

ارائه مدل مناسب تصمیم‌گیری برای انتخاب راهبرد مؤثر تولید سبز در مجتمع فولاد صنعت بناب

رحیم دباغ^{۱*}، صابر آقابور اسبق^۲

۱. دانشیار، گروه مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی ارومیه، ارومیه، ایران

۲. کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی ارومیه، ارومیه، ایران

خلاصه

گزینش و انتخاب مؤثرترین استراتژی‌های تولید سبز برای بهبود عملکرد زیست‌محیطی یک صنعت خاص، به دلیل وجود گزینه‌های متعدد، اهداف مدیریتی گوناگون و محدودیت منابع، فرایند پیچیده‌ای به شمار می‌رود. در این پژوهش، یک رویکرد تصمیم‌گیری توسعه‌یافته با قابلیت فرمول‌بندی آرمان‌ها و محدودیت‌های سازمان، برای رسیدگی به این موضوع ارائه شده است. رویکرد حل مسئله پیشنهادی ترکیبی از روش‌های آزمایشگاه ارزیابی و آزمون تصمیم‌گیری (DEMATEL)، فرایند تحلیل شبکه‌ای (ANP)، تکنیک ارزیابی نسبت جمعی (ARAS) و به همراه مدل برنامه‌ریزی آرمانی صفر و یک (ZOGP) است. رویکرد پیشنهادی برای ارزیابی و انتخاب مناسب‌ترین استراتژی‌های تولید سبز، از بین گزینه‌های تعیین‌شده، به‌صورت موردی برای مجتمع فولاد صنعت بناب، اجرا و اعتباربخشی شده است. در این مطالعه تجربی، مجموعه‌ای از زیرمعیارها در قالب چهار بعد شامل چشم‌انداز زیست‌محیطی، چشم‌انداز عملیاتی، چشم‌انداز سازمانی و چشم‌انداز خارجی، جهت ارزیابی استراتژی‌ها در صنعت فولاد تعیین شده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که در میان ابعاد تصمیم‌گیری، چشم‌انداز خارجی به‌عنوان تأثیرگذارترین عامل شناسایی شده است. علاوه‌بر این مشخص شد که با توجه به منابع موجود، استراتژی‌های احداث تصفیه‌خانه فاضلاب صنعتی و استقرار سیستم مدیریت پسماندها، بهترین راهبردها برای بهبود عملکرد زیست‌محیطی مجتمع فولاد به شمار می‌روند.

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

دریافت ۱۳۹۸/۱۱/۱۷

پذیرش ۱۳۹۹/۲/۱۵

(مقاله پژوهشی)

کلمات کلیدی:

استراتژی‌های تولید سبز

برنامه‌ریزی آرمانی صفر و یک

تصمیم‌گیری چند معیاره

صنعت سبز

عملکرد زیست‌محیطی

۱. مقدمه

صنعت سازگار با محیط‌زیست، عنصر اصلی آینده اقتصادی پایدار است. فعالیت‌های صنعتی مانند تولید، نقش مهمی را در شکل‌گیری آینده اقتصادی هر کشوری ایفا می‌کنند. با این وجود، جنبه‌های منفی آن اثرات مخرب آشکار و غیرقابل جبرانی را بر محیط‌زیست وارد می‌کند. تأثیرات مخرب زیست‌محیطی فعالیت‌های صنعتی بیشتر ناشی از مصرف مواد، آب و انرژی در سیستم‌های تولیدی بوده و به‌طور کلی، در چهار بعد، شامل انتشار مواد شیمیایی سمی، تولید

پسماندها، مصرف انرژی و انتشار گاز کربن دسته‌بندی می‌شوند [۱]. اثرات مخرب زیست‌محیطی صنایع تولیدی، به‌طور چشمگیری بیش از سایر صنایع در جهان است [۲]. از این رو، صنایع تولیدی انگیزه‌های بیشتری برای اجرای شیوه‌های تولید پایدار نسبت به سایر صنایع دارند. این انگیزه‌ها شامل مواردی همچون رعایت و اجرای قوانین و مقررات داخلی و بین‌المللی زیست‌محیطی و همچنین بهره‌مندی از مزایای رقابتی می‌شوند [۳]. از طرف دیگر، کسب رضایت مصرف‌کننده و ذی‌نفعان، تولیدکنندگان را مجبور می‌کند تا تأثیرات گسترده‌تری از فرآیندهای تولید خود را در نظر بگیرند. بنابراین، آن‌ها علاوه بر ملاحظات و جنبه‌های اقتصادی، به‌طور روزافزونی به عملکرد زیست‌محیطی سیستم‌های تولیدی خود نیز توجه می‌کنند [۴].

* نویسنده مسئول: رحیم دباغ

تلفن: ۰۴۴-۳۱۹۸۰۲۵۱؛ پست الکترونیکی: r.dabbagh@uut.ac.ir

به دلیل محدودیت منابع نمی‌توانند تمامی این راهبردها را به طور هم‌زمان پیاده کنند. تصمیم‌گیران علاوه بر در نظر گرفتن ویژگی‌ها، نیازها و اهداف سازمان، باید محدودیت منابعی همچون سرمایه، زمان، متخصص و تکنولوژی را در انتخاب راهبردها در نظر بگیرند. از این رو تصمیم‌گیران در انتخاب استراتژی‌های تولید سبز مؤثر در بهبود عملکرد زیست‌محیطی با یک چالش روبه‌رو هستند و به یک رویکرد تصمیم‌گیری که بتواند آن‌ها را به اهداف و آرمان‌های از پیش تعیین شده با در نظر گرفتن محدودیت منابع برساند، نیاز دارند.

مرور ادبیات موجود در رابطه با انتخاب استراتژی‌های تولید سبز نشان می‌دهد که تحقیقات پیشین بیشتر جنبه مفهومی دارند و مبنای تجربی آن‌ها محدود تلقی می‌شود. همچنین، تحقیقات تمامی جنبه‌های تولید سبز را پوشش نمی‌دهند و هنوز پیوندهای بدون مطالعه مشاهده می‌شود. اکثر محققین از روش‌های کیفی استفاده کرده‌اند و تعداد معدودی مدل‌سازی را به روش کمی انجام داده‌اند. پژوهشگران با ادغام تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند معیاره به حل این مسئله پرداخته‌اند و طبق مطالعات صورت گرفته، هیچ‌یک از پژوهشگران محدودیت منابع را در گزینش و انتخاب راهبردهای تولید سبز در نظر نگرفته‌اند. علاوه بر موارد فوق، مرور ادبیات پیشین نشان می‌دهد که مطالعه‌ای مبنی بر ایجاد یک چهارچوب جامع در ارتباط با تولید سبز، در یک کشور در حال توسعه که شامل کلیه مراحل مدل‌سازی اعم از شناسایی عوامل موفقیت، اولویت‌بندی و ارتباط آن‌ها با اقدامات عملکردی و همچنین اجرای مدل بر روی یک کارخانه برای اعتبارسنجی و ارزیابی اثربخشی مدل باشد، وجود ندارد. این تحقیق، مطالعات پیشین در رابطه با گزینش و انتخاب استراتژی‌های تولید سبز را با در نظر گرفتن محدودیت‌های منابع و آرمان‌های سازمان در فرایند تصمیم‌گیری، گسترش و بهبود می‌بخشد. در پژوهش حاضر، یک رویکرد تصمیم‌گیری توسعه یافته جهت فرمول‌بندی آرمان‌ها و محدودیت منابع سازمانی ارائه و طی مطالعه موردی از مجتمع تولیدی فولاد، برای انتخاب مناسب‌ترین راهبردها از بین گزینه‌های پیشنهادی اجرا و اعتباربخشی می‌شود. بدین منظور، یک مجموعه چندبعدی از شاخص‌های سازگار با صنایع فولاد کشور، برای ارزیابی استراتژی‌های تولید سبز تعیین می‌گردد.

۲. پیشینه پژوهش

این بخش به مرور تحقیقات داخلی و خارجی مرتبط با تولید سبز، استراتژی‌های آن و همچنین تحقیقاتی که در آن ابزارهای تصمیم‌گیری چندمعیاره برای رسیدگی به مسائل تولید سبز با هم ترکیب شده‌اند، پرداخته است.

۲-۱. مطالعات داخلی

علیرغم تحقیقات گسترده پیرامون جنبه‌های مختلف تولید سبز و توسعه پایدار در صنایع کشورهای توسعه یافته، مطالعات بر روی صنایع کشورهای در حال توسعه از جمله ایران بسیار کم و محدود تلقی می‌شود. در ادامه به برخی از مطالعات داخلی در ارتباط با تولید سبز

واژه "تولید سبز" اشاره به تولید محصولات با کمک فرایندها و تکنولوژی‌های محیط‌زیست دوستانه، با هدف کاهش آلاینده‌ها، پسماندها و انتشارات گازهای سمی صنعتی و همچنین حفظ انرژی و منابع ارزشمند از طریق بازیافت و استفاده مجدد از مواد دارد. مشوق‌ها و موانع متعددی پیش روی تصمیم‌گیران در راه اجرای استراتژی‌های تولید سبز وجود دارد. با این حال، هرچه تصمیم‌گیران به ارزش‌های تولید سبز، بیشتر پی می‌برند، انگیزه آن‌ها برای استفاده از شیوه‌ها و تکنولوژی‌های سبز بیشتر می‌شود [۵].

مطالعات مختلف، با ارائه رویکردها و استراتژی‌های تولید سبز متنوع، به جنبه‌های مختلف زیست‌محیطی در صنایع گوناگون رسیدگی کرده‌اند که این امر اشاره به سودمندی و اثربخشی توسعه پایدار دارد [۶]. کاهش پسماندها همراه با بازیافت و استفاده مجدد از مواد، مستقیماً هزینه‌های تولید، مصرف منابع ارزشمند و تولید آلاینده‌های زیست‌محیطی را کاهش می‌دهد. چراکه، مواد غیرقابل بازیافت به طور گسترده در طبیعت دفع می‌شوند [۷]. ادغام تفکر زیست‌محیطی در مدیریت زنجیره تأمین، معروف به مدیریت زنجیره تأمین سبز^۲، در بین محققان و مدیرانی که به دنبال بهبود عملکرد زیست‌محیطی هستند، علاقه زیادی به خود اختصاص داده است [۸]. انتظار می‌رود که اجرای شیوه‌های زنجیره تأمین سبز، عملکرد زیست‌محیطی صنایع را از طریق کاهش ضایعات صنعتی، انتشار گازهای گلخانه‌ای و مصرف مواد بهبود دهد [۹]. در بین استراتژی‌های تولید سبز، جلوگیری از تولید آلاینده‌ها، اثربخش‌تر و مقرون به صرفه‌تر از سایر راهبردها جهت کاهش اثرات زیست‌محیطی فعالیت‌های صنعتی به شمار می‌رود. چراکه این امر موجب حذف فرایندها و تجهیزات مورد نیاز جهت کنترل آلودگی‌های صنعتی می‌شود. برعکس این قضیه، ترمیم محیط آسیب‌دیده پس از آن که آلاینده‌ها به طبیعت وارد شدند، پرهزینه‌تر و کم اثرتر از سایر راهبردها به شمار می‌رود. کنترل تولید آلاینده‌ها، به اقدامات پیشگیرانه مانند استفاده از مواد و انرژی‌های سبز، به روزرسانی تجهیزات موجود به تجهیزات سبز و صرفه‌جویی در مصرف منابع طبیعی، نیاز دارد.

پژوهشگران روش‌های حل مسئله متعددی را برای انتخاب استراتژی‌های تولید سبز پیشنهاد و به طور موفقیت‌آمیز در صنایع مختلف اجرا کرده‌اند. مسئله این است که انتخاب مؤثرترین راهبردها از میان گزینه‌های تعیین شده برای یک کارخانه خاص، به دلیل تفاوت ویژگی‌های زیست‌محیطی صنایع، وجود اهداف گوناگون مدیریتی و محدودیت منابع، امر دشواری به حساب می‌رود. بهبود بهره‌وری در استفاده از منابع و انرژی، کاهش پسماند و ضایعات صنعتی، کنترل انتشار گازهای آلاینده سمی و به طور کلی حفاظت از اکوسیستم‌های طبیعی منطقه مجموعه‌ای از دستاوردهای استراتژی‌های تولید سبز مختلف به شمار می‌روند. با این حال، مدیران

1. Green Manufacturing

2. Green Supply Chain Management

۲-۲. مطالعات خارجی

پردازش شده است.

