فصلنامه مدیریت کسب و کار، شماره ۵۵، پائیز ۱۴۰۱، نوع مقاله: پژوهشی، صص ۱۳۰-۱۱۱

مدل سیستم دینامیکی زنجیره تأمین صنعت فولاد با رویکرد تحقق اهداف اقتصادی

رضا بشارتی‌زاده[۱]
رضا رادفر[۲]
عباس طلوعی اشلقی[۳]

تاریخ دریافت مقاله : ۱۴۰۰/۰۹/۰۳ تاریخ پذیرش مقاله : ۱۴۰۰/۱۲/۱۵

چکیده

در عصر حاضر سازمان‌ها به منظور رویارویی با رقابت جهانی، نیاز به زنجیره تأمین کارآمد و نیز مدیریت مناسب زنجیره تأمین دارند. صنعت فولاد به دلیل تأثیر زیادی که بر روی توسعه اقتصادی و صنعتی کشورها دارد، استراتژیک‌ترین کالای صنعتی جهان محسوب می‌گردد. این صنعت به عنوان صنعتی بنیادین، نقش اساسی در اقتصاد ملی و رفاه جوامع دارد، لذا توجه به زنجیره تأمین آن بسیار مهم است. این پژوهش با هدف ارائه یک مدل سیستم داینامیکی برای زنجیره تأمین فولاد کشور شکل گرفته است تا بتواند به سیاست‌گذاران و مدیران در مدیریت اثربخش‌تر این صنعت کمک نماید. جهت ارائه مدل، حلقه‌های علی معلولی با کمک خبرگان صنعت فولاد ترسیم شده و سپس مدل‌سازی بوسیله VENSIM صورت گرفته است. در ادامه آزمون‌های مورد نیاز جهت اعتبارسنجی مدل انجام شده است. نتایج حاصل از شبیه‌سازی بر مبنای سناریو نشان‌دهنده آن است که تغییرات ۲۰± درصدی در دو پارامتر مدل که بیانگر رشد تکنولوژی و ضریب سرمایه‌گذاری تأثیر مناسبی را بر تحقق اهداف خواهد داشت.

کلمات کلیدی

مدیریت زنجیره تأمین، صنعت فولاد، سیستم داینامیک،

۱-گروه مدیریت صنعتی، واحد امارات، دانشگاه آزاد اسلامی، دبی، امارات متحده عربی. rbesharati@gmail.com
۲-گروه مدیریت صنعتی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. (نویسنده مسئول) radfar@gmail.com
۳-گروه مدیریت صنعتی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. toloie@srbiau.ac.ir

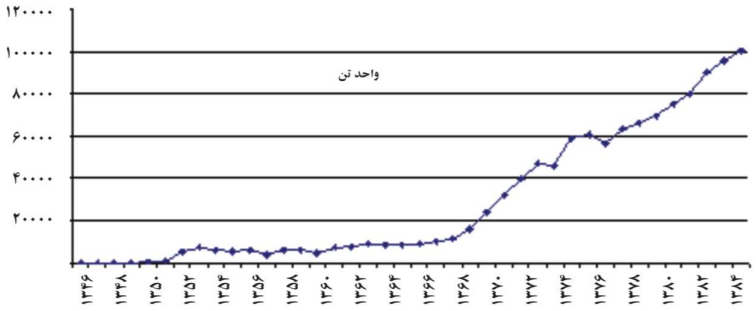
مقدمه

امروزه رقابت میان زنجیره‌های تأمین در بازارهای جهانی از اهمیت بسیاری برخوردار می‌باشد. مدیریت زنجیره تأمین به یک دارایی مهم برای سازمان‌ها تبدیل گشته که رویکردهایی مانند ناب، چابک، تاب آور و سبز را ارائه می‌دهد و این پارادایم‌ها به مدیریت زنجیره تأمین برای رقابت و کارآمدی کمک می‌کنند. برای این امر سازمان‌ها باید مجموعه‌ای از استراتژی‌های مدیریت زنجیره تأمین را به یک شکل مؤثر مدیریت کنند و تأثیر آن بر عملکرد زنجیره تأمین را ارزیابی کنند (اسپادینها کروز[۱]،۲۰۱۱). در عصر حاضر سازمان‌ها به منظور رویارویی با رقابت جهانی، نیاز به مدیریت مناسب زنجیره تأمین دارند (خمسه و همکاران، [۲]۲۰۱۹). در دهه کنونی مدیریت زنجیره تأمین از یک فعالیت فرعی بیرون آمده و به یک عنصر استراتژیک برای سازمان جهت تأثیر مثبت روی فعالیت‌ها تبدیل گشته است. تغییرات اخیر در شرایط بازار و تغییر نحوه کسب و کار و انتظارات جدید در زنجیره تأمین و تقاضای ایجاد ارزش‌های اضافی در محصول نهایی توسط مشتریان، از جمله عوامل مؤثر در تغییرات ایجاد شده در مدیریت زنجیره تأمین می‌باشد (ریچاردز و همکاران[۲]، ۲۰۰۳).

صنعت فولاد به دلیل تأثیر زیادی که بر روی توسعه صنعتی کشورها دارد، صنعت مادر نامیده می‌شود و به همین دلیل استراتژیک‌ترین کالای صنعتی جهان محسوب می‌گردد به طوری که میزان تولید و مصرف آن نشان‌دهنده پیشرفت کشورهاست. صنعت فولاد به عنوان صنعتی بنیادین، نقش اساسی در اقتصاد ملی و رفاه جوامع دارد لذا توجه به زنجیره تأمین آن و مدیریت اثربخش زنجیره تأمین، ضرورتی انکارناپذیر است. توسعه این صنعت عاملی اثربخش در توسعه سایر بخش‌های اقتصادی، صنعتی، علمی و اجتماعی کشورها می‌باشد. در کشور ما اولین گام اساسی در جهت دستیابی به این صنعت در سال ۱۳۳۸ برداشته شد و سپس در سال ۱۳۴۴ شرکت ملی ذوب آهن ایران شکل گرفت و در سال ۱۳۵۱ شرکت ملی فولاد ایران تأسیس شد.

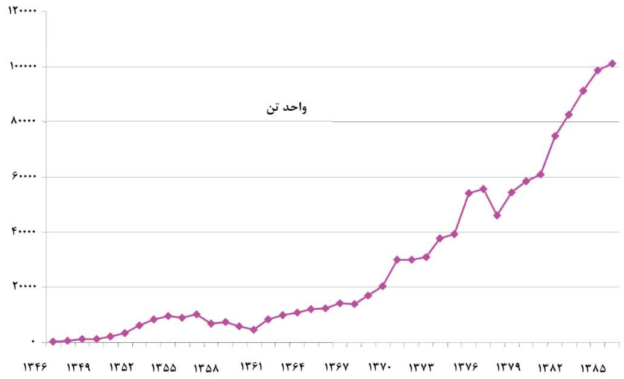
پس از پیروزی انقلاب اسلامی در سال ۱۳۵۸ شرکت ملی فولاد ایران با ادغام شرکت ملی ذوب آهن ایران و شرکت ملی صنایع فولاد ایران بوجود آمد که تا سال ۱۳۸۱ تنها شرکت متولی فولاد در کشور بود. اکنون شرکت ملی فولاد ایران بعنوان یکی از شرکت‌های مهم سازمان توسعه و نوسازی معادن و صنایع معدنی ایران و وزارت صمت در امر تولید و توسعه فولاد کشور فعالیت دارد. میزان تولید فولاد خام در کشور از ۳۰ هزار تن در سال ۱۳۵۰ به بیش از ۱۰ میلیون در سال ۱۳۸۵ افزایش یافته است. روند تولید فولاد خام در کشور دارای روند افزایشی بوده است که در طی دهه هفتاد جهش قابل ملاحظه‌ای داشته است به طوری که تولید فولاد خام از حدود ۱۵ هزار تن در سال ۱۳۶۸ به ۵۸ هزار تن در ۱۳۷۵

افزایش یافته است که می‌توان گفت در این دوره نرخ رشد متوسط سالیانه ۲۴ درصد را تجربه کرده است. در سال ۱۳۹۴ ظرفیت تولید فولاد خام در کشور به عدد ۲۵,۷ میلیون تن در سال رسید و این در حالی است که هدف‌گذاری ۱۴۰۴ برای این متغیر برابر با ۵۵ میلیون تن و کسب رتبه هفتم جهان می‌باشد (برنامه راهبردی وزارت صمت، ۱۳۹۵).



