تعیین و رتبه‌بندی آلاینده‌های آب

ابوالفضل روحانی،* عباس کرامتی و جعفر رزمی*****

تاریخ دریافت ۱۳۹۶/۳/۲۴	تاریخ پذیرش ۱۳۹۶/۷/۱۵

امروزه آلودگی آب یکی از مشکلات و چالش‌های مهم دنیاست که می‌تواند یکی از علل اصلی بیماری‌ها و مرگ‌ومیر در جهان به‌شمار آید. آب‌های سطحی و زیرزمینی هر دو در معرض آلاینده‌های مختلف قرار دارند. با توجه به ماهیت و منشأ ورود آلاینده‌ها (طبیعی یا ایجادشده توسط انسان) تقسیم‌بندی‌های مختلفی برای آلاینده‌ها در نظر گرفته شده است. عمده آلاینده‌های آلی آب ناشی از صنایع نفت و پتروشیمی، چهار منبع (معیار) اصلی کشاورزی، شیمیایی، نفتی و غذایی است. هریک از این چهار معیار آلودگی خود زیرمعیارهایی دارند. در این پژوهش به بررسی، شناسایی و رتبه‌بندی دقیق آلاینده‌های آب در صنایع نفت و پتروشیمی (حوزه شهری استان تهران) با استفاده از روش‌های تحلیل مؤلفه‌های اصلی و فرایند تحلیل شبکه‌ای پرداخته شده است. نتایج به‌دست آمده از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی بیانگر این واقعیت است که آلاینده‌های سرب، نیترات و سدیم به‌ترتیب بیشترین امتیاز را از خبرگان محیط زیست در حوزه آلایندگی آب به‌خود اختصاص داده‌اند. همچنین استفاده از فرایند تحلیل شبکه‌ای نشان داده آلاینده‌های کشاورزی با وزن ۰/۳۲۱ در رتبه اول و آلاینده‌های نفتی با وزن ۰/۱۵۲ در رتبه چهارم قرار دارند. امید است با ارائه این پژوهش، سازمان‌های مربوطه برای جلوگیری از تخریب محیط زیست با آلاینده‌های صنعت نفت و پتروشیمی گام مؤثری بردارند.

کلیدواژه‌ها: آلاینده‌های آب؛ فرایند تحلیل شبکه‌ای؛ تحلیل مؤلفه‌های اصلی؛ صنعت نفت و پتروشیمی؛ مخاطرات زیست‌محیطی

---

* مربی گروه مهندسی صنایع، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران (نویسنده مسئول)؛
Email: abolfazl_rohani@ut.ac.ir

** دانشیار دانشکده فنی، دانشگاه تهران؛
Email: keramati@ut.ac.ir

*** استاد دانشکده فنی، دانشگاه تهران؛
Email: jrazmi@ut.ac.ir

مقدمه

در نوامبر ۱۹۸۶ براثر ریزش موادی شامل جیوه و انواع مواد آلی سمی مانند آفت‌کش‌ها در رودخانه راین، از شهر بال سوئیس تا ساحل هلند تمام آبزیان کشته شدند. در سال‌های اخیر با غرق شدن تانکرهای بزرگ نفتی اقیانوس‌پیما یا به گل نشستن آنها آسیب‌هایی جدی حیات دریایی را به خطر انداخت. در سال ۱۹۸۳ براثر ۱۱۰۰۰ واقعه آلوده‌کننده در حدود ۱۲۰ میلیون لیتر مواد آلوده‌کننده در آب‌های ایالات متحده تخلیه شده است (روحانی و همکاران، ۲۰۱۶). در سال ۱۹۶۹ برای آلودگی آب تعریفی ارائه شده که عبارت است از افزایش مقدار هر معرف اعم از شیمیایی، فیزیکی یا بیولوژیکی که موجب تغییر خواص و نقش اساسی آن در مصارف ویژه‌اش شود.

چون آب یکی از مهم‌ترین و بنیادی‌ترین عوامل حیات موجودات زنده است، جلوگیری از آلودگی آن نیز به همان نسبت مهم و مورد توجه است. عوامل بسیاری به‌عنوان آلوده‌کننده آب وجود دارند که می‌توانند منابع آب‌های زیرزمینی و همچنین آب‌های سطحی را آلوده کنند (فاکیو و هیزاری،[1] ۲۰۱۶). کارول براونر، یکی از مسئولان رسیدگی به پیشروی آلودگی آب و دکتر دیوید اوزون اف از دانشگاه بوستون از بخش بهداشت همگانی هشدار می‌دهند که «ریسک بیماری‌های وابسته به آب آشامیدنی همگانی از سطح نظری به سطح واقعی رسیده است». بسیاری از بیماری‌های مرتبط با سموم موجود در آب آشامیدنی که به‌دلیل استفاده از حشره‌کش‌ها و آفت‌کش‌ها به‌وجود می‌آیند تا حدی فزاینده شده است که اکنون به‌طور معمول در شیر آب خانگی و با تناوب هشداردهنده یافت می‌شوند (کوزی[2] و همکاران، ۲۰۱۵، تسینتسارکاری[3] و همکاران، ۲۰۱۵).

پانتازیدو[4] و همکاران (۲۰۰۷) روند افزایش وجود آلاینده‌ها در خلیج الفسیس[5] یونان را با در نظر گرفتن چهار فلز سرب، روی، کروم و مس مورد بررسی قرار داده‌اند و یک روش برای رتبه‌بندی آلاینده‌ها مبتنی‌بر ویژگی‌های سمی بودن تعیین شده با محدودیت‌های

1. Faiku and Haziri
2. Cozzi
3. Tsyntsarski
4. Pantazidou
5. Elefsis

مجاز ارائه داده‌اند. برای این کار، هر آلاینده و هر ماتریس، یک اندازه غلظت شناسایی شده و با حد مشخص شده برای آن غلظت، میزان رسوب آن و وجود آن در آب مقایسه شده است. در این مقاله از اطلاعات ۱۸ ساله غلظت چهار فلز در آب و رسوب خلیج الفسیس استفاده شده که روند کاهشی واضحی فقط برای کروم نشان می‌دهد. همچنین، داده‌های به‌دست آمده از محلی در نزدیکی دو کارخانه کشتی‌سازی خلیج الفسیس، ماکزیمم‌های دوره‌ای برای سرب، روی و کروم در مکان‌های نمونه‌برداری نشان داده شده است. شاخص خطری که برای مشخص کردن میزان آلودگی در کل خلیج معرفی شده است، مس و سرب را پرخطرترین آلاینده نشان می‌دهد. با رتبه‌بندی به روش پیشنهادی این پژوهش، ترتیب وجود چهار فلز در آب دریا عبارت است از: سرب، مس، کروم و روی و این رتبه‌بندی برای رسوبات عبارت است از: مس، روی، سرب و کروم. به‌طور خلاصه، با توجه به هدف رتبه‌بندی و بهبود کیفیت آب و نتایج به‌دست آمده، تمرکز باید روی سرب صورت گیرد.

در جای دیگر لم[1] و همکاران (۲۰۱۱) به شناسایی و اولویت‌بندی آلودگی‌هایی پرداختند که مانعی برای فرصت‌های موجود برای رشد صنعت تولید برد سیم‌کشی چاپی[2] در ایالات متحده است. سازمان حفاظت از محیط زیست[3] این کشور دو روش پایش محیط زیستی را ارائه داده است: ۱. ابزاری برای ارزیابی و کاهش اثرات محیط زیستی، ۲. شاخص‌های محیط زیستی پایش ریسک. در این پژوهش از هر دو روش برای رتبه‌بندی اثرات شیمیایی در تولیدی برد سیم‌کشی چاپی استفاده شده است. درصد وجود مواد شیمیایی مانند متانول، گلیکول اترها و دی متیل نشان‌دهنده انتشار بیشتر این مواد در هوا و آب است، بااین‌حال، یافته‌های مقاله بیان می‌کند که از هر دو روش مذکور که در حالت‌های مختلف ارزیابی شده‌اند، سرب، مس و ترکیبات آنها بالاترین نمره خطر و بنابراین بیشترین اثر محیط زیستی را دارند.

بررسی توزیع جغرافیایی، می‌تواند مکان‌های مناسب برای جلوگیری از آلودگی را

1. Lam
2. Printed Wiring Boards (PWB)
3. Environmental Protection Agency (EPA)

مشخص کند. محدودیت این روش این است که جمع‌آوری داده‌ها نیازمند گزارش خود[1] است. در این پژوهش، فرایندهای شیمیایی و مواد جایگزینی برای جلوگیری از آلودگی مورد بحث و بررسی قرار گرفته است که تکنولوژی‌های بازیابی خوردگی و تعویض مواد از آن جمله هستند.

این موضوع در جای دیگر مورد توجه کاراوانوس و همکاران[2] (۲۰۱۴) قرار گرفته است. آنها یک سیستم ساده شده رتبه‌بندی خطر برای رتبه‌بندی محل‌های آلوده ارائه داده‌اند و تمرکز خود را بر کشورهای با درآمد کم و متوسط گذاشته‌اند. هدف از انجام پژوهش آنها، شرح ساده اما مؤثر روشی بیان شده که مؤسسه بلک اسمیت[3] برای مقداردهی و رتبه‌بندی قرار گرفتن در معرض مواد سمی در کشورهای با درآمد کم و متوسط اتخاذ کرده است. این سیستم در ۳۰۰۰ سایت در ۴۸ کشور مانند هند، اندونزی، چین، غنا، کنیا، تانزانیا، پرو، بولیوی استفاده می‌شود. نویسندگان برای دستیابی به این هدف و ارائه یک فرمول برای رتبه‌بندی خطر ـ شاخص بلک اسمیت ـ فاکتورهای مهمی چون مقیاس منابع آلودگی، اندازه جمعیت تحت تأثیر و راه‌های قرار گرفتن در معرض خطر را در نظر گرفته‌اند. شاخص بلک اسمیت درواقع ابزار رتبه‌بندی ریسک است که توصیف مشخصه‌های مستقیم، مقداردهی و رتبه‌بندی مکان‌های آلوده سمی زمانی که پول، زمان و منابع محدود است را ارائه می‌دهد.

