

## تبیین نقش انعطاف‌پذیری تولید در کلاس جهانی مطالعه موردی: گروه خودروسازی سایپا

دکتر حسن فارسیجانی\*

احمد بکلری\*\*

### چکیده

یکی از عمده‌ترین ریسک‌های تجاری بنگاه‌های تولیدی و خدماتی در کلاس جهانی، ریسک عدم تعادل بین عرضه و تقاضا است. برای پاسخ‌گویی به نوسانات تقاضا، تغییر ظرفیت یکی از راهکارهای پرهزینه‌ای است که برخی سازمان‌ها در پیش می‌گیرند. افزایش ظرفیت در مواقع افزایش تقاضا ضمن اینکه مستلزم تحمیل هزینه‌های ایجاد می‌شود، با کاهش تقاضا منجر به ظرفیت بلااستفاده و سرمایه راکد خواهد شد. کاهش ظرفیت در مواقع کاهش تقاضا نیز مستلزم فروش دارایی‌های سازمان گردیده و با افزایش تقاضا موجب تحمیل هزینه فروش از دست رفته خواهد شد. برای مواجهه با این چالش پیش روی سازمان‌های تولیدی کلاس جهانی، انعطاف‌پذیری ترکیب تولید، به مفهوم ایجاد امکان تولید همزمان بیش از یک محصول در یک بنگاه یا خط تولیدی، راهکاری با هزینه اثربخش است که می‌تواند تا حدود زیادی ریسک عدم تعادل بین عرضه و تقاضا را جذب نماید. در این مقاله راهکارهای ایجاد انعطاف‌پذیری با هزینه اثربخش در بنگاه‌های تولیدی کلاس جهانی مورد بررسی قرار گرفته و مدلی ریاضی برای این منظور پیشنهاد می‌گردد. بعنوان مطالعه موردی، انعطاف‌پذیری تولید در گروه خودروسازی سایپا تحلیل شده و با استفاده از مدل ریاضی پیشنهادی و نرم‌افزار شبیه‌سازی، راهکارهایی جهت افزایش انعطاف‌پذیری تولید در گروه خودروسازی سایپا پیشنهاد می‌گردد.

**واژه‌های کلیدی:** تولید در کلاس جهانی، تعادل عرضه و تقاضا، انعطاف‌پذیری، تولید ترکیبی، هزینه اثربخش

\* دانشیار گروه مدیریت دانشگاه شهید بهشتی

\*\* نویسنده مسئول - دانشجوی دکتری دانشگاه سمنان، مدیریت تولید و عملیات [beklari@semnan.ac.ir](mailto:beklari@semnan.ac.ir)

## مقدمه

چرخه‌های کوتاه‌تر عمر محصولات و فن آوری، زمان تحویل کوتاه‌تر، افزایش سطح سفارشی سازی با قیمت استاندارد محصول، افزایش تنوع محصول، کیفیت و همچنین تنوع تقاضا و رقابت شدید جهانی از مشخصه های تولید در قرن بیست و یکم است اما مهمترین مشخصه قرن حاضر، عدم قطعیت در تقاضاست (Ainhoa, 2012).

متأسفانه، ما در دنیای قابل پیش‌بینی زندگی نمی‌کنیم. سرجیو مارچیونه مدیرعامل شرکت فیات-کرایسلر در همایش سالیانه انجمن جهانی مهندسان خودرو در آوریل ۲۰۱۳ می‌گوید: در صنعت خودرو، جهانی‌سازی ما را قادر به ایجاد زنجیره‌های تأمین بسیار پیچیده نموده است. اما در دنیای دائماً در حال تغییر، ماهیت به هم پیوسته زنجیره‌های تأمین، در خطر درهم گسیختگی از ناحیه نوسانات تقاضا، کمبود قطعات اصلی، تغییرات ژئوپلیتیکی، حوادث طبیعی و سایر وقایعی است که پیش‌بینی آنها مشکل است. ما نمی‌توانیم تمام سناریوهای ممکن را پیش‌بینی کنیم لذا این آسیب‌پذیری نیاز به همکاری را تداعی می‌کند. آنچه که ما عملاً می‌توانیم انجام دهیم تلاش برای دستیابی به انعطاف‌پذیری موردنیاز جهت تطابق سریع با مشکلات است (Chrysler, 2013).

عمده‌ترین ریسک تجاری صنایع مختلف از جمله صنعت خودرو، عدم تعادل بین عرضه و تقاضا است. انعطاف‌پذیری ترکیب تولید، یکی از عواملی است که می‌تواند ریسک عدم تعادل بین عرضه و تقاضا را جذب کند. انعطاف‌پذیری ترکیب تولید، به مفهوم این است که کارخانه ای بتواند بیش از یک نوع محصول را تولید نماید (Tomlin, 2014).

گروه خودروسازی سایپا، با در اختیار داشتن ۴ سایت تولید خودرو، امکانات و تسهیلات تولیدی و پتانسیل‌های ضروری جهت تولید انعطاف‌پذیر را دارا می‌باشد ولیکن از سطح انعطاف‌پذیری پایینی برخوردار است. باتوجه به شرایط بازار و تغییر سلیقه مشتریان داخلی، ضرورت پرداختن به موضوع انعطاف‌پذیری تولید با هزینه‌ای اثربخش در سال‌های اخیر کاملاً محسوس می‌باشد به گونه‌ای که اگر نتواند به سرعت خود را با شرایط بازار تطبیق دهد، از گردونه رقابت خارج خواهد شد.

در این مقاله ابتدا روشهای ایجاد انعطاف‌پذیری تولید در شرکت‌های جهانی مورد بررسی قرار گرفته و سپس وضعیت انعطاف‌پذیری شبکه تولید گروه خودروسازی سایپا، ارزیابی و تحلیل گردیده و در نهایت باتوجه به سیاست‌های آتی و پیش‌روی شرکت،

سناریوهایی جهت افزایش انعطاف‌پذیری شبکه تولید سایپا با هزینه‌ای اثربخش پیشنهاد خواهد شد.

### مبانی نظری تحقیق

#### مفهوم انعطاف پذیری تولید

انعطاف‌پذیری تولید یک مفهوم چند بعدی است و هیچ توافق کلی در تعریف آن وجود ندارد. این به خاطر این واقعیت است که هر شرکت، انعطاف‌پذیری تولید را به روش خاص خود درک می‌کند. (Terkaj, 2013).

بطور خلاصه، انعطاف‌پذیری تولید مشخصه‌ای است که به یک سیستم تولید ترکیبی اجازه می‌دهد تا بر سطح مشخصی از تغییرات در نوع محصول، بدون ایجاد اختلال در فرایند تولید بخاطر تغییر بین محصولات مختلف، غلبه کند. انعطاف‌پذیری، توانایی تطبیق با دامنه وسیعی از شرایط محیطی ممکن را تعیین می‌کند (Rohit Pandey, 2016).

