Industrial Management Perspective

Print ISSN: 2251-9874, Online ISSN: 2645-4165
Volume 11, Serial Number 43, Autumn 2021, Pages 9-43 (Original Article)
DOI: 10.52547/JIMP.11.3.9

Sustainable Supply Model of Rotating Equipment Spare Parts in Iran's Oil Industry using a Combined Approach of System Dynamics (SD) and Strategic Assumptions Surfacing and Testing (SAST)

Mahnaz Hosseinzadeh*, Mohammad Reza Mehregan, Hakim Ghayem*****

Abstract

The supply of rotating equipment for the oil industry poses a serious risk to the sustainable production of the products due to equipment wear, high costs, and high downtime. In this research, a systematic intervention is done in the system of sustainable supply of rotating equipment spare-parts in the oil industry as to the Abadan Oil Refinery National Company's data, applying a combined approach of System Dynamics (SD) and Strategic Assumptions Surfacing and Testing (SAST), and the agreed solutions are extracted as: 1) economic sustainability, namely oil industry investment in spare-parts' manufacturing industry, reforming the repair-maintenance contracts, and monitoring the process of designing and manufacturing the spare-parts, 2) social sustainability, say, amending the law on supply tenders, transferring the experience among the spare parts' manufacturers and the oil industry specialists, and increasing the user training and safety training, and 3) environmental sustainability, including decommissioning worn-out equipment and replacing with green equipment, observing the safety and environmental standards, and reviewing the preventive predictive maintenance program. The results show that the sustainable supply of spare-parts will improve by combining the three strategies of economic, social and environmental sustainability, accompanied by government support of the spare-parts' manufacturing industry and local specialists' training plans.

Keywords: Sustainable Supply of the Spare Parts, Sustainable Maintenance, Rotating Equipment in the Oil Industry, System Dynamics, Strategic Assumptions Surfacing and Testing.

Received: May. 28, 2020; Accepted: Feb. 1, 2021.
* Assistant Professor, University of Tehran (Corresponding Author).
Email: mhosseinzadeh@ut.ac.ir
** Professor, University of Tehran.
*** Ph.D Candidate, Kish International Campus, University of Tehran.

چشم‌انداز مدیریت صنعتی

شاپای چاپی: ۹۸۷۴-۲۲۵۱، شاپای الکترونیکی: ۴۱۶۵-۲۶۴۵

سال یازدهم، شماره ۴۳، پاییز ۱۴۰۰، ص‌ص ۹ – ۴۳ (**نوع مقاله: پژوهشی**)

DOI: 10.52547/JIMP.11.3.9

تأمین پایدار قطعات تجهیزات دوار صنعت نفت با استفاده از فراترکیب پویایی سیستم و آشکارسازی و آزمودن پیش‌فرض های استراتژیک

مهناز حسین‌زاده*، محمدرضا مهرگان، حکیم قیم*****

چکیده

تأمین قطعات تجهیزات دوار صنعت نفت با توجه به فرسودگی تجهیزات، تحمیل هزینه‌های هنگفت و زمان بالای ازکارافتادگی، تولید پایدار فرآورده‌های صنایع نفتی را با مخاطره جدی مواجه می‌سازد. در این پژوهش به مداخله سیستمی در تأمین پایدار قطعات تجهیزات دوار بر مبنای داده‌های «شرکت ملّی پالایش نفت آبادان» با استفاده از فراترکیب پویایی سیستم (SD) و آشکارسازی و آزمودن پیش‌فرض‌های استراتژیک (SAST) پرداخته شده است و راهکارهای موردتوافق نسبی با هدف تأمین پایدار شناسایی شده‌اند که عبارت‌اند از: ۱. پایداری اقتصادی شامل سرمایه‌گذاری صنعت نفت در قطعه‌سازی، اصلاح قراردادهای تعمیر–نگهداری و نظارت بر فرآیند طراحی و ساخت قطعات؛ ۲. پایداری اجتماعی شامل اصلاح قانون مناقصات تأمین‌کنندگان قطعات، انتقال تجربه بین متخصصان قطعه‌سازی و صنعت نفت و آموزش کاربری و ایمنی و ۳. پایداری محیط‌زیستی شامل از رده خارج‌کردن تجهیزات فرسوده و جایگزین‌کردن تجهیزات سبز، رعایت استانداردهای ایمنی و محیط‌زیستی و بازنگری در برنامه نگهداشت پیش‌گیرانه و پیش‌بینانه. نتیجه اجرای جداگانه و ترکیبی این راه‌کارها در افق ۲۰ ساله در سیستم اعمال و مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که تأمین پایدار قطعات با ترکیب سه استراتژی پایداری اقتصادی، اجتماعی و محیط‌زیستی و نیز حمایت دولت از صنعت قطعه‌سازی و تربیت نیروی متخصص بومی بهبود خواهد یافت.

کلیدواژه‌ها: تأمین پایدار قطعات؛ تعمیرات و نگهداری پایدار، تجهیزات دوار صنعت نفت؛ پویایی‌شناسی سیستم؛ آشکارسازی و آزمودن پیش‌فرض‌های استراتژیک.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۰۳/۰۸، تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۱۱/۱۳.

* استادیار، دانشگاه تهران (نویسنده مسئول).

Email: mhosseinzadeh@ut.ac.ir

** استاد، دانشگاه تهران.

*** دانشجوی دکتری، پردیس بین‌المللی کیش دانشگاه تهران.

۱. مقدمه

در صنایع نفت و گاز به‌منظور تأمین پایدار نیازهای نسل‌های کنونی و آتی باید ابعاد اقتصادی، اجتماعی و محیط زیستی دامنه فعالیت‌هایشان مدنظر قرار گیرد [۱۳]. امروزه تلاش‌های مداوم در جهت تعهد به مدیریت زنجیره تأمین پایدار[1] در صنعت نفت و گاز مشاهده می‌شود. از طرفی برای کاهش تأثیرات مخرب فعالیت‌های صنایع نفتی، تأسیسات و سیستم‌های تولیدی با کارایی بالا نیاز است [۳]؛ بنابراین تجهیزات واحدهای تولیدی با استفاده از فناوری‌های خاص طراحی شده و سیستم‌ها تخصصی‌تر و پیچیده‌تر شده است. با افزایش مکانیزاسیون و پیچیدگی در امکانات تولید، تعداد سناریوهای خرابی افزایش یافته است [۱۰]. عدم‌کارایی تجهیزات در هنگام خرابی می‌تواند ضرر زیادی در سطح تولید ایجاد کند و بر عملکرد تجاری تأثیر بگذارد و تولید پایدار را با مخاطره مواجه سازد [۲، ۳]. در صنعت نفت، تجهیزات به دو دسته کلی تجهیزات ثابت و تجهیزات دوار[2] تقسیم می‌شوند. تجهیزات دوار با ارزش ۱۵ درصدی کل سرمایه‌های صنایع نفتی، به علت کثرت، دینامیک و ریسک بالا، نقش کلیدی و حساسی را ایفا می‌کنند [۲۲]. از سوی دیگر در شرکت‌های نفتی ارزش کل نگهداری و تعمیرات تجهیزات سالانه ۲ تا ۲/۵ درصد میزان سرمایه‌گذاری است. این مورد پس از تأمین خوراک واحدها، پرهزینه‌ترین و مهم‌ترین عامل در تضمین تداوم تولید باکیفیت است. با توجه به تحریم‌های اقتصادی، بسیاری از تجهیزات دوار فرسوده شده و میزان خرابی آن‌ها رو به افزایش است. خرابی تجهیزات دوار آثار مختلف اقتصادی، اجتماعی و محیط زیستی در پی دارد و تولید پایدار این صنعت بزرگ را به خطر می‌اندازد. تأمین به‌موقع و باکیفیت قطعات یدکی این تجهیزات می‌تواند باعث کاهش خرابی‌ها و کاهش بازه زمانی توقف تولید شود. با توجه به اهمیت و ضرورت تولید پایدار، در سال ۱۳۸۲ وزارت نفت با تهیه و ارسال شیوه‌نامه‌ای برای تعمیر اساسی این تجهیزات، تلاش کرد تا راهکاری به‌منظور افزایش اطمینان در این زمینه ارائه کند. طی بیش از ۱۶ سال گذشته روش‌های مختلفی در شرکت‌های زیر مجموعه «وزارت نفت» بدین منظور اجرا شده است [۳۰]؛ اما به نظر می‌رسد تاکنون موفق به رفع مشکلات موجود به نحو مطلوب نشده‌اند؛ به‌طوری‌که وزارت نفت در سال ۱۳۹۷ دستورالعمل‌های جدیدی را عنوان کرد. کارگروه‌های تخصصی متشکل از کارشناسان و صاحب‌نظران خبره در «وزارت نفت» با دیدگاه‌های متنوع و گاهی متضاد در حال بررسی این مسئله هستند. علاوه بر آن در این بررسی‌ها صرفاً موارد فنی و هزینه‌ای به‌عنوان عوامل اصلی مدنظر قرار می‌گیرد و سایر عوامل در یک زنجیره پایدار نادیده گرفته شده است. بر این اساس در این پژوهش با توجه به فعالیت‌های تولیدی صنعت

---

1. Sustainable Supply Chain Management (SSCM)

۲. تجهیزات ثابت (Static Equipments) به تجهیزاتی گفته می‌شود که قطعات درونی آن‌ها هیچ‌گونه حرکتی از خود ندارد مانند مخازن، برج‌های تقطیر و خطوط لوله. تجهیزات دوار (Rotary Equipments) به تجهیزاتی اطلاق می‌شود که دارای قطعات متحرک هستند. پمپ‌ها، توربین‌ها و کمپرسورها نمونه‌هایی از تجهیزات دوار صنعت نفت و گاز محسوب می‌شوند.

پالایش نفت و زنجیره تأمین قطعات تجهیزات دوار در یک مداخله سیستمی با استفاده از ترکیبی از رویکردهای تحقیق در عملیات شامل پویایی‌شناسی سیستم[1] (SD) و آشکارسازی و آزمودن پیش‌فرض‌های استراتژیک[2] (SAST) به مدل‌سازی پویایی سیستم تأمین پایدار قطعات تجهیزات دوار در صنایع پالایش نفت پرداخته شده است. مدل تأمین پایدار قطعات یدکی تجهیزات دوار در جست‌وجوی یافتن سیاست‌های پایدار کاهش میزان خرابی قطعات و کاهش زمان ازکارافتادگی تجهیزات دوار بر مبنای داده‌های «شرکت ملّی پالایش نفت آبادان» است.

۲. مبانی نظری و پیشینه پژوهش

زنجیره تأمین سیستم‌های اقتصادی از منظر تأثیرات زیست‌محیطی و اجتماعی در راستای انتظارات متنوع ذی‌نفعان و کاهش خطرات ناشی از پایداری قابل‌مدیریت هستند و بدین منظور مفهوم زنجیره تأمین پایدار موردتوجه قرار گرفته است [۲۶]. مدیریت زنجیره تأمین پایدار یک فلسفه مهم سازمانی برای دستیابی به سود با کاهش ریسک مخاطرات زیست‌محیطی و درعین‌حال بهبود عوامل اقتصادی و اجتماعی است [۲۵]. مدیریت زنجیره تأمین پایدار ادغام استراتژیک و شفاف سه بُعد پایداری در راستای دستیابی به سه هدف توسعه اجتماعی، محیطی و اقتصادی است [۳۱]. پس از مرور مبانی نظری، بررسی پیشینه بررسی شد. پژوهش‌های حوزه مدیریت زنجیره تأمین پایدار [۱، ۶ ، ۱۲ ،۱۷ ، ۲۳] و مطالعات حوزه استراتژی‌های مناسب نگهداری و تعمیرات به‌منظور بهینه-سازی فعالیت‌های تعمیر و نگهداری وابسته به خرابی تجهیزات [۹ ، ۱۵ ،۱۶ ، ۲۰، ۲۱] موردبررسی قرار گرفت. در ادامه پیشینه پژوهش در سه زمینه مدیریت زنجیره تأمین پایدار در صنعت نفت و گاز (عوامل و مدل‌های ارزیابی پایداری)، مدل‌های پویایی سیستم مدیریت پایدار زنجیره تأمین و مدل‌های پویایی سیستم تأمین قطعات بررسی شده است. مطالعات در زمینه مدیریت زنجیره تأمین پایدار صنعت نفت به‌طور خلاصه در جدول ۱، ارائه شده است.

1. System Dynamics (SD)
2. Strategic Assumption Surfacing and Testing (SAST)

جدول ۱. خلاصه مطالعات پیشین در زمینه مدیریت زنجیره تأمین پایدار صنعت نفت و گاز

پژوهشگر	عنوان پژوهش	روش‌شناسی	یافته‌های پژوهش
ویواس و همکاران[1] (۲۰۲۰)	ارزیابی پایداری مدیریت زنجیره تأمین صنعت نفت برزیل	مدل برنامه‌ریزی آرمانی (GP)	طراحی مدل به‌منظور ارزیابی پایداری زنجیره تأمین صنایع نفت و گاز [۳۴].
فلورسکو و همکاران[2] (۲۰۱۹)	بررسی استراتژی مدیریت زنجیره تأمین پایدار بر عملکرد صنعت نفت رومانی	تحلیل عاملی اکتشافی و رگرسیون چندگانه	استراتژی‌های مدیریت زنجیره تأمین پایدار تأثیر مثبت و معناداری بر عملکرد مدیریت زنجیره تأمین دارند [۵].
گاردز و همکاران[3] (۲۰۱۹)	شناسایی عوامل مؤثر بر مدیریت زنجیره تأمین پایدار صنعت نفت و گاز	مدل‌سازی ساختاری – تفسیری (ISM) و مدل معادلات ساختاری (SEM)	فشار نظارتی بالاترین قدرت محرک و لجستیک مشارکتی سبز تأثیر معناداری دارد [۷].
راوت و همکاران[4] (۲۰۱۷)	شناسایی عوامل کلیدی بر مدیریت زنجیره تأمین پایدار صنعت نفت و گاز	مدلسازی ساختاری – تفسیری	عواملی پایداری شامل آلودگی محیطی، مصرف انرژی، خرید پایدار، کاهش هزینه و جریمه، مشوق‌های مالی [۲۵].
مهرگان و همکاران (۲۰۱۴)	تجزیه‌وتحلیل تعاملات بین معیارهای پایداری در انتخاب تأمین‌کنندگان در صنعت گاز ایران	ترکیب دو روش مدل‌سازی ساختاری – تفسیری و دیمتل (DEMATEL)	هزینه، کیفیت و تحویل از مهم‌ترین عوامل انتخاب سنتی و فناوری، توسعه محلی و قابلیت‌های منابع انسانی مهم‌ترین عوامل پایداری در انتخاب تأمین‌کنندگان هستند [۱۸].
ترابی و شرافت (۲۰۱۳)	طراحی شبکه زنجیره تأمین پایدار صنعت نفت تحت شرایط عدم‌قطعیت	برنامه‌ریزی چندهدفه و رویکرد تحلیل عاملی فازی	طراحی مدل ارزیابی پایداری در سه سطح پایانه نفت خام، پالایشگاه نفت و انبار محصولات پالایشگاهی [۳۳].

