«مدیریت بهره وری»
سال دهم- شماره چهل – بهار 1396
ص ص: 106 - 73
تاریخ دریافت: 95/06/13
تاریخ پذیرش: 95/12/01

تأثیر برنامه ریزی فروش و عملیات بر عملکرد کلی زنجیرهٔ تأمین: مطالعه موردی در صنعت فرمینگ

دکتر مهرداد مدهوشی[1]
دکتر عبدالحمیدصفایی قادیکلایی[2]
یاسر نعمتی*[3]

چکیده

برنامه‌ریزی فروش و عملیات[4] امروزه به یک فرایند شناخته شده و پرکاربرد در زنجیرهٔ تأمین تبدیل شده است. با این حال تا به امروز، ارزیابی و محاسبه منافع بکارگیری این فرایند مورد غفلت قرارگرفته است. این مقاله، عملکرد فرایند برنامه‌ریزی فروش و عملیات را از طریق مدل-سازی ریاضی مورد ارزیابی قرار می‌دهد. در این مطالعه، سه مدل برنامه‌ریزی مختلط اعداد صحیح[5] ارائه شدند که به ترتیب نشان می‌دهند: "برنامه‌ریزی فروش و عملیات کاملاً یکپارچه[6]" که در آن برنامه‌ریزی فروش، تولید، توزیع و تأمین بصورت متمرکز و یکپارچه انجام می‌پذیرد؛ "برنامه‌ریزی فروش و عملیات نسبتاً یکپارچه[7]" که درآن برنامه‌ریزی فروش و تولید بصورت متمرکز انجام گرفته، درحالی که برنامه‌ریزی توزیع و تأمین بصورت مجزا در هر سایت انجام می‌گیرد؛ یک مدل "برنامه‌ریزی گسسته[8]" که در آن برنامه‌ریزی فروش به صورت متمرکز انجام شده، در حالی که برنامه‌ریزی تولید، توزیع و تأمین به صورت مجزا و محلی انجام می‌گیرد. هرسه مدل مذکور برای یک سیستم تولیدی چندسایتی توسعه داده شده‌اند که دارای تأمین‌کنندگان متعدد بوده، محصولات متفاوتی را تولید می‌کنند و به مشتریان بسیاری سرویس می‌دهند. در انتها، عملکرد برنامه‌ریزی فروش و عملیات کاملاً یکپارچه نسبت به دو مدل دیگر، از طریق مقایسه تأثیرات مالی این رویکردها تحت تقاضای ماهانه و قیمت بازار واقعی دریک شرکت تولید صنایع فرمینگ[9] در ایران مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج، بیانگر برتری مدل برنامه‌ریزی کاملا یکپارچه نسبت به دو مدل دیگر است.

واژه های کلیدی:برنامه ریزی فروش و عملیات؛ برنامه ریزی مختلط اعداد صحیح؛ تولید برای انبارش؛ صنعت فرمینگ؛ مطالعه موردی

---

1. استاد،دپارتمان مدیریت صنعتی،دانشکده علوم اقتصادی ومدیریت،دانشگاه مازندران،بابلسر،ایران
2. دانشیار،دپارتمان مدیریت صنعتی،دانشکده علوم اقتصادی و مدیریت،دانشگاه مازندران،بابلسر،ایران
3. دانشجوی دکتری مدیریت تولید و عملیات، دپارتمان مدیریت صنعتی، دانشکده علوم اقتصادی و مدیریت،دانشگاه مازندران،بابلسر،ایران (نویسنده مسؤول)، yaser.nemati@ut.ac.ir

4.Sales and Operations Planning (S&OP)
5.Mixed Integer Programming (MIP)
6.Fully Integrated S&OP (FI-S&OP)
7.Partially Integrated S&OP (PI-S&OP)
8.Decoupled Planning (DP)
9.Forming Industry

مقدمه

در پی مواجهه با بازارهای رقابتی در محیط‌های اقتصادی به شدت پویا، شرکت‌های بیشتری توجه خود را به مدیریتزنجیرهٔ تأمین[1] معطوف ساخته‌اند. مدیریت زنجیرهٔ تأمین به مفهوم گردآوری و یکپارچه‌سازی واحدهای سنتی ناهماهنگ از سراسرکسب و کار می‌باشد تا فرایندها و فعالیت‌های کسب و کار به شیوه مؤثری از تأمین‌کننده تا مصرف-کننده یکپارچه گردد (علوی دوست و نیری[2]، 2014). همگام با مدیریت زنجیرهٔ تأمین و برنامه‌ریزی زنجیرهٔ تأمین[3]، برنامه‌ریزی فروش و عملیات نیز در حال فراگیری روزافزون است.

برنامه‌ریزی فروش و عملیات، یک فرایند برنامه‌ریزی تاکتیکی ماهانه است. این فرایند توسط مدیریت ارشد سازمان رهبری شده و وظیفه آن، بالانس تقاضا با توان تأمین اعم از تولید، توزیع، تدارکات و تأمین مالی با هدف حداکثرسازی سطح سرویس به مشتری[4] با هزینه بهینه است تا مدیریت سازمان از همسویی برنامه‌ها و عملکرد واحدهای وظیفه‌ای با برنامه راهبردی سازمان اطمینان حاصل نماید. در واقع برنامه‌ریزی فروش و عملیات، یک فرایند برنامه‌ریزی یکپارچه است که تمامی برنامه‌ها را از تمام واحدهای وظیفه‌ای جمع‌آوری و ارزیابی کرده و هرگونه تعارض در برنامه واحدها را به بحث می‌گذارد و در نهایت خروجی را در قالب مجموعه‌ای از برنامه‌های متحد جهت هماهنگی، توازن و کنترل عملکرد، ارائه می‌دهد (فلیشمن و سایرین[5]، 2015).

به طور سنتی، برنامه‌ریزی فروش، تولید، توزیع و تدارکات به صورت گسسته و براساس منطق‌ها و اهداف متفاوت و گاهی متضاد با یکدیگر انجام می‌گیرد. مدیران فروش، تمایل دارند که بر حجم فروش و میزان سود تمرکز کنند، در حالیکه هدف و وظیفهٔ اصلی واحدهای تولید، توزیع و تدارکات، صرفه جویی در هزینه است. در شرایطی که محصولات مختلف، با اثربخشی هزینه‌ای متفاوت تولید شده و به مراکز فروش در مناطق مختلف با قیمت متفاوت به فروش می‌رسند، برنامه‌ریزی گسسته معمولاً به

1.Supply Chain Management (SCM)
2.Alavidoost and Nayeri (2014)
3.Supply Chain Planning (SCP)
4.Customer Service Level (CSL)
5.Fleischmann, Meyr, and Wagner (2015)

تصمیمات و نتایج غیربهینه یا بهینگی محلی[1] منجر می‌شود، چرا که بیشترین سود یا کمترین هزینه در یک منطقه، حصول به بیشترین سود اقتصادی کل را تضمین نمی‌کند.

از طرفی، به دلیل وضعیت خاص ایران و همسایگان آن، صنایع پتروشیمی بخش مهمی از بازار صنایع وابسته به نفت منطقه را در اختیار خود گرفته است. شرکت مورد مطالعه، یکی از بزرگترین تولیدکنندگان فرآورده‌های فرمینگ در ایران می‌باشد.

تاکنون، تحقیقات در حوزهٔ برنامه‌ریزی فروش و عملیات، عموماً بر تعاریف، فرایندها، فعالیت‌ها، رویه‌های اجرا و مطالعات موردی کاربردی متمرکز شده بودند. تحقیقات بسیار اندکی مسأله برنامه‌ریزی فروش و عملیات را در قالب رویکرد مدل‌سازی ریاضی مورد بررسی قرار داده‌اند. با در نظر گرفتن مشکلاتی که شرکت‌های صنایع فرمینگ و تزریق در فرایند سنتی برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری گسسته با آنها مواجه هستند و همچنین با لحاظ نمودن فرصت‌های بسیاری که برنامه‌ریزی یکپارچه زنجیرهٔ تأمین برای این شرکت‌ها ایجاد می‌کند، هدف پژوهش پیش رو، پرکردن این شکاف از طریق ارائه یک رویکرد مدل‌سازی است که نتایج کمی حاصل از فرایند برنامه‌ریزی فروش و عملیات کاملاً یکپارچه را نسبت به رویکردهای غیریکپارچه برنامه‌ریزی زنجیرهٔ تأمین ارزیابی نماید.

ادامه پژوهش حاضر به مرور تئوری اختصاص دارد، جاییکه مبانی برنامه‌ریزی فروش و عملیات را بیان شده و تحقیقات فعلی بررسی خواهد شد. سپس در بخش [2]، مطالعه موردی پژوهش حاضر از یک شبکه تولیدی چندسایتی ارائه می گردد. در همین بخش، سه مدل ریاضی توسعه داده می‌شوند که به ترتیب گویای شرایط برنامه ریزی فروش و عملیات چندسایتی کاملاً یکپارچه، برنامه ریزی فروش و عملیات چندسایتی نسبتاً یکپارچه و مدل گسسته خواهد بود. پس از آن عملکرد مدل‌های مذکور در یک محیط صنعتی واقعی در صنعت فرمینگ در قالب شاخص های ارزیابی عملکرد[2] مالی زنجیرهٔ تأمین با یکدیگر مقایسه خواهد شد. در بخش 4، نتایج و یافته های تحقیق به همراه تحلیل حساسیّت مدل‌ها ارائه می‌شود و و در نهایت، نتیجه گیری به همراه فرصت برای تحقیقات آتی، در بخش 5 ارائه خواهد شد

1.Local Optimization
2.Key Performance Indicator (KPI)

فروش و عملیات، دو هستهٔ اصلی کسب و کارهای امروزی می‌باشند که تصمیمات اتخاذ شده در این حوزه‌ها، عملکرد مالی، اثربخشی عملیاتی و سطح سرویس سازمان را به شدّت تحت تأثیر قرار می‌دهد. به طور سنتی تصمیمات این دو حوزه به صورت مجزا و با هماهنگی ناچیزی با یکدیگر، اخذ می‌شود. تصمیمات فروش، عموماً با تأکید بر حجم فروش محصولات و بدون درنظر گرفتن سود کل سازمان، اتخاذ می‌شوند. از دیگر سو، تصمیمات تولید بر حداقل‌سازی هزینه‌های تولید، حداکثرسازی کارایی مواد، و حداکثر نمودن بهره‌وری تجهیزات و نیروی انسانی تمرکز دارند. اصولاً این دو وظیفه، مسؤولیت‌ها و شاخص‌های اندازه‌گیری متفاوتی دارند که تمایل به بهبودهای عملکرد محلی داشته و تأکید ناچیزی بر سودآوری کل سازمان دارند (والرز و کاگز[1]، 1994).

