نشـــریه بین المللـــی مهنـــدسی صنـایع و مدیـــریت تولیـــد زمستـــان ۱۳۸۹- صفحه ۱۶۵-۱۵۴

شمـــاره ۴، جلـــد ۲۱، زمستـــان ۱۳۸۹

نشـــریه بین المللـــی مهنـــدسی صنایـــع و مدیـــریت تولیـــد

نشریه بین المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید دانشگاه علم و صنعت ایران

IJIE

ISSN: 2008-4870

http://IJIEPM.iust.ac.ir/

"یادداشت تحقیقاتی"

طراحی یک سیستم کنترل فرآیند تولید برای زنجیره تامین چندمرحله‌ای و تک‌محصولی

احمدرضا تحسیری* و علی رهبری

کلمات کلیدی

کنترل فرآیند تولید،
کانبان، Just-In-Time
زنجیره تامین،
مدل عددصحیح مختلط غیرخطی،
الگوریتم ژنتیک

چکیده:

درسیستم‌های کنترل فرآیند تولید که بر اساس اصول JIT طراحی می‌شوند، فرض بر این است که کالاهای تولید شده در هر یک از مراحل تولید، به میزانی و در زمانی برای مرحله بعدی ارسال گردد، که بلافاصله پس از رسیدن به مراکز کاری، وارد عملیات تولید شود. بدین لحاظ، هیچ‌گونه انبار موجودی یا صف انتظار پای‌کار، قبل از مراکز کاری تشکیل نمی‌شود. این روش به کمک متد اجرایی کانبان طی سال‌های متمادی در بسیاری از صنایع، مورد استفاده قرارگرفته و منشأ توفیقاتی در کنترل عملیات تولیدی و به تبع آن کاهش هزینهٔ مراحل تولید شده است. با این حال، در بسیاری از شرایط تولیدی که امکان سرمایه‌گذاری‌های اضافی برای نگهداری پیوستهٔ نرخ تولید مراکز کاری در سطح مقدار برنامه‌ریزی‌شده اولیه وجود ندارد، چنانچه اندازه محموله ارسالی بیش از ظرفیت تولیدی مرکز بعدی برای هر بار راه‌اندازی باشد، تشکیل انبار موجودی پای‌کار، عملا اجتناب‌ناپذیر است. تحقیق حاضر، با طراحی یک سیستم کنترل فرآیند تولید تحت فضای JIT که دارای انبارهای توقف محصولات نیمه‌ساخته بین مراحل متوالی تولید می‌باشد، انباشت محصولاتی را که بنا به دلایل مختلف، افزون بر ظرفیت هر یک از مراکز کاری در هر بار راه‌اندازی به آن مرکز ارسال شوند در پای کار مجاز دانسته است. این سیستم علاوه بر گسترش دامنهٔ به‌کارگیری اصول JIT برای برنامه‌ریزی و کنترل فرآیندهای تولیدی در سیستم‌هایی که تحت شرایط واقعی عملا امکان اعمال پیوستهٔ موازنه زمان و اندازه تولید بین مراحل مختلف را ندارند، در حقیقت امکان تمرکز هزینه‌های پنهان در سیستم‌های موجود کانبان و اعمال کنترل بر آن‌ها را فراهم می‌نماید. در این مقاله، ابتدا، رفتار هزینه موجودی پای‌کار در انبارهای قبل از مراکز کاری در یک زنجیره چندمرحله‌ای و تک‌محصولی مورد بررسی قرار گرفته و با استفاده از برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط غیرخطی، مدل هزینهٔ انباشت مجاز با سایر اجزای هزینه در کل زنجیره، به‌صورت یکپارچه ارائه شده است. مدل نهایی هزینه در کل زنجیره، یک مدل NP-hard بوده و برای حل آن از الگوریتم ژنتیک استفاده شده است. به منظور ارزیابی میزان کارآیی سیستم طراحی‌شده، در یک زنجیره تامین چندمرحله‌ای و تک‌محصولی، از یک شبیه‌سازی عددی در مطالعهٔ مقایسه‌ای عملکرد هزینه‌ای آن با سیستم موجود کانبان بر مبنای تحقیق Sarker & Wang (2004) استفاده شده است. نتایج حاصله نشان می‌دهد که کاربرد سیستم طراحی‌شده در این مقاله، سطح موجودی و هزینه در کل زنجیره را نسبت به سیستم موجود کانبان، مورد استفاده در تحقیق Sarker & Wang (2004)، به میزان قابل توجهی کاهش می‌دهد..

تاریخ وصول: ۸۸/۱۲/۲۲

تاریخ تصویب: ۸۹/۶/۲۹

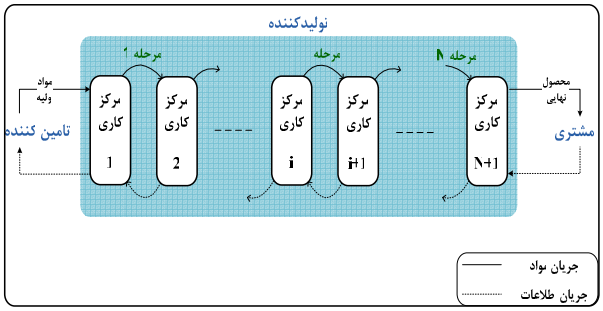
***نویسنده مسئول مقاله: دکتر احمدرضا تحسیری**، عضو هیات علمی گروه مهندسی کنترل و سیستم، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی. tahsiri@kntu.ac.ir

علی رهبری، عضو هیات علمی دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی- واحد دامغان، a.rahbari@Damghaniau.ac.ir

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2025-07-17]

۱. مقدمه

در یک زنجیره تامین که تحت کنترل کانبان عمل می‌کند، فعالیت زنجیره با ورود تقاضای مشتری در مرحله آخر شروع می شود و به طور متوالی، هر یک از مراحل میانی، توسط مرحله بعدی خود فعال می‌شود و این مکانیزم تا مرحله اول ادامه می‌یابد (شکل ۱). بدین ترتیب، جریان مواد و فرآیند تولید در هر مرحله، توسط تقاضای مرحله بعدی کنترل خواهد شد (مکانیزم کششی). مفهوم اساسی JIT، متوجه کاهش سطح موجودی پای‌کار بین مراحل تولید تا حد ممکن از طریق تامین تعداد مورد نیاز از محصول (نیم‌ساخته/نهایی) تنها در زمان مورد نیاز می‌باشد [۱]. لذا در روش کانبان که یکی از ابزارهای پیاده‌سازی تفکر JIT جهت کنترل فرآیند تولید می‌باشد فرض بر این است که قبل از مراکز کاری، انبار شکل نگرفته و محصولات نیم‌ساخته، بلافاصله پس از رسیدن به مرکز کاری، مورد استفاده قرار می‌گیرند و قبل از تولید، هزینه نگهداری به زنجیره تحمیل نمی‌کنند.