در بررسی مدل‌های پویایی سیستم، ربز و همکاران[5] (۲۰۱۹)، مدل‌های پویایی سیستم طراحی-شده در حوزه مدیریت زنجیره تأمین پایدار را بررسی و تحلیل کردند و دریافتند که بیشتر مدل‌های موجود معیارهای پایداری زیست‌محیطی و اجتماعی، فشارهای دولتی و مشوق‌ها یا انتظارات مشتری را ادغام می‌کنند، اما عدم قطعیت‌ها و خطرات به‌ندرت مدل شده‌اند و اکثر مدل‌ها در سطح کلان به بررسی و تحلیل سیستم می‌پردازند؛ در صورتی که در مدل‌های زنجیره تأمین عوامل درون‌سازمانی و بین‌سازمانی برجسته‌تر هستند [۲۶]. سانگ و همکاران[6] (۲۰۱۹)، مدل پویایی سیستم زنجیره تأمین سبز[7] را بر مبنای زیرسیستم‌های فناوری، انرژی، محیط‌زیست و اقتصاد

1. Vivas, et al.
2. Florescu, et al.
3. Gardas, et al.
4. Raut, et al.
5. Rebs, et al.
6. Song, et al.
7. Green Supply Chain (GSC)

طراحی و سیاست‌های بهینه تحقق اهداف اقتصادی و زیست‌محیطی را پیشنهاد دادند [۱۹]. کوئنن و همکاران[1] (۲۰۱۸)، با هدف کشف شکاف دانش در مورد رویکردهای پیچیدگی پویا و عدم‌اطمینان در مدیریت زنجیره تأمین حلقه‌بسته[2] بر اساس دو مفهوم عدم‌اطمینان از منظر مبانی نظری پشتیبانی تصمیم و پیچیدگی پویا از منظر مبانی نظری سیستم‌های پیچیده دریافتند که شکاف‌های فرآیندی و روش‌شناختی در این رابطه مشاهده می‌شود و این دو مفهوم برای تجزیه و تحلیل مدیریت زنجیره تأمین بسیار مهم هستند [۴]. گری و همکاران[3] (۲۰۱۸)، یک مدل عملکرد تعمیر و نگهداری پویایی سیستم با استفاده از بهینه‌سازی چندهدفه[4] ارائه دادند. این مدل به ارائه راه‌حل-های بهینه با توجه به سه هدف متضادِ حداکثرکردن دردسترس‌بودن، به‌حداقل‌رساندن هزینه نگهداشت و حداقل‌کردن هزینه تعمیرات پرداخته است [۸]. پلز[5] (۲۰۱۳)، مدلی پویا به‌منظور شناسایی پویایی فرآیند بازسازی تجهیزات و ارزیابی استراتژی‌های بهبود سیستم ارائه داد. یافته‌های پژوهش وی نشان داد که اگر تعداد تجهیزات قابل‌بازسازی بیشتر شود و زمان فرآیند سفارش کاهش یابد، میزان بازدهی در فرآیند بازسازی تجهیزات بیشتر خواهد بود [۲۴]. تیان و ژائو[6] (۲۰۰۹)، به مدل‌سازی پویایی سیستم پشتیبانی تأمین قطعات یدکی به‌منظور شناسایی استراتژی لجستیک نظامی پرداختند. این مدل برای تأمین قطعات بر اساس سیستم امکانات تأمین موجودی و شرایطی که هدف آن‌ها تهیه مقدار مناسب قطعات در زمان مناسب است، توسعه داده شده است [۳۲]. در بررسی پیشینه مدیریت زنجیره تأمین پایدار صنعت نفت و مدل‌های پویایی سیستم تأمین قطعات مطالعات بسیار کمی مبتنی بر مداخله سیستمی در موقعیت مسئله به ارائه راهکار در زمینه تأمین پایدار قطعات پرداخته‌اند؛ بنابراین با توجه به پیچیدگی مسئله پایداری تأمین قطعات تجهیزات صنعت نفت، تقویت سازوکارهای مسئله محوری، استفاده از رویکردهای ساختاربندی مسئله و نیز روش‌شناسی‌های سیستمی به‌منظور مدیریت پیچیدگی مسئله و رسیدن به راهکارهای مطلوب و قابل‌اجرای سازمانی ضروری است. نوآوری این پژوهش در سطح کاربردی و نیز روش‌شناسی مطرح است؛ به‌طوری‌که تاکنون مدل سیاست‌گذاری در زمینه تأمین پایدار قطعات صنعت نفت کشور طراحی نشده است و نیز فراترکیب سیستمی چندگانه دو روش‌شناسی پویایی سیستم و آشکارسازی و آزمودن پیش‌فرض‌های استراتژیک از نوآوری پژوهش در سطح روش‌شناسی است. به‌طوری‌که ابعاد موقعیت مسئله پیچیده از منظر پویایی و نیز تفاوت دیدگاه برنامه‌ریزان در بررسی علل و راه حل‌های قابل‌اجرای مسئله با استفاده از این چارچوب ترکیبی و استفاده هم‌زمان دو روش‌شناسی

1. Coenen, et al.
2. Closed Loop Supply Chain (CLSC)
3. Gary, et al.
4. Multi Objective Optimization (MOO)
5. Poles
6. Tian & Zhao

پوشش داده شده است و موقعیت مسئله از ساختاربندی تا رسیدن به راه‌حل‌های موردتوافق نسبی کلیه ذی‌نفعان را دربرمی‌گیرد.

۳. روش‌شناسی پژوهش

در این پژوهش با استفاده از روش‌شناسی چندگانه تحقیق در عملیات منطبق با موقعیت مسئله با ترکیب دو روش‌شناسی پویایی سیستم به‌عنوان یک رویکرد سخت و آشکارسازی و آزمودن مفروضات استراتژیک به‌عنوان یک رویکرد مبتنی بر پارادایم تفکر نرم سیستمی، سیاست‌گذاری تأمین قطعات پایدار تجهیزات دوار صنعت پالایش نفت مدل‌سازی شده است [۱۹، ۱۴]. در ادامه پس از مروری بر دو روش‌شناسی، چارچوب ترکیبی روش‌شناسی پژوهش حاضر تشریح می‌شود.

روش‌شناسی پویایی سیستم: این روش‌شناسی شامل گام‌های زیر است:

گام نخست: شناسایی و تعریف مسئله: مهم‌ترین گام در مدل‌سازی، شناسایی و تعریف مسئله (چارچوب‌بندی مسئله) است؛

گام دوم: شناسایی فرضیه‌های پویا: هنگامی که مسئله تعریف و افق زمانی مناسب برای آن تعیین شد، مدل‌سازان نظریه‌ای به نام «فرضیه‌ی پویا» ارائه می‌دهند؛

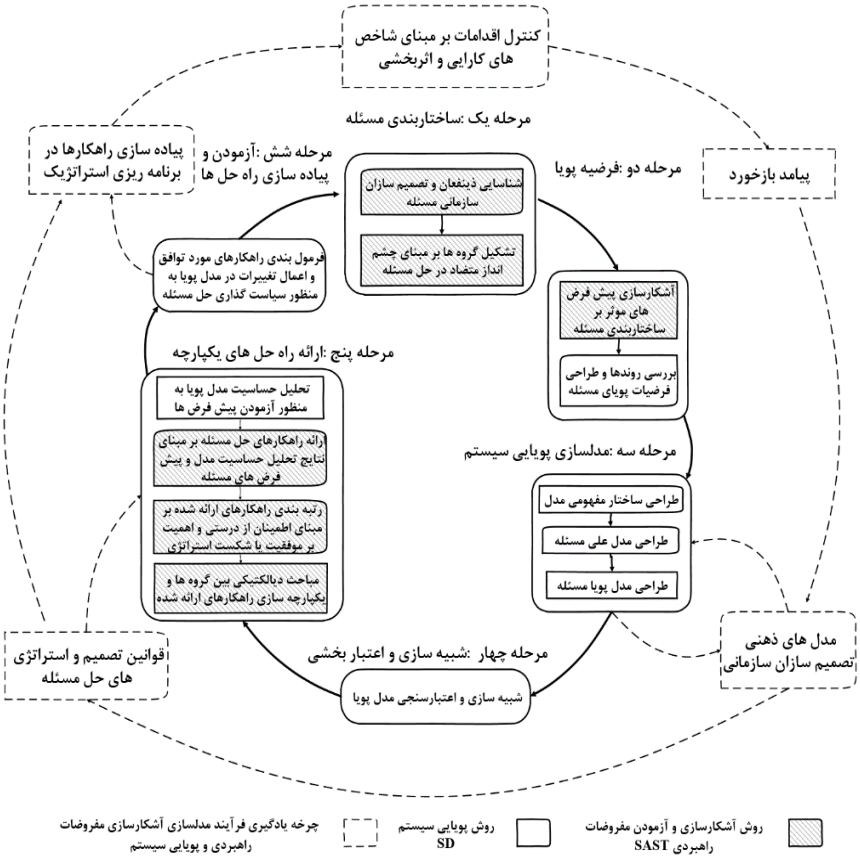
گام سوم: ۱. مدل مفهومی (نمودار حلقه علّی): پس از شناسایی فرضیه‌های پویا، ساختن مدل مفهومی (نمودار حلقه علّی) رابطه بین پدیده‌ها را نشان می‌دهد؛ ۲. ترسیم نمودار جریان مدل؛ گام چهارم: شبیه‌سازی و اعتبارسنجی مدل؛

گام پنجم: تعریف سناریوهای مختلف، انتخاب و اجرای راه‌حل مناسب [۲۹].

روش‌شناسی آشکارسازی و آزمودن مفروضات استراتژیک: این روش‌شناسی بر مبنای چهار اصل به‌کار گرفته می‌شود: ۱. تشکیل گروه؛ ۲. آشکارکردن پیش‌فرض‌ها؛ ۳. مباحث دیالکتیکی(جدلی)؛ ۴. یکپارچه‌سازی (سنتزکردن). تشکیل گروه بر مبنای روش تحلیل ذی‌نفعان و همگرایی دیدگاه درون گروه و واگرایی دیدگاه‌های بین‌گروهی انجام می‌شود. آشکارسازی پیش-فرض‌های موردنظر گروه‌ها بر مبنای راهبردها یا راه‌حل‌های ترجیحی تعیین و تحلیل می‌شود. بحث‌های دیالکتیکی بین گروه‌ها پیش‌فرض‌ها را به چالش می‌کشد و موجب تعدیل و بهتر شدن پیش‌فرض‌ها می‌شود. یکپارچه‌سازی و سنتز، رسیدن به نوعی توافق و مصالحه در مورد پیش-فرض‌ها است که حاصل آن دستیابی به راهبرد و راه‌حلی است که در سطحی بالاتر از راهبردها و راه حل‌های پیشین قرار دارد. پس از آن فهرستی از پیش‌فرض‌های موردتوافق نسبی گروه‌های درگیر تهیه و رتبه‌بندی پیش‌فرض‌ها بر اساس دو معیار اطمینان از درستی و اهمیت بر موفقیت یا شکست استراتژی انجام می‌شود. نتایج در ماتریس اهمیت– اطمینان منعکس می‌شود. راه کارهایی

که در قسمت چپ نمودار قرار می‌گیرند به خاطر اهمیت کمی که دارند، تأثیر زیادی بر برنامه‌ریزی یا حل مسئله نخواهند داشت؛ اما آن‌هایی که در قسمت بالایی سمت راست نمودار قرار می‌گیرند (منطقه برنامه‌ریزی مطمئن)، مهم شمرده می‌شوند و آن‌هایی که در قسمت پایین سمت راست واقع می‌شوند (منطقه برنامه‌ریزی پرخطر) بیشترین وضع بحرانی را دارند؛ زیرا به‌دلیل میزان تأثیرشان از سویی و عدم‌اطمینان درباره آن‌ها از سوی دیگر مستلزم توجه و دقت بسیار زیادی هستند [۱۴].

پژوهش حاضر با بررسی ارزش‌ها و محدودیت‌های روش‌شناسی‌های پویایی سیستم و آزمودن پیش‌فرض‌های استراتژیک در موقعیت‌های پیچیده، به‌منظور غلبه بر محدودیت‌های روش‌شناسی پویایی سیستم، چارچوب فراترکیب این دو روش‌شناسی را طراحی کرده است. شکل ۱، چارچوب ترکیب پویایی سیستم و آشکارسازی و آزمودن مفروضات استراتژیک را نشان می‌دهد.



شکل ۱. چارچوب فراترکیب پویایی سیستم و آشکارسازی و آزمودن مفروضات استراتژیک [۲۷]

منطبق با مراحلی که در شکل ۱، مشاهده می‌شود، در گام نخست ذی‌نفعان و تصمیم‌سازان درگیر در مسئله بر مبنای هرم وظیفه‌ای «شرکت ملّی پالایش نفت آبادان» شناسایی و گروه‌هایی به‌منظور آشکارسازی پیش‌فرض‌ها تشکیل شد. منطبق با روش‌شناسی آشکارسازی و آزمودن مفروضات استراتژیک به تشکیل گروه‌های پایداری در سه گروه طرفداران استراتژی‌های حوزه اقتصادی، اجتماعی و محیط‌زیستی پرداخته شد. مشخصات مشارکت‌کنندگان پژوهش در جدول ۲، ارائه شده است. پس از تشکیل جلسه‌ها و شناسایی علل و عوامل پایداری زنجیره تأمین قطعات و مباحثه دیالکتیکی بین درگیران مسئله، مورد توافق نسبی تصمیم‌گیران سازمانی فرضیه دینامیکی، نمودار زیرسیستم و مرز مدل ترسیم شد. در گام سوم نمودار علّی ترسیم و روابط بین متغیرها بررسی و مدل جریان بر مبنای داده‌های سری زمانی ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۷ پالایشگاه آبادان و سال پایه ۱۳۹۰ در افق بیست‌ساله و گام‌های زمانی یک‌ساله طراحی شد. پس ازاعتبارسنجی مدل، نتایج شبیه‌سازی و تحلیل حساسیت مدل، در مرحله تدوین سیاست‌ها به آشکارسازی پیش‌فرض‌های راهبردی و تحلیل اهمیت بر موفقیت یا شکست و اطمینان از درستی راهبرد پرداخته شد و سیاست-های موردتوافق نسبی یکپارچه‌سازی شده و سیاست‌های منطقه برنامه‌ریزی مطمئن و پرخطر شناسایی گردید. با اعمال این سیاست‌ها در مدل رفتار متغیرهای کلیدی مدل بررسی و درنهایت بهترین راهکارهای مسئله تأمین پایدار قطعات تجهیزات دوار صنعت نفت ارائه شد.

