Archive of SID

Journal of Structural and Construction Engineering, 8(4), 2021, pp. 164-184

Journal of Structural and Construction Engineering

www.jsce.ir

Management of Waste Generated by Construction and Demolish in Construction Industry Projects Using the Dynamics of Systems Approach

Iman Shafiei[1], Ehsanollah Eshtehardian[2]*, Mojtaba Azizi[3]

1- MSc in project management and construction, Tarbiat modares university, Tehran, Iran
2- Associate professor, project management and construction department, Tarbiat modares university, Tehran, Iran
3- Assistant professor, project management and construction department, Tarbiat modares university, Tehran, Iran

ABSTRACT

Economic tools are definitely an effective way to encourage or enforce contractors to enforce environmentally-friendly practices. Previous studies on this subject mainly focus on the management of waste of construction and demolish (C & D) from the static point of view, which does not take into account the nature of its dynamic by taking all necessary activities in the waste chain. Therefore, the purpose of this paper is to explain the dynamics and relationships between the components of C&D waste management and to analyze the costs and benefits and cost of transportation and fuel consumption using the system dynamics approach. The findings show that the implementation of C&D waste management has many benefits, but the higher cost of landfill at authorized sites will result in more net profits, which will be accompanied by disadvantages such as environmental damage. In addition, the public is suffering from landfill in unauthorized locations and imposing environmental costs due to illegal evacuation. Simulation results also show that increased landfill in unauthorized locations increases fuel and energy consumption and therefore increases fuel consumption costs. This study by investigating and evaluating the researches and measures taken on the waste and waste spillway aims to clarify the use of a systematic approach using the dynamics of systems in a direction in which it is possible to use contract cost-benefit analysis to encourage contractors to disposal of Construction waste in a way that is conducive to the development of the building industry and the preservation of the environment and the resulting savings.

ARTICLE INFO

Receive Date: 19 June 2019
Revise Date: 02 August 2019
Accept Date: 27 August 2019

Keywords:
Construction and demolish waste;
System dynamics;
Cost-benefit analyze;
Saving energy;
Sustainable development

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

doi: 10.22065/JSCE.2019.190757.1886

*Corresponding author: Ehsanollah Eshtehardian
Email address: eshtehardian@modares.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

نشریه مهندسی سازه و ساخت
(علمی - پژوهشی)
www.jsce.ir

مدیریت ضایعات حاصل از ساخت و تخریب در پروژه‌های صنعت ساخت با استفاده از رویکرد پویایی سیستم‌ها

ایمان شفیعی[۱]، احسان‌اله اشتهاردیان[۲*]، مجتبی عزیزی[۳]

۱- کارشناسی ارشد مدیریت پروژه و ساخت، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

۲- دانشیار گروه مدیریت پروژه و ساخت، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

۳- استادیار گروه مدیریت پروژه و ساخت، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

چکیده

ابزارهای اقتصادی به‌طور قطعی به‌عنوان روشی مؤثر برای تشویق و یا اجباری پیمانکاران برای اجرای روش‌های انجام کار سازگار با محیط‌زیست است. مطالعات قبلی در رابطه با این موضوع عمدتاً بر مدیریت نخاله‌های ساختمانی (C & D) ازنقطه‌نظر ایستا تأکید می‌کند که با اتخاذ تمام فعالیت‌های ضروری در زنجیره زباله، طبیعت پویایی آن در نظر گرفته نشده است. بنابراین هدف این مقاله، تبیین پویایی و روابط بین اجزاء مدیریت زباله‌های C&D و تحلیل هزینه و سود و هزینه‌های حمل‌ونقل و مصرف سوخت با استفاده از رویکرد پویایی سیستم‌هاست. یافته‌ها نشان می‌دهد که اجرای مدیریت زباله‌های C&D مزایای زیادی را در پی دارد، اما هزینه بالاتر دفن زباله در محل‌های مجاز منجر به سود خالص بیشتری خواهد شد که البته معایبی چون آسیب‌های زیست‌محیطی را به همراه خواهد داشت. علاوه بر این، عموم مردم از دفن زباله‌ها در محل‌های غیرمجاز و تحمیل هزینه‌های زیست‌محیطی ناشی از تخلیه غیرقانونی رنج می‌برند. نتایج شبیه‌سازی نیز نشان می‌دهد افزایش دفن زباله‌ها در محل‌های غیرمجاز سبب افزایش مصرف سوخت و انرژی و درنتیجه آن افزایش هزینه‌های مصرف سوخت می‌گردد. این پژوهش با بررسی و ارزیابی تحقیقات و اقدامات انجام‌شده درزمینهٔ پسماندها و نخاله‌های ساختمانی، در پی روشن نمودن استفاده از دیدگاه سیستمی با استفاده از پویایی سیستم‌ها در جهتی است که به کمک آن بتوان با استفاده از تحلیل هزینه – سود، پیمانکاران را تشویق به دفع نخاله‌های ساختمانی به روشی کند که در جهت توسعه صنعت ساختمان و حفظ محیط زیست و صرفه‌جویی‌های ناشی از آن گردد.

کلمات کلیدی: زباله‌های ساخت و تخریب (C & D)، پویایی سیستم‌ها، تحلیل هزینه – سود، صرفه‌جویی در مصرف انرژی، توسعه پایدار

سابقه مقاله:					شناسه دیجیتال:
دریافت	بازنگری	پذیرش	انتشار آنلاین	چاپ	10.22065/JSCE.2019.190757.1886
۱۳۹۸/۰۳/۲۹	۱۳۹۸/۰۵/۱۱	۱۳۹۸/۰۶/۰۵	۱۳۹۸/۰۶/۰۵	۱۴۰۰/۰۴/۳۰	doi: https://dx.doi.org/10.22065/jsce.2019.190757.1886

*نویسنده مسئول: احسان‌اله اشتهاردیان

پست الکترونیکی: eshtehardian@modares.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

زباله‌های حاصل از ساخت و تخریب (C&D)[1] معمولاً به‌عنوان زباله‌ای است که از فعالیت‌های ساخت‌وساز، بازسازی و تخریب، حفاری، کارهای عمرانی و ساختمانی، ساخت جاده و نوسازی ساختمان تشکیل می‌شود[۱, ۲]. زباله‌های ساخت و تخریب (C & D) یک مجموعه زباله غیر خطرناک است که به‌عنوان موادی بی‌خطر برای محیط‌زیست در نظر گرفته می‌شوند [۳]. به‌تازگی، زباله‌های C&D تبدیل به یک مشکل بزرگ زیست‌محیطی شده‌اند و به همین علت، نگرانی‌های گسترده‌ای را برای بسیاری از اقتصادهای سراسر جهان به وجود آورده‌اند.[۴-۷]

تلاش‌های مشترکی از سوی محققان و متخصصان صنعت ساخت برای جلوگیری از افزایش ضایعات C&D انجام‌شده است. آژانس حفاظت از محیط‌زیست ایالات‌متحده تخمین زده است که در سال ۱۹۹۶ حدود ۱۳۶ میلیون تن زباله حاصل از ساخت و تخریب ساختمان (C & D) تولیدشده است؛ اکثریت این مواد زائد حدود (۴۸ درصد) حاصل از تخریب و حدود (۴۲ درصد) از آن متعلق به فرآیند نوسازی ساختمان‌ها می‌باشد.[۸]

جدول شماره ۱ میزان تولید زباله‌های ساختمانی را در کشورهای مختلف نشان‌می‌دهد:

سهم اروپا در تولید نخاله‌های ساختمانی ۵۱۰ میلیون تن در سال است. این در حالی است که آمریکا و ژاپن سالانه ۳۲۵ و ۷۷ میلیون تن نخاله ساختمانی تولید می‌کنند.[۹]

جدول ۱: مقایسه میزان حجم تولیدی نخاله‌های ساختمانی در کشورهای مختلف جهان- مأخذ: [۱۰]

کشور	مجموع تولید نخاله‌های ساختمانی از کل زباله‌های تولیدی
استرالیا	٪۴۴
برزیل	٪۱۵
دانمارک	٪۲۵-٪۵۰
فنلاند	٪۱۴
فرانسه	٪۲۵
آلمان	٪۱۹
هنگ‌کنگ	٪۳۸
ژاپن	٪۳۶
نروژ	٪۳۰
اسپانیا	٪۷۰
انگلستان	بیش از ٪۵۰
ایالات‌متحده	٪۲۹
ایتالیا	٪۳۰
هلند	٪۲۶

در انگلستان ۵۰ درصد از مکان‌های دفع زباله به نخاله‌های ساختمانی اختصاص دارد[۱۱] هرساله حدود ۷۰ میلیون تن مواد C&D به‌عنوان نخاله‌های ساختمانی تولید می‌شود [8]. همچنین در استرالیا هرساله در حدود ۱۴ میلیون تن نخاله‌های ساختمانی تولید می‌شود[۱۱] و تخمین زده می‌شود زباله‌های C&D در این کشور ۱۶-۴۰٪ از کل زباله‌ها را تشکیل دهد[۱۲]. در هنگ‌کنگ، از سال ۱۹۹۳ تا ۲۰۰۴، تولید سالیانه مواد زائد C&D بیشتر از دو برابر شده و در سال ۲۰۰۴ حدود یک‌میلیون تن رسیده است[13] . که در حدود ۳۸٪

[1] Construction and demolish

www.SID.ir

Archive of SID

از کل زباله‌های جامد را شامل می‌شود[۱۱]. در ایالات‌متحده امریکا نیز نخاله‌های ساختمانی در حدود ۲۹٪ درصد از کل زباله‌های جامد را تشکیل می‌دهد[10].

در ایران، شهر تهران به‌تنهایی در سال ۱۳۹۴ روزانه ۵۰ هزار تن نخاله ساختمانی تولید کرده است. به‌عبارت‌دیگر تهران، به‌تنهایی سالانه ۱۸,۲۵ میلیون تن نخاله ساختمانی تولید می‌کند. هم‌چنین آمار رسمی و دقیقی در ارتباط با تولید نخاله‌های ساختمانی از دیگر نقاط ایران وجود ندارد اما با توجه به وسعت ساخت‌وساز در کشور و حجم فعالیت‌های عمرانی می‌توان حدس زد که حجم قابل‌توجهی از نخاله ساختمانی به‌صورت سالانه در کشور تولید می‌شود[۱۴].

اثرات منفی زباله‌های C&D در محیط‌زیست چندگانه هستند، که یکی از بزرگ‌ترین آن‌ها هدر رفت منابع زمین برای دفع زباله‌های ساختمانی است. به‌عنوان‌مثال، در هنگ‌کنگ دولت هزینهٔ دفع زباله‌های C&D را بیش از ۲۰۰ میلیون دلار هزینهٔ سالانه عهده داشته و فضای ارزشمند زمین در دفع زباله در هنگ‌کنگ حدود ۳۵۰۰ مترمکعب بوده است[۱۵]. در ایالات‌متحده، ظرفیت محدود محل‌های دفع زباله‌های ساختمانی ، دفع زباله‌های جدید را با مشکل مواجه کرده است چراکه محل‌های موجود نمی‌تواند پاسخگوی نیازهای جدید باشد، که این مشکل از نگرانی اصلی برنامه‌ریزان است[۱۶].

نخاله‌ها ساختمانی در ایران عموماً دفن و به مناطق خارج از شهر منتقل می‌شوند. دفع این نخاله‌ها یا از طریق دفن کردن آن‌ها و یا انباشت و شکل‌گیری تپه‌های مصنوعی از نخاله‌های ساختمانی است. هر دو روش علاوه بر هزینه‌های حمل‌ونقل، باعث تغییرات زیست‌محیطی و اکوسیستم محل دفع نخاله می‌شوند که اثرات نامطلوب زیست‌محیطی را به دنبال داشته است.

این عوامل نیاز فوری به مدیریت زباله‌های C&D را دنبال می‌کند که درنتیجه آن تأثیرات منفی بر محیط‌زیست را کاهش می‌دهد.

بسیاری از استراتژی‌هایی که با پتانسیل به حداقل رساندن آلودگی‌های حاصل از زباله‌های C&D پیشنهادشده‌اند، عبارت‌اند از: کاهش تولید ضایعات در منبع، استفاده مجدد و بازیافت زباله، دفع زباله در محل‌های دفن [۱۷, ۱۸]دو اصل اساسی این استراتژی‌های مدیریت عبارت‌اند از: کاهش مصرف منابع و کاهش آلودگی محیط‌زیست، که دو اصل پایداری در ساخت‌وساز است. [۱۷]

بااین‌حال، شواهد قابل‌توجهی وجود دارد که نشان‌می‌دهد اجرای این استراتژی‌ها در عمل به‌صورت مؤثر پیش‌بینی‌نشده است. عامل اصلی‌ای که مانع از کارآیی فعالیت‌های مدیریت زباله‌هایC&D می‌شود، فقدان انگیزه‌های اقتصادی برای مدیریت زباله‌های C&D است. به‌عبارت‌دیگر نگرانی اصلی همه طرف‌های درگیر این است که آن‌ها بتوانند مزایای بیشتری از انجام مدیریت زباله‌های C&D داشته باشند،، زیرا تاکنون رفتار سازگار با محیط‌زیست در دستور کار قرار نگرفته است[۱۹]. در این راستا، در این تحقیق، تجزیه‌وتحلیل هزینه-سود مدیریت زباله‌های C&D از اهمیت زیادی برخوردار است، که ما را قادر می‌سازد تا در مورد مقرون‌به‌صرفه بودن روش‌های مدیریت ضایعات C&D پاسخگو باشیم. مزایای اقتصادی ناشی از کمینه کردن و بازیافت زباله‌ها بسیار زیاد است، که این مزایا شامل امکان فروش برخی مواد زائد و حذف از محل تولید نخاله‌ها و متعاقباً کاهش مواد زائدی است که به محل‌های دفن زباله با هزینه بالاتر حمل می‌شوند. که با این رویکرد شرکت‌های ساختمانی ازلحاظ کاهش هزینه‌ها سود خواهند برد [۲۰] و درنتیجه سبب رقابت پیمانکاران از طریق هزینه‌های تولیدی پایین‌تر و قوت گرفتن یک تصویر عمومی بهتر می‌شود [۵]. از سوی دیگر، آن‌ها می‌توانند به تشویق استفاده مجدد و بازیافت مواد زائد و درنتیجه کاهش ظرفیت‌های دفن زباله در محل‌های دفن بپردازند[۲۱]. مدیریت زباله‌های C&D برای توسعه پایدار شهری بسیار اهمیت دارد. با توجه به توسعه سریع شهری در جهان، سالانه مقدار قابل‌توجهی زباله‌های حاصل از ساخت و تخریب تولید می‌شود. به‌این‌ترتیب، سرمایه‌گذاری در فعالیت‌های مدیریت زباله، مانند بازیافت و استفاده مجدد، به نظر می‌رسد ضروری است[۲۲].