شکل ۱. ساختار کلی یک زنجیره تامین چند مرحله‌ای- تحت کنترل کانبان

با توجه به اینکه، تحت شرایط واقعی در بسیاری از فضاهای تولیدی، نرخ تولید در مراکز کاری عملاً محدود به دامنهٔ مشخصی که در مرحله طراحی تعیین شده است، می‌باشد در مواردی که اندازه محموله‌های ارسالی محصولات نیم‌ساخته، بیشتر از حجم تولید مرکز کاری بعدی در هر بار راه‌اندازی باشد، ناگزیر، قبل از مرکز کاری، انبار محصولات نیمه‌ساخته شکل می‌گیرد و منجر به تحمیل هزینه نگهداری موجودی پای‌کار می‌شود. تحت این شرایط، این تحقیق، ضمن بهره‌برداری از روش کانبان، و با فرض امکان تشکیل انبار موجودی پای‌کار قبل از مراکز کاری، رفتار هزینه موجودی پس از ارسال به مرکز کاری و قبل از تولید را نیز به عنوان یک عامل با اهمیت در فرآیند کنترل تولید در نظر گرفته است. مقاله حاضر، با طراحی یک سیستم کنترل فرآیند تولید تحت فضای JIT که دارای انبارهای توقف محصولات نیمه‌ساخته بین مراحل متوالی تولید می‌باشد، انباشت پای‌کار را برای محصولاتی که بنا به دلایل مختلف، افزون بر ظرفیت هر یک از مراکز کاری در هر بار راه‌اندازی به آن مرکز ارسال شوند مجاز دانسته است. با لحاظ این پیش فرض، علاوه بر گسترش دامنهٔ کاربرد اصول JIT برای سیستم‌هایی که تحت شرایط واقعی، عملا امکان اعمال پیوستهٔ موازنه زمان و اندازه تولید بین مراحل مختلف را ندارند، در عین حال، امکان تمرکز هزینه‌های پنهان در سیستم‌های موجود و اِعمال کنترل تولید بر مبنای هزینه-های واقعی تحقق یافته را در سیستم‌های موجود کانبان مهیا می‌سازد. در شکل شماره ۲، موقعیت انباشت مجاز قبل از مرکز کاری در مرحله فرضی i، با دایره قرمز رنگ نشان داده شده است. طبق این شکل، کارکرد انبارِ قبل از مرکز کاری $i+1$ (انباشت مجاز پای‌کار)، تحت روش کانبان بدین صورت است که با توجه به مکانیزم کششی زنجیره، ابتدا مرکز کاری $i+1$، اقدام به تولید می-کند. به این منظور، کانبان برداشت، از روی مواد مورد نیاز برای شروع تولید که در انبار سمت چپ مرکز کاری $i+1$ قرار گرفته است کَنده شده و در ظرف مخصوص پُست گذاشته می‌شود. هرگاه تعداد کانبان‌های برداشتِ داخل ظرف، به مقدار مشخصی برسد ظرف مخصوص پُست، به مرکزکاری i ارسال می‌گردد. در انبار سمت راستِ مرکز کاری i، قطعات مورد نیاز مرکز کاری $i+1$، به صورت آماده (تولیدشده) قرار گرفته است و بر روی آن‌ها کانبان تولید مربوط به مرکز کاری i نیز چسبانده شده است. با رسیدن کانبان-های برداشت از مرکز کاری $i+1$، ابتدا به تعدادی که کانبان‌های برداشت مشخص می‌کنند، از قطعات آماده در انبار سمت راست مرکز کاری i برداشته شده، پس از کندن کانبان‌های تولید از روی آن‌ها و چسباندن کانبان‌های برداشت بر روی آن‌ها، به مرکز کاری $i+1$ فرستاده می‌شوند. کانبان‌های تولید که از روی قطعات تولیدشده در مرکز کاری i کنده می‌شوند در ظرف مخصوص و در همان مرکز کاری i قرار داده می‌شوند. حضور کانبان تولید در ظرف مخصوص در مرکز کاری i، به معنای دستور به شروع تولید در مرکز کاری i است که نوع و تعداد تولید، توسط کانبان‌های تولید مشخص می‌شود.

بدین ترتیب، کانبان‌های برداشت، که نوع قطعه و تعداد قطعه ارسالی را مشخص می‌سازند و بین دو مرکز کاری مجاور در گردش هستند [۲]، نحوه حمل‌ونقل مواد بین مراکز کاری را کنترل می-کنند [۳] و کانبان‌های تولید، که نوع قطعه و تعداد تولید را مشخص می‌سازند و در یک مرکز کاری گردش می‌کنند [۲]، برنامه تولید هر یک از مراکز کاری را کنترل می‌کنند [۳].

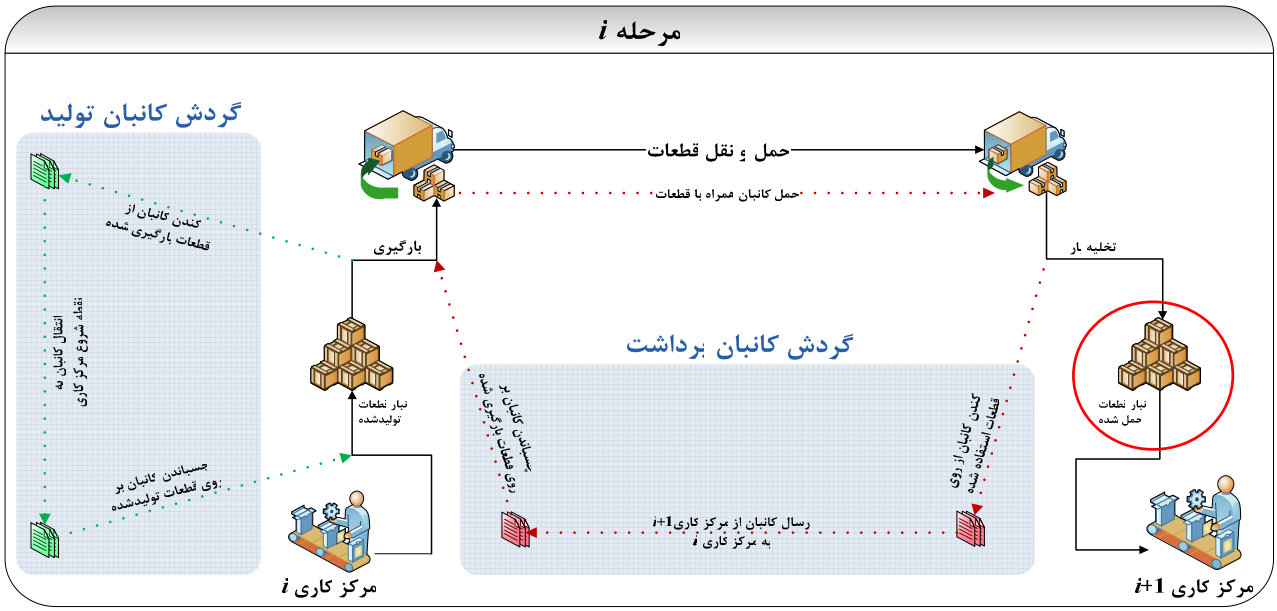
مقاله حاضر، ابتدا، رفتار هزینه موجودی پای‌کار در انبارهای قبل از مراکز کاری در یک زنجیره چندمرحله‌ای و تک‌محصولی را مورد بررسی قرار داده و با استفاده از برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط غیرخطی، مدل هزینهٔ انباشت مجاز را با سایر اجزای هزینه در کل زنجیره، به صورت یکپارچه ارائه نموده است. سپس، به منظور ارزیابی میزان کارآیی سیستم طراحی‌شده، از یک شبیه‌سازی عددی در مطالعهٔ مقایسه‌ای عملکرد هزینه‌ای آن با سیستم موجود کانبان بر مبنای تحقیق Sarker & Wang (2004) استفاده شده است.

