نشریه مهندسی عمران امیرکبیر

نشریه مهندسی عمران امیرکبیر، دوره ۵۳، شماره ۱۲، سال ۱۴۰۰، صفحات ۵۴۸۳ تا ۵۵۰۲
DOI: 10.22060/ceej.2021.18852.6984

رتبه‌بندی استان های کشور از لحاظ عملکرد زیست‌محیطی صنایع با رویکرد توسعه یافته تصمیم‌گیری

رحیم دباغ*[۱]، صابر آقاپور اسبق[۱]، اشکان نخودچی[۲]

۱-دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی ارومیه، ارومیه، ایران
۲-دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران.

خلاصه: امروزه مدیریت زیست‌محیطی با تأکید بر حفاظت از محیط زیست به یکی از مهم‌ترین مسائل صنایع تبدیل شده است. افزایش نگرانی‌های جهانی از اثرات مخرب فعالیت‌های صنعتی موجب تغییرات گوناگونی در سیاست‌ها و راهبردهای دولت‌ها در بهبود عملکرد زیست‌محیطی گردیده است. به همین دلیل، بررسی وضعیت عملکرد زیست‌محیطی صنایع از اهمیت بالایی برخوردار است. این پژوهش استان‌های کشور را از نظر عملکرد زیست‌محیطی صنایع، در ابعاد مختلف، ارزیابی و رتبه‌بندی می‌کند. ابتدا، با بررسی جنبه‌های گوناگون تاثیرات مخرب فعالیت‌های صنعتی بر محیط زیست و بهره‌گیری از نظرات کارشناسان حوزه، یک مجموعه چندبعدی از معیارها برای ارزیابی عملکرد زیست‌محیطی صنایع استان‌ها ارائه شد. سپس با ارائه و اجرای یک رویکرد توسعه یافته، با ترکیب تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند معیاره به ارزیابی و رتبه‌بندی استان‌های کشور از لحاظ عملکرد زیست‌محیطی صنایع پرداخته شد. در گام اول، با استفاده از رویکرد ترکیبی از روش‌های آزمایشگاه ارزیابی و آزمون تصمیم‌گیری و فرایند تحلیل شبکه‌ای (DANP)، تعاملات متقابل بین معیارها و زیرمعیارهای پژوهش استخراج و وزن آن‌ها محاسبه گردید. سپس، از تکنیک ارزیابی نسبت جمعی (ARAS) برای به دست آوردن ضرایب مطلوبیت نسبی و رتبه‌بندی استان‌ها، بهره گرفته شد. نتایج نشان می‌دهد که صنایع استان‌های شمال غربی و جنوب غربی ایران در مقایسه با سایر استان‌ها، از عملکرد زیست‌محیطی بهتری برخوردارند. در این ارزیابی استان‌های بوشهر، خراسان شمالی و خوزستان به ترتیب با ضرایب مطلوبیت نسبی ۰/۴۸۸، ۰/۴۱۲ و ۰/۴۰۱ در رتبه‌های اول تا سوم قرار گرفتند..

تاریخچه داوری:
دریافت: ۱۳۹۹/۰۵/۲۲
بازنگری: ۱۳۹۹/۰۹/۰۴
پذیرش: ۱۳۹۹/۱۱/۲۷
ارائه آنلاین: ۱۳۹۹/۱۱/۲۷

کلمات کلیدی:
اثرات زیست‌محیطی
تولید سبز
صنعت سازگار با محیط زیست
مدیریت فاضلاب صنعتی
تصمیم‌گیری چند شاخصه

۱- مقدمه

صنعت بخش مهمی از اقتصاد هر کشوری را تشکیل می‌دهد. با این وجود، جنبه‌های منفی آن، اثرات مخرب غیرقابل انکاری را بر محیط زیست وارد می‌کند. صنایع یکی از بزرگ‌ترین مصرف کنندگان مواد، آب و انرژی در هر کشوری محسوب شده و در تولید آلاینده‌های زیست‌محیطی نقش بسزایی دارند [۱]. تاثیرات مخرب صنایع تولیدی بر روی محیط زیست بیش از هر صنعتی در جهان است. این اثرات مخرب اساساً به دلیل مصرف مواد، آب و انرژی در سیستم‌های تولیدی صنایع بوده و عموماً به چهار دسته شامل انتشار مواد سمی، تولید پسماندهای صنعتی، مصرف منابع ارزشمند و همچنین انتشار گازهای گلخانه‌ای تقسیم می‌شوند. داده‌های مربوط به مصرف انرژی، دمای کره زمین، سطح گاز کربن در اتمسفر زمین و سایر تاثیرات افزایش جمعیت و صنعتی شدن حاکی از آن دارد که جهان به سمت چالش‌های بیشتر و پایداری کمتر سوق پیدا می‌کند [۲]. بخش صنعت به عنوان موتور محرکه اقتصاد عمل نموده و سهم بالایی از توسعه یافتگی کشورها را به خود اختصاص میدهد. بررسی روند رشد کشورهای توسعه یافته و مقایسه آن با کشورهای در حال توسعه، نشان میدهد که، وجه تمایز و نقطه قوت این کشورها استفاده بهینه از فرصتها و امکاناتی است که در اختیار داشته‌اند [۳].

امروزه صنایع تولیدی تحت فشار روزافزون برای کاهش اثرات زیست‌محیطی فعالیت‌های صنعتی خود، از سمت مصرف کنندگان، ذی‌نفعان و دولت‌ها قرار دارند. در سال‌های اخیر، استراتژی‌های تولید سبز به عنوان یکی از محبوب‌ترین و موثرترین گزینه‌ها برای بهبود عملکرد زیست‌محیطی صنایع شناخته شده‌اند [۴]. تولید سبز اشاره به تولید کالاها با استفاده از فرایندها و تکنولوژی‌های محیط زیست دوستانه، به منظور کاهش اثرات زیست‌محیطی صنایع دارد [۶ و ۵]. تولید سبز به بخش‌های مختلف عملکرد

* نویسنده عهده‌دار مکاتبات: r.dabbagh@uut.ac.irm

حقوق مؤلفین به نویسندگان و حقوق ناشر به انتشارات دانشگاه امیرکبیر داده شده است. این مقاله تحت لیسانس آفرینندگی مردمی (Creative Commons License) در دسترس شما قرار گرفته است. برای جزئیات این لیسانس، از آدرس https://www.creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode دیدن فرمائید.

زیست‌محیطی صنایع شامل صرفه‌جویی در مصرف منابع ارزشمند، کاهش پسماندها و فاضلاب صنعتی، بازیافت و استفاده مجدد از مواد و همچنین کنترل انتشار آلاینده‌ها رسیدگی می‌کند. انگیزه‌های مختلفی در استفاده از استراتژی‌های تولید سبز جهت بهبود عملکرد زیست‌محیطی صنایع وجود دارد مانند فشار اجتماعی، قوانین و مقررات زیست‌محیطی، انگیزه‌های اقتصادی و مزیت‌های رقابتی [۷]. با این وجود برخی از موانع مانند موانع اقتصادی، تکنولوژیکی و مدیریتی از اجرای شیوه‌های تولید سبز و توسعه پایدار در صنایع جلوگیری می‌کنند [۸].

لازم به ذکر است که تولید سبز با نام‌های گوناگونی مانند تولید محیط زیست دوستانه، تولید پاک و تولید پایدار نیز شناخته می‌شود. علی‌رغم نام‌های مختلف، هدف از مفهوم تولید سبز یکی است و آن چیزی نیست جز تلاش برای کاهش اثرات منفی و مخرب فعالیت‌های صنعتی بر روی محیط زیست. علاقه و اشتیاق در رابطه با موضوع تولید سبز، به عنوان اولین قدم در راه توسعه پایدار، محرک بسیاری از مطالعات و تحقیقات در رابطه با این مسئله پیچیده، در سال‌های اخیر بوده است.

امروزه حفاظت از محیط زیست به یک نگرانی روزافزون برای هر کشوری تبدیل شده است. از این رو، کنترل آلاینده‌های زیست محیطی از اولویت بالایی برای مسئولین برخوردار است [۹]. در دهه‌های اخیر، صنایع در ایران رشد قابل توجهی را ملاحظه کرده‌اند که این امر موجب تغییر شرایط آب و هوایی و زیست‌محیطی کشور شده است. تعداد زیادی از شهرک‌های صنعتی کشور دارای کمبودهایی در سیستم جمع‌آوری، تصفیه و مدیریت پساب‌های صنعتی هستند. علاوه بر این، شهرک‌های صنعتی به ندرت دارای تسهیلات مدیریت پسماندها و انتشارات سمی هستند زیرا این گونه امکانات نیاز به هزینه‌های هنگفت دارند. فعالان حوزه‌ی محیط زیست بر این باور هستند که اتخاذ طرح‌های توسعه صنایع بدون در نظر گرفتن جنبه‌های زیست‌محیطی، روند ادامه‌دار ورود آلاینده‌ها به آب، خاک و هوای اطراف صنایع در شهرهای مختلف کشور، کمبود قوانین و مقررات سخت‌گیرانه جهت حفاظت از طبیعت و همچنین نادیده گرفتن چنین قوانینی از طرف تولید کنندگان، مجموعه‌ای از عوامل تاثیرگذار بر آلودگی زیست‌محیطی در کشور محسوب می‌شوند.

رشد سریع جمعیت و صنعتی شدن ایران باعث شده است تا حفاظت از محیط زیست در بخش‌هایی از صنعت نادیده گرفته شود که این امر نیاز به نظارت محتاطانه مسئولین حوزه صنعت و محیط زیست دارد. به عنوان یک تصمیم گیرنده مرکزی، سازمان حفاظت محیط زیست ایران وظیفه نظارت و مداخله قانونی برای جلوگیری از ورود آلاینده‌ها به محیط زیست را دارد، اما نبود ضمانت‌های علمی معتبر مانع از اتخاذ تصمیمات قاطع مسئولین می‌شود. لازم به ذکر است که علی‌رغم وجود علاقه و انگیزه بسیار پیرامون موضوع صنعت پایدار و تولید محیط زیست دوستانه، تحقیقات موجود در این حوزه در صنایع کشور با کمبود فراوانی مواجه است.

از این رو، این تحقیق قصد دارد با ارائه یک مجموعه چند بعدی از معیارهای جامع، استان‌های کشور را از لحاظ عملکرد زیست‌محیطی صنایع مورد ارزیابی و رتبه‌بندی قرار دهد. بدین منظور یک رویکرد یکپارچه از ابزارهای مختلف تصمیم‌گیری چند معیاره[1] (MCDM) ارائه و مورد استفاده قرار می‌گیرد. رویکرد پیشنهادی ترکیبی است از روش آزمایشگاه ارزیابی و آزمون تصمیم‌گیری[2] (DEMATEL)، فرایند تحلیل شبکه‌ای[3] (ANP) و ارزیابی نسبت جمعی[4] (ARAS). در گام اول، از تکنیک ترکیبی DEMATEL و ANP برای استخراج تاثیرات متقابل بین معیارها و زیرمعیارها و همچنین محاسبه وزن آن‌ها استفاده می‌شود. در گام بعدی، تکنیک ARAS برای ارزیابی و رتبه‌بندی صنایع استان‌ها به کار می‌رود.

بخش‌های بعدی این تحقیق به این صورت دسته‌بندی می‌شوند: پیشینه پژوهش در بخش دوم آورده شده است. بخش سوم چهارچوب روش شناختی و مدل پیشنهاد شده در این تحقیق برای ارزیابی و رتبه‌بندی استان‌ها را ارائه می‌دهد. داده‌های به دست آمده از این تحقیق در بخش چهارم آورده شده‌اند. در بخش پنجم نتایج به دست آمده از بخش‌های قبل تحلیل شده و نتیجه‌گیری در این بخش بیان می‌شود.

۲- پیشینه پژوهش

موضوع عملکرد زیست‌محیطی صنایع در دهه‌های اخیر، به یک بحث داغ بدل شده و مشوق پژوهش‌های زیادی در این زمینه، در کشورهای توسعه یافته بوده است. با این وجود، پژوهش‌های نسبتا کمی بر روی صنایع کشورهای در حال توسعه همانند ایران صورت گرفته که عمدتا دارای نقص‌هایی هستند که در ادامه مورد بررسی قرار می‌گیرد. برخی از پژوهش‌ها ارزیابی‌هایی را بر روی مجموعه‌ای از صنایع در برخی از استان‌های کشور انجام داده‌اند. زنجیرچی و همکاران (۱۳۹۲) صنایع کاشی، فولاد و نساجی استان یزد را از لحاظ عملکرد زیست‌محیطی و سبز بودن زنجیره تامین، مورد

1 Multi criteria decision-making (MCDM)
2 Decision making trial and evaluation laboratory (DEMATEL)
3 Analytic network process (ANP)
4 Additive ratio assessment (ARAS)

ارزیابی و رتبه‌بندی قرار دادند [۱۰]. بدین منظور، یک رویکرد تصمیم‌گیری چند معیاره فازی برای رفع نقص‌های وارد بر تکنیک‌های سلسله مراتبی فازی ارائه و اجرا کردند. فرزادکیا و همکاران (۱۳۹۱) طی یک پژوهش توصیفی و مقطعی، صنایع مستقر در غرب تهران را مورد رتبه‌بندی زیست‌محیطی قرار دادند [۱۱]. در این تحقیق، پژوهشگران صنایع را بر اساس شاخص‌های مربوط به کمیت و کیفیت فاضلاب‌های صنعتی تولید شده، ارزیابی کردند. اتابکی و همکاران (۱۳۹۵) یک رویکرد تصمیم‌گیری چند معیاره برای ارزیابی عملکرد زیست‌محیطی مجتمع‌های صنعتی بر مبنای استاندارد ایزو ۱۴۰۰۰ ارائه و اجرا کردند [۱۲].

