چشم‌انداز مدیریت صنعتی
سال هشتم، شماره ۳۲، زمستان ۱۳۹۷
شاپای چاپی: ۹۸۷۴-۲۲۵۱، شاپای الکترونیکی: ۴۱۶۵-۲۶۴۵
ص‌ص ۱۱۹ – ۹۷

تحلیل روابط علّی بین شاخص‌های بهره‌وری سبز با رویکرد نگاشت‌شناختی فازی

مهدی نیک‌شاپوری*، طیبه عباس‌نژاد، رضا احمدی کهنعلی*****

چکیده

بهره‌وری سبز رویکردی است که در جهت توسعه پایدار معرفی شده است. هدف این پژوهش شناسایی شاخص‌های بهره‌وری سبز و تعیین روابط بین شاخص‌ها به‌منظور ارائه مدل از طریق نگاشت‌شناختی فازی است. روش نگاشت‌شناختی فازی به‌کاررفته در این پژوهش مبتنی بر FCM خودکار رودریگز ـ رپسیو و همکاران (۲۰۰۷) بوده و جامعه آماری پژوهش شامل کلیه کارشناسان «شرکت پلاستونیک» است. شاخص‌های بهره‌وری سبز از طریق مطالعات کتابخانه‌ای و مبانی نظری پژوهش شناسایی شد و با استفاده از چهار ماتریس شامل ماتریس تأثیر اولیه، ماتریس تأثیر فازی، ماتریس قدرت تأثیر روابط و ماتریس تأثیر نهایی و همچنین نرم‌افزار Mental Modeler نگاشت‌شناختی فازی ایجاد شد. نگاشت‌شناختی ساخته‌شده نشان‌دهنده روابط میان شاخص‌های بهره‌وری سبز و وزن میان آن‌ها است. با توجه به مدل ایجادشده، چهار سیاست یا سناریو در نرم‌افزار طراحی شد تا تغییرات نسبی هر شاخص مشخص شود. درنهایت سناریو چهارم با بیشترین تأثیر مثبت بر سایر شاخص‌ها به‌عنوان بهترین سناریو از بین سناریوهای طراحی شده انتخاب گردید.

کلیدواژه‌ها: بهره‌وری؛ بهره‌وری سبز؛ توسعه پایدار؛ فازی؛ نگاشت‌شناختی فازی.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۷/۰۲/۳۰، تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۱۲/۱۰.

* دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه هرمزگان.
** استادیار، دانشگاه هرمزگان (نویسنده مسئول).
E-mail: t.abbasnejad@gmail.com
*** دانشیار، دانشگاه هرمزگان.

۱. مقدمه

سازمان‌های جهانی همواره به دنبال دستیابی به مزیت رقابتی از طریق خلق نوآوری و روش‌های جدید هستند. برخی از این سازمان‌ها از طریق بهبود عملکرد زیست‌محیطی با رعایت قوانین و استانداردهای زیست‌محیطی در محصولات و خدمات خود مزیت رقابتی به‌دست می‌آورند [۴،۱۷]. یکی از منابع اصلی آلوده‌کننده محیط‌زیست، صنایع شیمیایی هستند. در حال حاضر این صنایع در اقتصاد جهانی جدید، مواد خام (نفت، گاز، هوا، آب، فلزات و مواد معدنی) را به بیش از هفتاد هزار نوع محصول مختلف (الیاف مصنوعی، پلاستیک، آفت‌کش، رنگ، تولیدات دارویی و غیره) تبدیل می‌کنند [۱۲]. افزایش هزینه‌های ناشی از آسیب‌های زیست‌محیطی، افزایش دانش و آگاهی شرکت‌ها در مورد اثرات سوء فعالیت‌های اقتصادی بر منابع طبیعی و به‌تبع آن بدترشدن کیفیت زندگی، شرکت‌ها را بر آن داشته است که راهکارهای رشد و توسعه اقتصادی خود را بازنگری کنند [۱۳].

بهره‌وری سبز به‌عنوان رویکردی جامع، همه جریانات از تأمین‌کنندگان به تولیدکنندگان و درنهایت مصرف‌کنندگان را دربرمی‌گیرد [۳۷]. هدف بهره‌وری سبز رسیدن به سطح بالاتری از بهره‌وری برای تأمین نیازهای جامعه و مراقبت و افزایش کیفیت زیست‌محیطی، هم در سطح محلی و هم در سطح کلان است؛ به‌بیان‌دیگر افزایش حفاظت و حمایت از محیط‌زیست به‌طوری‌که موجب افزایش سودآوری نیز باشد [۳۴]. بهره‌وری سبز نوعی استراتژی کاربرد روش‌ها، فناوری‌ها و سیستم‌های مدیریتی خاص برای تولید کالاها و خدمات سازگار با محیط‌زیست است. پژوهش‌های زیادی در زمینه بهره‌وری سبز در صنایع مختلف صورت گرفته است؛ اما در این پژوهش‌ها تنها به معرفی شاخص‌ها پرداخته شده و هیچ یک به بررسی روابط بین شاخص‌ها با یکدیگر و تأثیر هر یک از این شاخص‌ها بر دیگری نپرداخته‌اند. ازآنجاکه بهره‌وری سبز شاخص‌های متعددی را دربر می‌گیرد، برای اجرای آن در سازمان باید روابط علّی بین شاخص‌های آن موردبررسی قرار گیرد تا تأثیرگذارترین شاخص‌های آن در سازمان شناسایی شود. بدین منظور پژوهش حاضر در نظر دارد تا ضمن بررسی شاخص‌های بهره‌وری سبز صنعت محصولات پلی‌اتیلنی و پلاستیکی در «شرکت پلاستونیک» شهرک صنعتی شهرستان ساری و تأثیر آن‌ها بر کاهش آلودگی محیط‌زیست با استفاده از نگاشت‌شناختی فازی، مدل و راهکارهایی برای بهره‌وری بالاتر منابع با کمترین آسیب به محیط‌زیست ارائه کند. هدف پژوهش شناسایی شاخص‌های بهره‌وری سبز و بررسی روابط و ارائه مدلی برای شاخص‌های بهره‌وری سبز است؛ به‌تبع آن پژوهش به دنبال پاسخ به این سؤال‌ها است که شاخص‌های بهره‌وری سبز کدام‌اند؟ و چه رابطه‌ای بین شاخص‌های بهره‌وری سبز وجود دارد؟

۲. مبانی نظری و پیشینه پژوهش

بهره‌وری سبز در سال ۱۹۹۴ برای نخستین بار توسط «سازمان بهره‌وری آسیا» به‌عنوان یک مفهوم مطرح شده و کمیته‌ای توسط این سازمان تعیین شد تا ارتباط بین استراتژی‌های توسعه اقتصادی و ملاحظات زیست‌محیطی را در ۱۹ کشور عضو آن زمان سازمان بررسی کند. اندک‌اندک این پژوهش‌ها گسترده‌تر شد و ابزارها و فنون متفاوتی برای گسترش این مفهوم به‌کار رفت [۳۴]. مهنتی و دشماخ (۱۹۹۹) از طریق مشاهدات و جلسه‌های طوفان ذهنی با کارکنان ۸ عامل مواد اولیه (ورودی)، نیروی انسانی، تعمیر و نگهداری، عملیات، معدن، موجودی، انرژی و محصول نهایی (خروجی) را به‌عنوان ضایعات شرکت تولیدی در زمینه معدن و زمین‌شناسی در هند، معرفی کردند که علل هر عامل با استفاده از ابزارهایی مانند نمودار علت و معلول پارتو شناسایی شد [۲۲]. شیرمن و همکاران (۲۰۰۳) پس از تعریف مفهوم بهره‌وری سبز، ۲۸ راه مختلف را برای اندازه‌گیری و برانگیختن آن معرفی کردند. آن‌ها ۱۳ شاخص GRI[1] شامل انرژی، مواد، آب، انتشار، پساب و زباله، بازگشت زباله به فرآیند یا بازار، زباله‌های واردشده به زمین، تولید گازهای گلخانه‌ای به هوا، فاضلاب‌های واردشده به آب، حمل‌ونقل، تأمین‌کننده، محصولات و خدمات، استفاده از زمین یا تنوع زیستی را برای اندازه‌گیری اثرات زیست‌محیطی پیشنهاد کردند [۳۱]. تاتل و هیپ (۲۰۰۷) مدلی در راستای بهبود دستیابی به بهره‌وری بالاتر و اثرات زیست‌محیطی کمتر ارائه کردند. رویکرد این مطالعه، توسعه تفکر پیرامون بهره‌وری سبز و قیاسی برای تجزیه‌وتحلیل عمومی و بهبود این چارچوب بود. نتایج پژوهش نشان داد که شرکت‌ها باید برای انجام مسئولیت‌های اجتماعی به‌طور جدی تلاش کنند و باید قادر به یافتن راه‌های جدید بهبود عملکرد کسب‌وکار، منطبق با قوانین زیست‌محیطی باشند [۳۴].