#### انواع انعطاف‌پذیری

در ادبیات موضوع، انعطاف‌پذیری به انواع زیر دسته‌بندی شده است (Metternich, 2013):

- انعطاف‌پذیری ماشین: انواع مختلف عملیاتی که یک ماشین می‌تواند انجام دهد
- انعطاف‌پذیری حمل‌مواد: توانایی جابجایی محصولات در بین تجهیزات تولیدی
- انعطاف‌پذیری عملیات: توانایی تولید یک محصول به روشهای مختلف
- انعطاف‌پذیری فرایند: مجموعه محصولات که سیستم می‌تواند تولید کند
- انعطاف‌پذیری محصول: توانایی افزودن محصولات جدید به سیستم تولید
- انعطاف‌پذیری مسیر: مسیرهای مختلفی از بین ماشینها و ایستگاههای کاری که می‌تواند برای تولید یک محصول در سیستم تولید مورد استفاده قرار گیرد
- انعطاف‌پذیری حجم تولید: تسهیل در افزایش قابلیت سودآوری یا کاهش خروجی سیستم تولید فعلی
- انعطاف‌پذیری توسعه: توانایی ایجاد ظرفیت جدید در سیستم تولید
- انعطاف‌پذیری برنامه‌ای: توانایی اجرای اتوماتیک (برنامه‌ای) یک سیستم تولید
- انعطاف‌پذیری ترکیب تولید: تعداد محصولات که یک سیستم تولید می‌تواند تولید کند (Sethi, 1990).

### مفهوم انعطاف پذیری ترکیب تولید

منظور از تولید ترکیبی، تولید در سالن مونتاژ خودرو به گونه ای که در آن مدل‌های مختلف خودرو در یک خط تولید و در یک زمان تولید شوند و مدل‌های مختلف تولیدی بتواند با تغییر تقاضای مشتری تغییر کند. شرکت تویوتا اولین شرکتی بود که قادر به تولید ترکیبی شد و در حال حاضر می‌تواند ۴۰۰۰ مدل خودرو را بطور همزمان در خطوط خود تولید نماید بگونه‌ای که موتور، گیربکس، درها و سایر مجموعه‌ها در هر مدل خودرو می‌تواند متفاوت باشد (Hu, 2009).

### ایجاد انعطاف‌پذیری با سازماندهی 4P

مدیران سازمان‌های تولیدی برای ایجاد انعطاف‌پذیری در سیستم تولید خود می‌توانند از ۴ اهرم استفاده کنند که عبارتند از طراحی محصول (Product design)، طراحی فرایند (Process design)، فناوری تولید (Production technology) و نیروی کار (People) (Tomlin, 2014).

### طراحی محصول

انعطاف‌پذیری تولید صرفاً مرتبط با کارخانه نبوده بلکه به محصولات نیز مربوط است. هرچه طراحی مدل‌های تولید به هم شبیه‌تر باشد، تولید مدل‌های چندگانه راحت‌تر خواهد بود.

پلت فرم‌ها یکی از استراتژی‌های مدیریت طراحی محصول هستند. ماهیتاً یک پلت فرم مجموعه‌ای از زیرسیستم‌های مهندسی است که در چندین محصول، مشترک است. پلت فرم‌ها که گاهی اوقات بعنوان معماری‌های خودرو اطلاق می‌شوند، استراتژی اصلی مهندسی و عملیات در صنعت خودرو هستند.

در واقع تقریباً تمام شرکت‌های خودرو در کلاس جهانی، به دنبال یکی کردن مدل‌های تولیدی خود حول پلت فرم‌های کمتر هستند. برآورد می‌شود تا سال ۲۰۲۰ ده خودرو ساز اصلی شامل جنرال موتورز، فولکس واگن، تویوتا، فورد، نیسان، پژو سیتروئن، هوندا، رنو، فیات، و دایملر، پلت فرم‌های خود را از ۱۷۵ پلت فرم در سال ۲۰۱۰ به یک سوم کاهش بدهند.

### طراحی فرایند

هر مرحله اصلی از تولید خودرو نیازمند چندین گام فرایندی برای تکمیل آن مرحله است. ایجاد یک سیستم تولید انعطاف‌پذیر، بسیار مشکل‌تر خواهد بود اگر مدل‌ها یا زیرسیستم‌های مختلف نیازمند انجام گام‌های فرایندی با توالی مختلف باشند. دستیابی به یک توالی فرایند تولید که برای مدل‌های مختلف مشترک باشد، نیازمند تلاشی بلندمدت و هماهنگ جهت بکارگیری دیدگاه پورتفوی (سبد) در مهندسی تولید و محصول است.

### فناوری تولید

اتوماسیون مدتهای مدیدی است که بعنوان ابزاری برای دستیابی به انعطاف پذیری رواج دارد. شرکت ABB تأمین‌کننده اصلی روبات‌های صنعتی، انعطاف‌پذیری را علت کلیدی سرمایه‌گذاری در روبات‌ها می‌داند. روبات‌ها، با یک بار برنامه نویسی می‌توانند به آسانی بین فرایندها سوئیچ نموده و در جهت ایجاد تغییرات در طراحی محصول و تقاضای مشتری با کمترین تلاشی، به ما کمک کنند. در واقع، روبات‌های پیشرفته به شرکت‌های خودروساز کمک می‌کنند تا مدل‌های مختلف را با تجهیزات یکسان، تولید کنند.

### نیروی کار

نیروی کار، نقشی اساسی در فرایند تولید ایفا کرده و عملکرد آن در انعطاف پذیری تولید بسیار مورد مطالعه قرار گرفته است (Zhang, 2003). هرچند اتوماسیون تولید حیاتی است اما بازهم نیروی کار جزئی تعیین کننده در نقاط مشخصی از تولید خودرو است. شرکت‌های تولیدی در مواجهه با نوسانات تقاضا از سه نوع سیاست در خصوص نیروی انسانی خود بهره می‌برند. اولین سیاست، انعطاف‌پذیری تعدادی است که از طریق تنظیم و تعدیل تعداد کارکنان صورت می‌گیرد. این نوع سیاست منوط به سطح و قدرت اتحادیه‌های کارگری و به نحوه تعامل شرکت با آنها بستگی دارد. دومین سیاست، جابجایی کارکنان بین مدل‌های تولیدی یا کارخانجات تولیدی است. دامنه این سیاست وابسته به نوع شبکه تولید و استراتژی‌های تجاری شرکت است. سومین سیاست، انعطاف‌پذیری در ساعات کاری کارکنان است. در این سیاست نیز نقش اتحادیه‌های کارگری بسیار اساسی است (Akşin, 2015).

