

## **Modeling Steel Supply Chain and Estimating Its Consumption through ABM Methodology**

**Adel Azar<sup>\*</sup>, Mahdi Mashayekhi<sup>\*\*</sup>, Mojtaba Amiri<sup>\*\*\*</sup>,  
Hossein Safari<sup>\*\*\*\*</sup>**

### **Abstract**

The purpose of this study was to develop an agent based model that could simulate the steel supply chain and estimate its production and consumption, taking into account the key factors of the steel industry. The approach of the present study is mixed (quantitative and qualitative). In the first part of the research (qualitative), the agents of the steel chain consumption model were obtained through interviews with experts using theme analysis method. In the second part of the research (quantitative), a questionnaire was used to survey the causal relationships of the factors extracted from the interviews and the thematic analysis method, and then the relationship model was tested by the DEMATEL method. Finally, by using AnyLogic software and coding in Java language, a model of steel supply chain and its consumption was designed through an agent-based approach, and according to the opinion of steel industry experts, the model explanation process was also approved. The combination of agents identified in this study is consistent with the influence of factors on production, consumption, import and export of the steel chain in the proposed structural model.

**Keywords: Supply Chain Management; Steel Chain Consumption; Thematic Analysis Method; DEMATEL Method; Agent Based Modeling.**

---

Received: Jan. 21, 2020; Accepted: Sep. 19, 2020.

\* Professor, Tarbiat Modares University (Corresponding author).

Email: azara@modares.ac.ir

\*\* Ph.D Candidate, University of Tehran.

\*\*\* Associate Professor, University of Tehran.

\*\*\*\* Professor, University of Tehran.

## طراحی مدل زنجیره فولاد و برآورد میزان مصرف با رویکرد مدل‌سازی عامل‌بنیان

عادل آذر\*، مهدی مشایخی\*، مجتبی امیری\*\*، حسین صفری\*\*\*

### چکیده

این پژوهش با هدف ارائه مدلی عامل‌بنیان که بتواند با در نظر گرفتن عوامل کلیدی صنعت فولاد، زنجیره تأمین فولاد را شبیه‌سازی و میزان تولید و مصرف آن را برآورد کند، اجرا شده است. رویکرد پژوهش حاضر آمیخته (کمی و کیفی) است که در این راستا در بخش نخست پژوهش (کیفی) عوامل تعیین‌کننده مدل برآورد میزان مصرف زنجیره فولاد از طریق مصاحبه با خبرگان از روش تحلیل تم به دست آمدند، در بخش دوم پژوهش (کمی) برای درک و بررسی روابط علی و معلولی عوامل استخراج‌شده از مصاحبه‌ها و روش تحلیل تم از پرسشنامه استفاده شده و سپس مدل روابط به روش دیمتل آزمون شده است. در انتها با استفاده از نرم‌افزار AnyLogic و کدگذاری به زبان جاوا مدل برآورد میزان مصرف زنجیره فولاد با رویکرد مدل‌سازی عامل‌بنیان طراحی شد و طبق نظر خبرگان شبیه‌سازی عامل‌بنیان، فرایند تبیین مدل نیز مورد تأیید قرار گرفت. با توجه به نتایج این شبیه‌سازی، مدل ارائه‌شده می‌تواند برآورد مناسبی از آتیه زنجیره تأمین فولاد و میزان مصرف زنجیره را ارائه دهد؛ همچنین ترکیب عامل‌های شناسایی و معرفی‌شده در این پژوهش منطبق بر تأثیر عوامل بر تولید، مصرف، واردات و صادرات زنجیره فولاد در مدل ساختاری است.

**کلیدواژه‌ها:** مدیریت زنجیره تأمین؛ برآورد میزان مصرف زنجیره فولاد؛ روش تحلیل تم؛ روش دیمتل؛ مدل‌سازی عامل‌بنیان.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۱۱/۰۱، تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۶/۲۹.

\* استاد، دانشگاه تربیت مدرس (نویسنده مسئول).

Email: [azara@modares.ac.ir](mailto:azara@modares.ac.ir)

\*\* دانشجوی دکتری، دانشگاه تهران.

\*\*\* دانشیار، دانشگاه تهران.

\*\*\*\* استاد، دانشگاه تهران.

## ۱. مقدمه

محصولات معدنی، همانند محصولات نفتی، پایه تولید و صنعت هر کشوری هستند؛ بنابراین نیاز به مواد معدنی همانند مواد نفتی و حتی در مواردی در جایگاه بالاتر از آن قرار می‌گیرد [۱۱]. ایران از نظر وجود منابع معدنی، از معدود کشورهای است که واجد منابع بسیاری از عناصر موردنیاز بشر در صنایع است. در خصوص صنعت فولاد<sup>۱</sup> با توجه به اینکه کشور ایران صاحب چرخه کامل تولید این محصول استراتژیک است، بیان چشم‌انداز و آینده تولید آن اهمیت بسیاری برای تصمیم‌سازان و سیاست‌گذاران در سطح کلان کشور دارد [۵]؛ بنابراین مدلی که بتواند با در نظر گرفتن عوامل کلیدی در زنجیره تولید فولاد، روند آتی تولید و مصرف این صنعت را توصیف و آینده آن را شبیه‌سازی کند، می‌تواند نقش ارزنده‌ای در کمک به تصمیم‌سازان صنعت فولاد کشور به منظور توسعه زنجیره داشته باشد.

از آنجاکه ساختار زنجیره فولاد پیچیده است، با استفاده مدل‌های خطی نمی‌توان آن را تحلیل کرد و باید از مدل‌های غیرخطی برای مدل‌سازی و شبیه‌سازی آن بهره گرفت [۱۷]. یکی از مهم‌ترین مدل‌های شناسایی‌شده در این زمینه، «سیستم‌های عامل‌بنیان» هستند که مسیری نوآورانه برای مدل‌سازی و مدیریت مشکلات زنجیره تأمین را ایجاد کرده‌اند [۲۰]؛ همچنین ماهیت زنجیره تأمین به‌گونه‌ای است که استفاده از عامل‌ها را ارتقا می‌دهد؛ زیرا هر ذی‌نفع در زنجیره تأمین می‌تواند با یک عامل مستقل مشخص شود و توانایی تعاملات بین ذی‌نفعان در طول زمان در یک محیط پویا و توزیع‌شده در جامعه عامل‌ها توسط مدل‌سازی عامل‌بنیان به‌خوبی نمایش داده می‌شود [۲۶].

بررسی‌های جامعی در حوزه زنجیره تأمین فولاد و مدل‌سازی عامل‌بنیان در داخل و خارج از کشور صورت گرفته است. بیشتر مطالعات و مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی و عامل‌بنیان طراحی‌شده در خصوص سیستم زنجیره تأمین فولاد، صرفاً به بخش‌های برنامه‌ریزی پویا ریخته‌گری و فرزکاری فولاد، ساخت لوله‌های فولادی، تولید فولاد تحت شرایط عدم قطعیت و یا تدوین استراتژی زنجیره تأمین صنعت فولاد توجه کرده‌اند. به‌عبارت‌دیگر بیشتر پژوهش‌ها انجام‌شده صرفاً بخشی از زنجیره تأمین فولاد را مدنظر قرار داده‌اند و رویکردی از پایین به بالا با شناسایی اشیای مهم (عامل‌ها) و رفتار تک‌تک آن‌ها نداشته‌اند. با توجه به بررسی و جست‌وجوی پژوهش‌های انجام‌شده، مشاهده شد که تاکنون هیچ مدل‌سازی عامل‌بنیانی در این حوزه صورت نگرفته و خلأ آن در کشور ایران نمایان است؛ بنابراین ضرورت انجام این پژوهش برای شبیه‌سازی ماهیت پیچیده زنجیره تأمین فولاد در رشد و توسعه اقتصادی کشور اجتناب‌ناپذیر

۱. Steel

است.

