

## تحلیل تغییرات نیروی انسانی صنعت تایر خودروی سواری کشور با رویکرد پویایی‌های سیستمی

مرتضی الهی<sup>۱</sup>، محمدمهدی لطفی<sup>۲</sup>

**چکیده:** مدیریت نیروی انسانی در صنعت تایر ایران، نیازمند تصمیم‌های راهبردی و آینده‌نگر برای مقابله با تغییرات پیش‌بینی‌نشده است. در این زمینه یکی از کاربردی‌ترین ابزارها، پویایی سیستم است که با جست‌وجوی ساختارهای علی-معلولی در سیستم‌ها، رفتار آنها را در برابر تغییرات ناگهانی شبیه‌سازی می‌کند تا سیاست‌هایی برای مقابله با شرایط احتمالی آینده تدوین شوند. پژوهش حاضر می‌کوشد با ارائه مدلی پویا برای صنعت تایر خودروی سواری کشور، تغییرات نیروی انسانی فعال این صنعت را تا چشم‌انداز ۱۴۰۴ برنامه‌ریزی و تحلیل حساسیت کند. برای این کار، ساختارهای صنعت تایر خودروی سواری بر مبنای روش استرمن طراحی و داده‌های ۱۰ سال اخیر، متغیرهای تأثیرگذار مدل شناسایی شدند. داده‌ها با روابط ریاضی مدل‌سازی و به‌منزله ورودی‌های مدل دینامیکی، در نرم‌افزار Vensim به‌کار رفتند. بر مبنای مدل طراحی‌شده، رفتار و نتایج نهایی متغیرهای مدل تا پایان مرز زمانی مورد نظر، بررسی شد. نتایج نشان داد که تا پایان چشم‌انداز، حدود پانزده‌هزار نفر در این صنعت فعال خواهند بود. در نهایت تحلیل حساسیت تأثیر متغیرهای مهم، به‌ویژه تقاضا بر صنعت تایر انجام و توصیه‌هایی برای اتخاذ سیاست‌های برنامه‌ریزی کلان تولید و نیروی انسانی در شرایط مختلف، ارائه شد.

**واژه‌های کلیدی:** تحلیل دینامیکی، تحلیل نیروی انسانی، صنعت تایر، مدل‌سازی پویا.

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشگاه یزد، ایران

۲. استادیار گروه مهندسی صنایع، دانشگاه یزد، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۲/۰۲/۱۴

تاریخ پذیرش نهایی مقاله: ۱۳۹۲/۰۵/۳۰

نویسنده مسئول مقاله: محمدمهدی لطفی

E-mail: Lotfi@yazd.ac.ir

**مقدمه**

صنعت تایر پس از فولاد، مهم‌ترین صنعت بالادستی صنعت خودرو قلمداد می‌شود. مطالعات نشان می‌دهد که توسعه صنعت خودرو بدون توسعه دو صنعت فولاد و تایر امکان‌پذیر نیست. با توجه به جایگاه مهم صنعت تایر در زنجیره تأمین صنایع خودروسازی، تغییرات در فناوری و بهره‌وری این صنعت، تأثیر زیادی بر توسعه صنایع خودرو خواهد داشت (تیم استراتژیک کرمان‌تایر، ۱۳۸۴).

در راستای برنامه‌ریزی صنعت تایر و نیل به اهداف صنعت خودرو، سند چشم‌انداز صنعت تایر در سال ۱۳۸۵ برای یک دوره بیست‌ساله تدوین شد (توانا، امامی، تنها و تقوایی، ۱۳۸۸). گرچه در این سند، اهداف تولید تا چشم‌انداز ۱۴۰۴ تدوین شده، اما در توجه به برخی از جزئیات، از جمله وضعیت نیروی انسانی مشغول به کار، کاستی‌هایی وجود دارد. از آنجا که تربیت و نگهداشت منابع انسانی کارآمد و با انگیزه، یکی از چالش‌های عمده سازمان‌های تولیدکننده و منبع اصلی ایجاد مزیت رقابتی شمرده می‌شود (گروه صنعتی بارز، ۱۳۸۹)، برنامه‌ریزی توسعه صنعت تایر بدون پیش‌بینی وضعیت نیروی انسانی و تحلیل ارتباط آن با تولید، مقدر نخواهد بود. نقش تأثیرگذار نیروی انسانی در برنامه‌ریزی کلان تولید تایر از یک سو و اهمیت برنامه‌ریزی منابع انسانی برای توسعه صنایع از سوی دیگر، برنامه‌ریزی توسعه صنایع تایر را به تحلیل وضعیت نیروی انسانی مشغول در این صنعت نیازمند می‌کند. با توجه به فقدان تحلیل جامع برنامه‌ریزی نیروی انسانی و نقش آن در برنامه‌ریزی تولید صنعت تایر، پژوهش‌های بسیاری را می‌توان طرح کرد. هدف پژوهش حاضر با بررسی اهمیت مسائل و مصاحبه با صاحب‌نظران صنعت، پاسخ به دو پرسش اساسی است:

۱. با توجه به تغییرات تقاضا و نیروی انسانی مورد نیاز در این صنعت، نیروی انسانی شاغل در صنعت تایر کشور تا پایان چشم‌انداز ۱۴۰۴ به چه میزان خواهد رسید؟
  ۲. توسعه نیروی انسانی صنعت تایر چگونه و چه میزان متأثر از متغیرهای کلان برنامه‌ریزی تولید خواهد بود.
- پاسخ به این پرسش‌ها، نتایج و تحلیل‌های مناسبی را در اختیار مدیران قرار می‌دهد. پرسش اول در جست‌وجوی پیش‌بینی روند توسعه نیروی انسانی بوده و پاسخ به آن با روش پویایی‌های سیستمی مزایای بسیاری نسبت به روش‌های مرسوم پیش‌بینی دارد (لینیز، ۲۰۰۰). پرسش دوم به تحلیل حساسیت ارتباط میان برنامه‌ریزی کلان تولید و برنامه‌ریزی منابع انسانی می‌پردازد.

### پیشینه پژوهش

در این مقاله، پیشینه پژوهش از دو دیدگاه بررسی می‌شود. ابتدا پیشینه پژوهش‌های انجام‌شده در صنعت تایر مرور می‌شود. سپس، محدوده پژوهش و جایگاه مسئله در میان پژوهش‌های مشابه بیان خواهد شد.

### پیشینه پژوهش‌ها در صنعت تایر

جایگاه ویژه صنعت تایر در زنجیره تأمین خودرو، منجر به پژوهش‌های گسترده در روند تغییرات بازار و تبیین استراتژی‌های تولید شده است. عمده این پژوهش‌ها را تولیدکنندگان با هدف تحلیل و برنامه‌ریزی در سطوح کلان سازمان انجام داده‌اند. در جدول ۱، مهم‌ترین پژوهش‌ها در میان انبوه پژوهش‌ها و برنامه‌ریزی‌های استراتژیک، مرور می‌شود.

جدول ۱. بررسی پیشینه پژوهش‌ها در صنعت تایر

عنوان پژوهش	پژوهشگر (سال)	ویژگی‌های پژوهش	ارتباط با پژوهش حاضر
تعیین مقیاس بهینه تولید در مجتمع صنایع لاستیک کرمان	عباسی ابیانه، ۱۳۸۲	تخمین مقیاس بهینه تولید به کمک روش‌های آماری تحلیل بازار داخلی و خارجی تایر.	پیش‌بینی وضعیت بازار تایر و روند تولید، توجیه اقتصادی توسعه ظرفیت تولید.
برنامه استراتژیک مجتمع صنایع لاستیک کرمان	مجتمع لاستیک کرمان، ۱۳۸۳	برنامه‌ریزی استراتژیک گروه لاستیک کرمان، تعیین اهداف و استراتژی‌های تولید برای افق ده‌ساله.	پیش‌بینی توسعه تولید و منابع انسانی با روش‌های آماری با تمرکز بر آینده‌نگاری به جای پیش‌بینی.
وضعیت صنایع تایر و تیوب کشور و چشم‌انداز بیست‌ساله آن	دفتر صنایع غیرفلزی، ۱۳۸۵	گزارش آمار تولیدکنندگان داخلی، تحلیل روند تولید، بررسی چشم‌انداز جهانی تایر و فرصت‌های ایران در بازارهای جهان.	تحلیل روند تولیدات در ایران، تحلیل چشم‌انداز جهان و ایران در صنایع تایر.
سند چشم‌انداز صنعت تایر ایران در افق ۱۴۰۴	توانا و همکاران، ۱۳۸۸	بررسی تحولات صنعت تایر در منطقه و جهان تا ۲۰ سال آینده، بررسی روند توسعه کشورهای موفق در صنعت تایر، تحلیل استراتژیک مسیر توسعه صنعت نقاط ضعف، قدرت، فرصت‌ها و تهدیدها.	تحلیل روند صنعت تایر (با روش‌های تحلیلی و آماری)، پیش‌بینی نقش توسعه استراتژیک صنایع تایر با روش‌های آماری (نیروی انسانی به‌طور ضمنی مورد توجه قرار گرفته است).

