فصلنامه پژوهشنامه بازرگانی، شماره ۵۰، بهار ۱۳۸۸، ۲۲٤ ـ ۲۰۱

# تدوین استراتژی زنجیره تأمین صنعت فولاد ایران با استفاده از تحلیل پویایی سیستم‌ها

دکتر محمدعلی افشار کاظمی* دکتر احمد ماکوئی **
زهرا درمان***

دریافت: ۸۶/۱۲/۵ پذیرش: ۸۸/۲/۱

زنجیره تأمین صنعت فولاد / تحلیل پویایی سیستم / تدوین استراتژی فولاد / متغیرهای حساس مدل فولاد

## چکیده

مدیریت صنعت فولاد نیازمند تصمیات آینده نگر و طراحی ظرفیت های جدید با تکنولوژی پیشرفته با رویکردی جامع و به هم پیوسته است. یکی از ابزارهای مدیریتی براساس این نگرش، علم پویایی سیستم[1] می‌باشد. این علم توانایی شبیه سازی زنجیره تأمین‌های مختلف را دارد، به کمک این شبیه سازی پیامدهای نامشخص تصمیم گیری‌ها آشکار می‌شود. هدف عمده این روش شبیه‌سازی، تسریع و تسهیل یادگیری رفتار سیستم‌ها در شرایط فعلی و آینده است.

در این مقاله مدل مربوط به زنجیره تأمین صنعت فولاد ایران با روش پویایی سیستم‌ها برای شناخت و ارزیابی روندو شناخت عوامل اثرگذار بر آن، تهیه و توسعه داده شده است.

---

* استادیار دانشکده مدیریت، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران مرکز. drafshar@iauec.net

** استادیار دانشگاه علم و صنعت. amakui@iust.ac.ir

*** دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع،سیستم‌های اقتصادی اجتماعی دانشگاه آزاداسلامی، واحد علوم تحقیقات zahrad@rocketmail.com

■ زهرا درمان، مسئول مکاتبات.

1. System Dynamics.

در این تحقیق سعی شده است ساختار ظرفیت سازی، تولید فولاد خام و محصولات نهایی، سود حاصل از فروش و صادرات و تقاضای فولاد مدل شده و در چارچوب تفکر سیستمی و ابزارهای سیستم دایناميک و در نرم‌افزار Vensim اجرا شود. در این راستا ابتدا متغیرهای اصلی شناسایی و روابط آن‌ها در قالب حلقه های علّی تدوین گردیده، سپس با طراحی مدل اصلی و در قالب نمودار انباشت جریان تکمیل و در نرم افزار شبیه‌سازی شده است. می توان به این مدل متغیرهایی اضافه نمود، و هر نوع استراتژی و راه‌حل را در مدل آزمود. پس از اجرای مدل و آزمودن آن تعدادی متغیر به عنوان متغیر اثرگذار معرفی شدند، تعدادی از این متغیرهای حساس مدل در دست تصمیم گیران و تعدادی دیگر در کنترل مدیران فولاد نمی‌باشند که پیشنهاد شد برای آن متغیرها نیز در صنعت فولاد مدل‌سازی جداگانه‌ای انجام شود.

**طبقه‌بندی JEL: C 61.**

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

## مقدمه

صنایع آهن و فولاد ایران با تأکید بر حفظ محیط زیست، بهبود کیفیت و بهره‌وری و توجه به الزامات، حضوری فعال و اثر بخش در عرصه تجارت داخلی و جهانی جهت توسعه منافع ملی دارد. قرن بیست و یکم ، عصر فولادی های مدرن می‌باشد، فولادی که جانشین برتر فولاد امروزی خواهد بودو میتواند جوابگوی نیازهای بشرقرن بیست و یکم باشد.

کشور ما درحال حاضر، از نظر شرایط تولید فولاد، دارای مزیت‌های نسبی فراوانی است.از آن جمله می توان 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 بادستیابی به فن‌آوری نوین تولید می تواند نقش مؤثرو رقابتی را در بازار جهانی فولاد ایفا نماید.با در نظر گرفتن مجموع عوامل فوق‌الذکر ارائه مدلی که بتواند با در نظر گرفتن متغیرهای کلیدی عرضه و تقاضای کلیه محصولات نهایی و میانی صنایع فولادسازی، روند آتی تغییرات اقتصادی این صنعت را شبیه‌سازی کند، می‌تواند نقش ارزنده‌ای در کمک به تصمیم گیران 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.

در این تحقیق برای نخستین بار از شبیه سازی سیستم داینامیک جهت مدلسازی زنجیره تأمین صنعت فولاد استفاده شده است، و هدف رسیدن به یک استراتژی کلی در تولید محصولات فولادی می‌باشد. متغیرهای اصلی شامل تولید فولاد خام و محصول نهایی، واردات و صادرات فولاد خام و محصولات نهایی، ظرفیت فولاد خام، بودجه اختصاص یافته برای فولاد خام و محصولات نهایی، سود حاصل از فروش و صادرات محصولات، سود نهایی و... می‌باشد. افق زمانی[1] برای این تحقیق پنج سال در نظر گرفته شده، چرا که برنامه توسعه کشور دوره‌های پنج ساله دارد.

---

1. Time horizon.

## ۱. سوال تحقیق

آیا می توان بوسیله مدلسازی سیستم داینامیک زنجیره تأمین فولاد با استفاده از تحلیل پویایی سیستم به استراتژی کلی برای صنعت فولاد ایران دست یافت؟

## ۲. ادبیات موضوع

### ۲-۱. نظریه پویایی سیستم‌ها

اصول و مکانیزم‌های پویایی‌های سیستم ابتدا در دهه‌های ۱۹۴۰ و ۱۹۵۰ مطرح و بررسی‌هایی بر روی آن انجام شد. پویایی های سیستم روش درک انواع مشخصی از مسائل پیچیده سیستم است. این رشته در واقع از صنعت و مسائل ناشی از آن نشأت گرفته است.کار نخستین آن ابتدا با برخی مسائل مدیریتی نظیر بی‌ثباتی در تولید و اشتغال، رشد کم یا ناسازگاری فعالیت های سازمانها و کاهش سهم بازار در ارتباط بوده است. پویایی های سیستم که قبلاً به پویایی های صنعت مرسوم بود در اوان ظهور خود توسط "جی- فارستر" در حل مسائل متنوع کاربرد گسترده ای یافت. سیستم دینامیک در گستره وسیعی از مسائل مورد استفاده واقع شده است که از جمله می توان به استراتژی برنامه‌ریزی و طراحی یکپارچه (فارستر ۱۹۶۱ ولینز ۱۹۸۰)، رفتارهای اقتصادی (استرمن۱۹۸۳)، مدیریت اجتماعی (هامر و کلایر۱۹۹۱)، مدلسازی بیولوژیکی و پزشکی (هانسون و بای ۱۹۸۷)،انرژی ومحیط(فورد و لوبر۱۹۸۹)، پویایی های ترکیبی غیرخطی (موسکیلد۱۹۹۱)، توسعه تئوریهای علوم طبیعی و اجتماعی (دیل۱۹۹۷)، تصمیم‌گیری‌های پویا (استرمن۱۹۸۹)، مهندسی نرم افزار (عبدالحمید۱۹۸۴)، مدیریت زنجیره تأمین(تاویل ۱۹۹۰،بارلاس و اکسوگان۱۹۹۷،اکرمن۱۹۹۹) اشاره کرد.[1]

سایر پایان نامه هایی که با مدلسازی سیستم داینامیک در موضوعات مختلف انجام شده، عبارتند از:

مدل Target توسط روتمنز و دورویه[2] در سال ۱۹۹۷ در مؤسسه ملی بهداشت عمومی و

---

1. Sterman, J.D. (2000).
2. Rotmans & De Vories(1997).

زیست محیطی هلند توسعه داده شده است .

