



### شبیه‌سازی روند بهبود شاخص‌های زیست محیطی با رویکرد ترکیبی پویایی‌شناسی سیستم‌ها و سیستم‌استنتاج فازی

اردلان فیلی

#### چکیده:

پایداری زیست محیطی که از آن به عنوان جنبه سبز پایداری نیز یاد می‌شود، به عنوان عامل نامحدود سیستم‌های پشتیبانی از زندگی در سطح جهان تعریف شده است. سازمان‌ها برای ارزیابی و تکامل شاخص‌های زیست محیطی بایستی به طور مستمر وضعیت و چگونگی تعامل میان این شاخص‌ها را تحلیل کنند. تحقیق حاضر با تلفیق تکنیک‌های دیمتل فازی، تحلیل شبکه‌ای فازی، سیستم‌استنتاج فازی و پویایی‌شناسی سیستم‌ها، چارچوبی را برای تحقق این هدف ایجاد کرده و در شرکت تولیدی اخشان شیراز مورد مطالعه قرار داده است. نمودار علی - حلقوی روش پویایی‌شناسی سیستم‌ها بر اساس خروجی روش دیمتل فازی و معادلات ریاضی بین آن‌ها بر اساس روش سیستم‌استنتاج فازی سوگنو نوشته شدند. مقادیر آرمانی شاخص‌ها بر اساس روش تحلیل شبکه‌ای فازی مشخص شدند. داده‌ها با نرم افزار ونسیم تحلیل شدند. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که رفتار شاخص‌های زیست محیطی حالتی نمایی داشته و پس از حدود 60 ماه به ثبات می‌رسد.

کلمات کلیدی: شاخص‌های زیست محیطی، پیشگیری از آلودگی هوا، کاهش مصرف انرژی

#### 1. مقدمه

پایداری شرکتها در تقاطع توسعه اقتصادی، حفاظت از محیط زیست و مسئولیت اجتماعی حاصل می‌شود (Engert, Rauter, & Baumgartner, 2016). حمایت از چنین ادعایی ساده نیست. یک سیستم زنجیره‌ای ارزش محلی یا جهانی باید دستخوش تغییر شود و از رویکرد مدیریت سنتی خود به تولید پایدار تغییر کند. بدیهی است که این همبستگی، علاوه بر آن که نیازمند پذیرش مفهوم پایداری توسط سازمان‌هاست، نیازمند برخی پارادایم‌های سازمانی، فلسفه‌های مدیریتی، فرایندها و ابزارهایی است که می‌توانند به طور موثر در اجرای این رویکرد جدید سازمان را حمایت کنند (Aquilani, Silvestri, & Ruggieri, 2016). این شیوه‌ها را می‌توان در زیر برچسب‌ها و زمینه‌های مختلفی مانند اکولوژی صنعتی یافت (Despeisse, Ball, & Evans, 2012). تولید سبز مهم‌ترین مفهومی است که در این حوزه وجود دارد، هر چند که در سالهای قبل مفاهیمی مانند سیستم‌های سازگار با محیط زیست نیز شکل گرفته‌اند.

تعیین سیستم‌مدیریت مناسب برای اطمینان از توسعه پایدار مسئله مهمی برای شرکتهای کوچک و متوسط است، نه تنها به دلیل فشار ذینفعان بلکه از دیدگاه توسعه خود بنگاه‌ها (Burke & Gaughran, 2007). شرکت‌ها برای



شناسایی و اجرای برنامه های توسعه پایدار به یک روش مدیریتی مناسب و چارچوب عملی نیاز دارند. استراتژی های توسعه پایدار هر شرکت به دلایلی مانند بودجه، محدودیت منابع، انعطاف پذیری، ساختار، تعداد مشتریان، بازار و میزان تخصص، متفاوت از استراتژی های سایر شرکت ها است (Alshawi, Missi, & Irani, 2011). ارزیابی پایداری شرکت ها در تولید ابزارهایی است که سازمان را به سمت شیوه های پایدار راهنمایی می کند و نشان می دهد که چگونه همین سازمان به توسعه پایدار جهانی کمک می کنند (Moldavska & Welo, 2019). ارزیابی پایداری بیشتر به عنوان یک ابزار پشتیبانی تصمیم گیری که تصمیم گیری را به سمت پایداری هدایت می کند تعریف می شود (Bond & Morrison-Saunders, 2013). اصطلاح ارزیابی پایداری معمولاً به عنوان یک چتر برای روشها، فرآیندها، چارچوبها و ابزارهای مختلف، مورد استفاده قرار می گیرد که بر اندازه گیری یا ارتقاء پایداری در سطوح مختلف، (کشور، شهر و یا یک سازمان) متمرکز می شوند (Moldavska & Welo, 2019). اهداف ارزیابی پایداری تولید اطلاعات برای تصمیم گیری؛ ساختارمند کردن پیچیدگی؛ یادگیری اجتماعی (Waas et al., 2014) و همچنین، حمایت از تصمیم گیرندگان و تسهیل در شناسایی اقدامات انجام شده در تلاش برای کمک به توسعه پایدار (Moldavska & Welo, 2016) عنوان شده است. در بخش تولید ابزارهای متعددی برای ارزیابی پایداری ارائه شده است که بعضی یک بعد و برخی دو یا سه بعد توسعه پایدار را می سنجند.

پایداری زیست محیطی که از آن به عنوان جنبه سبز پایداری نیز یاد می شود، توسط گولند به عنوان عامل نامحدود سیستم های پشتیبانی از زندگی در سطح جهان تعریف شده است (Goodland, 1995). بعد محیطی به شرایط پیرامون زندگی انسان اشاره دارد. محیط زیست به میزان قابل توجهی توسط بنگاهها تأثیر می پذیرد. شرکت ها باید بر نحوه اثر گذاری فعالیت های خود بر محیط زیست بطور مؤثر نظارت و آسیب های ناشی از آن را کاهش دهند (Chang & Cheng, 2019). توسعه پایدار به عنوان یک مفهوم کلی منجر به ارائه دستورالعملهای مفید بسیار می شود. بنابراین، توسعه و کاربرد شاخص ها، که معیارهای لازم را در سطح عمل ارائه می دهند، بسیار مهم است (Johnston, Everard, Santillo, & Robèrt, 2007). بدون توافق بر سر شناسایی و اصول اندازه گیری شاخصهای تولید پایدار، مدیریت غرق در ابهام، تناقض و اطلاعات ناقص و غیر قابل مقایسه خواهد شد. از این رو تعیین این شاخصهای برای حرکت به سوی تولید پایدار ضرورت دارد (Ranganathan, 1998). مطابق تعریفی که آژانس محیط زیست اروپا ارائه داده است، یک شاخص زیست محیطی نماینده ارزش مشاهده شده یک پدیده مورد بررسی است (Herva, Franco, Carrasco, & Roca, 2011). شاخص ها باید از دیدگاه پایداری، اطلاعاتی در مورد ویژگی های اصلی تأثیرپذیری محصولات و فرایندها ارائه دهند (Sikdar, 2003). شناسایی شاخص های زیست محیطی برای فرآیندهای تولید و خدمات، امکان مقایسه عملکرد زیست محیطی با گذشت زمان، برجسته سازی پتانسیل های بهینه سازی، بدست آوردن و پیگیری اهداف زیست محیطی، شناسایی شانس بازار، محک در برابر سایر شرکت ها یا برقراری ارتباط نتایج در گزارش های زیست محیطی فراهم می کند (Azapagic & Perdan, 2000). مهم ترین شاخص های زیست محیطی در شرکت های تولیدی عبارتند از:

**پیشگیری از آلودگی هوا:** از بین کلیه موضوعات زیست محیطی فعلی، به نظر می رسد تغییرات آب و هوا مهمترین مسئله است، که تهدید قابل توجهی برای توسعه بشر ایجاد می کند (Tang & Yeoh, 2007). میلیاردها نفر در معرض بلاهای طبیعی ناشی از تغییرات جهانی آب و هوا هستند، این تغییرات حیات آدمی را تهدید می کند، به زیرساخت ها و منابع آسیب می رساند، فعالیت های اقتصادی را مختل می کند و در روند توسعه اجتماعی اخلال ایجاد می کند



(Pelling et al., 2004). تأثیر احتمالی تغییرات آب و هوا بر اقتصاد جهانی ممکن است بسیار زیاد باشد، شرکت‌های بیمه تخمین می‌زنند که تغییرات آب و هوایی می‌تواند موجب سبب صدها میلیارد دلار خسارت در سال به صورت بلایای طبیعی و اختلال در چرخه کشاورزی شود (Brown, 2005). علاوه بر این، عواملی که باعث افزایش پایداری زیست محیطی می‌شوند با ابعاد اقتصادی در ارتباط هستند. تولید کنندگان باید مزایای رقابتی چندگانه از جمله کاهش هزینه، بهبود کیفیت محصولات و خدمات و ضمانت تحویل به موقع را برای حفظ مزیت رقابتی و کسب سود دنبال کنند (Chang & Cheng, 2019). مطالعات متعددی نشان داده‌اند که کاهش تولید گازهای گلخانه‌ای مهمترین معیار سبز بودن تولید هستند (Thanki, Govindan, & Thakkar, 2016). اگرچه سایر گازهای گلخانه‌ای از پتانسیل گرمایش جهانی برخوردارند، اما مهمترین عامل در موضوع گرم شدن کره زمین، دی‌اکسید کربن است (Herva et al., 2011). صنایع تولیدی در بخش قابل توجهی از منابع جهان را مصرف و در تولید پسماند در جهان نقش دارند. این بخش نیاز به انرژی فسیلی گسترده مانند ذغال سنگ و گاز طبیعی دارد. مصرف انرژی فسیلی گسترده به دلیل تولید صنعتی مقدار زیادی دی‌اکسید کربن ساطع می‌کند و بر زندگی افراد تأثیر می‌گذارد (Kopidou, Tsakanikas, & Diakoulaki, 2016).

**بازیافت مواد:** در بازیافت مواد به موضوع آگاهی از زمان و مکان تولید ضایعات و بررسی اینکه آیا با توجه به پیچیدگی سیستم می‌توان از ضایعات به عنوان ورودی منابع در جای دیگر استفاده کرد، اشاره می‌شود (Despeisse et al., 2012).

**کاهش ضایعات:** مدیریت ضایعات در جنبه‌های زیست محیطی پایداری قرار دارد و یکی از موثرترین راه‌ها برای دستیابی به فرآیندهای تولید پایدار است. صنایع تولیدی با چالش‌های بسیاری روبرو هستند، از جمله میزان بهره‌وری انرژی و آب، انتشار گازهای گلخانه‌ای، ردپای کربن و روزهای کاری از دست رفته به دلیل آسیب و بیماری کارگران. همه این عوامل به طور جمعی سبب افزایش میزان ضایعات در فرآیند تولید می‌شود، به گونه‌ای که تأثیر چشمگیری بر پایین‌ترین سطح پایداری و رشد آینده این تأسیسات صنعتی دارد (Latif, Gopalakrishnan, Nimbarte, & Currie, 2017). تعمیر و نگهداری تجهیزات و اقدامات مناسب در مدیریت محیط تولید در کاهش تولید ضایعات موثر است (Despeisse et al., 2012). سیستم‌های تولیدی سازگار با محیط زیست، یکی از مفاهیمی است که در این حوزه در دهه نود میلادی مطرح شده است. این سیستم‌ها، به عنوان یک رویکرد سیستمی یکپارچه اقتصادی محور، در جهت کاهش و از بین بردن انواع ضایعات مرتبط با طراحی، ساخت، استفاده و یا دفع محصولات و مواد تعریف شده است (Handfield, Walton, Seegers, & Melnyk, 1997). با به حداقل رساندن ضایعات، شرکت‌ها می‌توانند هزینه‌های دفع زباله را کاهش داده و از جریمه‌های زیست محیطی اجتناب کنند. هم‌چنین افزایش سود، کشف فرصت‌های تجاری جدید، بهبود روحیه کارمندان و محافظت و بهبود وضعیت محیط زیست از سایر مزایای به حداقل رساندن ضایعات است (Schmidheiny, 1992; Starik & Rands, 1995).

**صرفه جویی در مصرف انرژی:** صنایع تولیدی، انرژی و مواد محدود زیادی را مصرف می‌کنند (Cai et al., 2018)، که منجر به ایجاد ضایعات زیاد شده و به محیط زیست آسیب جدی می‌رساند (Ma & Cai, 2018). جریان انرژی و مواد شاخص‌های محیطی با ارزشی در مقیاس خرد و کلان هستند. در واقع، وظیفه اصلی اکولوژی صنعتی شناسایی، ردیابی و تخصیص جریان انرژی و مواد در کل سیستم است (Lou, Kulkarni, Singh, & Huang, 2004). انرژی به عنوان غذای صنعت نقش مهمی در ارتقاء توسعه اقتصاد جهان دارد (Ren & Sovacool, 2015).