#### استفاده از ترکیب مناسب 4P

هر یک از چهار P انعطاف‌پذیری، اهرم‌های مهمی هستند، اما برخی از آنها بیشتر یا کمتر با یک صنعت خاص یا مرحله مشخصی از تولید در یک صنعت مرتبط هستند. در صنعت تولید خودرو، فناوری تولید در فرایندهای بدنه و رنگ حیاتی است اما در مونتاژ نهایی، طراحی فرایند نقش حیاتی دارد. در سالن بدنه، جایی که ورقهای فلزی مونتاژ شده و بدنه خودرو را شکل می‌دهند، انعطاف‌پذیری به معنی این است که کمتر از ۲۰٪ تجهیزات شکل‌دهی یک مدل، خاص باشد. در سالن رنگ، انعطاف‌پذیری به معنی این است که تجهیزات روباتیک به گونه‌ای برنامه‌نویسی شوند که بدنه‌های مدل‌های مختلف در کابین رنگ، با دقت یکسانی پوشش رنگ داده شوند. در سالنهای مونتاژ نهایی، انعطاف‌پذیری به معنی آن است که توالی ساخت در میان مدل‌های مختلف تولیدی بر روی یک یا چند پلت فرم، یکسان باشد.

#### پیشینه تحقیق

تحقیقات زیادی در زمینه انعطاف‌پذیری تولید انجام شده است. یکی از راه‌های بررسی متون گسترده مربوط به پژوهش‌های انجام شده در این زمینه، تقسیم ادبیات موضوع به دوره‌های زمانی و براساس تمرکز پژوهشی آنها است. فاز اول تحقیقات گسترده در دهه ۱۹۸۰ انجام شد که در آن تاکید اصلی بر درک ماهیت انعطاف‌پذیری تولید بود. در این دوره بر روی توسعه تعاریف، مفاهیم، شناسایی انواع مختلف انعطاف‌پذیری تولید و بررسی دلایل اساسی نیاز به انعطاف‌پذیری تمرکز بوده است. در دهه ۱۹۹۰، اگر چه محققان همچنان به شناسایی و تعریف انواع انعطاف‌پذیری و توسعه طبقه‌بندی‌ها می‌پرداختند، محور پژوهش‌ها به سمت یافتن درک بهتری از مدیریت انعطاف‌پذیری تولید منتقل شد. در طول این دوره، محققان بر روی توسعه معیارهایی برای انعطاف‌پذیری و تحقیق در مورد چگونگی دستیابی به تولید انعطاف‌پذیر متمرکز شدند. در دهه ۲۰۰۰، به پژوهش در مفهوم انعطاف‌پذیری اقدام شد که به نظر می‌رسد با آنچه در دو دهه گذشته پرداخته شده بود، بی‌ربط باشد. از یک طرف، محققان تلاش‌های خود را معطوف به انجام بررسی گسترده ادبیات انعطاف‌پذیری تولید بصورت نظری و تجربی نمودند. این بررسی‌ها نشان داد که با وجود کار گسترده‌ای که انجام شده، هنوز هم درک کاملی از مفهوم انعطاف‌پذیری تولید وجود ندارد و با اشاره به فرصت‌های تحقیقات آینده، به ویژه در زمینه‌های اندازه‌گیری انعطاف‌پذیری و نحوه دستیابی

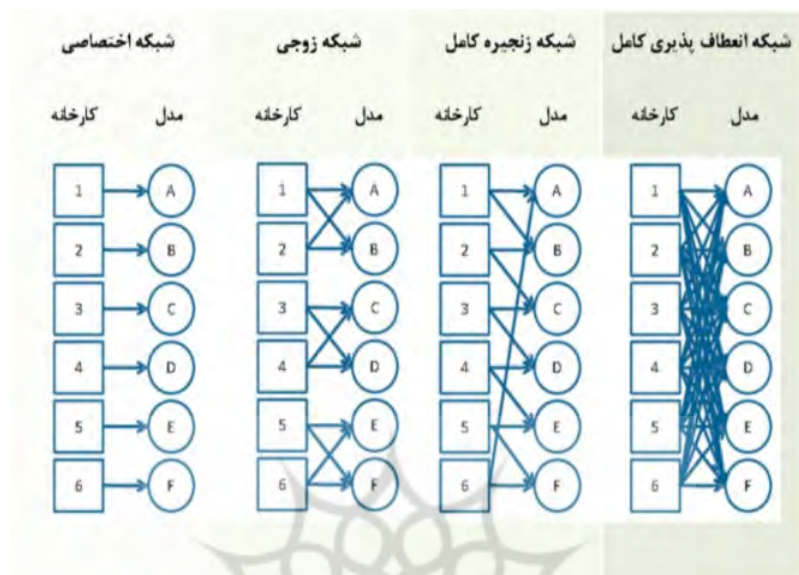
به انعطاف‌پذیری، جای کار بسیاری وجود دارد. علاوه بر این، پس از پذیرفتن چند بعدی بودن موضوع انعطاف‌پذیری، محققان بر روی انواع خاصی از انعطاف‌پذیری، به خصوص از نظر معیارها و عوامل ریشه‌ای آن متمرکز شده‌اند. از سوی دیگر، محققان به ظاهر از موضوع انعطاف‌پذیری تولید دور شده و مفاهیم انعطاف‌پذیری را در حوزه‌های دیگر تولید مانند چابکی و پاسخگویی تولید بکار گرفته‌اند، و حتی محققان سازه‌های انعطاف‌پذیری را به دیگر زمینه‌های کاربردی مانند زنجیره تامین و کسب و کار الکترونیکی تعمیم داده‌اند (Wilson, 2010).

اخیراً شاخص‌هایی برای اندازه‌گیری عملکرد ساختارهای انعطاف‌پذیر ایجاد شده است (Tomlin, 2014, Chryssolouris, 2013, He, P.2012, Liu, 2012).

### شبکه‌های تولید انعطاف‌پذیر با هزینه اثربخش

مدیران هنگام تصمیم‌گیری در مورد مقدار سرمایه‌گذاری در انعطاف‌پذیری و چگونگی استفاده بهینه از سرمایه‌گذاری‌های انجام شده، باید به مجموعه پیچیده‌ای از سوالات پاسخ دهند:

- کدامیک از کارخانجات باید انعطاف‌پذیر شوند؟
  - چگونه باید انعطاف‌پذیری در آن کارخانجات صورت پذیرد؟
  - چگونه می‌توان شبکه تولیدی انعطاف‌پذیر با هزینه اثربخش ایجاد نمود؟
- شبکه‌های تولید متفاوتی در صنایع مختلف بکار گرفته می‌شوند که هر کدام مزایا و معایب خاص خود را دارند و انتخاب کارآمدترین نوع شبکه، بیشترین اثربخشی را خواهد داشت، لذا مدیران در تصمیم‌گیری‌های خود باید به این امر توجه داشته باشند. تنوع شبکه‌های تولید در صنعت خودرو سازی در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱: انواع شبکه‌های تولید (Tomlin, 2014)