اصطلاح برنامه‌ریزی فروش و عملیات در اصل از مقالات مربوط به "برنامه‌ریزی نیازمندی‌های تولید[2]" نشأت گرفته است. جایی که برخی نویسندگان از آن به عنوان مسؤولیت جایگزین برای "برنامه‌ریزی یکپارچه تولید[3]" استفاده کرده‌اند. از سال 1980، مفهوم عبارت برنامه‌ریزی فروش و عملیات گسترش یافت و برنامه‌ریزی فروش نیز در فرایند برنامه‌ریزی فروش و عملیات گنجانده شد (اولهاگر و سایرین[4]، 2001؛ والاس[5]، 2004). این برنامه‌ریزی فروش و عملیات نسبتاً یکپارچه، هنوز هم توسط محققان و مهندسان بسیاری به کاربرده می‌شود. ارتباط بین واحدهای وظیفه‌ای فروش و عملیات و اهمیت هر یک از آنها توسط والرز و کاگز (1994) اشاره شده است. آنها پیشنهاد می‌کنند که ارتباط بین وظایف فروش و عملیات، می‌تواند مسؤولیت شاخص‌های رقابتی جهت بهبود عملکرد کلی سازمان مورد استفاده قرار گیرد. هدف ترکیب برنامه‌های فروش و عملیات، برقراری توازن میان تقاضا با ظرفیت‌های تولید است. جهت دستیابی به این هدف، دو گونه تصمیمات برنامه‌ریزی می توان متصور شد: از یک سو، می توان تقاضا را جهت انطباق با محدودیت‌های تولید تغییر داد (این روش به رویکرد تهاجمی[6] معروف است) و از سوی دیگر می‌توان ظرفیت‌های تأمین را جهت انطباق با برنامه‌های فروش،

1.Wahlers and Cox III (1994)
2.Manufacturing Requirement Planning (MRP II)
3.Aggregated Production Planning (APP)
4.Olhager, Rudberg, and Wikner (2001)
5.Wallace (2004)
6.Aggressive Approach

تغییر داد (که به رویکرد واکنشی[1] معروف است). اولهاگر و سایرین (2001) در خصوص برنامه‌ریزی فروش و عملیات، واکنشی بحث می‌کنند؛ جاییکه توانمندی‌های تأمین جهت برآورده کردن تقاضا، تغییر می‌کند. در مقابل، برخی تحقیقات به برنامه‌ریزی فروش و عملیات مسؤولیت یک فرایند برنامه‌ریزی تاکتیکی یا میان‌مدت نگریسته‌اندکه برنامه‌های استراتژیک و بلندمدت کسب و کار را با برنامه‌های کوتاه‌مدت عملیاتی به صورت عمودی و از سوی دیگر، تقاضا و توان تأمین را به صورت افقی مربوط می‌سازد (والاس، 2004).

مطالعات اخیر، روند استفاده از برنامه‌ریزی فروش و عملیات را جهت هماهنگی فعالیت‌های ارزش آفرین زنجیرهٔ تأمین نشان می‌دهد. این تحقیقات، به برنامه‌ریزی فروش و عملیات مسؤولیت یک مکانیزم هماهنگ‌سازی و همزمان‌سازی نگریسته اند که از طریق همگام‌سازی تصمیمات و فعالیت‌های بازاریابی، تولید، خرید، لجستیک و مالی، پیش‌بینی تقاضا را با توانمندی‌های زنجیرهٔ تأمین تطبیق می‌دهد (کروکستون و سایرین، 22002). سسره[3] (2006) این ایده را گسترش داده و پیشنهاد می‌دهد که برنامه‌ریزی فروش و عملیات بایستی در راستای استراتژی‌های کسب و کار، تقاضای مشتریان را با ظرفیت تأمین به طریقی سودآور، منطبقسازد.تا کنون مدل‌های توسعه یافته برنامه‌ریزی فروش و عملیات، اغلب مدل‌های مبتنی بر APP بوده که تعیین کننده مقدار تولید، موجودی، سفارش های معوّق، و سطح مورد نیاز نیروی کار بر مبنای پیش بینی با تابع هدف حداقل‌سازی هزینه‌های تولید، می‌باشند (اولهاگر و سایرین، 2001).در یک مفهوم وسیع‌تر، زنجیرهٔ تأمین شامل چهار مرحله بنیادین می‌باشد: تأمین، تولید، توزیع و فروش (فلیشمن و سایرین، 2015). به طور سنتی، این مراحل به صورت مستقل و از طریق "موجودی‌ها" مدیریت می‌شوند.

اگرچه برنامه‌ریزی فروش و عملیات مفاهیمی نسبتاً جدید هستند، ایده برنامه‌ریزی هماهنگ را می توان در اوائل دهه 1960 و در مطالعات کلارک[4] (1960)جستجو کرد. ویلیامز[5] (1983)زمانبندی هماهنگ تولید و توزیع را با استفاده از رویکرد "برنامه ریزی

1.Reactive Approach
2.Croxton, Lambert, García-Dastugue, and Rogers (2002)
3.Cecere (2006)
4.Clark (1960)
5.Williams (1983)

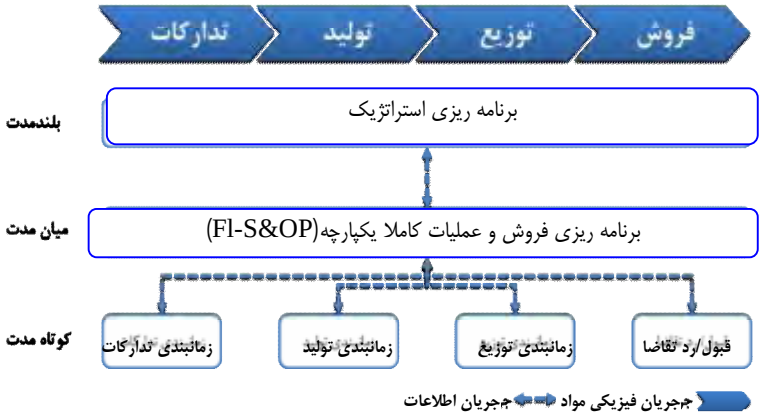
پویا[1]" مورد مطالعه قرار داد؛ جاییکه به طور همزمان اندازه بچ‌های تولید و توزیع را مشخص می‌کرد، به طوریکه مجموع هزینه‌های مونتاژ و حمل حداقل گردد. چاندرا و فیشر[2] (1994) ارزش افزوده حاصل از هماهنگی زمانبندی تولید با مسیریابی حرکت وسائل نقلیه را در برای کاهش هزینه‌های راه‌اندازی، نگهداری موجودی و هزینه‌های حمل اندازه‌گیری کردند. یوسف و محمود[3] (1996) یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی را پیشنهاد دادند که صرفه جویی‌های وابسته به مقیاس تولید را جهت مطالعه موازنه میان هزینه‌های تولید و حمل و تأثیر آنها بر تصمیمات تمرکززایی یا تمرکززدایی، مورد بررسی قرار می‌داد. فومرو و ورسلیس[4] (1999) یک مدل برنامه‌ریزی مختلط اعداد صحیح را برای برنامه‌ریزی یکپارچه تولید و توزیع پیشنهاد دادند تا مباحث مدیریت ظرفیت، تخصیص موجودی و مسیریابی ماشین‌آلات را در مسأله اندازه بچ وابسته به ظرفیت و مسیرهای حمل چند دوره‌ای، بهینه نماید. پارک[5] (2005)با استفاده از یک مدل برنامه-ریزی مختلط اعداد صحیح، اثربخشی برنامه‌ریزی یکپارچه تولید-توزیع را در یک محیط چند کارخانه‌ای با چند خرده فروشی و لجستیک چند دوره‌ای، تحت محدودیت‌های ظرفیت، مورد بررسی قرار داد تا سود خالص زنجیرهٔ تأمین را حداکثر نماید. کوهن و لی[6] (1988) یک چارچوب مدلسازی زنجیرهٔ تأمین و یک رویه تحلیلی ارائه کردند که تعیین کنندهٔ سیاست‌های کنترل مواد، تولید و توزیع با استفاده از یک رویکرد ابتکاری سلسله مراتبی بود.

کاربرد برنامه‌ریزی هماهنگ تولید-توزیع در یک محیط صنعتی در تحقیقات بسیاری به چاپ رسیده است. کلینگمن و سایرین[7] (1988) یک سیستم برنامه ریزی بهینه‌سازی تولید-توزیع را در یک شرکت تولیدکننده محصولات شیمیایی چند منظوره ارائه نمودند. حق و سایرین[8] (1991) یک مدل یکپارچه تولید-موجودی-توزیع را در یک سیستم تولیدی چند سطحی با استفاده از برنامه‌ریزی مختلط اعداد صحیح ارائه نموده و

1.Dynamic Programming
2.Chandra and Fisher (1994)
3.Youssef and Mahmoud (1996)
4.Fumero and Vercellis (1999)
5.Park (2005)
6.Cohen and Lee (1988)
7.Klingman, Mote, and Phillips (1988)
8.Haq, Vrat, and Kanda (1991)

آن را در یک محیط واقعی، در یک کارخانه تولید کود شیمیایی اوره اجرا کردند. مارتین و سایرین[1] (1993) یک مدل برنامه ریزی خطی در مقیاس بزرگ را برای عملیات تولید، توزیع و موجودی برای یک شرکت تولید شیشه تخت با چند کارخانه، چند محصول، چند مرکز فروش و در چند دوره ارائه کردند. وانگ و سایرین[2] (2012)یک مدل برنامه ریزی خطی را برای حل مسأله برنامه‌ریزی یکپارچه تأمین، تولید و توزیع در دوره برنامه‌ریزی منفرد برای یک شرکت تولید فولاد در کانادا در یک شبکه چندمرتبه‌ای لجستیک، تحت تقاضای تخمینی ارائه دادند. فلیپو[3] (2000)مسأله برنامه‌ریزی تولید-توزیع را در یک سیستم تولید کنسرو مورد بررسی قرار می‌دهد؛ مانس و نورتون[4] (2002)پژوهشی را در خصوص برنامه‌ریزی یکپارچه فروش، تولید و موجودی در صنعت الوار به انجام رساندند. آنها یک مدل برنامه‌ریزی خطی چنددوره‌ای را پیشنهاد داده و آن را در کارخانه الوارسازی با فرض ثابت بودن ظرفیت، قیمت، تقاضای بازار و توان تأمین مواد اولیه آزمایش کردند. ریزک و سایرین[5] (2006)مسأله برنامه‌ریزی پویای تولید-توزیع را در صنعت کاغذ بین یک کارخانه کاغذسازی و یک مرکز توزیع ارائه نمودند. به نحوی که هزینه حمل بایستی از طریق صرفه‌جویی‌های وابسته به مقیاس، حداقل شود. اوهیمو و سایرین[6] (2008) یک مدل برنامه‌ریزی یکپارچه برای یک مسأله چندسایتی و چند دوره‌ای تأمین، برش، خشک کن و حمل را در صنعت مبلمان ارائه کرد. فنگ و سایرین[7] (2013) مدل برنامه‌ریزی مختلط اعداد صحیح را با تابع هدف حداکثرسازی سود کل زنجیرهٔ تأمین جهت حل مسأله برنامه‌ریزی فروش و عملیات در صنعت ورق‌های فشرده الیاف چوبی با فرض تقاضای تخمینی در محیط تولید براساس سفارش[8] شبیه‌سازی کردند. نتایج تحقیق ایشان، برتری‌محسوس روش برنامه‌ریزی کاملاً یکپارچه فروش و عملیات را نسبت به رویکرد برنامه‌ریزی گسسته نشان می‌داد.

