چشم‌انداز مدیریت صنعتی
شماره ۴ ـ زمستان ۱۳۹۰
ص‌ص ۷۹ -۶۵

طراحی مدل ریاضی انعطاف‌پذیری سیستم تولیدی

عادل آذر*، حامد عبّاسی**

چکیده

یکی از ارزش‌های محیطی در صحنه رقابت بین‌الملل، توانایی خلق مزیت نسبی و رقابتی در محیط پویا و پرتحول صنعت امروزی است. در این رابطه استفاده از سیستم‌های منعطف و چابک در محصولات و فرآیند تولید مورد تأکید بوده و برای رسیدن به آن توجه مستمر به کیفیت و نیازهای مشتریان اجتناب‌ناپذیر است. بنابراین برای اینکه سازمان‌ها و به‌خصوص شرکت‌های صنعتی بتوانند به محیط پویا و پیچیده خود پاسخ دهند، باید بتوانند این ارزش‌های محیطی را وارد سازمان کرده و با فراگیرکردن اجرای مستمر، آن را به‌صورت یک پیش فرض اساسی و ارزش درون‌سازمانی درآورند. انعطاف‌پذیری در صنایع تولیدی کشور، خصوصاً در صنایع خودروسازی که از تغییرات و پویایی بالایی برخوردار است، به‌عنوان یک ضرورت مطرح می‌شود. از یک سو انعطاف‌پذیری مفهومی فراگیر و چند بعدی بوده و از سوی دیگر مدلی برای اندازه‌گیری آن وجود ندارد. بنابراین نکته اول، عدم وجود مدل یکتا و نکته دیگر، عدم سنجش و اندازه‌گیری آسان آن با روش‌های معمولی است. در این مقاله مسأله اصلی ارائه مدلی برای اندازه‌گیری انعطاف‌پذیری سازمانی و مقایسه نتایج حاصل از حل مدل با وضعیت واقعی شرکت ایران خودرو است.

کلیدواژه‌ها: انعطاف‌پذیری؛ چابکی؛ مدل‌سازی ریاضی؛ برنامه‌ریزی آرمانی.

تاریخ دریافت مقاله: ۸۸/۱۰/۱۵، تاریخ پذیرش مقاله: ۸۹/۰۳/۱۹.

* استاد، دانشگاه تربیت مدرس (نویسنده مسئول).

E-mail: Azara@modares.ac.ir

** دانشجوی دکتری، دانشگاه تربیت مدرس.

۱. مقدمه

رقابت روزافزون، بازارهای جهانی و مشتریان چالشی‌تر همگی از عناصر محیط تجاری امروز و کمک کننده به تغییرپذیری و عدم قطعیت بالاتر هستند. انعطاف‌پذیری تولید برای تعدیل اثرات این چالش‌ها پیشنهاد شده است [۶]. انعطاف‌پذیری تولید یک عنصر مهم از راهبرد عملیاتی شرکت است همان‌گونه که یکی از اولویت‌های رقابتی اصلی است که معمولاً مورد استفاده قرار می‌گیرد [۵]. این دیدگاه خود انعطاف‌پذیری را به‌عنوان یک هدف مشخص می‌سازد. دیدگاه دیگری از انعطاف‌پذیری یک تواناساز است، یک وسیله برای فراهم کردن قابلیت پاسخگویی سریع به تغییرات بازار [۱۱].

برای بقا و کامیابی در محیط‌های متلاطم و غیرقابل پیش‌بینی، انعطاف‌پذیری به‌عنوان عاملی مهم در نظر گرفته می‌شود [۹]. شرکت‌های تولیدی با رقابت‌های شدیدی روبه‌رو می‌شوند، توانایی پرداختن به بی‌ثباتی‌های داخلی و خارجی، سرنوشت و توسعه یک شرکت را مشخص می‌کند [۱۰]. انعطاف‌پذیری به ظرفیت یک شرکت برای تنظیم تغییرات و بهره‌برداری کردن از فرصت‌های ناشی از تغییرات محیطی مربوط می‌شود [۹].

مسأله اصلی تحقیق حاضر، چگونگی مدل‌سازی انعطاف‌پذیری به‌عنوان یکی از مؤلفه‌های کلیدی و مهم یک سیستم تولیدی یا حمل‌ونقل، در قالب یک مدل ریاضی است و مهم‌ترین اهداف و کاربردهای آن عبارت است از:

۱. پژوهش در زمینه انعطاف‌پذیری و چابکی و مقایسه تشابهات و تفاوت‌های آن‌ها.
۲. شناسائی مؤلفه‌های مؤثر بر انعطاف‌پذیری در سیستم‌های تولیدی یا حمل‌ونقل.
۳. ارائه یک مدل ریاضی برای اندازه‌گیری انعطاف‌پذیری سیستم مورد مطالعه.

۲. مبانی و چارچوب نظری تحقیق

انعطاف‌پذیری. تعریف واحد و مشخصی که در خصوص انعطاف‌پذیری مورد پذیرش همگان واقع شود، وجود ندارد و تعاریف موجود هر کدام جنبه‌های محدودی را تحت پوشش قرار می‌دهند [۱۰]. ماسکارنهاس انعطاف‌پذیری را به‌عنوان توانایی سیستم تولیدی برای مقابله با تغییرات محیطی تعریف می‌کند [۱۴]. کاکس انعطاف‌پذیری را توانایی شرکت در پاسخگویی چابک به تغییرات در شرایط بازار می‌داند [۷]. ناگارور انعطاف‌پذیری را در سطح تولید داخلی به‌عنوان توانایی سیستم تولیدی برای مقابله با تغییراتی همانند محصول، فرآیند، بار و خرابی ماشین‌آلات تعریف می‌کند [۱۷].

