

Dor: [20.1001.1.20089597.1400.12.24.1.3](https://doi.org/10.1001.1.20089597.1400.12.24.1.3)

شناسایی و رفع موانع اصلی بازیافت پسماندهای تولیدی در واحدهای صنعتی کوچک و متوسط با استفاده از رویکرد تلفیقی ISM، LCA و AHP (مطالعه موردی: شهرک صنعتی شماره دو ارومیه)

امین علیزاده^۱، مهدی قنبرزاده لک^{۲*}

۱ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی عمران - محیط‌زیست، دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران
۲ استادیار گروه عمران، دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۹/۲۹؛ تاریخ تصویب: ۱۴۰۰/۰۷/۰۷)

چکیده

مدیریت پسماندهای قابل بازیافت واحدهای کوچک و متوسط شهرک‌های صنعتی، از طریق شناسایی موانع و طرح‌ریزی برنامه‌های اجرایی رفع موانع اصلی، با به کارگیری روش‌های تحلیل سلسله مراتبی و ارزیابی چرخه عمر، هدف اصلی مقاله حاضر است. شهرک صنعتی شماره دو ارومیه به عنوان مطالعه موردی انتخاب شد. تعداد نه مانع در زمینه مدیریت ضعیف کنونی پسماندهای قابل بازیافت، شناسایی شد. با اعمال روش ISM، موانع B5 (جذابیت اقتصادی اندک برای پیمانکار جمع‌آوری)، B1 (نبود آگاهی عمومی)، B9 (نبود دفتر تحقیق و توسعه) و B3 (اطلاع‌رسانی نامناسب)، با قرار گرفتن در گروه عوامل مستقل، موانع کلیدی این مطالعه محسوب می‌شوند. با توجه به اهمیت اصلاح مانع B5 در بهبود روند مدیریت کنونی، دو سناریوی جمع‌آوری مخلوط و مجزای زایدات قابل بازیافت از واحدهای صنعتی کوچک و متوسط، تعریف شدند. با استفاده از رویکرد LCA، میزان انتشارات ناشی از سناریوهای یک و دو به ترتیب ۱۷/۸۶- و ۲۲/۱۵- MTCE/yr و انرژی مصرفی حدود ۵۵۸/۰ و ۵۴۵/۰ MBtu/yr برآورد شد. درآمد خالص فروش مواد پردازش شده نیز به ترتیب ۸۱۹ و ۱۹۲ میلیون ریال در سال (سال انجام تحقیق ۱۳۹۶) تخمین زده می‌شود. نتایج تحلیل سلسله مراتبی بر اساس سه معیار محیط‌زیستی، اقتصادی و فنی/اجتماعی و زیرمعیارهای مربوطه، حاکی از اهمیت معیار اقتصادی در فرآیند تصمیم‌گیری است. در نهایت سناریوی یک با امتیاز ۰/۵۰۲۸ به عنوان گزینه برتر انتخاب شد. در مقاله حاضر رویکردی جدید برای انجام آنالیز حساسیت پیشنهاد شده است. اگر وزن معیار محیط‌زیستی به کمتر از ۰/۲۲ محدود شود، در هر شرایطی از نقطه نظر وزن معیار اقتصادی، سناریوی دو برتر خواهد بود.

کلید واژه‌ها: بازیافت، پسماند صنعتی، صنایع کوچک و متوسط، ISM، LCA، AHP

سرآغاز

در جلوگیری از توسعه زیرساخت‌های لازم برای عملی شدن برنامه‌های بازیافت زباله کشور هندوستان هستند. (Kumar & Dixit, 2018) نیز در مطالعه‌ای به تجزیه و تحلیل موانع اجرای روش‌های مدیریت ضایعات الکترونیکی با استفاده از ISM پرداختند. عوامل فقدان آگاهی‌های عمومی در خصوص بازیافت ضایعات الکترونیکی و عدم اجرای سیاست‌های مربوط به مدیریت ضایعات الکترونیکی، به عنوان موانع ریشه‌ای شناسایی شدند. در مقاله حاضر پس از شناسایی موانع و سطح‌بندی آنها، سناریوهایی به منظور رفع موانع اصلی، طرح‌ریزی گردید. معیارهای مورد عمل در انتخاب سناریوی برتر در سه گروه محیط‌زیستی، اقتصادی و فنی/اجتماعی، تقسیم‌بندی شدند. در بررسی معیارهای محیط‌زیستی، عوامل میزان انتشارات گازهای گلخانه‌ای، مصارف انرژی، حفظ منابع و فضای مورد نیاز برای دفن، مورد ارزیابی قرار گرفتند. محاسبات میزان انتشارات گازهای گلخانه‌ای و مصارف انرژی در هر کدام از سناریوها، براساس متدولوژی ارزیابی چرخه عمر^(۲) (LCA) انجام شد. از جمله مطالعات مرتبط می‌توان به تحقیقات (Özeler et al., 2006)، اشاره داشت. ایشان در مقایسه روش‌های مختلف مدیریت پسماند تولیدی در شهر آنکارا (ترکیه)، با کاربرد متدولوژی LCA، بار محیط‌زیستی هر سناریو را ارایه نمودند. (Huang et al., 2009)، با استفاده از LCA به ارزیابی اثرات محیط‌زیستی سناریوهای استفاده از مواد بازیافت شده در ساخت آسفالت پرداختند. ارزیابی چرخه عمر توربین‌های بادی و فرآیندهای تولید سوخت زیستی (Weinzettel et al., 2009)، مطالعه گزینه‌های دفن، واحد MRF^(۳) و زباله‌سوزی (Cherubini et al., 2009)، ارزیابی تکنولوژی‌های جایگزین در آبی‌پروری (Ayer & Tyedmers, 2009)، مقایسه سیستم‌های مختلف جمع‌آوری زباله شهری (Iriarte et al., 2009)، انتخاب سناریوی برتر دفع از بین گزینه‌های یک-دفن کلیه زایدات شهری و دو-بهره‌گیری از روش‌های کمپوست کردن و دفن به طور همزمان (Abduli et al., 2011) و بررسی روش‌های تولید برق از بقایای ضایعات کشتارگاهی (Santagata et al., 2017)، گستردگی کاربرد متدولوژی LCA در انجام ارزیابی‌های محیط‌زیستی سناریوهای مدیریتی را نشان می‌دهد. در انجام ارزیابی‌های اقتصادی، قیمت خرید انواع اقلام بازیافتی مطابق با قیمت روز کشور ایران از طریق استعمال از مراکز خرید، برآورد شده است. از نقطه نظر فنی/اجتماعی نیز ارزیابی‌ها براساس جمع‌بندی نقطه نظرات کارشناسان

مدیریت صحیح پسماندهای تولیدی در شهرک‌های صنعتی، به دلیل تنوع در میزان تولید و خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی، دارای اهمیت ویژه‌ای از نقطه نظر تولیدکنندگان، نهادهای نظارتی محیط‌زیست و متولیان بخش خدمات شهرک‌های صنعتی است (Nouri et al., 2018, 2011a,b; Lu et al., 2012). برنامه‌ریزی و اجرای فعالیت‌های بازتولید و بازیابی مواد و انرژی از پسماندهای تولیدی در شهرک‌های صنعتی می‌تواند ضمن کمک در استقرار اکولوژی صنعتی (کاربرد امکانات موجود در شهرک صنعتی در راستای کاهش استخراج و مصرف مواد و انرژی و تولید زایدات)، تعامل مناسبی بین واحدهای صنعتی و محیط‌زیست ایجاد نماید (Pauliuk et al., 2017; Arbolino et al., 2018). پس از آن و بسته به نوع زایدات تولیدی و درجه خطرآفرینی آنها، سایر عناصر پایین دستی یک سیستم جامع مدیریت پسماند (شامل تولید کود کمپوست، زباله‌سوزی و دفن)، قابل کاربرد خواهند بود (Ghazban et al., 2014). ذکر این نکته ضروری است که نبود طرح جامع مدیریت پسماند در شهرک‌های صنعتی، مشکلات شدید محیط‌زیستی همچون کاهش آلوده‌سازی منابع آب، فرسایش خاک، ریزش باران‌های اسیدی، وقوع طوفان‌های گرد و غبار و تخریب جنگل‌ها را به دنبال خواهد داشت (Zamorano et al., 2011).

رویکرد مدل‌سازی ساختاری تفسیری^(۱) (ISM)، از جمله روش‌های شناسایی و سطح‌بندی موانع است که در این مقاله مورد استفاده قرار گرفته است. این روش که توسط J.N Warfield در سال ۱۹۷۳ توسعه داده شد (Sushil, 2012)، عموماً در مشخص نمودن سطح و جهت روابط پیچیده موجود بین عناصر یک سیستم به کار گرفته می‌شود (Zhu & Wang, 2010; Sushil, 2012; Singh et al., 2007; Kumar & Dixit, 2018; Chauhan et al., 2016). (et al., 2007) Singh، به مطالعه عوامل بهبود رقابت‌پذیری بین شرکت‌های کوچک و متوسط پرداختند. در این مطالعه عوامل موثر بر رقابت‌پذیری شناسایی شده و رویکرد ISM جهت توسعه روابط ساختاری بین این عوامل مورد استفاده قرار گرفت. (Zhu & Wang, 2010) با استفاده از رویکرد ISM عوامل موثر بر توسعه زمین‌های انباشت زباله‌های معدنی را بررسی نمودند. (Chauhan et al., 2016) در تحلیل موانع اجرای برنامه بازیافت، رویکرد ISM را به کار بردند. یافته‌های این مطالعه نشان می‌دهد که موانعی همچون فقدان بودجه و یارانه، موثرترین موانع

محدوده مورد مطالعه، از طریق مراجعه حضوری و تکمیل پرسشنامه از پیش تهیه شده (خود اظهاری)، برآورد شد. براین اساس، همانند سایر مطالعات مشابه (Zare et al., 2016; Qdais & Alshraideh, 2016; Nouri et al., 2018)، برای تعیین تعداد واحدهای مورد مصاحبه، ابتدا کلیه صنایع مستقر در ۱۵ دسته طبقه‌بندی و سپس تعداد نمونه در هر طبقه، با استفاده از معادله کوکران برای جوامع با تعداد محدود تعیین شد (رابطه ۱).

$$n_0 = \frac{z^2 pq}{d^2} \quad (1) \quad (\text{Zikmund et al., 2013})$$

که در آن، n_0 : حجم نمونه مورد بررسی (برای هر دسته از صنایع به صورت مجزا تعیین می‌شود)؛ z : درصد خطای معیار براساس ضریب اطمینان قابل قبول ۹۵ درصد (در اینجا ۱/۹۶۰)؛ p : نسبتی از جمعیت که واجد صفتی معین هستند (۰/۵)؛ q : (معادل $1-p$) نسبتی از جمعیت فاقد صفتی معین (۰/۵)؛ و d : درجه اطمینان با دقت احتمالاتی مطلوب (در اینجا ۱۰ درصد)، است. لازم به ذکر است بهره‌گیری از فرمول کوکران برای حصول نتایج قابل اعتماد در سایر تحقیقات مشابه مورد تایید قرار گرفته است (Ghanbarzadeh Lak et al., 2013; Nouri et al., 2018).

- نحوه شناسایی و سطح‌بندی موانع براساس روش ISM
عملکرد ضعیف سیستم مدیریتی پسماندهای قابل بازیافت تولیدی در شهرک صنعتی مورد مطالعه (به عنوان یکی از نتایج تحلیل پرسش‌نامه‌ها)، لزوم شناسایی و سطح‌بندی موانع و یافتن راه‌حلی مناسب به منظور برطرف‌سازی نقاط ضعف را آشکار نمود. بدین منظور روش ISM مورد عمل قرار گرفت. این روش دارای هشت مرحله به شرح زیر است.

۱. تعیین عوامل موثر بر مساله (موانع) (جدول ۵).

۲. ایجاد یک رابطه متنی بین موانع مشخص شده در مرحله اول و تعیین پاسخ مربوطه: در این مرحله لازم است ابتدا ساختار مناسب ISM متناسب با مساله مورد مطالعه مشخص شود (یکی از پنج ساختار شرح داده شده در مرجع (Janes, 1988)). در مقاله حاضر با توجه به ماهیت مساله، از ساختار ارتقای ویژگی (۶) و رابطه متنی «آیا پارامتر ... منجر می‌شود به پارامتر ...»، استفاده شده است.