در اوایل دهه نود میلادی، برخی از سازمان‌ها به دلیل تحول استانداردها، شروع به اجرای سیاست‌های زیست‌محیطی کردند که این امر موجب توسعه تولید سبز شد. تولید سبز کاملاً متفاوت از تولید مرسوم بود چراکه هدف از آن کاهش تأثیرات مخرب فعالیت‌های صنعتی بر روی محیط‌زیست بود. پس از معرفی ایزو ۱۴۰۰۱ در سال ۱۹۹۶ میلادی تعداد بیشتری از شرکت‌ها، پیاده‌سازی استراتژی‌های تولید سبز را آغاز کردند. در نتیجه، مفهوم تولید سبز به شدت رشد کرده و محققین شروع به بررسی استراتژی‌های آن کردند. علاوه بر ایزو ۱۴۰۰۱، مشوق‌های دیگری نیز بر اجرای استراتژی‌های تولید سبز انگیزه می‌بخشند. آگان و همکاران (۲۰۱۳) انگیزه‌های فرایندهای زیست‌محیطی و تأثیر آن‌ها بر عملکرد شرکت را در سازمان‌های کوچک و بزرگ ترکیه مورد ارزیابی قرار دادند [۱۹].

در مطالعات ابتدایی، تولید سبز با نام تولید سازگار با محیط‌زیست شناخته می‌شد. ریچاردز (۱۹۹۴) چالش‌ها و موانع پیش روی تولید سازگار با محیط‌زیست را از منظر چرخه عمر محصول و طراحی محصول موردبررسی قرار داد [۲۰]. زانگ (۱۹۹۹) رویکرد چرخه عمر و هزینه چرخه عمر محصول را در استقرار عملکرد کیفیت، به‌منظور بهبود تولید سبز ادغام کرده و رویکرد موردنظر را در کارخانه تولید فیلترهای موتور به‌کار برد [۲۱]. جیان (۲۰۱۳) مفاهیم اساسی تولید سبز و همچنین عوامل موردنیاز برای بهبود عملکرد سبز صنایع از منظر بهره‌وری در مصرف انرژی و کنترل انتشار گازهای کربن را تعریف کرد [۲۲].

پس از جهانی‌شدن، بسیاری از شرکت‌ها استراتژی‌های تولید سبز را به فرایندهای تولیدی خود اضافه کردند. از این‌رو، استراتژی‌های فراوانی تدوین و مورد استفاده قرار گرفتند. مقالات موجود استراتژی‌های تولید سبز را همراه با تکنیک‌های اجرای متناظر آن‌ها کاوش کردند. هوی و همکاران (۲۰۰۱) عملکرد و مزایای شیوه‌های تولید سبز را در هنک‌کنگ بررسی کردند [۲۳]. سروف (۲۰۰۳) رابطه بین تولید سبز و عملکرد عملیاتی شرکت‌ها را ارزیابی کرد و به این نتیجه رسید که میان فرایندهای تولید سبز و فرایندهای عملیاتی شرکت رابطه مثبتی موجود است [۲۴].

محققان ابزارهای تصمیم‌گیری چند معیاره را در تحقیقات خود به‌ویژه در ارزیابی و گزینش استراتژی‌های سبز تلفیق کرده‌اند. رائو و پاتل (۲۰۱۰) رویکرد ترکیبی از تکنیک فرایند تحلیل شبکه‌ای (ANP) و روش پرومته را برای حل مسئله ارزیابی گزینه‌ها در یک کارخانه تولیدی به‌کار بردند [۲۵]. رائو (۲۰۱۳) چندین روش تصمیم‌گیری چند معیاره بهبود یافته را برای حل چالش‌های تصمیم‌گیری در محیط تولیدی کارخانه‌ها استفاده کرده است [۲۶]. برخی از مطالعات ابزارهای مختلف تصمیم‌گیری چند معیاره را در طراحی محصول سبز با یکدیگر ادغام کردند. لین (۲۰۱۱) با در نظر

دهقان و همکاران (۱۳۹۵) یک مدل برنامه‌ریزی آرمانی برای ارزیابی و انتخاب استراتژی‌های تولید سبز مناسب برای محصولات منتخب ایران خودرو ارائه و اجرا کرده‌اند [۱۰]. نتایج آن‌ها نشان داده که اجرای استراتژی‌های تولید سبز پیشنهادی در افق پنج ساله شرکت موجب تولید محصولات محیط‌زیست دوستانه‌تر می‌شود. پورزمانی و مشایخی‌فرد (۱۳۹۴) رویکردی یکپارچه با بررسی مفاهیم چرخه عمر محصول و با استفاده از تکنیک FAHP^۱ برای سنجش سبز بودن محصولات تولیدی به لحاظ ریسک‌های آلودگی زیست‌محیطی ارائه و آن را در صنعت کاشی و سرامیک به اجرا درآوردند [۱۱]. پناهی‌زاده و فیلی (۱۳۹۸) یک نقشه علی بر مبنای تکنیک آزمایشگاه ارزیابی و آزمون تصمیم‌گیری (DEMATEL)^۲، برای ارزیابی عوامل مؤثر بر تولید سبز ارائه کرده و به این نتیجه رسیدند که معیار ترویج و اشاعه طرح‌های سبز بالاترین اثرگذاری و معیار میزان دانش، تعهد و توجه مدیران بالاترین اثرپذیری را در بین عوامل دارا هستند [۱۲].

غلامحسین‌پور و همکاران (۱۳۹۷) برخی از مهم‌ترین موانع اقتصادی، اجتماعی و محیطی پیش روی فرایندهای تولید سبز در شرکت نیرو محرکه قزوین را با استفاده از یک رویکرد ترکیبی کیفی- کمی ارزیابی و رتبه‌بندی کرده‌اند [۱۳]. نتایج تحقیق نشان داده که موانع اجتماعی، محیطی و اقتصادی به ترتیب مهم‌ترین موانع در شرکت نیرو محرکه قزوین به‌شمار می‌روند. قزلباش و همکاران (۱۳۹۶) یک چهارچوب روش‌شناسی مبتنی بر رویکرد تصمیم‌گیری چند معیاره، برای ارزیابی و انتخاب روش‌های تولید سبز مس، به‌منظور بهبود عملکرد زیست‌محیطی شرکت ملی صنایع مس ایران، ارائه کردند [۱۴]. جمشیدی (۱۳۹۶) مجموعه‌ای از استراتژی‌های مدیریت زنجیره تأمین سبز، شامل استراتژی‌های منبع‌یابی سبز، تولید سبز و توزیع سبز را برای کنترل آلودگی‌های زیست‌محیطی صنایع و دستیابی به توسعه سبز مورد بحث و بررسی قرار داد [۱۵].

بسیاری از محققین استراتژی‌های مدیریت زنجیره تأمین سبز را جزئی از تولید سبز می‌دانند. از این‌رو مرور ادبیات مربوط به مدیریت زنجیره تأمین سبز حائز اهمیت است. نوری و همکاران (۱۳۹۸) یک مدل برنامه‌ریزی خطی یکپارچه برای طراحی زنجیره تأمین سبز با هدف کمینه‌سازی هزینه، ریسک و میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای و ملاحظه عدم قطعیت ارائه کردند [۱۶]. قهرمانی و همکاران (۱۳۹۷) یک مدل زنجیره تأمین سبز حلقه بسته چندهدفه، چند دوره‌ای، چند محصولی با ملاحظه عوامل زیست‌محیطی گسترش داده‌اند [۱۷]. فخرزاد و همکاران (۱۳۹۸) یک مدل زنجیره تأمین حلقه بسته سبز در حالت چند دوره‌ای، چندسطحی و چند محصولی تحت عدم قطعیت با اهداف کمینه‌سازی هزینه‌ها، کمینه‌سازی انتشار گاز کربن و حداکثرسازی قابلیت اطمینان تحویل تقاضا ارائه کردند [۱۸].

1. Fuzzy Analytic Hierarchy Process

2. Decision Making Trial and Evaluation Laboratory

در گام اول، از کارشناسان زمینه پژوهشی خواسته می‌شود که تأثیرات مستقیم هر مؤلفه i بر هر مؤلفه j ، که با نماد a_{ij} مشخص شده است را با کمک یک مقیاس عددی صحیح از ۰ تا ۴ مشخص کنند. در این مقیاس عدد صحیح، عدد ۰ "بدون نفوذ"، عدد ۱ "نفوذ جزئی"، عدد ۲ "نفوذ کم"، عدد ۳ "نفوذ زیاد" و عدد ۴ "نفوذ بسیار زیاد" را مشخص می‌کند. سپس، یک ماتریس میانگین $A = [a_{ij}]_{n \times n}$ از میانگین ماتریس‌های پاسخ کارشناسان محاسبه می‌شود. معادله (۱)، ماتریس میانگین روابط اولیه A را نشان می‌دهد.

$$A = \begin{pmatrix} \alpha_{11} & \cdots & \alpha_{1j} & \cdots & \alpha_{1n} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \alpha_{i1} & \cdots & \alpha_{ij} & \cdots & \alpha_{in} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \alpha_{n1} & \cdots & \alpha_{nj} & \cdots & \alpha_{nn} \end{pmatrix} \quad (1)$$

گام دوم: محاسبه ماتریس روابط نرمال X .

در این گام ماتریس A با کمک معادله‌های (۲) و (۳) نرمالیزه شده و ماتریس روابط نرمال X نام می‌گیرد.

$$K = \frac{1}{\max_{1 \leq i \leq n} \sum_{j=1}^n \alpha_{ij}} \sum_{j=1}^n \alpha_{ij} \quad (2)$$

$$X = K \times A \quad (3)$$

گام سوم: محاسبه ماتریس روابط کل T .

ماتریس روابط کل T با حل معادله (۴) به دست می‌آید که در آن T اشاره به ماتریس همانی دارد.

$$T = X + X^2 + \cdots + X^h = X(I - X)^{-1} \quad (4)$$

گام چهارم: تعیین مجموع سطرها و ستون‌های ماتریس T .

مؤلفه‌های R و S به ترتیب مجموع سطرهای T و ستون‌های T را نشان می‌دهند و با کمک معادله‌های (۵) و (۶) محاسبه می‌شوند.

$$r = [r_j]_{n \times 1} = \left[\sum_{j=1}^n t_{ij} \right]_{n \times 1} \quad s = [s_j]_{n \times 1} = \left[\sum_{j=1}^n t_{ij} \right]_{1 \times n} \quad (5)$$

$$T = [t_{ij}], \quad i, j = 1, 2, \dots, n. \quad (6)$$

گام پنجم: رسم نمودارهای روابط مستقیم.

در این مرحله، نمودارهای تأثیرات مستقیم با کمک مقادیر R و S رسم می‌شوند.

گام ششم: بدست آوردن ماتریس ناموزون W .

T_c معرف ماتریس روابط کل برای زیرمعیارهاست که ماتریس $T_c = [t_{ij}]_{n \times n}$ در معادله (۷) نشان داده شده است.

گرفتن عوامل مختلف در صنعت تولید، گزینه‌های مختلف طراحی محصول سبز را ارزیابی کرد [۲۷]. وی یک ساختار تحلیلی بر مبنای تکنیک DEMATEL و ANP برای استخراج درجات تعاملات متقابل بین معیارها و محاسبه وزن آن‌ها پیشنهاد کرد. چان و همکاران (۲۰۱۳) محصولات سبز را با کمک تکنیک FAHP ارزیابی چرخه عمر محصول ارزیابی کردند [۲۸].

۳. روش تحقیق

این تحقیق، یک رویکرد تصمیم‌گیری توسعه‌یافته بر مبنای روش‌های ANP، DEMATEL، تکنیک ارزیابی نسبت جمعی (ARAS)^۱ به همراه مدل برنامه‌ریزی آرمانی صفرو یک (ZOGP)^۲ جهت فرمول‌بندی محدودیت‌های سازمانی و انتخاب مناسب‌ترین استراتژی‌ها ارائه می‌دهد. در سال‌های اخیر پژوهشگران متعددی از تکنیک‌های ترکیبی تصمیم‌گیری چند معیاره برای حل مشکلات صنایع ایران استفاده کرده‌اند [۲۹ و ۳۰]. در گام اول، معیارهای تصمیم‌گیری از طریق مطالعه تحقیقات پیشین، استفاده از نظرات کارشناسان و راهنمایی‌های مدیران صنعتی تعیین می‌گردد. سپس از رویکرد ترکیبی DEMATEL و ANP برای استخراج روابط و تعاملات متقابل بین معیارها و زیرمعیارها و محاسبه وزن آن‌ها استفاده می‌شود. مطالعات پیشین در این زمینه اشاره کرده‌اند که بین معیارهای این نوع مسئله تصمیم‌گیری ارتباطات و تعاملات متقابل وجود دارد. لذا برای لحاظ این تعاملات و به دست آوردن ضرایب وزنی مناسب و عادلانه از رویکرد DANP که یکی از تکنیک‌های جامع در این مورد به شمار می‌رود، استفاده می‌گردد. در گام بعدی، از روش ARAS برای محاسبه ضرایب مطلوبیت نسبی هر گزینه استفاده می‌شود. از تکنیک ARAS به دلیل سادگی و اثربخشی آن در ارزیابی گزینه‌ها استفاده شده، چراکه محاسبات گام DANP بسیار محاسبات پیچیده و طولانی هستند. سرانجام از مدل ZOGP برای انتخاب گزینه‌های ارجح با ملاحظه محدودیت منابع و آرمان‌های تصمیم‌گیران استفاده می‌شود. شکل (۱) چهارچوب روش تحقیق ارائه شده در این مطالعه را نشان می‌دهد.

