

کنترل پیش‌بین مقاوم تولید / توزیع / موجودی در زنجیره تأمین پویا

محمد میران‌بیگی* بهزاد مشیری**

پذیرش: ۹۲/۱/۲۱

دریافت: ۹۰/۸/۳۰

سیستم مدیریت زنجیره تأمین / کنترل پیش‌بین / مدیریت موجودی

چکیده

امروزه مدیریت تولید / توزیع / موجودی تحت عنوان سیستم مدیریت زنجیره تأمین جایگزین سیستم‌های مدیریت موجودی سنتی که متکی بر تصمیم تجربی مدیر بودند، شده است. در نیم قرن اخیر، ابزارهای ریاضی متعددی در مدل‌سازی و کنترل مسئله مدیریت زنجیره تأمین به کار گرفته شده‌اند. مزیت‌های کنترل پیش‌بین مبتنی بر مدل (MPC)^۱ در رویارویی با کنترل سیستم‌های چندمتغیره و ساختار برخط^۲ آن، این روش را برای استفاده با سیستم‌های مدیریت موجودی کارآمد می‌سازد. در این مقاله از یک کنترل‌کننده پیش‌بین همراه با راه‌کارهای افزایش مقاومت سیستم کنترلی مدیریت تولید/توزیع/موجودی استفاده می‌شود و مدیریت هر رده توسط یک کنترل پیش‌بین جداگانه انجام می‌شود تا یک اطمینان اولیه از به کارگیری کنترل پیش‌بین کلی حاصل شود. همچنین راه‌کارهای مقاومتی در شبیه‌سازی‌ها بررسی می‌گردد.

طبقه‌بندی JEL: M11, L90, R41

*. دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه تهران، قطب کنترل و پردازش هوشمند.

miranbeigi@ut.ac.ir

**moshir@ut.ac.ir

1. Model Predictive Control.

2. Online Structure.

مقدمه

در رقابت‌های جهانی عصر حاضر، باید محصولات متنوع را با توجه به درخواست مشتری در دسترس قرار داد. خواست مشتری بر کیفیت بالا و خدمت‌رسانی سریع، موجب افزایش فشارهایی شده است که قبلاً وجود نداشته، در نتیجه شرکت‌ها بیش از این به تنهایی نمی‌توانند از عهده تمامی کارها برآیند. در بازار رقابتی موجود، بنگاه‌های اقتصادی و تولیدی علاوه بر پرداختن به سازمان و منابع داخلی، به مدیریت و نظارت بر منابع و ارکان مرتبط خارج از سازمان نیز نیازمند هستند. علت این امر در واقع دستیابی به مزیت یا مزایای رقابتی با هدف کسب سهم بیشتری از بازار است. بر این اساس، فعالیت‌هایی نظیر برنامه‌ریزی عرضه و تقاضا، تهیه مواد، تولید و برنامه‌ریزی محصول، خدمت‌نگهداری کالا، کنترل موجودی، توزیع، تحویل و خدمت به مشتری که در گذشته در سطح شرکت انجام می‌شدند، اینک به سطح زنجیره عرضه انتقال پیدا کرده‌اند. مدیریت زنجیره تأمین^۱ (SCM) به‌عنوان یک مدیر تصمیم‌ساز در میزان تولید/ توزیع/ موجودی، این کار را به روشی انجام می‌دهد که مشتریان بتوانند خدمت قابل اطمینان و سریع را با محصولات با کیفیت و با کمترین هزینه دریافت کنند.

در این مقاله از کنترل‌کننده پیش‌بین همراه با راه‌کارهای مقاوم‌سازی استفاده می‌شود. کنترل پیش‌بین از جهت تشکیل مدلی صریح از سیستم به‌منظور محاسبات کنترلی، بررسی رفتار سیستم در یک افق زمانی آینده و در نظر گرفتن محدودیت‌های ورودی‌ها، حالت‌ها و خروجی‌های سیستم در محاسبات کنترلی، و پاسخ مناسب به تغییرات تقاضا، روشی مناسب برای کنترل سیستم‌های اقتصادی به‌نظر می‌رسد.^۲ در اینجا از مدلی مبتنی بر نظریه بازی آشامیدنی^۳ گسسته‌شده استفاده می‌شود. در این مدل، بین رده‌های متوالی دو نوع جریان فرآیند؛ یعنی جریان اطلاعات (همانند یک سفارش نیاز به کالا) و جریان مواد (یعنی انتقال حقیقی کالاها) وجود دارد.^۴ همچنین اثر شلاق چرمی در طول شبیه‌سازی‌ها مورد بررسی

-
1. Supply Chain Management.
 2. Sarimveis et al. (2008) and Camacho et al. (2004).
 3. Beer Game Theory.
 4. Sterman (2000).

قرار می‌گیرد. این اثر، نوسانی در زنجیره تأمین ایجاد می‌کند که عامل اصلی آن تغییرات در میزان تقاضا است. وقتی از سطح مشتری جزء به سطح بالاتری در این زنجیره حرکت می‌کنیم، دیده می‌شود که تغییرات کوچک در سطح پایین، تغییراتی عمده در سطوح بالاتر زنجیره را ایجاد می‌کند. در نهایت، شبکه می‌تواند نوسان بزرگ‌تری داشته باشد! همچنین از یک بخش جریمه مقاوم برای مقابله با اثر تغییرات ناگهانی تقاضا روی پیک ورودی کنترلی استفاده می‌شود. یک بخش توقیف حرکت که سرعت تغییر در کمیت‌های منتقل شده از طریق زنجیره (تغییر سرعت، تغییر متغیرهای کنترل) را جریمه می‌کند، مقاومت سیستم کنترلی را افزایش می‌دهد. از این رو در بخش بعدی این مقاله یک سیستم مدیریت زنجیره تأمین دارای چرخه‌های اطلاعاتی و یک مدل پویا از آن توصیف می‌شود و سپس، اصول روش کنترلی کنترل‌کننده‌های پیش‌بین مبتنی بر مدل (MPC) تشریح شده و ساختار آن برای کنترل سیستم‌های مدیریت زنجیره تأمین طراحی می‌شود. در بخش بعدی نیز شبیه‌سازی‌های سیستم پویا تحت کنترل همراه با تقاضای ثابت و متغیر ارائه شده و سپس، نتایج به‌کارگیری روش کنترلی مذکور بررسی می‌شوند.

