار پیش‌بینی شده و رشد آن در اولویت قرار دارد. پس از تعیین وزن معیارها در سلسله‌مراتب تصمیم‌گیری، برای وزن‌دهی به گزینه‌ها (زمینه‌های کاربردی فناوری نانو در صنایع بالادستی نفت)، در مرحله اول با ارائه اطلاعات جمع‌آوری شده در مورد زمینه‌های کاربردی از حیث معیارهای نهایی، اطلاعات کلی در این زمینه در اختیار چهار کارشناس صنایع بالادستی نفت قرار گرفت. در مرحله بعدی، روش به‌کاررفته برای ارزیابی و تحلیل نتایج، به کارشناسان معرفی شد و در مرحله نهایی، وزن‌دهی به گزینه‌ها به صورت توافقی و در ۱۵ ماتریس مقایسات (به تعداد ۱۵ معیار شاخه نهایی) مشخص شد. بدین صورت که با توجه به اطلاعات ارائه شده به کارشناسان و میزان تخصص آنها، هریک از کارشناسان نظر خود را در هر زمینه اعلام کرد

صنعت، توجه به وضعیت ساخت در کشور، نسبت به وضعیت تحقیقات بر روی فناوری و تنوع کاربرد آن در صنعت نفت، اهمیت بیشتری دارد. در مقایسه معیارهای شاخه اقتصادی، صافه اقتصادی و سود حاصل از به‌کارگیری محصولات فناوری در بخش بهره‌برداری در اولویت اول قرار دارد. بخش‌های حفاری، مدیریت مخازن و اکتشاف نیز به ترتیب در جایگاه‌های بعدی قرار دارند. توجه شود که عمده فعالیت‌ها در صنایع بالادستی نفت ایران بر روی چاه‌های کشف شده و در حال بهره‌برداری است و با فناوری‌های موجود تنها ۳۰ تا ۴۰ درصد از چاه برداشت می‌شود؛ در حالی که با بهره‌گیری از فناوری نانو می‌توان این میزان را افزایش چشمگیری داد. از این رو، عمده صافه اقتصادی در به‌کارگیری فناوری نانو در این صنعت در بخش بهره‌برداری مشاهده شده است.

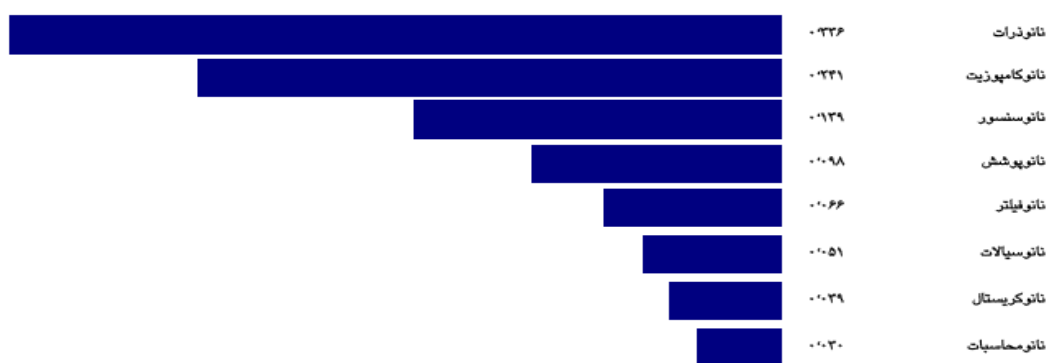
آمار جهانی است. برپایه آمار منتشرشده، نانوذرات، نانوسنسورها، نانوکامپوزیت‌ها و نانوپوشش‌ها بیشترین سهم را از کل زمینه‌های کاربردی فناوری نانو در تحقیقات جهانی از آن خود ساخته‌اند و این سهم در سال‌های آتی به سرعت افزایش خواهد یافت. سهم نانوذرات و نانوکامپوزیت‌ها در مقالات مربوط به فناوری نانو نیز در بین دیگر زمینه‌های مورد بررسی در صنایع بالادستی نفت بیشترین میزان بوده است. نانوذرات، نانوکریستال و نانومحاسبات نیز با افزایش نسبی سهم مواجه‌اند. البته نانوفیلترها با کاهش سهم روبه‌رو هستند که در نتایج تحقیق حاضر، نانوفیلترها در اولویت پنجم قرار گرفته است.