دتونی و تونچیا معتقدند که تعاریف انعطاف‌پذیری در مبانی نظری را می‌توان به‌عنوان تعریفی عمومی در نظر گرفت یعنی از دیدگاه عمومی، انعطاف‌پذیری به‌عنوان:

- یک مشخصه ارتباطی مابین سیستم و محیط خارجی آن؛ در این مورد، انعطاف‌پذیری به‌عنوان فیلتری عمل می‌کند که سیستم را از آشفتگی‌های خارجی مصون نگه می‌دارد، در نتیجه انعطاف‌پذیری به‌عنوان جذب کننده بی‌ثباتی عمل می‌کند.
- یک درجه از کنترل متوازن و کارایی پویا از یک سیستم (بر طبق تعریف بولدینگ)
- قابلیت تطابق/تغییر [۸].

بر طبق نظر ناراسیمهان و همکاران ادبیات انعطاف‌پذیری تولید به ۴ موضوع و دسته مجزا اما مرتبط به هم تقسیم می‌شود. دسته اول به عوامل زمینه‌ای انعطاف‌پذیری تولید مرتبط می‌شود، که مدعی است نیاز به مقابله با بی‌ثباتی‌های محیطی مربوط به حجم و تنوع دلیل اصلی گسترش انعطاف‌پذیری است. موضوع دوم تمرکز بر مراجع و سابقه انعطاف‌پذیری تولید دارد که اثرات زیرساختاری و ساختاری کلیدی مانند فناوری و کارگر تولید پیشرفته و مدیریت زنجیره تأمین، طراحی کار و کنترل تولید را مشخص می‌کند. سومین موضوع رابطه بین انعطاف‌پذیری‌های تولید و جنبه‌های مشخص عملکرد تولیدی را مورد آزمایش قرار می‌دهد. چهارمین موضوع طبقه‌بندی‌های مختلف انعطاف‌پذیری تولید را مورد بحث قرار می‌دهد که بر ماهیت چندبعدی این سازه تأکید می‌کند [۱۸].

ابعاد انعطاف‌پذیری، مبنا یا حوزه مشترکی بین خود دارند که عناصر انعطاف‌پذیری نامیده می‌شوند. کاسته و مالهوترا چهار عنصر برای انعطاف‌پذیری ارائه می‌کنند:

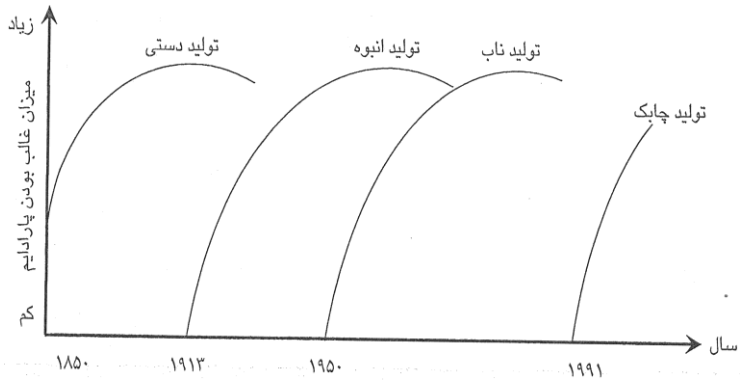
۱. دامنه: عبارت از تعداد انتخاب‌های ممکن است که یک سیستم یا منبع می‌تواند تحقق ببخشد. هر چه دامنه بیشتر باشد، انعطاف‌پذیری بیشتر خواهد بود.
۲. میزان عدم‌تجانس دامنه: این عنصر، درجه تفاوت بین انتخاب‌ها را نشان می‌دهد. میزان عدم‌تجانس دامنه بیشتر، مرتبط با انعطاف‌پذیری بیشتر است.
۳. تحرک: نمایانگر سهولتی است که با آن سازمان می‌تواند از یک وضعیت به وضعیتی دیگر حرکت کند.
۴. ثبات (عملکرد): این عنصر نشان‌دهنده میزان تشابه نتایج عملکرد (مانند کارآیی، بهره‌وری، کیفیت، زمان یا هزینه پردازش) در دامنه است.

ارائه مقیاس اندازه‌گیری برای انعطاف‌پذیری، می‌تواند کاربردی برای این عناصر باشد. همانند ابعاد انعطاف‌پذیری، بین عناصر انعطاف‌پذیری نیز ممکن است تبادل و تقابلی وجود داشته باشد [۴ و۱۳].

چابکی. تولید چابک با هدف‌هایی مانند: اغنای مشتری، اهرمی کردن اثر اطلاعات و افراد، تسلط بر تغییرات و عدم‌اطمینان و افزایش رقابت‌پذیری از طریق همکاری به روی کار می‌آید.

تاریخچه چابکی به دوره رکود صنایع ایالات متحده برمی گردد. با توجه به رکود صنایع تولیدی ایالات‌متحده و از دست دادن رقابت‌پذیری در طول دهه۱۹۸۰ که به خوبی مستند شده بود، در سال۱۹۹۰ کنگره آمریکا تصمیم گرفت تا اقداماتی ضروری در این مورد انجام دهد. در نتیجه کنگره به وزارت دفاع دستور داد که آژانسی را ایجاد کند تا صنعت تولید ایالات متحده را با هدف رقابتی‌تر کردن آن‌ها، مورد بررسی قرار دهد.