**ادامه جدول ۱. بررسی پیشینه پژوهش‌ها در صنعت تایر**

عنوان پژوهش	پژوهشگر (سال)	ویژگی های پژوهش	ارتباط با پژوهش حاضر
گزارش هیئت مدیره به مجمع سهامداران	گروه بارز، ۱۳۸۹	تحلیل وضعیت تولیدکنندگان داخلی، بررسی سهم بازار و وضعیت نیروی انسانی گروه بارز و گزارش سهامداران.	تحلیل رفتار تولید تایر در بازارهای داخل، تحلیل روند گذشته تغییرات نیروی انسانی.
The Eclipse of the U.S Tire Industry	راجن، ولین، زینگلز، ۲۰۰۰	بررسی پیشینه تولیدکنندگان بزرگ تایر، تحلیل بازارهای جهانی و تقاضای خرده‌فروشی تایر و خودروسازان.	تحلیل مجزای تقاضای تایر خرده‌فروشان و خودروسازان، تحلیل رگرسیونی رفتار گذشته بازار و توصیه برای آینده.
Economic Analysis of the Rubber Tire Manufacturing	بنیاد حمایت از محیط زیست آمریکا، ۲۰۰۰	تحلیل صنایع تایر و وضعیت تولیدکنندگان، تمرکز بر زنجیره تأمین.	بررسی رفتار تولیدکنندگان، تحلیل تغییرات بازار (عدم پیش‌بینی دقیق).
Tire Capacity Wave	تیم تحقیقاتی کمهو تایر، ۲۰۰۷	تحلیل تغییرات ظرفیت تولید در جهان و تغییرات بازار تایر، تحلیل بازار تایر رادیال و بایاس.	پیش‌بینی تقاضای بازار تایر برای تایرهای رادیال و بایاس با روش‌های آماری.
Global Tire Quarterly Review	گزارش بانک مریل لینچ، ۲۰۱۰	بررسی سهم بازار جهانی تولیدکنندگان بزرگ و رفتارهای فصلی تقاضای بازار جهانی تایر، تحلیل تغییرات قیمت تایر.	در این پژوهش سهم بازار خرده‌فروشی و خودروسازان به‌صورت جداگانه تحلیل شده (همانند مقاله حاضر).
World Tire Manufacturers	مؤسسه تحقیقاتی بین‌المللی زرفی، ۲۰۱۰	تحلیل کامل بازارهای جهانی، تدوین استراتژی تولیدی برای بزرگترین تولیدکنندگان جهان.	پیش‌بینی تقاضا و تولیدات جهانی با روش آماری، تدوین استراتژی رقابتی.
Tire Industry of Japan	گروه تولیدی تایر جاتما، ۲۰۱۲	تحلیل جزئیات تاریخچه تولید تایر خودروی سواری، بررسی روند گذشته تولیدکنندگان ژاپنی (این گزارش به‌صورت سالانه به‌روز می‌شود).	مشابه‌ترین پژوهش از حیث تمرکز بر تایر خودروی سواری، استفاده از روش آماری و پیش‌بینی آینده صنایع تایر ژاپن.

در برخی از پژوهش‌ها، تحلیل‌هایی از وضعیت نیروی انسانی صنعت تایر ارائه شده (برای مثال، توانا و همکاران، ۱۳۸۸؛ گروه صنعتی بارز، ۱۳۸۹)، اما در هیچ‌یک، از پیش‌بینی آینده نیروی انسانی و ارتباط آن با روند تولید، سخنی به میان نیامده است. به‌علاوه، سایر پیش‌بینی‌های موجود نیز، تنها با اتکا به روش‌های آماری انجام شده است. در پژوهش حاضر، کلیه پیش‌بینی‌ها مبتنی بر ساختار سیستم و مدل‌سازی علی ارائه شده که علاوه بر افزایش دقت

نتایج، قابلیت تحلیل حساسیت نتایج و بررسی ارتباط تغییرات نیروی انسانی با روند تولید امکان پذیر خواهد بود.

### مرور ادبیات پژوهش در پویایی‌های سیستمی

تلاش‌هایی که با استفاده از تجزیه و تحلیل منابع و الگوها، به تجسم آینده‌های بالقوه و برنامه‌ریزی آن می‌پردازد، آینده‌پژوهی نام می‌گیرد (یل، ۱۹۹۷). مطالعات آینده‌پژوهی به دو دسته عمده «پیش‌بینی»<sup>۱</sup> و «آینده‌نگاری»<sup>۲</sup> تقسیم می‌شوند که به ترتیب برای شناسایی آینده محتمل و شکل دادن به دنیای مطلوب آینده به کار می‌روند (حجازی، ۲۰۱۱).

روش‌های آماری و شبیه‌سازی، روش‌های مرسوم برای پیش‌بینی هستند. پیش‌بینی به روش آماری، در دو دسته مدل‌های سری زمانی و رگرسیونی جای می‌گیرد (لینیز، ۲۰۰۰). پیش‌بینی به روش شبیه‌سازی دینامیکی که با بررسی ساختارهای سیستم انجام می‌شود، مهم‌ترین رقیب روش‌های آماری به‌شمار می‌رود. از بین دلایل برتری روش مدل‌سازی علی نسبت به روش‌های آماری، سه مورد را در بیشتر پژوهش‌ها می‌توان یافت (لینیز، ۲۰۰۰):

۱. پیش‌بینی با روش‌های آماری، بدون توجه به ساختارهای سیستم و متکی بر روند داده‌ها است. به همین دلیل، نتایج نشان‌داده که پیش‌بینی مبتنی بر مدل‌سازی ساختار سیستم، دقت بالاتری دارد؛
۲. پیش‌بینی‌های مدل‌های علی در بازه کوتاه‌مدت و میان‌مدت قابل اعتمادتر از نتایج مدل‌های آماری است؛ چون مدل‌های علی به جای رفتار سیستم، بر ساختار آن اتکا می‌کنند؛
۳. امکان تحلیل حساسیت پیش‌بینی‌ها، مزیت مدل علی در مقابل مدل آماری است؛ چون می‌توان میزان حساسیت پیش‌بینی‌ها نسبت به متغیرهای موجود در مدل را بررسی کرد.

دسته‌بندی پژوهش‌های صنایع تولیدی با استفاده از پویایی‌های سیستمی در مقاله‌های متعددی انجام گرفته است (جهانگیریان، ۲۰۱۰). یکی از مهم‌ترین این دسته‌بندی‌ها را که ولستنهولم (۱۹۹۱) انجام داد، بینز و همکارانش تکمیل کردند (بینز و هریسون، ۱۹۹۹). بر مبنای آن، پژوهش‌های صنایع تولیدی با رویکرد پویایی‌های سیستمی از دو دیدگاه «صنعت مورد مطالعه» و «سطح مسئله طرح‌شده» طبقه‌بندی می‌شوند. پژوهش‌ها بر اساس دیدگاه اول در چهار

دسته و از دیدگاه سطح مسئله نیز، در سه دسته عملیاتی، کسب و کار و سطح جهانی دسته‌بندی می‌شوند. در نهایت با ارائه یک جدول متقاطع، پژوهش‌ها در دوازده گروه جای داده شدند. پژوهش پیش رو، از دیدگاه معیارهای اول و دوم، به ترتیب در دسته صنایع تولیدی و در سطح مسائل کسب و کار قرار می‌گیرد. پژوهش‌های این گروه به برنامه‌ریزی در سطح مدیریت سازمان می‌پردازند (بینز و هریسون، ۱۹۹۹). مهم‌ترین پژوهش این گروه، پژوهش فارستر برای معرفی پویایی‌های سیستمی است (فارستر، ۱۹۶۱).

در میان انبوه پژوهش‌های مشابه، می‌توان به پژوهش لینیز (۱۹۹۹)، در پیش‌بینی تقاضای جت و پیش‌بینی تغییرات تولیدکنندگان سی.دی. پلی‌یر و ام.پی.تری پلی‌یر<sup>۱</sup> (ویل، ۲۰۰۷) اشاره کرد. پژوهش مدل‌سازی صنعت فولاد ایران و بررسی تغییرات آینده آن (کاخمی، ماکویی و درمان، ۱۳۸۸) نیز، در همین گروه جای می‌گیرد.

### روش پژوهش

روش پویایی‌های سیستمی، ابزار قدرتمندی است که فارستر برای بررسی مسائل پویای مرتبط با سیاست‌های صنعتی ارائه کرد. این ابزار به حل مسائل مدیریت عالی کمک می‌کند و در تحلیل، حل مسئله و شبیه‌سازی سیستم‌های پیچیده کاربرد دارد (فارستر، ۱۹۶۱). رویکرد پویایی‌های سیستمی فرض می‌کند که اجزا در یک الگوی پیچیده با یکدیگر مرتبط هستند، جهان از نرخ‌ها، سطوح و حلقه‌های بازخورد تشکیل شده است، جریان اطلاعات از جریان فیزیکی مهم‌تر است و غیرخطی بودن و تأخیر، از اجزای مهم هر سیستمی به‌شمار می‌رود. این روش با یک فرضیه دینامیکی به جست‌وجوی زنجیره‌های علی - معلولی و توسعه مدل دینامیکی می‌پردازد. پس از تأیید اعتبار مدل، سناریوهایی به‌منظور تحلیل وضعیت سیستم آزمون و بر اساس نتایج آزمایش‌ها طراحی شده و پیشنهادهایی برای بهبود سیستم واقعی ارائه می‌شود (استرمن، ۱۳۸۶).