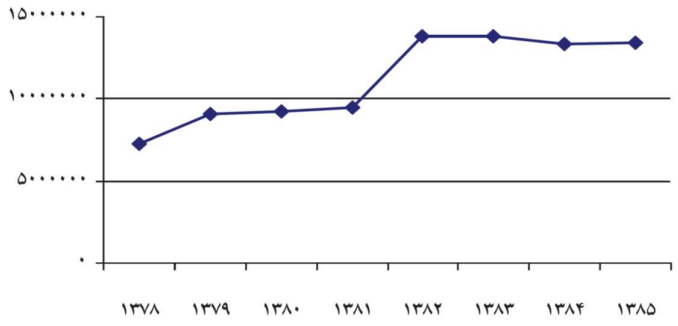
نمودار ۱- میزان تولید فولاد خام کشور

میزان تولید فولاد نهایی از ۲۶ هزار تن در سال ۱۳۴۶ به بیش از ده میلیون در سال ۱۳۸۵ رسیده است، این روند نیز تا حدود زیادی از روند تولید فولاد خام تبعیت می‌کند ولی آنچه مهم است این است که در طی ۱۳۶۲روند کاهش و از ۱۳۶۳ به بعد جز در سال ۱۳۷۸ روند افزایشی داشته است و در سال‌های ۱۳۴۶ تا ۱۳۵۶ نیز دارای نوساناتی بوده است. در سال ۱۳۹۴ ظرفیت تولید محصول نهایی فولاد در کشور به عدد ۳۳ میلیون تن در سال رسید و این در حالی است که هدف‌گذاری ۱۴۰۴ برای این متغیر برابر با ۷۸ میلیون تن می‌باشد.



نمودار۲- میزان تولید محصول نهایی

امروزه به دلیل اهمیت و جایگاه فولاد و محصولات فولادی در توسعه کشورها، مصرف ظاهری و مصرف سرانه بعنوان یکی از شاخص‌های توسعه تلقی می‌شوند. مصرف ۱۳۴۶ به طور متوسط برابر ۹۰ کیلوگرم بوده است. سرانه فولاد کشور در طی سال های ۵۷-۱۳۵۸ به ۷۹ کیلوگرم کاهش یافته است که بخشی از این کاهش ناشی از اثرات جنگ، توقف فعالیت‌های تولیدی صنعتی و کاهش نرخ رشد اقتصادی توسعه کشور بوده است. با شتاب گرفتن روند توسعه کشور مصرف سرانه فولاد نیز افزایش یافته است به طوری که از ۷۰ کیلوگرم در سال ۱۳۷۰ به حدود ۱۴۶ کیلوگرم در سال ۱۳۸۲ رسیده است. افزایش مصرف سرانه فولاد را می‌توان ناشی از افزایش فعالیت‌های عمرانی، صنعتی، بازسازی خرابی‌های حاصل از جنگ و تغییر در الگوی ساختمان سازی دانست ولی آنچه مهم است این است که در مقایسه سرانه مصرف فولاد کشور با کشورهای توسعه‌یافته نشان می‌دهد که این میزان بسیار پایین‌تر می‌باشد. در سال ۱۳۸۴ نیز مصرف سرانه ظاهری با احتساب جمعیت ۶۸ میلیون نفر به ۱۹۵ کیلوگرم رسید و مصرف ظاهری نیز به ۱۳،۳۱۴،۴۷۴ تن رسیده است. در سال ۱۳۹۴ مصرف ظاهری فولاد در کشور به عدد ۱۸ میلیون تن در سال رسید و این در حالی است که برآورد ۱۴۰۴ برای این متغیر برابر با ۴۱ میلیون تن می‌باشد.



نمودار ۳- مصرف ظاهری فولاد(تن)

هم‌اکنون، میزان مصرف سرانه فولاد در ایران حدود ۲۰۰ کیلوگرم است که ۱۴۰ کیلوگرم آن در داخل کشور تولید می‌شود و مابقی از خارج وارد می‌گردد.

هدف از این پژوهش ارائه مدلی سیستم داینامیکی جهت بررسی رفتارهای درون زنجیره تأمین صنعت فولاد با رویکردی اقتصادی است. برای مدل‌سازی از آمار و روندهای موجود صنعت فولاد و نیز سند برنامه‌ریزی راهبردی وزارت صمت استفاده شده است. در این مقاله سعی شده است ساختار زنجیره تأمین

ظرفیت‌سازی، تولید فولاد خام و محصولات نهایی و همچنین صادرات و واردات فولاد با رویکردی اقتصادی مدل شده و در چارچوب متدولوژی سیستم دینامیک و در نرم افزار ونسیم اجرا شود. در این راستا ابتدا متغیرهای اصلی شناسایی و روابط آن‌ها در قالب حلقه‌های علّی تدوین گردیده، سپس با طراحی مدل اصلی و در قالب نمودار انباشت جریان تکمیل و در نرم افزار شبیه‌سازی شده است.

مبانی نظری و مرور ادبیات

با توجه به اهمیت صنعت فولاد در اقتصاد کشور، در برنامه‌های ملی توسعه، برنامه‌ریزی‌هایی برای توسعه این صنعت انجام شده است. به عنوان مثال، در برنامه سوم براساس پیش‌بینی می‌باید تا پایان برنامه یعنی سال ۱۳۸۳، ظرفیت تولید فولاد کشور به ۱۴ میلیون تن می‌رسید، اما متأسفانه این رقم، به دلیل عدم ارزیابی صحیح از توانایی‌ها در ایجاد ظرفیت در ابعاد مختلف در کشور و عدم برنامه‌ریزی مناسب عملی نشده است. به منظور ارزیابی درست و واقع‌بینانه توانایی‌های توسعه فولاد در کشور و برنامه‌ریزی هدفمند و مناسب برای توسعه فولاد، تدوین طرحی جامع برای این صنعت در سال ۱۳۸۲ در شرکت ملی فولاد ایران آغاز شد.