از سوی دیگر، با بررسی فعالیت‌های تحقیقاتی انجام‌شده بر روی فناوری نانو در صنایع بالادستی نفت ایران، مشخص شده است که سمت و سوی تحقیقات علمی در این زمینه با اولویت‌های نهایی همگام است. اگرچه

و پس از بحث و بررسی نظرات، یک تصمیم در مورد هر گزینه، نهایی شده است.

۷- تحلیل و بررسی روایی نتایج تحقیق

براساس وزن‌دهی کارشناسان به گزینه‌های رقیب، اولویت‌ها با توجه به نمودار ۵ مشخص شده‌اند. در این اولویت‌دهی، نانوذرات، نانوکامپوزیت‌ها، نانوسنسورها و نانوپوشش‌ها در رتبه‌های اول تا چهارم قرار گرفته‌اند. روایی ظاهری تحقیق با تأیید محققان صنعت نفت صورت گرفت. همچنین نکته قابل توجه، مقایسه نتایج به‌دست آمده در این تحقیق با آمار جهانی [۲۲] درخصوص دسته‌بندی کاربردهای فناوری نانو براساس سهم استفاده از آنها در تحقیقات بر روی این فناوری است که حاکی از همسو بودن این نتایج با



نمودار ۵. اولویت‌دهی زمینه‌های کاربردی فناوری نانو در صنایع بالادستی نفت ایران

نهایی‌شده در روش AHP در PROMETHEE نیز استفاده کرد. در این روش سهولت کاربری و کاهش پیچیدگی ترکیب شده‌اند و روش آن براساس مقایسه زوجی گزینه‌ها به‌منظور طبقه‌بندی آنها از حیث تعدادی معیار است. PROMETHEE از تابع ترجیحی $P_j(a,b)$ استفاده می‌کند که تابعی است از d_j که اختلاف بین دو گزینه برای هر معیار j و i است.

$$d_j = f(a, j) - f(b, j)$$

که در آن $f(a, j)$ و $f(b, j)$ مقادیر دو گزینه a و b برای معیار j هستند. آستانه‌های بی‌اهمیتی و ارجحیت نیز بسته به نوع تابع معیار تعریف می‌شوند. دو گزینه برای معیار j بی‌اهمیت هستند، در صورتی که d_j بیش از آستانه بی‌اهمیتی نشود. همچنین، شاخص ترجیح چندمعیاره به‌صورت میانگین وزنی توابع ترجیحی برای همه معیارها تعریف می‌شود و گزینه‌ای

تحقیقات بر روی فناوری نانو در صنایع بالادستی نفت ایران در ابتدا با تعیین اولویت صورت نگرفته، لیکن با دنبال نمودن پیشرفت‌های تحقیقاتی در زمینه‌های خاص این فناوری در صنایع بالادستی نفت در سطح بین‌الملل همراه بوده است.