مدل پیشنهادی این پژوهش برای چهار نمونه مطالعه موردی، با مکان‌ها، جمعیت، آلودگی‌ها و راه‌های در معرض قرار گرفتن متفاوت، اجرا شده است. در این مکان‌ها، شاخص بلک اسمیت برای ارزیابی میزان و شدت آلودگی محیط زیستی به‌کار رفته است. این شاخص پیچیدگی سیستم رتبه‌بندی خطر آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا را ندارد اما مطالعات موردی، اثربخشی آن را به‌خصوص در موارد با منابع کم تأیید می‌کند. با توجه به محدودیت‌های موجود، شناسایی دقیق خطرات سایت‌های آلوده به مواد سمی می‌تواند باعث اطمینان بیشتر در استفاده از منابع و حفظ سلامت عمومی شود.

1. Self-reported
2. Caravanos
3. Blacksmith

گیوبیلاتو[1] و همکاران (۲۰۱۴) روشی برای رتبه‌بندی عوامل استرس‌زای شیمیایی ارائه داده‌اند که بر محیط زیست اثرگذارند. به‌منظور کمک به تصمیم‌گیرندگان در شناسایی اولویت آلاینده‌ها، همچنین اولویت‌بندی منطقه‌ها، ابزاری مبتنی‌بر ریسک در این مقاله معرفی شده که به شواهد موجود، وزن تخصیص می‌دهد و با ترکیب سه نوع از اطلاعات ـ خطوط شواهد ـ آلودگی محیط زیست، نیروی جذب شده و آثار مشاهده شده، اجرا می‌شود. روش تحلیل تصمیم چندمعیاره مبتنی‌بر منطق فازی برای پشتیبانی از این سه خطوط شواهد به‌کار رفته است.

این روش به تعیین اولویت، زیر مناطق موجود در هر منطقه کمک می‌کند. بااین‌حال، عملکرد این ابزار با مطالعه موردی در منطقه فلمیش[2] (شمال بلژیک) آزمایش شده است. در این نمونه، داده‌های مربوط به آلودگی خاک توسط فلزات و آلاینده‌های آلی با توجه به این موضوع که نوجوانان بیشتر در معرض آن قرار می‌گیرند در سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۶ بررسی شدند. روش پیشنهادی مقاله انعطاف‌پذیر است، همچنین علاوه‌بر ادغام اولویت‌های هر تصمیم‌گیرنده، چون همه فرضیات و تخصیص اعتبارها قابل ردگیری هستند، همزمان از شفافیت لازم نیز برخوردار است.

در همین سال کودلاک[3] و همکاران (۲۰۱۴) رتبه‌بندی آزمون میزان سمی بودن با ارزیابی کیفیت آب‌های زیرزمینی در محل‌های دفن زباله چند شهر در شمال لهستان را با استفاده از روش نمودار هیس[4] انجام دادند. بررسی دقیق پارامترها نشان داده علاوه‌بر شاخص‌های شیمیایی، کاربرد تست‌های حیاتی برای ارزیابی سمی بودن نیز مسئله چشمگیری است. این مقاله تلاش می‌کند تا علاوه‌بر رتبه‌بندی تست سمی بودن مورد استفاده برای بررسی کیفیت آب در محل دفن زباله، اهمیت این تست‌ها را با اهمیت پارامترهای شیمیایی مورد استفاده برای ارزیابی کیفیت آب مقایسه کند که برای حل این مسائل، از رویکرد ارزیابی چندمتغیره[5] استفاده می‌کند.

---

1. Giubilato
2. Flemish
3. Kudłak
4. Hasse Diagram Technique (HDT)
5. Multivariate Evaluation

بعد از جمع‌آوری نمونه‌ها، تحلیل شیمیایی روی پارامترهایی چون PH، رسانایی، دما، تیرگی، رنگ، مزه، بو و شرایط جوی صورت گرفته است. همزمان با ارزیابی پارامترهای شیمیایی، ۶ تست میزان سمی بودن مختلف نیز به‌کار گرفته شده و برای تعیین میزان کاربردی بودن این تست‌ها، رتبه‌بندی سطوح پایش شده با استفاده از روش نمودار هیس صورت گرفته است. در این پژوهش با انجام آنالیز حساسیت مشخص شد که انتخاب تست‌های سمی بودن می‌تواند با استفاده از استراتژی نمودار هیس بهینه شود. در این سال کار دیگری دوناچی[1] و همکاران (۲۰۱۴) انجام دادند. آنها برای شناسایی خطرناک‌ترین حالت برای حیات موجودات آبزی در انگلستان و بهبود شرایط، رتبه‌بندی ریسک فلزات موجود در رودخانه‌ها را با استفاده از یک فرمول ریسک انجام داده‌اند. روش استفاده شده در این مقاله، مقایسه اطلاعات سمیت با غلظت اندازه‌گیری شده در رودخانه‌هاست. عامل تجمع نیز به‌عنوان روش رتبه‌بندی استفاده شده است. یافته‌ها نشان می‌دهد مس، آلومینیوم و روی به‌ترتیب از پرخطرترین فلزات در این منطقه هستند. همچنین یک محصول بهداشت فردی مانند تریکلوزان[2] خطر بیشتری نسبت به بسیاری از فلزات دارد.

در جای دیگر پاپا[3] و همکاران (۲۰۱۶) به بررسی تهدیدات فاضلاب با توجه به آثار آنها به رتبه‌بندی و بررسی معایب این کار بر سلامت انسان پرداخته‌اند. هدف این مقاله ارزیابی تهدیدات آثار فاضلاب با محاسبه فاکتور کلیدی آسیب ـ آسیب از طریق انتشار در آب و هوا به سلامت انسان است. در اینجا فاکتورهای هزینه‌ای برای آلودگی هوا و یک دیدگاه نوآورانه برای آلودگی آب نیز مورد استفاده قرار گرفته است. تفاوت این کار با مطالعات قبلی این است که در مطالعات پیشین، سنجش بیولوژیکی و بیماری‌های مربوطه برای محاسبات نهایی استفاده شده درحالی‌که این پژوهش براساس اثر هریک از ترکیبات آنها انجام شده است. در این مقاله، رویکرد آزمایش بیولوژیکی و بیماری،[4] فشارها را اندازه‌گیری و آنها را به آثار مشابه و قابل مقایسه، با توجه به آسیب ایجاد شده بر سلامت انسان منتقل و به‌صورت ارزش اقتصادی بیان می‌کند. با اجرای فرایند بیولوژیکی ثانویه،

1. Donnachie
2. Triclosan
3. Papa
4. The Biological Assay and Disease (BAD) Approach

بیش از نیمی از آسیب کاهش می‌یابد. استفاده از کربن فعال شده یا اضافه کردن یک مرحله از آن، گزینه‌های مناسبی هستند که کمترین آسیب را ایجاد می‌کنند.

کو[1] و همکاران (۲۰۱۶) یک رتبه‌بندی چندمرحله‌ای برای حوادث آلودگی منبع آب با استفاده از ابزار تصمیم‌گیری گروهی فازی انجام داده‌اند. به‌دلیل عدم قطعیت این حوادث، تدوین گزینه بهینه بسیار مشکل است. نویسندگان این مقاله از آزمایش فنی چندمرحله‌ای و روش تاپسیس فازی،[2] برای تعیین رویکرد فنی بهینه استفاده کرده‌اند. در مرحله اول، یک ابزار تصمیم گروهی براساس علت‌یابی مبتنی‌بر مورد[3] به‌کار رفته است. سپس در مرحله دوم، درجه خطر آلودگی با استفاده از سیستم ارزیابی خطر تعیین و به چهار سطح تقسیم شده است.

روش تصمیم‌گیری گروهی چندمرحله‌ای برای حوادث آلودگی در سطوح تهدید مختلف به‌کار گرفته شده است. شرایط تأیید می‌کند که وجود روشی با حداکثر راندمان حذف آلاینده‌ها ضروری است. در این حالت عملکرد، حساسیت زمانی و سهولت تهیه، مهم‌ترین معیارهای این مورد بودند. نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد، وقتی که معیار هزینه وزنی بیشتر از دیگر معیارهاست، انتظار سطح حداقلی از تهدید وجود دارد. روش پیشنهادی این مقاله علاوه‌بر تعیین وزن اعتبار نظر کارشناسان، می‌تواند اثر استدلال غیرمنطقی بر نتایج تصمیم نهایی را نیز مینیمم کند.

در همان سال مانتیکا پرینگل[4] و همکاران (۲۰۱۶) اقدامات لازم مدیریتی برای حفاظت از تنوع زیستی در آب شیرین را با در نظر گرفتن تغییرات آب و هوایی و پوشش زمین تعیین و رتبه‌بندی کردند. این امر به‌دلیل حداکثرسازی بازده سرمایه‌گذاری در زمینه حفاظت از آب صورت می‌گیرد. نوآوری این مقاله، استفاده از یک مدل محیط زیستی برای رویارویی با تهدیدهای متقابل چندگانه است که مقرون‌به‌صرفه باشد. در این مقاله رویکرد تصمیم‌گیری بیزین برای اولویت‌بندی اقدامات ممکن برای حفظ منابع طبیعی به‌منظور حفاظت از تنوع زیستی آب ارائه شده است. روش پیشنهادی این مقاله در جنوب

1. Qu
2. Fuzzy TOPSIS
3. Case-based Reasoning
4. Mantyka-Pringle

شرق کوئینزلند و استرالیا با لحاظ کردن تغییرات آب و هوا، تغییرات پوشش زمین و اثر ترکیبی آنها اجرا شده است. نتایج نشان می‌دهند، اولویت‌بندی با لحاظ کردن تهدیدهای چندگانه و هزینه‌ها نتیجه کاملاً متفاوتی نسبت به اولویت‌بندی دیگری بدون در نظر گرفتن هزینه‌ها و تعاملات ایجاد می‌کند. در غیاب معیار هزینه، ترمیم ساحلی و جریان داشتن، تنها استراتژی قابل استفاده برای حفاظت است. درحالی‌که با حضور معیار هزینه، مقرون‌به‌صرفه‌ترین راه برای حفاظت از آب و آبزیان، مدیریت زمین با ترمیم ساحلی و جاری شدن است. براساس یافته‌های مقاله، رتبه‌بندی استراتژی‌های حفاظت به این بستگی دارد که آیا تهدیدهای متقابل چندگانه در نظر گرفته شده‌اند یا خیر؟ همچنین تولید محصولات کشاورزی باید با اکوسیستم‌های سلامت به‌منظور هماهنگ کردن اقدامات، سازگار شوند. مدیریت زمین مقرون‌به‌صرفه‌تر از ترمیم ساحلی در مناطق روستایی است، اما انتظار می‌رود بدون سرمایه‌گذاری در ترمیم، فقط بهبود کمی در تنوع زیستی آب شیرین صورت گیرد.