۳-۱. رویکرد یکپارچه آزمایشگاه ارزیابی، آزمون تصمیم‌گیری و فرایند تحلیل شبکه‌ای

رویکرد یکپارچه DEMATEL و ANP که با عنوان DANP شناخته می‌شود، روشی شناخته شده برای استخراج تعاملات متقابل بین معیارها و همچنین به دست آوردن وزن آن‌ها در مسائل MCDM به کار می‌رود [۳۱]، [۳۲]. گام‌های زیر در روش DANP مورد استفاده در این پژوهش، که توسط سو و همکاران (۲۰۱۲) ارائه شده‌اند را شرح دهند [۳۳]:

گام اول: محاسبه ماتریس میانگین روابط اولیه A .

1. Additive Ratio Assessment
2. Zero-one Goal Programming

گام هفتم: محاسبه سوپرماتریس وزن دار.

در این گام، سوپرماتریس وزن دار با نرمال سازی سوپرماتریس ناموزون، همان گونه که در معادله (۱۲) آمده است، محاسبه می‌شود.

$$T_D = \begin{pmatrix} t_D^{11} & \dots & t_D^{1j} & \dots & t_D^{1n} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ t_D^{i1} & \dots & t_D^{ij} & \dots & t_D^{in} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ t_D^{n1} & \dots & t_D^{nj} & \dots & t_D^{nn} \end{pmatrix} \quad (12)$$

سپس، ماتریس T_D^α از طریق معادله (۱۳) به دست می‌آید، جایی که $T_D^{\alpha ij} = T_D^{ij} / d_i$

$$T_D^\alpha = \begin{pmatrix} t_D^{11} / d_1 & \dots & t_D^{1j} / d_1 & \dots & t_D^{1n} / d_1 \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ t_D^{i1} / d_i & \dots & t_D^{ij} / d_i & \dots & t_D^{in} / d_i \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ t_D^{n1} / d_n & \dots & t_D^{nj} / d_n & \dots & t_D^{nn} / d_n \end{pmatrix} \quad (13)$$

با ضرب ماتریس نرمالیزه شده روابط کل T_D^α در سوپرماتریس ناموزون، سوپرماتریس وزن دار W^α همان گونه که در معادله (۱۴) نشان داده شده، محاسبه می‌گردد.

$$W^\alpha = T_D^\alpha \times W = \begin{pmatrix} t_D^{\alpha 11} \times W^{11} & \dots & t_D^{\alpha 1j} \times W^{1j} & \dots & t_D^{\alpha 1n} \times W^{1n} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ t_D^{\alpha i1} \times W^{i1} & \dots & t_D^{\alpha ij} \times W^{ij} & \dots & t_D^{\alpha in} \times W^{in} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ t_D^{\alpha n1} \times W^{n1} & \dots & t_D^{\alpha nj} \times W^{nj} & \dots & t_D^{\alpha nn} \times W^{nn} \end{pmatrix} \quad (14)$$

گام هشتم: محاسبه سوپرماتریس حددی و استخراج وزن‌ها.

در گام آخر، سوپرماتریس حددی از به توان رساندن سوپرماتریس وزن دار تا زمانی که هر سطر آن به عددی همگرا شود، بدست می‌آید $\lim_{g \rightarrow \infty} (W^\alpha)^g$. جایی که g نشان دهنده توان است. سپس، وزن و رتبه بندی زیرمعیارها که به آن‌ها وزن‌های DANP نیز گفته می‌شود، از سوپرماتریس حددار به دست می‌آید.

۲-۳. تکنیک ارزیابی نسبت جمعی

تکنیک ARAS توسط زاوادمکاس و ترکسپس (۲۰۱۰) ارائه شده است که می‌تواند در حل مسائل تصمیم‌گیری چند معیاره استفاده شود [۳۴]، [۳۵]. برای ارزیابی و بدست آوردن ضرایب مطلوبیت نسبی (ضرایب نزدیکی) استراتژی‌های تولید سبز، در این پژوهش از تکنیک ARAS، به دلیل اثربخشی آن بهره گرفته شده است. گام‌های تکنیک ARAS به شرح زیر می‌باشند:

گام اول: تشکیل ماتریس تصمیم X .

ماتریس تصمیم یک مسئله با m گزینه و n معیار به شرح معادله ۱۵ تشکیل می‌شود.

$$T_c = D_i \begin{pmatrix} D_1 & \dots & D_j & \dots & D_n \\ c_{11} \dots c_{1m1} & \dots & c_{j1} \dots c_{jmj} & \dots & c_{n1} \dots c_{nmn} \\ T_c^{11} & \dots & T_c^{1j} & \dots & T_c^{1n} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ T_c^{i1} & \dots & T_c^{ij} & \dots & T_c^{in} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ T_c^{n1} & \dots & T_c^{nj} & \dots & T_c^{nn} \end{pmatrix} \quad (7)$$

سپس با نرمال سازی درون خوشه‌ای ماتریس T_c ماتریس جدیدی به نام T_c^α همان طور که در معادله (۸) نمایش داده شده است، محاسبه می‌شود.

$$T_c^\alpha = D_i \begin{pmatrix} D_1 & \dots & D_j & \dots & D_n \\ c_{11} \dots c_{1m1} & \dots & c_{j1} \dots c_{jmj} & \dots & c_{n1} \dots c_{nmn} \\ T_c^{\alpha 11} & \dots & T_c^{\alpha 1j} & \dots & T_c^{\alpha 1n} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ T_c^{\alpha i1} & \dots & T_c^{\alpha ij} & \dots & T_c^{\alpha in} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ T_c^{\alpha n1} & \dots & T_c^{\alpha nj} & \dots & T_c^{\alpha nn} \end{pmatrix} \quad (8)$$

نرمال سازی $T_c^{\alpha 11}$ در معادله‌های (۹) توضیح داده شده است و مقادیر دیگر $T_c^{\alpha nm}$ به صورت فوق هستند.

$$d_{ci}^{11} = \sum_{j=1}^{m_1} t_{cij}^{11}, \quad i = 1, 2, \dots, m_1$$

$$T_c^{\alpha 11} = \begin{pmatrix} t_{c11}^{11} / d_{c1}^{11} & \dots & t_{c1j}^{11} / d_{c1}^{11} & \dots & t_{c1m1}^{11} / d_{c1}^{11} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ t_{ci1}^{11} / d_{ci}^{11} & \dots & t_{cij}^{11} / d_{ci}^{11} & \dots & t_{cim1}^{11} / d_{ci}^{11} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ t_{cm1}^{11} / d_{cm1}^{11} & \dots & t_{cm1j}^{11} / d_{cm1}^{11} & \dots & t_{cm1m1}^{11} / d_{cm1}^{11} \end{pmatrix} \quad (9)$$

سپس سوپرماتریس ناموزون W از طریق معادله (۱۰) محاسبه می‌شود.

$$W^{11} = C_{1j} \begin{pmatrix} C_{11} & \dots & C_{1i} & \dots & C_{1m_1} \\ t_{c11}^{\alpha 11} & \dots & t_{c1j}^{\alpha 11} & \dots & t_{c1m1}^{\alpha 11} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ t_{ci1}^{\alpha 11} & \dots & t_{cij}^{\alpha 11} & \dots & t_{cim1}^{\alpha 11} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ t_{cm1}^{\alpha 11} & \dots & t_{cm1j}^{\alpha 11} & \dots & t_{cm1m1}^{\alpha 11} \end{pmatrix} \quad (10)$$

اگر بین مؤلفه‌های خوشه یا زیرمعیارها هیچ وابستگی وجود نداشته باشد W^{11} (معادله ۱۱) خالی یا صفر است و مقادیر دیگر W^{nn} نیز به همان صورت هستند.

$$W = (T_c^\alpha)' = D_j \begin{pmatrix} D_1 & \dots & D_i & \dots & D_n \\ c_{11} \dots c_{1m1} & \dots & c_{i1} \dots c_{im_i} & \dots & c_{n1} \dots c_{nmn} \\ W^{11} & \dots & W^{i1} & \dots & W^{n1} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ W^{1j} & \dots & W^{ij} & \dots & W^{nj} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ W^{1n} & \dots & W^{in} & \dots & W^{nn} \end{pmatrix} \quad (11)$$

$$S_i = \sum_{j=1}^n v_{ij}, \quad i = 0, 1, \dots, m. \quad (19)$$

گام ششم: بدست آوردن ضرایب مطلوبیت نسبی همان ضریب نزدیکی (Q_i) برای یک گزینه با رابطه زیر (۲۰) محاسبه می‌شود.

$$Q_i = S_i / S_0, \quad i = 1, 2, \dots, m. \quad (20)$$

که در آن S_0 مقدار عملکرد کلی گزینه ایده‌آل و Q_i ضریب مطلوبیت نسبی گزینه i ام می‌باشد.

گام هفتم: رتبه‌بندی گزینه‌ها.

در گام آخر گزینه‌ها با توجه به مقادیر Q_i ها رتبه‌بندی می‌شوند. از این‌رو، بهترین گزینه A^* ، گزینه‌ای است که بزرگ‌ترین مقدار Q_i را دارد.

۳-۳. مدل برنامه‌ریزی آرمانی صفر و یک

برنامه‌ریزی آرمانی یک مدل برنامه‌ریزی شناخته شده برای حل مسائل چند هدفه است که توسط چارنز و همکاران (۱۹۹۵) معرفی شد [۳۶]. این مدل قادر است با کمینه کردن انحراف بین آرمان‌های از پیش تعیین شده و مقادیر قابل‌دستیابی، مسائل تصمیم‌گیری چند هدفه را حل کند. در دنیای واقعی، در مسائل انتخاب گزینه‌ها، معمولاً آن‌ها به‌صورت مقادیر صفر و یک فرمول‌بندی می‌شوند که این امر نشان‌دهنده انتخاب یا عدم انتخاب آن‌هاست. از این‌رو، از مدل ZOGP برای انتخاب گزینه‌های ارجح با ملاحظه محدودیت منابع و آرمان‌های تصمیم‌گیران استفاده می‌شود. مدل ZOGP ارائه شده توسط وی و وو (۲۰۰۷) به شرح زیر است [۳۷]:

$$\begin{aligned} \text{Minimize } Z &= P_k (w_j d_i^+, w_j d_i^-) \\ \text{Subject to } \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j + d_i^- - d_i^+ &= b_i \text{ for } i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n \\ x_j + d_i^- &= 1 \text{ for } i = m+1, \dots, m+n; j = 1, 2, \dots, n \\ d_i^+ &\geq 0, d_i^- \geq 0 \text{ for } \forall_i \\ x_j &= 0 \text{ or } 1 \text{ for } \forall_j \end{aligned} \quad (21)$$

جایی که Z نشانگر مجموع انحرافات از K آرمان مسئله است. P_k اولویت ابتدایی آرمان K را نشان می‌دهد. W_j وزن بدست آمده از تکنیک ARAS را برای گزینه j ام نشان می‌دهد. d_i^+ و d_i^- به ترتیب نشان‌دهنده مقادیر انحراف مثبت و منفی هستند. X_j نشان‌دهنده متغیر صفر و یک برای گزینه j ام است. a_{ij} مقدار j از منبع i است. b_i مقدار در دسترس از منبع i ام است. لازم به ذکر است که برای حل این مدل می‌توان از نرم‌افزار LINGO 11.0 بهره گرفت.

$$X = \begin{pmatrix} x_{01} & \dots & x_{0j} & \dots & x_{0n} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ x_{i1} & \dots & x_{ij} & \dots & x_{in} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ x_{m1} & \dots & x_{mj} & \dots & x_{mn} \end{pmatrix} \quad (15)$$

که در آن m و n به ترتیب تعداد گزینه‌ها و معیارهای در ارتباط با آن‌ها هستند. X_{0j} عملکرد ایده‌آل در معیار j است. X_{ij} اشاره به عملکرد گزینه i در ارتباط با معیار j دارد. علاوه بر این، $i = 0, 1, \dots, m$ و $j = 1, 2, \dots, n$ هستند.

گام دوم: تعریف عملکردهای ایده‌آل برای هر معیار.

مقادیر عملکردهای ایده‌آل برای هر معیار با کمک معادله (۱۶) محاسبه می‌شوند.

$$X_{0j} = \begin{cases} \max x_{ij} & j \in \Omega_{\max} \\ i \\ \min x_{ij} & j \in \Omega_{\min} \\ i \end{cases} \quad (16)$$

جایی که X_{0j} عملکرد ایده‌آل در ارتباط با معیار j ام است. $\Omega_{\max}$ معرف مجموعه معیارهای مثبت و $\Omega_{\min}$ معرف مجموعه معیارهای منفی هستند.

گام سوم: محاسبه ماتریس تصمیم نرمالیزه شده ' R '.