فارستر پس از معرفی «پویایی‌های سیستمی»، رویه‌ای را برای مدل‌سازی و حل یک مسئله با آن ارائه کرد (فارستر، ۱۹۸۷). مطالعات بعدی وی نشان داد که رویه مدل‌سازی یک مسئله با رویکرد پویایی‌های سیستمی به تکامل نرسیده است (فارستر، ۱۹۹۱). در بین مطالعات انجام‌شده، مشهورترین و کامل‌ترین رویه مدل‌سازی پویایی‌های سیستمی، رویه ارائه‌شده استرمن شناخته می‌شود. پس از وی نیز پژوهش‌های بسیاری برای توسعه روش مدل‌سازی در حل مسائل خاص انجام گرفت. پژوهش‌های ونیکس (۱۹۹۹) و صادقی‌مقدم (صادقی‌مقدم، خاتمی فیروزآبادی و زبانی، ۱۳۹۰)، از جمله پژوهش‌های توسعه روش پویایی‌های سیستمی برای حل مسائل خاص

به‌شمار می‌روند. مشایخی نیز در پژوهشی، جزئیات روش استرمن را با شمایی دیگر ارائه داد (مشایخی و گیلی، ۲۰۱۲).

با این توضیحات، در این نوشتار مسئله پیش‌بینی و تحلیل حساسیت نیروی انسانی صنعت تایر خودروی سواری با رویه استرمن مدل‌سازی شد. شکل ۱ نحوه بخش‌بندی مقاله برای پیاده‌سازی آن را به تصویر می‌کشد.



شکل ۱. نمودار روش پویایی‌های سیستمی ارائه‌شده در این مقاله بر اساس روش استرمن

باید توجه کرد که پویایی‌های سیستمی به جای «مدل‌سازی سیستم»، به مدل‌سازی و تعیین پاسخ یک مسئله از سیستم می‌پردازد (فارستر، ۱۹۸۷). در این مقاله نیز مسئله مشخصی مورد توجه قرار می‌گیرد. در گام نخست، با مطالعه سند چشم‌انداز تایر و با مشورت خبرگان سیستم، تعریف و طراحی دقیقی از مسئله مورد مطالعه ارائه شد. با مشورت خبرگان و تحلیل آمارهای انجمن صنفی و تولیدکنندگان عمده، متغیرهای حساس و مرز زمانی مدل تعیین شد. در گام دوم، ساختارهای علی طراحی و در گام سوم، روابط مدل کشف شدند. بر اساس رویه استرمن (۲۰۰۰)، روابط موجود در ساختارهای علی از سه روش مطالعه رفتار آمار گذشته، مشورت

با خیره و مرور ادبیات سیستم، به دست می‌آید. وجود داده‌های مرجع، سبب شد که بخش عمده مدل بر اساس تحلیل رفتار آمار گذشته طراحی شود. برای تحلیل وضعیت سیستم و تفسیر روند داده‌های مبهم با کارشناسان چند تولیدکننده بزرگ تایلر کشور و کارشناسان اتحادیه صنعتی صنعت تایلر مشورت شد. از آنجاکه مسئله سیستم و پرسش‌های پژوهش، به طور عمده بر حوزه نیروی انسانی و ارتباط آن با توسعه صنعت متمرکز است، به منظور تحلیل ساختارهای سیستم، کشف ساختارهای علی و اطمینان از اعتباربخشی مدل، از نظرات بخش نیروی انسانی چند تولیدکننده تایلر کشور که تیم خیره را تشکیل دادند، استفاده شد.

در گام چهارم، به تأیید مدل پرداخته می‌شود. با مطالعه روش‌های موجود (فارستر و پیتیر، ۱۹۷۹)، روش اعتبارسنجی مناسب انتخاب و اعتبار مدل بررسی شد.

یکی از اهداف مدل‌سازی پویا، بررسی سیاست‌های بالقوه مختلف برای بهبود عملکرد سیستم است. پس از تأیید اعتبار مدل، در گام پنجم، سناریوهایی با توجه به سند چشم‌انداز و نظر خبرگان طراحی شد. از بین سیاست‌ها، سیاستی که بهترین نتایج را ارائه دهد، برای اجرا در سیستم پیشنهاد می‌شود.

### **تعریف مسئله**

هدف این پژوهش، پاسخ به دو پرسش اساسی زیر است:

۱. با توجه به تغییرات تقاضا و نیروی انسانی مورد نیاز صنعت تایلر کشور، نیروی انسانی شاغل در آن تا پایان چشم‌انداز ۱۴۰۴ به چه میزان خواهد رسید.
۲. برنامه‌ریزی نیروی انسانی صنعت تایلر، چگونه و چه میزان متأثر از برنامه‌ریزی کلان تولید خواهد بود. به‌گفته دیگر، برنامه‌ریزی نیروی انسانی چقدر به برنامه‌ریزی تولید حساس است.

### **معرفی متغیرهای کلیدی**

متغیرهای اصلی مدل بر مبنای پرسش‌های اساسی پژوهش، مطالعه رفتار داده‌های سیستم و نظرات تیم خیره به تفسیر زیر شناسایی شدند.

- تولید خودرو: میزان تولید سالانه خودروی سواری به‌منزله هسته اصلی تقاضای تایلر؛
- موجودی تایلر: کل تولیدات داخل، به‌علاوه واردات تایلر بر اساس نرخ‌های ورودی به مدل؛
- متوسط کل تایلر مورد نیاز خودرو در طول عمر آن؛
- تقاضای خرده‌فروش‌ها: تقاضای بازار آزاد برای جایگزینی با تایلرهای فرسوده؛



- تقاضای خارج از کشور: تقاضای بازار کشورهای دیگر از صنعت تایر ایران؛
- نرخ فروش: تحت تأثیر مستقیم سه عامل فروش مستقیم صنایع خودروسازی داخل، فروش خرده‌فروش‌ها (تأمین‌کنندگان قطعات یدکی، آپاراتی‌ها و...) و صادرات تایر قرار دارد؛
- تولید اسمی و برنامه تولید: بر اساس تولید اسمی و واقعی سالانه ده شرکت تایر در ایران؛
- ضریب تولید به‌ازای هر نیروی انسانی: وضعیت اتوماسیون صنعت تایر؛
- نیروی انسانی مورد نیاز: کل نیروی انسانی در حال کار برای تحقق برنامه تولید در هر دوره؛
- نیروی انسانی صنعت تایر: وضعیت نیروی انسانی مشغول به کار و فعال در هر دوره تولیدی.

#### افق زمانی مدل‌سازی

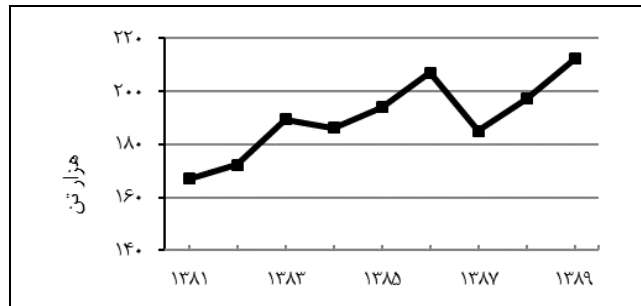
گسترش زمان مدل، اثرات به تأخیر افتاده و غیر مستقیم سیاست‌ها را مشخص می‌کند. از سوی دیگر، افق زمانی مدل باید تا آنجا توسعه یابد که تغییر سیاست‌های واقعی، فرض‌های اولیه مدل را تغییر ندهد و مدل از اعتبار خارج نشود (استرمن، ۲۰۰۰). با توجه به نامعلوم بودن سیاست‌های حمایتی پس از چشم‌انداز، مرز زمانی مدل تا انتهای چشم‌انداز ۱۴۰۴ تعیین می‌شود.

#### الگوهای مرجع

تمامی داده‌های پژوهش، از اسناد چشم‌انداز ده تولیدکننده و سند چشم‌انداز صنعت تایر ایران (دفتر صنایع غیرفلزی، ۱۳۸۵) گردآوری شده است. در برخی موارد که داده‌ها دچار ابهام‌هایی بودند، از داده‌های اتحادیه صنف صنعت تایر استفاده شد. الگوی رفتاری گذشته یا الگوهای مرجع برخی از متغیرهای اساسی مدل، به کمک داده‌های توصیفی و نموداری تشریح می‌شود.

#### تولید تایر

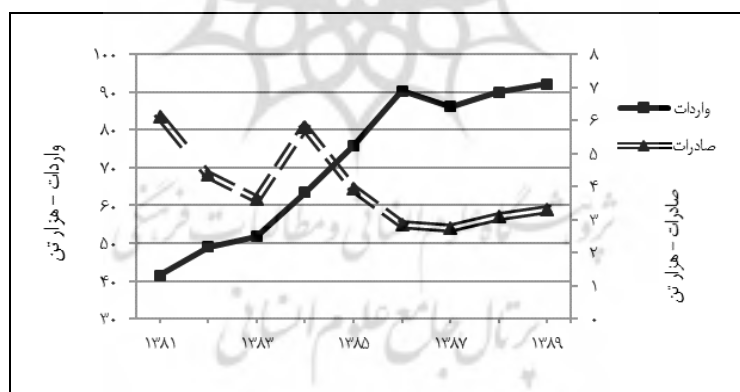
تولید تایر خودروی سواری، از مهم‌ترین متغیرهای سیستم است. شکل ۲ نشان می‌دهد که تولید از ۱۶۷ هزار تن در سال ۱۳۸۱، به بیش از ۲۱۰ هزار تن تا آغاز سال ۱۳۹۰ رسیده و به جز تغییرات ناگهانی در سال ۱۳۸۷ (به دلیل تغییر سیاست‌های حمایتی)، از رشد ثابتی در سال‌های اخیر برخوردار بوده است.