در جایی دیگر رتبه‌بندی استراتژی‌های مدیریت لجن فاضلاب توسط برتانزا[1] و همکاران (۲۰۱۶) انجام‌گرفته است. آنها مدلی براساس تحلیل تصمیم چندمعیاره[2] با بیش از ۳۰ پارامتر برای ارزیابی استراتژی‌های مدیریت زائده‌های فاضلاب ارائه و آن را برای یک منطقه با ۵۰۰۰۰۰ سکنه اجرا کرده‌اند. در این منطقه عملیات کشاورزی، سوزاندن، اکسیداسیون مرطوب و بازیابی در کوره سیمان کیلن[3] صورت می‌گیرد. با بررسی این چهار جایگزین نتایج به‌دست آمده برای اولویت‌بندی استراتژی‌ها عبارت است از: استفاده کشاورزی≫ سوزاندن> سیمان کیلن≅ اکسیداسیون مرطوب.

پس از مروری بر مطالعات پیشین، در پژوهش حاضر به اهمیت و ضرورت حفظ منابع آب سپس کاهش مخاطرات زیست‌محیطی، ضرورت و نوآوری تحقیق مطرح می‌شود. همچنین در مباحث دیگر به‌ترتیب مراحل انجام تحقیق؛ بیان معرفی معیارهای مؤثر و زیرمعیارها در فرایند ارزیابی و نتایج پژوهش به‌تفصیل بیان شده است و در پایان به جمع‌بندی، نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادها پرداخته شده است.

1. Bertanza
2. Multi Attribute Decision Analysis
3. Kiln

۱. اهمیت و ضرورت حفظ منابع آب

آب یکی از فراوان‌ترین ترکیباتی است که در طبیعت یافت می‌شود و تقریباً ۷۵ درصد سطح زمین را اشغال کرده است. با این وجود، چندین عامل، زمینه‌ساز کمبود آب در نقاط مختلف جهان شده است. یکی از این عوامل، توزیع ناهمگن جغرافیایی است. بیش از ۹۷ درصد کل منابع آب در اقیانوس‌ها و دریاها قرار دارد که به‌دلیل بالا بودن میزان نمک‌های محلول، مستقیماً برای مصرف مناسب نیستند. کمی بیش از ۲ درصد کل منابع آب در یخچال‌ها و مناطق قطبی یا به‌صورت رطوبت در خاک و اتمسفر زمین قرار دارد که به‌دلیل در دسترس نبودن، برنامه‌ریزی برای استفاده از آنها از نظر امکان‌سنجی اقتصادی قابل توجیه نیست و فقط کمتر از ۱ درصد آب‌های زمین شیرین و برای موجودات خشکی، قابل استفاده است.

به‌این‌ترتیب انسان جهت ادامه حیات و رفع نیازهای صنعتی، کشاورزی و شرب، تنها به ۶۲ درصد آب باقی‌مانده در دریاچه‌ها، رودخانه‌ها و آب‌های زیرزمینی دسترسی دارد. این امر نه‌تنها کیفیت منابع آب در دسترس را کاهش داده و با محدودیت‌های بیشتری روبه‌رو کرده است، بلکه به‌دلیل توسعه شهرنشینی و فعالیت‌های صنعتی و کشاورزی، تغییر و تنزل کیفیت آب‌ها را نیز ایجاد کرده است (آزاد فلاح و عزیزی، ۲۰۱۶).

امروزه به‌دلیل رشد سریع جمعیت، صنعت و محدودیت‌های منابع طبیعی، مسئله آلودگی محیط زیست بیش‌ازپیش مورد توجه کارشناسان واقع شده و همچنین به شکل یک مسئله قابل لمس مورد توجه عامه مردم قرار گرفته است. در جوامع امروزی اهمیت حفاظت از محیط زیست امری ضروری و بدیهی به‌نظر می‌رسد. بدون شک اقدام و اجرای هر گونه برنامه نیاز به دانش کافی و شناخت لازم از محیط زیست و آلاینده‌های آن دارد. بحران‌های زیست‌محیطی ناشی از آلودگی‌ها هم‌اکنون بسیاری از کشورها را به طرز خطرناکی تهدید می‌کند. لذا کشورها با حفاظت جدی و منطقی از محیط زیست خود و اجرای برنامه‌ریزی‌های علمی می‌توانند بحران‌های زیست‌محیطی را کنترل کنند (رامودین[1] و همکاران، ۲۰۱۰).

1. Ramudhin

۲. کاهش مخاطرات زیست‌محیطی، ضرورت و نوآوری تحقیق

از ویژگی‌های محیط کسب‌وکار مدرن، می‌توان به رقابت روزافزون و جهانی‌سازی اقتصاد اشاره کرد. در چنین شرایطی تولیدکنندگان از استراتژی‌ها و تکنولوژی‌های جدید به‌منظور دستیابی به اهداف محیط زیستی بهره می‌جویند. طی سال‌های اخیر، مدیریت زنجیره تأمین[1] به‌عنوان یک فلسفه کسب‌وکار اثربخش توجه زیادی ازسوی دانشگاه و همچنین صنعت به خود جلب کرده است (پیشوایی و رزمی، ۲۰۱۲). ازآنجاکه روش‌های زنجیره تأمین سبز،[2] انقلاب سبزی در سطح زنجیره تأمین ایجاد کرده، شرکت‌ها باید از منابع داخلی و خارجی خود برای اجرای روش‌های زنجیره تأمین سبز استفاده کنند.

آلودگی آب و منابع زیرزمینی با آلاینده‌های مختلف آثار منفی زیست‌محیطی متنوعی به‌دنبال دارند. آلودگی ناشی از فعالیت‌های صنعتی همواره موجب دل‌مشغولی دست‌اندرکاران صنعت و مراجع ناظر بر حفظ محیط زیست بوده و برگزیدن سیاست‌های سازگار و راه‌حل‌های منطقی برای پاک‌سازی محیط زیست در مسیری هماهنگ با ملاحظات زیست‌محیطی، اجتناب‌ناپذیر است. با توجه به تأثیر محیط زیست بر زندگی و به‌طبع آن بقای انسان، حفاظت از محیط زیست امری ضروری تلقی می‌شود. لذا برای دستیابی به این هدف، شناخت مواردی که زمینه آلودگی محیط زیست را فراهم می‌کنند بدیهی به‌نظر می‌رسد. با توجه به اینکه ایران شهرک‌های صنعتی (صنایع تولیدی) زیادی دارد که می‌توانند منشأ آلودگی‌های بسیاری برای محیط زیست باشند، آگاهی و شناخت عوامل مؤثر در آلودگی‌های زیست‌محیطی آن مهم است تا به این وسیله بتوان این عوامل را کاهش داده و برای حذف آنها تدابیر لازم را اندیشید.

آب یک کالای مصرفی و بی‌ارزش نیست، بلکه کالای استراتژیک، راهبردی، اقتصادی و بسیار ارزشمند است و دارندگان آن قدرت چانه‌زنی و برهم زدن معادلات سیاسی و منطقه‌ای را دارا هستند. همچنین کمبود آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک ازیک‌طرف و استفاده بی‌رویه و غلط از منابع آب و آلودگی آن ازطرف‌دیگر، تهدیدی

1. Supply Chain Management
2. Green Supply Chain Management

جدی برای توسعه پایدار و حفاظت محیط زیست است. با توجه به مطالب ذکر شده در بالا و همچنین با توجه به مطالعات پیشین، به شکاف مطالعاتی و فقدان روشی کارآمد برای شناسایی و اولویت‌بندی مهم‌ترین آلودگی‌های آب در زنجیره تأمین سبز دست یافتیم. با توجه به این واقعیت، سعی داریم تا با استفاده از تجربه افراد خبره برای شناسایی و اولویت‌بندی مهم‌ترین آلودگی‌های آب در زنجیره تأمین سبز، ابزاری مؤثر برای پاسخگویی به نیاز جامعه هدف ارائه دهیم. در این پژوهش، آلاینده‌های اساسی آب و میزان آنها در صنعت نفت و پتروشیمی کشور، به‌خصوص در استان تهران، استخراج و پس از رتبه‌بندی شاخص‌ها و زیرشاخص‌ها با روش فرایند تحلیل شبکه‌ای اولویت‌بندی خواهند شد. امید است با ارائه روش پیشنهادی به سازمان‌های مربوطه گامی مؤثر در پیشگیری از تخریب محیط زیست توسط آلاینده‌های صنعت نفت و پتروشیمی برداشته شود. ترکیب دو روش تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی[1] و فرایند تحلیل شبکه‌ای[2] روش نوآورانه و خلاقانه‌ای است و اینکه محقق بنا دارد در ادامه کار با ارائه یک مدل ریاضی برای کاهش آلاینده‌ها و به‌طبع کاهش مخاطرات زیست‌محیطی اقدام کند.