۱. پیشینه تحقیق

مدیریت موجودی در اکثر این سیستم‌ها توسط کنترل‌کننده‌های کلاسیک انجام می‌شود.^۱ استفاده گسترده از کنترل‌کننده‌های پیش‌بین مبتنی بر مدل، غالباً به‌خاطر اعمال کارآمد قیدها و شدت‌های غیرخطی در سیستم‌های پویای چندمتغیره است که در آن، نخستین‌المان دنباله کنترلی در هر لحظه کنترلی به‌کار می‌رود و این رویه برای تمامی لحظات کنترلی نمونه‌برداری تکرار می‌شود.^۲ تفاوت اصلی این روش نسبت به برنامه‌ریزی پویای تصادفی و کنترل بهینه در این است که ورودی کنترلی به‌عنوان یک تابع از بردار حالت محاسبه نمی‌شود. از این رو MPC در کنترل سیستم‌های پیچیده که حل خط خاموش^۴

1. Beamon (1998).

2. Wiendahl et al.(2000), Dejonckheere et al. (2009), Towill et al. (1997), Grubbstrom et al. (2006).

3. Keerthi et al. (2008), Morari et al. (1999), Mayne et al. (2000).

4. Offline.

معادلات برنامه‌ریزی پویا از نظر محاسباتی مشکل است (به دلیل وجود مشکل ابعادی)، مرسوم‌تر است. در هر حال زمانی که طبیعت مسئله، کنترل بهینه تصادفی است می‌توان تنها راه‌حل‌های زیر بهینه را استفاده کرد^۱.

کاپسیوتیس و زافستاس نخستین کسانی بودند که از تابعی معیار و MPC برای کنترل مسئله مدیریت موجودی استفاده کردند^۲. زافستاس و همکارانش یک مسئله طرح‌ریزی تولید تعمیم‌یافته را که شامل هر دو تصمیمات بازاریابی و تولید - موجودی می‌باشد، در نظر گرفتند. آن‌ها یک الگوی اقتصادسنجی خطی را در مورد فروش به صورت یک تابع از تلاش تبلیغاتی برای تقریب زدن یک «فرآیند ولف ویدال غیرخطی»^۳ در نظر گرفتند. در این کار، پویایی‌های فروش با یک معادله تراز موجودی جفت می‌شوند و مسئله کنترل بهینه به صورت یک MPC که در آن متغیرهای کنترل شامل تلاش تبلیغاتی و سطوح تولید هستند، در نظر گرفته می‌شوند. تابعی معیار، انحرافات از فروش‌های مطلوب و سطوح موجودی را جریمه می‌کند.

در پژوهش بعدی، MPC برای مدیریت یک شبکه توزیع - تولید چندرده‌ای - چندمحصولی با زمان‌های تحویل و بدون سفارش‌های برگشتی به کار گرفته شد. مسئله کنترل بهینه نیز به صورت یک مسئله برنامه‌ریزی خطی صحیح مرکب مقیاس بزرگ (MILP) به سبب وجود تصمیمات ناپیوسته در مدل و ساختار تقاضا به صورت قطعی در نظر گرفته شد. در این کار، این روش در یک زنجیره تأمین مرکب تولیدکننده سه محصول و شامل سه مرکز تولید، سه انبار، چهار مرکز توزیع و ۱۰ خرده‌فروش که ۲۰ مشتری را سرویس می‌دهند، امتحان شد. آن‌ها یک روش متمرکز را با دو روش غیرمتمرکز مقایسه کردند. روش غیرمتمرکز اول فقط توزیع را بهینه کرده و از قواعد تجربی برای طرح‌ریزی تولید - توزیع استفاده می‌کند. روش غیرمتمرکز دوم، تولید کارخانه را بهینه می‌کند در حالی که شبکه توزیع از قواعد تجربی تبعیت می‌کند. در نهایت شبیه‌سازی‌ها گواهی دادند

1. Wikner (2003).

2. Kapsiotis and Tzafestas (1997), (2000).

3. Nonlinear Vidale- Wolfe Process.

که روش متمرکز، عملکرد بهتری دارد^۱. وانگ و همکاران او تقاضا را به‌عنوان اغتشاش بار و یک سیگنال تصادفی به‌دست آمده از نویز سفید یکپارچه در نظر گرفتند^۲. آن‌ها یک MPC مبتنی بر تخمین برای افزایش عملکرد مقاومت سیستم در برابر تغییرپذیری تقاضا و پیش‌بینی‌های غلط را پیشنهاد کردند. آن‌ها با فرض فقدان هرگونه اطلاعات در مورد اغتشاشات، یک فیلتر کالمن که در آن بهره فیلتر یک پارامتر تنظیمی بر مبنای نسبت سیگنال به نویز است را برای تخمین متغیرهای حالت به کار گرفتند و از طریق شبیه‌سازی‌ها دریافتند که وقتی یک خطای بزرگ‌تر میان میانگین تقاضاهای واقعی و پیش‌بینی وجود دارد، افزایش بهره فیلتر، کنترل‌کننده را برای اصلاح سریع خطا، مهیا می‌کند.

ایلدیریم و همکاران وی، یک طرح ریزی پویا را با اعمال محدودیت‌های سطح سرویس و به‌صورت یک مسئله برنامه‌ریزی تصادفی چنددوره‌ای در نظر گرفتند، به‌ویژه اینکه کارخانه برای برآورد کردن تقاضاهای مشتری تصادفی در هر دوره، باید تصمیماتی از قبیل اینکه چه مقدار، کجا و چه وقت تولید کند، بگیرد. در نهایت به‌دلیل وجود مشکل ابعادی، یک ساختار MPC زمان گسسته به‌صورت افق جلورونده به کار گرفته شد^۳. همچنین در مقاله‌ای که در سال‌های اخیر ارائه شده، یک MPC برای بهینه‌سازی سیستم‌های تولید و توزیع شامل یک مدل زمان‌بندی ساده از تابع تولید پیشنهاد شده است که در آن، روش کنترلی فقط نوع قطعی تقاضا را در نظر می‌گیرد^۴.

اما در سال‌های اخیر نیز مقالاتی در زمینه هماهنگی تابع‌های معیار واحدهای زنجیره تأمین و به‌تبع آن دستیابی به هماهنگی کلی منتشر شده است. به‌طور نمونه در پژوهشی، یک زنجیره تأمین شامل دو تأمین‌کننده و یک خرده‌فروش همراه با به‌روزرسانی پیش‌بینی هماهنگ شد^۵، اما در کار دیگری، یک روش هماهنگی حساس به ریسک مطرح شد. نشان داده شد که تخفیف‌های فروش در هماهنگی زنجیره‌های تأمین مفید هستند^۶.