مراد از انرژی، انرژی مستقیم و غیرمستقیم مورد نیاز برای یک سیستم است تا بتواند کالا یا خدمات مشخصی را تولید کند (Herendeen, 2004). ادبیات همچنین به تقاضای مصرف مستقیم و غیرمستقیم انرژی جمعی یک محصول در طول چرخه زندگی، از جمله انرژی مصرفی هنگام استخراج، تولید و دفع مواد اولیه و کمکی اشاره دارد (Huijbregts et al., 2006). مصرف منابع انرژی برای تولید نیرو، گرما یا سرمایه‌ش منجر به مشکلات مختلف زیست محیطی و اجتماعی شده است (Bose, 2010). بهره‌وری انرژی اولین و مهمترین شاخص پیش‌بینی پایداری است. پایداری یک شرکت یا سازمان تا حد زیادی به میزان مصرف کارا از انرژی بستگی دارد. در بسیاری از موارد مشاهده شده است که اقدامات انجام شده جهت افزایش میزان کارایی انرژی یک رویکرد مقرون به صرفه و بسیار پرمفعت است، به گونه‌ای که با گذشت زمان، نه تنها هزینه‌های خود طرح‌ها جبران می‌شود، بلکه مزایای اضافی قابل توجهی ناشی از حداقل رساندن هزینه انرژی و به حداکثر رساندن بهره‌وری انرژی فراهم می‌گردد (Latif et al., 2017). بنابراین، ارتقاء بهره‌وری انرژی و بهبود عملکرد هر چه بیشتر محیط زیستی، یک مشکل اساسی است که باید حل شود (Mikulčić, Vujanović, & Duić, 2013). صرفه‌جویی در مصرف انرژی کمک قابل توجهی به بهبود توسعه پایدار صنعت می‌کند (Lv, Peng, & Tang, 2019). عوامل اصلی که بر کارایی انرژی در صنایع تولیدی اثر دارند عبارتند از: روشنایی، گرمایش، تهویه هوا، بخار، فرآیند گرما، پمپ‌ها و پنکه‌ها، موتورها، کمپرسور هوا و برج‌های خنک‌کننده یا چیلر (Chengalur, Rodgers, & Bernard). شاخص‌های انرژی در دوره‌های بحرانی در بخش انرژی با توجه به شرایط اقتصادی و سیاسی مورد توجه قرار می‌گیرند و در نتیجه با گذشت زمان متفاوت می‌شوند (Neelis, Patel, Blok, Haije, & Bach, 2007). بسیاری از مسائل زیست محیطی ناشی از یا مربوط به تولید، تبدیل و استفاده از انرژی است، به عنوان مثال: کیفیت هوای محیط، دفع زباله جامد، رسوب اسید (Dincer, 2002)، کاهش منابع طبیعی، کاهش ازن و تغییرات آب و هوایی و گرم شدن کره زمین (Huijbregts et al., 2006). بنابراین، به حداقل رساندن جریان انرژی برای افزایش پایداری منابع بسیار مهم است (Ness, Urbel-Piirsalu, & Anderberg, 2007). افزایش کارایی انرژی می‌تواند با کاهش انتشار گازهای ناشی از مصرف آن، در جهت رسیدن به امنیت انرژی به شیوه‌ای که از منظر محیط زیست قابل قبول باشد، کمک کند (Dincer, 2002).

**صرفه‌جویی در مصرف آب:** میزان مصرف آب اشاره دارد به میزان استفاده از آب شیرین که برای تولید کالا و خدمات مورد استفاده قرار می‌گیرد. اهمیت این موضوع تا جایی است که در مجموعه شاخص‌های زیست محیطی توسعه پایدار شاخصی تحت عنوان ردپای آب (WF)، تعریف شده است که در سطح ملی اشاره دارد به کل حجم آب شیرین مصرف شده برای تولید کالاها و خدمات مصرفی (Hoekstra & Chapagain, 2006). در مورد این معیار، مسائلی مانند استفاده منطقی از آب آشامیدنی با تمرکز بر کاهش مصرف از طریق نصب دستگاه‌های هوشمند و استفاده مجدد از آب باران، فاضلاب و آب حاصل از میعان تهویه مطبوع در آبیاری باغ‌ها پیشنهاد می‌شود (Carneiro, Campos, Oliveira, & Barros Neto, 2012).

**کاهش مصرف مواد خطرناک سمی و مضر:** افزایش تولید مواد شیمیایی و مصرف آن در فرآیندهای مختلف صنعتی از نشانه‌های جامعه صنعتی به شمار می‌رود. اثرات سوی ناشی از مواد زائد خطرناک بسیار متفاوت و متنوع و در حوزه‌های بهداشتی و سلامت فردی کارکنان و همچنین حوزه‌های زیست محیطی می‌باشند. برخی از این اثرات، کوتاه مدت و شدید (مسمومیت‌های حاد توسط مواد شیمیایی خطرناک) هستند. دسته دیگر از اثرات بهداشتی، اثرات دراز مدت هستند که این عوارض در مدت زمان نسبتاً طولانی ظاهر می‌شوند که بیشتر به خصوصیات سم، تجمع

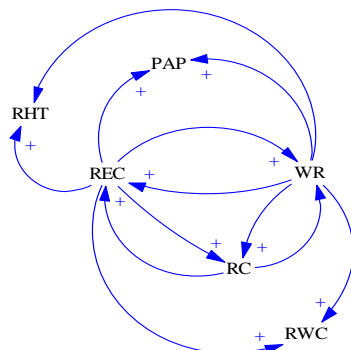




پذیری زیستی، سرطان زایی، جهش زایی و تراژون و مواد شیمیایی مربوط می گردد (اصل هاشمی و خطیبی، 1389). پسماندهای زیانبار باید یکی از ویژگی های قابل اشتعال، خورنده، فعال بودن، خاصیت انفجاری و سمی را دارا باشند. قابلیت اشتعال، خطر انفجار، ایجاد گرد و غبار در محیط و پراکندگی آن ها توسط باد یا هواکشاها، مراقبت های آتش نشانی، اثرات سوء بر پوست، مخاط و چشم و خواص چسبندگی از ویژگی های پسماندهای شیمیایی است که باید مورد توجه قرار گیرد (جعفری گل و همکاران، 1388).

### 2. روش تحقیق

پژوهش حاضر از منظر هدف کاربردی و از منظر روش، توصیفی است. مورد مطالعه این پژوهش یک سازمان تولیدی در حوزه صنعت خودرو در شیراز است. با توجه به آنکه ساختار شاخص های زیست محیطی، دارای ساختار علت و معلولی است، روش پژوهش مبتنی بر رویکرد پویایی شناسی سیستم در نظر گرفته شد، به منظور جمع آوری داده ها از پرسشنامه های محقق ساخته مبتنی بر روش های به کار رفته در مدل استفاده شد که توسط هفت نفر از خبرگان شرکت اخشان با حداقل سابقه کاری 10 ساله و سابقه مدیریتی حداقل سه ساله در شرکت تکمیل شدند. داده ها با نرم افزار ونسیم تحلیل شدند. در پژوهش حاضر با استفاده از روش دیمتل فازی، روابط عناصر در شرکت مورد مطالعه، شناسایی گردد. این رویکرد ترکیبی در مطالعات مشابه استفاده شده است (Jafari, Hesam, & Bourouni, 2008; Khorakian & Salehi, 2015; Parchami Jalal & Shoar, 2017). برای این منظور حد آستانه، میانگین تمام درایه های ماتریس در نظر گرفته شد، بر این اساس نمودار علی- حلقوی مطالعه به شکل زیر ارائه شد.