در تحقیقی که در سال ۱۹۵۰ بر روی ضایعات ناشی از بهسازی راه در ایالت متحده امریکا انجام شد مشخص گردید که درنتیجه بازیافت تعداد دفعات رفت‌وآمد ماشین‌آلات ساختمانی تا محل دفن تا ۸۵٪ کاهش می‌یابد. با این مقدار قابل‌توجه کاهش آمدوشدهای ناشی از حمل‌ونقل، علاوه بر کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی کمک بسزایی در کاهش آلودگی ناشی از حمل‌ونقل می‌شود که این امر خود از دیگر نکات قابل‌توجه در راستای دستیابی به اهداف توسعه پایدار است[۱۴].

www.SID.ir

Archive of SID

۲- تاریخچه ادبیات موضوع

این تحقیق، پژوهشی بدیع و تازه نیست، که اهمیت آن را برای تجزیه‌وتحلیل هزینه‌ها و مزایای مدیریت ضایعات C&D در نظر بگیرد، زیرا برخی تلاش‌ها در دهه‌های گذشته در این زمینه نیز صورت گرفته است. مطالعات قبلی در این زمینه از ابزارهای گوناگونی برای بررسی هزینه – سود اثربخش مدیریت زباله C&D ارائه داده‌اند. برای مثال، فاکتورهای اقتصادی مناسب (مانند حمل‌ونقل، نیروی کار و هزینه‌های دفع). در پژوهشی میلز و همکاران در سال ۱۹۹۹ [۲۳] یک طرح مدیریت ضایعات مناسب را برای انتخاب یک برنامه مدیریت ضایعات با هزینه‌ای مناسب طراحی کرده است. یک تجزیه‌وتحلیل سود - هزینه توسط بیگام و همکاران در سال ۲۰۰۶ [۵] برای بررسی امکان کاهش ضایعات از طریق نیروی کار با استفاده از معادلات ریاضی اجراشده است. دوران و همکاران در سال ۲۰۰۶ [۲۴]یک مدل برای ارزیابی کارایی اقتصادی در ایجاد بازارهای مربوط به ضایعات بازیافت شده در بخش‌های اقتصادی مختلف، توسعه داده‌اند. علاوه بر این، توجیه اقتصادی در بازیافت زباله‌های بتنی از طریق مطالعه مقایسه‌ای در مورد هزینه‌ها و مزایای بین عمل جاری و روش بازیافت بتن بررسی‌شده است. هم‌چنین هوی گو و همکاران در سال ۲۰۱۶ [۲۵] با استفاده از رویکرد پویایی سیستم‌ها در ارتباط با مشکلات مدیریت بازیافت زباله‌های ساختمانی، از طریق تجزیه و تحلیل روابط بین عوامل مختلف تاثیر گذار بر پیمانکاران در دفع زباله های ساختمانی پژوهشی ارائه نموده است. در پژوهشی توسط جان سانگ ونگ و جک چنگ در سال ۲۰۱۷ [۲۶] فرصت های بالقوه استفاده از مدل‌سازی اطلاعات ساختمان BIM را برای مدیریت و به حداقل رساندن مدیریت زباله C&D را با استفاده از بازبینی طراحی، هماهنگی سه بعدی، برنامه ریزی کلی، برنامه ریزی فضایی، برنامه ریزی استفاده از ساختمان، طراحی سیستم ساختمانی، ساخت دیجیتال و کنترل و برنامه ریزی سه بعدی شناسایی می کند. هم چنین در سال ۲۰۱۷ شویجیا و همکاران [۲۷] با استفاده از رویکرد پویایی شناسی سیستم‌ها به مطالعه بررسی مشکلات مربوط به مدیریت زباله های ساخت و ساز و تخریب پرداختند که تحت دو سناریو تدوین قوانین مجازات در دفع غیر مجاز ضایعات و ارائه یارانه جهت تشویق مشارکت کنندگان به بازیافت و استفاده مجدد از ضایعات ساختمانی پرداختند که تحت این دو سناریو میزان ضایعات دفع شده به صورت غیر مجاز در مدل به شدت کاهش می‌یابد و میزان استفاده مجدد از ضایعات و بازیافت تحت این سناریو دریافت یارانه‌ها افزایش می‌یابد. هم چنین در پژوهشی دیگر با رویکرد شبیه سازی پویایی سیستم‌ها در سال ۲۰۱۸ توسط ژیکان دینگ و همکاران [۲۸] انجام شده است که نتایج نشان‌دهنده کاهش ضایعات ساختمانی را در مرحله طراحی و ساخت از طریق استفاده از اجزای پیش ساخته، کاهش تغییرات طراحی در مرحله طراحی، تفکیک ضایعات در محل سایت و استفاده مجدد از مواد در مرحله ساخت را ارئه نماید. در پژوهشی در سال ۲۰۱۸ توسط بیجیا هوآنگ و همکاران [۲۹] در چین استفاده از اصل $3R^{۲}$ (کاهش، استفاده مجدد و بازیافت) در تحقیق خود ارائه نمودند که نتایج حاکی از آن است که موانع اولیه کاهش تولید ضایعات در چین عبارتند از عدم استاندارد طراحی برای ساختمان‌ها برای در جهت کاهش ضایعات، هزینه کم برای دفع ضایعات ساختمانی و برنامه ریزی نامناسب شهری است، موانع استفاده مجدد از ضایعات ساختمانی عبارتند از عدم راهنمایی برای جمع آوری و مرتب سازی موثر ضایعات، کمبود دانش و استاندارد برای استفاده مجدد از ضایعات می‌باشد. برای بازیافت ضایعات ، چالش های کلیدی چون سیستم مدیریت بی‌اثر، تکنولوژی بازیافت نابالغ، بازار توسعه نایافته برای محصولات ضایعات بازیافت شده شناسایی گردیده‌اند. تیفانی ماک و همکاران در سال ۲۰۱۹ [۳۰] در پژوهشی به شناسایی عوامل اصلی بازیافت ضایعات ساختمانی از دیدگاه ذینفعان مختلف پروژه (به عنوان مثال نمایندگان سازمان های مرتبط با ضایعات حاصل از ساخت و ساز، مشاوران محیط زیست و پیمانکاران و مهندسان دولتی) از طریق یک روش آماری پرداخته است که نتایج نشان می‌دهد، چهار عامل کلیدی: انطباق قانونی، انگیزه های اقتصادی، طرح اعتباربخشی و انگیزه های تدارکات و مدیریت مستقیم بر رفتار بازیافت افراد تاثیرگذار است. در پروژه های صنعت ساخت، مدیریت مناسب ضایعات یک فرآیند پیچیده است که نیاز به تفکر و تحلیل سیستماتیک دارد. در مطالعات انجام‌شده درزمینهٔ مدیریت زباله‌هایC&D و تجزیه‌وتحلیل هزینه‌ها و سود دو موضوع مهم را باید مدنظر داشت که در آن‌ها به این دو موضوع پرداخته نشده است، یکی عدم توجه به همه فعالیت‌های مدیریت زباله‌هایC&D در زنجیره ضایعات ساختمانی است (تعریف زنجیره ضایعات بعداً توضیح داده خواهد شد)؛ و دیگری، از مطالعات انجام‌شده اکثراً ازنقطه‌نظر استاتیک به موضوع مدیریت زباله‌های C&D می‌نگرند، بدون توجه به ماهیت پویایی فعالیت‌های مدیریت زباله C&D. هم چنین در اکثر تحقیقات انجام شده در

[2] Rduction,Ruse and Recycle

www.SID.ir

Archive of SID

ارتباط با مدیریت ضایعات ساختمانی از روش‌های کمی آماری جهت کاهش تولید ضایعات و یا بررسی یکی از فعالیت‌های موجود در زنجیره ضایعات پرداخته شده است و بررسی همزمان تمامی فعالیت‌ها در ارتباط با یکدگیر تشریح نشده‌اند. لذا این‌ها موضوعاتی هستند که نویسندگان این مقاله را ترغیب به انجام این مطالعه کرده است. این مقاله باهدف ارائه یک مدل برای تجزیه‌وتحلیل هزینه-سود و تأثیرات زیست‌محیطی ناشی از حمل ضایعات ساختمانی با استفاده از رویکرد پویایی سیستم (SD[3]) ارائه‌شده است. نوآوری این مطالعه عمدتاً در دو جنبه قرار دارد: اول، بررسی همه فعالیت‌های ضروری است که مربوط به هزینه-سود C&D مدیریت زباله در سراسر زنجیره زباله‌های ساختمانی است: دوم، استفاده از روش SD است که می‌تواند نه‌تنها شامل فعالیت‌های مختلف، بلکه تعاملات پویا را نیز در نظر بگیرد. این مقاله از چهار بخش تشکیل‌شده است. ابتدا در آن به‌طور خلاصه رویکرد پویایی سیستم‌ها SD معرفی می‌شود. به دنبال آن، ساخت یک مدل برای تحلیل هزینه و مزایای مدیریت ضایعات C&D و تحلیل اثرات زیست‌محیطی در زنجیره زباله دنبال می‌شود. سپس آن را در قالب یک نمونه موردی واقعی از مدل پیشنهادی منتقل می‌کند؛ که نتایج تحلیلی و بحث در این بخش انجام می‌شود. سرانجام، مقاله با خلاصه‌ای از یافته‌های کلیدی به پایان می‌رسد.

۳- رویکرد پویایی سیستم‌ها

پویایی سیستم‌ها یک نظریه است که توسط فارستر ایجاد شده است. این متد یک روش تجزیه و تحلیل سیستمی است که به ایجاد مدل از سیستم‌های دنیای واقعی و مطالعه دینامیک آنها می‌پردازد. SD می تواند پیچیدگی، غیر خطی و ساختارهای حلقه بازخورد را که در سیستم‌های فیزیکی و غیر فیزیکی ذاتی هستند را در نظر بگیرد. هدف استفاده از پویایی سیستم، تسهیل درک ارتباط بین رفتار سیستم در طول زمان و ساختار اساسی آن و قوانین تصمیم گیری است[۲۰]. شبیه‌سازی امکان بررسی سناریوهای "چه می‌شود اگر" و امکان تست سناریوها و سیاست‌ها در مورد نزدیک شدن به یک محیط آزمایشی را فراهم می کند، که منجر به افزایش اطمینان در اجرای سیاست ها و استراتژی های خاص می‌شود[۳۱]. به تازگی، SD نیز تبدیل به یک روش محبوب برای مدلسازی مدیریت پروژه‌های ساختمانی [۳۲-۳۵] شده است.

بر اساس یافته های این مطالعات، شایستگی استفاده از SD برای مدیریت پروژه های ساختمانی به طور کامل کشف شده است. به عنوان مثال، [۳۳] آن را یک ابزار خوب برای نشان دادن ارتباطات پیچیده که ممکن است مسبب خزش‌های غیرمنتظره و بیش از حد در پروژه باشد ارائه داده‌اند. همچنین می توان از آن برای درک بهتر پویایی یک سیستم به روش سیستماتیک [۳۶] استفاده کرد. به عنوان یک متد، روش پویایی سیستم‌ها برای شبیه سازی سیستم های پیچیده مانند سیستم مدیریت پسماند مناسب است[۳۷]. با توجه به [۳۸]و [۳۵]، مدیریت زباله های C&D در سراسر زنجیره زباله می تواند به عنوان یک سیستم در نظر گرفته شود زیرا شامل ذینفعان، فعالیت ها و عوامل مختلف است. از منظر ماهیت داده‌ها در مرحله تعریف مسئله که هدف شناخت مسئله دینامیک و پویایی‌های به وجود آورنده آن است رویکرد پژوهش کمی- کیفی است و از ابزارهایی چون بررسی مستندات و نظرات خبرگان برای گردآوری داده‌ها کیفی و تبیین فرضیه پویا استفاده می‌شود. در مراحل بعدی پژوهش که عبارت از طراحی مدل و تجزیه و تحلیل سناریوهاست داده‌های مورد نیاز بیشتر کمی بوده و بنابراین رویکرد پژوهش نیز کمی است . در نتیجه می‌توان گفت این پژوهش نوعی پژوهش ترکیبی کیفی – کمی است. اطلاعات به دست آمده در این تحقیق داده‌ها به دست آمده از خبرگان مربوط به چند پروژه ساختمانی- سازمان محیط زیست و شهرداری‌هاست.