در واقع با مشاهده اینکه نرخ تغییر در محیط کسب‌وکار بیشتر از نرخ سازگاری با محیط است، گروهی از متخصصان و دانشگاهیان در دانشگاه لی‌های در ایالت پنسیلوانیا، از طرف وزارت دفاع با این هدف که چه سیستم و استراتژی‌هایی در صنعت موفق‌تر خواهند بود، گرد هم آمده و صنعت تولید ایالات متحده را مورد بررسی قرار دادند. نتیجه تلاش‌های این گروه گزارشی دوجلدی باعنوان "استراتژی بنگاه‌های تولیدی قرن۲۱" بوده که در سال ۱۹۹۱، در این دانشگاه منتشر شده و نام "چابک" بر روی این گزارش قرار گرفت [۱۲و۲۰].



نمودار ۱. روند تغییرات پارادایم‌های تولیدی [۲]

تعاریف متعددی برای چابکی ارائه شده است که هیچ یک از این تعاریف، در تضاد با یکدیگر نبوده و یکدیگر را نقض نمی‌کنند. عموماً این تعریف‌ها، ایده سرعت و تغییر در محیط کسب‌وکار را نشان می‌دهند. با توجه به جدید بودن بحث چابکی، تعریف جامعی‌که مورد تأیید همگان باشد، وجود ندارد. به‌باور شریفی و ژانگ چابکی به‌معنای توانایی هر سازمانی برای حسگری، ادراک و پیش‌بینی تغییرات موجود در محیط کاری است. چنین سازمانی باید بتواند تغییرات محیطی را تشخیص داده، به آن‌ها به‌عنوان عوامل رشد و شکوفایی بنگرد. آن‌ها در جایی دیگر چابکی را توانایی فائق آمدن بر چالش‌های غیرمنتظره برای رویارویی با تهدیدهای بی‌سابقهٔ محیط کاری و کسب مزیت و سود از تغییرات به‌عنوان فرصت‌های رشد و پیشرفت تعریف می‌کنند [۱۹]. ماسکل چابکی را توانایی رونق و شکوفایی در محیط دارای تغییر مداوم و غیرقابل پیش‌بینی

تعریف می‌کند. از این بابت، سازمان‌ها نباید از تغییرات محیط کاری خود هراس داشته، از آن‌ها دوری کنند؛ بلکه باید تغییر را فرصتی برای کسب مزیت رقابتی در محیط بازار تصور کنند [۳و۱۵]. ورنادات معتقد است: چابکی را می‌توان به‌صورت هم‌راستایی نزدیک سازمان با نیازهای متغیرکاری در جهت کسب مزیت رقابتی تعریف کرد. در چنین سازمانی، هدف‌های کارکنان با هدف‌های سازمان در یک راستا قرار داشته و این دو توأم با یکدیگر درصدد هستند تا به نیازهای متغیر مشتریان پاسخ مناسبی بدهند [۲۲].

البته تعاریف در زمینه سیستم تولیدی چابک بسیار زیاد می‌باشد اما یکی از تعاریف مفید و جامع تعریف مؤسسه یاکوکا می‌باشد که به شکل زیر تعریف شده است:

سیستم تولیدی چابک، سیستمی با توانمندی‌های فوق‌العاده (شامل توانمندی‌های داخلی، تکنولوژی‌های سخت و نرم، منابع انسانی، مدیریت تحصیل کرده، اطلاعات) است که از آن در جهت برآورده کردن نیازهای به سرعت در حال تغییر بازار استفاده می شود. این عمل از طریق مدل‌های متنوع محصول یا تغییر بین خطوط تولید محصول و در حالت ایده آل، پاسخگویی آنی به تقاضاهای مشتری (نیازهای مشتری) انجام می گیرد [۲۳].

مقایسه انعطاف‌پذیری و چابکی. در ابتدا لازم است به این نکته توجه شود که بسیاری از محققان مانند سوآفورد و پترسون، چابکی و انعطاف‌پذیری را ۲ مقوله جدا از یکدیگر به حساب می‌آورند به‌گونه‌ای که از نظر آن‌ها، انعطاف‌پذیری به معنای توانائی تغییر یا واکنش نسبت به تغییر است که از نظر زمان، تلاش، هزینه یا عملکرد با جریمه همراه می‌باشد، درحالی‌که چابکی عبارت است از توانائی برای رشد و شکوفائی در محیط رقابتی، یا بهبود مستمر و مقابله با تحولات پیش‌بینی نشده در جهت واکنش سریع و مؤثر به بازارهای متغیر بر حسب ارزش‌گذاری محصولات و خدمات مبتنی بر مشتری [۱و۲۱].

اما گروهی مانند شریفی و ژانگ یا مورلوک و چانگ میان چابکی و انعطاف‌پذیری تمایزی قائل نبوده و آن‌ها را به جای یکدیگر استفاده می‌کنند و تعریف آن‌ها عبارتست از:

توانائی سیستم در تعدیل و سازگاری با تغییرات خارجی، در حالی که عملکرد سیستم را به صورت رضایت‌بخشی حفظ کند [۱۶].

در این مقاله برای سنجش انعطاف‌پذیری توسط مدل طراحی شده رویکرد دسته دوم مورد توجه قرار گرفته است، اما در قسمت مبانی نظری مطرح شده هر دو دیدگاه مورد نظر قرار گرفته شد.