هدف از این پژوهش، با در نظر گرفتن مجموع عوامل فوق‌الذکر ارائه مدل عامل بنیان (ABM)<sup>۱</sup> است که بتواند با در نظر گرفتن عوامل کلیدی این صنعت، زنجیره تأمین در صنعت فولاد<sup>۲</sup> را مدل و شبیه‌سازی کند تا بتوان نقش ارزنده‌ای در کمک به تصمیم‌گیران صنعت فولاد کشور به منظور توسعه زنجیره فولاد ایفا کرد. برای مدل‌سازی پرسش‌های زیر مطرح شد:

۱. مفاهیم بنیادی، ابعاد و ویژگی‌های علی مدل زنجیره تأمین صنعت فولاد کشور چیست؟

۲. روابط علی بین عوامل مدل زنجیره تأمین صنعت فولاد کشور به چه صورت است؟

۳. آیا می‌توان این مدل را از طریق رویکرد مدل‌سازی عامل بنیان تصویر و شبیه‌سازی کرد و بر اساس نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌های این مدل، برآورد مناسبی از آتیه زنجیره تأمین فولاد داشت؟

## ۲. مبانی و پیشینه نظری پژوهش

**زنجیره تأمین و مدیریت زنجیره تأمین.** یک زنجیره تأمین کلیه مراحل مستقیم و غیرمستقیم که در تکمیل درخواست (سفارش) مشتری درگیر هستند را شامل می‌شود. زنجیره تأمین فقط مرتبط با سازنده و تأمین‌کننده نیست، بلکه حمل‌ونقل، انبارها، خرده‌فروشی‌ها و حتی خود مشتریان را نیز در برمی‌گیرد [۱۲].

مدیریت زنجیره تأمین رویکرد مهمی در کسب مزیت رقابتی در بازار جهانی است. از زمانی که پژوهشگران مختلف به پژوهش پیرامون مدیریت زنجیره تأمین مبادرت ورزیدند، مبانی نظری گسترده‌ای در این حوزه شکل گرفت [۲۰]. مفهوم مدیریت زنجیره تأمین به فارستر (۱۹۵۸)<sup>۳</sup>، برمی‌گردد که متوجه پویایی در واکنش به تغییرات تقاضا در زنجیره تأمین شد. وی دریافت بی‌نظمی‌هایی که در الگوهای تقاضا در بازار رخ می‌دهد از طریق زنجیره عرضه از مصرف‌کننده به تولیدکننده و از آنجا به تأمین‌کننده مواد اولیه منتقل می‌شود و این‌ها به دلیل وابستگی این اعضا در طی زنجیره است؛ از این رو تلاش هر عضو برای افزایش کارایی به دیگر اعضا در این زنجیره وابسته و محدود می‌شود. پس از آن نیز مطالعات زیادی در حوزه زنجیره تأمین صورت گرفت. در دهه ۱۹۵۰ و ۱۹۶۰ بیشتر تولیدکنندگان برای حداقل‌سازی هزینه تولید، به تولید انبوه به‌عنوان نخستین استراتژی عملیات تأکید داشتند. این در حالی بود که به انعطاف‌پذیری محصول و فرآیند، توجه اندکی می‌شد، توسعه محصولات جدید نیز به‌کندی صورت می‌گرفت و بیشتر بر فناوری و ظرفیت داخلی تأکید می‌شد [۲۷].

در دهه ۱۹۷۰، برنامه‌ریزی منابع تولیدی معرفی شد و مدیران به تأثیر موجودی کار در

۱. Agent Based Modeling  
2. Steel Supply Chain  
3. Forrester

جریان بر هزینه تولید، کیفیت، توسعه محصول جدید و زمان تحویل پی بردند. رقابت جهانی در دهه ۱۹۸۰، سازمان‌های در کلاس جهانی را مجبور کرد تا محصولاتی با هزینه پایین، کیفیت و قابلیت اعتماد بالا همراه با انعطاف‌پذیری بیشتر در طراحی ارائه کنند. تولیدکنندگان از تولید به‌موقع و دیگر ابتکارات مدیریتی برای بهبود کارایی تولید و چرخه کاری استفاده کردند. تکامل زنجیره تأمین در دهه ۱۹۹۰ ادامه یافت و سازمان‌ها تلاش کردند تا الگوبرداری را در مدیریت منابع شرکت گسترش دهند و تأمین‌کنندگان استراتژیک و کارکرد لجستیک را در زنجیره ارزش وارد کنند. [۲۷]. در اواخر سال ۱۹۹۰ والتون و میلر<sup>۱</sup> اظهار داشتند که ادغام استراتژیک اعضای تجاری، مفهوم مدیریت زنجیره تأمین را می‌سازد [۳۵].

پژوهشگران مختلف نگرش‌ها و تعاریف متفاوتی را از زنجیره تأمین و مدیریت زنجیره تأمین ارائه کرده‌اند که در این میان نیو و پین<sup>۲</sup> (۱۹۹۵)، مدیریت زنجیره تأمین را به‌عنوان زنجیره‌ای در نظر گرفتند که همه فعالیت‌های مرتبط با جریان کالا و تبدیل مواد، از مرحله تهیه ماده اولیه تا مرحله تحویل کالای نهایی به مصرف‌کننده را شامل می‌شود [۲۵]. باتز و اسلک<sup>۳</sup> (۱۹۹۸)، مدیریت زنجیره تأمین را بیشتر گسترش دادند و تکرار مجدد این چرخه و استفاده مجدد از محصولات را به آن اضافه کردند [۷].

**مدل‌سازی عامل‌بنیان.** مدل‌سازی عامل‌بنیان یک روش شبیه‌سازی است که مطالعه سیستم‌های پیچیده و پویایی را که از تعداد بالایی از بازیگران ناهمگن تشکیل شده‌اند را تسهیل می‌کند که چنین سیستم‌هایی را نمی‌توان از طریق سایر مدل‌های شبیه‌سازی، تحلیل کرد [۱۰]. در مقایسه با سایر روش‌های مدل‌سازی، مدل‌سازی عامل‌بنیان جدیدتر است؛ به‌گونه‌ای که تا اوایل دهه ۲۰۰۰، صرفاً یک مفهوم علمی بدون کاربرد واقعی محسوب می‌شد. کاربرد این روش مدل‌سازی بین سال‌های ۲۰۰۲ و ۲۰۰۳ توسط پژوهشگران آغاز شد و دلایل آن عبارت بودند از: - احساس نیاز به اشراف با عمق بیشتر در رفتار سیستم‌ها که در دو روش قبلی میسر نبود؛ - توسعه و پیشرفت در تکنیک‌های مدل‌سازی برگرفته از علوم رایانه‌ای نظیر مدل‌سازی شی‌گرا، UML و نمودارهای حالت.

رشد سریع در قدرت پردازشگری CPUها و حافظه‌های رایانه‌ای یکی دیگر از دلایل بوده است. مدل‌های عامل‌بنیان به سرعت پردازش و حافظه بیشتری نسبت به دو رقیب سنتی خود نیاز دارند. برای این روش مدل‌سازی نیز یک زبان استاندارد وجود ندارد، ساختار عامل‌بنیان بر پایه‌ی ویرایشگرهای گرافیکی یا دستورات مرتبط است که در نرم‌افزار مربوطه تعریف شده‌اند. رفتار

۱. Walton & Miller

۲. New & Payne

۳. Bates & Slack

عامل‌ها با روش‌های متفاوتی قابل تشخیص است.