پویایی سیستم دارای چهار عنصر در سیستم تعریف شده است:

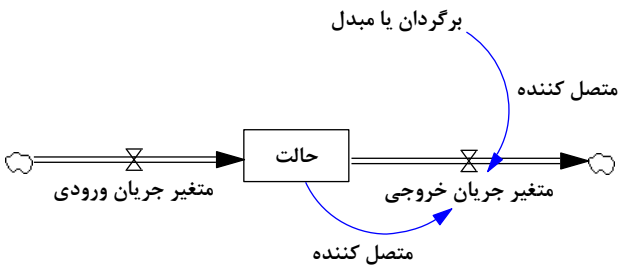
(الف) انبارش‌ها یا متغیر حالت؛
(ب) نرخ‌ها یا جریان‌ها؛
(ج) برگردان‌ها یا مبدل؛ و
(د) پیکان‌ها یا متصل‌کننده‌ها، همانطور که در شکل ۲ نشان داده شده است[۳۹].

[3] System dynamics

www.SID.ir

Archive of SID

انبارش ها یا **متغیر حالت**: انبارها یا حالت‌های سیستم را به طور پیوسته نمایش می‌دهد. انبارش به مفهومی دلالت دارد که بتوان در آن چیزی انباشته یا ذخیره کرد و سپس آن را به بخش دیگری از سیستم انتقال داد. **نرخ‌ها یا جریان ها** هرنوع افزایش یا کاهش یا هر نوع تغییر در متغیر حالت را سبب می شود. جریان به عملیات جاری می گویند که محتوای مخزن سیستم را در طول دوره زمان تعیین می‌کند جریان‌ها انتقال برخی مقادیر را نشان می‌دهد. یک **مبدل** دارای نقش سودمند در انتخاب ارزش‌های مناسب و عملکرد پارامترها در مدل است. مبدل‌ها متغیری است که آهنگ کارکرد فرآیند سیستم را تعیین می‌کند. **پیکان‌ها** یا **ارتباط‌ها** در نمودارهای علت و معلولی، نشان‌دهنده جهت و علامت تأثیر ارتباطات بین متغیرهای مختلف سیستم است [۴۰]. در شکل ۱ روابط متغیر حالت و جریان به شرح زیر است:



شکل ۱: یک مدل پایه پویایی سیستم‌ها

روابط بین حالت و جریان در برپایه معادله زیر بنا نهاده شده است:

$$\textit{حالت}\ (t) = \int_{t_0}^{t} \left[\text{جریان ورودی}(s) - \text{جریان خروجی}(s) \right] ds + \text{موجودی}\ (t_0)$$

به عنوان یک ابزار محبوب برای شبیه سازی پویایی سیستم‌ها[۴۱] نرم‌افزار Vensim به عنوان یک بسته نرم‌افزاری مناسب برای ساخت فرمول و شبیه سازی در این مطالعه در نظر گرفته شده است. Vensim ابزار قدرتمند برای برقراری ارتباط و وابستگی بین فرآیندها و مسائل است. این ابزار اجازه می دهد که ساختار یک فرآیند یا استراتژی دقیق به پویایی مرتبط شود. نرم‌افزار Vensim به چهار بخش جداگانه تقسیم می شود: روابط، نقشه، مدل و معادله. هر بخش نشان دهنده یک لایه مجزا در مدل است و هر یک از روش‌های مختلف طراحی و ارائه مدل را فراهم می کند. لایه نقشه برای تفکر در قالب نقشه و چارچوب است؛ لایه مدل برای تبدیل نقشه ها به مدل‌هایی است که می توانند بر روی کامپیوتر شبیه‌سازی شوند. لایه روابط می‌تواند یک مدل را به یک محیط واقعی تبدیل کند. و لایه معادله تمام معادلاتی که مدل را تشکیل می دهند لیست می کند.

۴- مدل پیشنهادی

پژوهش حاضر از منظر هدف نوعی پژوهش کاربردی – توسعه‌ای است زیرا نتایج آن مستقیماً برای حل مسئله خاص به‌کارگرفته می‌شود و به‌کارگیری روش حل منجر به ارائه سیاست‌ها و برنامه‌های ویژه‌ای جهت حل معضل در یک سیستم می‌گردد. از منظر ماهیت داده‌ها در مرحله تعریف مسئله که هدف شناخت مسئله دینامیک و پویایی‌های به وجود آورنده آن است، رویکرد پژوهش کمی- کیفی است و از ابزارهایی چون بررسی مستندات و نظرات خبرگان برای گردآوری داده‌ها کیفی و تبیین فرضیه پویا استفاده می‌شود. در مراحل بعدی پژوهش که عبارت از طراحی مدل و تجزیه‌وتحلیل سناریوهاست داده‌های موردنیاز بیشتر کمی بوده و بنابراین رویکرد پژوهش نیز کمی است . درنتیجه می‌توان گفت این پژوهش نوعی پژوهش ترکیبی کیفی – کمی است. استفاده از اصل SD یک رویکرد چهار مرحله ای است که توسط بسیاری از محققان پیشنهاد شده است [۴۰]. که شامل: شرح مدل، نمودار حلقه علی، نمودار حالت و جریان و اعتبار سنجی مدل است. این مطالعه همچنین از این روش برای ساخت مدل برای تحلیل هزینه-سود و تأثیرات زیست محیطی ناشی از حمل نخاله‌های ساختمانی در مدیریت زباله‌های ساخت (C) و تخریب (D) در زنجیره زباله استفاده می کند. (شکل۲)

www.SID.ir

Archive of SID

شکل ۲: روش پژوهش با استفاده از رویکرد پویایی سیستم‌ها

۴-۱- توصیف مدل

در حال حاضر، یک تعریف روشن از اصطلاح "زنجیره زباله" در این نوشتار غایب به نظر می¬رسد. با الهام از معنای زنجیره ارزش، نویسندگان این تحقیق، تعریف زنجیره زباله را ارائه می‌دهند: یک زنجیره زباله مجموعه‌ای از فعالیت‌های قابل انجام در مدیریت زباله است. فعالیت‌های زنجیره‌ای به‌منظور به حداقل رساندن حجم زباله در هر فعالیت توسط فعالیت‌های مختلف مدیریت زباله‌های می‌باشد. لازم به ذکر است که زنجیرهای زباله مجموعه‌ای از فعالیت‌های مدیریتی مستقل نیست بلکه، یک سیستم از فعالیت‌های وابسته به یکدیگر است و به همین دلیل است که ما روش SD را باید برای انجام این مطالعه انتخاب کرده‌ایم. یک مدل مفهومی که زنجیره زباله را نشان‌می‌دهد در جدول۲ نشان داده‌شده است. برخی از عوامل مؤثر بر فعالیت‌های مدیریت زباله نیز در مدل نمایش داده می‌شود. این عوامل بر مبنای مرور ادبیات گسترده است.

جدول ۲: مدل مفهومی زنجیره زباله‌های ساخت (C) و تخریب (D)

تولید زباله	کاهش تولید زباله	استفاده مجدد از زباله	بازیافت زباله	دفع زباله
•انگیزه برای مدیریت زباله‌های ساخت و تخریب	•وضع قوانین و مقررات	•نرخ استفاده مجدد	•نرخ بازیافت	•محل‌های دفع غیرقانونی
•آگاهی‌های زیست‌محیطی	•انگیزه برای مدیریت زباله‌های ساخت و تخریب	•هزینه‌های استفاده مجدد از مواد زائد	•هزینه بازیافت زباله‌ها	•قوانین و مقررات
•زباله‌های تولیدشده	•آگاهی‌های زیست‌محیطی	•صرفه‌جویی در هزینه‌های دفن	•صرفه‌جویی در هزینه‌های حمل	•دفع زباله در محل‌های قانونی
•جمع‌آوری زباله	•تفکیک زباله‌های ساخت و تخلیه در محل سایت	•صرفه‌جویی در هزینه‌های حمل زباله		•هزینه‌های دفن
•هزینه‌های جمع‌آوری	•هزینه‌های تفکیک			•هزینه‌های زیست‌محیطی
	•صرفه‌جویی در هزینه‌های حمل زباله			•هزینه‌های حمل

www.SID.ir

Archive of SID

۴-۲- نمودار علت و معلول

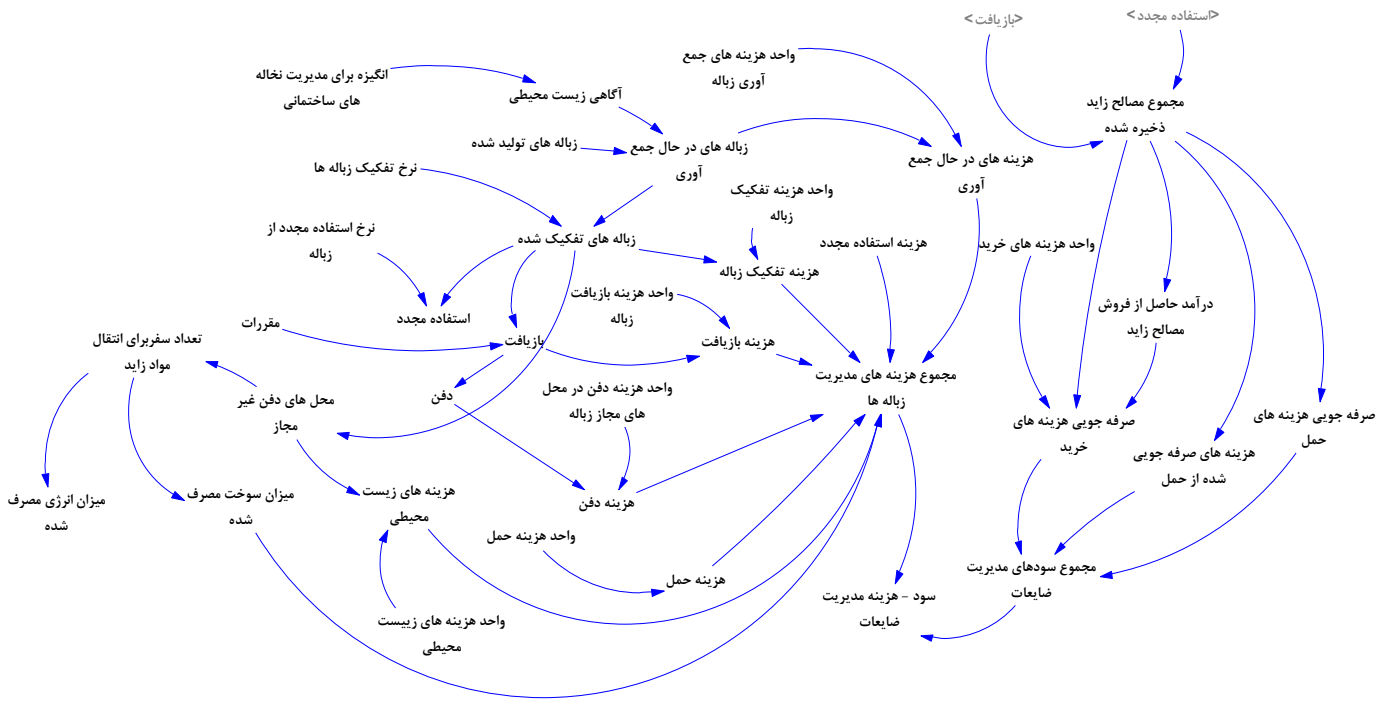
بر اساس عوامل موجود در مدل مفهومی زنجیره زباله‌های C & D، یک نمودار حلقه علی (علت و معلول) ایجاد می‌شود. نمودار، همان‌طور که در شکل ۳ نشان داده‌شده است، یک مدل انتزاعی و مفهومی برای نشان دادن تعاملات عوامل کلیدی موجود در این فرآیند است. معنای عوامل درون نمودار به شرح زیر تفسیر می‌شود:

- آگاهی زیست‌محیطی یک متغیر کیفی است که بر تمایل عوامل مختلف برای مدیریت زباله‌های C&D تأثیر می‌گذارد. آگاهی از کاهش ضایعات C&D می‌تواند از طریق تقویت قوانین افزایش یابد.
- جمع‌آوری زباله اولین فعالیت در مدار مدیریت زباله‌ها است. این فرآیند تأثیر مثبتی بر میزان زباله‌های تفکیک‌شده دارد، زیرا هرچه میزان مواد جمع‌آوری‌شده بیشتر باشد ، زباله‌های تفکیک‌شده نیز بیشتر خواهد بود. علاوه بر این، زباله‌های جمع‌آوری‌شده تأثیر منفی بر میزان دفع زباله‌های غیرقانونی دارد. درصد زباله‌های جمع‌آوری از انگیزه مشارکت‌کنندگان و عوامل مختلف مدیریت زباله‌های C&D تأثیر می‌پذیرد.
- دفع غیرقانونی به معنای تخلیه زباله‌های C&D در مکان‌های نامناسب است که توسط مقررات مجاز به شمار نمی‌روند. درصد تخلیه غیرقانونی از قوانین اثرگذار بر این حوزه اثر می‌پذیرد. اگر تخلیه‌های غیرقانونی رخ دهد، مردم باید هزینه‌های زیست‌محیطی را متحمل شوند.
- تفکیک زباله یک فعالیت برای تفکیک کردن مواد زائد است، به‌طوری‌که برخی از آن‌ها می‌توانند بازیافت یا مورداستفاده مجدد قرار گیرند. میزان درصد تفکیک زباله‌ها همچنین به انگیزه ذینفعان مدیریت زباله‌های C&D بستگی دارد.
- بازیافت و استفاده مجدد دو فعالیت مهم از کمینه کردن ضایعات است. مقدار مواد صرفه‌جویی شده از طریق این دو فعالیت، مبنای محاسبه مزایای حاصل از مدیریت زباله‌های C&D را تشکیل می‌دهد.
- مقررات به تأثیرات سیاسی در مدیریت زباله C&D اشاره دارد. این عامل نقشی بسیار اثرگذاری بر مدیریت زباله‌های C&D دارد. به‌عنوان‌مثال، مقررات سختگیرانه می‌تواند منجر به کاهش تخلیه غیرقانونی ضایعات و زباله‌های ساختمانی شود، درصورتی‌که مقررات ضعیف و منعطف می‌تواند منجر به تخلیه مقادیر زیادی از مواد زائد به‌طور غیرقانونی گردد. البته این نکته حائز اهمیت است که هنگامی‌که درصد تخلیه مواد زائد به‌صورت غیرقانونی در یک نقطه خاص افزایش می‌یابد، این عامل سبب حساسیت عوامل تصویب‌کننده و مجریان قوانین و درنتیجه سبب تقویت مقررات خواهد شد.
- هزینه کل مدیریت زباله برابر است با مجموع هزینه‌ها برای اجرای مدیریت صحیح زباله C&D است که شامل هزینه‌های زیست‌محیطی ناشی از تخلیه غیرقانونی نیز می‌شود.
- مزایای استفاده از مدیریت زباله به‌طورکلی مزایای حاصل از اجرای مدیریت زباله‌های C&D می‌باشد. به‌طورمعمول این مزایای عبارت‌اند از: صرفه‌جویی در هزینه‌های دفع، صرفه‌جویی در هزینه حمل‌ونقل، درآمد حاصل از فروش مواد زائد و صرفه‌جویی در هزینه‌های خرید مواد.
- سوخت و انرژی مصرف‌شده در اثر دفع غیرقانونی زباله‌های ساختمانی نیز یکی از مسائلی است که در اثر دفع غیرقانونی نخاله‌های ساختمانی اثرات و هزینه‌هایی را برای جامعه ایجاد می‌کند.

با پیوند دادن همه این فاکتورها با توجه به روابط ذاتی آن‌ها، آن را قادر به تجزیه‌وتحلیل تعاملات خود در هزینه-سود و تأثیرات زیست‌محیطی حاصل از حمل مواد زائد در سناریوهای مختلف می‌سازیم.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۳: نمودار علت- معلول در مدیریت نخاله های ساختمانی

۴-۳- نمودار حالت- جریان

پس از تعریف عوامل کلیدی، ضروری است که یک نمودار حالت- جریان ایجاد شود تا بتوان مدل نشان داده‌شده در شکل ۴ را بر روی کامپیوتر اجرایی نمود تا شبیه‌سازی عملیات مدیریت ضایعات C&D انجام گیرد. درواقع، نمودار علت معلول و نمودار حالت-جریان درواقع دو نسخه متفاوت از یک مدل مشابه است. تفاوت این دو در آن است که نمودار علت - معلول سبب درک ساده‌تر و بهتر از سیستم می‌شود ؛ و نمودار حالت- جریان در معادلات دخالت دارد و به ما این را امکان می‌دهد که مدل و تحلیل کمی را شبیه‌سازی کنیم. با استفاده از نرم‌افزاری Vensim، یک نمودار حالت- جریان نشان داده‌شده در شکل ۴ می‌تواند بر اساس نمودار علت- معلول فرموله شود. درواقع نمودار علت- معلول برای فهم بهتر، کلیات را نمایش می‌دهند و نمودار حالت- جریان وارد ارتباطات و جزئیات یک سیستم می‌شود که معادلات در این نمودار فرموله می‌گردد. قبل از انجام شبیه‌سازی، ضروری است که ورودی داده‌ها را برای تمام متغیرهای مدل بررسی کنیم. به‌طورکلی، لازم است تا متغیرها را به سه دسته تقسیم کرد، که هر یک منابع داده‌ای خود را دارند. به‌عنوان‌مثال، برخی از داده‌ها از ادبیات موجود یا آمار رسمی که توسط اداره محیط‌زیست گزارش‌شده‌اند.

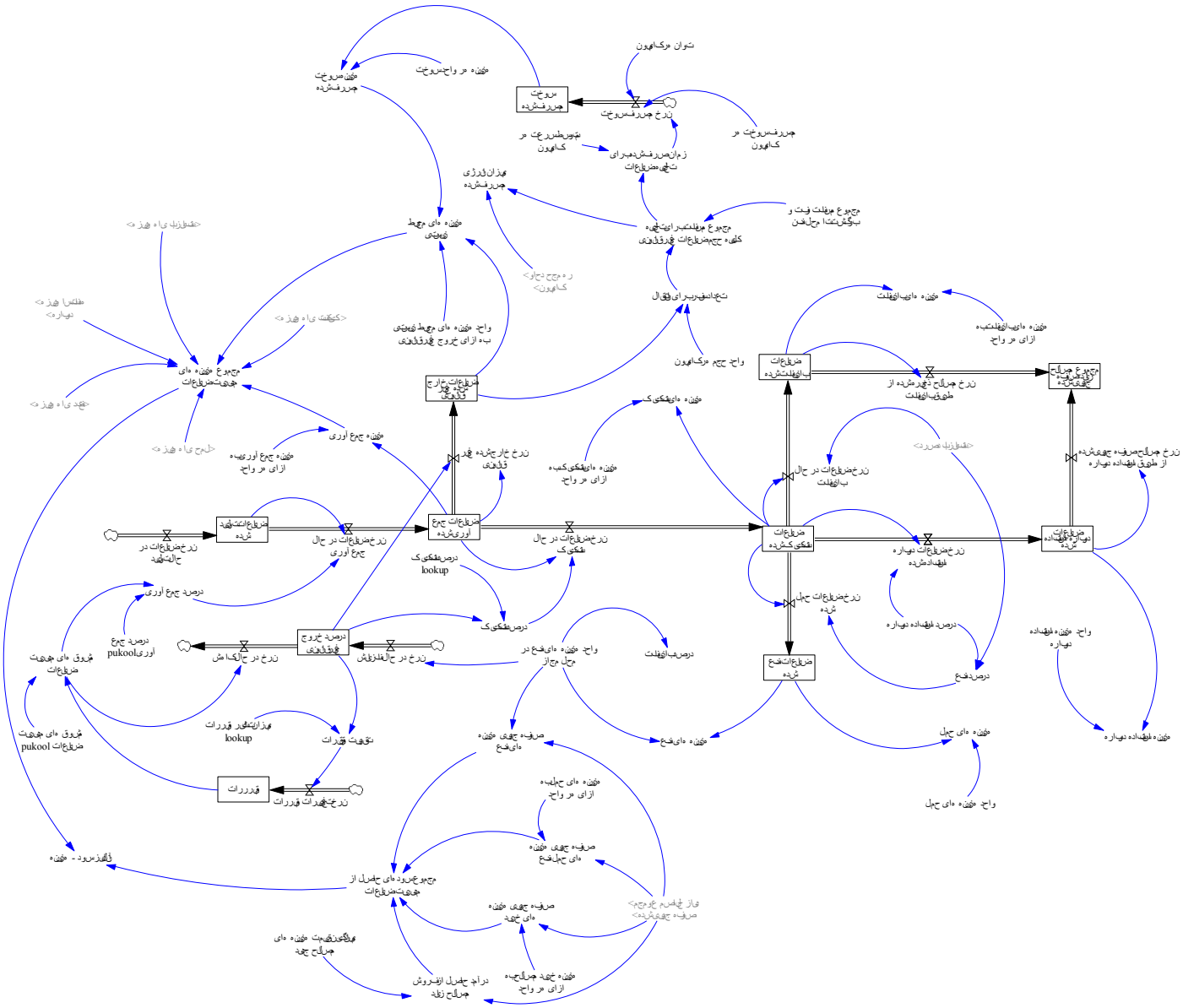
به‌عنوان‌مثال، برخی از داده‌ها از ادبیات موجود یا آمار رسمی که توسط اداره محیط‌زیست گزارش‌شده‌اند به دست می‌آیند، ازجمله زباله‌های تولیدشده و حجم واحدهای تخلیه زباله. بعضی از آن‌ها باید از طریق نظرسنجی به دست آیند، به‌عنوان‌مثال هزینه واحد تفکیک، هزینه واحد حمل‌ونقل، هزینه واحد جمع‌آوری و بعضی از آن‌ها باید با توصیف رابطه آن با متغیرهای دیگر تعریف گردند، به‌عنوان‌مثال انگیزه ذینفعان مدیریت زباله.

www.SID.ir

Archive of SID

۴-۵- روش پژوهش و داده‌ها

داده‌های واقعی مربوط به هزینه‌های دفع ضایعات از یک پروژه ساختمانی در تهران استخراج گردیده است. با توجه به اینکه مواد مختلف زباله ازنظر درصد بازیافت، درصد استفاده مجدد، قیمت بازار مواد بازیافتی، و غیره، از ویژگی‌های مختلفی برخوردار است، این مطالعه داده‌های آهن و فولاد را به‌عنوان‌مثال برای آزمایش و تفسیر به‌کاربرده است. لازم به ذکر است تمامی اطلاعات مربوط به پروژه‌ها بر اساس شواهد میدانی و گفته‌های مصاحبه‌شوندگان نگاشته شده است. یافته‌های حاصل از مرور ادبیات، مصاحبه با خبرگان و کارشناسان صنعت ساخت‌و ساز، هم چنین اطلاعات به‌دست آمده از مشاهده و بازدید مستقیم سایت پروژه مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. اطلاعات اولیه پژوهش شامل شناسایی فعالیت موجود در مدیریت ضایعات ساختمانی ابتدا از طریق ادبیات موضوع استخراج گردید و سپس اطلاعات تکمیلی از طریق مصاحبه‌های نیمه ساختاریافته با ۴ تن از عوامل پروژه شامل مدیرپروژه، سرپرست کنترل پروژه، سرپرست انبار و سرپرست کارگاه مورد تدقیق قرار گرفتند. داده‌های به‌دست آمده از مرحله مصاحبه به روش تحلیل محتوای کیفی تجزیه و تحلیل گردید. بدین منظور فایل صوتی تمامی مصاحبه‌ها ضبط و روابط موجود بین فعالیت‌ها در سیستم پیاده‌سازی گردیدند.



شکل ۴: نمودار حالت -جریان در مدیریت نخاله‌های ساختمانی

www.SID.ir

Archive of SID

در مرحله بعد اطلاعات فعالیت‌های موجود در سیستم به منظور تدقیق موضوع خود مجدداً در اختیار خبرگان قرار داده شد تا ضمن بازخوردهای گفته‌های قبلی در صورت نیاز به اعمال تغییراتی در سیستم و روابط طراحی شده، پیشنهادات و دلایل خود را ذکر نمایند و در نهایت مطابق با نظر خبرگان، اطلاعات مربوط به فعالیت‌ها و روابط آن مورد اصلاح و بازنویسی قرار گرفت. استفاده از مصاحبه‌های نیمه‌ساختار یافته و بازخورد گرفتن از مصاحبه شوندگان باعث اطمینان از درک صحیح دیدگاه‌های آن‌ها و در نتیجه افزایش روایی تحقیق گردید. هم چنین بخشی داده‌های مربوط به پارامترهای موجود در سیستم همچون میزان ضایعات تولید شده، هزینه‌های دفع در محل‌های مجاز، هزینه‌های مربوط به دفن ضایعات، واحد هزینه حمل، هزینه‌های تفکیک از عوامل موجود در پروژه استخراج گردیدند. بخشی از اطلاعات مربوط به پارامترها که در اختیار عوامل پروژه نبود از طریق مصاحبه با ۳ تن از کارکنان سازمان محیط زیست تهران استخراج گردیدند، اطلاعاتی از قبیل واحد هزینه‌های بازیافت، واحد هزینه‌های محیط زیست ودرصد بازیافت، درصد استفاده مجدد و بازار مواد بازیافتی.

۴-۶- اعتبارسنجی مدل

برای استفاده کاربردی از مدل پویایی‌های سیستم، این مدل باید تعیین اعتبار شود. پس‌ازآنکه تمام متغیرها و توابع تعیین می‌شود، آزمون‌ها برای صحه‌گذاری مدل [۴۰] و اطمینان از دقت مدل برای بازتاب در جهان واقعی به‌صورت معنی‌دار انجام می‌شود. این مدل برای مدت ۲۴ ماه شبیه‌سازی‌شده است.

۴-۶-۱- کفایت مرز مدل

آزمون کفالت محدود برای ارزیابی مناسب بودن مرز مدل و تعیین محدوده مرزی انجام شده است. نمودار مرزی مدل و نمودارهای زیرسیستم رایج ترین ابزار هستند[۴۰]. مرز مدل براساس مرور ادبیات و مصاحبه‌های حین پژوهش مشخص می‌گردد. پس از بررسی تمام متغیرهای مدل SD، مشخص شد که هر یک از این متغیرها مربوط به مدل است و تأثیر قابل توجهی در ارزیابی عملکرد مدیریت کاهش ضایعات حال از ساخت و تخریب دارد.