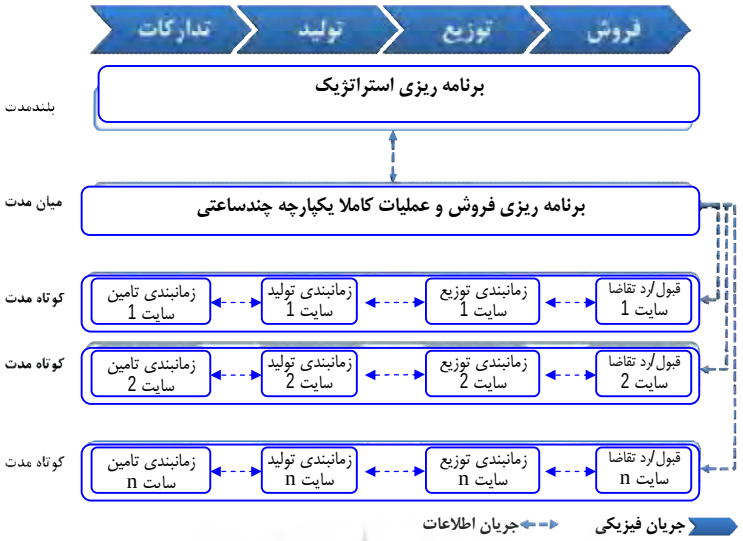
1.Martin, Dent, and Eckhart (1993)
2.Wang, Hsieh, and Hsu (2012)
3.Dhaenens-Flipo (2000)
4.Maness and Norton (2002)
5.Rizk, Martel, and D'Amours (2006)
6.Ouhimmou, D'Amours, Beauregard, Ait-Kadi, and Chauhan (2008)
7.Feng, Martel, D'Amours, and Beauregard (2013)
8. Make to Order (MTO)



شکل1. برنامه ریزی فروش و عملیات کاملاً یکپارچه

بر مبنای مطالعات مرور شده، در پژوهش حاضر قصد بر آن است تا یک رویکرد مدل‌سازی برای اندازه گیری میزان ارزش حاصل از اجرای برنامه‌ریزی فروش و عملیات پیشنهاد شود. با الهام گرفتن از ماتریس برنامه‌ریزی زنجیرهٔ تأمین فلیشمن و سایرین[1] (2015) و براساس تحلیل عناصر بنیادی برنامه‌ریزی فروش و عملیات، می توان فرایند برنامه‌ریزی فروش و عملیات کاملاً یکپارچه را به صورت شکل(1) نمایش داد. این چارچوب می‌تواند به یک سازمان چندسایتی تعمیم یابد که نشان‌دهندهٔ تلاش در راستای همکاری متمرکز برنامه‌ریزی فروش، تولید، توزیع و تأمین در یک سازمان و بهینه‌سازی عملکرد کلی سازمان است. تقاضای پاسخ داده نشده ناشی از محدودیت‌های ظرفیت هر یک از سایت‌ها را می توان از طریق ظرفیت خالی سایت دیگر پاسخ داد، البته تخصیص محصول با لحاظ هزینه‌های تولید و توزیع انجام می‌گیرد. از این رو، ارزش بیشتری در یک شرکت تولیدی چندسایتی با استفاده از برنامه فروش و عملیات کاملاً یکپارچه مورد انتظار می‌باشد. مدل برنامه‌ریزی فروش و عملیات کاملاً یکپارچه، برنامه‌های مشخصی برای هر سایت تولیدی پیشنهاد خواهد داد. براساس برنامه‌های تعیین شده، هر یک از سایت‌ها می تواند زمانبندی عملیات خود را به صورت محلی ایجاد نماید شکل(2).

1.Fleischmann et al. (2015)



شکل2. برنامه‌ریزی فروش و عملیات کاملا یکپارچه در یک سیستم چند سایتی

ابزار و روش

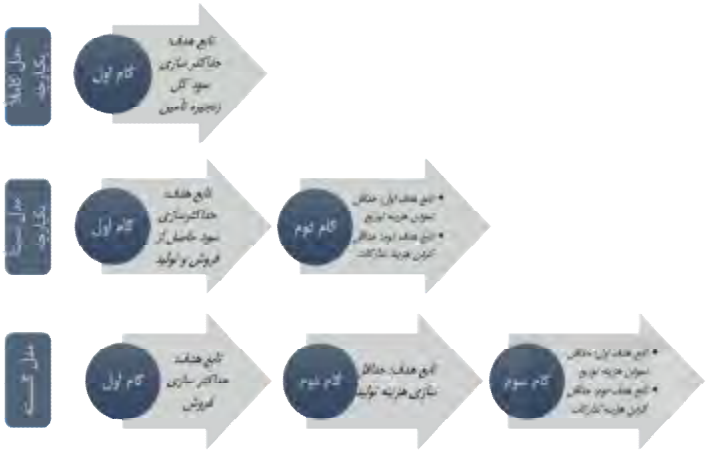
در فرموله‌سازی مدل، در این تحقیق از یک مطالعه موردی در صنعت فرمینگ استفاده می شود. شرکت موردنظر، سه کارخانه جایگزین در نقاط جغرافیایی متفاوت دارد. در این شرکت،تصمیمات تولید، توزیع و تأمین در هر کارخانه به صورت محلی اخذ می شود. شرکت، مشتریان متفاوتی را پوشش می دهد که شامل مشتریان قراردادی ارگان‌ها و سازمان‌ها و مشتریان غیرقراردادی، و بازارهای محلی در مناطق مختلف با قیمت‌های متفاوت می‌شود. قرارداد با یک مشتری قراردادی، براساس قیمت و تعداد مورد توافق در یک بازه برنامه‌ریزی مثل Tبسته می‌شود. اگرچه سازمان موظف است که تقاضای مورد توافق در قرارداد را پاسخ دهد، ولی این حق را دارد که هرگونه سفارش خارج از تعداد مورد توافق را که بیشتر از ظرفیت تأمین باشد، رد کند یا به تعویق اندازد. تقاضای مشتریان غیرقراردادی بر اساس ظرفیت موجود، ممکن است به طور کامل پاسخ داده شده یا اینکه اصلاً مورد قبول واقع نشود. تقاضای برآورده نشده می‌تواند در دورهٔ بعد، به عنوان تقاضای معوّق برآورده شود. همچنین زمانی که مازاد ظرفیت وجود داشته باشد، سفارش های لحظه‌ای مشتریان غیرقراردادی جذب ظرفیت اضافی می‌شود. هر دو

تقاضای قراردادی و غیرقراردادی رفتاری فصلی را از خود نشان می‌دهند. تقاضای فروش، به هر کارخانه ارسال می‌شود. ما فرض می کنیم که هر کارخانه، تنها خط تولید با تولید در آن تحت بچ انجام می گیرد. هر کارخانه ظرفیتی محدود دارد که گروه محصولات مختلفی را تحت سیستم بچ تولید می‌کند. هر گروه محصول، از مواد اولیه متفاوت با ترکیبی متفاوت و با نرخ تولید متفاوتی تولید می‌شود. تغییر گروه محصولات از یکی به دیگری، نیازمند یک زمان راه‌اندازی[1] است که مستقل از مقدار تولید می‌باشد. زمان راه‌اندازی و به تبع آن هزینه راه‌اندازی بسته به نوع خط تولید، متفاوت می باشد. عملیات بر مبنای قاعده"تولید بر مبنای انبارش[2]" بوده و ظرفیت انبارش در هر کارخانه براساس واقعیت، محدود درنظر گرفته شده است. حمل محصولات توسط دو شرکت لجستیک طرف سوم[3] از طریق حمل زمینی به وسیله تریلی با اندازه کانتینرهای استاندارد انجام می‌گیرد. محصولات نهایی به صورت مستقیم یا از طریق مراکز توزیع[4] به دست مشتریان می رسد. شرکت دارای مراکز توزیع متعددی است که ظرفیت محدودی دارند.

سازمان مذکور مواد خام تولید را از طریق دو تأمین کننده عمده که خود با تعدادی تأمین کننده قراردادی و غیرقراردادی دیگر ارتباط دارند، تهیه می‌کند.کلیه خریدها به صورت قراردادی بوده و لیدتایم تأمین اقلام، بسته به منبع تأمین که داخلی یا خارجی باشد، ظرفیت تأمین کننده، شرایط حمل و... از سه روز تا شش ماه متغیر می‌باشد. در مورد تأمین‌کنندگان قراردادی، بایستی یک حداقل مقدار خرید تحت قیمت توافق شده در طول دوره برنامه‌ریزیTرعایت شود. اکثر تأمین‌کنندگان مشمول شرایطی همچون لیدتایم‌های طولانی، تقاضای فصلی و نوسانات تأمین می‌شوند.

در شکل به طور کلی، ورودی داده‌ها و خروجی تصمیمات در نمایش داده است.

1.Set-up time
2 .Make to Stock (MTS)
3.Third Party Logistic (3PL)
4.Distribution Center (DC)



شکل3. مقایسه نحوه کارکرد مدلهای ریاضی سه گانه

الف) مدل برنامه‌ریزی فروش و عملیات کاملاً یکپارچه چندسایتی

طبق شرایط ذکر شده و شکل(2) حال می‌توان مدل برنامه‌ریزی فروش و عملیات کاملاً یکپارچه چندسایتی را از طریق برنامه‌ریزی مختلط اعداد صحیح با یکپارچه‌سازی تصمیمات فروش، تولید، توزیع و تأمین ارائه داد، به گونه‌ای که بیانگر فرایند برنامه‌ریزی تجمیعی در سطح سازمان باشد. هدف، حداکثر سازی سود خالص کل سازمان از طریق موازنه درآمد فروش و هزینه‌های زنجیرهٔ تأمین سازمان با محدودیت ظرفیت تجمعی زنجیرهٔ تأمین در طول یک افق برنامه ریزی T می‌باشد. اندیس‌ها، مجموعه‌ها، پارامترها، و متغیرهای تصمیم به شرح زیر می‌باشند:

اندیس ها و مجموعه ها	
مجموعه کارخانه‌ها	$f \in F$
مجموعه گروه محصولات	$i \in I$
مجموعه دوره‌های زمانی	$t \in T$
مجموعه مشتریان	$c \in C$
مجموعه مشتریان قراردادی	$c \in CC$
مجموعه مشتریان غیرقراردادی $(C = CC \cup NC)$	$c \in NC$
مجموعه تأمین کنندگان مواد اولیه	$s \in S$
مجموعه تأمین کنندگان قراردادی مواد اولیه	$s \in CS$
مجموعه تأمین کنندگان غیر قراردادی مواداولیه $(S = CS \cup NS)$	$s \in NS$

مجموعه مواد اولیه	$m \in M$
مجموعه گروه مواد اولیه $(m \in J)$	$j \in J$
مجموعه شرکت‌های حمل محصول	$o \in O$
مجموعه مراکز توزیع	$d \in D$
مجموعه انواع وسائل حمل	$v \in V$
مجموعه مسیرها از کارخانه f به مرکز توزیع d	$r \in R_{fd}$
مجموعه مسیرها از کارخانهf تا مشتریc	$r \in R_{fc}$
مجموعه مسیرها از مرکز توزیع d به مشتری c	$r \in R_{dc}$
مجموعه تمامی مسیرها $R = R_{fd} \cup R_{fc} \cup R_{dc}$	$r \in R$
پارامترها	
پارامترهای فروش	
قیمت فروش گروه محصول i به مشتری c $(c \in C)$در دوره t	sP_{ict}
تقاضای مشتری c $(c \in C)$ برای گروه محصول i در دوره t	d_{ict}
حداقل تعداد تقاضای ممکن برای مشتری c $(c \in C)$ برای گروه محصول i در دوره t	$dmin_{ict}$
پارامترهای تولید	
ظرفیت تولید یک واحد از گروه محصول i در کارخانه f در دوره t	$pCap_{ift}$
ظرفیت تخمینی تولید یک واحد از گروه محصول i در کارخانه f در دوره t	$epCap_{ift}$
هزینه تخمینی تولید یک محصول از گروه محصول i در کارخانه f در دوره t	epC_{ift}
ظرفیتی که از کارخانه f برای تولید یک بچ از گروه محصول i در دوره t اشغال می شود	α_{ift}
اندازه بچ تولید گروه محصول i در کارخانه f در دوره t	β_{ift}
هزینه تولید محصول برای تولید گروه محصول i در کارخانه f در دوره t	pC_{ift}
هزینهراه‌اندازیموردانتظاردرکارخانهf در دوره t	sC_{ift}^{1}
زمان راه‌اندازی مورد انتظار در کارخانه f در دوره t	st_{ift}
هزینه نگهداری موجودی برای یک واحد محصول از گروه محصول i در کارخانه f در دوره t	hC_{ift}^{1}
هزینه سفارش معوّق یک واحد محصول از گروه محصول i در کارخانه f در دوره t	boC_{ift}
تعداد سفارش معوّق اولیه یک واحد محصول از گروه محصول i در کارخانه f در دوره $t = 0$	I_{ifo}^{-}
ظرفیت انبار محصول در کارخانه f	$hCap_{f}^{1}$
عددی بزرگ	G
پارامترهای توزیع	
هزینه ثابت حمل از تأمین کننده مواد اولیه o $(o \in O)$ از مسیر r با وسیله نقلیه v	tfC_{rov}
هزینه متغیر حمل گروه محصول i از تأمین کننده o $(o \in O)$ از مسیر r با وسیله نقلیه v	tvC_{irov}
ضریب اشغال فضای وسیله نقلیه برای هر واحد محصول از گروه محصول i	a_{iv}
هزینه نگهداری هرواحد موجودی محصول از گروه محصول i در مرکز توزیع d	hC_{id}^{2}
ظرفیت نگهداری موجودی در مرکز توزیع d	$hCap_{d}^{2}$
هزینه انتقال هر واحد محصول از گروه محصول i از طریق مرکز توزیع d	trC_{id}
ظرفیت حمل تأمین کننده o $(o \in O)$ در زمان t با وسیله نقلیه v	$trCap_{otv}$
ظرفیت حمل هر واحد وسیله نقلیه نوع v	$vCap_{v}$
ظرفیت بارگذاری گروه وسیله نقیه v در کارخانه f	$KCap_{fv}$