نمودار 1: نمودار علی حلقوی میان شاخص های زیست محیطی

مقادیر آرمانی شاخص ها بر اساس نظر خبرگان و با روش تحلیل شبکه ای فازی به دست آمده است و مقادیر ابتدایی شاخص ها نیز بر اساس نظر خبرگان محاسبه شده است. این مقادیر در جدول شماره یک قابل مشاهده است.

جدول 1: مقادیر آرمانی و کنونی شاخص ها

شاخص	علامت	مقدار آرمانی	مقدار ابتدایی
پیشگیری از آلودگی هوا	PAP	2/01	1/272
بازیافت مواد	RC	23/59	13/35
کاهش ضایعات	WR	25/40	5/918
کاهش مصرف انرژی	REC	25/45	9/316

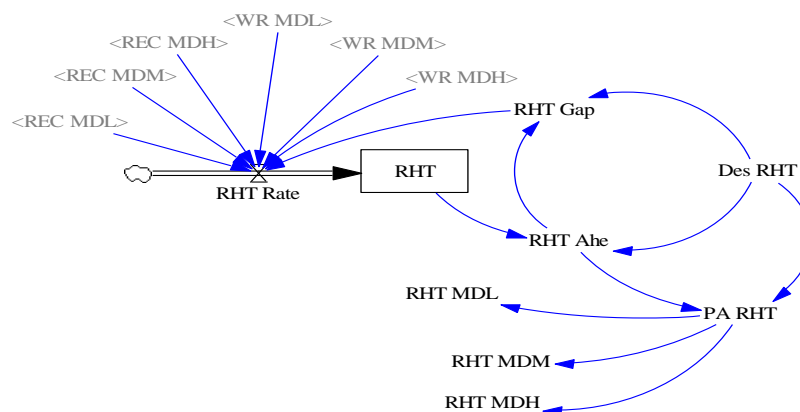


8/296	14/65	RWC	کاهش مصرف آب
2/069	8/90	RHT	کاهش مصرف مواد خطرناک و سمی

ساخت روابط ریاضی مابین تمام متغیرها کار آسانی نیست (Parchami Jalal & Shoar, 2017). بخصوص اگر متغیرها به شکل زبانی بوده و در مورد آنها داده های مستند وجود نداشته باشد. برای غلبه بر این مشکل در تحقیق حاضر از روش سیستم استنتاج فازی تاکاگی-سوگنو-کانگ (TSK) استفاده شد. سیستم های استنتاج فازی مجموعه ای، برای دریافت ورودی ها از توابع عضویت فازی بوده و برای پردازش و انجام استنتاج بجای قواعد قطعی و صفر یا یک، از قوانین و قواعد فازی استفاده می کند (Fasanghari & Montazer, 2010). ورودی شامل برخی مفاهیم لفظی مبهم و نادقیق برای یک رویداد خاص است و خروجی یک مجموعه فازی یا مجموعه دقیقی از ویژگی های خاص را در بر می گیرد. بر این اساس مجموعه های ورودی و خروجی همان متغیرهای ورودی و خروجی پژوهش هستند که محقق به دنبال کشف روابط بین آن هاست (Efendigil, Önüt, & Kahraman, 2009). یک سیستم فازی TSK دارای سه جز است (Foong, Chee, & Wei, 2009): اول، یک فازی ساز در ورودی که مقدار عددی متغیرها را به یک مجموعه فازی تبدیل می کند. در پژوهش حاضر از اعداد مثلثی فازی برای فازی سازی مقادیر مدل استفاده شده است. دوم، پایگاه قواعد فازی که مجموعه ای از قواعد اگر- آنگاه است. تمام قواعد تحقیق حاضر دو ورودی و همگی یک نتیجه یا خروجی دارند. برای تعیین خروجی هر قاعده از نظر خبرگان استفاده شده است. به این ترتیب که نظرات هفت نفر از خبرگان با پرسشنامه اخذ و پس از ادغام با روش CFCS صورت یک عدد غیرفازی بیان شده است. سوم، موتور استنتاج فازی که ورودی ها را با یک سری اعمال به خروجی تبدیل می کند. در مطالعه حاضر از رابطه استلزام ممدانی که از عملگر  $Min$  بهره می برد، استفاده شده است.

### 3. نمودار حالت - جریان

به منظور آماده سازی مدل پویا جهت شبیه سازی و اجرای آن توسط نرم افزار پس از ترسیم نمودار علی- حلقوی بر اساس نتایج روش دیمتل فازی، این نمودارها جهت فرموله کردن مدل به نمودارهای حالت - جریان تبدیل شدند. در اینجا نمودار حالت جریان متغیر کاهش مصرف مواد خطرناک و سمی (RHT)، تبیین می شود. مقدار این متغیر تابعی از دو متغیر ( $REC$ ) و ( $WR$ ) می باشد.



نمودار 2: نمودار حالت جریان متغیر کاهش مصرف مواد خطرناک و سمی



همانگونه که بیان شد برای تعیین رابطه ریاضی بین این متغیرها از سیستم استنتاج فازی TSK استفاده شده است. بر این اساس در این قسمت  $REC$  و  $WR$  متغیرهای ورودی و متغیر  $RHT$  Rate متغیر خروجی است. متغیرهای ورودی بر اساس تابع فازی ساز مثلثی به عددهای فازی تبدیل شده اند و به طور مثال  $RHT MDL$ ، درجه عضویت متغیر  $RHT$  به مقدار حالت کم است. تابع زیر بر اساس روش TSK نحوه محاسبه متغیر  $RHT$  Rate را نشان می دهد.

$$\begin{aligned}
 RHT \text{ Rate} = & (((MIN(WR \text{ MDL}, REC \text{ MDL}) * 0.033) + (MIN(WR \text{ MDL}, REC \text{ MDM}) * 0.2) \\
 & + (MIN(WR \text{ MDL}, REC \text{ MDH}) * 0.3) + (MIN(WR \text{ MDM}, REC \text{ MDL}) * 0.5) \\
 & + (MIN(WR \text{ MDM}, REC \text{ MDM}) * 0.633) + (MIN(WR \text{ MDM}, REC \text{ MDH}) \\
 & * 0.633) + (MIN(WR \text{ MDH}, REC \text{ MDL}) * 0.633) \\
 & + (MIN(WR \text{ MDH}, REC \text{ MDM}) * 0.866) + (MIN(WR \text{ MDH}, REC \text{ MDH}) \\
 & * 0.933)) / (MIN(WR \text{ MDL}, REC \text{ MDL}) + MIN(WR \text{ MDL}, REC \text{ MDM}) \\
 & + MIN(WR \text{ MDL}, REC \text{ MDH}) + MIN(WR \text{ MDM}, REC \text{ MDL}) \\
 & + MIN(WR \text{ MDM}, REC \text{ MDM}) + MIN(WR \text{ MDM}, REC \text{ MDH}) \\
 & + MIN(WR \text{ MDH}, REC \text{ MDL}) + MIN(WR \text{ MDH}, REC \text{ MDM}) \\
 & + MIN(WR \text{ MDH}, REC \text{ MDH})) * RHT \text{ Gap} / 12
 \end{aligned}$$