مدل World3 توسط فارستر(۱۹۷۳)، بنیان گذار سیستم داینامیک، تهیه شده است. این مدل به بررسی تغییرات منابع کانی، آنی و انسانی براساس فعالیت‌های بشر بر روی زمین می‌پردازد. این مدل بعداً توسط میدوز[1] و همکاران درسال ۱۹۷۴و ۱۹۹۲ در مؤسسه تکنولوژی ماساچوست تکمیل شد.[2]

## ۲-۲. تدوین استراتژی صنعت فولاد ایران

با توجه به اهمیت صنعت فولاد در اقتصاد کشور، در برنامه‌های دوم و سوم توسعه، برنامه‌ریزی هایی برای توسعه این صنعت انجام شده است. به عنوان مثال در برنامه سوم براساس پیش‌بینی می باید تا پایان برنامه یعنی سال ۱۳۸۳، ظرفیت تولید فولاد کشور به ۱۴/۷میلیون تن برسد، اما متأسفانه این رقم، به دلیل عدم ارزیابی صحیح از توانایی‌ها در ایجاد ظرفیت در ابعاد مختلف در کشور و عدم برنامه‌ریزی مناسب عملی نیست.

به منظور ارزیابی درست و واقع بینانه توانایی های 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.[3]

## ۲-۳. زنجیره تأمین

مدیریت زنجیره تامین را باید نتیجه تکامل مدیریت انبارداری دانست.طی دهه‌های ۶۰ و ۷۰ میلادی، سازمان ها به منظور افزایش توان رقابتی خود تلاش داشتند با استانداردسازی وبهبود فرآیندهای داخلی خود، محصولی با کیفیت بهتر وهزینه کمتر تولید کنند. .در دهه ۸۰ میلادی با افزایش تنوع در الگوهای مورد انتظار مشتریان، سازمان ها به طور فزاینده‌ای به افزایش انعطاف پذیری در خطوط تولید وتوسعه محصولات جدید برای ارضای نیازهای مشتریان علاقه‌مند شدند. دردهه ۹۰ میلادی به همراه بهبود در فرایندهای تولید وبه

---

1. Meadows (1974).
2. Forrester, Jay W., (1997), (۱۳۸٤) و نیکس جری حمیدی‌زاده (۱۳۷۸)
۳. طرح جامع فولاد ایران، شرکت ملی فولاد ایران (۱۳۸۳).

کارگیری الگوهای مهندسی مجدد، مدیران بسیاری از صنایع در یافتند که برای ادامه حضور در بازار ، تنها بهبود فرایندهای داخلی وانعطاف پذیری د رتوانایی‌های شرکت کافی نیست بلکه تامین کنندگان قطعات ومواد نیز باید ارتباط نزدیکی با سیاست‌های توسعه بازار تولیدکننده داشته باشند. فضای رقابتی ابزار آنها با چالش‌هایی همچون کاهش سیکل های تولیدی ، کاهش زمان توزیع ونیز کاهش سطح موجودی مواجه ساخت. حل این معضلات باعث ایجاد فرایندی شد که در دهه ۱۹۹۰ مدیریت زنجیره تامین نام گرفت. نخستین ریشه ای استفاده از سیستم داینامیک در مدیریت زنجیره تامین به کتاب پویایی‌های صنعتی( فارستر۱۹۶۱) باز می گردد که در آن فارستر ضمن ارایه یک مدل برای سیستم تولید وتوزیع، ۶ جریان اصلی ذیل را مد نظر قرار می‌دهد: اطلاعات، مواد، سفارشات، پول، نیروی انسانی وتجهیزات سرمایه‌ای. نخستین اثر منتشر شده در موردکاربرد سیستم داینامیک در مدیریت زنجیره تامین در کتاب معروف جی – فارستر یعنی" پویایی‌های صنعتی" (۱۹۵۸) می‌باشد. وی سپس در سال ۱۹۶۱ میلادی مدل اولیه خود را از طریق افزودن جزییات بیشتر وا یجاد ارتباط میان کاربر از مدل وآموزش مدیریت، بسط وتوسعه داد.[1]

## ۳. مراحل مدلسازی در تحلیل پویایی سیستم

مراحل مدل سازی در روش تحلیل پویایی سیستم به ترتیب زیر است:

۱. شناخت و تعریف مسئله

۲. رسم نمودارهای مرجع

۳. تعریف متغیرهای عمده مطرح در مسئله

۴. تعریف ارتباط بین متغیرها

۵. رسم نمودار علت و معلولی بین متغیرها

۶. تعریف مرزهای مدل

---

1. 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)

۷. ساخت نمودار جریان برای مدل، در این نمودار متغیرهای نرخ و انباره‌ای از هم تفکیک شده مبتنی بر نمودار عُلت و معلولی و ارتباط بین متغیرها شکل کاملی از مدل رسم می‌گردد. در این نمودار خصوصیات مسأله مانند تأخیررفتارهای غیرخطی، شروط و ... اعمال می‌شود.

۸. اجرا و کالیبره کردن مدل

۹. بررسی اعتبار مدل، تست های مختلفی مانندتحلیل حساسیت، تحلیل حدی، سازگاری بعد متغیرها و... [1]

## ۴. نمودارهای مرجع [2]

نمودارهای مرجع به عنوان الگوی رفتاری مدل از یک طرف به اعتبار سنجی مدل کمک می کند و از طرف دیگر با شناخت الگوی رفتاری متغیرهای مهم و برخی از انباشت ها در روند مدلسازی و انتخاب متغیرها مؤثر خواهد بود.