۳. تشکیل ماتریس خود تعاملی ساختاری $SSIM^{(M)}$: در تشکیل ماتریس $SSIM$ (به عنوان نمونه مراجعه شود به جدول ۶)،

خبره محلی انجام گردید. در نهایت برای دستیابی به هدف اصلی تحقیق، به منظور تلفیق ارزیابی‌های سه گانه محیط‌زیستی، اقتصادی و فنی/ اجتماعی سناریوها، از یکی از پُر کاربردترین روش‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه $(MADM)^{(۴)}$ ، یعنی فرآیند تحلیل سلسله مراتبی $(AHP)^{(۵)}$ بهره گرفته شد.

در روش AHP گزینه‌ها دو به دو با یکدیگر مقایسه شده و با تشکیل ماتریس مقایسه‌های زوجی از نقطه نظر معیارهای موجود در مساله، بهترین گزینه مشخص می‌شود. در این روش وابستگی‌ها باید از بالا به پایین و به صورت خطی باشند (Asgarpour, 2014; Ataei, 2017; Nouri et al., 2018; Tzeng & Huang, 2011). از جمله کاربردهای روش AHP در مسایل تصمیم‌گیری حوزه مدیریت پسماند می‌توان به مطالعات (Şener et al., 2011; Zare et al., 2016; Achillas et al., 2016; Qdais & Alshraideh, 2013)، اشاره داشت.

در ادامه مقاله و در بخش روش انجام تحقیق، فرآیندهای مورد عمل شامل نحوه تعیین کمیت و کیفیت پسماند، سناریوهای مورد بررسی و روش‌های ISM و AHP، تشریح شده است. اطلاعات جامعی از وضعیت کنونی تولید و مدیریت پسماندهای تولیدی در شهرک صنعتی شماره دو ارومیه به عنوان مطالعه موردی، در بخش نتایج ارائه خواهد شد. همچنین، نتایج نظرسنجی از واحدهای صنعتی مستقر در شهرک، مسئولین واحد خدمات شرکت شهرک‌های صنعتی استان آذربایجان غربی و متخصصان محلی مدیریت پسماند، در قالب روش ISM به منظور تعیین و سطح‌بندی موانع موجود بر سر راه مدیریت پسماندهای قابل بازیافت تولیدی در واحدها، در بخش نتایج مقاله آورده شده است. با توجه به این نکته که مانع اصلی در این خصوص، پایین بودن جذابیت اقتصادی بازیافت از دیدگاه پیمانکاران، تشخیص داده شد، در ادامه بخش نتایج، دو سناریوی Sc-1: جمع‌آوری مجزا و Sc-2: جمع‌آوری مخلوط پسماندهای با ارزش از واحدهای کوچک و متوسط صنعتی، تعریف شد. به منظور انجام ارزیابی محیط‌زیستی این سناریوها از متدولوژی LCA بهره گرفته شد و در ادامه با تشکیل سلسله مراتب تصمیم، ارزیابی‌های سه گانه تلفیق شده‌اند.

روش انجام تحقیق

- برآورد کمیت و کیفیت پسماندهای تولیدی در منطقه مورد مطالعه

ویژگی‌های کمی و کیفی زایدات تولیدی در واحدهای صنعتی

می‌کند (نقش داشته است). بنابراین جهت پر کردن هر کدام از ردیف‌ها در این ستون از جدول (۸)، به ردیف مربوط توجه می‌شود. بدین صورت که اگر عدد یک مشاهده شد، عنصر مربوطه نوشته خواهد شد. مجموعه مقدم نیز مجموعه عناصری است که منجر به عنصر موردنظر می‌شود. مجموعه اشتراک، نمایانگر عناصر مشترک در دو ستون قبلی است. حال عنصری که برای آن مجموعه دسترسی‌پذیری و مجموعه اشتراک مساوی است، دارای بالاترین سطح خواهد بود. پس از تعیین سطح اول، در کلیه ردیف‌های باقیمانده این عنصر حذف شده و عملیات فوق مجدداً انجام می‌گیرد تا کلیه عناصر، سطح‌بندی شوند.

۷. تشکیل ماتریس فرم مخروطی، رسم گراف مستقیم اولیه (Digraph)^(۱۲) و گراف مستقیم نهایی: در این مرحله ماتریس دسترسی نهایی بازنویسی می‌شود به گونه‌ای که ردیف اول به سطح اول حاصل از مرحله قبل، ردیف دوم به سطح دوم و ... اختصاص خواهد یافت. ماتریس حاصله را فرم مخروطی ماتریس دسترسی می‌نامند. حال بر اساس این ماتریس می‌توان Digraph اولیه را رسم نمود که در آن رئوس شامل اعداد نماینده عوامل مورد بررسی هستند. اگر در ماتریس دسترسی نهایی داشته باشیم $M_{Final}(i,j) = 1$ ، از عنصر i پیکانی خارج و به عنصر j وارد خواهد شد. Digraph اولیه بسیار پیچیده خواهد بود. در مرحله بعد کلیه ارتباطات غیر مستقیم حذف می‌شوند تا Digraph نهایی و ساده شده حاصل شود. در نهایت اعداد با عبارات موانع جایگزین می‌شوند (شکل ۴ را ببینید).

۸. ترسیم گراف Driver Power- Dependency و تفسیر آن: Driver Power هر عنصر عبارت است از جمع اعداد ردیف شامل عنصر مربوطه و بیانگر جمع تعداد عناصری است که این عنصر در به دست آوردن آنها کمک می‌کند (به انضمام خود عنصر). Dependency هر عنصر نیز جمع تعداد عناصری است که منجر به عنصر مدنظر می‌شوند (به انضمام خود عنصر). بدین ترتیب شکلی همانند شکل (۳) رسم خواهد شد. براساس این شکل موانع در چهار دسته قابل تقسیم هستند. **عوامل خودمختار**^(۱۳): این عوامل دارای قدرت اثرگذاری کم و وابستگی اندک هستند. می‌توان این عوامل را تقریباً جدا شده از سیستم دانست چرا که ارتباط کمی با دیگر عناصر دارند. **عوامل وابسته**^(۱۴): این عوامل دارای قدرت اثرگذاری کم ولی وابستگی زیادی هستند. **عوامل پیوندی**^(۱۵): این عوامل دارای

نحوه پر کردن درایه‌ها به صورت یک انتخاب از چهار مورد زیر خواهد بود (اگر $i > j$ باشد)، V : پارامتر i منجر می‌شود به پارامتر j ; A : پارامتر j منجر می‌شود به پارامتر i ; X : پارامتر i و j منجر به همدیگر می‌شوند؛ و O : هیچکدام از پارامترهای i و j ارتباطی با همدیگر ندارند.

۴. تهیه ماتریس دسترسی اولیه^(۸): ابتدا بر اساس ماتریس SSIM، ماتریس مجاورت A ^(۹)، ساخته خواهد شد. در تهیه ماتریس A ، اگر سلول متناظر در ماتریس SSIM دارای ارزش V باشد، سلول $A_{ij} = 1$ و سلول $A_{ji} = 0$ قرار داده می‌شود. همچنین اگر سلول متناظر دارای ارزش A باشد، $A_{ij} = 1$ و $A_{ji} = 0$ ، اگر سلول متناظر دارای ارزش X باشد، $A_{ij} = 1$ و $A_{ji} = 1$ ، اگر سلول متناظر دارای ارزش O باشد، $A_{ij} = A_{ji} = 0$ قرار داده خواهد شد. ماتریس دسترسی اولیه M به صورت $M = A + I$ محاسبه می‌شود که در آن منظور از I ماتریس همانی هم بُعد با ماتریس مجاورت A است.

۵. بررسی انتقال‌پذیری ماتریس دسترسی اولیه و تهیه ماتریس دسترسی نهایی: انتقال‌پذیری مهمترین اصل در رویکرد ISM است. با به توان رساندن ماتریس M بر اساس قوانین جبر بولین (یعنی $1+0 = 0+1 = 1$ ، $0+0 = 0$ ، $1+1 = 1$ ، $1 \times 0 = 0 \times 1 = 0$ ، $1 \times 1 = 1$ و $0 \times 0 = 0$)، روابط غیر مستقیم موجود بین موانع (که در ماتریس دسترسی اولیه مغفول مانده بودند)، در ماتریس دسترسی نهایی ظاهر خواهند شد (رابطه ۲). به بیان دیگر، می‌توان چنین اظهار داشت که M^2 روابط غیر مستقیم سطح اول، M^3 روابط غیر مستقیم سطح دوم و ... را ظاهر خواهد نمود.

$$M_{Final} = (A+I)^n \quad (\text{Zhu \& Wang, 2010}) \quad (2)$$

$$\text{s.t. : } (A+I)^{n-1} < (A+I)^n \\ = (A+I)^{n+1}$$

۶. تقسیم‌بندی ماتریس دسترسی نهایی و تعیین سطح عوامل: این مرحله شامل چند بخش متوالی (عملیات متوالی) است. ابتدا بر اساس ماتریس دسترسی نهایی، جدولی همانند جدول (۸) تشکیل می‌شود. همان‌طور که مشخص است، در این جدول سه ستون با عناوین مجموعه دسترسی‌پذیری^(۱۰)، مجموعه مقدم^(۱۱) و مجموعه اشتراک، موجود است. مجموعه دسترسی‌پذیری شامل خود عناصر و سایر عناصری است که عنصر مربوطه (ردیف متناظر) در به دست آوردن آن‌ها کمک

می‌شوند؛ و ج. پسماندهای با ارزش که شامل فلزات، انواع دورریزهای پلیمری و پلاستیک و کاغذ و مقوا می‌باشند (Alizadeh & Ghanbarzadeh Lak, 2017). این دسته‌بندی بر اساس شرایط موجود بازار فروش مواد قابل بازیافت در کشور ایران انجام شده است (سایر زایدات با ارزش مانند دورریزهای شیشه‌ای و پارچه و الیاف، بازار فروش مناسبی در کشور ایران ندارند). بنابراین در این مطالعه، دو سناریو به شرح زیر مورد بررسی قرار خواهد گرفت:

سناریوی یک: در این سناریو زایدات قابل بازیافت به صورت مخلوط طی یک برنامه منظم چهار روزه، توسط پیمانکار جمع‌آوری شده و به واحد MRF منتقل خواهد شد. پس از انجام عملیات جداسازی و پردازش، محصولات حاصله به واحد فروش و دورریزها در یک برنامه ده روزه به مرکز دفن منتقل می‌گردند. علاوه بر آن، سایر زایدات تولیدی در واحدهای هدف (یعنی پسماندهای فسادپذیر، پارچه و الیاف، چرم و لاستیک، زایدات شیمیایی و چوب)، طی یک برنامه منظم ده روزه، توسط پیمانکار جمع‌آوری شده و به همراه زایدات حاصل از واحد MRF، به مرکز دفن شهر ارومیه منتقل خواهند شد (لطفاً رجوع کنید به شکل ۵).

سناریوی دو: در این سناریو هرکدام از زایدات فلزی، انواع پلاستیک، کاغذ و مقوا و سایر زایدات، به صورت مجزا جمع‌آوری می‌شوند، به طوری که زایدات فسادپذیر و زایدات با عنوان سایر (شامل زایدات شیمیایی، چوب، پارچه و الیاف و چرم و لاستیک) به طور مستقیم به مرکز دفن منتقل شده و زایدات فلزی، انواع پلاستیک، کاغذ و مقوا بعد از ورود به واحد MRF، پردازش شده و به واحد فروش منتقل می‌شوند و زایدات خروجی از واحد MRF نیز به مرکز دفن منتقل می‌شوند. تفاوت اصلی سناریوی دو با سناریوی یک در جمع‌آوری مجزای پسماندهای با ارزش و در نتیجه راندمان بالای جداسازی و پردازش آنها، است. علاوه بر آن، در این سناریو طول مسیر جمع‌آوری بیشتر از سناریوی یک خواهد بود (شکل ۵).

- ساختار مدل تصمیم‌سازی مبتنی بر AHP

معیارهای ارزیابی در تحقیق حاضر شامل معیارهای ۱. محیط‌زیستی، ۲. اقتصادی و ۳. فنی/ اجتماعی، هستند. دغدغه‌های محیط‌زیستی قابل بررسی در ارزیابی سناریوها را می‌توان شامل کاهش لایه ازن استراتوسفری، گرمایش جهانی، سلامتی انسان، سلامت اکولوژیکی، شکل‌گیری مه‌دود، کاهش

قدرت اثرگذاری بالا و وابستگی زیاد هستند. اعمال هرگونه تغییری در این عوامل، اثرات قابل توجه بر سایر عناصر خواهد گذاشت و ممکن است بازخوردی بر خود آنها نیز داشته باشد. **عوامل محرک یا مستقل** (۱۶): این عوامل دارای قدرت اثرگذاری بالا و وابستگی کم هستند. این عوامل روی عناصر دیگر اثرگذارند ولی از آنها اثر چندانی نمی‌پذیرند. لازم به ذکر است در تقسیم‌بندی فضای گراف Driver Power-Dependency به چهار ناحیه ذکر شده، از میانه‌ها در هر محور استفاده شده است (Singh et al., 2003, 2007).