۴-۶-۲- تست ارزیابی ساختار

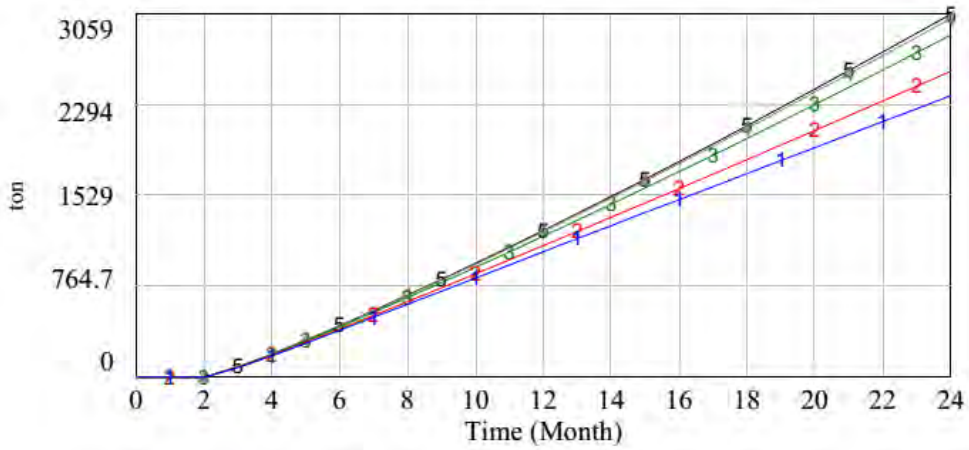
ارزیابی ساختار مدل برای ارزیابی منطق مدل و سازگاری آن با شرایط عملیاتی استفاده می‌شود[۴۲]. ساختار مدل بر اساس نمودار علی و معلولی نمودارها توسعه داده شد مطابق با نمودار شکل ۳ بر اساس یک بررسی جامع در ادبیات موضوع مدیریت ضایعات ساختمانی بود. بنابراین، ساختار مدل منطقی است و با شرایط عملی سازگار است.

۴-۶-۳- تحلیل حساسیت

تجزیه و تحلیل حساسیت مدل برای تجزیه و تحلیل مقادیر برخی متغیرهای کلیدی و مشاهده رفتار مدل صورت می‌گیرد. به عنوان مثال نمونه‌ای که رابطه بین مقدار تخلیه غیرمجاز زباله‌های ساختمانی و هزینه واحد در محل‌های مجاز تخلیه، در شکل ۵ نشان داده‌شده است. این نمودار نشان‌می‌دهد که مقدار مربوط به دفع زباله‌های ساختمانی به‌صورت غیرقانونی در هنگام تغییر ارزش هزینه‌های واحد در محل‌های مجاز دفن زباله با متغیر واحد ۵۰۰۰، ۲۰۰۰۰، ۴۰۰۰۰ ، ۶۰۰۰۰ و ۷۰۰۰۰ ریال/ تن، به ترتیب بیان‌شده است. به‌وضوح دیده می‌شود که در ازای اخذ هزینه بیشتر دفن زباله در محل‌های مجاز، زباله‌های بیشتری به‌صورت غیرقانونی تخلیه می‌شود این همچنین با مطالعات گذشته در زمینه مدیریت ضایعات همخوانی دارد. نتایج مطابق با وضعیت دنیای واقعی نشان‌می‌دهد که افزایش هزینه‌های دفن زباله منجر به گسترده‌تر شدن دفن زباله‌ها به‌صورت غیرقانونی می‌شود، ازآنجاکه هزینه‌ها یک اولویت بسیار بالاتر نسبت به محیط‌زیست برای پیمانکاران به شمار می‌رود، لذا آن‌ها ترجیح می‌دهند ریسک دفع غیرقانونی مواد را بپذیرند. به همین ترتیب، سایر متغیرهای کلیدی تست شده و تجزیه و تحلیل حساسیت انجام می شود.

www.SID.ir

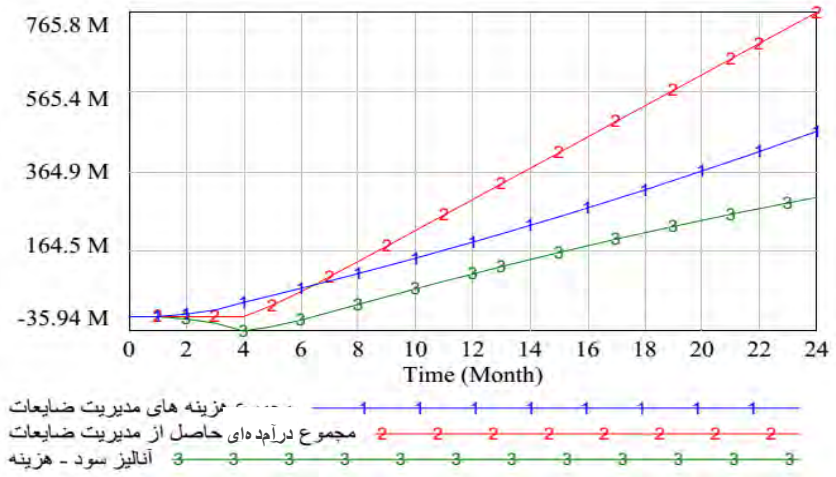
Archive of SID



شکل ۵: میزان نخاله‌های تخلیه‌شده در محل‌های غیرمجاز به ازای هزینه‌های دفع در محل‌های مجاز (۱- هزینه دفع در محل‌های مجاز ۵۰۰۰ ریال/ تن ۲- هزینه دفع در محل‌های مجاز ۲۰۰۰۰ ریال/ تن ۳- هزینه دفع در محل‌های مجاز ۴۰۰۰۰ ریال/ تن ۴- هزینه دفع در محل‌های مجاز ۶۰۰۰۰ ریال/ تن ۵- هزینه دفع در محل‌های مجاز ۷۰۰۰۰ ریال/ تن)

۴-۷- نتایج شبیه‌سازی و بحث

پس از آن‌که تمام متغیرها تعیین و آزمون‌های ضروری برای تائید مدل تکمیل می‌شوند، شبیه‌سازی می‌تواند پردازش و انجام شود. اولین آزمون هزینه- سود در حالت اول، هزینه تخلیه در محل‌های تعریف‌شده ۵۰۰۰ ریال به ازای هر تن اعمال می‌شود. نتایج حاصل از تجزیه‌وتحلیل هزینه - سود، مجموع سود حاصل از مدیریت ضایعات و مجموع هزینه مدیریت ضایعات در شکل ۶ نشان داده‌شده است. دیده می‌شود که طی چند ماه اول، هزینه‌های کل مدیریت ضایعات C&D از سود کل بیشتر است، این بدین معنی است که برای اجرای مدیریت زباله‌های C&D در ابتدای پروژه، منابع مالی برای اجرای مدیریت زباله C&D موردنیاز است. بااین‌حال، با طی شدن زمان بیشتر پروژه، سود کل به‌طور چشمگیری افزایش می‌یابد و به نقطه سربه‌سر هزینه در ماه ۷ می‌رسد. از این دیدگاه، مدیریت زباله C&D می‌تواند برای پروژه‌ها سودمند باشد، که می‌تواند به‌وضوح از روند تجزیه‌وتحلیل هزینه-سود به این نتیجه رسید.

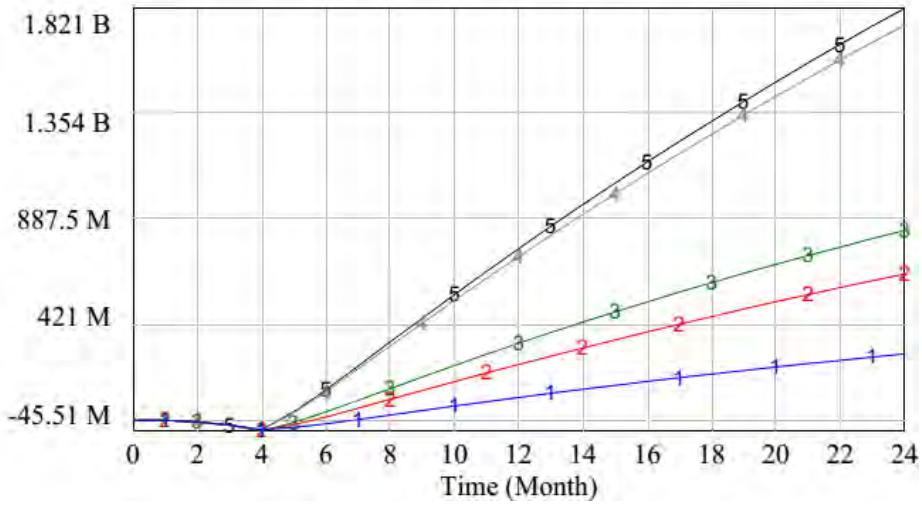


شکل ۶: نتایج حاصل از هزینه و سود و نمودار هزینه - سود

www.SID.ir

Archive of SID

شبیه‌سازی سپس به بررسی چگونگی هزینه‌های تخلیه در محل‌های مجاز می‌پردازد و بر چگونگی اثرگذاری بر سودآوری مدیریت ضایعات C&D می‌پردازد. همان‌گونه که منحنی‌های شکل ۷ و داده‌های جدول ۲ نشان‌می‌دهد، نمودار هزینه - سود مدیریت ضایعات C&D در سناریوهای مختلف دیده می‌شود که در تمام پنج سناریو، پیمانکاران باید در ابتدای پروژه ساخت‌وساز برای مدیریت زباله‌های C&D سرمایه‌گذاری کنند. بااین‌حال، ظاهراً پیمانکاران مزایای بیشتری را از انجام مدیریت زباله C&D از یک طرح دفع مجاز در محل‌های تعیین‌شده با هزینه بیشتر (به‌عنوان‌مثال سناریو ۵) دریافت می‌کند. این بدان معنی است که یک افزایش هزینه در محل دفن زباله می‌تواند پیمانکاران را برای اجرای مدیریت زباله بیشتر و مؤثرتر، تشویق و ترغیب نماید.

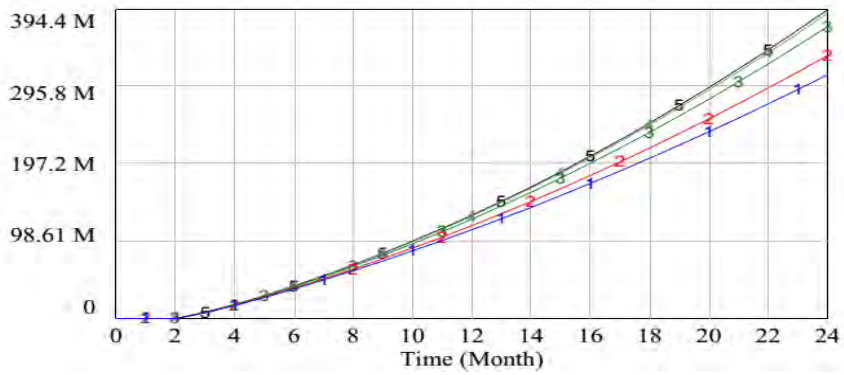


شکل ۷: آنالیز هزینه- سود مدیریت نخاله‌های ساختمانی با هزینه متفاوت در محل‌های دفع مجاز (۱- هزینه دفع در محل‌های مجاز ۵۰۰۰ ریال/ تن ۲- هزینه دفع در محل‌های مجاز ۲۰۰۰۰ ریال/ تن ۳- هزینه دفع در محل‌های مجاز ۴۰۰۰۰ ریال/ تن۴- هزینه دفع در محل‌های مجاز ۶۰۰۰۰ ریال/ تن ۵- هزینه دفع در محل‌های مجاز ۷۰۰۰ ریال/ تن)

تحت سناریوهای پیشنهادی، تقریباً در چند ماه اول پروژه، پیمانکار نمی‌تواند توقع بازدهی اقتصادی در سرمایه‌گذاری از فعالیت‌های مدیریت زباله داشته باشد. این امر تا حد زیادی توضیح می‌دهد که چرا اکثر پیمانکاران فاقد انگیزه برای اجرای مدیریت زباله در ساخت‌وساز هستند. طبق جدول ۳، تحت پنج طرح دفع در محل‌های مجاز (از پایین به بالا)، سودها در ماه‌های ۷، ۶، ۶، ۵ و۵ به ترتیب از طریق گذشت مدت‌زمان پروژه صورت می‌گیرد. پس‌ازآن، مزایای پنج سناریو دفع به‌طور چشمگیری به‌صورت نمایی افزایش می‌یابد. در سناریو ۵ ، سود خالص برای مدیریت زباله‌های C&D در پایان پروژه نزدیک به۲میلیارد ریال است، قریب به ۳ برابر آن در سناریو ۱ است. هم‌چنین نتایج شبیه‌سازی در شکل ۸ نشان‌دهنده هزینه‌های زیست‌محیطی است که عموم مردم به علت تخلیه غیرقانونی زباله‌های ساختمانی با آن مواجه هستند. شگفت‌آور است که میزان تخلیه و دفن زباله بیشتر در محل‌های غیرمجاز ، سبب می‌گردد عموم مردم هزینه‌های زیست‌محیطی بسیار زیادی را متحمل گردند. یک دلیل احتمالی برای این نتیجه این است که مقررات فعلی در ایران به‌اندازه کافی برای افزایش انگیزه مشارکت‌کنندگان برای مدیریت زباله‌های C&D مؤثر نیست، زیرا با توجه به نمودار حالت-جریان در شکل ۴، انگیزه برای مدیریت زباله تحت تأثیر مقررات است . بنابراین، سازمان‌های متولی و تصمیم‌گیرنده لازم است تا مقرراتی را برای دستیابی به مدیریت مؤثرتر زباله‌های C & D در آینده تصویب نمایند.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۸: هزینه‌های زیست‌محیطی تحمیلی در اثر دفع غیرمجاز نخاله‌های ساختمانی در سناریوهای مختلف (۱- هزینه دفع در محل‌های مجاز ۵۰۰۰ ریال/ تن ۲- هزینه دفع در محل‌های مجاز ۲۰۰۰۰ ریال/ تن ۳- هزینه دفع در محل‌های مجاز ۴۰۰۰۰ ریال/ تن ۴- هزینه دفع در محل‌های مجاز ۶۰۰۰۰ ریال/ تن ۵- هزینه دفع در محل‌های مجاز ۷۰۰۰ ریال/ تن)

هم‌چنین مطابق شکل ۹ A) هرچه هزینه‌های دفع در محل مجاز افزایش میابد علاوه بر اینکه مقدار خروج ضایعات به‌صورت غیرقانونی افزایش می‌یابد و دفع می‌گردد B) مقدار ضایعاتی که از طریق بازیافت دوباره بازتولید می‌گردند افزایش می‌یابد چراکه حاشیه سود بالاتری را برای پیمانکاران به همراه دارد. به طبع آن نیز انگیزه برای دفع زباله‌های برای دفن به‌شدت کاهش می‌یابد.