پارامترهای تدارکات	
u_{mif}	ضریب مصرف ماده اولیه m در هر واحد محصول از گروه محصول i در کارخانه f
$mCap_{jf}$	ظرفیت نگهداری موجودی گروه مواد اولیه j در کارخانه f
$sCap_{st}$	ظرفیت تأمین کننده s$(s \in S)$ در دوره t
$Qmin_{ms}$	حداقل مقدار سفارش مواد اولیه m از تأمین کننده s$(s \in CS)$
SS_{mf}	ذخیره احتیاطی ماده اولیه rm در کارخانه f
$purC_{mst}$	هزینه خرید ماده اولیه m از تأمین کننده s$(s \in S)$در دوره t
sC^2_{mst}	هزینه ثبت سفارش خرید ماده اولیه m از تأمین کننده s$(s \in S)$ در دوره t
hC^3_{mf}	هزینه نگهداری موجودی ماده اولیه m در کارخانه f
L_{ms}	لیدتایم تأمین ماده اولیه m از تأمین کننده s$(s \in S)$
متغیرهای تصمیم	
متغیرهای تصمیم فروش	
sQ_{ict}	مقدار فروش گروه محصول i به مشتری $c(c \in C)$ در دوره t
bsQ_{ict}	مقدار فروش معوّق محصول از گروه محصول i به مشتری $c(c \in C)$ در دوره t
متغیرهای تصمیم تولید	
pQ_{ift}	مقدار تولید گروه محصول i در کارخانه f در دوره t
pbN_{ift}	تعداد بچ تولید شده از گروه محصول i در کارخانه f در دوره t
I^+_{ift}	مقدار موجودی گروه محصول i در کارخانه f در انتهای دوره t
I^-_{ift}	مقدار موجودی معوّق از گروه محصول i در کارخانه f در انتهای دوره t
X_{ift}	متغیر 0 و 1؛ اگر برای تولید گروه محصول i در کارخانه f نیاز به راه اندازی باشد، 1 و در غیر اینصورت 0
متغیرهای تصمیم توزیع	
trQ_{irovt}	مقدار کالای حمل شده از گروه محصول i بوسیله پیمانکار حمل $o(o \in O)$ از مسیر r با وسیله نقلیه v در دوره t
tN_{rovt}	تعداد وسایل نقلیه مورد نیاز از پیمانکار حمل $o(o \in O)$ از از مسیر r با وسیله نقلیه v در دوره t
I^+_{idt}	موجودی گروه محصول i در مرکز توزیع d در پایان دوره t
متغیرهای تصمیم تدارکات	
$purQ_{msft}$	مقدار خرید ماده اولیه m از تأمین کننده s$(s \in S)$ توسط کارخانه f در دوره t
I_{mft}	موجودی ماده اولیه m در کارخانه f در انتهای دوره t
y_{mst}	متغیر 0 و 1؛ اگر خرید برای ماده اولیه m از تأمین کننده s انجام گرفته باشد، 1 و در غیراینصورت 0.

تابع هدف مدل برنامه‌ریزی فروش و عملیات کاملا یکپارچه به صورت زیر می‌باشد:

تابع هدف مدل برنامه‌ریزی فروش و عملیات کاملاً یکپارچه	
$Z = max\left(\sum_{i\in I}\sum_{c\in C}\sum_{t\in T} sP_{ict}.sQ_{ict}\right) - \left\{\sum_{i\in I}\sum_{f\in F}\sum_{t\in T}\left(pC_{ift}.pQ_{ift} + sLC^1_{ift}.X_{ift} + hLC^1_{ift}.I^+_{ift} + boC_{ift}.I^-_{ift}\right)\right\}$ $- \left\{\sum_{i\in I}\sum_{r\in R_{fd}\cup R_{fc}}\sum_{o\in O}\sum_{v\in V}\sum_{t\in T}\left(trC_{irov}.trQ_{irovt} + tfC_{rov}.tN_{rovt}\right)\right.$ $\left. + \sum_{i\in I}\sum_{r\in R_{fd}}\sum_{o\in O}\sum_{v\in V}\sum_{t\in T}\left(trC_{irv}.trQ_{irovt}\right) + \sum_{i\in I}\sum_{d\in D}\sum_{t\in T}\left(hLC^1_{id}.I^1_{idt}\right)\right\}$ $- \left\{\sum_{m\in M}\sum_{s\in S}\sum_{f\in F}\sum_{t\in T}\left(purC_{mst}.purQ_{mft}\right) + \sum_{m\in M}\sum_{s\in S}\sum_{t\in T}\left(sC^2_{mst}.y_{mst}\right) + \sum_{m\in M}\sum_{f\in F}\sum_{t\in T}\left(hLC^2_{mf}.I_{mft}\right)\right\}$	(1)
محدودیت‌ها	
محدودیت‌های فروش	
$dmin_{ict} \le d_{ict} + (1 - K_{ict})G \quad \forall c \in C, i, t$	(2)
$sQ_{ict} \le d_{ict} * K_{ict} \quad \forall c \in C, i, t$	(3)
$sQ_{ict} \ge dmin_{ict} * K_{ict} \quad \forall c \in C, i, t$	(4)
محدودیت‌های تولید	
$\sum_{f\in F}\left(pQ_{ift} + I^+_{ift-1} - I^-_{ift-1} - I^b_{ift} + I^-_{ift}\right) + \sum_{d\in D}\left(I^1_{idt-1} - I^1_{idt}\right) = \sum_{c\in C} sQ_{ict} \quad \forall i, t$	(5)
$\sum_{f\in F} I^-_{ift} = \sum_{c\in C} bsQ_{ict} \quad \forall i, t$	(6)
$pQ_{ift} = pbN_{ift}.\beta_{ift} \quad \forall i, f, t$	(7)
$G.X_{ift} \ge pQ_{ift} \quad \forall i, f, t$	(8)
$a_{ift}.pbN_{ift} + st_{ift}.X_{ift} \le pCap_{ift} \quad \forall f, t$	(9)
$\sum_{i\in I} I^+_{ift} \le hCap^1_f \quad \forall f, t$	10)
$I^-_{ift=0} = I^-_{ift=T} = I^-_{if0} \quad \forall i, f$	11)
محدودیت‌های توزیع	
$sQ_{ict} + bsQ_{ict-1} - bsQ_{ict} = \sum_{o\in O}\sum_{r\in R_{fc}\cup R_{dc}}\sum_{v\in V} trQ_{irovt} \quad \forall c \in C, i, t$	12)
$pQ_{ift} + I^+_{ift-1} - I^+_{ift} = \sum_{o\in O}\sum_{r\in R_{fd}\cup R_{fc}}\sum_{v\in V} trQ_{irovt} \quad \forall i, f, t$	13)
$\sum_{o\in O}\sum_{r\in R_{fd}}\sum_{v\in V} trQ_{irovt} + I^1_{idt-1} - I^1_{idt} = \sum_{o\in O}\sum_{r\in R_{dc}}\sum_{v\in V} trQ_{irovt} \quad \forall i, d, t$	14)
$tN_{rovt} \ge \sum_{i\in I} \frac{a_{iv}.trQ_{irovt}}{vCap_v} \quad \forall o \in O, r, v, t$	15)

$\sum_{r\in R} tN_{rovt} \leq trCap_{otv} \quad \forall o \in O, v, t$	16)
$\sum_{r\in R_{ol}} \sum_{o\in O} \sum_{v\in V} tN_{rovt} \leq KCap_{fv} \quad \forall f, t$	17)
محدودیت‌های تدارکات	
$\sum_{s\in S} purQ_{msft-L_{ms}} + I^2_{mft-1} - I^2_{mft} = \sum_{i\in I} u_{mif} \cdot pQ_{ift} \quad \forall m, f, t = 1 - L_{m,s}, \dots, T$	18)
$I^2_{mft} - SS_{mf} \geq 0 \quad \forall m, f, t$	19)
$\sum_{m\in j} I^2_{mft} \leq mCap_{jf} \quad \forall j, f, t$	20)
$\sum_{m\in M} \sum_{f\in F} purQ_{msft} \leq sCap_{st} \quad \forall s \in S, t$	21)
$G \cdot y_{mst} \geq \sum_{f\in F} purQ_{msft} \quad \forall s \in S, m, t$	22)
$\sum_{f\in F} \sum_{t\in T} purQ_{msft} \geq Qmin_{ms} \quad \forall s \in CS$	23)
$sQ_{ict}, bsQ_{ict}, pQ_{ift}, I^1_{ift}, I^2_{ift}, trQ_{trovt}, I^1_{ict}, purQ_{msft}, I^2_{m,f,t} \geq 0$ متغیرهای صفر و یک مثبت X_{ift}, tN_{rovt} , $X_{ift} \in \{0,1\}, y_{mst} \in \{0,1\} \ \forall c, i, f, t, r, v, d, m, o \ (o \in O), s \ (s \in S)$	24)

در تابع هدف (1)، پرانتز اول درآمد کل حاصل از فروش‌های قراردادی و غیرقراردادی می‌باشد. پرانتز دوم، هزینه‌های تولید، راه‌اندازی، نگهداری موجودی و سفارش معوّق را نشان می‌دهد. پرانتز سوم، بیانگر مجموع هزینه‌های حمل محصول از کارخانه به مراکز توزیع، کارخانه به مشتری، مراکز توزیع به مشتری و هزینه نگهداری موجودی در مراکز توزیع می‌شود.موجودی مراکز توزیع در مدل گنجانده شده است تا انعطاف لازم جهت جذب ظرفیت بلااستفاده تولید در شرایط ظرفیت مازاد و همچنین کاهش فروش از دست رفته در شرایط کمبود ظرفیت را از طریق نگهداری موجودی مازاد،به ما بدهد. در صورتیکه بخواهیم مراکز توزیع را صرفاً مسؤولیت مراکزی برای انتقال کالا از یک وسیله نقلیه به وسیله نقلیه دیگر درنظر بگیریم، آنگاه این عدد را برابر صفر قرار خواهیم داد. در نهایت، آخرین پرانتز، نمایانگر هزینه خرید، ثبت سفارش و نگهداری مواد خام است.

محدودیت‌های(2) و (3)، تصمیمات فروش برای مشتریان قراردادی و غیرقراردادی را نشان داده و بیان می‌کنند که تصمیمات فروش بایستی تقاضاهای قراردادی را در بازهٔ

مورد توافق در دوره t اجابت نموده اند و سپس تقاضای بیش از مقدار مورد توافق و همچنین تقاضاهای غیرقراردادی را در صورت وجود ظرفیت مازاد، پاسخ دهند. در این حالت، مدیران فروش می‌توانند تصمیم بگیرند که این تقاضاها را قبول کرده و در دوره بعدی به عنوان موجودی معوّق (I_{ift}^{-}) در برنامه قراردهند یا اینکه آنها را رد کنند. در هر صورت، مقدار فروش معوّق (bsQ_{ict}) نباید از مقدار فروش بیشتر باشد (4). پس از پاسخ دادن به مقدار پایه قرارداد فروش، شرکت می‌تواند تصمیم بگیرد که به اجابت نمودن تقاضای قراردادی تا سقف ظرفیت ادامه بدهد یا اینکه به تقاضاهای غیرقراردادی بپردازد که معمولاً از تقاضاهای قراردادی، سود بیشتری نصیب سازمان می‌کنند.