آکسوی و گونل (۲۰۱۵) رابطه بین رشد صنعتی و آلاینده‌های صنعتی را در ترکیه بررسی کردند. مدل ارائه‌شده، کل چرخه عمر یک محصول است که شامل کاهش منبع (ورودی سبز)، طراحی برای محیط‌زیست و به‌حداقل‌رساندن ضایعات (فرآیندهای سبز)، استفاده سبز و مدیریت چرخه عمر سبز است. در طول فرآیند تولید پاک از تجزیه‌وتحلیل موازنه جرم، تکنیک‌های تجزیه‌وتحلیل ریسک و ارزیابی چرخه عمر به‌عنوان ابزار و روش استفاده شد [۳]. ندافی و همکاران (۱۳۸۷) منابع مختلف آب، انرژی، کاغذ و مواد زائد جامد در «کتابخانه ملّی ایران» و همچنین مدیریت مصرف این منابع را بررسی کردند. درنهایت راهکارها و پیشنهادهای مدیریتی و اجرایی ارائه شد [۲۵]. محرم‌نژاد و آذرکمند (۱۳۸۸) مصرف آب و حامل‌های انرژی، مصارف مواد و اقلام انرژی، مصرف سوخت خودرو و هواپیما و سپس آلودگی زیست‌محیطی «شرکت هواپیمایی آسمان» را از سال ۱۳۸۲ تا ۱۳۸۴ بررسی کردند و در انتها راهکارهایی برای افزایش

1. Global Reporting Initiative

بهره‌وری سبز در این شرکت مطرح کردند [۲۳]. مهریزی و همکاران (۱۳۹۰) با بررسی مواد اولیه و انرژی، مصرف برق و مصرف آب در صنعت نساجی، گزینه‌های بهره‌وری سبز را به‌عنوان راهکارهای بهره‌وری سبز در جهت تنظیم اهداف و مقاصد بهره‌وری سبز ارائه کردند [۲۰]. فلاح و همکاران (۱۳۹۴) مؤلفه‌های بهره‌وری سبز در «سازمان مترو تهران» را شناسایی و رتبه‌بندی کردند. بعد از مقایسه زوجی مؤلفه‌های اصلی پژوهش، یعنی مدیریت، فرهنگ، آموزش و پژوهش و مقررات با استفاده از تکنیک FAHP، قوانین و مقررات در رتبه اول و مدیریت در رتبه آخر قرار گرفت [۱۰]. عباسی و همکاران (۱۳۹۵) جایگاه مدیریت منابع انسانی سبز در سازمان‌های دولتی را بررسی کردند و راهکارهایی به‌منظور افزایش بهره‌وری و حفظ محیط‌زیست و سبزشدن آن ارائه دادند [۱]. شاخص‌های بهره‌وری سبز از طریق مطالعات کتابخانه‌ای و مبانی نظری پژوهش، شناسایی شدند. جدول ۱، شاخص‌های استخراج‌شده از پیشینه پژوهش را بر اساس بیشترین تعداد تکرار نشان می‌دهد.

جدول ۱. شاخص‌های شناسایی شده از پیشینه

شاخص‌ها	تعداد تکرار	پژوهشگران
پسماند	۹	چیو و گیلبرت (۲۰۰۱)، شیرمن و همکاران (۲۰۰۳)، دستنامه بهره‌وری سبز APO (۲۰۰۶)، ویکوف (۲۰۱۴)، جورتی (۲۰۱۶)، محرم‌نژاد و آذرکمند (۱۳۸۸)، ساری و جشفقانی(۱۳۸۹)، عابدی و همکاران (۱۳۹۳)، کلته و همکاران (۱۳۹۴)
مصرف انرژی	۷	چیو و گیلبرت (۲۰۰۱)، شیرمن، کیوچی و هاندل (۲۰۰۳)، دستنامه بهره‌وری سبز APO (۲۰۰۶)، ویکوف (۲۰۱۴)، لی و لین (۲۰۱۷)، لی و وو (۲۰۱۶)، جورتی (۲۰۱۶)
حمل و نقل و تدارکات	۷	شیرمن و همکاران (۲۰۰۳)، ترانیک، (۲۰۰۶)، دستنامه بهره‌وری سبز APO (۲۰۰۶)، جورتی (۲۰۱۶)، والتون، (۲۰۱۲)، شاه‌بندرزاده و جعفری (۱۳۹۴)، معزز و عزیزی (۱۳۹۵)
آلودگی هوا	۷	شیرمن و همکاران (۲۰۰۳)، لی و لین (۲۰۱۷)، گیستی و کواترارو (۲۰۱۷)، ساری و جشفقانی (۱۳۸۹)، جعفری و همکاران (۱۳۹۰)، سلطانی‌فر و دماری (۱۳۹۵)، OECD (۲۰۱۳)، مرتضوی و سیف برقی (۱۳۹۷)، بیانی مجد و همکاران (۱۳۹۵)
مصرف آب	۶	چیو و گیلبرت (۲۰۰۱)، شیرمن و همکاران (۲۰۰۳)، ویکوف (۲۰۱۴)، محرم‌نژاد و آذرکمند (۱۳۸۸)، جعفری و همکاران (۱۳۹۰)، عابدی و همکاران (۱۳۹۳)
مواد اولیه	۴	شیرمن و همکاران (۲۰۰۳)، دستنامه بهره وری سبز APO (۲۰۰۶)، OECD (۲۰۱۳)، ویکوف (۲۰۱۴)
آلودگی صوتی	۳	دستنامه بهره‌وری سبز APO (۲۰۰۶)، محرم‌نژاد و آذرکمند (۱۳۸۸)، معزز و عزیزی (۱۳۹۵)
مصرف کاغذ	۲	چیو و گیلبرت (۲۰۰۱)، ویکوف (۲۰۱۴)

برای بررسی و شناسایی شاخص‌های بهره‌وری سبز، علاوه بر مطالعات کتابخانه‌ای، چند مرحله نظرسنجی با تعدادی از کارشناسان شرکت برای تعیین و به‌اصطلاح بومی‌سازی شاخص‌ها و زیرشاخص‌های بهره‌وری سبز صورت گرفت. درنهایت ۸ شاخص اصلی بر اساس مبانی نظری استخراج شد و طی مشورت با کارشناسان خبره، برای برقراری ارتباط بین آن‌ها نیاز به تعریف زیرشاخص‌هایی برای هر شاخص مطرح شد؛ به این صورت که برای هر شاخص، زیرشاخص‌هایی در نظر گرفته شود و در قالب این شاخص‌ها طبقه‌بندی شوند. با بررسی پژوهش‌ها و مستندات موجود و مراجعه به «سازمان حفاظت از محیط‌زیست» و بررسی اسناد و مدارک و وب‌سایت این سازمان، در قسمت مدیریت سبز، چک‌لیست‌هایی برای سنجش و ارزیابی زیرشاخص‌های بهره‌وری سبز مرتبط با هر شاخص اصلی ارائه شده است [۹]. این چک‌لیست‌ها شامل زیرشاخص‌هایی برای هر یک از شاخص‌های در نظر گرفته شده که هر یک شامل اقداماتی برای بهبود سیستم بهره‌وری سبز است. درنهایت ۲۲ زیرشاخص در قالب ۸ شاخص اصلی دسته‌بندی شد. جدول ۲، شاخص‌های اصلی و زیرشاخص‌های بهره‌وری سبز نهایی این پژوهش را نشان می‌دهد.

جدول ۲. شاخص‌های اصلی و زیرشاخص‌های بهره‌وری سبز در پژوهش

۱	**مواد اولیه**	۱	مواد اولیه تجزیه‌پذیر و قابل‌بازیافت	۵	**مصرف کاغذ**	۱۱	بهبود سیستم مصرف کاغذ
						۱۲	اقدامات فرهنگی مصرف کاغذ
		۲	طراحی سازگار با محیط‌زیست	۶	**مصرف انرژی**	۱۳	جلوگیری از اتلاف انرژی
						۱۴	بازیابی انرژی
۲	**آلودگی هوا**	۳	بهبود کیفیت هوای داخلی			۱۵	مصرف تجهیزات اداری و سیستم روشنایی
		۴	بهبود کیفیت هوای بیرونی			۱۶	فرهنگ‌سازی مصرف انرژی
		۵	کاهش پخش مواد آلرژی‌زا	۷	**حمل‌ونقل و تدارکات**	۱۷	مدیریت حمل‌ونقل
۳	**آلودگی صوتی**	۶	کاهش صداهای مزاحم داخلی			۱۸	جابه‌جایی داخلی کالا
		۷	کاهش صداهای مزاحم خارجی			۱۹	مدیریت انبار
٤	**مصرف آب**	۸	جلوگیری از اتلاف آب	۸	**پسماند**	۲۰	کاهش زباله جامد
		۹	پایش مصرف آب			۲۱	کاهش اثرات زیست‌محیطی به هوا
		۱۰	مصارف آب در بخش‌های غیرتولیدی			۲۲	کاهش میزان فاضلاب

۳. روش‌شناسی پژوهش

پژوهش حاضر از نوع کاربردی-توصیفی است و برای تحلیل داده‌ها از روش نگاشت‌شناخت فازی (FCM)[1] استفاده شده است. FCM با ارائه یک ساختار پیچیده تصمیم‌گیری، همه شرایط ممکن مربوط به مشکل که تصمیم‌گیرندگان نیاز دارند بدانند را با استفاده از یک مکانیسم بسیار عالی برای حمایت از فرآیند تصمیم‌گیری فراهم می‌کند. نگاشت‌های شناختی فازی نوعی ابزار گرافیکی برای نمایش باورها و ایده‌ها، ادراکات و تفاسیر از یک موقعیت مبتنی بر دانش و تجربه فرد یا گروه هستند که با دو عنصر مفهوم و رابطه علّی بین مفاهیم توصیف می‌شوند. گره یا مفهوم به یک موجودیت، یک وضعیت یا ویژگی از یک سیستم اشاره دارد.