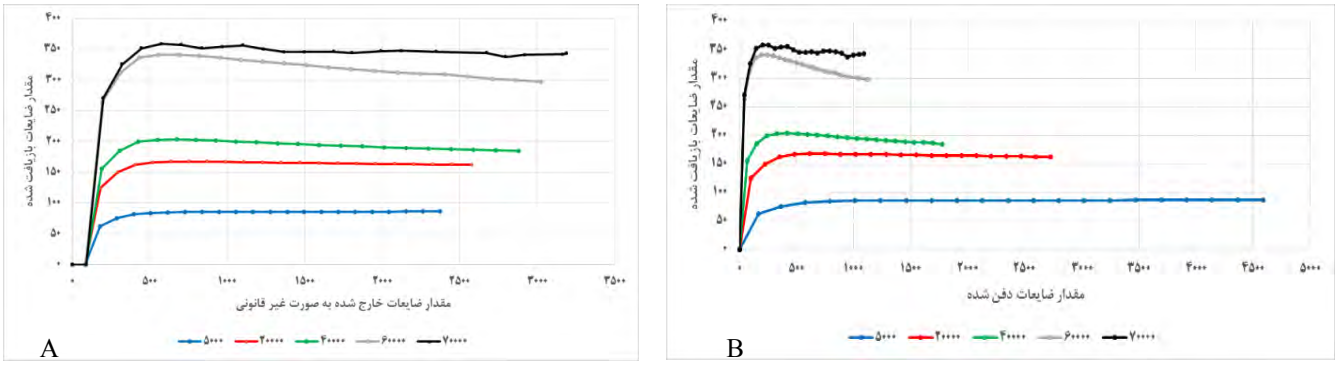
جدول ۳: نتایج شبیه‌سازی هزینه-سود در مدیریت زباله‌های C & D

آنالیز سود

زمان برحسب (ماه)	سناریو ۱ (هزینه دفع مجاز ۵۰۰۰ ریال/ تن)	سناریو ۲ (هزینه دفع مجاز ۲۰۰۰۰ ریال/تن)	سناریو ۳ (هزینه دفع مجاز ۴۰۰۰۰ ریال/ تن)	سناریو ۴ (هزینه دفع مجاز ۶۰۰۰۰ ریال/ تن)	سناریو ۵ (هزینه دفع مجاز ۷۰۰۰۰ ریال/ تن)
۰	۰	۰	۰	۰	۰
۱	۰	۰	۰	۰	۰
۲	-۶۱۱۳۸۳۶,۵	-۶۱۱۳۸۳۶,۵	-۶۱۱۳۸۳۶,۵	-۶۱۱۳۸۳۶,۵	-۶۱۱۳۸۳۶,۵
۳	-۲۰۹۵۲۸۴۰	-۲۱۰۴۳۸۰۰	-۲۱۱۹۰۷۸۴	-۲۱۲۶۳۰۷۲	-۲۱۲۸۲۳۴۸
۴	-۴۱۶۰۵۲۱۶	-۴۳۹۴۸۳۰۸	-۴۵۵۰۶۳۸۸	-۴۲۱۴۰۵۴۴	-۴۱۷۸۱۵۹۲
۵	-۳۱۰۶۴۲۲۸	-۱۸۶۱۶۳۵۲	-۹۵۰۶۶۵۲	۳۳۷۲۳۷۲۰	۳۸۰۰۰۶۵۶
۶	-۱۴۷۸۹۷۷۲	۱۵۴۴۲۱۲۸	۳۶۸۰۵۲۴۰	۱۲۶۳۶۰۱۱۲	۱۳۵۰۶۳۴۴۰
۷	۴۳۰۷۷۶۰	۵۳۸۱۶۲۵۶	۸۸۱۲۰۱۲۸	۲۲۷۰۱۸۴۳۲	۲۴۰۳۶۰۷۶۸
۸	۲۴۰۳۸۱۴۴	۹۳۱۰۶۲۴۰	۱۴۰۱۴۱۵۸۴	۳۲۸۷۶۰۱۲۸	۳۴۶۶۹۱۹۰۴
۹	۴۳۷۶۸۶۲۴	۱۳۲۳۵۹۵۲۰	۱۹۱۷۳۹۱۶۸	۴۲۹۸۷۷۱۲۰	۴۵۲۳۲۰۴۴۸
۱۰	۶۳۲۳۲۴۸۰	۱۷۱۱۶۳۸۰۸	۲۴۲۴۹۴۹۷۶	۵۲۹۵۹۲۰۰۰	۵۵۶۴۱۴۱۴۴
۱۱	۸۲۳۳۵۴۸۸	۲۰۹۳۷۵۵۲۰	۲۹۲۲۰۰۴۴۸	۶۲۷۶۲۲۲۷۲	۶۵۸۶۹۵۷۴۴
۱۲	۱۰۱۰۴۱۹۳۶	۲۴۶۹۴۰۹۹۲	۳۴۰۷۹۶۳۵۲	۷۲۳۸۸۳۵۲۰	۷۵۹۰۷۷۸۲۴
۱۳	۱۱۹۳۳۸۹۱۲	۲۸۳۸۷۸۹۴۴	۳۸۸۲۶۴۶۴۰	۸۱۸۳۵۵۶۴۸	۸۵۷۵۴۵۷۲۸
۱۴	۱۳۷۲۲۱۷۷۶	۳۲۰۱۶۰۴۱۶	۴۳۴۶۰۲۳۶۸	۹۱۱۰۴۹۷۲۸	۹۵۴۱۱۲۰۶۴
۱۵	۱۵۴۶۸۸۹۴۴	۳۵۵۷۸۲۳۰۴	۴۷۹۸۱۲۲۲۴	۱۰۰۲۰۰۳۴۵۶	۱۰۴۸۷۴۸۲۲۴
۱۶	۱۷۱۷۴۰۲۸۸	۳۹۰۷۴۳۲۹۶	۵۲۳۹۰۳۲۶۴	۱۰۹۱۱۹۰۴۰۰	۱۱۴۱۵۱۸۸۴۸
۱۷	۱۸۸۳۷۵۸۷۲	۴۲۵۰۴۴۹۶۰	۵۶۶۹۲۱۱۵۲	۱۱۷۸۶۲۸۲۲۴	۱۲۳۲۴۰۲۹۴۴
۱۸	۲۰۴۵۹۶۰۳۲	۴۵۸۶۹۰۱۱۲	۶۰۸۸۷۶۵۴۴	۱۲۶۴۳۰۸۸۶۴	۱۳۲۱۳۹۹۲۹۶
۱۹	۲۲۰۴۰۱۱۲۰	۴۹۱۶۸۱۵۶۸	۶۴۹۷۶۵۸۸۸	۱۳۴۸۲۸۱۲۱۶	۱۴۰۸۶۳۸۹۷۶
۲۰	۲۳۵۷۹۱۶۱۶	۵۲۴۰۲۲۹۷۶	۶۸۹۵۴۶۱۱۲	۱۴۳۰۹۰۲۲۷۲	۱۴۹۴۸۰۱۲۸۰
۲۱	۲۵۰۷۶۷۷۴۴	۵۵۵۷۱۸۰۱۶	۷۲۸۱۸۹۵۰۴	۱۵۱۲۴۲۸۵۴۴	۱۵۷۹۴۵۹۹۶۸
۲۲	۲۶۵۳۳۰۰۴۸	۵۸۶۷۷۰۸۱۶	۷۶۵۸۰۳۳۹۲	۱۵۹۲۲۰۶۸۴۸	۱۶۶۱۶۶۲۵۹۲
۲۳	۲۷۹۴۷۸۸۸۰	۶۱۷۱۸۲۷۸۴	۸۰۲۷۹۰۷۲۰	۱۶۶۹۸۵۸۵۶۰	۱۷۴۲۰۵۷۶۰۰
۲۴	۲۹۳۲۱۴۶۸۸	۶۴۶۹۵۸۰۱۶	۸۳۸۸۷۹۸۷۲	۱۷۴۵۸۰۹۲۸۰	۱۸۲۰۵۴۹۸۸۸

www.SID.ir

Archive of SID



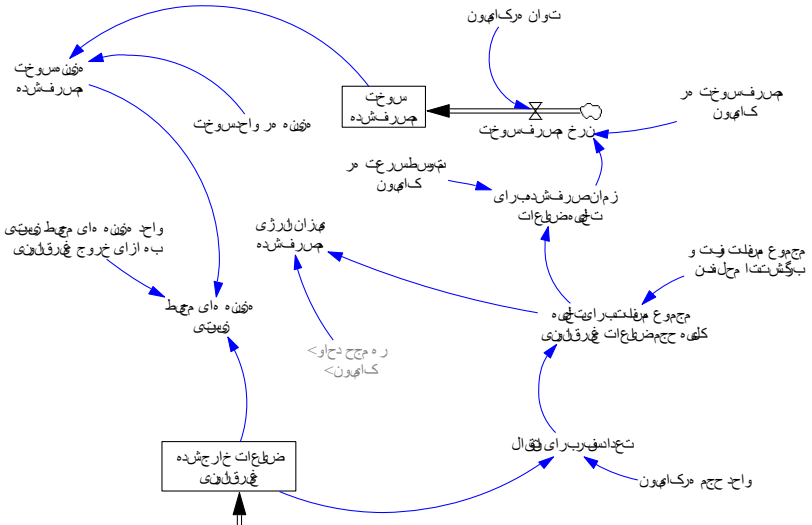
شکل ۹: A) نسبت میزان ضایعات خارج‌شده به‌صورت غیرقانونی ومقدارضایعات بازیافت شده B) نسبت میزان ضایعات دفن شده پس از تفکیک و مقدار ضایعات بازیافت شده

۴-۸- تأثیرات حمل و نقل ضایعات بر محیط زیست

در جریان ساخت بزرگراه اِدن در شیکاگو در سال ۱۹۵۰ تحقیقی برای امکان بازیافت ۳۰۰ هزار تن نخاله بتن تولیدشده انجام شد. کاهش چشمگیر مصرف انرژی و زمان انجام پروژه در صورت بازیافت کردن این حجم از بتن از نتایج این تحقیق بود که برخی از نتایج این تحقیق در جدول شماره ۴ آورده شده است.