- سناریوهای مورد بررسی

همان‌طور که در ادامه مقاله ذکر خواهد شد، مهمترین مانع در زمینه مدیریت اصولی پسماندهای قابل بازیافت تولیدی در شهرک صنعتی مورد مطالعه، پایین بودن جذابیت اقتصادی جمع‌آوری و مدیریت این قبیل پسماندها در واحدهای کوچک و متوسط از دیدگاه پیمانکاران، به عنوان نتیجه روش ISM، تعیین شده است. در توضیح لازم به ذکر است، با توجه به تولید دورریزهای با ارزش بازیافتی در احجام بالا در واحدهای صنعتی بزرگ، پیمانکاران بازیافت تمایل زیادی به جمع‌آوری اقلام بازیافتی از این واحدها داشته و مالکین چنین واحدهایی نیز بخشی از هزینه‌های خود را از طریق فروش پسماندهای قابل بازیافت تامین می‌نمایند. بدین ترتیب، روند مدیریتی کنونی، ورود چنین زایداتی را به جریان پسماند شهرک صنعتی مورد مطالعه، منحرف خواهد نمود. با این وجود، تولید پسماند قابل بازیافت در مقادیر کم و پراکنده مکانی واحدهای کوچک و متوسط در سطح شهرک (شکل‌های ۲ و ۳ و راهنمای شکل ۱ را ببینید)، جذابیت‌های اقتصادی فرآیند بازیافت را برای این واحدها خصوصاً از دیدگاه پیمانکاران بازیافت، کاهش داده است. مهمترین مشکل در این راستا، اجرا یا عدم اجرای طرح جمع‌آوری مجزای اقلام قابل بازیافت از واحدهای کوچک و متوسط (شامل زایدات فلزی، انواع پلاستیک و کاغذ و مقوا)، با توجه به مسایل محیط‌زیستی، اقتصادی و فنی/ اجتماعی، است.

واحدهای هدف در این مطالعه (کوچک و متوسط)، به طور کلی سه نوع زایدات تولید می‌کنند: الف. پسماندهای بی‌اثر (عموماً سنگ‌لاشه)، که طبق روند کنونی در شهرک صنعتی مورد مطالعه، از طریق استخدام پیمانکاران دفع توسط واحدها، مدیریت خواهند شد؛ ب. زایدات بدون ارزش بازیافتی که همانند روند کنونی سایر زایدات (شبه شهری) توسط واحد خدمات شهرک صنعتی مدیریت

روش‌های تقریبی، قابل محاسبه خواهد بود (Ghanbarzadeh Lak et al., 2013; Nouri et al., 2018, 2011a,b; PourAghdam et al., 2019; Shafiei & Ghanbarzadeh, 2011).

لازم به ذکر است، هر ماتریس مقایسات زوجی ممکن است سازگار و یا ناسازگار باشد. در حالت سازگاری کامل، وزن W_j از نرمالیزه کردن عناصر هر ستون به دست می‌آید. اما در حالتی که ماتریس ناسازگار باشد، یکی از روش‌های ذکر شده مورد استفاده قرار خواهد گرفت. با محاسبه شاخص ناسازگاری $(I.I.)^{(۱۷)}$ توسط رابطه ۳ و تقسیم آن بر شاخص ناسازگاری تصادفی $(R.I.I.)^{(۱۸)}$ ، مقدار عددی نرخ ناسازگاری $(I.R.)^{(۱۹)}$ به دست می‌آید (رابطه ۴). مقایسه $I.R$ با عدد $۰/۱$ به عنوان حد قابل قبول نرخ ناسازگاری Tzeng (Huang, 2011) & می‌تواند درخصوص لزوم تکرار قضاوت‌ها به تصمیم‌گیرنده کمک نماید (Asgarpour, 2014; Ataei, 2017); (Nouri et al., 2018; Tzeng & Huang, 2011).

$$I.I. = \frac{(\lambda_{\max} - n)}{n-1} \quad (۳)$$

$$I.R. = \frac{I.I.}{R.I.I.}; \quad \text{s.t. : } I.R. \leq 0.1 \quad (۴)$$

در نهایت آنالیز حساست تصمیم نهایی نسبت به تغییرات انتخابی در اوزان معیارهای اصلی (محیط‌زیستی، اقتصادی و فنی/اجتماعی)، در نرم‌افزار Expert Choice و توسط کد کامپیوتری نوشته شده توسط مولفین، انجام شد.

- نحوه برآورد انتشارات و مصارف انرژی

میزان انتشارات و مصارف انرژی در مرحله جمع‌آوری زایدات در مقایسه با بخش حمل پسماندها به محل دفن، متفاوت خواهد بود چرا که نوع بارگذاری، تعداد توقف‌ها، تردد در انواع مسیرها (معاور داخل شهرک صنعتی با بیرون از شهرک از لحاظ شرایط ترافیکی و مشخصات هندسی متفاوت است)، نوع جاده دسترسی و سرعت حرکت ماشین‌آلات، متفاوت است. در تحقیق حاضر به منظور تهیه فهرست چرخه عمر $(LCI)^{(۲۰)}$ مربوط به بخش جمع‌آوری و حمل، از اطلاعات جمع‌آوری شده در بخش‌های کمیت و کیفیت پسماند، نوع جاده و شیب آن و مسافت‌های طی شده در هر یک از سناریوها استفاده شده است. پس از انتخاب نوع ماشین جمع‌آوری یا حمل،

منابع تجدیدناپذیر، ایجاد تغییر در کاربری زمین / گونه‌های حیاتی، بارش‌های اسیدی، مغذی شدن و مصرف انرژی، دانست (Pennington et al., 2004; Gentil et al., 2010). در مطالعه حاضر، میزان انتشارات گازهای گلخانه‌ای (یا آثار گرمایش جهانی) ناشی از سناریوها تحت عنوان زیر معیار ۱-۱، نرخ مصرف انرژی (زیر معیار ۲-۱)، حفظ منابع تجدیدناپذیر (زیر معیار ۳-۱) و فضای مورد نیاز برای دفن (زیر معیار ۴-۱)، در ارزیابی محیط‌زیستی سناریوها مدنظر می‌باشند. از روش ارزیابی چرخه عمر (LCA) به منظور مدل‌سازی آثار محیط‌زیستی سناریوهای دفع پسماندهای صنعتی بهره‌گیری شد. زیرمعیارهای اقتصادی شامل ۱-۲-۲ درآمدها، ۲-۲-۲ هزینه‌های جمع‌آوری، ۳-۲-۲ هزینه‌های حمل، ۴-۲-۲ هزینه‌های جداسازی و پردازش، ۵-۲-۲ هزینه‌های پرسنلی، و ۶-۲-۲ هزینه‌های احداث زیرساخت‌ها، بوده و تمامی هزینه‌های مورد نیاز در اجرای سناریوها و درآمد‌های حاصل از فروش اقلام جداسازی شده را پوشش می‌دهند. در نهایت در انجام ارزیابی‌های فنی / اجتماعی، شامل زیر معیارهای ۱-۳-۱ اثر بر ترافیک محلی، ۲-۳-۱ نیاز به احداث زیرساخت‌ها، ۳-۳-۱ نیاز به پرسنل متخصص، ۳-۳-۴ نرخ مشارکت واحدها در طرح، و ۳-۳-۵ اعتراضات ساکنین اطراف محل دفن، روش نظرسنجی از خبرگان، مورد عمل قرار گرفت.

به طور کلی روش AHP شامل گام‌های الف. ساختن سلسله‌مراتبی تصمیم؛ ب. انجام مقایسات زوجی و محاسبه اوزان؛ ج. ترکیب کردن اولویت‌ها و محاسبه نرخ ناسازگاری سیستم؛ و د. انجام آنالیزهای حساسیت تصمیم نسبت به اوزان معیارها؛ است (Ghazban et al., 2014; Nouri et al., 2018; Saaty, 2008; Tzeng & Huang, 2011). پس از رسم سلسله مراتب تصمیم، ماتریس‌های مقایسات زوجی به یکی از دو روش الف. بهره‌گیری از نقطه نظرات کارشناسان که می‌تواند شامل پاسخ‌های کاملا مطلوب‌تر، مطلوبیت خیلی قوی، مطلوبیت قوی، کمی مطلوبتر یا یکسان باشد (به ترتیب عددی بین یک تا نه)؛ و ب. استفاده از مقادیر عددی متناسب با هر گزینه از نقطه نظر معیارها یا زیرمعیارها؛ تکمیل خواهند شد. یک ماتریس مقایسات زوجی به صورت $D = [d_{ij}]_{n \times n}$ نشان داده می‌شود که در آن d_{ij} ترجیح عنصر i نسبت به عنصر j است. n تعداد عناصر موجود در ماتریس مقایسات زوجی است. حال با مشخص بودن d_{ij} ها، وزن عناصر، یعنی W_j ها توسط یکی از روش‌های حداقل مربعات وزین شده، حداقل مربعات لگاریتمی، بردار ویژه، روش پیشنهادی ساعتی یا

که در آن FC میزان مصرف سوخت توسط کامیون بوده (L/km) و بر اساس نوع سوخت مصرفی، رسته ماشین جمع‌آوری، حالت بارگذاری، استاندارد آلاینده‌های ماشین، سرعت حرکت، شیب جاده‌ها و نوع جاده‌ها، از مرجع (European Environment Agency, 2016)، قابل استخراج است. $r_{H:C}$ نسبت مولی هیدروژن به کربن و $r_{O:C}$ نسبت مولی اکسیژن به کربن در فرمول شیمیایی سوخت (در اینجا برای سوخت دیزل به ترتیب معادل ۱/۸۶ و صفر) است. انتشارات CO_2 ناشی از سوختن روغن موتور در محفظه موتور، با استفاده از معادله‌ای مشابه رابطه ۶ به دست می‌آید که در آن به جای FC در صورت کسر، LO (میزان روغن موتور سوخته شده) قرار خواهد گرفت. مقدار LO بر اساس مرجع (European Environment Agency, 2016)، به ازای هر کیلومتر حرکت ماشین آلات سنگین، حدود ۰/۴۸۶۷ گرم برآورد می‌شود. همچنین در اینجا $r_{H:C}=2.08$ و $r_{O:C}=0$ است. در نهایت، انتشارات CO_2 ناشی از افزودنی‌های دیگر در محفظه آگزوز، معادل $0.26 \times UC$ در نظر گرفته شد (که در آن UC مقدار اوره مصرفی است). با توجه به نوع ماشین منتخب (دارای استاندارد آلاینده‌های Euro II) در این پژوهش، میزان انتشارات CO_2 ناشی از افزودنی‌های دیگر در محفظه آگزوز، صفر خواهد بود چرا که در این کلاس از ماشین‌های دیزلی سنگین، اساساً سیستم کنترل آلاینده‌ها در محفظه آگزوز خودروها تعبیه نمی‌شود.

انتشارات CH_4 در بخش جمع‌آوری و حمل از طریق رابطه ۷ به دست می‌آید. در رابطه ارایه شده، عدد 23 برابر با میزان انتشار ماده ذکر شده در جاده‌های روستایی است و درصد کاهش برای ماشینی با تکنولوژی Euro II معادل ۶۵٪ در نظر گرفته می‌شود (European Environment Agency, 2016). همچنین منظور از km، مسافت طی شده توسط ماشین بر حسب کیلومتر است.

$$E = (km) \times \frac{23mg}{km} \times (1-0.35) \quad (7)$$

انتشارات N_2O توسط رابطه ۸ تخمین زده شد که در آن C Mileage مسافت طی شده توسط ماشین است و در مطالعه حاضر به وسیله نرم‌افزار Arc GIS و نیز بر اساس فاصله بین شهرک صنعتی و مرکز دفن ارومیه، به دست آمده است. EF.base نیز فاکتور انتشار N_2O بوده و برای شرایط مدنظر در این تحقیق، برابر ۹ میلی‌گرم بر کیلومتر در نظر گرفته می‌شود (European Environment Agency, 2016).