یک یال جهت‌دار نمایانگر رابطه علّی وزن‌دار بین مفاهیم علّت و معلول است. این وزن‌ها می‌تواند یک مقدار ایستای قطعی یا مقداری فازی باشد. رودریگز ـ رپسیو و همکاران (۲۰۰۷) در مقایسه‌ای که بین روش FCM با روش AHP و روش زنجیره موفقیت بحرانی[2] انجام دادند، نشان دادند که مزیت نگاشت‌شناختی فازی در این است که حتی اگر نگاشت اولیه از مفاهیم مسئله، ناقص یا صحیح باشد می‌تواند پارامترها یا مفاهیم جدیدی به آن افزود و آن را توسعه داد و تأثیرات این مفاهیم جدید به سرعت دیده می‌شود. این امتیازی در برابر بسیاری از روش‌های کمّی است که حساب و کتاب هر مفهوم بدون دشواری و زحمت زیاد انجام می‌گیرد. علاوه‌براین تحلیل یک مسئله ویژه به تحلیل‌گران این فرصت را می‌دهد تا تصویری کلی که شامل مفاهیم مسئله است را مشاهده کنند؛ بنابراین دیدگاه استراتژیک و وسیع‌تری را در تحلیل به‌کار گیرند [۲۸].

رودریگز ـ رپسیو و همکاران (۲۰۰۷)، یک روش پیشرفته چهار مرحله‌ای برای FCM پیشنهاد کردند. در این مطالعه از این روش چهار مرحله‌ای برای یافتن نتایج FCMها استفاده شده است. نسخه پذیرفته‌شده این روش شامل چهار ماتریس است که عبارت‌اند از: ماتریس تأثیر اولیه (IIM)[3]؛ ماتریس تأثیر فازی (FZIM)[4]؛ ماتریس قدرت تأثیر روابط (SIRM)[5] و ماتریس تأثیر نهایی (FMI)[6] که برای اجرای FCM استفاده می‌شود. این روش مبتنی بر FCM خودکار اشنیدر و همکاران (۱۹۹۸) است [۲۹]. اگرچه روش پیشنهادشده توسط رودریگز ـ رپسیو و همکاران (۲۰۰۷)، برای ارزیابی شاخص‌های موفقیت در پروژه‌های فناوری اطلاعات توصیه می‌شود، اما با توجه به نظر اشنیدر و همکاران (۱۹۹۸) مدل پایه آن را می‌توان برای اهداف دیگر توسعه داد. برای بررسی روابط بین شاخص‌های بهره‌وری سبز از روش نگاشت‌شناخی فازی

1. Fuzzy Cognitive Map
2. Critical Success Chains
3. Initial Influence Matrix
4. Fuzzified Influence Matrix
5. Strength of Influence Relationships Matrix
6. Final Matrix of Influence

خودکار استفاده شد. این روش شامل پنج مرحله و چهار ماتریس است که پس از ایجاد این ماتریس‌ها، مدل نگاشت‌شناختی فازی شاخص‌های بهره‌وری سبز طراحی می‌شود. در مرحله نخست برای ساخت ماتریس تأثیر اولیه (IIM) اهمیت شاخص‌ها در سیستم بر اساس دیدگاه‌های کارشناسان تعیین می‌شود. ماتریس تأثیر اولیه یک ماتریس [n × m] است که n تعداد شاخص‌ها و m تعداد اطلاعات موردنظر جمع‌آوری‌شده از کارشناسان است. هر آرایه‌ای در این ماتریس (O_{ij}) اهمیت معیار i را به سیستم بر اساس دیدگاه متخصص j نشان می‌دهد. آرایه‌های O_{i1}، O_{i2}، ...، O_{im} توسط بردار V_i نشان داده می‌شود و نمایانگر نظر یک متخصص درباره شاخص‌های مختلف است. در مرحله دوم برای ساخت ماتریس تأثیر فازی (FZIM)، بردارهای عددی V_i به مجموعه‌های فازی تبدیل می‌شوند که هر عنصر از مجموعه فازی، درجه عضویت مؤلفه O_{ij} از بردار V_i را به خود اختصاص می‌دهد؛ به‌عبارت‌دیگر سطح وابستگی هر آرایه تعیین می‌شود. این سطح وابستگی با استفاده از تابع عضویت مجموعه فازی به شکل یک عدد واقعی در فاصله [۰، ۱] بیان می‌شود. بردار عددی به روش زیر به مجموعه‌های فازی با مقادیر درون بازه [۰، ۱] تبدیل می‌شود: حداکثر مقدار را در V_i بیابید و $X_i = 1$ را به آن اختصاص دهید؛ یعنی:

$$MAX(O_{iq}) => X_i(O_{iq}) = 1$$ معادله (۱)

حداقل مقدار را در V_i بیابید و $X_i = 0$ را به آن اختصاص دهید؛ یعنی:

$$MIN(O_{ip}) => X_i(O_{ip}) = 0$$ معادله (۲)

تمام عناصر دیگر بردار V_i را در فاصله [۰، ۱] به‌صورت متناسب محاسبه می‌شود؛ یعنی:

$$X_i(O_{ij}) = \frac{O_{ij} - Min(O_{ip})}{Max(O_{iq}) - Min(O_{ip})}$$ معادله (۳)

که $X_i(O_{ij})$ درجه عضویت عنصر O_{ij} به بردار V_i است. $X_i(O_{ij})$ درجه عضویت مقادیر در ماتریس IIM، O_{ij} اهمیت هر شاخص در ماتریس IIM، $Min(O_{ip})$ حداقل مقدار در ماتریس IIM و $Max(O_{iq})$ حداکثر مقدار در ماتریس IIM است.

در این مرحله که ارزش‌ها به‌طور مستقیم در فاصله [۰، ۱] قرار می‌گیرند، ممکن است تعیین درجه عضویت شاخص‌ها نتایجی متناسب با دنیای واقعی را منعکس نکند و منطقی نباشد. در این موارد معرفی یک مقدار آستانه به‌عنوان حد بالا و حد پایین توسط متخصص برای تحلیل داده‌ها

موردنیاز است؛ بنابراین اگر V_i بردار عددی از عناصر m مربوط به مفهوم "i" باشد و O_{ij}، با j= 1,2,….m اجزاء V_i باشند، مقادیر آستانه بالا و پایین (به‌ترتیب α_u و α_l) به شرح زیر است:

معادله (۴) $\forall\, O_{ij}(O_{ij} \geq \alpha_u) => X_i(O_{ij}) = 1$

معادله (۵) $\forall\, O_{ij}(Oij \leq \alpha_l) => X_i(O_{ij}) = 0$

مرحله سوم ساخت ماتریس قدرت تأثیر روابط (SIRM) است. ماتریس قدرت تأثیر روابط، یک ماتریس [n × n] است که در آن ستون‌ها و ردیف‌ها هر دو، شاخص‌های سیستم هستند و سه حالت احتمالی بین متغیرها را نشان می‌دهد. هر آرایه S_{ij} نشان‌دهنده همبستگی بین عوامل i و j است و مقدار آن بین ۱− تا ۱+ قرار دارد. هر شاخص به‌صورت یک بردار عددی S_{ij} از n جزء تشکیل شده است، یکی برای هر مفهوم که در نقشه نمایش داده می‌شود. برای هر جفت بردارها با همبستگی مستقیم و مثبت یا همبستگی منفی و غیرمستقیم، محاسبات مختلف موردنیاز است. اگر بردارهای V_1 و V_2 دارای همبستگی مستقیم باشند، نزدیک‌ترین همبستگی برای هر (j = 1.... m) :j زمانی است که $X_1\ (V_j) = X_2\ (V_j)$. با محاسبه SIRM، می‌توان سه نوع همبستگی به‌دست آورد [۱۶]:

ـ S_{ij}>0 نشان‌دهنده رابطه مستقیم (مثبت) بین مفاهیم "i" و "j" است؛ یعنی افزایش ارزش مفهوم "i" به افزایش ارزش مفهوم "j" منجر می‌شود.

ـ S_{ij}<0 نشان‌دهنده علّیت معکوس (منفی) بین مفاهیم "i" و "j" است؛ یعنی افزایش ارزش مفهوم "i" به کاهش ارزش مفهوم "j" منجر می‌شود.

ـ S_{ij}= 0 نشان‌دهنده نبود ارتباط بین مفاهیم "i" و "j" است؛ بنابراین هنگام اختصاص‌دادن ارزش به S_{ij}، باید سه پارامتر در نظر گرفته شود:

۱. علامت (یا قطبیت) S_{ij}، که نشان می‌دهد ارتباط بین مفاهیم "i" و "j" مستقیم یا معکوس است.

۲. قدرت S_{ij} نشان می‌دهد که چگونه مفهوم "i" مفهوم "j" را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

۳. جهت علّیت که نشان می‌دهد که آیا مفهوم "i" باعث مفهوم "j" می‌شود و یا برعکس.

همبستگی (نزدیک‌بودن) رابطه بین دو بردار V_1 و V_2 با محاسبه «شباهت» بین این دو بردار از طریق تعیین قدرت رابطه بین مفاهیم ۱ و ۲ مرتبط با این دو بردار که توسط مفهوم S_{12} در SRMS معرفی می‌شود، به‌دست می‌آید. همبستگی رابطه بین دو بردار مبتنی بر مفهوم فاصله بین بردارها است. روش ریاضی زیر برای محاسبه «شباهت» بین دو بردار پیشنهادشده توسط اشنیدر و همکاران است [۳۱].