شکل ۲. نمودار روند تولید تایر خودرو سواری

### صادرات و واردات تایر خودروی سواری

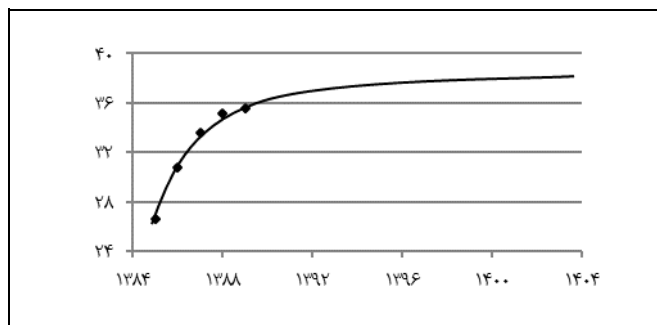
شکل ۳ میزان صادرات و واردات تایر خودروی سواری را در دهه گذشته نمایش می‌دهد. صادرات از ۶ هزار تن در سال ۱۳۸۱ به ۳ هزار تن در ابتدای سال ۱۳۹۰ رسیده است. به دلیل تغییر رفتار داده‌ها از سال ۱۳۸۶ به بعد (خط پرنگ تر)، برای پیش‌بینی مناسب مقادیر صادرات، از مقادیر سال ۱۳۸۶ به بعد استفاده شد. واردات در دهه گذشته روندی یکنواخت‌تر داشته و از رقم ۴۰ هزار تن در سال ۱۳۸۱ تا کمی بیش از ۹۰ هزار تن در سال ۱۳۸۹ افزایش داشته است.



شکل ۳. نمودار روند واردات و صادرات تایر خودروی سواری

### سرنانه تولید تایر

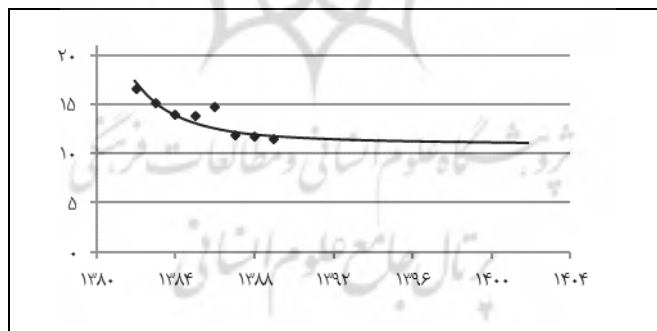
بررسی سرنانه تولید تایر در شکل ۴، نشان می‌دهد که نسبت تولید به‌ازای هر نفر نیروی انسانی چقدر است. با توجه به مقادیر گذشته متغیر سرنانه تولید تایر، رفتار آینده آن پیش‌بینی و در مدل وارد شده است. به همین دلیل، منحنی نمودار به آینده برازش شده است.



شکل ۴. نمودار سرانه تولید تایر به ازای نیروی انسانی

#### مصرف تایر به ازای هر خودرو

تقاضای داخلی تایر به دو دسته تقاضای تولیدکنندگان خودرو و تقاضای خرده فروشها (جایگزین) تقسیم می شود. پژوهشها نشان می دهد که به دلیل عواملی چون، کیفیت بهتر تایرهای رادیال نسبت به بایاس، بهبود سیستم تعلیق و حرکت خودروها و بهبود وضعیت جاده ها، تعداد لاستیک های مصرفی هر خودرو در طول عمر آن، روبه کاهش است. شکل ۵ تغییرات تعداد تایر به ازای هر خودرو را نمایش می دهد. با برآزش این نمودار می توان الگویی به منظور تغییرات وضعیت آتی این متغیر، برای رابطه ورودی به مدل به دست آورد.



شکل ۵. نمودار تعداد تایر مصرفی هر خودرو در طول عمر آن

#### مدل سازی

برای درک ساختار سیستم در تفکر سیستمی، از دو ابزار نمودارهای علی - معلولی و انباشت - جریان استفاده می شود. به منظور شناسایی متغیرها و کشف روابط علی سیستم، از یک تیم خبره

مشمول بر کارشناسان اتحادیه صنفی تایر و کارشناسان بخش نیروی انسانی چند تولیدکننده تایر کشور، نظرسنجی شد. با نظرات تیم خبره و تحلیل روابط مختلف میان متغیرها، فرضیه دینامیکی مسئله طراحی و توسعه داده شد. با افزودن متغیرهای تأثیرگذار مسئله، نمودار علی - معلولی سیستم را تکمیل کرده و در انتها نیز، نمودار انباشت - جریان طراحی شد.

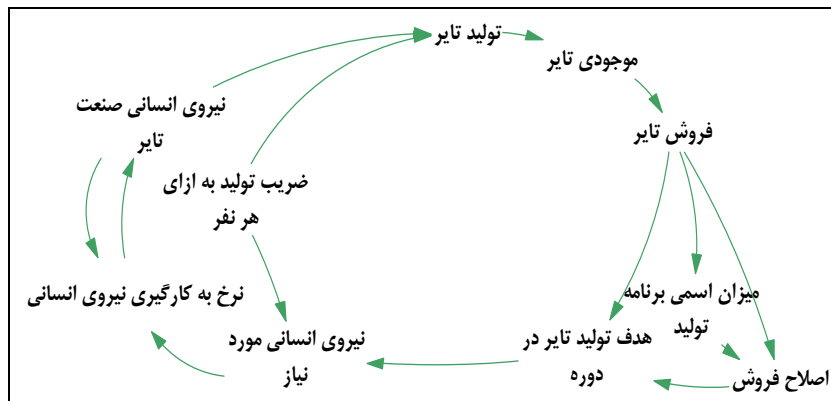
### نمودار علی - معلولی

به منظور طراحی فرضیه دینامیکی مسئله، رفتار داده‌ها و همبستگی میان آنها بررسی و فرضیه دینامیکی با نظرات خبرگان طراحی شد. فرضیه دینامیکی، رابطه برنامه‌ریزی منابع انسانی با برنامه‌ریزی تولید صنعت تایر را تبیین می‌کند. آمار نشان می‌دهد که تقاضای داخلی تایر، بیش از ظرفیت تولید بوده و هر تولیدکننده‌ای که بتواند با سرمایه‌گذاری و برنامه‌ریزی توسعه ظرفیت، تولید خود را بالا ببرد، فروش را افزایش می‌دهد. کشش بازار و فروش بیشتر، تولیدکنندگان را به توسعه ظرفیت ترغیب می‌کند. برنامه‌ریزی توسعه ظرفیت، توسعه در حوزه‌های بسیاری را شامل می‌شود، اما از آنجاکه مسئله پژوهش، برنامه‌ریزی نیروی انسانی و نقش آن در برنامه‌ریزی کلان تولید است، مدل‌سازی و تحلیل سیستم بر حوزه نیروی انسانی متمرکز می‌شود. برنامه‌ریزی برای افزایش تولید، پس از چند دوره منجر به توسعه نیروی انسانی مشغول به کار و متعاقب آن، افزایش تولید می‌شود. تأخیر میان دو بخش «برنامه تولید در دوره آینده» و «نیروی انسانی» به همین منظور طراحی شد. شکل ۶ گویای فرضیه دینامیکی طراحی شده است.



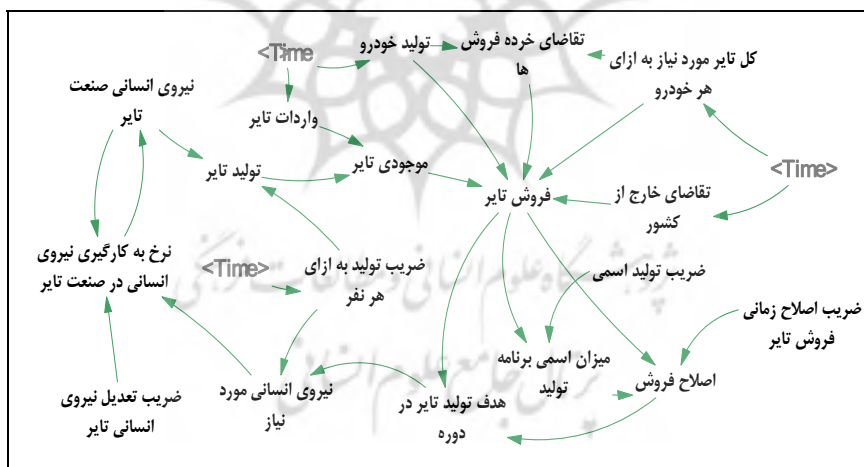
شکل ۶. فرضیه دینامیکی

توسعه فرضیه دینامیکی تا رسیدن به مدل کامل، در سه بخش عمده انجام می‌شود. متغیرهای کلان بخش برنامه‌ریزی تولید که در فرضیه دینامیکی با متغیر «برنامه تولید در دوره آینده» مشخص است، با نظرات خبرگان شناسایی و به مدل افزوده شد. بخش نیروی انسانی نیز که با متغیر «نیروی انسانی صنعت تایر» در فرضیه دینامیکی حضور دارد، توسعه داده شده است. شکل ۷ روند توسعه این دو بخش در مدل را تبیین می‌کند.