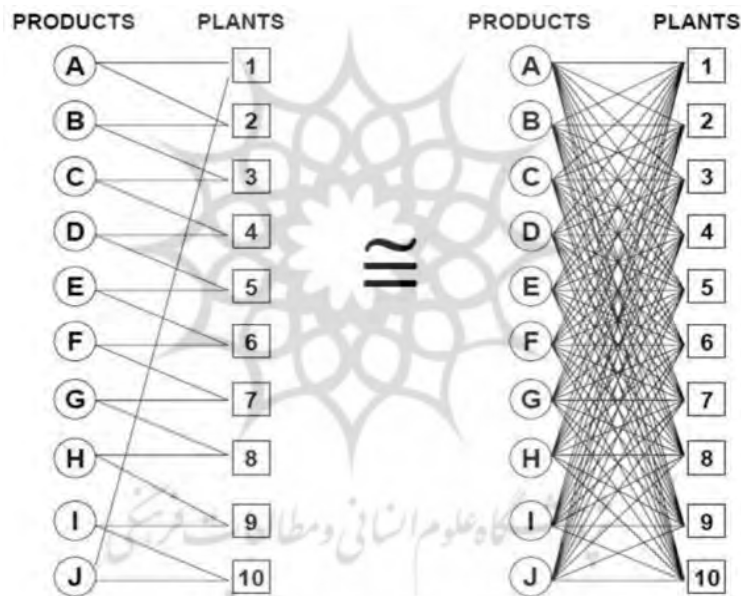
ارزیابی عملکرد شبکه‌های تولید در مقایسه با هم در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱: ارزیابی عملکرد شبکه‌های تولید (Terkaj, 2013)

نوع شبکه	تعداد ارتباطات	مزایا و معایب	وضعیت عملکرد	توضیحات
شبکه اختصاصی	یک ارتباط	تک بعدی بودن	بسیار ضعیف	در زمان مورد نیاز توان پاسخگویی ندارد
شبکه زوجی	دو ارتباط	دو بعدی بودن	ضعیف	در زمان مورد نیاز توان پاسخگویی محدودی دارد
شبکه زنجیره کامل	دو ارتباط	زنجیره بودن	خوب	در زمان مورد نیاز حداکثر توان پاسخگویی را دارا می‌باشد
شبکه انعطاف پذیری کامل	تعداد سایت‌های تولیدی * تعداد محصولات	پیچیدگی و تعدد ارتباطات	خوب	در زمان مورد نیاز حداکثر توان پاسخگویی را دارا می‌باشد



همانطور که شکل ۱ و جدول ۱ نشان می‌دهد، شبکه انعطاف‌پذیری کامل بهترین عملکرد را دارا می‌باشد اما این شبکه پیچیده‌ترین نوع ارتباط را دارا بوده و ایجاد چنین شبکه‌ای بسیار پرهزینه خواهد بود. لذا شبکه زنجیره کامل با دربرداشتن حداکثر قابلیت شبکه انعطاف‌پذیری کامل می‌تواند جایگزین مناسبی برای آن باشد و این امر از مزایای این نوع شبکه‌ها می‌باشد. بنابراین بهترین حالت انعطاف‌پذیری شبکه با هزینه اثربخش، زنجیره کامل می‌باشد و دارای مزایای زنجیره‌ای بودن و تعداد ارتباطات محدود می‌باشد که در شکل ۲ نشان داده شده است (Graves, 1991).



شکل ۲: عملکرد مشابه شبکه زنجیره کامل و شبکه انعطاف‌پذیری کامل (Tomlin, 2014)

### توسعه الگوی مفهومی

طراحی مدل برنامه‌ریزی خطی شبکه تولید انعطاف‌پذیر با هزینه اثربخش

برای اینکه به شبکه تولید انعطاف‌پذیر با هزینه اثربخش دست یابیم، هدف مدل برنامه‌ریزی خطی موردنظر، حداقل کردن هزینه‌ها شامل هزینه تولید و لجستیک محصول در سایت‌های مختلف تولیدی و همچنین هزینه تولید از دست رفته هر محصول، صرف‌نظر

از اینکه در چه سایتی تولید شود، خواهد بود. در این حالت متغیر تصمیم عبارت است از اینکه چه نوع محصولی و به چه میزان و در کدام سایت تولیدی، تولید شود. بنابراین متغیرهای مدل به شرح زیر خواهد بود:

$X_{ij}$ : تعداد تولید محصول  $j$  در سایت تولیدی  $i$

$S_j$ : تولید از دست رفته محصول  $j$

$C_i$ : ظرفیت تولید سایت  $i$

$D_j$ : تقاضای محصول  $j$

$P_{ij}$ : هزینه تولید محصول  $j$  در سایت تولیدی  $i$

$T_{ij}$ : هزینه لجستیک محصول  $j$  در سایت تولیدی  $i$

$c_j$ : هزینه فروش از دست رفته محصول  $j$

براین اساس مدل برنامه ریزی خطی به شکل زیر تعریف می گردد:

$$\text{Min } [\sum_j c_j S_j + \sum_j \sum_i (P_{ij} + T_{ij}) X_{ij}]$$

s.t.

$$\sum_j X_{ij} \leq C_i$$

$$\sum_j X_{ij} + S_j \geq D_j$$

$$X_{ij} \geq 0$$

در مدل فوق، محدودیت‌ها عبارتند از محدودیت ظرفیت تولید که بیانگر این موضوع است که مجموع تولید محصولات مختلف در هر سایت تولیدی از ظرفیت اسمی آن سایت بیشتر نباشد.

محدودیت بعدی، محدودیت تقاضای محصول است به این معنی که مجموع تولیدات محصول در سایت‌های تولیدی مختلف بعلاوه فروش از دست رفته آن محصول، در صورت کمبود ظرفیت، از تقاضای آن کمتر نباشد.

**شبیه سازی انعطاف پذیری تولید با هزینه اثر بخش**

برای ارزیابی عملکرد انعطاف‌پذیری یک شبکه تولید، به شبیه‌سازی سناریوهای مختلف تقاضا و بهینه کردن فروش (سود) برای ظرفیت‌های کارخانجات و پیوندهای انعطاف‌پذیری براساس مدل برنامه‌ریزی خطی پیشنهادی نیاز داریم.

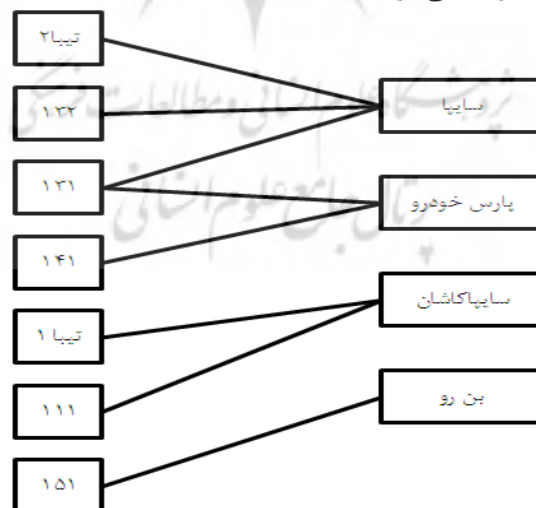
در اینجا ابزاری مبتنی بر Web برای ساخت شبکه‌های موردنظر کاربر جهت ارزیابی عملکرد کلی شبکه توسط MIT ایجاد شده است. نرم‌افزار Flex Cap در زمینه برنامه‌ریزی و پیش‌بینی کارای انعطاف‌پذیری تولید با بکارگیری مدل علمی به محققان و سازمان‌ها این امکان را می‌دهد تا پیش‌بینی دقیق‌تری داشته باشند. استفاده از نرم‌افزار Flex Cap به محققان نشان می‌دهند که چگونه ایده‌های خود را در زمینه توسعه انعطاف‌پذیری تولید، شبیه‌سازی نمایند. از طریق آدرس <http://www.bizsimz.com/flexcap/flexcap.html> امکان دسترسی به نرم‌افزار شبیه‌ساز انعطاف‌پذیری تولید وجود دارد (Tomlin, 2014).