اکثر پژوهشگران از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند معیاره، به صورت ترکیبی در زمینه سنجش عملکرد زیست‌محیطی صنایع بهره جسته‌اند. قربان‌پور و همکاران (۱۳۹۷) عملکرد زیست‌محیطی مجتمع‌های پتروشیمی واقع در منطقه ویژه اقتصادی پارس را با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی گروهی و رویکرد کوپراس ارزیابی کردند [۱۳]. کاوه گرنا و هرسج (۱۳۹۴) با استفاده از یک رویکرد ترکیبی از ANP فازی و ویکور، مجموعه کارخانجات کاله را بر اساس عملکرد زیست‌محیطی زنجیره تامین مورد ارزیابی و رتبه‌بندی قرار دادند [۱۴]. دباغ و آقاپور (۱۳۹۹) در بررسی مدلی مناسب و راهبرد موثر تولید سبز در مجتمع فولاد صنعت بناب را پیشنهاد و برای اجرای آن اعتبار بخشی کرده‌اند. نتایج نشان داده 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 [۶].

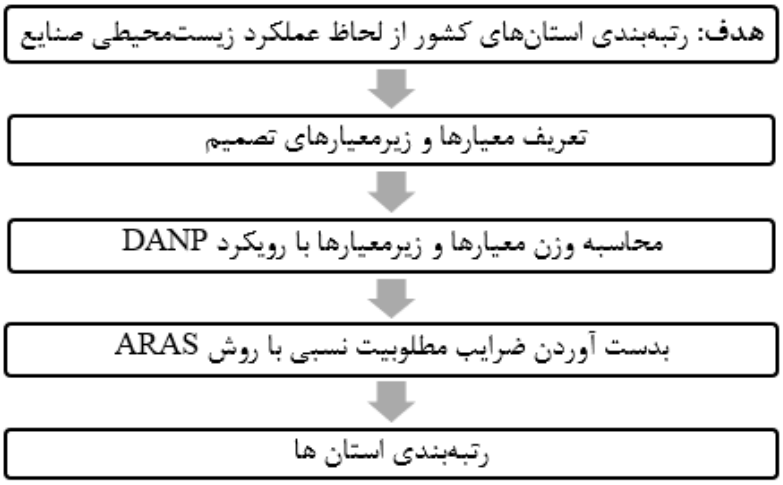
در میان پژوهش‌های انجام شده، تحقیق بر روی صنایع کاشی و سیمان بیشتر به دیده می‌شود. مروتی و همکاران (۱۳۹۵) عملکرد زیست‌محیطی کارخانه‌های کاشی و سرامیک را با بررسی میزان تولید آلاینده‌های آب، خاک و هوا و مقایسه با استانداردهای زیست‌محیطی ارزیابی کردند [۱۵]. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که تقریبا در تمامی مراحل تولید کاشی و سرامیک آلودگی‌های کربنی شده و نیاز به مدیریت زیست‌محیطی دارند. رفیعی شهرکی و قاسمی (۱۳۹۸) عملکرد زیست‌محیطی شرکت‌های سیمان در بورس اوراق بهادار تهران را بر مبنای داده‌های بازه زمانی ۱۰ ساله مورد بررسی قرار دادند [۱۶].

همانطور که قبلا اشاره شد با وجود اهمیت فراوان پژوهش در رابطه با موضوع مدیریت اثرات مخرب تولید و عملکرد زیست‌محیطی صنایع، تحقیقات نسبتا کمی در این رابطه صورت گرفته است. به همین دلیل، در ادامه به برخی از پژوهش‌های مرتبط با محوریت این تحقیق می‌پردازیم. اقبال و میرغفاری (۱۳۸۸) کارخانه ریخته‌گری شرکت ایران خودرو را مورد ارزیابی زیست‌محیطی قرار داده و نتایج مدیریت اثرات مخرب آن را بررسی کردند [۱۷]. در همین راستا، پژوهشگران با بررسی جنبه‌ها و معیارهای عملکرد زیست‌محیطی، مجموعه‌ای از شاخص‌های سبز را برای این ارزیابی پیشنهاد کردند. جوانمردی و همکاران (۱۳۹۰) عملکرد زیست‌محیطی تصفیه‌خانه فاضلاب شهر خرم‌آباد را با سنجش میزان بار آلودگی فاضلاب با پارامترهای فیزیکی و شیمیایی، مورد ارزیابی قرار دادند [۱۸]. صالحی برمی و همکاران (۱۳۹۷) شهرداری تهران را بر اساس شاخص‌های شهر سبز و استاندارد ایزو ۱۴۰۳۱ مورد ارزیابی زیست‌محیطی قرار دادند [۱۹]. علی‌نژاد و همکاران (۱۳۹۸) با شاخص کارایی و نمودارهای کنترلی بر اساس رویکرد فازی، فرآیندهای شرکت آب و فاضلاب شهری استان آذربایجان غربی را بررسی کرده‌اند و نتایج نشان داده که استفاده از قوانین فازی در مقایسه با حالت داده‌های غیرفازی، گزینه‌های تصمیم‌گیری بیشتری را در اختیار تصمیم گیرندگان قرار داده و تقسیم‌بندی دقیق‌تری از کیفیت تولیدات را ارائه می‌کند [۲۰].

مرور ادبیات موجود در رابطه با ارزیابی عملکرد زیست‌محیطی صنایع در سطح استان‌ها نشان می‌دهد که پژوهش‌ها تمامی جنبه‌های زیست‌محیطی را پوشش نمی‌دهند و پیوندهای زیادی بدون مطالعه موجود است. همچنین هیچ مطالعه‌ای مبنی بر ایجاد یک چهارچوب جامع در رابطه با ارزیابی عملکرد زیست‌محیطی صنایع در سطح استان‌های کشور، که شامل کلیه مراحل مدل‌سازی اعم از شناسایی شاخص‌های ارزیابی، اولویت‌بندی و ارتباط آن‌ها با اقدامات عملکردی و همچنین ارائه و اجرای مدل ارزیابی، اعتبارسنجی و ارزیابی اثربخشی آن باشد، وجود ندارد. در همین راستا، این پژوهش جنبه‌های مختلف ارزیابی عملکرد زیست‌محیطی از قبیل شناسایی عوامل تاثیرگذار، ارائه رویکرد توسعه یافته تصمیم‌گیری، ارزیابی عملکرد و اعتبارسنجی را در مدل‌سازی، در نظر می‌گیرد.

۳- روش‌شناسی تحقیق

پژوهشگران متعددی با ترکیب ابزارهای مختلف MCDM به حل مشکلات زیست‌محیطی صنعت ایران پرداخته‌اند [۲۱]. این پژوهش یک رویکرد توسعه یافته با ترکیب روش‌های MCDM برای ارزیابی زیست‌محیطی صنایع استان‌های کشور، ارائه می‌دهد. در ابتدا، یک مجموعه چند بعدی از معیارهای تولید سبز و صنعت سازگار با محیط زیست، با توجه



شکل ۱. چهارچوب روش شناسی پژوهش

Fig. 1Research Methodology Framework

به نظرات کارشناسان صنعت و محیط زیست، برای ارزیابی صنایع استان‌های کشور تعریف شده است. سپس با کمک تکنیک DEMATEL مقادیر تاثیرات متقابل بین معیارها و زیرمعیارها استخراج شده و در مراحل بعدی از این مقادیر برای نرمالیزه کردن سوپرماتریس ناموزون ANP و استخراج وزن‌های عادلانه معیارها و زیرمعیارها استفاده شده است. در نهایت، گام آخر ارزیابی صنایع استان‌های کشور با انجام محاسبات تکنیک ARAS و به دست آوردن ضرایب مطلوبیت نسبی (ضرایب نزدیکی) هر استان و رتبه‌بندی آن‌ها تکمیل می‌گردد. شکل ۱ چهارچوب روش شناسی ارائه شده در این تحقیق را نشان می‌دهد.

۳- ۱- روش آزمایشگاه ارزیابی و آزمون تصمیم‌گیری

روش DEMATEL می‌تواند برای استخراج درجات تعاملات بین معیارها و زیرمعیارها و همچنین تشکیل ساختار روابط متقابل بین آن‌ها به کار رود [۲۲]. از سوی دیگر، روش ANP می‌تواند وزن معیارها و زیرمعیارها را با استفاده از این درجات محاسبه کند [۲۳]. رویکرد ترکیبی DEMATEL و ANP که با نام DANP شناخته می‌شود، یک ابزار شناخته شده است که در سال‌های اخیر برای رسیدگی به مسئله‌های مختلف MCDM به کار گرفته شده است. در این پژوهش از رویکرد ترکیبی DANP ارائه شده توسط سو و همکاران (۲۰۱۲) با گام‌های زیر استفاده شده است [۲۴]:

گام اول: محاسبه ماتریس میانگین روابط اولیه A. در این مرحله، از کارشناسان حوزه تحقیق خواسته می‌شود که تاثیر مستقیم هر عنصر i بر هر عنصر j، که با نماد a_{ij} نشان داده می‌شود را با استفاده از یک مقیاس عددی صحیح از ۰ تا ۴ مشخص کنند. در این مقیاس، عدد ۰ بدون نفوذ، عدد ۱ نفوذ جزئی، عدد ۲ نفوذ کم، عدد ۳ نفوذ زیاد و عدد ۴ نفوذ بسیار زیاد را نشان می‌دهند. هر یک از مولفه‌های ماتریس A برابر است با میانگین همان مولفه‌ها در ماتریس پاسخ خبرگان. ماتریس میانگین روابط اولیه 'A'در معادله (۱) نشان داده شده است.

$$A=\begin{pmatrix} \alpha_{11} & \cdots & \alpha_{1j} & \cdots & \alpha_{1n} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \alpha_{i1} & \cdots & \alpha_{ij} & \cdots & \alpha_{in} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \alpha_{n1} & \cdots & \alpha_{nj} & \cdots & \alpha_{nn} \end{pmatrix} \quad (۱)$$

گام دوم: محاسبه ماتریس نرمال روابط 'X'. در این گام ماتریس میانگین روابط اولیه 'A'، که از گام قبل به دست آمده، با کمک معادله‌های (۲) و (۳) نرمالیزه شده و ماتریس نرمال روابط 'X' نام می‌گیرد.

$$K=\frac{1}{\max_{1\le i\le n}\sum_{j=1}^{n}\alpha_{ij}} \quad (۲)$$

$$X=K\times A \quad (۳)$$

گام سوم: به دست آوردن ماتریس روابط کل 'T'. ماتریس روابط کل 'T'با حل معادله (۴) به دست میآید که در آن 'X' اشاره به ماتریس نرمال روابط (به دست آمده از گام دوم) و 'I' اشاره به ماتریس همانی دارد.

$$T = X + X^2 + \cdots + X^h = X(I - X)^{-1} \qquad (۴)$$

گام چهارم: تعیین مجموع سطرها و ستون‌ها. مولفه‌های 'r' و 's' به ترتیب مجموع سطرهای iام و مجموع ستون‌های jام ماتریس 'T'هستند و با کمک معادله‌های (۵) و (۶) محاسبه می‌شوند.

$$r = [r_j]_{n\times 1} = \left[\sum_{j=1}^{n} t_{ij}\right]_{n\times 1} \quad , \quad s = [s_j]_{n\times 1} = \left[\sum_{j=1}^{n} t_{ij}\right]'_{1\times n} \qquad (۵)$$

$$T = [t_{ij}], \quad i, j = 1,2,\cdots,n. \qquad (۶)$$

گام پنجم: رسم نمودارهای روابط مستقیم. فرض کنید که r_i مجموع مقادیر سطر iام از ماتریس 'T' را معین می‌کند. از این رو، r_i مجموع تاثیرات عامل i بر روی سایر عوامل را مشخص می‌کند. به همین طریق، فرض کنید که مجموع مقادیر سطر jام از ماتریس 'T' را معین می‌کند. از این رو، s_j مجموع تاثیرات عامل j بر روی سایر عوامل را مشخص می‌کند. از این رو، نمودارهای تاثیرات مستقیم با کمک مقادیر 'r' و 's' رسم می‌شوند.