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2025-07-17]

۲. مروری بر پیشینه مطالعاتی

در سال‌های اخیر، بسیاری از شرکت‌ها، با هدف کاهش مواد پای‌کار و کنترل جریان قطعات نیمه‌ساخته، به استراتژی‌های مختلفی چون CONWIP، کانبان و Drum-Buffer-Rope دست یافته‌اند.

در این میان، استراتژی کانبان، مواجه با استقبال زیادی از سوی محققان و مدیران اجرایی شده و تلاش‌های زیادی در مدل‌سازی و طراحی تکنیک‌های حل مسائل کانبان شده است.



شکل ۲. جریان مواد و کارت‌های کانبان در مرحله i

۲-۱. زنجیره‌های تامین- تحت کنترل کانبان

بکارگیری کانبان برای کنترل فرآیند تولید سیستم تک‌مرحله‌ای، اولین بار توسط Monden (۱۹۸۳) مطرح شد [۴] و پس از آن، Wang & Wang (۱۹۹۱) کانبان را در دو نوع پیکره‌بندی تولیدی (i. یک ایستگاه- یک‌ایستگاه، ii. یک ایستگاه- چند ایستگاه) استفاده کردند [۵]. تمرکز اصلی تحقیقات، عموما حول بسط کاربرد کانبان در شرایط مختلف سیستم‌های تولیدی شکل گرفت. از آن جمله Yanagawa و همکارانش (۱۹۹۴) مدل برنامه‌ریزی عملیات کانبان را برای یک سیستم چندمرحله‌ای با نرخ مصرف متفاوت در مراحل تولید ارائه کردند [۶]. Seliaman & Ahmad (۲۰۰۸) کاربرد کانبان را به یک زنجیره سه‌مرحله‌ای با نرخ تولید محدود توسعه دادند [۷]. Sarker & Wang (۲۰۰۴) یک مدل ریاضی کانبان را برای استفاده در یک سیستم چندمرحله‌ای با فرآیند تولید تک-محصولی توسعه دادند [۸]. Abdou & Dutta (۱۹۹۳) یک مدل برای کارکرد یک سیستم تولیدی چندمحصولی- چندمرحله‌ای تحت روش کانبان ارائه کردند [۹]. Reda (۱۹۸۷) ضمن مروری بر تحقیقات انجام‌شده درباره کانبان، روش کانبان را با روش‌های دیگر کنترل تولید و موجودی مقایسه کرد [۱۰]. تحقیقات اخیر، بهبودهای متعددی جهت سازگار نمودن کانبان با شرایط خاص برخی سیستم‌های تولیدی پیشنهاد کرده‌اند.

Gupta & AlTurki (۱۹۹۷) روشی برای دستکاری تعداد کانبان‌ها ارائه کردند تا بتوان از کابنان در شرایط تقاضای متغیر و زمان تولید احتمالی استفاده نمود [۱۱]. Chan (۲۰۰۱) استفاده از کانبان‌هایی با اندازه متغیر را برای یک سیستم چندمحصولی- تک‌مرحله‌ای پیشنهاد نمود [۱۲].

Abdul-Nour و همکارانش (۱۹۹۹) استفاده از نگرش مدیریت پروژه جهت پیاده‌سازی اجزای کانبان را ارائه کردند [۱۳]. Takahashi & Nakamura (۲۰۰۲) با استفاده از سری‌های زمانی و نمودارهای کنترلی، روش کانبان غیر متمرکز برای سیستم‌های تولیدی با تقاضای ناپایدار را ارائه کردند [۱۴]. Azadeh و همکارانش (۲۰۰۵) با تلفیق شبیه‌سازی و تحلیل واریانس، طراحی مجدد سیستم تولیدی را بررسی کردند تا به نقاط بهینه عملیاتی در روش کانبان دست یابند [۱۵]. Yavuz & Tufekci (۲۰۰۶) هموارسازی انباشته-های تولیدی را به کمک برنامه‌ریزی پویا پیشنهاد نمودند [۱۶].

جدول شماره (۱) مطالعات پیشین درباره زنجیره‌های تامین-تحت کنترل کانبان را نشان می‌دهد. مقاله حاضر، تحت شرایط متغیر و دینامیکی در محیط‌های تولیدی که عملاً نگهداری پیوستهٔ نرخ تولید در مراکز کاری را در سطح مقادیر برنامه‌ریزی‌شدهٔ اولیه به دلایل مختلف غیر ممکن می‌نماید، به ضرورت انباشت محصولات پای‌کار در یک زنجیره تک‌محصولی- چندمرحله‌ای توجه نموده، و یک سیستم کنترل فرآیند تولید طراحی نموده است که ضمن بهره-برداری از روش کانبان، دارای انبارهای توقف محصولات نیمه‌ساخته بین مراحل متوالی تولید جهت نگهداری محصولاتی است که افزون بر ظرفیت تولید در هر بار راه‌اندازی به آن مرکز می‌رسد.

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2025-07-17]

جدول ۱. طبقه‌بندی مطالعات پیشین درباره زنجیره تامین- تحت کنترل کانبان

تقسیم‌بندی مطالعات		نوع مساله		فضای تصمیم‌گیری		روش مدل‌سازی و حل		
سال ارائه	محقق	تک مرحله‌ای	چند مرحله‌ای	قطعی	احتمالی	تحلیلی (مدل‌های تحقیق در عملیات)	عددی (شبیه‌سازی /ابتکاری)	تلفیقی
۱۹۸۳	Monden [4]	✓		✓		✓		
۱۹۸۷	Reda [10]	✓		✓		✓		
۱۹۸۸	Miyazaki et al. [17]		✓	✓		✓		
۱۹۸۸	Seidmann [18]		✓	✓		✓		
۱۹۸۹	Buzacott [19]		✓		✓		✓	
۱۹۸۹	Gupta & Gupta [20]		✓		✓		✓	
۱۹۹۱	Wang & Wang [5]		✓		✓	✓		
۱۹۹۲	Deleersnyder et al. [21]	✓		✓		✓		
۱۹۹۳	Abdou & Dutta [9]		✓	✓			✓	
۱۹۹۳	Askin et al. [22]	✓		✓		✓		
۱۹۹۴	Yanagawa et al. [6]		✓		✓	✓		
۱۹۹۵	Albino et al. [23]		✓	✓		✓		
۱۹۹۶	Mascolo et al. [24]		✓	✓		✓		
۱۹۹۶	Nori & Sarker [25]							
۱۹۹۶	Sarker & Balan [26]	✓		✓		✓		
۱۹۹۶	Watanabe & Hiraki [27]		✓	✓		✓		
۱۹۹۷	Co & Sharafali [28]		✓		✓	✓		
۱۹۹۷	Gupta & AlTurki [11]		✓		✓	✓		
۱۹۹۸	Andijani [29]		✓		✓		✓	
۱۹۹۸	Markham et al. [3]		✓	✓			✓	
۱۹۹۸	Nori & Sarker [30]	✓		✓		✓		
۱۹۹۸	Sarker & Balan [31]		✓	✓		✓		
۱۹۹۹	Sarker & Balan [32]		✓	✓		✓		
۱۹۹۹	Parija & Sarker [33]		✓	✓		✓		
۱۹۹۹	Panayiotou & Cassandras [34]		✓		✓		✓	
۱۹۹۹	Abdul-Nour et al. [13]		✓	✓		✓		
۱۹۹۹	Seki & Hoshino [35]	✓			✓	✓		
۲۰۰۰	Herer & Shalom [36]		✓		✓		✓	
۲۰۰۱	Chan [12]		✓		✓			✓
۲۰۰۱	Tardif & Maaseidvaag [37]	✓			✓	✓		
۲۰۰۲	Takahashi & Nakamura [14]		✓		✓	✓		
۲۰۰۲	Shahabudeen et al [38]		✓		✓		✓	
۲۰۰۳	Lovell [39]		✓		✓	✓		
۲۰۰۳	et al. [40]Boucherie		✓		✓	✓		
۲۰۰۴	Sarker & Wang [8]		✓	✓		✓		
۲۰۰۵	Azadeh et al. [15]		✓		✓			✓
۲۰۰۶	Al-Tahat & Mukattash [41]	✓			✓	✓		
۲۰۰۶	Yavuz & Tufekci [42]		✓	✓		✓		
۲۰۰۷	Banerjee [43]		✓		✓	✓	✓	
۲۰۰۸	[44]SivakumarShahabudeen &		✓		✓		✓	
۲۰۰۸	Hao & Shen [45]		✓		✓			✓
۲۰۰۸	Seliaman & Ahmad [7]		✓		✓		✓	