جدول ۴: مزایای بازیافت بتن برای بازسازی بزرگراه Eden شیکاگو مأخذ: [۱۴]

بدون بازیافت	بازیافت
۳۵۰۰۰۰ تن نخاله که باید به محل دفن منتقل می‌شد	۵۲۵۰۰ تن نخاله که باید به محل دفن منتقل می‌شد
۷۹۰ سفر برای رسیدن به محل دفن و ۷۹۰۰ سفر برای برگشت به سایت پروژه	۱۲۰۰ سفر برای رسیدن به محل دفن و ۱۲۰۰ سفر برای برگشت به سایت پروژه
انرژی مصرفی 1.64×10^{11} MJ	انرژی مصرفی 0.249×10^{11} MJ

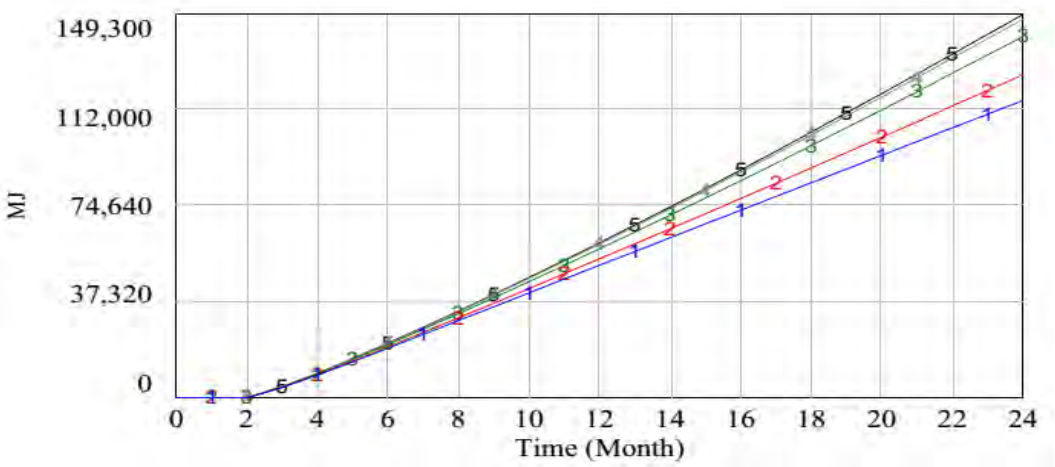


شکل۱۰: زیرسیستم حمل‌ونقل و مصرف سوخت

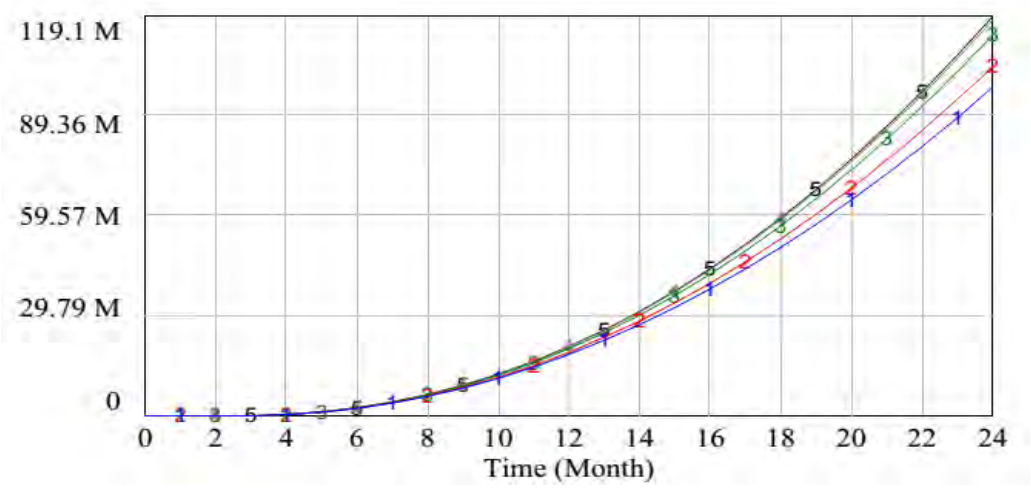
www.SID.ir

Archive of SID

در این پروژه هر کامیون قابلیت حمل ۴۴ تن نخاله را داشت و برای ۱ کیلومتر جابجایی ۱ تن نخاله ۱,۲۲ MJ مصرف می‌شد. بامطالعه جدول بالا و در نظر گرفتن نسبت نخاله‌های که در دو حالت بازیافتی و غیر بازیافتی باید به محل دفن حمل می‌شد، می‌توان دریافت که ۸۵ درصد از نخاله‌های بتن قابلیت بازیافت داشتند[۴۳].



شکل ۱۱: میزان انرژی مصرف‌شده در جریان دفن غیرمجاز نخاله‌های ساختمانی در سناریوهای مختلف ((۱- هزینه دفع در محل‌های مجاز ۵۰۰۰ ریال/ تن ۲- هزینه دفع در محل‌های مجاز ۲۰۰۰۰ ریال/ تن ۳- هزینه دفع در محل‌های مجاز ۴۰۰۰۰ ریال/ تن ۴- هزینه دفع در محل‌های مجاز ۶۰۰۰۰ ریال/ تن ۵- هزینه دفع در محل‌های مجاز ۷۰۰۰ ریال/ تن)



شکل ۱۲: میزان هزینه سوخت در جریان دفن غیرمجاز نخاله‌های ساختمانی در سناریوهای مختلف ((۱- هزینه دفع در محل‌های مجاز ۵۰۰۰ ریال/ تن ۲- هزینه دفع در محل‌های مجاز ۲۰۰۰۰ ریال/ تن ۳- هزینه دفع در محل‌های مجاز ۴۰۰۰۰ ریال/ تن ۴- هزینه دفع در محل‌های مجاز ۶۰۰۰۰ ریال/ تن ۵- هزینه دفع در محل‌های مجاز ۷۰۰۰ ریال/ تن)

چنانچه در تحقیق موردبررسی حجم قابل بارگیری هر کامیون به‌طور متوسط چیزی در حدود ۱۰ مترمکعب در نظر گرفته شود و با فرض اینکه فاصله مکان‌های دفن به‌صورت غیرمجاز از مرکز شهر ۲۰ کیلومتر باشد، کل مسافت طی شده توسط کامیون‌ها برای دفع این نخاله‌ها از طریق سیستم محاسبه می‌گردد. هم‌چنین مصرف سوخت هر کامیون ۰,۱۵ساعت بر اسب بخار است به‌طور متوسط از توان ۱۰۰ اسب بخاری استفاده کند. برای هر ساعت استفاده از کامیون ۱۵ لیتر سوخت لازم است با فرض اینکه هر کامیون با سرعت متوسط ۴۰ کیلومتر بر ساعت این مسافت را طی کند. با توجه موارد ذکرشده معادلات مربوط به مصرف انرژی و هزینه‌های سوخت با احتساب هزینه واحد هر لیتر نفت- گاز ۴۰۰۰ ریال براساس اطلاعات به‌دست‌آمده از مطالعات، وارد سیستم گردید. سپس براساس ۵ سناریوهای متفاوت در

www.SID.ir

Archive of SID

مسئله نمودار حالت –جریان شکل ۱۰ مربوط به مصرف انرژی و میزان هزینه‌های مصرف سوخت مطابق با نمودارهای شکل ۱۱ و ۱۲ ملاحظه می‌گردد که افزایش هزینه‌های در محل‌های دفن مجاز سبب افزایش دفن زباله به‌صورت غیرمجاز می‌گردد که درنتیجه آن، رفت‌وآمد و حمل‌ونقل مربوط به تخلیه این مواد را در محل‌های غیرمجاز افزایش داده و از آنجایی این‌محل‌ها دورتر از نقاط تعیین‌شده قرار دارند، مشخص می‌گردد تا سوخت و انرژی بیشتری برای دفن این مواد مصرف گردد. مطابق نمودار شکل ۱۱ سناریو ۵ بیشترین میزان مصرف انرژی را برای حمل مواد نشان‌می‌دهد که به‌صورت نمایی در نمودار در حال افزایش است و به‌تبع آن هزینه مصرف سوخت بیشتر و درنتیجه آن آلودگی زیست‌محیطی و پرداخت هزینه بیشتر را برای پیمانکاران به همراه دارد. درواقع مجموع میزان سوخت مصرف‌شده در سناریو ۵ در حدود ۱،۵ برابر سوخت مصرف‌شده در سناریو ۱ است.

۵- بحث پیرامون یافته‌های پژوهش

در طی فرآیند مصاحبه با عوامل پروژه مورد مطالعه مشخص گردید که مدیریت ضایعات در سایت پروژه انجام می‌گیرد اما دستورالعملی مشخص و سیستماتیک برای مدیریت ضایعات تولید شده وجود ندارد، ولی برخی از جنبه‌های مدیریت ضایعات همانند تفکیک و جداسازی ضایعات در طی فرآیند ساخت اجرا می‌گردد. این نکته حائز اهمیت است که تنها ضایعات باارزش بخصوص آهن‌آلات که از نظر قیمت ارزش بالایی را برای پیمانکاران و کارفرمایان پروژه‌ها دارند در همان مراحل اولیه نسبت به جداسازی آن مبادرت به عمل می‌آید و برای باقی ضایعات به‌ویژه نخاله‌های ساختمانی برنامه‌خاصی وجود نداشته و به‌عنوان دورریز از کارگاه خارج می‌شوند. به طور کلی می‌توان گفت در حال حاضر در پروژه‌های صنعت ساخت در کشور به مواردی از جمله بحث ضایعات و مدیریت آن توجه چندانی نمی‌شود. براساس نتایج حاصل از شبیه‌سازی در زنجیره ضایعات ساختمانی درصورتی که توجه به اقدامات " هزینه دفع در محل‌های مجاز"، " هزینه‌های واحد مربوط به بازیافت ضایعات"، " میزان استفاده مجدد از ضایعات ساختمانی"، " هزینه مدیریت ضایعات" و " میزان سود حاصل از مدیریت ضایعات" به صورت تنها توجه گردد، نتایج با زمانی که به صورت همزمان به آن اقدامات توجه شود بسیار متفاوت است. با توجه به میزان تأثیرات متفاوت هر کدام از اقدامات موجود در زنجیره ضایعات، بهترین نتایج زمانی حاصل می‌گردد که به تأثیر تمامی اقدامات در سیستم به صورت همزمان توجه گردد. اکیداً برای محاسبه صحیح و کامل میزان هزینه و سود حاصل از مدیریت ضایعات لازم است تا به تمامی اقدامات موجود در زنجیره ضایعات ساختمانی توجه گردد.

هم چنین بنابر نتایج حاصله از مدل، یکی از عواملی که تأثیر زیادی بر تشویق پیمانکاران بر مدیریت ضایعات در سایت پروژه خود دارد، مشوق‌های اقتصادی بالاخص در زمینه کاهش هزینه‌های دفع ضایعات در محل‌های مجاز می‌باشد. که این عامل بر کاهش میزان دفع ضایعات در محل‌های غیرقانونی تأثیر به‌سزایی دارد. این نتایج مشابه، با پژوهش انجام شده توسط تیفانی ماک در سال ۲۰۱۹ است «ارکان اصلی پروژه انگیزه های اقتصادی را به عنوان عامل اصلی برای بازیافت زباله مدنظرقرار داده اند. همبستگی مثبت بین هزینه های دفع و هزینه های جمع آوری و مرتب سازی وجود دارد، بنابراین مطلوب است تا با کاهش هزینه‌های دفع در محل‌های مجاز تشویق عوامل به بازیافت و استفاده مجدد از ضایعات افزایش یابد»[۳۰]. در این مطالعه علاوه بر توجه به مباحث اقتصادی در زمینه هزینه و کسب سود حاصل از مدیریت ضایعات به مباحث زیست محیطی حاصل از عدم رعایت مدیریت ضایعات نیز توجه گردیده است. در واقع تولید ضایعات بیشتر و ضعف در مدیریت ضایعات ساختمانی، دفع غیر مجاز ضایعات را به همراه دارد. از آن‌جایی که معمولاً دفع غیر مجاز ضایعات در محل‌هایی دور از محیط‌های شهری صورت می‌گیرد، حمل‌ونقل این ضایعات به آن محل‌ها، آلودگی هوا در اثر انتشار گازهای گلخانه‌ای و در نتیجه گرم شدن کره زمین، افزایش مصرف سوخت و ایجاد هزینه‌های زیست محیطی برای عموم جامعه و مخصوصاً برای ارکان اصلی پروژه در هزینه‌های مصرف سوخت و استهلاک ماشین آلات را به همراه دارد. نتایج این بخش از شبیه‌سازی نیز با مطالعات انجام شده توسط ژیکان دینگ و همکاران در سال ۲۰۱۸ « مدیریت موثر ضایعات ساختمانی می‌تواند حمل و نقل ضایعات ساختمانی، دفن زباله و انتشار گازهای گلخانه‌ای تا حد زیادی کاهش دهد و در کاهش مشکل گرم شدن کره زمین به طور فزاینده‌ای تأثیر گذارد»[۳۲] سازگار است. با استفاده از این مدل پیشنهادی هر کدام از ارکان پروژه علاوه بر تشویق شدن به کاهش تولید ضایعات ساختمانی، می‌توانند تا با مدیریت صحیح ضایعات به منافع اقتصادی و اخلاقی بیشتری از پروژه دست یابند. در انتها باید به این نکته اشاره نمود که در کشور ایران مطالعات در حوزه مدیریت ضایعات ساختمانی بسیار محدود بوده و موضوعات پژوهشی تمامی ابعاد این حوزه را پوشش نمی‌دهند و به

www.SID.ir

Archive of SID

صورت همه جانبه به موضوع نگاه نمی‌شود. در واقع در پژوهش‌های انجام شده تنها به بررسی و شناسایی عوامل تولید ضایعات و ارائه راهکارهایی برای کاهش ضایعات پرداخته شده است. هم چنین در مطالعات انجام شده در سایر کشورها نیز مطالعات اکثراً تمامی فعالیت‌های موجود در زنجیره ضایعات ساختمانی را در برنمی‌گیرد و تنها به بررسی و بهبود یک فعالیت از مجموعه فعالیت‌های موجود در زنجیره پرداخته شده است. این پژوهش عمدتاً به بررسی و تأثیرات همزمان عوامل مؤثر در مدیریت ضایعات ساختمانی پرداخته است به صورتی که این نوشتار با تکیه بر مشاهدات و مصاحبه‌ها تأثیرات هزینه‌های محل‌های دفع در مکان‌های مجاز را در میزان هزینه و سود پیمانکاران و کارفرمایان پروژه‌ها مورد بررسی قرارداده است.