گام ششم: به دست آوردن ماتریس ناموزون 'W'. فرض کنید که T_c و T_d به ترتیب معرف ماتریس‌های روابط کل برای زیرمعیارها و معیارها هستند. ماتریس $T_c = [t_{ij}]_{n\times n}$ در معادله (۷) نشان داده شده است.

$$T_c = \begin{array}{c} \\ D_1 \\ \\ D_i \\ \\ D_n \\ \\ \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{cccccc} D_1 & & D_j & & D_n \\ c_{11}\cdots c_{1m1} & \cdots & c_{j1}\cdots c_{jm_j} & \cdots & c_{n1}\cdots c_{nm_n} \end{array} \\ \begin{pmatrix} T_c^{11} & \cdots & T_c^{1j} & \cdots & T_c^{1n} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ T_c^{i1} & \cdots & T_c^{ij} & \cdots & T_c^{in} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ T_c^{n1} & \cdots & T_c^{nj} & \cdots & T_c^{nn} \end{pmatrix} \end{array} \qquad (۷)$$

در گام بعد با نرمال سازی درون خوشه‌ای ماتریس T_c ماتریس جدیدی به نام T_c^{α} همانطور که در معادله (۸) نشان داده شده است، به دست می‌آید.

$$T_c^{\alpha} = \begin{array}{c} \\ D_1 \\ \\ D_i \\ \\ D_n \\ \\ \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{cccccc} D_1 & & D_j & & D_n \\ c_{11}\cdots c_{1m1} & \cdots & c_{j1}\cdots c_{jm_j} & \cdots & c_{n1}\cdots c_{nm_n} \end{array} \\ \begin{pmatrix} T_c^{\alpha 11} & \cdots & T_c^{\alpha 1j} & \cdots & T_c^{\alpha 1n} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ T_c^{\alpha i1} & \cdots & T_c^{\alpha ij} & \cdots & T_c^{\alpha in} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ T_c^{\alpha n1} & \cdots & T_c^{\alpha nj} & \cdots & T_c^{\alpha nn} \end{pmatrix} \end{array} \qquad (۸)$$

نرمال سازی $T_c^{\alpha 11}$ در معادله های (۹) و (۱۰) توضیح داده شده است و مقادیر دیگر $T_c^{\alpha nm}$ به صورت فوق هستند.

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

$$T_c^{\alpha 11} = \begin{pmatrix} t_{c11}^{11}/d_{c1}^{11} & \cdots & t_{c1j}^{11}/d_{c1}^{11} & \cdots & t_{c1m1}^{11}/d_{c1}^{11} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ t_{ci1}^{11}/d_{ci}^{11} & \cdots & t_{cij}^{11}/d_{ci}^{11} & \cdots & t_{cim1}^{11}/d_{ci}^{11} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ t_{cm1}^{11}/d_{cm1}^{11} & \cdots & t_{cm1j}^{11}/d_{cm1}^{11} & \cdots & t_{cm1m1}^{11}/d_{cm1}^{11} \end{pmatrix} \qquad (۹)$$

$$= \begin{pmatrix} t_{c11}^{\alpha 11} & \cdots & t_{c1j}^{\alpha 11} & \cdots & t_{c1m1}^{\alpha 11} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ t_{ci1}^{\alpha 11} & \cdots & t_{cij}^{\alpha 11} & \cdots & t_{cim1}^{\alpha 11} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ t_{cm1}^{\alpha 11} & \cdots & t_{cm1j}^{\alpha 11} & \cdots & t_{cm1m1}^{\alpha 11} \end{pmatrix} \qquad (۱۰)$$

سپس سوپر ماتریس ناموزون 'W' از طریق معادله (۱۱) به دست می آید.

$$W = (T_c^{\alpha})' = \begin{array}{c} \\ D_1 \\ \\ D_j \\ \\ D_n \\ \\ \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{cccccc} D_1 & & D_i & & D_n \\ c_{11}\cdots c_{1m1} & \cdots & c_{i1}\cdots c_{im_i} & \cdots & c_{n1}\cdots c_{nm_n} \end{array} \\ \begin{pmatrix} W^{11} & \cdots & W^{i1} & \cdots & W^{n1} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ W^{1j} & \cdots & W^{ij} & \cdots & W^{nj} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ W^{1n} & \cdots & W^{in} & \cdots & W^{nn} \end{pmatrix} \end{array} \qquad (۱۱)$$

اگر بین مؤلفه های خوشه یا زیرمعیارها هیچ وابستگی وجود نداشته باشد W^{11} (معادله ۱۲) خالی یا صفر است و مقادیر دیگر W^{nn} نیز به همان صورت هستند.

$$W^{11}=\begin{array}{c} \\ c_{11} \\ \vdots \\ c_{1j} \\ \vdots \\ c_{1m_1} \end{array}\begin{array}{c} \begin{array}{cccccc} c_{11} & \cdots & c_{1i} & \cdots & c_{1m_1} \end{array} \\ \begin{pmatrix} t_{c11}^{\alpha 11} & \cdots & t_{c1j}^{\alpha 11} & \cdots & t_{c1m1}^{\alpha 11} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ t_{ci1}^{\alpha 11} & \cdots & t_{cij}^{\alpha 11} & \cdots & t_{cim1}^{\alpha 11} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ t_{cm1}^{\alpha 11} & \cdots & t_{cm1j}^{\alpha 11} & \cdots & t_{cm1m1}^{\alpha 11} \end{pmatrix} \end{array} \quad (۱۲)$$

گام هفتم: به دست آوردن سوپر ماتریس وزن‌دار. به دست آوردن سوپر ماتریس وزن‌دار نیاز به نرمال سازی دارد، که از مجموع هر ستون محاسبه میشود، همان طور که در معادله (۱۳) نشان داده شده است.

$$T_D=\begin{pmatrix} t_D^{11} & \cdots & t_D^{1j} & \cdots & t_D^{1n} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ t_D^{i1} & \cdots & t_D^{ij} & \cdots & t_D^{in} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ t_D^{n1} & \cdots & t_D^{nj} & \cdots & t_D^{nn} \end{pmatrix} \quad (۱۳)$$

پس از نرمال سازی ماتریس روابط کل T_d ماتریس T_D^{α} از طریق معادله (۱۴) به دست می آید، جایی که $T_D^{\alpha ij}=T_D^{ij}/d_i$.

$$T_D^{\alpha}=\begin{pmatrix} t_D^{11}/d_1 & \cdots & t_D^{1j}/d_1 & \cdots & t_D^{1n}/d_1 \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ t_D^{i1}/d_i & \cdots & t_D^{ij}/d_i & \cdots & t_D^{in}/d_i \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ t_D^{n1}/d_n & \cdots & t_D^{nj}/d_n & \cdots & t_D^{nn}/d_n \end{pmatrix} \quad (۱۴)$$

با ضرب ماتریس نرمالیزه شده روابط کل T_D^{α} در سوپرماتریس ناموزون، سوپرماتریس وزن دار W^{α} همانطور که در معادله (۱۵) نشان داده شده، به دست می آید.

$$W^{\alpha}=T_D^{\alpha}\times W=\begin{pmatrix} t_D^{\alpha 11}\times W^{11} & \cdots & t_D^{\alpha 1j}\times W^{i1} & \cdots & t_D^{\alpha 1n}\times W^{n1} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ t_D^{\alpha i1}\times W^{1j} & \cdots & t_D^{\alpha ij}\times W^{ij} & \cdots & t_D^{\alpha in}\times W^{nj} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ t_D^{\alpha n1}\times W^{1n} & \cdots & t_D^{\alpha nj}\times W^{in} & \cdots & t_D^{\alpha nn}\times W^{nn} \end{pmatrix} \quad (۱۵)$$

گام هشتم: به دست آوردن سوپرماتریس حددی، محاسبه سوپرماتریس حددی نیاز به این دارد که ماتریس را به یک توان بزرگ مانند g برسانیم تا هر سطر آن به عددی همگرا شود. مانند : $\lim_{g\to\infty}(W^{\alpha})^{g}$ جایی که g نشان دهنده توان است. سپس، وزن معیارها و زیرمعیارها که به آنها وزن های وابستگی یا وزن‌های DANP نیز گفته می شود، از سوپر ماتریس حددی به دست می آید.

۳- ۲- -تکنیک ارزیابی نسبت جمعی (ARAS)

تکنیک ARAS توسط زاوادسکاس و ترکسیس (۲۰۱۰) برای حل مسائل MCDM توسعه یافته است. از تکنیک ARAS می توان به منظور ارزیابی و رتبهبندی مجموعه‌ای از گزینه ها در ارتباط با معیارها استفاده کرد [۲۵]. اثربخشی ARAS در حل مسائل MCDM توسط برخی از تحقیقات اخیر تایید شده است [۲۶]. به منظور ارزیابی و رتبه‌بندی صنایع استان‌ها، در این تحقیق از تکنیک ARAS، بدلیل سادگی و اثربخشی آن استفاده میشود. گام های زیر می توانند فرایند تکنیک ARAS را توصیف کنند:

گام اول: تشکیل ماتریس تصمیم 'X'. ماتریس تصمیم یک مسئله MCDM با m گزینه و n معیار میتواند به شرح زیر (معادله ۱۶) تشکیل شود.

$$X=\begin{pmatrix} x_{01} & \cdots & x_{0j} & \cdots & x_{0n} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ x_{i1} & \cdots & x_{ij} & \cdots & x_{in} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ x_{m1} & \cdots & x_{mj} & \cdots & x_{mn} \end{pmatrix} \quad (۱۶)$$

که در آن m وn به ترتیب تعداد گزینه ها و معیارهای در ارتباط با گزینه ها هستند. X_{0j} مقدار عملکرد ایده‌آل معیار j است. X_{ij} اشاره به مقدار عملکرد گزینه i در رابطه با معیار j دارد. علاوه بر این، $i = ۰, ۱, \ldots,$ m و $j = ۱, ۲, \ldots, n$ هستند.

گام دوم: تعریف عملکردهای ایده‌آل برای هر معیار. مقادیر علملکرد ایده‌آل برای هر معیار با کمک معادله (۱۷) به دست می‌آید.

$$X_{0j} = \begin{cases} \max\limits_{i} x_{ij} & j \in \Omega_{\max} \\ \min\limits_{i} x_{ij} & j \in \Omega_{\min} \end{cases} \quad (۱۷)$$

جایی که X_{0j} مقدار عملکرد ایده‌آل در ارتباط با معیار jام است. Ω_{max} اشاره به مجموعه معیارهای مثبت و Ω_{min} اشاره به مجموعه معیارهای منفی دارد.

گام سوم: گام سوم محاسبه ماتریس تصمیم نرمالیزه شده 'R'. ماتریس تصمیم نرمالیزه شده $R=[r_{ij}]$ را می توان با کمک معادله زیر (۱۸) به دست آورد.

$$r_{ij} = \begin{cases} x_{ij} / \sum_{i=0}^{m} x_{ij} & j \in \Omega_{\max} \\ 1/x_{ij} / \sum_{i=m}^{m} x_{ij} & j \in \Omega_{\min} \end{cases} \quad (۱۸)$$

جایی که r_{ij} مقدار نرمالیزه شده ارزش عملکرد گزینه iام در رابطه با معیار jام است.

گام چهارم: محاسبه ماتریس تصمیم وزن‌دار نرمالیزه شده 'V'. ماتریس تصمیم وزن‌دار نرمالیزه شده $V=[v_{ij}]$ را می توان با کمک معادله زیر (۱۹) به دست آورد.

$$v_{ij} = w_j * r_{ij}, \ i = 1, 2, \cdots, m, \quad (۱۹)$$

که v_{ij} مقدار وزن‌دار نرمالیزه شده ارزش عملکرد گزینه iام در رابطه با معیار jام است.

گام پنجم: محاسبه مقادیر عملکرد کلی برای گزینه ها. مقادیر S_i را می توان با جمع مقادیر وزن‌دار نرمالیزه شده به طریق رابطه زیر (۲۰) محاسبه کرد.

$$S_i = \sum_{j=1}^{n} v_{ij}, \ i = 0, 1, \ldots, m. \quad (۲۰)$$

گام ششم: به دست آوردن ضرایب مطلوبیت نسبی (ضرایب نزدیکی). ضریب نزدیکی (Q_i) برای یک گزینه را میتوان با کمک رابطه زیر (۲۱) به دست آورد.

$$Q_i = S_i / S_0, \quad i = 1, 2, \ldots m. \quad (۲۱)$$

جایی که S_0 مقدار عملکرد کلی گزینه ایده‌آل و Q_i ضریب بهره وری گزینه iام می باشد.