**عامل در مدل‌سازی عامل‌بنیان.** همه دانشمندان در زمینه توسعه و به‌کارگیری شاخه هوش مصنوعی با نام «عامل» موافق هستند؛ اما در تعریف عامل مباحث و مناقشات زیادی وجود دارد. تنها یک اجماع عمومی وجود دارد و آن این است که استقلال بحث مرکزی و قابل قبول برای همه در مفهوم عامل است [۳۶]. تا حدی که برخی معتقدند هر نوع جزء مستقل (نرم‌افزار، فرد و غیره) را می‌توان به‌عنوان عامل در نظر گرفت [۸].

یک عامل یک سیستم رایانه‌ای است که در محیطی قرار داده می‌شود و توانایی کنش مستقل در محیط به‌منظور رسیدن به اهداف تعبیه‌شده را دارد [۲۲]. بیان اینکه عامل‌ها موجودیت‌های رایانه‌ای هستند، به این معنی است که آن‌ها به‌صورت فیزیکی در قالب برنامه‌هایی هستند که بر روی سیستم‌های محاسباتی اجرا می‌شوند.

به هر چیزی که بتواند محیط خود را از طریق حس‌گرها درک کرده و به‌طور مستقل از طریق محرک‌ها بر روی آن محیط کنش کند، عامل می‌گویند [۲۸].

همان‌طوری که در این دو تعریف مهم در زمینه عامل دیده می‌شود، استقلال، بحث قابل قبول برای هر دوی آن‌ها و همچنین در دیگر تعاریف در این زمینه است و بدین معنی است که عامل این توانایی را دارد که بدون دخالت انسان و یا دیگر سیستم‌ها عمل کند. بدین صورت که عامل بر اساس وضعیت درونی و رفتار خود تصمیم نهایی را درباره کنش مناسب گرفته و عمل می‌کند [۳۶].

**سیستم‌های چندعامله.** در مدل‌سازی عامل‌بنیان چنانچه یک عامل منفرد قادر به حل مشکلات سیستم نباشد از سیستم چندعامله (MAS)<sup>۱</sup> استفاده می‌شود که متشکل از چندین عامل هوشمند در تعامل با یکدیگر است. در این زمینه، عوامل مختلف با هم کار و تعامل می‌کنند تا برخی از کارها را به انجام برسانند. همه عوامل از توانایی و دانش خود برای تقویت ظرفیت حل مسئله کل سیستم برنامه‌ریزی استفاده می‌کنند [۲۱]. سیستم‌های عامل‌بنیان چندگانه از مکانیسم‌هایی همچون هوش مصنوعی توزیع‌شده، محاسبات توزیع‌شده، نظریه شبکه اجتماعی، علوم شناختی و پژوهش‌های عملیاتی بهره می‌برند [۲۹]. با توجه به تعاریف بالا، فرآیند تولید زنجیره فولاد متشکل از چندین عامل هوشمند در تعامل با یکدیگر است و مدل‌سازی مبتنی بر سیستم‌های چندعامله خواهد بود.

**مدل‌سازی عامل‌بنیان و زنجیره تأمین فولاد.** فناوری تولید فولاد ماهیت پیچیده (چندمرحله

۱. MultiAgentSystems

ای، فازی و فیزیکی) دارد و شامل گستره وسیعی از فرایندها با اهداف و محدودیت‌های بسیار متفاوت است که کم‌توجهی در هر مرحله سبب بروز مشکلات در سایر مراحل می‌شود؛ از این رو برنامه‌ریزی تولید در صنعت فولاد به‌عنوان یک برنامه زمان‌بندی پیچیده صنعتی شناخته شده است [۱۴، ۳۳]. مؤلفه‌های زیادی در زنجیره تأمین فولاد وجود دارند که به‌طور پویا با یکدیگر و محیط خارج از سیستم در تعامل هستند و تغییرات کمی در یک مؤلفه می‌تواند عواقب بسیار زیادی برای زنجیره به همراه داشته باشد. این بدان مفهوم است که رفتار هر مؤلفه، تابع رفتار دیگر مؤلفه‌ها است که موجب پیچیدگی بررسی زنجیره می‌شود و نمی‌توان به‌سادگی آن را مدل کرد [۳۲]؛ بنابراین در سناریوهایی که نیاز به حل مسائل پیچیده یا کنترل سیستم‌های پیچیده دارند، تجزیه تصمیم‌گیری به استدلال عوامل<sup>۱</sup> و حل مشکلات از طریق مذاکره به‌عنوان نوع خاصی از حل مسئله اکتشافی درک می‌شود و رفتار کلی سیستم برآیند رفتار تک‌تک عامل‌ها است؛ در نتیجه مدل مناسب پژوهش حاضر عامل‌بنیان است.

**پیشینه تجربی پژوهش.** مدل‌سازی عامل‌بنیان در صنعت فولاد و زنجیره تأمین فولاد تاکنون انجام نشده است. افشار کاظم و همکاران (۱۳۸۸)، پژوهشی با عنوان «تدوین استراتژی زنجیره تأمین صنعت فولاد ایران با استفاده از تحلیل پویایی سیستم‌ها» انجام دادند که در آن متغیرهای اصلی زنجیره شناسایی و روابط آن‌ها در قالب حلقه‌های علی تدوین شد [۲]. آذر و صادقی (۱۳۹۱)، روش‌های کلاسیک حل مسئله و روش عامل‌بنیان را بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که مدل‌سازی عامل‌بنیان، ابزاری قدرتمند برای حل مسائل پیچیده است [۳]. وکیلی‌فرد و همکاران (۱۳۹۳)، در پژوهش خود به این نتیجه رسیدند که رویکرد مدل‌سازی مبتنی بر عامل در کنار پارادایم مالی کلاسیک و رفتاری باعث افزایش دقت و کارآمدی در مطالعات مربوط به بازارهای مالی شده است [۳۴]. قلعه‌بان (۱۳۹۴)، مدلی برای پشتیبانی تصمیم‌گیری مسائل منابع آب حاصل ارائه کرد [۱۸]. آذر و کولیایی (۱۳۹۵)، یک مدل ریاضی زنجیره تأمین حلقه‌بسته که تصمیم‌سازی را در زمینه تعیین تعداد قطعات، ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان کاراتر می‌سازد را ارائه دادند [۲]. آذر و نائینی (۱۳۹۵)، مدلی فازی برای رتبه‌بندی و تعیین مقدار سفارش از تأمین‌کنندگان شرکت مورد مطالعه ارائه دادند [۴]. بافنده زنده و دانای نعمت‌آباد (۱۳۹۵)، به بررسی خصوصیات عامل‌های مصرف‌کننده به‌صورت منحصربه‌فرد در ساختاری از یک شبکه اجتماعی پرداختند و تأثیر شبکه بر رفتار فرد مطالعه کردند [۶].