۳. روش‌شناسی تحقیق

روش مورد استفاده در پژوهش، روش توصیفی-تحلیلی می‌باشد که برای طراحی مدل ریاضی انعطاف‌پذیری از روش‌های مختلفی به شرح زیر در تحقیق استفاده شده است:

۱. روش تحقیق کتابخانه‌ای به‌منظور دسترسی به ادبیات تحقیق انعطاف‌پذیری روش تحقیق میدانی جهت جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز برای پارامترها و سایر عوامل تأثیرگذار مدل.
۲. روش تحقیق توصیفی-تحلیلی جهت طراحی مدل ریاضی انعطاف‌پذیری و تعیین ساختار آن.

اطلاعات مورد نیاز جهت تحقیق از طریق مصاحبه با خبرگان و کارشناسان، پرسش‌نامه و مطالعه اسناد و مدارک موجود جمع آوری و تنظیم گردید.

پس از گردآوری اطلاعات و طراحی مدل، با حل مدل توسط نرم‌افزار لینگو[1] و مقایسه نتایج آن با وضعیت واقعی شرکت ایران خودرو اعتبار مدل مورد سنجش قرار می‌گیرد.

قلمرو مکانی و زمانی تحقیق. صنایع خودروسازی کشور یکی از پیش قراولان صنعت تولید و صادرات کشور است و تحقیق حاضر نیز در شرکت طراحی مهندسی و تأمین قطعات ایران خودرو (ساپکو) و ایران خودرو و در فاصله زمانی زمستان ۱۳۸۷ تا پاییز ۱۳۸۸ صورت گرفته است. اما داده‌های به‌کار رفته در مدل به هفته‌های ۶ ماهه دوم ۱۳۸۷ اختصاص دارد.

شرکت ایران خودرو دارای سایت‌ها، خطوط مونتاژ و محصولات متنوعی است که بامشورت و توصیه خبرگان و کارشناسان کارخانه، ۵ خط مونتاژ از بین آن‌ها مدنظر تحقیق حاضر است. این خطوط شامل خطوط ۱و ۲ و ۴ واقع در تهران به‌همراه خطوط مونتاژ خراسان و تبریز است. هر یک از خطوط اشاره شده محصولات مختلفی را مونتاژ می‌کنند که ۶ ماشین پژو ۴۰۵، باردو (وانت)، رواَ، پژو پارس، سمند و پژو ۲۰۶ با اندیس‌های ۱ تا ۶ در مدل ما در نظر گرفته شده‌اند.

طراحی مدل ریاضی انعطاف‌پذیری. در این قسمت به ارائه مدل مناسبی برای انعطاف‌پذیری در سیستم‌های تولیدی پرداخته شده است. لازم به ذکر است که این مدل تمامی ابعاد انعطاف‌پذیری را در بر نمی‌گیرد. بلکه با توجه به محیط عملیاتی سیستم تولیدی مورد نظر و همچنین اهداف و محدودیت‌های دیگر موجود در تحقیق سعی شده است که ابعاد مهم‌تر و کاربردی‌تر در مدل گنجانده شود.

از بین روش‌های موجود برای طراحی مدل، روش‌های تحقیق در عملیات و از بین آن‌ها روش برنامه‌ریزی آرمانی از اولویت بالایی در انتخاب برخوردارند، علت آنست که برخی از

1. Lingo

روش‌های برنامه‌ریزی ریاضی همچون برنامه‌ریزی خطی و عدد صحیح به جواب‌های بهینه منتهی می‌شوند و نرم‌افزارهای مربوط به این‌گونه برنامه‌های ریاضی مانند لیندو[1] و لینگو به خوبی توسعه داده شده‌اند. همچنین با به‌کارگیری برنامه‌ریزی آرمانی می‌توان ابعاد مختلف انعطاف‌پذیری را در قسمت‌های مختلف سیستم‌های تولیدی به صورت یکجا در مدل گنجاند.

اکنون بعد از توضیحاتی در مورد برنامه‌ریزی آرمانی و دلیل استفاده از آن در این تحقیق به تشریح مدل، محدودیت‌ها، اندیس‌ها و مفروضات آن می‌پردازیم:

آرمان‌های به‌کار گرفته شده در مدل‌های ریاضی انعطاف‌پذیری. در مسائل و مدل‌های ریاضی انعطاف‌پذیری معمولاً برآورده کردن و پاسخ‌گویی به موارد زیر مورد توجه قرار می‌گیرد:

- زمان (تولید، مونتاژ، حمل‌ونقل و...)
- نیروی کار (ساعات عادی و اضافه کار)
- تعداد و ظرفیت دستگاه‌ها
- مواد اولیه
- دوره‌های کاری (روزانه، هفتگی، ماهانه و...)

که در هر مسأله با توجه به محیطی که مورد بررسی قرار می‌گیرد؛ برخی از موارد بالا به‌عنوان اهداف یا محدودیت مورد توجه قرار می‌گیرد و سایر موارد به‌عنوان پیش‌فرض‌های ثابت مدل در نظر گرفته می‌شود.