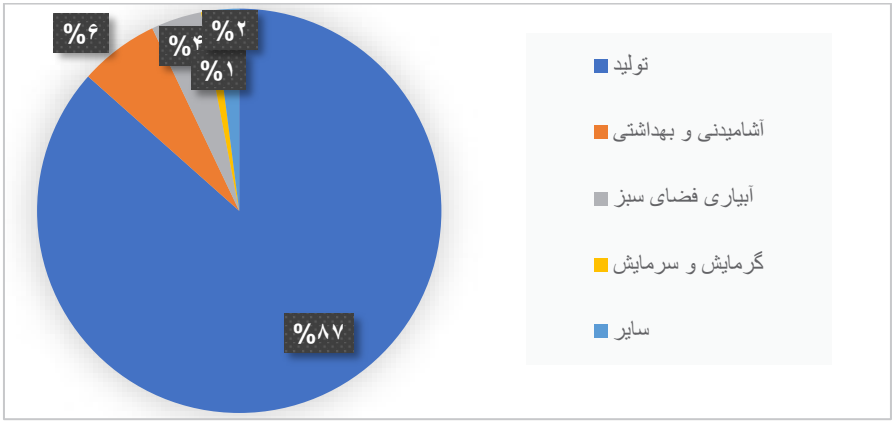
گام هفتم: رتبه بندی گزینه ها. در گام آخر گزینه های پیشنهادی با توجه به مقادیر Q_iها رتبه بندی می شوند. بر این اساس، بهترین گزینه A^*، گزینه ای است که بزرگ‌ترین مقدار Q_i را دارد.

۴- داده‌ها

در این پژوهش، ابعاد مختلف تأثیر فعالیت‌های صنعتی استان‌های کشور بر اساس آخرین نتایج آمارگیری از ویژگی‌های محیط زیست از کارگاه‌های صنعتی کشور بین سال‌های ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۷ مورد توجه قرار گرفته و معیارهای مسئله جهت ارزیابی آن‌ها از لحاظ میزان سازگاری با محیط زیست تعریف شده‌اند. در این پژوهش بیش از چهارده هزار کارگاه صنعتی مستقر در شهرها و روستاهای کشور بر حسب استانی با بیش از ۱۰ کارکن در جامعه آماری مورد بررسی قرار دارند. داده‌های مربوط به صنایع کشور مورد استفاده در این تحقیق توسط مرکز آمار ایران، طی یک مطالعه گسترده از کارگاه‌های صنعتی کشور بین سال‌های ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۷ منتشر شده است [۲۷]. بر اساس پیشینه تحقیق مشخصات زیست‌محیطی تولید کنندگان صنعتی برای معیارهای اصلی شامل تعداد واحدهای زیست‌محیطی و کارکنان این واحدها، گواهی‌های زیست‌محیطی تولید کنندگان، میزان فاضلاب صنعتی تولید شده و بازیافت شده، میزان ضایعات صنعتی تولید شده و روش‌های دفع آن و تعداد کارخانه‌ها با تجهیزات کنترل آلودگی هوا در سطح استان‌ها مورد توجه قرار گرفته است. بر اساس آمار فوق استان‌های تهران، اصفهان، خراسان رضوی و آذربایجان شرقی به ترتیب با داشتن تعداد ۲۳۷۷، ۱۷۲۵، ۱۰۰۶ و ۸۴۳ عدد کارگاه صنعتی، بزرگ‌ترین استان‌های صنعتی ایران محسوب می‌شوند. در بین صنایع ایران، کارگاه‌های تولید سایر محصولات کانی غیرفلزی و صنایع مواد غذایی و آشامیدنی به ترتیب دارای بیشترین تعداد کارگاه‌ها با ۳۱۶۶ و ۲۷۵۹ واحد بودند (شکل ۲).

شکل ۲. سهم کارگاه های صنعتی ایران از لحاظ فعالیت

Fig. 2.The share of Iranian industrial workshops in terms of activity



شکل ۳. سهم و نوع آب مصرفی کارگاه های صنعتی کشور

Fig. 3. Share and type of water consumed in the country's industrial workshops

۴- ۱- مصرف آب در کارگاه‌های صنعتی

آب یکی از منابع ارزشمندی است که در کارگاه‌های تولیدات صنعتی به صورت گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرد. استفاده از آن در کارگاه‌های صنعتی به دلیل مصرف بی‌رویه و احتمال آلودگی منابع آبی نگران کننده است [۲۸]. با وجود این که ۷۰٪ سطح زمین پوشیده از آب است، تنها ۳٪ از آب طبیعی، آب شیرین محسوب می‌شوند. از این رو، آب به عنوان یک منبع محدود و با ارزش در نظر گرفته می‌شود که کاربرد گسترده‌ای در بخش صنعت دارد. صنایع به ویژه بخش تولید از مقدار زیادی آب در فرآیندهای تولید برای ساخت، فرآوری، شست و شو، رقیق کردن یا خنک کردن تجهیزات در سیستم‌های تولید استفاده می‌کنند. صنایع غذایی و آشامیدنی یکی از مصرف کنندگان عمده آب شیرین محسوب می‌شوند که آب در فرآیندهای تولید آن‌ها مورد استفاده قرار گرفته و در محصول نهایی گنجانیده می‌شود. علاوه بر این، صنایع تولید کاغذ از ۲۰ تا ۶۰ متر مکعب آب برای تولید یک تن کاغذ استفاده می‌کنند. بنابراین، آن‌ها نیز مصرف کنندگان عمده و همچنین یکی از صنایع آلوده کننده آب محسوب می‌شوند [۲۹].

نزدیک به ۷۰٪ مناطق خشک و نیمه خشک ایران در کمربندی خشک زمین قرار دارد. صرفه جویی در مصرف آب توسط صنایع تولیدی ممکن است نادیده گرفته شود، اما با توجه به شرایط کشور، این موضوع از اهمیت خاصی برخوردار است. بر اساس مطالعات مرکز آمار ایران، میزان آب مصرفی کارگاه‌های صنعتی با بیش از ۱۰ کارکن در سال ۱۳۹۶ تقریباً ۴۹۱۷ میلیون متر مکعب بوده که از این تعداد ۴۲۱۵ میلیون متر مکعب (۸۵/۷٪) در تولید استفاده شده است. شکل ۳ درصد آب مصرفی کارگاه‌های صنعتی را به تفکیک نوع استفاده نشان می‌دهد.

در این میان، کارگاه‌های تولید مواد و محصولات شیمیایی، تولید کک، پالایشگاه‌های نفتی و سوخت‌های هسته‌ای و صنایع غذایی و آشامیدنی بیشترین میزان مصرف آب را به ترتیب با ۳۳۱۱ ، ۶۱۲ و ۴۱۳ میلیون متر مکعب را داشته‌اند.

۴- ۲- فاضلاب صنعتی

فاضلاب صنعتی، پساب آلوده‌ای است که به دلیل استفاده آب در فرآیند تولید ایجاد شده و از نظر خاصیت جسمی مانند رنگ، شفافیت، بو، طعم و... تغییر کرده است. بازیافت و تصفیه فاضلاب صنعتی، به منظور استفاده مجدد از آن، نیاز به مجموعه‌ای از فرآیندهای معین دارد. پساب صنعتی ممکن است پس از بازیافت، مجدداً در فرآیندهای تولید مورد استفاده قرار گیرد و یا به فاضلاب و آب‌های سطحی محیط منتقل شود. تصفیه پساب‌های صنعتی، مجموعه‌ای از فرآیندهای فیزیکی، بیولوژیکی و شیمیایی است که برای از بین بردن آلاینده‌های آب انجام می‌شود و در نهایت به منظور مصرف دوباره آن وارد چرخه تولید می‌گردد [۳۰].

ابعاد اثرات منفی فاضلاب صنعتی بر محیط زیست منطقه بسیار گسترده است. دفع بی‌رویه فاضلاب صنعتی به درون آب‌های سطحی باعث مرگ و میر حیوانات به ویژه آبزیان می‌شود. علاوه بر این، پساب‌های صنعتی با آلوده کردن آب‌های زیرزمینی می‌تواند کشاورزی منطقه را تهدید کند. طبق آمار بیشترین میزان پساب صنعتی تولید شده متعلق به صنایع تولید کک، پالایشگاه‌های نفتی و سوخت‌های هسته‌ای، صنایع مواد غذایی و آشامیدنی، تولید مواد و محصولات شیمیایی و تولید فلزات اساسی به ترتیب با ۳۸۳، ۲۵۵، ۶۱ و ۵۹ میلیون متر مکعب است.

۴- ۳- پسماند صنعتی

علاوه بر فاضلاب صنعتی، صنایع تولیدی مقدار فراوانی نیز پسماند صنعتی به صورت ضایعات جامد، نیمه جامد و مایع نیز تولید می‌کنند. ضایعات صنعتی شامل موادی هستند که پس از فعالیت‌های مختلف صنعتی برای تولید کنندگان بی فایده بوده و دفع یا بازیافت آن‌ها نیاز به فرایندهای ویژه‌ای دارد که بر اساس میزان سمی یا مخرب بودن آن‌ها می‌تواند متفاوت باشد. مواد شیمیایی سمی به طور گسترده‌ای در برخی فرایندهای تولید استفاده می‌شوند که در نهایت منجر به تولید پسماندهای سمی می گردد که برای سلامت انسان و محیط زیست بسیار مضر است. راه‌های گوناگونی برای دفع پسماندهای صنعتی وجود دارد مانند دفن پسماندها (قرار دادن زباله‌های جامد در اعماق خاک)، دفع بهداشتی یا مرسوم، سوزاندن (در فضای باز)، بازیافت، جمع آوری و فروش.

آمارها نشان می‌دهند میزان پسماندهای صنعتی جامد تولید شده توسط کارگاه‌های صنعتی ایران در سال ۱۳۹۶ با بیش از ۱۰ کارکن نزدیک به ۸۳۶۷ هزار تن بوده است. بیشترین میزان پسماندهای جامد صنعتی در ایران متعلق به صنایع تولیدی (تولید فلزات اساسی، تولید سایر محصولات کانی غیرفلزی، صنایع مواد غذایی و آشامیدنی) به ترتیب با مقادیر ۳۱۹۶، ۲۶۶۸ و ۱۴۰۵ هزار تن است. علاوه بر این، میزان پسماندهای مایع صنعتی تولید شده توسط کارگاه‌های صنعتی، ۳۱۴۱ هزار متر مکعب در سال ۱۳۹۶ بوده است. بررسی پسماندهای مایع صنعتی نشان می‌دهد که کارگاه‌های تولید کک، پالایشگاه‌های نفتی و سوخت‌های هسته‌ای، صنایع مواد غذایی و آشامیدنی و تولید مواد معدنی غیرفلزی به ترتیب با ۱۱۸۷، ۱۰۳۳ و ۳۱۷ هزار متر مکعب، بیشترین میزان پسماندهای مایع صنعتی را در بین کارگاه‌ها تولید می‌کنند. در سال ۱۳۹۶ میزان ضایعات صنعتی نیمه جامد تولید شده توسط کارگاه‌ها ۴۵۸ هزار تن بوده است که کارگاه‌های تولید فلزات اساسی، صنایع مواد غذایی و آشامیدنی، تولید مواد و محصولات شیمیایی و تولید سایر محصولات کانی غیرفلزی، بیشترین میزان پسماند نیمه جامد را با مقادیر ۱۸۹، ۱۰۹، ۱۰۰ و ۵۷ هزار تن داشته‌اند.

آلودگی هوا یکی دیگر از خروجی‌های جانبی صنایع تولیدی است که اثرات مضری بر سلامت انسان و محیط زیست دارد. صنایع تولیدی مقدار زیادی مونوکسید کربن، هیدروکربن، ترکیبات آلی و مواد شیمیایی سمی در هوا را آزاد می‌کنند و کیفیت هوا را کاهش می‌دهند. صنایع تولیدی در هر گوشه‌ای از زمین یافت می‌شوند، از این رو مناطق تحت تاثیر آن‌ها بسیار وسیع هستند. فعالیت‌های صنعتی یکی از دلایل اصلی آلودگی هواست که نگرانی جهانی را برانگیخته است. گازهای گلخانه‌ای که از فعالیت‌های صنعتی آزاد می‌شوند، عمدتاً به دلیل مصرف سوخت‌های فسیلی در کارخانه‌هاست که باعث ایجاد مشکلات زیست محیطی فراوان از جمله گرم شدن کره زمین می‌شود [۳۱]. یکی از روش‌های متداول کنترل کیفیت هوا در بین صنایع تولیدی ایران استفاده از تجهیزات کنترل آلودگی هوا از قبیل الکتروفیلتر، اسکرابر، کیسه فیلتر و سیکلون است. این تجهیزات برای خارج کردن ذرات سمی از گاز تولید شده در قسمت‌های مختلف کارگاه‌ها به کار می‌روند. آمارها نشان می‌دهند که صنایع تولید سایر محصولات کانی غیرفلزی، صنایع مواد غذایی و آشامیدنی و صنایع بازیافت زباله‌های فلزی و غیر فلزی بیشترین تعداد تجهیزات کنترل آلودگی هوا را در بین کارگاه‌های صنعتی ایران در سال را داشته‌اند.

