

هماهنگی در یک زنجیره ی تأمین سه سطحی با محدودیت های مالی

فرانک امتحانی^۱، مرتضی رجب زاده^۱، نسیم نهاوندی^۲، فریماه مخاطب رفیعی^۲
^۱دکتری، دانشکده مهندسی، مرکز آموزش عالی محلات، محلات، ایران.
^۲دانشیار، دانشکده مهندسی صنایع و سیستم ها، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

چکیده

هماهنگی در زنجیره ی تأمین به عنوان ابزاری برای حفظ مزیت رقابتی و افزایش سودآوری شرکت ها به طور وسیعی مورد استفاده قرار گرفته است. با این حال، این راه حل نیز تا زمانی که مشکلات مالی شرکت ها در هنگام برنامه ریزی عملیاتی نادیده گرفته شوند ممکن است با شکست مواجه شود. برای حل این مشکل، در این پژوهش یک ساز و کار هماهنگی برای یک زنجیره ی تأمین سه سطحی با استفاده از تأمین مالی داخلی در شرایط وجود محدودیت های مالی توسعه داده شده است. این مسأله به صورت یک مسأله ی برنامه ریزی دوهدفه که همزمان هزینه های کل سیستم اعم از عملیاتی و مالی و سطح سرویس را بهینه می کند، مدل شده است. مدل پیشنهادی توسط روش ϵ -constraint حل شده است. نتایج حل مدل حاکی از آن است که ساز و کار هماهنگی پیشنهادی قادر به برقراری سطح سرویس کامل (۱۰۰٪) به مشتری نهایی می باشد، در حالی که در حالت غیر هماهنگ دستیابی به بیشتر از ۵۰٪ سطح سرویس غیر ممکن است. علاوه بر آن، هزینه های عملیاتی و مالی زنجیره ی تأمین مذکور با اعمال هماهنگی کاهش می یابند.

کلمات کلیدی: هماهنگی زنجیره ی تأمین، محدودیت مالی، اعتبار تجاری، پیش پرداخت، بهینه سازی دو هدفه.

Coordinating a Three-level Supply Chain with Financial Constraints

Faranak Emtehani^{*1}, Morteza Rajabzadeh¹, Nasim Nahavandi², Farimah Mokhtab Rafiei²

¹Faculty of Engineering, Mahallat Institute of Higher Education, Mahallat, Iran.

²Faculty of Industrial and Systems Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

Abstract

Supply chain coordination is extensively used as an effective tool for firms to stay competitive and improve their profitability. However, this solution may fail if the financial problems of the firms are ignored in the operations. To solve this challenge, we have proposed a coordination scheme using internal financing for a three-level supply chain facing some financial constraints. This case is modeled as a bi-objective optimization problem that optimizes both system's costs and service level. We have solved the model using ϵ -constraint method. The results show that the proposed coordination scheme can provide full service level (100%) to the customer, while the non-coordinated system cannot reach more than 50% of the service level. Furthermore, the system's operational and financial costs are reduced by coordination.

Keywords: Supply chain coordination, financial constraint, trade credit, advanced payment, bi-objective optimization.

تاریخچه مقاله:

تاریخ ارسال: ۱۴۰۰/۱۲/۲۸

تاریخ اصلاحات: ۱۴۰۱/۰۱/۱۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۴/۱۷

تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۰۵/۱۱

Keywords:

Supply chain coordination, financial constraint, trade credit, advanced payment, bi-objective optimization

*ایمیل نویسنده مسئول:

Faranak.emtehani@yahoo.com

۱ - مقدمه

در زنجیره تأمین با ساختار غیر متمرکز، هر یک از اعضای زنجیره، مستقل از یکدیگر و به صورت جداگانه تصمیم‌گیری می‌کنند. در این ساختار هر یک از اعضای زنجیره تأمین به دنبال منافع خویش بوده و به طور مستقل اهداف خویش را بهینه می‌کند که این امر معمولاً منجر به تضاد منافع بین اعضای زنجیره می‌شود. علاوه بر این، تصمیماتی که هر یک از اعضای زنجیره اتخاذ می‌کنند، دارای تأثیرات مستقیم و غیر مستقیم بر سایر اعضای زنجیره می‌باشد. از این رو، یک تصمیم که برای یک عضو زنجیره، بهینه است، ممکن است منجر به هزینه‌های بسیاری برای سایر اعضای زنجیره شود و در این صورت، ناکارایی در فرایند تأمین، تولید، توزیع و تحویل کالا به مشتری به وجود می‌آید و به تبع آن، زنجیره با کاهش عملکرد و سطح خدمت به مشتریان مواجه می‌گردد. این در حالی است که زنجیره تأمین با ساختار متمرکز، یک تصمیم‌گیرنده اصلی داشته و لذا تصمیم‌گیری به صورت متمرکز انجام می‌گیرد. در این ساختار، اهداف و منافع به نحوی تعیین می‌شوند که سودآوری کل زنجیره افزایش یابد.

مدیریت زنجیره تأمین در جهت ایجاد توازن بین عرضه و تقاضا از طریق هماهنگی مؤثر بین جریان‌های مواد، اطلاعات و مالی در تلاش است. هنگامی که بازار مالی، کارآمد است، به عبارت دیگر زمانی که سرمایه‌گذاری خارجی، بسیار زیاد می‌باشد و محدودیت سرمایه وجود ندارد، تصمیمات مالی ممکن است در تصمیمات لجستیک نادیده گرفته شود و این دو نوع تصمیم، مستقل از هم اتخاذ شوند [۱]. در این حالت، فرض می‌شود که شریک پایین دستی، هزینه مواد خریداری شده از بالادستی را به محض خرید پرداخت می‌کند. بنابراین جریان مالی، به عنوان یک خروجی تصمیمات لجستیک می‌باشد. اما در دنیای واقعی، همواره محدودیت‌های بودجه و سرمایه، وجود دارند و این محدودیت‌ها بر تصمیمات عملیاتی شرکت و به دنبال آن زنجیره تأمین، اثرگذارند. بنابراین برای داشتن یک زنجیره تأمین کارا تر و باثبات تر، هماهنگی بین مباحث مالی و عملیاتی در زنجیره، امری ضروری به نظر می‌رسد. عملیات مالی، مکمل جریان فیزیکی محصولات است و تأمین مالی عملیات لجستیک را تضمین می‌کند.