اندیس‌های به کار گرفته شده در مدل. در مدل مورد نظر تحقیق حاضر از سه دسته اندیس مختلف استفاده شده است:

دسته اول) این دسته به تعداد خط‌های تولیدی و مونتاژ به‌کار گرفته شده در کارخانه یا سیستم‌های تولیدی مختلف اشاره دارد. ($i = 1, \dots, m$)

دسته دوم) دسته دوم اشاره به نوع محصولات و کالاهای گوناگونی دارد که در هر خط تولید یا مونتاژ مورد پردازش قرار می‌گیرد. ($j = 1, \dots, n$)

دسته سوم) این دسته به هفته‌های کاری تولید اشاره دارد. ($k = 1, \dots o$)

پیش‌فرض‌های به‌کار گرفته شده در مدل. ۱. کمبود قطعه و نیروی کار وجود ندارد. ۲. مواد اولیه به مقدار لازم موجود است. ۳. تعداد و ظرفیت دستگاه‌های تولید و مونتاژ در محدودیت

1. Lindo

ظرفیت تولید هر خط مونتاژ دیده شده است. ۴. با فرض وجود بازارهای فروش در استان‌های همجوار هر خط مونتاژ، هزینه حمل‌ونقل برای تحویل کالا به مشتری وجود ندارد.

متغیرهای به‌کار گرفته شده در مدل

x_{ijk} : تعداد محصول تولید شده نوع j ام در خط مونتاژ i ام در هفته k ام.

d_{ik}^{+}, d_{ik}^{-} : انحراف از آرمان عرضه در خط مونتاژ i ام در هفته k ام.

d_{jk}^{+}, d_{jk}^{-} : انحراف از آرمان تقاضای بازار برای محصول j ام در هفته k ام.

d'^{+}_{ik}, d'^{-}_{ik} : انحراف از آرمان هزینه مونتاژ در خط مونتاژ i ام در هفته k ام.

$d''^{+}_{ik}, d''^{-}_{ik}$: انحراف از آرمان زمان مونتاژ در خط مونتاژ i ام در هفته k ام.

dt_{ik}^{+}, dt_{ik}^{-}: انحراف از آرمان عرضه بر اساس حداکثر زمان مونتاژ در خط مونتاژ i ام در هفته k ام

پارامترهای به‌کار گرفته شده در مدل

S_{ik} : ظرفیت آرمانی محصول در خط مونتاژ i ام در هفته k ام.

D_{jk} : تقاضای آرمانی محصول j ام در هفته k ام.

C_{ik} : هزینه آرمانی مونتاژ در خط مونتاژ i ام در هفته k ام.

c_{ijk} : هزینه مونتاژ محصول j ام در خط مونتاژ i ام در هفته k ام.

T_{ik} : زمان آرمانی مونتاژ در خط مونتاژ i ام در هفته k ام.

t_{ijk} : زمان مونتاژ محصول j ام در خط مونتاژ i ام در هفته k ام.

ST_{ik} : ظرفیت آرمانی محصول براساس حداکثر زمان مونتاژ در خط مونتاژ i ام در هفته k ام.

محدودیت‌های (اهداف) آرمانی به‌کار گرفته شده در مدل. همان‌گونه که در قسمت‌های قبل اشاره گردید، به‌دلیل برآورده کردن اهداف چندگانه در زمینه ابعاد مختلف انعطاف‌پذیری، برنامه‌ریزی آرمانی مورد استفاده قرار می‌گیرد. به‌همین دلیل اهداف گوناگون در قالب محدودیت‌های مختلفی در مسأله آورده شده است و انحراف نامساعد مثبت یا منفی آن‌ها بسته به نوع هدف، انتخاب شده و در تابع هدف آورده شده است. هدف نهائی، مینیمم کردن این‌گونه انحرافات است. با توجه به پیش‌فرض‌های اشاره شده اهداف (محدودیت‌های) مورد نظر به شرح زیر است:

هدف (محدودیت) اول: هدف اول، تولید محصولات در محدوده ظرفیت تولید هر خط مونتاژ در هفته است. انحراف نامساعد آن d_{ik}^{+}, d_{ik}^{-} است.

$$\sum_{j} x_{ijk} + d_{ik}^{-} - d_{ik}^{+} = S_{ik} \qquad \forall i,k$$

هدف (محدودیت) دوم : هدف دوم، پاسخ‌گویی به تقاضای هفتگی بازار است که انحراف نامساعد آن، d_{jk}^{+}, d_{jk}^{-} است.

$$\sum_{i} x_{ijk} + d_{jk}^{-} - d_{jk}^{+} + d_{jk-1}^{+} = D_{jk} \qquad \forall j,k$$

هدف (محدودیت) سوم : هدف سوم، مینیمم کردن هزینه‌های مونتاژ هفتگی هر خط مونتاژ است و انحراف نامساعد آن، d'^{+}_{ik} است.

$$\sum_{j} c_{ijk} * x_{ijk} + d'^{-}_{ik} - d'^{+}_{ik} = C_{ik} \qquad \forall i,k$$

هدف (محدودیت) چهارم : هدف چهارم، مینیمم کردن زمان مونتاژ هر خط مونتاژ در هفته است و انحراف نامساعد آن، d''^{+}_{ik} است.

$$\sum_{j} t_{ijk} * x_{ijk} + d''^{-}_{ik} - d''^{+}_{ik} = T_{ik} \qquad \forall i,k$$