$RHT$  Gap، میزان شکاف متغیر کاهش مصرف مواد خطرناک و سمی را نشان می دهد و بصورت زیر محاسبه می شود:

$$RHT \text{ Gap} = Des \text{ RHT} - RHT \text{ Ahe}$$

متغیر  $Des \text{ RHT}$ ، مقدار آرمانی متغیر کاهش مصرف مواد خطرناک و سمی است که بر اساس نظر خبرگان و روش تحلیل شبکه ای فازی تعیین می شود.  $RHT \text{ Ahe}$ ، میزان دسترسی به متغیر کاهش مصرف مواد خطرناک و سمی است که به صورت رابطه زیر تعیین می گردد.

$$RHT \text{ Ahe} = MIN(Des \text{ RHT}, RHT)$$

همانگونه که در فرمول بالا مشخص است، مقدار متغیر  $RHT \text{ Ahe}$ ، کمینه مقادیر  $Des \text{ RHT}$  و  $RHT$  است. تعریف این متغیر تضمین می دهد که مقدار متغیر کاهش مصرف مواد خطرناک و سمی از مقدار آرمانی بیشتر نشود.  $RHT$  میزان متغیر کاهش مصرف مواد خطرناک و سمی در هر لحظه از زمان را نشان می دهد و بر اساس فرمول زیر، محاسبه می شود.

$$RHT = dt (RHT \text{ Rate}, Initial \text{ Value})$$

مقدار اولیه متغیر  $Initial \text{ Value}$ ، بر اساس نظر خبرگان مشخص می شود. متغیر  $PA \text{ RHT}$ ، درصد دسترسی به مقدار آرمانی متغیر کاهش مصرف مواد خطرناک و سمی را نشان می دهد و به صورت رابطه زیر، محاسبه می شود.

$$PA \text{ RHT} = (RHT \text{ Ahe} / Des \text{ RHT}) * 100$$

از آنجا که خروجی سیستم استنتاج متغیر  $RHT$ ، به عنوان ورودی سیستم استنتاج فازی سایر قسمت های مساله مورد استفاده قرار می گیرد، لازم است درجه عضویت این متغیر به مجموعه های کم، متوسط و زیاد مشخص شود.



$RHT MDL$ ، نشان دهنده میزان عضویت به مقدار حالت کم بوده و بر اساس عدد مثلث فازی به صورت رابطه زیر، تعیین می شود:

$$\mu_l(x) = \begin{cases} 1, & 0 \leq x \leq 20 \\ \frac{50-x}{30}, & 20 \leq x \leq 50 \end{cases}$$

فرمول این متغیر در نمودار حالت- جریان با استفاده از تابع شرطی به صورت رابطه زیر، نوشته می شود:

$$RHT MDL = IF THEN ELSE(PA RHT < 20, 1, IF THEN ELSE(PA RHT < 50, ((50 - PA RHT)/30), 0))$$

$RHT MDM$ ، نشان دهنده میزان عضویت به مقدار متوسط حالت بوده و بر اساس عدد مثلث فازی به صورت رابطه زیر، تعیین می شود:

$$\mu_M(x) = \begin{cases} \frac{x-20}{30}, & 20 \leq x \leq 50 \\ \frac{80-x}{30}, & 50 \leq x \leq 80 \end{cases}$$

فرمول این متغیر در نمودار حالت- جریان با استفاده از تابع شرطی به صورت رابطه زیر، نوشته می شود:

$$RHT MDM = IF THEN ELSE(PA RHT < 20, 0, IF THEN ELSE(PA RHT < 50, ((PA RHT - 20)/30), IF THEN ELSE(PA RHT < 80, ((80 - PA RHT)/30), 0)))$$

$RHT MDH$ ، نشان دهنده میزان عضویت به مقدار زیاد حالت بوده و بر اساس عدد مثلث فازی به صورت رابطه زیر، تعیین می شود:

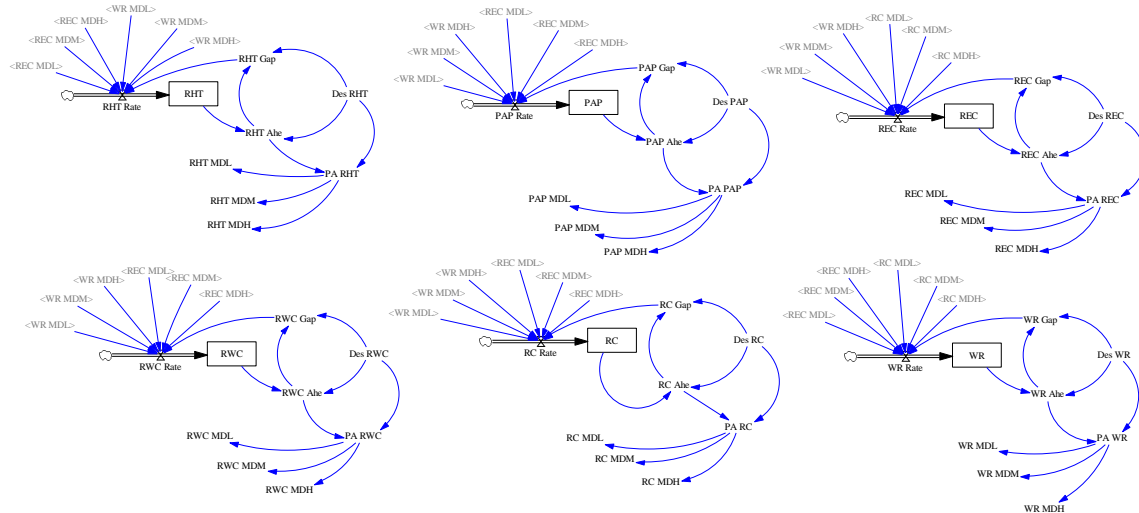
$$\mu_H(x) = \begin{cases} \frac{x-50}{30}, & 50 \leq x \leq 80 \\ 1, & 80 \leq x \leq 100 \end{cases}$$

فرمول این متغیر در نمودار حالت- جریان با استفاده از تابع شرطی به صورت رابطه 4-12، نوشته می شود:

$$RHT MDH = IF THEN ELSE(PA RHT < 50, 0, IF THEN ELSE(PA RHT < 80, ((PA RHT - 50)/30), 1))$$

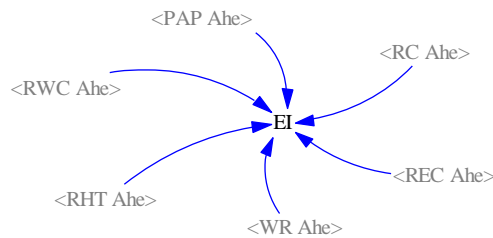
نمودار حالت - جریان کل مدل به شکل زیر ارائه شده است:





نمودار 3: نمودار حالت - جریان مدل

شاخص زیست محیطی بر اساس مجموع امتیازات شاخص‌های فرعی محاسبه می‌گردد. شکل شماره چهار، نحوه محاسبه شاخص زیست محیطی را نشان می‌دهد.