با توجه به محدودیت‌ها، استانداردهای آلاینده‌های ناوگان موجود در کشور ایران و نوع سوخت مصرفی، میزان انتشارات محاسبه می‌شود. بدین ترتیب فرض شده است که ماشین انتخاب شده برای جمع‌آوری و حمل پسماندها دارای استاندارد آلاینده‌های Euro II بوده و وزن خالی آن در محدوده ۷/۵ تا ۱۲ تن قرار داشته باشد. برای محاسبه میزان مصرف انرژی در بخش‌های جمع‌آوری، حمل تا مرکز دفن و بازگشت از مرکز دفن، ابتدا میزان مصرف سوخت بازای هر کیلومتر (FC) از مرجع (European Environment Agency, 2016) برای هر حالت بارگذاری ماشین، استخراج و سپس با ضرب آن در دو پارامتر الف. مسافت طی شده در هر سناریو برای حالات مختلف جمع‌آوری (پنجاه درصد بارگذاری)، حمل تا مرکز دفن (صد درصد بارگذاری) و بازگشت از مرکز دفن (صفر درصد بارگذاری) و ب. دوره جمع‌آوری انواع زایدات در هر سناریو، میزان مصرف انرژی محاسبه شد. برای به دست آوردن مصارف دیزل در بخش دفن از رابطه (۵) استفاده می‌شود (European Environment Agency, 2016)

$$FC = [(0.014 \times 15) + (0.006 \times 18)] \times (\text{weight of landfilled wastes})$$

که در آن FC: مصرف سوخت دیزل توسط ماشین‌آلات پخش و تراکم زباله در مرکز دفن (L/yr)، 0.014: کارکرد متوسط لودر جهت پخش و تسطیح هر تن از زایدات (hr/ton)، 15: مقدار متوسط مصرف سوخت توسط لودر (L/hr)، 0.006: کارکرد متوسط غلطک چرخ فولادی جهت فشرده‌سازی هر تن از زایدات (hr/ton)، 18: مقدار متوسط مصرف سوخت توسط غلطک (L/hr) و weight of landfilled wastes: وزن زایدات دفن شده (ton/yr)، است.

▪ انتشارات/ مصارف انرژی در بخش جمع‌آوری و حمل

انتشارات گازهای گلخانه‌ای مدنظر در این بخش شامل CO_2 ، CH_4 و N_2O است. لازم به ذکر است انتشارات مربوط به CO_2 در سه بخش الف. ناشی از احتراق سوخت، ب. ناشی از سوختن روغن موتور و ج. ناشی از افزودنی‌های دیگر در محفظه آگزوز، قابل محاسبه اند. در محاسبه انتشارات CO_2 ناشی از احتراق دیزل، رابطه ۶ مورد استفاده قرار گرفت (European Environment Agency, 2016).

$$E = 44.011 \times \frac{FC}{12.011 + 1.008(r_{H:C}) + 16.00(r_{O:C})} \quad (6)$$

$$E = (C \text{ Mileage}) \times EF_{\text{base}} \quad (۸)$$

انتشارات/مصارف انرژی در بخش دفن

میزان انتشارات خالص ناشی از دفن هر کدام از انواع زایدات با ضرب تناژ پسماند تولیدی در شهرک صنعتی مورد مطالعه متناسب با هر کدام از سناریوها، در ضرایب جدول (۳)، قابل محاسبه است.

انتشارات/مصارف انرژی در بخش جداسازی، پردازش و بازیافت

در جدول (۱) میزان تخفیفات انرژی در صورتی که محصولات را از مواد بازیافت شده بجای مواد خام تولید نمایند، برای هر یک از انواع زایدات قابل بازیافت، آورده شده است (US EPA, 2006). بدین ترتیب، با ضرب تناژ پسماند تولیدی در هر سناریو در ضریب تخفیف مربوطه، می‌توان میزان انرژی تخفیف داده شده طی فرآیند بازیافت را برآورد نمود. راندمان جداسازی و پردازش اقلام قابل بازیافت، همچنین راندمان فرآیند بازیافت برای هر یک از سناریوهای مورد عمل در این مطالعه متفاوت خواهد بود و محاسبات مربوطه براساس خطوط راهنمای ذکر شده در مرجع (US EPA, 2006) (مطابق جدول ۲)، انجام شد.

- نحوه برآورد مالی سناریوها

از نقطه نظر هزینه‌های سرمایه‌گذاری، می‌توان در مقایسه بین سناریوها، هزینه‌های مربوط به خرید و نصب تجهیزات جداسازی و پردازش را نادیده گرفت. زیرا، پیمانکار برای مدیریت زایدات تولیدی در واحدهای بزرگ، این سرمایه‌گذاری را قبلاً انجام داده و صرفاً در این مرحله هزینه‌های مربوط به مصارف انرژی در دو سناریو لحاظ خواهند شد. قیمت خرید و فروش انواع اقلام بازیافتی مورد استفاده در این تحقیق، مطابق با قیمت روز بازار در کشور ایران است (جدول ۴).

جدول (۱): میزان کاهش انتشارات گازهای گلخانه‌ای در صورت استفاده از مواد اولیه بازیافتی به جای مواد خام در تولید محصولات جدید (US EPA, 2006)

مجموع تخفیفات در انتشارات گازهای گلخانه‌ای	نگهداشت کربن در جنگل‌ها	بخش فرآیندی (غیر از مصارف انرژی)	بخش حمل و نقل	بخش فرآیندی (مصارف انرژی)	مواد
-۰/۵۴	۰/۰۰	۰/۰۰	-۰/۰۱	-۰/۵۳	فلزات ^۱
-۰/۴۶	۰/۰۰	-۰/۰۳	۰/۰۰	-۰/۴۳	انواع پلاستیک ^۱
-۰/۸۷	-۰/۸۲	۰/۰۰	-۰/۰۰	-۰/۰۵	کاغذ و مقوا ^۱

توجه: کلیه اعداد برحسب تن متریک کربن معادل (MTCe)^(۳۱) بر تن متریک مواد بازیافت شده هستند؛

^۱: بر اساس ترکیب زباله تولیدی در منطقه مورد مطالعه، تفاوت بین تولید از مواد خام بکر و مواد بازیافتی، برای زایدات فلزی مشابه قوطی‌های فلزی در (US EPA, 2006) تخمین زده شده است. همچنین در خصوص انواع پلاستیک، میانگین اعداد ذکر شده در همان مرجع برای LDPE، HDPE و PET و برای کاغذ و مقوا نیز متوسط مقادیر ذکر شده برای مقوا، مجلات/نامه، روزنامه، کاغذ دفتری، دفترچه تلفن و کتاب، در نظر گرفته شد.

جدول (۲): راندمان مراحل جداسازی/پردازش و بازیافت در فرآیند تولید محصولات جدید (%) (US EPA, 2006)

مواد	بخش جداسازی/پردازش*	بخش بازیافت*
فلزات	۱۰۰	۹۸
انواع پلاستیک	۹۰	۸۶
کاغذ و مقوا	۹۵	۷۷

* با توجه به پیشرفت‌های اخیر در کشور در زمینه پردازش/بازیافت دور ریزها، انتظار می‌رود راندمان مراکز داخلی در حد مقادیر ذکر شده در جدول باشند. در صورت دسترسی به داده‌های راندمان مراکز داخل کشور، می‌توان با اجرای مجدد مدل پیشنهادی در این مقاله، به نتایج نزدیکتر به واقعیت دست یافت.

جدول (۳): انتشارات خالص گازهای گلخانه‌ای ناشی از دفن مواد (US EPA, 2006)

مجموع انتشارات گازهای گلخانه‌ای	در بخش حمل و نقل	ذخیره‌سازی خالص کربن	تولید متان	مواد
۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰	۰/۰	زایدات فلزی ^۱
۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰	۰/۰	پسماندهای پلاستیکی ^۱
۰/۴۲	۰/۰۱	-۰/۲۳	۰/۶۴	کاغذ و مقوا ^۱
۰/۴۳	۰/۰۱	-۰/۰۲	۰/۴۴	دور ریزهای غذایی
۰/۰۱	۰/۰۱	-۰/۰۹	۰/۰۹	زایدات شیمیایی، چوب، پارچه، چرم و لاستیک ^۱

توجه: کلیه اعداد برحسب تن متریک کربن معادل (MTCE) بر تن متریک مواد دفن شده هستند.
علاوه بر توضیحات ذیل جدول (۱)، درخصوص زایدات شیمیایی، چوب، پارچه، چرم و لاستیک، میانگین اعداد ذکر شده در همان مرجع برای چوب و سرشاخه، منسوجات و لاستیک، در نظر گرفته شد.

جدول (۴): قیمت خرید و فروش اقلام قابل بازیافت براساس بازار محلی (میلیون ریال بر تن در سال ۱۳۹۶)

قیمت فروش	قیمت خرید		مواد
	به صورت تفکیک شده	به صورت مخلوط	
۳۸/۰	۳۱/۶	۱۶/۰	فلزات
۱۰/۵	۸/۷	۴/۴	انواع پلاستیک
۴/۸	۴/۰	۲/۰	کاغذ و مقوا

نتایج

- منطقه مورد مطالعه

در تحقیق حاضر، شهرک صنعتی شماره دو ارومیه به عنوان مطالعه موردی انتخاب شده است (برداشت‌های میدانی از شهرک صنعتی شماره دو ارومیه - تعیین کمیت و کیفیت زایدات تولیدی - در سال ۱۳۹۵ انجام شده و در سال ۱۳۹۶ تحلیل نتایج به دست آمده انجام پذیرفته است). این شهرک صنعتی در شهرستان ارومیه واقع شده و در شکل (۱)، محل استقرار و وضعیت فعالیت واحدهای کوچک و متوسط موجود در آن آورده شده است (معیار انتخاب یک واحد در دسته واحدهای کوچک و متوسط، تولید روزانه کمتر از ۷۰ کیلوگرم پسماند صنعتی بوده است). همانطور که مشخص است میزان زایدات صنعتی تولیدی در شهرک صنعتی شماره دو ارومیه در حدود ۱۷۰ تن در ماه است. در شکل (۲) نیز ترکیب فیزیکی زایدات تولیدی صنایع قابل مشاهده است.

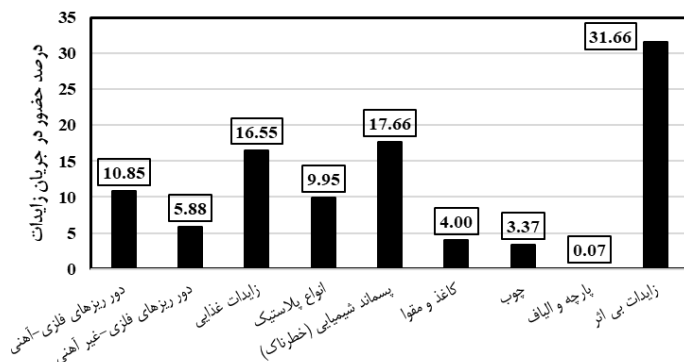
- نتایج ISM

در شناسایی موانع اصلی مدیریت صحیح پسماندهای با ارزش بازیافتی تولیدی در محدوده مورد مطالعه، از نتایج تحقیقات دیگر محققان، تجربه اساتید دانشگاهی، پیمانکاران محلی فعال در زمینه

بازیافت، مسئولین شرکت شهرک‌های صنعتی، کارشناسان سازمان مدیریت پسماند شهری و سازمان حفاظت محیط‌زیست استان، بهره‌گرفته شده و در نهایت عناوین موانع اصلی در جدول (۵) آورده شده است. پس از شناسایی نه مانع اصلی، تعداد ۳۶ سوال در تکمیل ماتریس SSIM از متخصصین پرسیده شد و نتایج در جدول (۶) خلاصه شده است. ماتریس دسترسی نهایی نیز در جدول (۷) آورده شده است. در این جدول سلول‌هایی که بعد از به توان رسیدن، نسبت به ماتریس دسترسی اولیه تغییر کرده‌اند، با علامت (*) مشخص شده‌اند. بر اساس ماتریس دسترسی نهایی، موانع مورد بحث در جدول (۸) سطح‌بندی شد. در شکل (۳) گراف مستقیم اولیه رسم شده است. همان‌طور که در این شکل مشخص است، موانع با کدهای B1، B5، B9 و B3، با قرار گرفتن در گروه عوامل مستقل، موانع کلیدی این مطالعه محسوب می‌گردند. براساس گراف مستقیم نهایی (شکل ۴)، مانع B5 (یا جذابیت اقتصادی اندک برای پیمانکار جمع‌آوری اقلام قابل بازیافت)، مهمترین مانع در رسیدن به هدف مدیریت اصولی پسماندهای قابل بازیافت تولیدی در واحدهای کوچک و متوسط فاز توسعه شهرک صنعتی شماره دو ارومیه، است.