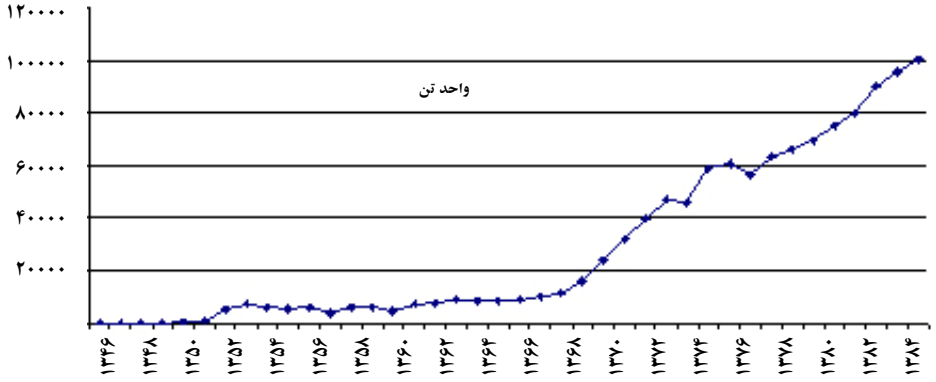
### ۴-۱. فولاد خام

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 بیانگر آن است که به استثنای کاهش تولید در طی دور ۶۲-۱۳۵۷ دارای روند افزایشی بوده است که در نیمه اول دهه هفتاد جهش قابل ملاحظه‌ای داشته است به طوری که تولید فولاد خام۱۵۸۳,۶ هزار تن در سال ۱۳۶۹ به ۵۸۹۴,۸ هزار تن در۱۳۷۵ افزایش یافته است که می‌توان گفت در این دوره نرخ رشد متوسط سالیانه ۲۴ درصد را تجربه کرده است. ولی از این دوره به بعد دارای نرخ رشد کمتری بوده است که این مسئله می تواند ناشی از بروز بحران بوجودآمده در بازار فولاد در جهان باشد.

---

1. Sterman.

۲. منصور عسکری، (۱۳۸٤)، مجتمع فولاد مبارکه، مجموعه مقالات، سمینار، تجربیات فولاد مبارکه ، (۱۳۷۰)، طرح جامع فولاد ایران، شرکت ملی فولاد ایران (۱۳۸۳) و گزارش سازمان توسعه و نو سازی معادن و صنایع معدنی ایران (۱۳۸٦).




**نمودار ۱- میزان تولید فولاد خام کشور**

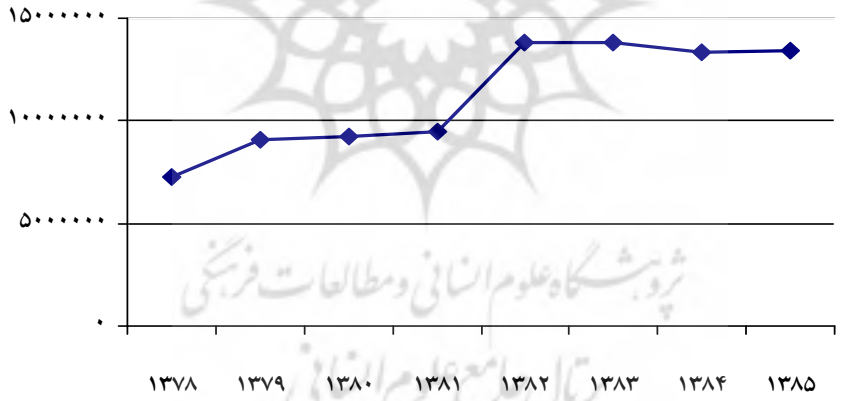
## ۲-۴. محصول نهائی فولاد

میزان تولید فولاد نهائی از ۲۶,۱۱ 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 می کند که در بعضی از سال ها با افزایش واردات محصولات نیمه نهائی روند تولید محصول نهائی از تولید فولاد خام تبعیت نمی کند ولی آنچه مهم است این است که در طی ۶۲- ۱۳۵۷ این روند کاهش واز ۱۳۶۳ به بعد جز در سال ۱۳۷۸ روند افزایشی داشته است و در سال‌های ۴۶ تا ۵۶ نیز دارای نوساناتی بوده است.

**نمودار۲- میزان تولید محصول نهایی**

### ۳-۴. مصرف فولاد کشور

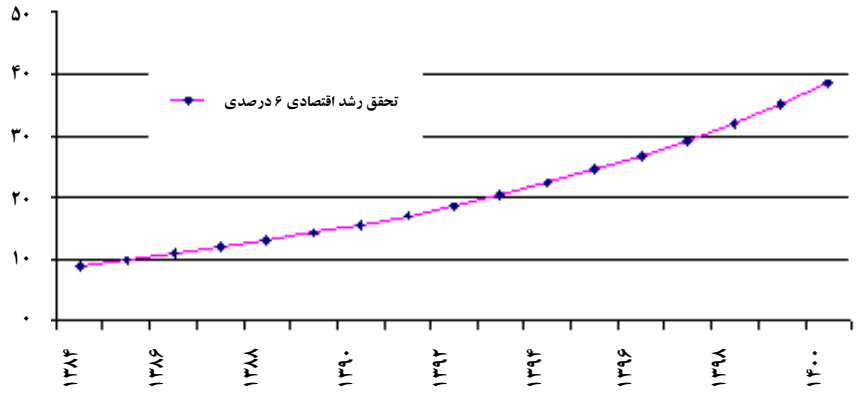
امروزه به دلیل اهمیت و جایگاه فولاد و محصولات فولادی در توسعه کشورها، مصرف ظاهری و مصرف سرانه بعنوان یکی از شاخص‌های توسعه تلقی می شوند. مصرف سرانه فولاد کشور در طی سال‌های ۵۷-۱۳۴۶ به طور متوسط برابر ۹۰ کیلوگرم بوده است. که در ۶۹-۱۳۵۸ به ۷۹ کیلوگرم کاهش یافته است که بخشی از این کاهش ناشی از افزایش جمعیت در این دوره، 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 گرم‌در سال ۱۳۸۲ رسیده است. افزایش مصرف سرانه فولاد را می‌توان ناشی از افزایش فعالیت های عمرانی، صنعتی، بازسازی خرابی های 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 توسعه یافته نشان می دهد که این میزان بسیار پایین‌تر می باشد. در سال ۱۳۸۴ نیز مصرف سرانه ظاهری با احتساب جمعیت ۶۸ میلیون نفر به ۱۹۵/۸ کیلوگرم رسید و مصرف ظاهری نیز به ۱۳,۳۱۴,۴۷۴ تن رسیده است.




**نمودار ۳- مصرف ظاهری فولاد(تن)**

### ۴-۴. پیش بینی تقاضای کل محصولات فولادی

تقاضای کل محصولات فولادی از ۹/۰۵ میلیون تن در ۱۳۸۴ به ۳۳/۶۲ میلیون تن در ۱۴۰۰ افزایش می‌یابد که حدوداً ۱۶۰/۹۹ درصد افزایش را نشان می‌دهد.




**نمودار ۴- پیش‌بینی تقاضا**

## ۵. مرزهای مدل

مرز مدل شامل کشور ایران و کلیه کارخانجات و واحدهای فولادسازی داخل کشور می‌باشد، مرز زمانی تا ده سال آینده را در برمی گیرد ولی به دلیل برنامه‌های توسعه پنج ساله کشورافق زمانی پنج سال در نظر گرفته شده است.

## ۶. متغیرهای کلیدی

سود کل حاصل از بخش فولاد: این متغیر مجموع سود بخشهای فروش و صادرات محصولات نهایی و فولاد خام را محاسبه می کند، وبر اساس ریال اندازه‌گیری می‌شود.