لازم به ذکر است که با توجه به نظرات کارشناسان ایران خودرو و ساپکو به‌منظور نزدیکتر کردن مدل به شرایط واقعی در آن شرکت، محدودیت‌های آرمانی اول و چهارم به دلیل ارتباط نزدیک با همدیگر، با یکدیگر ترکیب شده و آرمان آن تبدیل به "ظرفیت مونتاژ براساس حداکثر زمان مونتاژ" شده است و هدف (محدودیت) آن به صورت زیر شکل گرفته است:

$$\sum_{j} x_{ijk} + d_{ik}^{-} - d_{ik}^{+} = ST_{ik} \qquad \forall i,k$$

تابع هدف:

$$Min(d_{ik}^{+} + d_{ik}^{-}), (d_{jk}^{+} + d_{jk}^{-}), d'^{+}_{ik} \qquad \forall i,j,k$$

اولویت‌گذاری آرمان‌ها. بازار خودرو در کشور ما هنوز تا اشباع شدن فاصله زیادی دارد به همین دلیل هرچه ظرفیت کارخانجات تولید خودرو افزایش یابد تقاضا برای آن در بازار وجود خواهد داشت. به همین دلیل دو آرمان اول مدل ما که اشاره به ظرفیت مونتاژ و برآورده کردن تقاضا داشت دارای اولویت یکسانی هستند. در مورد کاهش هزینه و زمان مونتاژ خودروها نیز هر چه ظرفیت تولید خودرو بالا رود در پی آن باید زمان مونتاژ خودرو کاهش بیابد و با این کار به

دلیل افزایش تولید خودرو با کاهش هزینه‌ها روبه‌رو خواهیم بود؛ که با این کار دو آرمان دیگر مدل نیز برآورده خواهد شد. به همین دلیل ۴ آرمان مدل انعطاف‌پذیری یاد شده دارای اولویت یکسانی هستند. البته با تغییر شرایط بازار، اولویت‌های یاد شده می‌تواند دچار تغییر شوند.

مدل ریاضی انعطاف‌پذیری.

$$Min(\ d_{ik}^{+} + d_{ik}^{-}) + (d_{jk}^{+} + d_{jk}^{-}) + d_{ik}'^{+} \qquad \forall i,\ j, k$$

$$\sum_{j} x_{ijk} + d_{ik}^{-} - d_{ik}^{+} = ST_{ik} \qquad \forall i, k$$

$$\sum_{i} x_{ijk} + d_{jk}^{-} - d_{jk}^{+} + d_{jk-1}^{+} = D_{jk} \qquad \forall j, k$$

$$\sum_{j} c_{ijk} * x_{ijk} + d_{ik}'^{-} - d_{ik}'^{+} = C_{ik} \qquad \forall i, k$$

$$d_{ik}^{+}, d_{ik}^{-}, d_{jk}^{+}, d_{jk}^{-}, d_{ik}'^{+}, d_{ik}'^{-} \geq 0 \qquad x_{ijk} \geq 0, Integer$$

٤. تحلیل داده‌ها و یافته‌های پژوهش

در این قسمت نتایج حاصل از مدل ریاضی پیشنهادی با وضعیت واقعی مورد مقایسه قرار گرفته تا کارایی و اعتبار مدل برای خودروهای مختلف مورد بررسی قرار گیرد. برای اعتبارسنجی مدل‌های ریاضی چندین راه حل وجود دارد که از مهم‌ترین آنها می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- استفاده از مدل‌های ریاضی پایه معتبر که اعتبار این‌گونه مدل‌ها با توجه به شخص و منبع ارائه‌دهنده آن سنجیده می‌شود.
- استفاده از نظر خبرگان و اهل فن در مورد مدل ارائه شده.
- مقایسه نتایج حاصل از حل مدل با وضعیت موجود یا واقعی محل اجرا.

برای اعتبارسنجی مدل، مقایسه نتایج حاصل از حل مدل با وضعیت واقعی ایران خودرو در شش ماهه دوم سال ۱۳۸۷ برای هر خودرو، مورد نظر قرار گرفته است. به همین منظور به‌دلیل جلوگیری از اطاله کلام، از ۶ خودروی در نظر گرفته شده تنها جدول مقایسه برنامه هفتگی مدل انعطاف‌پذیری با وضعیت واقعی برای خودروی پژو ۴۰۵ ارائه شده است و نتایج سایر خودروها در جدول دیگری به‌صورت خلاصه آمده است.