### روش شناسی تحقیق

از جهت هدف، این تحقیق از نوع کاربردی بوده و از جهت نحوه گردآوری داده‌ها نیز از نوع توصیفی و بررسی موردی (Case Study) می‌باشد.

#### بررسی موردی: شبکه تولید گروه خودروسازی سایپا

شبکه تولید گروه خودرو سازی سایپا با بهره‌گیری از چندین سایت تولیدی و با توجه به تنوع تولید محصولات عبارت است از چهار کارخانه تولیدی و هفت محصول که شمای آن در شکل ۳ آمده است. مدل‌های تولیدی تیبا ۱ و تیبا ۲ بر روی پلت فرم X200 و سایر مدل‌ها بر روی پلت فرم X100 تولید می‌شوند.



شکل ۳: شمای شبکه تولید گروه خودروسازی سایپا

عدم توازن در ظرفیت‌های تولید هر سایت و همچنین تقاضا برای هر محصول بر پیچیدگی شبکه تولید این گروه خودروسازی افزوده است که در ادامه به آن می‌پردازیم. برای ارزیابی عملکرد شبکه تولید فعلی، سناریوهای مختلف تقاضا با هدف حداقل کردن هزینه‌ها براساس مدل برنامه‌ریزی خطی پیشنهادی و با استفاده از اطلاعات ظرفیتهای فعلی کارخانجات و اطلاعات نیاز فروش، شبیه‌سازی شده و میزان فروش موردانتظار شبکه و متوسط درصد استفاده از ظرفیت سالانه هر کارخانه محاسبه می‌گردد.

### تحلیل داده‌ها و یافته‌های تحقیق

اطلاعات ظرفیت تولید فعلی کارخانجات مونتاژ و نیاز فروش به مدل‌های تولیدی در گروه سایپا در جداول ۲ و ۳ آمده است.

جدول ۲: ظرفیت تولید فعلی سایت‌های گروه سایپا (سایپا، ۱۳۹۳)

ظرفیت تولید سایت‌های گروه	نام شرکت	ظرفیت تولید (به روز)	واحد شمارش	ظرفیت تولید سالانه		
				حداکثر توان تولید	میانگین توان تولید	حداقل توان تولید
	سایپا	۷۶۴	دستگاه	۲۰۰,۹۳۲	۱۸۸,۷۰۸	۱۷۶,۴۸۴
	پارس خودرو	۵۰۰	دستگاه	۱۳۱,۵۰۰	۱۲۳,۵۰۰	۱۱۵,۵۰۰
	سایپا کاشان	۶۰۰	دستگاه	۱۵۷,۸۰۰	۱۴۸,۲۰۰	۱۳۸,۶۰۰
	بن رو	۱۵۰	دستگاه	۳۵,۹۷۵	۳۵,۹۷۵	۳۴,۶۵۰
	مجموع	۲۰۱۴	دستگاه	۵۲۶,۲۰۷	۴۹۶,۳۸۳	۴۶۵,۲۳۴
						انحراف معیار توان تولید
						۶,۱۱۲

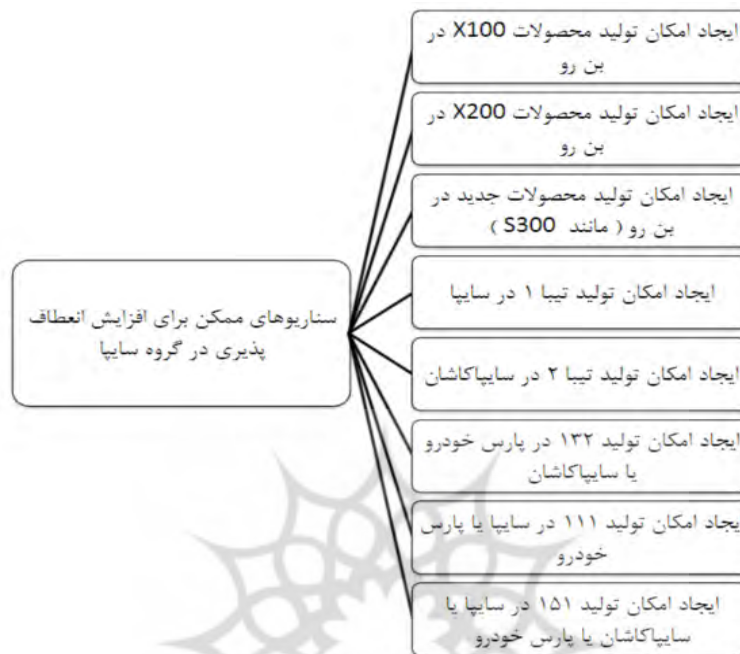
جدول ۳: نیاز فروش به مدل های تولیدی در گروه سایپا (سایپا، ۱۳۹۳)

نام محصول	قیمت واحد هر خودرو (تومان)	هزینه سود فروش از دست رفته	پیش بینی فروش			نیاز فروش محصولات گروه
			حداکثر پیش بینی فروش	میانگین پیش بینی فروش	حداقل پیش بینی فروش	
تیا ۲	۲۷,۰۰۰,۰۰۰	۲,۷۰۰,۰۰۰	۶۴,۱۳۸	۶۰,۲۳۶	۵۶,۶۰۸	۱,۹۵۱
۱۳۲	۲۰,۰۰۰,۰۰۰	۲,۰۰۰,۰۰۰	۲۷,۱۶۳	۲۵,۵۱۰	۲۳,۸۹۶	۸۲۷
۱۳۱	۲۰,۵۰۰,۰۰۰	۲,۰۵۰,۰۰۰	۲۴۰,۴۴۸	۲۲۵,۸۲۰	۲۱۲,۰۴۸	۷,۳۱۴
۱۴۱	۱۹,۰۰۰,۰۰۰	۱,۹۰۰,۰۰۰	۶,۱۳۵	۵,۷۶۲	۵,۳۳۶	۱۸۷
تیا ۱	۲۴,۰۰۰,۰۰۰	۲,۴۰۰,۰۰۰	۹۸,۶۲۵	۹۲,۶۲۵	۸۷,۰۰۰	۳,۰۰۰
۱۱۱	۲۰,۰۰۰,۰۰۰	۲,۰۰۰,۰۰۰	۵۹,۱۷۵	۵۵,۵۷۵	۵۲,۲۰۰	۱,۸۰۰
۱۵۱	۱۷,۲۰۰,۰۰۰	۱,۷۲۰,۰۰۰	۳۵,۹۷۵	۳۳,۷۸۶	۳۱,۷۸۴	۱,۰۹۵
مجموع			۵۳۱,۶۵۹	۴۹۹,۳۱۴	۴۶۸,۸۷۲	۱۶,۱۷۳

با توجه به اطلاعات فوق و قرار دادن این اطلاعات در نرم افزار شبیه سازی ، عملکرد شبکه تولید فعلی در گروه سایپا به دست می آید. براین اساس سناریوهای افزایش انعطاف پذیری تولید را می توان ارائه نمود.