نمودار 4: محاسبه شاخص زیست محیطی

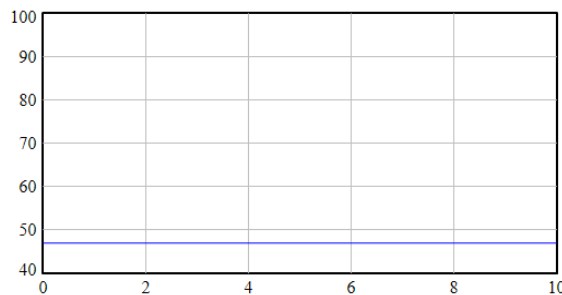
#### 4. شبیه سازی و اعتبار سنجی مدل

پس از فرموله کردن یک مدل شبیه سازی، آزمودن مدل آغاز می‌شود. اعتبار سنجی هر مدل پویایی شناسی سیستم برای اطمینان از اعتبار کافی آن در شرایط سازمان مورد بررسی ضروری است. در پژوهش حاضر اعتبار سنجی مدل در دو بخش مفهومی و تست نرم افزاری بررسی شده است. شناسایی شاخص‌های سیستم بر اساس بررسی ادبیات تحقیق و شناسایی روابط بین آنها بر اساس نظر خبرگان و با استفاده از روش دیمتل اعتبار مدل از نظر مفهومی را تضمین می‌کند. در این بخش لازم به ذکر است که با توجه به اینکه نرخ ناسازگاری دیمتل کمتر از 0/05 بود، قابل قبول می‌باشد. هم چنین در قسمت محاسبه مقدار آرمانی شاخص‌ها با روش تحلیل شبکه ای، نرخ ناسازگاری کلیه ماتریس



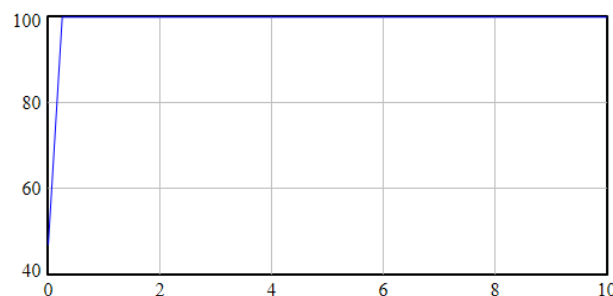
های مقایسات زوجی کمتر از 0/1 بود، این اعداد نشان دهنده اعتبار اطلاعات کسب شده از خبرگان و دقت آن ها در پاسخگویی به سوالات پرسشنامه است.

در بخش تست نرم افزاری از روش رفتار حدی استفاده شده است. در آزمون شرایط حدی، شرایطی در مدل در نظر گرفته می شود که ممکن است در دنیای واقعی دیده نشود، آن گاه رفتار مدل با شرایط مورد انتظار مقایسه می شود. در مدل حاضر برای انجام شرایط حدی نرخ ورودی متغیرهای حالت مورد بررسی قرار گرفت. در یک حالت کلیه ورودی ها برابر با صفر در نظر گرفته شد. رفتار متغیر EI در این شرایط را در نمودار پنج، مشاهده می کنید.



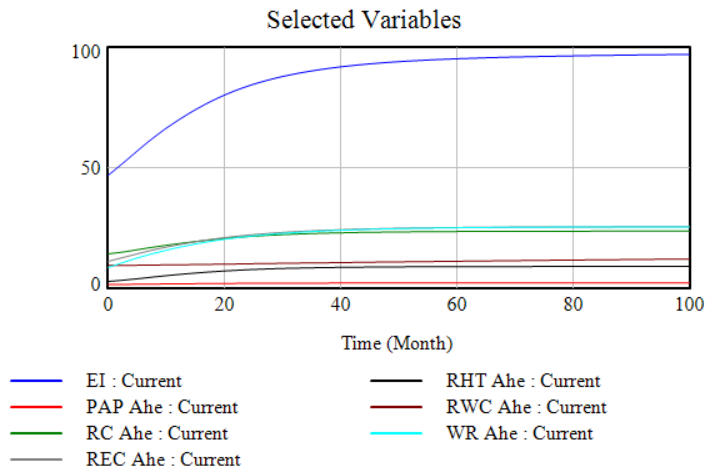
نمودار 5: رفتار متغیر EI، در شرایط حدی صفر کردن نرخ ورودی متغیرهای حالت

همانگونه که مشاهده می کنید، هنگامی که نرخ ورودی تمام متغیرهای حالت برابر با صفر در نظر گرفته شود، میزان شاخص متغیر EI، ثابت مانده و تغییری نمی کند. از آنجا که فرض مدل مبتنی بر حفظ شرایط کنونی و تلاش برای بهبود آن بوده است، رفتار مدل در این شرایط حدی، با رفتار مورد انتظار منطبق است. در گام بعدی آزمون شرایط حدی نرخ ورودی متغیرهای حالت، ده هزار برابر شد تا بتوانیم واکنش مدل را بسنجیم. رفتار متغیر EI در این شرایط را در نمودار شش، مشاهده می کنید.



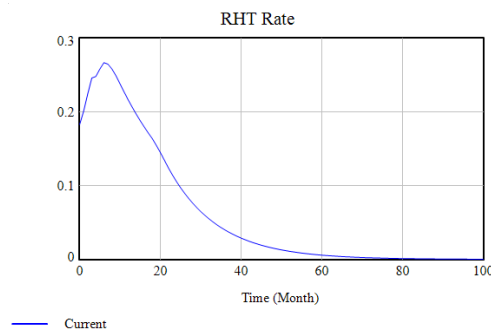
نمودار 6: رفتار متغیر EI، در شرایط حدی ده هزار برابر کردن نرخ ورودی متغیرهای حالت

همانطور که در نمودار شش مشاهده می شود با ده هزار برابر کردن نرخ ورودی متغیرهای حالت، متغیر EI، بسیار سریع به مقدار آرمانی خود می رسد و در همان سطح باقی می ماند. این رفتار با رفتار مورد انتظار از مدل در این شرایط منطبق و نشان دهنده اعتبار مدل است. شبیه سازی مدل رفتار متغیر شاخص های زیست محیطی و همچنین شش شاخص فرعی را به شکل نمودار هفت طی 100 ماه آتی نشان می دهد.