1. Lopez et al. (2003).

2. Wang et al. (2005).

3. Yildirim et al. (2005).

4. Chopra (2004).

5. Yang et al. (2011).

6. Chiu et al. (2011).

گاهی ضروری است که از مدل‌های رخداده‌گسسته در ساختار کنترل پیش‌بین استفاده شود. این روش در مورد صنایع نیمه‌هادی به کار گرفته شده است. در حقیقت یک مدل‌سازی مقاوم و مقیاس‌پذیر ابداع شد و تحت یک پیاده‌سازی زمان واقعی آزمایش شد.^۱ در این راستا امکان به کارگیری روش‌های شبیه‌سازی و مدل‌سازی رخداده‌گسسته در سیستم مدیریت زنجیره تأمین براساس عملکردهای مختلف هم واکاوی شده است.^۲

در بیشتر روش‌های یادشده، اساس کنترل بر حفظ موجودی به کمک مقادیر قابل دسترس متغیرها و با روش کلاسیک آفلاین است، اما در روشی که ما به کار خواهیم برد، کمینه‌سازی مقادیر لجستیکی جریان‌یافته میان گره‌های زنجیره تأمین و مقاوم کردن آن (لجستیک در زنجیره تأمین نباید نسبت به نوسانات شدید تقاضا دارای تغییرات شدیدی شود و باید تا حدی هموار بماند) در یک ساختار غیرمتمرکز در کنار تخمین متغیرها (با توجه به اینکه متغیرهای حالت سیستم همیشه در دسترس نمی‌باشند و سیستم دارای نامعینی است، از یک رویت‌گر حالت استفاده شده است)، مهم‌ترین چالش است. همچنین اثر نگاه رو به جلو در پیش‌بینی‌های محلی و نهایی مورد بررسی قرار می‌گیرد. مسئله کنترل پیشرفته سیستم زنجیره تأمین به‌خصوص در شکل غیرمتمرکز و مقید آن (با توجه به کارهای قبلی) موضوع جدیدی است. در مباحث کنترل موجودی در بخش ادبیات، بیشترین تمرکز روی کنترل کلاسیک است که آفلاین بوده و در رویارویی با تغییرات تقاضا و اثر شلاق چرمی دچار مشکل می‌شود. اساساً در کار پیش‌رو از یک مدل جامع در این زمینه‌ها استفاده می‌شود و با توجه با اعمال قیود و تنظیم مناسب افق‌ها و وزن‌ها، کنترل پیشرفته پیش‌بین و آنالین آن به هیچ وجه ساده نیست.

۲. مدل پویا

یک زنجیره تأمین به‌وسیله یک جریان رو به جلو از مواد و جریان رو به عقب از اطلاعات، تعریف می‌شود. در اغلب زنجیره‌های تأمین، هدف، تنظیم متغیرهای تصمیم

1. Huang et al. (2009).

2. Antuella et al. (2012).

برای پیشینه‌سازی رضایت مشتری با کمترین هزینه عملیاتی است. زیرسیستم‌های نمونه شامل واحدهای فروشنده‌های مواد خام، تولید، مونتاژ، توزیع و خرده‌فروش برای محصولات مختلف گره‌های سیستم بوده که با یکدیگر در ارتباط هستند. در این سیستم هر گره به وسیله مجموعه‌ای از گره‌های بالادستی تغذیه شده و یک مجموعه از گره‌های پایین‌دستی را تغذیه می‌کند. هر کدام از این گره‌ها یک سطح موجودی کالای تنظیم‌شده دارند که در کنترل این سیستم باید برآورده شوند و این سطح از موجودی کالا در برابر هرگونه دستور مشتری باید حفظ شود^۱.

در این مقاله مسئله مدیریت زنجیره تأمین با استفاده از مدل بازی آشامیدنی^۲ به صورت یک زنجیره تأمین سه رده‌ای شامل بخش‌های تأمین (S)، تولید (M) و خرده‌فروش (R) به صورت شکل (۱) نشان داده می‌شود. جریان اطلاعات ارائه‌شده توسط تأمین‌کننده از طریق تولید به کالا تبدیل می‌شود و سپس جریان به تأمین‌کننده برمی‌گردد. برای سادگی، این تبدیل نیز با یک تأخیر مدل می‌شود. گره M برای S یک گره پایین‌دستی و برای R یک گره بالادستی است. اگر $x \in \{S, M, R\}$ باشد، o_r^x نرخ سفارش رده، x تعداد کالاهایی که در روز به رده بالادستی سفارش داده می‌شوند و d_r^x نرخ انتقال رده، x تعداد کالاهایی که در روز به وسیله رده پایین‌دستی سفارش داده می‌شوند، می‌باشند.

در نهایت براساس بازی آشامیدنی تودرتو و با لحاظ کردن ارتباطات بین سه واحد زنجیره، سه مدل پویای زمان پیوسته جداگانه برای هر سه رده مذکور به وجود خواهد آمد:

$$\begin{cases} \dot{s}^S(t) = o_r^S(t - \tau_2) - o_r^M(t - \tau_2) - b^S(t)/t_b \\ \dot{o}_u^S(t) = o_r^S(t) - o_r^S(t - \tau_2) \\ \dot{b}^S(t) = o_r^M(t) - o_r^M(t - \tau_1) - b^S(t)/t_b \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} \dot{s}^M(t) = o_r^M(t - \tau_1 - \tau_2) - o_r^R(t - \tau_1) + b^S(t - \tau_2)/t_b - b^M(t)/t_b \\ \dot{o}_u^M(t) = o_r^M(t) - o_r^M(t - \tau_1 - \tau_2) - b^S(t - \tau_2)/t_b \\ \dot{b}^M(t) = o_r^R(t) - o_r^R(t - \tau_1) - b^M(t)/t_b \end{cases} \quad (2)$$