#### سناریوهای افزایش انعطاف پذیری در شبکه تولید

برای ایجاد انعطاف پذیری در شبکه تولید سایپا، سناریوهای مختلفی به شرح شکل (۴) را می توان در نظر گرفت.



شکل ۴: سناریوهای ممکن برای افزایش انعطاف پذیری در شبکه تولید گروه سایپا

اما ایجاد تمامی پیوندهای ممکن در سناریوهای فوق‌الذکر، بسیار هزینه بر بوده و قابل اجرا نمی‌باشد. برای انتخاب پیوندهای مناسب با هزینه اثربخش، باید براساس سیاست‌های آتی سازمان و پیش‌بینی نیاز فروش در سالهای آتی، نسبت به ایجاد انعطاف پذیری اقدام نمود. ملاحظات مربوط به سیاست‌های آتی گروه سایپا به شرح زیر است (مدنی، ۱۳۹۳):

- ۱- سیاست کاهش تولید و حذف محصولات خانواده X100 (شامل مدل‌های ۱۳۲، ۱۳۱، ۱۴۱ و ۱۱۱) تا پایان سال ۹۵
- ۲- برنامه جایگزینی محصولات خانواده X200 ( تیبیا ۱ و تیبیا ۲) بجای محصولات خانواده X100
- ۳- کاهش نیاز فروش محصولات خانواده X100 و افزایش نیاز فروش محصولات خانواده X200
- ۴- لزوم افزایش ظرفیت تولید محصولات خانواده X200

بنابراین پیش‌بینی می‌شود که نیاز فروش محصولات خانواده X100 به میزان ۵۰٪ کاهش یافته و نیاز فروش محصولات خانواده X200 به میزان ۱۰۰٪ افزایش یابد. بر همین اساس می‌توان پیش‌بینی نیاز فروش سایپا را به شرح جدول ۴ در نظر گرفت:

جدول ۴: پیش‌بینی نیاز فروش براساس سیاستهای آتی سایپا

افزایش دو برابری نیاز بازار به محصولات X200 و کاهش ۵۰ درصدی نیاز بازار به محصولات X100						
نام محصول	قیمت واحد هر خودرو (تومان)	هزینه سود فروش از دست رفته	پیش‌بینی فروش			پیش‌بینی نیاز آتی فروش
			حداکثر پیش‌بینی فروش	میانگین پیش‌بینی فروش	حداقل پیش‌بینی فروش	
انحراف معیار پیش‌بینی فروش						
تیبا ۲	۲۷,۰۰۰,۰۰۰	۲,۷۰۰,۰۰۰	۱۲۸,۲۷۶	۱۲۰,۴۷۲	۱۱۳,۲۱۶	۳,۹۰۲
۱۳۲	۲۰,۰۰۰,۰۰۰	۲,۰۰۰,۰۰۰	۱۳,۵۸۲	۱۲,۷۵۵	۱۱,۹۴۸	۴۱۳
۱۳۱	۲۰,۵۰۰,۰۰۰	۲,۰۵۰,۰۰۰	۱۲۰,۲۲۴	۱۱۲,۹۱۰	۱۰۶,۰۲۴	۳,۶۵۷
۱۴۱	۱۹,۰۰۰,۰۰۰	۱,۹۰۰,۰۰۰	۳,۰۶۸	۲,۸۸۱	۲,۶۶۸	۹۳
تیبا ۱	۲۴,۰۰۰,۰۰۰	۲,۴۰۰,۰۰۰	۱۹۷,۲۵۰	۱۸۵,۲۵۰	۱۷۴,۰۰۰	۶,۰۰۰
۱۱۱	۲۰,۰۰۰,۰۰۰	۲,۰۰۰,۰۰۰	۲۹,۵۸۸	۲۷,۷۸۸	۲۶,۱۰۰	۹۰۰
۱۵۱	۱۷,۲۰۰,۰۰۰	۱,۷۲۰,۰۰۰	۳۵,۹۷۵	۳۳,۷۸۶	۳۱,۷۸۴	۱,۰۹۵
مجموع			۵۲۷,۹۶۲	۴۹۵,۸۴۲	۴۶۵,۷۴۰	۱۶,۰۶۰

بنابر اطلاعات جدول ۴ و قراردادن آن در نرم افزار شبیه سازی Flex Cap ، عملکرد شبکه تولید فعلی گروه سایپا براساس نیاز آتی فروش، به شرح جدول ۵ خواهد بود.

جدول ۵: نتایج عملکرد شبکه تولید فعلی براساس پیش بینی نیاز فروش آتی

سایت تولیدی	محصول	فروش موردانتظار در شرایط فعلی	میانگین نیاز فروش آتی	درصد تحقق فروش	فروش از دست رفته
سایپا	تیبا ۲	۸۰,۰۰۰	۱۲۰,۴۷۲	%۶۶	۴۰,۴۷۲
	۱۳۲	۱۲,۷۶۱	۱۲,۷۵۵	%۱۰۰	۰
	۱۳۱	۹۶,۰۰۳	۱۱۲,۹۱۰	%۱۰۰	۳۹
پارس خودرو	۱۴۱	۲,۸۸۰	۲,۸۸۱	%۱۰۰	۱
	تیبا ۱	۱۴۶,۱۸۶	۱۸۵,۲۵۰	%۷۹	۳۹,۰۶۴
سایپا کاشان	۱۱۱	۱,۹۴۰	۲۷,۷۸۸	%۷	۲۵,۸۴۸
	۱۵۱	۳۳,۷۸۹	۳۳,۷۸۶	%۱۰۰	۰
مجموع		۳۹۰,۴۲۷	۴۹۵,۸۴۲	%۷۹	۱۰۵,۴۲۴

راهکار پیشنهادی جهت افزایش انعطاف پذیری با هزینه اثربخش در شبکه تولید سایپا با توجه به اینکه در شبکه فعلی تولید سایپا، درصد تحقق نیاز فروش %۷۹ بوده و به میزان ۱۰۵۴۲۴ دستگاه فروش از دست رفته خواهیم داشت، راهکاری جهت ایجاد انعطاف پذیری در شبکه تولید سایپا به شرح شکل ۵ پیشنهاد می‌گردد.