محاسبات برای بردارهایی که به‌طور مستقیم مرتبط هستند و آن‌هایی که به‌طور معکوس مرتبط هستند، متفاوت است. اگر بردارهای V_1 و V_2 به‌طور مستقیم مرتبط باشند، نزدیک‌ترین رابطه بین آن‌ها زمانی است که برای هر $j\ (j = 1 \dots m)$، $X_1(V_j) = X_2(V_j)$. فاصله بین عناصر V_1 و V_2 برابر است با:

معادله (۶) $$d_j = |X_1(V_j) - X_2(V_j)|$$

سپس AD،[1] که فاصله متوسط بین V_1 و V_2 است، به صورت زیر محاسبه می‌شود:

معادله (۷) $$AD = \frac{\sum_{j=1} |d_j|}{m}$$

بنابراین مقدار همبستگی بین دو بردار نشان‌دهنده S خواهد بود:

معادله (۸) $$S = 1 - AD$$

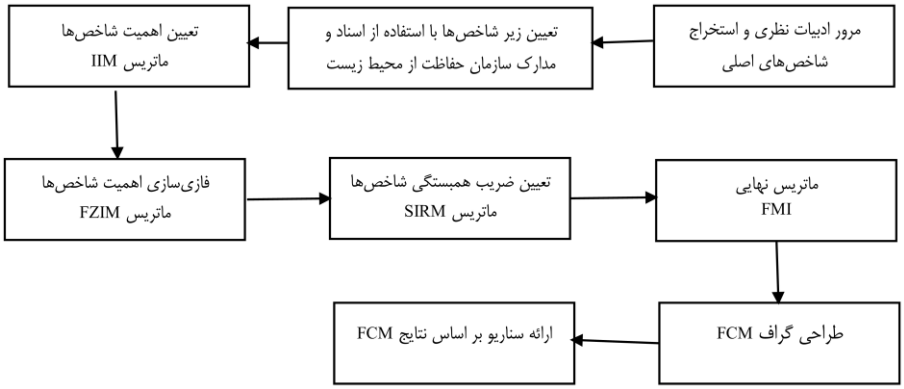
جایی که $S = 1$، همبستگی کامل است و $S = 0$ نشان‌دهنده حداکثر عدم‌همبستگی است؛ با این حال اگر بردارهای V_1 و V_2، رابطه معکوس داشته باشند، محاسبات کمی متفاوت خواهد بود. در چنین شرایطی، فرمول فاصله بین عناصر متناظر فاصله بین V_1 و V_2 به‌صورت زیر است و بقیه محاسبات به همان صورت باقی می‌مانند:

معادله (۹) $$d_j = |X_1(V_j) - (1 - X_2(V_j))|$$

با تکمیل ماتریس SIRM، برخی از اطلاعات موجود در آن می‌تواند داده‌های گمراه‌کننده‌ای باشد. همیشه ارتباط علّیت میان شاخص‌ها وجود ندارد. برای تجزیه‌وتحلیل داده‌ها و تبدیل ماتریس SIRM به ماتریس FMI، نظر متخصصان ضروری است و تنها شامل اجزای عددی فازی بوده که نشان‌دهنده روابط علّیت بین شاخص‌ها است. هنگام تجزیه‌وتحلیل داده‌ها در ماتریس SIRM، دو بردار می‌توانند به‌صورت تصادفی مرتبط باشند. بردارها ممکن است رابطه نزدیک ریاضی را نشان دهند؛ به‌طوری‌که در حالت منطقی دو مفهوم یا شاخص ممکن است کاملا غیرمرتبط باشند. این روابط نامناسب می‌تواند توسط متخصصان به‌راحتی شناسایی و حذف شود. مرحله آخر نمایش گرافیکی، ماتریس تأثیر نهایی در قالب یک FCM است که نگاشت شاخص‌های بهره‌وری سبز را ایجاد می‌کند. در نمودار نهایی، هر فلش متصل‌کننده شاخص "i" و

1. Average Distance

"j" دارای وزن مجاز $\pm W_{ij}$ است. این مقدار، قدرت رابطه مستقیم یا معکوس علّیت بین هر دو عامل را نشان می‌دهد که ارزش موجود در ماتریس تأثیر نهایی (FMI) در سلول داده‌شده توسط ردیف "i" و ستون "j" است. فرآیند اجرای پژوهش در شکل ۱، ارائه شده است. جامعه آماری پژوهش تمامی کارشناسان «شرکت پلاستونیک» فعال در بخش‌های مختلف آن هستند. روش نمونه‌گیری از نوع قضاوتی (غیراحتمالی هدفدار) است. در این نوع نمونه‌گیری، افرادی به‌عنوان نمونه انتخاب می‌شوند که برای ارائه اطلاعات موردنیاز در بهترین موقعیت قرار دارند. دلیل انتخاب این افراد به‌عنوان نمونه پژوهش، دانش لازم و سابقه و تجربه نسبتاً قابل‌قبول آن‌ها در مبحث مربوطه است.



شکل ۱. فرآیند اجرای پژوهش

٤. تحلیل داده‌ها و یافته‌های پژوهش

مشخصات جمعیت‌شناختی نمونه پژوهش در جدول ۳، ارائه شده است.

جدول ۳. مشخصات جمعیت‌شناختی نمونه پژوهش

کارشناسان	موقعیت سازمانی	سابقه فعالیت	جنسیت	تحصیلات
کارشناس ۱	مدیر عامل	۱۱	مرد	لیسانس
کارشناس ۲	مسئول منابع انسانی	۵	مرد	فوق‌دیپلم
کارشناس ۳	مسئول ایمنی و بهداشت	۹	زن	لیسانس
کارشناس ۴	مدیر تولید	۸	مرد	لیسانس
کارشناس ۵	سرپرست فنی و مهندسی	۳	مرد	لیسانس
کارشناس ۶	کارشناس تضمین کیفیت	۳	زن	فوق‌لیسانس
کارشناس ۷	مسئول انبار	۱۱	مرد	لیسانس
کارشناس ۸	مسئول برنامه‌ریزی	۲	زن	فوق‌لیسانس
کارشناس ۹	مسئول لجستیک	۹	مرد	لیسانس
کارشناس ۱۰	مسئول مهندسی تولید و تعمیرات	۲	مرد	لیسانس

در مرحله نخست نگاشت‌شناختی فازی، یعنی ساخت ماتریس تأثیر اولیه، از کارشناسان خواسته شد تا اهمیت هر یک از زیرشاخص‌ها را در سیستم بهره‌وری سبز در بازه صفر تا ۱۰۰ (ضریب ۵) مشخص کنند. ازآنجاکه اعداد واردشده در این ماتریس تولیدکننده ماتریس‌های بعدی است، از کارشناسان درخواست شد که این اعداد را با دقت بالایی وارد کنند. هر ۱۰ کارشناس اهمیت هر یک از شاخص‌ها را از دیدگاه خود اعلام کردند که وارد نرم‌افزار Excel شد. جدول ۴، ماتریس تأثیر اولیه (IIM) را نشان می‌دهد.

جدول ۴. ماتریس تعیین اهمیت شاخص‌ها (IIM)

زیرشاخص‌های بهره‌وری سبز	کارشناسان									
	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
مواد اولیه تجزیه‌پذیر و قابل‌بازیافت	۴۰	۵۰	۶۰	۹۰	۹۰	۷۰	۹۵	۵۰	۶۰	۹۰
طراحی سازگار با محیط‌زیست	۵۵	۳۰	۳۰	۳۰	۶۰	۶۰	۹۰	۳۰	۵۰	۹۰
بهبود کیفیت هوای داخلی	۳۰	۶۰	۴۰	۷۰	۳۵	۵۰	۷۰	۵۰	۷۰	۷۰
بهبود کیفیت هوای بیرونی	۳۰	۵۰	۳۰	۷۰	۵۰	۶۰	۷۰	۵۰	۶۰	۴۰
کاهش پخش مواد آلرژی‌زا	۲۵	۶۰	۲۵	۳۰	۶۰	۳۰	۳۰	۳۰	۵۰	۳۰
کاهش صداهای مزاحم داخلی	۶۰	۷۰	۷۵	۸۰	۶۰	۶۰	۷۰	۶۰	۶۰	۶۰
کاهش صداهای مزاحم خارجی	۶۰	۶۰	۷۰	۷۰	۷۰	۵۰	۵۰	۶۰	۶۰	۴۰
جلوگیری از اتلاف آب	۷۰	۶۵	۸۰	۸۵	۸۰	۸۰	۷۰	۶۵	۷۰	۷۰
پایش مصرف آب	۷۰	۴۵	۷۵	۸۵	۷۰	۸۰	۶۰	۷۰	۶۵	۶۰
مصارف آب در بخش‌های غیرتولیدی	۳۰	۵۰	۶۰	۷۵	۵۰	۳۰	۵۰	۵۰	۵۰	۷۰
بهبود سیستم مصرف کاغذ	۸۰	۶۵	۷۰	۷۰	۶۰	۷۰	۶۰	۶۰	۷۰	۸۰
اقدامات فرهنگی مصرف کاغذ	۶۰	۵۵	۸۰	۶۰	۷۰	۵۰	۷۵	۵۰	۷۰	۸۵
جلوگیری از اتلاف انرژی	۹۰	۵۰	۶۰	۸۵	۸۰	۷۰	۷۰	۸۰	۸۰	۸۰
بازیابی انرژی	۳۰	۶۰	۷۵	۷۰	۵۰	۴۰	۵۰	۳۰	۵۰	۳۰
مصرف تجهیزات اداری و سیستم	۶۰	۶۵	۷۰	۸۰	۴۰	۶۰	۸۰	۶۰	۷۰	۷۰
فرهنگ‌سازی مصرف انرژی	۶۵	۶۵	۶۰	۷۰	۴۰	۶۰	۶۵	۷۰	۸۰	۷۰
مدیریت حمل‌ونقل	۴۰	۶۰	۵۰	۶۰	۳۰	۴۰	۹۰	۴۰	۷۰	۸۰
جابه‌جایی داخلی کالا	۳۰	۶۰	۷۰	۶۰	۳۰	۳۰	۲۵	۳۰	۶۰	۸۰
مدیریت انبار	۶۰	۵۰	۲۰	۲۰	۳۰	۴۰	۷۰	۵۰	۷۰	۹۰
کاهش زباله جامد	۴۵	۴۰	۶۰	۷۰	۷۰	۷۰	۵۰	۶۰	۶۵	۶۰
کاهش اثرات زیست‌محیطی به هوا	۳۰	۳۰	۲۰	۳۵	۷۰	۶۰	۲۵	۶۰	۷۰	۷۰
کاهش میزان فاضلاب	۳۰	۴۰	۴۰	۷۰	۸۰	۵۰	۳۰	۶۰	۷۵	۶۰

ماتریس فازی‌شده نظرهای کارشناسان بر اساس معادلات ۱ تا ۵، در جدول ۵، آمده است.