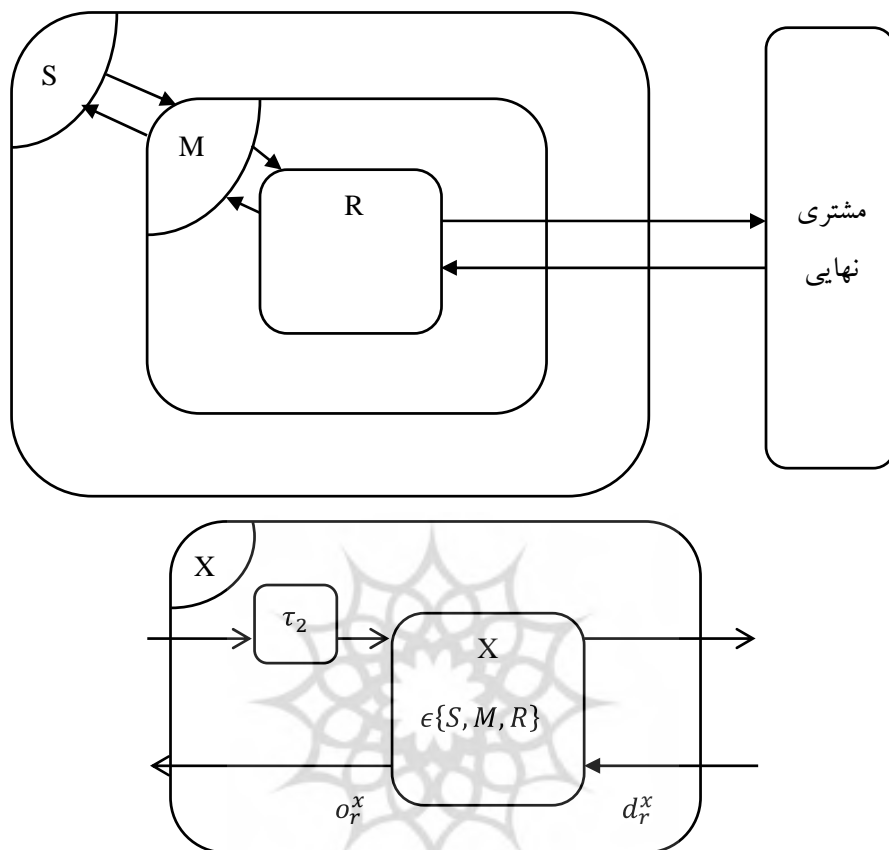
$$\begin{cases} \dot{s}^R(t) = o_r^R(t - \tau_1 - \tau_2) - d_r^R(t - \tau_1) + b^M(t - \tau_2)/t_b - b^R(t)/t_b \\ \dot{o}_u^R(t) = o_r^R(t) - o_r^R(t - \tau_1 - \tau_2) - b^M(t - \tau_2)/t_b \\ \dot{b}^R(t) = d_r^R(t) - d_r^R(t - \tau_1) - b^R(t)/t_b \end{cases} \quad (۳)$$

قیود فیزیکی زنجیره تأمین نیز براساس مدل زیر است:

$$\begin{cases} 0 \leq (s^x(t), o_u^x(t), b^x(t)) \leq s^{max} \\ 0 \leq o_u^x(t) \leq o_{r,max} \end{cases} \quad (۴)$$

در معادلات بالا، $s^x(t)$ موجودی رده x ، $o_u^x(t)$ سفارش‌های انجام نشده و $b^x(t)$ سفارش‌های انباشته شده از دوره‌های زمانی قبل، متغیرهای حالت این سیستم هستند. s^{max} نیز یک مجموعه سه عضوی ثابت حداکثر برای متغیرهای حالت می‌باشد. یک تأخیر خط لوله‌ای τ_l به‌عنوان زمان لازم برای پردازش سفارش و یک تأخیر مرتبه اول t_b به‌عنوان زمان جریان تسویه سفارش‌های برگشتی در نظر گرفته می‌شوند. متغیر حالت $b^x(t)$ کنترل‌ناپذیر است، اما اگر نرخ تقاضا به یک مقدار ماندگار همگرا شود $b^x(t)$ به صفر همگرا خواهد شد. پس $b^x(t)$ پایدارپذیر است و می‌توان این سیستم را کنترل کرد.

هدف مدیریت زنجیره تأمین نگه‌داشتن سفارش‌های انجام نشده و سطح موجودی کالا در نزدیک سطح‌های مطلوب می‌باشد. هدف کنترل برای هر رده میل کردن $s^x(t)$ به موجودی مطلوب ثابت s_d^x و همگرا شدن $o_u^x(t)$ به سفارش اجرا نشده مطلوب $o_{ud}(t)$ می‌باشد که $d_{rss} \cdot o_{ud}(t) = \tau_2 \cdot d_{rss}$ تقاضای حالت ماندگار است).



شکل ۱- زنجیره تأمین با نگاه تودرتو

پرو. نگاه علوم انسانی و مطالعات مروری
 مجله علمی پژوهشی علوم انسانی

۳. طراحی کنترل کننده برای هر رده

هدف MPC دنبال کردن مسیر مرجع تعریف شده برای سیستم توسط خروجی‌ها در افق پیش‌بینی دورشونده تعریف شده برای آن می‌باشد. به همین منظور به کمک اطلاعات مربوط به ورودی‌ها و خروجی‌های قبلی سیستم، خروجی‌های آینده پیش‌بینی شده و به کمک این اطلاعات جدید و نیز با توجه به مسیر مرجع، اغتشاشات و استراتژی کنترلی در نهایت دنباله‌ای از ورودی‌های مناسب در یک افق تعریف شده کنترل برای عملکرد صحیح سیستم محاسبه می‌شود^۱. به طور کلی اهداف اصلی روش کنترل زنجیره تأمین به این

صورت است: پیشینه‌سازی رضایت مشتری و حداقل‌سازی هزینه‌های عملیاتی زنجیره تأمین. نقاط تنظیم موجودی کالا، پارامترهای زمان ثابت هستند. عمل‌های کنترلی که یک تابعی معیار متحد را با اهداف کنترلی طرح‌ریزی شده کمینه می‌کنند، محاسبه می‌شوند. در هر دوره زمانی اولین عمل کنترلی در دنباله محاسبه شده و پیاده می‌شود.

در نتیجه، برای بهینه‌سازی در ساختار ریاضی کنترل پیش‌بین به یک تابعی معیار جامع نیاز داریم. پیش از آن به دلیل آنکه ذات سیستم‌های مدیریت زنجیره تأمین و همچنین مسئله کنترل پیش‌بین گسسته است، برای آسان شدن کار، باید معادلات پویا بر اساس زمان نمونه‌برداری کنترل‌کننده پیش‌بین استفاده شده به صورت زمان گسسته بازنویسی شوند. در اینجا سه تابعی معیار مجزا برای هر رده به صورت زیر در نظر گرفته شده که برای رده تأمین، $x \in \{S\}$ ؛ رده تولید، $x \in \{M\}$ ؛ رده خرده‌فروش، $x \in \{R\}$ و برای حالت کنترل کلی نیز $x \in \{S, M, R\}$ است.

$$J_x = \sum_{i=1}^P \sum_x (W_s [s^x(t+i) - s_d^x]^2) + (W_{ou} [o_u^x(t+i) - o_{ud}^x]^2) + \quad (5)$$

$$\sum_{j=0}^{C-1} \sum_x (W_u [o_r^x(t+j)]^2) + (W_{\delta u} [o_r^x(t+j) - o_r^x(t+j-1)]^2)$$

در این معادله، فاکتورهای وزنی ثابت نامنفی W_s به هزینه‌های ذخیره موجودی کالا و وسایل موجودی کالا، W_{ou} به هزینه‌های سفارش‌های برآورده نشده، W_u به هزینه‌های کنترل و سفارش دادن و C و P نیز به ترتیب به افق‌های کنترل و پیش‌بینی مربوط هستند و فاکتور وزنی ثابت $W_{\delta u}$ به هزینه‌های توقیف حرکت مربوط است.