شکل ۷. توسعه مدل دینامیکی نیروی انسانی صنعت تایر خودروی کشور

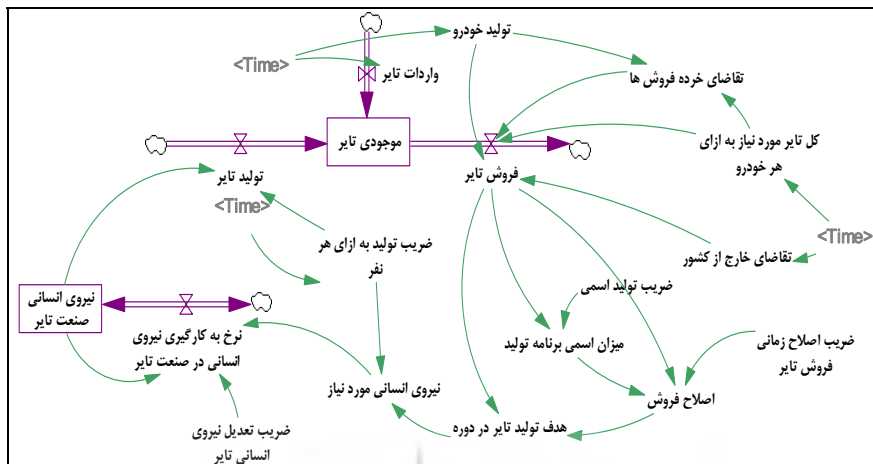
بخش سوم مدل به تحلیل بازار و فروش می‌پردازد و با متغیرهای تولید تایر، موجودی تایر و فروش تایر، در فرضیه دینامیکی تشخیص داده می‌شود. توسعه فرضیه دینامیکی این بخش را در شکل ۸ می‌توان پیگیری کرد که مربوط به مدل نهایی ساختار علی - معلولی است. به علاوه، شکل‌های ۶ تا ۸ روند تکمیل مدل‌سازی سیستم مورد مطالعه را تبیین می‌کنند.



شکل ۸. نمودار علی - معلولی برنامه‌ریزی نیروی انسانی صنعت تایر خودروی سواری کشور

### نمودار انباشت - جریان

نمودار انباشت - جریان، ساختار فیزیکی سیستم، شامل انباشتگی کالا، پول و اطلاعات را ردیابی می‌کند (فارستر، ۱۹۶۱). نمودار انباشت - جریان مسئله، در شکل ۹ ارائه می‌شود.



شکل ۹. نمودار انباشت - جریان

### تشریح روابط و توابع مدل

به کمک مشورت با خبرگان و بررسی همبستگی‌های موجود بین داده‌ها، روابط میان متغیرها شناسایی شد. برای برخی متغیرهای ورودی مدل که رفتار آینده آنها با بررسی رفتار گذشته ممکن بود با مطالعه رفتارها و علت روندها، روابط متغیرها با برآزش منحنی به رفتار گذشته، به دست آمد. روابط متغیرهای واردات تایر، تولید خودرو، کل تایر مورد نیاز به ازای خودرو، ضرب تولید به ازای هر نفر و تقاضای خارج از کشور به این ترتیب شناسایی شدند. بخش الگوهای مرجع، نمودارهای نمایش داده شده در شکل‌های ۲ تا ۵ و منحنی‌های برآزش شده در آن، مبین این موضوع است.

موجودی تایر: یک متغیر انباشت معادل انتگرال ورودی‌ها؛ یعنی میزان تولید سالانه تایر و میزان واردات سالانه و مقدار جریان خروجی، یعنی متغیر فروش سالانه.

تقاضای خرده‌فروش‌ها: تابعی از تعداد تولید خودروی سالانه و کل تایر مورد نیاز هر خودرو.

فروش تایر: معادل مجموع نرخ فروش مستقیم تایر به صنایع خودروسازی داخل، فروش به خرده‌فروش‌ها و صادرات تایر است. سپس میزان اسمی برنامه تولید از ضرب فروش تایر در متغیر تولید اسمی حاصل می‌شود. اصلاح فروش نیز براساس رابطه ۱ انجام می‌شود.

رابطه ۱) ضرب اصلاح زمانی فروش تایر / (میزان اسمی برنامه تولید - فروش تایر)

نیروی انسانی مورد نیاز برای تحقق برنامه تولید در هر دوره، از تقسیم مقدار متغیر هدف تولید بر ضریب تولید به‌ازای هر نفر محاسبه می‌شود. میزان به‌کارگیری نیروی انسانی با استفاده از رابطه ۲ محاسبه می‌شود.

(نیروی انسانی مورد نیاز برای تحقق برنامه تولید دوره - نیروی انسانی در حال کار) / (ضریب تعدیل نیروی انسانی صنعت تایر) رابطه ۲

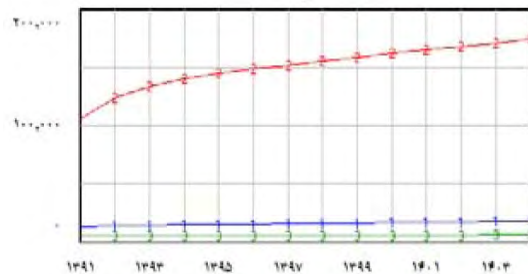
تولید تایر نیز مطابق با استراتژی مدل‌سازی و بر مبنای نیروی فعال، از حاصل ضرب دو متغیر ورودی به آن، یعنی ضریب تولید به‌ازای هر نفر و نیروی انسانی در حال کار، محاسبه می‌شود.

### آزمون اعتبار مدل

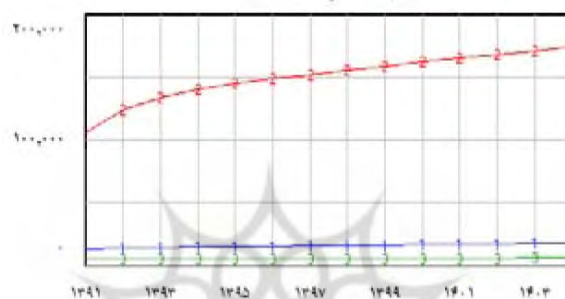
آزمون‌های اعتبارسنجی در سه دسته آزمون ساختار، رفتار و مضامین سیاست قرار می‌گیرد. با تأیید اعتبار رفتار و ساختار مدل، می‌توان به نتایج آن اعتماد کرد (فارستر و پیتر، ۱۹۷۹). براساس یک رویه اعتبارسنجی متناسب با پژوهش (بارلاس، ۱۹۹۶)، آزمون‌هایی برای سنجش اعتبار ساختار و رفتار مدل طراحی شد. از آنجاکه رفتار سیستم برگرفته از ساختار آن است، اعتبار ساختاری بر اعتبار رفتاری اولویت دارد (سوشیل، ۱۳۸۷).

### آزمون شرایط حدی

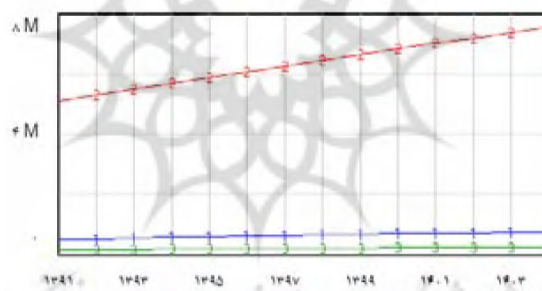
به‌منظور ارزیابی واکنش مدل در برابر تغییرات، مقدار چند متغیر اصلی در حالات حدی (بسیار زیاد و بسیار کم) بررسی شد. مقادیر بسیار بالا (۱۰ برابر شرایط عادی) و مقادیر بسیار پایین (نصف مقادیر عادی) برای متغیر «کل تایر مورد نیاز به‌ازای هر خودرو» تغییر داده شد و واکنش‌های مدل با ارزیابی متغیرهای اصلی بررسی شد. با توجه به شکل ۱۰، مدل در شرایط حدی، رفتاری منطقی از خود نشان می‌دهد. خطوط آبی (۱)، قرمز (۲) و سبز (۳) به‌ترتیب بیانگر رفتار مدل در شرایط عادی، مقادیر بسیار پایین و مقادیر بسیار بالا هستند.