جدول ۱. مقایسه برنامه هفتگی مدل انعطاف‌پذیری با وضعیت واقعی برای خودروی پژو ۴۰۵

هفته	تولید واقعی	جواب مدل	فروش	موجودی/کمبود واقعی	موجودی/کمبود مدل
۱	۱۵۱۹	۱۲۷۰	۱۲۷۰	۲۴۹	۰
۲	۲۵۰۸	۲۱۸۵	۲۱۸۵	۳۲۳	۰
۳	۲۶۴۰	۲۰۹۳	۲۰۹۲	۵۴۸	۱
۴	۲۱۵۲	۱۸۶۵	۱۸۶۶	۲۸۶	−۱
۵	۲۴۷۶	۲۴۳۸	۲۴۳۸	۳۸	۰
۶	۲۲۷۵	۲۸۷۰	۲۸۷۷	−۶۰۲	−۷
۷	۲۶۴۱	۲۹۱۸	۲۹۱۸	−۲۷۷	۰
۸	۲۴۹۳	۳۰۱۲	۳۰۱۱	−۵۱۸	۱
۹	۲۹۱۰	۲۳۴۵	۲۳۴۶	۵۶۴	−۱
۱۰	۳۰۰۵	۲۸۲۹	۲۸۲۹	۱۷۶	۰
۱۱	۳۱۹۹	۳۳۸۵	۳۳۸۵	−۱۸۶	۰
۱۲	۳۱۳۸	۳۵۲۶	۳۵۲۶	−۳۸۸	۰
۱۳	۲۷۴۲	۱۹۵۲	۱۹۵۰	۷۹۲	۲
۱۴	۳۳۷۶	۲۳۱۱	۲۳۱۳	۱۰۶۳	−۲
۱۵	۳۲۲۵	۲۶۳۸	۲۶۳۸	۵۸۷	۰
۱۶	۲۵۶۸	۱۹۳۵	۱۹۳۵	۶۳۳	۰
۱۷	۳۶۸۹	۳۳۹۳	۳۳۹۳	۲۹۶	۰
۱۸	۳۳۹۰	۲۰۳۷	۲۰۳۷	۱۳۵۳	۰
۱۹	۳۸۴۵	۲۵۶۰	۲۵۶۰	۱۲۸۵	۰
۲۰	۴۱۲۵	۳۵۰۸	۳۵۰۸	۶۱۷	۰
۲۱	۳۴۴۶	۳۲۷۹	۳۲۷۹	۱۶۷	۰
۲۲	۳۸۵۹	۳۴۴۵	۳۴۴۵	۴۱۴	۰
۲۳	۳۵۲۳	۳۶۷۸	۳۶۷۸	−۱۵۵	۰
۲۴	۳۵۲۴	۴۷۱۳	۴۷۱۳	−۱۱۸۹	۰
۲۵	۳۷۳۵	۴۷۵۸	۴۷۵۸	−۱۰۲۳	۰
۲۶	۳۴۱۶	۳۷۰۹	۳۸۷۲	−۴۵۶	−۱۶۳
	تعداد هفته‌های کمبود خودرو			۹	۵

جدول ۲. مقایسه وضعیت واقعی با نتایج حل مدل

	وضعیت واقعی			نتایج ناشی از حل مدل		
تعداد هفته	**کمبود**	**تولید بیش**	**موجودی**	**کمبود**	**تولید بیش**	**موجودی**
خودرو	**خودرو**	**از تقاضا**	**صفر**	**خودرو**	**از تقاضا**	**صفر**
پژو ٤٠٥	۹	۱۷	۰	۵	۳	۱۸
باردو (وانت)	۱۰	۱۶	۰	۵	۶	۱۵
رواَ	۱۵	۱۱	۰	۶	۲	۱۸
پژو پارس	۱۱	۱۵	۰	۱	۰	۲۵
سمند	۱۱	۱۵	۰	۶	۴	۱۶
پژو ٢٠٦	۱۲	۱۴	۰	۴	۴	۱۸
مجموع	۶۸	۸۸	۰	۲۷	۱۹	۱۱۰

با توجه به جواب‌های حاصل از مدل و مقایسه آن با وضعیت شرکت ایران خودرو در شش ماهه دوم سال ۱۳۸۷، کارایی مدل تحقیق در بهبود تصمیم‌گیری‌ها و برآورده کردن اهداف ثابت شد. در مجموع استفاده از مدل ریاضی آرمانی انعطاف‌پذیری نتایج زیر را می‌تواند در پی داشته باشد:

۱. استفاده از مدل آرمانی مزبور این اجازه را به شرکت می‌دهد تا به جای دنبال کردن هدفی خاص مانند کاهش هزینه یا افزایش ظرفیت تولید، چندین هدف مختلف را با یکدیگر در نظر بگیرد. بدیهی است مدل فوق می‌تواند با توجه به اوزان اهمیت اهداف و سایر محدودیت‌ها تا آنجا که ممکن است اهداف موردنظر را برآورده سازد.

۲. با این توجه که مدل ما بر مبنای تولید براساس تقاضای مشتری طراحی شده است؛ موجودی انبار در هفته‌های متوالی به صفر یا نزدیک به صفر می‌رسد و خواب سرمایه کاهش می‌یابد. به‌گونه‌ای که از ۱۵۶ هفته موجود برای ۶ محصول مختلف، تعداد هفته‌هایی که موجودی انبار به صفر رسیده است به ۱۱۰ هفته و تعداد هفته‌هایی که شرکت نتوانسته در همان هفته به تقاضای مشتریان پاسخ دهد از ۶۸ هفته به ۲۷ هفته رسیده است.

۳. نداشتن موجودی مازاد از طرف دیگر باعث می‌شود که کیفیت خودروهای ساخته شده در اثر مرور زمان در انبارها کاهش پیدا نکند و یا دچار استهلاک نشوند. با این کار رضایت مشتریان نیز که در سیستم‌های تولید نوین نقش اساسی را در برنامه‌ریزی شرکت‌ها ایفا می‌کنند بیش از پیش برآورده می‌شود.

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

توانایی در تغییر و انجام تولیدات متنوع، سود قابل توجهی را برای تولیدکنندگان به‌همراه خواهد داشت. شرکت‌هایی که تکنولوژی تولید انعطاف‌پذیر را به تکنولوژی سنتی ترجیح می‌دهند، بهتر و سریع‌تر در برابر تغییرات بازار واکنش نشان می‌دهند. در جلب رضایت مشتریان موفق‌تر هستند و بدین‌ترتیب از درصد سود بالاتری برخوردار خواهند شد.