در بررسی روایی نتایج تحقیق، از آنجا که به‌کارگیری روش AHP و PROMETHEE^۱ برای ارتقای هم‌افزایی نتایج روش‌های فوق سابقه دارد [۲۳]، اولویت‌های تحقیق با استفاده از روش تصمیم‌گیری PROMETHEE نیز مشخص شدند. این روش یکی دیگر از روش‌های پرکاربرد تصمیم‌گیری چندمعیاره است که همانند AHP امکان پشتیبانی تصمیمات گروهی را فراهم می‌کند. همچنین، می‌توان از معیارهای

1. Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation

H_1 : وجود همبستگی در نتایج حاصل از دوروش اولویت‌دهی

$$r_s = 0.8333 \quad r_s = 1 - \frac{6 \sum d_i^2}{n(n^2 - 1)}$$

با توجه به جدول معنی‌دار بودن ضریب همبستگی اسپیرمن برای $n = 8$ و $\alpha = 0.05$ مقادیر بحرانی $t = 0.6190$ حاصل می‌شود. از آنجا که $0.6190 < 0.8333$ است، فرض صفر رد شد و روایی ابزار به تأیید رسید. همچنین از آنجا که هدف، انتخاب گزینه مناسب برای بازه زمانی ۵ ساله در کشور است، ممکن است در این بازه اهمیت تعدادی از معیارهای تصمیم‌گیری تغییر کند، به‌ویژه معیارهایی که متأثر از شرایط جهانی و تحولات آن هستند. از این‌رو، در مقایسه گزینه‌های مطرح فناوری نانو در صنایع بالادستی نفت، تحلیل حساسیت بر روی نتایج به‌دست‌آمده صورت گرفت. در تحلیل حساسیت براساس عملکرد گزینه‌ها در نمودار ۶، وضعیت هر گزینه از حیث معیارهای شاخه اصلی نسبت به دیگر گزینه‌ها به‌صورت شماتیک نشان داده شده و در ستون آخر نیز وضعیت کلی هر گزینه

که بیشترین مقدار را از حیث شاخص ترجیح چندمعیاره داشته باشد، بهترین گزینه در نظر گرفته می‌شود [۱۱].

بدین ترتیب، معیارهای فوق مجدداً با وزن‌دهی از ۱ تا ۵ (در روش PROMETHEE)، توسط کارشناسان مربوط امتیازدهی شدند، به‌طوری‌که معیار مهم‌تر، وزن بیشتری به خود اختصاص داد. سپس وزن گزینه‌ها (از ۱ تا ۷) از سوی کارشناسان مشخص شد و اولویت‌های نهایی به این صورت به‌دست آمد: ۱. نانوذرات؛ ۲. نانوکامپوزیت؛ ۳. نانوپوشش؛ ۴. نانوسنسور؛ ۵. نانومحاسبات؛ ۶. نانوفیلتر؛ ۷. نانوسیالات؛ ۸. نانوکریستال.

میزان همبستگی نتایج حاصل از اولویت‌های مشخص‌شده در دو روش اولویت‌گذاری از طریق روش همبستگی اسپیرمن نیز به‌صورت زیر محاسبه شده است:

H_0 : عدم وجود همبستگی در نتایج حاصل از دو روش اولویت‌دهی

جدول ۱. بررسی همبستگی نتایج حاصل از دو روش اولویت‌دهی با استفاده از روش اسپیرمن

گزینه‌ها	رتبه بندی به روش AHP	رتبه بندی به روش PROMETHEE	$d_i = x_i - y_i$	$d_i^2 = (x_i - y_i)^2$
نانوذرات	۱	۱	۰	۰
نانوکامپوزیت	۲	۲	۰	۰
نانوسنسور	۳	۴	-۱	۱
نانوپوشش	۴	۳	۱	۱
نانوفیلتر	۵	۶	-۱	۱
نانوسیالات	۶	۷	-۱	۱
نانوکریستال	۷	۸	-۱	۱
نانومحاسبات	۸	۵	۳	۹

بین معیارهای شاخه اصلی باشد.