محدودیت‌های (5) محدودیت‌های اتصال می‌باشند که تصمیمات تولید، توزیع و فروش را به یکدیگر متصل کرده و یک جریان یکپارچه را در سرتاسر سایت‌ها تعریف می‌کند. این محدودیت‌ها بیان می‌دارد که مقدار تقاضای فروش پذیرفته شده، بایستی از طریق تولید در سایت‌های مختلف و موجودی سایت‌های تولیدی و مراکز توزیع، پاسخ داده شود. محدودیت (6)، سفارشات معوّق را به فروش معوّق(bsQ_{ict}) تبدیل می‌کند که خود، از مقدار حمل شده در محدودیت (12) حاصل می‌شود. محدودیت (7) اطمینان حاصل می‌کند که تولید، همواره به اندازه بچ کامل انجام می‌گیرد. محدودیت (8) بر این دلالت دارد که اگر قرار بر تولید یک محصول از گروه محصولi باشد، بایستی یک هزینه راه‌اندازی به آن تخصیص یابد. محدودیت‌های (9)، همان محدودیت‌های ظرفیت تولید هستند که بیان می دارند، مجموع زمان‌های تولید و راه‌اندازی نبایستی از کل زمان در اختیار در دوره برنامه ریزی t بیشتر باشد. محدودیت‌های (10) ظرفیت انبارهای محصول را تعریف می‌کنند. مقادیر موجودی در ابتدا و انتهای هر دوره، توسط محدودیت‌های (11) تعریف شده است.

محدودیت‌های (12) تصمیمات فروش و توزیع را به یکدیگر مرتبط ساخته و بیانگر توازن در نقطه مشتری است. بدین معنی که محصول حمل شده به مشتری، بایستی با مقدار فروش به علاوه مقدار فروش معوّق دوره قبل منهای فروش معوّق دوره فعلی برابر باشد. محدودیت‌های (13) تصمیمات تولید و توزیع را به یکدیگر مرتبط ساخته و نشانگر تعادل در نقطه کارخانه است. این محدودیت‌ها بیان می‌کنند که حمل محصول از کارخانه بایستی با مقدار تولید به علاوه موجودی اولیه منهای موجودی پایان

دوره برابر باشد. محدودیت‌های (14)بیانگر وجود تعادل جریانورودی و خروجی محصول در مرکز توزیع می‌باشند؛ بدین معنی که میزان محصول حمل شده به مرکز توزیع به علاوه موجودی ابتدای دوره، منهای موجودی پایانی، بایستی با کل محصول خارج شده از مرکز توزیع، برابر باشد. محدودیت‌های (15) تعداد وسائل حمل و نقل مورد نیاز از هر نوع را از هر تأمین کننده تعیین می‌کند. این محدودیت‌ها مبیّن این هستند که چه نوع وسائل حملی با چه ترکیبی از محصولات برای یک مقصد، قابل ارسال می‌باشد. در صورتی‌که محموله با تعداد کمتری وسیله نقلیه قابل ارسال باشد، تابع هدف، این متغیر را مجاب می‌کند که کوچکترین عدد صحیحاقنا کننده محدودیت را درنظر بگیرد. محدودیت‌های (16) ظرفیت حمل تأمین‌کنندگان و محدودیت‌های (17) ظرفیت حمل از کارخانه را نمایش می‌دهند.

محدودیت‌های (18)، تصمیمات تأمین و تولید را از طریق تعادل جریان مواد اولیه در نقطه کارخانه به یکدیگرمربوط می‌سازد. این محدودیت‌ها توضیح می‌دهند که تحویل مواد اولیه که برابر است با مقدار مواد اولیه خریداری شده در دوره $t-L_{rm}^{s}$ به علاوه موجودی ابتدای دوره منهای موجودی پایان دوره بایستی با مقدار مصرف مواد اویه در تولید برابر باشد. سیاست‌های نگهداری موجودی اطمینان مواد اولیه نیز در محدودیت‌های (19) بیان شده و ظرفیت نگهداری موجودی مواد اولیه توسط محدودیت‌های (20) تشریح گردیده است. محدودیت‌های (21) بیانگر محدودیت‌های تأمین مواد اولیه بوده که ظرفیت تأمین هر تأمین کننده به صورت تابعی از t تعریف شده است تا بتواند تغییرات فصلی تأمین را پوشش دهد. محدودیت‌های (22)، همان محدودیت‌های ثبت سفارش تقاضا می‌باشد که فرض می‌کند، تقاضاها می‌تواند به گونه‌ای به چند سایت تولیدی تخصیص یابد که موجب کاهش هزینه‌های ثبت سفارش شود. محدودیت‌های (23) بیان می‌کند که مقدار خرید از تأمین کننده قراردادی، بایستی حداقل مقدار تعهد شده را برآورده سازد. محدودیت‌های (24)، دامنه هر یک از متغیرهای تصمیم را تعریف می‌کند.

ب) مدل برنامه‌ریزی فروش و عملیات نسبتاً یکپارچه چندسایتی

مدل برنامه‌ریزی فروش و عملیات نسبتاً یکپارچه چندسایتی بیانگر رویکرد برنامه‌ریزی است که در آن فروش و تولید به صورت مشترک در یک محیط چندسایتی

برنامه‌ریزی شده و برنامه‌ریزی توزیع و تأمین به صورت مجزا در هر یک از سایتها انجام می‌گیرد. از این رو، مدل شامل سه زیرمدل می‌شود: مدل چندسایتی فروش-تولید و زیر مدل‌های تک سایتی توزیع و تأمین. هر یک از زیرمدل‌ها، دارای تابع هدف مختص به خود بوده و به دنبال بهینگی محلی است. عملکرد کلی سازمان در قالب درآمد چندسایت منهای هزینه کل تولید، توزیع، و تأمین کل سایت‌ها محاسبه می گردد. جریان اطلاعات ورودی و خروجی هر زیرمدل در شکل(3) نشان داده شده است. تصمیمات فروش و فروش معوّق مختص هر سایت (sQ_{ict} وbsQ_{ict}) توسط زیرمدل چندسایتی فروش-تولید نشان داده شده که خود،در زیرمدل توزیع به کار خواهد رفت. در زیرمدل توزیع، مراکز توزیع، صرفاًبه عنوان مراکز تخلیه و بارگیری درنظر گرفته شده‌اند. اگرچه کلیه کارخانه‌ها به تمامی مراکز توزیع دسترسی دارند، مدیریت توزیع هر کارخانه توسط خود کارخانه و مجزا از کارخانجات دیگر انجام می‌گیرد. سه زیرمدل مذکور، به صورت زیرتعریف شده‌اند.

تابع هدف مدل برنامه‌ریزی فروش و عملیات نسبتاً یکپارچه چندسایتی	
$Max: \sum_{i\in I}\sum_{f\in F}\sum_{t\in T}\left(\sum_{c\in C} sP_{ict}.sQ_{icft} - pC_{ift}.pQ_{ift} - sC^{+}_{ift}.X_{ift} - hC^{+}_{ift}.I^{+}_{ift} - boC_{ift}.I^{-}_{ift}\right)$	(PI-1)
محدودیتهای مدل علاوه بر محدودیت‌های (۷) تا (۱۱)	
$\sum_{f\in F}\left(sQ_{icft} - bsQ_{icft}\right) \geq dmin_{ict} \quad \forall c \in CC, i, t$	(PI-2)
$\sum_{f\in F} sQ_{icft} \leq d_{ict} \quad \forall c \in C, i, t$	(PI-3)
$bsQ_{icft} \leq sQ_{icft} \quad \forall c \in C, i, f, t$	(PI-4)
$pQ_{ift} + I^{+}_{i,f,t-1} - I^{-}_{i,f,t-1} - I^{+}_{i,f,t} + I^{-}_{i,f,t} = \sum_{c\in C} sQ_{icft} \quad \forall i, f, t$	(PI-5)
$I^{-}_{i,f,t} = \sum_{c\in C} bsQ_{icft} \quad \forall i, f, t$	(PI-6)
$sQ_{icft}, bsQ_{icft}, pQ_{ift}, I^{+}_{i,f,t}, I^{-}_{i,f,t} \geq 0, pbN_{ift}$ متغیرصحیح‌ومثبت$sQ_{ift} \in \{0,1\} \quad \forall c, i, f, t$	(PI-24)
تابع هدف توزیع	
$Min: \sum_{f\in F}\sum_{o\in O}\sum_{i\in I}\sum_{v\in V}\sum_{t\in T}\left\{\sum_{r\in R}\left(tvC_{irov}.trQ_{irovt} + tfC_{rov}.tN_{rovt}\right) + \sum_{r\in R_{fd}} trC_{id}.trQ_{irovt}\right\}$	(D-1)
محدودیتهای مدل علاوه بر محدودیت‌های (۱۵) تا (۱۷)	
$\sum_{f\in F}\left(sQ_{ifct} + bsQ_{ifct-1} - bsQ_{ifct}\right) = \sum_{o\in O}\sum_{r\in\left(\bar{R}_{f,c}\cup R_{d,c}\right)}\sum_{v\in V} trQ_{irovt} \quad \forall c \in C, i, t$	(D-12)

$\sum_{o\in O}\sum_{r\in R_{i,d}}\sum_{v\in V} trQ_{irovt} = \sum_{o\in O}\sum_{r\in R_{d,c}}\sum_{v\in V} trQ_{irovt} \quad \forall i,d,t$	(D-14)
$trQ_{irovt} \geq 0 \text{ and } tN_{srvt} \text{ is positive integer} \quad \forall o\in O,i,r,v,t$	(D-24)
تابع هدف تدارکات	
$min: \sum_{f\in F}\left(\sum_{m\in M}\sum_{s\in S}\sum_{t\in T} purC_{mst}.purQ_{msft} + \sum_{m\in M}\sum_{t\in T} hC^3_{mf}.I^2_{mft}\right) + \sum_{m\in M}\sum_{s\in S}\sum_{t\in T} sC^2_{mst}.y_{mst}$	(B1)
محدودیتهای مدل علاوه بر محدودیت‌های (۱۸) تا (۲۰)	
$\sum_{m\in M}\sum_{f\in F} purQ_{msft} \leq sCap_{st} \quad \forall s\in S,t$	(B21)
$G.y_{mst} \leq purQ_{msft} \quad \forall s\in S,m,f,t$	(B22)
$\sum_{m\in M}\sum_{t\in T} purQ_{msft} \geq Qmin_{ms} \quad \forall s\in CS,f$	(B23)
$purQ_{msft}, I^2_{mft} \geq 0 \text{ and } y_{smt}\in\{0,1\} \quad \forall s\in S,m,f,t$	(B24)

ب-1) زیرمدل ترکیبی فروش-توزیع

هدف زیرمدل فروش-توزیع، حداکثرسازی سود خالص کل سازمان از طریق فروش قراردادی و غیرقراردادی است، با درنظر گرفتن هزینه‌های تولید، راه‌اندازی، موجودی و فروش معوّق.محدودیت‌های (PI2)، (PI3) و (PI4) در واقع اصلاح شده محدودیت‌های (2)، (3)، و (4) می‌باشند، با این تفاوت که متغیرهای فروش و فروش معوّق از قبل مشخص شده‌اند. محدودیت‌های (PI5) و (PI6) اصلاح شده محدویت‌های (5) و (6) هستند که موجودی مراکز توزیع را انتقال می‌دهند، در حالی که از طریق تصمیمات فروش و فروش معوّق مختص هر سایت، بر تعادل جریان محصولات این سایت‌ها تمرکز دارند. محدودیت‌های (S24)، محدودیت‌های غیرمنفی اصلاح شده هستند که فقط متغیرهای تصمیم فروش و تولید را شامل می‌شوند.