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2025-07-17]

۲-۲. الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک، یک فرآیند جستجوی تصادفی است که در حل مسائل بهینه‌سازی و به منظور دستیابی به جواب‌های نزدیک به بهینه مورد استفاده واقع می‌شود.

الگوریتم‌های ژنتیک، به منظور یافتن جواب، از قوانین تکامل بیولوژیک طبیعی تقلید کرده و روی یکسری از جواب‌های اولیه، به امید بدست آوردن جواب‌های بهتر، قانون بقای بهترین را اعمال می‌نمایند [۴۵]. کارکرد این الگوریتم مبتنی بر تولید نسل های پی در پی جواب می‌باشد، به این گونه که متناسب با ارزش جواب‌ها در هر نسل، برخی جواب‌ها را انتخاب نموده و با اِعمال عملگرهایی که از ژنتیک طبیعی الگوبرداری شده‌اند، به تولید نسل بعد و در نتیجه تقریب‌های بهتری از جواب نهایی می‌پردازند.

این فرآیند باعث می‌شود که نسل‌های جدید با شرایط مساله سازگارتر باشند [۴۶]. الگوریتم ژنتیک بدلیل داشتن جستجویی چند- جهتی در فضای جواب و پیش‌بردن مبادلات اطلاعات در این جهات، در بدست آوردن جواب‌های بهینه، مؤثرتر و استوارتر از الگوریتم‌های ابتکاری دیگر (آنیلینگ شبیه‌سازی‌شده، الگوریتم مورچگان و...) عمل می‌کند [۴۷]. گستره وسیع کاربردهای اخیر الگوریتم ژنتیک و استفاده فراوان از آن در حل مسائل مختلف بهینه‌سازی، مبین توانمندی آن در ارائه جواب‌های نزدیک به بهینه در مدت زمان قابل قبول است.

Ko & Evans [۴۸]، Borisovsky و همکارانش [۴۹] و Jawahar & Balaji [۴۵] در مدیریت زنجیره تامین، Cheng & Shih [۵۰] در مهندسی مکانیک- حرارت، Vroblefski & Brown [۵۱] و Zhang & Lai [۵۲] در طراحی شبکه و استقرار تسهیلات، Jiao و همکارانش [۵۳] در برنامه‌ریزی سبد سهام، Drezner [۵۴] در مساله تخصیص درجه دو، Essafi و همکارانش [۵۵] و Pezzella و همکارانش [۵۶] در زمان‌بندی تولید دسته‌ای، Moz & Pato [۵۷] و Mendes و همکارانش [۵۸] در زمان‌بندی پروژه و نیروی انسانی از الگوریتم ژنتیک استفاده کردند. با توجه به ماهیت رفتاری الگوریتم ژنتیک و جامعیت آن در سازگاری با محدوده مسالهٔ مورد مطالعه در این تحقیق که یک مسالهٔ NP-hard است، برای حل مدل نهایی ارائه شده در این مقاله از الگوریتم ژنتیک استفاده شده است.

۳. تعریف مساله

یک زنجیره تامین عموما متشکل از سه جزء اصلی؛ تامین‌کننده، تولیدکننده و مشتری می‌باشد که مواد به صورت سری در طول زنجیره جریان می‌یابد. تولیدکننده مشتمل بر چندین مرکز کاری به‌عنوان حلقه مرکزی زنجیره، و تامین‌کننده و مشتری در سمت چپ و راست، به‌عنوان سیستم‌های مکمل در زنجیره فرآیند تولید تعریف می شوند.

توجه مرکزی این تحقیق بر این واقعیت است که در شرایطی که نرخ تولید در یک یا چند مرکز کاری تحت تاثیر تغییرات محیطی و/یا داخلی از سطح برنامه‌ریزی‌شده اولیه کمتر می‌شود، سیستم تولیدی مواجه با هزینه‌هایی می‌شود که به لحاظ عدم امکان تطابق ساختاری سیستم کنترل کانبان موجود با چنین تغیراتی، این‌گونه هزینه‌ها عملا در مدل‌هایی که تاکنون ارائه شده‌اند نامشهود مانده است.

مساله اصلی در این تحقیق عبارتست از: طراحی یک سیستم کنترل فرآیند تولید برای بهبود عملکرد سیستم کنترل کانبان موجود در فرآیندهای چندمرحله‌ای و تک‌محصولی تحت شرایط واقعی، و ارائه یک مدل تلفیقی یکپارچه برای کنترل و بهینه‌سازی جریان هزینه در کل زنجیره بر اساس تحلیل رفتار هزینه‌های واقعی در هر یک از مراحل زنجیره تامین.

فرضیات زیر درباره زنجیره در نظر گرفته شده است:

۱. تقاضای مشتری و نرخ تولید، معین و قطعی است.
۲. نرخ تولید در همه مراکز کاری محدود است.
۳. تعداد قطعات تولیدی در هر دوره، برای تمامی مراحل زنجیره یکسان است.
۴. در هیچ یک از مراحل زنجیره، کمبود جایز نیست.
۵. هزینه نگهداری در انبارها خطی است.

۴. متدولوژی حل مساله

به منظور مدل‌سازی هزینه کل یک زنجیره تامین N مرحله‌ای، ابتدا هزینه انباشت مجاز برای یک مرحلهٔ فرضی مانند i و سپس، با توجه به الگوی یکسان مراحل، برای کل مراحل میانی زنجیره محاسبه شده است. سپس، هزینه انباشت‌های مجاز با سایر اجزای هزینه در کل زنجیره که در روش کنترلی کانبان موجود، در تحقیق Sarker & Wang (۲۰۰۴) به‌صورت یکپارچه تلفیق شده است.

به‌منظور مدل‌سازی از برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط غیرخطی[1] و جهت حل مدل، از الگوریتم ژنتیک استفاده شده است.