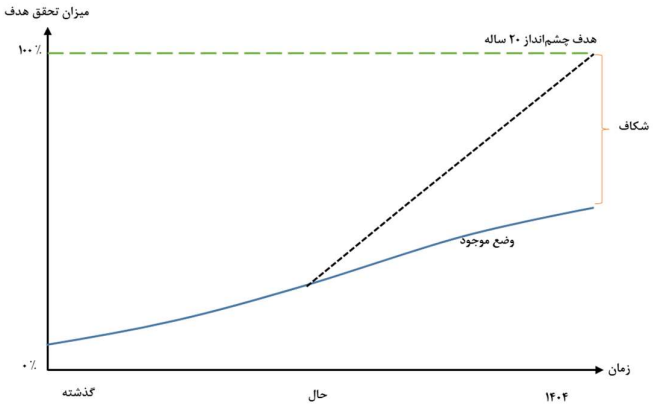
تولید فولاد خام در برنامه اول توسعه (۷۲- ۱۳۶۸) در مجموع ۱۲,۳ میلیون تن مقرر و تولیدات فولادی نیز به رقم ۱۲,۸ میلیون تن رسیده بود. ظرفیت تولید فولاد خام در این دوره بالغ بر ۶,۲ میلیون تن و ظرفیت تولیدات فولادی به رقم ۶,۵ میلیون تن رسید که نشان‌دهنده رشد فعالیت صنایع و کارخانه‌های فولادسازی کشور است. دوره برنامه دوم توسعه (۷۸- ۱۳۷۴) تولید فولاد ۲۸ میلیون تن مقرر گردید. اما ظرفیت تولید فولاد خام در سال پایانی برنامه دوم توسعه ۱۳۷۸ به ۷,۲ میلیون تن و ظرفیت تولیدات فولادی نیز به ۷,۶ میلیون تن رسید. دوره برنامه سوم توسعه (۸۳- ۱۳۷۹) تولید فولاد ۳۸ میلیون تن بود که نسبت به برنامه دوم توسعه ۳۴ درصد رشد داشت در حالی که ظرفیت تولید فولاد خام در سال پایانی برنامه سوم توسعه (۱۳۸۳) به ۱۰,۱ میلیون تن و ظرفیت تولیدات فولادی نیز در ۱۳۸۳ به ۱۰,۷ میلیون تن رسید. در سال ۱۳۹۲ میزان تولید فولاد در کشور ۱۳,۵ میلیون تن در سال بود که نه تنها به صادرات ۲,۳ میلیون تن در سال نرسید بلکه برای تأمین نیاز داخلی ۱۰ میلیون تن از محصولات فولادی مورد نیاز را وارد نمود.

کشور ما درحال حاضر، از نظر شرایط تولید فولاد، دارای مزیت‌های نسبی فراوانی است. از آن جمله می‌توان به انرژی کافی و ارزان قیمت، سنگ آهن و مواد اولیه نسوز، تجربه نسبی در تولید فولاد، برخورداری از نیروی کار جوان و متخصص ارزان قیمت اشاره کردکه با دست‌یابی به فناوری نوین تولید و مدیریت مناسب زنجیره تأمین می‌تواند نقش مؤثر و رقابتی را در بازار جهانی فولاد ایفا نماید. بر مبنای

برنامه چشم‌انداز ۲۰ ساله کشور ظرفیت تولید فولاد خام ایران باید سالانه به ۵۵ میلیون تن برسد. و رتبه هفتم دنیا نیز کسب شود. از یک‌سو، شاهد افزایش قیمت حامل‌های انرژی و افزایش قیمت تمام شده در تولید فولاد در کشور هستیم که چه بخش تولید و چه در بخش جابجایی تأثیر بسزایی در هزینه تمام شده دارد. از سوی دیگر، عدم توجه به زنجیره تأمین و توسعه اقتصادی این صنعت در کشور و لزوم توجه به تعیین مناسب ظرفیت بهینه برای توسعه واحدهای جدید، توجه به توجیه اقتصادی و سودآور بودن شرکت بجای توجیه اجتماعی و ایجاد اشتغال (در بخش دولتی) و خصوصی‌سازی و توزیع سود سهام در موقع مناسب، نشان‌دهنده این موضوع است که لازم است میزان تحقق چشم‌انداز ۲۰ ساله در گذر زمان و تحت سناریوهای مختلف مورد بررسی قرار گیرد تا سیاست‌های بهینه را بتوان ارائه نمود.

نخستین ریشه استفاده از سیستم دینامیک در مدیریت زنجیره تأمین به کتاب پویایی‌های صنعتی (فارستر، ۱۹۶۱) باز می‌گردد که در آن فارستر ضمن ارائه یک مدل برای سیستم تولید و توزیع، ۶ جریان اصلی ذیل را مد نظر قرار می‌دهد: اطلاعات، مواد، سفارشات، پول، نیروی انسانی و تجهیزات سرمایه‌ای. نخستین اثر منتشر شده در مورد کاربرد سیستم داینامیک در مدیریت زنجیره تأمین در کتاب معروف جی– فارستر یعنی " پویایی‌های صنعتی" (۱۹۵۸) می‌باشد. وی سپس در سال ۱۹۶۱ میلادی مدل اولیه خود را از طریق افزودن جزئیات بیشتر و ایجاد ارتباط میان کاربر از مدل و آموزش مدیریت، بسط و توسعه داد۳. در این راستا، ارائه مدلی که بتواند با در نظر گرفتن متغیرهای کلیدی عرضه و تقاضای کلیه محصولات نهایی و میانی صنایع فولادسازی در طول زنجیره تأمین، روند آتی تغییرات اقتصادی این صنعت را شبیه‌سازی کند، می‌تواند نقش ارزنده‌ای در کمک به تصمیم‌گیران صنعت فولاد کشور به منظور توسعه زنجیره‌های خاص محصولات و سرمایه‌گذاری بر روش‌های خاص تولید که به لحاظ پارامترهای اقتصادی در اولویت برای کشور قرار دارند، داشته باشد.

با توجه به مسأله فوق‌الذکر، نمودار ۴، نمودار مرجع را نشان می‌دهد. با توجه به نمودار مرجع، اگرچه در گذر زمان شاهد افزایش ظرفیت و رشد تولید در طول زنجیره تأمین فولاد (شامل تولید سنگ آهن، گندله‌سازی (و سایر محصولات میانی)، تولید فولاد خام و تولید محصولات فولادی) هستیم، ولی فاصله با چشم‌انداز زیاد بوده که باید با سرعت بیشتری شکاف بین وضع موجود و مطلوب پوشش داده شود.



نمودار۴- نمودار مرجع از میزان تحقق اهداف چشم‌انداز ۲۰ ساله در صنعت فولاد

در دهه هشتاد میلادی، سازمان‌ها جهت دستیابی به مزیت رقابتی پایدار، بیشتر روی سیستم‌هایی مانند تولید به هنگام، مدیریت کیفیت جامع و غیره تمرکز داشتند. اما از آنجایی که این مزایای رقابتی به وسیله رقبا تقلید می‌شدند، از پایداری لازم برخوردار نبودند. در واقع تلاش برای بهینه‌سازی فرآیندهای سازمانی بدون در نظر گرفتن شرکت‌های بیرونی، به خصوص تأمین‌کنندگان و مشتریان امری بی‌فایده به نظر می‌رسید و سازمان‌هایی که با همکاری یکدیگر در جهت اهداف مشترکی گام بر می‌داشتند، عملکرد بهتری داشتند. اینجا بود که مفهوم زنجیره تأمین متولد شد. زنجیره‌ای که همه فعالیت‌های مرتبط با جریان کالا و تبدیل مواد، از مرحله تهیه ماده اولیه تا مرحله تحویل کالای نهایی به مصرف کننده را شامل می‌شود (سروالکی و دیویس[۴]، ۲۰۱۰). مدیریت زنجیره تأمین توسط انجمن زنجیره تأمین جهانی[۵] به این صورت توسعه یافته است: مدیریت زنجیره تأمین، یکپارچه‌سازی فرآیندهای کلیدی کسب و کار کاربر نهایی از طریق تأمین‌کنندگان اصلی است که محصولات، خدمات و اطلاعاتی را که ارزش افزوده برای مشتریان و سایر ذینفعان ایجاد می‌کنند، فراهم می‌کند (ریمین[۶]،۲۰۱۱).