جدول ۵. ماتریس فازی‌سازی اهمیت شاخص‌ها (FZIM)

زیرشاخص‌های بهره‌وری سبز	کارشناسان									
	۱	۲	۳	٤	٥	٦	۷	۸	۹	۱۰
C۱	۰/۳۳	۰/۵	۰/۶۷	۱	۱	۰/۸۳	۱	۰/۵	۰/۶۷	۱
C۲	۰/۵۸	۰/۱۷	۰/۱۷	۰/۱۷	۰/۶۷	۰/۶۷	۱	۰/۱۷	۰/۵	۱
C۳	۰/۱۷	۰/۶۷	۰/۳۳	۰/۹۲	۰/۲۵	۰/۵	۰/۸۳	۰/۵	۰/۸۳	۰/۸۳
C۴	۰/۱۷	۰/۵	۰/۱۷	۰/۹۲	۰/۵	۰/۶۷	۰/۸۳	۰/۵	۰/۶۷	۰/۳۳
C۵	۰/۰۸	۰/۶۷	۰/۰۸	۰/۱۷	۰/۶۷	۰/۱۷	۰/۱۷	۰/۱۷	۰/۵	۰/۱۷
C۶	۰/۶۷	۰/۸۳	۰/۹۲	۱	۰/۶۷	۰/۶۷	۰/۸۳	۰/۶۷	۰/۶۷	۰/۶۷
C۷	۰/۶۷	۰/۶۷	۰/۸۳	۰/۸۳	۰/۸۳	۰/۵	۰/۵	۰/۶۷	۰/۶۷	۰/۳۳
C۸	۰/۸۳	۰/۷۵	۱	۱	۱	۱	۰/۸۳	۰/۷۵	۰/۸۳	۰/۸۳
C۹	۰/۸۳	۰/۴۲	۰/۹۲	۱	۰/۸۳	۱	۰/۶۷	۰/۸۳	۰/۷۵	۰/۶۷
C۱۰	۰/۱۷	۰/۵	۰/۶۷	۰/۹۲	۰/۵	۰/۱۷	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۸۳
C۱۱	۱	۰/۷۵	۰/۸۳	۰/۸۳	۰/۶۷	۰/۸۳	۰/۶۷	۰/۶۷	۰/۸۳	۱
C۱۲	۰/۶۷	۰/۵۸	۱	۰/۶۷	۰/۸۳	۰/۵	۰/۹۲	۰/۵	۰/۸۳	۱
C۱۳	۱	۰/۵	۰/۶۷	۱	۱	۰/۸۳	۰/۸۳	۱	۱	۱
C۱۴	۰/۱۷	۰/۶۷	۰/۹۲	۰/۸۳	۰/۵	۰/۳۳	۰/۵	۰/۱۷	۰/۵	۰/۱۷
C۱۵	۰/۶۷	۰/۷۵	۰/۸۳	۱	۰/۳۳	۰/۶۷	۱	۰/۶۷	۰/۸۳	۰/۸۳
C۱۶	۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۶۷	۰/۸۳	۰/۳۳	۰/۶۷	۰/۷۵	۰/۸۳	۱	۰/۹۲
C۱۷	۰/۳۳	۰/۶۷	۰/۵	۰/۶۷	۰/۱۷	۰/۳۳	۱	۰/۳۳	۰/۸۳	۱
C۱۸	۰/۱۷	۰/۶۷	۰/۸۳	۰/۶۷	۰/۱۷	۰/۱۷	۰/۰۸	۰/۱۷	۰/۶۷	۱
C۱۹	۰/۶۷	۰/۵	۰	۰	۰/۱۷	۰/۳۳	۰/۸۳	۰/۵	۰/۸۳	۱
C۲۰	۰/۴۲	۰/۳۳	۰/۶۷	۰/۸۳	۰/۸۳	۰/۸۳	۰/۵	۰/۶۷	۰/۷۵	۰/۶۷
C۲۱	۰/۱۷	۰/۲۵	۰	۰/۲۵	۰/۸۳	۰/۶۷	۰/۰۸	۰/۶۷	۰/۸۳	۰/۸۳
C۲۲	۰/۱۷	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۸۳	۱	۰/۵	۰/۱۷	۰/۶۷	۰/۹۲	۰/۶۷

ماتریس FZIM با استفاده از معادله‌های ۶ تا ۹ به ماتریس SIRM تبدیل شد که در جدول ۶، قسمتی از آن نشان داده شده است.

جدول ۶. ماتریس تعیین ضریب همبستگی بین شاخص‌ها (SIRM)

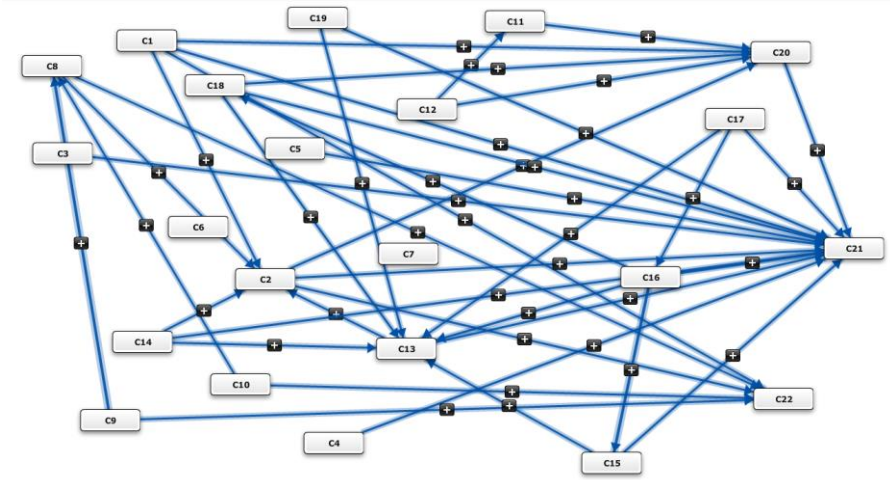
	C۱۲	C۱۳	C۱۴	C۱۵	C۱۶	C۱۷	C۱۸	C۱۹	C۲۰	C۲۱	C۲۲
C۱	۰/۸۲	۰/۸۳	۰/۶۴	۰/۷۹	۰/۷۳	۰/۷۷	۰/۶۴	۰/۷	۰/۸۳	۰/۶۴	۰/۷۲
C۲	۰/۷۱	۰/۵۹	۰/۸	۰/۶۸	۰/۶۹	۰/۷۱	۰/۷۲	۰/۷۶	۰/۶۸	۰/۷۲	۰/۶۵
C۳	۰/۷۶	۰/۶۷	۰/۷۲	۰/۸۲	۰/۸	۰/۸۷	۰/۷۴	۰/۷۷	۰/۷۳	۰/۶۹	۰/۷۷
C۴	۰/۶۹	۰/۶۴	۰/۷۷	۰/۷۳	۰/۷۱	۰/۷۲	۰/۷	۰/۷	/۷۶۰	۰/۷	۰/۷۵
C۵	۰/۷۵	۰/۷۸	۰/۷۷	۰/۸۲	۰/۸۳	۰/۶۷	۰/۷۱	۰/۶۳	۰/۷۸	۰/۷۱	۰/۶۶
C۶	۰/۸۳	۰/۷۶	۰/۷۲	۰/۹	۰/۸۳	۰/۶۹	۰/۶۳	۰/۷۱	۰/۸۱	۰/۷۲	۰/۶۸
C۷	۰/۸۲	۰/۷	۰/۸۱	۰/۷۹	۰/۷۷	۰/۷۳	۰/۶۸	۰/۷۶	۰/۸۵	۰/۷۳	۰/۷۶
C۸	۰/۸۲	۰/۸۵	۰/۶۳	۰/۸۴	۰/۸	۰/۶۳	۰/۶۲	۰/۶۳	۰/۷۷	۰/۶۴	۰/۶۶
C۹	۰/۷۸	۰/۸۲	۰/۷	۰/۷۹	۰/۷۸	۰/۶۲	۰/۷	۰/۶۹	۰/۸۶	۰/۶۲	۰/۷
C۱۰	۰/۷۳	۰/۶۴	۰/۸۳	۰/۷۳	۰/۷۲	۰/۷۶	۰/۸	۰/۷۱	۰/۷۹	۰/۶۷	۰/۷۵
C۱۱	۰/۸۳	۰/۸۴	۰/۶۸	۰/۸۵	۰/۸۶	۰/۷۱	۰/۶۵	۰/۶۴	۰/۸۱	۰/۶۵	۰/۶۷
C۱۲		۰/۷۷	۰/۶۸	۰/۸۲	۰/۷۸	۰/۸	۰/۶۹	۰/۷۳	۰/۷۷	۰/۷۱	۰/۶۹
C۱۳			۰/۶۴	۰/۷۶	۰/۸۲	۰/۶۳	۰/۶۴	۰/۶	۰/۷۷	۰/۵۷	۰/۶۸
C۱۴				۰/۶۷	۰/۷۲	۰/۷۱	۰/۷۸	۰/۷۶	۰/۷۳	۰/۷۹	۰/۶۷
C۱۵					۰/۸۹	۰/۷۹	۰/۶۷	۰/۶۹	۰/۷۶	۰/۷۲	۰/۶۵
C۱۶						۰/۷۷	۰/۶۶	۰/۷	۰/۷۷	۰/۶۸	۰/۶۷
C۱۷							۰/۸۱	۰/۸	۰/۷۲	۰/۷۳	۰/۶۹
C۱۸								۰/۶۴	۰/۶۹	۰/۶۵	۰/۶۷
C۱۹									۰/۷۳	۰/۶۹	۰/۶۹
C۲۰										۰/۷۶	۰/۸۴
C۲۱											۰/۸۳
C۲۲											

بردارها همیشه یک رابطه منطقی را نشان نمی‌دهند و محاسبات ریاضی می‌توانند گمراه‌کننده باشند [۲۸]؛ به همین دلیل، نظر کارشناسان برای تجزیه‌وتحلیل داده‌ها و تبدیل ماتریس SIRM به ماتریس FMI موردنیاز بود. این ماتریس تنها شامل آن اجزای عددی فازی است که نشان‌دهنده روابط علّیت بین شاخص‌ها است. قسمتی از ماتریس FMI در جدول ۷، مشاهده می‌شود.