جدول ۱. معیارها و زیرمعیارهای تصمیم‌گیری

Table 1. Criteria and sub-criteria for decision making

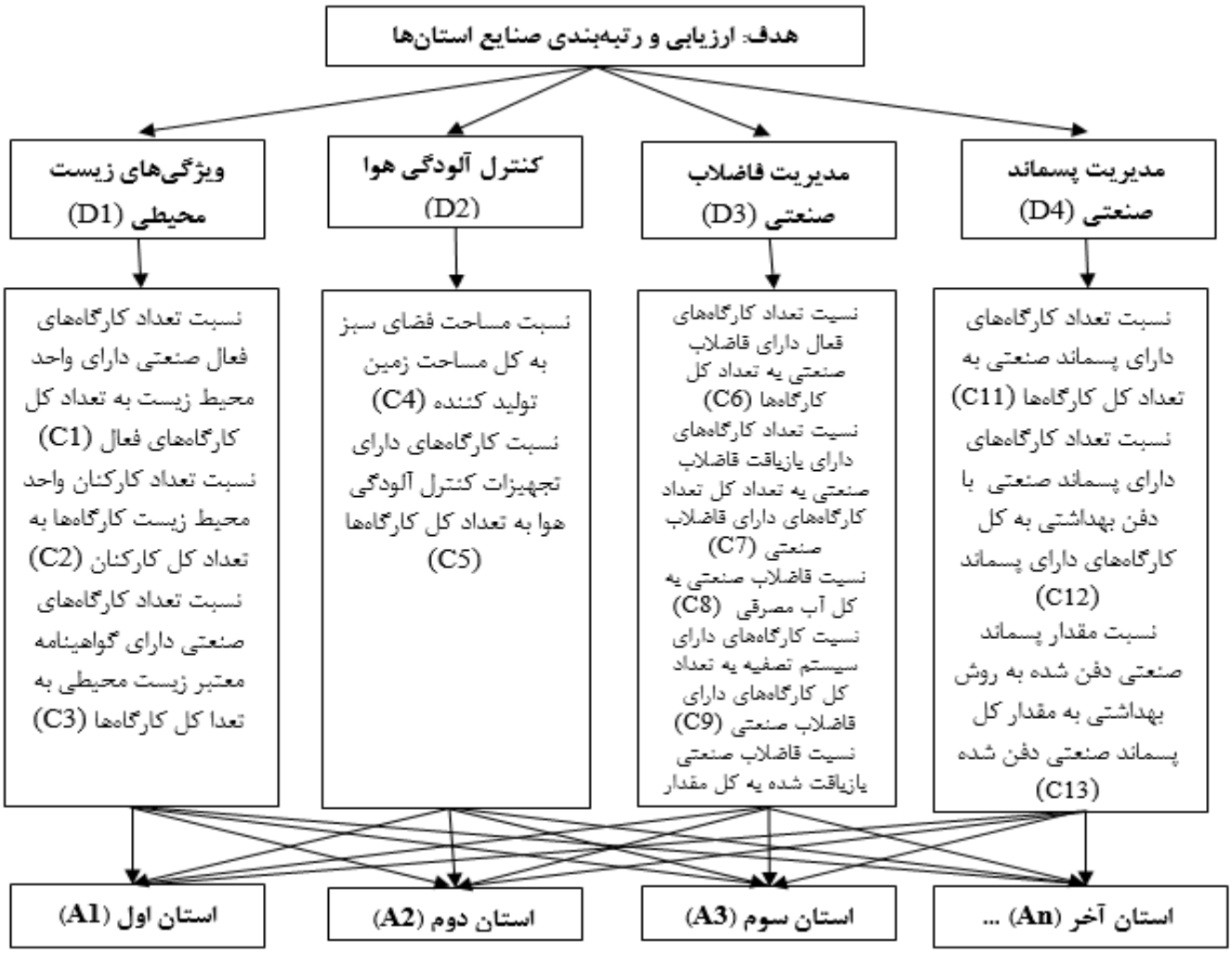
معیارها (Di)	زیرمعیارها (Ci)
ویژگی‌های زیست‌محیطی (D1)	نسبت تعداد کارگاه‌های فعال صنعتی دارای واحد محیط زیست به تعداد کل کارگاه‌های فعال (C1) نسبت تعداد کارکنان واحد محیط زیست کارگاه‌ها به تعداد کل کارکنان (C2) نسبت تعداد کارگاه‌های صنعتی دارای گواهینامه معتبر زیست محیطی به تعداد کل کارگاه‌ها (C3)
کنترل آلودگی هوا (D2)	نسبت مساحت فضای سبز به کل مساحت زمین تولید کننده (C4) نسبت کارگاه‌های دارای تجهیزات کنترل آلودگی هوا به تعداد کل کارگاه‌ها (C5)
مدیریت فاضلاب صنعتی (D3)	نسبت تعداد کارگاه‌های فعال دارای فاضلاب صنعتی به تعداد کل کارگاه‌ها (C6) نسبت تعداد کارگاه‌های دارای بازیافت فاضلاب صنعتی به تعداد کل تعداد کارگاه‌های دارای فاضلاب صنعتی (C7) نسبت فاضلاب صنعتی به کل آب مصرفی (C8) نسبت کارگاه‌های دارای سیستم تصفیه به تعداد کل کارگاه‌های دارای فاضلاب صنعتی (C9) نسبت فاضلاب صنعتی بازیافت شده به کل مقدار فاضلاب تولید شده (C10)
مدیریت پسماند صنعتی (D4)	نسبت تعداد کارگاه‌های دارای پسماند صنعتی به تعداد کل کارگاه‌ها (C11) نسبت تعداد کارگاه‌های دارای پسماند صنعتی با دفن بهداشتی به تعداد کل کارگاه‌های دارای پسماند (C12) نسبت مقدار پسماند صنعتی دفن شده به روش بهداشتی به مقدار کل پسماند صنعتی دفن شده (C13)

۴- ۴- معیارهای ارزیابی صنایع استان‌ها

با توجه به مطالب فوق، سیزده معیار در قالب نرخ، به منظور ارزیابی صنایع استان‌ها از لحاظ سازگاری با محیط زیست (تولید سبز) با کمک تجربیات کارشناسان خبره حوزه صنعت و محیط زیست پیشنهاد شد (جدول ۱). این معیارها در چهار بعد شامل ویژگی‌های زیست‌محیطی، کنترل کیفیت هوا، مدیریت فاضلاب صنعتی و مدیریت پسماندهای صنعتی طبقه‌بندی شده‌اند. در میان این معیارها، نسبت تعداد کارگاه‌های صنعتی دارای فاضلاب صنعتی به تعداد کل کارگاه‌ها (C۶)، نسبت تعداد کارگاه‌های تولید کننده پسماند صنعتی به کل کارگاه‌ها (C۱۱) و نسبت فاضلاب صنعتی تولیدی به کل آب مصرفی کارگاه‌ها (C 8) معیار منفی (هر چه کمتر بهتر) هستند، در حالی که بقیه معیارها مثبت محسوب می‌شوند (هر چه بیشتر بهتر). شکل شماره ۴ ساختار سلسله مراتبی این مسئله MCDM بر اساس داده‌های جمع‌آوری شده را در فرآیند تصمیم‌گیری مشخص شده است.

۴- ۵- محاسبه وزن شاخص‌ها

همان گونه که در بخش‌های قبلی اشاره شد، در این پژوهش از رویکرد ترکیبی DANP برای محاسبه وزن معیارها استفاده شده است. پس از تعیین معیارها و زیرمعیارهای مطابق جدول شماره ۱، سوپرماتریس میانگین روابط اولیه بر اساس پاسخ کارشناسان حوزه به پرسش‌نامه طراحی شده، به دست آمد. بدین منظور از چندین نفر از کارکنان اداره محیط زیست استان آذربایجان غربی به عنوان کارشناسان خبره این زمینه خواسته شد تا به پرسش‌نامه‌هایی که برای استخراج روابط و تعاملات چند جانبه بین زیر معیارها طراحی شده بودند، پاسخ دهند. در پرسش‌نامه‌های طراحی شده، 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 نشان دهنده (بدون تأثیر)، الی ۴ (تأثیر بسیار زیاد) بودند را درجه‌بندی کنند.



شکل ۴. مدل ساختار سلسله مراتبی فرایند تصمیم‌گیری پژوهش

Fig. 4. Hierarchical structure model of research decision making process

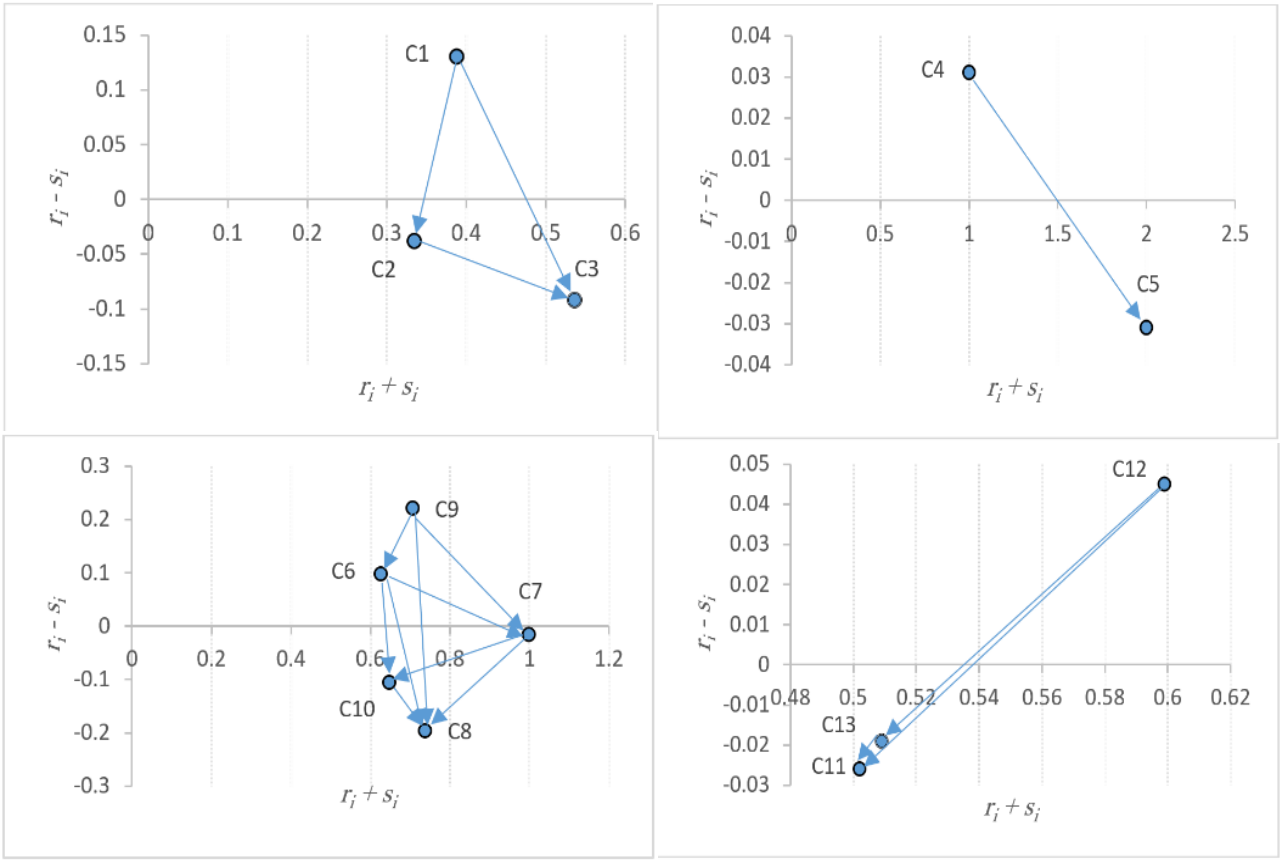
در اولین گام، سوپرماتریس میانگین روابط اولیه (A) بر اساس پاسخ کارشناسان محاسبه شد. در گام دوم، این ماتریس با کمک معادلات شماره ۲ و ۳ نرمالیزه شد. در گام بعدی، سوپرماتریس روابط کل (T) با انجام معادله شماره ۴ بر روی ماتریس نرمالیزه شده (X)، به دست آمد. سپس، مجموع مقادیر ردیف‌ها و ستون‌های ماتریس روابط کل که به ترتیب Ri و Si نام دارند، با کمک معادلات شماره ۵ و ۶ محاسبه شد. به منظور تشکیل نمودارهای تأثیرات مستقیم، مقادیر Ri + Si و Ri – Si برای معیارها محاسبه شدند (جدول ۲).

در شکل شماره ۵، دیاگرام‌های روابط مستقیم زیرمعیارهای هر معیار اصلی بر اساس مقادیر Ri + Si و Ri – Si به ترتیب به عنوان محور xها و yها ترسیم شده، نشان داده شده‌اند. در گام بعدی، سوپرماتریس ناموزون (W) با استفاده از معادلات ۸ الی ۱۱ و سوپرماتریس وزن‌دار (Wa) با کمک معادلات ۱۳ الی ۱۵ محاسبه گردید. در آخرین مرحله روش DANP، سوپر ماتریس وزن‌دار به یک توان بزرگ رسانیده و به یک سوپرماتریس پایدار همگرا تبدیل شد. نهایتاً وزن معیارها و زیرمعیارها از سوپرماتریس حددی استخراج که در جدول شماره ۳ ملاحظه می‌شوند. از جمله مشخص می‌شود .