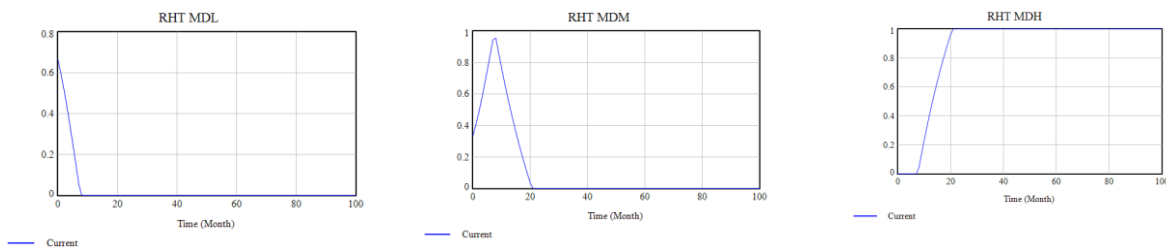
نمودار 7: رفتار شاخص‌های زیست محیطی

نتایج شبیه سازی نشان می دهد که رفتار شاخص‌های زیست محیطی حالتی نمایی داشته و پس از حدود 60 ماه به ثبات می‌رسد. نمودار هشت، رفتار متغیر نرخ کاهش مصرف مواد خطرناک و سمی را نشان می دهد.



نمودار 8: رفتار متغیر نرخ کاهش مصرف مواد خطرناک و سمی

نمودار هشت، در واقع مشتق نمودار رفتار شاخص کاهش مصرف مواد خطرناک و سمی در نمودار شماره هفت می-باشد. برای درک بهتر شیوه تبدیل خروجی سیستم‌های استنتاج فازی مدل به اعداد فازی رفتار متغیر کاهش مواد خطرناک در حالت تعلق به مجموعه‌های کم، متوسط و زیاد به صورت نمودار نه نشان داده شده است.



نمودار 9: رفتار متغیر کاهش مواد خطرناک در حالت تعلق به مجموعه‌های کم، متوسط و زیاد



### 5. بحث و نتیجه گیری

قلب پویایی شناسی سیستم ها روابط ریاضی ما بین متغیرهاست. ساخت روابط ریاضی مابین تمام متغیرها کار آسانی نیست (Parchami Jalal & Shoar, 2017). بخصوص اگر متغیرها به شکل زبانی بوده و در مورد آنها داده های مستند وجود نداشته باشد. برای غلبه بر این مشکل در تحقیق حاضر از روش سیستم استنتاج فازی استفاده شد. سیستم های استنتاج فازی مجموعه ای، برای دریافت ورودی ها از توابع عضویت فازی بوده و برای پردازش و انجام استنتاج بجای قواعد قطعی و صفر یا یک، از قوانین و قواعد فازی استفاده می کند (Fasanghari & Montazer, 2010; Takagi & Sugeno, 1993). ورودی شامل برخی مفاهیم لفظی مبهم و نادقیق برای یک رویداد خاص است و خروجی یک مجموعه فازی یا مجموعه دقیقی از ویژگی های خاص را در بر می گیرد. بر این اساس مجموعه های ورودی و خروجی همان متغیرهای ورودی و خروجی پژوهش هستند که محقق به دنبال کشف روابط بین آن هاست (Efendigil et al., 2009). استفاده از این روش برای ساخت روابط میان متغیرهای پژوهش با توجه به هوشمند بودن این روش و هم چنین به دلیل آنکه اکثر آنها زبانی بوده و قابلیت ارزیابی دقیق ندارند و داده های تاریخی برای آن ها موجود نمی باشد، روشی مفید است که با استفاده از نظر خبرگان روابط میان آن ها را مشخص کرده و با هر گونه تغییر در ورودی تغییر در خروجی در اثر فعال شدن قواعد مربوطه در سیستم استنتاج فازی مشاهده می شود. منظور از هوشمند بودن روش سیستم استنتاج فازی، این است که این سیستم رفتاری مشابه رفتار انسان دارد و همه قواعد تعریف شده برای آن را به طور همزمان در نظر می گیرد و این، همان کاری است که انسان در فعالیتهای روزمره بارها آن را به کار می گیرد، بنابراین با انتخاب این روش می توان از رویکرد استدلال و منطق انسانی در شرایط عدم قطعیت در شبیه سازی رفتار سیستم ها استفاده نمود.

با توجه به مقادیر آرمانی شاخص های زیست محیطی، توصیه می گردد سازمان عمده توجه خود را بر شاخص های کاهش مصرف انرژی، کاهش ضایعات و بازیافت مواد بگذارد. توجه به این سه شاخص حدود 80 درصد وزن شاخص زیست محیطی را شامل می شود و بهبود هر یک از آن ها می تواند بهبود قابل توجهی در شاخص کلی به دنبال داشته باشد. پیشنهاد می شود سازمان مورد بررسی به شبیه سازی عملیاتی سیستم تولیدی خود بپردازد و با اعمال روش هایی برای بهبود تکنیک های ناب، با اطمینان بیشتری نتایج حاصل از مطالعه حاضر را به کار ببرد. پیشنهاد می شود با توسعه الگوریتم پیشنهادی، از سایر روش های سیستم استنتاج فازی، مانند ممدانی استفاده شود تا نیازی به فازی سازی مجدد خروجی های قطعی نباشد.