با تغییر وزن معیارها در هر شاخه از درخت تصمیم‌گیری می‌توان گزینه‌ها را از نظر اولویت‌دهی جابه‌جا کرد. از آنجا که مهم‌ترین معیارها در درخت تصمیم‌گیری، معیارهای شاخه اصلی هستند، وزن گزینه‌ها و معیارهای

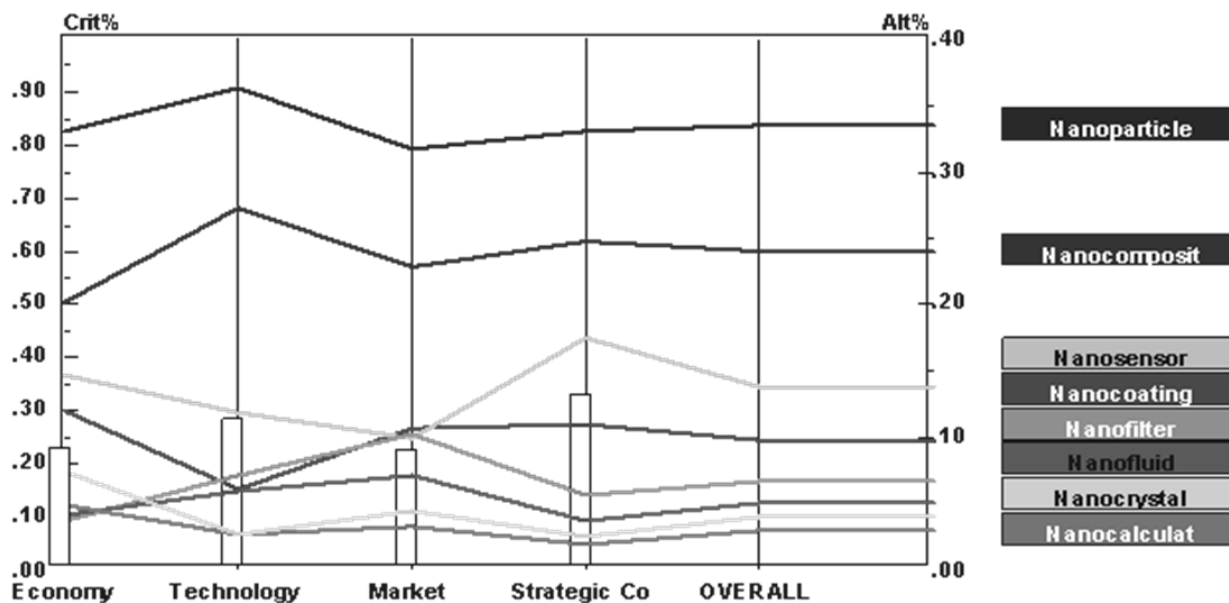
همان‌گونه که مشاهده می‌شود، بیشترین برتری نانوذرات و نانوکامپوزیت‌ها نسبت به دیگر گزینه‌ها از حیث معیار فناوری است. همچنین، ترتیب کلی اولویت گزینه‌ها مشابه اولویت گزینه‌ها از نظر معیار ملاحظات استراتژیک است که شاید دلیل عمده آن، وزن بالای این معیار در

خود باقی خواهد ماند.