جدول ۲. مجموع مقادیر Ri + Si و Ri – Si زیرمعیارها

Table 2. Total values of Ri + Si and Ri - Si sub-criteria

زیرمعیار	R_i	S_i	اثرگذاری	اثرپذیری
			$R_i + S_i$	$R_i - S_i$
C1	۰/۲۵۹	۰/۱۲۸	۰/۳۸۷	۰/۱۳۰
C2	۰/۱۴۸	۰/۱۸۶	۰/۳۳۴	-۰/۰۳۸
C3	۰/۲۲۲	۰/۳۱۴	۰/۵۳۶	-۰/۰۹۲
C4	۰/۰۴۸	۰/۰۱۷	۰/۰۶۵	۰/۰۳۱
C5	۰/۰۱۵	۰/۰۴۵	۰/۰۶۰	-۰/۰۳۱
C6	۰/۳۶۲	۰/۲۶۵	۰/۶۲۷	۰/۰۹۷
C7	۰/۴۹۱	۰/۵۰۷	۰/۹۹۸	-۰/۰۱۵
C8	۰/۲۷۱	۰/۴۶۷	۰/۷۳۸	-۰/۱۹۶
C9	۰/۴۶۳	۰/۲۴۳	۰/۷۰۶	۰/۲۲۰
C10	۰/۲۷۱	۰/۳۷۷	۰/۶۴۸	-۰/۱۰۶
C11	۰/۲۳۸	۰/۲۶۴	۰/۵۰۲	-۰/۰۲۶
C12	۰/۳۲۲	۰/۲۷۷	۰/۵۹۹	۰/۰۴۵
C13	۰/۲۴۵	۰/۲۶۴	۰/۵۰۹	-۰/۰۱۹



شکل ۵. دیاگرام‌های روابط مستقیم تاثیرگذاری و تاثیرپذیری برای هرگروه از زیر معیارها

Fig. 5. Direct relationship diagrams of impact and effectiveness for each group of sub-criteria

جدول ۳. وزن و رتبه‌بندی معیارهای اصلی و زیرمعیارها

Table 3. Weight and ranking of main criteria and sub-criteria

معیار اصلی	زیرمعیار	وزن	رتبه
ویژگی‌های زیست محیطی (D1)		۰/۳۳۲	
	نسبت تعداد کارگاه‌های فعال صنعتی دارای واحد محیط زیست به تعداد کل کارگاه‌های فعال (C1)	۰/۰۸۳	۵
	نسبت تعداد کارکنان واحد محیط زیست کارگاه‌ها به تعداد کل کارکنان (C2)	۰/۰۶۴	۸
	نسبت تعداد کارگاه‌های صنعتی دارای گواهینامه معتبر زیست محیطی به تعداد کل کارگاه‌ها (C3)	۰/۱۸۵	۱
کنترل آلودگی هوا (D2)		۰/۱۶۱	
	نسبت مساحت فضای سبز به کل مساحت زمین تولید کننده (C4)	۰/۰۵۶	۱۰
	نسبت کارگاه‌های دارای تجهیزات کنترل آلودگی هوا به تعداد کل کارگاه‌ها (C5)	۰/۱۰۵	۲
مدیریت فاضلاب صنعتی (D3)		۰/۲۶۸	
	نسبت تعداد کارگاه‌های فعال دارای فاضلاب صنعتی به تعداد کل کارگاه‌ها (C6)	۰/۰۳۹	۱۳
	نسبت تعداد کارگاه‌های دارای بازیافت فاضلاب صنعتی به تعداد کل تعداد کارگاه‌های دارای فاضلاب صنعتی (C7)	۰/۰۷۲	۶
	نسبت فاضلاب صنعتی به کل آب مصرفی (C8)	۰/۰۶۲	۹
	نسبت کارگاه‌های دارای سیستم تصفیه به تعداد کل کارگاه‌های دارای فاضلاب صنعتی (C9)	۰/۰۴۲	۱۲
	نسبت فاضلاب صنعتی بازیافت شده به کل مقدار فاضلاب تولید شده (C10)	۰/۰۵۳	۱۱
مدیریت پسماند صنعتی (D4)		۰/۲۴۰	
	نسبت تعداد کارگاه‌های دارای پسماند صنعتی به تعداد کل کارگاه‌ها (C11)	۰/۰۶۷	۷
	نسبت تعداد کارگاه‌های دارای پسماند صنعتی با دفن بهداشتی به تعداد کل کارگاه‌های دارای پسماند (C12)	۰/۰۸۹	۳
	نسبت مقدار پسماند صنعتی دفن شده به روش بهداشتی به مقدار کل پسماند صنعتی دفن شده (C13)	۰/۰۸۴	۴

سه زیرمعیار مهم سازگار با محیط زیست شامل نسبت تعداد کارگاه‌های صنعتی دارای گواهینامه معتبر زیست‌محیطی به تعداد کل کارگاه‌ها (c ۳=۰/۱۸۵)، نسبت کارگاه‌های دارای تجهیزات کنترل آلودگی هوا به تعداد کل کارگاه‌ها (c ۵=۰/۱۰۵) و نسبت تعداد کارگاه‌های دارای پسماند صنعتی با دفن بهداشتی به تعداد کل کارگاه‌های دارای پسماند (c۱۲=۰/۰۸۹) می‌باشند. بر اساس نتایج به دست آمده از روش دیمتل نمودارهای علّی برای زیرمعیارها ترسیم شده که در نمودار ۵ ملاحظه می‌شوند. در بردار افقی Ri + Si میزان تاثیر و تاثر عامل مورد نظر در سیستم و بردار عمودی Ri – Si مقدار نهایی اثرگذاری هر عامل بر مجموعه عوامل دیگر سیستم را نشان می‌دهد.

جدول ۴. ماتریس تصمیم (X)

Table 4. Decision matrix (X)

استان	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13
آذربایجان شرقی	۰/۱۹	۰/۰۱	۰/۵۱	۰/۲۷	۰/۲۹	۰/۰۵	۰/۸۶	۰/۰۰	۰/۹۶	۰/۷۷	۰/۳۴	۰/۱۸	۰/۶۳
آذربایجان غربی	۰/۰۷	۰/۰۰	۰/۲۰	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۲۳	۰/۳۷	۰/۲۵	۰/۵۷	۰/۳۷	۰/۸۰	۰/۰۲	۰/۵۰
اردبیل	۰/۰۷	۰/۰۰	۰/۰۹	۰/۰۵	۰/۰۸	۰/۳۲	۰/۳۳	۰/۴۴	۰/۳۳	۰/۳۰	۰/۷۵	۰/۰۲	۰/۱۹
اصفهان	۰/۰۷	۰/۰۰	۰/۱۵	۰/۱۸	۰/۱۱	۰/۱۲	۰/۴۶	۰/۳۷	۰/۹۶	۰/۰۴	۰/۹۲	۰/۱۲	۰/۳۳
البرز	۰/۰۵	۰/۰۰	۰/۲۱	۰/۱۲	۰/۱۱	۰/۲۸	۰/۸۶	۰/۲۹	۰/۵۰	۰/۷۷	۰/۹۴	۰/۰۰	۰/۰۰
ایلام	۰/۱۴	۰/۰۰	۰/۲۰	۰/۲۷	۰/۱۲	۰/۱۵	۰/۵۲	۰/۱۹	۰/۵۹	۰/۰۳	۰/۷۰	۰/۰۲	۰/۰۱
بوشهر	۰/۱۹	۰/۰۱	۰/۲۳	۰/۱۳	۰/۲۹	۰/۲۶	۰/۵۰	۰/۰۵	۰/۵۰	۰/۶۳	۰/۷۱	۰/۰۰	۰/۰۰
تهران	۰/۱۴	۰/۰۰	۰/۳۵	۰/۱۱	۰/۰۴	۰/۱۶	۰/۲۷	۰/۰۰	۰/۴۷	۰/۴۳	۰/۹۲	۰/۰۲	۰/۰۱
چهارمحال و بختیاری	۰/۰۶	۰/۰۰	۰/۱۴	۰/۰۸	۰/۰۹	۰/۵۸	۰/۰۸	۰/۰۵	۰/۱۰	۰/۴۹	۰/۳۴	۰/۰۲	۰/۰۰
خراسان جنوبی	۰/۰۹	۰/۰۰	۰/۰۶	۰/۲۰	۰/۰۶	۰/۱۳	۰/۴۳	۰/۰۴	۰/۶۰	۰/۵۵	۰/۴۴	۰/۱۸	۰/۱۳
خراسان رضوی	۰/۱۴	۰/۰۰	۰/۲۹	۰/۲۳	۰/۱۵	۰/۳۱	۰/۲۴	۰/۰۳	۰/۲۴	۰/۷۴	۰/۷۴	۰/۰۰	۰/۰۰
خراسان شمالی	۰/۰۷	۰/۰۰	۰/۱۱	۰/۱۷	۰/۰۸	۰/۲۷	۰/۳۲	۰/۳۷	۰/۴۱	۰/۵۶	۰/۹۶	۰/۰۱	۰/۰۱
خوزستان	۰/۱۶	۰/۰۰	۰/۵۱	۰/۰۱	۰/۲۴	۰/۳۴	۰/۳۹	۰/۲۷	۰/۳۹	۰/۶۸	۰/۷۲	۰/۰۴	۰/۱۷
زنجان	۰/۱۲	۰/۰۰	۰/۴۲	۰/۰۱	۰/۱۱	۰/۵۳	۰/۱۲	۰/۵۵	۰/۱۵	۰/۰۵	۰/۵۴	۰/۱۰	۰/۶۳
سمنان	۰/۱۵	۰/۰۰	۰/۴۱	۰/۲۱	۰/۲۵	۰/۵۸	۰/۴۲	۰/۱۴	۰/۷۳	۰/۶۰	۰/۶۲	۰/۰۴	۰/۰۰
سیستان و بلوچستان	۰/۰۳	۰/۰۰	۰/۱۰	۰/۰۶	۰/۱۳	۰/۰۵	۰/۲۲	۰/۰۸	۰/۶۴	۰/۰۲	۰/۸۵	۰/۰۲	۰/۰۰
فارس	۰/۰۴	۰/۰۰	۰/۰۸	۰/۰۵	۰/۰۲	۰/۲۹	۰/۰۰	۰/۲۳	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۴۷	۰/۰۰	۰/۰۰
قزوین	۰/۰۷	۰/۰۰	۰/۱۰	۰/۲۱	۰/۰۴	۰/۱۴	۰/۳۱	۰/۱۸	۰/۳۸	۰/۵۴	۰/۸۸	۰/۰۱	۰/۰۰
قم	۰/۱۱	۰/۰۰	۰/۲۰	۰/۰۶	۰/۰۲	۰/۲۹	۰/۳۷	۰/۳۸	۰/۴۵	۰/۰۶	۰/۸۲	۰/۰۳	۰/۰۲
کردستان	۰/۰۴	۰/۰۰	۰/۱۳	۰/۰۹	۰/۱۰	۰/۳۳	۰/۱۷	۰/۱۰	۰/۲۰	۰/۲۰	۰/۸۹	۰/۰۲	۰/۰۰
کرمان	۰/۰۲	۰/۰۰	۰/۰۲	۰/۱۸	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۴۳	۰/۰۹	۰/۴۳	۰/۱۴	۰/۸۶	۰/۰۸	۰/۱۸
کرمانشاه	۰/۱۰	۰/۰۱	۰/۱۸	۰/۰۲	۰/۰۶	۰/۱۳	۰/۱۷	۰/۲۲	۰/۲۰	۰/۶۱	۰/۷۵	۰/۱۶	۰/۰۹
کهگیلویه و بویر احمد	۰/۰۷	۰/۰۱	۰/۲۲	۰/۲۰	۰/۰۱	۰/۶۵	۰/۱۹	۰/۱۳	۰/۲۲	۰/۵۸	۰/۶۰	۰/۰۱	۰/۰۰
گلستان	۰/۱۲	۰/۰۰	۰/۳۵	۰/۱۴	۰/۰۶	۰/۹۷	۰/۱۲	۰/۰۲	۰/۱۲	۰/۴۷	۰/۶۲	۰/۱۰	۰/۳۹
گیلان	۰/۰۵	۰/۰۰	۰/۰۷	۰/۱۰	۰/۲۰	۰/۲۸	۰/۴۱	۰/۱۱	۰/۴۶	۰/۵۱	۰/۸۹	۰/۰۰	۰/۰۰
لرستان	۰/۱۳	۰/۰۰	۰/۱۲	۰/۰۲	۰/۰۷	۰/۴۴	۰/۱۸	۰/۲۲	۰/۳۴	۰/۰۷	۰/۶۳	۰/۰۱	۰/۰۰
مازندران	۰/۰۷	۰/۰۱	۰/۰۸	۰/۲۶	۰/۰۶	۰/۱۵	۰/۶۵	۰/۰۸	۰/۷۷	۰/۷۲	۰/۹۶	۰/۰۳	۰/۳۲
مرکزی	۰/۰۲	۰/۰۰	۰/۱۲	۰/۱۰	۰/۰۴	۰/۴۱	۰/۰۸	۰/۷۸	۰/۷۱	۰/۰۷	۰/۹۳	۰/۰۱	۰/۰۱
هرمزگان	۰/۰۹	۰/۰۰	۰/۲۰	۰/۰۷	۰/۱۵	۰/۳۶	۰/۱۷	۰/۱۹	۰/۲۸	۰/۳۶	۰/۶۷	۰/۰۲	۰/۱۱
همدان	۰/۰۶	۰/۰۰	۰/۱۹	۰/۰۸	۰/۰۵	۰/۳۳	۰/۰۴	۰/۰۲	۰/۰۶	۰/۰۱	۰/۳۷	۰/۰۴	۰/۱۲
یزد	۰/۰۵	۰/۰۰	۰/۰۸	۰/۱۸	۰/۱۰	۰/۳۳	۰/۳۶	۰/۲۹	۰/۳۹	۰/۷۳	۰/۸۰	۰/۰۲	۰/۰۱
آذربایجان شرقی	۰/۰۵	۰/۰۰	۰/۳۱	۰/۱۱	۰/۰۲	۰/۳۸	۰/۳۳	۰/۲۷	۰/۵۲	۰/۱۲	۰/۹۵	۰/۰۱	۰/۰۳