۵. مدل‌سازی

در جدول شماره (۲)، تعریف پارامترها و در جدول شماره (۳)، تعریف متغیرهای تصمیم، ارائه شده است که سعی شده است با مدل Sarker & Wang (۲۰۰۴) بیشترین تناسب را داشته باشد تا بستر لازم را جهت مقایسه مدل‌ها فراهم نماید.

[1] *Mixed Integer Non-Linear Programming*

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2025-07-17]

جدول ۲. تعریف پارامترهای مدل

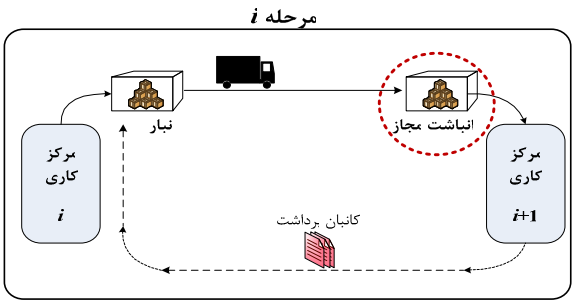
پارامتر	تعریف	واحد
D	نرخ تقاضا	سال/قطعه
P_i	نرخ تولید مرکز کاری i	سال/قطعه
H_r	هزینه نگهداری مواد اولیه	سال/قطعه/ریال
H_{wi}	هزینه نگهداری قطعات نیمه‌ساخته در مرکز کاری i	سال/قطعه/ریال
H_f	هزینه نگهداری محصول نهایی	سال/قطعه/ریال
A_r	هزینه ثابت سفارش‌دهی مواد اولیه	سفارش/ریال
A_{si}	هزینه ثابت راه‌اندازی تولید در مرکز کاری i	راه‌اندازی/ریال
A_{wi}	هزینه ثابت حمل‌ونقل قطعات نیمه‌ساخته در مرحله i	ارسال/ریال
A_f	هزینه ثابت حمل‌ونقل محصول نهایی به مشتری	ارسال/ریال

جدول ۳. متغیرهای تصمیم مدل

متغیر	تعریف	واحد
Q	تعداد کل محصولات نهایی تولیدشده در یک دوره T	دوره/قطعه
Q_r	حجم انباشته سفارش‌دهی مواد اولیه	سفارش/قطعه
Q_{wi}	حجم محموله ارسالی قطعات نیمه‌ساخته در مرحله i	ارسال/قطعه
Q_f	حجم محموله ارسالی محصول نهایی به مشتری	ارسال/قطعه
n_0	تعداد دفعات سفارش‌دهی مواد اولیه در یک دوره T	تعداد
k_i	تعداد دفعات ارسال قطعات نیمه‌ساخته در مرحله i در یک دوره T	تعداد
n	تعداد دفعات ارسال محصول نهایی به مشتری در یک دوره T	تعداد

۵-۱. مدل هزینه انباشت مجاز در انبارهای قبل از مراکز کاری

شکل شماره ۳، موقعیت هزینه انباشت مجاز در مرحله i را نشان می‌دهد که انبار قبل از مرکز کاری $i+1$ می‌باشد.



شکل ۳. جریان قطعات نیمه‌ساخته و کانبان برداشت در مرحله i

در مرحله i، به محض ارسال قطعات نیمه‌ساخته از انبار مرکز کاری i به مرکز کاری $i+1$، هیچ‌گونه هزینه نگهداری در مرکز کاری i برای محموله ارسال‌شده محاسبه نمی‌شود. چنانچه به هر دلیلی، اعمال پیوستهٔ موازنه زمان و اندازه تولید در این مرحله ممکن نباشد، انباشت محصولات ارسالی در انبار قبل از مرکز کاری $i+1$ و به تبع آن، هزینه نگهداری اجتناب‌ناپذیر می‌گردد.

از آنجا که هنوز عملیات جدیدی روی قطعات ارسالی صورت نگرفته است، هزینه نگهداری واحد آن‌ها، در انبار قبل از مرکز کاری $i+1$ برابر با هزینه نگهداری واحد آن‌ها در انبار بعد از مرکز کاری i و همان هزینه نگهداری واحد در مرحله i می‌باشد. نمودار (۱) موجودی قطعات نیمه‌ساخته در انبار قبل از مرکز کاری $i+1$ را نشان می‌دهد. با توجه به نمودار، متوسط سطح موجودی برابر است با:

$$I_{avg} = \frac{1}{2} Q_{wi} \left(k_{i+1} - m_{i+1} + 1\right) \qquad (۱)$$

هزینه نگهداری قطعات نیمه‌ساخته در انبار قبل از مرکز کاری $i+1$ که همان هزینه انباشت مجاز در مرحله i می‌باشد طبق فرمول زیر محاسبه خواهد شد:

$$Allowed\ Holding\ Cost_i = H_{wi} \frac{Q_{wi}}{2} \left(k_{i+1} - m_{i+1} + 1\right) \qquad (۲)$$

هزینه کل انباشت‌های مجاز در مراحل میانی زنجیره، از طریق جمع هزینه انباشت در تک‌تک مراحل، محاسبه شده و برابر با عبارت زیر می‌باشد.

$$Total\ AHC = \sum_{i=1}^{N} Cost_i \qquad (۳)$$

۵-۲. مدل سایر اجزای هزینه در کل زنجیره

این قسمت از هزینه که در روش کنترل کانبان موجود نیز در نظر گرفته می‌شود، بر مبنای مدل Sarker & Wang (۲۰۰۴) و به صورت زیر فرموله شده است:

$$C_{Kanban-Controlled\ Supply\ Chain} = C_r + \sum_{i=1}^{N} C_{wi} + C_f \qquad (۴)$$

که در آن، C_r، C_{wi} و C_f به‌ترتیب، هزینه تامین مواد اولیه، هزینه قطعات نیمه‌ساخته در مرحله به جز هزینه انباشت مجاز، و هزینه تحویل محصول نهایی به مشتری می‌باشند که با فرمول‌های زیر مدل شده‌اند (Sarker & Wang, 2004):

$$C_r = \frac{A_r D}{Q_r} + \frac{H_r Q_r}{2} \qquad (۵)$$

$$C_{wi} = A_{si} \frac{D}{Q} + A_{wi} \frac{D}{Q_{wi}} + H_{wi} \frac{Q_{wi}}{2} \left(\left(k_i + k_{i+1}\right) - \left(m_i + m_{i+1}\right) + 2\right) \qquad (۶)$$

$$C_f = A_{s(N+1)} \frac{D}{Q} + A_f \frac{D}{Q_f} + H_f \frac{Q_f}{2} \left(n - m_{N+1} + 1\right) \qquad (۷)$$

۵-۳. هزینه کل زنجیره تامین

با جمع هزینه انباشت‌های مجاز با سایر هزینه‌های زنجیره، هزینه کل زنجیره تامین بدست می‌آید که برابر با عبارت زیر است:

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2025-07-17]

$$Total\ Cost\ of\ SupplyChai\ n = Total\ AHC + C_{Kanban-Controlled\ SupplyChai\ n} \quad (۸)$$