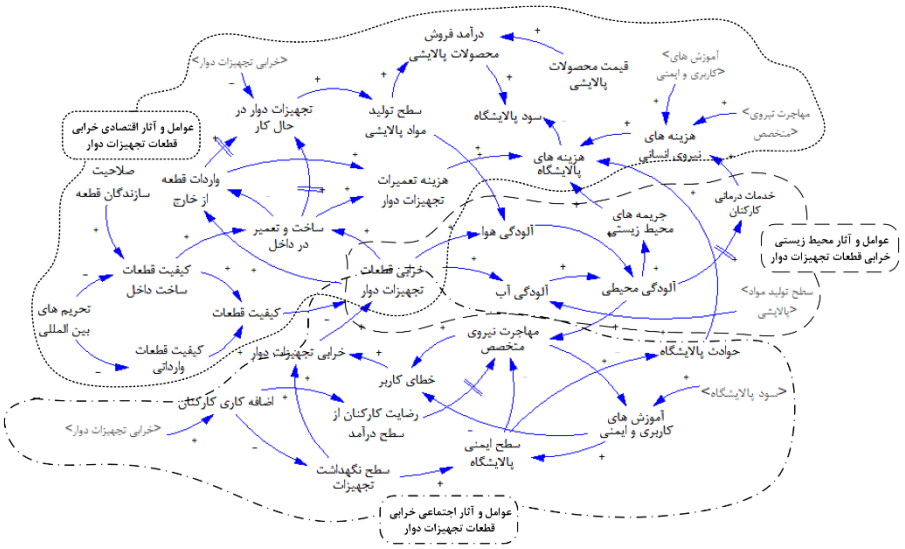
جدول ۲. مشخصات مشارکت‌کنندگان اصلی گروه پژوهش

سطح تحصیلات	دانش تخصصی	سابقه	حوزه سازمانی
دکتری تخصصی	مهندسی صنایع	۲۰<	طرح و برنامه‌ریزی تعمیرات
کارشناس ارشد	مدیریت مالی	۲۰<	امور مالی
کارشناس ارشد	مهندسی شیمی	۳۰<	برنامه‌ریزی تولید
کارشناس ارشد	مهندسی مکانیک	۲۰<	نگهداری و تعمیرات
کارشناسی ارشد	مدیریت بازرگانی	۲۰<	خرید کالا
کارشناس ارشد	مهندسی مکانیک	۱۰<	ساخت کالا
کارشناسی ارشد	مهندسی متالوژی	۲۰<	بازرسی فنی
کارشناسی ارشد	مهندسی ایمنی	۱۰<	بهداشت، ایمنی و محیط‌زیست
کارشناسی ارشد	حقوق	۲۰<	امور حقوقی
دکتری تخصصی	مدیریت دولتی	۲۰<	منابع انسانی
کارشناسی ارشد	مدیریت بازرگانی	۲۰<	بازرگانی

۴. تحلیل داده‌ها و یافته‌های پژوهش

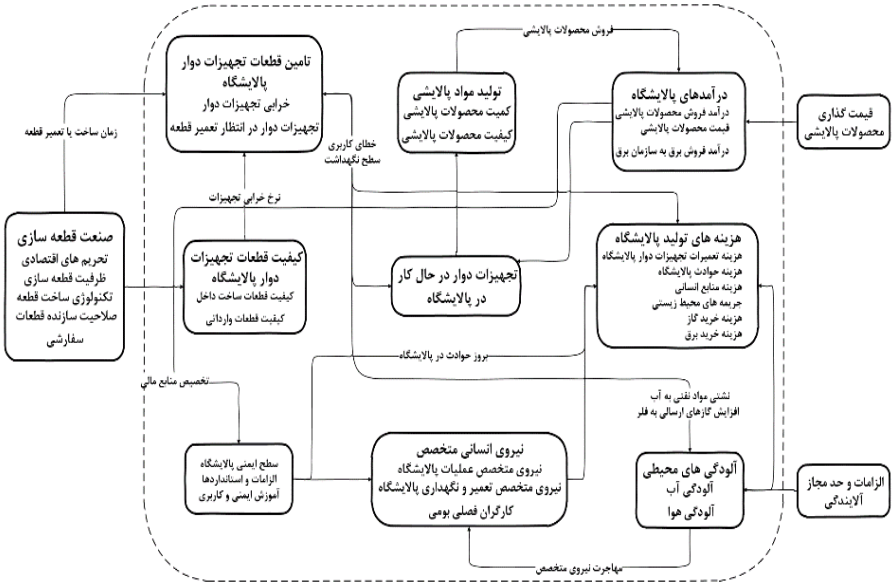
همان‌طور که ذکر شد، مسئله تأمین قطعات تجهیزات دوار صنعت نفت با توجه به فرسودگی تجهیزات، تحمیل هزینه‌های هنگفت و زمان بالای ازکارافتادگی، تولید پایدار فرآورده‌های نفتی در کشور را با مخاطره جدی مواجه می‌سازد. در مواجهه با مسئله تأمین پایدار قطعات تجهیزات دوار پس از بررسی مبانی نظری و مطالعه گزارش‌های بین‌المللی پایداری صنعت نفت و گاز و نیز گزارش‌های پایداری «شرکت ملّی پالایش نفت ایران» و مطالعات حوزه پایداری و تأمین قطعات و خرابی تجهیزات که در بخش پیشینه به آن‌ها اشاره شد، منطبق با روش‌شناسی پژوهش ابتدا ذی‌نفعان درگیر مسئله در پالایشگاه آبادان شناسایی شدند. ذی‌نفعان درون و برون‌سازمانی در سه گروه طرفداران استراتژی اقتصادی، اجتماعی و محیطزیستی قرار گرفتند. در کارگروه اقتصادی، نمایندگان امورمالی، برنامه‌ریزی تولید، برنامه‌ریزی کنترل، نگهداری و تعمیرات، اداره کالا و بازرسی فنی حضور داشتند. در کارگروه اجتماعی علاوه بر درگیران سازمانی از نمایندگان ذی‌نفعان برون-سازمانی شامل نماینده‌ای از منابع انسانی، نماینده‌ای از سازندگان قطعات تجهیزات دوار و نماینده-ای از واردکنندگان قطعات تجهیزات دوار پالایش نفت در برخی جلسه‌ها حضور داشتند. کارگروه محیطزیست متشکل از نماینده واحد ایمنی، بهداشت و محیطزیست و امور حقوقی پالایش نفت آبادان و نیز نماینده اداره کل محیطزیست شهرستان آبادان در نظر گرفته شد.

در تعریف دینامیکی مسئله، منطبق با پایداری ابعاد اقتصادی، اجتماعی و محیطزیستی مسئله با مشارکت کارگروه‌ها موردبررسی قرار گرفت. عوامل و آثار اقتصادی، اجتماعی و محیطزیستی خرابی قطعات تجهیزات دوار با توجه به روندهای زمانی بررسی و تعریف دینامیکی مسئله با توجه به ابعاد و آثار مسئله طراحی شد. شکل ۲، فرضیه دینامیکی مسئله تأمین پایدار قطعات تجهیزات را نشان می‌دهد.



شکل ۲. فرضیه دینامیکی تأمین پایدار قطعات تجهیزات دوار صنعت پالایش نفت

با توجه به شکل ۲، افزایش خرابی قطعات تجهیزات دوار می‌تواند موجب کاهش تجهیزات دوار درحال‌کار و کاهش سطح تولید مواد پالایشی و کاهش درآمد فروش محصولات پالایشی و از سوی دیگر موجب افزایش هزینه‌های تعمیرات پالایشگاه شود و سود پالایشگاه را کاهش دهد. کاهش سود منابع مالی آموزش‌های کاربری و ایمنی را کاهش می‌دهد و موجب افزایش خطای کاربر و افزایش خرابی های تجهیزات دوار می‌شود. در بُعد زیست‌محیطی، خرابی تجهیزات دوار می‌تواند موجب افزایش آلودگی آب‌وهوا شود که این افزایش آلودگی محیطی به افزایش هزینه های خدمات درمانی و افزایش جرائم محیط‌زیستی منجر می‌شود. علاوه بر آن آلودگی‌ها و نیز رضایت‌مندی از سطح درآمد و ایمنی پالایشگاه نیز آثاری بر مهاجرت نیروی متخصص دارد. افزایش مهاجرت نیروی متخصص با توجه به خطای کاربری موجب افزایش نرخ خرابی تجهیزات دوار می‌شود. با توجه به اینکه ساخت و تعمیر قطعات و واردات قطعه با تأخیر زمانی مواجه است، تعداد تجهیزات دوار درحال‌کار متأثر از زمان تعمیر و خرید قطعات است. علاوه بر آن کیفیت قطعات با توجه به شرایط تحریم‌های بین‌المللی و صلاحیت سازندگان قطعه عامل اصلی میزان خرابی‌های قطعات تجهیزات دوار است؛ بنابراین مدل در جست‌وجوی راهکارهایی است که بتواند تأمین قطعات تجهیزات دوار را با درنظرگرفتن عوامل اقتصادی، اجتماعی و محیط زیستی در افق زمانی بلندمدت تضمین کند. در ادامه بر مبنای فرضیه دینامیکی مسئله پایداری تأمین قطعات تجهیزات دوار زیرسیستم‌های مدل پویایی سیستم به صورت شکل ۳، طراحی شده است.



شکل ۳. ساختار زیرسیستم‌های مدل تأمین پایدار قطعات تجهیزات دوار صنعت پالایش نفت

با توجه به زیرسیستم‌های شناسایی‌شده، با استفاده از مبانی نظری پژوهش و پیش‌فرض‌های شناسایی‌شده کارگروه‌ها، متغیرهای پویایی مدل با توافق نسبی این افراد شناسایی و به کمک آن نمودار حلقه‌های علّی مسئله ترسیم شد.

شکل ۴، نمودار علّی تأمین پایدار قطعات را نشان می‌دهد. با توجه به این شکل، در نمودار علّی، حلقه‌های تشدیدکننده و تعدیل‌کننده زیادی وجود دارد. به‌طورکلی خرابی قطعات تجهیزات دوار که متأثر از کیفیت ساخت قطعات است، باعث ازسرویس‌خارج‌شدن تجهیزات و افزایش تجهیزات دوار در انتظار قطعه می‌شود. از بُعد اقتصادی این موضوع باعث کاهش تجهیزات دوار درحال‌کار و درنتیجه کاهش سطح تولید و کیفیت مواد پالایشی و درنتیجه کاهش درآمدهای فروش محصولات پالایشی می‌شود و هزینه‌های تعمیر را به شرکت تحمیل می‌کند. از بُعد محیط‌زیستی، خرابی قطعات موجب نشتی مواد نفتی و آلودگی آب و نیز افزایش گازهای ارسالی به فلر[1] و آلودگی هوا می‌شود. از بُعد اجتماعی، افزایش خرابی قطعات از یک سو به افزایش حجم کار تعمیرکاران و قطعه‌سازان داخلی منجر شده و درنتیجه توسعه فنی و تخصصی قطعه‌سازان داخلی و بهبود کیفیت

۱. فلر گازی (Gas Flare) دستگاه احتراقی است که در واحدهای صنعتی همچون پالایشگاه‌های نفت و گاز به‌کار می‌رود. در تأسیسات صنعتی، سیستم فلر به‌طور عمده برای سوزاندن گازهای آزادشده از شیرهای اطمینان (Pressure Relieve Valve) استفاده می‌شود. در فلرینگ گاز، بسته به ترکیب گازهای ارسالی، گاز دی‌اکسید کربن، اکسیدهای گوگرد و نیتروژن انتشار می‌یابد که موجب آلودگی هوا می‌شود. به همین دلیل مشعل سیستم فلزینگ در نوک فلر و در ارتفاع زیادی از سطح زمین قرار می‌گیرد.

قطعات و تعدیل خرابی قطعات می‌شود و از سوی دیگر آثاری بر کاهش رضایت کارکنان عملیات با توجه به کاهش ساعات اضافه‌کاری و درنتیجه کاهش درآمد می‌شود و این نارضایتی در کنار آلودگی‌های محیطی به افزایش مهاجرت نیروی متخصص منجر می‌شود. مهاجرت نیروی متخصص باعث ورود افراد کم‌تجربه و درنتیجه افزایش خطای کاربری خواهد شد و به‌طور تشدیدکننده‌ای میزان خرابی تجهیزات دوار افزایش می‌یابد. از سوی دیگر افزایش خرابی تجهیزات دوار باعث افزایش ساعات اضافه‌کاری کارکنان تعمیر و نگهداری می‌شود و این افزایش کاری به تأخیر در اجرای برنامه تعمیر و نگهداشت منجر می‌شود و مسئله خرابی را تشدید می‌کند.

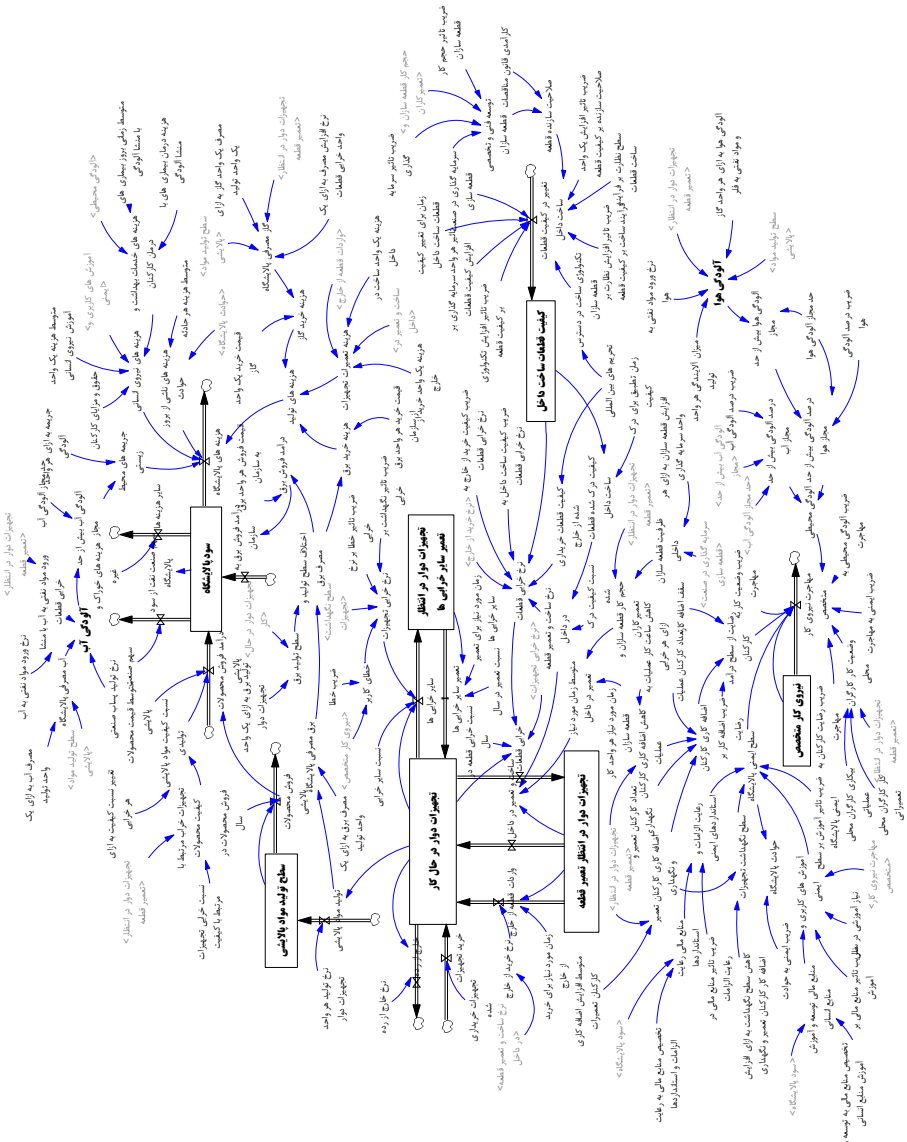
شکل ۴. نمودار علّی مسئله تأمین پایدار قطعات تجهیزات دوار صنعت پالایش نفت

در ادامه برای افزایش درک از ساختار پیچیده سیستم، برخی از حلقه‌های مدل در جدول ۳، معرفی و تحلیل شده است.