شکل (۱): موقعیت واحدهای صنعتی مورد مطالعه در شهرک صنعتی شماره دو ارومیه



شکل (۲): ترکیب پسماند صنعتی تولیدی در واحدهای مورد مطالعه

جدول (۵): موانع اصلی در مدیریت صحیح دور ریزهای قابل بازیافت در منطقه مورد مطالعه

مراجع	عنوان مانع	کد مانع
Kumar et al., 2016; Godfrey et al., 2013	فقدان آگاهی عمومی	B1
Ravi, & Shankar, 2014	عدم توجه به تولید سبز	B2
Expert input	اطلاع‌رسانی نامناسب	B3
Kumar & Dixit, 2018	هزینه‌های مدیریت پسماند	B4
Expert input	جذابیت اقتصادی اندک برای پیمانکار جمع‌آوری اقلام قابل بازیافت	B5
Expert input	مشارکت اندک واحدهای صنعتی در اجرای برنامه‌های مدیریت زایدات قابل بازیافت	B6
Expert input	وجود محیط رقابتی ضعیف در میان پیمانکاران بازیافت	B7
Singh et al., 2003	مسئولیت‌پذیری پیمانکاران بازیافت	B8
Expert input	نبود دفتر تحقیق و توسعه چه در واحدهای صنعتی و چه در تشکیلات پیمانکار بازیافت	B9

جدول (۷): ماتریس دسترسی نهایی (M_{final})

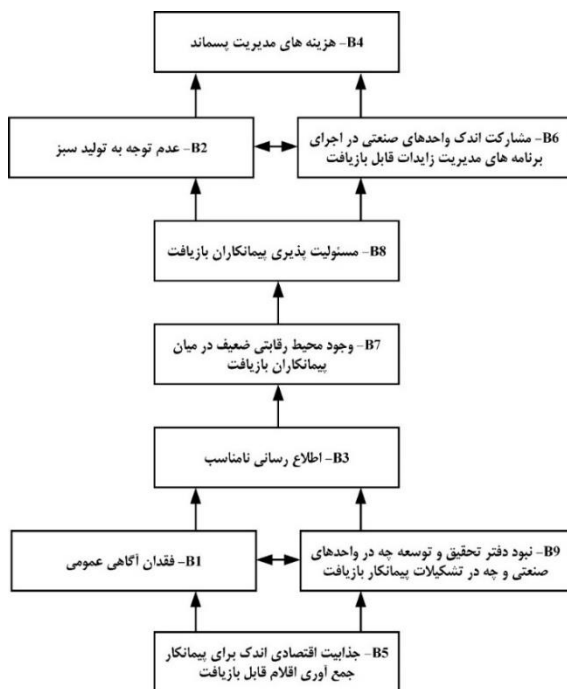
مانع	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9
B1	۱	۱	۱*	۰	۱	۱*	۱*	۱	۱
B2	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۱	۰	۱
B3	۰	۰	۰	۱*	۱	۱	۱*	۱	۱
B4	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
B5	۱*	۱	۱	۱	۱*	۱	۱	۱	۱*
B6	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۰
B7	۰	۰	۰	۰	۱*	۱	۱	۰	۰
B8	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۱	۰	۰
B9	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۱	۱

جدول (۶): ماتریس SSIM

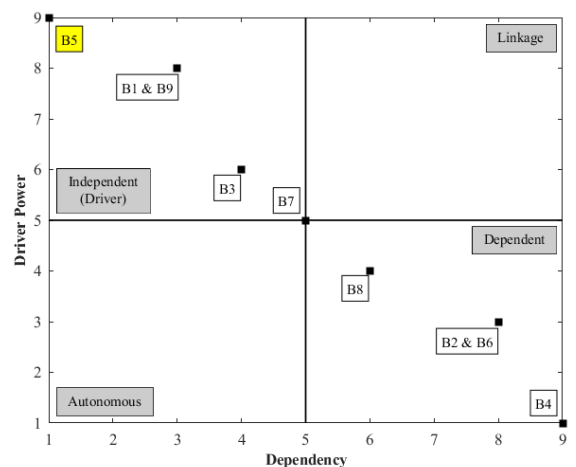
مانع	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9
B1	X	O	O	O	V	O	O	O	V
B2	A	O	O	X	O	O	O	O	V
B3	A	A	O	V	V	O	O	O	V
B4	A	A	O	A	O	O	O	O	V
B5	V	V	V	V	O	O	O	O	V
B6	A	A	A	A	A	O	O	O	V
B7	A	A	A	A	A	A	O	O	V
B8	A	A	A	A	A	A	A	O	V
B9	A	A	A	A	A	A	A	A	V

جدول (۸): سطح بندی موانع مورد بررسی

مانع	مجموعه دسترسی پذیری	مجموعه مقدم	مجموعه اشتراک	سطح
B1	۹، ۶، ۳، ۲، ۱	۹، ۱	۹، ۱	شش
B2	۶، ۴، ۲	۹، ۶، ۳، ۲، ۱	۶، ۲	دو
B3	۷، ۶، ۴، ۳، ۲	۹، ۵، ۳، ۱	۳	پنج
B4	۴	۹، ۸، ۶، ۵، ۴، ۳، ۲	۴	یک
B5	۹، ۸، ۷، ۵، ۴، ۳	۵	۵	هفت
B6	۶، ۴، ۲	۹، ۸، ۶، ۳، ۲، ۱	۶، ۲	دو
B7	۸، ۷	۹، ۷، ۵، ۳	۷	چهار
B8	۸، ۶، ۴	۹، ۸، ۷، ۵	۸	سه
B9	۹، ۸، ۷، ۶، ۴، ۳، ۲، ۱	۹، ۵، ۱	۹، ۱	چهار



شکل (۴): گراف مستقیم (Digraph) نهایی در تحقیق حاضر

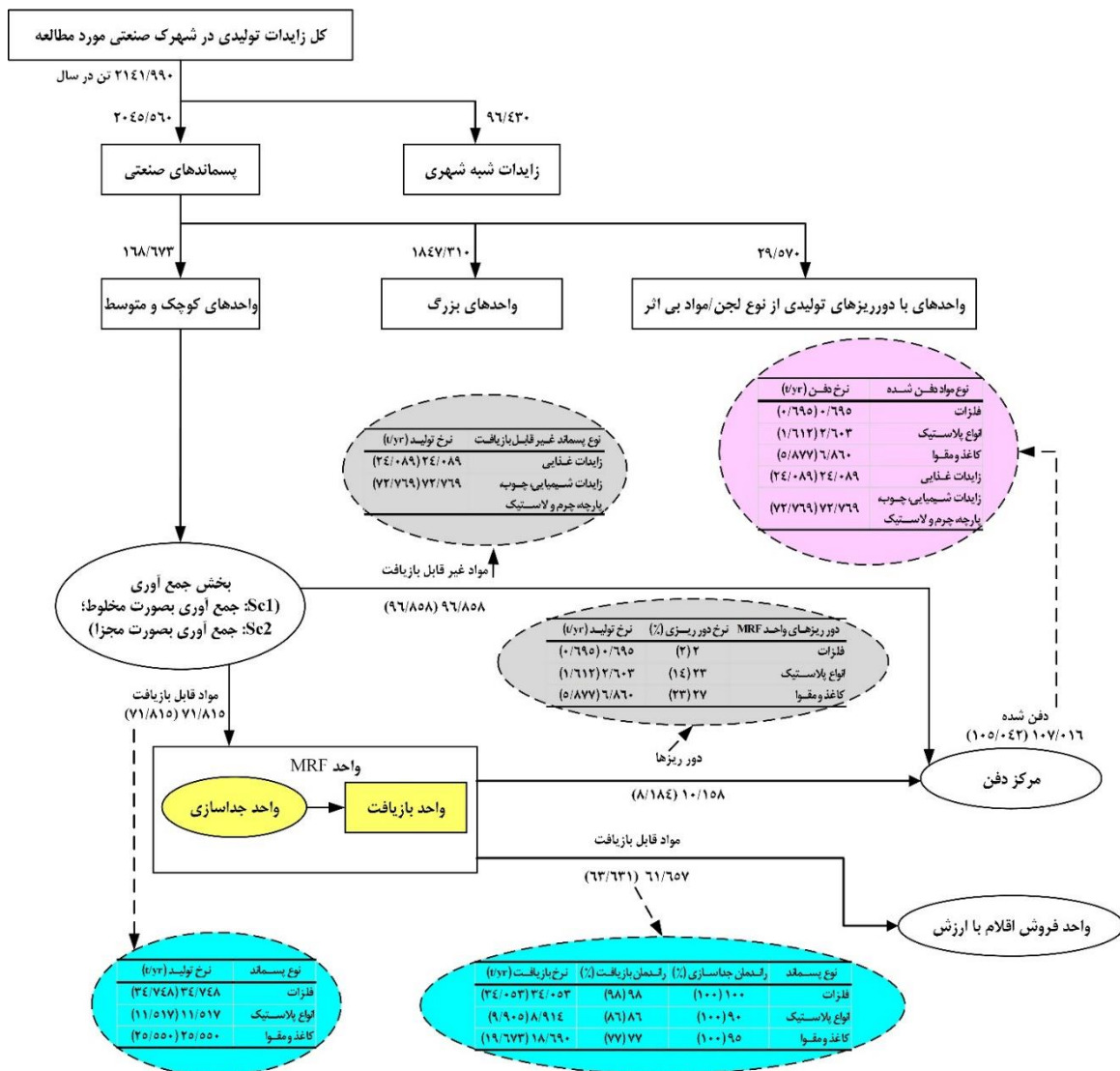


شکل (۳): گراف قدرت اثرگذاری - میزان وابستگی (Driver Power-Dependency)

طرح‌ریزی سناریوها

پیمانکاران)، تعریف شد. در شکل (۵)، جزییات هر کدام از سناریوها آورده شده است. لازم به ذکر است در شکل (۵)، تنها موارد غیرمشابه در دو سناریو داخل پراتنز نوشته شده است (اعداد داخل پراتنز مربوط به سناریوی شماره دو هستند).

همان‌طور که قبلاً ذکر شد، در این تحقیق دو سناریو برای حل مشکلات ناشی از مانع اصلی شناسایی شده (یعنی جذابیت اقتصادی اندک مدیریت دورریزهای با ارزش بازیافتی برای



شکل (۵): سناریوهای مورد بررسی در تحقیق حاضر

توجه: اعداد داخل پراتنز مربوط به سناریوی شماره دو (Sc.2) است

اول (در سناریوی دوم به دلیل انجام تفکیک از مبدأ، خط جداسازی وجود ندارد)، پردازش زایدات قابل بازیافت در هر دو سناریو از طریق عدل‌بندی کاغذ و مقوا، پرس کردن فلزات و خرد و پرک کردن انواع پلاستیک‌ها پی‌گیری خواهد شد. در توضیح اعداد منفی موجود در جدول (۹) لازم به ذکر است انتشارات گلخانه‌ای ناشی از تولید محصولات را می‌توان در سه

محاسبات انتشارات گازهای گلخانه‌ای، مصارف انرژی و برآورد اقتصادی سناریوها

انتشارات گازهای گلخانه‌ای خروجی از سناریوها در جدول (۹)، انتشارات گازهای گلخانه‌ای در هر کدام از سناریوها در بخش‌های مختلف مدیریتی از جمع‌آوری تا دفن نهایی خلاصه شده است. لازم به ذکر است پس از انجام جداسازی در سناریوی

آلومینیوم از مواد خام بکر آزاد می‌شوند؛ و در نهایت ج. کاهش در انتشارات به واسطه نگهداشت کربن در جنگل‌ها در نتیجه بازیافت کاغذ و مقوا؛ تقسیم‌بندی نمود. بنابراین، اگر در تولید محصولات به جای مواد بکر از مواد بازیافت شده استفاده شود، از انتشار بخش عمده‌ای از گازهای گلخانه‌ای جلوگیری به عمل آمده و در نتیجه این میزان تخفیف را می‌توان به صورت ارقام منفی در محاسبات در نظر گرفت.