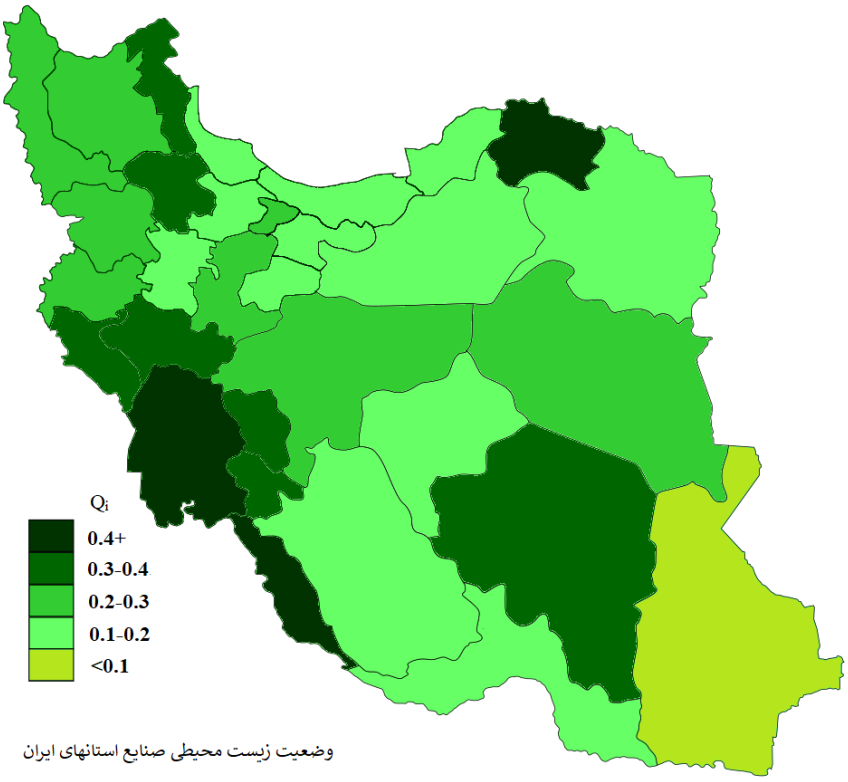
۴- ۶- ارزیابی صنایع استان‌ها

در این مرحله، از تکنیک ارزیابی نسبت جمعی ARAS به منظور به دست آوردن ضرایب مطلوبیت نسبی و رتبه‌بندی استان‌های کشور استفاده شده است. در ابتدا، ماتریس تصمیم (X) بر اساس داده‌های جمع آوری شده از سوی مرکز آمار ایران، در رابطه با کارگاه‌های صنعتی تشکیل شد (جدول ۴). سپس ماتریس تصمیم نرمال (R) و ماتریس تصمیم نرمال وزن‌دار (V) به ترتیب با کمک معادله‌های ۱۸ و ۱۹ محاسبه شده‌اند. در نهایت، شاخص‌های عملکرد کل (Si) و ضرایب نزدیکی (Qi) برای هر یک از استان‌ها به دست آمده و در جدول شماره ۵ خلاصه شده‌اند. لازم به ذکر است، برای ارزیابی صنایع استان‌ها از لحاظ جنبه‌های مختلف زیست‌محیطی، مراحل فوق از تکنیک ARAS برای مجموعه زیرمعیارهای داخل یک بعد (معیار اصلی)، به طور جداگانه اجرا و نتایج رتبه‌بندی نیز در جدول ۵ به طور خلاصه آورده شده‌اند.

جدول ۵. ضرایب مطلوبیت نسبی و رتبه‌بندی استان‌ها

Table 5. Relative utility coefficients and ranking of provinces

استان / ضرایب	ضریب مطلوبیت تحت بعد D1	رتبه تحت بعد D1	ضریب مطلوبیت تحت بعد D2	رتبه تحت بعد D2	ضریب مطلوبیت تحت بعد D3	رتبه تحت بعد D3	ضریب مطلوبیت تحت بعد D4	رتبه تحت بعد D4	ضریب مطلوبیت کل	رتبه کلی استان
آذربایجان‌شرقی	۰/۳۷۵	۱۵	۰/۲۲۶	۲۳	۰/۱۶۳	۱۶	۰/۴۵۵	۶	۰/۲۹۷	۱۱
آذربایجان‌غربی	۰/۲۶۳	۲۳	۰/۲۶۰	۲۱	۰/۱۲۵	۱۹	۰/۲۴۹	۱۱	۰/۲۰۵	۱۸
اردبیل	۰/۳۵۸	۱۶	۰/۴۷۴	۷	۰/۱۸۹	۹	۰/۵۴۷	۴	۰/۳۵۷	۷
اصفهان	۰/۳۴۳	۱۷	۰/۴۰۷	۱۱	۰/۲۷۲	۳	۰/۰۵۹	۳۱	۰/۲۴۶	۱۴
البرز	۰/۵۰۱	۹	۰/۵۸۳	۶	۰/۱۶۷	۱۵	۰/۱۱۷	۱۶	۰/۲۷۸	۱۳
ایلام	۰/۶۷۴	۳	۰/۸۵۱	۱	۰/۲۱۲	۶	۰/۰۶۶	۲۸	۰/۳۵۲	۸
بوشهر	۰/۶۰۵	۵	۰/۲۲۴	۲۴	۰/۷۶۴	۱	۰/۱۰۶	۱۹	۰/۴۸۸	۱
تهران	۰/۲۶۵	۲۲	۰/۳۱۳	۱۸	۰/۰۹۱	۲۵	۰/۱۸۶	۱۲	۰/۱۸۲	۲۷
چهارمحال	۰/۲۷۳	۲۱	۰/۳۶۵	۱۴	۰/۲۲۶	۴	۰/۶۱۲	۲	۰/۳۵۷	۶
خراسان-ج	۰/۵۸۶	۶	۰/۶۱۳	۳	۰/۱۶۹	۱۴	۰/۰۶۳	۲۹	۰/۲۸۷	۱۲
خراسان-ر	۰/۲۵۸	۲۴	۰/۳۷۸	۱۳	۰/۱۵۸	۱۷	۰/۰۷۹	۲۴	۰/۱۸۵	۲۶
خراسان-ش	۰/۸۷۴	۱	۰/۵۹۷	۴	۰/۱۷۶	۱۱	۰/۲۸۳	۱۰	۰/۴۱۲	۲
خوزستان	۰/۶۵۹	۴	۰/۲۶۹	۲۰	۰/۰۴۵	۳۰	۰/۷۵۷	۱	۰/۴۰۱	۳
زنجان	۰/۷۳۳	۲	۰/۸۴۰	۲	۰/۱۹۳	۸	۰/۱۵۹	۱۴	۰/۳۸۲	۴
سمنان	۰/۱۸۹	۲۷	۰/۳۸۹	۱۲	۰/۱۹۴	۷	۰/۱۰۷	۱۸	۰/۱۹۲	۲۳
سیستان	۰/۱۶۰	۳۰	۰/۱۰۴	۳۰	۰/۰۲۱	۳۱	۰/۰۹۹	۲۲	۰/۰۸۳	۳۱
فارس	۰/۲۸۹	۲۰	۰/۳۲۷	۱۷	۰/۱۷۱	۱۳	۰/۰۷۱	۲۷	۰/۱۸۹	۲۴
قزوین	۰/۴۴۵	۱۱	۰/۰۹۹	۳۱	۰/۱۱۷	۲۱	۰/۱۳۹	۱۵	۰/۱۹۵	۲۱
قم	۰/۲۴۰	۲۵	۰/۳۵۲	۱۵	۰/۰۸۴	۲۷	۰/۱۰۰	۲۱	۰/۱۵۵	۲۹
کردستان	۰/۰۴۷	۳۱	۰/۳۳۶	۱۶	۰/۲۱۴	۵	۰/۳۵۲	۷	۰/۲۲۸	۱۵
کرمان	۰/۴۴۵	۱۰	۰/۱۶۰	۲۹	۰/۱۴۷	۱۸	۰/۴۸۲	۵	۰/۳۰۶	۱۰
کرمانشاه	۰/۵۳۱	۸	۰/۲۴۵	۲۲	۰/۱۱۷	۲۲	۰/۱۰۹	۱۷	۰/۲۲۳	۱۷
کهگیلویه	۰/۵۸۴	۷	۰/۲۹۹	۱۹	۰/۱۱۰	۲۳	۰/۵۷۰	۳	۰/۳۶۳	۵
گلستان	۰/۱۸۴	۲۹	۰/۵۹۰	۵	۰/۱۷۴	۱۲	۰/۰۵۹	۳۰	۰/۱۹۴	۲۲
گیلان	۰/۳۹۱	۱۳	۰/۲۰۲	۲۶	۰/۰۷۴	۲۸	۰/۰۸۸	۲۳	۰/۱۶۵	۲۸
لرستان	۰/۳۱۲	۱۹	۰/۴۱۴	۱۰	۰/۲۷۶	۲	۰/۳۴۱	۸	۰/۳۱۸	۹
مازندران	۰/۱۸۷	۲۸	۰/۱۹۶	۲۷	۰/۰۸۴	۲۶	۰/۰۷۴	۲۶	۰/۱۱۸	۳۰
مرکزی	۰/۳۸۳	۱۴	۰/۴۴۱	۸	۰/۱۰۲	۲۴	۰/۱۸۳	۱۳	۰/۲۲۷	۱۶
هرمزگان	۰/۳۲۲	۱۸	۰/۲۱۱	۲۵	۰/۰۵۸	۲۹	۰/۲۹۳	۹	۰/۱۹۹	۱۹
همدان	۰/۲۲۰	۲۶	۰/۴۳۶	۹	۰/۱۷۸	۱۰	۰/۱۰۵	۲۰	۰/۱۹۸	۲۰
یزد	۰/۴۳۹	۱۲	۰/۱۷۲	۲۸	۰/۱۱۸	۲۰	۰/۰۷۹	۲۵	۰/۱۸۷	۲۵



شکل ۶. وضعیت زیست‌محیطی صنایع استان ها از نظر ضرایب مطلوبیت نسبی ARAS (Qi)

Fig. 6. Environmental status of provincial industries in terms of relative utility coefficients (Qi) ARASm

۵- یافته‌های تحقیق

سیزده شاخص (زیرمعیار)، طبقه‌بندی شده در ۴ بعد (معیار) به منظور ارزیابی صنایع استان‌های کشور پیشنهاد شده است (جدول ۱). این گروه از شاخص‌ها به منظور برجسته کردن جنبه‌های مختلف آلودگی‌های زیست‌محیطی ناشی از فعالیت‌های صنعتی و ارزیابی صنایع استان‌ها در ابعاد مختلف استخراج شده‌اند. داده‌های به دست آمده از رویکرد DANP برای وزن معیارها (جدول ۳) نشان داد که بعد اول، ویژگی‌های زیست‌محیطی کارگاه‌های صنعتی، نسبت به سایر ابعاد وزن بیشتری به دست آورده و بنابراین تأثیر بیشتری در تصمیم‌گیری‌ها دارد. نفوذ زیرمعیارهای بعد اول، بر زیرمعیارهای ابعاد دیگر موجب شده تا در نهایت، بعد اول (ویژگی‌های زیست‌محیطی) وزن بیشتری نسبت به سایر ابعاد ارزیابی بگیرد. در حالت کلی، رتبه‌بندی ابعاد تصمیم‌گیری به این شرح است:

D1> D3> D4> D2.