ماتریس تصمیم نرمالیزه شده $R = [r_{ij}]$ را می‌توان با کمک معادله زیر (۱۷) محاسبه کرد.

$$r_{ij} = \begin{cases} x_{ij} / \sum_{i=0}^m x_{ij} & j \in \Omega_{\max} \\ 1/x_{ij} / \sum_{i=m}^m x_{ij} & j \in \Omega_{\min} \end{cases} \quad (17)$$

گام چهارم: محاسبه ماتریس تصمیم وزن‌دار نرمالیزه شده ' V '.

ماتریس تصمیم وزن‌دار نرمالیزه شده $V = [v_{ij}]$ را می‌توان با کمک معادله زیر (۱۸) محاسبه کرد.

$$v_{ij} = w_j * r_{ij}, \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad (18)$$

که در آن v_{ij} مقدار وزن‌دار نرمالیزه شده ارزش عملکرد گزینه i ام در رابطه با معیار j ام است.

گام پنجم: محاسبه مقادیر عملکرد کلی برای گزینه‌ها.

مقادیر S_i را می‌توان با جمع مقادیر وزن‌دار نرمالیزه شده به طریق معادله (۱۹) به‌دست آورد.



شکل (۱): چهارچوب روش تحقیق و حل مسئله

۴. مطالعه موردی

مطالعه موردی پژوهش حاضر، نمونه‌ای از مسائل دنیای واقعی است که نشان می‌دهد رویکرد پیشنهادی چگونه می‌تواند تصمیم‌گیران را در حل مسئله ارزیابی و انتخاب استراتژی‌های تولید سبز، تحت محدودیت منابع یاری کند. برای اعتباربخشی و روشن ساختن فرایند حل مسئله پیشنهادی در این پژوهش با مدیران یک مجتمع تولید فولاد (فولاد صنعت بناب) همکاری شد. صنایع فولاد کشور با مسائل مختلف زیست‌محیطی روبرو هستند که اصلی‌ترین آن‌ها نحوه مدیریت پسماندها و فاضلاب صنعتی کارخانه است. به‌طورکلی، این فصل طی مطالعه موردی از صنعت فولاد، به اجرای گام‌به‌گام رویکرد پیشنهادی، ارائه داده‌ها و تحلیل نتایج تحقیق می‌پردازد.

مجتمع فولاد صنعت بناب فعالیت خود را در سال ۱۳۸۳ با هدف فعالیت در زمینه‌های مختلف صنعت فولاد از جمله ذوب‌آهن و تولید نورد آغاز کرد. این کارخانه با ظرفیت تولید نورد گرم یک میلیون و نهصد هزار تن در سال، در رتبه نخست بالاترین ظرفیت تولید در بخش خصوصی کشور قرار دارد [۳۸]. یکی از اهداف اصلی کارخانه، بهبود مداوم عملکرد زیست‌محیطی در کنار توسعه و ارتقاء تنوع و کیفیت محصولات است. در همین راستا، این مجتمع برای بهبود عملکرد زیست‌محیطی، یک مدل مدیریت محیط‌زیست طراحی کرده است.

برخی از اهداف زیست‌محیطی مجتمع فولاد به این شرح زیر می‌باشد: صرفه‌جویی در مصرف مواد و انرژی، حفظ منابع ارزشمند، کاهش مداوم انتشار آلاینده‌ها و جایگزینی مواد مخرب زیست‌محیطی، بازیافت و کاهش پسماندها، تصفیه و استفاده مجدد از فاضلاب صنعتی و همچنین نگهداری و گسترش فضای سبز کارخانه.

در حال حاضر، واحد محیط‌زیست کارخانه چهار راهبرد تولید سبز جهت بهبود عملکرد زیست‌محیطی و توسعه پایدار پیشنهاد کرده است. وجود گزینه‌ها، معیارها و اهداف گوناگون به همراه محدودیت منابع، مدیران را در انتخاب استراتژی‌های مناسب برای اجرا، با چالش مواجه کرده است. ازاین‌رو، این پژوهش قصد دارد با بهره‌گیری از رویکرد پیشنهادی، راه‌حل بهینه‌ای برای مسئله تصمیم‌گیری چند معیاره به همراه اطلاعات جامعی در رابطه با فرایند ارزیابی و انتخاب استراتژی‌های تولید سبزی که کارخانه مایل به اجراست ارائه دهد. علاوه بر این، این تحقیق مدیران مجتمع فولاد را در اختصاص بهینه منابع ارزشمند خود به استراتژی‌ها برای رسیدن به اهداف خود یاری می‌کند.

استراتژی‌های سبز پیشنهاد شده برای بهبود عملکرد زیست‌محیطی توسط واحد محیط‌زیست مجتمع فولاد به این شرح است: کنترل آلودگی هوا (استراتژی ۱)، احداث تصفیه‌خانه فاضلاب صنعتی (استراتژی ۲)، فراوری و بازیابی سرباره‌های تولیدی (استراتژی ۳)، استقرار سیستم مدیریت پسماندها (استراتژی ۴).

فعالیت‌های صنعتی در زمینه فولاد اثرات مخرب آشکار و جانبی برای محیط‌زیست و سلامت انسان‌ها به دنبال دارد. گازهای سمی و خطرناک گوناگونی از سیستم‌های تولید و شکل‌دهی محصولات متنوع کارخانه فولاد منتشر می‌شوند. کربن دی‌اکسید، آمونیاک، ترکیبات گوگرد و بنزن از جمله گازهایی هستند که در طی فرایندهای تولید فولاد ایجاد می‌شوند. با توجه به مصرف زیاد آب و انرژی توسط کارخانه‌های فولاد، تسهیلات تصفیه و تولید انرژی معمولاً بخشی از مجتمع‌های فولاد بوده که آلاینده‌های مربوط به خود را در هوا منتشر می‌کنند. در این راستا افزایش آگاهی خطرات گازهای سمی

گزینه‌های پیشنهادی، به همراه داده‌ها و تحلیل نتایج در بخش‌های بعدی آورده شده است.

۴-۱. تعیین معیارهای پژوهش

همان‌طور که در بخش قبل مطرح شد چهار گزینه برای بهبود عملکرد زیست‌محیطی مجتمع فولاد صنعت بناب، شامل کنترل آلودگی هوا (استراتژی ۱)، احداث تصفیه‌خانه فاضلاب صنعتی (استراتژی ۲)، فراوری و بازیابی سرباره‌های تولیدی (استراتژی ۳)، استقرار سیستم مدیریت پسماندها (استراتژی ۴)، توسط واحد محیط‌زیست کارخانه پیشنهاد شده است. در گام اول فرایند تصمیم‌گیری ارزیابی و انتخاب گزینه‌ها، ۱۶ شاخص (زیرمعیار) در چهار بعد (معیار) برای ارزیابی استراتژی‌های تولید سبز تعیین شدند. این عوامل با بهره‌گیری از تحقیقات پیشین، نظرات کارشناسان و راهنمایی‌های مدیران صنایع انتخاب شده‌اند. جدول (۱) معیارها و زیرمعیارهای تعیین شده برای مسئله تصمیم‌گیری چند معیاره به همراه مراجع آن‌ها را گزارش می‌دهد. شکل (۲) ساختار سلسله مراتبی فرایند تصمیم‌گیری را با توجه به اطلاعات جمع‌آوری شده تا این مرحله از فرایند حل مسئله را نشان می‌دهد.

جدول (۱): معیارها و زیرمعیارهای تصمیم

نماد	معیارها	نماد	زیرمعیارها	مأخذ
D1	چشم‌انداز زیست‌محیطی	C1	طراحی سبز	[۶]، [۸]، [۱۹]، [۲۵]
		C2	نواوری سبز	
		C3	دفع سبز	
		C4	حفظ منابع	
D2	چشم‌انداز عملیاتی	C5	بهبود بهره‌وری	[۶]، [۸]، [۱۹]
		C6	نواوری تکنولوژیکی	
		C7	ارتقا سطح کارکنان	
		C8	الزامات زنجیره تأمین	
D3	چشم‌انداز سازمانی	C9	مزیت‌های مالی	[۲]، [۱۹]، [۸]
		C10	عملکرد کسب‌وکار	
		C11	اهداف سازمانی	
		C12	مزیت‌های رقابتی	
D4	چشم‌انداز خارجی	C13	تصویر عمومی	[۲]، [۱۹]، [۲۵]
		C14	رعایت مقررات	
		C15	رضایت مصرف‌کننده	
		C16	رضایت ذی‌نفعان	

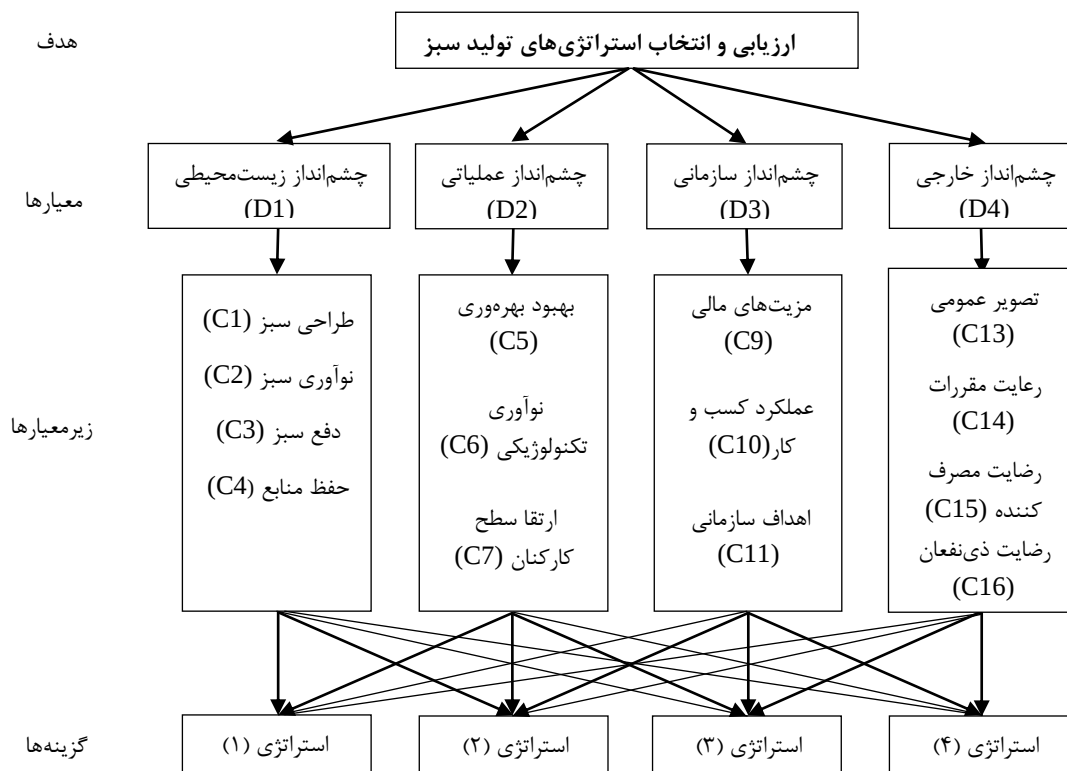
اولین قدم در راه کاهش خطرات برای پرسنل است. راه‌حل‌های قابل‌اطمینان برای کنترل آلودگی هوا، حفظ محیط‌زیست و سلامت کارکنان و همچنین مدیریت ریسک کمک می‌کند. به‌منظور کنترل انتشار گازهای سمی و بهبود کیفیت هوا، مجتمع فولاد صنعت بناب بیش از ۱۰۰ عدد از تجهیزات کنترل آلاینده شامل فیلترهای هوا، سایکلون‌ها^۱، اسکرابرها^۲ و فیلترهای کیسه‌ای نصب کرده است. این کارخانه مایل است ظرفیت و تعداد تجهیزات کنترل آلودگی هوا را به همراه سایر برنامه‌های توسعه در سطوح مختلف بهبود بخشد. تحت استراتژی کنترل آلودگی هوا، مجتمع فولاد قصد دارد با نصب و توسعه تجهیزات، از ورود آلاینده‌ها و گازهای خطرناک به محیط‌زیست جلوگیری کند.

تصفیه و بازیافت فاضلاب صنعتی در صنعت فولاد به‌دلیل مصرف بالای منابع آبی و جلوگیری از آلودگی‌های زیست‌محیطی، از اهمیت بالایی برخوردار است. با احداث تصفیه‌خانه فاضلاب، مجتمع فولاد صنعت بناب قصد دارد تا ظرفیت بازیافت پساب‌های خود را تا ۲۵ درصد افزایش دهد. بزرگ‌ترین ضعف کارخانه موردنظر در مقایسه با کارخانه‌های پیشرو در صنعت فولاد کشور، ظرفیت کم آن برای بازیافت فاضلاب صنعتی است.