### منابع

- اصل هاشمی، احمد و خطیبی، شاکر. (1389). اثرات بهداشتی و زیست محیطی مواد شیمیایی خطرناک. کاربرد شیمی در محیط زیست، 2(5)، 1-8.
- جعفری گل، فرزانه، کرباسی، عبدالرضا و پروین نصیری. (1388). بررسی کمی و کیفی پسماندهای شیمیایی خطرناک جهت ارائه راهکارهای کمینه سازی در پالایشگاه تهران. علوم و تکنولوژی محیط زیست، 15(1)، 55-77.
- Alshawi, S., Missi, F., & Irani, Z. (2011). Organisational, technical and data quality factors in CRM adoption— SMEs perspective. *Industrial Marketing Management*, 40(3), 376-383 .
- Aquilani, B., Silvestri, C., & Ruggieri, A. (2016). Sustainability, TQM and value co-creation processes: The role of critical success factors. *Sustainability*, 8(10), 995 .
- Azapagic, A., & Perdan, S. (2000). Indicators of sustainable development for industry: a general framework. *Process Safety and Environmental Protection*, 78 .243-261 ,(4)
- Bond, A., & Morrison-Saunders, A. (2013). Challenges in determining the effectiveness of sustainability assessment *Sustainability Assessment: Pluralism, practice and progress* (Vol. 37, pp. 37-50): ROUTLEDGE in association with GSE Research.
- Bose, B. K. (2010). Global warming: Energy, environmental pollution, and the impact of power electronics. *IEEE Industrial Electronics Magazine*, 4(1), 6-17 .
- Brown, C. S. (2005). *The sustainable enterprise: Profiting from best practice*: Kogan Page Publishers.
- Burke, S., & Gaughran, W. (2007). Developing a framework for sustainability management in engineering SMEs. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 23(6), 696-703 .
- Cai, W., Liu, C., Zhang, C., Ma, M., Rao, W., Li, W., . . . Gao, M. (2018). Developing the ecological compensation criterion of industrial solid waste based on emergy for sustainable development. *Energy*, 157, 940-948 .
- Carneiro, S. B. d. M., Campos, I. B., Oliveira, D. M. d., & Barros Neto, J. d. P. (2012). *Lean and green: a relationship matrix*.
- Chang, A.-Y., & Cheng, Y.-T. (2019). Analysis model of the sustainability development of manufacturing small and medium-sized enterprises in Taiwan. *Journal of cleaner production*, 207, 458-473 .
- Chengalur, S., Rodgers, S., & Bernard, T. Kodak's ergonomic design for people at work, (2004): Wiley.
- Despeisse, M., Ball, P., & Evans, S. (2012). Modelling and tactics for sustainable manufacturing: an improvement methodology *Sustainable manufacturing* (pp. 9-16): Springer.
- Dincer, I. (2002). The role of exergy in energy policy making. *Energy policy*, 30(2), 137-149 .
- Efendigil, T., Önüt, S., & Kahraman, C. (2009). A decision support system for demand forecasting with artificial neural networks and neuro-fuzzy models: A comparative analysis. *Expert systems with applications*, 36(3), 6697-6707 .
- Engert, S., Rauter, R., & Baumgartner, R. J. (2016). Exploring the integration of corporate sustainability into strategic management: a literature review. *Journal of cleaner production*, 112, 2833-2850 .
- Fasanghari ,M., & Montazer, G. A. (2010). Design and implementation of fuzzy expert system for Tehran Stock Exchange portfolio recommendation. *Expert systems with applications*, 37(9), 6138-6147 .
- Foong, K. C., Chee, C. T., & Wei, L. S. (2009). *Adaptive network fuzzy inference system (ANFIS) handoff algorithm*. Paper presented at the 2009 International Conference on Future Computer and Communication.
- Goodland, R. (1995). The concept of environmental sustainability. *Annual review of ecology and systematics*, 26(1), 1-2 .4
- Handfield, R. B., Walton, S. V., Seegers, L. K., & Melnyk, S. A. (1997). 'Green' value chain practices in the furniture industry. *Journal of operations management*, 15(4), 293-315 .
- Herendeen, R. A. (2004). Energy analysis and EMERGY analysis—a comparison. *Ecological Modelling*, 178(1-2), 227-237 .
- Herva, M., Franco, A., Carrasco, E. F., & Roca, E. (2011). Review of corporate environmental indicators. *Journal of cleaner production*, 19(15), 1687-1699 .



- Hoekstra, A. Y., & Chapagain, A. K. (2006). Water footprints of nations: water use by people as a function of their consumption pattern *Integrated assessment of water resources and global change* (pp. 35-48): Springer.
- Huijbregts, M. A., Rombouts, L. J., Hellweg, S., Frischknecht, R., Hendriks, A. J., van de Meent, D., . . . Struijs, J. (2006). Is cumulative fossil energy demand a useful indicator for the environmental performance of products? : ACS Publications.
- Johnston, P., Everard, M., Santillo, D., & Robèrt, K.-H. (2007). Reclaiming the definition of sustainability. *Environmental science and pollution research international*, 14(1), 60-66 .
- Kopidou, D., Tsakanikas, A., & Diakoulaki, D. (2016). Common trends and drivers of CO2 emissions and employment: a decomposition analysis in the industrial sector of selected European Union countries. *Journal of cleaner production*, 112, 4159-4172 .
- Latif, H. H., Gopalakrishnan, B., Nimbarte, A., & Currie, K. (2017). Sustainability index development for manufacturing industry. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 24, 82-95 .
- Lou, H. H., Kulkarni, M., Singh, A., & Huang, Y. L. (2004). A game theory based approach for energy analysis of industrial ecosystem under uncertainty. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 6(3), 156-161 .
- Lv, J., Peng, T., & Tang, R. (2019). Energy modeling and a method for reducing energy loss due to cutting load during machining operations. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 233(3), 699-710 .
- Ma, M., & Cai, W. (2018). What drives the carbon mitigation in Chinese commercial building sector? Evidence from decomposing an extended Kaya identity. *Science of The Total Environment*, 634, 884-899 .
- Mikulčić, H., Vujanović, M., & Duić, N. (2013). Reducing the CO2 emissions in Croatian cement industry. *Applied energy*, 101, 41-48 .
- Moldavska, A., & Welo, T. (2016). Development of manufacturing sustainability assessment using systems thinking. *Sustainability*, 8(1), 5 .
- Moldavska, A., & Welo, T. (2019). A Holistic approach to corporate sustainability assessment: Incorporating sustainable development goals into sustainable manufacturing performance evaluation. *Journal of Manufacturing Systems*, 50, 53-68 .
- Neelis, M., Patel, M., Blok, K., Haije, W., & Bach, P. (2007). Approximation of theoretical energy-saving potentials for the petrochemical industry using energy balances for 68 key processes. *Energy*, 32(7), 1104-1123 .
- Ness, B., Urbel-Piirsalu, E., Anderberg, S., & Olsson, L. (2007). Categorising tools for sustainability assessment. *Ecological economics*, 60(3), 498-508 .
- Parchami Jalal, M., & Shoar, S. (2017). A hybrid SD-DEMATEL approach to develop a delay model for construction projects. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 24(4), 629-651 .
- Pelling, M., Maskrey, A., Ruiz, P., Hall, P., Peduzzi, P., Dao, Q.-H., . . . Kluser, S. (2004). Reducing disaster risk: a challenge for development .
- Ranganathan, J. (1998). Sustainability rulers: Measuring corporate environmental and social performance. *Sustainability Enterprise Perspective*, 1-11 .
- Ren, J., & Sovacool, B. K. (2015). Prioritizing low-carbon energy sources to enhance China's energy security. *Energy Conversion and Management*, 92, 129-136 .
- Schmidheiny, S. (1992). The business logic of sustainable development. *Columbia Journal of World Business*, 27(3-4), 18-24 .
- Sikdar, S. K. (2003). Sustainable development and sustainability metrics. *AIChE journal*, 49(8), 1928-1932 .
- Starik, M., & Rands, G. P. (1995). Weaving an integrated web: Multilevel and multisystem perspectives of ecologically sustainable organizations. *Academy of management review*, 20(4), 908-935 .
- Takagi, T., & Sugeno, M. (1993). Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control *Readings in Fuzzy Sets for Intelligent Systems* (pp. 387-403): Elsevier.
- Tang, K., & Yeoh, R. (2007). *Cut carbon, grow profits: business strategies for managing climate change and sustainability*: Libri Pub Limited.
- Thanki, S., Govindan, K., & Thakkar, J. (2016). An investigation on lean-green implementation practices in Indian SMEs using analytical hierarchy process (AHP) approach. *Journal of cleaner production*, 135, 284-298 .



# Systems Thinking In Practice

2<sup>nd</sup>  
National Conference on

دومین کنفرانس ملی (مجازی)

تفکر سیستمی در عمل



Waas, T., Hugé, J., Block, T., Wright, T., Benitez-Capistros, F., & Verbruggen, A. (2014). Sustainability assessment and indicators: Tools in a decision-making strategy for sustainable development. *Sustainability*, 6(9), 5512-5534 .