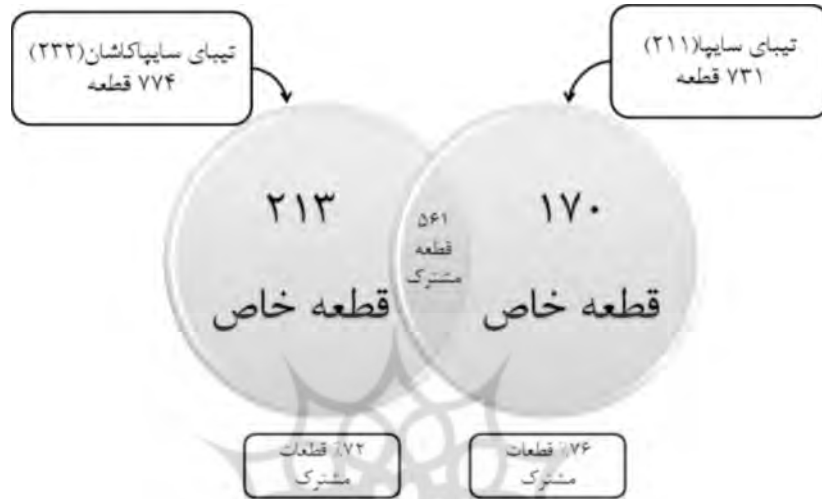


شکل ۵: راهکار پیشنهادی جهت افزایش انعطاف پذیری در شبکه تولید گروه سایپا

راهکار پیشنهادی با کمترین هزینه ممکن خواهد بود بدلیل اینکه بیش از %۷۰ قطعات محصولات تیبا ۱ و تیبا ۲ مشترک بوده و هر دوسایت تولیدی سایپا و سایپا کاشان یکی از

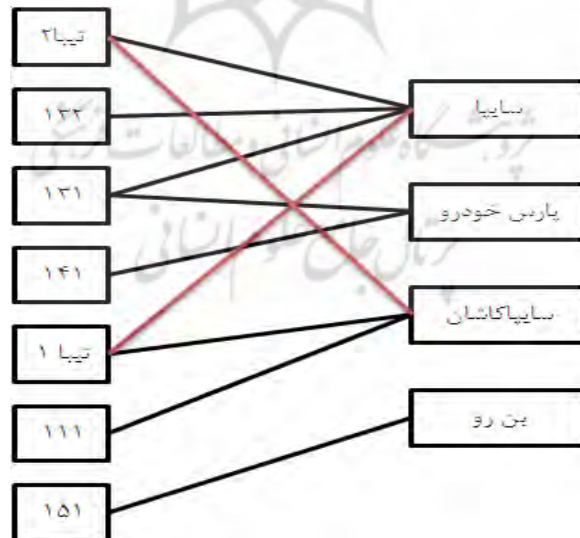


مدلهای مزبور را در دست تولید دارد. شکل ۶ وضعیت این دو محصول از نظر قطعات مشترک نشان می‌دهد.



شکل ۶: وضعیت دو محصول از نظر تعداد قطعات مشترک

بنابراین شبکه تولید گروه سایپا در وضعیت پیشنهادی بصورت شکل ۷ در نظر گرفته می‌شود



شکل ۷: شبکه تولید گروه سایپا در وضعیت پیشنهادی

با توجه به شبیه سازی عملکرد شبکه تولید پیشنهادی براساس نیاز آتی فروش، نتایج عملکردی به شرح جدول ۶ می‌باشد:

جدول ۶: نتایج عملکرد شبکه تولید براساس سناریوی پیشنهادی (افزایش انعطاف پذیری تولید محصولات خانواده X200)

محصول	سایت تولیدی	فروش مورد انتظار هر سایت	فروش مورد انتظار در شرایط پیشنهادی	میانگین نیاز فروش	درصد تحقق نیاز فروش	تولید از دست رفته
تیبا ۲	سایپا	۷۸,۲۴۱	۱۲۰,۵۲۶	۱۲۰,۴۷۲	%۱۰۰	---
	سایپا کاشان	۴۲,۲۸۵				
تیبا ۱	سایپا	۱۰۵,۱۰۹	۱۸۵,۳۳۴	۱۸۵,۲۵۰	%۱۰۰	---
	سایپا کاشان	۸۰,۱۲۵				
۱۳۱	سایپا	۴۲	۱۱۲,۹۵۲	۱۱۲,۹۱۰	%۱۰۰	---
	پارس خودرو	۱۱۲,۹۱۰				
۱۳۲	سایپا	۵,۳۰۰	۵,۳۰۰	۱۲,۷۵۵	%۴۲	۷,۴۵۵
۱۴۱	پارس خودرو	۲,۷۸۲	۲,۷۸۲	۲,۸۸۱	%۹۷	۹۹
۱۱۱	سایپا کاشان	۲۴,۷۶۴	۲۴,۷۶۴	۲۷,۷۸۸	%۸۹	۳,۰۲۴
۱۵۱	بن رو	۳۳,۷۸۱	۳۳,۷۸۱	۳۳,۷۸۶	%۱۰۰	---
مجموع			۴۸۵,۳۳۹	۴۹۵,۸۴۲	%۹۸	۱۰,۵۰۳

### مقایسه عملکرد شبکه تولید پیشنهادی با عملکرد شبکه فعلی

مقایسه نتایج عملکرد شبکه تولید پیشنهادی با شبکه تولید فعلی نشان می‌دهد که تحقق برنامه تولید سایپا از ۷۹٪ به ۹۸٪ افزایش یافته، ۱۷٪ درآمد حاصل از فروش بهبود یافته و فروش از دست رفته ناشی از کمبود ظرفیت به میزان ۹۰٪ کاهش می‌یابد. لازم به ذکر است این امر بدون ایجاد ظرفیت‌های تولید جدید حاصل شده و تنها با ایجاد دو پیوند

انعطاف‌پذیری جدید برای دو محصول با پلت‌فرم مشترک که بیش از ۷۰٪ قطعات آنها مشترک است، محقق می‌گردد. در جدول ۷ مقایسه نتایج عملکرد دو شبکه فعلی و پیشنهادی آمده است:

جدول ۷: جدول مقایسه وضعیت فعلی و پیشنهادی شبکه تولید گروه سایپا

وضعیت فعلی	وضعیت پیشنهادی	میزان بهبود	درصد بهبود
۳۹۰,۴۲۷	۴۸۵,۳۳۹	۹۴,۹۱۲	٪۲۴
٪۷۹	٪۹۸	٪۱۹	٪۲۴
۱۰۵,۴۲۴	۱۰,۵۰۳	-۹۴,۹۱۲	-٪۹۰
٪۷۹	٪۹۸	٪۱۹	٪۲۴
۹,۷۹۰	۱۱,۴۸۰	۱,۶۹۰	٪۱۷