در پژوهش کولینگ<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۰۳) با عنوان معماری چندعامله برای برنامه‌ریزی پویا نورد گرم فولاد<sup>۳</sup>، هر فرآیند در محیط تولید فولاد به یک عامل اختصاص داده شده است که

۱. Agent

۲. Cowling

به‌طور مستقل برنامه‌ریزی پویا خود را در سطح محلی با استفاده از یک روش بهینه‌سازی فرا اکتشافی از طریق الگوریتم جست‌وجوی ممنوعه<sup>۱</sup> انجام می‌دهد [۱۳]. کولینگ و همکاران (۲۰۰۴)، برنامه‌ریزی پویا ریخته‌گری و فرزکاری فولاد با استفاده از مدل‌سازی چندعامله را انجام دادند. معماری چندعامله پیشنهادی شامل مجموعه‌ای از عوامل ناهمگن بود که هر یک با استفاده از روش‌های بهینه‌سازی مختلف برای حل مشکلات با اهداف مختلف، برنامه محلی را تولید می‌کردند [۱۵]. فیشر و ژاکوبی<sup>۲</sup> (۲۰۰۷) در پژوهشی با عنوان «فناوری‌های چندعامله برای تولید و کنترل فولاد»، معماری چندعامله در یک سیستم نرم‌افزاری ارائه دادند که از طریق آن وضعیت واقعی سیستم بررسی شده و عدم قطعیت‌های زیادی که در حین تولید به‌وجود می‌آید را تشخیص داده و به بهینه‌سازی تولید تحت این شرایط می‌پردازد [۱۹]. ماسیول و رویاس<sup>۳</sup> (۲۰۰۸)، مدل‌سازی و شبیه‌سازی مبتنی بر عامل برای پیش‌بینی رفتار بازار محصولات فولادی با استفاده از روش فازی AHP را ارائه دادند [۲۴]. سرینیواسان و کومار<sup>۴</sup> (۲۰۱۰)، یک مدل چندعاملی ارائه دادند که بخشی از مدل مربوط به فعالیت خرید و سایر بخش‌های مدل مربوط به فرآیند برنامه‌ریزی و فعالیت‌های برنامه زمان‌بندی برای فهرست مواردی است که تولید می‌شوند [۳۱]. یامامورا<sup>۵</sup> و همکاران (۲۰۱۲)، چندین نمونه تحلیل عددی در فناوری فولادسازی که در سال‌های اخیر با توسعه سخت‌افزار/ نرم‌افزار رایانه‌ای پیچیده‌تر شده است را بررسی کردند. از روش تفکیک ذرات که در گذشته کاربرد کمی داشت، اکنون برای حل مشکلات استفاده می‌شود [۳۷]. جرسی<sup>۶</sup> و همکاران (۲۰۱۵)، مدلی برای سیستم حمل‌ونقل با استفاده از روش پویایی سیستم‌ها و روش مدل‌سازی عامل بنیان ارائه کردند [۱۶].

با جست‌وجو و مطالعه پیشینه پژوهشی در حوزه زنجیره تأمین فولاد و مدل‌سازی عامل بنیان در داخل و خارج کشور، پژوهشی در این حوزه یافت نشد؛ بنابراین ضرورت انجام این پژوهش برای شبیه‌سازی ماهیت پیچیده زنجیره تأمین فولاد در رشد و توسعه اقتصادی کشور اجتناب‌ناپذیر است.

### ۳. روش‌شناسی پژوهش

رویکرد پژوهش حاضر آمیخته (کمی و کیفی) است. در این راستا در بخش نخست پژوهش (کیفی) که مربوط به شناخت عوامل تعیین‌کننده مدل برآورد میزان مصرف زنجیره فولاد با

۱. Tabu Search

۲. Fischer & Jacobi

۳. Maciol & Rębiasz

۴. Srinivasan & Kumar

۵. Yamamura

۶. Jerzy

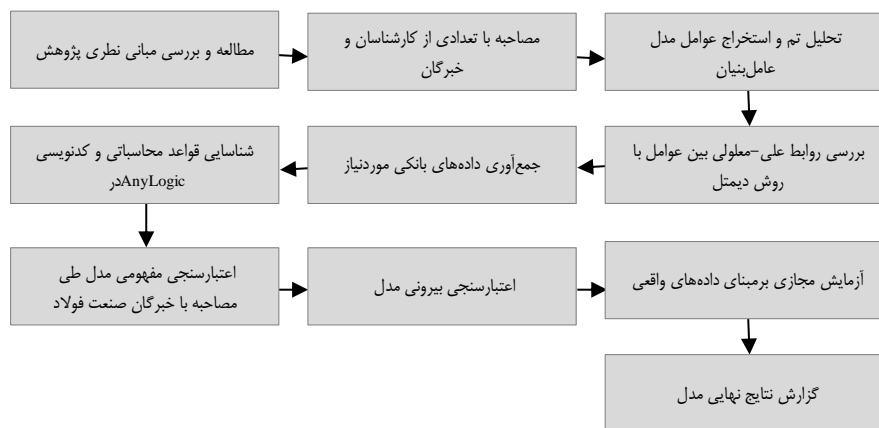


رویکرد مدل‌سازی عامل‌بنیان در صنعت فولاد ایران است از روش تحلیل تم برای تحلیل مصاحبه استفاده می‌شود. در راستای افزایش تعمیم‌پذیری و آزمون مدل در بخش دوم پژوهش نیز (کمی) از روش دیمتل برای بررسی روابط ساختاری مدل استخراج‌شده استفاده خواهد شد [۱]. در انتها مدل برآورد میزان مصرف زنجیره فولاد با استفاده از رویکرد مدل‌سازی عامل‌بنیان طراحی می‌شود.

با توجه به اینکه در این پژوهش، مقصود دست‌کاری داده‌ها در محیط صنعت فولاد ایران نیست و وضعیت موجود مطالعه می‌شود، پژوهش از منظر شیوه گردآوری داده‌ها «توصیفی-غیرآزمایشی» محسوب می‌شود.

اجرا و راه‌اندازی مدل در دو سطح دستورات پیش‌پردازش و پس‌پردازش صورت گرفته است. در دستورات پیش‌پردازش پارامترهای ورودی مختلف و همچنین دوره زمانی مدنظر برای اجرای شبیه‌سازی به‌منظور اعتبارسنجی مدل در نرم‌افزار AnyLogic تنظیم شد. در سطح پس‌پردازش برای اجرای شبیه‌سازی کلیه متغیرهای ورودی و خروجی منطبق با زنجیره فولاد و نحوه تعامل عامل‌های مختلف در نرم‌افزار کدنویسی شدند.

برای بررسی اعتبار مفهومی مدل، نظر ۵ نفر از کارشناسان و خبرگان صنعت فولاد طی مصاحبه حضوری دریافت شد و پس از انجام اصلاحات لازم، مورد تأیید قرار گرفت؛ سپس طبق نظر ۲ نفر از خبرگان شبیه‌سازی عامل‌بنیان، فرایند تبیین مدل نیز تأیید شد. روند کلی فرآیند انجام پژوهش مطابق شکل ۱، است.



شکل ۱. فرآیند انجام پژوهش

#### ۴. تحلیل داده‌ها و یافته‌های پژوهش

نتایج حاصل از تحلیل تم: برای شناسایی عوامل موقعیتی احتمالی مدل عامل‌بنیان صنعت

فولاد ایران، در این پژوهش از تحلیل تم استفاده شد. از آنجاکه مدل عامل بنیان صنعت فولاد ایران مدلی چندعاملی است، می‌تواند تحت تأثیر شرایط موقعیتی تغییر کند؛ بدین منظور از تحلیل تم استفاده شده است. هدف از تحلیل تم پاسخ به این سؤال است که عوامل، روابط و ساختار مدل عامل بنیان صنعت فولاد ایران کدام هستند؟ برای پاسخ به این سؤال از تکنیک مصاحبه استفاده شد. پس از انجام ۵ مصاحبه اشباع نظری به دست آمد و کُد جدیدی شناسایی نشد؛ بنابراین در مجموع ۵ مصاحبه به منظور انجام تحلیل تم صورت گرفت.

پس از شناسایی کدها و تلفیق کدهای مشابه و جست‌وجوی تم‌ها و مضمون (تم)، مدل روش دلفی به صورت جدول ۱، استخراج شد.