کائو و لی (۲۰۱۶) در مقاله‌ای با عنوان "رویکرد نوآوری یکپارچه‌سازی زنجیره تأمین برای توان رقابت‌پذیری و عملکرد شرکت" بیان داشته‌اند که در فضای رقابتی و فعالیت‌های کسب و کار کنونی، خطوطی که به طور سنتی بین سازمان‌ها، وظایف و امور تجاری و بازرگانی ترسیم می‌شد در حال محو شدن است و سازمان‌ها و مؤسسات مجزا به لحاظ حقوقی، برای رفع موانع رقابتی با یکدیگر همکاری می‌کنند. آنها بیان می‌دارند که یکی از مهم‌ترین کلیدهای بهبود زنجیره‌های تأمین برای رسیدن به سطح جهانی، مدیریت زنجیره تأمین به صورت یکپارچه و استفاده از فناوری اطلاعات است. هرجا که این نگرش

یکپارچه به کار گرفته شود، صرفه‌جویی‌های اقتصادی و افزایش کارایی زیادی حاصل شده است. همچنین ون[۷] و همکاران (۲۰۱۶) در پژوهشی با عنوان "نقش مدیریت زنجیره تأمین یکپارچه در کسب مزیت رقابتی" بیان داشتند که یکپارچگی مشتری، یکپارچگی تأمین‌کننده و یکپارچگی درونی باعث افزایش مزیت رقابتی در سازمان شده و نقش مهمی در بهبود عملکرد سازمان دارد. از سوی دیگر کومار[۸] و همکاران (۲۰۱۷) در تحقیقات خود بیان داشتند که یکپارچگی مشتری، یکپارچگی تأمین‌کننده و یکپارچگی درونی باعث بهبود ابعاد عملکرد شرکت یعنی (افزایش انعطاف پذیری، بهبود عملکرد تولیدی، گردش موجودی، کاهش هزینه‌ها) می‌گردد.

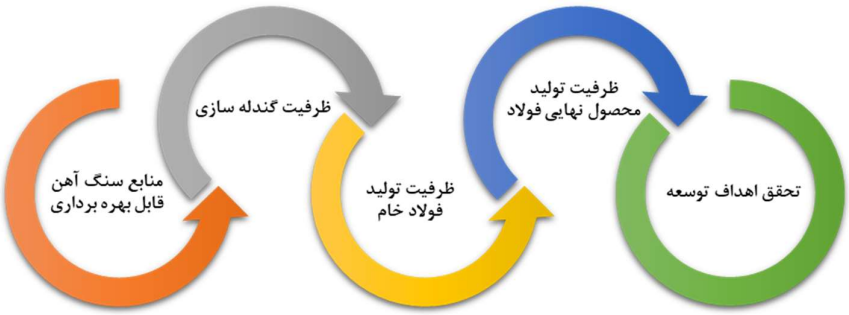
کاگلیانو و همکاران (۲۰۱۶) در تحقیقی با عنوان "تأثیر یکپارچگی زنجیره تأمین بر بهبود عملکرد سازمانی" به این نتیجه رسیدند که یکپارچگی زنجیره تأمین بر بهبود عملکرد سازمانی و برنامه‌های بهبود و بازسازی سازمان تأثیر مثبت و معناداری دارد. از طرفی سابق و همکارانش[۹] (۲۰۱۹) مطالعه خود را با هدف آزمون تأثیرات زنجیره تأمین چابک و انعطاف‌پذیر بر عملکرد شرکت تدوین نمودند. نتایج آن‌ها نشان داد که شرکت‌هایی که با زنجیره‌های تأمین چابک و انعطاف پذیر فعالیت می‌نمایند، می‌توانند از مزایای کیفیت خدمات و رضایت مشتری بهره‌مند شوند و در نهایت می‌توانند مزایای مالی ناشی از افزایش فروش و سود را به دست آورند. گونر و همکارانش[۱۰] (۲۰۱۸) به بررسی تأثیر چابکی زنجیره تأمین بر عملکرد شرکت پرداختند. در این تحقیق مشاهده شد که عدم اطمینان تکنولوژیکی بر چابکی زنجیره تأمین تأثیر می‌گذارد و چابکی زنجیره تأمین همچنین بر عملکرد شرکت تاثیر مثبت دارد. همچنین تاروفدر و همکاران[۱۱] (۲۰۱۹)، هدف زنجیره تأمین را دست‌یابی به بهره‌وری هزینه با از میان برداشتن موارد زائد و فرایندهایی که به ایجاد ارزش افزوده کمک نمی‌کنند، می‌دانند. از سوی دیگر کاگلیانو و همکاران (۲۰۱۶) در تحقیقی با عنوان "تأثیر یکپارچگی زنجیره تأمین بر بهبود عملکرد سازمانی" به این نتیجه رسیدند که یکپارچگی زنجیره تأمین بر بهبود عملکرد سازمانی و برنامه‌های بهبود و بازسازی سازمان تأثیر مثبت و معناداری دارد.

روش تحقیق

با توجه به اینکه نتایج این پژوهش می‌تواند مورد استفاده سیاست‌گذاران و مدیران صنعت فولاد قرار گیرد، لذا پژوهش ازحیث هدف کاربردی می‌باشد و از آنجا که برای مدل‌سازی از روش سیستم داینامیک استفاده شده است، پژوهش از حیث روش از نوع مدل‌سازی ریاضی می‌باشد. اصلی‌ترین علت انتخاب متدولوژی سیستم داینامیک این است که سیستم دینامیک رویکردی برای بررسی، مطالعه و درک رفتار سیستم‌های پیچیده در طول زمان است.

این رویکرد می‌تواند تعاملات پیچیده درون سیستم را به صورت واضح توسط نمودارهای خود (نمودار حلقه‌های علی و معلولی و نمودار سطح- جریان) بوسیله نرم افزار ونسیم[۱۲] مدل‌سازی نموده و نشان دهد. متدولوژی فوق، سناریوها و سیاست‌های مختلف را به صورت بصری نشان داده و مدل توسعه داده شده تصمیم‌گیرنده را در طراحی سیاست‌هایی منطقی و ارائه راه‌کار، یاری می‌رساند. مدل‌سازی در این پژوهش با منطق ذیل آغاز می‌گردد:

با توسعه بهره‌برداری از منابع سنگ آهن، ورودی تولید محصولات میانی زنجیره تأمین فولاد تهیه و به عنوان نمونه، تولید گندله‌سازی آغاز می‌شود. این فرآیند منجر به تأمین مواد مورد نیاز برای تولید فولاد خام می‌شود که در این میان، ظرفیت تولید فولاد خام نیز عامل محدودکننده برای افزایش تولید فولاد خام در کشور است. در مرحله بعد با توجه به ظرفیت تولید محصول نهایی فولاد، میزان تولید فولاد خام تعیین می‌شود. در این زمینه چنانچه تقاضای داخلی فراتر از تولید داخل باشد فولاد خام یا محصولات فولادی وارد می‌شوند و اگر کمتر از آن باشد، صادر خواهند شد. نهایتاً با توجه به افزایش ظرفیت تولید در طول زنجیره که با توجه به رشد تقاضا درنظر گرفته می‌شود، تحقق اهداف چشم‌انداز ۲۰ ساله نیز افزایش می‌یابد (مطابق شکل۱).