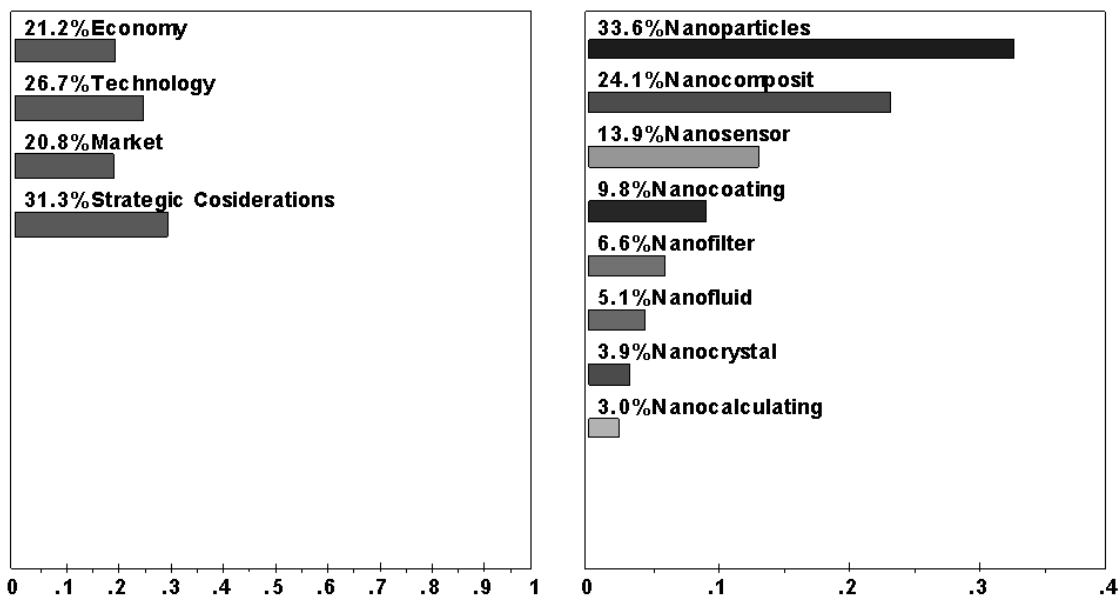
شاخه اصلی براساس نظرات کارشناسان در نمودار ۷، و وزن معیارهای شاخه اصلی و گزینه‌ها پس از تغییر وزن پویا در نمودار ۸ نشان داده شده است. چنان‌که مشاهده می‌شود، اگر وزن معیار بازار تا ۸۹/۹ درصد افزایش یابد، جایگاه اولویت‌های سوم و چهارم از حیث معیارهای شاخه اصلی تغییر می‌کند. با این همه، به نظر می‌رسد تغییر وضعیت این چینی تا ۵ سال آینده بعید باشد. در هر صورت، جایگاه گزینه‌های اول و دوم همچنان به قوت

۸- نتیجه‌گیری

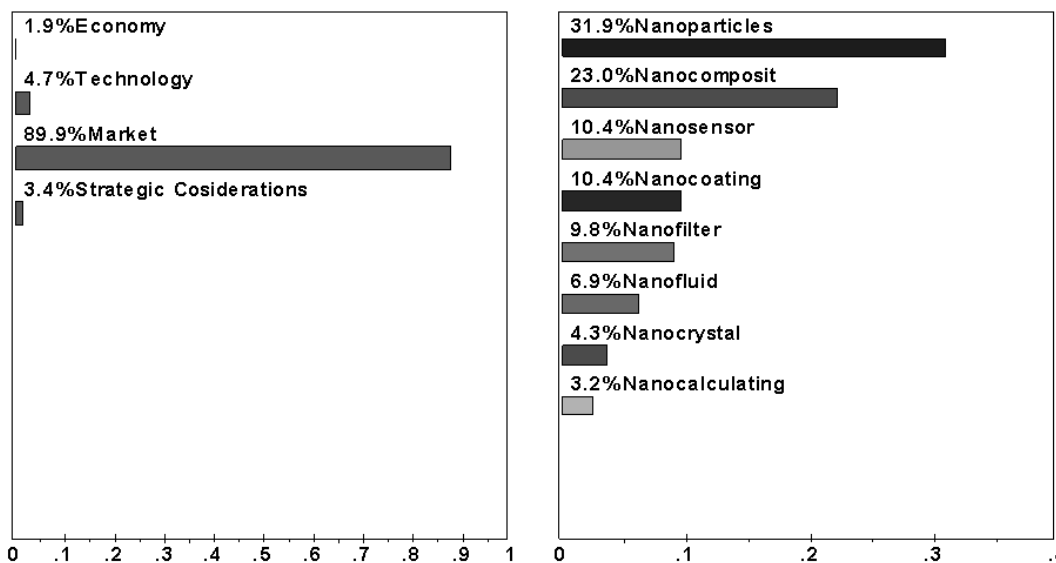
در تحقیق حاضر تلاش شده است تا با توسعه درخت معیارهای تصمیم‌گیری خاص صنایع بالادستی نفت براساس نظرات کارشناسان این حوزه، اولویت‌های فناوری نانو با استفاده از روش AHP مشخص شود. از