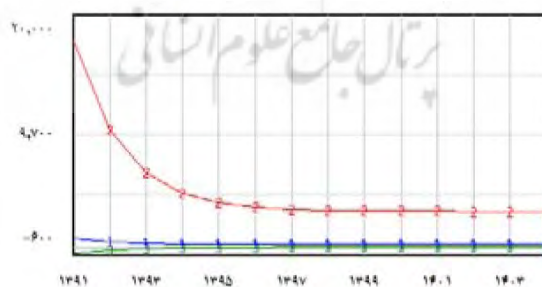
نیروی انسانی صنعت تایلر



میزان اسمی برنامه تولید



مقدار به کارگیری نیروی انسانی در صنعت تایلر

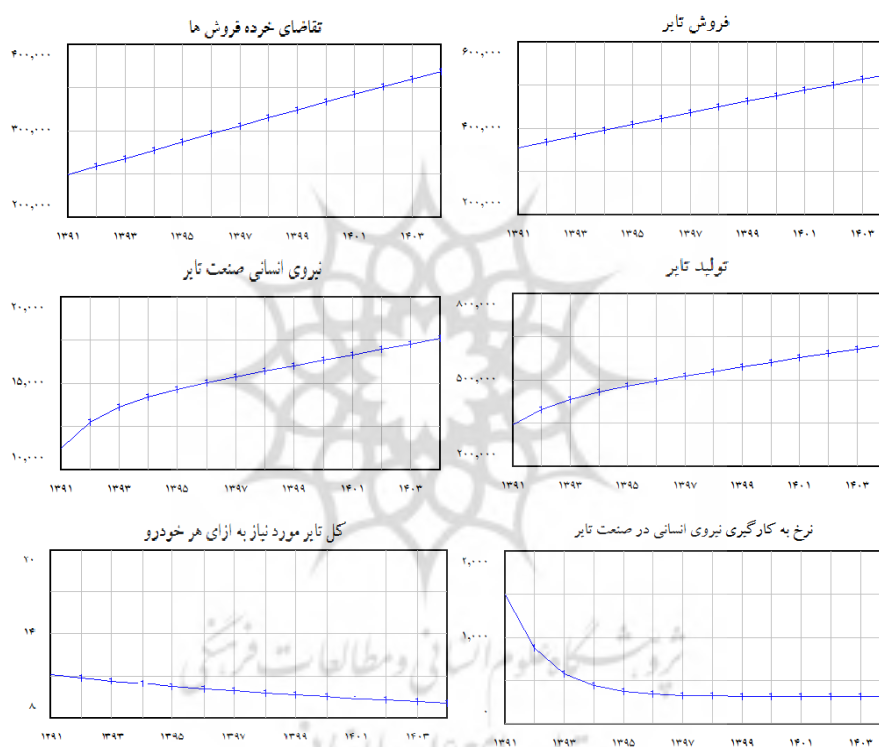


شکل ۱۰. نمودارهای آزمون شرایط حدی با تغییرات کل تایلر مورد نیاز به ازای هر خودرو



### آزمون پیش‌بینی رفتار مدل

منطقی‌بودن الگوی رفتار مدل از دید تغییرات متغیرها، شکل تغییرات و روندها در مقایسه با اهداف سیستم را بررسی می‌کند (فارستر و پیتر، ۱۹۷۹). مدل در نرم‌افزار Vensim اجرا و رفتار متغیرها در مرز زمانی بررسی شد. از آنجاکه رفتار یک متغیر در طول زمان، بیش از مقدار نهایی آن اهمیت دارد، نمودار رفتار زمانی برخی از متغیرهای اصلی در شکل ۱۱ ارائه شده است. نتایج نشان داد که رفتار متغیرها در طول زمان و در پایان افق زمانی منطقی است.



شکل ۱۱. نمودارهای اجزای مدل صنعت تایر کشور تا چشم‌انداز ۱۴۰۴

به پیشنهاد کارشناسان سیستم، بازتولید رفتار گذشته سیستم نیز در دستور کار قرار گرفت. در این روش، زمان مدل تغییر داده شد و نتایج مدل در زمان گذشته با داده‌های واقعی مقایسه شدند. شکل ۱۲ تناسب داده‌های واقعی با نتایج مدل را نشان می‌دهد. خطوط پیوسته (آبی رنگ) بیانگر مقادیر واقعی و خطوط مقطع (قرمز رنگ) مقادیر تولید شده مدل را به تصویر می‌کشد.



شکل ۱۲. نمودارهای مقایسه نتایج داده‌های واقعی با نتایج حاصل از شبیه‌سازی (مقادیر به تن)

### یافته‌های پژوهش

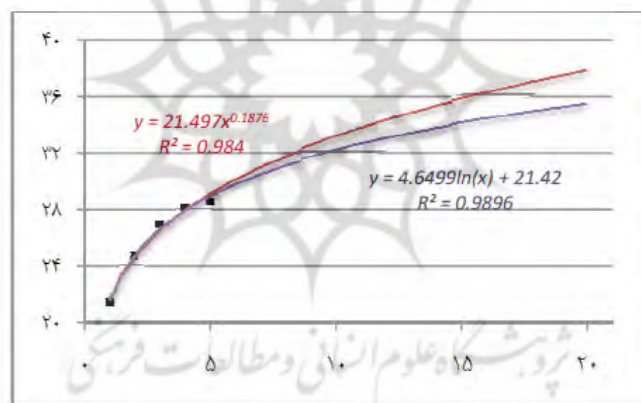
پس از تأیید اعتبار مدل، سناریوهایی طراحی و آزمون می‌شوند تا برپایه آن، پیشنهادهایی برای سیستم واقعی ارائه شوند. سناریوها به‌منظور پاسخ به پرسش‌های طرح‌شده و بر مبنای دو نکته اساسی طراحی شدند. سیاست‌های از پیش تعیین‌شده در طراحی «ساختار سیستم» منظور می‌شوند و سیاست‌هایی که به پیش‌بینی آینده مربوط باشند، «برون‌زا» تعریف‌شده و به‌منزله تصمیم‌های ورودی یا سناریوها به مدل وارد می‌شوند (لینیز، ۲۰۰۰). به‌علاوه، تحلیل حساسیت در کنار سناریوهای اساسی، تحلیل‌کنندگان را با میزان حساسیت متغیرهای پاسخ نسبت به سایر متغیرهای مدل آشنا می‌کند. این نگرش را می‌توان با پیاده‌سازی دو سناریوی بدبینانه و خوش‌بینانه در مدل‌ها اعمال کرد (سوریانی، شویان و چن، ۲۰۱۰).

به‌منظور تناسب برنامه‌ریزی توسعه ظرفیت با توسعه نیروی انسانی، پیش‌بینی روند توسعه نیروی انسانی اهمیت می‌یابد. با مطالعه سند چشم‌انداز مشخص شد که پیش‌بینی رفتار آتی متغیر نسبت تولید به‌ازای نیروی انسانی در بین متغیرهای نیروی انسانی، اهمیت زیادی در تعیین

محدوده پیش‌بینی نیروی انسانی دارد. به همین منظور، این متغیر با دو رویکرد بدبینانه و خوش‌بینانه برای شناسایی محدوده تغییرات نیروی انسانی طراحی شد. سناریوهای بخش دوم به منظور بررسی میزان ارتباط و تأثیرگذاری برنامه‌ریزی توسعه تولید بر برنامه‌ریزی نیروی انسانی طراحی شدند. پس از مطالعه مشخصات سیستم، متغیری برای این کار انتخاب شد. با بررسی نتایج سناریوها، علاوه بر تبیین مقدار و چگونگی تأثیر برنامه‌ریزی تولید صنعت تایر بر نیروی انسانی، پیشنهادهایی برای مقدار بهینه متغیر مورد بررسی، ارائه می‌شود.

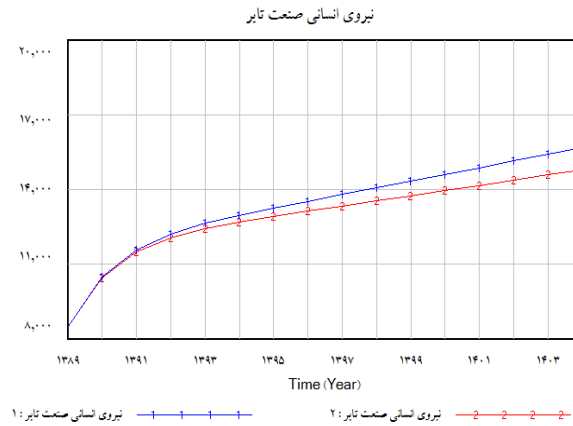
### پیش‌بینی نیروی انسانی فعال تا پایان چشم‌انداز ۱۴۰۴

مطالعه رفتار متغیر نسبت تولید به‌ازای نیروی انسانی در سال‌های گذشته، نشان می‌دهد که این نسبت هر ساله با پیشرفت‌های فناوری روبه‌افزایش است. برآزش منحنی‌های مختلف برای پیش‌بینی این متغیر در شکل ۱۳ نشان می‌دهد که از دو سناریوی ۱ (خط آبی) و ۲ (خط قرمز) به‌منزله سناریوهای بدبینانه و خوش‌بینانه، برای شناسایی محدوده تغییرات نیروی انسانی استفاده شده است.