جدول ۷. ماتریس نهایی (FMI)

	C۱۲	C۱۳	C۱۴	C۱۵	C۱۶	C۱۷	C۱۸	C۱۹	C۲۰	C۲۱	C۲۲
C۱									۰/۸۳	۰/۶۴	۰/۷۲
C۲		۰/۵۹	۰/۸						۰/۶۸	۰/۷۲	۰/۶۵
C۳										۰/۶۹	
C۴										۰/۷	
C۵										۰/۷۱	
C۶											
C۷											
C۸											۰/۶۶
C۹											۰/۷
C۱۰											۰/۷۵
C۱۱	۰/۸۳								۰/۸۱		
C۱۲									۰/۷۷		
C۱۳			۰/۶۴	۰/۷۶	۰/۸۲	۰/۶۳	۰/۶۴	۰/۶		۰/۵۷	
C۱۴										۰/۷۹	
C۱۵					۰/۸۹					۰/۷۲	
C۱۶						۰/۷۷	۰/۶۶			۰/۶۸	
C۱۷										۰/۷۳	
C۱۸									۰/۶۹	۰/۶۵	
C۱۹										۰/۶۹	
C۲۰										۰/۷۶	
C۲۱											
C۲۲											

پس از تعیین ماتریس تأثیر نهایی (FMI)، داده‌های این ماتریس وارد نرم‌افزار Mental Modeler شده و نمایش گرافیکی آن با نشان‌دادن قدرت روابط با یکدیگر مشخص شد. در این نگاشت، قطر هر رابطه نشان‌دهنده قدرت رابطه بین شاخص‌ها است. هر چه قطر بیشتر باشد، شدت یا قدرت رابطه بیشتر است. شکل ۱، نقشه گرافیکی FCM را برای شاخص‌های بهره‌وری سبز نشان می‌دهد.



شکل ۱. نقشه گرافیکی FCM برای شاخص‌های بهره‌وری سبز

از شکل ۱، می‌توان نتیجه گرفت که کاهش اثرات زیست‌محیطی به هوا دارای بیشترین تأثیرپذیری بوده و در نتیجه مهم‌ترین شاخص در میان شاخص‌های مدل است. تأثیرپذیری این شاخص شامل تأثیرات مستقیم و غیرمستقیم از سایر شاخص‌ها است. جای تعجب نیست که بیشتر شاخص‌ها تأثیر مثبتی بر یکدیگر دارند؛ زیرا زیرشاخص‌هایی که انتخاب شده‌اند در جهت بهبود بهره‌وری سبز هستند؛ بنابراین هم به‌صورت جداگانه و هم به‌صورت غیرمستقیم بر بهره‌وری سبز تأثیر مثبت می‌گذارند. جدول ۸، خروجی نرم‌افزار Mental Modeler است که وزن‌های ورودی، خروجی، درجه مرکزیت و نوع هر شاخص را نشان می‌دهد.

جدول ۸. درجه مرکزیت و نوع شاخص‌ها

شاخص‌ها	ورودی	خروجی	درجه مرکزیت	نوع شاخص
C21	۹/۰۵	۰	۹/۰۵	گیرنده
C13	۴/۰۹	۱/۱۶	۵/۲۵	عادی
C2	۲/۹۲	۲/۰۵	۴/۹۷	عادی
C20	۳/۷۸	۰/۷۶	۴/۵۴	عادی
C16	۰/۷۷	۳/۰۵	۳/۸۲	عادی
C22	۳/۴۸	۰	۳/۴۸	گیرنده
C8	۱/۵۳	۱/۴۸	۳/۰۱	عادی
C1	۰	۲/۹	۲/۹	فرستنده
C18	۰/۶۶	۱/۹۸	۲/۶۴	عادی
C15	۰/۸۹	۱/۴۸	۲/۳۷	عادی

شاخص‌ها	ورودی	خروجی	درجه مرکزیت	نوع شاخص
C14	۰	۲/۲۳	۲/۲۳	فرستنده
C17	۰	۲/۱۳	۲/۱۳	فرستنده
C11	۰/۸۳	۰/۸۱	۱/۶۴	عادی
C12	۰	۱/۶	۱/۶	فرستنده
C9	۰	۱/۵۹	۱/۵۹	فرستنده
C10	۰	۱/۳۹	۱/۳۹	فرستنده
C19	۰	۱/۲۹	۱/۲۹	فرستنده
C5	۰	۰/۷۱	۰/۷۱	فرستنده
C4	۰	۰/۷	۰/۷	فرستنده
C3	۰	۰/۶۹	۰/۶۹	فرستنده
C7	۰	۰	۰.	هیچکدام
C6	۰	۰	۰	هیچکدام

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

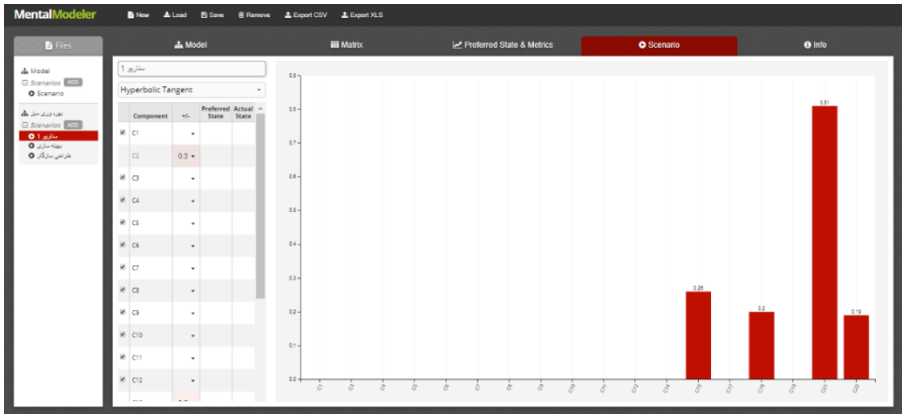
در این پژوهش ابتدا مطالعات کتابخانه‌ای و بررسی اسناد مختلف در زمینه بهره‌وری سبز و نگاشت‌شناختی فازی صورت گرفت. در پاسخ به سؤال نخست پژوهش، با بررسی مستندات و مطالعات کتابخانه‌ای شاخص‌های بهره‌وری سبز شناسایی شدند و درنهایت با اشتراک شاخص‌ها و بر اساس تعداد تکرار شاخص‌ها در مطالعات بررسی‌شده و همچنین مشورت با کارشناسان «شرکت پلاستونیک»، ۸ شاخص اصلی از مبانی نظری مستخرج شد. برای برقراری ارتباط بین شاخص‌ها، ۲۲ زیرشاخص از چک‌لیست‌های موجود در «سازمان حفاظت از محیط‌زیست» تعریف شد. ماتریس‌های ساخت نگاشت‌شناختی فازی برای پاسخ به سوال دوم پژوهش توسط کارشناسان تکمیل و درنهایت نقشه گرافیکی شامل روابط بین شاخص‌ها و شدت آن ساخته شد. روش نگاشت‌شناختی فازی خودکار برای بررسی شاخص‌های بهره‌وری سبز به‌کار رفت که با استفاده از داده‌های عددی برای ارتباط مستقیم و غیرمستقیم بین شاخص‌ها، به تجزیه‌وتحلیل و نتیجه‌گیری دقیق‌تری منجر شد.

تعداد روابط بین ۲۲ زیرشاخص (اتصالات) نشان‌دهنده درجه بالایی از تعامل بین شاخص‌ها در مدل ذهنی است. در این پژوهش ۳۹ رابطه بین زیر شاخص‌ها وجود دارد که نشان‌دهنده تعامل خوبی بین زیر شاخص‌ها است. از میان ۲۲ شاخص موجود در مدل، ۱۰ شاخص تنها فرستنده هستند؛ به‌عبارت‌دیگر این ۱۰ شاخص بر دیگر شاخص‌ها تأثیر می‌گذارند، اما از دیگر شاخص‌ها تأثیر نمی‌پذیرند. تنها ۲ شاخص از شاخص‌های مدل گیرنده هستند؛ یعنی از شاخص‌های دیگر تأثیر می‌پذیرند و بر دیگر شاخص‌ها تأثیر نمی‌گذارند.