دسته الف. انتشارات فرآیندی ناشی از مصرف حامل‌های انرژی؛ ب. انتشارات فرآیندی طی واکنش‌های انجام شده (مانند انتشار CO₂ به هنگام پخت سنگ آهک در تولید آهک که بیشتر در تولید آهن و آلومینیوم و به میزان کمتر در تولید کاغذهای اداری به کار می‌رود، انتشار CH₄ از خطوط لوله گاز طبیعی و در مراحل پردازش آن که در تولید محصولات پلاستیکی مورد استفاده قرار می‌گیرد و انتشار PFCs - عمدتاً C₂F₆ و CF₄ - که در فرآیند تولید شمش

جدول (۹): انتشارات گازهای گلخانه‌ای از هر کدام از سناریوهای مورد بررسی

مجموع انتشارات MTCE/yr	گرم CO ₂ معادل در سال	انتشارات CO ₂ ناشی از (g/yr)					
		انتشارات N ₂ O (g/yr)	انتشارات CH ₄ (g/yr)	سوختن روغن موتور	احتراق سوخت	مجموع	
-۰/۱۱	۳۸۷۶۸۶/۱۵	۶/۸۴	۱۱/۳۷	۳۸۵۳۹۹/۳۰	۳۷۰/۰۱	۳۸۵۰۲۹/۲۹	بخش جمع‌آوری ^a
-۰/۳۰	۱۰۸۸۲۶۷/۱۸	۱۵/۸۴	۲۶/۳۱	۱۰۸۲۹۷۳/۳۷	۸۵۶/۵۳	۱۰۸۲۱۱۶/۸۳	حمل تا مرکز دفن ^b
-۰/۱۸	۶۶۷۱۸۵/۴۶	۱۵/۸۴	۲۶/۳۱	۶۶۱۸۹۱/۶۴	۸۵۶/۵۳	۶۶۱۰۳۵/۱۱	بازگشت ماشین خالی از مرکز دفن ^c
-۳۹/۰۱							بخش جداسازی/پردازش و بازیافت
۲۰/۵۷							بخش دفن
-۱۷/۸۶							مجموع
-۰/۱۰	۳۶۶۶۷۳/۳۰	۶/۴۷	۱۰/۷۵	۳۶۴۵۱۰/۴۰	۳۴۹/۹۶	۳۶۴۱۶۰/۴۴	بخش جمع‌آوری ^a
-۰/۲۹	۱۰۶۳۵۳۳/۸۴	۱۵/۴۸	۲۵/۷۱	۱۰۵۸۳۶۰/۳۴	۸۳۷/۰۷	۱۰۵۷۵۲۳/۲۷	حمل تا مرکز دفن ^b
-۰/۱۸	۶۵۲۰۲۲/۱۵	۱۵/۴۸	۲۵/۷۱	۶۴۶۸۴۸/۶۵	۸۳۷/۰۷	۶۴۶۰۱۱/۵۹	بازگشت ماشین خالی از مرکز دفن ^c
-۴۰/۳۴							بخش جداسازی/پردازش و بازیافت
۱۷/۶۱							بخش دفن
-۲۲/۱۵							مجموع

توجه: فاکتورهای انتشار به کار رفته در محاسبات عبارتند از: برای احتراق سوخت: a = ۵۰۶/۴۲، b = ۶۱۴/۸۴، c = ۳۷۵/۵۹ (g/km)؛ برای سوختن روغن موتور a = b = c = ۰/۴۹ (mg/km)؛ برای انتشار متان a = b = c = ۱۴/۹۵ (mg/km)؛ و برای N₂O a = b = c = ۹ (mg/km)

▪ مصارف انرژی در سناریوها

میزان انرژی مصرف شده/ تخفیف داده شده در بخش‌های جمع‌آوری، حمل و نقل، جداسازی (فقط مربوط به سناریوی یک)، پردازش و بازیافت و دفن سناریوها، در جدول (۱۰) آورده شده است. لازم به ذکر است انرژی مصرفی سناریوی یک در بخش جداسازی معادل چهار، در بخش پردازش فلزات، زایدات پلیمری و پلاستیک و کاغذ و مقوا به ترتیب برابر ۱۳۰، ۹/۷۵ و ۲۰ کیلو وات در سال بوده و در مجموع در این بخش‌ها ۰/۵۵۸ MBtu/yr مصرف انرژی برآورد شده است. مقدار برآوردی مصرف انرژی در سناریوی دو نیز برای بخش‌های اخیر (فقط پردازش زایدات قابل بازیافت) حدود ۰/۵۴۵ MBtu/yr به دست آمد.

▪ برآورد اقتصادی سناریوها

در این تحقیق هزینه خرید اقلام قابل بازیافت از تولیدکنندگان صنعتی در سناریوهای یک و دو به ترتیب حدود ۶۵۸ و ۱۳۰۰ میلیون ریال در سال بوده و منافع حاصل از فروش مواد پردازش شده نیز به ترتیب معادل ۱۴۷۷ و ۱۴۹۲ میلیون ریال در سال تخمین زده می‌شود. به بیان دیگر، از منظر درآمد خالص حاصل از فروش مواد با ارزش، سناریوی یک برتری قابل توجهی نسبت به سناریوی دو دارد. در برآورد اقتصادی بخش جمع‌آوری زایدات از واحدهای کوچک و متوسط، مطابق با رویکرد LCA، دو جریان جمع‌آوری الف: ویژه مواد قابل بازیافت درهم یا تفکیک شده؛ و ب: جمع‌آوری سایر زایدات شامل پسماندهای فسادپذیر، پارچه و

سالانه ۸۷ سرویس در سناریوی یک و ۹۰ سرویس در سناریوی دو مورد نیاز خواهد بود (وزن مخصوص زایدات فلزی، پلیمری و پلاستیک و کاغذ و مقوا در کامیون به ترتیب معادل ۱/۷۰۰، ۰/۰۸۵ و ۰/۰۷۰ تن بر مترمکعب فرض شده است). بنابراین، از نقطه نظر هزینه‌های جمع‌آوری نیز برتری سناریوی یک بر دو مشهود است.

الیاف، چرم و لاستیک، زایدات شیمیایی و چوب؛ در نظر گرفته شد. در سناریوی یک، مسافت جمع‌آوری اقلام قابل بازیافت در هر دوره چهار روزه معادل ۶/۳ کیلومتر و در سناریوی دو نیز برای دور ریزهای فلزی، پلیمری و پلاستیک و کاغذ و مقوا به ترتیب برابر ۴/۲۸، ۵/۸۲ و ۴/۵۳ کیلومتر در هر دوره ۱۰ روزه جمع‌آوری به دست آمد. با توجه به محدودیت حجم قابل حمل توسط ماشین‌آلات جمع‌آوری متداول در ایران (حدود شش مترمکعب)،

جدول (۱۰): میزان مصرف انرژی در هر کدام از سناریوهای مورد بررسی

انرژی تخفیف داده شده (MBtu/yr)	انرژی الکتریکی مصرفی (MBtu/yr)	سوخت دیزل مصرفی		نرخ مصرف انرژی در
		(MBtu/yr)	(L/yr)	
		۴۱۴۵/۷۷۱	۱۲۱۴۸۰/۳۲۳	بخش جمع‌آوری
		(۳۹۲۱/۰۶۷)	(۱۱۴۸۹۶/۰۰۸)	
		۱۱۶۵۱/۶۰۳	۳۴۱۴۱۷/۹۳۰	حمل تا مرکز دفن
		(۱۱۳۸۶/۷۹۴)	(۳۳۳۶۵۸/۴۳۱)	
		۷۱۱۷/۶۴۱	۲۰۸۵۶۲/۷۲۸	بازگشت ماشین خالی از مرکز دفن
		(۶۹۵۵/۸۷۶)	(۲۰۳۸۲۲/۶۶۶)	
	۰/۵۵۸			بخش جداسازی/پردازش
	(۰/۵۴۵)			
-۱۴۶۰/۶۳۵				بخش بازیافت
(-۱۵۲۸/۶۵۴)				
		۱/۲۸۰	۳۷/۵۲۰	بخش دفن
		(۱/۲۵۷)	(۳۶/۸۲۸)	
-۱۴۶۰/۶۳۵	۰/۵۵۸	۲۲۹۱۶/۲۹۵		مجموع
(-۱۵۲۸/۶۵۴)	(۰/۵۴۵)	(۲۲۲۶۴/۹۹۵)		

توجه: اعداد داخل پرانتز مربوط به سناریوی شماره دو (Sc.2) است

مرکز دفن در فاصله ۲۵ کیلومتری سایت مورد مطالعه در دو سناریو اختلاف اندکی با یکدیگر داشته (حدود دو تن در سال) و تعداد سرویس حمل مورد نیاز سناریوهای یک و دو به ترتیب ۴۳ و ۴۴ سرویس برآورد می‌شود (چگالی پسماند داخل کامیون براساس برداشت‌های میدانی برای زباله‌های شهری ارومیه معادل ۰/۴۱ تن بر مترمکعب است). بنابراین هزینه حمل در سناریوی یک بیش از سناریوی دو خواهد بود.

مطابق توضیحات بخش روش انجام تحقیق، چنین فرض می‌شود که هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه مربوط به بخش‌های تفکیک و پردازش و احداث زیرساخت‌ها در انجام مقایسات بین دو سناریو قابل صرف نظر کردن هستند. با این وجود هزینه‌های بهره‌برداری

اگرچه کوتاه بودن دوره جمع‌آوری در سناریوی یک و ناهمگون بودن ترکیب پسماند جمع‌آوری شده در آن می‌تواند منجر به افزایش هزینه‌های جمع‌آوری شود، لیکن عدم امکان بارگیری ماشین‌آلات با حداکثر ظرفیت حجمی (به دلیل اجتناب از اختلاط دسته‌های مختلف مواد قابل بازیافت)، تعداد سرویس‌های مورد نیاز سناریوی دو را افزایش خواهد داد. از طرف دیگر، از نقطه نظر واحدهای صنعتی، به دلیل نیاز به فضای ذخیره‌سازی بیشتر در سناریوی دو (با دوره جمع‌آوری طولانی‌تر)، این سناریو با استقبال کمتری روبه‌رو خواهد شد (این موضوع در زیرمعیار نرخ مشارکت واحدها از معیار فنی، در مقایسات اثرگذار خواهد بود). با مراجعه به شکل (۵) مشاهده می‌شود مقدار زایدات حمل شده به

شده توسط هر کدام از سناریوها از نقطه نظر زیرمعیارهای مدل تصمیم‌سازی مبتنی بر AHP آورده شده است. همان‌طور که در شکل (۶) مشاهده می‌شود، تاثیرگذاری زیرمعیار ۱-۲ (درآمد خالص) بر وزن سناریوی یک و تاثیرگذاری زیرمعیار ۴-۲ (هزینه‌های جداسازی و پردازش) بر وزن سناریوی دو، قابل توجه است. به بیان دیگر، به دلیل خرید اقلام بازیافتی به صورت مخلوط در سناریوی اول، هزینه پرداختی به مالکین واحدها پایین بوده و تبعاً درآمدهای پیمانکار بازیافت بیشتر خواهد بود. اگر چه راندمان جداسازی وی در این سناریو پایین است. در خصوص سناریوی دوم، به دلیل ماهیت این سناریو، هزینه‌های متناسب با جداسازی اندک خواهد بود و این عامل اصلی در افزایش وزن اکتسابی توسط سناریوی دوم قلمداد می‌شود. از طرف دیگر نیاز به احداث زیرساخت‌ها مانند کف‌سازی و نصب مخازن در سناریوی اول کمتر است. بنابراین، وزن این سناریو از طریق این زیرمعیار، عدد بالایی به دست آمده است.

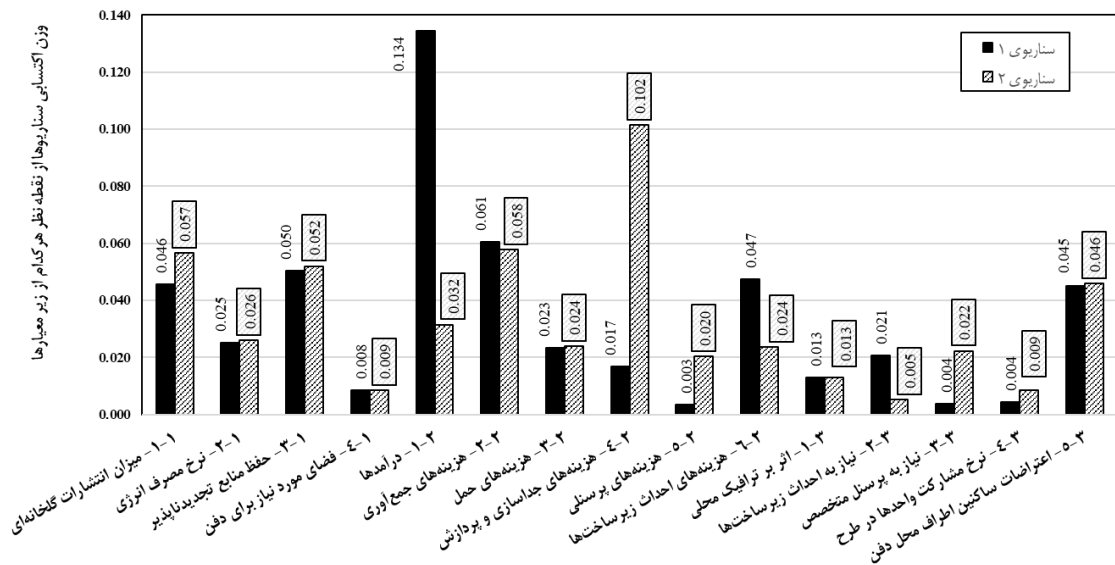
در شکل (۷)، آنالیز حساسیت امتیاز سناریوی یک نسبت به وزن معیارهای اقتصادی و محیط‌زیستی آورده شده است (اعداد روی کانتورها نشانگر امتیاز کسب شده توسط سناریوی یک است). لازم به ذکر است روند معمول در انجام آنالیز حساسیت، افزایش انتخابی وزن یک معیار و افزایش یا کاهش اوزان سایر معیارهای هم سطح متناسب با وزن تعیین شده در مرحله قبل است. به عنوان نمونه، اگر هدف از آنالیز حساسیت، بررسی اثرگذاری تغییر وزن معیار اقتصادی بر تصمیم نهایی باشد (فرض کنید وزن این معیار به میزان x درصد افزایش داده شود)، اوزان معیارهای هم سطح در این مثال (یعنی محیط‌زیستی، اقتصادی و فنی/اجتماعی) را می‌توان براساس روابط ۹ تا ۱۱ محاسبه نمود و با جای‌گذاری این اعداد در نرم‌افزار، امتیاز کسب شده توسط هر سناریو قابل استخراج خواهد بود.