ب-2) زیرمدل توزیع

بر مبنای اطلاعات فروش و فروش معوّق(bsQ_{ift} وsQ_{ift})، زیر مدل توزیع تک سایتی، تصمیم می گیرد که چه وسیله نقلیه‌ای و به چه تعداد از هر پیمانکار حمل مورد نیاز است تا کالای سایت خود را جابجا کند. هدف، حداقل کردن هزینه کل حمل و بارگیری است.محدودیت‌های (D12)، اصلاح شده محدودیت‌های (12) هستند، جایی که

متغیرهای تصمیم فروش و فروش معوّق، به صورت مجزا برای هر سایت تعیین می‌گردند. محدودیت‌های (D14) نیز اصلاح شده محدودیت‌های (14) با حذف موجودی مراکز توزیع می‌باشند. محدودیت‌های (D24) فقط دامنه تغییر متغیرهای توزیع را تعریف می‌کند. با ذکر این نکته که مقادیر فروش و فروش معوّق در محدودیت‌های (D12)، پارامترهایی هستند که قبلاً توسط زیرمدل فروش-تولید تعیین شده و زیرمدل توزیع، تأثیری بر آنها نخواهد داشت.

ب-3) زیرمدل تأمین

بر مبنای مقدار تولید (pQ_{ift}) استخراج شده از زیرمدل فروش-تولید، زیرمدل تأمین تصمیم می‌گیرد که چه ماده‌ای از چه کسی و به چه مقداری خریداری شده و به چه اندازه‌ای موجودی از آن نگهداری شود. هدف، حداقل سازی هزینه کل خرید، سفارش و موجودی مواد اولیه می‌باشد.محدودیت‌های (B21) تعدیل شده محدودیت‌های (21) است که مقدار خرید مواد اولیه در آن برای هر سایت به صورت مجزا محاسبه می‌شود. هزینه‌های ثبت سفارش در محدودیت‌های (B22)، حالا به سفارش های هر کارخانه بسته می‌شود. پارامتر $dmin_{ice}$ در محدودیت (23) حالا میانگین تبدیل می‌شود که بیانگر سهم تخمینی تعهد قراردادی کارخانه f است. محدودیت‌های (B24)، اصلاح شده محدودیت (24) می‌باشد که تنها شامل متغیرهای تصمیم تأمین می‌شود.

ج) مدل برنامه‌ریزی گسسته چندسایتی

مدل برنامه‌ریزی گسسته چندسایتی، بیانگر رویکرد برنامه‌ریزی سنتیمی‌باشد. وقتی که برنامه‌ریزی فروش به صورت متمرکز انجام گرفته و برنامه‌ریزی تولید، توزیع و تأمینبه صورت مجزا در هر سایت انجام می‌گیرد. مدل دارای چهار زیرمدل است که به‌ترتیب معرف واحدهای برنامه‌ریزی فروش، تولید، توزیع و تأمین می‌باشد. هر یک از واحدهای برنامه‌ریزی، به‌دنبال تصمیمات بهینه محلی بوده و عملکرد کلی سازمان، برابر است با درآمد کل منهای مجموع هزینه عملیاتی هر یک از سایت‌ها. در این بخش، تنها زیرمدل‌های فروش و تولید ارائه خواهند شد و از تکرار مدل‌های توزیع و تأمین بدلیل تشابه با مدل برنامه‌ریزی فروش و عملیات نسبتاً یکپارچه، خودداری می گردد.

تابع هدف مدل برنامه ریزی گسسته (تابع فروش)	
$max: \sum_{i\in I}\sum_{f\in F}\sum_{t\in T}\sum_{c\in C}(sP_{ict}-epC_{ift}).sQ_{icft}$	(S1)
محدودیتهای مدل به علاوه محدودیت (PI-3)	
$\sum_{f\in F} sQ_{icft} \geq dmin_{ict} \quad \forall c \in CC, i, t$	(S2)
$\sum_{i\in I}\sum_{c\in C} sQ_{icft} \leq epCap_{ift} \quad \forall ,m, t$	(S9)
$sQ_{icft} \geq 0 \quad \forall c \in C, i, f, t$	(S24)
تابع هدف تولید	
$Min: \sum_{i\in I}\sum_{t\in T}\left(pC_{ift}.pQ_{ift}+sC^{+}_{ift}.X_{ift}+hC^{+}_{ift}.I^{+}_{ift}+boC_{ift}.I^{-}_{ift}+\left(\sum_{c\in C} sP_{ict}.bsQ_{ict}\right)\right) \quad \forall f$	(P1)
محدودیتهایمعادله علاوهمحدودیت‌های (PI-4) تا (PI-6) و (۷) تا (۱۰)	
$\sum_{f\in F}(pQ_{ift}+I^{+}_{ift-1}-I^{-}_{ift-1}) \geq \sum_{c\in CC} dmin_{ict} \quad \forall i, t$	(P2)
$I^{-}_{ift} = I^{-}_{if0} \quad \forall i, f$	(P11)
$bsQ_{ict}, pQ_{ift}, I^{+}_{ift}, I^{-}_{ift} \geq 0, pbN_{ift}$متغیرهایصحیحمثبت$X_{ift} \in \{0,1\} \quad \forall c \in C, i, f, t$	(P24)

ج-1) زیرمدل فروش

در برنامه ریزی گسسته، تصمیمات فروش بر مبنای تقاضای تجمّعی، هزینه تخمینی محصول (خانواده محصول) و توان تخمینی تولید هر کارخانه اتخاذ می‌شود. هدف، افزایش فروش تا حداکثر ظرفیت تخمینی هر کارخانه است، تا از این طریق، حداکثر سود خالص حاصل گردد. کاهش هزینه‌ها به عهده هر کارخانه و هر واحد برنامه‌ریزی می‌باشد. فروش معوّق غیرقابل اجتناب بوده و توسط زیرمدل تولید تعیین می‌شود.

ج-2) زیرمدل تولید

بر مبنای تصمیمات فروش ($S_{c,i,f,t}$)، زیرمدل تولید در خصوص اندازه بچ، سطح موجودی‌ها و موجودی معوّق یافروش از دست رفته (bsQ_{ict} و I^{-}_{ift}) تصمیم گیری می‌کند. به دلیل گسسته بودن برنامه‌ریزی در این رویکرد، تصمیمات فروش بر مبنای توان تخمینی تولید انجام گرفته، فلذا موجودی معوّق اجتناب‌ناپذیر خواهد بود. تولید، هیچ تأثیری بر فروش نخواهد داشت و منبع‌یابی از خارج شرکت مجاز نیست. هدف از این زیرمدل، حداقل‌کردن کل هزینه‌های تولید، راه‌اندازی، نگهداری موجودی، فروش معوّق و فرصت از دست رفته ناشی از تقاضای پاسخ داده نشده (bsQ_{ict}) در پایان دوره برنامه‌ریزی T می‌باشد.

محدودیت‌های (P2)، محدودیت‌های (S2) را مجبور می‌کند تا تقاضای قراردادی را حداقل به اندازه بازه مورد تعهد، برآورده نماید. محدویت‌های (P11)، محدودیت‌های (11) را جهت تعریف موجودی پس‌افت ابتدای دوره، اصلاح می‌کند؛ جایی که موجودی معوّق پایان دوره ($I^{-}_{i,f,t}$) غیرقابل کنترل می‌باشد. موجودی معوّق پایان دوره T ($I^{-}_{i,f,t}$)، مسؤولیت فروش ازدست رفته درنظر گرفته شده و جریمه فروش از دست رفته، به عنوان درآمد از دست رفته فروش در (P1)، محاسبه می‌شود. این جریمه، فروش از دست رفته (bsQ_{ict}) که در این مورد ($I^{-}_{i,f,t}$) است را مجبور می کند تا در بازه ظرفیتی تولید قرار بگیرد. محدودیت‌های (P24)، محدودیت‌های اصلاح شده غیرمنفی هستند که صرفاً به متغیرهای تصمیم تولید تعلق می‌گیرد.

د) کاربرد در صنایع فرمینگ

این بخش، به چگونگی پیاده‌سازی مفهوم و مدل‌های سه گانه برنامه‌ریزی فروش و عملیات در این محیط چندسایتی خواهد پرداخت.دامنه مسأله، شامل سه کارخانه تولیدی در نقاط جغرافیایی مختلف می‌شود که تولید کننده 11 خانواده محصول بوده و از حدود 114 ماده اولیه که توسط دو تأمین‌کننده عمده فراهم می‌شوند، استفاده می‌کند. محصولات از طریق دوپیمانکار حمل و با 5 نوع وسایل نقلیه از طریق 16 مرکز توزیع، به 44 مشتری عرضه می‌شوند. هر کارخانه دارای چندین سالن تولید می‌باشد که هر یک دارای خطوط تولید متعددیبوده و در خط تولید، انواع مختلفیاز مواد اولیه که عمدتاً پلی

اتیلن[1] و پلی استایرن[2] می‌باشد با نسبت‌های متفاوت وارد سیستم می‌شوند. محصولات فرمینگ دارای فرایندهای تولید متفاوت با زمان‌های تولید متفاوت می‌باشد. خطوط تولید، روزانه گروه محصولات مختلفی را تولید می‌کند. هر گروه محصول، از ترکیب منحصری از مواد خام (W_{mif}) تشکیل شده و بر اساس یک زمان سیکل مشخص (a_{ift}) تولید می‌شود. هرگونه تغییر در خط تولید از یک گروه محصول به گروه محصول دیگر، نیازمند زمان راه‌اندازی می‌باشد.یک هزینه ثابت نیز جهت نمایش میزان فروش از دست‌رفته در حین‌راه‌اندازی، تعریف شده است که برای محاسبه آن، از میانگین وزنی قیمت فروش محصولات استفاده شده است.

شکل4. روند فروش ماهانه سازمان در سه سال

شرکت محصولات خود را به دو طریق به فروش می‌رساند: قراردادی و غیرقراردادی. فروش قراردادی، مقادیر ثابت فروش را با قیمتی از پیش تعیین شده، تضمین می‌کند. ولی در عوض، بخشی از ظرفیت را از پیش اشغال می‌کند که کارخانه را از دستیابی به سود بیشتر در مواقعی که درخواست بازار و قیمت ها بالاست، باز می‌دارد. از سوی دیگر، فروش‌های غیرقراردادی، اگرچه ممکن است قیمت بالاتر و سود بیشتری داشته باشند، ولی دارای ریسک بیشتری به لحاظ مقدار فروش می‌باشند. در این صنعت، هر دو نوع تقاضای قراردادی و غیرقراردادی، از روند فصلی پیروی می‌کنند(شکل 4).

1.Polyethylene
2.Polystyrene

جهت تحلیل کمی، اعتبار هر سه مدل برنامه‌ریزی فروش و عملیات کاملاً یکپارچه، برنامه‌ریزی فروش و عملیات نسبتاً یکپارچه و برنامه‌ریزی گسسته با داده‌های واقعی مورد آزمون قرار گرفت. پس از اعتبارسنجی، ارزیابی مدل‌ها با استفاده از داده‌های واقعی تقاضا و قیمت فروش انجام می‌گیرد. شاخص‌های عملکرد، شامل سود خالص، درآمد، و هزینه کل زنجیرهٔ تأمین در هر مدل محاسبه و ثبت شد. مزایای مدل برنامه‌ریزی فروش و عملیات کاملاً یکپارچه نسبت به مدل‌های نسبتاً یکپارچه و گسسته مورد آزمون قرار گرفت. پس از ارزیابی عملکرد، نوبت به تحلیل حساسیّت می‌رسد، جایی که تعدادی از عوامل کلیدی در پنج سطح مورد مقایسه قرار گرفتند جدول(1)، سطح 0%، بیانگر مقادیر پایه بوده و -10% و -20% بیانگر کاهش عوامل و 10% و 20% مبین افزایش عوامل به همین مقدار می باشد.

