فصلنامه پژوهشنامه بازرگانی، ویژه‌نامه شماره ۶۶، بهار ۱۳۹۲، ۲۰ - ۱

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

محمد میران‌بیگی* بهزاد مشیری**

دریافت: ۹۰/۸/۳۰ پذیرش: ۹۲/۱/۲۱

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 به‌کار گرفته شده‌اند. مزیت‌های کنترل پیش‌بین مبتنی بر مدل (MPC)[1] در رویارویی با کنترل سیستم‌های چندمتغیره و ساختار برخط[2] آن، این روش را برای استفاده با سیستم‌های مدیریت موجودی کارامد 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 به‌کارگیری 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.

Archive of SID

www.SID.ir

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 به‌تنهایی 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، خدمت نگه‌داری 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[1] (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 درنظرگرفتن محدودیت‌های ورودی‌ها، حالت‌ها و خروجی‌های سیستم در محاسبات کنترلی، و پاسخ مناسب به تغییرات تقاضا، روشی مناسب برای کنترل سیستم‌های اقتصادی به‌نظر می‌رسد[2]. در اینجا از مدلی مبتنی بر نظریه بازی آشامیدنی[3] 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[4]. 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).

www.SID.ir

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[1]. 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 این‌رو 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 کنترل کننده‌های 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 کنترل کننده‌های کلاسیک انجام می‌شود[2]. استفاده گسترده از کنترل کننده‌های پیش‌بین مبتنی بر مدل، غالباً به‌خاطر اعمال کارامد قیدها و شدت‌های غیرخطی در سیستم‌های پویای چندمتغیره است که در آن، نخستین اِلمان دنباله کنترلی در هر لحظه کنترلی به‌کار می‌رود و این رویه برای تمامی لحظات کنترلی نمونه‌برداری تکرار می‌شود[3]. تفاوت اصلی این روش نسبت به برنامه‌ریزی پویای تصادفی وکنترل بهینه در این است که ورودی کنترلی به‌عنوان یک تابع از بردار حالت محاسبه نمی‌شود. از این‌رو MPC درکنترل سیستم‌های پیچیده که حل خط خاموش[4]

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.

www.SID.ir

معادلات برنامه‌ریزی پویا از نظر محاسباتی مشکل است (به‌دلیل وجود مشکل ابعادی)، مرسوم‌تر است. در هر حال زمانی که طبیعت مسئله، کنترل بهینه تصادفی است می‌توان تنها راه‌حل‌های زیر بهینه را استفاده کرد[1].

کاپسیوتیس و زافستاس نخستین کسانی بودند که از تابعی معیار و MPC برای کنترل مسئله مدیریت موجودی استفاده کردند[2]. 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 به‌صورت یک تابع از تلاش تبلیغاتی برای تقریب‌زدن یک «فرآیند ولف ویدال غیرخطی[3]» در نظر گرفتند. در این کار، پویایی‌های فروش با یک معادله تراز موجودی جفت می‌شوند و مسئله کنترل بهینه به‌صورت 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 به‌کار گرفته شد. مسئله کنترل بهینه نیز به‌صورت یک مسئله برنامه‌ریزی خطی صحیح مرکب مقیاس بزرگ (MILP) به سبب وجود تصمیمات ناپیوسته در مدل و ساختار تقاضا به‌صورت 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.

www.SID.ir

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 برمبنای نسبت سیگنال به نویز است را برای تخمین متغیرهای حالت به‌کار 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 طرح‌ریزی 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 به‌کار 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 درنظر 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).

www.SID.ir

گاهی ضروری است که از مدل‌های رخدادگسسته در ساختار کنترل پیش‌بین استفاده شود. این روش در مورد صنایع نیمه‌هادی به‌کار گرفته شده است. در حقیقت یک مدل‌سازی مقاوم و مقیاس‌پذیر ابداع شد و تحت یک پیاده‌سازی زمان واقعی آزمایش شد[1]. در این راستا امکان به‌کارگیری روش‌های شبیه‌سازی و مدل‌سازی رخداد گسسته در سیستم مدیریت زنجیره تأمین براساس عملکردهای مختلف هم واکاوی شده است[2].

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 به‌کار 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 آنلاین 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. Antuela et al. (2012).

www.SID.ir

برای بیشینه‌سازی 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 به‌وسیله 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[1].

در این مقاله مسئله مدیریت زنجیره تأمین با استفاده از مدل بازی آشامیدنی[2] به‌صورت یک زنجیره تأمین سه رده‌ای شامل بخش‌های تأمین (S)، تولید (M) و خرده‌فروش (R) به‌صورت 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 $x\epsilon\{S,M,R\}$ 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 به‌وسیله 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 به‌وجود خواهد آمد:

$$\begin{cases} \dot{s}^S(t) = o_r^S(t-\tau_2) - o_r^M(t-\tau_2) - b^S(t)/t_b \\ \dot{o}_u^S(t) = o_r^S(t) - o_r^S(t-\tau_2) \\ \dot{b}^S(t) = o_r^M(t) - o_r^M(t-\tau_1) - b^S(t)/t_b \end{cases} \quad (۱)$$

$$\begin{cases} \dot{s}^M(t) = o_r^M(t-\tau_1-\tau_2) - o_r^R(t-\tau_1) + b^S(t-\tau_2)/t_b - b^M(t)/t_b \\ \dot{o}_u^M(t) = o_r^M(t) - o_r^M(t-\tau_1-\tau_2) - b^S(t-\tau_2)/t_b \\ \dot{b}^M(t) = o_r^R(t) - o_r^R(t-\tau_1) - b^M(t)/t_b \end{cases} \quad (۲)$$

1. Beamon et al. (1998).
2. Sterman et al. (2000).

www.SID.ir

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

قیود فیزیکی زنجیره تأمین نیز براساس مدل زیر است:

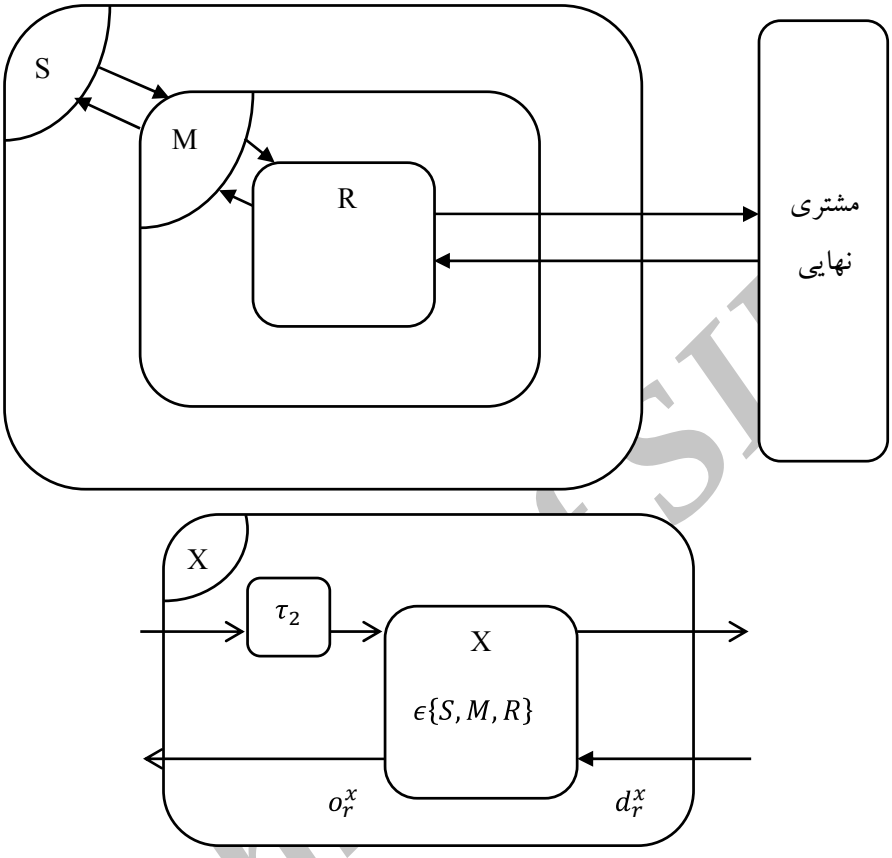
$$\begin{cases} 0 \le \left(s^x(t), o_u^x(t), b^x(t)\right) \le s^{max} \\ 0 \le o_u^x(t) \le o_{r,max} \end{cases} \quad (۴)$$

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[1] τ_1 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 $o_{ud}(t) = \tau_2 \cdot d_{rss}$ (d_{rss} تقاضای حالت ماندگار است).

1. Pipeline delay.

www.SID.ir



شکل ۱- زنجیره تأمین با نگاه تودرتو

۳. طراحی کنترل‌کننده برای هر رده

هدف MPC دنبال کردن مسیر مرجع تعریف‌شده برای سیستم توسط خروجی‌ها در افق پیش‌بینی دورشونده تعریف‌شده برای آن می‌باشد. به‌همین منظور به کمک اطلاعات مربوط به ورودی‌ها و خروجی‌های قبلی سیستم، خروجی‌های آینده پیش‌بینی شده و به‌کمک 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[1]. به‌طورکلی اهداف اصلی روش کنترل زنجیره تأمین به این

1. Agachi et al. (2009).

www.SID.ir

صورت است: بیشینه‌سازی 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 به‌دلیل 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 به‌صورت زمان گسسته بازنویسی شوند. در اینجا سه تابعی معیار مجزا برای هر رده به‌صورت 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.

$$J_x = \sum_{i=1}^{P} \sum_x (W_s[s^x(t+i) - s_d^x]^2) + (W_{ou}[o_u^x(t+i) - o_{ud}^x]^2) + \sum_{j=0}^{C-1} \sum_x (W_u[o_r^x(t+j)]^2) + (W_{\delta u}[o_r^x(t+j) - o_r^x(t+j-1)]^2) \quad (۵)$$

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 به‌ترتیب به افق‌های کنترل و پیش‌بینی مربوط هستند و فاکتور وزنی ثابت $W_{\delta u}$ به هزینه‌های توقیف حرکت مربوط است.

۴. نتایج شبیه‌سازی

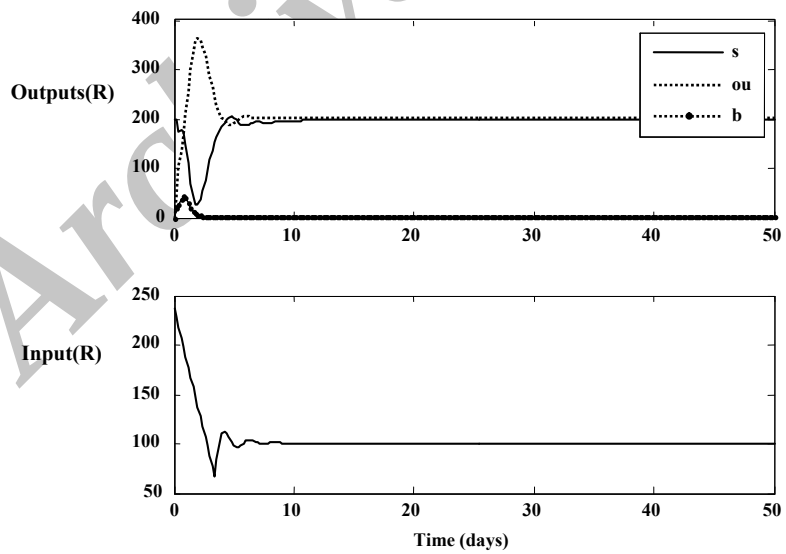
برای پیاده‌سازی‌های مقیاس بزرگ، سیستم مدیریت زنجیره از ساختارهای کنترلی غیرمتمرکز استفاده می‌شود. برای این هدف سیستم و تابعی معیار مرتبط با آن باید به‌صورت غیرمتمرکز تفکیک شوند. در اینجا ابتدا هر سه رده زنجیره تأمین تفکیک شده و به‌صورت مجزا به کمک نرم‌افزار MATLAB شبیه‌سازی می‌شوند. این به معنای آن است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

Archive of SID
www.SID.ir

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

جدول ۱- داده‌های زنجیره تأمین

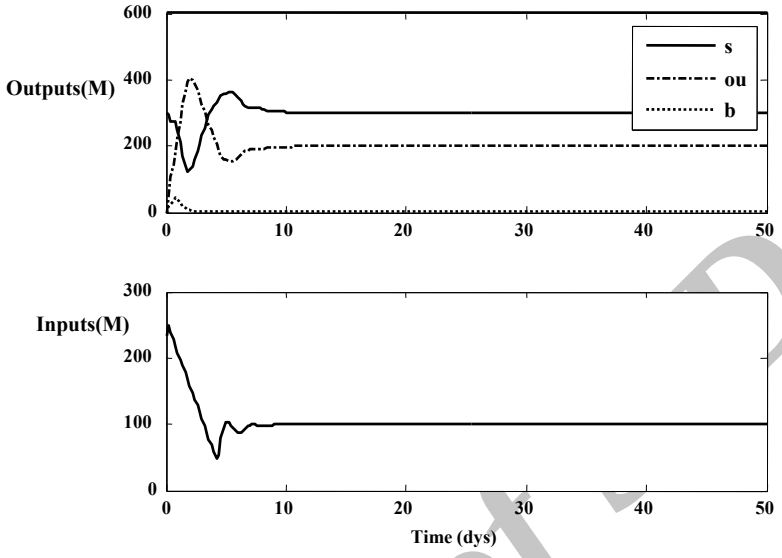
	تأمین‌کننده	تولیدکننده	خرده‌فروش
سطح موجودی حداکثر	۸۰۰	۶۰۰	۴۰۰
سطح سفارش برآورده‌نشده حداکثر	۴۵۰	۳۵۰	۲۵۰
سطح سفارش انباشته‌شده حداکثر	۲۰۰	۲۰۰	۲۰۰
نقطه تنظیم موجودی محصول	۵۰۰	۳۰۰	۲۰۰
W_S	۳	۳	۳
W_{ou}	۱	۱	۱
W_u	۱	۱	۱
$W_{\delta u}$	۱	۱	۱
سطح موجودی اولیه	۵۰۰	۳۰۰	۲۰۰



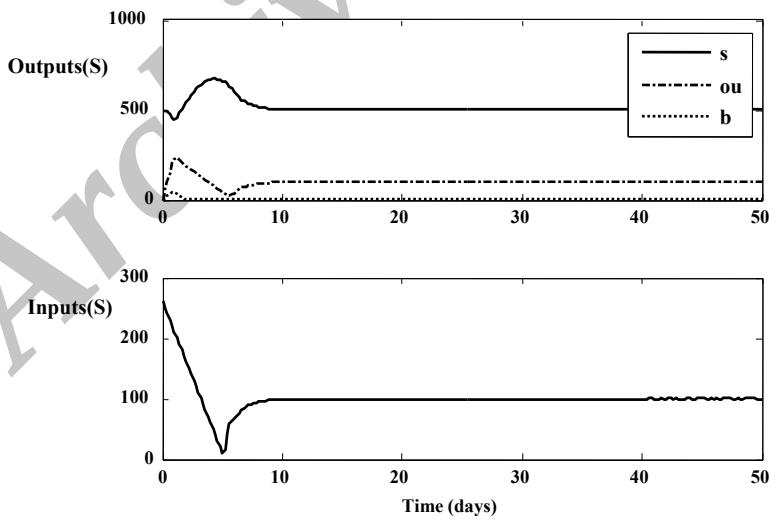
شکل ۲- پاسخ پویای زیرسیستم خرده‌فروشی با استفاده از کنترل پیش‌بین محلی تحت نرخ تقاضای ثابت ۱۰۰ واحد کالا در روز

Archive of SID

www.SID.ir



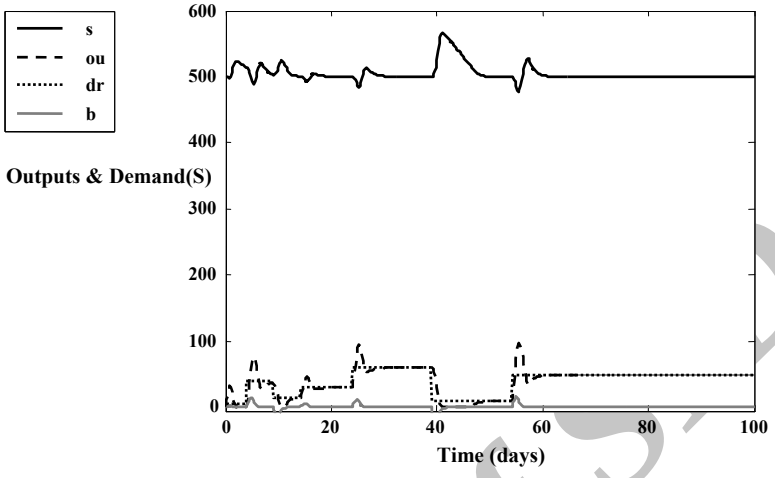
شکل ۳- پاسخ پویای زیرسیستم تولید با استفاده از کنترل پیش‌بین محلی تحت نرخ تقاضای ثابت ۱۰۰ واحد کالا در روز



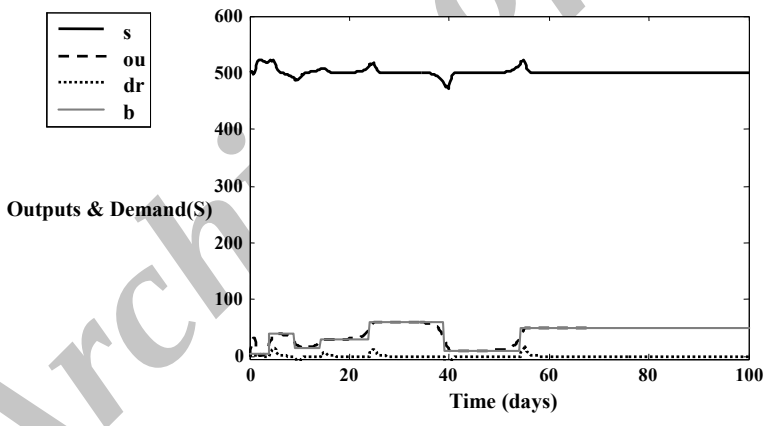
شکل ٤- پاسخ پویای زیرسیستم تأمین با استفاده از کنترل پیش‌بین محلی تحت نرخ تقاضای ثابت ۱۰۰ واحد کالا در روز

Archive of SID

www.SID.ir



(الف)

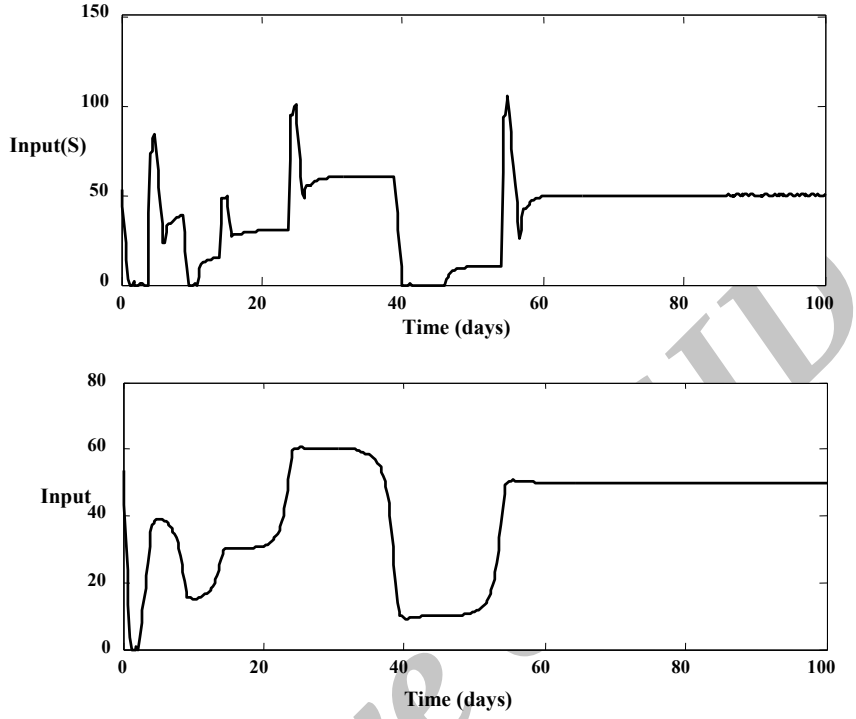


(ب)

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)

Archive of SID

www.SID.ir



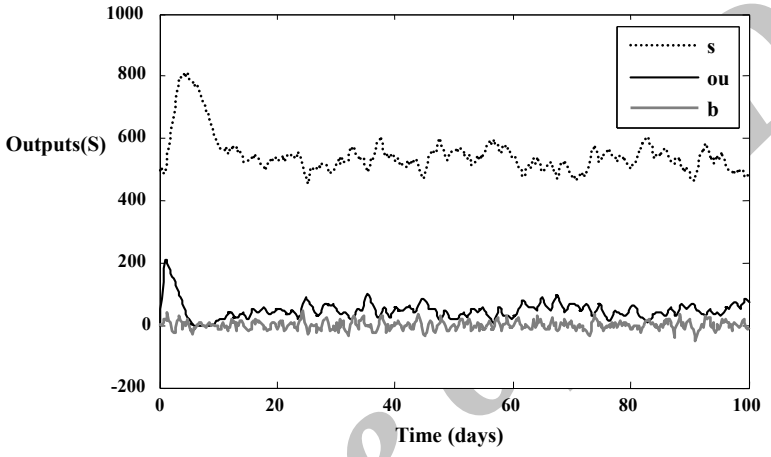
شکل ۶- اثر نگاه روبه جلو روی ورودی‌های سیستم تحت کنترل پیش‌بین در رده تأمین

بررسی اثر نگاه رو به جلو[1] 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 به‌همراه دارد. اثر بهبودبخشی به‌کارگیری 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

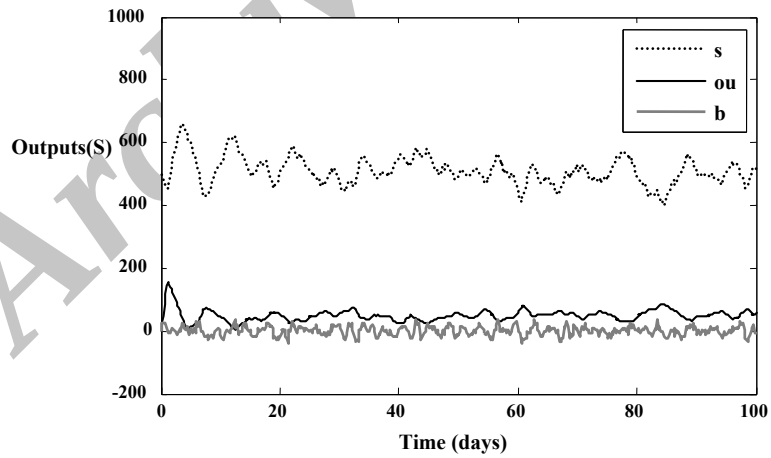
1. Look Ahead.

www.SID.ir

اعمال این اثر نزدیک‌تر می‌شود. کمااینکه میانگین انحراف سفارش برآورده نشده از مقدار مطلوب (تقاضا) در طول افق بدون اثر توقیف حرکت حدود ۰/۴۳۳۶ و با اعمال آن ۰/۲۰۶۶ 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.



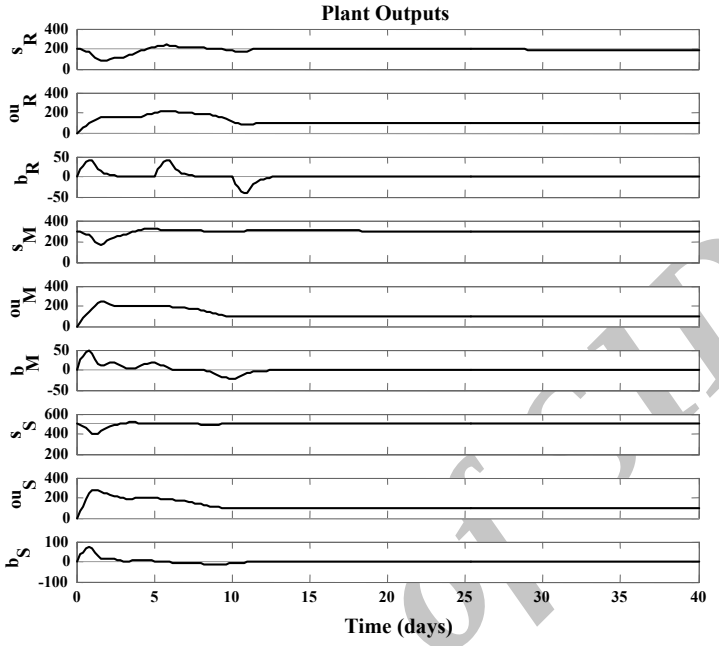
(الف)



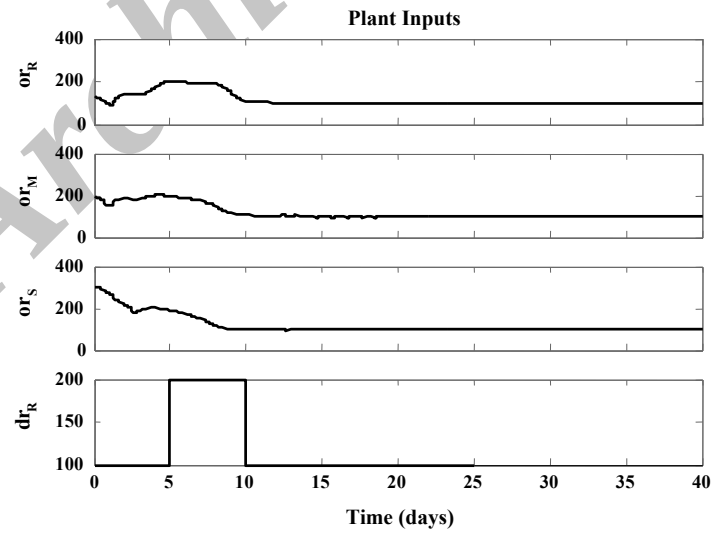
(ب)

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)

www.SID.ir



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

Archive of SID
www.SID.ir

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 هرحال اثرات توقیف حرکت و نگاه روبه جلو با توجه به قابلیت‌های نظری، اثرات بد نوسانات و شلاق چرمی را کاهش می‌دهند.
- گاهی به‌دلیل 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.

Archive of SID

www.SID.ir

- توصیه می‌شود که نامعینی‌های مختلف سیستم درنظرگرفته 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 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.

Archive of SID

www.SID.ir

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.

Archive of SID

www.SID.ir

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., Scokaert, 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.

Archive of SID

www.SID.ir