جدول ۳. تشریح برخی از حلقه‌های تشدیدکننده و تعدیل‌کننده نمودار علّی و معلولی

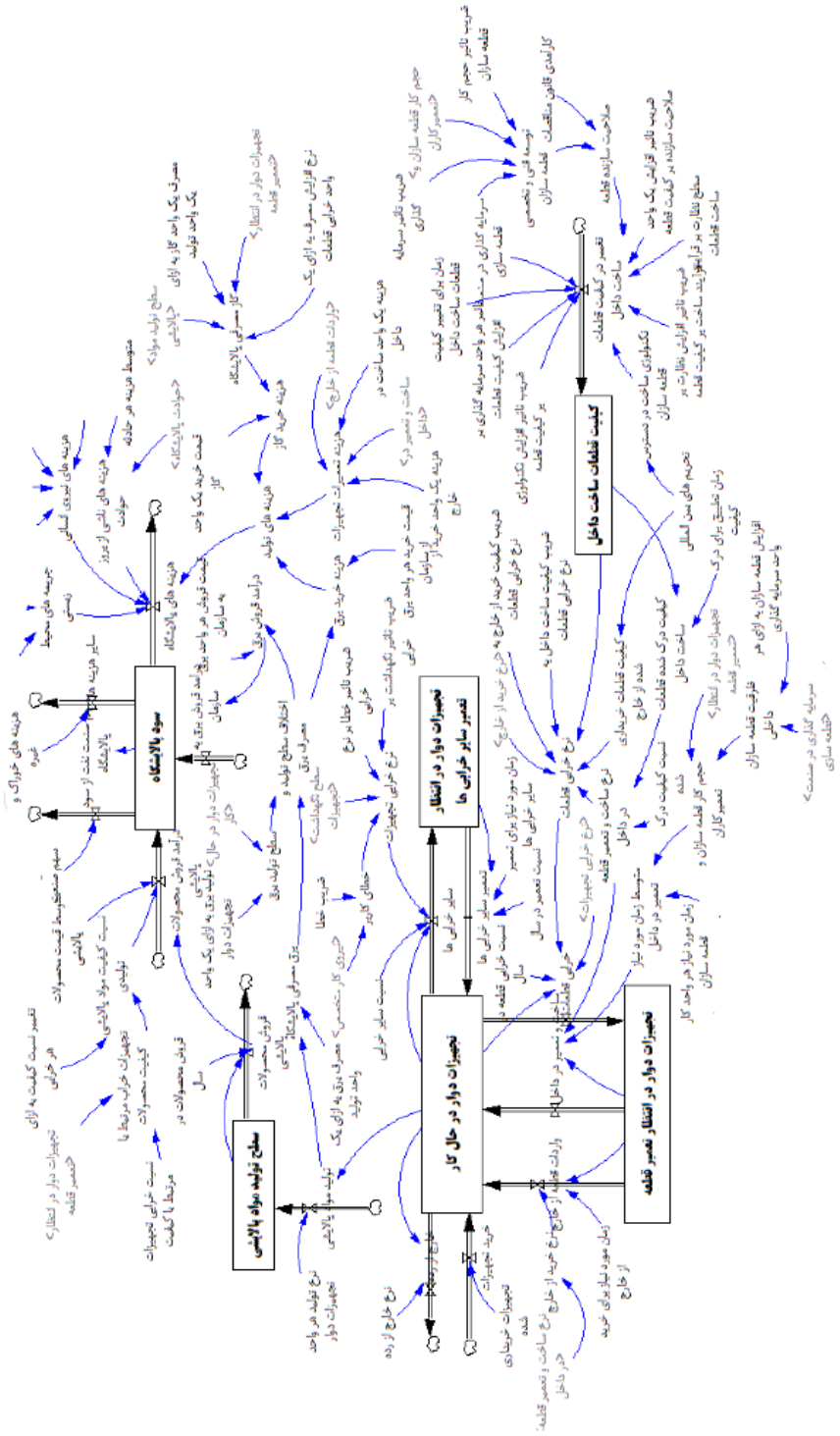
حلقه تشدید/ تعدیل کننده	تشریح حلقه نمودار علّی تأمین پایدار قطعات تجهیزات دوار
حلقه تشدیدکننده تجهیزات در انتظار تعمیر قطعه و آلودگی هوا	افزایش تجهیزات دوار در انتظار تعمیر قطعه ـ افزایش ارسال گاز و مواد نفتی به فلر ـ افزایش آلودگی هوا ـ افزایش آلودگی محیطی ـ افزایش مهاجرت نیروی متخصص ـ کاهش نیروی متخصص ـ افزایش خطای کاربری ـ افزایش خرابی تجهیزات دوار ـ افزایش خرابی قطعات تجهیزات دوار ـ افزایش تجهیزات دوار در انتظار تعمیر قطعه
حلقه تشدیدکننده تجهیزات دوار در حال کار	افزایش تجهیزات دوار درحال‌کار ـــ افزایش سطح تولید مواد پالایشی ـــ افزایش درآمد فروش محصولات پالایشی ـــ افزایش سود پالایشگاه ـــ افزایش خرید تجهیزات دوار جدید ـ افزایش تجهیزات دوار درحال‌کار
حلقه تشدیدکننده مهاجرت نیروی متخصص	افزایش مهاجرت نیروی متخصص ـــ افزایش آموزش‌های کاربری و ایمنی ـــ افزایش هزینه‌های نیروی انسانی ـــ کاهش سود پالایشگاه ـــ کاهش تخصیص منابع مالی به آموزش‌های کاربری و ایمنی منابع انسانی ـــ کاهش سطح ایمنی پالایشگاه ـــ افزایش مهاجرت نیروی متخصص
حلقه تشدیدکننده تجهیزات دوار در انتظار تعمیر قطعه	افزایش تجهیزات دوار در انتظار تعمیر قطعه ـ افزایش اضافه‌کاری کارکنان تعمیر و نگهداری ـ کاهش سطح نگهداشت تجهیزات ـ افزایش خرابی تجهیزات ـ افزایش خرابی قطعات تجهیزات ـ افزایش تجهیزات دوار در انتظار تعمیر قطعه
حلقه تشدیدکننده رضایت از سطح درآمد کارکنان	افزایش خرابی قطعات تجهیزات دوار ـ کاهش ساعت کار کارکنان عملیات ـ کاهش رضایت از سطح درآمد کارکنان عملیات ـ افزایش مهاجرت نیروی متخصص ـ کاهش نیروی متخصص ـ افزایش خطای کاربری ـ افزایش خرابی قطعات تجهیزات دوار
حلقه تعدیل‌کننده سطح تولید به دلیل جرایم محیط زیستی	افزایش سطح تولید مواد پالایشی ـ افزایش پساب صنعتی ـ افزایش آلودگی آب ـ افزایش هزینه‌های جرایم محیط‌زیستی ـ افزایش هزینه‌های پالایشگاه ـ کاهش سود پالایشگاه ـ کاهش خرید تجهیزات دوار جدید ـ کاهش تجهیزات دوار درحال‌کار –کاهش سطح تولید مواد پالایشی
حلقه تعدیل‌کننده توسعه فنی و تخصصی قطعه‌سازان داخلی و کیفیت قطعات ساخت داخل	افزایش تجهیزات دوار در انتظار تعمیر قطعه ـ افزایش حجم کار قطعه‌سازان و تعمیرکاران داخلی ـ افزایش توسعه فنی و تخصصی قطعه‌سازان داخلی ـ افزایش صلاحیت سازندگان داخلی قطعات ـ افزایش کیفیت قطعات ساخت داخل ـ کاهش خرابی قطعات تجهیزات ـ کاهش تجهیزات دوار در انتظار تعمیر قطعه
حلقه تعدیل‌کننده آموزش‌های کاربری و ایمنی بر هزینه‌های ناشی از حوادث پالایشگاه	افزایش آموزش‌های کاربری و ایمنی ـ افزایش سطح ایمنی پالایشگاه ـ کاهش حوادث پالایشگاه ـ کاهش هزینه‌های ناشی از حوادث پالایشگاه ـ کاهش هزینه‌های پالایشگاه ـ افزایش سود پالایشگاه ـ افزایش تخصیص منابع به آموزش‌های کاربری و ایمنی ـ افزایش سطح ایمنی پالایشگاه ـ کاهش مهاجرت نیروی متخصص ـ کاهش آموزش‌های کاربری و ایمنی

با ترسیم نمودار علّی تأمین پایدار قطعات، ساختار حلقه‌های بازخوردی مدل مشخص شد. برای شبیه‌سازی مدل جریان علاوه بر متغیرهای شناسایی‌شده در نمودار علّی نیاز به شناسایی متغیرها و پارامترهای جدید است تا محاسبه روابط ریاضی میان متغیرها تسهیل شود. شکل ۵، نمودار جریان مسئله را نشان می‌دهد. در ادامه به هر یک از زیرسیستم‌ها و جزئیات مدل‌سازی آن‌ها پرداخته خواهد شد.



شکل۵. نمودار جریان مسئله تأمین پایدار قطعات تجهیزات دوار صنعت پالایش نفت

زیرسیستم اقتصادی: زیرسیستم اقتصادی مدل چگونگی عملکرد تأمین قطعات تجهیزات دوار و تولید مواد پالایشی و درنتیجه جریان درآمدی و سود پالایشگاه آبادان را نشان می‌دهد. تعداد تجهیزات دوار درحال‌کار در پالایشگاه با توجه به طرح‌های توسعه واحدهای تولیدی مواد پالایشی با خرید تجهیزات افزایش می‌یابد و با نرخ خرابی تجهیزات، ازکارافتاده خواهند شد. نرخ خرابی تجهیزات تحت تأثیر میزان سطح نگهداشت تجهیزات و خطای کاربر و نیز نرخ خرابی قطعات در نظر گرفته شده است. علاوه بر آن میزان تجهیزات خارج‌ازرده نیز از تعداد تجهیزات درحال‌کار در سال می‌کاهد. درخواست تعمیر تجهیزات دوار ازکارافتاده متناسب با نرخ خرابی قطعات و درخواست تعمیر با منشأ از سایر خرابی‌ها در نظر گرفته شده است. درخواست‌های خرابی قطعات تجهیزات دوار در دو حالت پیگیری خواهد شد. برخی با سفارش خرید قطعه از خارج از کشور به‌صورت مستقیم و یا با سفارش به واردکنندگان قطعات تأمین و برخی با سفارش‌های تعمیر و ساخت قطعه در داخل کشور پیگیری می‌شوند. شکل ۶، نمودار جریان زیرسیستم اقتصادی را نشان می‌دهد.



شکل ۶. نمودار جریان زیرسیستم اقتصادی تأمین پایدار قطعات تجهیزات دوار

کیفیت قطعات خریداری‌شده از شرکت‌های خارجی تحت تأثیر مستقیم شرایط تحریم‌های اقتصادی بین‌المللی قرار دارد. کیفیت قطعات ساخت داخل از پیچیدگی بالاتری برخوردار است. علاوه بر آن که تحریم‌های بین‌المللی بر فناوری ساخت و اطلاعات قطعات و کیفیت مواد خام ورودی به شدت تأثیر می‌گذارند، عوامل داخلی، نظیر ناکارآمدی قانون مناقصات بر مبنای ارزان ترین قیمت پیشنهادی صلاحیت سازندگان قطعه را تحت تأثیر قرار می‌دهد؛ همچنین سطح نظارت بر فرایند سفارش قطعه نیز بر کیفیت قطعه سفارشی مؤثر است. از همه مهم‌تر میزان سرمایه‌گذاری در صنعت قطعه‌سازی کشور است که برآورد می‌شود حدود ۱۰۰ میلیون دلار سرمایه‌گذاری نیاز دارد. در سال‌های اخیر همکاری‌های تحقیق و توسعه و سرمایه‌گذاری‌هایی از سوی صنعت نفت برای توسعه قطعه‌سازی در این صنعت مشهود بوده است؛ اما در برابر نیاز صنعت قطعه‌سازی، این میزان نیازمند افزایش است. مبتنی بر تعداد تجهیزات دوار درحال‌کار در پالایشگاه، سطح تولید مواد پالایشی مشخص می‌شود. درآمد فروش محصولات پالایشی تحت تأثیر کیفیت مواد پالایشی و قیمت مواد پالایشی که تحت تأثیر بازار جهانی نفت خام است، قرار دارد. در دسته‌بندی تجهیزات دوار درحال‌کار در پالایشگاه، دو نوع تجهیز در نظر گرفته می‌شوند، تجهیزات مرتبط با کمیت سطح تولید مواد پالایشی و تجهیزات مرتبط با کیفیت مواد پالایشی تولیدی. خرابی تجهیزات مرتبط با کیفیت چنان‌چه جایگزینی برای آن وجود نداشته باشد، کیفیت مواد پالایشی تولیدی را کاهش داده و قیمت و درآمد فروش محصولات را تحت تأثیر قرار می‌دهد. منبع درآمدی دیگر پالایشگاه حاصل از فروش برق به سازمان برق است، هزینه‌های پالایشگاه با توجه به مسئله پژوهش شامل هزینه-های تعمیرات تجهیزات و هزینه خرید برق و خرید گاز، هزینه ناشی از حوادث و جریمه‌های محیط‌زیستی در نظر گرفته شده است. سایر هزینه‌ها و درآمدی که صنعت نفت سالیانه از درآمد پالایشگاه دارد نیز در میزان سود انباشته پالایشگاه در نظر گرفته شده است. در ادامه مهم‌ترین متغیرها و روابط ریاضی زیرسیستم اقتصادی در جدول ۴، نشان داده شده است.