در روابط (۹-۱۱) از W_{Econ} ، $W_{Environ}$ و $W_{Tech./Soc}$ به ترتیب اوزان جدید معیارهای اقتصادی، محیط‌زیستی و فنی/اجتماعی بوده، x درصد افزایش وزن معیار اقتصادی (می‌تواند عددی مثبت یا منفی باشد) و اعداد $0/545$ ، $0/273$ و $0/182$ نیز بیانگر وزن کسب شده توسط معیارهای فوق پس از نظرسنجی از کارشناسان است. همان‌گونه که مشخص است، در فرآیند آنالیز حساسیت متداول (که توسط نرم‌افزار Expert Choice 11 نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد)، اثر افزایش وزن معیار منتخب، به صورت نسبتی از

دو سناریوی مورد مطالعه در بخش‌های تفکیک و پردازش، متفاوت است. در مدل تصمیم‌سازی AHP، مبنای مقایسات اقتصادی سناریوها از این منظر، وزن زایدات پردازش شده (مطابق شکل ۵) و انرژی مصرفی و تعداد پرسنل مورد نیاز در واحدهای MRF متداول در کشور ایران بوده است.

- نتایج ارزیابی سناریوها بر اساس تحلیل سلسله مراتبی
پس از انجام تحلیل‌های سلسله مراتبی (نرخ ناسازگاری کلی سلسله مراتب کمتر از $0/1$ به دست آمد)، معیار اقتصادی مهمترین شاخص در تصمیم‌گیری بوده و معیار فنی/اجتماعی از دیدگاه کارشناسان و متخصصین، کمترین اثربخشی را بر انتخاب سناریوی برتر داشته است (اوزان معیارهای اصلی محیط‌زیستی، اقتصادی و فنی/اجتماعی به ترتیب برابر $0/273$ ، $0/545$ ، $0/182$ است). در شاخه محیط‌زیستی، اوزان محلی زیرمعیارهای انتشارات GHGs، مصرف انرژی، حفاظت از منابع و فضای مورد نیاز دفن به ترتیب معادل $37/5$ ، $18/8$ ، $37/5$ و $6/3$ درصد تعیین شد. در شاخه اقتصادی، اوزان محلی زیرمعیارهای درآمد خالص، هزینه‌های جمع‌آوری، حمل و نقل، تفکیک و پردازش، پرسنلی و احداث زیرساخت‌های لازم، به ترتیب برابر $30/4$ ، $21/7$ ، $4/3$ و $13/0$ درصد است. در نهایت اوزان محلی زیرمعیارهای اثر بر ترافیک محلی، نیاز به احداث زیرساخت‌ها، نیاز به پرسنل ماهر، نرخ مشارکت عمومی و اعتراضات مردم محلی در اطراف سایت دفن، از شاخه فنی/اجتماعی به ترتیب معادل $14/3$ ، $14/3$ ، $7/1$ و $50/0$ درصد است. در مورد اخیر، به دلیل تلنبار غیربهداشتی زایدات شهری ارومیه در محل فعلی دفن (مرکز دفن نازلو واقع در ۲۳ کیلومتری شمال شهر ارومیه)، در سالیان اخیر اعتراضات جوامع محلی مشکلاتی را به وجود آورده است به گونه‌ای که ارسال زایدات از شهرک صنعتی مورد مطالعه به این مرکز دفن ممکن است اثرات اجتماعی منفی به همراه داشته و بنابراین این زیرمعیار در رتبه چهارم اثرگذاری در انتخاب سناریوی برتر قرار دارد (پس از درآمد خالص در رتبه اول؛ هزینه‌های جمع‌آوری و تفکیک/پردازش به طور مشترک در رتبه دوم؛ و انتشارات GHGs و حفاظت از منابع به طور مشترک در رتبه سوم).

در مقاله حاضر از نرم‌افزار Expert Choice 11 به منظور انجام تحلیل‌های AHP بهره‌گیری شده است. مطابق با خروجی‌های این نرم‌افزار، سناریوی یک با امتیاز $0/5028$ برتر از سناریوی دو (با امتیاز $0/4972$)، است. در شکل (۶) جزئیات امتیازات کسب

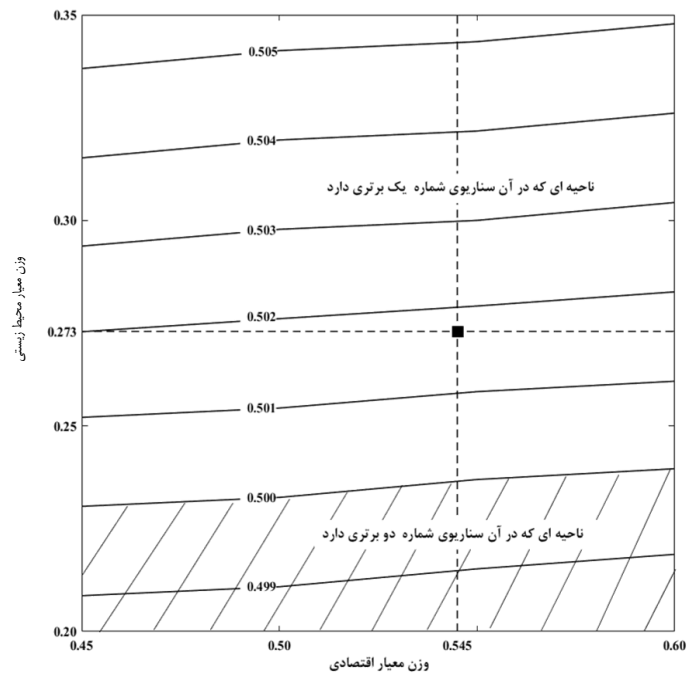


شکل (۶): اوزان کسب شده توسط سناریوهای مورد بررسی در تحقیق حاضر از نقطه نظر کلیه زیر معیارها

$$W_{Econ.} = 0.545 \times \left(1 + \frac{x}{100}\right) \quad (۹)$$

$$W_{Environ.} = 0.273 - \left(\frac{0.273}{0.273 + 0.182} \times \frac{0.545 \times x}{100}\right) \quad (۱۰)$$

$$W_{Tech./Soc.} = 0.182 - \left(\frac{0.182}{0.273 + 0.182} \times \frac{0.545 \times x}{100}\right) \quad (۱۱)$$



شکل (۷): آنالیز حساسیت وزن سناریوهای مورد بررسی از نقطه نظر وزن معیارهای اقتصادی و محیط‌زیستی

۰/۵۵ و ۰/۶۰ برای این معیار فرض شد (در مجاورت ۰/۵۴۵). معیار با اهمیت سطح دو، معیار محیط‌زیستی است. برای این معیار نیز اعداد ۰/۲۰، ۰/۲۵، ۰/۳۰ و ۰/۳۵ (در مجاورت ۰/۲۷۳) در نظر گرفته شد (وزن معیار فنی/اجتماعی به راحتی با تفریق مجموع وزن معیارهای اخیر از عدد یک به دست می‌آید) و در نهایت وزن‌ها

اوزان قبلی البته با علامت منفی در وزن سایر معیارهای هم سطح ظاهر خواهد شد. در مقاله حاضر رویکردی جدید برای انجام آنالیز حساسیت پیشنهاد شده است. در این رویکرد، ابتدا با توجه به این نکته که معیار اقتصادی به عنوان تاثیرگذارترین معیار در تصمیم‌گیری توسط کارشناسان تعیین شد، اوزان ۰/۴۵، ۰/۵۰،

محققان، تجربه اساتید دانشگاهی، پیمانکاران محلی فعال در زمینه بازیافت، مسئولین شرکت شهرک‌های صنعتی، کارشناسان سازمان مدیریت پسماند شهری و سازمان حفاظت محیط‌زیست استان شناسایی شدند که با اعمال متدولوژی ISM، موانع B5، B1، B9 و B3، با قرار گرفتن در گروه عوامل مستقل، موانع کلیدی این مطالعه محسوب می‌شوند. مانع B5 (یا جذابیت اقتصادی اندک برای پیمانکار جمع‌آوری اقلام قابل بازیافت)، مهمترین مانع در رسیدن به هدف مدیریت اصولی پسماندهای قابل بازیافت تولیدی در واحدهای کوچک و متوسط شهرک صنعتی شماره دو ارومیه تعیین شد.

در جهت حل مشکلات ناشی از مانع اصلی شناسایی شده (مانع B5)، دو سناریوی جمع‌آوری مخلوط و جمع‌آوری مجزای زایدات قابل بازیافت از واحدهای صنعتی کوچک و متوسط، تعریف شد که با استفاده از رویکرد LCA، میزان انتشارات ناشی از هر سناریو به ترتیب ۱۷/۸۶- و ۲۲/۱۵- تن کربن معادل در سال و انرژی مصرفی نیز به ترتیب ۵۵۸/۰ و ۵۴۵/۰ میلیون بی تی یو در سال برآورد شد. هزینه خرید اقلام قابل بازیافت از تولیدکنندگان صنعتی در سناریوهای یک و دو به ترتیب حدود ۶۵۸ و ۱۳۰۰ میلیون ریال در سال بوده و منافع حاصل از فروش مواد پردازش شده نیز به ترتیب معادل ۱۴۷۷ و ۱۴۹۲ میلیون ریال در سال تخمین زده می‌شود.

تصمیم‌گیری در خصوص انتخاب سناریوی برتر بر اساس سه معیار محیط‌زیستی، اقتصادی و فنی/اجتماعی و زیرمعیارهای مربوط به هر خوشه انجام شد که پس از انجام تحلیل‌های سلسله‌مراتبی با نرم‌افزار Expert Choice 11، معیار اقتصادی با وزن ۵۴۵/۰ مهمترین شاخص در تصمیم‌گیری بوده و معیار فنی/اجتماعی با وزن ۱۸۲/۰، از دیدگاه کارشناسان و متخصصین، کمترین اثربخشی را بر انتخاب سناریوی برتر داشته است. بر این اساس سناریوی یک با امتیاز ۵۰۲۸/۰ برتر از سناریوی دو (با امتیاز ۴۹۷۲/۰) است. این نتیجه در تطابق با یافته‌های (Rigamonti et al., 2009) است. در تحقیق اخیر سناریوهای مختلف تفکیک از مبدا و اثر آن بر کیفیت محصولات بازیافتی و به تبع آن انتشارات خروجی مورد بررسی قرار گرفت و نتایج حاصل حاکی از وجود محدوده بهینه برای اعمال سیاست‌های تفکیک از مبدا بوده است.

تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله از حمایت‌های مالی و فنی شرکت شهرک‌های

در قالب یک ماتریس چهار در چهار وارد نرم‌افزار MATLAB شدند. نتایج حاصل به صورت کانتور در شکل (۷) رسم شده است. در شکل (۷) موقعیت کنونی از نقطه نظر اوزان معیارها توسط محل تقاطع خط چین‌های افقی و عمودی و مربع مرکزی نشان داده شده است (یعنی جایی که وزن معیارهای اقتصادی و محیط‌زیستی به ترتیب برابر ۵۴۵/۰ و ۲۷۳/۰ هستند). با ثابت نگاه داشتن وزن معیار اقتصادی، افزایش وزن معیار محیط‌زیستی منجر به کسب امتیاز بالاتری توسط سناریوی یک خواهد شد. برعکس با ثابت نگاه داشتن وزن معیار محیط‌زیستی، افزایش وزن معیار اقتصادی منجر به کاهش امتیاز سناریوی یک می‌شود. ۵۰۰/۰ یعنی جایی که امتیاز سناریوی یک برابر ۵/۰ است، مرز برتری سناریوها بوده بگونه‌ای که در ناحیه بالاتر از این خط سناریوی یک و در ناحیه تحتانی سناریوی دو برتر خواهد بود. ناحیه اخیر به صورت هاشور خورده مشخص شده است. بنابراین، اگر وزن معیار محیط‌زیستی به کمتر از ۲۲/۰ محدود شود، در هر شرایطی از نقطه نظر وزن معیار اقتصادی (تغییر از ۴۵/۰ تا ۶۰/۰)، سناریوی برتر، سناریوی دو خواهد بود.