با جایگذاری معادلات (۲)، (۵) و (۶) در عبارت فوق و ساده‌سازی آن‌ها، خواهیم داشت:

$$TC_{SC} = D\left(\frac{A_r}{Q_r} + \sum_{i=1}^{N}\left(\frac{A_{si}}{Q} + \frac{A_{wi}}{Q_{wi}}\right) + \frac{A_{s(N+1)}}{Q} + \frac{A_f}{Q_f}\right) + \frac{1}{2}\left(H_r Q_r + 2\sum H_{wi} Q_{wi} + H_f Q_f\right) + \frac{1}{2}\left(\sum_{i=1}^{N-1} H_{wi} Q_{wi}\left((k_i + k_{i+1}) - (m_i + m_{i+1})\right) + H_{wN} Q_{wN}\left((k_N + n) - (m_N - m_{N+1})\right) + H_f Q_f\left(n - m_{N+1}\right)\right) \quad (۹)$$

با استفاده از عبارات زیر:

$$Q = n_0 Q_r\,,$$

$$Q = k_i Q_{wi}\,,$$

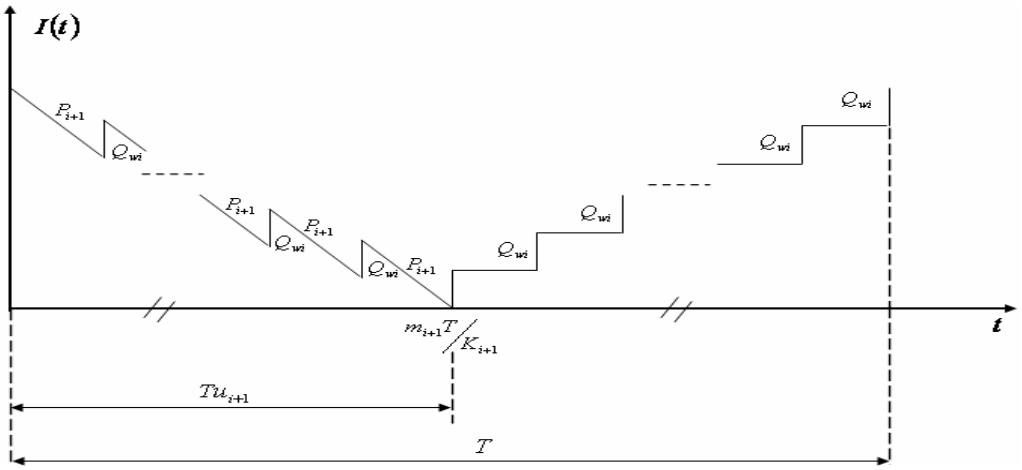
$$Q = n Q_f\,,$$

$$\frac{m_i}{k_i} = \frac{D}{P_i}\,,$$

$$\frac{m_{i+1}}{k_i} = \frac{m_{i+1}}{k_{i+1}} \times \frac{k_{i+1}}{k_i} = \frac{D}{P_{i+1}} \times \frac{k_{i+1}}{k_i}\,,$$

$$\frac{m_{N+1}}{n} = \frac{D}{P_{N+1}}\,,$$

$$\frac{m_{N+1}}{k_N} = \frac{n}{k_N} \times \frac{D}{P_{N+1}}$$



نمودار ۱. موجودی قطعات نیمه‌ساخته در انبار قبل از مرکز کاری $i+1$ (انباشت مجاز در مرحله i)

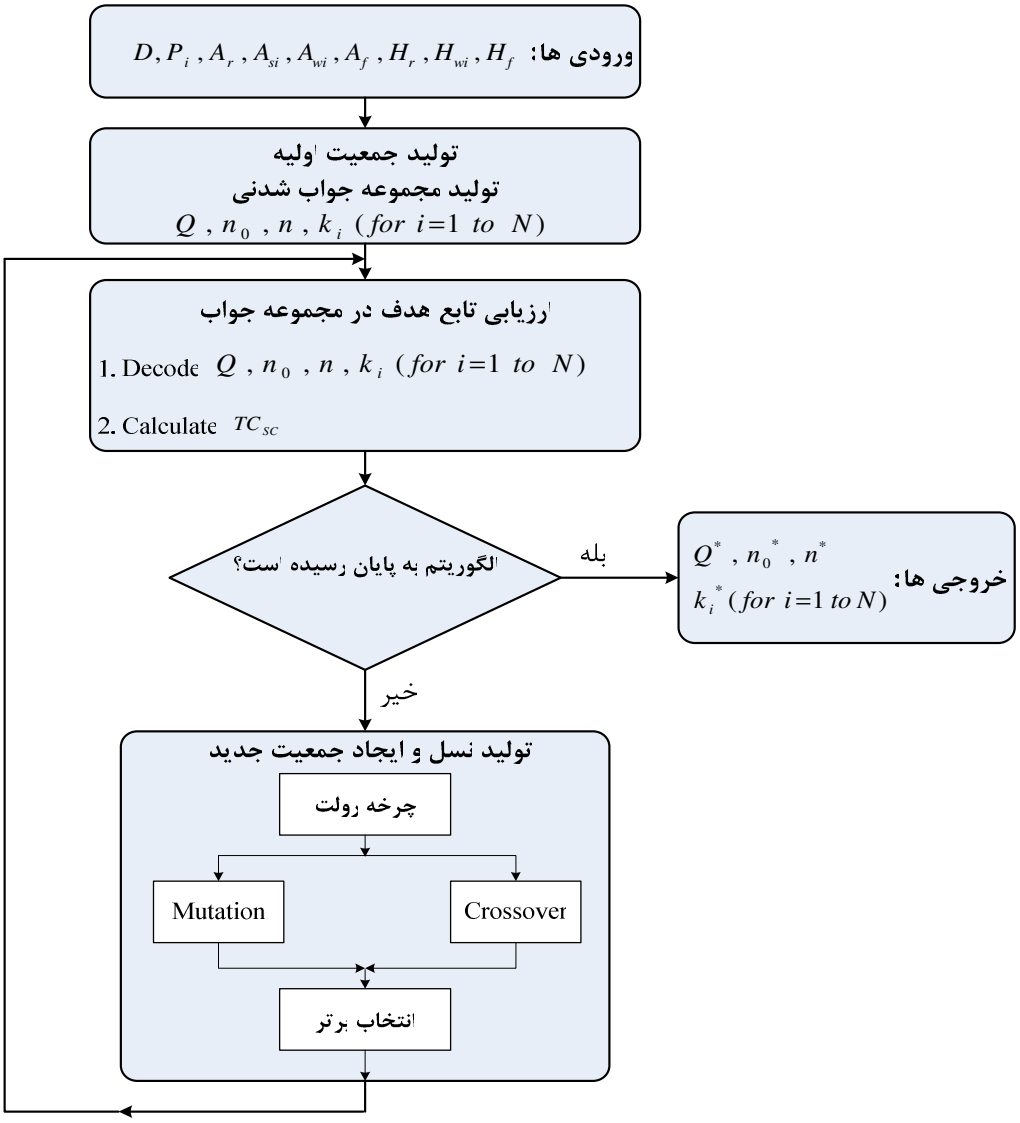
جدول ۴. پارامترهای مثال عددی- یک زنجیره تامین ۳مرحله‌ای تحت کنترل کانبان

هزینه نگهداری (سال/قطعه/دلار)	هزینه ثابت حمل/سفارش (سفارش/دلار) یا (ارسال/دلار)	هزینه ثابت راه‌اندازی (راه‌اندازی/دلار)	نرخ تولید (سال/قطعه)	تقاضا (سال/قطعه)
$H_r = 45$	$A_r = 110$			
$H_{w1} = 30$	$A_{w1} = 100$	$A_{s1} = 300$	$P_1 = 5500$	
$H_{w2} = 45$	$A_{w2} = 80$	$A_{s2} = 250$	$P_2 = 5600$	$D = 5000$
$H_{w3} = 25$	$A_{w3} = 120$	$A_{s3} = 300$	$P_3 = 6000$	
$H_{w4} = 35$	$A_{w4} = 100$	$A_{s4} = 350$	$P_4 = 5500$	