۸ شاخص از ۲۲ زیرشاخص نیز عادی هستند؛ به این صورت که هم بر دیگر شاخص‌ها تأثیر می‌گذارند و هم از آن‌ها تأثیر می‌پذیرند. درجه مرکزیت هر شاخص نشان‌دهنده اهمیت آن شاخص در سیستم است که این مقدار از طریق محاسبه مجموع وزن‌های ورودی به هر شاخص و همچنین وزن‌های خروجی از شاخص به‌دست می‌آید. وزن‌های ورودی به هر شاخص نشان‌دهنده تأثیرپذیری از دیگر شاخص‌ها و وزن‌های خروجی نشان‌دهنده تأثیرگذاری بر دیگر شاخص‌ها است. با توجه به جدول ۷، شاخص C21 (کاهش اثرات زیست‌محیطی به هوا) دارای بیشترین درجه مرکزیت است که نمایانگر اهمیت این شاخص در میان دیگر شاخص‌ها در سیستم بهره‌وری سبز است؛ همچنین این شاخص از نوع گیرنده است؛ یعنی تنها از شاخص‌های دیگر تأثیر می‌پذیرد و بر دیگر شاخص‌ها تأثیری نمی‌گذارد؛ بنابراین تأثیر مستقیم دیگر شاخص‌ها بر شاخص C21 محاسبه شد و موردبررسی قرار گرفت. همان‌طور که بیان شد، کاهش اثرات زیست‌محیطی جزو اهداف اصلی مدل به‌دست‌آمده است؛ به این معنا که این شاخص به‌عنوان مهم‌ترین عامل برای دستیابی به استراتژی بهره‌وری سبز معرفی شده است. برای رسیدن به این هدف، شاخص‌های دیگر باید بهبود یابند؛ زیرا سایر شاخص‌ها به‌صورت مستقیم و غیرمستقیم به این شاخص ختم می‌شوند که درنهایت می‌توان به سطح مناسبی از استراتژی بهره‌وری سبز دست یافت.

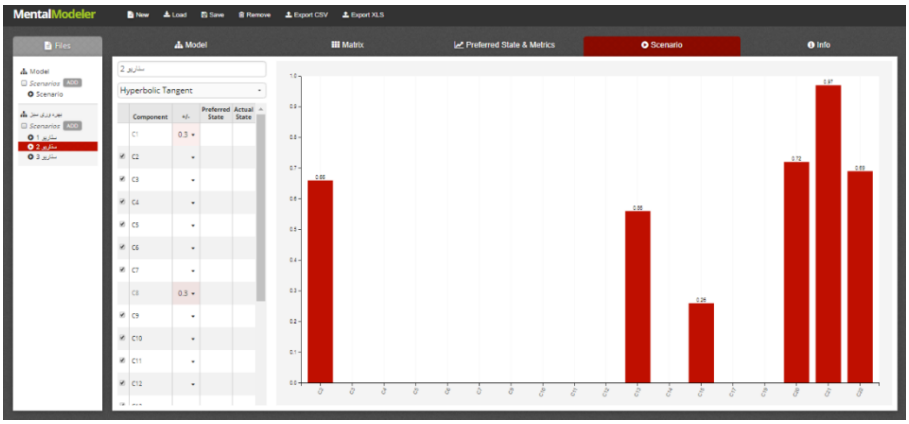
در آخرین مرحله، چندین سیاست یا سناریو با استفاده از نتایج FCM توسعه داده شد. سناریوها بر اساس شدت نفوذ هر شاخص انتخاب شدند. برای مشخص‌شدن شدت نفوذ هر شاخص در روش تصمیم‌گیری، درجه مرکزیت یا همان مجموع مقادیر وزنی خروجی و ورودی هر شاخص محاسبه و در نظر گرفته شد. در این پژوهش با استفاده از نتایج، چهار سناریو طراحی شد:

الف) سناریو ۱. این سناریو بر اساس ۴ شاخص دارای بیشترین درجه مرکزیت انتخاب شده است. بر این اساس شاخص‌های جلوگیری از اتلاف انرژی (C۱۳)، طراحی سازگار با محیط زیست (C۲)، کاهش زباله جامد (C۲۰) و شاخص فرهنگ‌سازی مصرف انرژی (C۱۶) که بیشترین درجه مرکزیت را دارند، به‌عنوان شاخص‌های متغیر سناریوی اول انتخاب شدند. این سناریو نشان می‌دهد که با افزایش ۳۰ درصدی این شاخص‌ها، چه تغییری در سایر شاخص‌ها ایجاد می‌شود. شکل ۲، نشان دهنده تغییرات ناشی از افزایش این شاخص‌ها است.



شکل ۲. سناریو ۱) تغییرات ناشی از افزایش شاخص‌های C۱۳، C۲، C۲۰ و C۱۶

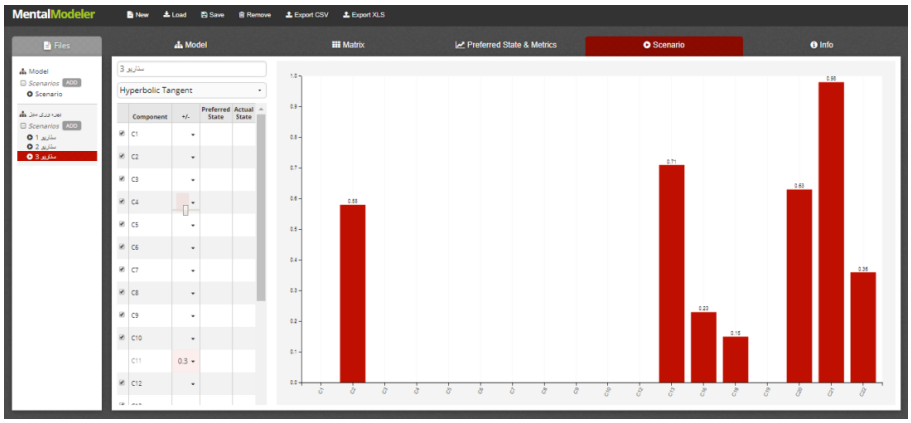
ب) سناریو ۲. این سناریو بر اساس چهار شاخص دوم دارای بیشترین درجه مرکزیت پس از سناریوی اول طراحی شده است. بر این اساس شاخص‌های کاهش میزان فاضلاب (C۲۲)، جلوگیری از اتلاف انرژی (C۸)، مواد اولیه تجزیه‌پذیر و قابل‌بازیافت (C۱) و شاخص جابه‌جایی داخلی کالا (C۱۸) به‌عنوان شاخص‌های متغیر سناریوی دوم انتخاب شدند. این سناریو نشان می‌دهد که با افزایش ۳۰ درصدی این شاخص‌ها، چه تغییری در سایر شاخص‌ها ایجاد می‌شود. شکل ۳، نشان دهنده تغییرات ناشی از افزایش این شاخص‌ها است.



شکل۳. سناریو ۲) تغییرات ناشی از افزایش شاخص‌های C۲۲، C۸، C ۱ و C ۱۸

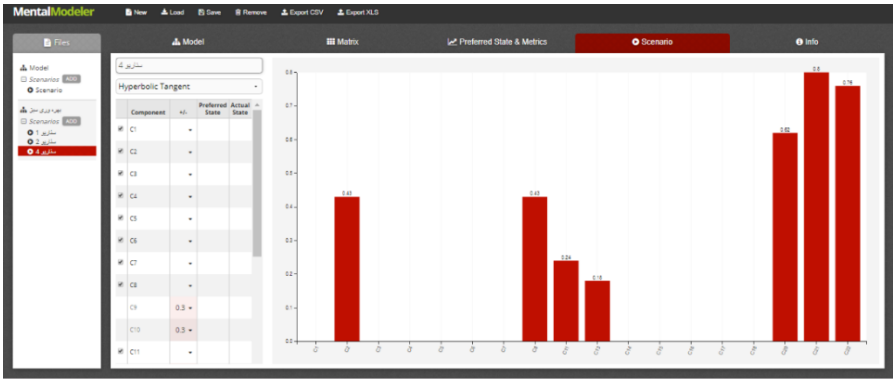
ج) سناریو ۳. این سناریو بر اساس چهار شاخص سوم دارای بیشترین درجه مرکزیت پس از سناریوی دوم طراحی شده است. بر این اساس شاخص‌های مصرف تجهیزات اداری و سیستم روشنایی (C۱۵)، بازیابی انرژی (C۱۴)، مدیریت حمل‌ونقل (C۱۷) و شاخص بهبود سیستم

مصرف کاغذ (C۱۱) به‌عنوان شاخص‌های متغیر سناریوی سوم انتخاب شدند. این سناریو نشان می‌دهد که با افزایش ۳۰ درصدی این شاخص‌ها، چه تغییری در سایر شاخص‌ها ایجاد می‌شود. شکل ۴، نشان دهنده تغییرات ناشی از افزایش این شاخص‌ها است.



شکل ۴. سناریو ۳) تغییرات ناشی از افزایش شاخص‌های C۱۵، C۱۴، C۱۷، C۱۱

د) سناریو ٤. این سناریو بر اساس چهار شاخص چهارم دارای بیشترین درجه مرکزیت پس از سناریوی سوم طراحی شده است. بر این اساس شاخص‌های اقدامات فرهنگی مصرف کاغذ (C۱۲)، پایش مصرف آب (C۹)، مصارف آب در بخش‌های غیرتولیدی (C۱۰) و شاخص مدیریت انبار (C۱۹) به‌عنوان شاخص‌های متغیر سناریوی چهارم انتخاب شدند. این سناریو نشان می‌دهد که با افزایش ۳۰ درصدی این شاخص‌ها، چه تغییری در سایر شاخص‌ها ایجاد می‌شود. شکل ۵، نشان‌دهنده تغییرات ناشی از افزایش این شاخص‌ها است.