۳. مراحل انجام تحقیق

در این پژوهش روش تحقیق از حیث هدف کاربردی و از حیث نوع، یک روش ارزیابی مبتنی‌بر تحلیل پرسشنامه‌ای در فضای واقعی است که می‌تواند به‌عنوان یک مطالعه موردی مطرح شود. تعیین شاخص‌های ورودی و خروجی، به‌دست آوردن و استخراج متغیرها در این نوع تحقیقات خود بخش مهمی از اجرای آن است. مراحل انجام گرفته در این تحقیق به شرح زیر است:

- تعیین متغیرها (زیرشاخص‌ها) با استفاده از پیشینه تحقیق و استفاده از نقطه‌نظرات خبرگان و سپس روش تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی،
- تهیه پرسشنامه،
- بررسی پایایی پرسشنامه،

1. Principal Component Analysis (PCA)
2. Analytical Network Process (ANP)

- جمع‌آوری داده‌ها،
- تعیین روایی سؤالات پرسشنامه‌های جمع‌آوری‌شده،
- وزن‌دهی به متغیرها،
- تحلیل و رتبه‌بندی با استفاده از روش فرایند تحلیل شبکه‌ای.

۱-۳. روش تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی

تحلیل مؤلفه‌های اصلی، یکی از روش‌های کلاسیک تجزیه و تحلیل چندمتغیره و شاید قدیمی‌ترین و معروف‌ترین آنها باشد. این روش ابتدا به‌منظور تجزیه و تحلیل ساختارهای ماتریس‌های واریانس ـ کواریانس و ضریب همبستگی توسعه داده شد. همانند بسیاری از روش‌های چندمتغیره تا قبل از اختراع رایانه‌ها به‌دلیل پیچیدگی در محاسبات به‌طور گسترده مورد استفاده قرار نگرفت اما بعد از آن، از دیدگاه تئوری و کاربرد به‌طور وسیعی توسعه پیدا کرد. این نوع تجزیه را می‌توان از دیدگاه‌های مختلف مورد توجه قرار داد:

- تبدیل متغیرهای وابسته به متغیرهای غیرهمبسته،
- یافتن ترکیبات خطی با تغییرپذیری نسبی بزرگ یا کوچک،
- کاهش حجم داده‌ها،
- تفسیر داده‌ها.

این نوع تجزیه معمولاً نهایی تلقی نمی‌شود، بلکه به‌عنوان وسیله‌ای میانی برای مطالعات و بررسی‌های بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرد. جنبه‌های ریاضی مورد استفاده در این روش، شامل مقادیر ویژه و بردارهای ویژه ماتریس‌های همیشه مثبت متقارن است. هدف اصلی این نوع تجزیه کاهش حجم داده‌هاست که شامل تعداد زیادی متغیرها با همبستگی‌های درونی می‌باشند؛ به طریقی که حداکثر اطلاعات ممکن موجود در داده‌ها محفوظ بماند. این امر با تبدیل داده‌ها (متغیرها) به متغیرهای جدیدی انجام می‌شود که مؤلفه‌های اصلی نامیده شده و غیرهمبسته بوده و به‌ترتیبی اولویت‌بندی می‌شوند که تعداد اندکی از آنها اغلب تغییرات موجود در متغیرهای اولیه را با خود به همراه دارند. در تجزیه مؤلفه‌های اصلی گرچه ظاهراً توجه اصلی روی واریانس متغیرهاست، اما با توجه به روابط

بین واریانس‌ها و کواریانس‌ها، این روش به‌طور ضمنی کواریانس‌ها یا ضرایب همبستگی را نیز مورد توجه قرار می‌دهد.

۲-۳. روش فرایند تحلیل شبکه‌ای

ساعتی[1] در سال ۱۹۹۶ روشی را برای تصمیم‌گیری چندمعیاره ارائه کرده است که این روش فرایند تحلیل شبکه یا به‌اختصار ANP نامیده شده و هدف از ارائه آن ساختن مدلی است که از طریق آن بتوان مسائل پیچیده تصمیم‌گیری چندمعیاره را به‌صورت اجزای کوچک‌تر تجزیه کرد و با مقداردهی معقولانه به اجزاء ساده‌تر و سپس ادغام این مقادیر تصمیم‌گیری نهایی را انجام داد. روش فرایند تحلیل شبکه‌ای شکل توسعه‌یافته‌ای از روش فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی[2] است که به مدل‌سازی همبستگی‌ها و بازخورده‌ای موجود بین عناصر مؤثر در یک تصمیم‌گیری است و همه تأثیرات درونی اجزای مؤثر در تصمیم‌گیری را منظور و وارد محاسبات می‌کند. لذا با این ویژگی، این فن متمایز و برتر از مدل‌های قبلی مربوطه است. روش فرایند تحلیل شبکه‌ای دو قسمت اصلی دارد که این دو قسمت را در یک فرایند ادغام می‌کند. قسمت اول شامل مجموعه‌ای مرکب از ملاک‌های کنترلی و زیرملاک‌ها و نیز مجموعه‌های گزینه‌های داوطلب است و قسمت دوم شبکه‌ای از بردارها و کمان‌هاست که نشان‌دهنده وابستگی‌ها و همبستگی‌ها و نیز بازخورد موجود در سیستم تصمیم‌گیری است. این روش درنهایت بر پایه انجام مقایسات زوجی که مشابه با مقایسه‌های زوجی انجام‌گرفته شده در روش سلسله‌مراتبی است، عمل می‌کند. فرایند تحلیل شبکه‌ای را می‌توان کامل‌ترین روش تصمیم‌گیری چندمعیاره نامید که تاکنون ارائه شده است؛ اما مشکل اساسی که در این مدل وجود دارد قسمت انجام مقایسات زوجی است؛ این مشکل که در روش سلسله‌مراتبی نیز وجود دارد از آن جهت است که یک تصمیم‌گیرنده همواره با حالت‌های دقیق نظردهی مواجه نبوده و در بسیاری از تصمیم‌گیری‌های دنیای واقعی، تصمیم‌گیرندگان نمی‌توانند با قطعیت در مورد مقایسات زوجی تصمیم‌گیری کنند. فرایند مدل‌سازی شامل مراحل ذیل است:

1. Saaty
2. Analytical Hierarchy Process (AHP)

ـگام اول، پایه‌ریزی مدل و ساختار مسئله،
ـگام دوم، ماتریس مقایسات زوجی و برآورد وزن نسبی،
ـگام سوم، تشکیل سوپر ماتریس اولیه،
ـگام چهارم، تشکیل سوپر ماتریس وزنی،
ـگام پنجم، محاسبه بردار وزنی عمومی،
ـگام ششم، محاسبه وزن نهایی معیارها.

۴. معرفی معیارهای مؤثر و زیرمعیارها در فرایند ارزیابی

در این تحقیق، به‌دنبال ارائه چارچوبی برای شناسایی و اولویت‌بندی میزان سبز بودن صنایع تولیدی و ارائه راهکاری برای ارتقای سبز بودن زنجیره تأمین هستیم. با توجه به سوابق و مصاحبه با کارشناسان خبره، معیارهای مؤثر در فرایند ارزیابی به‌صورت گام‌های ارائه شده در تحقیق براساس شکل ۱ تنظیم شده است. در این مدل هدف شناسایی و اولویت‌بندی آلاینده‌های صنعتی در آب (پساب) است و در سطح یک معیارهای اصلی است که آلاینده‌های غذایی، شیمیایی، کشاورزی و نفتی در دو شرکت پتروشیمی و پالایشگاه نفت تهران را شامل می‌شود. در سطح دو زیرمعیارها یا عوامل نشان داده شده‌اند که به‌صورت نیترات، فسفر، پروتئین، PH، COD و DO موجود در آلاینده‌های غذایی و سرب، سدیم و فلزات سنگین موجود در آلاینده‌های شیمیایی، فنول، سولفید هیدروژن، نفت، آمونیاک و BOD موجود در آلاینده‌های نفتی و همچنین نیترات کودهای شیمیایی، رسوبات، TDS و TSS موجود در آلاینده‌های کشاورزی است. همچنین عوامل و متغیرهای اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی،[1] اکسیژن‌خواهی شیمیایی،[2] کل مواد جامد معلق[3] و کل مواد جامد محلول یا غلظت املاح[4] به‌عنوان شاخص‌های ارزیابی مقایسه‌ای آلاینده‌ها در نظر گرفته شده‌اند. درنهایت این متغیرها به‌ترتیب میزان آلایندگی در محیط زیست اولویت‌بندی می‌شوند.

1. Biological Oxygen Demand (BOD)
2. Chemical Oxygen Demand (COD)
3. Total Suspended Solids (TSS)
4. Total Dissolved Solids (TDS)

۱-۴. معرفی فاکتورهای تشخیص‌دهنده آلاینده‌ها

ـ اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی: اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی، نرخ مصرف اکسیژن در آب توسط ارگانیسم‌هاست. اگر اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی کم باشد، آب پاک و فاقد ارگانیسم است، یا آنکه ارگانیسم‌های داخل آب مرده و نیازی به مصرف اکسیژن ندارند. درواقع اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی مقدار اکسیژن لازم برای ثبات بیولوژیکی در آب است. اندازه تأسیسات تصفیه بیولوژیکی، خصوصاً میزان هوادهی فاضلاب در حوضچه‌های هوادهی را می‌توان با اندازه BOD محاسبه کرد. اگر BOD آبی ppm ۱ باشد، تقریباً آب خالص است. آب با BOD ۱ تا ppm ۵ نسبتاً خالص فرض می‌شود و وقتی‌که به بیشتر از ppm ۵ برسد، خلوص آب مورد تردید قرار می‌گیرد. اما اگر مقدار آن از ۲۰ppm تجاوز کند، سلامت عمومی مورد خطر واقع می‌شود. آزمایش‌های BOD، تخمین واقع‌بینانه‌ای از کیفیت اکسیژنی که وارد آب شده است را ارائه می‌دهند (باوکنگت[1] و همکاران، ۲۰۱۵).