به طور کلی، زیرمعیار نسبت تعداد کارگاه‌های دارای گواهینامه معتبر زیست‌محیطی به تعداد کل کارگاه‌ها (C۳) با وزن ۰/۱۸۵ به عنوان تاثیر گذارترین زیرمعیار در ارزیابی صنایع استان‌ها شناخته شده است. پس از C۳، نسبت تعداد کارگاه‌های صنعتی با تجهیزات کنترل آلودگی هوا به تعداد کارگاه‌ها (C۵) و نسبت تعداد کارگاه‌های دارای سیستم مدیریت پسماندهای صنعتی به تعداد کارگاه‌های دارای پسماند صنعتی (C۱۲) به ترتیب با مقادیر وزن ۰/۱۰۵ و ۰/۰۸۹ تاثیر گذارترین زیرمعیارها در فرایند تصمیم‌گیری شناخته شدند. رتبه‌بندی سایر معیارهای باقی مانده به شرح زیر است:

C13> C1> C7> C11> C2> C8> C4> C10> C9> C6.

پس از محاسبه وزن معیارها با DANP، استان‌ها با تکنیک ARAS ارزیابی شدند. جدول ۵ نتایج محاسبات مقادیر ضرایب مطلوبیت نسبی برای ۳۱ استان، به دست آمده از تکنیک ARAS در ابعاد مختلف و حالت کلی (۱۳ معیار) را نشان می‌دهد. ضریب بالاتر برای یک استان، به وضعیت مطلوب‌تر آن استان در مقایسه با سایر استان‌ها از لحاظ صنعت محیط زیست دوستانه، اشاره دارد. ضرایب نزدیکی استان‌ها در بعد اول ویژگی‌های زیست

محیطی کارگاه‌های صنعتی نشان می‌دهد که استان‌های خراسان شمالی، زنجان و ایلام به ترتیب با ضرایب ۰/۸۷۴ ، ۰/۷۳۳ و ۰/۶۷۴ در مقایسه با استان‌های دیگر وضعیت بهتری دارند.

ضرایب نزدیکی استان‌ها در بعد دوم کنترل آلودگی هوا، حاکی از آن است که استان‌های ایلام، زنجان و خراسان جنوبی به ترتیب با مقادیر ۰/۸۵۱، ۰/۸۴۰ و ۰/۶۱۳ در مقایسه با سایر استان‌ها وضعیت بهتری دارند. در بعد سوم، مدیریت فاضلاب صنعتی، استان‌های بوشهر، لرستان و اصفهان به ترتیب با ضرایب نزیکی ۰/۷۶۴، ۰/۲۷۶ و ۰/۲۷۲ در رده‌های اول تا سوم قرار گرفتند. در بعد چهارم مدیریت پسماند صنعتی، استان‌های خوزستان، چهارمحال و بختیاری و کهگیلویه و بویراحمد با مقادیر ۰/۷۵۷ ، ۰/۶۲۱ و ۰/۵۷۰ به ترتیب در رده‌های اول تا سوم قرار گرفته‌اند.

سرانجام، در حالت کلی (تمامی ابعاد مسئله)، استان‌های بوشهر، خراسان شمالی و خوزستان به ترتیب با ضرایب نزدیکی ۰/۴۸۸، ۰/۴۱۲ و ۰/۴۰۱ در رده‌های اول تا سوم قرار گرفتند (جدول ۵). شکل ۶ وضعیت زیست‌محیطی صنایع استان‌ها را از نظر ضرایب مطلوبیت نسبی در حالت کلی نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که استان‌های شمال غربی و جنوب غربی کشور وضعیت بهتری از لحاظ عملکرد زیست‌محیطی صنایع دارند.

۶- نتیجه‌گیری

در این پژوهش، یک مجموعه چند بعدی از شاخص‌های صنعت محیط زیست دوستانه، با بررسی جنبه‌های مختلف اثرات فعالیت‌های صنعتی بر روی محیط زیست، برای ارزیابی صنایع استان‌های کشور ارائه شد. همچنین یک رویکرد توسعه یافته MCDM با قابلیت در نظر گرفتن تعاملات متقابل بین معیارهای کیفی و کمی سازگار و حتی ناسازگار ارائه، اجرا و اعتبار سنجی شد. در گام اول، معیارها و زیرمعیارها بر اساس نظرات کارشناسان و با بهره‌گیری از رویکرد ترکیبی DANP ارزیابی و وزن‌دهی شدند. از جمله نتایج نشان داد که ویژگی‌های زیست محیطی کارگاه‌های صنعتی و نسبت تعداد کارگاه‌های دارای گواهینامه زیست‌محیطی معتبر به تعداد کل کارگاه‌ها، به ترتیب به عنوان مؤثرترین معیارها در میان سایر معیارها شناخته شدند. بنابراین با توجه به اولویت‌ها و موارد ذکر شده در جدول شمارهٔ ۳، صنایع می‌باید به طراحی محصولات سازگار با محیط زیست پرداخته و در بخش تولیدی نیز از تجهیزات سازگار با محیط زیست استفاده کنند. پس از محاسبه وزن معیارها و زیرمعیارها، ۳۱ استان کشور مورد ارزیابی قرار گرفته و با محاسبه ضرایب مطلوبیت نسبی تکنیک ARAS، مطلوبیت گزینه‌های مختلف نسبت به وضع بهینه رتبه‌بندی شدند. در نهایت نتایج نشان می‌دهند که صنایع استان‌های شمال غربی و جنوب غربی ایران در مقایسه با سایر استان‌ها، سازگاری بیشتری با محیط زیست و معیارهای تولید سبز دارند. در این ارزیابی استان‌های بوشهر، خراسان شمالی و خوزستان به ترتیب با ضرایب مطلوبیت ۰/۴۸۸ ، ۰/۴۱۲ و ۰/۴۰۱ در رتبه‌های اول تا سوم قرار گرفتند. با توجه به نتایج به دست آمده از این پژوهش، هر استان می‌تواند نقاط ضعف و قوت عملکرد زیست‌محیطی صنایع خود را شناخته و در سیاست‌گذاری‌های خود آن‌ها را اعمال کند.

منابع

[1] D. Dornfeld, C. Yuan, N. Diaz, T. Zhang, A. Vijayaraghavan, Introduction to green manufacturing, in: Green Manufacturing, Springer, 2013, pp. 1-23.

[2] B. Linke, Y.-C. Huang, D. Dornfeld, Establishing greener products and manufacturing processes, International Journal of Precision Engineering and Manufacturing, 13(7) (2012) 1029-1036.

[3] R. DABAGH, L.B. KOUHI, L. JAVAHERIAN, M. LATIFI, Examining technical efficiency and productivity of industries in western azerbaijan using the parametric and nonparametric methods, (2015).

[4] M. Despeisse, M.R. Oates, P.D. Ball, Sustainable manufacturing tactics and cross-functional factory modelling, Journal of Cleaner Production, 42 (2013) 31-41.

[5] T. Laosirihongthong, D. Adebanjo, K.C. Tan, Green supply chain management practices and performance, Industrial Management & Data Systems, (2013).

[6] R. Dabbagh, S. Aga poor asbag, A Suitable Decision-Making Approach to Select Green Manufacturing Practices for Bonab Sanat Steel Complex, Journal of Industrial Engineering Research in Production Systems, 8(16) (2020) 57-75.

[7] R.A.R. Ghazilla, N. Sakundarini, S.H. Abdul-Rashid, N.S. Ayub, E.U. Olugu, S.N. Musa, Drivers and barriers analysis for green manufacturing practices in Malaysian SMEs: a preliminary findings, Procedia Cirp, 26 (2015) 658-663.

[8] T.J. Tumpa, S.M. Ali, M.H. Rahman, S.K. Paul, P.

Performance Evaluation of Ceramic Tile Factories (Case Study of Nain Tile Factory), , in: 8th National Conference and Specialized Exhibition of Environmental Eng., Morovvati, M., Sarbaz, M., Ahmadian, SH., , Iranian Environmental Engineering Association Tehran, 2016.

[16] R. Shahraki, Ghasemi A &M., , Investigating the environmental performance of cement companies listed on the Tehran Stock Exchange, in: Second Conference on Economics, Management and Accounting, Paya Rahjavian Research Institute, Atrak, Shirvan, 2019.

[17] N. Eghbal, Mieghaffari, N., , Evaluation of environmental performance of Iran Khodro Company foundry according to ISO 14031 standard, in: the third specialized conference on environmental engineering, University of Tehran, Faculty of Environment, Tehran, 2009.

[18] S. Javanmardi, Asghari, M, Pourkhabaz, H., , Evaluation of environmental performance of wastewater treatment plant Case study: Khorramabad city, in: International Con. on Water and Wastewater, Iran Water and Wastewater Engineering Company, Tehran, 2011.

[19] M. Salehibarmi, A.A. Rezaei, A. Noori Kermani, The Environmental Performance Evaluation of Tehran Municipality Based on the Green City Indicators, Urban Management Studies, 10(33) (2018) 1-15.

[20] R. Dabbagh, K. Alinejad, A. Shirzad, Statistical quality control based on the process capability index and control charts with fuzzy approach (Case study: water and wastewater company of West Azarbaijan province), Amirkabir Journal of Civil Engineering, 51(4) (2019) 699-712.

[21] l. moradi, T. Rajaee, M. Sadeghpoor, Environmental risk assessment of Alborz Dam using Topsis and Fuzzy Topsis methods, Amirkabir Journal of Civil Engineering, 52(12) (2019) 9-9.

[22] E. Fontela, A. Gabus, DEMATEL, innovative methods, (1974).

[23] T.L. Saaty, L.G. Vargas, The analytic network process, in: Decision making with the analytic network process, Springer, 2013, pp. 1-40.

Chowdhury, S.A.R. Khan, Barriers to green supply chain management: An emerging economy context, Journal of Cleaner Production, 236 (2019) 117617.

[9] H. André, M.L. Söderman, A. Nordelöf, Resource and environmental impacts of using second-hand laptop computers: A case study of commercial reuse, Waste Management, 88 (2019) 268-279.

[10] S.M. Zanjirchi, F. Asadian Ardakani, F. Azizi, S. Moravej, Developing a Framework for Evaluating Green Manufacturing Industries Based On Environmental Performance and Fuzzy Approach (Case Study: Tile, Steel and Textile Industries of Yazd Province), Journal of Environmental Studies, 39(1) (2013) 39-52.

[11] M. Farzadkia, M. Karimaee, R. Nabizadeh, R. Kalantary, M. Gohari, M. Karami, Environmental ranking of industries located at west of Tehran based on the quantitative and qualitative characteristics of industrial wastewaters in 2011, Iran Occupational Health, 9(4) (2013).

[12] M. Atabaki, Lotfi, A., sakhaei, M., Pahlevan, E.,, Evaluation of environmental performance of industrial complexes using multi-criteria decision-making methods based on ISO 14000 standard, in: 3rd International Conference on Environmental Engineering, Center for Strategies for Sustainable Development - Mehr Arvand Institute of Higher Education, Tehran, 2016.

[13] A. Ghorbanpour, Parsa, H., Ravanbod, Y., , Environmental Performance Analysis of Petrochemical Complexes Located in Pars Special Economic Zone with Fuzzy Mixed Approach, in: 2nd International Conference on New Developments in Management, Economics and Accounting, Tehran, 2018.

[14] G. Kaveh Garna, Harsag, PH., , Evaluation and prioritization of Kaleh factories based on the environmental performance of supply chain services with fuzzy ANP and VIKOR network approach, in: International Conference on Management and Humanities, Capital Institute of Managers(in persian). UAE-Dubai, Vira 2015.

[15] M. Morovvati, Sarbaz, M., Ahmadian, SH., (in persian).

Center of Iran, March, 2017.

[28] S. Gorjian, B. Ghobadian, Solar desalination: A sustainable solution to water crisis in Iran, Renewable and Sustainable energy reviews, 48 (2015) 571-584.

[29] G. Thompson, J. Swain, M. Kay, C. Forster, The treatment of pulp and paper mill effluent: a review, Bioresource technology, 77(3) (2001) 275-286.

[30] S. Nazif, M. Gholami Mayani, B. Roghani, Development of Performance Indicators for Evaluation of Wastewater Treatment Plants Operation, Amirkabir Journal of Civil Engineering, 51(1) (2019) 129-142.

[31] D.A. Dornfeld, Moving towards green and sustainable manufacturing, International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology, 1(1) (2014) 63-66.

[24] C.-H. Hsu, F.-K. Wang, G.-H. Tzeng, The best vendor selection for conducting the recycled material based on a hybrid MCDM model combining DANP with VIKOR, Resources, Conservation and Recycling, 66 (2012) 95-111.

[25] E.K. Zavadskas, Z. Turskis, A new additive ratio assessment (ARAS) method in multicriteria decision-making, Technological and Economic Development of Economy, 16(2) (2010) 159-172.

[26] Y.-K. Fu, An integrated approach to catering supplier selection using AHP-ARAS-MCGP methodology, Journal of Air Transport Management, 75 (2019) 164-169.

[27] Results of the survey of industrial workshops with 10 employees and morefrom Iran Statistics Portal, Statistical

چگونه به این مقاله ارجاع دهیم

R. Dabbagh, S. Aghapour Asbag, A. Nokhodchi , Ranking Iranian provinces in terms of the environmental performance of industries with a developed decision-making approach, Amirkabir J. Civil Eng., 53(12) (2022) 5483-5502.

DOI: 10.22060/ceej.2021.18852.6984