فراوری و بازیابی سرباره‌های تولید شده، یک گام اساسی در راستای کاهش نرخ تولید ضایعات و تبدیل آن‌ها به مواد با ارزش و همچنین حفاظت از محیط‌زیست است. سرباره^۳ محصول جانبی صنایع فولاد است که هنگام ذوب‌آهن، از ناخالصی‌های سنگ‌آهن به وجود می‌آید. سرباره‌ها حاوی مواد باارزشی هستند که می‌توان در صنایع مختلف دیگر شامل تولید سیمان و بتن، مصالح زیرساخت جاده‌ها و غیره مورد استفاده قرار داد. از طرف دیگر، ممکن است سرباره حاوی مواد بسیار سمی باشد که برای سلامت انسان و محیط‌زیست خطرناک است. از این‌رو، پردازش و استفاده از سرباره‌ها یک حرکت اساسی برای محافظت از محیط‌زیست و منابع برای مجتمع فولاد صنعت بناب به شمار می‌رود.

برای حفاظت از اکوسیستم خاک و جلوگیری از ورود آلاینده‌ها به آن و همچنین بدست آوردن توانایی بازیابی و استفاده مجدد از پسماندهای حاصل از فرایند تولید، استقرار نظام مدیریت پسماندها در صنایع فولاد ضروری است. با استقرار سیستم مدیریت پسماندها، مجتمع فولاد درصدد دستیابی به اهدافی همچون ملاحظه اکوسیستم خاک به‌عنوان یک منبع با ارزش و حفاظت از آن، بررسی انواع مختلف پسماندها و راه‌های ایمن دفع آن‌ها، بهبود مدیریت برنامه‌های جمع‌آوری و حمل‌ونقل پسماندها و سرانجام بازیافت و استفاده مجدد از پسماندها تا حد امکان، است. فرایند ارزیابی و انتخاب استراتژی‌های تولید سبز برای مجتمع فولاد صنعت بناب از بین

1. Cyclones
2. Scrubbers
3. Slag



شکل (۲): ساختار سلسله مراتبی فرایند تصمیم‌گیری

کالاها یا خدماتی با ارزش برابر با قیمت پایین‌تر یا با روشی مطلوب‌تر تولید کند. منظور از تصویر عمومی شرکت (زیرمعیار ۱۳) یک تصویر کلی از جایگاه و وضعیت فعالیت‌های یک شرکت در اذهان مصرف‌کنندگان است. رعایت مقررات (زیرمعیار ۱۴) اشاره به تمامی مواردی دارد که منجر به رعایت هرچه بهتر قوانین حفاظت زیست‌محیطی و تولید پایدار می‌شود. رضایت مصرف‌کنندگان (زیرمعیار ۱۵) معیاری برای سنجش میزان تحقق انتظارات مشتری از محصولات و خدمات ارائه شده توسط یک شرکت به شمار می‌رود. رضایت ذی‌نفعان (زیرمعیار ۱۶) سنجشی از درک ذی‌نفعان از برنامه‌ها و فعالیت‌های یک شرکت به شمار می‌رود.

۴-۲. محاسبه وزن زیرمعیارها

همان‌گونه که در بخش‌های قبلی اشاره شد، در این تحقیق از رویکرد ترکیبی DANP برای محاسبه وزن معیارها استفاده شده است. پس از تعیین معیارها و زیرمعیارهای این مطالعه تجربی که در جدول (۱) گزارش شده‌اند، سوپرماتریس میانگین روابط اولیه براساس نظرات و پاسخ کارشناسان حوزه به پرسشنامه طراحی شده، بدست آمد. بدین منظور از پنج نفر از مهندسين و مدیران مجتمع فولاد به‌عنوان کارشناسان زمینه خواسته شد تا به پرسشنامه‌هایی که برای استخراج روابط و تعاملات چندجانبه بین زیرمعیارها طراحی شده بودند، پاسخ دهند. در پرسشنامه‌های طراحی شده (پیوست ۱)، از خبرگان خواسته شده بود تا تأثیر مستقیم هر معیار بر دیگری را با استفاده از یک مقیاس عدد صحیح از ۰ تا ۴، که در آن مقدار ۰ نشان‌دهنده "بدون تأثیر"، ۱ "تأثیر بسیار کم"، ۲ "تأثیر کم"، ۳ "تأثیر زیاد" و ۴ "تأثیر بسیار زیاد" بودند را درجه‌بندی کنند.

طراحی سبز یا پایدار (زیرمعیار ۱) اشاره به طراحی اشیا فیزیکی، ساخت محیط و ارائه خدمات با رعایت اصول پایداری زیست‌محیطی دارد. نوآوری سبز (زیرمعیار ۲) شامل تمامی نوآوری‌هایی است که در ایجاد محصولات کلیدی، خدمات یا فرایندهایی برای کاهش اثرات فعالیت‌های مخرب صنعتی بر روی محیط‌زیست تأثیر داشته و همچنین موجب بهره‌وری در مصرف منابع طبیعی می‌شود. دفع سبز (زیرمعیار ۳) اشاره به دفع ضایعات و پسماندهای صنعتی با رعایت اصول محافظت زیست‌محیطی دارد. حفظ منابع (زیرمعیار ۴) فرایند استفاده منطقی، مدیریت ماهرانه و حفاظت از محیط طبیعی با تمامی منابع آن است. منظور از بهبود بهره‌وری (زیرمعیار ۵) ارتقاء نسبت بازده تولید به میزان منابع مصرفی است. نوآوری تکنولوژیکی (زیرمعیار ۶) شامل تمامی نوآوری‌هایی که در فناوری‌های ساخت محصول یا خدمت به کار رفته است و می‌تواند شامل نوآوری‌های سبز باشد. ارتقا سطح کارکنان (زیرمعیار ۷) اشاره به بهبود وضعیت دانش، آگاهی و مسئولیت کارکنان برای محیط‌زیست دارد. الزامات زنجیره تأمین (زیرمعیار ۸) شامل ارائه نیازمندی‌های مدیریت زنجیره تأمین سبز است.

مزیت‌های مالی (زیرمعیار ۹) به معنای کاهش هزینه‌ها و افزایش درآمدهای مالی است. عملکرد کسب‌وکار (زیرمعیار ۱۰) شامل تمامی موارد و شاخص‌هایی است که در رشد کسب‌وکار یک صنعت نقش دارند. اهداف سازمانی (زیرمعیار ۱۱) اهداف استراتژیکی هستند که نتایج مورد انتظار از تلاش کارکنان را مشخص می‌کنند و شامل اهداف راهبردی، تاکتیکی و عملیاتی هستند. مزیت‌های رقابتی (زیرمعیار ۱۲) مواردی است که به یک شرکت امکان می‌دهد تا

نرمالیزه شده R و ماتریس تصمیم وزن دار V ، به ترتیب با کمک معادله‌های (۱۸) و (۱۹) به دست آمدند. در نهایت ضرایب عملکرد کلی (Si) و ضرایب مطلوبیت نسبی (Qi) برای هر یک از استراتژی‌های تولید سبز محاسبه و در جدول (۵) خلاصه شدند.

۴-۴. مدل برنامه‌ریزی آرمانی صفر و یک

در این گام، ضرایب مطلوبیت نسبی بدست آمده از تکنیک ARAS با مدل ZOGP، برای رسیدگی به محدودیت منابع ادغام شدند. چندین محدودیت برای مجتمع فولاد در فرایند انتخاب و اجرای استراتژی‌های تولید سبز وجود دارد. در راستای اجرای برنامه‌های توسعه پایدار، کارخانه در حال حاضر با چهار محدودیت به این شرح مواجه است: (۱) بودجه کلی قابل تخصیص به استراتژی‌های تولید سبز در حال حاضر، ۱۴ میلیارد تومان است؛ (۲) هزینه‌های تعمیر و نگهداری تجهیزات خریداری شده برای استراتژی‌های تولید سبز نباید فراتر از ۲ میلیارد تومان در سال باشد؛ (۳) مجموع ۱۰۰۰ ساعات آموزش برای کارکنان در دسترس است؛ (۴) مجموع ۱۵۰۰۰ ساعت کاری برای اجرای استراتژی‌ها قابل تخصیص است. داده‌های مربوط به منابع و هزینه‌های موردنیاز و قابل تخصیص برای اجرای هر کدام از استراتژی‌ها در کارخانه، در جدول (۶) درج شده است. براساس ضرایب مطلوبیت ARAS و داده‌های جدول (۵)، مدل ZOGP برای این مسئله تصمیم‌گیری چند معیاره، به صورت جدول (۷) فرمول‌بندی می‌شود.

نتایج حاصل از حل مدل ZOGP با نرم‌افزار LINGO 11.0 به شرح زیر می‌باشد:

$$A2 = A4 = 1, A1 = A3 = 0$$

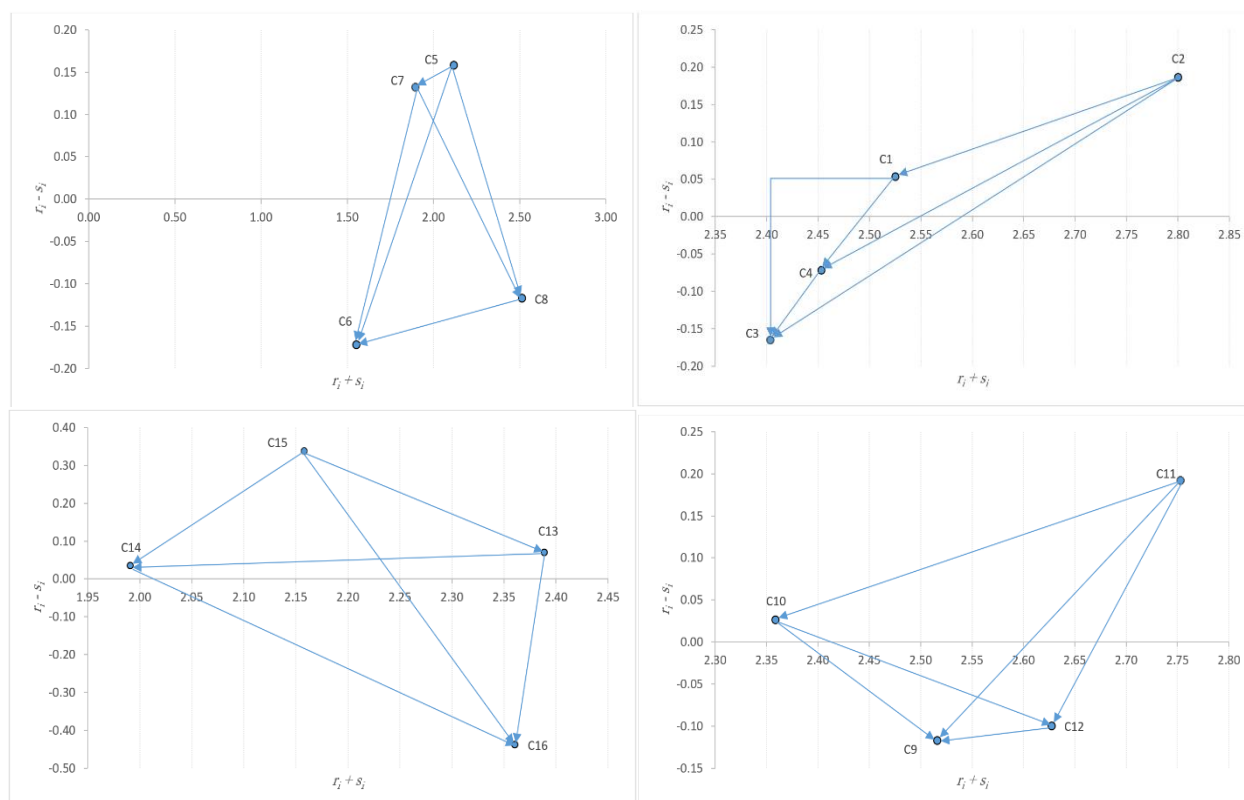
نتایج نشان می‌دهد، با توجه به منابع موجود، احداث تصفیه‌خانه فاضلاب صنعتی (استراتژی ۲) و استقرار سیستم مدیریت پسماندها (استراتژی ۴)، بهترین گزینه‌ها برای اجرا در مجتمع فولاد هستند.

در اولین گام، سوپرماتریس میانگین روابط اولیه (A) براساس پاسخ کارشناسان محاسبه شد. در گام دوم، این ماتریس با کمک معادلات (۲) و (۳) نرمالیزه شد. در گام بعدی، سوپرماتریس روابط کل (T) با انجام معادله (۴) بر روی ماتریس نرمالیزه شده (X)، بدست آمد (جدول ۲). سپس، مجموع مقادیر ردیف‌ها و ستون‌های ماتریس روابط کل که به ترتیب " Ri " و " Si " نام دارند، با کمک معادلات (۵) و (۶) محاسبه شد. به منظور تشکیل نمودارهای تأثیرات مستقیم، مقادیر $Ri + Si$ و $Ri - Si$ برای معیارها محاسبه شدند (جدول ۳). لازم به ذکر است که $Ri + Si > 0$ برای یک مؤلفه نشان می‌دهد که این جزء بیش از آنکه از اجزاء دیگر تأثیر بپذیرد، روی آن‌ها اثر می‌گذارد.