۶- نتیجه گیری

مدیریت ضایعات ساختمانی همواره مورد توجه ویژه بخش دانشگاهی و صنعت در کشور بوده است، چراکه به شدت بر توسعه پایدار و محیط زیست تأثیرگذار است. اما این ارائه راه‌حل‌هایی که بتوان از طریق آن انگیزه ذینفعان را در مدیریت نخاله‌های ساختمانی افزایش داد ارائه نشده است. از این‌رو ابزارهای اقتصادی برای کاهش زباله‌های C&D نقش مهمی را برای تشویق پیمانکاران برای پذیرش اقدامات ساخت‌وساز در محیط‌زیست ایفا می‌کنند. بنابراین، انجام تجزیه‌وتحلیل هزینه-سود در مدیریت زباله C&D باعث شده است تلاش‌های زیاد تحقیقاتی در سراسر جهان انجام شود. با الهام از نیاز به بررسی تمام فعالیت‌های ضروری مدیریت زباله‌های C&D در زنجیره زباله و بررسی روابط آن‌ها از یک نقطه‌نظر دینامیکی، این مقاله روش پویایی سیستم‌ها را برای شبیه‌سازی تغییرات هزینه-سود و هزینه‌های حمل‌ونقل و مصرف سوخت در پروژه‌های ساختمانی مورداستفاده قرار داده است. نمودار علت - معلول آن، باعث شده است که فعالیت‌های مدیریت زباله C&D را در سراسر زنجیره زباله شناخته و درک شود. نمودار حالت-جریان ، شبیه‌سازی مدل پیشنهادی با استفاده از برنامه کامپیوتری را قادر می‌سازد و بنابراین تغییر هزینه-سود در طول مدت پروژه می‌تواند به‌آسانی مشاهده گردد. نتایج شبیه‌سازی نشان‌می‌دهد که در شرایط فعلی با اعمال هزینه‌های دفن زباله با نرخ ۶۰۰۰۰ ریال به ازای هر تن، سود خالص از انجام زباله‌های C&D می‌تواند از ماه پنجم از ۲۴ ماه زمان کل پروژه کسب گردد و در طول مدت پروژه به‌صورت نمایی این سودها افزایش یابد. شبیه‌سازی نیز سناریوهای مختلف را مورد مقایسه قرار داده است. تحت پنج سناریو پیشنهادی با هزینه‌های متفاوت دفن زباله‌های ساختمانی در محل‌های مجاز، سناریو طرح دفن با هزینه بالاتر در محل‌های مجاز، منجر به سود خالص بیشتری از انجام مدیریت ضایعات خواهد شد. درعین‌حال عموم مردم تحت سناریو با هزینه دفع بیشتر، که نتیجه آن دفع زباله‌های ساختمانی در محل‌های غیرمجاز است، از هزینه‌های زیست‌محیطی ناشی از تخلیه غیرقانونی زباله‌های ساختمانی رنج می‌برند. این پژوهش هم‌چنین نشان‌می‌دهد که هزینه‌های بالاتر دفع زباله‌های ساختمانی در محل‌های مجاز ، نیازمند تدوین مقررات سخت‌گیرانه‌تر برای دفع نخاله‌های ساختمانی است؛ از طرفی با توجه به اینکه آمار دقیق و مشخصی از میزان ضایعات تولیدشده در صنعت ساخت‌وساز کشور در دسترس نیست، برنامه‌ریزی و تدوین برنامه‌های جامع مدیریت ضایعات را با مشکل روبرو کرده است. در این صورت، اجرای سناریو با هزینه دفع بیشتر موجب دفع غیرمجاز ضایعات ساختمانی خواهد شد که نتیجه آن آلودگی زیست‌محیطی است که در تضاد باهدف اصلی حفاظت از محیط‌زیست است. هم‌چنین در این پژوهش نشان داده شد تحت سناریو با هزینه دفع بیشتر که منجر به دفع بیشتر زباله‌ها به‌صورت غیرقانونی می‌گردد، تعداد آمدوشد و حمل مربوط به تخلیه این مواد را در محل‌های غیرمجاز افزایش داده و درنتیجه آن میزان مصرف سوخت و انرژی را افزایش داده و منجر به آلودگی زیست‌محیطی و افزایش هزینه‌های مربوط به تأمین سوخت می‌گردد.

مدیریت ضایعات ساختمانی پتانسیل زیادی برای توسعه و تحقیق در آینده در ایران دارد. جنبه‌های بسیاری از مدیریت ضایعات ساختمانی تاکنون مورد تحقیق و پژوهش قرار نگرفته‌اند. از زمینه‌های تحقیقاتی آتی جهت انجام پژوهش می‌توان به انجام پژوهش با بررسی نقش ذینفعان در صنعت ساخت در مدیریت ضایعات با استفاده از روش پویایی سیستم‌ها و بررسی سیاست‌ها برای افزایش انگیزه در تدوین مقررات و آیین‌نامه‌ها در جهت کاهش تولید ضایعات ساختمانی اشاره نمود.

www.SID.ir

Archive of SID

مراجع

[1] L. Y. S. V. W. Y. T. C. M. T. a. D. Drew, "Mapping Approach for Examining Waste Management on Construction Sites," *Journal of Construction Engineering and Management,* vol. 130, no. 4, 2004.

[2] V. W. C.M. Tam Tam, "Waste reduction through incentives: a case study," *Building Research & Information,* vol. 36, no. 1, pp. 37-41, 2008.

[3] J. J. T. T. Corrie Clark "A Review of Construction and Demolition Debris Regulations in the United States," *Critical Reviews in Environmental Science and Technology,* vol. 36, no. 2, 2006.

[4] E. S. TH Mills, D Jarman, "A cost-effective waste management plan," *Cost Engineering,* vol. 41, no. 3, 1999.

[5] S. C. Begum R, Pereira JJ, Jaafar AH, "A benefit–cost analysis on the economic feasibility of construction waste minimization: the case of Malaysia," *Resources, Conservation & Recycling,* vol. 48, no. 1, pp. 86-98, 2006.

[6] H. M. Hao JL, Huang T, "A simulation model using system dynamic method for construction and demolition waste management in Hong Kong," *Journal of Construction Innovation,* vol. 7, no. 1, pp. 7-21, 2007.

[7] Y. H. Wang JY, "Construction waste management model based on system dynamics," *System Engineering: Theory & Practice,* vol. 29, no. 7, 2009.

[8] L. Y. S. H.P. Yuan , , Jane J.L. Hao , W.S. Lu "A model for cost–benefit analysis of construction and demolition waste management throughout the waste chain," *Resources, Conservation and Recycling,* vol. 55, pp. 604-612, 2011.

[9] H. T. Hirokazu Shima, Ryuji Matsuhashi, Yoshikuni Yoshida, "An Advanced Concrete Recycling Technology and its Applicability Assessment through Input-Output Analysis," *Journal of Advanced Concrete Technology,* vol. 3, 2005.

[10] C. F. Hendriks, Pietersen, H.S, *Sustainable Raw Materials: Construction and Demolition Waste* (report 22). France: RILEM Publication, 2000.

[11] V. W. Y. Tam, "On the effectiveness in implementing a waste-management-plan method in construction," *Waste Management* vol. 28, 2008.

[12] Bell, "Waste minimization and resource recovery," *The environmental design guide,* vol. 2, **1998**.

[13] C. Poon, "Reducing construction waste," *Waste Management* vol. 27, no. 12, 2007.

[14] M. Sartipipour, "Opportunity for recycling materials in post-traumatic reconstruction (research on concrete)," *maskan & mohite roosta,* vol. 152, 2014.

[15] Y. A. Poon CS, Ng LH, "On-site sorting of construction and demolition waste in Hong Kong," *Resources, Conservation and Recycling,* vol. 32, no. 2, pp. 157-72, 2001.

[16] T. A. Wang JY, Christoforou C, Fadlalla H, "A system analysis tool for construction and demolition wastes management.," *Waste Management,* vol. 24, no. 10, pp. 989-97, 2004.

[17] S. D. Peng CL, Kitbert CJ, "Peng CL, Scorpio DE, Kitbert CJ. Strategies for successful construction and demolition waste recycling operations," *Construction Management and Economics,* vol. 15, no. 1, pp. 49-58, 1997.

[18] T. C. Tam VWY, "Evaluation of existing waste recycling methods: a Hong Kong study," *Building and Environment,* vol. 41, no. 12, pp. 1649-60, 2006.

[19] Y. H. Shen LY, Alan G, "Improving environmental performance by means of empowerment of contractors," *Management of Environmental Quality: An International Journal of Advanced Concrete Technology,* vol. 17, no. 3, pp. 242-57, 2006.

[20] H. P. Yuan, L. Y. Shen, J. J. L. Hao, and W. S. Lu, "A model for cost–benefit analysis of construction and demolition waste management throughout the waste chain," *Resources, Conservation and Recycling,* vol. 55, no. 6, pp. 604-612, 2011.

[21] H. M. Hao JL, Shen LY, "Managing construction waste on-site through system dynamics modeling: the case of Hong Kong," *Engineering, Construction andArchitectural Management,* vol. 15, no. 2, pp. 103-13, 2008.

[22] T. Wang, J. Wang, P. Wu, J. Wang, Q. He, and X. Wang, "Estimating the environmental costs and benefits of demolition waste using life cycle assessment and willingness-to-pay: A case study in Shenzhen," *Journal of Cleaner Production,* vol. 172, pp. 14-26, 2018.

www.SID.ir

Archive of SID

[23] S. E. Mills TH, Jarman D, "A cost effective waste management plan," *Cost Engineering, Construction and Architectural Management,* vol. 41, no. 3, pp. 35-43, 1999.

[24] L. H. Duran X, O'Regan B, "A model for assessing the economic viability of construction and demolition waste recycling—the case of Ireland," *Resources,Conservation and Recycling* vol. 46, no. 3, pp. 302-20, 2006.

[25] H. Guo, "A System Dynamics Model for Construction Waste Resource Recovery Management in China," *Revista de la Facultad de Ingeniería,* vol. 31, no. 6, 2016.

[26] J. Won and J. C. Cheng, "Identifying potential opportunities of building information modeling for construction and demolition waste management and minimization," *Automation in Construction,* vol. 79, pp. 3-18, 2017.

[27] S. Jia, G. Yan, A. Shen, and J. Zheng, "Dynamic simulation analysis of a construction and demolition waste management model under penalty and subsidy mechanisms," *Journal of cleaner production,* vol. 147, pp. 531-545, 2017.

[28] Z. Ding, M. Zhu, V. W. Tam, G. Yi, and C. N. Tran, "A system dynamics-based environmental benefit assessment model of construction waste reduction management at the design and construction stages," *Journal of cleaner production,* vol. 176, pp. 676-692, 2018.

[29] B. Huang, X. Wang, H. Kua, Y. Geng, R. Bleischwitz, and J. Ren, "Construction and demolition waste management in China through the 3R principle," *Resources, Conservation and Recycling,* vol. 129, pp. 36-44, 2018.

[30] T. M. Mak *et al.*, "Extended theory of planned behaviour for promoting construction waste recycling in Hong Kong," *Waste management,* vol. 83, pp. 161-170, 2019.

[31] O. P. Richardson GP, "Application of system dynamics in marketing: editorial," *Journal of Business Research* vol. 61, no. 11, pp. 1099-101, 2008.

[32] Z. Ding, M. Zhu, V. W. Y. Tam, G. Yi, and C. N. N. Tran, "A system dynamics-based environmental benefit assessment model of construction waste reduction management at the design and construction stages," *Journal of Cleaner Production,* vol. 176, pp. 676-692, 2018/03/01/ 2018.

[33] A. Rodrigues and J. Bowers, "The role of system dynamics in project management," *International Journal of Project Management,* vol. 14, no. 4, pp. 213-220, 1996/08/01/ 1996.

[34] L. P. Li H, Drew DS, "Effects of overtime work and additional resources on project cost and quality," *Engineering, Construction an Architectural Management,* vol. 7, no. 3, pp. 211-20, 2000.

[35] Y. H. Wang JY, "On-site construction waste management model based on system dynamics. ," *Science & Technology Progress and Policy,* vol. 25, no. 10, pp. 74-8, 2008.

[36] C. R. Elias AA, Jackson LS, "Linking stakeholder literature and system dynamics: opportunities for research.," presented at the In: First International Conference on Systems Thinking in Management, 2000.

[37] C. N. Dyson B, "Forecasting municipal solid waste generation in a fastgrowing urban region with system dynamics modeling," *Waste Management,* vol. 25, pp. 669-79, 2005.

[38] H. M. Hao JL, Huang T, "A simulation model using system dynamic method for construction and demolition waste management in Hong Kong," *Journal of Construction Innovation* vol. 7, no. 1, pp. 7-21, 2007.

[39] W. Y. Shen LY, Chan EHW, Hao JL, "Application of system dynamics for assessment of sustainable performance of construction projects," *Journal of Zhejiang University Science & Technology Progress and Policy,* vol. 6, no. 4, pp. 339-49, 2005.

[40] J. D. Sterman, *Business Dynamics Systems Thinking and Modeling for a Complex World*. McGraw-Hill Companies, 2000, p. 1008.

[41] Q. Cui, H.-b. Kuang, C.-y. Wu, and Y. Li, "Dynamic formation mechanism of airport competitiveness: The case of China," *Transportation Research Part A: Policy and Practice,* vol. 47, pp. 10-18, 2013/01/01/ 2013.

[42] H. Qudrat-Ullah and B. S. Seong, "How to do structural validity of a system dynamics type simulation model: The case of an energy policy model," *Energy policy,* vol. 38, no. 5, pp. 2216-2224, 2010.

[43] H. Klee, "The Cement Sustainability Initiatve," *World Business Counsil for Sustainable Development,* 2009.

www.SID.ir