با توجه به اینکه کشور ما در آستانه ورود به سازمان تجارت جهانی می‌باشد و هدف آن ایفای نقش اول اقتصادی منطقه خاورمیانه در سال ۱۴۰۴ می‌باشد، تنها راه برای بقای صنایع تولیدی و خدماتی از جمله صنایع خودروسازی چابکی سازمانی و تولید انعطاف‌پذیر خواهد بود. همان‌گونه که توضیح داده شد تعریف واحد و مشخصی که مورد پذیرش همگان واقع شود در این زمینه وجود ندارد و در مورد مدل‌های ریاضی با موضوع انعطاف‌پذیری نیز بسته به محیطی که مدل در آن مورد آزمون و سنجش قرار می‌گیرد، ابعاد خاصی مدنظر قرار می‌گیرد.

در این مقاله، مدل ارائه شده به دلیل رویکرد کل‌نگر خود، می‌تواند با اندکی تغییرات در اهداف و محدودیت‌ها برای سایر شرکت‌ها و سازمان‌های تولیدی مورد استفاده قرار گیرد و با توجه به نتایج حاصل شده که کارایی و اعتبار آن در مقایسه با شرایط واقعی اثبات شد، این امکان را برای صاحبان صنایع ایجاد خواهد نمود که بتوانند تصمیمات یکپارچه و بهینه‌ای را در شرکت خود اتخاذ کرده و در عین حال اهدافی چندگانه را توأمان پیگیری نموده و در نتیجه افزایش توان رقابتی خود را فراهم آورند. بدیهی است که ارائه این‌گونه مدل‌ها زمانی مفید واقع می‌شوند که صنعت و مدیران، پذیرای آن باشند.

منابع

۱. جعفرنژاد، احمد؛ و شهائی، بهنام (۱۳۸۶). *مقدمه‌ای بر چابکی سازمانی و تولید چابک*، تهران: مؤسسه کتاب مهربان نشر.

۲. خوش سیما، غلامرضا؛ جعفرنژاد، احمد؛ و محقر، علی (۱۳۸۱). سیستم تولیدی چابک: چارچوب و تواناسازنده‌ها، *دومین کنفرانس ملی مهندسی صنایع*، دانشگاه یزد.

۳. شهائی، بهنام (۱۳۸۷). پارادایم چابکی: تعریف‌ها، ویژگی‌ها و مضامین، *مجله تدبیر*، شماره ۱۹۴، تیر ماه، سازمان مدیریت صنعتی، ۱۴-۱۸.

۴. کزازی، ابوالفضل؛ و سرکیسیان، آلفرد (۱۳۸۱). انعطاف‌پذیری تولید: مدلی مفهومی، *مدیریت و توسعه*، شماره ۱۲.

5. Boyer, K.K., & Leong, G.K. (1996). Manufacturing flexibility at the plant level, *Omega*, 24(5), 495-510.
6. Chandra, C., Everson, M. & Grabis, J. (2005). Evaluation of enterprise-level benefits of manufacturing flexibility, *Omega*, 33(1), 17-31.
7. Cox, J.T. (1989). Towards the measurement of manufacturing flexibility, *Production and Inventory Management Journal*, First Quarter, 68-72.
8. De Toni, A., & Tonchia, S. (2005). Definitions and linkages between operational and strategic flexibilities, *Omega*, 33, 525-540.
9. Dreyer, B., & Gronhaug, K. (2004). Uncertainty, flexibility, and sustained competitive advantage, *Journal of Business Research*, 57, 484-494.
10. Gong, Z., & Hu, S. (2008). An economic evaluation model of product mix flexibility, *Omega*, 36, pp. 852-864.
11. Hallgren, M., & Olhager J. (2009). Flexibility configurations: Empirical analysis of volume and product mix flexibility, *Omega*, 37, 746-756.
12. Kidd, P.T. (1994). A 21st century paradigm in agile manufacturing: forging new frontiers, *Addison-Wesley*, Wokingham.
13. Koste, L.L., & Malhotra, M.K. (2000). Tradeoffs among the elements of flexibility: a Comparison from the Automotive Industry, *Omega*, 28(6), 693-710.
14. Mascarenhas, B. (1981). Planning for flexibility. Long Range Plan, 14, 78-82.
15. Maskell, B. (2001). The age of agile manufacturing, *Supply Chain Management: An International Journal*, 6(1), 5-11.
16. Morlok, E. K. & Chang, D. J. (2004). Measuring capacity flexibility of a transportation system, *Transportation Research Part A*, 38, 405-420.
17. Nagarur, N. (1992). Some performance measures of flexible manufacturing systems, *International Journal of Production Research*, 30(4), 799-809.
18. Narasimhan, R., Talluri, S., & Das, A. (2004). Exploring flexibility and execution competencies of manufacturing firms, *Journal of Operations Management*, 22, 91-106.
19. Sharifi, H., & Zhang, Z. (1999). A methodology for achieving agility in manufacturing organization, *International Journal of Production Economics*, 62, 7-22.
20. Sharp, J.M., Irani, Z., & Desai, S. (1999). Working towards agile manufacturing in the UK industry, *International Journal of Production Economics*, 62, 155-169.

21. Swafford, P.M., Ghosh, S., & Murthy, N.N. (2006). A framework for assessing value chain agility, *International Journal of Operation & Production Management*, 26(2), 118-140.
22. Vernadat, F. (1999). Research agenda for agile manufacturing, LGIPM, ENIM/University, *International Journal of Agile Management Systems*, 1/1, 37-40.
23. Yusuf, M.A. (1994). Editorial, *International Journal of Operations and Production Management*, 14(11), 4-6.