نمودار ۶. تحلیل حساسیت براساس عملکرد گزینه‌ها از حیث معیارهای شاخه اصلی



نمودار ۷. وزن نهایی معیارهای شاخه اصلی و گزینه‌ها



نمودار ۸. وزن معیارهای شاخه اصلی و گزینه‌ها پس از تغییر وزن در تحلیل حساسیت

کاربردی ساخت.

این‌رو، در این صنعت باید توجه به سرمایه‌گذاری و توسعه تحقیقات بر روی نانوذرات، نانوکامپوزیت‌ها، نانوسنسورها و نانوپوشش‌ها توجه شود. نکته قابل توجه در تحلیل حساسیت نتایج این تحقیق آن است که در کلیه حالات ممکن، نانوذرات و نانوکامپوزیت‌ها همچنان در جایگاه‌های اول و دوم قرار گرفته‌اند. همچنین در تغییر جایگاه‌های گزینه‌های سوم و چهارم، عمدتاً گزینه سوم و چهارم جابه‌جا شده‌اند. بنابراین احتمال قرارگیری نانوذرات، نانوکامپوزیت‌ها، نانوسنسورها و نانوپوشش‌ها در جایگاه‌های اول تا چهارم اولویت در پنج سال آینده بسیار بالاست.

در حال حاضر پیشرفت‌های تحقیقاتی بر روی فناوری نانو در ایران فاصله چندانی با دستاوردهای جهانی ندارد، اما آهنگ رشد و توسعه این فناوری در کشورهای پیشگام سریع‌تر از ایران است و مشخص ساختن حوزه‌هایی با پتانسیل بیشتر درخصوص این فناوری در کشور بسیار ضروری است. به نظر می‌رسد که حساسیت این مهم در صنعت نفت، به منزله یک صنعت استراتژیک، به‌خوبی احساس شده است و تعریف پروژه‌های اولویت‌دهی و تدوین برنامه‌های راهبردی در این صنعت از جمله نمودهای توجه به این موضوع است.

در این بین با تعریف پروژه‌هایی در زمینه بررسی تأثیرات فناوری نانو بر صنایع اصلی کشور و تعیین اولویت‌ها و راهبردهای این صنایع در رویارویی با این فناوری می‌توان از یک‌سو نیاز مبرم این صنایع به تعیین افق آتی صنعت مربوط و جایگاه فناوری نانو در آن را برطرف کرد و از سوی دیگر، با نزدیک ساختن ارتباط دانشگاه و صنعت، نتایج تحقیقات علمی دانشجویان را

References:

منابع

- [۱]. سهرابی جهرمی، ابوزر، گزارشی از فعالیت‌های شرکت *Texaco* و *Chevron* و *BP* در مورد الماس‌واره‌ها، ستاد ویژه توسعه فناوری نانو، ۱۳۸۴.
- [۲]. بررسی پتانسیل‌های کاربرد فناوری نانو در صنایع بالادستی نفت، مرکز مطالعات فناوری دانشگاه صنعتی شریف، گروه نفت و انرژی، ۱۳۸۴.
- [۳]. صالحی‌وزیری، حسین، اولویت‌های توسعه فناوری نانو، ستاد ویژه توسعه فناوری نانو، ۱۳۸۲.
- [۴]. اسدی‌فرد، عبدالرضا، نتایج نظرسنجی در مورد نانوتکنولوژی (در حاشیه همایش نانوتکنولوژی، انقلاب صنعتی آینده)، ستاد ویژه توسعه فناوری نانو، ۱۳۸۱.
- [5]. Wolfgang, E., 2004, *Energy & Nanotechnology: Strategy for the Future*, Sc
- [۶]. زارعی، مجید، "اولویت‌بندی موضوعات نانوتکنولوژی در ایران"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، مهندسی صنایع، دانشگاه بوعلی‌سینا، ۱۳۸۵.
- [۷]. صاحبی‌نژاد، مجید، "آینده‌نگاری فناوری ابزاری جهت اولویت‌گذاری علم و فناوری نانو در ایران"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، مدیریت تکنولوژی، دانشگاه علامه طباطبایی، ۱۳۸۵.
- [۸]. سجادی‌پور، مهدی، "طراحی الگوی جامع برای آینده‌نگری برای فناوری