با توجه به آنچه که در مورد ضرورت هماهنگی اعضا در سیستم غیر متمرکز و همچنین یکپارچه سازی جریان‌های فیزیکی و مالی در زنجیره‌ی تأمین ذکر شد و همچنین با در نظر گرفتن این امر که محدودیت‌های سرمایه و نیاز به تأمین مالی گریبانگیر اکثر شرکت‌ها می‌باشد، بنابراین اهمیت پرداختن به این موضوع، امری بسیار واضح می‌باشد. در این پژوهش یک ساز و کار هماهنگی برای یک زنجیره‌ی

تأمین سه سطحی با استفاده از تأمین مالی داخلی در شرایط وجود محدودیت‌های مالی توسعه داده شده است.

۲- پیشینه‌ی پژوهش

در نظر گرفتن مسائل مالی در تصمیمات عملیاتی، اخیراً مورد توجه محققان، در زمینه تحقیق در عملیات و مدیریت زنجیره‌ی تأمین قرار گرفته است. بابیچ و کولیس [۲] مطالعات موجود در زمینه تعامل تصمیمات مالی و عملیاتی و همچنین مدیریت ریسک را مرور و بررسی کرده اند و شکاف‌ها و زمینه‌های تحقیقاتی بالقوه در این حوزه را شناسایی کرده‌اند. هماهنگی زنجیره‌ی تأمین با لحاظ کردن محدودیت‌های مالی، یک حوزه مطالعاتی جدید است که علیرغم اهمیت آن، تعداد کمی از مطالعات به آن پرداخته‌اند.

جابر و عثمان [۳] یک مدل ریاضی را برای هماهنگی تصمیمات موجودی در یک زنجیره تأمین دو سطحی، شامل یک تأمین‌کننده و یک خرده فروش با اعتبار تجاری (تأخیر مجاز در پرداخت‌ها) توسعه داده اند. دادا و هو [۴] یک برنامه زمانبندی غیرخطی را برای هماهنگ کردن بانک و یک خرده فروش (در قالب مسأله روزنامه فروش) طراحی کردند. لی، نا و همکاران [۵] یک مدل زنجیره تأمین دوسطحی را با تأخیر در پرداخت‌ها (اعتبار تجاری) و سیاست تأمین مالی از طریق گروه‌گذاری موجودی، به منظور هماهنگ کردن یکپارچه جریان مواد و جریان سرمایه و حداقل کردن هزینه کل زنجیره تأمین را پیشنهاد کرده‌اند. لی و ری [۶] مکانیسم‌های هماهنگی در زنجیره‌ی تأمین را با لحاظ کردن هزینه‌های مثبت تأمین مالی در قالب چهار قرارداد تخفیف مقداری، خرید اقلام بازگشتی، تعرفه دوبخشی و تسهیم درآمد را بررسی کرده‌اند. چن و وانگ [۸] تعاملات بین یک خرده فروش با محدودیت سرمایه و تأمین‌کننده‌اش را به عنوان یک سیستم تأمین مالی زنجیره‌ی تأمین، مدل کرده‌اند. موسوی و همکاران [۹] یک زنجیره تأمین سه سطحی متشکل از یک تأمین‌کننده با محدودیت بودجه، یک خرده‌فروش و یک واسط مالی (بانک) را در نظر گرفته اند که تصمیمات خود را از طریق تأخیر در پرداخت‌ها و تخفیف بر نرخ وام، هماهنگ و یکپارچه می‌کنند. کوولیس و ژائو [۱۰] به بررسی و تحلیل دو قرارداد هماهنگ کننده‌ی تسهیم درآمد و خرید اقلام بازگشتی در حضور محدودیت سرمایه و ریسک نکول پرداختند. یان و همکاران [۱۱] یک قرارداد ضمانت اعتبار جزئی را برای تأمین مالی زنجیره‌ی تأمین، پیشنهاد دادند و شرایط برقراری هماهنگی توسط این قرارداد را بررسی کرده‌اند. خیا و همکاران [۱۲] یک قرارداد تسهیم درآمد تعمیم یافته را برای زنجیره‌ی تأمین با مشکلات بودجه طراحی کرده‌اند. ابراهیمی و همکاران [۱۳] از یک قرارداد تأخیر در

همزمان تصمیم‌های عملیاتی و مالی سیستم، شامل مقادیر و زمان سفارش و تولید قطعات و محصولات در زنجیره‌ی تأمین، زمان پرداخت به تأمین‌کنندگان و تصمیم‌های مربوط به تأمین مالی و سرمایه‌گذاری، مربوط به تولیدکننده‌ی محصولات واسطه می‌باشد. اندیس‌ها، پارامترهای به کار رفته در مدل به صورت جدول ۱ می‌باشد:

(جدول ۱-): شرح اندیس‌ها و پارامترهای به کار رفته در مدل

شرح اندیس	اندیس
اندیس مربوط به قطعات و مواد اولیه مورد نیاز در سطح دوم که از تأمین‌کنندگان خریداری می‌شوند. (فرض بر این است که هر تأمین‌کننده فقط یکی از قطعات را تأمین می‌کند بنابراین k اندیس مربوط به تأمین‌کنندگان نیز می‌باشد. ($k=1, 2, \dots, K$))	k
اندیس مربوط به محصولات تولیدی در سطح دوم ($n=1, 2, \dots, N$)	n
اندیس مربوط به محصولات نهایی زنجیره‌ی تأمین ($j=1, 2, \dots, J$)	j
شرح پارامتر	پارامتر
ظرفیت تولید محصول نهایی j توسط تولیدکننده‌ی سطح سوم	P_j
قیمت فروش محصول نهایی j	p_j
هزینه ثابت تولید محصول j	F_j
هزینه متغیر تولید محصول j	v_j
میزان تقاضای محصول n برای سطح سوم	D_n
قیمت فروش محصول تولیدکننده (سطح دوم زنجیره‌ی تأمین)	p_n
میزان تقاضای تولیدکننده برای قطعه k	D_k
هزینه سفارش دهی قطعه k از تأمین‌کنندگان داخلی توسط تولیدکننده در سطح دوم	A_k
هزینه انبارداری قطعه k به ازای هر واحد محصول برای تولیدکننده در سطح دوم	S_k
هزینه فرصت سرمایه درگیر در موجودی به ازای هر قطعه k	h_k
قیمت خرید قطعه k توسط تولیدکننده‌ی محصولات واسطه از تأمین‌کننده k	w_k
هزینه متغیر تولید محصول n	v_n
هزینه ثابت تولید محصول n	F_n
هزینه سفارش دهی قطعه k از تأمین‌کنندگان خارجی توسط تأمین‌کنندگان داخلی	A'_k
هزینه انبارداری قطعه k به ازای هر واحد محصول برای تولیدکننده‌ی محصولات واسطه	S'_k
هزینه خرید یک واحد قطعه k از تأمین‌کننده خارجی	c_k
حداکثر موعد پرداخت فاکتور k	$tmax_k$
حداقل نرخ جذب کننده‌ی بازگشت سرمایه‌ی تولیدکننده‌ی محصولات واسطه	r_m