جدول ۱. مدل استخراج شده از روش دلفی

مضمون (تم)	کدها
عامل	مصرف کننده فولاد
	تولید کننده فولاد خام
	تولید کننده آهن اسفنجی
	تولید کننده گندله
	تولید کننده کنستانتره
	استخراج کننده سنگ آهن
	دولت
	صادرات سنگ آهن
	صادرات کنستانتره
	صادرات گندله
متغیر	صادرات آهن اسفنجی
	صادرات فولاد اسفنجی
	کنترل حد صادرات
	ارسال درخواست واردات مصرف کننده فولاد
	ارسال درخواست واردات تولید کننده فولاد خام
	ارسال درخواست واردات آهن اسفنجی
	ارسال درخواست واردات تولید کننده گندله
	ارسال درخواست واردات تولید کننده کنستانتره
	انجام واردات فولاد به میزان کسری
	انجام واردات آهن اسفنجی به میزان کسری
انجام واردات گندله به میزان کسری	
انجام واردات کنستانتره به میزان کسری	
انجام واردات سنگ آهن به میزان کسری	
زیرساخت آب و گاز و برق	

نتایج حاصل از روش دیمتل: در این بخش برای بررسی روابط علی و معلولی عوامل استخراج‌شده از مصاحبه‌ها و روش تحلیل تم، با استفاده از پرسشنامه از ۵ نفر از خبرگان صنعت فولاد ایران نظرسنجی شد.

ماتریس روابط کلی با نمایش روابط انتخاب‌شده مطابق جدول ۲، است.

جدول ۲. ماتریس روابط کلی با نمایش روابط انتخاب‌شده

T	مصرف کننده فولاد	تولیدکننده فولاد خام	تولیدکننده آهن اسفنجی	تولیدکننده گندله	تولیدکننده کنستاتره	استخراج کننده سنگ آهن	دولت
مصرف کننده فولاد	-/۱۳۴۵	-/۱۸۲۹	-/۱۷۹۷	-/۱۸۰۰	-/۱۸۰۲	-/۱۷۰۳	۰/۳۵۶۶
تولیدکننده فولاد خام	۰/۳۳۵۲	-/۱۶۹۴	-/۲۱۱۸	-/۲۲۷۸	-/۲۱۸۷	-/۱۹۹۸	۰/۴۱۵۳
تولیدکننده آهن اسفنجی	-/۲۳۱۷	۰/۳۴۷۳	-/۱۷۲۷	-/۲۲۱۲	-/۲۳۷۹	-/۲۳۰۳	۰/۴۲۶۵
تولیدکننده گندله	-/۲۲۴۶	-/۲۵۳۰	۰/۳۵۰۶	-/۱۸۰۴	-/۲۳۴۸	-/۲۸۱۸	۰/۴۳۶۳
تولیدکننده کنستاتره	-/۲۲۱۵	-/۲۲۸۴	-/۲۲۹۷	۰/۳۴۰۳	-/۱۷۰۷	-/۲۱۱۰	۰/۴۲۱۲
استخراج کننده سنگ آهن	-/۱۷۲۵	-/۱۹۳۴	-/۱۸۸۸	-/۱۸۷۲	۰/۲۹۷۷	-/۱۱۸۲	۰/۲۷۵۳
دولت	۰/۴۲۹۶	۰/۴۳۹۷	-/۴۳۲۱	-/۴۳۲۷	۰/۴۳۳۳	۰/۴۰۹۵	۰/۱۰۹۳

مدل مفهومی پژوهش. ماتریس روابط کلی در مدل مفهومی شکل ۲، مشاهده می‌شود و در آن روابط بین عوامل و متغیرها به وضوح مشخص است.

در این مدل هفت نوع عامل اصلی وجود دارد که عبارت‌اند از: عامل استخراج‌کنندگان سنگ آهن<sup>۱</sup>؛ عامل تولیدکننده‌های کنستاتره<sup>۲</sup>؛ عامل تولیدکننده‌های گندله<sup>۳</sup>؛ عامل تولیدکننده‌های آهن اسفنجی<sup>۴</sup>؛ عامل تولیدکننده‌های فولاد<sup>۵</sup>؛ عامل دولت<sup>۶</sup> و عامل مصرف‌کننده<sup>۷</sup>.

تولیدکننده کنستاتره: این تولیدکننده با یک ظرفیت ماهانه و یک انحراف از تولید ماهانه نسبت

۱. Extractions

۲. Concentrate Producers

۳. Pellet Producer

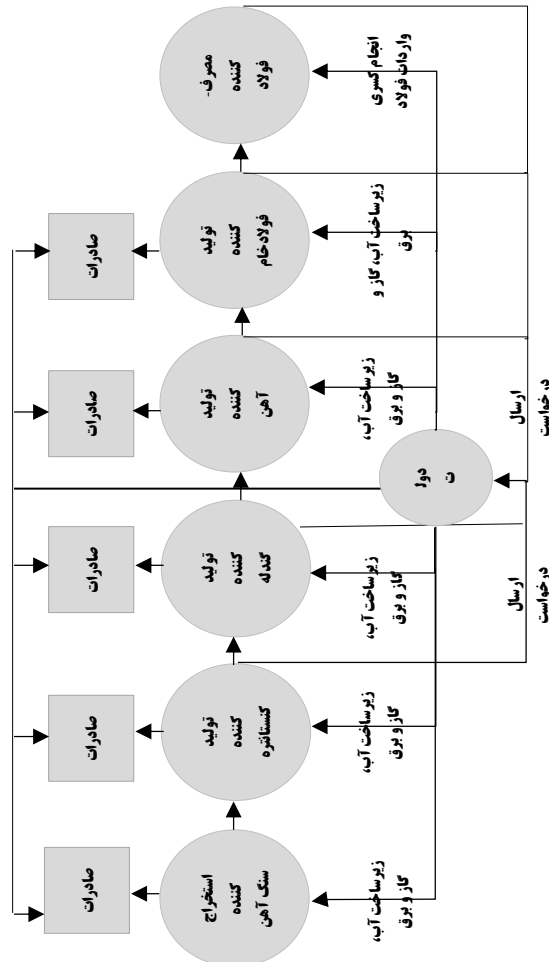
۴. Sponge Producer

۵. Steel Producer

۶. Government

۷. Consumer

به تولید کنسانتره اقدام می‌کند. این عامل بر اساس مطلوبیتی که برای صادرات کنسانتره وجود دارد، بخشی از تولیدات خود را صادر و مواد اولیه موردنیاز برای عامل‌های گندله‌سازی را تأمین می‌کند؛ همچنین برای تولید کنسانتره به آب، گاز و برق نیاز است که عامل دولت وظیفه تأمین این زیرساخت‌ها را بر عهده دارد.



شکل ۲. مدل مفهومی پژوهش

تولیدکننده گندله: این عامل با استفاده از محصولات عامل‌های تولید کنسانتره نسبت به تولید گندله اقدام می‌کند و بر اساس یک ظرفیت ماهانه و یک انحراف از تولید ماهانه فرآیند تولید را انجام می‌دهد و برای این تولید، به آب، گاز و برق نیاز است که توسط عامل دولت تأمین می‌شود؛ همچنین بر اساس مطلوبیتی که برای صادرات گندله وجود دارد، بخشی از تولیدات به صادرات تخصیص داده می‌شود. در صورتی که عامل‌های تولیدکننده گندله برای تولید موردنظر

به میزان کافی از کنسانتره دسترسی نداشته باشند یا به عبارت دیگر در بازار وجود نداشته باشد، به عامل دولت میزان کنسانتره موردنیاز را اعلام می‌کنند تا عامل دولت نسبت به واردات کنسانتره اقدام کند.