نرخ واردات فولاد خام و محصول نهایی: واردات فولاد خام با توجه به تقاضای آن و سقف تعیین شده برای واردات تعیین می گردد: واردات محصولات نهایی بستگی به تقاضای این محصولات وزمان مورد نیاز برای واردات دارد.

نرخ صادرات فولاد خام و محصول نهایی: این متغیر با توجه به سقف تعیین شده برای صادرات فولاد خام و مقدار موجودی انباشت تغییر می کند. برای محصول نهایی صادرات به مقدار انباشت محصول و نسبت صادرات به تولید محصول نهایی بستگی دارد.

تقاضا برای محصولات نهایی: این متغیر انباشتی است که با یک ضریب ثابت به مقدار ورودی آن اضافه می شود و برروی فروش و واردات محصول نهایی تأثیر دارد.

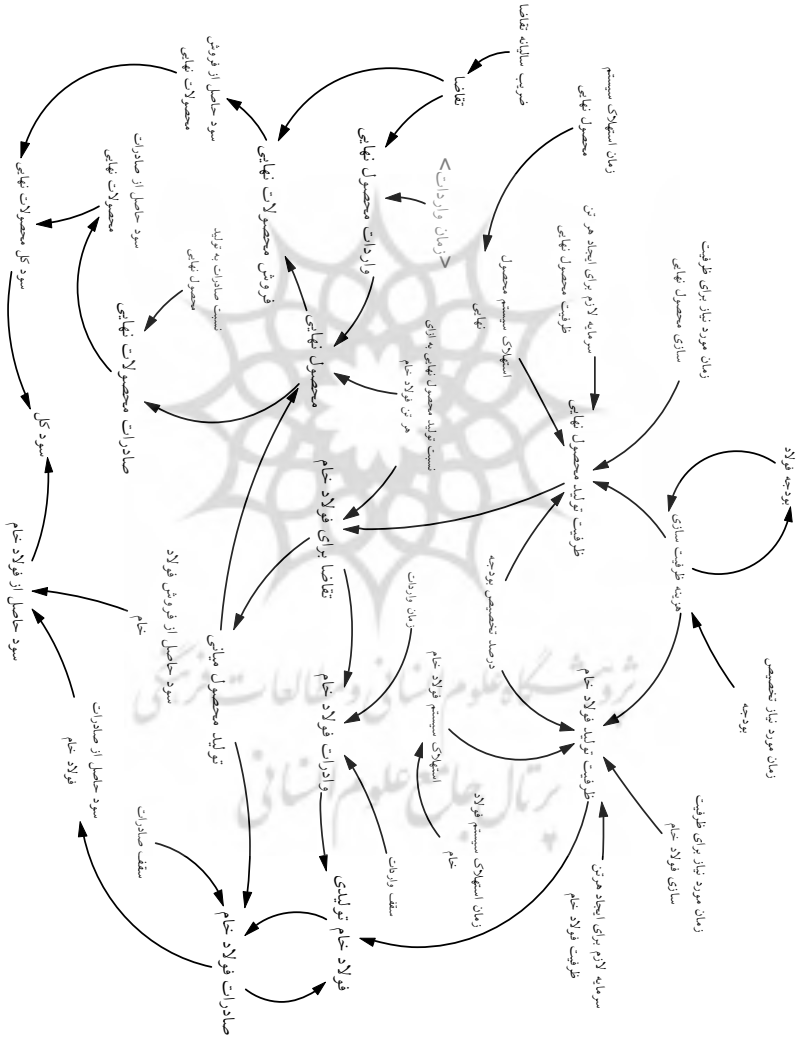
نرخ ایجاد ظرفیت برای محصول نهایی و فولاد خام: این متغیرها به عواملی مانند هزینه مورد نیاز یک تن ایجاد ظرفیت، نرخ هزینه ظرفیت‌سازی و تخصیص بودجه بستگی دارد،

با تغییر هر یک از این متغیرها نرخ ایجاد ظرفیت دستخوش تغییر می شود.

نرخ تولید محصول نهایی و فولاد خام: این دو نرخ وابسته به ظرفیت محصول نهایی و فولاد خام هستند .

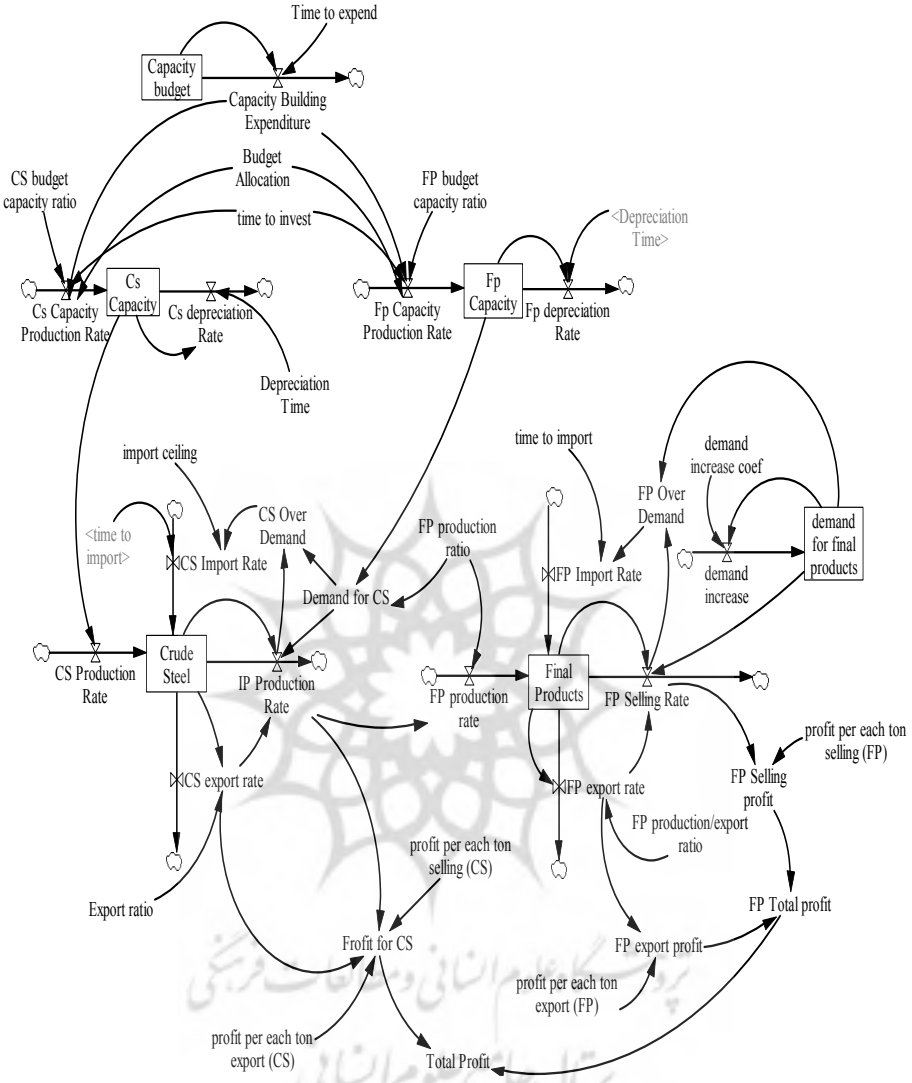
نرخ هزینه ظرفیت سازی : مقدار بودجه اختصاص یافته به بخش فولاد با توجه به هزینه خرج شدن با این نرخ هزینه می شود.