سپس، نمودارهای روابط مستقیم براساس مقادیر $Ri + Si$ و $Ri - Si$ زیرمعیارها که به ترتیب به عنوان محور x ها و y ها در نظر گرفته شدند، تشکیل گردید. نمودارهای روابط مستقیم برای هر گروه از زیرمعیارهای داخل یک بعد در شکل (۳) نشان داده شده‌اند. در گام بعدی، سوپر ماتریس ناموزون (W) با استفاده از معادلات ۸ الی ۱۱ تهیه شد و سوپر ماتریس وزن دار (Wa) با کمک معادلات ۱۳ الی ۱۵ محاسبه گردید. سرانجام، در آخرین مرحله DANP، سوپرماتریس وزن دار به یک توان بزرگ رسیده و به یک سوپرماتریس پایدار همگرا تبدیل شد. نهایتاً وزن معیارها و زیرمعیارها از سوپرماتریس حدی استخراج و در جدول (۴) خلاصه شدند.

۴-۳. محاسبه ضرایب مطلوبیت نسبی گزینه‌ها

در گام بعدی، ضرایب مطلوبیت نسبی گزینه‌ها با استفاده از تکنیک ARAS و وزن معیارهای بدست آمده از گام پیشین، محاسبه شد. ابتدا، ماتریس تصمیم میانگین X ، براساس داده‌های جمع‌آوری شده از پاسخ کارشناسان به پرسشنامه طراحی شده، تشکیل شد. در پرسشنامه طراحی شده از کارشناسان خواسته شده بود تا عملکرد هر گزینه را در ارتباط با هر یک از زیرمعیارهای تصمیم، با استفاده از مقیاس عدد صحیح از ۱ تا ۹ امتیازدهی کنند. جایی که امتیاز ۱ نشان‌دهنده عملکرد "بسیار ضعیف" و امتیاز ۹ نشان‌دهنده عملکرد "بسیار قوی" است. با ادامه گام‌های حل مسئله، ماتریس تصمیم



شکل (۳): روابط مستقیم زیرمعیارهای هر بعد

جدول (۲): سوپر ماتریس روابط کل (T)

معیار	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16
C1	۰/۲۵۷	۰/۳۴۰	۰/۳۳۹	۰/۳۵۳	۰/۲۸۰	۰/۲۵۱	۰/۲۳۱	۰/۲۷۸	۰/۳۵۰	۰/۳۱۹	۰/۳۳۲	۰/۳۶۲	۰/۲۹۸	۰/۲۴۸	۰/۱۹۸	۰/۳۶۲
C2	۰/۳۸۰	۰/۳۲۱	۰/۴۰۶	۰/۳۸۶	۰/۲۹۷	۰/۳۷۱	۰/۲۶۶	۰/۲۹۶	۰/۳۷۵	۰/۳۶۷	۰/۴۰۳	۰/۴۱۸	۰/۳۵۲	۰/۳۰۹	۰/۲۵۰	۰/۳۸۷
C3	۰/۲۷۸	۰/۳۲۳	۰/۲۶۵	۰/۲۵۳	۰/۲۳۲	۰/۲۹۱	۰/۲۵۲	۰/۲۰۱	۰/۲۶۴	۰/۲۷۴	۰/۳۴۸	۰/۳۲۳	۰/۳۰۳	۰/۲۷۱	۰/۲۳۱	۰/۳۱۷
C4	۰/۳۲۱	۰/۳۲۳	۰/۲۷۶	۰/۲۷۰	۰/۳۰۴	۰/۲۹۸	۰/۲۴۴	۰/۲۳۶	۰/۳۶۸	۰/۳۳۰	۰/۳۲۴	۰/۳۷۷	۰/۲۷۲	۰/۲۱۷	۰/۲۰۵	۰/۳۸۱
C5	۰/۲۰۰	۰/۲۱۷	۰/۲۶۰	۰/۲۵۱	۰/۱۷۴	۰/۲۵۱	۰/۱۸۹	۰/۱۹۴	۰/۳۱۳	۰/۲۸۵	۰/۲۷۴	۰/۳۲۳	۰/۲۲۴	۰/۱۵۳	۰/۱۵۶	۰/۳۲۲
C6	۰/۲۶۴	۰/۳۵۰	۰/۳۷۰	۰/۳۴۳	۰/۳۰۱	۰/۲۵۹	۰/۲۷۸	۰/۳۰۱	۰/۳۴۷	۰/۳۴۲	۰/۳۵۹	۰/۳۸۱	۰/۲۹۰	۰/۲۳۸	۰/۲۰۸	۰/۳۴۷
C7	۰/۲۰۱	۰/۲۵۳	۰/۲۳۷	۰/۲۳۰	۰/۱۸۰	۰/۱۷۴	۰/۱۴۵	۰/۱۹۳	۰/۲۴۶	۰/۲۵۳	۰/۲۴۱	۰/۲۶۱	۰/۱۸۵	۰/۱۳۶	۰/۱۲۰	۰/۲۷۵
C8	۰/۲۸۵	۰/۳۰۶	۰/۲۹۴	۰/۲۸۳	۰/۲۷۱	۰/۲۹۷	۰/۲۵۲	۰/۱۹۵	۰/۳۲۷	۰/۳۲۰	۰/۳۰۰	۰/۳۲۹	۰/۲۳۷	۰/۲۰۰	۰/۱۹۴	۰/۳۱۷
C9	۰/۲۹۸	۰/۳۰۵	۰/۳۰۳	۰/۳۱۱	۰/۲۰۵	۰/۲۶۳	۰/۲۵۹	۰/۲۵۰	۰/۲۵۵	۰/۲۷۹	۰/۳۲۳	۰/۳۴۲	۰/۲۰۹	۰/۲۱۸	۰/۱۵۶	۰/۳۵۰
C10	۰/۲۸۹	۰/۲۹۱	۰/۳۰۷	۰/۲۹۹	۰/۲۱۹	۰/۲۵۵	۰/۲۳۳	۰/۱۸۷	۰/۳۲۸	۰/۲۲۹	۰/۳۰۵	۰/۳۳۱	۰/۲۲۸	۰/۱۷۴	۰/۱۷۴	۰/۳۲۵
C11	۰/۳۶۲	۰/۳۸۰	۰/۳۹۲	۰/۳۷۹	۰/۳۰۷	۰/۳۲۳	۰/۳۰۱	۰/۲۹۳	۰/۳۹۷	۰/۳۴۷	۰/۳۲۵	۰/۴۰۳	۰/۳۲۵	۰/۲۶۹	۰/۲۶۲	۰/۴۰۷
C12	۰/۲۸۸	۰/۳۱۳	۰/۳۰۲	۰/۳۰۳	۰/۲۷۲	۰/۳۱۶	۰/۲۳۰	۰/۲۵۸	۰/۳۳۶	۰/۳۱۲	۰/۳۲۷	۰/۲۸۸	۰/۲۴۲	۰/۲۶۱	۰/۱۸۷	۰/۳۵۴
C13	۰/۳۵۰	۰/۳۶۷	۰/۳۹۵	۰/۳۶۰	۰/۲۴۹	۰/۳۳۹	۰/۲۳۷	۰/۲۸۵	۰/۳۹۸	۰/۳۳۱	۰/۳۸۳	۰/۴۰۵	۰/۲۶۰	۰/۲۹۰	۰/۲۸۱	۰/۳۹۹
C14	۰/۳۱۴	۰/۳۳۱	۰/۳۵۴	۰/۳۲۷	۰/۲۳۸	۰/۲۹۳	۰/۲۷۹	۰/۲۶۹	۰/۳۰۰	۰/۲۷۶	۰/۳۲۳	۰/۳۲۹	۰/۲۷۱	۰/۱۹۴	۰/۲۳۹	۰/۳۰۸
C15	۰/۳۵۵	۰/۳۷۳	۰/۳۹۱	۰/۳۶۴	۰/۳۱۱	۰/۳۲۶	۰/۲۷۰	۰/۲۶۴	۰/۳۸۸	۰/۳۱۶	۰/۳۹۸	۰/۴۰۳	۰/۳۴۷	۰/۳۰۲	۰/۲۰۰	۰/۳۹۸
C16	۰/۲۹۷	۰/۳۲۷	۰/۳۱۵	۰/۳۲۹	۰/۲۹۱	۰/۲۹۱	۰/۲۴۸	۰/۲۷۶	۰/۳۴۹	۰/۳۳۰	۰/۳۵۶	۰/۳۵۹	۰/۲۸۱	۰/۱۹۳	۰/۱۹۲	۰/۲۹۵

جدول (۳): مجموع تأثیرگذاری و تأثیرپذیری زیرمعیارها

نماد	زیرمعیار	R_i	S_i	$R_i + S_i$	$R_i - S_i$
C1	طراحی سبز	۱/۲۸۹	۱/۲۳۶	۲/۵۲۵	۰/۰۵۳
C2	نوآوری سبز	۱/۴۹۳	۱/۳۰۷	۲/۸۰۰	۰/۱۸۶
C3	دفع سبز	۱/۱۱۹	۱/۲۸۵	۲/۴۰۴	-۰/۱۶۶
C4	حفظ منابع	۱/۱۹۰	۱/۲۶۳	۲/۴۵۳	-۰/۰۷۳
C5	بهبود بهره‌وری	۰/۸۰۹	۰/۹۲۵	۱/۷۳۴	-۰/۱۱۶
C6	نوآوری تکنولوژیکی	۱/۱۳۹	۰/۹۸۱	۲/۱۲۰	۰/۱۵۸
C7	ارتقا سطح کارکنان	۰/۶۹۱	۰/۸۶۴	۱/۵۵۵	-۰/۱۷۳
C8	الزامات زنجیره تأمین	۱/۰۱۵	۰/۸۸۳	۱/۸۹۸	۰/۱۳۲
C9	مزیت‌های مالی	۱/۱۹۹	۱/۳۱۷	۲/۵۱۶	-۰/۱۱۸
C10	عملکرد کسب‌وکار	۱/۱۹۲	۱/۱۶۷	۲/۳۵۹	۰/۰۲۵
C11	اهداف سازمانی	۱/۴۷۳	۱/۲۸۱	۲/۷۵۴	۰/۱۹۲
C12	مزیت‌های رقابتی	۱/۲۶۴	۱/۳۶۴	۲/۶۲۸	-۰/۱۰۰
C13	تصویر عمومی	۱/۲۳۰	۱/۱۶۰	۲/۳۹۰	۰/۰۷۰
C14	رعایت مقررات	۱/۰۱۲	۰/۹۷۹	۱/۹۹۱	۰/۰۳۳
C15	رضایت مصرف‌کننده	۱/۲۴۷	۰/۹۱۱	۲/۱۵۸	۰/۳۳۶
C16	رضایت ذی‌نفعان	۰/۹۶۱	۱/۴۰۰	۲/۳۶۱	-۰/۴۳۹

جدول (۴): وزن و رتبه‌بندی زیرمعیارها

نماد	معیارها	نماد	زیرمعیارها	وزن	رتبه
D1	چشم‌انداز زیست‌محیطی	C1	طراحی سبز	۰/۰۶۴	۹
		C2	نوآوری سبز	۰/۰۶۹	۶
		C3	دفع سبز	۰/۰۷۰	۵
		C4	حفظ منابع	۰/۰۶۸	۷
D2	چشم‌انداز عملیاتی	C5	بهبود بهره‌وری	۰/۰۵۵	۱۲
		C6	نوآوری تکنولوژیکی	۰/۰۶۲	۱۰
		C7	ارتقا سطح کارکنان	۰/۰۵۳	۱۴
		C8	الزامات زنجیره تأمین	۰/۰۵۴	۱۳
D3	چشم‌انداز سازمانی	C9	مزیت‌های مالی	۰/۰۷۲	۴
		C10	عملکرد کسب‌وکار	۰/۰۶۶	۸
		C11	اهداف سازمانی	۰/۰۷۲	۳
		C12	مزیت‌های رقابتی	۰/۰۷۶	۱
D4	چشم‌انداز خارجی	C13	تصویر عمومی	۰/۰۵۸	۱۱
		C14	رعایت مقررات	۰/۰۴۹	۱۵
		C15	رضایت مصرف‌کننده	۰/۰۴۴	۱۶
		C16	رضایت ذی‌نفعان	۰/۰۷۵	۲

جدول (۵): ضرایب مطلوبیت نسبی گزینه‌ها (Q_i)

نماد	گزینه	S_i	Q_i	رتبه
A1	کنترل آلودگی هوا	۰/۱۶۱	۰/۷۱۷	۴
A2	احداث تصفیه‌خانه فاضلاب صنعتی	۰/۲۰۵	۰/۹۱۱	۳
A3	فراوری و بازیابی سرباره‌های تولیدی	۰/۲۰۶	۰/۹۱۵	۲
A4	استقرار سیستم مدیریت پسماندها	۰/۲۱۰	۰/۹۳۵	۱

جدول (۶): منابع و هزینه‌های موردنیاز و قابل تخصیص به استراتژی‌ها

منابع موردنیاز				
b_i	A_4	A_3	A_2	A_1
۱۴	۵/۵	۵/۶۵	۶/۷	۷/۲
۲	۱/۲	۰/۹	۰/۸	۱/۱
۱۰۰۰	۴۵۰	۳۸۰	۴۵۰	۳۵۰
۱۵۰۰۰	۶۰۰۰	۳۷۰۰	۶۵۰۰	۵۸۰۰

* مقادیر به میلیارد تومان می‌باشند.