جدول1. برنامه تحلیل حساسیت مدل‌های سه گانه

عوامل	سطح				
قیمت بازار (%)	-20	-10	0	10	20
تقاضای بازار (%)	-20	-10	0	10	20
هزینه تولید واحد محصول (%)	-20	-10	0	10	20
هزینه حمل واحد محصول (%)	-20	-10	0	10	20
قیمت خرید واحد مواد اولیه (%)	-20	-10	0	10	20
هزینه نگهداری واحد مواد اولیه (%)	-20	-10	0	10	20

یافته ها

الف) اعتبارسنجی وارزیابی منافع مدل

پس از کدنویسی و اجرا، مشخص شد مدل برنامه‌ریزی فروش و عملیات کاملاً یکپارچه با لحاظ کلیه اندیس‌ها، در مجموع دارای بیش از 1,300,000 متغیر تصمیم، بیش از 3,600,000 پارامتر تصمیم گیری و حدود 130,000 محدودیت می‌شود. نتایج اعتبارسنجی مدل در جدول(2) نمایش شده است. به دلیل تعهد ارائه شده به سازمان مبنی بر حفظ محرمانه بودن اطلاعات، تنها به ارائه نتایج کلی اکتفا شده است.

جدول2. مقایسه نتایج اعتبارسنجی ریالی مدل‌های سه گانه

مورد /مدل	S&OP کاملا یکپارچه		S&OP نسبتاً یکپارچه		S&OP گسسته	
	ریال	درصد	ریال	درصد	ریال	درصد
فروش کل (درامد کل)	8,462,499,293,347	100%	8,449,264,886,178	100%	8,345,611,135,512	100%
هزینه خرید مواد اولیه	3,697,797,068,189	44%	3,717,598,128,691	44%	3,543,883,537,703	42%
هزینه تولید	913,519,278,001	11%	915,171,901,763	11%	879,087,837,874	11%
هزینه فروش معوق	1,305,705	0%	1,305,705	0%	21,709,690,672	0%
هزینه فروش از دست رفته	0	0%	0	0%	300,471,249,046	4%
هزینه حمل	201,370,529,616	2%	193,322,525,107	2%	200,477,879,109	2%
هزینه نگهداری موجودی	25,054,755,877	0%	26,992,236,292	0%	6,154,494,341	0%
هزینه راه اندازی و ثبت سفارش	44,204,696	0%	78,996,508	0%	949,299,144	0%
هزینه کل بعنوان درصدی از درآمد کل	4,837,787,142,084	57.2%	4,853,165,094,066	57.4%	4,952,733,987,889	59.3%
سود کل بعنوان درصدی از درآمد کل	3,624,712,151,263	42.8%	3,596,099,792,111	42.6%	3,392,877,147,623	40.7%

همچنین نتایج جدول(3) نشان می‌دهد که هر سه مدل مذکور، جواب‌های راضی کننده‌ای برای فروش، تولید و توزیع به دست داده و این جواب‌ها به ظرفیت اسمی کارخانه‌ها و مقدار تقاضا بسیار نزدیک می‌باشد. نسبت فروش به تقاضای نزدیک به 90%، این ادعّا را تأیید می‌نماید. اختلافات اندک میان مقادیر فروش سه مدل، بدلیل رویکردهای متفاوت اخذ شده در برنامه‌ریزی می‌باشد. تحلیل مفهومی حاصل از این تحقیق بهمراه کاربردهای مالی، در بخش بعدی تشریح می گردد. در نهایت، ضریب بهره‌وری ظرفیت در تمام مدل‌ها حدود 65% بوده که گویای این است که 35% از ظرفیت بلااستفاده می‌باشد که مطابق با توافقی است که کارخانه به جهت خرابی‌های احتمالی ماشین‌آلات درنظر گرفته است.

جدول3. مقایسه نتایج اعتبارسنجی وزنی مدل‌های سه گانه

مورد	S&OP کاملا یکپارچه	S&OP نسبتاً یکپارچه	برنامه ریزی گسسته
ظرفیت اسمی (تن)	194,400,000	194,400,000	194,400,000
مقدار تقاضای واقعی در 201X (تن)	145,309,607	145,309,607	145,309,607
فروش کل مدل (تن)	130,104,808	130,104,808	131,498,647
تولید کل مدل (تن)	124,900,616	124,900,616	121,589,562
تحویل کل مدل (تن)	119,696,423	119,696,423	124,588,192
نسبت فروش به تقاضا (%)	89.5%	89.5%	90.5%
بهره برداری از ظرفیت (%)	64.2%	64.2%	62.5%

ارزیابی مزایای حاصل از مدل برنامه‌ریزی فروش و عملیات کاملاً یکپارچه در مقابل مدل‌های برنامه‌ریزی فروش و عملیات نسبتاً یکپارچه و برنامه‌ریزی گسسته از طریق محاسبه شاخص‌های زیر انجام گرفت: سود سالانه، درآمد، و هزینه کل تولید، توزیع و تأمین. جدول(4)، مزایای مدل برنامه‌ریزی فروش و عملیات کاملاً یکپارچه را در مقایسه با مدل های نسبتاً یکپارچه برنامه‌ریزی فروش و عملیات و برنامه ریزی گسسته به ریال و درصد نشان می‌دهد. همان گونه که پیش بینی می شد، مدل کاملاً یکپارچه، در همه موارد بیشترین میزان سود سالانه را نصیب سازمان می‌کند. بهبود سود مدل کاملاً یکپارچه در مقایسه با مدل گسسته، بخاطر اتخاذ تصمیمات فروش بهینه‌تر در مدل یکپارچه است. انحراف استاندارد بالای میان درآمد و هزینه کل، منعکس‌کنندهٔ این حقیقت است که مدل گسسته، با افزایش فروش و تولید در راستای دستیابی به سود بیشتر، هزینه‌های تأمین و توزیع بیشتری را به سیستم تحمیل نموده است.

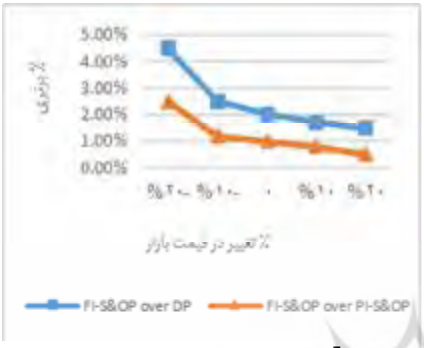
جدول4. مزایای مدل برنامه‌ریزی فروش و عملیات کاملاً یکپارچه نسبت به دو مدل دیگر

مورد	درآمد کل	هزینه کل	سود کل	بهره برداری از ظرفیت	سطح سرویس
مزایا نسبت به مدل گسسته (ریال)	116,888,157,835	114,946,845,805	231,835,003,640	-	-
مزایا نسبت به مدل گسسته (%)	1.4%	2.4%	6.4%	1.9%	-1.1%
مزایا نسبت به مدل نسبتاً یکپارچه (ریال)	13,234,407,169	15,377,951,982	28,612,359,152	-	-
مزایا نسبت به مدل نسبتاً یکپارچه (%)	0.2%	0.3%	1%	0%	0%

مزایای مدل کاملاً یکپارچه در مقایسه با مدل نسبتاً یکپارچه، به دلیل بهبود عملکرد حاصل از برنامه‌ریزی فروش و تولید متمرکز، چندان چشمگیر نیست.همان طور که در جدول(4) مشاهده می‌کنید، بخش زیادی از این اختلاف، ناشی از کاهش هزینه می‌باشد، نه افزایش درآمد. کاهش درآمد در مدل برنامه‌ریزی فروش و عملیات کاملاً یکپارچه، حاکی از آن است که مدل به دلیل محدودیت‌های بیشتر، برنامه اولیه واحد فروش را به میزان بیشتری کاهش داده است. حال آنکه اگرچه از درآمد کل کاسته شده، ولی هزینه کل به میزان بیشتری کاهش یافته و در کل، افزایش سود خالص را به همراه داشته است. به بیان دیگر، در صورتی که برنامه‌های فروش تقلیل‌یافته در مدل کاملاً یکپارچه رد نمی‌شدند، در نهایت موجب کاهش سود خالص مجموعه می‌شدند.

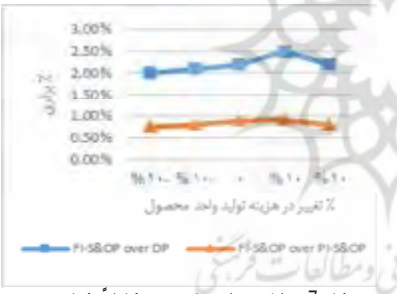
ب) تحلیل حساسیت

در این قسمت، برای یافتن تأثیر هر یک از عوامل ذکر شده در جدول(1) بر نتایج مدل برنامه‌ریزی فروش و عملیات کاملاً یکپارچه، اقدام به تحلیل حساسیّت مدل کردیم. نتایج تحلیل حساسیّت در شکل‌های5 تا 10 نشان داده شده است.

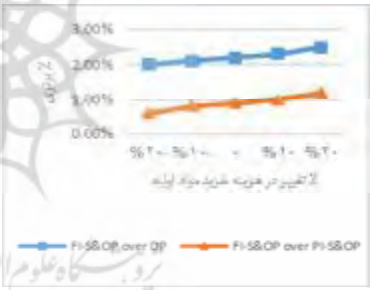


شکل 5. مزایای مدل برنامه‌ریزی کاملا یکپارچه تحت قیمتهای بازار

شکل6. مزایای مدل برنامه‌ریزی کاملاً یکپارچه تحت سطوح تقاضای متفاوت



شکل 7. مزایای مدل برنامه‌ریزی کاملاً یکپارچه در سطوح مختلف هزینه تولید محصول



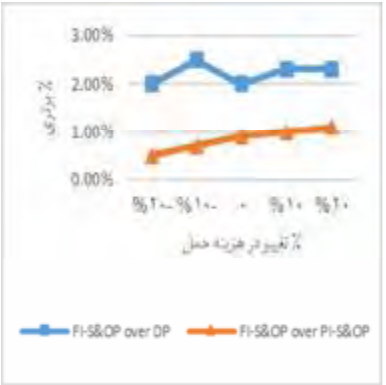
برتری برنامه‌ریزی فروش و عملیات کاملاً یکپارچه نسبت به مدل گسسته در همه موارد کاملا چشمگیر بوده، در حالی که برتری مدل مذکور نسبت به مدل های برنامه‌ریزی فروش و عملیات نسبتاً یکپارچه متعادل‌تر می باشد. همان گونه که پیش‌تر بحث شد، برتری برنامه‌ریزی فروش و عملیات کاملاً یکپارچه بیشتر مربوط به کاهش هزینه می‌باشد. بر اساس شکل‌های 5 تا 10، ساختار شکست درآمدهای قراردادی و

غیرقراردادی نشان می‌دهد که برنامه‌ریزی فروش و عملیات کاملاً یکپارچه بیشتر به فروش قراردادی تمایل نشان می‌دهد؛ جایی که می تواند هزینه‌های توزیع را به میزان محسوسی کاهش دهد. البته، صرفه‌جویی در هزینه‌های حمل و نقل از محل برنامه‌ریزی کاملاً یکپارچه، قبلا در مقالات مربوط به یکپارچه سازی برنامه ریزی تولید-توزیع اثبات شده بود(چندرا و فیشر[1]، 1994)(فیمرو و ورسیلیس[2]،1999). با این حال، منافع حاصل از یکپارچه سازی تصمیمات فروش در همهٔحوزه‌هایزنجیرهٔ تأمین به خوبی اثبات نشده است. مطالعه ما نشان می‌دهد در جایی که هزینه ساخت محصولات متفاوت و متغیر بوده و در مکان‌های جغرافیایی با قیمت‌های متفاوت به فروش می‌رسند، مدل نسبتاً یکپارچه تولید-توزیع کافی به نظر نمی‌رسد، زیرا جواب‌هایی با مینیمم هزینه تولید-توزیع لزوماً هم‌عرض با حداکثر بازده مالی نیستند.