ـ اکسیژن‌خواهی شیمیایی: اکسیژن‌خواهی شیمیایی، مقدار اکسیژن مورد نیاز است تا مواد آلی موجود در نمونه، به طریق شیمیایی تثبیت شوند. اکسیدکننده مورد مصرف معمولاً دی‌کرومات پتاسیم در حضور اسید سولفوریک است. آلودگی فاضلاب ناشی از مواد خارجی است که وارد آب می‌شوند و به‌صورت معلق یا محلول باعث آلودگی آن و تولید فاضلاب شده‌اند. بدیهی است هرچه مقدار این مواد در فاضلاب بیشتر باشد، بار آلودگی آن بیشتر خواهد بود. بنابراین اندازه‌گیری مقدار مواد خارجی فاضلاب، کلید اصلی در تعیین مقدار آلودگی و آلایندگی فاضلاب است (لیو[2] و همکاران، ۲۰۱۰).

ـ کل مواد جامد معلق: این شاخص یکی از شاخص‌های مهم برای سنجش کیفیت آب، بعد از عمل تصفیه روی آب است. ذرات جامد غیرمحلول در آب می‌توانند بسیار کوچک‌تر از میکرون (ذرات کلوییدی) و یا بزرگ‌تر از میکرون باشند. ذرات جامد معلق می‌توانند شن، سنگ‌ریزه، گل‌ولای، خاک، جلبک و ... باشند. اگر آب را از یک فیلتر ریز عبور دهیم مواد جامد محلول و نیز مواد کلوییدی از فیلتر عبور می‌کنند و ذرات جامدی که روی فیلتر باقی می‌مانند، همان مواد جامد معلق آب مورد نظر هستند. ذرات بسیار ریز

1. Bouwknegt
2. Liu

کلوییدی باقی‌مانده در آب فیلتر شده، باعث کدر شدن رنگ آب می‌شوند و البته این ذرات جزء شاخص مواد جامد معلق محاسبه نمی‌شوند. برای محاسبه مواد جامد معلق، مواد جامد باقی‌مانده روی فیلتر ظرف در آزمایش فوق را خشک کرده و وزن می‌کنند که با توجه به وزن نمونه آب، می‌توان مقدار مواد معلق را به‌صورت ppm و یا mg/l بیان کرد (همان).

ـ کل مواد جامد محلول یا غلظت املاح: این گزینه عبارت است از مقدار مواد آلی یا ترکیب‌شده درون یک مایع که این مواد می‌توانند به شکل مولکولی، یونیزه و یا دانه‌های بسیار ریز در مقیاس میکرون و به شکل معلق در آب وجود داشته باشند. منابع اولیه (با کاربردهای اصلی) برای مواد جامد محلول یا غلظت املاح در آب‌های دریافتی، در آب‌های حاصل از کشاورزی و مناطق مسکونی، شسته شدن آلودگی خاک و منابع آب‌های آلوده تخلیه شده از واحدهای صنعتی و فاضلاب‌هاست. مهم‌ترین جنبه مواد جامد محلول یا غلظت املاح با در نظر گرفتن کیفیت آب، تأثیری است که بر مزه آب می‌گذارد. زلال بودن و شفافیت آب با درجه مواد جامد محلول یا غلظت املاح کمتر از ۶۰۰ mg/l عموماً به‌عنوان یک حالت خوب در نظر گرفته می‌شود. آب آشامیدنی با درجه بزرگ‌تر از ۱۲۰۰ mg/l ازنظر بیشتر مصرف‌کننده‌ها، یک حالت نامطلوب به‌حساب می‌آید. تفاوت مواد جامد محلول یا غلظت املاح و مواد جامد معلق این است که در معیار مواد جامد معلق ذرات نمی‌توانند از میان یک صافی با مقیاس دو میکرومتر عبور کنند و به مدت نامعلومی به‌طور معلق در محلول باقی می‌مانند (مولبری[1] و همکاران، ۲۰۱۰).

۲-۴. تقسیم‌بندی آلاینده‌های آب

فرایند انتخاب معیارهای میزان آلودگی صنایع برمبنای دو حوزه زیر بنا شده است:

ـ بررسی فاکتورهای مورد استفاده پژوهشگران پیشین،

ـ بررسی شاخص‌های آلایندگی و صنایع مهم آلوده‌کننده ازمنظر مدیران و کارشناسان محیط زیست.

برمبنای فرایند گفته شده، مجموعه‌ای از مهم‌ترین شاخص‌های انتخاب صنایع و

1. Mulbry

آلاینده‌ها، به‌عنوان اصلی‌ترین فاکتورهای سنجش مدنظر قرار گرفته‌اند. آلاینده‌های آب در صنایع نفت و پتروشیمی با چهار معیار اصلی به‌شرح زیر طبقه‌بندی می‌شوند:

۱. معیار آلاینده‌های غذایی: برمبنای میزان اهمیت و افزایش این آلاینده‌ها در آب‌های زیرزمینی، معیار آلاینده‌های غذایی از شش زیرمعیار (عوامل) نیترات، فسفر، پروتئین، PH، COD و DO تشکیل شده است (ژانگ[1] و همکاران، ۲۰۱۳).

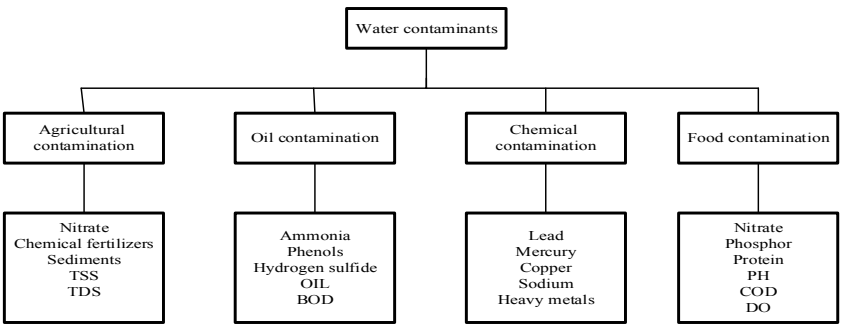
۲. معیار آلاینده‌های شیمیایی: پنج مورد به‌عنوان مهم‌ترین زیرمعیارهای ویژگی‌های این صنعت در آزمایشگاه معتمد محیط زیست مطرح هستند که در این مرحله انتخاب شده‌اند: سرب، جیوه، مس، سدیم و فلزات سنگین (وو، دینگ و چن،[2] ۲۰۱۲).

۳. معیار آلاینده‌های نفتی: از مهم‌ترین زیرمعیارهای این بخش در سنجش میزان آلایندگی می‌توان به فنول، سولفید هیدروژن، نفت، آمونیاک و اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی اشاره کرد (زیلانی[3] و همکاران، ۲۰۱۵).

۴. معیار آلاینده‌های کشاورزی: نیترات، کودهای شیمیایی، رسوبات، کل مواد جامد معلق و کل مواد جامد محلول یا غلظت املاح نیز به‌عنوان زیرمعیارهای مرتبط با آلاینده‌های کشاورزی استخراج و مدنظر قرار گرفته است (یونگ مینگ[4] و همکاران، ۲۰۰۶).

شکل ۱ نشان‌دهنده آلاینده‌های اصلی تحقیق به تفکیک نوع آنهاست.

شکل ۱. تفکیک آلاینده‌ها



مأخذ: ژانگ و همکاران، ۲۰۱۳؛ وو، دینگ و چن، ۲۰۱۲؛ زیلانی و همکاران، ۲۰۱۵؛ یونگ‌مینگ و همکاران، ۲۰۰۶.

1. Zhang
2. Wu, Ding and Chen
3. Zailani
4. Yongming

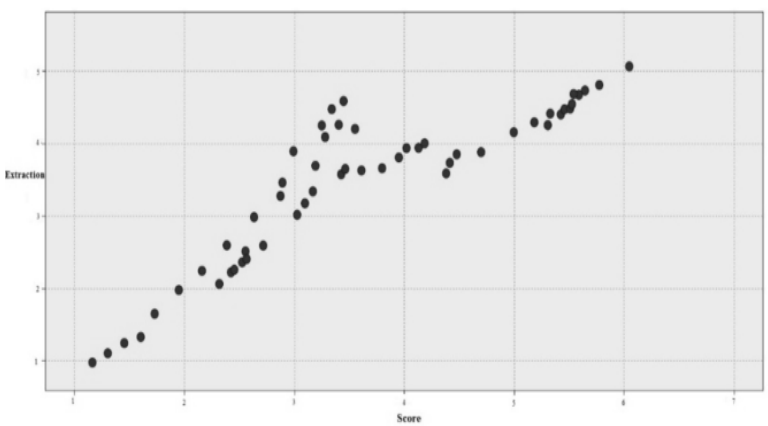
۵. نتایج پرسشنامه

در این قسمت به بیان نتایج پرسشنامه باز (جهت تحلیل و تفسیر مؤلفه‌های اصلی) و پرسشنامه بسته (روش فرایند تحلیل شبکه‌ای) می‌پردازیم.

۵-۱. تحلیل آماری

براساس مطالعات پیشین ۲۰ شاخص آلاینده آب استخراج شد و در بین ۱۴۵ فرد خبره قرار گرفت تا براساس تجربه قبلی خود به آنها امتیازی بین ۱ (کمترین اهمیت) الی ۱۰ (بیشترین اهمیت) بدهند. در اینجا، به‌منظور رتبه‌بندی آلاینده‌ها، از روش تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی استفاده شده است. چون پیش‌فرض این روش، خطی بودن رابطه متغیرها با یکدیگر است، درنتیجه قبل از اجرای این روش باید از خطی بودن رابطه متغیرها مطمئن شد. یکی از روش‌های پرکاربرد برای بررسی خطی بودن رابطه، استفاده از نمودار پراکندگی است. نمودار پراکندگی، روشی مفید برای ترسیم ارتباط بین داده‌هاست و یکی از ساده‌ترین روش‌ها برای بررسی همبستگی و ارتباط دو متغیر است. این نمودار، نوع و جهت رابطه را به‌طور بصری ارائه می‌دهد و می‌توان با مشاهده نمودار از نوع رابطه بین دو متغیر و جهت (خطی یا غیرخطی و مثبت یا منفی) و شدت رابطه آگاهی تقریبی یافت.

نمودار ۱. تأییدیه فرضیه خطی بودن داده‌ها



مأخذ: یافته‌های تحقیق.