جدول (۷): مدل برنامه‌ریزی آرمانی صفرو یک

فرمول‌بندی مدل ZOGP	آرمان‌ها
Minimize $Z =$	ملاحظه مقادیر حداکثر میزان تمامی محدودیت‌ها.
$pl_1(d_1^+ + d_2^+ + d_3^+ + d_4^+)$	انتخاب گزینه‌های دارای بزرگ‌ترین ضریب مطلوبیت ARAS.
$pl_2(0.717d_5^- + 0.911d_6^- + 0.915d_7^- + 0.935d_8^-)$	محدودیت استفاده از حداکثر بودجه قابل تخصیص به استراتژی‌ها.
Subject to	محدودیت حداکثر هزینه سالانه تعمیر و نگهداری تجهیزات.
$7.2A_1 + 6.7A_2 + 5.56A_3 + 5.5A_4 + d_1^- - d_1^+ = 14$	محدودیت حداکثر ساعات آموزش پرسنل.
$1.2A_1 + 0.9A_2 + 0.6A_3 + 0.8A_4 + d_2^- - d_2^+ = 2$	محدودیت حداکثر ساعات کار برای اجرای استراتژی‌ها.
$350A_1 + 450A_2 + 380A_3 + 450A_4 + d_3^- - d_3^+ = 1000$	انتخاب گزینه A1
$5800A_1 + 6500A_2 + 3700A_3 + 6000A_4 + d_4^- - d_4^+ = 15000$	انتخاب گزینه A2
$A_1 + d_5^- = 1$	انتخاب گزینه A3
$A_2 + d_6^- = 1$	انتخاب گزینه A4
$A_3 + d_7^- = 1$	
$A_4 + d_8^- = 1$	
$A_j = 0 \text{ or } 1 \text{ for } j = 1, 2, 3, 4$	

۵. تحلیل نتایج

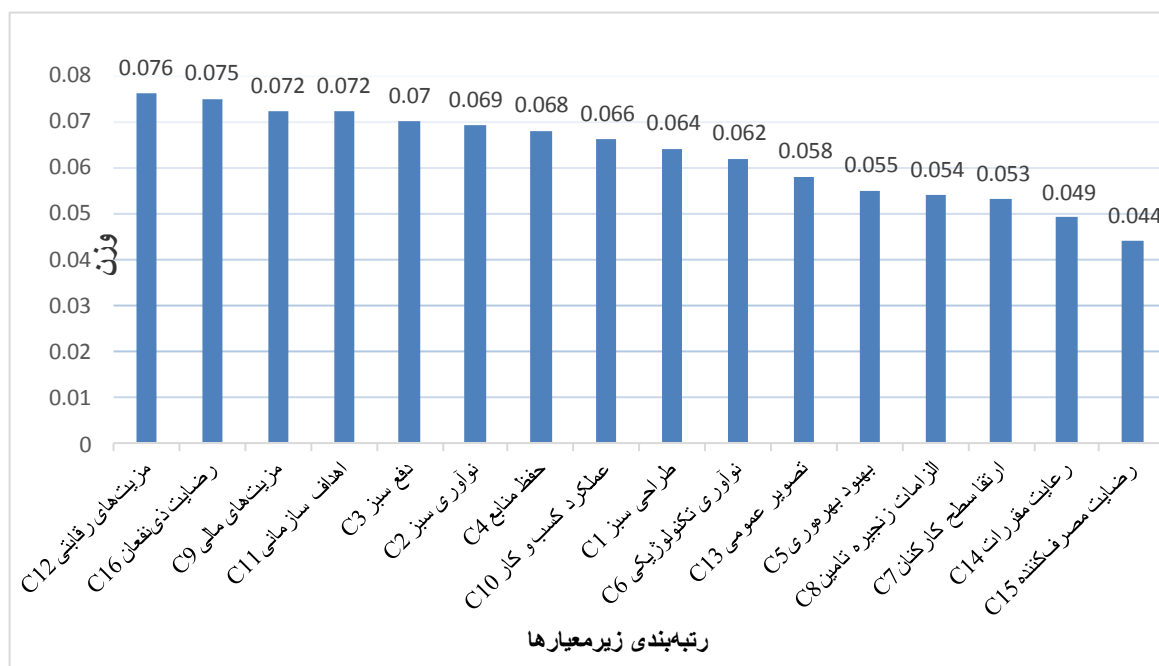
همان‌طور که مشخص شد، ۱۶ معیار طبقه‌بندی شده در ۴ بعد، با بهره‌گیری از مرور تحقیقات پیشین، نظرات کارشناسان و راهنمایی‌های مدیران صنعتی، برای ارزیابی استراتژی‌های تولید سبز تعیین شدند (جدول ۱). این معیارها از طریق رویکرد ترکیبی بر مبنای روش DEMATEL و ANP ارزیابی و وزن‌دهی شدند. نمودار روابط مستقیم برای معیارها و زیرمعیارها با کمک مجموع مقادیر Ri و Si و $Ri - Si$ ها شکل گرفت (شکل ۳). مقدار $Ri + Si$ بیشتر برای یک عنصر نشان‌دهنده تأثیرگذاری بالای آن عنصر بر سایرین است. از این‌رو، می‌توان نتیجه گرفت که بعد D4 (چشم‌انداز خارجی) تأثیر و نفوذ بیشتری بر سایر ابعاد تصمیم‌گیری داشته و از آن‌ها در مقادیر بسیار جزئی تأثیر می‌پذیرد. نظارت و قوانین دولتی جهت محدود کردن فعالیت‌های مخرب زیست‌محیطی یکی از عوامل مهم در اهمیت بعد چشم‌انداز خارجی به‌شمار می‌رود. نتایج رتبه‌بندی معیارها از لحاظ وزن DANP به شرح زیر خلاصه می‌شوند:

$$D4 > D2 > D1 > D3$$

با ادامه گام‌های روش حل مسئله، سوپرماتریس همگرای ANP بدست آمده و وزن زیرمعیارها از آن استخراج گردید (جدول ۴). نتایج ارزیابی زیرمعیارها با تکنیک DANP نشان داد که مزیت‌های رقابتی (C12)، رضایت ذی‌نفعان (C16) و اهداف سازمانی (C11) به‌ترتیب بیشترین وزن را در بین زیرمعیارها به خود اختصاص داده و

بنابراین در ارزیابی گزینه‌ها بالاترین تأثیر را دارند. لازم به ذکر است که، اختلاف مقادیر وزن هفت زیرمعیار برتر، بسیار ناچیز محاسبه شده است. رتبه‌بندی زیرمعیارها در شکل (۴) ملاحظه می‌گردد.

پس از به‌دست آوردن وزن معیارها و زیرمعیارهای تحقیق، ضرایب مطلوبیت نسبی ARAS برای هر یک از استراتژی‌های پیشنهادی محاسبه شد. ضرایب مطلوبیت نسبی برای هر یک از گزینه‌ها در جدول (۵) خلاصه شده است. محاسبات نشان می‌دهند که استقرار سیستم مدیریت پسماندها (استراتژی تولید سبز ۴) بالاترین ضریب مطلوبیت نسبی را در بین گزینه‌ها با مقدار ۰/۹۳۵ کسب کرده است و بنابراین بهترین گزینه برای اجرا در مجتمع فولاد محسوب می‌شود. نتایج نشان داد که فراوری و بازیابی سرباره‌های تولیدی (استراتژی ۳)، احداث تصفیه‌خانه فاضلاب صنعتی (استراتژی ۲)، کنترل آلودگی هوا (استراتژی ۱)، به‌ترتیب با ضرایب مطلوبیت نسبی ۰/۹۱۱، ۰/۹۱۵ و ۰/۷۱۷ رتبه‌های دوم تا چهارم را دارند. لازم به ذکر است که، بدون در نظر گرفتن محدودیت منابع (محاسبات برنامه‌ریزی آرمانی صفرو یک)، اولویت مجتمع فولاد برای انتخاب و اجرای استراتژی‌های تولید سبز پیشنهادی به‌صورت بالا خواهد بود. فرمول‌بندی محدودیت‌های سازمان با کمک مدل برنامه‌ریزی آرمانی صفرو یک، این امکان را می‌دهد که منابع ارزشمند برای رسیدن به اهداف از پیش تعیین شده مدیریتی، به‌صورت بهینه تخصیص داده شود.



شکل (۴): وزن و رتبه‌بندی زیرمعیارها

۶. نتیجه‌گیری

این پژوهش یک رویکرد توسعه‌یافته یکپارچه مبتنی بر تکنیک‌های DANP، ARAS و ZOGP برای ارزیابی و انتخاب استراتژی‌های تولید سبز، با قابلیت ملاحظه و فرمول‌بندی آرمان‌ها و محدودیت منابع سازمانی را ارائه نموده است و همچنین رویکرد ارائه شده جهت اعتباربخشی آن، برای انتخاب استراتژی‌های تولید سبز تحت محدودیت منابع برای یک مجتمع فولاد مورد استفاده قرار گرفت. در گام اول، شانزده معیار تصمیم‌گیری، در قالب چهار بعد شامل چشم‌انداز زیست‌محیطی، چشم‌انداز عملیاتی، چشم‌انداز سازمانی و چشم‌انداز خارجی برای ارزیابی استراتژی‌های تولید سبز، با مرور تحقیقات پیشین، استفاده از نظرات خبرگان و راهنمایی‌های کارشناسان صنعت فولاد تعیین شد. در نهایت، فرایند انتخاب استراتژی‌های سبز برای مجتمع فولاد صنعت بناب با رویکرد ارائه شده در این تحقیق، اجرا و مورد بررسی قرار گرفت. نتایج ارزیابی معیارها با تکنیک DANP نشان می‌دهد که سه زیرمعیار تأثیرگذار در ارزیابی گزینه‌ها با وزن‌های متناظر آن‌ها به ترتیب مزیت‌های رقابتی (۰/۰۷۶)، رضایت ذی‌نفعان (۰/۰۷۵) و مزیت‌های مالی (۰/۰۷۲) هستند. علاوه بر این، در میان ابعاد تصمیم‌گیری، چشم‌انداز خارجی بارزترین معیار با بالاترین وزن، شناسایی شد. همچنین نتایج حاصل از ارزیابی استراتژی‌ها با تکنیک ARAS نشان می‌دهد که استقرار سیستم مدیریت پسماندها، فراوری و بازیابی سرباره‌های تولیدی، احداث تصفیه‌خانه فاضلاب صنعتی و کنترل آلودگی هوا به ترتیب با ضرایب مطلوبیت نسبی ۰/۹۳۵، ۰/۹۱۱ و ۰/۹۱۵، ۰/۷۱۷ در رتبه‌های اول تا چهارم، قرار گرفتند. نتیجه نهایی حل مدل

در گام آخر روش پژوهش و حل مسئله، مدل ZOGP به منظور فرمول‌بندی محدودیت منابع و آرمان‌های مجتمع فولاد و همچنین دستیابی به یک راه‌حل بهینه برای مسئله تصمیم‌گیری چند معیاره، تشکیل (جدول ۷) و با کمک نرم‌افزار LINGO 11.0 حل شد. نتایج حاکی از آن است که، در حال حاضر با منابع موجود، بهترین استراتژی‌های تولید سبز جهت اجرا در مجتمع فولاد، احداث تصفیه‌خانه فاضلاب صنعتی (استراتژی ۲) و استقرار سیستم مدیریت پسماندها (استراتژی ۴) می‌باشد. با این حال، خروجی مدل ZOGP متفاوت می‌بود اگر مجتمع فولاد می‌توانست حداکثر هزینه قابل تخصیص به تعمیر و نگهداری تجهیزات مربوط به استراتژی‌های تولید سبز را سالانه ۵ درصد افزایش دهد.

به‌طور کلی، نتایج نشان می‌دهند که رویکرد ارائه شده در این تحقیق در انتخاب مناسب‌ترین استراتژی‌های تولید سبز برای مجتمع فولاد صنعت بناب، بدون نقض حداکثر مقدار منابع قابل تخصیص، موفقیت‌آمیز بوده است. رویکرد ارائه شده در این تحقیق بر روی صنعت فولاد کشور اجرا و ارزیابی شد. با این وجود، این رویکرد تنها محدود به صنایع فولاد نبوده و هر یک از صنایع دیگر برای رسیدگی به مسائل مشابه می‌توانند از آن استفاده کنند. با ترکیب روش‌های DANP و ARAS به همراه مدل ZOGP در مسائل تصمیم‌گیری چند معیاره، تصمیم‌گیران نه تنها می‌توانند وزن‌های تأثیرگذاری هر یک از معیارها و ضرایب مطلوبیت نسبی هر یک از گزینه‌ها را در تصمیم‌گیری ملاحظه کنند، بلکه می‌توانند منابع با ارزش خود را برای رسیدن به آرمان‌های سازمان به صورت بهینه تخصیص دهند.