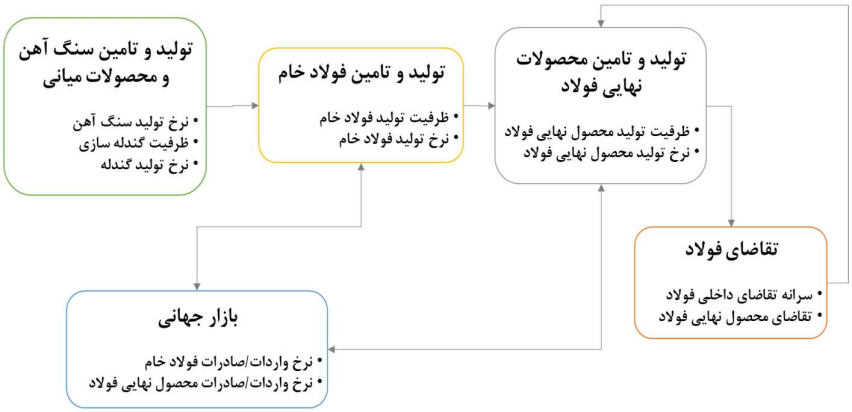


شکل ۱- منطق اولیه مدل‌سازی

همچنین شکل۲ زیرسیستم‌های پژوهش حاضر را نشان می‌دهد. در زیرسیستم تولید و تأمین سنگ آهن و محصولات میانی، با توجه به میزان تولید سنگ آهن و ظرفیت تولید گندله‌سازی (به عنوان نماینده‌ای از محصولات میانی در زنجیره تأمین فولاد)، نرخ تولید گندله‌سازی مشخص و بر اساس آن ورودی به حلقه بعدی زنجیره تعیین می‌شود. در زیرسیستم تولید و تأمین فولاد خام، بر اساس میزان ورودی گندله به بخش تولید فولاد خام و همچنین ظرفیت تولید فولاد خام، میزان تولید فولاد خام تعیین می‌شود. در این مرحله چنانچه تقاضا برای فولاد خام وجود داشته باشد و ظرفیت تولید کفایت نکند،

درصورت لزوم واردات فولاد خام صورت می‌پذیرد و بالعکس، چنانچه ظرفیت تولید مازاد بر تقاضای داخلی باشد، صادرات در دستور کار قرار خواهد گرفت.

زیرسیستم بعدی زنجیره تأمین فولاد، تولید محصولات نهایی فولاد است که به طور مشابه حلقه قبل عمل می‌نماید. نهایتاً در زیرسیستم تقاضای فولاد و بازار جهانی، بر اساس سرانه تقاضا اطلاعات ورودی بابت تقاضا و واردات و صادرات تعیین می‌شود.



شکل ۲– زیرسیستم‌ها زنجیره تأمین صنعت فولاد

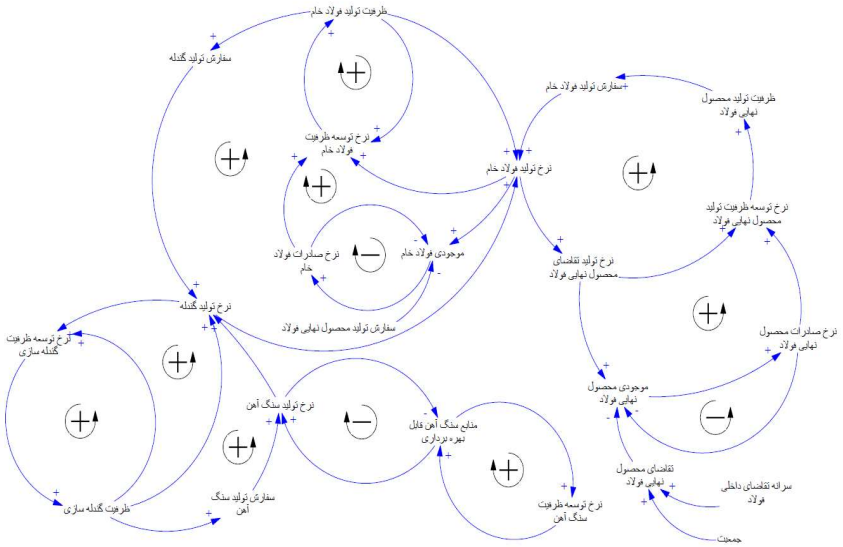
تجزیه وتحلیل یافته‌ها

گام‌های مدل‌سازی مبتنی بر زیرسیستم‌های زنجیره تأمین صنعت فولاد در ادامه آمده است.

گام اول: حلقه‌های علی و معلولی

حلقه‌های علی و معلولی نشان دهنده ارتباطات متغیرها و تأثیر همزمان این ارتباطات بر افزایش یا کاهش دیگر متغیرهای مسأله می‌باشند. این حلقه‌ها به دو نوع حلقه تقویت‌کننده و حلقه متعادل‌کننده تقسیم می‌شوند. حلقه‌های تقویت‌کننده حلقه‌هایی می‌باشند که افزایش ابتدایی در یک متغیر، با حرکت در مسیر حلقه، باعث افزایش مقدار آن متغیر می‌گردد. همچنین کاهش در مقدار این متغیر اولیه، در مسیر حلقه باعث کاهش آن متغیر می‌شود. ترکیبی از حلقه‌های مثبت (تقویت‌کننده) و منفی (متعادل‌کننده) باعث ایجاد رفتارهای متنوع در سیستم‌ها می‌شود. وجود حلقه‌های مثبت یا منفی به تنهایی، باعث رفتار نمایی سیستم خواهد شد. حلقه اصلی در این بخش رابطه متقابل و توسعه توامان ظرفیت تولید مواد اولیه و محصولات میانی در زنجیره تأمین فولاد است بدین معنی که افزایش ظرفیت

گندله‌سازی منجر به افزایش ظرفیت تولید سنگ آهن خواهد شد و افزایش ظرفیت تولید سنگ آهن منجر به افزایش ظرفیت گندله‌سازی خواهد شد. حلقه علی معلولی کل بر مبنای زیرحلقه‌ها مطابق شکل ۳ می‌باشد که با نظر خبرگان صنعت فولاد ترسیم شده است.

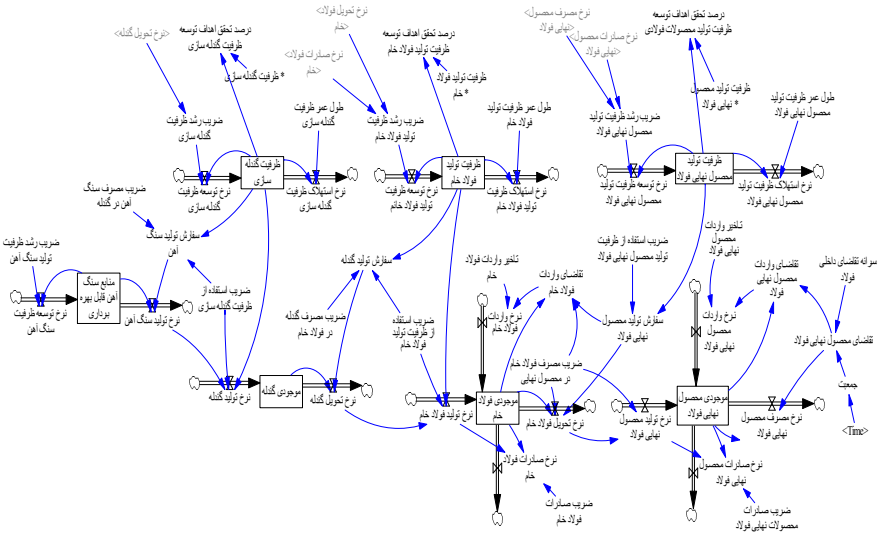


شکل ۳- حلقه علی معلولی کلی

گام دوم: نمودار حالت-جریان

شکل۴ نمودار حالت-جریان مدل پژوهش را که بر اساس حلقه علی معلولی کل ترسیم شده است، نشان می‌دهد. همانطور که مشخص است، مدل از ۷ متغیر حالت (متغیرهای حالت جمع‌کننده و انبارکننده هستند)، ۱۸ متغیر نرخ (میزان تغییرات متغیرهای حالت، با مقدار متغیرهای نرخ معلوم می‌شود) و ۳۰ متغیر کمکی تشکیل شده است. همچنین، مدل از سال ۱۳۹۴ تا ۱۴۰۴ را پوشش می‌دهد. جریان اصلی در این مدل مربوط به جریان مواد و محصولات در طول زنجیره تأمین فولاد است. با توجه به حلقه‌های علت و معلولی، بر اساس تقاضای تولید و ورودی سنگ آهن فرآیندهای تولید در هر حلقه آغاز شده و گردش موجودی‌ها از یکسو و اطلاعات تقاضا از سوی دیگر جریان می‌یابد. متغیرهای حالت این مدل شامل منابع سنگ آهن قابل بهره‌برداری، ظرفیت گندله‌سازی، موجودی گندله، ظرفیت تولید فولاد خام، موجودی فولاد خام، ظرفیت تولید محصول نهایی فولاد و موجودی محصول نهایی فولاد است. آنچه به عنوان متغیرهای هدف در نمودار جریان مورد توجه قرار گرفته است، درصد تحقق اهداف