## ۷. نمودار علّی




**نمودار۵- نمودار علّی مدل**

## ۸. نمودار انباشت جریان مدل




**نمودار۶ - نمودار انباشت جریان مدل زنجیره تأمین صنعت فولاد**

## ۹. روابط و توابع مدل

در این مرحله برخی روابط حاکم بین متغیرهای مدل را ذکر می کنیم، این روابط در دو

زیر مجموعه فولاد خام و محصول نهایی مشابه می باشد.

Capacity Building Expenditure = (۱)

Capacity budget/Time to expend

نرخ هزینه ساخت ظرفیت از تقسیم بودجه تعیین شده بر زمان مورد نیازبرای هزینه کردن بدست می آید، برای مثال اگر برای ظرفیت سازی صنعت فولاد بیست میلیارد ریال در طول ۵ سال هزینه شده باشد، نرخ ظرفیت سازی برابر۴ میلیارد ریال خواهد بود.

Crude Steel = (۲)

INTEG (CS Import Rate + CS Production Rate-CS export rate-IP Production Rate)

انباشت فولاد خام،انتگرال مجموع نرخ ورودیها یعنی نرخ واردات و نرخ تولید منهای نرخ خروجی ها، نرخ صادرات و نرخ تولید محصول میانی، می باشد. لازم است برای این انباشت مقدار اولیه نیز در نظر گرفته شود.

CS Capacity = (۳)

INTEG (Cs Capacity Production Rate-Cs depreciation Rate)

انباشت ظرفیت فولاد خام، انتگرال نرخ تولید ظرفیت منهای نرخ استهلاک می باشد. مقدار اولیه این انباشت نیز بر اساس آمار باید تعیین گردد.

CS Capacity Production Rate = (٤)

(1-Budget Allocation)*Capacity Building Expenditure / (CS budget capacity ratio*time to invest)

نرخ تولید ظرفیت برای فولاد خام وابسته به متغیر های زیادی است، مکمل درصد تخصیص بودجه ضربدر نرخ هزینه ظرفیت سازی به تنهایی نرخ تولید را به دست نخواهد داد، بلکه باید در نظر گرفت هزینه مورد نیاز برای ایجاد یک تن ظرفیت خام چه مقدار است و این هزینه درطول چه مدت سرمایه گذاری خواهد شد.

CS Depreciation Rate = (۵)

Cs Capacity/Depreciation Time

نرخ استهلاک ظرفیت از تقسیم موجودی انباشت ظرفیت بر متوسط زمان استهلاک

بدست خواهد آمد، این متغیر برای محصول نهایی و فولاد خام با توجه به امکانات و شرایط ایران یکسان در نظر گرفته شده است.

CS Export Rate = **(۶)**

Crude Steel*Export ratio

نر خ صادرات فولاد خام با توجه به سیاستهای مدیران فولاد وابسته به سهم صادرات در نظر گرفته شده، چرا که لازم است سهمی از تولیدات فولاد خام صرف ساخت محصولات میانی و نهایی گردد و تمام این تولیدات صادر نگردند، چرا که سود حاصل از صادرات ممکن است از سود فروش داخلی (به کارخانجات با تکنولوژی پیشرفته ) بیشتر باشد.

CS Export Rate = **(۷)**

Min (import ceiling, CS over Demand/time to import)

نرخ واردات فولاد خام، با توجه به مقدار تقاضای اضافه تعیین می گردد، در این میان برای واردات فولاد خام نیز محدودیت قائل شدیم، چرا که با توجه به منابع غنی گاز و سنگ آهن تولید فولاد خام در ایران هزینه زیادی ندارد و بر اساس سیاستها واردات به صرفه نمی باشد. لذا چنانچه تقاضا بیش از توان پاسخگویی بود تا سقف مشخصی امکان واردات محصولات خام وجود دارد. (این تقاضا توسط کارخانجات محصول نهایی ایجاد می شود.)

CS Over Demand = **(۸)**

Max (0, Demand for CS-IP Production Rate)

تقاضای بیش از حد فولاد خام تابع تقاضای فولاد خام و نرخ تولید محصول میانی است، در صورت منفی بودن اختلاف بین تقاضای فولاد خام و نرخ تولید محصولات نهایی تقاضای اضافی صفر خواهد بود و با توجه به تابع قبل واردات فولاد خام نخواهیم داشت.

CS Production Rate = **(۹)**

Cs Capacity

نرخ تولید فولاد خام تابع انباشت ظرفیت فولاد خام می باشد.

Demand for CS = **(۱۰)**

FP Capacity/FP production ratio

تقاضا برای فولاد خام از طرف کارخانجات محصول نهایی ایجاد می شود، این متغیر از تقسیم ظرفیت محصول نهایی بر نسبت تولید محصول نهایی به ازای فولاد خام بدست می آید.

Demand for Final Products = (۱۱)

INTEG (Demand increase)

انباشت تقاضا برای محصولات نهایی یا همان تقاضای مشتریان انتگرال ورودی یعنی افزایش تقاضا می باشد.

Demand increase = (۱۲)

Demand for final products*demand increase coef

نرخ ورودی به انباشت تقاضا از حاصلضرب موجودی انباشت در ضریب سالیانه افزایش تقاضا بدست می آید، این ضریب با توجه به تولید ناخالص داخلی و عرضه و تقاضا تعیین می گردد.

FP Over Demand = (۱۳)

Max (0, demand for final products-FP Selling Rate)

متغیر تقاضای بیش از حد محصول نهایی جزئی از تابع تقاضای به کار رفته در مدل می‌باشد که چنانچه اختلاف تقاضا و فروش عددی بزرگتر از صفر باشد باعث فعال شدن تابع واردات خواهد شد. در غیر اینصورت و در صورت بر آورده شدن تقاضا این متغیر صفر خواهد ماند و وارداتی نخواهیم داشت.

FP Production Rate = (۱٤)

FP production ratio*IP Production Rate

نرخ تولید محصول نهایی از حاصلضرب نسبت تولید محصول نهایی به ازای هر تن فولاد خام در نرخ تولید محصول میانی به دست می آید.

FP Selling Profit = (۱۵)

Profit per each ton selling (FP)*Selling final products

سود حاصل از فروش محصولا نهایی وابسته به سود حاصل از صادرات به ازای هرتن و

نرخ فروش محصولات نهایی می باشد.