جدول ۵. پارامترهای الگوریتم ژنتیک

هزینه کل زنجیره (دلار)	احتمال Mutation	احتمال Crossover	اندازه جمعیت در هر نسل	تعداد نسل‌ها
68.897	0.1	0.9	200	200
72.868	0.15	0.85	100	200
73.112	0.1	0.9	100	200
73.257	0.15	0.85	200	200

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2025-07-17]



نمودار ۲. قدم‌های الگوریتم ژنتیک

هزینه کل زنجیره به صورت معادله (۱۰) بدست خواهد آمد.

$$TC_{SC} = \frac{D}{Q}\left(A_r n_0 + \sum_{i=1}^{N+1} A_{si} + \sum_{i=1}^{N} A_{wi} k_i + nA_f \right) + \frac{Q}{2}\left(\frac{H_r}{n_0} + 2\sum_{i=1}^{N} \frac{H_{wi}}{k_i} + \frac{H_f}{n} \right) + \frac{Q}{2}\left(\sum_{i=1}^{N-1} H_{wi}\left(\frac{k_{i+1}}{k_i}\left(1-\frac{D}{P_{i+1}}\right) + \left(1-\frac{D}{P_i}\right)\right) + H_{wN}\left(\frac{n}{k_N}\left(1-\frac{D}{P_{N+1}}\right) + \left(1-\frac{D}{P_N}\right)\right) + H_f\left(1-\frac{D}{P_{N+1}}\right)\right) \quad (۱۰)$$

با توجه به اینکه، متغیر Q از نوع عدد حقیقی و متغیرهای n_0، $k_i,\ i=1,2,...,N$ و n از نوع عدد صحیح هستند، معادله (۱۰)، از نوع عدد صحیح مختلط غیرخطی می‌باشد.

۶. ارزیابی میزان کارآیی سیستم کنترل طراحی‌شده در مقایسه با روش کنترلی کانبان موجود

یک زنجیره تامین ۳مرحله‌ای با پارامترهای مندرج در جدول (۴) با فرآیند تولید تک‌محصولی از تحقیق Sarker & Wang (2004)، به منظور مطالعهٔ عملکرد هزینه‌ای سیستم طراحی‌شده در مقایسه با سیستم موجود کانبان استفاده شده است.

Sarker & Wang (۲۰۰۴) مدل کانبان این زنجیره را با استفاده از روش شاخه و حد حل کردند، ولیکن، مدل تحقیق حاضر، که

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2025-07-17]

ترکیب برنامه‌ریزی عدد صحیح با تابع هدف غیرخطی است از نوع NP-hard بوده و بدلیل پیچیدگی، استفاده از الگوریتم‌های جستجوی دقیق و بهینه‌یاب برای حل آن، مستلزم زمان محاسباتی زیادی است. این زمان با بزرگ شدن ابعاد مساله افزایش یافته و در برخی موارد نیز یافتن جواب بهینه عملا امکان‌پذیر نمی‌باشد [۶۰]. به‌دلیل سازگاری الگوریتم ژنتیک با مدل ارائه‌شده و کارآیی مناسب آن در کاربردهای مشابه، به منظور حل مدل، از الگوریتم ژنتیک استفاده شده است. نمودار (۲) قدم‌های الگوریتم ژنتیک به کار گرفته شده در این مقاله را نمایش می‌دهد. در این الگوریتم از Crossover تک‌نقطه‌ای استفاده شده و به منظور اعمال عملگر Mutation یکی از ژن‌ها به صورت تصادفی انتخاب و مقدار آن تغییر داده شده است. همچنین از چرخه رولت[1] در تولید مجموعه جواب بهتر و از روش انتخاب برتر[2] به منظور حفظ جواب بهتر در هر تولید نسل، استفاده شده است. به منظور تولید مجموعه جواب شدنی (امکان‌پذیر)، محدودیت‌های زیر در تولید مجموعه جواب‌ها مد نظر قرار گرفته است.

$$Q \geq 0, Integer$$
$$n_0, n \geq 0 \ , \ Integer$$
$$k_i \geq 0 \ , Integer \quad for \ \ i = 1 \ to \ N$$

$$Q \leq D, \quad n_0 \leq Q, \ n \leq Q$$
$$k_i \leq Q \quad for \ \ i = 1 \ to \ N$$

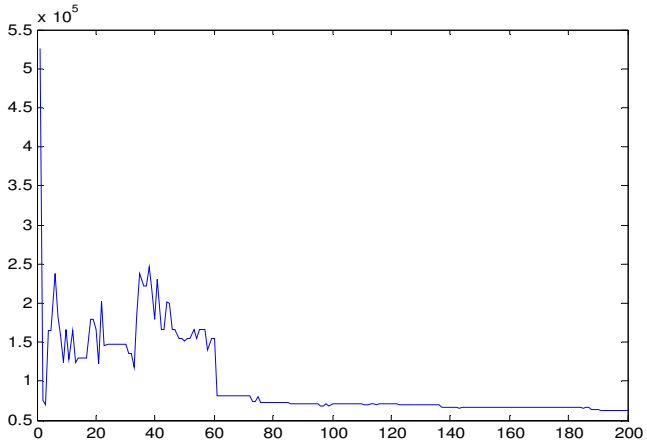
پارامترهای الگوریتم ژنتیک دودویی مورد استفاده، در جدول (۵) و روند همگرایی الگوریتم ژنتیک در بهترین جواب حاصل، در نمودار (۳) نشان داده شده است. مقادیر متغیرهای تصمیم در بهترین جواب الگوریتم ژنتیک که در مدت زمان قابل قبولی (۲۸ ثانیه) بدست آمده است و در بهترین جوابی که Sarker & Wang (۲۰۰۴) بدست آوردند همراه با مقدار تابع هدف (هزینه کل زنجیره) مربوط به آن‌ها مطابق با معادله شماره (۱۰)، در جدول (۶) ارائه شده است.

جدول ۶. جواب بدست‌آمده از الگوریتم ژنتیک در مقایسه با جواب تحقیق Sarker & Wang (۲۰۰۴)

	جواب مقاله حاضر (استفاده از GA)	Sarker & Wang (۲۰۰۴)
Q	۳۳۶	۹۰۱
n_0	۱	۶
n	۱	۵
k_1	۲	۷
k_2	۴	۴
k_3	۲	۵
TC_{SC} (دلار)	۶۸۸۹۷	۷۴۴۶۵

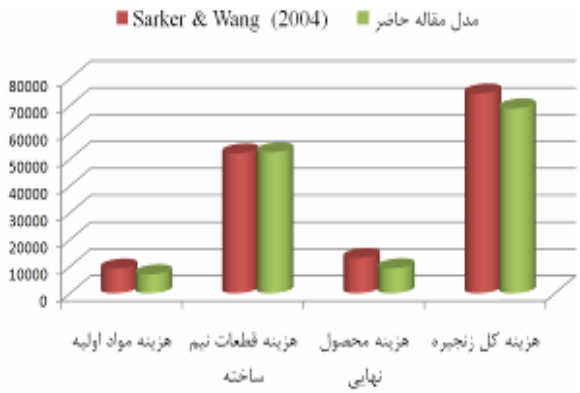
[1] *Roulette Wheel*
[2] *Elite Selection*

کاهش مقدار Q در جواب مقاله حاضر، مبیّن کاهش سطح موجودی زنجیره و کاهش TC_{SC}، مبیّن کاهش هزینه کل زنجیره در مقایسه با مدل Sarker & Wang (۲۰۰۴) است که در جدول (۶) قابل مشاهده است. نمودار (۴) که به مقایسه هزینه بخش‌های مختلف زنجیره در جواب بهینه دو مدل پرداخته است، تفاوت هزینه‌های تامین مواد اولیه و تحویل محصول نهایی در دو مدل را به خوبی نشان می‌دهد.