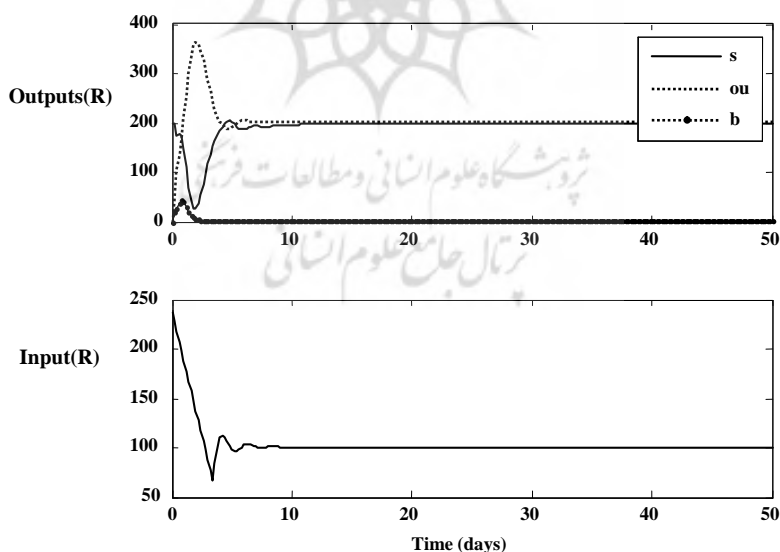
۴. نتایج شبیه‌سازی

برای پیاده‌سازی‌های مقیاس بزرگ، سیستم مدیریت زنجیره از ساختارهای کنترلی غیرمتمرکز استفاده می‌شود. برای این هدف سیستم و تابعی معیار مرتبط با آن باید به صورت غیرمتمرکز تفکیک شوند. در اینجا ابتدا هر سه رده زنجیره تأمین تفکیک شده و به صورت مجزا به کمک نرم‌افزار MATLAB شبیه‌سازی می‌شوند. این به معنای آن است که هر یک از این رده‌ها می‌توانند به تنهایی و به صورت محلی نسبت به تحریک تقاضا، پاسخ کنترلی منحصر به فردی از خود نشان دهند. شکل‌های (۲) تا (۴) با مفروضات جدول (۱) به ترتیب پاسخ‌های پویای زیرسیستم‌های خرده‌فروش، تولید و تأمین به تحریک نرخ

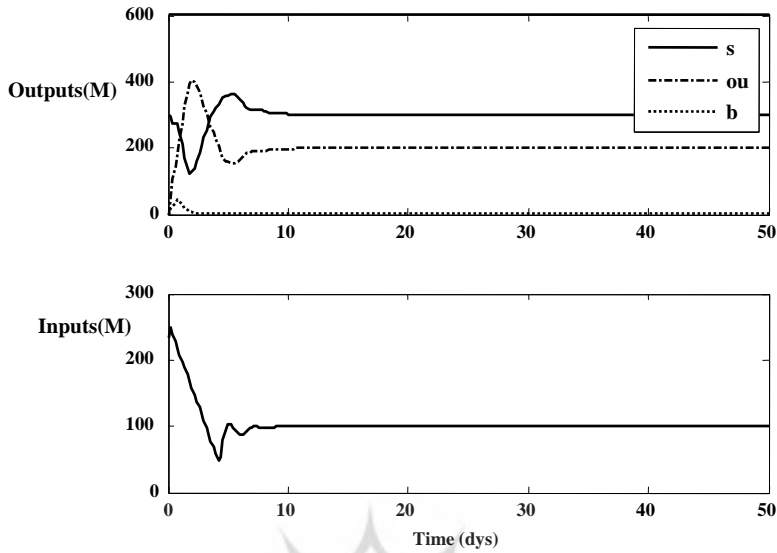
تقاضای ثابت ۱۰۰ واحد کالا در روز هستند. همان‌طور که دیده می‌شود عمل کنترل محلی به‌خوبی قابل پیاده‌سازی است.

جدول ۱- داده‌های زنجیره تأمین

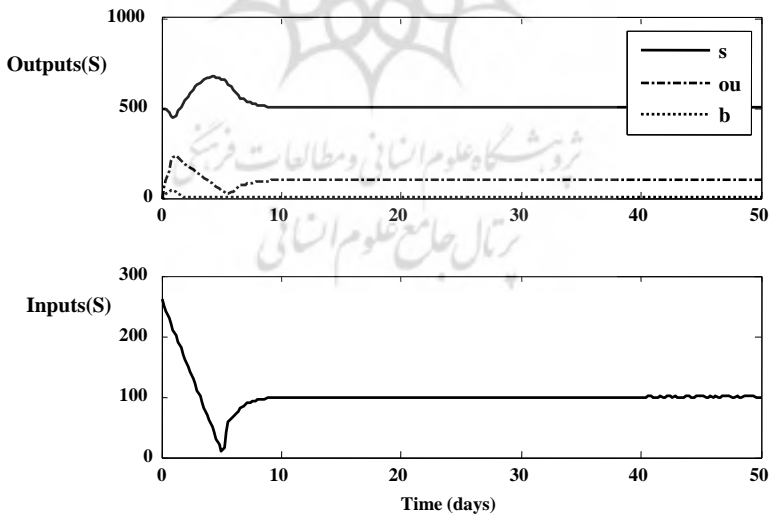
خرده‌فروش	تولیدکننده	تأمین‌کننده	
۴۰۰	۶۰۰	۸۰۰	سطح موجودی حداکثر
۲۵۰	۳۵۰	۴۵۰	سطح سفارش برآورده‌نشده حداکثر
۲۰۰	۲۰۰	۲۰۰	سطح سفارش انباشته‌شده حداکثر
۲۰۰	۳۰۰	۵۰۰	نقطه تنظیم موجودی محصول
۳	۳	۳	W_S
۱	۱	۱	W_{ou}
۱	۱	۱	W_u
۱	۱	۱	$W_{\delta u}$
۲۰۰	۳۰۰	۵۰۰	سطح موجودی اولیه



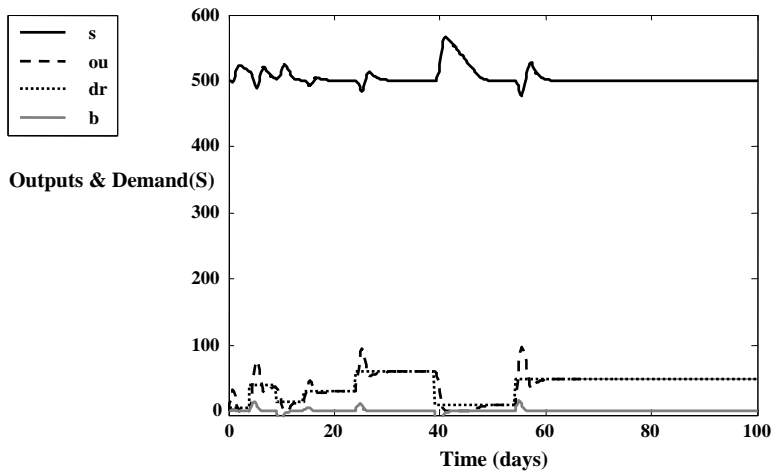
شکل ۲- پاسخ پویای زیرسیستم خرده‌فروشی با استفاده از کنترل پیش‌بین محلی تحت نرخ تقاضای ثابت ۱۰۰ واحد کالا در روز