به این منظور نمودار ۱ نشان‌دهنده تأیید فرض خطی بودن داده‌هاست. همان‌طور که در نمودار ۱ مشاهده می‌شود، همه امتیاز پارامترها با مقادیر واریانس محاسبه شده رابطه خطی دارند، بر همین اساس میزان ضریب همبستگی به‌دست آمده برای کل پارامترها که با نرم افزار SPSS محاسبه شده، برابر با ۰/۸۷۷ است. لذا با توجه به نمودار ۱ و همچنین مقدار ضریب همبستگی به‌دست آمده، فرض خطی بودن داده‌ها تأیید و اثبات می‌شود. در جداول ۱ الی ۳ تحلیل عاملی اولیه شاخص‌ها، برای تخمین اثر عملکرد هریک از آلاینده‌ها بر هدف مسئله نشان داده شده است.

جدول ۱ نسبت واریانس امتیازات اخذ شده هریک از آلاینده، توسط خبرگان را نشان می‌دهد. همان‌طور که در جدول قابل مشاهده است، آلاینده‌های نیترات، سدیم و مس بیشترین امتیاز را از خبرگان محیط زیست در حوزه آلایندگی آب به خود اختصاص دادند.

جدول ۱. نسبت واریانس هریک از آلاینده‌ها

Communalities		
	Initial	**Extraction**
Nitrate	1.000	.783
Phosphor	1.000	.671
PH	1.000	.667
Oil	1.000	.667
TDS	1.000	.712
heavy Metals	1.000	.579
TSS	1.000	.559
Ammonia	1.000	.599
Phenols	1.000	.532
Protein	1.000	.491
Chemical Fertilizers	1.000	.627
COD	1.000	.591
Sediments	1.000	.712
Hydrogen Sulfide	1.000	.684
Lead	1.000	.708
Mercury	1.000	.725
Copper	1.000	.726
DO	1.000	.572
BOD	1.000	.472
Sodium	1.000	.779
Extraction Method: Principal Component Analysis.		

مأخذ: یافته‌های تحقیق.

جدول ۲ توزیع فراوانی مجموع واریانس آلاینده‌ها را نشان می‌دهد. در این جدول، نتایج براساس روش تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی مورد بررسی قرار گرفتند به‌طوری‌که ستون Initial Eigenvalues بیانگر واریانس مرتبط با مجموعه کامل از آلاینده‌ها با نتایج اولیه است، همچنین ستون Extraction Sums of Squared Loadings بیانگر واریانس مؤلفه‌های استخراجی و ستون Cumulative بیانگر واریانس تجمیعی آلاینده‌هاست. علاوه‌بر آن جدول ۲ نشان‌دهنده واریانس مؤلفه‌های استخراجی است که هر مؤلفه ترکیب خطی از ۲۰ متغیر اولیه است و اهمیت مؤلفه‌ها به صورتی نزولی نشان داده شده است. با توجه به روش Lambda که متغیرهایی با مقادیر بیشتر یا مساوی ۱ به‌عنوان مؤلفه‌های اصلی پذیرش می‌شوند، لذا ۹ مؤلفه به‌عنوان آلاینده‌های منتخب در نظر گرفته می‌شود و این مورد در جدول ۲ قابل مشاهده است. افزایش واریانس داده‌ها در راستای بردار ویژه متناظر با بزرگ‌ترین مقدار ویژه در آن راستا قرار دارد. به همین ترتیب هر چقدر مقدار ویژه کوچک‌تر شود واریانس داده‌ها در راستای بردار ویژه متناظر با آن کمتر می‌شود (لاروس،[1] ۲۰۰۶).

جدول ۲. مجموع واریانس توزیعی آلاینده‌ها

Total Variance Explained						
Component	Initial Eigenvalues			Extraction Sums of Squared Loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative%	Total	% of Variance	Cumulative%
1	1.759	9.257	9.257	1.759	9.257	9.257
2	1.621	8.533	17.789	1.621	8.533	17.789
3	1.529	8.049	25.839	1.529	8.049	25.839
4	1.392	7.325	33.163	1.392	7.325	33.163
5	1.374	7.234	40.397	1.374	7.234	40.397
6	1.178	6.199	46.596	1.178	6.199	46.596
7	1.142	6.013	52.609	1.142	6.013	52.609
8	1.078	5.672	58.281	1.078	5.672	58.281
9	1.000	5.266	63.546	1.000	5.266	63.546
10	.970	5.103	68.649			
11	.898	4.728	73.377			
12	.857	4.509	77.886			
13	.811	4.267	82.153			
14	.739	3.890	86.043			
15	.667	3.511	89.554			

1. Larose

Total Variance Explained						
Component	Initial Eigenvalues			Extraction Sums of Squared Loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative%	Total	% of Variance	Cumulative%
16	.610	3.209	92.763			
17	.523	2.750	95.513			
18	.469	2.471	97.984			
19	.383	2.016	98.874			
20	.378	2.017	100.000			
Extraction Method: Principal Component Analysis.						

مأخذ: همان.

جدول ۳ بیانگر ماتریس همبستگی مابین همه آلاینده‌ها، با ۹ آلاینده منتخب است که بیشترین واریانس آلایندگی ازنظر خبرگان براساس جدول ۲ را دارند. براساس میزان امتیاز کسب شده هریک از آلاینده‌ها، ۹ آلاینده مهم را انتخاب کرده و ماتریس اهمیت با کل ۲۰ آلاینده مورد تحقیق به‌دست آمده است. لذا بدیهی است ماتریس محاسبه شده در جدول ۳، در قطر اصلی مقدار همبستگی هیچ دو آلاینده با یکدیگر برابر ۱ نشده‌اند (کلمنتاین،[1] ۲۰۰۷). با توجه به نتایج این جدول همه این آلاینده‌ها همبستگی پایینی با یکدیگر دارند.

جدول ۳. ماتریس همبستگی ما بین هریک از آلاینده‌ها

Component Matrix(a)									
	Component								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
TSS	-.583	.098	.315	.224	.149	.011	.181	.057	.046
TDS	.572	-.169	.230	.350	.044	.000	-.056	-.416	-.046
Lead	.534	-.087	.248	-.086	-.303	-.040	.035	.270	-.423
Chemical Fertilizers	.070	.566	-.202	.171	.043	-.031	.003	-.432	-.204
Heavy Metals	.213	-.503	.260	-.230	.278	-.149	.183	-.077	.149
Ammonia	.365	.488	.227	-.112	.088	.253	-.048	.300	-.009
Sediments	.126	.138	-.674	.185	.150	.217	.243	.029	.244
Mercury	-.215	.205	.472	.187	-.392	.307	.042	-.343	.103
Phenols	.104	.327	.275	.379	.275	.299	.041	.147	-.077
BOD	.362	.040	-.095	.375	.246	.001	-.109	.085	.331
Copper	-.215	-.314	.110	-.170	.525	.319	-.249	-.061	-.312

1. Clementine

Component Matrix(a)									
	Component								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
DO	.158	-.202	.291	.404	.432	-.156	-.156	.065	.137
COD	-.124	-.350	-.055	.358	-.383	-.206	-.257	-.123	.227
Nitrate	.131	.112	.283	.044	-.030	-.402	.712	-.039	-.012
Phosphor	.198	.348	.174	-.172	-.178	-.300	-.561	.005	.120
OIL	-.179	-.235	.170	.344	-.382	.321	.022	.422	.070
Protein	.033	.053	-.250	.312	-.019	-.356	-.021	.414	-.170
Hydrogen Sulfide	.414	-.098	.016	-.360	-.156	.363	.124	.022	.447
PH	-.269	.362	.305	-.257	.217	-.276	-.078	.153	.390
Sodium	.104	.327	.275	.379	.275	.299	.041	.147	-.077
Extraction Method: Principal Component Analysis.									
a. 9 components extracted.									

مأخذ: همان.

جدول ۴. رتبه‌بندی نهایی آلاینده‌ها براساس نظرات خبرگان

Final Ranking	Score	Contaminants
2	0.955	Nitrate
11	0.734	Phosphor
5	0.808	PH
15	0.719	OIL
17	0.711	TDS
13	0.726	Heavy Metals
12	0.729	TSS
13	0.726	Ammonia
4	0.83	Phenols
16	0.717	Protein
18	0.707	Chemical Fertilizers
8	0.764	COD
9	0.754	Sediments
13	0.726	Hydrogen Sulfide
1	0.97	Lead
19	0.703	TOG
7	0.785	Mercury
6	0.788	Copper
10	0.743	DO
20	0.703	BOD
3	0.874	Sodium

مأخذ: همان.

همان‌طور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود، آلاینده سرب با امتیاز ۰/۹۷ ازنظر خبرگان مهم‌ترین آلاینده آب است. بعد از سرب، آلاینده نیترات با امتیاز ۰/۹۵۵ در رتبه دوم و سدیم با امتیاز ۰/۸۷۴ در رتبه سوم قرار گرفته است. همچنین چند آلاینده ازنظر خبرگان، امتیاز برابری داشتند، مانند سولفید هیدروژن، آمونیاک و فلزات سنگین که هر سه این آلاینده‌ها امتیازی برابر با ۰/۷۲۶ را به خود اختصاص دادند.

۲-۵. تحلیل فرایند شبکه‌ای

با توجه به نتایج قسمت قبل که تحلیل مبتنی‌بر روش تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی را نشان می‌دهد، هدف این روش شناسایی شاخص‌های مهم با توجه به امتیازات کسب شده است. نتایج به‌دست آمده این واقعیت را نشان می‌دهند که هر ۲۰ آلاینده شناسایی شده ازنظر خبرگان حائز اهمیت هستند؛ لذا در این بخش با سطح‌بندی انجام شده در شکل ۱، در چهار معیار و ۲۱ زیرمعیار با استفاده از روش تحلیل فرایند شبکه‌ای به رتبه‌بندی شاخص‌های مورد بررسی اقدام می‌کنیم. به‌منظور دستیابی به هدف تحقیق، پرسشنامه‌های مقایسات زوجی طراحی و بین خبرگان توزیع و با توجه به رویکرد قضاوت شفاهی در این پژوهش، از عبارات و اعداد مندرج در جدول ۵ استفاده شد.