[۱۳] پناهی‌زاده، مهوش، فیلی، اردلان. (۱۳۹۸). ارائه نقشه علی عوامل موثر بر تولید سبز با رویکرد دیمتل، نخستین کنفرانس ملی مدیریت، اخلاق و کسب و کار، شیراز، موسسه آموزش عالی آپادانا.

[۱۴] غلامحسین‌پور، زهره، حاجی کریمی، آرش، محمودی، امین. (۱۳۹۷). شناسایی و اولویت‌بندی موانع تولید سبز از نگاه محیطی، اجتماعی و اقتصادی: (مورد مطالعه: شرکت نیرو محرکه قزوین)، چهارمین کنفرانس بین‌المللی مدیریت، کارآفرینی و توسعه اقتصادی، تاکستان، موسسه آموزش عالی تاکستان.

[۱۵] قزلباش، ندا، فرقانی، محمدعلی، ایران‌نژاد، جواد. (۱۳۹۶). ارزیابی چارچوب ارزیابی روش‌های تولید مس براساس معیارهای تولید سبز با استفاده از رویکردهای تصمیم‌گیری چند معیاره در شرکت ملی صنایع مس ایران. سومین کنفرانس بین‌المللی مدیریت، حسابداری و اقتصاد دانش بنیان.

[۱۶] جمشیدی، محمدجواد. (۱۳۹۶). استراتژی‌های مدیریت زنجیره تامین سبز برای دستیابی به توسعه پایدار. ششمین کنگره سراسری فناوریهای نوین ایران با هدف دستیابی به توسعه پایدار.

[۱۷] نوری، مجتبی، محمدی، عمران، جبل عاملی، محمد سعید. (۱۳۹۸). "طراحی یک زنجیره تامین پایدار با در نظر گرفتن عدم قطعیت در ریسک مربوط به تأمین‌کنندگان". نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید، ۷(۱۴): ۱۰۷-۱۲۵.

[۱۸] قهرمانی نهر، جاوید، قدرت‌نما، علی، ایزدبخش، حمیدرضا، توکلی مقدم، رضا. (۱۳۹۷). "طراحی یک شبکه زنجیره تامین سبز چند هدفه چند محصولی و چند دوره‌ای با در نظر گرفتن تخفیف در شرایط عدم قطعیت". نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید، ۶(۱۳): ۱۱۹-۱۳۷.

[۱۹] فرخزاد، محمدباقر، طالب‌زاده، پریسا، گودرزیان، فریبا. (۱۳۹۸). "طراحی شبکه زنجیره‌تأمین حلقه- بسته سبز با در نظر گرفتن قابلیت اطمینان مراکز تأمین تحت شرایط عدم قطعیت". نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید، ۷(۱۴): ۱۷۹-۱۹۷.

[20] Agan, Y., M. F. Acar, and A. Borodin. (2013). "Drivers of Environmental Processes and Their Impact on Performance: A Study of Turkish SMEs". *Journal of Cleaner Production*, 51: 23-33.

[21] Richards, D. J. (1994). "Environmentally Conscious Manufacturing". *World Class Design to Manufacture*, 1(3): 15-22.

[22] Zhang, Y. (1999). "Green QFD-II: A Life Cycle Approach for Environmentally Conscious Manufacturing by Integrating LCA and LCC into QFD Matrices", *International Journal of Production Research*, 37(5): 1075-1091.

[23] Reich-Weiser, C., R. Simon, T. Fleschutz, C. Yuan, A. Vijayaraghavan, and H. Onsrud. (2013). *Metrics for Green Manufacturing*. In *Green Manufacturing*, edited by David A. Dornfeld, 49-81. New York: Springer.

[24] Hui, I. K., Chan, A. H. and Pun, K. F. (2001). "A Study of the Environmental Management System Implementation Practices", *Journal of Cleaner Production*, 9(3): 269-276.

ZOGP حاکی از آن است که با توجه به منابع موجود، احداث تصفیه‌خانه فاضلاب صنعتی و استقرار سیستم مدیریت پسماندها، بهترین استراتژی‌های تولید سبز جهت اجرا در مجتمع فولاد هست.

مراجع

- [1] Gutowski, T., C. Murphy, D. Allen, D. Bauer, B. Bras, T. Piwonka, P. Sheng, J. Sutherland, D. Thurston, and E. Wolff. (2005). "Environmentally Benign Manufacturing: Observations from Japan, Europe and the United States." *Journal of Cleaner Production*, 13(1): 1-17.
- [2] Gutowski, T. (2004). *Design and Manufacturing for the Environment*. Handbook of Mechanical Engineering, 1-25.
- [3] Dornfeld, D., Yuan, C., Diaz, N., Zhang, T., Vijayaraghavan, A. (2013) *Introduction to Green Manufacturing*. In: Dornfeld D. (eds) *Green Manufacturing*. Springer, Boston, MA.
- [4] Allen, D., Bauer, D., Bras, B., Gutowski, T., Murphy, C., Piwonka, T., Sheng, P., Sutherland, J., Thurston, D., Wolff, E. (2002). "Environmentally Benign Manufacturing: Trends in Europe, Japan, and the USA". *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 124(4): 908-920.
- [5] Linke, B., Huang, Y.-C., & Dornfeld, D. (2012). "Establishing greener products and manufacturing processes". *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, 13(7): 1029-1036.
- [6] Klassen, R.D. and Whybark, D.C. (1999). "The Impact of Environmental Technologies on Manufacturing Performance". *Academy of Management Journal*, 42: 599-615.
- [7] Rusinko C. A., (2007). "Green manufacturing: an evaluation of environmentally sustainable manufacturing practices and their impact on competitive outcomes". *IEEE Transactions on Engineering Management*, 54(3): 445-454.
- [8] Sarkis, J., Rasheed, A., (1995). "Greening the manufacturing function", *Business Horizons*, 38(5): 17-27.
- [9] Srivastava, S.K. (2007). "Green Supply-Chain Management: A State-of-the-Art Literature Review". *International Journal of Management Reviews*, 9: 53-80.
- [10] Min, H., Kim, I., (2012). "Green supply chain research: Past, present, and future". *Logistics Research*, 4: 39-47.

[۱۱] دهقان نیری، محمود، خدابخش، محسن، امامیان، امیرحسین. (۱۳۹۵). "ارائه مدل برنامه ریزی تولید سبز در صنعت خودرو (مورد مطالعه: شرکت ایران خودرو)". پژوهش‌های نوین در تصمیم‌گیری، ۴(۴): ۴۵-۶۹.

[۱۲] پورزمانی، زهرا، مشایخی‌فرد، سعید. (۱۳۹۴). "حسابداری مدیریت زیست‌محیطی با رویکرد یکپارچه برای طراحی تولید سبز با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی فازی". حسابداری مدیریت، ۲۷(۸): ۲۱-۳۶.

- Columbus, OH: Battelle Geneva Research Institute.
- [33] Saaty, T. L., Vargas, L., (2013). *The Analytic Network Process*. Decision Making with the Analytic Network Process, pp 1-40
- [34] Hsu, C.-H., Wang, F.-K., Tzeng, G.-H., (2012). "The best vendor selection for conducting the recycled material based on a hybrid MCDM model combining DANP with VIKOR". *Resources, Conservation and Recycling*, 66: 95-111.
- [35] Zavadskas, E., Turskis, Z., (2010). "A new additive ratio assessment (ARAS) method in multicriteria decision-making". *Technological and Economic Development of Economy - TECHNOL ECON DEV ECON*, 16: 159-172.
- [36] Fu, Y.-K., (2019). "An integrated approach to catering supplier selection using AHP-ARAS-MCGP methodology", *Journal of Air Transport Management*, 75: 164-169.
- [37] Charnes, A., Cooper, W. W., Ferguson, R., (1955). "Optimal estimation of executive compensation by linear programming", *Management Science*, 1: 138-151.
- [38] Wey, W. M., & Wu, K. T. (2007). "Using ANP priorities with Goal Programming in resource allocation in transportation", *Mathematical and Computer Modelling*, 46(7-8): 985-1000.
- [39] هلدینگ مجتمع فولاد صنعت بناب، (۱۳۹۸). معرفی شرکت. (<https://mfbc.co.ir/Wp/P/4041>) دسترسی در ۱۳۹۸/۱/۲۱.
- [25] Sroufe, R. (2003). "Effects of Environmental Management Systems on Environmental Management Practices and Operations". *Production and Operations Management*, 12(3): 416-431.
- [26] Rao, R. V., and B. K. Patel. (2010). "Decision Making in the Manufacturing Environment Using an Improved PROMETHEE Method". *International Journal of Production Research*, 48(16): 4665-4682.
- [27] Rao, R. V. (2013). "Applications of Improved MADM Methods to the Decision-Making Problems of Manufacturing Environment". In *Decision Making in Manufacturing Environment Using Graph Theory and Fuzzy Multiple Attribute Decision Making Methods*, 41-135.
- [28] Lin, W. R. (2011). *Application of Multi-criteria Decision Making in Green Product Selection*. Doctoral dissertation, Jhongli.
- [29] Dabbagh, R., & Yousefi, S. (2019). A hybrid decision-making approach based on FCM and MOORA for occupational health and safety risk analysis. *Journal of safety research*, 71: 111-123.
- [30] Dabbagh, R., & Nasiri Fard, B. (2019). safe points in critical situations with passive defense approach (Case Study of Tabriz City). *Quarterly Scientific Journal of Rescue and Relief*, 11(3): 214-223.
- [31] Chan, H. K., Wang, X., White, G. R. T. and Yip, N. (2013). "An Extended Fuzzy-AHP Approach for the Evaluation of Green Product Designs." *Engineering Management, IEEE Transactions*, 60(2): 327-339.
- [32] Fontela, E., and A. Gabus. (1974). *DEMATEL, Innovative Methods. Report no. 2, Structural Analysis of the World Problematique*.

پیوست (۱): پرسشنامه DANP

طراحی سبز (C1)	نوآوری سبز (C2)	دفع سبز (C3)	حفظ منابع (C4)	بهبود بهره‌وری (C5)	نوآوری تکنولوژیکی (C6)	ارتقا سطح کارکنان (C7)	الزامات زنجیره تامین (C8)	مزیت‌های مالی (C9)	عملکرد کسب و کار (C10)	اهداف سازمانی (C11)	مزیت‌های رقابتی (C12)	تصویر عمومی (C13)	رعایت مقررات (C14)	رضایت مصرف کننده (C15)	رضایت ذی‌نفعان (C16)
طراحی سبز (C1)															
نوآوری سبز (C2)															
دفع سبز (C3)															
حفظ منابع (C4)															
بهبود بهره‌وری (C5)															
نوآوری تکنولوژیکی (C6)															
ارتقا سطح کارکنان (C7)															
الزامات زنجیره تامین (C8)															
مزیت‌های مالی (C9)															
عملکرد کسب و کار (C10)															
اهداف سازمانی (C11)															
مزیت‌های رقابتی (C12)															
تصویر عمومی (C13)															
رعایت مقررات (C14)															
رضایت مصرف کننده (C15)															
رضایت ذی‌نفعان (C16)															

توضیح: تأثیر مستقیم هر معیار بر دیگری با مقیاس عدد صحیح از ۰ تا ۴، که در آن مقدار ۰ نشان‌دهنده "بدون تأثیر"، ۱ "تأثیر بسیار کم"، ۲ "تأثیر کم"، ۳ "تأثیر زیاد" و ۴ "تأثیر بسیار زیاد" درجه‌بندی می‌گردد.



A Suitable Decision-Making Approach to Select Green Manufacturing Practices for Bonab Sanat Steel Complex

R. Dabbagh^{1*}, S. Aghapour Asbag²

^{1, 2} Department of Industrial Engineering, Urmia University of Technology, Urmia, Iran

ARTICLE INFO

Article history:

Received 6 February 2020

Accepted 4 May 2020

Keywords:

Green Production Strategies
Zero-one goal programming
Multi criteria decision-making
Green industry
Environmental performance

ABSTRACT

Selecting effective green manufacturing practices (GMPs) for a specific industry is a complicated process due to the existence of diverse alternatives, managerial objectives, and resource limitations. In this study, we seek to propose a novel decision-making approach that is capable of formulating the objectives and resource limitations of the organizations in their GMPs selection decision-making problems. The proposed approach is a combination of methods including Decision-Making Trial and Evaluation Laboratory (DEMATEL), Analytic Network Process (ANP), Additive Ratio Assessment (ARAS) along with Zero-one Goal Programming (ZOGP) model. We validate the proposed approach through a case study of selecting effective GMPs under resource constraints for a steel manufacturing complex in Iran. In this empirical study a set of criteria categorized in four dimensions including environmental perspective, operational perspective, organizational perspective and external perspective is defined for evaluation of GMPs. The results indicated that among the decision dimensions, external perspective was identified as a leading factor. This research concludes that the implementation of industrial wastewater treatment plant and establishing a waste management system are the preferred strategies among the suggested alternatives considering the available resource of factory, at the moment.