پرداخت به عنوان یک عامل انگیزشی برای هماهنگ کردن تصمیمات اعضاء در یک زنجیره‌ی تأمین با تقاضای احتمالی و وابسته به تلاش تبلیغاتی استفاده کرده‌اند. دینگ و وان [۱۴] مسأله‌ی هماهنگی در زنجیره‌ی تأمین در حضور محدودیت سرمایه و عدم قطعیت در بازده محصول را مورد مطالعه قرار داده‌اند. شی و همکاران [۱۵] به برقراری هماهنگی در یک سیستم SCF^1 از طریق قرارداد خرید اقلام بازگشتی برای یک مسأله‌ی روزنامه فروش با محدودیت بودجه پرداختند. آن‌ها این مسأله را به صورت یک بازی استکلبرگ سه سطحی مدل کردند که در آن بانک به عنوان رهبر اصلی، تولیدکننده به عنوان رهبر فرعی و خرده فروش به عنوان پیرو، به تصمیم‌گیری می‌پردازند. ژانگ و همکاران [۱۶] به بررسی اثر هماهنگی قرارداد تسهیم درآمد و قرارداد پیش پرداخت در یک زنجیره‌ی تأمین دو سطحی، شامل یک خرده فروش و یک تولیدکننده با محدودیت بودجه پرداختند. آن‌ها دریافتند که قرارداد تسهیم درآمد، اثر هماهنگی بیشتری نسبت به قرارداد پیش پرداخت خرده فروش دارد. محققان دیگری نیز با استفاده از قرارداد اعتبار تجاری و تأمین مالی از طریق وام بانکی به حذف پدیده‌ی حاشیه سازی مضاعف در یک زنجیره‌ی تأمین سبز پرداختند [۱۷].

مطالعات بسیاری در زمینه‌ی هماهنگی زنجیره‌ی تأمین با فرضیات مختلف وجود دارد اما تعداد کمی از این مطالعات، محدودیت‌ها و مشکلات مالی موجود و اثرات مخرب آن را بر هماهنگی زنجیره‌ی تأمین لحاظ کرده‌اند. در نظر گرفتن مسائل مالی در تصمیمات عملیاتی، اخیراً مورد توجه محققان در زمینه تحقیق در عملیات و مدیریت زنجیره‌ی تأمین قرار گرفته است. بنابراین، در این پژوهش یک ساز و کار هماهنگی برای یک زنجیره‌ی تأمین سه سطحی با استفاده از تأمین مالی داخلی در شرایط وجود محدودیت‌های مالی توسعه داده شده است.

۳ - مفروضات و مدل سازی مسأله

در این مسأله یک زنجیره‌ی تأمین تولیدی سه سطحی و چند محصولی در نظر گرفته شده است که شامل چندین تأمین‌کننده مواد اولیه (سطح اول)، یک تولیدکننده محصولات واسطه (سطح دوم) و یک تولیدکننده‌ی محصول نهایی (سطح سوم) می‌باشد. در این زنجیره‌ی تأمین، تولیدکننده با محدودیت بودجه و همچنین محدودیت تأمین مالی از طریق مؤسسات مالی (مانند بانک) مواجه است که این امر، ممکن است منجر به کمبود و فروش از دست رفته و متعاقباً پایین آمدن سطح سرویس شود. تقاضا به صورت قطعی می‌باشد. در این بخش، هدف، طراحی مدلی برای بهینه سازی

¹Supply Chain Finance

$$\sum_k w_k * \left(\sum_n N_{nk} \alpha_n D_n \right) * (1 + \gamma_k)^{(t_k - d_k)^+} + \sum_n (F_n + v_n \alpha_n D_n) + \sum_k s_k \frac{Q_k}{2} \quad (4)$$

$$+ \sum_k A_k \frac{\sum_n N_{nk} \alpha_n D_n}{Q_k} \leq B + Dbt + \beta * \left(\sum_n p_n \alpha_n D_n \right)$$

$$B + Dbt + \sum_n p_n \alpha_n D_n + \sum_k w_k \left(\sum_n N_{nk} \alpha_n D_n \right) ((1 + r_m)^{t_k} - 1) - \sum_n (F_n + v_n \alpha_n D_n) \quad (5)$$

$$- \sum_k w_k * \left(\sum_n N_{nk} \alpha_n D_n \right) * (1 + \gamma_k)^{(t_k - d_k)^+} - Dbt(1 + i)^T \geq 0$$

$$Q_k \geq 0, \quad 0 \leq \alpha_n \leq 1, \quad \lambda_k \in N, \quad Dbt \geq 0,$$

$$0 \leq t_k \leq tmax_k, \quad 0 \leq \beta \leq 1, \quad 0 \leq d_k \leq tmax_k$$

که در آن TAC_m^c , $TAC_{S_k}^c$ و TAC_C^c به ترتیب معادل مجموع هزینه‌های عملیاتی و مالی تولیدکننده‌ی سطح دوم، تأمین‌کنندگان و تولیدکننده‌ی محصولات نهایی در سطح سوم می‌باشد که به صورت زیر مدل شده‌اند:

$$TAC_m^c = \sum_k A_k \frac{\sum_n N_{nk} \alpha_n D_n}{Q_k} + \sum_k s_k \frac{Q_k}{2} + \sum_k H(k) \frac{\sum_n N_{nk} \alpha_n D_n}{Q_k} + \sum_n (F_n + v_n \alpha_n D_n) \quad (6)$$

$$+ \sum_k w_k * \left(\sum_n N_{nk} \alpha_n D_n \right) + Dbt((1 + i)^T - 1) - \sum_k w_k * \left(\sum_n N_{nk} \alpha_n D_n \right) * [(1 + r_m)^{t_k} - (1 + \gamma_k)^{(t_k - d_k)^+}]$$

حداقل نرخ جذب کننده‌ی بازگشت سرمایه‌ی تولیدکننده‌ی محصولات نهایی (سطح سوم)	r_j
حداقل نرخ جذب کننده‌ی بازگشت سرمایه‌ی تأمین کننده‌ی k	r_k
هزینه جریمه دیرکرد بابت پرداخت فاکتور صادره توسط تأمین کننده k ام	γ_k
نرخ بهره‌ی وام کوتاه مدت	i
تعداد مواد و قطعات k به کار رفته در ساخت یک واحد محصول n	N_{nk}
تعداد قطعه اصلی n به کار رفته در ساخت یک واحد محصول j	m_{jn}
بودجه در ابتدای دوره	B
حد پایین پول نقد موجود برای تولید کننده‌ی سطح دوم (تصمیم مدیریت)	L
حداکثر مقدار مجاز تأمین مالی خارجی برای تولیدکننده‌ی سطح دوم	ML

در این بخش با توجه به مشکلات و محدودیت‌های موجود در تأمین مالی خارجی و پایین بودن سطح سرویس در زنجیره‌ی تأمین مدنظر، یک مدل هماهنگی، طراحی و پیشنهاد شده است که نه تنها اعضای زنجیره‌ی تأمین را هماهنگ می‌کند، بلکه به یکپارچگی تصمیمات عملیاتی و مالی زنجیره‌ی تأمین در تمامی سطوح نیز می‌پردازد. ساز و کار هماهنگی طراحی شده به این صورت است که تأمین کنندگان به تولیدکننده‌ی محصولات واسطه، اعتبار تجاری اعطا می‌کنند که به موجب آن، وی پرداخت‌های خود را تا مدت مجازی (d_k) بدون تعلق گرفتن بهره، به تعویق می‌اندازد. این قرارداد، تولیدکننده را ترغیب می‌کند تا مقادیر سفارش خود را افزایش دهد. همچنین تولیدکننده‌ی محصولات نهایی (سطح سوم) درصدی از هزینه‌ی مربوط به خرید محصولات را در ابتدای دوره به تولیدکننده‌ی محصولات واسطه (سطح دوم) پرداخت می‌کند. بر این اساس، مسأله‌ی هماهنگی به صورت یک مدل بهینه‌سازی دو هدفه با اهداف حداقل سازی مجموع هزینه‌های سالیانه‌ی عملیاتی و مالی اعضای زنجیره‌ی تأمین (بر مبنای مدل EOQ) و حداکثرسازی سطح سرویس به مشتری نهایی به صورت زیر مدل‌سازی شده است:

$$\min TAC_{SC}^c = TAC_m^c + \sum_k TAC_{S_k}^c + TAC_C^c \quad (1)$$

$$\max SL = \sum_n \alpha_n D_n \quad (2)$$

Subject to:

$$Dbt \leq ML \quad (3)$$

۴- نتایج محاسباتی و تحلیل آن

در این بخش، مدل توسعه داده شده با استفاده از داده‌های استخراج شده از آرشیو یک شرکت سازنده قطعات اصلی خودرو با استفاده از نرم افزار Gams، حل شده و به مقایسه‌ی نتایج حاصله با حالت غیر هماهنگ مسأله، پرداخته شده است. این زنجیره‌ی تأمین شامل ۱۰ تأمین‌کننده‌ی قطعات استراتژیک (سطح اول زنجیره) برای تولیدکننده‌ی قطعات اصلی، یک تولیدکننده‌ی قطعات اصلی خودرو (سطح دوم) که سه نوع محصول واسطه تولید می‌کند و یک شرکت خودروسازی (سطح سوم) با دو محصول نهایی می‌باشد. در این مثال بودجه‌ی اولیه و حد پایین پول نقد موجود در شرکت تولیدکننده‌ی قطعات واسطه برابر با صفر در نظر گرفته شده است. لازم به ذکر است که برای حل مدل دو هدفه، از روش ϵ -constraint استفاده شده است. نتایج در جدول ۲ گزارش شده است. این جدول شامل هزینه‌های اعضاء در سطوح مختلف سرویس می‌باشد. C_{chain}^0 و C_{chain} هزینه‌ی کل زنجیره‌ی تأمین در حالت‌های غیر هماهنگ و هماهنگ می‌باشد. همچنین m ، c در جدول، به ترتیب، بیانگر تولیدکننده‌ی محصولات واسطه و تولیدکننده‌ی محصولات نهایی است.

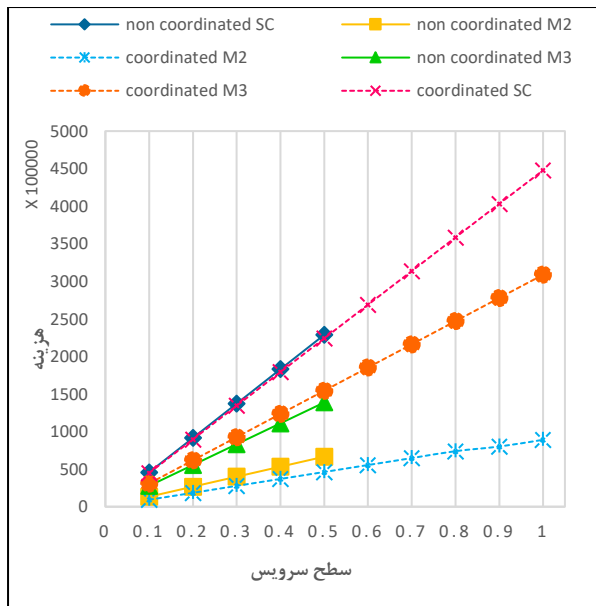
با توجه به جدول ۲-الف در مدل غیر هماهنگ، تولیدکننده قادر به پاسخگویی به بیش از ۵۰ درصد تقاضای سطح سوم زنجیره نیست. در جدول ۲-الف، مسأله برای مقادیر سطح سرویس بیشتر از ۵۰٪ به دلیل وجود محدودیت ظرفیت تأمین مالی، نشدنی است (ناحیه‌ی رنگی در جدول). این مقادیر با حذف محدودیت ظرفیت تأمین مالی در مدل غیرهماهنگ و حل آن جهت تحلیل نتایج بدست آمده‌اند. جدول ۲-ب نشان می‌دهد که در مدل هماهنگ، علیرغم محدودیت‌های بودجه و تأمین مالی، تمامی تقاضای سطح سوم، توسط سطح دوم زنجیره پاسخ داده می‌شود. از دیگر اثرات هماهنگی بر زنجیره‌ی تأمین مورد نظر، کاهش مجموع هزینه‌های کل سیستم می‌باشد که در جدول مشهود است.

$$\begin{aligned}
 TAC_{S_k}^c &= c_k \left(\sum_n N_{nk} \alpha_n D_n \right) \\
 &+ A'_k \frac{\sum_n N_{nk} \alpha_n D_n}{\lambda_k Q_k} \\
 &+ (s'_k + h'_k) \frac{Q_k (\lambda_k - 1)}{2} \\
 &+ w_k \left(\sum_n N_{nk} \alpha_n D_n \right) [(1 + r_k)^{t_k} \\
 &- (1 + \gamma_k)^{(t_k - d_k)^+}] \\
 TAC_c^c &= \sum_n p_n \alpha_n D_n + \\
 &\beta (\sum_n p_n \alpha_n D_n) \left((1 + r_j)^T - 1 \right)
 \end{aligned} \tag{۷}$$

محدودیت اول (۳) مربوط به ظرفیت محدود تأمین مالی، محدودیت دوم (۴) مربوط به محدودیت سرمایه و محدودیت سوم (۵) مربوط به تعادل پول در آخر دوره می‌باشد. بدین معنا که تفاضل جریان‌های نقدی خروجی از شرکت از جریان‌های نقدی ورودی به شرکت باید بزرگتر یا مساوی صفر باشد.

با توجه به گزینه‌ی اعتبار تجاری به صورت تأخیر مجاز در پرداخت‌ها، هزینه‌ی خرید تولیدکننده به صورت $\sum_k w_k Q_k (1 + \gamma_k)^{(t_k - d_k)^+}$ بیانگر این است که در صورت پرداخت قبل از موعد مجاز، به تولیدکننده جریمه تعلق نمی‌گیرد اما اگر بعد از موعد مجاز پرداخت صورت گیرد، به ازای تعداد روزهای دیرکرد از موعد مقرر (d_k) ، پرداخت، مشمول جریمه خواهد شد. در ازای پرداخت در روز t_k ، تولیدکننده می‌تواند این هزینه را از روز صفر تا t_k سرمایه‌گذاری کرده و سودی معادل $\sum_k w_k Q_k [(1 + r_m)^{t_k} - 1]$ کسب کند. این سود که بیانگر میزان عایدی تولیدکننده از تأخیر در پرداخت‌ها می‌باشد، از تابع هزینه کسر می‌شود. سایر هزینه‌ها، شامل هزینه‌ی سفارش‌دهی و نگهداری موجودی و همچنین بازپرداخت وام می‌باشد.

در رویه‌ی هماهنگی پیشنهادی، اندازه‌ی دوره‌ی تأخیر مجاز (d_k) ، به عنوان یک متغیر تصمیم در زنجیره‌ی تأمین در نظر گرفته شده است که اعضاء باید در مورد آن به توافق برسند. بر اساس ملزومات ساز و کار هماهنگی، تأمین‌کنندگان به ازای هر روز دیرکرد تولیدکننده، متحمل هزینه‌ی فرصت سرمایه می‌شوند که به تابع هزینه‌ی آن‌ها اضافه می‌شود. همچنین تولیدکننده‌ی محصولات نهایی به دلیل پیش پرداخت به تولیدکننده‌ی محصولات واسطه نیز، متحمل هزینه‌ی فرصت شده که در تابع هزینه‌ی وی لحاظ شده است.



(نمودار-۱): مقایسه‌ی هزینه‌های شرکت تولید کننده در سطح دوم (M2)، شرکت تولید کننده در سطح سوم (M3) و زنجیره‌ی تأمین (SC) برای مقادیر مختلف سطح سرویس (α)

جدول ۳ هزینه‌های اعضا را بعد از اعمال تسهیم هزینه نشان می‌دهد. همچنین نمودار ۲ به مقایسه‌ی هزینه‌های اعضا در زنجیره‌ی تأمین هماهنگ قبل و بعد از اعمال تسهیم هزینه پرداخته است.

(جدول-۳): مقادیر تابع هزینه برای زنجیره‌ی تأمین هماهنگ بعد از اعمال رویکرد تسهیم هزینه

α	C_{chain}^0	m	c	مجموعه تأمین کنندگان
۰/۱	۴۴۸۵۷۶۰۰	۱۳۰۷۳۶۶۰	۲۷۱۷۹۶۵۷	۴۲۹۴۱۷۲
۰/۲	۸۹۶۸۴۴۰۰	۲۶۱۱۸۰۹۴	۵۴۳۶۵۷۵۸	۹۲۰۰۴۴۷
۰/۳	۱۳۴۴۷۹۰۰۰	۳۹۱۵۱۶۶۸	۸۱۵۳۵۳۶۸	۱۳۷۹۲۵۰۲
۰/۴	۱۷۹۲۹۳۰۰۰	۵۲۱۹۰۰۵۳	۱۰۸۷۱۷۰۳۵	۱۸۳۸۵۷۵۵
۰/۵	۲۲۴۱۰۲۰۰۰	۴۵۲۸۷۵۹۵	۱۳۵۸۹۸۰۴۶	۲۲۹۷۸۲۰۰
۰/۶	۲۶۸۹۱۰۰۰۰	۵۴۳۳۸۹۱۵	۱۶۳۰۷۸۴۵۱	۲۷۵۷۰۳۱۷
۰/۷	۳۱۳۷۱۸۰۰۰	۹۱۲۹۶۱۳۲	۱۹۰۲۵۹۴۵۱	۳۲۱۶۲۳۱۹
۰/۸	۳۵۸۵۳۵۰۰۰	۱۰۴۳۳۴۵۷۱	۲۱۷۴۴۵۳۱۴	۳۶۷۵۵۰۱۴
۰/۹	۴۰۳۲۹۵۰۰۰	۱۱۷۳۵۷۱۱۸	۲۴۴۵۹۶۰۱۴	۴۱۳۴۱۴۷۵
۱	۴۴۷۷۶۲۰۰۰	۱۳۰۲۸۷۷۵۲	۲۷۱۵۷۵۵۳۶	۴۵۸۹۹۰۰۷

(جدول-۲): الف، مقادیر تابع هزینه برای زنجیره‌ی تأمین غیر هماهنگ

α	C_{chain}^0	m	c	مجموعه تأمین کنندگان
۰/۱	۴۵۷۹۸۹۰۰	۱۳۳۴۸۰۰۰	۲۷۷۵۰۰۰۰	۴۷۰۰۸۷۰
۰/۲	۹۱۵۵۵۵۰۰	۲۶۶۶۳۰۰۰	۵۵۵۰۰۰۰۰	۹۳۹۲۴۰۰
۰/۳	۱۳۷۳۰۷۰۰۰	۳۹۹۷۵۰۰۰	۸۳۲۵۰۰۰۰	۱۴۰۸۲۵۵۰
۰/۴	۱۸۳۰۵۸۰۰۰	۵۳۲۸۶۰۰۰	۱۱۱۰۰۰۰۰۰	۱۸۷۷۱۸۴۰
۰/۵	۲۲۸۸۰۵۰۰۰	۴۶۲۳۸۰۰۰	۱۳۸۷۵۰۰۰۰	۲۳۴۶۰۴۲۰
۰/۶	۲۷۴۵۵۲۰۰۰	۵۵۴۷۹۰۰۰	۱۶۶۵۰۰۰۰۰	۲۸۱۴۸۷۷۰
۰/۷	۳۲۰۲۹۸۰۰۰	۹۳۲۱۱۰۰۰	۱۹۴۲۵۰۰۰۰	۳۲۸۳۶۹۰۰
۰/۸	۳۶۶۰۴۵۰۰۰	۱۰۶۵۲۰۰۰۰	۲۲۲۰۰۰۰۰۰	۳۷۵۲۴۹۰۰
۰/۹	۴۱۱۷۹۳۰۰۰	۱۱۹۸۳۰۰۰۰	۲۴۹۷۵۰۰۰۰	۴۲۲۱۲۶۰۰
۱	۴۵۷۵۳۰۰۰۰	۱۳۳۱۳۰۰۰۰	۲۷۷۵۰۰۰۰۰	۴۶۹۰۰۳۰۰

(جدول-۲): ب، مقادیر تابع هزینه برای زنجیره‌ی تأمین هماهنگ

α	C_{chain}^0	m	c	مجموعه تأمین کنندگان
۰/۱	۴۴۸۵۷۶۰۰	۹۲۶۹۰۰۰	۴۶۹۶۶۰۰	۴۶۹۶۶۰۰
۰/۲	۸۹۶۸۴۴۰۰	۱۸۵۱۵۰۰۰	۶۱۷۸۳۰۰۰	۹۳۸۶۴۱۰
۰/۳	۱۳۴۴۷۹۰۰۰	۲۷۷۵۸۰۰۰	۹۲۴۶۶۰۰۰	۱۴۰۷۵۰۴۰
۰/۴	۱۷۹۲۹۳۰۰۰	۳۷۰۰۰۰۰۰	۱۲۳۵۳۰۰۰۰	۱۸۷۶۳۲۲۰
۰/۵	۲۲۴۱۰۲۰۰۰	۴۶۲۴۱۰۰۰	۱۵۴۴۱۰۰۰۰	۲۳۴۵۰۸۲۰
۰/۶	۲۶۸۹۱۰۰۰۰	۵۵۴۸۲۰۰۰	۱۸۵۲۹۰۰۰۰	۲۸۱۳۸۴۱۰
۰/۷	۳۱۳۷۱۸۰۰۰	۶۴۷۲۲۰۰۰	۲۱۶۱۷۰۰۰۰	۳۲۸۲۵۶۰۰
۰/۸	۳۵۸۵۳۵۰۰۰	۷۳۹۶۲۰۰۰	۲۴۷۰۶۰۰۰۰	۳۷۵۱۲۸۰۰
۰/۹	۴۰۳۲۹۵۰۰۰	۸۰۱۵۲۰۰۰	۲۷۷۹۴۰۰۰۰	۴۵۲۰۳۲۰۰

معمولا در پروسه‌ی برقراری هماهنگی، برخی از اعضا از کاهش هزینه‌ی خود سود می‌برند و برخی دیگر به دلیل افزایش هزینه ضرر می‌کنند. این پدیده در نمودار ۱ کاملا مشهود است. همانطور که در نمودار مشاهده می‌شود هزینه‌ی تولید کننده در سطح دوم با برقراری هماهنگی کاهش چشمگیری داشته است اما هزینه‌های تولید کننده‌ی محصول نهایی پس از هماهنگی افزایش یافته است. بنابراین، جهت انگیزش اعضای که متضرر می‌شوند، یک رویکرد تسهیم هزینه بر اساس مقاله ای از موسوی حیدر و همکارانش [۹] به کار گرفته شده است. با به کارگیری این رویکرد هزینه‌ی تمامی اعضا بعد از تسهیم هزینه، از هزینه‌ی آن‌ها در حالت غیر متمرکز کمتر است. بنابراین تمامی اعضای زنجیره از روش هماهنگی پیشنهادی استقبال خواهند کرد.

تأمین کنندگان و همچنین ریسک نکول برای تولیدکننده در سطح دوم می‌تواند به عنوان چشم انداز توسعه‌ی این پژوهش مطرح شود.

۶- مراجع

[1] F. Modigliani and M. Miller, "The cost of capital, corporation finance and the theory of investment," *JSTOR*, 1958, Accessed: Nov. 28, 2020. [Online]. Available: <https://www.jstor.org/stable/1809766>.

[2] V. Babich and P. Kouvelis, "Introduction to the special issue on research at the interface of finance, operations, and risk management (iFORM): Recent contributions and future directions," *Manufacturing and Service Operations Management*, vol. 20, no. 1. INFORMS Inst. for Operations Res. and the Management Sciences, pp. 1–18, Dec. 01, 2018, doi: 10.1287/msom.2018.0706.

[3] M. Y. Jaber and I. H. Osman, "Coordinating a two-level supply chain with delay in payments and profit sharing," *Comput. Ind. Eng.*, vol. 50, no. 4, pp. 385–400, Aug. 2006, doi: 10.1016/j.cie.2005.08.004.

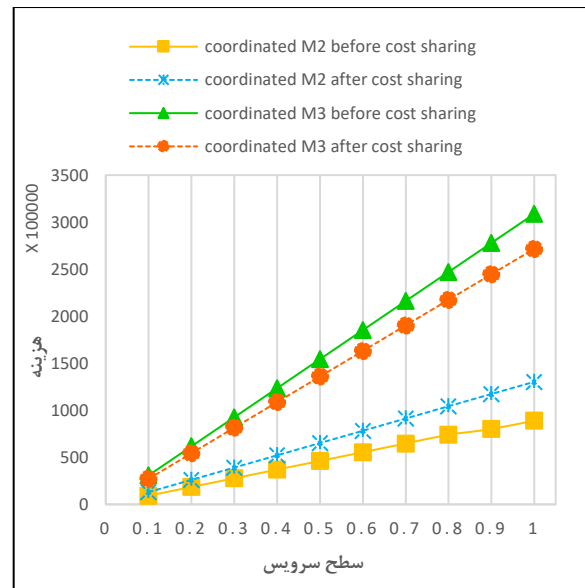
[4] M. Dada and Q. Hu, "Financing newsvendor inventory," *Oper. Res. Lett.*, vol. 36, no. 5, pp. 569–573, 2008, doi: 10.1016/j.orl.2008.06.004.

[5] L. N. Yin and Q. Xu, "Coordinating a supply chain with material flow and capital flow integrated," in *2010 International Conference on Logistics Systems and Intelligent Management, ICLSIM 2010*, 2010, vol. 3, pp. 1271–1274, doi: 10.1109/ICLSIM.2010.5461167.

[6] C. H. Hwan Lee and B. D. Rhee, "Coordination contracts in the presence of positive inventory financing costs," *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 124, no. 2, pp. 331–339, 2010, doi: 10.1016/j.ijpe.2009.11.028.

[7] C. H. Lee and B. D. Rhee, "Trade credit for supply chain coordination," *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 214, no. 1, pp. 136–146, Oct. 2011, doi: 10.1016/j.ejor.2011.04.004.

[8] X. Chen and A. Wang, "Trade credit contract with limited liability in the supply chain with budget constraints," *Ann. Oper. Res.*, vol. 196, no.



(نمودار ۲): مقایسه هزینه‌های شرکت تولید کننده در سطح دوم (M2) و شرکت تولید کننده در سطح سوم (M3) قبل و بعد از اعمال رویکرد تسهیم هزینه در مدل هماهنگ

۵- بحث و نتیجه گیری

در این پژوهش، برای پیشگیری از اختلالات عملیاتی حاصل از مشکلات مالی در زنجیره‌ی تأمین، دو نوع هماهنگی به یک زنجیره‌ی تأمین سه سطحی که با کمبود بودجه مواجه است، اعمال شد: هماهنگی بین اعضای زنجیره‌ی تأمین و همچنین هماهنگی بین جریان‌های مواد و جریان‌های مالی زنجیره تأمین. مدل هماهنگی مسأله، تحت تأمین مالی داخلی از طریق اعتبار تجاری و پیش پرداخت به صورت یک مدل بهینه‌سازی دوهدفه، با اهداف حداقل سازی هزینه و حداکثرسازی سطح سرویس فرموله شد. سپس مدل‌های توسعه داده شده، توسط روش ϵ -constraint و با استفاده از نرم افزار Gams حل شده است و نتایج حاصل تحلیل شد. نتایج، حاکی از آن بود که در حالت غیر هماهنگ، تولیدکننده‌ی محصولات واسطه در سطح دوم قادر به پاسخگویی به حداکثر ۵۰٪ از تقاضای سطح سوم زنجیره‌ی تأمین می‌باشد. این عدم توانایی و خدمت رسانی ضعیف، در حالت غیر هماهنگ، نتیجه‌ی کمبود بودجه و محدودیت در تأمین مالی می‌باشد. اما در مدل هماهنگ، این کاستی، جبران شده و تمامی تقاضای سطح سوم زنجیره‌ی تأمین پاسخ داده می‌شود. علاوه بر این، با اعمال مکانیسم هماهنگی، هزینه‌های کل سیستم کاهش می‌یابد.

در این پژوهش، فرض بر این است که تأمین کنندگان با مشکلات مالی مواجه نیستند، بنابراین، در نظر گرفتن محدودیت سرمایه برای

[17]X. Zhang, G. Xiu, F. Shahzad, and Y. Duan, "Optimal financing strategy in a capital-constrained supply chain with retailer green marketing efforts," *Sustain.*, vol. 13, no. 3, pp. 1–19, Feb. 2021, doi: 10.3390/su13031357.



فرانک امتحانی مدرک کارشناسی خود را در رشته‌ی مهندسی صنایع در سال ۱۳۸۸ از دانشگاه باهنر کرمان، مدرک کارشناسی ارشد خود را در سال ۱۳۹۲ از دانشگاه صنعتی

اصفهان و مدرک دکترا را در سال ۱۴۰۰ از دانشگاه تربیت مدرس تهران اخذ کرده است. ایشان در حال حاضر مدرس دانشگاه می‌باشد. زمینه‌ی پژوهشی مورد علاقه‌ی ایشان عبارتند از: مدیریت زنجیره‌ی تأمین، تأمین مالی زنجیره‌های تأمین، برنامه‌ریزی موجودی، مدل‌سازی ریاضی، روش‌های فراابتکاری و تئوری بازی‌ها می‌باشد.

نشانه رایانامه ایشان عبارتند از:

Faranak.emtehani@yahoo.com



نسیم نهادندی مدرک کارشناسی خود را در رشته‌ی مهندسی صنایع در سال ۱۳۷۲ از دانشگاه صنعتی شریف، مدرک کارشناسی ارشد خود را در سال ۱۳۷۴ از دانشگاه صنعتی امیرکبیر و مدرک دکترا را در سال ۱۳۸۲ از

دانشگاه تربیت مدرس تهران اخذ کرده است. ایشان در حال حاضر عضو هیئت علمی دانشگاه تربیت مدرس می‌باشد. زمینه‌ی پژوهشی مورد علاقه‌ی ایشان عبارتند از: تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه، مدیریت زنجیره‌ی تأمین، مدل‌سازی سیستم دینامیک، شبیه‌سازی سیستم‌ها، مدیریت جریان مواد در سیستم‌های تولیدی و مدیریت ریسک می‌باشد.

نشانه رایانامه ایشان عبارتند از:

n_nahavandi@modares.ac.ir

1, pp. 153–165, 2012, doi: 10.1007/s10479-012-1119-0.

[9]L. Moussawi-Haidar, W. Dbouk, M. Y. Jaber, and I. H. Osman, "Coordinating a three-level supply chain with delay in payments and a discounted interest rate," *Comput. Ind. Eng.*, vol. 69, no. 1, pp. 29–42, Mar. 2014, doi: 10.1016/j.cie.2013.12.007.

[10]P. Kouvelis and W. Zhao, "Supply chain contract design under financial constraints and bankruptcy costs," *Manage. Sci.*, vol. 62, no. 8, pp. 2341–2357, Aug. 2016, doi: 10.1287/mnsc.2015.2248.

[11]N. Yan, B. Sun, H. Zhang, and C. Liu, "A partial credit guarantee contract in a capital-constrained supply chain: Financing equilibrium and coordinating strategy," *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 173, pp. 122–133, Mar. 2016, doi: 10.1016/j.ijpe.2015.12.005.

[12]S. Xiao, S. P. Sethi, M. Liu, and S. Ma, "Coordinating contracts for a financially constrained supply chain," *Omega (United Kingdom)*, vol. 72, pp. 71–86, Oct. 2017, doi: 10.1016/j.omega.2016.11.005.

[13]S. Ebrahimi, S. M. Hosseini-Motlagh, and M. Nematollahi, "Proposing a delay in payment contract for coordinating a two-echelon periodic review supply chain with stochastic promotional effort dependent demand," *Int. J. Mach. Learn. Cybern.*, vol. 10, no. 5, pp. 1037–1050, May 2019, doi: 10.1007/s13042-017-0781-6.

[14] W. Ding and G. Wan, "Financing and coordinating the supply chain with a capital-constrained supplier under yield uncertainty," *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 230, p. 107813, Dec. 2020, doi: 10.1016/j.ijpe.2020.107813.

[15]J. Shi et al., "Coordinating the supply chain finance system with buyback contract: A capital-constrained newsvendor problem," *Comput. Ind. Eng.*, vol. 146, p. 106587, Aug. 2020, doi: 10.1016/j.cie.2020.106587.

[16]C. Zhang, Y. Wang, Y. Liu, and H. Wang, "coordination contracts for a dual-channel supply chain under capital constraints," *J. Ind. Manag. Optim.*, vol. 17, no. 3, pp. 1485–1504, Feb. 2021, doi: 10.3934/jimo.2020031.

روش ارجاع به مقاله: ف. امتحانی، م. رجب زاده، ن. نهاوندی، ف. مخاطب رفیعی. هماهنگی در یک زنجیره تامین سه سطحی با محدودیت های مالی. دو فصلنامه محاسبات و سامانه های توزیع شده. سال پنجم، شماره اول، شماره پیاپی ۹، صفحه ۴۰ تا ۴۸، سال ۱۴۰۱.

How to cite: Faranak Emtchani, Morteza Rajabzadeh, Nasim Nahavandi, Farimah Mokhatab Rafiei. Coordinating a Three-level Supply Chain with Financial Constraints. Journal of Distributed Computing and Systems(JDACS). Vol 5, Issue 1, Page 40-48, 2022.



فریمه مخاطب رفیعی مدرک کارشناسی خود را در رشته ی مهندسی صنایع در سال ۱۳۵۷ از دانشگاه نورث ایسترن آمریکا، اولین مدرک اولین مدرک کارشناسی ارشد خود را در سال ۱۳۵۷ در رشته ی مهندسی مالی از دانشگاه کامنولث آمریکا، دومین مدرک

کارشناسی ارشد خود را در سال ۱۳۶۴ در رشته ی مهندسی صنایع گرایش تحلیل سیستم ها از دانشگاه صنعتی اصفهان و مدرک دکترا را در سال ۱۳۷۷ از دانشگاه تربیت مدرس تهران اخذ کرده است. ایشان در حال حاضر عضو هیئت علمی دانشگاه تربیت مدرس می باشد. زمینه ی پژوهشی مورد علاقه ی ایشان عبارتند از: مدیریت دارایی و مدل سازی برای مدیریت سرمایه گذاری، مدیریت ریسک های مالی و اعتباری، مدیریت مالی بنگاه، مدیریت زنجیره ی تأمین و برنامه ریزی و مدیریت تولید می باشد.

نشانه رایانامه ایشان عبارتند از:

f.mokhatab@modares.ac.ir



مرتضی رجب زاده مدرک کارشناسی خود را در رشته مهندسی صنایع در سال ۱۳۸۱ از دانشگاه شمال مازندران، مدرک کارشناسی ارشد خود را در رشته مهندسی صنایع در سال ۱۳۸۳ از دانشگاه ملی هوافضای خارگف

اوکراین و مدرک دکترا را در رشته مهندسی صنایع در سال ۱۳۹۲ از دانشگاه دولتی سومی اوکراین اخذ کرده است. ایشان در حال حاضر عضو هیئت علمی مرکز آموزش عالی محلات می باشد. زمینه پژوهشی مورد علاقه ایشان عبارتند از: مدیریت کیفیت، مدیریت بهره وری، مدیریت ریسک، استاندارد سازی و سیستم های مدیریت یکپارچه می باشد.

نشانه رایانامه ایشان عبارتند از:

rajabzadeh.m@gmail.com