چشم‌انداز ۲۰ساله در مورد ظرفیت‌های تولید گندله‌سازی، فولاد خام و محصولات فولادی است که به عنوان مبنایی برای ارزیابی سناریوهای بهبود درنظر گرفته می‌شود.



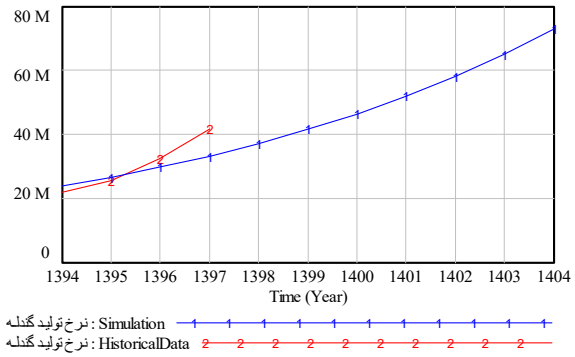
شکل۴- نمودار حالت-جریان

گام سوم: اعتبارسنجی مدل

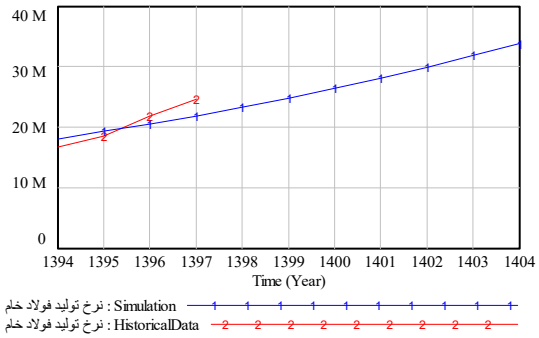
برای اثبات صحت مدل‌سازی و نتایج حاصل از آن، یکی از روش‌های مرسوم اعتبارسنجی، مقایسه یافته‌های مدل‌سازی انجام شده با داده‌های تاریخی در دسترس (تولید مجدد رفتار) می‌باشد. همچنین یک روش دیگر که بسیار مورد توجه قرار می‌گیرد آزمون شرایط حدی است که در این پژوهش از هر دو روش استفاده شده است.

آزمون تولید مجدد رفتار

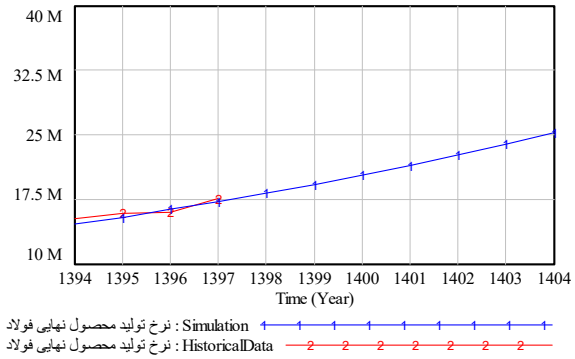
در نمودارهای ۵ تا ۷، خطوط قرمز نشان دهنده داده‌های تاریخی و خطوط آبی، نشان دهنده پیش‌بینی مدل‌سازی از شرایط آینده می‌باشد. همانطور که مشخص است نتایج شبیه‌سازی برای متغیرهای نرخ تولید گندله، فولاد خام و محصولات فولادی، تطابق خوبی با داده‌های تاریخی دارد.



نمودار ۵- مقایسه داده‌های تاریخی با نتایج شبیه‌سازی – نرخ تولید گندله



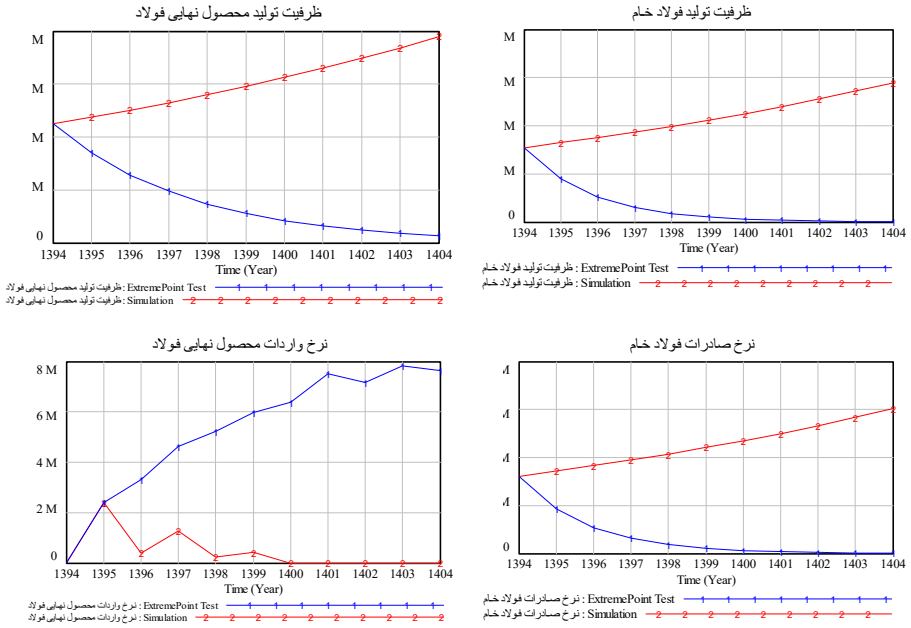
نمودار ۶- مقایسه داده‌های تاریخی با نتایج شبیه‌سازی – نرخ تولید فولاد خام



نمودار۷- مقایسه داده‌های تاریخی با نتایج شبیه‌سازی – نرخ تولید محصول نهایی فولاد

- آزمون شرایط حدی

در این آزمون، تغییراتی خارج از محدوده نرمال در متغیرها اعمال می‌شود و رفتار مدل در این نقاط حدی بررسی می‌شود. برای انجام این آزمون ضریب استهلاک (یا طول عمر) ظرفیت‌های تولید در طول زنجیره تأمین فولاد به شدت کاهش داده شده (بیش از یک‌دهم کاهش داده شده است) و نتایج شبیه‌سازی در نمودار ۸ نشان داده شده است. همانطور که انتظار می‌رفت، با این کاهش، ظرفیت‌ها به مرور مستهلک شده و تقاضای داخلی صرفا از طریق واردات برآورده خواهد شد و همچنین صادرات فولاد به صفر خواهد رسید.