FP Selling Rate = **(۱۶)**

Min (Final Products-FP export rate, demand for final products)

نرخ فروش محصولات نهایی حداقل مقدار بین تقاضا و موجودی انباشت بعد از صادرات می باشد. در صورتیکه تقاضا برای محصول نهایی کمتر از موجودی انباشت باشد نرخ فروش برابر تقاضا خواهد بود و اگر تقاضا بیش از موجودی باشد به همان اندازه موجودی انباشت خواهد بود، چرا که موجودی انباشت نمی تواند صفر یا منفی شود.

FP Total Profit = **(۱۷)**

FP export profit + FP Selling profit

سود کل محصولات نهایی حاصل جمع سود حاصل از صادرات و سود حاصل از فروش را در بر می گیرد.

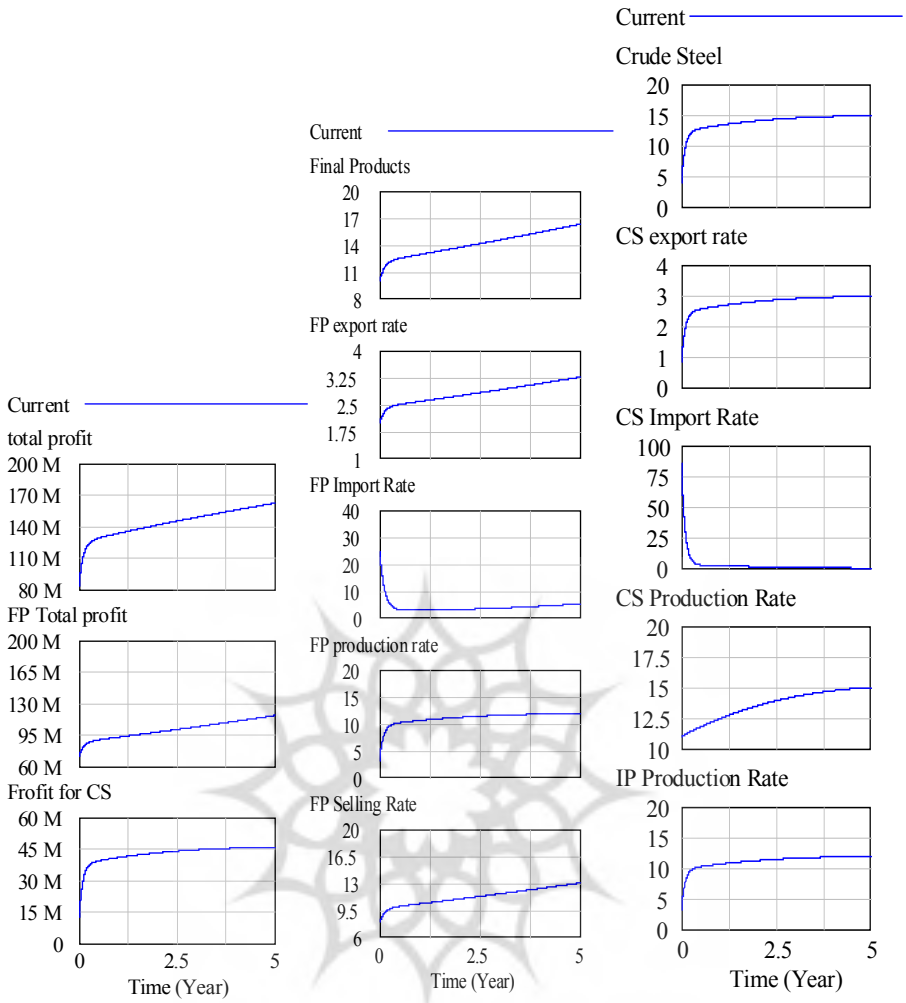
Profit for CS = **(۱۸)**

CS export rate*"profit per each ton export (CS)"+IP Production Rate*"profit per each ton selling (CS)"

سود برای فولاد خام از حاصل جمع سود صادرات و فروش به دست می آید که این دو هر کدام از ضرب مقدار سود برای هر تن فروش یا صادرات در نرخ تولید محصول نهایی و صادرات به دست می آیند. نرخ تولید محصول نهایی به این دلیل وارد می‌شود که فروش محصولات خام صرفاً به کارخانجات داخلی برای تولید محصولات نهایی می‌باشد.

## ۱۰. اجرای مدل

بعد از عددگذاری در مدل و نوشتن توابع و معادلات مدل به درستی اجرا می‌شود و نمودار برخی انباشت‌های مدل و همچنین متغیر سود بعد از یک مرحله اجرا در مدت پنج سال به صورت زیر می‌باشد:




**نمودار۷- اجرای مدل**

## ۱۱. تحلیل حساسیت و نتیجه‌گیری

حساسیت مدل به تغییر برخی متغیرها نشان دهنده اهمیت متغیر می‌باشد، ما نیز بعد از اجرای مدل متغیرهای حساس مدل را شناسایی نمودیم و برخی نتایج تغییر آن‌ها را در ذیل آورده‌ایم؛ این متغیرها به شرح زیر می‌باشند:

۱. درصد تخصیص بودجه

۲. سقف واردات فولاد خام

۳. ثابت سالیانه تقاضا

۴. سود حاصل از فروش هر تن محصول نهایی

۵. سود حاصل از صادرات هر تن محصول نهایی

۶. سود حاصل از فروش هر تن فولاد خام

۷. سود حاصل از صادرات هر تن فولاد خام

۸. سقف صادرات فولاد خام

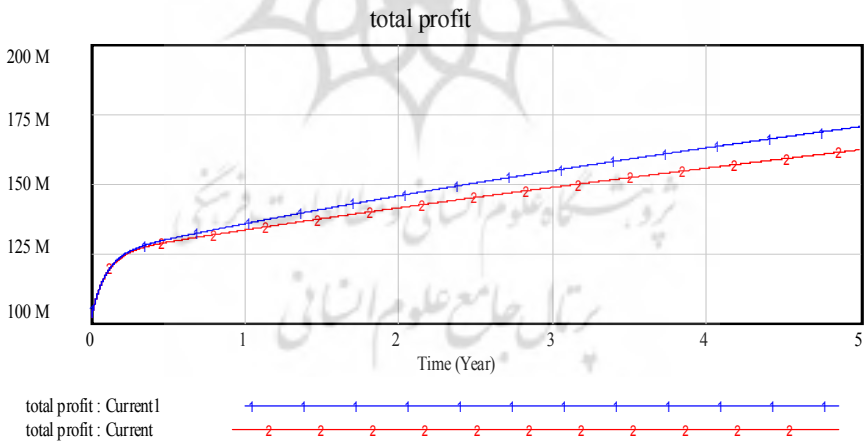
۹. زمان واردات

۱۰ زمان سرمایه گذاری

۱۱. زمان هزینه کردن

### ۱-۱۱. درصد تخصیص بودجه

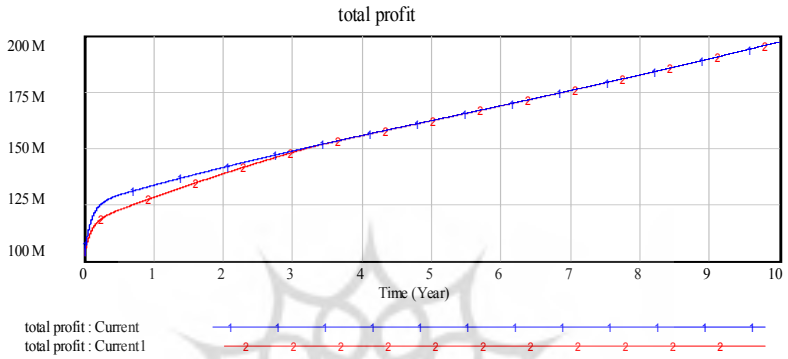
نمودار سود نهایی با افزایش بودجه تخصیص یافته به ایجاد ظرفیت محصولات نهایی از ۰/۵ به۰/۷، با افزایش بودجه تخصیص یافته به ایجاد ظرفیت محصولات نهایی از ۰/۵ (Current) به۰/۷ (Current1) سود نهایی همانطور که در نمودار می‌بینیم در طول ۴ سال و بعد از آن در حال افزایش است.