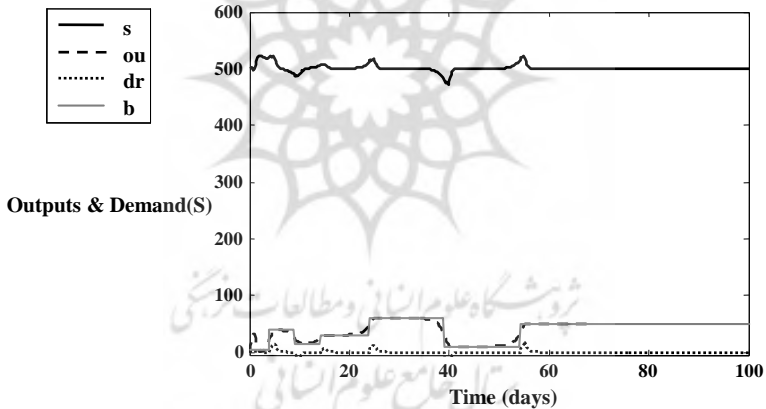
شکل ۳- پاسخ پویای زیرسیستم تولید با استفاده از کنترل پیش‌بین محلی تحت نرخ تقاضای ثابت ۱۰۰ واحد کالا در روز



شکل ۴- پاسخ پویای زیرسیستم تأمین با استفاده از کنترل پیش‌بین محلی تحت نرخ تقاضای ثابت ۱۰۰ واحد کالا در روز

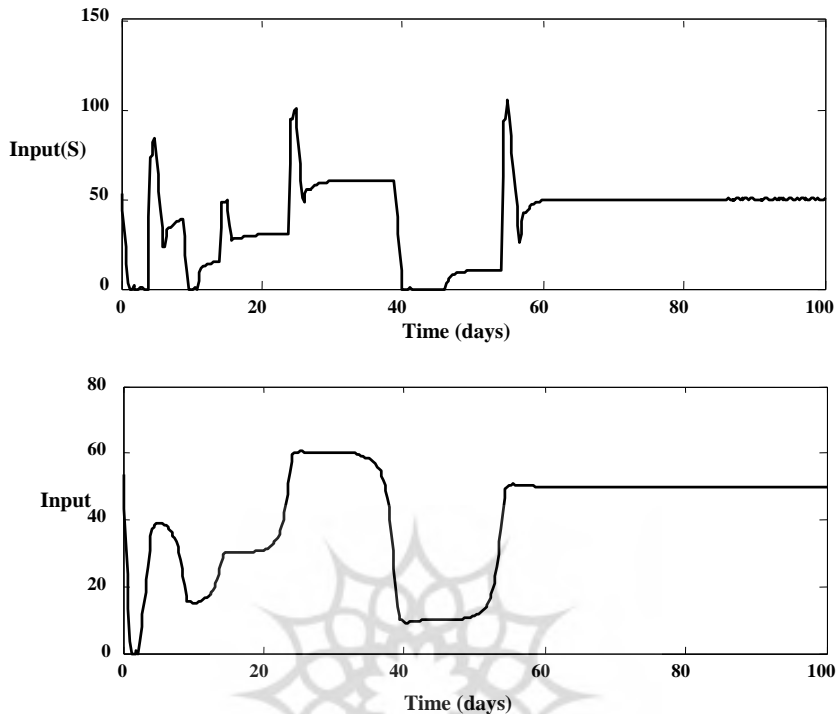


(الف)



(ب)

شکل ۵- اثر نگاه روبه جلو روی خروجی‌های سیستم تحت کنترل پیش‌بین محلی در رده تأمین (شکل الف: بدون اثر نگاه روبه جلو و شکل ب: همراه با اثر نگاه روبه جلو)

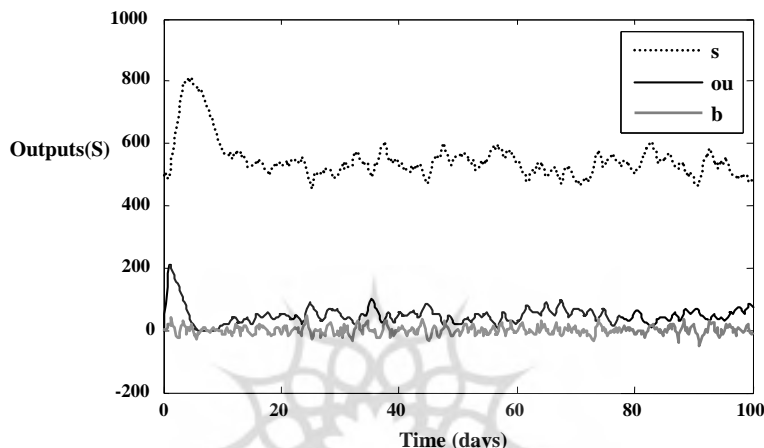


شکل ۶- اثر نگاه روبه جلو روی ورودی‌های سیستم تحت کنترل پیش‌بین در رده تأمین

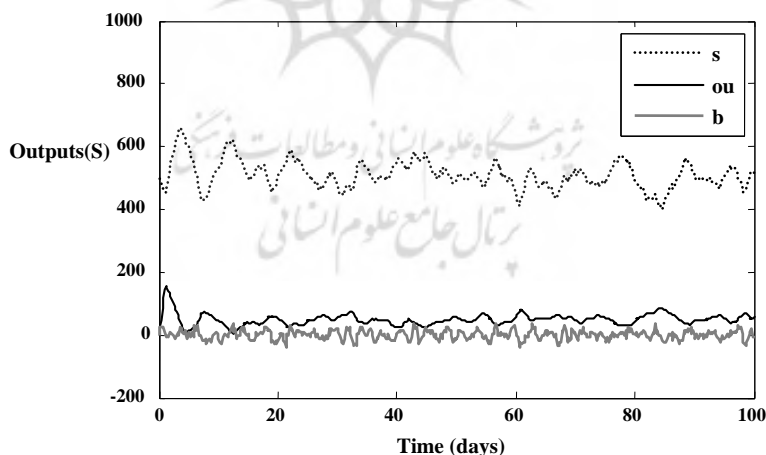
بررسی اثر نگاه روبه جلو^۱ و بررسی اثر توقیف حرکت با یک نرخ تقاضای تصادفی با توزیع نرمال با میانگین ۵۰ و انحراف استاندارد ۲۰ واحد کالا در روز، نیز انجام شد. با مشاهده شکل‌های (۵) و (۶) مشخص می‌شود که اگر یک پیش‌بینی دقیق از تقاضای مشتری در طول افق در دسترس باشد و کل این پیش‌بینی‌ها در مسئله بهینه‌سازی کنترل‌کننده پیش‌بین در هر زمان نمونه‌برداری اعمال شود، سطوح موجودی و ورودی با تغییرات تقاضای مشتری نوسان کمتری دارند و این هم رضایت بیشتر مشتری را با هزینه عملیاتی کمتر به همراه دارد. اثر بهبودبخشی به کارگیری بخش توقیف حرکت با ثابت وزنی ۳ در پاسخ خروجی سیستم مدیریت زنجیره تأمین نیز در شکل (۷) با نوسانات کوچک‌تری دیده می‌شود و نمودار صاف‌تری ایجاد خواهد شد. در حقیقت میانگین خروجی‌ها به مقدار مطلوب (نقطه تنظیم) با

1. Look Ahead.

اعمال این اثر نزدیک تر می‌شود. کم‌اینکه میانگین انحراف سفارش برآورده نشده از مقدار مطلوب (تقاضا) در طول افق بدون اثر توقیف حرکت حدود $0/4336$ و با اعمال آن $0/2066$ شد. برای کنترل کلی، تابعی معیار متمرکز کلی با افق پیش‌بینی برابر با ۵۰ دوره زمانی (۱۰ روز) و افق کنترل برابر با ۲۰ دوره زمانی (۴روز) در نظر گرفته می‌شوند.

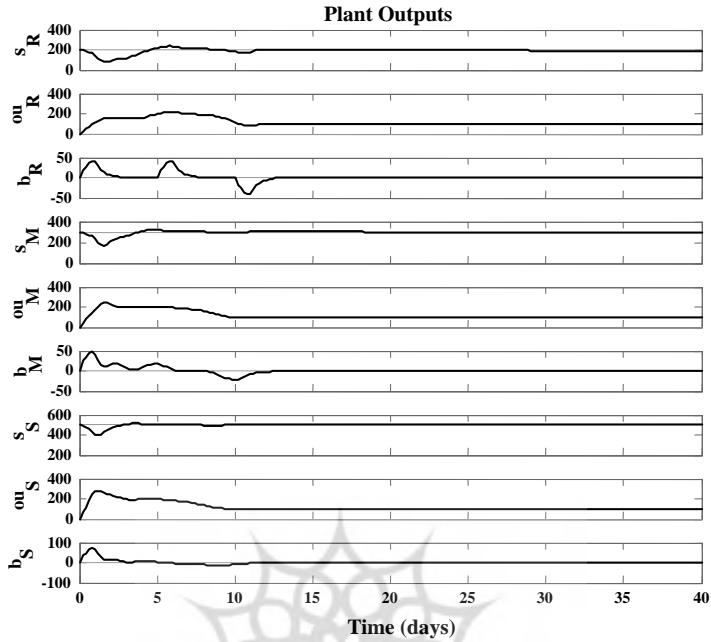


(الف)

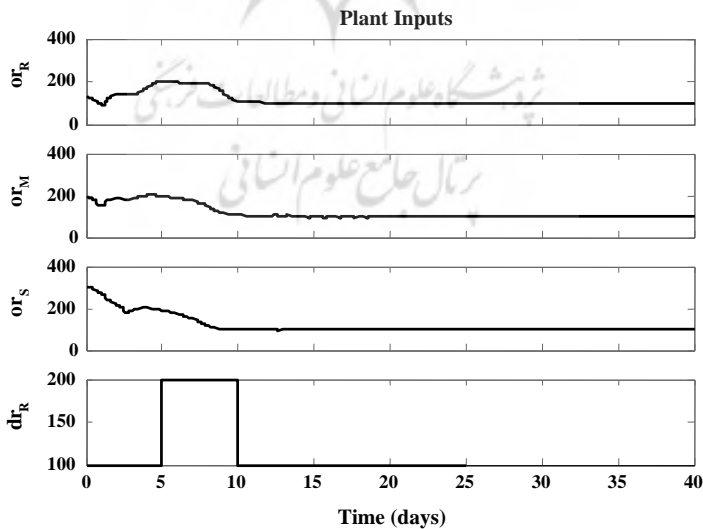


(ب)

شکل ۷- اثر بخش توقیف حرکت روی خروجی‌های سیستم تحت کنترل پیش‌بین محلی در رده تأمین (شکل الف: بدون اثر توقیف حرکت و شکل ب: همراه با اثر توقیف حرکت)



شکل ۸- خروجی‌های سیستم مدیریت زنجیره تأمین تحت کنترل پیش‌بین کلی در برابر نرخ تقاضای پالسی با استفاده از بخش توقیف حرکت



شکل ۹- ورودی‌های سیستم مدیریت زنجیره تأمین تحت کنترل پیش‌بین کلی در برابر نرخ تقاضای پالسی با استفاده از بخش توقیف حرکت

تأخیرهای زمانی $\tau_1 = \tau_2 = 1$ و $t_b = 0.5$ واحد زمانی در نظر گرفته می‌شوند. مقادیر اولیه سفارش‌های برآورده نشده نیز برابر صفر است. برای بررسی بهتر اثر تغییرات تقاضای مشتری از یک نرخ تقاضای مشتری پالسی با دامنه ۱۰۰ واحد کالا در روز با دوره زمانی ۵ واحد زمانی در زمان ۵ و شرایط اولیه ۱۰۰ واحد کالا استفاده می‌شود. شکل‌های (۸) و (۹)، پاسخ پویا را در ۴۰ طول دوره زمانی نشان می‌دهند. اثر شلاق چرمی به‌وضوح در این شکل‌ها قابل مشاهده است.

پیشنهادها و توصیه‌های سیاستی

- از آنجا که سیستم در کنترل پیش‌بین رفتار آینده به گذشته سیستم وابسته است، در ابتدا در کار با هر زنجیره تأمین واقعی باید تقاضای مشتری به‌خوبی پیش‌بینی شود. اما باز هم از آنجا که در ساختار کنترل پیش‌بین هرگونه تغییری در سیستم حس می‌شود، نوسانات شدید در پیش‌بینی تقاضا در کار مدیریت زنجیره تأمین خللی وارد نمی‌کند.
- جدول (۱) یک نمونه از زنجیره تأمین است که می‌تواند از لحاظ تعداد گره‌ها و رده‌ها وسیع‌تر شده و مقادیر آن نیز عوض شوند. حتی هر کانال میان گره‌ها نیز می‌تواند وزن‌های هزینه مربوط به خود را داشته باشد. همیشه نوسانات تقاضا به‌شدتی که در مثال این مقاله وجود دارد، نیست. پس در هر حال اثرات توقیف حرکت و نگاه روبه جلو با توجه به قابلیت‌های نظری، اثرات بد نوسانات و شلاق چرمی را کاهش می‌دهند.
- گاهی به دلیل ظرفیت اطلاعاتی پایین، متغیرهای حالت سیستم در دسترس نبوده و آن‌ها را باید توسط رویت‌گرهایی تخمین زد.
- زیاد شدن گره‌ها و رده‌ها، تأخیرها و تعدد محصولات نیز نرخ نوسانات در طول زنجیره تأمین را افزایش می‌دهد و ممکن است سیستم کنترلی را ناپایدار کند، لذا با انتخاب مناسب افق‌ها و طراحی ورودی کنترلی باید این چالش را مدیریت کرد.

- توصیه می‌شود که نامعینی‌های مختلف سیستم در نظر گرفته شده و همچنین تقاضای مشتری توسط منابع اطلاعاتی گوناگون پیش‌بینی شود. همچنین می‌توان با استفاده از تنظیم پارامترهای کنترل پیش‌بین کارایی سیستم را بالا برد.

جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این مقاله از یک کنترل‌کننده پیش‌بین برای مدیریت یک زنجیره تأمین و همچنین از یک مدل مبتنی بر نظریه بازی آشامیدنی تودرتو استفاده می‌شود. در این مدل، بین رده‌های متوالی دو نوع جریان فرآیند؛ یعنی جریان اطلاعات و جریان مواد وجود دارد. در شبیه‌سازی‌ها با نرخ تقاضای ثابت و پالسی، بهره‌گیری از بخش توقیف حرکت، اثر شلاق چرمی و اثر بد نامعینی‌های سیستم و پیک و ورودی را کاهش می‌دهد. در پژوهش‌های آینده توصیه می‌شود که با لحاظ کردن نامعینی‌های مختلف سیستم و با استفاده از تنظیم افق‌ها و وزن‌های هزینه، مدیریت را بهبود بخشید.

منابع

- Agachi, P. S., Nagy, Z. K., Cristea, M. V., Imre-Lucaci, A. (2009) *Model Based Control*, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co.
- Antuela, A., Robinson, S. "The Application of Discrete Event Simulation and System Dynamics in the Logistics and Supply Chain Context," *Decision Support Systems*, Vol. 52, pp. 802–815, 2012.
- Beamon, B. (1998) "Supply chain design and analysis: models and methods," *International Journal of Production Economics*, vol. 55, pp. 281–94.
- Camacho, E. F., Bordons, C. (2004) *Model Predictive Control*. Springer.
- Chiu, C., Choi, T., Li, X. "Supply Chain Coordination with Risk Sensitive Retailer under Target Sales Rebate," *Automatica*, Vol. 47, pp. 1617–1625, 2011.
- Chopra, S., Meindl, P. (2004) *Supply Chain Management Strategy, Planning and Operations*, Pearson Prentice Hall Press, New Jersey, pp. 58-79.
- Dejonckheere, J. Disney, SM., Lambrecht, M. R., Towill, D. R. (2009) "The impact of information enrichment on the bullwhip effect in supply chains: a control engineering perspective," *European Journal of Operational Research*, vol. 153, pp. 727–50.
- Grubbstrom, R., Huynh, T. (2006) "Multi-stage capacity constrained production inventory systems in discrete-time with non-zero lead times using mrp theory," *International Journal of Production Economics*, vol. 101, pp. 53–62.
- Huang, D., Sarjoughian, H., Wang, W. "Simulation of Semiconductor Manufacturing Supply-Chain Systems With DEVS, MPC, and KIB," *Ieee Transactions On Semiconductor Manufacturing*, vol. 22, No. 1, 2009.
- Kapsiotis, G., Tzafestas, S. (2010) "Decision making for inventory/production planning using model-based predictive control," *Parallel and distributed computing in engineering systems*. Amsterdam: Elsevier, pp. 551–556.
- Keerthi, S., Gilbert, E. (2008) "Optimal, infinite-horizon feedback laws for a general class of constrained discrete-time systems: Stability and moving-horizon approximations," *Journal of Optimization Theory and Application*. vol. 57, pp. 265–93.

- Lopez, P., Ydstie Grossmann, B. (2003) "A model predictive control strategy for supply chain management," *Computers & Chemical Engineering*, vol. 27, pp.1201-18.
- Mayne, D., Rawlings, J., Rao, C., Sokaert, P. (2000) "Constrained model predictive control: stability and optimality," *Automatica*. vol. 36, pp. 789-814.
- Morari, M., Lee, J. (1999) "Model predictive control: past, present, and future," *Computers and Chemical Engineering*. vol. 23, pp. 667-82.
- Sarimveis, H., Patrinos, P., Tarantilis, D., Kiranoudis, T. (2008) "Dynamic modeling and control of supply chain systems: A review," *Computers & Operations Research*, vol. 35, pp. 3530 - 3561.
- Sterman, J. D., (2000) *Business Dynamics Systems Thinking and Modeling in A Complex World*, McGraw Hill Press, pp. 113-128, New York.
- Towill, D. R., Evans, G. N., Cheema, P. (1997) "Analysis and design of an adaptive minimum reasonable inventory control system," *Production Planning & Control*, vol. 8, pp. 545-557.
- Tzafestas, S., Kapsiotis, G. (1997) "Model-based predictive control for generalized production planning problems," *Computers in Industry*, vol. 34, pp. 201-210.
- Wang, W., Rivera, R. (2005) "A novel model predictive control algorithm for supply chain management in semiconductor manufacturing," *Proceedings of the American Control Conference*, vol. 1, pp. 208-213.
- Wiendahl, H., Breithaupt, J. (2000) "Automatic production control applying control theory," *international journal of production economics*, vol. 63, pp. 33-46.
- Wikner, J. (2003) "Continuous-time dynamic modeling of variable lead times," *International Journal of Production Research*. vol. 41, pp. 2787-98.
- Yang, D., Choi, T., Xiao, T., Cheng, X. "Coordinating A Two-supplier and One-retailer Supply Chain with Forecast Updating," *Automatica*, Vol. 47, pp. 1317-1329, 2011.
- Yildirim, I., Tan, B., Karaesmen, F. (2005) "A Multiperiod Stochastic Production Planning and Sourcing Problem with Service Level Constraints," *OR Spektrum*. vol. 27, pp. 471-89.