جدول ۵. اعداد تعریف شده

Relative Comparison of the Indices (Verbal Judgment)	Priority Number
Absolute Significance	9
Very Strong Significance	7
Strong Significance	5
Weak Significance	3
Equal Significance	1
Intermediate Values	2,4,6,8

مأخذ: همان.

در این قسمت با توجه به شبکه سلسله‌مراتبی، جداول مقایسات زوجی تشکیل‌شده است. در اینجا، روش اصلاح شده اصغرپور (۱۳۸۸) وزن مؤلفه‌ها را تعیین کرده و براساس

آن اولویت‌بندی صورت گرفته است. نتایج با استفاده از نرم‌افزار Super Decision محاسبه شده‌اند. در تحقیق حاضر، از روش فرایند تحلیل شبکه‌ای برای تعیین اولویت اهداف استفاده شد. بدین‌منظور، به کمک پرسشنامه روش فرایند تحلیل شبکه‌ای (وازکویز روی[1] و همکاران، ۲۰۱۶) از ۱۵ مدیر و کارشناس حوزه زیست‌محیطی مرتبط با آلاینده‌های نفت و پتروشیمی نظرخواهی شد که درنتیجه نرخ ناسازگاری ۰/۰۴ به‌دست آمد. با توجه به اینکه نرخ ناسازگاری، کمتر از ۰/۱ است، وزن‌های به‌دست آمده، قابل اعتماد هستند. در ادامه نتایج حاصل از فرایند تحلیل شبکه‌ای به تفصیل بیان می‌شود.

جدول ۶. رتبه‌بندی معیارهای اصلی

The Main Criterion	Weight	Rank
Agricultural Contaminants	0.321	1
Chemical Industries Contaminations	0.286	2
Oil Contaminants	0.152	4
Food Contaminations	0.241	3

مأخذ: همان.

جدول ۶ بیانگر رتبه‌بندی معیارهای اصلی آلاینده‌های آب است. همان‌طور که در جدول مشاهده می‌شود، آلاینده‌های کشاورزی با وزن ۰/۳۲۱ در رتبه اول و آلاینده‌های نفتی با وزن ۰/۱۵۲ در رتبه چهارم قرار دارند. در ادامه جداول ۷ الی ۱۰ رتبه‌بندی زیرمعیارها (عوامل) آلاینده‌های هریک از معیارهای چهارگانه اصلی را نشان می‌دهد.

جدول ۷. رتبه‌بندی زیرمعیارهای آلاینده‌های غذایی

The Main Criterion	Weight	Rank
Nitrate	0.287	1
Phosphor	0.202	2
Protein	0.126	5
PH	0.142	3
COD	0.131	4
DO	0.112	6

مأخذ: همان.

1. Vázquez-Rowe

نتایج جدول ۷ نشان می‌دهد که عنصر نیترات در زیرمعیارهای آلاینده‌های غذایی در رتبه اول قرار دارد. این نتیجه مؤید بخش اول پژوهش در پرسشنامه باز می‌باشد که اکثریت خبرگان این عنصر را به‌عنوان اولین آلاینده انتخاب کرده بودند. در جدول ۴ نیز عنصر نیترات براساس رتبه‌بندی نهایی، رتبه دوم را به خود اختصاص داده است.

جدول ۸. رتبه‌بندی زیرمعیارهای آلاینده‌های کشاورزی

The Main Criterion	Weight	Rank
Nitrate	0.243	1
Chemical Fertilizers	0.232	2
Sediments	0.204	3
TSS	0.165	4
TDS	0.156	5

مأخذ: همان.

نتایج جدول ۸ نشان می‌دهد که عنصر نیترات در زیرمعیارهای آلاینده‌های کشاورزی در رتبه اول است. این نتیجه مؤید بخش اول پژوهش در پرسشنامه باز می‌باشد که اکثریت خبرگان این عنصر را به‌عنوان اولین آلاینده انتخاب کرده بودند. در جدول ۴ نیز عنصر نیترات براساس رتبه‌بندی نهایی، رتبه دوم را به خود اختصاص داده است.

جدول ۹. رتبه‌بندی زیرمعیارهای آلاینده‌های شیمیایی

The Main Criterion	Weight	Rank
Sodium	0.155	4
Heavy Metal	0.096	5
Lead	0.382	1
Mercury	0.166	3
Copper	0.201	2

مأخذ: همان.

جدول ۹ بیانگر نتایج رتبه‌بندی زیرمعیارهای آلاینده‌های شیمیایی است که مشاهده می‌شود، سرب با وزن ۰/۳۸۲ در رتبه اول این زیرمعیار قرار دارد. همان‌طور که در جدول ۴ بیان

شد، عنصر سرب ازنظر خبرگان حوزه آلاینده‌های محیط زیستی صنایع نفت و پتروشیمی، بیشترین تأثیر بر آلایندگی محیط را به خود اختصاص داده است و در رتبه اول قرار دارد.

جدول ۱۰. رتبه‌بندی زیرمعیارهای آلاینده‌های نفتی

The Main Criterion	Weight	Rank
Oil	0.160	4
BOD	0.198	2
Ammonium	0.301	1
Hydrogen Sulfide	0.188	3
Phenol	0.143	5

مأخذ: همان.

جدول ۱۰ بیانگر نتایج رتبه‌بندی زیرمعیارهای آلاینده‌های نفتی است. آمونیاک با وزن ۰/۳۰۱ در رتبه اول این زیر معیار می‌باشد. عناصر اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی و سولفید هیدروژن به‌ترتیب با وزن‌های ۰/۱۹۸ و ۰/۱۸۸ در رتبه‌های دوم و سوم این زیرمعیار قرار دارند.

۶. جمع‌بندی، نتیجه‌گیری و پیشنهادها

فعالیت‌های مربوط به توسعه منابع آب تغییراتی در محیط زیست ایجاد می‌کند. سیستم‌های توسعه منابع آب، درضمن مفید بودن می‌توانند مشکلاتی را نیز به‌وجود آورند. برای مثال مخازن سدها، اغلب بخش‌هایی از بستر سیل‌گیر رودخانه و نیز حوزه آبریز را تخریب می‌کنند و دریاچه‌ای به‌وجود می‌آورند و به‌این‌ترتیب بعضی از خصوصیات زیست‌محیطی و اکولوژی این رودخانه‌ها در حوزه‌های آبریز از دست می‌رود. افزایش دمای زمین به این معناست که سطح آب دریا بالا خواهد رفت و مناطق ساحلی و رودخانه‌ها را غرقاب خواهد کرد و زندگی بیش از ۱۰۰ میلیون جمعیت را به مخاطره خواهد انداخت.

بسیاری از رودخانه‌های کشور مانند کارون، زاینده‌رود و سفیدرود، علاوه‌بر مسائل کمی گرفتار تخریب کیفیت منابع آب نیز هستند. پمپ بنزین‌ها و مخازن زیرزمینی، ذخیره فراورده‌ها و مشتقات نفتی، به‌دلیل عدم انجام پایش‌های لازم و پوسیدگی جداره آنها، به‌طور مرتب محیط

و به‌ویژه منابع آب زیرزمینی را آلوده می‌کنند. در بیشتر روستاهای کشور، فاضلاب‌های خانگی در سطح کوچه‌ها و انبارهای روباز جاری است یا از طریق چاه‌های جذبی دفع می‌شوند. این نوع تخلیه فاضلاب‌ها، آلودگی منابع آب زیرزمینی و سطحی را به‌دنبال داشته است. همچنین شیرابه‌های ناشی از فضولات دامی که دارای مقدار زیادی ازت و موجودات ریز زنده می‌باشند، منابع آب را آلوده می‌کنند. به‌طور معمول این منابع آلاینده نیز بیماری‌زا هستند. با محدود کردن منشأ آلاینده‌های آب، می‌توان تا حد زیادی به بهبود کیفیت منابع آبی کمک کرد. استفاده از مواد شوینده و بهداشتی به‌صورت کنترل شده و در حد نیاز، محدود کردن استفاده از کودهای شیمیایی و آفت‌کش‌ها و حشره‌کش‌ها و عدم تخلیه آلاینده‌های نفتی روی زمین‌های نفوذپذیر و منابع آب روان می‌تواند تا حد زیادی از ورود آلاینده به سیستم‌های آبی جلوگیری کند. همچنین دور بودن محل زندگی و چرای دام‌های محلی از منابع آبی یکی دیگر از روش‌های جلوگیری از آلودگی آب است که به‌این‌ترتیب از ورود فضولات حیوانات به آب‌های سطحی جلوگیری می‌شود. فاضلاب صنایع، کارگاه‌های کوچک و رستوران‌ها و غذاخوری‌ها، محتوای مقادیر زیادی آلاینده‌های آلی و غیرآلی است که نباید به‌طور مستقیم و بدون تصفیه به رودخانه‌ها و دریاچه‌ها تخلیه شوند.

همان‌طور که در جدول ۴ نشان داده شد، آلاینده سرب با امتیاز ۰/۹۷ ازنظر خبرگان مهم‌ترین آلاینده آب است. بعد از سرب، نیترات با امتیاز ۰/۹۵۵ در رتبه دوم و سدیم با امتیاز ۰/۸۷۴ در رتبه سوم قرار گرفته است. همچنین در این جدول می‌توان مشاهده کرد که چند آلاینده ازنظر خبرگان امتیاز برابری داشتند، مانند سولفید هیدروژن، آمونیاک و فلزات سنگین که هر سه امتیازی برابر با ۰/۷۲۶ را به خود اختصاص داده‌اند. با توجه به نتایج حاصل از تحقیق حاضر و همچنین یافتن اهمیت هریک از آلاینده‌ها، طبق تحقیقات پیشین درزمینه کاهش آلاینده‌های آب، روش‌های مختلفی به‌منظور حذف آلودگی از منابع آب ابداع شده که می‌توان این روش‌ها را در پنج دسته کلی قرار داد: روش‌های بیولوژیک، روش‌های شیمیایی، جذب سطحی، اسمز معکوس و تبادل یونی. البته هرکدام از این روش‌ها مشکلات خود را به همراه دارند که ازجمله آنها می‌توان به غیراقتصادی بودن برخی از این روش‌ها، آسان نبودن انجام برخی از مراحل حذف آلاینده‌ها و تولید مواد زائد بسیار اشاره کرد. به‌طور

مثال روش‌های اسمز معکوس و تبادل یونی موجب تولید آب شور می‌شود. روش‌های بیولوژیک هم نیاز به تأمین مستمر بسترهای آلی دارد و همچنین تولید لجن می‌کند. پژوهشگران برای مقابله با این مشکلات به‌دنبال طراحی فناوری‌هایی هستند که با کمترین چالش‌ها بتوانند طیف وسیعی از آلاینده‌ها را از منابع آبی حذف کنند.