نمودار۸ - نتایج آزمون حدی

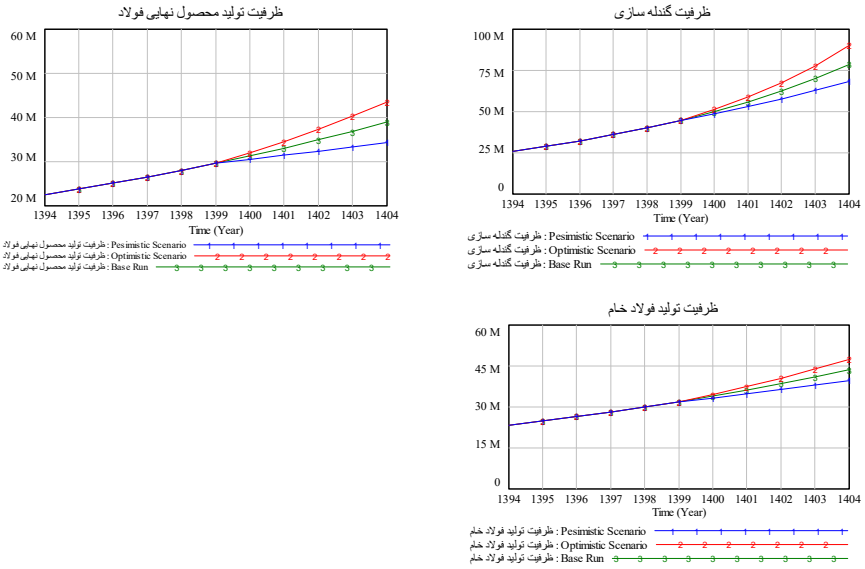
گام چهارم: شبیه سازی بر مبنای سناریو

در این پژوهش سه سناریو برای افزایش میزان تحقق اهداف توسعه چشم‌انداز ۲۰ ساله صنعت فولاد مدنظر قرار گرفته است:

- در سناریوی حالت پایه فرض شده است که مقادیر پارامترها و اهرم‌های تصمیم‌گیری مطابق با روند گذشته باشد.

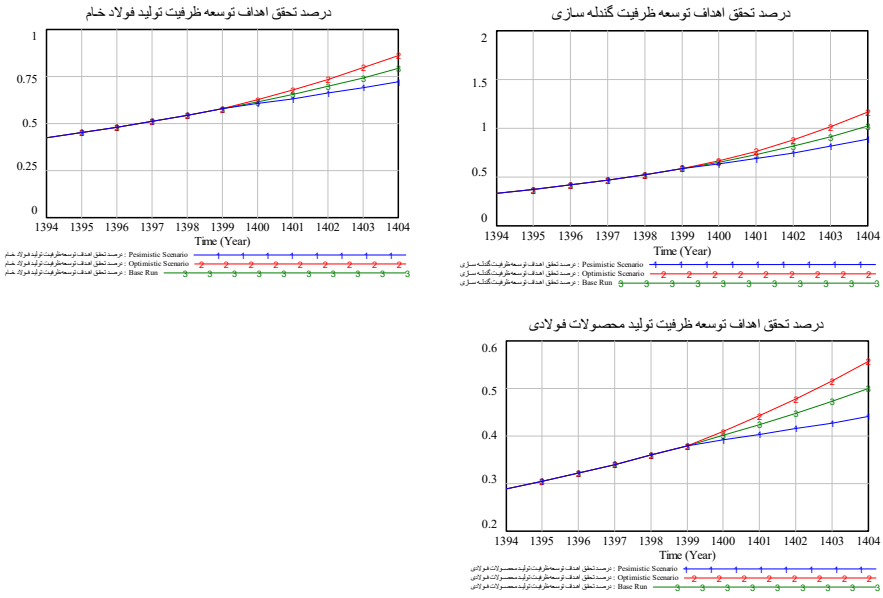
- در حالت خوش‌بینانه، وضعیت فناوری‌های تعمیرات و نگهداری (با توجه به استهلاک بالای کارخانجات صنعت فولاد) و همچنین سرمایه‌گذاری و تأمین مالی پروژه‌های جدید بهبود می‌یابد.
- در سناریوی بدبینانه نیز متغیرهای مذکور در جهت عکس انجام می‌شود. تغییرات ضرایب در این دو سناریو در بازه ±۲۰ نسبت به حالت پایه و در متغیرهای طول عمر و ضریب سرمایه‌گذاری بوده است.

نمودار ۹ نتایج شبیه‌سازی بر بستر سناریو را نشان می‌دهد. شکل‌های زیر مربوط به ظرفیت‌های تولید گندله‌سازی، فولاد خام و محصول نهایی فولاد است. همانطور که مشخص است، افزایش و کاهش ۲۰درصدی در اهرم‌های تصمیم‌گیری منجر به افزایش ۱۴,۴، ۱۱,۶ و ۸,۸ درصدی و کاهش ۱۳,۲، ۱۱,۸ و ۸,۸ درصدی به ترتیب در ظرفیت گندله‌سازی، محصول نهایی و تولید فولاد خام در افق ۱۴۰۴ شده است.



نمودار۹ - نتایج شبیه‌سازی بر بستر سناریو

همچنین در نمودار ۱۰ نیز شاهد افزایش و کاهش متناسب درصد تحقق چشم‌انداز ۲۰ ساله در افق ۱۴۰۴ هستیم که نشان می‌دهد رشد تکنولوژی و تسهیل سرمایه‌گذاری نقش بسزایی را در تحقق اهداف چشم‌انداز ایفا می‌کند.



نمودار ۱۰- درصد تحقق چشم انداز

بحث و نتیجه‌گیری

مقاله حاضر با هدف ارائه مدل سیستم داینامیکی زنجیره تأمین صنعت فولاد شکل گرفته است تا بتواند به سیاست‌گذاران و مدیران صنعت در تصمیم‌گیری‌های این صنعت استراتژیک کمک نماید. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که تغییرات ۲۰± درصدی در دو پارامتر مدل که بیانگر رشد تکنولوژی (در بخش نگهداری و تعمیرات که منجر به افزایش طول عمر کارخانجات می‌شود) و ضریب سرمایه‌گذاری (که به معنی تسهیل سرمایه‌گذاری بخش خصوصی با ارائه مشوق‌ها می‌باشد) تأثیر مناسبی را بر تحقق اهداف خواهد داشت.

با توجه به نتایج شبیه‌سازی بر بستر سناریو، شاهد تحقق بموقع اهداف توسعه در حلقه‌های ابتدایی‌تر زنجیره هستیم که تبعات افزایش خام فروشی را در پی خواهد داشت ولی درصد تحقق اهداف چشم‌انداز در بخش تولید محصولات فولادی در سناریوی خوش‌بینانه حدودا به ۵۵٪ رسیده است که مطلوب نیست و نشان‌دهنده این موضوع است که بسته حمایتی برای توسعه تکنولوژی و تسهیل سرمایه‌گذاری می‌بایست متمرکز بر حلقه‌های انتهایی زنجیره باشد تا ضمن جلوگیری از خام فروشی ارزش‌افزوده بیشتری نصیب صنعت فولاد کشور شود.

نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که تغییرات ۲۰± درصدی در دو پارامتر مدل که بیانگر رشد تکنولوژی (در بخش نگهداری و تعمیرات که منجر به افزایش طول عمر کارخانجات می‌شود) و ضریب سرمایه‌گذاری (که به معنی تسهیل سرمایه‌گذاری بخش خصوصی با ارائه مشوق‌ها می‌باشد) تأثیر مناسبی را بر تحقق اهداف خواهد داشت. لذا پیشنهاد می‌شود سیاست‌گذاران صنعت به دو پارامتر فوق توجه ویژه نمایند.