جذابیت پیل سوختی و تدوین استراتژی توسعه فناوری آن در کشور، مرکز گسترش فناوری اطلاعات، ۱۳۸۲.

[۲۲]. فناوری نانو و جایگاه آن در جهان امروز، ستاد ویژه توسعه فناوری نانو، ۱۳۸۳.

[23]. Macharis, C., Springael, J., Brucker, K.D. and Verbeke, A., PROMETHEE and AHP: The design of operational synergies in multicriteria analysis. A strengthening PROMETHEE with ideas of AHP, European Journal of Operational Research 153, 2004, 307-317.

نانو در ایران با توجه به نظام ارزشی جمهوری اسلامی (مطالعه موردی فناوری نانو دارو)، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۸۵.

[۹]. آقابزرگ، حمیدرضا، اولویت‌های فناوری نانو در صنایع نفتی، مجموعه مقالات دومین همایش علم و فناوری آینده و راهبردها، بهمن ۱۳۸۲.

[۱۰]. آقابزرگ، حمیدرضا، نانوتکنولوژی و صنعت نفت، سمینار نانوتکنولوژی، تهران، بهمن ۱۳۸۱.

[11]. Pohekar, S.D. and Ramachandran, M., Application of multi-criteria decision making to sustainable energy planning-A review, Renewable and Sustainable Energy Reviews 8, 2004, 365-381.

[12]. Raju KS, Pillai CRS., Multicriterion decision making in performance evaluation of irrigation projects, European Journal of Operational Research, 112(3), 1999, 479-88.

[13]. Mikhailov, L. and Singh, MG1., Comparison analysis of methods for deriving priorities in the analytic hierarchy process, Proceedings of the IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, 1999, 1037-42.

[14]. Chang YH, Yeh CH, Evaluating airline competitiveness using multi-attribute decision making, Omega, 29(5), 2001, 405-15.

[15]. Vaidya, O.S. and Kumar, Sushil, Analytic hierarchy process: An overview of applications, European Journal of Operational Research, 169 (1), 2006, 1-29.

[16]. Srdjevic, Bojan, Combining different prioritization methods in the analytic hierarchy process synthesis, Computers & Operations Research 32, 2005, 1897-1919.

[17]. Solnes, J., Environmental quality indexing of large industrial development alternatives using AHP, Environmental Impact Assessment Review, 23(3), 2003, 283-303.

[18]. Afgan, N.H., Carvalho, M.G. and Hovanov, N.V., 2000, Sustainability assessment of renewable energy systems, Energy Policy 28, 603-12.

[19]. Mikhailov, L., fuzzy programming method for deriving priorities in the analytic hierarchy process, Journal of Operational Research Society 51, 2000, 341-9.

[۲۰]. آراستی، محمدرضا و بشارتی‌راد، زهره، تدوین استراتژی‌های توسعه فناوری در صنعت برق ایران: یک ضرورت ملی، شانزدهمین کنفرانس بین‌المللی برق، سازمان توانیر، ۱۳۸۰.

[۲۱]. هاشمی، سیدجلال‌الدین و همکاران، پروژه مطالعات امکان‌سنجی -