شکل ۱۳. نمودارهای پیش‌بینی رفتار آتی متغیر نسبت تولید به‌ازای نیروی انسانی

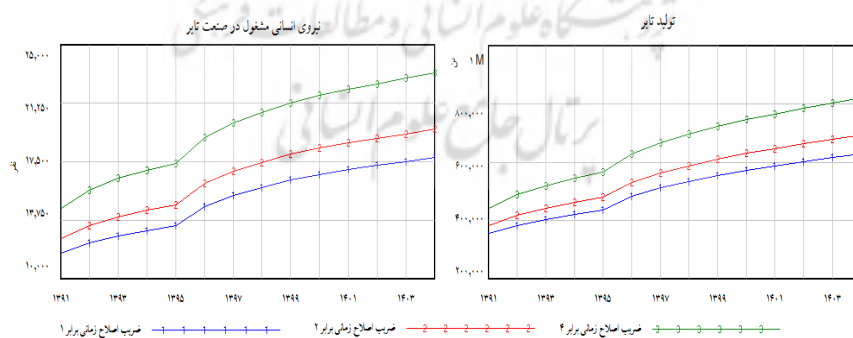
شکل ۱۴ نشان می‌دهد که تغییر فناوری تولید در بازه دو رابطه مشخص در شکل ۱۳، چگونه بر نیروی انسانی تأثیرگذار است. در سناریوی اول با برآورد حداقل رفتار متغیر سرانه تولید، حدود ۱۶۰۰۰ نفر و در سناریوی دوم با تخمین حداکثر، حدود ۱۴۵۰۰ نفر تا پایان چشم‌انداز ۱۴۰۴ در صنعت تایر خودرویی سواری فعال خواهند بود. این یعنی، نیروی انسانی فعال در صنعت تایر خودرویی سواری از ۹۰۰۰ نفر در آغاز سال ۹۰، به حدود ۱۴۵۰۰ تا ۱۶۰۰۰ نفر در سال ۱۴۰۴ خواهد رسید.



شکل ۱۴. نمودار نیروی انسانی فعال در صنعت تایلر

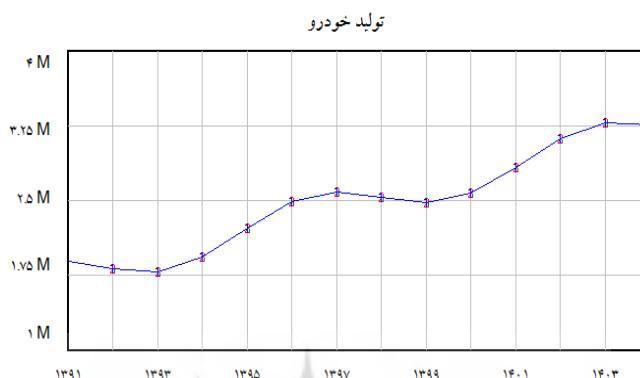
### تحلیل حساسیت وضعیت نیروی انسانی

برای تحلیل میزان ارتباط سیاست‌های تولید با نیروی انسانی، متغیری با نام «ضریب اصلاح زمانی فروش» مورد بررسی قرار می‌گیرد. با تحلیل حساسیت مدل نسبت به این متغیر، علاوه بر پاسخ به پرسش دوم پژوهش، پیشنهادهایی برای مقدار بهینه این متغیر ارائه می‌شود. در سناریوی اول اثر افزایش ناگهانی تولید خودرو (۴۰۰ هزار خودرو مازاد بر برنامه بین سال‌های ۹۵ تا پایان ۹۷) در شرایط مختلف متغیر ضریب اصلاح زمانی، بر نیروی انسانی و تولید تایلر بررسی می‌شود. خطوط آبی، قرمز و سبز در شکل ۱۵ شرایطی را بیان می‌کنند که برای متغیر ضریب اصلاح زمانی فروش، به ترتیب از مقادیر ۱، ۲ و ۴ استفاده شده است (سازوکار تأثیرگذاری این متغیر پیش‌تر تشریح داده شد).



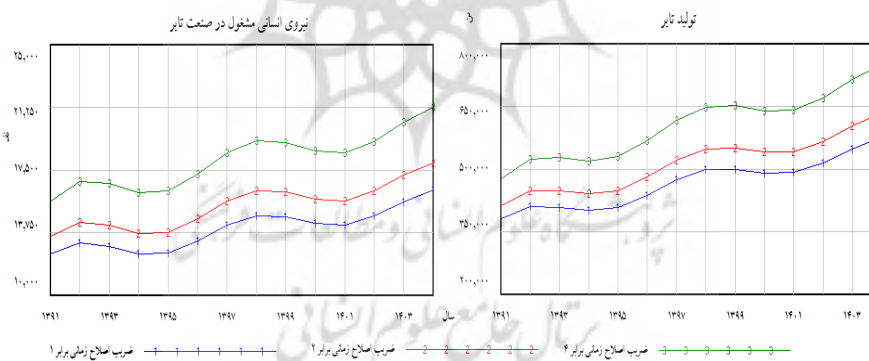
شکل ۱۵. نمودار تأثیر سناریوی ۱ بر متغیرهای تولید و نیروی انسانی صنعت تایلر خودروی سواری

سناریوی دوم در شکل ۱۶ برای بررسی اثر نوسان تقاضای تایر خودروسازان، در شرایط مختلف متغیر ضریب اصلاح زمانی، بر نیروی انسانی و تولید تایر طراحی می‌شود.



شکل ۱۶. نمودار سناریوی دوم، نوسان تولید خودرو

میزان تولید تایر خودرویی سواری و تغییرات نیروی انسانی در شرایط نوسان تولید خودرو و در حضور مقادیر متفاوت متغیر ضریب اصلاح زمانی، در شکل ۱۷ به تصویر کشیده شده است.



شکل ۱۷. نمودارهای تأثیر سناریوی دوم، بر متغیرهای تولید تایر و نیروی انسانی صنعت تایر خودرویی سواری

برای پاسخ به پرسش دوم پژوهش، دو سناریو طراحی شد. در هر دو سناریو، اثر تغییرات تقاضا بر برنامه‌ریزی نیروی انسانی، تحت سیاست‌های مختلف برنامه‌ریزی کلان تولید مورد

بررسی قرار گرفت. به گفته دیگر، در هر دو سناریو بررسی شد که آیا مقادیر مختلف متغیر ضریب اصلاح زمانی فروش، در اثرات وارد شده از سوی تغییرات تقاضا بر برنامه‌ریزی نیروی انسانی مؤثر است یا خیر.

در سناریوها، مقادیر مختلف متغیر ضریب اصلاح زمانی فروش، بیانگر سیاست‌های سطح کلان برنامه‌ریزی تولید بوده و چنانچه مقادیر متفاوت آن باعث شود که اثرات وارده روی برنامه‌ریزی نیروی انسانی دچار تغییرات معنادار شود، می‌توان نتیجه گرفت که سیاست‌های کلان برنامه‌ریزی تولید بر برنامه‌ریزی نیروی انسانی مؤثر است.

نتایج هر دو سناریو در اشکال ۱۶ و ۱۷ نشان می‌دهد که تغییرات به وجود آمده در برنامه‌ریزی توسعه نیروی انسانی، به شدت نسبت به متغیر مورد بررسی حساس است. میزان حساسیت برنامه‌ریزی نیروی انسانی به متغیر یادشده به قدری بالاست که منحنی‌های پیش‌بینی نیروی انسانی تحت مقادیر مختلف این متغیر، به صورتی کاملاً معنادار تغییر می‌کند. نمودارهای اشکال ۱۶ و ۱۷ نشان می‌دهند که در هر دو نوع تغییر، چه ناگهانی و چه نوسانی، مقادیر کوچکتر این متغیر موجب به کارگیری نیروی انسانی بیشتر و در نتیجه تولید بالاتر خواهد شد. افزون بر آن، به کمک تحلیل میزان تأثیرات سیاست‌های مختلف برنامه‌ریزی تولید بر برنامه‌ریزی نیروی انسانی، می‌توان پیشنهادهایی را برای سیاست‌های کلان تولید ارائه کرد. شبیه‌سازی مدل در شرایط مختلف نشان می‌دهد که در مقادیر کمتر این متغیر، حساسیت مدل به «تغییرات تولید خودرو» بیشتر شده و تغییرات کم تقاضا با سرعت بیشتری در برنامه‌ریزی‌ها تأثیر می‌گذارد.

بر این اساس می‌توان یک استراتژی ترکیبی برای انتخاب مقدار بهینه این متغیر توصیه کرد. انتخاب مقادیر کوچکتر برای متغیر ضریب اصلاح زمانی، در شرایطی که صنعت تأیر با تغییرات بزرگ و بدون بازگشت همراه باشد، مفیدتر بوده و تولیدات داخل سهم بزرگتری از تغییرات تقاضا را پوشش خواهند داد. کوچک بودن این متغیر در شرایطی که تولید تأیر با نوسان همراه باشد، مطلوب نبوده و نتیجه معکوس خواهد داد.

### نتیجه‌گیری و پیشنهادها

صنعت تأیر به دلیل جایگاه ویژه در زنجیره تأمین صنایع خودروسازی، از اهمیت زیادی برخوردار است. اهمیت ویژه این صنعت منجر شد تا سند چشم‌انداز توسعه صنایع تأیر ایران در سال ۱۳۸۵ تدوین شود (توانا و همکاران، ۱۳۸۸). مطالعه سند چشم‌انداز صنعت تأیر، گویای آن است که در توجه به برخی بخش‌ها، از جمله برنامه‌ریزی توسعه نیروی انسانی، کاستی‌هایی وجود دارد.