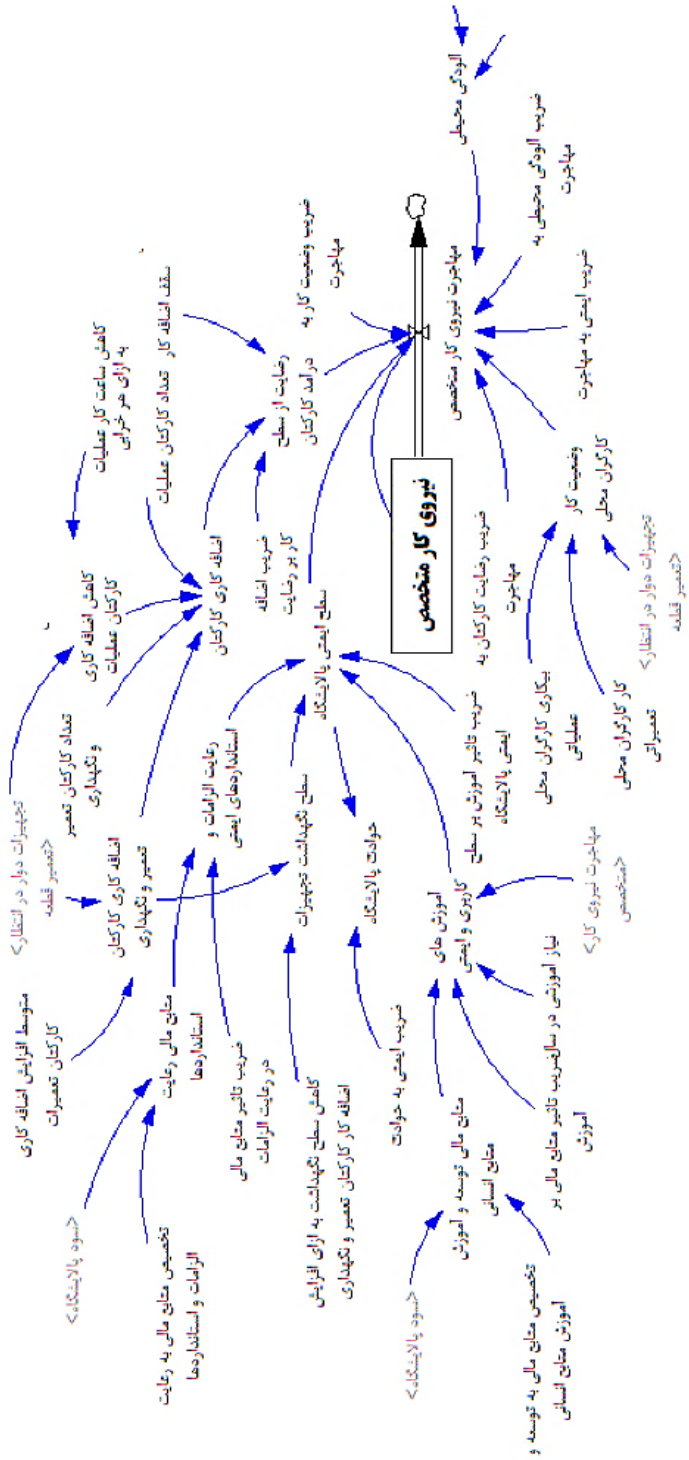
جدول ۴. خلاصه روابط ریاضی بین متغیرهای زیرسیستم اقتصادی و واحد اندازه‌گیری آن‌ها

واحد	رابطه ریاضی	متغیر
Machine	INTEG (تعمیر سایر خرابی‌ها+خرید تجهیزات+ساخت و تعمیر در داخل+واردات قطعه از خارج-خارج از رده-خرابی قطعات-سایر خرابی)	تجهیزات دوار درحال‌کار
Machine	INTEG (خرابی قطعات - ساخت و تعمیر داخل - واردات قطعه از خارج)	تجهیزات دوار در انتظار تعمیر قطعه
Machine/Year	DELAY1 (تجهیزات دوار در انتظار تعمیر قطعه × نرخ خرید از خارج ,زمان مورد نیاز برای خرید از خارج)	واردات قطعه از خارج
Machine/Year	DELAY1 (تجهیزات دوار در انتظار تعمیر قطعه × نرخ ساخت و تعمیر قطعه در داخل، متوسط زمان مورد نیاز تعمیر در داخل)	ساخت و تعمیر در داخل

متغیر	رابطه ریاضی	واحد
تعمیر سایر خرابی‌ها	DELAY1 (تجهیزات دوار در انتظار تعمیر سایر خرابی‌ها × نسبت تعمیر در سال ، زمان موردنیاز برای تعمیر سایر خرابی‌ها)	Machine/Year
نرخ خرابی تجهیزات	(سطح نگهداشت تجهیزات× ضریب تأثیر نگهداشت بر خرابی)+ (خطای کاربر× ضریب تاثیر خطا بر نرخ خرابی)	1/Year
نرخ خرابی قطعات	(ضریب کیفیت خرید از خارج به نرخ خرابی قطعات/ کیفیت قطعات خریداری شده از خارج×نرخ خرید از خارج)+ (ضریب کیفیت ساخت داخل به نرخ خرابی قطعات/ کیفیت قطعات ساخت داخل×نرخ ساخت و تعمیر قطعه در داخل)	1/Year
کیفیت قطعات ساخت داخل	INTEG (تغییر در کیفیت قطعات ساخت داخل)	Percent
تغییر در کیفیت قطعات ساخت داخل	SMOOTH (سرمایه گذاری در صنعت قطعه‌سازی×تاثیر هر واحد سرمایه گذاری بر افزایش کیفیت قطعات ساخت داخل)+(تکنولوژی ساخت در دسترس قطعه سازان× ضریب تاثیر افزایش تکنولوژی بر کیفیت قطعه)+ (سطح نظارت بر فرآیند ساخت قطعات×ضریب تاثیر افزایش نظارت بر فرآیند ساخت بر کیفیت قطعه)+ (صلاحیت سازنده قطعه× ضریب تاثیر افزایش یک واحد صلاحیت سازنده بر کیفیت قطعه ,زمان برای تغییر کیفیت قطعات)	Percent/ Year
توسعه فنی قطعه‌سازان	(سرمایه گذاری در قطعه‌سازی× ضریب تاثیر سرمایه‌گذاری)+ (حجم کار قطعه سازان و تعمیرکاران × ضریب تاثیر حجم کار قطعه سازان)	Percent
کیفیت درک‌شده قطعات داخلی	SMOOTH (کیفیت قطعات ساخت داخل, زمان تطبیق درک کیفیت)	Percent
سطح تولید مواد پالایشی	INTEG (تولید مواد پالایشی–فروش محصولات پالایشی)	Million Barrel
تعداد قطعه‌سازان داخلی	(افزایش قطعه سازان به ازای هر واحد سرمایه گذاری × سرمایه گذاری در صنعت قطعه سازی)	Parts Maker
حجم کار قطعه‌سازان	(تجهیزات دوار در انتظار تعمیر قطعه/تعداد قطعه سازان داخلی)	Machine/ Parts maker
سود پالایشگاه	INTEG(درآمد فروش برق به سازمان+درآمد فروش محصولات پالایشی-سهم صنعت نفت از سود پالایشگاه–سایر هزینه‌ها-هزینه‌های پالایشگاه)	Million Rial
درآمد فروش محصولات	متوسط قیمت محصولات پالایشی×نسبت کیفیت مواد پالایشی تولیدی× محصولات پالایشی	Million Rial/Year
هزینه‌های پالایشگاه	هزینه‌های تولید+هزینه‌های منابع انسانی+هزینه‌های ناشی از بروز حوادث+جریمه‌های محیط زیستی	Million Rial/Year
گاز مصرفی پالایشگاه	(سطح تولید مواد پالایشی× مصرف یک واحد گاز به ازای یک واحد تولید)+ (تجهیزات دوار در انتظار تعمیر قطعه × نرخ افزایش مصرف به‌ازای یک واحد خرابی قطعات)	Million M^3
هزینه تعمیرات تجهیزات	(واردات قطعه از خارج×هزینه یک واحد خرید از خارج)+ (ساخت و تعمیر در داخل ×هزینه یک واحد ساخت در داخل)	Million Rial/Year

زیرسیستم اجتماعی: این زیرسیستم به عوامل و آثار اجتماعی تأمین قطعات در صنعت پالایش نفت اشاره می‌کند. همان‌طور که در زیرسیستم اقتصادی بیان شد، خطای کاربر از عوامل مؤثر بر نرخ خرابی تجهیزات است. در موقعیت مسئله پالایشگاه آبادان، به گزارش «شرکت ملّی پالایش و پخش فرآورده‌های نفتی»، بیشترین درصد خطا در حوادث مربوط به خطای عامل انسانی و خطای کاربری است [۱۱] که می‌توان مهاجرت نیروی کار متخصص را به‌عنوان یکی از ریشه‌های علّی آن در نظر گرفت. درخواست‌های انتقالی و جابه‌جایی شغلی پالایشگاه آبادان بیشتر از سایر نقاط گزارش می‌شود. مهاجرت نیروی کار متخصص بر میزان نرخ خرابی تجهیزات به‌واسطه خطای کاربری بسیار تأثیرگذار است. مهاجرت نیروی کار متخصص از عوامل بسیار زیادی ناشی می‌شود. مهم‌ترین عوامل مهاجرت، میزان رضایت کارکنان، سطح ایمنی پالایشگاه، آلودگی‌های محیطی در نظر گرفته شده است؛ همچنین با خرابی تجهیزات دوار، تعداد زیادی از کارگران فصلی پالایشگاه نیز بیکار می‌شوند و این بیکاری نیز در مهاجرت نیروی کارگران متخصص منطقه مؤثر خواهد بود. شکل ۷، نمودار جریان زیرسیستم اجتماعی را نشان می‌دهد.

خرابی قطعات تجهیزات دوار، برنامه‌ریزی عملیات و برنامه‌ریزی نگهداشت و تعمیر را متأثر خواهد ساخت و به کاهش ساعت اضافه‌کاری کارکنان بخش عملیات پالایشگاه و از سوی دیگر افزایش اضافه‌کاری کارکنان بخش تعمیرات منجر خواهد شد. تغییرات ساعت اضافه‌کاری بر میزان حقوق دریافتی کارکنان و درنتیجه وضعیت معیشتی اثر می‌گذارد؛ به‌طوری‌که به کاهش دریافتی کارکنان عملیات و افزایش دریافتی کارکنان تعمیر و نگهداری منجر می‌شود. افزایش اضافه‌کاری کارکنان تعمیر و نگهداری تبعاتی را در کاهش سطح نگهداشت تجهیزات ایجاد می‌کند و سطح ایمنی پالایشگاه را متأثر می‌سازد و برخی از حوادث به همین دلیل بروز پیدا می‌کنند. روابط ریاضی بین متغیرهای زیرسیستم اجتماعی در جدول ۵، نشان داده شده است.



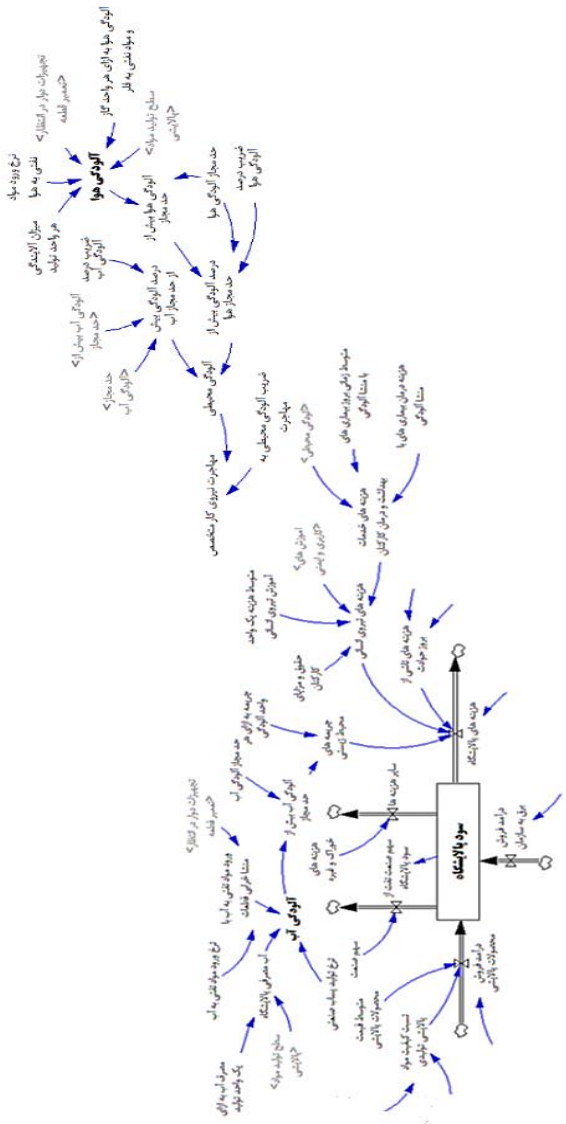
شکل ۷. زیرسیستم اجتماعی تأمین پایدار قطعات تجهیزات دوار پالایش نفت

جدول ۵. روابط ریاضی بین متغیرهای زیرسیستم اجتماعی و واحدهای اندازه‌گیری آن‌ها

واحد	روابط ریاضی	متغیر
Person	INTEG (-مهاجرت نیروی کار متخصص)	نیروی کار متخصص
Person/Year	((آلودگی محیطی×ضریب آلودگی محیطی به مهاجرت) + (وضعیت کار کارگران محلی× ضریب وضعیت کار به مهاجرت) + (رضایت کارکنان×ضریب رضایت کارکنان به مهاجرت) + (سطح ایمنی پالایشگاه×ضریب ایمنی به مهاجرت))× نیروی متخصص	مهاجرت نیروی کار متخصص
Person	تجهیزات دوار در انتظار تعمیر قطعه× (بیکاری کارگران محلی عملیاتی- کار کارگران محلی تعمیراتی)	وضعیت کار کارگران محلی
Percent	(۰/۳×آموزش‌های کاربری و ایمنی)+(۰/۴ ×رعایت الزامات و استانداردهای ایمنی)+(۰/۳ ×سطح نگهداشت تجهیزات)	سطح ایمنی پالایشگاه
Percent	IF THEN ELSE (اضافه کاری کارکنان>=سقف اضافه کار ,۵۰ , اضافه‌کاری کارکنان/سقف اضافه کار ×۵۰) × ضریب اضافه‌کار بر رضایت	رضایت کارکنان
Percent	(۸۰-(کاهش سطح نگهداشت به‌ازای افزایش اضافه‌کار کارکنان تعمیر و نگهداری× اضافه‌کاری کارکنان تعمیر و نگهداری))	سطح نگهداشت تجهیزات
Hour/Person	۱۰۰-(((اضافه‌کاری کارکنان تعمیر و نگهداری/تعداد کارکنان تعمیر و نگهداری)-(کاهش اضافه کاری کارکنان عملیات/تعداد کارکنان عملیات))/۱۰۰۰)	اضافه‌کاری کارکنان
Case	۱/سطح ایمنی پالایشگاه×ضریب ایمنی به حوادث	حوادث پالایشگاه
Hour	تجهیزات دوار در انتظار تعمیر قطعه×کاهش ساعت کار عملیات به‌ازای هر خرابی	کاهش اضافه کاری کارکنان عملیات
Hour	تجهیزات دوار در انتظار تعمیر قطعه×متوسط افزایش اضافه‌کاری کارکنان تعمیرات	اضافه‌کاری کارکنان تعمیر و نگهداری

زیرسیستم محیطزیست: با توجه به شکل ۸، عوامل محیطزیستی اثر خود را بر متغیرهای جریمه‌های محیطزیستی و نیز مهاجرت نیروی کار متخصص نشان می‌دهند. آلودگی آب متناسب با نرخ تولید پساب صنعتی پالایشگاه و نیز ورود مواد نفتی به آب با منشأ خرابی قطعات تجهیزات در نظر گرفته شده است. در صورتی که میزان آلودگی آب بیش از حد مجاز باشد، پالایشگاه ملزم به پرداخت جرائم محیطزیستی به سازمان «محیطزیست» می‌شود. در مورد آلودگی هوا نیز خرابی قطعات تجهیزات دوار پالایشگاه بر میزان آلایندگی و نرخ ورود مواد نفتی به هوا اثرگذار است. بر اساس اطلاعات واحد ایمنی، بهداشت و محیطزیست پالایشگاه، بیش از نیمی از آلودگی‌های مربوط به مواد نفتی و افزایش گازهای ارسالی به فلرهای پالایشگاه ناشی از خرابی تجهیزات دوار پالایشگاه است. اگرچه در سال‌های اخیر پالایشگاه تلاش‌های زیادی در کاهش گازهای ارسالی به فلر و نیز کاهش آلودگی آب‌وهوا انجام داده است، ولی در برابر عطش توسعه و تولید مواد

پالایشی نیاز به برنامه‌های بیشتری در آینده وجود دارد. مجموع آلودگی‌های آب‌وهوا که بالاتر از سطح مجاز آلایندگی باشند، سطح آلودگی محیطی در نظر گرفته می‌شود که عاملی برای مهاجرت نیروی متخصص از منطقه است. روابط ریاضی بین متغیرهای زیرسیستم محیط‌زیستی تأمین پایدار قطعات تجهیزات دوار صنعت پالایش نفت در جدول ۶، نشان داده شده است.