بحث و نتیجه‌گیری

منطقه مورد مطالعه در تحقیق حاضر، شهرک صنعتی شماره دو ارومیه وابسته به شرکت شهرک‌های صنعتی استان آذربایجان غربی، با مساحتی در حدود ۱۷۷ هکتار است. هدف اصلی مقاله حاضر برقراری سیستم مدیریت اصولی پسماندهای قابل بازیافت تولیدی در واحدهای کوچک و متوسط در شهرک صنعتی ذکر شده، از طریق شناسایی موانع و طرح‌ریزی برنامه‌های اجرایی رفع موانع اصلی با به کارگیری روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه و متدولوژی ارزیابی چرخه عمر، است.

ویژگی‌های کمی و کیفی زایدات تولیدی در واحدهای صنعتی محدوده مورد مطالعه، از طریق مراجعه حضوری و تکمیل پرسشنامه از پیش تهیه شده (خود اظهاری)، برآورد شد. بر این اساس میزان زایدات صنعتی تولیدی در منطقه در حدود ۱۷۰ تن در ماه است. عملکرد ضعیف سیستم مدیریتی پسماندهای قابل بازیافت تولیدی در منطقه، از جمله نتایج مهمی است که از تحلیل پرسشنامه‌ها به دست آمد. شناسایی و برطرف نمودن این نقاط ضعف، سطح‌بندی موانع موجود و یافتن راه‌حلی مناسب برای رفع موانع اصلی، از جمله چالش‌های اصلی تحقیق حاضر به شمار می‌روند. بر این اساس نه مانع بر اساس نتایج تحقیقات دیگر

8. Initial Reachability Matrix	صنعتی استان آذربایجان غربی در راستای انجام این پژوهش، قدردانی می‌نمایند.
9. Adjacency Matrix	
10. Reachability Set	
11. Antecedent Set	
12. Digraph = Directed Graph	یادداشت‌ها
13. Autonomous	
14. Dependent	
15. Linkage	
16. Independent or Driver	
17. Inconsistency Index	
18. Random Inconsistency Index	
19. Inconsistency Ratio	
20. Life Cycle Inventory	
21. Metric Ton of Carbon Equivalent =MTCE	
	1. Interpretive Structural Modeling
	2. Life Cycle Assessment
	3. Material Recovery Facility
	4. Multiple Attribute Decision Making
	5. Analytic Hierarchy Process
	6. Attribute Enhancement Structure
	7. Structural Self-Interaction Matrix

فهرست منابع

- Abduli, M. A.; Naghib, A.; Yonesi, M. & Akbari, A. 2011. Life cycle assessment (LCA) of solid waste management strategies in Tehran: landfill and composting plus landfill. *Environmental monitoring and assessment*. 178(1-4): 487-498
- Achillas, C.; Moussiopoulos, N.; Karagiannidis, A.; Baniyas, G. & Perkoulidis, G. 2013. The use of multi-criteria decision analysis to tackle waste management problems: a literature review. *Waste Management & Research*. 31(2): 115-129
- Alizadeh, A. & Ghanbarzadeh Lak, M. 2017. Introduction of a comprehensive model to evaluate different industrial waste management options in industrial parks. 2nd International Congress of Earth, Space and Clean Energy, Tehran, Iran (In Persian)
- Arbolino, R.; De Simone, L.; Carlucci, F.; Yigitcanlar, T. & Ioppolo, G. 2018. Towards a sustainable industrial ecology: Implementation of a novel approach in the performance evaluation of Italian regions. *Journal of Cleaner Production*. 178: 220-236
- Asgarpour, M. J. 2014. Multiple criteria decision making. 17th edition, University of Tehran Press (In Persian)
- Ataei, M. 2017. Multi-criteria decision making. Shahrood University of Technology Press (In Persian)
- Ayer, N.W. & Tyedmers, P.H. 2009. Assessing alternative aquaculture technologies: life cycle assessment of salmonid culture systems in Canada. *Journal of Cleaner Production*, 17(3): 362-373
- Chauhan, A.; Singh, A. & Jharkharia, S. 2016. An ISM and DEMATEL method approach for the Analysis of Barriers of Waste Recycling in India. *Journal of the Air & Waste Management Association*. 68(2): 100-110
- Cherubini, F.; Bargigli, S. & Ulgiati, S. 2009. Life cycle assessment (LCA) of waste management strategies: Landfilling, sorting plant and incineration. *Energy*. 34(12): 2116-2123
- European Environment Agency. 2016. EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook, EEA, Available on (Accessed June 2019): <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2016/part-b-sectoral-guidance-chapters/1-energy/1-a-combustion/1-a-3-b-i/view>
- Gentil, E. C.; Damgaard, A.; Hauschild, M.; Finnveden, G.; Eriksson, O.; Thorneloe, S.; Kaplan, P. O.; Barlaz, M.; Muller, O.; Matsui, Y. & Ii, R. 2010. Models for waste life cycle assessment: review of technical assumptions. *Waste Management*. 30(12): 2636-2648
- Ghanbarzadeh Lak, M.; Shariatmadari, N.; Sabour, M. R.; Ghanatiyan-Najafabadi, R. & Heydari, M. 2013. Developing a technical, environmental and economical evaluation model based on GIS and ANP to assess municipal solid waste management scenarios - case study: Tehran, Iran. *Journal of Environmental Sciences*. 11(2): 9-22 (In Persian)

- Ghazban, F.; Vahidi, H.; Tayefeh, S.; Ahmadzadeh, A. & Mosavi, S. 2014. Assessing the solid waste management systems in the industrial state of Charmshahr & Salariyeh by using AHP & TBL. *Amirkabir Journal of Civil Engineering*. 46(1): 77-90 (In Persian)
- Godfrey, L.; Scott, D. & Trois, C. 2013. Caught between the global economy and local bureaucracy: the barriers to good waste management practice in South Africa. *Waste Management & Research*. 31(3): 295-305
- Huang, Y.; Bird, R. & Heidrich, O. 2009. Development of a life cycle assessment tool for construction and maintenance of asphalt pavements. *Journal of Cleaner Production*. 17(2): 283-296
- Iriarte, A.; Gabarrell, X. & Rieradevall, J. 2009. LCA of selective waste collection systems in dense urban areas. *Waste Management*. 29(2): 903-914
- Janes, F. R. 1988. Interpretive structural modelling: a methodology for structuring complex issues. *Transactions of the Institute of Measurement and Control*. 10(3): 145-154
- Kumar, A. & Dixit, G. 2018. An analysis of barriers affecting the implementation of e-waste management practices in India: A novel ISM-DEMATEL approach. *Sustainable Production and Consumption*. 14: 36-52
- Kumar, A.; Dixit, G. & Prabhakar, D. 2016. Analyzing the factors affecting the sustainable municipal solid waste management (MSWM). *Indian Journal of Science and Technology*. 9(47)
- Lü, Y.; Yang, K.; Che, Y.; Shang, Z.; Tai, J. & Jian, Y. 2012. Industrial solid waste flow analysis of eco-industrial parks: implications for sustainable waste management in China. *Frontiers of Environmental Science & Engineering*. 6(4): 575-587
- Nouri, D.; Sabour, M. R. & Ghanbarzadeh Lak, M. 2018. Industrial solid waste management through the application of multi-criteria decision-making analysis: a case study of Shamsabad industrial complexes. *Journal of Material Cycles and Waste Management*. 20(1): 43-58
- Nouri, D.; Sabour, M. R. & Ghanbarzadeh Lak, M. 2011a. The effects of network attitude on decision-making in solid waste management generated at industrial parks. 5th National Conference and Exhibition on Environmental Engineering, Tehran, Iran (In Persian)
- Nouri, D.; Sabour, M. R. & Lak, M. G. 2011b. Environmental and technical modeling of industrial solid waste management using analytical network process; a case study: Gilan-IRAN. *World Academy of Science, Engineering and Technology*. 81(1): 130-6
- Özeler, D.; Yetiş, Ü. & Demirel, G. N. 2006. Life cycle assesment of municipal solid waste management methods: Ankara case study. *Environment international*. 32(3): 405-411
- Pauliuk, S.; Arvesen, A.; Stadler, K. & Hertwich, E. G. 2017. Industrial ecology in integrated assessment models. *Nature Climate Change*. 7(1): 13
- Pennington, D. W.; Potting, J.; Finnveden, G.; Lindeijer, E.; Jolliet, O.; Rydberg, T. & Rebitzer, G. 2004. Life cycle assessment Part 2: Current impact assessment practice. *Environment international*. 30(5): 721-739
- PourAghdam, S. K.; Ghanbarzadeh Lak, M.; Mohtadi M. & Sabour M. R. 2019. Evaluation of municipal solid waste final disposal scenarios through life cycle assessment and analytic hierarchy process methods (Case study: Tehran). *Journal of Environmental Science and Technology*. 21(2): 57-69 (In Persian)
- Qdais, H. A. & Alshraideh, H. 2016. Selection of management option for solid waste from olive oil industry using the analytical hierarchy process. *Journal of Material Cycles and Waste Management*. 18(1): 177-185
- Ravi, V. & Shankar, R. 2014. Reverse logistics: insights from sectoral analysis of Indian manufacturing industries. *International Journal of Logistics Systems and Management*. 17(2): 234-259
- Rigamonti, L.; Grosso, M. & Giugliano, M. 2009. Life cycle assessment for optimising the level of separated collection in integrated MSW management systems. *Waste Management*. 29: 934-944
- Saaty, T. L. 2008. Decision making with the analytic hierarchy process. *International journal of services sciences*. 1(1): 83-98

- Santagata, R.; Ripa, M. & Ulgiati, S. 2017. An environmental assessment of electricity production from slaughterhouse residues. Linking urban, industrial and waste management systems. *Applied energy*. 186: 175-188
- Şener, Ş.; Sener, E. & Karagüzel, R. 2011. Solid waste disposal site selection with GIS and AHP methodology: a case study in Senirkent–Uluborlu (Isparta) Basin, Turkey. *Environmental monitoring and assessment*. 173(1-4): 533-554
- Shafiei, M. & Ghanbarzadeh Lak, M. 2019. Modeling of Site Selection Process for Artificial Groundwater Recharge (Through Flood Spreading) based on GIS Technique and AHP Method (Case Study: Khoy Plain Aquifer). *Iran-Water Resources Research*. 14(5): 219-236 (In Persian)
- Singh, M. D.; Shankar, R.; Narain, R. & Agarwal, A. 2003. An interpretive structural modeling of knowledge management in engineering industries. *Journal of Advances in Management Research*. 1(1): 28-40
- Singh, R. K.; Garg, S. K. & Deshmukh, S. G. 2007. Interpretive structural modelling of factors for improving competitiveness of SMEs. *International Journal of Productivity and Quality Management*. 2(4): 423-440
- Sushil, S. 2012. Interpreting the interpretive structural model. *Global Journal of Flexible Systems Management*. 13(2): 87-106
- Tzeng, G.H. & Huang, J. J. 2011. *Multiple attribute decision making: methods and applications*. Chapman and Hall/CRC
- US EPA. 2006. *Solid waste management and greenhouse gases: A life-cycle assessment of emissions and sinks*
- Weinzettel, J.; Reenaas, M.; Solli, C. & Hertwich, E. G. 2009. Life cycle assessment of a floating offshore wind turbine. *Renewable Energy*. 34(3): 742-747
- Zamorano, M.; Grindlay, A.; Molero, E. & Rodríguez, M. I. 2011. Diagnosis and proposals for waste management in industrial areas in the service sector: case study in the metropolitan area of Granada (Spain). *Journal of Cleaner Production*. 19(17-18): 1946-1955
- Zare, R.; Nouri, J.; Abdoli, M. A.; Atabi, F. & Alavi, M. 2016. The integrated fuzzy AHP and goal programming model based on LCA results for industrial waste management by using the nearest weighted approximation of FN: aluminum industry in Arak, Iran. *Advances in Materials Science and Engineering*. 2016
- Zhu, C.Q. & Wang, L. X. 2010. Factor Analysis of Mining Waste Land Development Based on ISM. In *Advanced Materials Research*. 113: 27-32
- Zikmund, W.G.; Babin, B. J.; Carr, J. C. & Griffin, M. 2013. *Business research methods*. Cengage Learning