**نمودار۸- تحلیل حساسیت درصد تخصیص بودجه**

### ۲-۱۱. سقف واردات

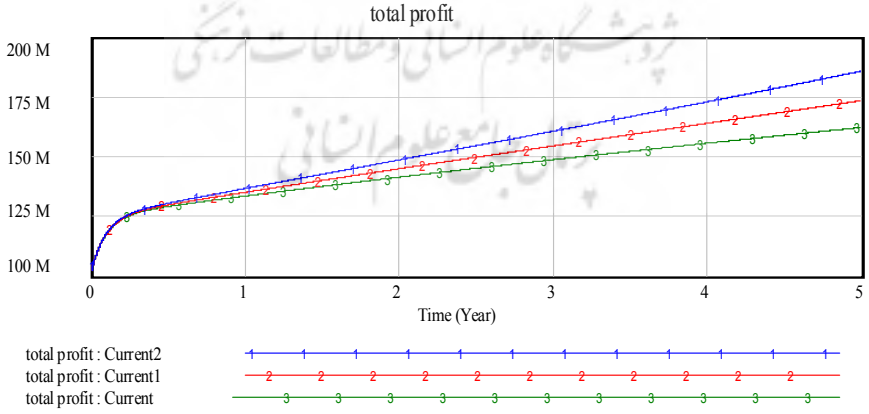
با توجه به نمودار و اعمال محدودیت واردات فولاد خام در Current1 متوجه کاهش سود در سه سال ابتدایی می شویم، با این حال بعد از سه سال سود در هر دو جریان یکسان خواهد بود.پس می توان نتیجه گرفت محدود کردن واردات اگرچه در ابتدا باعث کاهش سود می گردد و لی به مرور زمان تأثیر خود را از دست داده و سود از دست رفته جبران می گردد.




**نمودار ۹- تحلیل حساسیت سقف واردات**

### ۳-۱۱. ثابت سالیانه تقاضا

سود کل را با تغییر ثابت سالیانه تقاضا می سنجیم، این تغییرات را به اندازه دو درصدی افزایش می‌دهیم، لذا ثابت تقاضا را ۰,۰۶، ۰,۰۸و ۰,۱ در سه جریان Current، Current1 و Current2 مقایسه می کنیم:

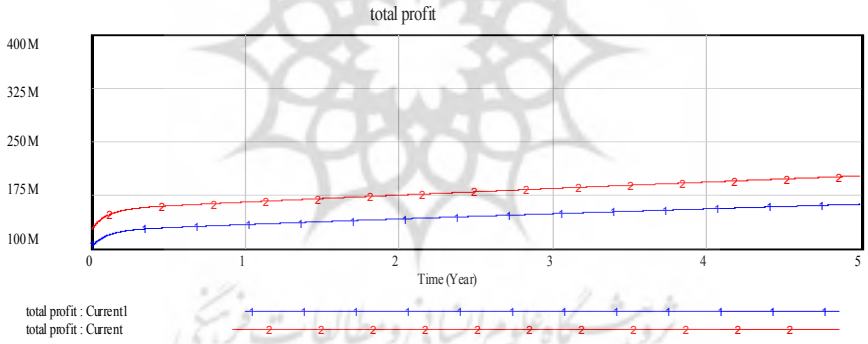



**نمودار ۱۰- تحلیل حساسیت تابع تقاضا**

همانطور که در نمودار مشاهده می شود با افزایش تقاضای داخلی به طور سالیانه این سود افزایش می یابد. این حساسیت سود کل به تابع تقاضا زمانی بیشتر مشهود است که درصد تقاضای سالیانه به بیش از یک برسد، در این حالت سود کل بعد از ۴ سال شروع به افزایش نمایی خواهد کرد، ولی با توجه به محدودیت های مدل این تغییر امکان پذیر نمی باشد چرا که با افزایش تقاضا عوامل متعددی از قبیل بازار سیاه، افزایش قیمتها، تغییر خط مشی کارخانجات و...رخ می دهد که این مدل آن تغییرات اقتصادی را پوشش نخواهد داد، لذا اثرات این افزایش تقاضا بر سود کل واقعی نخواهد بود.

### ۴-۱۱. سود حاصل از فروش محصولات نهایی

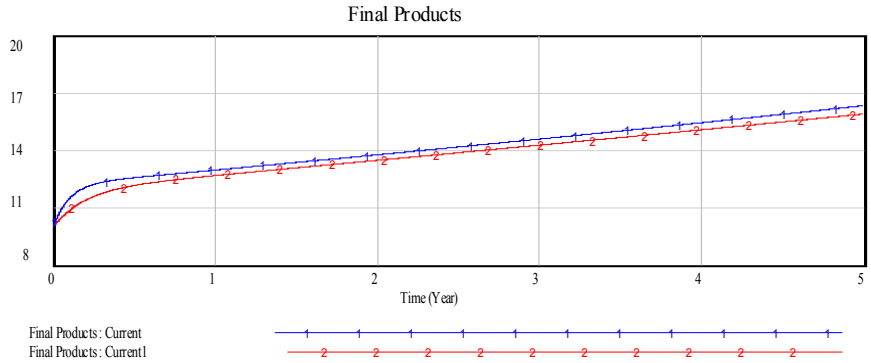
این عدد متوسط سود حاصل از فروش محصولات نهایی است و در حال حاضر از سود صادرات محصولات نهایی کمتر می باشد. این بیشتر به دلیل کیفیت پایین محصولات نهایی ایران جهت صادرات است. چنانچه کیفیت محصولات نهایی بالاتر رود و سود حاصل از صادرات از فروش بیشتر شود تغییراتی مثبت در سود کل خواهیم داشت:




**نمودار ۱۱- تحلیل حساسیت سود حاصل از فروش محصولات نهایی**

### ۵-۱۱. زمان واردات

زمان واردات، طولانی شدن و یا کوتاه شدن زمان واردات محصولات نهایی و یا فولاد خام یکسان در نظر گرفته شده، با افزایش این زمان از یک ماه به دوماه، تغییرات در انباشت محصول نهایی، فولاد خام و سود نهایی را بررسی می کنیم:




**نمودار۱۲- تحلیل حساسیت زمان مورد نیاز برای واردات**

## جمع‌بندی و ملاحظات

لازم به ذکر است که با توجه به تعدد معیارهای موثر درتدوین استراتژی و سیاستهای صنعت فولاد در سطح کلان، لحاظ موارد زیر در یک مطالعه جامع لازم می باشد، با توجه به اختیارات و میزان دخالت مدیران و سیاستگذاران بخش فولاد در متغیرهای مؤثر شناسایی شده در این مدل نتایج و پیشنهادات زیر ارائه می گردد:

درصد تخصیص بودجه برای ظرفیت سازی، از پارامترهای تأثیرگذار می باشد، با افزایش این متغیر بودجه اختصاصی برای ایجاد ظرفیت محصولات نهایی با ارزش افزوده بالاتر بیشتر و در نتیجه سود بیشتری از فروش و صادرات بدست می آید.