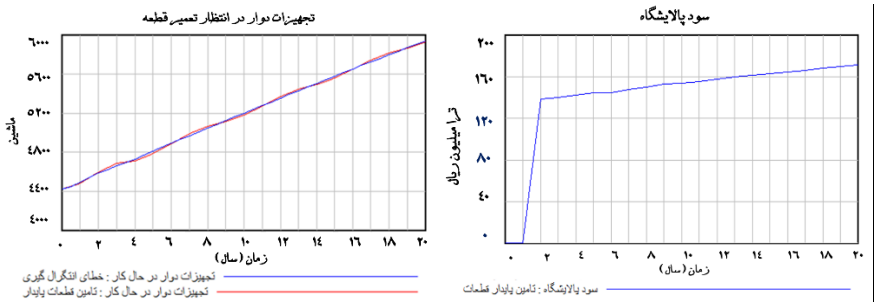


شکل ۸. نمودار جریان زیرسیستم محیط‌زیست تأمین پایدار قطعات تجهیزات دوار

جدول ۶. روابط ریاضی متغیرهای زیرسیستم محیط‌زیست و واحدهای اندازه‌گیری آن

متغیر	روابط ریاضی	واحد
آلودگی آب	نرخ تولید پساب صنعتی/ آب مصرفی پالایشگاه+ ورود مواد نفتی به آب با منشا خرابی قطعات	Gr/(Million M^3×Year)
آب مصرفی پالایشگاه	سطح تولید مواد پالایشی×مصرف آب به‌ازای یک واحد تولید	Million M^3
ورود مواد نفتی به آب با منشأ خرابی قطعات	تجهیزات دوار در انتظار تعمیر قطعه×نرخ ورود مواد نفتی به آب	Gr/(Year × Million m^3)
آلودگی آب بیش از حد مجاز	IF THEN ELSE (آلودگی آب>=حد مجاز آلودگی آب, آلودگی آب-حد مجاز آلودگی آب , ۰)	Gr/(Million m^3/year)
آلودگی هوا	تجهیزات دوار در انتظار تعمیر قطعه× (آلودگی هوا به‌ازای هر واحد گاز و مواد نفتی به فلر نرخ ورود مواد نفتی به هوا)+(پالایشی× میزان آلایندگی هر واحد تولید	Gr/(Million M^3×Year)
آلودگی هوا بیش از حد مجاز	Max (آلودگی هوا-حد مجاز آلودگی هوا ، ۰)	Gr/Million M^3/Year
درصد آلودگی بیش از حد مجاز هوا	آلودگی هوا بیش از حد مجاز/ حد مجاز آلودگی هوا × ضریب درصد آلودگی هوا	Percent
درصد آلودگی بیش از حد مجاز آب	آلودگی آب بیش از حد مجاز/ حد مجاز آلودگی آب × ضریب درصد آلودگی آب	Percent
آلودگی محیطی	(درصد آلودگی بیش از حد مجاز آب+درصد آلودگی بیش از حد مجاز هوا)/۲	Percent
هزینه‌های خدمات درمان کارکنان	SMOOTH (آلودگی محیطی×هزینه درمان بیماری با منشا آلودگی , متوسط زمانی بروز بیماری‌های با منشا آلودگی)	milion rial/year

برای اعتبارسنجی مدل علاوه بر تأیید متخصصان، آزمون‌های اعتبار ساختاری و رفتاری شامل آزمون سازگاری ساختار و ابعاد مدل، آزمون خطای انتگرال‌گیری، آزمون شرایط حدی و آزمون بازتولید رفتار انجام شد. شکل ۹، نتایج آزمون خطای انتگرال‌گیری و آزمون شرایط حدی را نشان می‌دهد.



شکل ۹. نتایج آزمون شرایط حد بالای قیمت محصولات پالایشی و آزمون خطای انتگرال‌گیری در گام‌های زمانی نیم‌سال

برای آزمون بازتولید رفتار مدل، شاخص RMSPE[1] که یکی از روش‌های آماری تأیید رفتار است بر مبنای معادله ۱، محاسبه شد. این شاخص، مجذور مربع میانگین اختلاف داده‌های واقعی (At) و داده‌های شبیه‌سازی شده (St) را اندازه‌گیری می‌کند. برای تأیید رفتار سیستم این شاخص باید کمتر از ۰/۱ باشد. جدول ۷، نتایج آزمون بازتولید رفتار برخی از متغیرهای مدل را نشان می‌دهد.

معادله (۱) $$\mathrm{RMSPE} = \sqrt{1/\mathrm{n}\sum_{\mathrm{t=1}}^{\mathrm{n}}\left(\frac{\mathrm{St-At}}{\mathrm{At}}\right)^2}$$

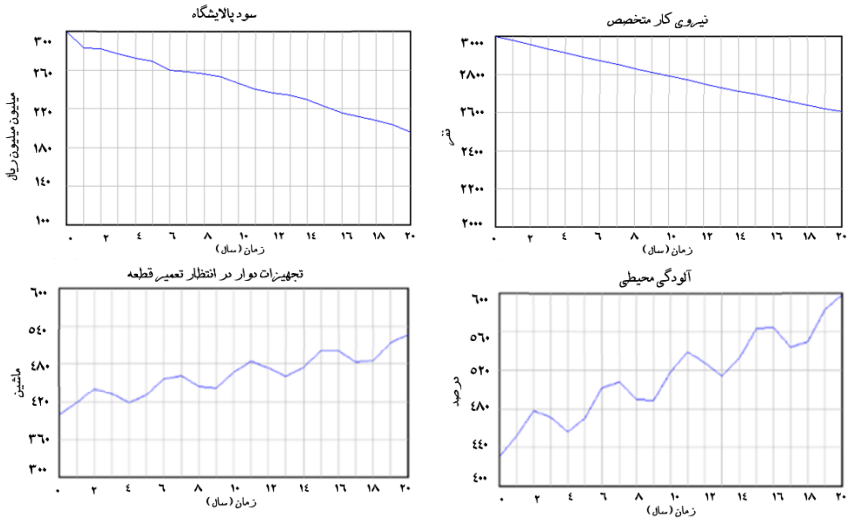
جدول ۶. نتایج آزمون اعتبارسنجی بازتولید رفتار برخی متغیرهای مدل

متغیر	مقدار	۱۳۹۰	۱۳۹۱	۱۳۹۲	۱۳۹۳	۱۳۹۴	۱۳۹۵	۱۳۹۶	۱۳۹۷	RMSPE
تجهیزات دوار	واقعی	۴۴۲۴	۴۴۲۴	۴۴۲۴	۴۸۰۰	۴۹۵۱	۴۹۶۷	۴۹۶۷	۴۹۷۶	۰/۰۲۲
	شبیه‌سازی	۴۴۲۴	۴۴۶۸	۴۵۷۵	۴۶۶۲	۴۷۷۹	۴۷۶۹	۴۸۷۰	۴۹۷۴	
برق تولیدی	واقعی	۳۸۰	۴۲۸	۴۱۶	۴۲۱	۵۰۰	۴۹۵	۴۹۷	۵۵۰	۰/۰۹۰
	شبیه‌سازی	۴۴۲	۴۴۶	۴۵۷	۴۶۶	۴۶۷	۴۷۶	۴۸۷	۴۹۷	
گاز مصرفی	واقعی	۷۵۱	۷۱۵	۶۹۳	۷۳۲	۷۰۳	۷۵۰	۷۱۰	۷۶۱	۰/۰۶۱
	شبیه‌سازی	۷۱۱	۷۰۵	۷۱۵	۷۶۰	۷۷۵	۷۷۹	۷۷۹	۸۰۱	

پس از اعتبارسنجی و شبیه‌سازی اولیه مدل رفتار متغیرهای اصلی مدل در افق بیست‌ساله بررسی شد. همان‌طور که در شکل ۸، مشاهده می‌شود، تجهیزات دوار در انتظار قطعه به‌صورت نوسانی با شیب ملایمی در حال افزایش است. رفتار نوسانی متغیر تجهیزات دوار در انتظار قطعه مربوط به تأخیرهای زمانی ساخت و تعمیر قطعات در داخل و نیز واردات قطعات از خارج است. افزایش زمان موردنیاز برای خرید قطعات و متوسط زمان موردنیاز تعمیر قطعه در داخل رفتار نوسانی را ایجاد کرده است. در مورد سود پالایشگاه نیز با توجه به هزینه‌ها و درآمدهای پالایشگاه، روند نزولی سود در افق شبیه‌سازی مشهود است. در مورد متغیر نیروی کار متخصص با توجه به نرخ مهاجرت، روند نزولی است. از سوی دیگر، آلودگی‌های محیطی ناشی از آلودگی آب و هوا نیز افزایشی به صورت نوسانی است. در مورد متغیر آلودگی محیطی نیز با توجه به اینکه میزان آلودگی متأثر از دو عامل سطح تولید مواد پالایشی و میزان خرابی‌های قطعات تجهیزات دوار است، با افزایش خرابی‌ها و تجهیزات دوار در انتظار قطعه که رفتار نوسانی در مدل داشتند، میزان آلودگی‌ها نیز افزایش می یابد. زیرا، با توجه به رفتار تجهیزات دوار در انتظار قطعه و نرخ ورود مواد نفتی به هوا و آلودگی هوا به‌ازای افزایش گازهای ارسالی به فلر و نرخ ورود مواد نفتی به آب با منشا خرابی

1. Root Mean Squared Percentage Error (RMSPE)

قطعات تجهیزات دوار، رفتار آلودگی‌های محیطی نیز نوسانی است که این رفتار در افزایش تأخیرهای زمانی فرآیند تعمیر و ساخت قطعات تجهیزات دوار ریشه دارد.



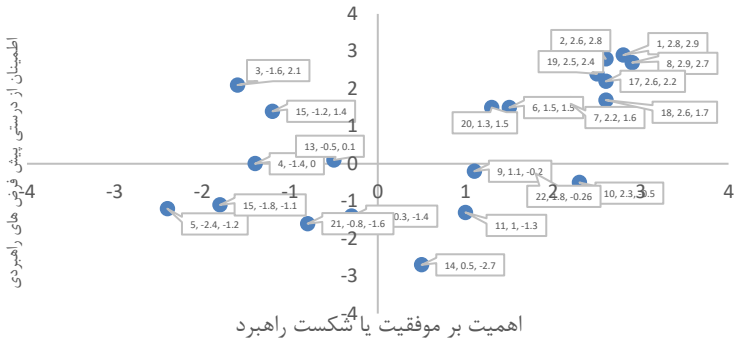
شکل ۱۰. رفتار متغیرهای اصلی مدل تأمین قطعات پایدار در افق شبیه‌سازی بیست‌ساله

پس از بررسی شبیه‌سازی اولیه با توجه به نتایج تحلیل حساسیت مدل متغیرهای برون‌زایی که بیشترین دامنه تغییرات را ایجاد می‌کردند و به‌اصطلاح نقاط اهرمی مدل شناسایی شدند؛ همچنین مفروضات راهبردی مسئله توسط اعضای کارگروه‌ها بررسی شد. رویکرد پذیرفته‌تر در میان مدیران و تصمیم‌سازان مربوط به عوامل اقتصادی بود که راهکارهای ریشه‌ای مسئله را در چالش‌های سیاسی و اقتصادی کشور از جمله تحریم‌های اقتصادی، روابط بین‌المللی و دیپلماسی انرژی می‌دانستند. اگرچه مخالفان سرسختی نیز وجود داشتند که معتقد بودند توسعه انسانی و اجتماعی مبتنی بر توان استعدادهای داخل کشور می‌تواند راهگشا باشد. گروه محیط‌زیست که مسئله پایداری را بیشتر از منظر ردپای فعالیت پالایشگاه بر آلودگی‌های آب و خاک و هوا و نیز تأثیرات ایمنی دنبال می‌کردند نیز راهبردهایی از این منظر پیشنهاد دادند. پیش‌فرض‌های مورد توافق نسبی طی پرسشنامه‌ای توسط کلیه اعضای کارگروه‌ها بر مبنای طیف هفت‌درجه‌ای لیکرت بر اساس دو معیار اطمینان از درستی و اهمیت بر موفقیت یا شکست راهبرد درجه‌بندی شدند. کمّی‌سازی پرسشنامه با درنظرگرفتن نمره ۳ برای بسیار مطمئن/ بسیار با اهمیت و نمره ۳- برای بسیار نامطمئن/ بسیار بی‌اهمیت و میانگین نظر مشارکت‌کنندگان صورت گرفته است که نتایج در جدول ۷، مشاهده می‌شود. نتایج در ماتریس اهمیت- اطمینان همان‌طور که در شکل ۱۱، مشاهده می‌شود، منعکس شد. راهکارهایی که در قسمت چپ نمودار قرار می‌گیرند به خاطر اهمیت کمی

که دارند، تأثیر زیادی بر برنامه‌ریزی یا حل مسئله نخواهند داشت. مواردی که در قسمت بالایی سمت راست نمودار قرار می‌گیرند (منطقه برنامه‌ریزی مطمئن) مهم شمرده می‌شوند و آن‌هایی که در قسمت پایین سمت راست واقع می‌شوند (منطقه برنامه‌ریزی پرخطر) بیشترین وضع بحرانی را دارند؛ زیرا به‌دلیل میزان تأثیرشان از سویی و عدم‌اطمینان درباره آن‌ها از سوی دیگر مستلزم توجه و دقت بسیار زیاد هستند. با درنظرگرفتن منطقه برنامه‌ریزی مطمئن سه استراتژی بهبود وضعیت مسئله موردتوافق واقع شد.