شکل ۴. سناریو ۴) تغییرات ناشی از افزایش شاخص‌های C۱۲، C۹، C۱۰، C۱۹

با توجه به نمودارها، بهترین سناریو برای افزایش یا توسعه بهره‌وری سبز در «شرکت پلاستونیک»، سناریو چهارم است؛ چراکه بیشترین تأثیر مثبت را بر سایر شاخص‌ها دارد. هرچند بهبود هر یک از شاخص‌ها به‌دلیل تعاملات مثبت بین آن‌ها به‌صورت جداگانه باعث بهبود سطح بهره‌وری سبز می‌شود، در این پژوهش تلاش شد تا اهمیت تعاملات بین شاخص‌ها نشان داده شده و بهترین تصمیم برای بهبود سطح فعلی شرکت اتخاذ شود.

شاخص‌های استفاده‌شده در این پژوهش، شاخص‌های ارائه‌شده برای بهبود سطح بهره‌وری سبز است که به رابطه مستقیم و مثبت بین آن‌ها منجر شده است؛ بنابراین پیشنهاد می‌شود که برای بهبود مدل، شاخص‌های بهره‌وری سبز به‌گونه‌ای انتخاب شوند که ارتباط منفی و غیرمستقیم بین آن‌ها برقرار باشد؛ همچنین عواملی مانند کیفیت محصول، سیاست‌های دولت مانند مالیات و سیاست‌های تشویقی و به‌طورکلی عوامل خارجی نیز به‌عنوان شاخص‌های مدل استفاده شوند.

منابع

1. Abbasi, T., Jamali, Gh. & Azari, H., (2017). The role of government organizations in green productivity; from the perspective of green human resource management, *Third International Conference on Green Economy* (In Persian).

2. Abedi, Z., Mahmoudi, B., & Shariatmadari, A., (2015). Indicators suitable for green productivity assessment, National Iranian Productivity Organization, 1-50 (In Persian).

3. Aksoy, T., & Gonel, F. (2015). How green is my industry? The case of Turkey. *Technology and Sustainable Development, 12(2),* 119-128.

4. Amirkhai, T., Alikhani, F., (2016). Key indicators of organizational performance and productivity improvement: BSC. *Industrial Management Perspective, 5(4),* 101-118 (In Persian).

5. Asian Productivity Organization (APO). (2006). Handbook on Green Productivity. http://www.apo-tokyo.org/publications/wp-content/ uploads/sites /5/gp-hb_gp.pdf.

6. Azadeh, A., Salehi, V., Arvan, M., & Dolatkhah, M. (2014). Assessment of resilience engineering factors in high-risk environments by fuzzy cognitive maps: A petrochemical plant. *Safety Science, 68,* 99-107.

7. Biani Majd, A., Nouri, S., Yaghoubi, S., & Mohammadi, A., (2017). A model of green supply chain in construction Projects considering the timing of projects, *Industrial Management Perspective*, 6(4), 123-156 (In Persian).

8. Chio, S.Y., Gilbert, S. (2001). *The origins of green productivity.* International Green Productivity Association, Asia-Pacific Centre for Environmental Law, 55.

9. Department of Environment, Islamic Republic of Iran, (2018). Green management, Available: http://www.tehran-doe.ir/fa/News/Detail (In Persian).

10. Fallah, S., Razavi, H., Imani, A., Emamgholizadeh, S., (2015). Identifying and Ranking the Green Productivity Strategy Components by FAHP Approach (Tehran Subway Organization). *Public Management Researches, 8(28),* 167-191 (In Persian).

11. Ghisetti, C., & Quatraro, F. (2017). Green Technologies and Environmental Productivity: A Cross-sectoral Analysis of Direct and Indirect Effects in Italian Regions. *Ecological Economics, 132,* 1–13.

12. Govorushko, S.M. (2012). *Natural Processes and Human Impacts.* New York, NK: Springer Science and Business Media.

13. Huang, N. (2010). *Eco-Efficiency and an Overview of Green Productivity.* Conference on Enhancing Competitiveness Thorough Green Productivity, China, 25-27.

14. Jafari samimi, A., Ahmadpour S.M., (2012). The relationship between Environmental Performance Index (EPI) and economic growth in developed Countries, *Journal of Iranian Energy Economics*, *1(1),* 55-72 (In Persian).

15. Jortay, M. (2016). *Energy, transport and environment indicators*. Luxembourg: Publications Ofce of the European Union. 236.

16. Kalteh, T., Asadollahi, A., & Mohammadi, F., (2016). Green productivity management by neutralizing environmental pollutants in the Alumina production industry (Investigation of environmental pollutants in Iran Alumina Company), *Second International Management and Industrial Engineering Conference*, Istanbul, Turkey (In Persian).

17. Koplin, J., Seuring, S., & Mesterharm, M. (2007), Incorporating sustainability into supply management in the automotive industry–the case of the Volkswagen AG. *Journal of Cleaner Production, 15(11),* 1053-1062.

18. Li, B., & Wu, S. (2016). Effects of local and civil environmental regulation on green total factor productivity in China: A spatial Durbin econometric analysis. *Journal of Cleaner Production, 135(1),* 1-12.

19. Li, K., Lin, B. (2017). Economic growth model, structural transformation, and green productivity in china. *Applied Energy, 187,* 489–500.

20. Mahrizi Haj Hoseini, K., Moharramnejad, N., Salari, A., & Salari, Sh., (2012). Model of green productivity management in textile industry, *National Conference on Textile and Clothing, Islamic Azad University*, Yazd, 3(2) (In Persian).

21. Moazzez, H., Azizi, J., (2016). Developing the green supply chain management model of Yang in Cinere company. *Industrial Management Journal, 8(2),* 309-332 (In Persian).

22. Mohanty, R.P., Deshmukh, S.G. (1999). Managing green productivity: a case study. *Work Study, 48(5),* 165-169.

23. Moharramnejad N., Azar Kamand, S., (2009). Green productivity management in Non-governmental sector (case study for Iran Aseman Airline company). *Journal of Environmental Science and Technology, 11(2),* 59-70 (In Persian).

24. Mortazavi, S., Seifbarghy, M., (2018). Two-objective modeling of location-allocation problem in a green supply chain considering transportation systems and CO2 emission. *Industrial Management Perspective, 8(29),* 151-178 (In Persian).

25. Nadafi, K., Nouri, J., Nabizadeh, R., (2008), Green Management in Iranian National Library System. *Journal of environmental Science and Technology, 10(4),* 262-269 (In Persian).

26. Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). (2013). Moving towards a Common Approach on Green Growth Indicators. http://www.oecd.org/index.htm.

27. Rodriguez-Repiso, L., Setchi, R., & Salmeron, J. (2007). Modeling IT projects success with fuzzy cognitive maps. *Technovation, 27(10),* 582-594.

28. Sari, A., Ali Ahmadi Jashfeghani, M., (2011). Indicating green productivity and improving it (Case Study: Pars Khodro paint shop), *Fourth Environmental Engineering Conference* (In Persian).

29. Schneider, M., Shnaider, E., Kandel, A., & Chew, G. (1998). Automatic Construction of FCMs. *Fuzzy Sets and Systems, 93(2),* 161-172.

30. Shahbandarzadeh, H., Jafari, F., (2016). A model for identifying effective factors on green productivity in Bushehr industries and its impact on environmental pollution reduction (Case Study of Bushehr Special Economic Zone), *The first international accounting and management conference in the third millennium*, Rasht, Iran (In Persian).

31. Shireman, W., Kiuchi, T., & Hundloe, T. (2003). A Measurement Guide to Green Productivity. *Asian Productivity Organization, Tokyo:* 1-77.

32. Soltanipour, F., Damari, B., (2017). The situation of sustainable development in Iran, *Journal of School of Public Health and Institue of Public Health Research*, 14(4), 1-14 (In Persian).

33. Trunick, P.A. (2006). A Green Role for Logistics. *Logistics Today, 6(26),* 28-29.

34. Tuttle, T., Heap, J. (2007). Green Productivity: Moving the Agenda. *Productivity and Performance Management, 57(1),* 93-106.

35. Walton, S.V. (2012). The Green Supply Chain: Integrating Suppliers into Environmental Management Processes. *International Journal of Purchasing and Materials, 34(2),* 2-11.

36. Wyckoff, A. (2014). OECD Sustainable Manufacturing Toolkit. Organisation for Economic Co-operation and Development. http://www.oecd.org/index.htm.

37. Zhou, P., Ang, B.W., & Poh, K.L. (2008). A survey of data envelopment analysis in energy and environmental studies. *European Journal of Operational. Research, 189(1),* 1–18.

Analysis of Causal Relationships between Green Productivity Indicators with Fuzzy Cognitive Mapping Approach

Mehdi Nikshapoori[*], Tayebeh Abbasnejad[**], Reza Ahmadi Kahnali[***]

Abstract

Green productivity is a sustainable development approach. The purpose of this study is to identify green productivity Indicators and to determine the relationships between Indicators to present the model through fuzzy cognitive mapping. The fuzzy cognitive mapping method used in this research is based on the Rodriguez-Repcio and et al. (2007) automated FCM. The statistical population of the study included all the experts of Plastonic Company. Green productivity indicators were identified through Literature review. Fuzzy cognitive mapping was created Using four matrices, Initial Influence Matrix, fuzzified Influence Matrix, Strength of Influence Relationships Matrix, Final Matrix of Influence and the software Mental Modeler. The cognitive mapping represents the relationships between the green productivity Indicators and the weights among them. According to the model, four policy or scenarios were designed in software to identify the relative changes of each indicator. Finally, the fourth scenario with the most positive impact on other indicators was selected as the best scenario among the designed scenarios.

Keywords: Productivity; Green Productivity; Sustainable Development; Fuzzy; Fuzzy Cognitive Mapping.

Received: May 20, 2018, Accepted: March 01, 2019.
* MSc. Student, University of Hormozgan.
** Assistant professor, University of Hormozgan (Corresponding Author).
E-mail: t.abbasnejad@gmail.com
*** Associate Professor, University of Hormozgan.