*تولیدکننده آهن اسفنجی:* این تولیدکننده با یک ظرفیت ماهانه و یک انحراف از تولید ماهانه نسبت به تولید آهن اسفنجی اقدام می‌کند و بر اساس یک ظرفیت ماهانه و یک انحراف از تولید ماهانه فرآیند تولید را انجام می‌دهد و برای این تولید، به آب، گاز و برق نیاز است که توسط عامل دولت تأمین می‌شود؛ همچنین بر اساس مطلوبیتی که برای صادرات آهن اسفنجی وجود دارد، بخشی از تولیدات به صادرات تخصیص داده می‌شود. در صورتی که عامل‌های تولیدکننده آهن اسفنجی برای تولید موردنظر به میزان کافی از گندله دسترسی نداشته باشند یا به عبارت دیگر در بازار وجود نداشته باشد، به عامل دولت میزان گندله موردنیاز را اعلام می‌کنند تا عامل دولت نسبت به واردات گندله اقدام کند.

*تولیدکننده فولاد خام:* این تولیدکننده با یک ظرفیت ماهانه و یک انحراف از تولید ماهانه نسبت به تولید فولاد خام اقدام می‌کند و بر اساس یک ظرفیت ماهانه و یک انحراف از تولید ماهانه فرآیند تولید را انجام می‌دهد و برای این تولید، به آب و گاز و برق نیاز است که توسط عامل دولت تأمین می‌شود؛ همچنین بر اساس مطلوبیتی که برای صادرات فولاد خام وجود دارد، بخشی از تولیدات به صادرات تخصیص داده می‌شود. در صورتی که عامل‌های تولیدکننده فولاد خام برای تولید موردنظر به میزان کافی از آهن اسفنجی دسترسی نداشته باشند یا به عبارت دیگر در بازار وجود نداشته باشد، به عامل دولت میزان آهن اسفنجی موردنیاز را اعلام می‌کنند تا عامل دولت نسبت به واردات آهن اسفنجی اقدام کند.

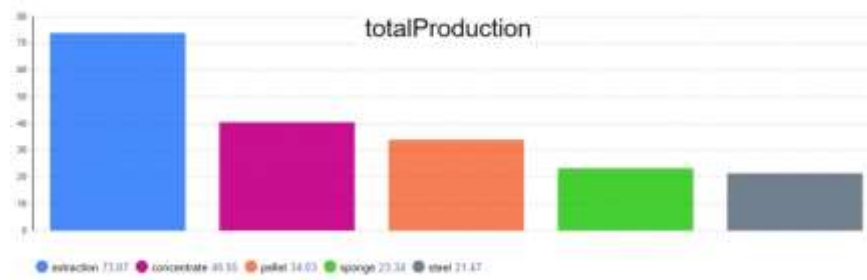
*مصرف‌کننده فولاد:* این عامل بر اساس تقاضایی که در بخش‌های مختلفی مانند ساختمانی، کشتی‌سازی، نفت و گاز، خودروسازی و غیره وجود دارد، فولاد خام تولیدی را مصرف می‌کند. در صورتی که تقاضای این عامل بیش از ظرفیت تولید فولاد خام توسط عامل‌های تولیدکننده فولاد خام باشد، میزان تقاضای موردنیاز به عامل دولت اعلام می‌شود تا عامل دولت نسبت به واردات فولاد خام اقدام کند.

*دولت:* این عامل وظیفه واردات تعیین حدهای مربوط به صادرات و تولید و تأمین زیرساخت‌های آب، گاز و برق موردنیاز برای تولید واحدهای تولیدی را بر عهده دارد. در صورتی که آب، برق و گاز موردنیاز توسط عامل دولت تأمین نشود، واحدهای تولیدی تولید خود را متوقف می‌کنند.

**نتایج حاصل از مدل‌سازی عامل‌بنیان:** در این مدل‌سازی با در دست داشتن داده‌های واقعی تولید، واردات، صادرات و میزان مصرف آب، گاز و برق طی سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۷ و ثبت آن‌ها در نرم‌افزار AnyLogic وضعیت متغیرهای خروجی در سال‌های یادشده و روند تغییرات آن‌ها در

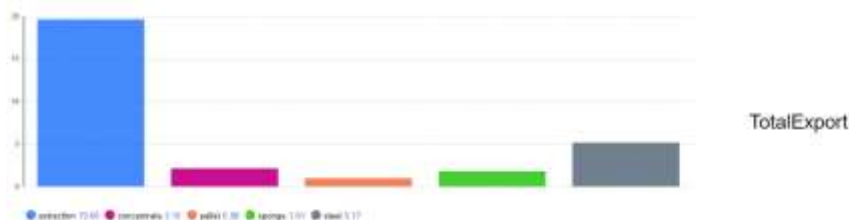
سال‌های آتی شبیه‌سازی شد.

بر اساس آخرین گزارش پایش طرح جامع فولاد خردادماه سال ۱۳۹۷ اطلاعات تولید زنجیره فولاد برابر است با: ۷۴ میلیون تُن سنگ آهن؛ ۳۹ میلیون تُن کنستانتره؛ ۳۴ میلیون تُن گندله؛ ۲۳ میلیون تُن آهن اسفنجی و ۲۲ میلیون تُن فولاد خام. اطلاعات تولید به‌دست‌آمده زنجیره فولاد از طریق مدل‌سازی عامل‌بنیان که دقیقاً مشابه گزارش جامع فولاد کشور است، در نمودار ۱، مشاهده می‌شود.



نمودار ۱. تولید کل زنجیره فولاد بر اساس مدل عامل‌بنیان مطابق با آخرین آمار سال ۱۳۹۷

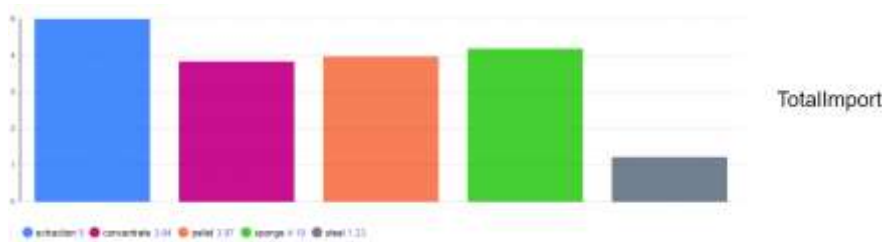
بر اساس آخرین گزارش پایش طرح جامع فولاد خردادماه سال ۱۳۹۷، اطلاعات صادرات زنجیره فولاد برابر است با: حدود ۶ میلیون تُن فولاد خام؛ حدود ۲۰ میلیون تُن سنگ آهن؛ حدود ۱ میلیون تُن آهن اسفنجی؛ حدود ۶ میلیون تُن کنستانتره و حدود ۰/۵ میلیون تُن گندله. اطلاعات صادرات به‌دست‌آمده زنجیره فولاد از طریق مدل‌سازی عامل‌بنیان که دقیقاً مشابه گزارش جامع فولاد کشور است، در نمودار ۲، مشاهده می‌شود.



نمودار ۲. صادرات کل زنجیره فولاد بر اساس مدل عامل‌بنیان مطابق با آخرین آمار سال ۱۳۹۷

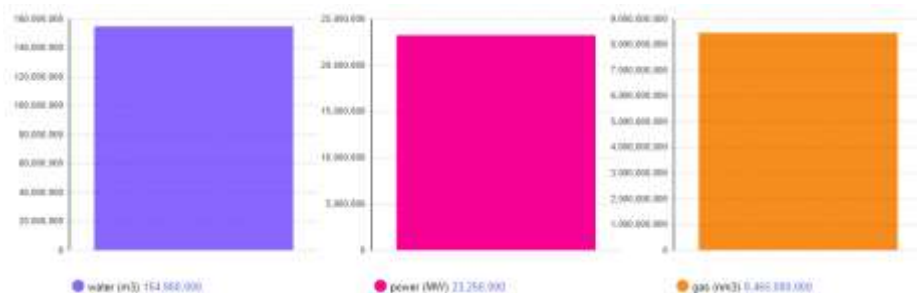
بر اساس آخرین گزارش پایش طرح جامع فولاد خردادماه سال ۱۳۹۷ اطلاعات واردات زنجیره فولاد برابر است با: حدود ۱ میلیون تُن فولاد خام؛ حدود ۳ میلیون تُن سنگ آهن؛ حدود ۲ میلیون تُن آهن اسفنجی؛ حدود ۱ میلیون تُن کنستانتره و حدود ۳ میلیون تُن گندله. اطلاعات واردات به‌دست‌آمده زنجیره فولاد از طریق مدل‌سازی عامل‌بنیان که دقیقاً مشابه

گزارش جامع فولاد کشور است، در نمودار ۳ مشاهده می‌شود.



نمودار ۳. واردات کل زنجیره فولاد بر اساس مدل عامل بنیان مطابق با آخرین آمار سال ۱۳۹۷

میزان مصرف آب، گاز و برق نیز با توجه به آمار سال ۱۳۹۷ به ترتیب برابر با ۲۰۰ مترمکعب آب، ۲۳۶۰۰۰۰۰ مگاوات برق و ۸۰۰۰۰۰۰۰۰ نیوتن مترمکعب گاز بوده است. اطلاعات مصرف آب، گاز و برق به دست آمده زنجیره فولاد از طریق مدل سازی عامل بنیان که دقیقاً مشابه گزارش جامع فولاد کشور است، در نمودار ۴، مشاهده می‌شود.



نمودار ۴. مصرف کل آب، گاز و برق زنجیره فولاد بر اساس مدل عامل بنیان مطابق با آخرین آمار سال ۱۳۹۷

## ۵. نتیجه گیری و پیشنهادها

برای پاسخگویی به سؤال‌های پژوهش، فرایندی منظم و مشخص مطابق شکل ۱، صورت گرفت. بر اساس اهداف و با در نظر گرفتن فرایند انجام پژوهش، یافته‌های پژوهش در دو زمینه بررسی شدند: شناسایی عامل‌های زنجیره تأمین فولاد و روابط میان آن‌ها از طریق تحلیل تم و دیمتل و مدل سازی عامل بنیان زنجیره تأمین فولاد در قالب یک مدل جامع کاربردی با استفاده از نرم افزار AnyLogic.

از طریق تحلیل تم به سؤال عوامل، روابط و ساختار مدل عامل بنیان صنعت فولاد ایران کدام هستند، پاسخ داده شد و برای پاسخ به این سؤال از روش مصاحبه استفاده گردید. پس از انجام ۵ مصاحبه اشباع نظری به دست آمد و کُد جدیدی شناسایی نشد. در نهایت مطابق با جدول ۱، عوامل چندگانه استخراج کننده سنگ آهن، تولید کننده کنستانتیره، تولید کننده گندله، تولید کننده

آهن اسفنجی و تولیدکننده فولاد خام و عوامل یگانه مصرف‌کننده نهایی و دولت در زنجیره تأمین و متغیرهای مرتبط با آن‌ها به‌دست آمد.

روابط علی و معلولی عوامل استخراج‌شده از مصاحبات و روش تحلیل تم از روش دیمتل با نظرسنجی از ۵ نفر از خبرگان صنعت فولاد ایران به‌دست آمد و به سؤال روابط علی بین عوامل مدل زنجیره تأمین صنعت فولاد کشور به چه صورت است، پاسخ داده شده و متعاقباً مدل مفهومی پژوهش در شکل ۲، ترسیم شد. با توجه به مدل، هر یک از عوامل تولیدکننده‌های کنستانتتره، عامل تولیدکننده‌های گندله، عامل تولیدکننده‌های آهن اسفنجی، عامل تولیدکننده‌های فولاد به‌ترتیب ماده اولیه تولید زنجیره بعدی خود هستند و میزان مازاد و یا کمبود هر یک برای واردات و یا صادرات به عامل دولت گزارش می‌شود. میزان واردات و صادرات عامل انتهایی زنجیره که فولاد خام است، به‌عنوان خروجی نهایی زنجیره توسط عامل مصرف‌کننده به عامل دولت گزارش می‌شود. میزان آب، گاز و برق مصرفی نیز که هر ساله توسط عامل دولت به تولید فولاد خام تخصیص داده می‌شود در هر حلقه از زنجیره در نظر گرفته شد.

درنهایت زنجیره تأمین فولاد از طریق شبیه‌سازی عامل‌بنیان مدل شد. بدین‌صورت که هر یک از ۷ عوامل و روابط آن‌ها در مدل مفهومی با استفاده از زبان برنامه‌نویسی جاوا و فرمول‌های ریاضی در نرم‌افزار AnyLogic کدگذاری شدند و با در دست داشتن داده‌های واقعی تولید، واردات، صادرات و میزان مصرف آب، گاز و برق طی سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۷ و ثبت آن‌ها در نرم‌افزار AnyLogic، وضعیت متغیرهای خروجی در سال‌های یادشده و روند تغییرات آن‌ها در سال‌های آتی شبیه‌سازی شد.

نتایج شبیه‌سازی مطابق نمودارهای ۱ تا ۴، دقیقاً مطابق با آمار سال ۱۳۹۷ گزارش جامع فولاد کشور بود و بنابراین به‌خوبی به سؤال پژوهش که آیا می‌توان این مدل را از طریق رویکرد مدل‌سازی عامل‌بنیان تصویر و شبیه‌سازی کرد و بر اساس نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌های این مدل، برآورد مناسبی از آتیه زنجیره تأمین فولاد داشت، پاسخ داده شد.

مدیران و تصمیم‌سازان صنعت فولاد با استفاده از این مدل طراحی‌شده می‌توانند اثرات زیر را بررسی کنند:

- تأثیر تغییر ظرفیت کارخانه‌ها در تولید؛
- تأثیر تأسیس و یا حذف کارخانه‌ها در تولید؛
- تأثیر سیاست‌های دولت در کاهش و یا افزایش واردات زنجیره فولاد و تأثیر مستقیم آن بر تولید زنجیره؛
- تأثیر سیاست‌های دولت در افزایش و یا کاهش صادرات زنجیره فولاد و تأثیر مستقیم آن بر تولید زنجیره؛



- تأثیر سیاست‌های دولت در تخصیص آب، گاز و برق به صنعت فولاد و تأثیر مستقیم آن بر تولید زنجیره؛

- پیش‌بینی‌های آینده تولید و میزان واردات و صادرات از طریق تغییر در مصرف کل فولاد خام؛  
- تأثیر افزایش تقاضای سالانه بر روند تولید و واردات و صادرات.

**پیشنهاد‌های پژوهشی.** پیشنهاد‌های زیر به‌منظور تداوم مسیر مطالعه حاضر به واحدهای پژوهشی فولادی و سایر صنایع مشابه و نیز پژوهشگران دانشگاهی ارائه می‌شود:  
- ترکیب مدل عامل‌بنیان با رویکردهای دیگر شبیه‌سازی، مانند سیستم‌های پویا برای تحلیل سطح کلان سیاست‌گذاری صنعت فولاد؛

- مدل‌سازی فرآیند داخلی تولید هر یک از عامل‌ها با رویکرد شبیه‌سازی گسسته پیشامد؛

- مدل‌سازی فرآیند تولید فولاد خام به روش کوره‌بلند و ترکیب آن با روش احیای مستقیم؛

- واردکردن عوامل تأثیرگذار دیگر در فرآیند تولید از جمله حمل‌ونقل و فناوری؛

- واردکردن مباحث مربوط به قیمت زنجیره به‌منظور اتخاذ تصمیم‌گیری‌های واردات و صادرات؛

- واردکردن مباحث مربوط به قیمت تمام‌شده آب، گاز و برق به‌منظور اختصاص بهینه منابع.

## منابع

1. Aghaei, Milad, Fazli, zero. (2012). Applying the combined approach of DEMATEL and ANP to select the appropriate maintenance strategy (Case study: Work Vehicle Industry). *Journal of Industrial Management Perspective*, 2(2), 89-107. (In Persian)
2. Afshar Kazem, M.A., Makoei, A., Darman, Z. (2009). Developing the Supply Chain Strategy of Iran Steel Industry Using Systems Dynamics Analysis, *Iranian journal of trade studies*, 13(50), 201-224. (In Persian)
3. Azar, A., & Sadeghi A. (2015). Agent based modeling, a new approach in modeling complex ethical problems. *Ethics in Science. & Technology*, 7(1), 11-19. (In Persian)
4. Azar, A., Abedini Nayini, M. (2015). Designing a hybrid order planning model in the supply chain. Ministry of Science, *Research and Technology - Tarbiat Modarres University*. (In Persian)
5. Azimifard, A., Moosavirad, S. H., & Ariaifar, S. (2018). Selecting sustainable supplier countries for Iran's steel industry at three levels by using AHP and TOPSIS methods. *Resources Policy*, 57, 30-44.
6. Bafandeh, A. & Nemat Abad, N. (2015). Agent-Baesd modeling is the basis of a new approach for analyzing consumer preferences. 4th National Conference on Management, *Economics and Accounting*, Tabriz, East Azarbaijan Industrial Management Organization, Tabriz University. (In Persian)
7. Bates, H., & Slack, N. (1998). What happens when the supply chain manages you?: A knowledge-based response. *European Journal of Purchasing & Supply Management*, 4(1), 63-72.
8. Bonabeau, E. (2002). Agent-based modeling: Methods and techniques for simulating human systems. *Proceedings of the national academy of sciences*, 99(suppl 3), 7280-7287.
10. Casti, J.L. (1999). the computer as a laboratory: toward a theory of complex, adaptive systems. *Complexity*, 4(5), 12-14.
11. Chenery, H. B. (1960). Patterns of industrial growth. *The American Economic Review*, 50(4), 624-654.
12. Chopra, S., & Meindl, P. (2007). *Supply Chain Management: Strategy, Planning, and Operation*: Pearson Prentice Hall.
13. Cowling, P. (2003). A flexible decision support system for steel hot rolling mill scheduling. *Computers & Industrial Engineering*, 45(2), 307-321.
14. Cowling, P., & Rezig, W. (2000). Integration of continuous caster and hot strip mill planning for steel production. *Journal of Scheduling*, 3(4), 185-208.
15. Cowling, P. I., Ouelhadj, D., & Petrovic, S. (2004). Dynamic scheduling of steel casting and milling using multi-agents. *Production Planning & Control*, 15(2), 178-188.
16. Feliks, J., & Majewska, K. (2015, June). Agent-based modeling of steel production processes under uncertainty. *In Proceedings of Abstracts from the 24th International Conf. on Metallurgy and Materials (Brno, Czech Republic)*, 6-10.
17. Fradkov, A. L., Miroshnik, I. V., & Nikiforov, V. O. (2013). Nonlinear and adaptive control of complex systems (Vol. 491). *Springer Science & Business Media*.
18. Ghalebani, M., Taheri, A. (2014). A fundamental operating model framework for simulating stakeholder behavior for water resources management. *Journal of Water*

- and Sustainable Development*, 2, Issue 1, 87-94. (In Persian)
19. Jacobi, Sven & León-Soto, Esteban & Madrigal-Mora, Cristián & Fischer, Klaus. (2007). MasDISPO: A Multiagent Decision Support System for Steel Production and Control. 1707-1714.
  20. Jafarnejad, Ahmad, Mohseni, Maryam, Abdollahi, Ali. (2014). Providing a fuzzy PROMETHEE-AHP hybrid approach to evaluate the supply chain performance (Case study: Hospitality industry). *Journal of Industrial Management Perspective*, 4(2), 69-92. (In Persian)
  21. Jarras, I., & Chaib-Draa, B. (2002). Aperçu sur les systèmes multiagents (No. 2002s-67). Cirano.
  22. Jennings, N. R., & Wooldridge, M. (1995). Applying agent technology. *Applied Artificial Intelligence an International Journal*, 9(4), 357-369.
  23. Kolyaei M, Azar A, Rajabzadeh ghatari A.(2015). Design of An Integrated Robust Optimization Model for Closed-Loop Supply Chain and supplier and remanufacturing subcontractor selection. *Journal of Decision Engineering*, 2(7), 7-40. (In Persian)
  24. Maciol, A., & Rebiasz, B. (2008). Agent-Based modelling and simulation in steel products market forecasting. *Steel Research International*, vol. 2, 863-870.
  25. New, S. J., & Payne, P. (1995). Research frameworks in logistics: three models, seven dinners and a survey. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 25(10), 60-77
  26. O'Hare, G. M., Jennings, N. R., & Jennings, N. (1996). Foundations of distributed artificial intelligence (Vol. 9): John Wiley & Sons.
  27. Rezaei Pendari, Abbas, (2014). Designing a service supply chain performance evaluation model; Cognitive mapping approach (Case study: Insurance industry in Iran). *Journal of Industrial Management Perspective*, 16, 388-404. (In Persian)
  28. Russel S, Norvig P: Artificial Intelligence (2010). a Modern Approach. 2nd edition. Hong Kong: *Pearson Education Asia Limited and Tsinghua Univ. Press*; 2006.
  29. Samuelson, D. A., & Macal, C. M. (2006). Agent-based simulation comes of age. *OR MS TODAY*, 33(4), 34-38.
  30. Santa-Eulalia, L., D'Amours, S., Frayret, J., & Azevedo, R. (2009). On supply chain modelling and simulation *techniques*: A literature review taxonomy. Proceedings of the XI SIMPEP Simpósio de Engenharia de Produção, Bauru, Brazil, *Journal of Industrial Management*, 4(4):624-668.
  31. Srinivasan, S., Kumar, D., & Jaglan, V. (2010). Multi-agent system supply chain management in steel pipe manufacturing. *IJCSI International Journal of Computer Science Issues*, 7(4), 1694-0814.
  32. Tang, L., Liu, J., Rong, A., & Yang, Z. (2001). A review of planning and scheduling systems and methods for integrated steel production. *European Journal of Operational Research*, 133(1), 1-20.
  33. Tang, L., Luh, P. B., Liu, J., & Fang, L. (2002). Steel-making process scheduling using Lagrangian relaxation. *International Journal of Production Research*, 40(1), 55-70.
  34. Vakili Fard, H. Foroughnejad, M, Khoshnoud, M. (2015). Agent-based modeling in financial markets. *Journal of Investment Knowledge Third Year*, 12. (In Persian)
  35. Walton, L. W., & Miller, L. G. (1995). Moving toward LIS theory development: a framework of technology adoption within channels. *Journal of Business Logistics*, 16(2), 117.

36. Weiss, G. (Ed.). (1998). Multiagent Systems, A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence. Cambridge, Massachusetts: *The MIT Press*.
37. Yamamura, K., Matsuzaki, S., Toh, T., Yamada, W., & Nakagawa, J. (2012), Development of Mathematical Science in Steel Industry, *Nippon Steel Technical Report*, 101144-154,