### نتیجه گیری

عدم تعادل بین عرضه و تقاضا مهمترین ریسک تجاری در صنایع مختلف از جمله صنعت خودرو است. راهکارهای معمول در مواجهه با نوسانات تقاضای بازار و افزایش سطح پاسخگویی به تغییرات نیاز فروش، عمدتاً هزینه‌های زیادی را به سازمان‌ها تحمیل می‌نمایند. انعطاف‌پذیری ترکیب تولید، یکی از راهکارهای کم هزینه‌ای است که می‌تواند ریسک عدم تعادل بین عرضه و تقاضا را جذب کند. انعطاف‌پذیری ترکیب تولید، به این معنی است که بتوان بیش از یک نوع محصول را در یک مجموعه صنعتی واحد، تولید نمود. امروزه برای اعمال هرگونه تغییر در انعطاف‌پذیری تولید، از قبل آن را شبیه‌سازی نموده و براساس نتایج مطالعات و بررسی‌های صورت گرفته، با دقت در این حوزه عمل می‌نمایند. در این مقاله برای ایجاد انعطاف‌پذیری در تولید کلاس جهانی با هزینه‌ای اثربخش و کارا، یک مدل ریاضی پیشنهاد می‌شود که با هدف کاهش هزینه‌ها، به دنبال یافتن ترکیب بهینه تولید بوده و برای حل این مدل باتوجه به تغییرات تقاضای بازار، از تکنیک شبیه‌سازی و

نرم افزار Flex Cap کمک گرفته می شود. از این طریق می توان عملکرد شبکه تولید را ارزیابی نموده و نتایج تغییرات ایجاد شده در انعطاف پذیری شبکه تولید را قبل از اعمال عملی، نشان داد.

بعنوان مطالعه موردی، عملکرد شبکه تولید گروه خودروسازی سایپا در مواجهه با تغییرات آتی نیاز فروش مورد بررسی و شبیه سازی قرار گرفته و راهکارهایی در راستای افزایش انعطاف پذیری شبکه تولید جهت پاسخگویی به تغییرات آتی تقاضا پیشنهاد می گردد. با توجه به پیشنهاد ارائه شده جهت ایجاد امکان تولید محصولات پلت فرم X200 (تیبا ۱ و تیبا ۲) در دو سایت تولید سایپا و سایپاکاشان، میزان درصد تحقق نیاز فروش ۲۴٪ بهبود یافته و فروش از دست رفته به میزان ۹۰٪ کاهش می یابد و منجر به بهبود درآمد حاصل از فروش به میزان ۱۷٪ خواهد شد.

از جمله محدودیت‌های این تحقیق، امکان بررسی اقتصادی هزینه های ایجاد انعطاف پذیری در تولید، از جهت فراهم نمودن زیرساخت‌های سخت افزاری و نرم افزاری موردنیاز و مقایسه آن با روش‌های ارائه شده در این مقاله است، که می تواند موضوع تحقیقات آتی قرار گیرد.

مدل ریاضی ارائه شده، در شرایط قطعی تعریف شده و تنها مقادیر تقاضا بعنوان متغیرهای تصادفی در نرم افزار شبیه سازی لحاظ شده است. تعریف مدل ریاضی در حالتی که ترکیبی از متغیرهای تقاضا، ظرفیت و هزینه تولید بصورت تصادفی در آن لحاظ شود و استفاده از روش‌های متاهوریستیک در حل مدل ریاضی تصادفی، برای تحقیقات آتی پیشنهاد می شود.

## منابع و مأخذ

- ۱- سایپا (۱۳۹۳)، اطلاعات ظرفیت تولید سایت‌های گروه و نیاز فروش مدل‌های تولیدی.  
 ۲- مدنی، سعید (۱۳۹۳). همکاری با برندهای مطرح خارجی در اولویت گروه خودروسازی سایپا است. مجله نارنجی سایپا ۲۲۳، ص ۱۶.
- 3-Ainhoa, U. A., L. K. Martin, G. O. Carmen, and H. A. Emilio.(2012).Manufacturing Flexibility and Advanced Human Resources Management Practices, Production Planning and Control:1–15.
- 4-Akşin, O. Z., Çakan, N., Karaesmen, F., & Örmeci, E. L. (2015). Flexibility structure and capacity design with human resource considerations, Production and Operations Management, 24(7), 1086-1100.
- 5-Chrysler. (2013). Chrysler Group’s Sergio Marchionne addresses industry leaders at 2013 SAE World Congress Annual Banquet, Retrieved June 26, 2013, from <http://media.chrysler.com/newsrelease>.
- 6-Chryssolouris, G., Efthymiou, K., Papakostas, N., Mourtzis, D., Pagoropoulos, A. (2013). Flexibility and complexity: is it a trade-off?, Int. J. Prod. Res. 51(23-24), 6788–6802
- 7-Graves, S. C., & Jordan, W. C. (1991). Principles on the benefits of manufacturing process flexibility.
- 8-He, P., Xu, X., Hua, Z. (2012). A new method for guiding process flexibility investment. Int. J. Prod. Res. 50(14), 3718–3737
- 9-Hu, S., Linwei, X., Sun, H., & Xu, L. (2009). Optimization of scheduling problem for auto mixed model assembly line. In Intelligent Systems and Applications, 2009. ISA 2009. International Workshop on (pp. 1–3). IEEE.
- 10-Liu, T., Li, M. (2012). Structural flexibility indices with shrinking capacities in cross production. Int. J. Prod. Res. 50(2), 393–407
- 11-Metternich, J. Böllhoff, S. Seifermann, and S. Beck.(2013). “Volume and Mix Flexibility Evaluation of Lean Production Systems”. Procedia CIRP, vol. 9, pp. 79–84.
- 12-Rohit Pandey, Nishant Sharma & Arvind Singh Tomar. (2016). Performance Evaluation of Flexible Manufacturing System (FMS)

in Manufacturing Industries, Imperial Journal of Interdisciplinary Research (IJIR) Vol-2, Issue-3.

13-Sethi, A.K. and Sethi, S.P.(1990). Flexibility in Manufacturing: A survey. The International Journal of Flexible Manufacturing Systems 2, 289-328.

14-Terkaj, W., Tolio, T., & Valente, A. (2013). A review on manufacturing flexibility. Design of Flexible Production Systems: Methodologies and Tools, 41-61.

15-Tomlin, B. (2014). Managing supply-demand risk in global production: Creating cost-effective flexible networks. Business Horizons, 57(4), 509-519.

16-Wilson, S., & Platts, K. (2010). How do companies achieve mix flexibility?. International Journal of Operations & Production Management, 30(9), 978-1003.

17-Zhang, Q., Vonderembse, M., Lim, J. (2003). Manufacturing flexibility: defining and analyzing relationships among competence, capability, and customer satisfaction. Journal of Operations Management 21 (2), 173-191.