همچنین با توجه به نتایج شبیه‌سازی بر بستر سناریو، شاهد تحقق بموقع اهداف توسعه در حلقه‌های ابتدایی‌تر زنجیره هستیم که تبعات افزایش خام فروشی را در پی خواهد داشت ولی درصد تحقق اهداف چشم‌انداز در بخش تولید محصولات فولادی در سناریوی خوش‌بینانه حدودا به ۵۵٪ رسیده است که مطلوب نیست. لذا سیاست‌گذاران و مدیران صنعت فولاد بایستی بسته حمایتی برای توسعه تکنولوژی و تسهیل سرمایه‌گذاری را متمرکز بر حلقه‌های انتهایی زنجیره نمایند تا ضمن جلوگیری از خام فروشی، ارزش‌افزوده بیشتری نصیب صنعت فولاد کشور شود.

از طرفی با توجه به نتایج سناریوها و لزوم توجه به توسعه تکنولوژی‌ها در صنعت فولاد، پیشنهاد می‌گردد تا نظام مدیریت تکنولوژی در شرکت‌های این صنعت استقرار یافته و تکنولوژی‌های مناسب جهت توسعه، شناسایی و کسب گردند. همچنین ارزیابی توانمندی تکنولوژیک صنعت فولاد و شرکت‌های تابعه آن، گامی مهم در بهبود این توانمندی‌ها می‌تواند باشد.

از مهمترین محدودیت‌های این پژوهش می‌توان به فقدان اطلاعات جزئی و کامل از زنجیره تأمین صنعت فولاد در پژوهش‌های مرتبط و نیز نبود بعضی داده‌های سری زمانی درخصوص برخی از متغیرهای مورد مطالعه، اشاره نمود. همچنین جهت بررسی هر چه بیشتر و پرداختن به همه ابعاد موضوع در راستای توسعه و تکمیل این پژوهش، به محققان پیشنهاد می‌گردد با توجه به تأثیرگذاری بالای مسائل تکنولوژیک در صنعت فولاد، مفاهیم تکنولوژیک را از ابعاد مختلف در این صنعت بررسی و یک مدل ریاضی به منظور شبیه‌سازی ابعاد موضوع ایجاد شود. همچنین مدل ریاضی توسعه داده شده‌ای می‌تواند بر مبنای توسعه حلقه‌های علی معلولی و سناریوهای مختلف دیگر بررسی شده تا بتوان تأثیرات اجرای هر یک از سیاست‌های توسعه‌ای را بررسی و بهترین و مؤثرترین استراتژی‌ها را به نحوی انتخاب نمود که با صرف کمترین منابع بیشترین رشد اقتصادی و توسعه را در صنعت فولاد کشور ایجاد کرد.

منابع

۱) استرمن، جان (۲۰۰۰)، پویایی شناسی کسب و کار: برارپور کورش، تفکر سیستمی و مدل‌سازی برای یک دنیای پیچیده، انتشارات سازمان مطالعه و تدوین کتب علوم انسانی دانشگاه‌ها (سمت)

۲) سند برنامه‌ریزی راهبردی، (۱۳۹۵)، سایت وزارت صمت.

3) Cagliano, R., Worley, C. G., & Caniato, F. F. (2016). The Challenge of Sustainable Innovation in Agri-Food Supply Chains. In Organizing Supply Chain Processes for Sustainable Innovation in the Agri-Food Industry (pp. 1-30). Emerald Group Publishing Limited.

4) Espadinha-Cruz, P., Grilo, A., Puga-Leal, R., & Cruz-Machado, V. (2011). A model for evaluating Lean, Agile, Resilient and Green practices interoperability in supply chains. Industrial Engineering and Engineering Management, IEEM 2011 (pp. 1209-1213), Singapore.

5) Güner, H. M., Çemberci, M., & Civelek, M. E. (2018). The Effect of Supply Chain Agility on Firm Performance.

6) Johnson, T. E., & O'Connor, D. L. (2008). Measuring team shared understanding using the analysis-constructed shared mental model methodology. Performance Improvement Quarterly, 21(3), 113-134.

7) Khamseh, A; Ghodarzi, M; Asghari, M.(2019), "Identification of key success factors of R&D collaborations with an approach to future in MAPNA Group Supply Chain Management, journal of future studies management.[In Persian].

8) Kau, F., Lii, P., (2016). Innovation-oriented supply chain integration for combined competitiveness and firm performance. Intern. Journal of Production Economics, http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2016.01.018

9) Kumar, V., Chibuzo, E., Reyes, J., Kumari, A., Lona, L., Torres, G., (2017). The Impact of Supply Chain Integration on Performance: Evidence from the UK Food Sector. Procedia Manufacturing 11 (2017) 814 – 82.

10) Langfield-Smith, K., & Wirth, A. (1992). Measuring differences between cognitive maps. Journal of the Operational Research Society, 43(12), 1135-1150.

11) Langan-Fox, J., Code, S., & Langfield-Smith, K. (2000). Team mental models: Techniques, methods, and analytic approaches. Human Factors, 42(2), 242-271.

12) Langan-Fox, J., Wirth, A., Code, S.,

13) Langfield-Smith, K., & Wirth, A. (2001). Analyzing shared and team mental models. International journal of industrial ergonomics, 28(2), 99-112.

14) Lemke, J., & Łatuszyńska, M. (2013). Validation of System Dynamics Models–a Case Study. Journal of Entrepreneurship Management and Innovation (JEMI),9(2),45-59.

15) Markíczy, L., & Goldberg, J. (1995). A method for eliciting and comparing causal maps. Journal of management, 21(2), 305-333.

16) Rimienė, Kristina. 2011. "Supply Chain Agility Concept Evolution(1990-2010)", Journal of Economics and Management, 890-905.

17) Sabegh, M. H. Z., Caliskan, A., Ozturkoglu, Y., & Cetiner, B. (2019). Testing the Effects of Agile and Flexible Supply Chain on the Firm Performance Through SEM. In System Performance and Management Analytics (pp. 35-46). Springer, Singapore.

18) Srvulaki, E., & Davis, M. (2010). "Aligning product with supply chain processes and strategy". The international journal of logistic management, 21, 127 -151 .

19) Schaffernicht, M., & Groesser, S. N. (2009, July). What's in a mental model of a dynamic system? Conceptual structure and model comparison. In Proceedings of the 27th International Conference of the System Dynamics Society.

20) Senge, P. M., & Forrester, J. W. (1980). Tests for building confidence in system dynamics models. System dynamics, TIMS studies in management sciences,14,209-228.

21) Tarofder, A. K., Haque, A., Hashim, N., Azam, S. M., & Sherief, S. R. (2019). Impact of Ecological Factors on Nationwide Supply Chain Performance. Ekoloji Dergisi, (107).

22) Van, N., Vikas, K., Archana, K., Arturo, G., Supalak, A., (2016). The role of supply chain integration in achieving competitive advantage: A study of UK automobile manufacturers. Proceedings of the 26th International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing (FAIM), Seoul, Republic of Korea, June 27-30

23) Vennix, J. A., Scheper, W., & Willems, R. (1993). Group model building. What does the client think of it. In Proceedings of the 1993 international system dynamics conference (pp. 534-543). 49 Bedford Road, Lincoln, MA 01773, USA: System Dynamics Society.

یادداشت‌ها :

1 Espadinha-Cruz
2 Richards *,et al*
3 Agarwal, A., Shankar, R., Tiwari, M.K. Modeling Agility of Supply Chain, Lertpattarapong, C., Applying System Dynamics Approach to the Supply Chain Rabelo,L. Analysis Of Supply Chain using System Dynamics, Neural Nets, And Eigenvalues.Samuel H. Huang, Ge Wang, John P. Dismukes, A Manufacturing Engineering Perspective On Supply Chain Integration (2000)
4 Srvulaki & Davis
5 GSCF
6 Rimienė
7 Van
8 Kumar
9 Sabegh et al
10 Güner et al
11 Tarofder et al
12 VENSIM