سقف صادرات فولاد خام، محدودنمودن صادرات فولاد خام را در دونمودار تولید محصول نهایی و سود نهایی بررسی کردیم، چرا که با افزایش سهم صادرات فولاد خام سود قابل توجهی عاید صنعت فولاد می‌شد و در عین حال تولیدات محصول نهایی به شدت کاهش می یافت. این اثر گذاری باعث تصمیمات زود هنگام مدیران خواهد شد بدون اینکه اثر تصمیم خود را مشاهده نمایند، افزایش صادرات فولاد خام در عین حال که فرصت ایجاد فولاد با ارزش افزوده بالاتر را از کشور ما می گیرد، کشور ما را بستری برای بازیگران جهانی فولاد قرار می دهد که فولاد خام را با هزینه پایین و قیمت پایین به فروش می رساند و آن کشورها با تکنولوژیها و فرآیندهای پیشرفته فولادی با چندین برابر قیمت تولید خواهند کرد. درحالی که این فرصت می‌تواند در اختیار کشورو بومی‌سازی

تکنولوژی تولید آهن وفولاد قرار بگیرد.

محدود کردن واردات فولاد خام درابتداباعث کاهش سود نهایی خواهد شد ولی در سالهای بعد این کمبود جبران خواهد شد و سود یکسانی خواهیم داشت، لذا محدود کردن واردات فولاد خام در بلند مدت اثرات منفی اش را از دست خواهد داد و حتی بعد از ۱۰ سال نیز سود را کم نخواهد کرد، پس می توان با کاهش واردات فولاد خام در هر سال به مقدار محدود این هزینه واردات را صرفه جویی نمود.

تغییر در قراردادهای کارخانجات و کاهش زمان واردات برای محصولات نهایی باعث افزایش قابل توجه سود خواهد شد. در حالیکه این تغییر در زمان واردات برای فولاد خام و روند واردات و سود حاصل از آن تغییری را به وجود نمی آورد، لذا بهتر است زمان واردات ، حمل و نقل و قراردادهای محصولات نهایی را تا حد امکان و حتی کمتر از یک ماه کاهش دهیم. این کاهش می تواند با اتخاذ سیاستهایی درباره تغییر کشورهای وارد کننده و همسایه صورت پذیرد.

با مقایسه زمانهای سرمایه گذاری متفاوت و تأثیر آنها بویژه درافزایش ظرفیت تولید محصولات خام و نهایی، حساسیت بالای مدل را نسبت به این پارامتر متوجه می شویم. لذا با کاهش این زمان از یک سال به مدتهای ۸، ۹ یا ۱۰ ماه نیز اثرات مثبتی در سود نهایی خواهیم داشت. از آنجایی که زمان سرمایه گذاری خود تابع متغیرهای متفاوتی در صنعت فولاد می باشد و در واقع عملکرد این صنعت به طور سالیانه بررسی می شود لازم است مدلی با جزئیات برای این پارامتر طراحی و عوامل اثر گذار بر آن شناسایی شود. سپس اقدام به کاهش این زمان گردد

زمان تخصیص بودجه،این زمان با توجه به شرایط و امکانات احداث کارخانجات و واحدهای تکمیلی تخمین زده می شود، ولی متأسفانه در ایران به علت برنامه ریزیهای غلط و امکان سنجی های نادرست برنامه های احداث و تکمیل معمولاً خارج از موعد خود اجرا می شوند. متوسط این زمان را می توان با طرحهای امکان سنجی مناسب در استانهای مورد نظر برای ایجاد ظرفیت قبل از تخصیص بودجه، پایین آورد.

## منابع

بنکس.جری، کارسن. جان (۱۳۸۴)؛ شبیه سازی سیستمهای گسسته- پیشامد، انتشارات دانشگاه شریف.

حمیدی زاده. محمد رضا،(۱۳۷۸)؛ پویایی های سیستم، دانشگاه شهید بهشتی.

طرح جامع فولاد ایران،(۱۳۸۳)؛ شرکت ملی فولاد ایران.

گزارش سازمان توسعه و نو سازی معادن و صنایع معدنی ایران (۱۳۸۶).

عسگری. منصور،(۱۳۸۴)؛ بازار داخلی و خارجی صنعت فولاد و آثار سیاست های ایجاد بورس فلزات و طرح جامع فولاد بر آن بازار، مؤسسه مطالعات و پژوهشهای بازرگانی

مجتمع فولاد مبارکه ،(۱۳۷۰)؛ مجموعه مقالات، سمینار، تجربیات فولاد مبارکه ، دانشگاه تهران- اصفهان- مجتمع فولاد.

نیلی. مسعود، (۱۳۸۴)؛ استراتژی توسعه صنعتی کشور.

Agarwal, A., Shankar, R., Tiwari, M.K. Modeling agility of supply chain.

DiFrancesco, C.A., Kelly, T.D., Bleiwas D.I., Fenton, M.D.,(2007);"Iron and Steel Statistics", *U.S. Geological Survey*, April 16.

Fewtrell. J., "Second Sustainability Report for the World Steel Industry", General Manager, *Communications International Iron and Steel Institute (IISI).*

Forrester, Jay W.,(1997); "System Dynamics and K-12 Teachers", *Massachusetts Institute of Technology.*

Lertpattarapong, C.(2005); " *Applying System Dynamics Approach to the Supply Chain*".

Morici Peter*, (2005); Manufacturing and steel prices*, February .

Rabelo,L. *Analysis Of Supply Chain using System Dynamics*, Neural Nets, And Eigenvalues.

Samuel H. Huang, Ge Wang, John P. Dismukes*,(2000);* " *A Manufacturing Engineering Perspective On Supply Chain Integration*".

Sterman, J.D.(2000); " Business Dynamics: systems thinking and modeling for a complex world", *McGraw-Hill*, Boston.

Ventana Systems, Inc., (1998); *"Vensim PLE Software Version 3.2*." Ventana Systems, Inc., Massachusetts.

www.issb.co.uk

UK & International Steel Statistics Publications

Price list – AUGUST( 2007) – JULY (2008)

www.worldsteel.org, Steel Statistical, Yearbook,(2006)

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی