

ارائه مدل موجودی - زمان بندی در زنجیره تأمین ساخت و ساز

محمد رضا وکیلی^۱، سیامک نوری^۲، سعید یعقوبی^۳

چکیده: یکی از مشکلات مطرح در مدیریت پروژه که سبب اجرائشدن پروژه در زمان مقرر می‌شود، قراردادن به موقع منابع در سایت پروژه است. این مشکل ممکن است از تأخیر زمانی ارسال منابع از تأمین کنندگان و مبادی ذی ربط زنجیره تأمین به سایت پروژه نشئت گیرد. برای مدیریت بهتر منابع و نیز بهبود وضعیت زنجیره تأمین ساخت و ساز، می‌توان با تعیین میزان بهینه سفارش منابع در زنجیره تأمین پروژه، براساس محدودیت‌های پروژه و زمان لازم برای اجرای فعالیت‌های زنجیره تأمین، تأخیر زمانی در تأمین منابع را حل کرد. از این رو، در مقاله حاضر نوعی مدل ریاضی به منظور تعیین میزان بهینه سفارش و زمان فعالیت‌های زنجیره تأمین ارائه می‌شود؛ به طوری که مجموع هزینه نگهداری در سایت پروژه و نیز هزینه زنجیره تأمین به حداقل می‌رسد. ابتدا مدل یاد شده خطی سازی می‌شود و سپس با استفاده از نمونه‌های عددی بررسی و نتایج ارائه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: زمان فعالیت‌های زنجیره تأمین، زنجیره تأمین ساخت و ساز، مدل ریاضی، میزان بهینه سفارش.

۱. کارشناس ارشد مهندسی صنایع، دانشکده صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

۲. دانشیار گروه مدیریت بهره‌وری، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

۳. استادیار گروه مهندسی سیستم، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۴/۰۶/۲۴

تاریخ پذیرش نهایی مقاله: ۱۳۹۴/۱۲/۱۹

نویسنده مسئول مقاله: سعید یعقوبی

E-mail: yaghoubi@iust.ac.ir

مقدمه

هدف اصلی تیم پروژه، اجرای پروژه بر اساس برنامه پیش‌بینی شده برای عوامل هزینه و زمان و کیفیت است. یکی از موانع موجود در راه تیم پروژه، تأمین نشدن منابع در زمان مناسب است. ریشه این مشکل ممکن است در تأخیر زمانی ارسال منابع از تأمین‌کنندگان و مبادی ذی‌ربط زنجیره تأمین به سایت پروژه باشد. می‌توان روش‌های اجرایی در زنجیره تأمین را یکی از دلایل وقوع چنین مشکلی دانست که در مقالات ارائه‌شده با عناوینی چون مدیریت زنجیره تأمین یا یکپارچه‌سازی زنجیره تأمین، به‌دنبال رفع آن هستند. از دلایل دیگر وقوع این مشکل، در نظر نگرفتن شرایط پروژه در برنامه‌ریزی‌های زنجیره تأمین است؛ برای مثال، پروژه باید در اقدامات اجرایی زنجیره تأمین در محدوده زمانی آن بررسی شود. ویژگی اثرگذار دیگر پروژه بر زنجیره تأمین، میزان سفارش منابع در دوره‌های مختلف سفارش است که بر زمان مورد نیاز برای اجرای اقدامات زنجیره تأمین تأثیر می‌گذارد. هنگام تعیین میزان سفارش بهینه منابع برای تأمین در زنجیره تأمین، باید این نکته را در نظر گرفت که میزان سفارش باید پاسخ‌گوی تقاضای پروژه باشد و هزینه نگهداری را افزایش ندهد. دلیل سومی که موجب وقوع مشکل تأمین نشدن به‌موقع منابع می‌شود، نبود روش مناسب برای تعیین زمان اجرای فعالیت‌های زنجیره تأمین است تا براساس آن، زنجیره تأمین برنامه‌ریزی شود.

بر همین اساس، در مقاله حاضر با ارائه مدل موجودی-زمان‌بندی، با هدف کاهش هزینه نگهداری منابع و هزینه زنجیره تأمین یکپارچه، به‌دنبال تعیین میزان سفارش بهینه منابع و زمان لازم برای اجرای اقدامات زنجیره تأمین یکپارچه برای تأمین منابع در محدوده زمانی اجرای پروژه هستیم.

پیشینه پژوهش

نخستین تلاش‌ها برای بهبود وضعیت تأمین منابع پروژه و ایده به‌کارگیری زنجیره تأمین در پروژه‌ها به‌دلیل توسعه نیافتن بهره‌وری و هزینه‌های بالا، به سال ۱۹۸۰ برمی‌گردد. پیشنهاد استفاده از مدیریت زنجیره تأمین با هدف کاهش هزینه‌ها و هماهنگی بهتر میان اعضای زنجیره تأمین را ابراین (۱۹۹۹) ارائه کرد و پس از آن، تحقیق در زمینه زنجیره تأمین ساخت‌وساز در دو دسته کیفی و کمی ادامه یافت. در دسته کیفی، البلوشی و اسکیتومور (۲۰۰۸) در مقاله خود به بررسی وضعیت زنجیره تأمین در پروژه‌های اجرایی امارات پرداختند و به‌منظور بهبود وضعیت پروژه‌ها در این کشور، پیشنهادهایی همچون برنامه‌ریزی صحیح و دقیق منابع، توجه به نیازهای مشتری و انتخاب شریک محلی برای تسهیل در اجرای بهتر پروژه ارائه کردند. کنوکچو (۲۰۱۱)

در رساله دکتری خود اشاره می کند که زنجیره تأمین ساخت و ساز در هر پروژه با محصولی منحصربه فرد سروکار دارد و با توجه به پیکر بندی دوباره سازمان در هر پروژه، باید تجربه های کسب شده از پروژه های قبلی جمع شود تا در پروژه های آینده به بهترین شکل استفاده شوند. آلوئینی، دالمین، مینینو و پونتیسلی (۲۰۱۲) در پژوهشی دیگر، چارچوبی به منظور پشتیبانی مؤثرتر و اجرای مناسب SCM^۱ در پروژه های ساخت و ساز ارائه کردند که در آن سهم پارامترها و عناصر مدیریتی نسبت به سایر مدل های مشابه بیشتر است. اریکسن (۲۰۱۵) نیز در همین زمینه به بررسی عوامل مؤثر در یکپارچه سازی همچون محدوده، زمان، عمق و میزان یکپارچه سازی می پردازد و تأکید می کند که در بررسی این موارد، باید ویژگی های پروژه مانند محدوده زمانی پروژه در نظر گرفته شود. منگ (۲۰۱۰) برای ارزیابی یکپارچگی زنجیره تأمین ۱۰ معیار را معرفی کرد و با استفاده از آنها در مطالعه موردی، سطح زنجیره تأمین را براساس هریک از معیارها تعیین کرد. در سال بعد، وی به معرفی هشت معیار پرداخت و برای هریک از معیارها چهار سطح کیفی تعریف کرد تا مشخص شود بعد از ارزیابی یکپارچگی زنجیره تأمین، جایگاه زنجیره تأمین براساس هریک از معیارها در چه سطحی قرار می گیرد (منگ، سان و جونز، ۲۰۱۱). در سال ۲۰۱۲ در مقاله ای دیگر، برای تعیین اهمیت معیارهای یکپارچگی به نظر سنجی پرداخت و نتیجه گرفت که از میان معیارهای تعریف شده، ارتباط میان اعضا مهم ترین عامل است (منگ، ۲۰۱۲). در زمینه بهبود یکپارچه سازی تسرنگ، زنگ، لین و لین (۲۰۰۵) پیشنهاد کردند که می توان از روش مدیریت زنجیره تأمین بسیار برای بهبود روش جمع آوری و اشتراک گذاری اطلاعات استفاده کرد. ژو، سان، وانگ و شن (۲۰۰۷) نیز به منظور بهبود یکپارچگی زنجیره تأمین پیشنهاد استفاده از محور^۲ اطلاعاتی برای اشتراک گذاری اطلاعات را ارائه کردند. در همین رابطه، هو (۲۰۰۸) پیشنهاد انتقال اطلاعات از طریق اینترنت با هدف صرفه جویی در زمان و هزینه ها و ترکیب روش های موجود در زنجیره تأمین تولید با ویژگی های پروژه به منظور استفاده در زنجیره تأمین ساخت و ساز را ارائه کرد. شین، چین، یون و وون (۲۰۱۱) در زمینه بهبود زنجیره تأمین ساخت و ساز، به بهره مندی از فرکانس رادیویی و شبکه حساس وایرلس برای جمع آوری اطلاعات و استفاده از اینترنت برای به اشتراک گذاری اطلاعات، اشاره کردند. در همین رابطه، چن (۲۰۱۲) مدلی با تکیه بر بحث مدیریت ناب (LM)^۳ و براساس تفکر «۷- صفر» ارائه کرد و ضمن اشاره به هزینه های گزاف یکپارچه سازی، ادعا دارد که مدل ارائه شده می تواند این هزینه را به شکل شایان توجهی کاهش دهد. کومار و ویزواندهام (۲۰۰۷) پیشنهاد می کنند که با تعیین خطرهای

1. Supply Chain Management

2. Hub

3. Lean Management

احتمالی و اولویت‌بندی آنها، می‌توان وضعیت زنجیره تأمین را بهبود بخشید. آلوئینی و همکارانش (۲۰۱۲a) در مقاله‌ای، به‌خلاف مدیریت ریسک در زنجیره تأمین ساخت‌وساز اشاره کردند و با در نظر گرفتن هشت چشم‌انداز کلیدی برای ارزیابی ریسک، به تحلیل مدیریت ریسک پرداختند و در نهایت، استفاده از این ارزیابی را در فاز برنامه‌ریزی پروژه و انتخاب مناسب پیمانکاران برای کاهش ریسک را پیشنهاد دادند. محمدی، مصلح شیرازی، احمدی و شجاعی (۱۳۹۳) نیز مدلی سلسله‌مراتبی به‌منظور کاهش ریسک‌های زنجیره تأمین پروژه، بدون بررسی مسئله زمان اجرای فعالیت‌های زنجیره تأمین ارائه کردند.

یکی دیگر از موضوعات مهم در زنجیره تأمین، مبحث محیط زیست است که در این زمینه، آدتونجی، پریس و فلمینگ (۲۰۰۸) مدلی را با عنوان «ساخت‌وساز باثبات» ارائه دادند و در این مدل، مباحثی همچون تأثیرات زیست‌محیطی و عوامل اجتماعی را در کنار بحث زنجیره تأمین ساخت‌وساز بررسی کردند و در انتها، مزیت مدل ارائه‌شده را نسبت به زنجیره تأمین سبز برشمردند. در زمینه زنجیره تأمین سبز ساخت‌وساز، گانگولس، کاسالس، فورکادا، روکا و فورترس (۲۰۰۹) رویکرد سیستماتیکی را به‌منظور شناسایی و کاهش آثار مخرب زیست‌محیطی ارائه دادند و تأکید کردند که به‌منظور جدی‌گرفتن مسائل زیست‌محیطی باید قوانین مشخصی برای پیمانکاران پروژه وضع شود. تستا و ایرالدو (۲۰۱۰) اثر اجرای مدیریت زنجیره تأمین سبز در پروژه‌های ساخت‌وساز را در هفت کشور با وضعیت مختلف زیست‌محیطی بررسی کردند. دست‌آورد این تحقیق، کاهش هزینه‌های واردشده به محیط زیست از قبیل آلودگی‌های آب، خاک و... و کاهش هزینه عوارض پرداختی به دولت به موجب ایجاد آلودگی بود.

وو و یگل (۲۰۱۱) راهکارهایی برای سازمان‌های پروژه‌محور به‌منظور ایجاد تعادل میان سودآوری کوتاه‌مدت و پایداری بلندمدت محیط زیست ارائه کردند و گفتند که این راهکار می‌تواند به تصمیمات زنجیره تأمین در شرایط عدم قطعیت نیز کمک کند. در کنار مطالعات کیفی که بخش اصلی حوزه زنجیره تأمین ساخت‌وساز را به خود اختصاص داده‌اند، مطالعات کمی نیز در این زمینه انجام شده است (ابراهیمی، ابوریزک، فرناندو و یاسر، ۲۰۱۱). در این دسته از تحقیقات، برخی با فرض شراکت زنجیره تأمین با مجری پروژه، موضوعات را بین مجری و مشتری پروژه بررسی کرده‌اند. در این زمینه، وانگ، یو و ژو (۲۰۰۷) روشی ارائه کردند که با استفاده از آن در مزایده، مجری پروژه تعیین می‌شود. ون دونسلار، کوپزاک و وترز (۲۰۰۱) مقاله‌ای را با هدف تعیین سطح موجودی یک کارخانه تأمین‌کننده منابع پروژه کوچک و بزرگ براساس میزان اطلاعات دریافتی از پروژه‌ها ارائه کردند. علاوه‌بر این، تسرنگ و همکارانش (۲۰۰۶) نیز مدلی ریاضی با هدف کاهش هزینه‌های نگهداری منابع در کارخانه‌ها و پروژه‌ها،

میزان سفارش بهینه را بدون در نظر گرفتن هزینه های زنجیره تأمین، زمان اجرای فعالیت های زنجیره تأمین و زمان بندی پروژه ها ارائه کردند.

ژو، وانگ، شن و یو (۲۰۰۷) نوعی مدل برنامه ریزی دوسطحی ارائه کردند که در آن با در نظر گرفتن یک تابع هدف غیرخطی سود، مدت اجرای پروژه و زمانی را که هر یک از اعضای زنجیره تأمین با پروژه درگیر است، بدون تعیین میزان سفارش، زمان بندی پروژه و زمان اجرای هر یک از فعالیت های داخل زنجیره تأمین تعیین می کرد. جیان هوا و وان (۲۰۱۰) مدلی دوسطحی را بدون در نظر گرفتن شرایط زنجیره تأمین و زمان اجرای فعالیت ها در زنجیره تأمین ارائه کردند تا بتوانند منافع مجری و مشتری پروژه را حداکثر کنند. چن (۲۰۱۱) با استفاده از اطلاعات جمع آوری شده از ۱۶۳۸ منبع، رابطه ای خطی میان عوامل نشان دهنده جریان مالی زنجیره تأمین و عملکرد مالی پروژه ارائه کرد. ژو و پاگل (۲۰۱۱) نیز با بهره مندی از اهمیت به اشتراک گذاری اطلاعات در سیاست های مختلف موجودی، آنالیز هزینه و سطح خدمت، ادعا کردند که سیاست مناسب موجودی، (S,S) است. ژو، چن و وانگ (۲۰۱۳) مدلی برای کمینه سازی هزینه های زنجیره تأمین به خصوص هزینه زیست محیطی ارائه کردند. جاسکوسکی، سوبوتکا و زارنیگوسکا (۲۰۱۴) یک مدل ریاضی با هدف کاهش هزینه های حمل و نقل از تأمین کننده به انبار و حمل از انبار به محل اجرای پروژه ها و هزینه های نگهداری منابع در انبارها ارائه کردند که در آن میزان منبع انتقالی از تأمین کننده به انبارهای تعبیه شده، بدون مشخص کردن زمان اجرای فعالیت های زنجیره تأمین و در نظر گرفتن موجودی پروژه تعیین می شد. در جدول ۱ مقالات به دو گروه کیفی و کمی دسته بندی شده است و جدول ۲، نقد مقالات مدل سازی ریاضی را نمایش می دهد.

از مجموعه مطالب اشاره شده در قسمت پیشینه پژوهش می توان به موارد زیر اشاره کرد:

- مقالات ارائه شده در زمینه زنجیره تأمین اغلب کیفی هستند؛
- براساس مشکل تأخیر در تأمین منابع، مدلی ارائه نشده است که بتواند فعالیت های مختلف زنجیره تأمین را زمان بندی کند؛
- یکی از راهکارهای پیشنهاد شده برای زنجیره تأمین ساخت و ساز، انتخاب روش یا مدل از زنجیره تأمین تولید و منظور کردن ویژگی های پروژه براساس شرایط است. براساس موارد اشاره شده، به منظور ارائه نوعی مدل ریاضی برای زمان بندی فعالیت های زنجیره تأمین ساخت و ساز، از راهکار ترکیب روش های زنجیره تأمین تولید با ویژگی های پروژه استفاده شده است.

جدول ۱. خلاصه مقالات

نویسندگان	یکپارچه‌سازی اجرای	یکپارچه‌سازی ارزبابی	یکپارچه‌سازی بهبود	مدیریت ریسک سبز	زنجیره تأمین زنجیره تأمین	موجودی پروژه و زنجیره تأمین	سایر	کمی
ابراین (۱۹۹۹)	✓							
ون دونسلار و همکاران (۲۰۰۱)						✓		✓
تسرنگ و همکاران (۲۰۰۵)			✓					
تسرنگ و همکاران (۲۰۰۶)						✓		✓
ژو و همکاران (۲۰۰۷a)			✓					
ژو و همکاران (۲۰۰۷b)							✓	✓
وانگ و همکاران (۲۰۰۷)							✓	✓
کومار و ویزواندهام (۲۰۰۷)				✓				
هو (۲۰۰۸)			✓					
البوشی و اسکیتور (۲۰۰۸)	✓							
آدونجی و همکاران (۲۰۰۸)					✓			
گانگولس و همکاران (۲۰۰۹)					✓			
تستا و ایرالدو (۲۰۱۰)					✓			
جیان هوا و وان (۲۰۱۰)							✓	✓
منگ (۲۰۱۰)		✓						
چن (۲۰۱۱)							✓	✓
ژو و همکاران (۲۰۱۱)						✓		✓
وو و پگل (۲۰۱۱)					✓			
شین و همکاران (۲۰۱۱)			✓					
منگ و همکاران (۲۰۱۱)		✓						
کنوکچو (۲۰۱۱)	✓							
منگ (۲۰۱۲)		✓						
چن (۲۰۱۲)			✓					
آوتینی و همکاران (۲۰۱۲a)	✓							
آوتینی و همکاران (۲۰۱۲b)			✓					
الهدلی و مریک (۲۰۱۲)					✓			✓
ژو و همکاران (۲۰۱۳)					✓			✓
جاسکوسکی و همکاران (۲۰۱۴)						✓		✓
اریکسن (۲۰۱۵)	✓							
محمدی و همکاران (۱۳۹۳)				✓				✓

جدول ۲. جزئیات مقالات کمی زنجیره تأمین ساخت و ساز

تابع هدف	تابع هدف						نویسندگان	موضوع بررسی شده
	MAX	MIN	ویژگی های پروژه	چندین دوره سفارش	چندین نوع منبع	محدودیت زمانی پروژه		
	✓		✓			✓		تعیین میزان سفارش
✓						✓		تسریک و همکاران (۲۰۰۶) تعیین زمان همکاری اعضای زنجیره تأمین با پروژه
✓								ژو و همکاران (۲۰۰۷b) موازنه هزینه - زمان پروژه
✓			✓			✓		جیان هوا و وان (۲۰۱۰) حداقل سازی هزینه های زنجیره تأمین به خصوص هزینه های زیست محیطی
	✓		✓			✓		ژو و همکاران (۲۰۱۳) میزان منبع انتقالی میان اعضای زنجیره تأمین
								جاسکوسکی و همکاران (۲۰۱۴)

از مجموعه مقالات ارائه شده در زمینه زنجیره تأمین تولید، می توان به مدل سه هدفه ارائه شده هوشمندی ماهر، امیری و الفت (۱۳۹۳) اشاره کرد که با مجموعه اهداف کمینه سازی هزینه های سفارش، نگهداری و کمبود، کمینه سازی زمان انتظار و بیشینه سازی کیفیت، به دنبال انتخاب تأمین کننده و تعیین میزان محصول ورودی از تأمین کننده ها به کارخانه است. علامه، اسمعیلی و تجویدی (۱۳۹۳) نیز مدلی را برای قیمت گذاری در زنجیره تأمین سبز در شرایط ریسک با رویکرد نظریه بازی ها ارائه کردند. علاوه بر این، فلاح لاجیمی، جعفرنژاد، مهرگان و الفت (۱۳۹۴) نوعی مدل ریاضی ارائه کردند که با هدف بیشینه سازی سود، به دنبال تعیین میزان مواد انتقالی میان اعضا، میزان محصول تولید شده در هر یک از کارخانه ها و... است. الیمام و دودین (۲۰۱۳) نیز مدلی ریاضی با هدف کاهش هزینه های زنجیره تأمین همچون هزینه نگهداری در سطوح مختلف، هزینه تولید و حمل و نقل را به منظور زمان بندی فعالیت های زنجیره تأمین برای تحویل نوعی منبع در یک دوره ارائه کردند.

با مرور پژوهش های یاد شده می توان نتیجه گرفت که مطالعات اندکی به ویژگی های پروژه نظیر چند دوره بودن سفارش، چند منبع بودن پروژه، زمان بندی پروژه و موجودی پروژه در زنجیره تأمین پروژه های ساخت پرداخته است. بنابراین، در این مقاله، بر پایه مدل الیمام و دودین (۲۰۱۳)

در خصوص زنجیره تأمین تولید که زمان بندی فعالیت های زنجیره تأمین را در نظر می گیرد، نوعی مدل ریاضی برای زنجیره تأمین پروژه های ساخت ارائه شده است.

تعریف مسئله و مدل ریاضی موجودی- زمان بندی

هدف اصلی این مقاله ارائه مدلی برای مسئله زنجیره تأمین ساخت و ساز است که شامل تعیین زمان اجرای فعالیت های زنجیره تأمین، تعیین میزان سفارش برای هر یک از منابع مصرفی مورد نیاز پروژه و زمان بندی پروژه است. در این بخش به بیان مسئله و مفروضات و معرفی پارامترها، مجموعه ها، متغیرهای تصمیم و مدل برنامه ریزی ریاضی مسئله پرداخته می شود.

بیان مسئله

به منظور ارائه مدل موجودی- زمان بندی، از راهکار هو (۲۰۰۸) استفاده می شود. در این راهکار، می توان روش ارائه شده در زنجیره تأمین تولید را با ویژگی های پروژه ترکیب کرد و در زنجیره تأمین ساخت و ساز به کار برد. بر همین اساس، مدل ریاضی پیشنهاد شده الیمام و دودین (۲۰۱۳) با ویژگی های پروژه ترکیب شده و مدل موجودی- زمان بندی ارائه می شود. در مدل الیمام و دودین زنجیره تأمین سه سطحی بررسی می شود که در آن، مجموعه ای از فعالیت ها همانند ارسال و دریافت درخواست؛ ارسال وسیله نقلیه، تخلیه بار و تولید انجام می گیرد. مجموعه هزینه های زنجیره تأمین را می توان به هزینه نگهداری، حمل و نقل و تولید دسته بندی کرد. هزینه نگهداری در زنجیره تأمین نیز به دو بخش هزینه نگهداری در زمان حمل و نقل و هزینه نگهداری در زمان انتظار منابع بین پایان یک فعالیت و آغاز فعالیت بعدی، دسته بندی می شود. هزینه تولید زنجیره تأمین، یک تابع خطی پیوسته از زمان تولید است که در آن زمان تولید در محدوده کمترین زمان و بیشترین زمان ممکن برای تولید محصول سفارشی است و بیشترین هزینه ممکن زمانی اتفاق خواهد افتاد که تولید در کمترین زمان صورت گیرد. هزینه حمل و نقل نیز به میزان محصول انتقالی و وسیله نقلیه انتخابی بستگی دارد.

در بررسی موضوع زنجیره تأمین ساخت و ساز باید ویژگی های مربوط به پروژه نیز در نظر گرفته شود. یکی از این ویژگی ها، محدودیت زمانی پروژه است که بر اساس آن مدل موجودی- زمان بندی در محدوده زمانی پروژه بررسی می شود. علاوه بر این، به دلیل محدود بودن زمان اجرای پروژه، باید مجموعه فعالیت های زنجیره تأمین در محدوده زمانی مشخص اجرا شود. میزان سفارش نیز ویژگی دیگر پروژه است که روی زمان تولید و تخلیه بار تأثیر می گذارد و باید به گونه ای باشد که تقاضای پروژه را پاسخ دهد و هزینه نگهداری نیز افزایش پیدا نکند؛ به همین منظور، هزینه نگهداری منابع در سایت پروژه در تابع هدف گنجانده می شود. هزینه

نگهداری منابع براساس موجودی روزانه تعیین می شود و یکی از عوامل مؤثر در آن، تقاضای روزانه است که برای تعیین تقاضای روزانه به مدل موجودی - زمان بندی اضافه می شود. در وضعیت واقعی ممکن است پروژه به چندین نوع منبع مصرفی نیاز داشته باشد یا سفارش در چندین دوره انجام شود. بنابراین، این موارد در مدل موجودی - زمان بندی در نظر گرفته می شود.

مفروضات

۱. شبکه پروژه، زمان فعالیتها و نیز زمان کل پروژه مشخص و معین است.
 ۲. زودترین و دیرترین زمان آغاز فعالیت، مشخص است.
 ۳. روابط پیش نیاز در پروژه، از جنس پایان به آغاز است.
 ۴. منابع مورد نیاز پروژه از نوع مصرفی بررسی می شوند.
 ۵. تحویل منابع به پروژه بدون هیچ گونه تأخیری صورت می گیرد.
 ۶. مدت فعالیت ارسال و دریافت درخواست در زنجیره تأمین ثابت است.
 ۷. زمان تخلیه بار با تعداد محصول سفارش داده شده، رابطه خطی دارد.
 ۸. در صورت آغاز فعالیت ارسال درخواست از سمت پروژه، این فعالیت بدون هیچ گونه تأخیری پایان می یابد.
 ۹. مجموعه فعالیت های زنجیره تأمین در بازه زمانی مشخص اجرا می شود.
 ۱۰. از آنجا که ممکن است زمان سفارش قبل از آغاز پروژه باشد، مدت مشخصی قبل از پروژه برای بررسی فعالیت های زنجیره تأمین در نظر گرفته می شود.
- یادآوری می شود که فعالیت اجرایی در زنجیره تأمین در جدول ۱ نمایش داده شده است.

مجموعه ها

- G : مجموعه منابع پروژه
- T_g : مجموعه اعضای سطح اول زنجیره تأمین منبع g
- B_g : مجموعه اعضای سطح سوم زنجیره تأمین منبع g
- R_{ig} : مجموعه اعضای بالادستی عضو i در منبع g
- A_m : مجموعه فعالیت های پیش نیاز فعالیت m در پروژه
- k : نوع فعالیت اجرایی در زنجیره تأمین
- PA : مجموعه فعالیت های پروژه
- I_g : مجموعه اعضای سطح دوم زنجیره تأمین منبع g

D_{ig} : مجموعه اعضای پایین دستی عضو i در منبع g
 DT_g : مجموعه تاریخ تحویل پیشنهادی تحویل منبع g به پروژه
 M_{ijg} : مجموعه وسایل نقلیه میان عضو i و عضو j در منبع g

جدول ۳. نوع فعالیت اجرایی در زنجیره تأمین

ک	نوع فعالیت
۱	ارسال درخواست
۲	دریافت درخواست
۳	ارسال بار
۴	دریافت بار
۵	پردازش

پارامترها

p_m : مدت اجرای فعالیت m در پروژه
 D : مدت پروژه
 F_g : مقدار سیکل زمانی زنجیره تأمین منبع g
 Y_{tg} : برابر با یک، اگر روز t به عنوان تاریخ تحویل پیشنهادی برای تحویل منبع g به پروژه تعیین شود، در غیر این صورت برابر صفر است.
 β_{ijg} : زمان تخلیه یک محصول در عضو i از عضو j برای منبع g (واحد زمان / واحد محصول)
 f_{2ijg} : زمان فعالیت دریافت درخواست در سلول i از سلول j برای منبع g
 W_{aijg} : هزینه حمل و نقل میان اعضای i و j توسط وسیله نقلیه a برای منبع g در هر واحد محصول انتقالی (واحد پول / واحد محصول)
 n_{ijg} : هزینه نگهداری هر واحد محصول در زمان حمل بین عضو i و عضو j برای منبع g (واحد پول / واحد محصول / واحد زمان)
 c_{zg} : هزینه کاهشی فعالیت تولید در عضو j برای منبع g (واحد پول / واحد زمان)
 λ_{zg}^u : بیشترین زمان اجرای فرایند تولید در عضو j به ازای هر محصول سفارشی به عضو j برای منبع g (واحد زمان / واحد محصول)
 nu : زمان تعیین شده قبل از پروژه برای تأمین منابع
 ES_m و LS_m : زودترین و دیرترین زمان شروع فعالیت m
 dem_{mg} : تقاضای روزانه فعالیت m از منبع g

CP_{jg} : حداکثر هزینه تولید یک محصول از منبع g در عضو j زنجیره تأمین (واحد پول / واحد محصول)

α_{ijg} : میزان محصول مورد نیاز از عضو j در عضو i برای تهیه محصول مورد نیاز پروژه توسط منبع g

f_{1ijg} : مدت فعالیت ارسال درخواست از سلول i به سلول j برای منبع g

t_{aijg} : زمان حمل و نقل میان عضو i و عضو j توسط وسیله نقلیه نوع a برای منبع g

s_{ijg} : هزینه نگهداری بابت معطلی محصول ارسال شده از عضو j به عضو i برای منبع g (واحد پول / واحد محصول / واحد زمان)

S_{jzg} : هزینه نگهداری بابت معطلی محصول در عضو j قبل از ارسال به عضو بالادستی برای منبع g (واحد پول / واحد محصول / واحد زمان)

C_g : هزینه نگهداری روزانه منبع g در سایت پروژه (واحد پول / واحد محصول)

λ_{jg}^l : کمترین زمان اجرای فرایند تولید در عضو j به ازای هر محصول سفارشی به عضو j برای منبع g (واحد زمان / واحد محصول)

E_g : میزان منبع موجود در یک بسته برای منبع g

متغیرهای تصمیم

S_m : زمان شروع فعالیت m در پروژه

X_{kijgt} : لحظه پایان فعالیت k برای تحویل منبع g به پروژه تا تاریخ تحویل پیشنهادی روز t (اندیس i مختص به سلول بالاتر و اندیس j مختص به سلول پایین تر)

KQ_{gt} : میزان بسته سفارشی منبع g برای تحویل به پروژه تا تاریخ تحویل پیشنهادی روز t

X_{mt} : اگر فعالیت m در روز t آغاز شود برابر با یک، در غیر این صورت برابر است با صفر

DEM_{tg} : تقاضای پروژه از منبع g در روز t پروژه

Inv_{tg} : موجودی منبع g در روز t در انبار پروژه

Z_{kijgt} : مدت اجرای فعالیت k برای تحویل منبع g به پروژه تا تاریخ تحویل پیشنهادی روز t (اندیس i مختص به سلول بالاتر و اندیس j مختص به سلول پایین تر)

Y_{mt} : اگر فعالیت m در روز t اجرا شود برابر با یک، در غیر این صورت برابر است با صفر

Y_{aijgt} : اگر وسیله نقلیه a برای حمل و نقل میان دو سلول i و j برای تحویل منبع g به پروژه تا تاریخ تحویل پیشنهادی روز t انتخاب شود برابر با یک، در غیر این صورت برابر است با صفر

مدل سازی زنجیره تأمین ساخت و ساز

تابع هدف

هزینه حمل و نقل + هزینه تولید + هزینه نگهداری هنگام حمل محصول + هزینه نگهداری منبع بین پایان تولید و آغاز فعالیت ارسال بار + هزینه نگهداری از زمان تخلیه بار تا آغاز فرایند تولید + هزینه نگهداری منابع از پایان ارسال بار تا آغاز فعالیت تخلیه بار + هزینه نگهداری منبع در سایت پروژه + هزینه نگهداری در صورت رسیدن سفارش زودتر از تاریخ تحویل پیشنهادی.

رابطه (۱)

$$\begin{aligned}
 Min TC = & \sum_{g \in G} \sum_{t \in DT_g} \sum_{j \in (I_g \cup B_g)} \sum_{i \in R_{jg}} \sum_{a \in M_{ijg}} W_{aijg} * \alpha_{ijg} * E_g * KQ_{gt} * Y_{aijtg} \\
 & + \sum_{g \in G} \sum_{t \in DT_g} \sum_{j \in (I_g \cup B_g)} CP_{jg} * \sum_{i \in R_{jg}} \alpha_{ijg} * E_g * KQ_{gt} - C_{jg} * [Z_{5jztg} \\
 & - \lambda_{jg}^t * \sum_{i \in R_{jg}} \alpha_{ijg} * E_g * KQ_{gt}] \\
 & + \sum_{g \in G} \sum_{t \in DT_g} \sum_{i \in (I_g \cup T_g)} \sum_{j \in D_{ig}} h_{ijg} * \alpha_{ijg} * E_g * KQ_{gt} * Z_{3ijtg} \\
 & + \sum_{g \in G} \sum_{t \in DT_g} \sum_{i \in (I_g \cup T_g)} \sum_{j \in D_{ig}} S_{jjg} * \alpha_{ijg} * E_g * KQ_{gt} * [X_{3ijtg} - Z_{3ijtg} - X_{5jztg}] \\
 & + \sum_{g \in G} \sum_{t \in DT_g} \sum_{i \in I_g} \sum_{j \in D_{ig}} S_{ijg} * \alpha_{ijg} * E_g * KQ_{gt} * [X_{5iitg} - Z_{5iitg} \\
 & - X_{4jztg}] \\
 & + \sum_{g \in G} \sum_{t \in DT_g} \sum_{i \in I_g} \sum_{j \in D_{ig}} S_{ijg} * \alpha_{ijg} * E_g * KQ_{gt} * [X_{4ijtg} - Z_{4ijtg} \\
 & - X_{3ijtg}] + \sum_{g \in G} \sum_{t=1}^{D+nu} C_g * Inv_{tg} \\
 & + \sum_{g \in G} \sum_{t \in DT_g} \sum_{i \in T_g} \sum_{j \in D_{ig}} C_g * E_g * KQ_{gt} * [t - X_{4ijtg}]
 \end{aligned}$$

محدودیت‌ها

هر فعالیت، زمانی می‌تواند آغاز شود که پیش‌نیازهای آن انجام شده باشد.

$$S_m \geq S_n + p_i \quad \forall m \in PA, n \in A_m \quad \text{رابطه (۲)}$$

زمان شروع هر فعالیت، در محدوده زودترین و دیرترین زمان شروع است. علاوه بر این، هر فعالیت فقط در یک روز می تواند آغاز شود.

$$S_m = \sum_{t=ES_m}^{LS_m} t * X_{mt} \quad \forall m \in PA \quad \text{رابطه (۳)}$$

$$\sum_{t=ES_m}^{LS_m} X_{mt} = 1 \quad \forall m \in PA \quad \text{رابطه (۴)}$$

در صورت شروع فعالیت m در روز t، فعالیت به مدت p_m روز اجرا می شود.

$$\sum_{l=t}^{t+p_m-1} Y_{ml} \geq P_m * X_{mt} \quad \text{رابطه (۵)}$$

$$\forall m \in PA, \quad t = ES_m, \quad ES_m + 1, \dots, LS_m$$

$$\sum_{l=ES_m}^{LS_m+p_m-1} Y_{ml} = P_m \quad \forall m \in PA \quad \text{رابطه (۶)}$$

تقاضای پروژه از منبع g در روز t برابر با مجموعه تقاضاهای روزانه فعالیت هایی است که در روز t، اجرا می شوند.

$$DEM_{tg} = \sum_{m \in PA} dem_{mg} * Y_{mt} \quad \text{رابطه (۷)}$$

$$\forall t = 1, 2, \dots, D + nu, \quad g \in G$$

تعداد بسته های سفارش متغیری گسسته است که براساس رابطه های ۸ و ۹ مشخص می شود.

$$KQ_{gt} = \sum_{n=1}^c n * Y_{ngt} \quad \forall g \in G, \quad t \in DT_g \quad \text{رابطه (۸)}$$

$$\sum_{n=1}^c Y_{ngt} = 1 \quad \forall g \in G, \quad t \in DT_g \quad \text{رابطه (۹)}$$

مجموع میزان سفارش در کل پروژه نباید از مجموع میزان تقاضا کمتر باشد.

$$E_g * \sum_{t \in DT_g} KQ_{gt} \geq \sum_{t=1}^{D+nu} DEM_{tg} \quad \forall g \in G \quad \text{رابطه (۱۰)}$$

موجودی منبع g در انبار سایت در روز t براساس رابطه ۱۱ تعیین می‌شود.

$$Inv_{tg} = Inv_{(t-1)g} - DEM_{tg} + E_g * KQ_{g(t-1)} * Y_{(t-1)g} \quad \text{رابطه ۱۱}$$

$$\forall g \in G, \quad t = 1, 2, \dots, D + nu \quad Inv_{0g} = 0$$

لحظه پایان فعالیت تخلیه کامل منبع g در سایت پروژه نباید از تاریخ تحویل پیشنهادی مقرر برای تحویل منبع عبور کند.

$$X_{4ijt} \leq t \quad \forall g \in G, \quad i \in T_g, \quad j \in D_{ig}, \quad t \in DT_g \quad \text{رابطه ۱۲}$$

لحظه پایان فعالیت دریافت درخواست \leq لحظه پایان فعالیت ارسال درخواست توسط عضو بالادست + زمان دریافت درخواست توسط عضو پایین دست

$$X_{2ijt} \geq X_{1ijt} + Z_{2ijt} \quad \text{رابطه ۱۳}$$

$$\forall g \in G, \quad j \in (I_g \cup B_g), \quad i \in R_{jg}, \quad t \in DT_g$$

لحظه پایان فعالیت ارسال درخواست در سطح دوم \leq لحظه پایان فعالیت دریافت درخواست از عضو بالادست + زمان ارسال درخواست به عضو پایین دست

$$X_{1ijt} \geq X_{2rit} + Z_{1ijt} \quad \text{رابطه ۱۴}$$

$$\forall g \in G, \quad i \in I_g, \quad r \in R_{ig}, \quad j \in D_{ig}, \quad t \in DT_g$$

لحظه پایان فرایند تولید در سطح سوم \leq لحظه پایان فعالیت دریافت درخواست از عضو بالادست + زمان تولید در سطح سوم

$$X_{5jtg} \geq X_{2ijt} + Z_{5jtg} \quad \text{رابطه ۱۵}$$

$$\forall g \in G, \quad j \in B_g, \quad i \in R_{jg}, \quad t \in DT_g$$

لحظه پایان فرایند تولید در سطح دوم \leq لحظه پایان تخلیه محصول ارسالی عضو پایین دست + مدت تولید در سطح دوم

$$X_{5iit} \geq X_{4ijt} + Z_{5iit} \quad \text{رابطه ۱۶}$$

$$\forall g \in G, \quad i \in I_g, \quad j \in D_{ig}, \quad t \in DT_g$$

لحظه پایان ارسال بار \leq لحظه پایان فرایند تولید در عضو پایین دست + مدت ارسال بار به عضو بالادست

$$X_{3ijt} \geq X_{5jtg} + Z_{3ijt} \quad \text{رابطه ۱۷}$$

$$\forall g \in G, \quad i \in (T_g \cup I_g), \quad j \in D_{ig}, \quad t \in DT_g$$

لحظه پایان تخلیه بار \leq لحظه پایان ارسال بار از عضو پایین دست + زمان تخلیه بار در عضو بالادست

$$X_{4ijtg} \geq X_{3ijtg} + Z_{4ijtg} \quad \text{رابطه ۱۸}$$

$$\forall g \in G, i \in (T_g \cup I_g), j \in D_{ig}, t \in DT_g$$

محدودیت زمانی زنجیره تأمین برای تأمین منبع g در هر دوره سفارش برابر با فاصله زمانی میان آغاز فعالیت ارسال درخواست از طرف پروژه تا تخلیه منبع g در سایت پروژه است.

$$X_{4ijtg} - X_{1ijtg} + Z_{1ijtg} = F_g \quad \text{رابطه ۱۹}$$

$$\forall g \in G, i \in T_g, j \in D_{ig}, t \in DT_g$$

مدت ارسال و دریافت درخواست در تمام سلول ها برابر با مقدار مشخصی است.

$$Z_{kijtg} = f_{kijg} \quad \text{رابطه ۲۰}$$

$$\forall g \in G, i \in (T_g \cup I_g), j \in D_{ig}, k = 1, 2, t \in DT_g$$

مدت تخلیه بار برابر حاصل ضرب نرخ تخلیه بار و میزان محصول انتقالی است.

$$Z_{4ijtg} = \beta_{ijg} * \alpha_{ijg} * E_g * KQ_{gt} \quad \text{رابطه ۲۱}$$

$$\forall g \in G, i \in (T_g \cup I_g), j \in D_{ig}, t \in DT_g$$

مدت تولید کل محصولات سفارشی در یک سلول میان کمترین زمان و بیشترین زمان است.

$$\lambda_{jg}^l * \sum_{i \in R_j} \alpha_{ijg} * E_g * KQ_{gt} \leq Z_{5jztg} \quad \text{رابطه ۲۲}$$

$$\forall g \in G, j \in (B_g \cup I_g), t \in DT_g$$

$$Z_{5jztg} \leq \lambda_{jg}^u * \sum_{i \in R_j} \alpha_{ijg} * E_g * KQ_{gt} \quad \text{رابطه ۲۳}$$

$$\forall g \in G, j \in (B_g \cup I_g), t \in DT_g$$

مدت ارسال بار از هر سلول به سلول بالادست، به وسیله نقلیه انتخاب شده وابسته است.

$$Z_{3ijtg} = \sum_{m \in M_{ijg}} t_{aijg} * Y_{aijtg} \quad \text{رابطه ۲۴}$$

$$\forall g \in G, i \in (T_g \cup I_g), j \in D_{ig}, t \in DT_g$$

$$\sum_{m \in M_{ijg}} Y_{aijtg} = 1 \quad \text{رابطه ۲۵}$$

$$\forall g \in G, \quad i \in (T_g \cup I_g), \quad j \in D_{jg}, \quad t \in DT_g$$

خطی سازی مدل

در تابع هدف مدل موجودی - زمان بندی، رابطه های غیر خطی ای وجود دارد که با بهره مندی از مطالعه آدامز، فارستر و گلور (۲۰۰۴)، رابطه ۱ خطی سازی می شود. در رابطه غیر خطی مد نظر، فرض کنید Y متغیر باینری و X متغیر خطی باشد. اگر Z حاصل ضرب این دو متغیر تعریف شود، برای خطی سازی ضرب دو متغیر از مجموعه روابط ۲۶ تا ۳۰ استفاده می کنیم.

$$Z = X * Y \quad \text{رابطه ۲۶}$$

$$Z \leq X.up * Y \quad \text{رابطه ۲۷}$$

$$Z \geq X.lo * Y \quad \text{رابطه ۲۸}$$

$$Z \geq X - X.up(1 - Y) \quad \text{رابطه ۲۹}$$

$$Z \leq X - X.lo(1 - Y) \quad \text{رابطه ۳۰}$$

برای نمونه، رابطه $X_{kijtg} * E_g * KQ_{gt}$ به صورت مجموعه روابط ۳۱ تا ۳۴ خطی سازی می شود. رابطه های $Z_{5jjtg} * E_g * KQ_{gt}$ و $Y_{aijtg} * E_g * KQ_{gt}$ نیز به همین صورت خطی سازی شده و در مدل وارد می شوند. شایان ذکر است که رابطه $Z_{3ijtg} * E_g * KQ_{gt}$ با استفاده از رابطه خطی شده $Y_{aijtg} * E_g * KQ_{gt}$ در مدل به کار می رود. در مجموعه رابطه های ۳۱ تا ۳۴، M معرف عددی بسیار بزرگ است.

$$XKQ_{kijtg} = E_g * \sum_{n=1}^c n * Y_{ngt} * X_{kijtg} = E_g * \sum_{n=1}^c n * XY_{nkijtg} \quad \text{رابطه ۳۱}$$

$$XY_{nkijtg} \leq X_{kijtg} \quad \text{رابطه ۳۲}$$

$$XY_{nkijtg} \leq M * Y_{ngt} \quad \text{رابطه ۳۳}$$

$$XY_{nkijtg} \geq X_{kijtg} - M * (1 - Y_{ngt}) \quad \text{رابطه ۳۴}$$

در نتیجه، تابع هدف به صورت رابطه ۳۵ خطی سازی می شود.

رابطه (۳۵)

$$\begin{aligned}
 Min TC = & \sum_{g \in G} \sum_{t \in DT_g} \sum_{j \in (I_g \cup B_g)} \sum_{i \in R_{jg}} \sum_{a \in M_{ijg}} W_{aijg} \times \alpha_{ijg} \times YKQ_{aijtg} \\
 & + \sum_{g \in G} \sum_{t \in DT_g} \sum_{j \in (I_g \cup B_g)} CP_{jg} \times \sum_{i \in R_{jg}} \alpha_{ijg} * E_g * KQ_{gt} \\
 & - C_{jg} * [Z_{5jjtg} - \lambda_{jg}^l * \sum_{i \in R_{jg}} \alpha_{ijg} * E_g * KQ_{gt}] \\
 & + \sum_{g \in G} \sum_{t \in DT_g} \sum_{i \in (I_g \cup T_g)} \sum_{j \in D_{ig}} h_{ijg} * \alpha_{ijg} * ZKQ_{3ijtg} \\
 & + \sum_{g \in G} \sum_{t \in DT_g} \sum_{i \in (I_g \cup T_g)} \sum_{j \in D_{ig}} S_{jjg} * \alpha_{ijg} * [XKQ_{3ijtg} - ZKQ_{3ijtg} \\
 & \quad - XKQ_{5jjtg}] \\
 & + \sum_{g \in G} \sum_{t \in DT_g} \sum_{i \in I_g} \sum_{j \in D_{ig}} S_{ijg} * \alpha_{ijg} * [XKQ_{5iitg} - ZKQ_{5iitg} - XKQ_{4jjtg}] \\
 & + \sum_{g \in G} \sum_{t \in DT_g} \sum_{i \in I_g} \sum_{j \in D_{ig}} S_{ijg} * \alpha_{ijg} * [XKQ_{4ijtg} - ZKQ_{4ijtg} - XKQ_{3ijtg}] \\
 & + \sum_{g \in G} \sum_{t=1}^{D+nu} C_g * Inv_{tg} + \sum_{g \in G} \sum_{t \in DT_g} \sum_{i \in T_g} \sum_{j \in D_{ig}} C_g * [E_g * KQ_{gt} * t * Y_{tg} - XKQ_{4ijtg}]
 \end{aligned}$$

در کنار خطی سازی کردن رابطه های غیرخطی موجود در تابع هدف، برای ایجاد ارتباط مناسب و منطقی میان متغیرهای موجود در تابع هدف و محدودیت های مربوط به آن، مجموعه محدودیت های ۱۲ تا ۲۱ و ۲۴ و ۲۵ براساس متغیرهای خطی سازی بازنویسی می شوند.

$$XKQ_{4ijtg} - XKQ_{1ijtg} + ZKQ_{1ijtg} = F_g \times E_g \times KQ_{gt} \quad \text{رابطه (۳۶)}$$

$$\forall g \in G, i \in T_g, j \in D_{ig}, t \in DT_g$$

اعتبار سنجی مدل موجودی- زمان بندی

نمونه اول

در نمونه اول، پروژه ای با ۱۰ نوع فعالیت، ۶۵ روز زمان و نیازمند به دو منبع مصرفی در نظر گرفته شده است. در این مثال، زنجیره تأمین منبع اول و منبع دوم هفت عضو دارند و عضو اول برای هر دو منبع، پروژه است. در این مدل برای تأمین منابع ۶۴ روز قبل از پروژه را بررسی می کنیم. اطلاعات مختص به پروژه در جدول ۴ ارائه شده است. علاوه بر اطلاعات پروژه، جدول

۵ به عنوان نمونه‌ای از اطلاعات زنجیره تأمین ارائه می‌شود. جدول‌های دیگر مربوط به زنجیره تأمین به دلیل حجم زیاد، در مقاله درج نشده است.

جدول ۴. اطلاعات پروژه

فعالیت	پیش‌نیاز	زمان اجرا	تقاضای روزانه		زودترین زمان شروع	دیرترین زمان شروع
			منبع اول	منبع دوم		
۱	-	۵	۴	۳	۶۵	۸۴
۲	-	۱۵	۱	۱	۶۵	۶۵
۳	۱	۶	۳	۲	۷۹	۸۹
۴	۱	۸	۲	۳	۷۰	۱۱۲
۵	۲	۱۵	۱	۲	۸۰	۸۰
۶	۲	۹	۲	۳	۸۰	۱۱۴
۷	۵ و ۳	۱۰	۲	۲	۹۵	۱۱۳
۸	۷ و ۶	۷	۳	۳	۱۰۵	۱۲۳
۹	۵ و ۳	۲۵	۱	۱	۹۵	۹۵
۱۰	۹ و ۴	۱۰	۲	۲	۱۲۰	۱۲۰

نتایج نمونه اول

در مثال اول، مدل ریاضی در نرم‌افزار گمز حل شد، میزان تابع هدف برای سیکل‌های زمانی مختلف را می‌توان در جدول ۶ مشاهده کرد. مقادیر ارائه‌شده در جدول‌های ۸ تا ۱۱ مربوط به دوره زمانی ۲۵ است، اطلاعات دوره‌های زمانی دیگر، به همین‌گونه محاسبه می‌شود. اطلاعات مربوط به زمان آغاز فعالیت‌های پروژه در جدول ۷، با در نظر گرفتن زمان ۶۴ روز قبل از پروژه برای تأمین منابع است.

نمونه دوم

در مثال دوم، پروژه‌ای با ۵۰ نوع فعالیت، ۱۰۸ روز زمان و نیازمند دو منبع مصرفی در نظر گرفته شده است. زنجیره تأمین منبع اول و دوم ۱۰ عضو دارند. عضو اول هر دو منبع، پروژه است. در این مثال، برای تأمین منابع پروژه ۴۹ روز قبل از پروژه را بررسی می‌کنیم. اطلاعات مربوط به پروژه و زنجیره تأمین مثال دوم، به دلیل حجم زیاد در مقاله درج نشده است.

جدول ۵. اطلاعات غیرهزینه‌ای زنجیره تأمین منابع

t_{aijg}			f_{2ijg}	f_{1ijg}	β_{ijg}	α_{ijg}	مسیر زنجیره تأمین (i,j)	منابع
a=۳	a=۲	a=۱						
۱۰	۵	۱	-/۰.۳	-/۰.۳	-/۰.۰۱۰	۱	(۱,۲)	منبع اول
۷	۴	۱	-/۰.۲	-/۰.۳	-/۰.۰۱۲	۶	(۲,۳)	
۸	۵	۱	-/۰.۱	-/۰.۲	-/۰.۰۱۱	۴	(۲,۴)	
۶	۴	۱	-/۰.۲	-/۰.۲	-/۰.۰۱۱	۵	(۲,۵)	
۱۰	۴	۱	-/۰.۱	-/۰.۱	-/۰.۰۰۷	۱۲	(۴,۶)	
۱۰	۵	۱	-/۰.۲	-/۰.۲	-/۰.۰۰۵	۱۶	(۴,۷)	
۹	۸	۵	-/۰.۲	-/۰.۲	-/۰.۰۰۶	۱۵	(۵,۶)	
۸	۵	۱	-/۰.۳	-/۰.۳	-/۰.۰۰۹	۱۰	(۵,۷)	
۸	۴	۱	-/۰.۲	-/۰.۲	-/۰.۰۱۳	۱	(۱,۲)	منبع دوم
۸	۴	۱	-/۰.۲	-/۰.۱	-/۰.۰۰۹	۵	(۲,۳)	
۸	۵	۲	-/۰.۱	-/۰.۳	-/۰.۰۱۱	۶	(۲,۴)	
۹	۵	۲	-/۰.۳	-/۰.۱	-/۰.۰۰۵	۲۰	(۳,۵)	
۸	۵	۱	-/۰.۲	-/۰.۲	-/۰.۰۰۷	۱۵	(۳,۶)	
۱۰	۷	۲	-/۰.۱	-/۰.۱	-/۰.۰۰۴	۱۸	(۴,۷)	

جدول ۶. میزان تابع هدف براساس سیکل زمانی

زمان سیکل	۲۵	۳۰	۳۵	۴۰	۴۵
تابع هدف	۷۸۲۴۹۱/۹۶	۷۵۶۴۰۶/۶۸	۷۴۶۹۶۲/۱۸	۷۴۴۲۵۴/۱۸	۷۴۳۵۰۹/۰۸
زمان سیکل	۵۰	۵۵	۶۰	۶۴	
تابع هدف	۷۴۳۵۰۹/۰۸	۷۴۳۵۰۹/۰۸	۷۴۳۵۰۹/۰۸	۷۴۳۵۰۹/۰۸	

جدول ۷. زمان آغاز فعالیت‌های زنجیره تأمین

فعالیت	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
زمان آغاز	۶۵	۶۵	۸۱	۸۰	۸۰	۹۶	۱۰۸	۱۲۳	۹۵	۱۲۰

جدول ۸. میزان سفارش در دوره‌های سفارش مختلف

زمان سفارش	۶۴	۸۰	۹۵	۱۱۰	۱۲۵
منبع اول	۴۰	۴۵	۴۰	۴۵	۲۰
منبع دوم	۳۵	۶۵	۴۵	۴۵	۲۰

جدول ۹. زمان تخلیه بار در دوره‌های سفارش مختلف

منبع	مسیر بین اعضا (i,j)	زمان تخلیه بار				
		۶۴	۸۰	۹۵	۱۱۰	۱۲۵
منبع اول	(۱,۲)	-/۰۴	-/۰۴	-/۰۴	-/۰۴	-/۰۲
	(۲,۳)	-/۳۹	-/۳۲	-/۳۹	-/۳۲	-/۱۴
	(۲,۴)	-/۱۸	-/۲	-/۱۸	-/۲	-/۰۹
	(۲,۵)	-/۲۲	-/۲۵	-/۲۲	-/۲۵	-/۱۱
	(۴,۶)	-/۳۴	-/۳۸	-/۳۴	-/۳۸	-/۱۷
	(۴,۷)	-/۳۲	-/۳۶	-/۳۲	-/۳۶	-/۱۶
	(۵,۶)	-/۳۶	-/۴	-/۳۶	-/۴	-/۱۸
منبع دوم	(۱,۲)	-/۰۴	-/۰۸	-/۰۶	-/۰۶	-/۰۳
	(۲,۳)	-/۱۶	-/۲۹	-/۲	-/۲	-/۰۹
	(۲,۴)	-/۲۳	-/۴۳	-/۳	-/۳	-/۱۳
	(۳,۵)	-/۳۵	-/۶۵	-/۴۵	-/۴۵	-/۲
	(۳,۶)	-/۳۷	-/۶۹	-/۴۷	-/۴۷	-/۲۱
	(۴,۷)	-/۲۵	-/۴۷	-/۳۲	-/۳۲	-/۱۴
	(۵,۷)	-/۳۶	-/۴	-/۳۶	-/۴	-/۱۸

جدول ۱۰. زمان فرایند تولید در زنجیره تأمین

شماره عضو	منبع اول						منبع دوم					
	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۲	۳	۴	۵	۶	۷
۶۴	-/۰۶	۱/۹۲	۱/۴۴	۱/۶	۵/۹۴	۳/۱۲	-/۲۱	۱/۴	-/۶۳	۴/۷	۲/۶۲	۴/۵۵
۸۰	-/۵۳	۲/۱۶	۱/۶۲	۱/۵۴	۶/۰۷	۳/۵۱	-/۳۹	۲/۶	۱/۱۷	۶/۸۴	۴/۸۷	۶/۳۸
۹۵	-/۰۶	۱/۹۲	۱/۴۴	۱/۶	۵/۹۴	۳/۱۲	-/۲۷	۱/۳۸	-/۸۱	۴/۵	۳/۳۷	۴/۱۶
۱۱۰	-/۵۳	۲/۱۶	۱/۶۲	۱/۵۴	۶/۰۷	۳/۵۱	-/۲۷	۱/۳۸	-/۸۱	۴/۵	۳/۳۷	۴/۱۶
۱۲۵	-/۰۳	-/۹۶	-/۷۲	-/۱۸	۲/۹۷	۱/۵۶	-/۲	-/۱۸	-/۹۶	۳/۶	۱/۵	۳/۲۴

نتایج نمونه عددی دوم

مثال دوم نیز در نرم افزار گمز حل شد، میزان تابع هدف برای دوره های زمانی مختلف در جدول ۱۲ مشاهده می شود. اطلاعات جدول های ۱۵ تا ۱۷ براساس دوره زمانی ۲۵ است. زمان آغاز فعالیت های پروژه در جدول ۱۳، با در نظر گرفتن ۴۹ روز قبل از آغاز پروژه برای تأمین منابع به دست آمده است.

جدول ۱۱. زمان و وسیله حمل و نقل

منبع	مسیر زنجیره تأمین (i,j)	زمان حمل و نقل					نوع وسیله حمل و نقل				
		۱۲۵	۱۱۰	۹۵	۸۰	۶۴	۱۲۵	۱۱۰	۹۵	۸۰	۶۴
سازمان	(۱,۲)	۱	۱	۱	۱	۱	۵	۱	۱	۱	۱
	(۲,۳)	۷	۷	۷	۷	۷	۳	۳	۳	۳	
	(۲,۴)	۵	۵	۵	۵	۵	۲	۲	۲	۲	
	(۲,۵)	۶	۶	۶	۶	۶	۳	۳	۳	۳	
	(۴,۶)	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۳	۳	۳	۳	
	(۴,۷)	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۳	۳	۳	۳	
	(۵,۶)	۹	۹	۹	۹	۹	۳	۳	۳	۳	
سازمان	(۱,۲)	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	
	(۲,۳)	۸	۸	۸	۴	۸	۳	۳	۲	۳	
	(۲,۴)	۸	۸	۸	۵	۸	۳	۳	۲	۳	
	(۳,۵)	۹	۹	۹	۹	۹	۳	۳	۳	۳	
	(۳,۶)	۸	۸	۸	۸	۸	۳	۳	۳	۳	
	(۳,۷)	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۳	۳	۳	۳	
	(۴,۷)	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۳	۳	۳	۳	

جدول ۱۲. میزان تابع هدف در مثال دوم

زمان سیکل	۲۵	۳۰	۳۵	۴۰	۴۵	۴۹
تابع هدف	۲۲۶۱۶۲۶/۴۱	۲۱۲۹۵۸۷/۳۴	۲۰۵۲۸۶۲/۳۷	۱۹۹۷۳۹۵/۷۵	۱۹۸۱۶۰۱/۴۲	۱۹۷۷۶۷۹/۸۷

تحلیل نتایج

از دو نمونه عددی حل شده به منظور ارزیابی مدل می توان نتیجه گرفت که مدت حمل و نقل و نوع وسیله انتخابی برای ارسال بار ممکن است در دوره های مختلف سفارش، متفاوت باشد.

در جدول ۶ رابطه‌های میان تابع هدف و محدودیت زمانی را می‌توان مشاهده کرد، در جدول مذکور تابع هدف کاهش می‌یابد و بعد از آن ثابت می‌ماند. همچنین در جدول ۱۰، میزان تابع هدف با افزایش محدودیت زمانی، کاهش می‌یابد. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش سیکل زمانی، میزان تابع هدف به‌صورت نزولی عمل می‌کند. علاوه بر این، با بررسی نتایج به‌دست‌آمده، می‌توان اشاره کرد که در صورت یکسان‌بودن میزان سفارش در دوره‌های مختلف یک سیکل زمانی، زمان اجرای فعالیت‌های زنجیره تأمین در این دو دوره یکسان خواهد بود.

جدول ۱۳. زمان آغاز فعالیت‌های پروژه

فعالیت	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
روز	۵۰	۵۰	۵۰	۵۹	۵۹	۵۷	۶۱	۶۶	۶۰	۶۵
فعالیت	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰
روز	۷۱	۶۸	۶۸	۷۴	۸۱	۷۴	۷۴	۸۴	۹۱	۹۱
فعالیت	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۲۸	۲۹	۳۰
روز	۸۱	۱۰۳	۱۰۲	۱۰۰	۶۸	۹۱	۸۵	۱۰۴	۹۱	۹۹
فعالیت	۳۱	۳۲	۳۳	۳۴	۳۵	۳۶	۳۷	۳۸	۳۹	۴۰
روز	۱۰۴	۱۰۸	۱۰۱	۱۰۴	۱۰۹	۱۱۹	۱۲۱	۱۰۸	۱۲۲	۱۲۲
فعالیت	۴۱	۴۲	۴۳	۴۴	۴۵	۴۶	۴۷	۴۸	۴۹	۵۰
روز	۱۲۲	۱۲۸	۱۳۷	۱۲۲	۱۴۳	۱۳۵	۱۴۲	۱۴۳	۱۵۰	۱۴۰

جدول ۱۴. میزان سفارش در مثال دوم

زمان سفارش	۴۹	۶۸	۸۶	۱۰۴	۱۲۲	۱۴۰
منبع اول	۹۰	۱۰۵	۱۰۵	۱۱۰	۶۵	۸۵
منبع دوم	۱۰۰	۱۰۵	۹۰	۹۵	۸۰	۵۵

نتیجه‌گیری و پیشنهادهای آتی

هدف اصلی تیم پروژه، اجرای پروژه براساس هزینه و زمان پیش‌بینی شده است. یکی از موانع برای دستیابی به این هدف، تأخیر در انتقال منابع به سایت پروژه است که دلایل آن می‌تواند روش‌های اجرایی، در نظر نگرفتن ویژگی‌های پروژه یا تعیین نامناسب زمان اجرای فعالیت‌های زنجیره تأمین باشد. با بررسی تحقیقات انجام‌شده در زمینه زنجیره تأمین، مشخص شد که

مقالات به بررسی این سه دلیل در کنار یکدیگر پرداخته‌اند. از این رو، در مقاله حاضر تلاش شد مدل موجودی - زمان بندی با هدف کاهش هزینه موجودی سایت پروژه و هزینه‌های زنجیره تأمین یکپارچه و با در نظر گرفتن ویژگی‌های خاص پروژه همچون محدودیت زمانی، منابع مصرفی متعدد، تعداد دفعات سفارش و متغیر بودن تقاضا در طول اجرای پروژه، زمان مناسب برای اجرای فعالیت‌های زنجیره تأمین یکپارچه و میزان سفارش بهینه مشخص شود. بعد از طراحی مدل، به دلیل غیرخطی شدن تابع هدف، از روش آدامز و همکارانش برای خطی سازی تابع هدف استفاده شد. در ادامه، مدل برای دو نمونه عددی حل شد و با استفاده از جدول‌ها و نمودارهای مختص به آنها نشان داده شد که با افزایش محدودیت زمانی برای اجرای فعالیت‌های زنجیره تأمین به منظور تأمین منابع، میزان تابع هدف به صورت نزولی عمل می‌کند.

جدول ۱۵. زمان تخلیه بار در مثال دوم

زمان تخلیه بار						مسیر بین اعضا (i,j)	منبع
۱۴۰	۱۲۲	۱۰۴	۸۶	۶۸	۴۹		
۰/۱۷	۰/۱۳	۰/۲۲	۰/۲۱	۰/۲۱	۰/۱۸	(۱,۲)	منبع اول
۰/۴۲	۰/۳۲	۰/۵۵	۰/۵۲	۰/۵۲	۰/۴۵	(۲,۳)	
۰/۳۴	۰/۲۶	۰/۴۴	۰/۴۲	۰/۴۲	۰/۳۶	(۲,۴)	
۱/۰۲	۰/۷۸	۱/۳۲	۱/۲۶	۱/۲۶	۱/۰۸	(۳,۵)	
۱/۰۲	۰/۷۸	۱/۳۲	۱/۲۶	۱/۲۶	۱/۰۸	(۳,۶)	
۱/۰۲	۰/۷۸	۱/۳۲	۱/۲۶	۱/۲۶	۱/۰۸	(۴,۷)	
۱/۵۳	۱/۱۷	۱/۹۸	۱/۸۹	۱/۸۹	۱/۶۲	(۶,۸)	
۲/۰۴	۱/۵۶	۲/۶۴	۲/۵۲	۲/۵۲	۲/۱۶	(۷,۹)	
۱/۳۶	۱/۰۴	۱/۷۶	۱/۶۸	۱/۶۸	۱/۴۴	(۷,۱۰)	
۰/۱۸	۰/۳۴	۰/۲۷	۰/۲۸	۰/۳۱	۰/۲۸	(۱,۲)	
۰/۴۲	۰/۵۶	۰/۶۳	۰/۶۶	۰/۷۳	۰/۶۶	(۲,۳)	
۰/۵۴	۰/۷۲	۰/۸۱	۰/۸۵	۰/۹۴	۰/۸۵	(۲,۴)	
۰/۵۴	۰/۷۲	۰/۸۱	۰/۸۵	۰/۹۴	۰/۸۵	(۳,۵)	
۰/۴۵	۰/۶	۰/۶۷	۰/۷۱	۰/۷۹	۰/۷۱	(۴,۶)	
۰/۷۲	۰/۹۶	۱/۰۸	۱/۱۴	۱/۲۶	۱/۱۴	(۵,۷)	
۰/۷۲	۰/۹۶	۱/۰۸	۱/۱۴	۱/۲۶	۱/۱۴	(۵,۸)	
۰/۵۴	۰/۷۲	۰/۸۱	۰/۸۵	۰/۹۴	۰/۸۵	(۶,۹)	
۱/۰۸	۱/۴۴	۱/۶۲	۱/۷۱	۱/۸۹	۱/۷۱	(۶,۱۰)	

جدول ۱۶. زمان و نوع وسیله حمل و نقل برای مثال دوم

منبع	مسیر بین اعضا (i,j)	نوع وسیله حمل و نقل						زمان حمل و نقل					
		۱۴۰	۱۲۲	۱۰۴	۸۶	۶۸	۴۹	۱۴۰	۱۲۲	۱۰۴	۸۶	۶۸	۴۹
منبع اول	(۱,۲)	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
	(۲,۳)	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
	(۲,۴)	۱	۱	۱	۱	۱	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲
	(۳,۵)	۳	۳	۳	۳	۳	۶	۶	۶	۶	۶	۶	۶
	(۳,۶)	۲	۲	۲	۲	۲	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳
	(۴,۷)	۲	۳	۱	۱	۱	۲	۳	۵	۱	۱	۱	۳
	(۶,۸)	۳	۳	۳	۳	۳	۶	۶	۶	۶	۶	۶	۶
	(۷,۹)	۳	۳	۳	۳	۳	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۸
	(۷,۱۰)	۳	۳	۳	۳	۳	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۸
منبع دوم	(۱,۲)	۱	۱	۱	۱	۱	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲
	(۲,۳)	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
	(۲,۴)	۳	۱	۱	۱	۱	۷	۲	۲	۲	۲	۲	۲
	(۳,۵)	۲	۲	۲	۱	۱	۱	۵	۵	۵	۱	۱	۱
	(۴,۶)	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
	(۵,۷)	۳	۳	۳	۳	۳	۹	۹	۹	۹	۹	۹	۹
	(۵,۸)	۳	۲	۲	۳	۲	۳	۸	۴	۴	۸	۴	۸
	(۶,۹)	۳	۳	۳	۳	۳	۶	۶	۶	۶	۶	۶	۶
	(۶,۱۰)	۲	۳	۳	۲	۲	۲	۶	۹	۹	۶	۶	۶

جدول ۱۷. زمان تولید در مثال دوم

دوره سفارش	منبع اول						منبع دوم					
	۱۴۰	۱۲۲	۱۰۴	۸۶	۶۸	۴۹	۱۴۰	۱۲۲	۱۰۴	۸۶	۶۸	۴۹
۲	۰/۲۷	۰/۳۱	۰/۳۱	۰/۳۱	۰/۳۱	۰/۱۹	۰/۱۲	۰/۱۶	۰/۱۸	۰/۱۹	۰/۱۹	۰/۱۲
۳	۰/۵۴	۰/۶۳	۰/۶۳	۰/۶۳	۰/۶۳	۰/۳۸	۰/۲۴	۰/۶۴	۰/۳۶	۰/۳۸	۰/۳۸	۰/۲۴
۴	۰/۵۴	۰/۶۳	۰/۶۳	۰/۶۳	۰/۶۳	۰/۹۳	۰/۶۷	۰/۳۶	۰/۴	۰/۹۳	۰/۴۷	۰/۶۷
۵	۲/۱۶	۲/۵۲	۲/۵۲	۲/۵۲	۲/۵۲	۱/۷۱	۱/۰۸	۱/۴۴	۱/۶۲	۱/۷۱	۲/۴۲	۱/۷۱
۶	۲/۱۱	۱/۲۶	۱/۲۶	۱/۲۶	۱/۲۶	۲/۲۸	۱/۴۴	۱/۵۲	۱/۶۲	۲/۲۸	۱/۸۹	۱/۴۴
۷	۲/۶۵	۳/۲۸	۳/۲۸	۳/۲۸	۳/۲۸	۳/۹۹	۲/۵۲	۳/۰۹	۲/۸۶	۳/۹۹	۴/۴۱	۲/۵۲
۸	۷/۵۶	۲/۷۲	۲/۷۲	۲/۷۲	۲/۷۲	۱۰/۰۸	۱/۵۱	۷/۶۸	۷/۸۶	۷/۵۸	۱۰/۰۸	۷/۵۱
۹	۳/۶	۴/۲	۴/۲	۴/۲	۴/۲	۵/۹۸	۳/۷۸	۵/۰۴	۵/۶۷	۵/۹۸	۶/۶۱	۳/۷۸
۱۰	۴/۳۲	۵/۰۴	۵/۰۴	۵/۰۴	۵/۰۴	۶/۸۴	۴/۳۲	۵/۷۶	۵/۲۲	۶/۸۴	۷/۲۹	۴/۳۲

اعضای زنجیره تأمین

برای مطالعات آتی نیز می توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱. گاهی در پروژه ها به دلایلی همچون استفاده نادرست یا پیش بینی نادرست از منابع مورد نیاز، ممکن است کمبودهایی ایجاد شود، از آنجا که مدل ارائه شده در این مقاله، میزان تقاضای روزانه فعالیت ها از منابع قطعی و مشخص است، برای تحقیقات آتی پیشنهاد می شود تقاضای فعالیت های پروژه احتمالی یا فازی در نظر گرفته شود.
۲. اجرای مدل زمان بندی - موجودی در نرم افزار گمز به زمان زیادی نیاز دارد که برای کاهش این زمان می توان از روش های ابتکاری همچون الگوریتم ژنتیک و فرا ابتکاری استفاده کرد.
۳. گاهی ممکن است در بخش انبار پروژه، فضا و ظرفیت کافی وجود نداشته باشد. در مدل موجودی - زمان بندی ارائه شده، ظرفیت انبار پروژه نامحدود است که می توان در تحقیقات آتی برای انبار پروژه ظرفیت محدود در نظر گرفت و مدل را بهبود داد.
۴. یکی از مشکلات مهم در زمینه تأمین منابع، تأثیراتی است که مراحل مختلف تأمین منابع در محیط می گذارد. مدل زمان بندی - موجودی موارد زیست محیطی را در نظر نگرفته است که می توان برای تحقیقات آتی مواردی همچون آلودگی های ایجاد شده توسط وسایل حمل و نقل و کارخانجات را در مدل اضافه کرد و آن را به مدل زنجیره تأمین سبز ساخت و ساز تبدیل نمود.

References

- Adams, W. P., Forrester, R. J. & Glover, F. W. (2004). Comparisons and enhancement strategies for linearizing mixed 0-1 quadratic programs. *Discrete Optimization*, 1(2): 99-120.
- Adetunji, I. O., Price, A. D. F. & Fleming, P. (2008). Achieving sustainability in the construction supply chain. *Proceedings of the ICE -Engineering Sustainability*, 3(161): 161-172.
- Albaloushi, H. & Skitmore, M. (2008). Supply chain management in the UAE construction industry. *International Journal of Construction Management*, 8 (1): 53-71.
- Allameh, G., Esmacili, M. & Tajvidi T. (2015). Developing several pricing models in green supply chain under risk by Game Theory Approach. *Journal of industrial Management*, 6(4): 767-789.

- Aloini, D., Dulmin, R., Mininno, V. & Ponticelli, S. (2012). A conceptual model for construction supply chain management implementation In: Smith, S.D (Ed). *Procs 28th Annual ARCOM Conference*, 3-5 September 2012, Edinburgh, UK, Association of Researchers in Construction Management, 675-685.
- Aloini, D., Ricardo, D., Mininno, V. & Ponticelli, S. (2012). Supply chain management: a review of implementation risks in the construction industry. *Business Process Management Journal*, 18 (5): 735-761.
- Chen, Y. (2012). Study on the Application of Lean Construction Supply Chain Management in EPC Project. *Applied Mechanics and Materials*, 201-202: 1207-1212.
- Ebrahimi, Y., Abourizk, S. M., Fernando, S. & Yasser, M. (2011). Simulation modeling and sensitivity analysis of a tunneling construction project's supply chain. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 18(5): 462-480.
- Elimam, A. A. & Dodin B. (2013). Project scheduling in optimizing integrated supply chain operations. *European Journal of Operational Research*, 224 (3): 530-541.
- Eriksson, P. E. (2015). Partnering in engineering projects: Four dimensions of supply chain integration. *Journal of Purchasing and Supply Management*, 21 (1): 38-50.
- Fallah Lajimi, H., Jafarnejad, A., Mehrgan, M. & Olfat, L., (2015). Configuring integrated supply chain network stochastic strategic. *Journal of industrial Management*, 7(1): 83-105.
- Gangoellis, M., Casals, M., Forcada, S., Roca, N. & Fuertes, A. (2009). A methodology for predicting the severity of environmental impacts related to the construction process of residential buildings. *Building and Environment*, 44(3): 558-571.
- Hooshmandi Maher, M., Amiri, M. & Olfat, L. (2014). A mathematical model for supplier selection and order allocation in a supply chain considering uncertainty in design variables- for print. *Journal of industrial Management*, 6(1): 767-789.
- Hu, W. (2008). Improving construction collaboration performance through supply chain control and management. Information Management, Innovation Management and Industrial Engineering, *International Conference*, Taipei, IEEE.

- Jaskowski, P., Sobotka, A. & Czarnigowska, A. (2014). Decision Model for Selecting Supply Sources of Road Construction Aggregates. *Engineering Economics*, 25(1): 13-20.
- Jian-hua, C. & T. Wan (2010). Time-cost trade-off problem in construction supply chain: A bi-level programming decision model. Management Science and Engineering (ICMSE). *International Conference*, Melbourne, Australia.
- Konukcu, S. (2011). *A knowledge chain framework for construction supply Chain*, Loughborough university. Loughborough.
- Kumar, V. & Viswanadham, N. (2007). A CBR-based decision support system framework for construction supply chain risk management. Automation Science and Engineering, CASE 2007. *IEEE International Conference*, USA, IEEE.
- Meng, X. (2010). Assessment framework for construction supply chain relationships: Development and evaluation. *International Journal of Project Management*, 28 (7): 695-707.
- Meng, X. (2012). The effect of relationship management on project performance in construction. *International Journal of Project Management*, 30 (2): 188-198.
- Meng, X., Sun, M. & Jones, M. (2011). Maturity model for supply chain relationships in construction. *Journal of Management in Engineering*, 27 (2): 97-105.
- Mohammadi, A., Mosleh Shirazi, A. N., Bagher Ahmadi, M. & Shojaei, P. (2014). Designing hierarchical model for risk mitigation in project supply chain based on meta-synthesis (Case Study: Fars Gas Company). *Journal of industrial Management*, 6(3): 591-614.
- O'brien, W. J. (1999). *Construction supply-chain management: a vision for advanced coordination, costing, and control*. NSF Berkeley-Stanford Construction Research Workshop, Stanford, California.
- Shin, T.-H., Chin, S., Yoon, S. W. & Kwon, S. W. (2011). A service-oriented integrated information framework for RFID/WSN-based intelligent construction supply chain management. *Automation in Construction*, 20(6): 706-715.
- Testa, F. & Iraldo, F. (2010). Shadows and lights of GSCM (Green Supply Chain Management): determinants and effects of these practices based on a multi-national study. *Journal of Cleaner Production*, 18 (10): 953-962.
- Tserng, H. P., Dzung, R. J., Lin, Y. C. & Lin, S. T. (2005). Mobile construction supply chain management using PDA and bar codes. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 20(4): 242-264.

- Tserng, H. P., Yin, S. Y. L. & Li, S. (2006). Developing a resource supply chain planning system for construction projects. *Journal of construction engineering and management*, 132 (4): 393-407.
- Van Donselaar, K., Kopczak, L. R. & Wouters, M. (2001). The use of advance demand information in a project-based supply chain. *European Journal of Operational Research*, 130 (3): 519-538.
- Wang, Y., Yu, X. & Xue, X. (2007). An application of the method of combined radix determination for selecting construction supply chain partners. *International Journal of Project Management*, 25 (2): 128-133.
- Wu, Z. & Pagell, M. (2011). Balancing priorities: Decision-making in sustainable supply chain management. *Journal of Operations Management*, 29(6): 577-590.
- Xue, X., Sun, C., Wang, Y. & Shen, Q. (2007). A two-level programming method for collaborative scheduling in construction supply chain management. *4th International Conference, CDVE 2007*, Shanghai, China, September 16-20.
- Xue, X., Wang, Y., Shen, Q. & Yu, X. (2007). Coordination mechanisms for construction supply chain management in the Internet environment. *International Journal of Project Management*, 25 (2): 150-157.
- Zhou, P., Chen, D. & Wang, Q. (2013). Network design and operational modelling for construction green supply chain management. *International Journal of Industrial Engineering Computations*, 4(1): 13-28.