جدول ۷. رتبه‌بندی پیش‌فرض‌های راهبردی بر اساس دو معیار اطمینان از درستی و اهمیت بر موفقیت یا شکست

	پیش‌فرض‌های راهبردی	اهمیت بر موفقیت یا شکست راهبرد	اطمینان از درستی پیش‌فرض
پایداری اقتصادی	نظارت بر فرآیند ساخت قطعات	۲/۸	۲/۹
	سرمایه‌گذاری داخلی در صنعت قطعه‌سازی	۲/۶	۲/۸
	سرمایه‌گذاری خارجی در صنعت قطعه‌سازی	−۱/۶	۲/۱
	حمایت مالی از تعمیرکاران و قطعه‌سازان داخلی	−۱/۴	۰
	ارائه تسهیلات و ایجاد جذابیت در سرمایه‌گذاران	−۲/۴	−۱/۲
	اصلاح قراردادهای تعمیرات و نگهداری تجهیزات	۱/۵	۱/۵
	حمایت از شرکت‌های دانش‌بنیان صنعت قطعه‌سازی	۲/۲	۱/۶
پایداری اجتماعی	اصلاح قانون مناقصات تأمین‌کنندگان قطعات تجهیزات	۲/۹	۲/۷
	حمایت از قوانین مالکیت فکری قطعه‌سازان	۱/۱	−۰/۲
	انتقال تجربه متخصصان قطعه‌سازی و پالایش	۲/۳	−۰/۵
	تربیت تعمیرکاران متخصص تجهیزات پالایشی	۱	−۱/۳
	تأمین اشتغال تعمیرکاران تجهیزات پالایشی	−۰/۳	−۱/۴
	حمایت مستمر از کارکنان به‌منظور کاهش مهاجرت	−۰/۵	۰/۱
	بسترسازی و اطلاع‌رسانی فرصت‌های کسب‌وکار	۰/۵	−۲/۷
	کاهش بیکاری در منطقه به‌منظور کاهش مهاجرت	−۱/۸	−۱/۱
	توسعه جوامع محلی در راستای مسئولیت اجتماعی	−۱/۲	۱/۴
پایداری محیط‌زیست	رعایت استانداردهای ایمنی	۲/۶	۲/۲
	آموزش کاربری و ایمنی	۲/۶	۱/۷
	ازرده‌خارج‌کردن تجهیزات فرسوده	۲/۵	۲/۴
	افزایش برنامه نگهداشت پیشگیرانه و پیش‌بینانه	۱/۳	۱/۵
	خرید تجهیزات با آلایندگی پایین‌تر	−۰/۸	−۱/۶
	رعایت استانداردهای محیط‌زیستی	۱/۸	−۰/۲۶



شکل ۱۱. ماتریس اهمیت-اطمینان پیش‌فرض‌های راهبردی مسئله پایداری تأمین قطعات

با توجه به استراتژی‌های پایدار اقتصادی، اجتماعی محیطزیستی شناسایی‌شده با سه دسته راهکار مواجه هستیم که بر مبنای آن‌ها تغییراتی بر روی مدل اعمال شد. جدول ۸، تغییرات اعمالی بر هر یک از متغیرهای مدل را نشان می‌دهد.

جدول ۸. تغییرات اعمالی بر هر یک از متغیرهای مدل بر مبنای منطقه برنامه‌ریزی مطمئن

	استراتژی	تغییرات اعمال‌شده در مدل	شرح
پایداری اقتصادی	سرمایه‌گذاری داخلی صنعت نفت در صنعت قطعه‌سازی تجهیزات پالایش نفت	سرمایه‌گذاری ۳ درصد در صنعت قطعه‌سازی و اعمال ضریب تأثیر بر توسعه فنی قطعه‌سازان	اعمال نرخ کاهش ۳ درصدی از سود پالایشگاه (برآورد تقریبی ۱۰ هزار میلیارد ریال با اعمال تأخیر زمانی پنج‌ساله)
	بازنگری قراردادهای تعمیر و نگهداری تجهیزات پالایشگاه مبتنی بر کاهش ریسک	اثر بازنگری قراردادها مبتنی بر ریسک بر کاهش ۰/۰۵درصدی نرخ خرابی تجهیزات پالایشگاه	(سطح نگهداشت‌تجهیزات×ضریب تأثیر نگهداشت بر خرابی)+(خطای کاربر×ضریب تأثیر خطا بر نرخ خرابی)×۰/۹۵
	نظارت بر فرآیند طراحی و ساخت قطعات تجهیزات پالایشگاه	بهبود ۶۰ درصدی نظارت بر فرآیند ساخت قطعات در برنامه سه‌ساله با ۲ سال تأخیر زمانی اصلاح فرآیند	اعمال نظارت ۱۰۰ درصدی بر اجرای قراردادهای طراحی و ساخت قطعات از سوی متخصصان صنعت نفت
پایداری اجتماعی	اصلاح قانون مناقصات تأمین‌کنندگان قطعات تجهیزات پالایش نفت	افزایش ۳۰ درصدی کارآمدی قانون مناقصات تغییر از ۷۰ به ۱۰۰ درصد	اصلاح قانون مناقصات در برتری شاخص‌هایی نظیر کمترین قیمت در تعیین صلاحیت قطعه‌سازان
	انتقال تجربه و دانش فنی بین متخصصان قطعه‌سازی و پالایشگاهی	افزودن متغیر انتقال تجربه و دانش فنی به توسعه فنی قطعه‌سازان و اعمال تأثیر	تعداد برگزاری جلسه‌های انتقال تجربه در سال و تعداد پروژه‌های مشترک تحقیق و توسعه مدنظر است.
	آموزش‌های کاربری و آموزش ایمنی پالایشگاه	افزایش ۳۰ درصدی دوره آموزش کاربری و ایمنی	افزایش هزینه آموزش کاربری و ایمنی به میزان ۲۰ میلیارد ریال

	ازرده‌خارج‌کردن تجهیزات فرسوده و جایگزین‌کردن تجهیزات جدید	افزایش نرخ ازرده‌خارج‌کردن تجهیزات از ۰/۰۰۳ به ۰/۰۰۵	اعمال هزینه خرید هر تجهیز ۳۵۰۰ میلیون ریال در سایر هزینه‌ها به‌طور متوسط ۴۰ میلیارد ریال
پایداری محیط‌زیست	رعایت استانداردهای ایمنی و محیطی تجهیزات	افزایش ۶۰ درصدی رعایت استاندارد ایمنی و محیطی در برنامه پنج‌ساله و خرید تجهیزات با آلایندگی کمتر	برآورد هزینه رعایت الزامات و استانداردهای محیطی و ایمنی و خرید آلایندگی کمتر ۱۱۰۰ میلیارد ریال است.
	بازنگری در برنامه نگهداشت پیش‌گیرانه و پیش‌بینانه تجهیزات پالایشگاه	حذف اثر کاهش نگهداشت تجهیزات با منشأ افزایش اضافه‌کاری کارکنان	جبران کاهش سطح نگهداشت در زمان حجم اضافه‌کاری بخش تعمیر و نگهداشت تجهیزات

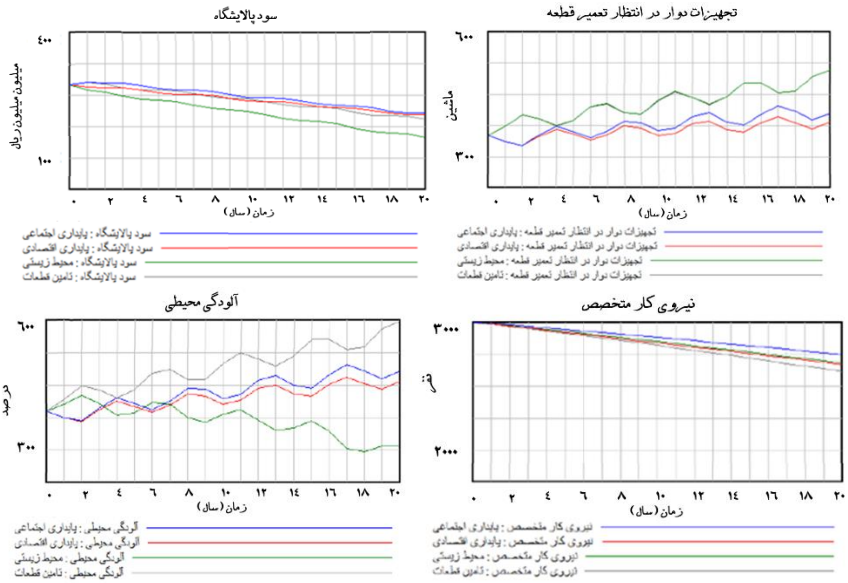
در ادامه نتایج تغییرات اعمال‌شده هر یک از استراتژی‌ها بر روی مدل به‌صورت جداگانه، مطابق شکل ۱۲، بررسی می‌شود.

استراتژی پایداری اقتصادی: بر مبنای استراتژی اقتصادی متغیر سود پالایشگاه بهبود یافته است و تعداد تجهیزات در انتظار تعمیر قطعه نیز کاهش یافته‌اند. درواقع سرمایه‌گذاری پالایشگاه در قطعه‌سازی و افزایش سطح نظارت و برنامه نگهداشت مبتنی بر ریسک، بر کیفیت قطعات و نرخ خرابی و نیز زمان تعمیر اثر گذاشته و در نتیجه میزان تجهیزات دوار در حال کار افزایش یافته و سود پالایشگاه از بابت کاهش هزینه تعمیرات و فروش محصولات و نیز افزایش کیفیت محصولات بیشتر شده است. در رفتار متغیر مهاجرت نیروی کار متخصص با درنظرگرفتن راهبردهای اقتصادی، بهبودی حاصل نشده است. ازآنجاکه خرابی قطعات منشأ افزایش ارسال گاز به فلرهای پالایشگاه و ورود مواد نفتی به آب است، پایداری اقتصادی تا حدودی توانسته از این میزان آلودگی‌ها بکاهد. با توجه به بررسی رفتار متغیرهای اصلی مدل می‌توان گفت که استراتژی پایداری اقتصادی می‌تواند به عنوان راهکار سیستمی ارائه شود. اگرچه از منظر اجتماعی نتوانسته بهبودی در وضعیت کلی مسئله در پالایشگاه ایجاد کند، اما در زمینه‌های فرصت‌های شغلی و سرمایه‌گذاری اثرگذار است.

استراتژی پایداری اجتماعی: با اعمال این تغییرات، با توجه به بهبود ایمنی پالایشگاه و اثراتی که بر نرخ خرابی تجهیزات و اضافه‌کاری کارکنان و بیکاری کارگران ایجاد شده، استراتژی پایداری اجتماعی در متغیر مهاجرت نیروی کار متخصص از منطقه بهبود ایجاد کرده است؛ اما همان‌طور که در رفتار سایر متغیرها مشاهده می‌شود، اعمال این استراتژی به تنهایی نمی‌تواند بهبود اساسی در مسئله ایجاد کند و به عنوان یک راهکار ریشه‌ای در نظر گرفته شود؛ چراکه در رفتار متغیرهای آلودگی و تجهیزات دوار در انتظار قطعه بهبود زیادی حاصل نشده است. این نشان می‌دهد تنها با

آموزش و تعامل بین متخصصان صنعت پالایش و صنعت قطعه‌سازی مسئله تأمین پایدار قطعات برطرف نمی‌شود.

استرتژی پایداری محیطزیستی: با اعمال تغییرات استراتژی پایداری محیطزیستی در برخی متغیرهای مدل بهبود حاصل می‌شود. با توجه به افزایش رعایت الزامات زیست‌محیطی و ایمنی، آلودگی‌های محیطی کاهش یافته است. کاهش آلودگی‌های محیطی و افزایش ایمنی موجب کاهش نرخ مهاجرت نیروی کار متخصص از منطقه شده است و با توجه به اثر خطای کاربری بر نرخ خرابی تجهیزات، بر تعداد تجهیزات دوار درحال‌کار، اگر چه بسیار اندک، افزوده شده است. در کل می‌توان نتیجه گرفت که استراتژی پایداری محیطزیست در حوزه ایمنی و آلایندگی وضعیت مسئله توانست بهبود حاصل کند و همچنین از بُعد پایداری اجتماعی نیز با توجه به کاهش نرخ مهاجرت نیروی کار متخصص نیز موثر واقع شده است؛ اما از نظر پایداری اقتصادی و تجهیزات دوار در انتظار تعمیر قطعه بهبود زیادی را نشان نداده است.



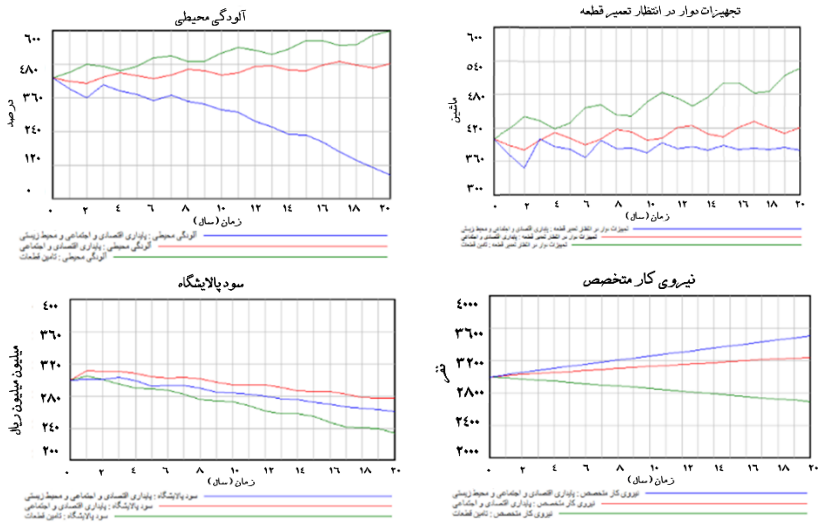
شکل ۱۲. نمودار مقایسه بین استراتژی‌های اقتصادی، اجتماعی و محیطزیستی

با توجه به نتایج شبیه‌سازی هر یک از استراتژی‌ها، با توجه به ابعاد مسئله هر یک از استراتژی‌ها به‌تنهایی بر جنبه‌هایی از مسئله تمرکز و بهبود ایجاد کردند. پس از این مرحله استراتژی‌های ترکیبی بر مدل اعمال شد. استراتژی‌های ترکیبی به‌صورت ترکیب‌های دوتایی و نیز استراتژی ترکیبی سه دسته راه‌کار به‌طور هم‌زمان در نظر گرفته شد. با اعمال سیاست‌های ترکیبی اگرچه وضعیت مسئله نسبت به راهکارهای قبل بهبود یافت، اما مسئله به‌طور کامل برطرف نشد؛ بنابراین

با مشارکت گروه پژوهش دو پیش‌فرض از منطقه برنامه‌ریزی پرخطر شامل افزایش ۱/۵ برابری تعداد قطعه‌سازان و تعمیرکاران موردتأیید صلاحیت «وزارت نفت» اکنون حدودا ۱۲۵ قطعه‌ساز در کشور وجود دارد و ۷۵ قطعه‌ساز در فهرست قطعه‌سازان موردتأیید صنعت نفت قرار دارند. دولت با اعمال سیاست‌های حمایتی از صنعت قطعه‌سازی و نظارت بر عملکرد قطعه‌سازان می‌تواند کیفیت و زمان قطعه‌سازی در داخل را کاهش دهد. همچنین با تربیت نیروی متخصص بومی و جذب سالیانه حداقل ۴۰ نفر پس از گذشت ۵ سال تعداد نیروهای متخصص در منطقه به تعادل خواهد رسید. ریسک این پیش‌فرض‌ها بر مبنای سیاست‌های کلان دولت در مسیر توسعه تعریف می‌شوند و خارج از برنامه‌ریزی «وزارت نفت» قرار دارند. اگر چه «شرکت ملّی پالایش نفت آبادان» می‌تواند بودجه مسئولیت اجتماعی را با این راهکارها هم‌راستا کند.