همان طور که در شکل‌های 5 تا 10 نمایش داده شده، مزایای برنامه‌ریزی فروش و عملیات کاملاً یکپارچه در اوضاع مختلف بازار و هزینه‌های زنجیرهٔ تأمین، تغییر می‌کند. قیمت بازار بیشترین تأثیر را روی مزایای برنامه‌ریزی فروش و عملیات کاملاً یکپارچه نسبت به مدل‌های برنامه‌ریزی فروش و عملیات نسبتاً یکپارچه و مدل برنامه‌ریزی گسسته دارد، خصوصاً زمانی که قیمت کاهش می یابد (شکل 5). زمانی که قیمت بازار کاهش می‌یابد، درآمدهای حاصل از فروش قراردادی و غیرقراردادی کاهش می‌یابد. مدل برنامه‌ریزی فروش و عملیات کاملاً یکپارچه آن بخشی از فروش بی‌فایده را که توسط مدل های برنامه‌ریزی فروش و عملیات نسبتاً یکپارچه و مدل برنامه‌ریزی گسسته مورد پذیرش قرار می‌گیرد، به منظور کاهش سود از دست رفته، رد می‌کند. بنابراین، وقتی‌که قیمت بازار کاهش می یابد، مزایای برنامه‌ریزی فروش و عملیات کاملاً یکپارچه رو به افزایش می‌گذارد.

1.Chandra & Fisher, 1994
2.Fumero & Vercellis, 1999

شکل 10. مزایای مدل برنامه‌ریزی کاملاً یکپارچه در سطوح مختلف هزینه نگهداری مواد اولیه



شکل 9. مزایای مدل برنامه‌ریزی کاملاً یکپارچه در سطوح مختلف هزینه خریدمواد

تقاضا، عامل دیگری است که تأثیر زیادی بر مزایای برنامه‌ریزی فروش و عملیات کاملاً یکپارچه دارد؛ اگرچه این تأثیر، به مدل برنامه‌ریزی گسسته محدود می گردد (شکل 6). دلیل این برتری، برنامه‌ریزی یکپارچه فروش و تولید در مدل برنامه‌ریزی فروش و عملیات کاملاً یکپارچه و بهره برداری از ظرفیت می‌باشد وهمان گونه که در شکل 6نمایش داده شده، باعث می‌شود تقاضای بیشتری مورد پذیرش قرار گرفته و در نتیجه درآمد و هزینه بیشتری نصیب سازمان شود. در مقایسه با عوامل قیمت بازار و تقاضا، عامل هزینه دارای تأثیر به نسبت کمتری می‌باشد. همان گونه که در شکل 7 نمایش داده شده، در هنگام افزایش هزینه تولید واحد محصول، مزایای مدل برنامه‌ریزی فروش و عملیات کاملاً یکپارچه نسبت به مدل برنامه‌ریزی گسسته به میزان کمی افزایش می‌یابد. این افزایش نامحسوس به دلیل برنامه‌ریزی فروش، بهبود یافته در مدل برنامه‌ریزی فروش و عملیات نسبتاً یکپارچه می‌باشد. همان طور که می توان حدس زد، هزینه حمل هر واحد محصول نیز منافع برنامه‌ریزی فروش و عملیات کاملاً یکپارچه را نسبت به مدل برنامه‌ریزی فروش و عملیات نسبتاً یکپارچه تحت تأثیر قرار می‌دهد (شکل 8)، زیرا مدل نسبتاً یکپارچه برنامه‌ریزی توزیع را جدا از برنامه‌ریزی فروش-تولید انجام می‌دهد. به محض اینکه هزینه حمل واحد محصول افزایش یابد، هزینه توزیع برای ارضای جریان بالاسری نیز افزایش می‌یابد که خود موجب کاهش سود خالص مدل نسبتاً یکپارچه می‌شود. در نتیجه منافع مدل کاملاً یکپارچه بر مدل نسبتاً یکپارچه

افزایش می‌یابد. با همین منطق، می‌توان انتظار داشت که مزایای مدل برنامه‌ریزی فروش و عملیات کاملاً یکپارچه بر مدل برنامه‌ریزی گسسته نیز از همین روند پیروی کند. در حالی که برنامه‌ریزی فروش و عملیات کاملاً یکپارچه راهکارهای مختلف را جهت بهینه‌سازی سودآوری جستجو می‌کند، زمانی‌که هزینه حمل محصول رو به افزایش می‌گذارد، سود کل مدل کاهش می‌یابد. از طرف دیگر، همراه باافزایش هزینه تأمین مواد اولیه، مزایای مدل برنامه‌ریزی فروش و عملیات کاملاً یکپارچه در مقایسه با مدل‌های برنامه‌ریزی فروش و عملیات نسبتاً یکپارچه و گسسته افزایش می‌یابد(شکل 9). در نهایت همان گونه که در شکل 10 نمایش داده شده، منافع مدل برنامه‌ریزی فروش و عملیات کاملاً یکپارچه در مقایسه با مدل‌های برنامه‌ریزی فروش و عملیات نسبتاً یکپارچه و گسسته نسبت به هزینه نگهداری موجودی مواد اولیه حساسیت چندانی ندارد. دلیل هم مشخصاً به وزن کمتر هزینه نگهداری مواد اولیه در این سیستم بر می گردد که باعث کمتر شدن تأثیر آن شده است.

بحث و نتیجه گیری و پیشنهادها

در این پژوهش، نتایج استفاده از دو رویکرد متفاوت از برنامه‌ریزی فروش و عملیات بررسی شد. یکی رویکرد کاملاً یکپارچه برنامه‌ریزی زنجیرهٔ تأمین (برنامه‌ریزی فروش و عملیات کاملاً یکپارچه) که وظایف فروش، تولید، توزیع و تأمین را به صورت یکپارچه و متمرکز برنامه‌ریزی می‌کند و دیگری رویکرد یکپارچه برنامه‌ریزی فروش - تولید (برنامه‌ریزی فروش و عملیات نسبتاً یکپارچه) که در آن فروش و تولید به صورت متمرکز برنامه‌ریزی شده و در خصوص توزیع و تأمین مجزا تصمیم‌گیری می‌شود. همچنین یک مدل برنامه‌ریزی گسسته برای نشان دادن رویکرد سنتی برنامه‌ریزی زنجیرهٔ تأمین توسعه داده شد. سپس مدل‌های ریاضی مربوط به این سه رویکرد در یک شبکه تولید چند سایتی قابل جایگزینی در محیط تولید برای انبارش توسعه داده شد. سپس، از طریق یک مطالعه موردی در صنعت فرمینگ، به مدل‌های مربوط با استفاده از داده‌های واقعی پرداختیم. نتایج ارزیابی گردید. بیانگر برتری محسوس رویکرد برنامه-ریزی فروش و عملیات کاملاً یکپارچه در مقایسه با رویکرد برنامه‌ریزی فروش و

عملیات نسبتاً یکپارچه و گسسته در تمام شرایط خصوصاً در شرایط نوسان تقاضا و قیمت بازار می‌باشد.

مدل‌های ریاضی این پژوهش، بر اساس منطق تولید برای انبارش توسعه داده شده‌اند. لذا، امکان ارائه این مدل‌ها در محیط تولید بر اساس سفارش[1] نیز وجود دارد. همچنین در دنیای واقعی، در سطح برنامه‌ریزی تاکتیکی، تصمیمات تولید بر اساس پیش‌بینی اخذ می گردد. از این‌رو، پیشنهاد دیگر این پژوهش، می‌تواند بررسی تأثیر خطای پیش‌بینی تقاضا بر روی مدل برنامه‌ریزی فروش و عملیات کاملاً یکپارچه نسبت بهمدل‌های برنامه‌ریزی فروش و عملیات نسبتاً یکپارچه و گسسته در محیط دارای تقاضای کم نوسان باشد. همچنین، قیمت‌گذاری پویا در برنامه‌ریزی فروش و عملیات، می‌تواند در قالب تحقیق دیگری مورد بررسی قرار بگیرد.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

1.Make To Order (MTO)

References

Alavidoost, M., & Nayeri, M. A. (2014), Proposition of a hybrid NSGA-II algorithm with fuzzy objectives for bi-objective assembly line balancing problem. Tenth International Industrial Engineering Conference.

Cecere, L., Hillman, M,.Masson, C. (2006), The handbook of sales and operations planning technologies. AMR Research Report, AMRR-19187, 1–48.

Chandra, P., & Fisher, M. L. (1994), Coordination of production and distribution planning. European Journal of Operational Research, 7, 505-517.

Clark, A. J., Scarf, H. (1960), Optimal policies for a multi-echelon inventory problem. Management Science, 6, 475–490

Cohen, M. A., & Lee, H. L. (1988), Strategic analysis of integrated production-distribution systems: Models and methods. Operations Research, 36(2), 216-228.

Croxton, K. L., Lambert, D. M., García-Dastugue, S. J., & Rogers, D. S. (2002), The demand management process. International Journal of Logistics Management, 13(2), 51-66.

Dhaenens-Flipo, C. (2000), Spatial decomposition for a multi-facility production and distribution problem. International Journal of Production Economics, 64(1), 177-186.

Feng, Y., Martel, A., D'Amours, S., & Beauregard, R. (2013), Coordinated Contract Decisions in a Make-to-Order Manufacturing Supply Chain: A Stochastic Programming Approach. Production and Operations Management, 22(3), 642-660.

Fleischmann, B., Meyr, H., & Wagner, M. (2015), Advanced planning Supply chain management and advanced planning, Berlin Heidelberg.

Fumero, F., & Vercellis, C. (1999), Synchronized development of production, inventory, and distribution schedules. Transportation science, 33(3), 330-340.

Haq, A. N., Vrat, P., & Kanda, A. (1991), An integratedproduction-inventory-distribution model for manufacture of urea: a case. International Journal of Production Economics, 25(1), 39-49.

Klingman, D., Mote, J., & Phillips, N. V. (1988), OR Practice—A Logistics Planning System at WR Grace. Operations Research, 36(6), 811-822.

Maness, T. C., & Norton, S. E. (2002), Multiple period combined optimization approach to forest production planning. Scandinavian Journal of Forest Research, 17(5), 460-471.

Martin, C. H., Dent, D. C., & Eckhart, J. C. (1993), Integrated production, distribution, and inventory planning at Libbey-Owens-Ford. Interfaces, 23(3), 68-78.

Olhager, J., Rudberg, M., & Wikner, J. (2001), Long-term capacity management: Linking the perspectives from manufacturing strategy and sales and operations planning. International Journal of Production Economics, 69(2), 215-225.

Ouhimmou, M., D'Amours, S., Beauregard, R., Ait-Kadi, D., & Chauhan, S. S. (2008), Furniture supply chain tactical planning optimization using a time decomposition approach. European Journal of Operational Research, 189(3), 952-970.

Park, Y. (2005), An integrated approach for production and distribution planning in supply chain management. International Journal of Production Research, 43(6), 1205-1224.

Rizk, N., Martel, A&,.D'Amours, S. (2006), Multi-item dynamic production-distribution planning in process industries with divergent finishing stages. Computers & operations research, 33(12), 3600-3623.

Wahlers, J. L., & Cox III, J. F. (1994), Competitive factors and performance measurement: applying the theory of constraints to meet customer needs. International Journal of Production Economics, 37(2), 229-240.

Wallace, T. F. (2004), Sales & operations planning: the" how-to" handbook: T.F. Wallace & Company.

Wang, J.-Z., Hsieh, S.T., & Hsu, P.Y. (2012), Advanced sales and operations planning framework in a company supply chain. International Journal of Computer Integrated Manufacturing, 25(3), 248-262.

Williams, J. F. (1983), A hybrid algorithm for simultaneous schedulingof production and distribution in multi-echelon structures. Management Science, 29(1), 77-92.

Youssef, M. A., & Mahmoud, M. M. (1996), An iterative procedure for solving the uncapacitated production-distribution problem under concave cost function. International Journal of Operations & Production Management, 16(3), 18-27.