گرچه در حوزه برنامه‌ریزی صنعت تایر مطالعات زیادی انجام شده، اما کمتر پژوهشی را می‌توان یافت که به پیش‌بینی وضعیت نیروی انسانی این صنعت پرداخته باشد. در محدود پژوهش‌ها (مانند توانا و همکاران، ۱۳۸۸) نیز، اشاره‌ای به ارتباط میان توسعه نیروی انسانی و برنامه‌ریزی تولید تایر نشده است. در پژوهش حاضر، برنامه‌ریزی منابع انسانی و ارتباط آن با برنامه‌ریزی کلان تولید مورد بررسی قرار گرفت. به‌منظور پیش‌بینی وضعیت نیروی انسانی، از ابزار پویایی‌های سیستمی استفاده شد که علاوه بر افزایش دقت نسبت به‌روش آماری، قابلیت تحلیل حساسیت ارتباطات موجود در مدل را ایجاد کرد و از این حیث نیز نسبت به مطالعات پیشین برتری دارد.

این مقاله به شبیه‌سازی پویای صنعت تایر خودرویی ایران با هدف بررسی وضعیت نیروی انسانی تا چشم‌انداز ۱۴۰۴ پرداخت. بر اساس شناخت اولیه سیستم، متغیرهای کلیدی تعریف و مدل علی - معلولی و انباشت - جریان در نرم‌افزار Vensim طراحی شد. برای تأیید اعتبار ساختار و رفتار مدل، سه آزمون اجرا شد. نتایج اولیه نشان دادند که روند تغییرات نیروی انسانی تا پایان سال ۱۴۰۴ چگونه خواهد بود. دو بخش کلی در تحلیل حساسیت مدل طراحی شد. مشخص شد که با ادامه روند فعلی، تا پایان سال ۱۴۰۴، حدود ۱۴۵۰۰ تا ۱۶۰۰۰ نفر در صنعت تایر ایران اشتغال خواهند داشت. در بخش دوم، اثر تغییرات تقاضا بر برنامه‌ریزی نیروی انسانی، تحت سیاست‌های مختلف برنامه‌ریزی تولید مورد بررسی قرار گرفت. نتایج تحلیل حساسیت، میزان و چگونگی حساسیت برنامه‌ریزی توسعه نیروی انسانی نسبت به سیاست‌های مختلف برنامه‌ریزی تولید را تبیین کرد. علاوه بر آن، با بررسی اثرات سیاست‌های مختلف بر نیروی انسانی، توصیه‌هایی برای اتخاذ سیاست‌های برنامه‌ریزی تولید در شرایط مختلف ارائه شد.

پیشنهاد می‌شود که در پژوهش‌های آتی، با تحلیل وضعیت تایر هواپیما، دوچرخه و موتورسیکلت مدل صنعت تایر را توسعه داد. همچنین از آنجا که توسعه ظرفیت صنعت تایر در حوزه‌های مختلف نیازمند برنامه‌ریزی و تحلیل ساختار سیستم است، برای تحلیل کل‌نگرانه توسعه صنعت تایر کشور، مدلی طراحی شود که با چندین زیرمدل، همه حوزه‌های توسعه ظرفیت را پوشش داده و به کمک تحلیل حساسیت همه زیرمدل‌ها، بتوان یک برنامه‌ریزی جامع برای توسعه صنایع تایر ایران ارائه داد.

## منابع

استرمن، ج. (۱۳۸۶). *پویایی‌شناسی سیستم*. ترجمه میرزایی، ش.؛ اصلی‌زاده، ا.؛ سلوک‌زاده، ع.؛ شاهقلیان، ک. و زنده‌بافته، ع. چاپ اول. تهران: انتشارات ترمه.

توانا، ا؛ امامی، ن؛ تنها، م. و تقوایی، س. (۱۳۸۸). *سند چشم‌انداز توسعه صنعت تاپیر ایران در افق ۱۴۰۴*. شمسی. تهران: مؤسسه فرااندیش سبز.

سوشیل، ش. (۱۳۸۷). *پویایی‌های سیستم، رویکردی کاربردی برای مسائل مدیریتی*. ترجمه تیموری، ا؛ نورعلی، ع؛ ولی‌زاده، ن. چاپ اول. تهران: انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران.

صادقی‌مقدم، ع. ا؛ خاتمی فیروزآبادی، ع. و زبانی، ی. (۱۳۹۰). استفاده از رویکرد ترکیبی SD و SSM برای حل مسائل اجتماعی غیرساختار یافته. *فصلنامه مدیریت صنعتی*، ۳(۸): ۷۶ - ۵۵.

عباسی ایبانه، ا. (۱۳۸۲). *تعیین مقیاس بهینه تولید در مجتمع صنایع لاستیک کرمان*. (پایان‌نامه کارشناسی ارشد). دانشگاه تهران.

کاظمی، م. ا؛ ماکویی، ا. و درمان، ز. (۱۳۸۸). تدوین استراتژی زنجیره تأمین صنعت فولاد ایران با استفاده از تحلیل پویایی سیستم‌ها. *فصلنامه پژوهشی بازرگانی*، ۱۳ (۵۰): ۲۳۴ - ۲۰۱.

گروه صنعتی بارز. (۱۳۸۹). *گزارش رسمی هیئت مدیره به مجمع عمومی عادی سالانه سهام‌داران برای سال مالی منتهی به ۱۳۸۹*. برگرفته از <http://www.codal.ir/>.

مجتمع صنایع تاپیر کرمان، تیم استراتژیک کرمان تاپیر. (۱۳۸۴). *برنامه استراتژیک مجتمع در سال‌های ۸۴ تا ۸۸*.

وزارت صنایع و معادن (معاونت امور تولید)، دفتر صنایع غیر فلزی. (۱۳۸۵). *وضعیت صنایع تاپیر و تیوب کشور و چشم‌انداز بیست‌ساله آن*. برگرفته از <http://www.bsmt.ir/>.

Baines, T.S., Harrison, D.K. (1999). An opportunity for system dynamics in manufacturing system modelling. *Production Planning & Control*, 10(6): 542-552.

Bank of America Merrill Lynch. (2010). *Global Tire Quarterly Review*. Retrieved from <http://corp.bankofamerica.com/business/ci/global-research>.

Barlas, Y. (1996). Formal aspects of model validity and validation in system dynamics. *System Dynamics Review*, 12(3): 183-210.

Bell, W. (1997). *Foundations of futures studies: Human science for a new era V2: Values, objectivity, and the good society*. New Brunswick, NJ: Transaction.

Forrester, J.W. & Peter, M S. (1979). *Tests for building confidence in system dynamics model*. Massachusetts: Cambridge.



- Forrester, J.W. (1961). *Industrial Dynamics*. Cambridge, Massachusetts: MIT Press.
- Forrester, J.W. (1987). Lessons from system dynamics modeling. *System Dynamics Review*, 3(2): 136-149.
- Forrester, J.W. (1991). System Dynamics and the Lessons of 35 Years. In K. B. De Greene (Ed.). *The Systemic Basis of Policy Making in the 1990s*. Cambridge, Massachusetts: MIT Press.
- Hejazi, A. (2011). *Answering 18 Hot Questions on Forecast & Foresight*. Retrieved from <http://www.academia.edu/>.
- Jahangirian, M., Eldabi, T., Naseer, A., Stergioulas, L.K., Young, T. (2010). Simulation in manufacturing and business: A review. *European Journal of Operational Research*, 203 (1): 1-13.
- JATMA Group: The Japan Automobile Tyre Manufacturers Association. (2012). *Tyre Industry of Japan*. Retrieved from <http://www.jatma.or.jp/english/about/>.
- Kumho Tires, Reserch team. (2007). *Tire Capacity Wave*. Retrieved from <http://www.kumhotire.com>.
- Lyneis, J.M. (1999). System dynamics for business strategy: a phased approach. *System Dynamics Review*, 15(1): 37-70.
- Lyneis, J.M. (2000). System dynamics for market forecasting and structural analysis. *System Dynamics Review*, 16(1): 3-25.
- Mashayekhi, A.N., Ghili, S. (2012). System dynamics problem definition as an evolutionary process using the concept of ambiguity. *System Dynamics Review*, 28(2): 182-198.
- Rajan, R., Volpin, P., Zingales, L. (2000). The Eclipse of the U.S. Tire Industry. In Kaplan, S. N. (Ed.). *Mergers and Productivity*. (pp. 51-92). National Bureau of Economic Research.
- Sterman, J.D. (2000). *Business dynamics: systems thinking and modeling for a complex world*. New York: McGraw-Hill.
- Suryani, A. E., Shuo-Yan, C. A. & Chen, C. H. (2010). Air passenger demand forecasting and passenger terminal capacity expansion: A system dynamics framework. *Journal of Expert Systems with Applications*, 37 (3): 2324-2339.

- U.S. Environmental Protection Agency (EPA), Office of Air Quality Planning and Standards Innovative Strategies and Economics Group (ISEG). (2000). *Economic Analysis of the Rubber Tire Manufacturing (MACT)*. Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency.
- Vennix, J.A.M. (1999). Group model-building: tackling messy problems. *System Dynamics Review*, 15(4): 379-401.
- Weil, H.B. (2007). Application of system dynamics to corporate strategy: an evolution of issues and frameworks. *System Dynamics Review*, 23(2/3): 137-156.
- Wolstenholme, E. F. (1991). A current overview of system dynamics (revised with additions). In A. O. Moscardini and E. J. Fletcher (eds). *Applied Simulation and System Dynamics* (Emjoc Press), 163-179.
- Xerfi Global. (2010). *World Tyre Manufacturers: Market Analysis, 2010-2015 Trends, Corporate Strategies*. Retrieved from <http://www.xerfi.fr/>.