شکل ۱۳، رفتار متغیرهای اصلی مدل را بر مبنای اعمال استراتژی‌های ترکیبی و درنظرگرفتن دو سیاست حمایت دولت از صنعت قطعه‌سازی و تربیت نیروی متخصص بومی نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، متغیر تجهیزات دوار در انتظار قطعه به‌خوبی تحت کنترل سیستم قرار گرفته‌اند و این میزان تجهیز در انتظار قطعه با توجه به برنامه‌ریزی حدود ۱۰ درصدی نگهداشت و تعمیر، حدوداً ۴۰ درصد پایین‌تر از حد انتظار خواهد بود. به‌طورکلی استراتژی اقتصادی موتور محرک بهبودها است؛ به‌طوری‌که در ترکیب استراتژی پایداری اقتصادی و اجتماعی از میان ترکیب‌های دوتای، بهترین استراتژی برای مسئله تأمین پایدار قطعات شناسایی شد. چنانچه ترکیبی از سه استراتژی پایداری اقتصادی و پایداری اجتماعی و پایداری محیط‌زیستی در مدل اعمال شود، بهبود زیادی در متغیرهای اصلی مدل ایجاد می‌شود. درواقع با اعمال هم‌زمان سه استراتژی پایداری اقتصادی، اجتماعی و محیط‌زیستی، با توجه به سیاست‌های افزایش کیفیت قطعات ساخت داخل و جذب نیروی بومی متخصص و بازنگری در برنامه نگهداشت تجهیزات و رعایت استانداردهای محیطی، نرخ خرابی قطعات تجهیزات به‌شدت کاهش یافته و هزینه‌های تعمیر تجهیزات، هزینه-های حوادث و هزینه‌های منابع انسانی کاهش می‌یابد و با خرید تجهیزات با آلایندگی کمتر و ازرده‌خارج‌کردن تجهیزات فرسوده، آلودگی‌های محیطی به میزان زیادی کاهش خواهد یافت. از سوی دیگر با توجه به رضایت درآمدی کارکنان و نیز افزایش ایمنی و کاهش آلودگی محیطی، مهاجرت کارکنان متخصص کاهش یافته و علاوه بر آن تربیت نیروی متخصص بومی در صنعت قطعه‌سازی و سیاست‌های حمایتی دولت، نیروی کار متخصص در منطقه افزایش می‌یابد. بر این مبنا ترکیب سه استراتژی، راهکار همه‌جانبه و پایدار مسئله در نظر گرفته می‌شود. پس از آن در اولویت دوم ترکیب استراتژی اقتصادی و اجتماعی پاسخ پایدار به مسئله است و اختلاف آن با ترکیب سه استراتژی در اعمال سیاست‌های ازرده‌خارج‌کردن تجهیزات و خرید تجهیزات با آلایندگی کمتر است. اگرچه رفتار تجهیزات دوار در انتظار تعمیر قطعه در این ترکیب‌ها نزدیک به

هم است، اما آلودگی محیطی در ترکیب پایداری اقتصادی و اجتماعی تفاوت زیادی دارد و به‌تبع آن آلودگی محیطی بر مهاجرت نیروی کار متخصص از منطقه نیز اثرگذار بوده است.



شکل ۱۳. نمودار مقایسه بین استراتژی‌های ترکیبی

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

تأمین به‌موقع و باکیفیت قطعات یدکی تجهیزات صنعت نفت با توجه به اهمیت و ضرورت تولید پایدار، از دهه هشتاد بر اثر مشکلات بسیار زیادی که تحریم‌های بین‌المللی ایجاد کرد، موجب شد سرمایه‌گذاری در ساخت قطعات با اینکه جزو اهداف اصلی صنعت نفت نبود، موردتوجه «وزارت نفت» قرار گیرد. کارگروه‌های تخصصی «وزارت نفت» متشکل از کارشناسان و صاحب‌نظران خبره با دیدگاه‌های متنوع و گاهی متضاد در حال بررسی این مسئله هستند و به نظر می‌رسد علی‌رغم تلاش‌های دو دهه اخیر تاکنون موفق به رفع مشکلات موجود در تأمین قطعات به نحو مطلوب نشده‌اند. علاوه بر دیدگاه‌های متنوع و گاهاً متضاد برنامه‌ریزان، در بررسی‌ها صرفاً موارد فنی و هزینه‌ای به‌عنوان عوامل اصلی مدنظر قرار می‌گیرد و سایر عوامل در یک زنجیره پایدار نادیده گرفته می‌شود. در این پژوهش به‌منظور مداخله سیستمی حل مسئله به مدل‌سازی و شبیه‌سازی سیستم تأمین پایدار قطعات تجهیزات دوار صنعت پالایش نفت با استفاده از فراترکیب پویایی سیستم و آشکارسازی و آزمودن پیش‌فرض‌های استراتژیک بر مبنای داده‌های «شرکت ملّی پالایش نفت آبادان» پرداخته شد. بر مبنای منطقه برنامه‌ریزی مطمئن راهکارهای پیشنهادی به‌منظور بهبود تأمین پایدار قطعات تجهیزات دوار در سه دسته راهکار استراتژی پایداری اقتصادی، پایداری اجتماعی و پایداری محیط‌زیستی و با مدنظر قراردادن هزینه اجرای هر دسته راهکار

موردارزیابی قرار گرفت. راهکارهای پیشنهادی عبارت‌اند از: ۱. پایداری اقتصادی شامل سرمایه-گذاری در صنعت قطعه‌سازی، بازنگری و اصلاح قراردادهای تعمیر و نگهداری و نظارت بر فرآیند طراحی و ساخت قطعات با برآورد هزینه ۱۰ هزار میلیارد ریال؛ ۲. پایداری اجتماعی شامل اصلاح قانون مناقصات تأمین‌کنندگان قطعات، انتقال تجربه و دانش فنی بین متخصصین قطعه‌سازی و صنعت نفت و بازنگری در آموزش کاربری و ایمنی با هزینه اجرای ۲۰ میلیارد ریال و ۳. پایداری محیطزیستی شامل ازرده‌خارج‌کردن تجهیزات فرسوده و جایگزین‌کردن تجهیزات سبز، رعایت استانداردهای ایمنی و محیطزیستی و بازنگری در برنامه نگهداشت پیش‌گیرانه و پیش‌بینانه تجهیزات با هزینه اجرای ۱۵۰ میلیارد ریال، در مدل اجرا و اثرات هر سیاست ارزیابی شد. یافته‌های پژوهش حاکی از آن است که ترکیبی از سه استراتژی پایداری اقتصادی و پایداری اجتماعی و پایداری محیطزیستی، بهبود زیادی در متغیرهای اصلی مدل ایجاد می‌کند. درنتیجه ترکیب سه استراتژی، راهکار همه‌جانبه و پایدار مسئله در نظر گرفته می‌شود. پس از آن در اولویت دوم ترکیب استراتژی اقتصادی و اجتماعی پاسخ پایدار به مسئله است؛ همچنین درنظرگرفتن دو پیش‌فرض راهبردی افزایش قطعه‌سازان داخلی و تربیت نیروی متخصص بومی در مرز منطقه برنامه‌ریزی پرخطر، بهبود زیادی در سیاست‌های ترکیبی را نشان داد.

یافته‌های پژوهش حاضر در زمینه عوامل مؤثر بر پایداری زنجیره تأمین با نتایج گاردز و همکاران (۲۰۱۹) و راوت (۲۰۱۷) در زمینه علل و عوامل مؤثر بر پایداری در صنعت نفت و گاز هم‌راستا است و یافته‌های کوئنن (۲۰۱۸)، در زمینه شکاف روش‌شناختی پیچیدگی پویا و شناسایی عدم‌اطمینان را موردتأکید قرار می‌دهد. در این پژوهش کوشیده شد تا علاوه بر افزودن به دانش موجود در زمینه سیاست‌گذاری پایداری زنجیره تأمین قطعات تجهیزات صنعت نفت، پیش‌زمینه مناسبی نیز برای مطالعات آتی فراهم شود. در این زمینه با توجه به اینکه مدل ارائه‌شده برای پالایشگاه آبادان شبیه‌سازی شده است، پیشنهاد می‌شود برای افزایش کارایی مدل، سیستم تأمین پایدار قطعات با جزئیات بیشتر شبیه‌سازی شود؛ به‌طوری‌که تمرکز بر استفاده حداکثری از شرکت-های سازنده داخلی به همراه پشتیبانی مالی و فناورانه و عوامل مؤثر بر ایجاد بازاری مطمئن و سودآور به‌منظور افزایش کیفیت قطعات ساخت داخل مطرح شود. در بررسی شاخص‌های اجتماعی نیز علاوه بر مهاجرت نیروی متخصص با توجه به گستردگی، پیچیدگی و تنوع شاخص‌های پایداری اجتماعی، این شاخص‌ها بر حسب نقش و عملکردشان موردتوجه قرار گیرند و از طرفی می‌توان موانع اجرای راهکارهای شناسایی‌شده را در بخش ارزیابی سیاست‌ها افزود.

منابع

1. Akhanova, G., Nadeem, A., Jong R. Kim, & Azhar, S., A. (2020). Multi-criteria decision-making framework for building sustainability assessment in Kazakhstan, *Sustainable Cities and Society*, *52*, 101842.
2. Barabadi, A., Ghodrati, B., Barabady, J., Markeset, T. (2012). Reliability and spare parts estimation taking into consideration the operational environment – A case study. *IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM).* 1924 - 1929.
3. Barabadi, A., Barabady, J., & Markeset, T. (2014). Application of reliability models with covariates in spare part prediction and optimization – A case study. *Reliability Engineering & System Safety*, *123*, 1–7.
4. Coenen, J., van der Heijden, R. E. C. M., & van Riel, A. C. R. (2018). Understanding approaches to complexity and uncertainty in closed-loop supply chain management: Past findings and future directions. *Journal of Cleaner Production*, *201*, 1–13.
5. Florescu, M. S., Ceptureanu, E. G., Cruceru, A. F., & Ceptureanu, S. I. (2019). Sustainable Supply Chain Management Strategy Influence on Supply Chain Management Functions in the Oil and Gas Distribution Industry. *Energies*, *12(9)*, 1632.
6. Gardas, B., Raut, D,. Narkhede, B., (2015). Modelling the challenges to sustainability in the textile and apparel (T&A) sector: A Delphi-DEMATEL approach. *Sustainable Production and Consumption, 15,* 96-108.
7. Gardas, B. B., Raut, R. D., & Narkhede, B. (2019). Determinants of sustainable supply chain management: A case study from the oil and gas supply chain. *Sustainable Production and Consumption*, *17*, 241–253.
8. Gary Linnéusson, Amos H. C. Ng & Tehseen Aslam (2018). Quantitative analysis of a conceptual system dynamics maintenance performance model using multi-objective optimisation, *Journal of Simulation*, *12(2)*, 171-189,
9. Gary, L., Amos, N. H., & Tehseen, A. (2018). Towards strategic development of maintenance and its effects on production performance by using system dynamics in the automotive industry. *International Journal of Production Economics*, *200*, 151-169.
10. Hassan, J., Khan, F., & Hasan, M. (2012). A risk-based approach to manage non-repairable spare parts inventory. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, *18(3)*, 344–362.
11. Health, Safety, Environment and Passive Defense Performance Report of National Company for Refining and Distribution of Petroleum Products, 2016. (In Persian)
12. Mohammadi, A., Alem Tabriz, A., Pishvaee, M. (2018). Proposing Model for Master Planning of Sustainable Supply Chain with Considering Integration of Physical and Financial Flow. *Journal of Industrial Management Perspective*, 8(1), 39-62. (In Persian)
13. International Petroleum Industry Environmental Conservation Association (IPIECA), (2015). Oil and gas industry guidance on voluntary sustainability reporting. Retrived from http://www.ipieca.org/ resources /good-practice/oil-and-gas-industry-guidance-on-voluntary-sustainability-reporting-3rd-edition/.
14. Jackson. (2003). *Systems thinking: creative holism for managers.* John Wiley
15. Linnéusson, G., Ng, A. H. C., & Aslam, T. (2018). Quantitative analysis of a conceptual system dynamics maintenance performance model using multi-

objective optimisation. Journal of Simulation, *12(2)*, 171–189.
16. Linnéusson, G. (2018). *Towards strategic development of maintenance and its effects on production performance: A hybrid simulation-based optimization framework* (Doctoral dissertation, University of Skövde).
17. Mehdikhani, R. and Valmohammadi, C. (2019). Strategic collaboration and sustainable supply chain management: The mediating role of internal and external knowledge sharing. *Journal of Enterprise Information Management, 32(5),* 778-806.
18. Mehregan, M. R., Hashemi, S. H., Karimi, A., & Merikhi, B. (2014). Analysis of interactions among sustainability supplier selection criteria using ISM and fuzzy DEMATEL. *International Journal of Applied Decision Sciences, 7(3),* 270-294.
19. [19] Mehregan, M.R. & Hosseinzadeh, M. (2016). *Theoretical foundations of operations research.* University Book Publishing, Tehran, first edition 2017, 496 p. (In Persian).
20. Moloudi, R., Seyed Boyer, S., & Ghim, H. (2020). Presenting a Model to Improve the Time of Maintenance and Repair Projects (Case Study: Abadan Oil Refining Company). *The First International Conference on Challenges and New Solutions in Industrial Engineering and Management and Accounting*. (In Persian)
21. Nadizadeh, A., Ranjbar, H., Moubed, M. (2020). Periodic Inspection Optimization for a Two-Component System with Dependent Failures. *Journal of Industrial Management Perspective, 10(2),* 83-110. (In Persian)
22. Petroleum Industry Research Institute, Environmental Campus News Archive, published on November 16, 2015, available from www.ripi.ir/index.php/newss/81-energy-news/1167-mr-arabi
23. Prasad, D.S., Pradhan, R.P., Gaurav, K. *et al.* (2018). Analysing the critical success factors for implementation of sustainable supply chain management: an Indian case study. *Decision, 45*, 3–25.
24. Poles, R. (2013). System Dynamics modelling of a production and inventory system for remanufacturing to evaluate system improvement strategies. *International Journal of Production Economics, 144(1),* 189–199.
25. Raut, R. D., Narkhede, B., & Gardas, B. B. (2017). To identify the critical success factors of sustainable supply chain management practices in the context of oil and gas industries: ISM approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 68,* 33–47.
26. Rebs, T., Brandenburg, M., & Seuring, S. (2019). System dynamics modeling for sustainable supply chain management: A literature review and systems thinking approach. *Journal of Cleaner Production, 208,* 1265–1280.
27. Samadi Foroushani, M. & Hosseinzadeh, M. (2020). Combining Strategic Assumption Revealing System Dynamics (SASD) Multi-paradigm system intervention framework in solving complex problems. *13th International Conference of Iranian Operations Research Society, Shahroud University of Technology*. (In Persian)
28. Sherafat, A., Mohaghar, A., Karimi, F., Davoodi, S. (2018). Designing the Mechanism for Choosing the Appropriate Maintenance Strategy. *Journal of Industrial Management Perspective, 8(2),* 31-69. (In Persian)
29. Sterman, J. (2000). *Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a complex word*. Boston: Permission of the McGraw-Hill companies.

30. Strategic system for managing the physical assets of the oil industry, (2014). https://portal.nioc.ir/RDMS/Forms/DocumentsSearch.aspx?TypeID. (In Persian)
31. Song, M., Cui, X., Wang, Sh. (2019) Simulation of land green supply chain based on system dynamics and policy optimization. *International Journal of Production Economics*, *217,* 317-327.
32. Tian, J., & Zhao, T. (2009). System dynamics in supply support of spare parts. 2009 *8th International Conference on Reliability, Maintainability and Safety*, 594–599.
33. Torabi, S. A. & Sharafat, M. R. (2013). Designing a Sustainable Supply Chain Network for the Oil Industry under Uncertainty, *10th International Conference on Industrial Engineering,* Tehran. (In Persian)
34. Vivas, R., Sant, A., Esquerre, K., Freires, F. (2020). Integrated method combining analytical & mathematical models for evaluation and optimization of sustainable supply chains: A Brazilian case study. *Computers & Industrial Engineering*, *139*, 105670.