ـ پیشنهادها

در تحقیقات آتی، نویسندگان این پژوهش امیدوارند با توجه به نتایج شناسایی آلاینده‌ها و اهمیت و رتبه آنها (خروجی ANP)، با ارائه یک مدل ریاضی با رویکرد تولید سبز در جهت کاهش آلاینده‌های زیست‌محیطی آب اقدام شود. ضمناً می‌توان از سایر رویکردهای مدل‌سازی احتمالی یا رویکرد ترکیبی از سیستم‌های فازی و هوش مصنوعی استفاده و نتایج حاصل را با هم مقایسه کرد. همچنین می‌توان از رویکرد استوار نیز جهت تخصیص و تطابق با عدم قطعیت بهره گرفت. سایر پیشنهادها به‌شرح زیر است:

ـ استفاده از محاسبات Z-numbers در بررسی متغیرها،

ـ توسعه روش‌های ابتکاری و فراابتکاری دیگر برای مسائل بهینه‌سازی چندهدفه تحت شرایط عدم قطعیت با ابعاد بزرگ،

ـ مدل‌سازی مسئله با در نظر گرفتن اهداف دیگری نظیر کمینه کردن تغییر در سطح نیروی انسانی، کمینه کردن انتشار گازهای گلخانه‌ای و پسماندهای صنعتی،

ـ مدل‌سازی مسئله به‌صورت سلسله‌مراتبی و مقایسه نقاط ضعف و قوت آن با رویکرد یکپارچه،

ـ مدل‌سازی به‌صورت غیرمتمرکز و مقایسه نقاط ضعف و قوت آن نسبت به رویکرد متمرکز.

منابع و مآخذ

۱.اصغرپور، محمدجواد (۱۳۸۸). *تصمیم‌گیری‌های چندمعیاره*، چاپ دهم، تهران، انتشارات دانشگاه تهران.

۲.رزمی، جعفر و میثم نصرالهی (۱۳۹۲). *زنجیره تأمین سبز* (طراحی، برنامه‌ریزی، استقرار و ارزیابی)، چاپ اول، دانشگاه آزاد اسلامی قزوین.

3. Azadfallah, M. and M. Azizi (2016). "A New Approach in Group Decision-Making Based on Pairwise Comparisons", *Journal for International Business and Entrepreneurship Development*, 8(2).
4. Bertanza, G., P. Baroni and M. Canato (2016). "Ranking Sewage Sludge Management Strategies by Means of Decision Support Systems: A Case Study", *Resources, Conservation and Recycling*, 110.
5. Bouwknegt, M., K. Verhaelen, A. Rzeżutka, I. Kozyra, L. Maunula, C. H. Von Bonsdorff and I. Pavlik (2015). Quantitative Farm-to-fork Risk Assessment Model for Norovirus and Hepatitis A Virus in European Leafy Green Vegetable and Berry Fruit Supply Chains, *International Journal of Food Microbiology*, 198.
6. Caravanos, J., S. Gualtero, R. Dowling, B. Ericson, J. Keith, D. Hanrahan and R. Fuller (2014). "A Simplified Risk-ranking System for Prioritizing Toxic Pollution Sites in Low-and Middle-income Countries", *Annals of Global Health*, 80(4).
7.Clementine, S. P. S. S. 12.0 Algorithms Guide (2007). SPSS Inc. *Integral Solution Limited.*
8. Cozzi, M., M. Viccaro, F. Di Napoli, C. Fagarazzi, A. Tirinnanzi and S. Romano (2015). "A Spatial Analysis Model to Assess the Feasibility of Short Rotation Forestry Fertigated with Urban Wastewater: Basilicata Region Case Study", *Agricultural Water Management*, *159*.
9. Donnachie, R. L., A. C. Johnson, C. Moeckel, M. G. Pereira and J. P. Sumpter (2014). "Using Risk-ranking of Metals to Identify which Poses the Greatest Threat to Freshwater Organisms in the UK", *Environmental Pollution*, 194.
10. Faiku, F. and A. Haziri (2016). "Assessment of the water quality of Lumbardhi river, Prizren (Kosovo)", *Blugarian Chemical Communications,* 48, 4.
11. Giubilato, E., A. Zabeo, A. Critto, S. Giove, J. Bierkens, E. Den Hond and A. Marcomini (2014). "A Risk-based Methodology for Ranking Environmental Chemical Stressors at the Regional Scale", *Environment international*, 65.
12. Kudłak, B., S. Tsakovski, V. Simeonov, A. Sagajdakow, L. Wolska and J. Namieśnik (2014). "Ranking of Ecotoxisity Tests for Underground Water Assessment Using the Hasse Diagram Technique", *Chemosphere*, 95.
13. Lam, C. W., S. R. Lim and J. M. Schoenung (2011). "Environmental and Risk Screening for Prioritizing Pollution Prevention Opportunities in the US Printed Wiring Board Manufacturing Industry", *Journal of Hazardous Materials*, 189(1).
14. Larose, D. T. (2006). *Data Mining Methods and Models*, John Wiley and Sons.
15. Liu, G., E. D. Larson, R. H.Williams, T. G. Kreutz and X. Guo (2010). "Making Fischer - Tropsch Fuels and Electricity from Coal and Biomass: Performance and Cost Analysis", *Energy and Fuels*, 25(1).
16. Mantyka-Pringle, C. S., T. G. Martin, D. B. Moffatt, J. Udy, J. Olley, N. Saxton and J. R. Rhodes (2016). "Prioritizing Management Actions for the Conservation of Freshwater Biodiversity under Changing Climate and Land-Cover", *Biological Conservation*, *197*.

17. Marshall, A. L., and P. J. Alaimo (2010). "Useful Products from Complex Starting Materials: Common Chemicals from Biomass Feedstocks", *Chemistry-A European Journal*, 16(17).
18. Mulbry, W., P. Kangas and S. Kondrad (2010). "Toward Scrubbing the Bay: Nutrient Removal Using Small Algal Turf Scrubbers on Chesapeake Bay Tributaries", *Ecological Engineering*, 36(4).
19. Pantazidou, M., S. Kapniaris, A. Katsiri and A. Christidis (2007). "Pollutant Trends and Hazard Ranking in Elefsis Bay, Greece", *Desalination*, Vol. 210, 1.
20. Papa, M., C. Alfonsín, M. T. Moreira and G. Bertanza (2016). "Ranking Wastewater Treatment Trains Based on Their Impacts and Benefits on Human Health: a "Biological Assay and Disease" Approach", *Journal of Cleaner Production*, 113.
21. Pishvaee, M. S. and J. Razmi (2012). "Environmental Supply Chain Network Design Using Multi-objective Fuzzy Mathematical Programming", *Applied Mathematical Modelling*, 36(8).
22. Qu, J., X. Meng and H. You (2016). "Multi-stage Ranking of Emergency Technology Alternatives for Water Source Pollution Accidents Using a Fuzzy Group Decision Making Tool", *Journal of Hazardous Materials*, 310.
23. Ramudhin, A., A. Chaabane and M. Paquet (2010). "Carbon Market Sensitive Sustainable Supply Chain Network Design", *International Journal of Management Science and Engineering Management*, *5*(1).
24. Razmi, J., M. S. Sangari and R. Ghodsi (2009). "Developing a Practical Framework for ERP Readiness Assessment Using Fuzzy Analytic Network Process", *Advances in Engineering Software*, 40(11).
25. Rohani, A., A. Keramati and J. Razmi (2016). "Presenting an Innovative Approach Combining FA and ANP Methods to Identify and Prioritize Water Pollutants in Petroleum and Petrochemical Industries", *Archives of Business Research*, 4(6).
26. Saaty, T. L. (1996). *Analytical Network Process*, RWS Publications, USA.
27. Tsyntsarski, B. G., B. N. Petrova, T. K. Budinova, N. V. Petrov and D. K. Teodosiev (2015). "Removal of Phenol from Contaminated Water by Activated Carbon, Produced from Waste Coal Material", *Bulgarian Chemical Communications*, 46, 2.
28. Vázquez-Rowe, I., R. Kahhat, I. Quispe and M. Bentín (2016). "Environmental Profile of Green Asparagus Production in a Hyper-arid Zone in Coastal Peru", *Journal of Cleaner Production*, *112*.
29. Wu, G. C., J. H. Ding and P. S. Chen (2012). "The Effects of GSCM Drivers and Institutional Pressures on GSCM Practices in Taiwan's Textile and Apparel Industry", *International Journal of Production Economics*, 135(2).
30. Yongming, H., D. Peixuan, C. Junji and E. S. Posmentier (2006). "Multivariate Analysis of Heavy Metal Contamination in Urban Dusts of Xi'an, Central China", *Science of the Total Environment*, 355(1).
31. Zailani, S., K. Govindan, M. Iranmanesh, M. R. Shaharudin and Y. S. Chong (2015). "Green Innovation Adoption in Automotive Supply Chain: the Malaysian Case", *Journal of Cleaner Production*, 108.
32. Zhang, W., Y. Ma, C. Wang, S. Li, M. Zhang and F. Chu (2013). "Preparation and Properties of Lignin–phenol–formaldehyde Resins Based on Different Biorefinery Residues of Agricultural Biomass", *Industrial Crops and Products*, 43.