(شماره نسل)

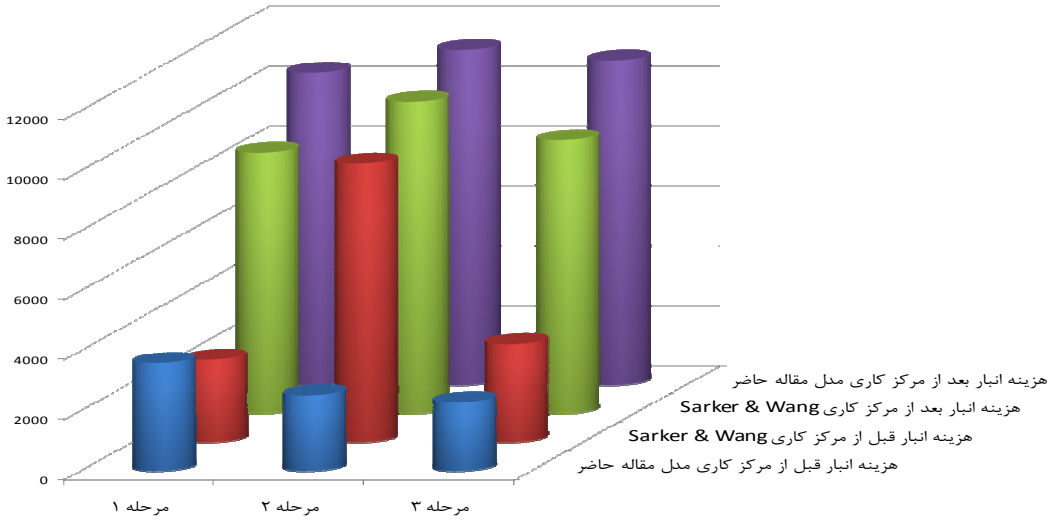
نمودار ۳. روند همگرایی الگوریتم ژنتیک به سمت جواب بهینه



نمودار۴. مقایسه هزینه بخش‌های مختلف زنجیره در مدل مقاله حاضر و مدل Sarker & Wang (۲۰۰۴)

نمودار (۵) که به مقایسه اجزای هزینه قطعات نیمه‌ساخته در جواب بهینه دو مدل پرداخته است نشان می‌دهد هزینه انبارهای قبل از مراکز کاری در مدل Sarker & Wang (۲۰۰۴) از مدل مقاله حاضر بیشتر بوده و هزینه انبارهای بعد از مراکز کاری در مدل Sarker & Wang (۲۰۰۴) کمتر از مدل مقاله حاضر است. این تفاوت، به دلیل در نظر گرفتن انباشت‌های مجاز مراحل میانی تولید در مدل مقاله حاضر حاصل شده است و هزینه کمتری را برای کل زنجیره در مقایسه با مدل کانبان Sarker & Wang (۲۰۰۴) بدست داده است.

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2025-07-17]



نمودار ۵. مقایسه اجزای هزینه قطعات نیمه‌ساخته در جواب بهینه مدل مقاله حاضر و مدل Sarker & Wang (۲۰۰۴)

۷. جمع‌بندی و مساعدت‌های علمی ناشی از تحقیق

مقاله حاضر، برای شرایطی که تحت اصول JIT اعمال پیوستهٔ موازنه زمان و اندازه تولید بین مراحل مختلف زنجیره ممکن نباشد، یک سیستم کنترل فرآیند تولید پیشنهاد کرده است که ضمن بهره‌برداری از روش موجود کانبان، انباشت محصولاتی را که بنا به دلایل مختلف، افزون بر ظرفیت هر یک از مراکز کاری در هر بار راه‌اندازی به آن مرکز ارسال می‌شوند در پای کار مجاز دانسته است. این انباشت‌های مجاز قبل از مراکز کاری، به عنوان مراکز تمرکز هزینه‌های پنهان در روش موجود سیستم‌های کنترل کانبان مورد توجه و مدل‌سازی واقع شده است و امکان اعمال کنترل فرآیند تولید بر مبنای هزینه‌های واقعی تحقق‌یافته در سیستم را فراهم می‌سازد. برای مدل‌سازی هزینه انباشت‌های مجاز در کل زنجیره، از برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط غیرخطی استفاده شده و پس از تلفیق هزینه انباشت‌ها با سایر اجزای هزینه در کل زنجیره طبق روش کانبان موجود، برای حل مدل نهایی، از الگوریتم ژنتیک استفاده شده است. شبیه‌سازی رفتار مدل نشان می‌دهد سطح موجودی زنجیره و در نتیجه هزینه کل زنجیره در مقایسه با مدل‌های پیشین در این زمینه کاهش یافته است. سیستم کنترلی طراحی‌شده در مقاله حاضر علاوه بر بهبود سطح هزینهٔ تولید نسبت به روش موجود، دامنهٔ کاربرد اصول JIT را برای برنامه‌ریزی و کنترل فرآیندهای تولیدی در بسیاری از محیط‌های تولیدی با مشخصه‌های تغییرات سریع در مولفه‌های تولید که نیاز به انعطاف‌پذیری داخلی سیستم برای پاسخگویی به تغییرات دارند، توسعه می‌دهد.

مراجع

[1] Lai, C.L., Lee W.B. and Ip, W.H., "*A Study of System Dynamics in Just-in-Time Logistics*", Journal of Materials Processing Technology, Vol. 138, No. 1-3, 2003, pp. 265-269.

[2] Moreira, D. I., "*Analysis of Lot Size in a Signal Kanban System*", Thesis for Bachelor of Science Degree in Mechanical Engineering, MIT, 1997.

[3] Markham, I.S., Mathieu, R.G., Wray, B.A., "*A Rule Induction Approach for Determining the Number of Kanbans in a Just-in-Time Production System*", Computers & Industrial Engineering, Vol. 34, No. 4, 1998, pp. 717-727.

[4] Monden, Y., *The Toyota Production System*, Industrial Engineering and Management Press, Norcross, 1983.

[5] Wang, H., Wang, Hsu-P., "*Optimum Number of Kanbans Between Two Adjacent Workstations in a JIT System*", International Journal of Production Economics, Vol. 22, No. 3, 1991, pp. 179-188.

[6] Yanagawa, Y., Miyazaki, S., Ohta, H., "*An Optimal Operation Planning for the Fixed Quantity Withdrawal Kanban System with Variable Leadtimes*", International Journal of Production Economics, Vol. 33, No. 1-3, 1994, pp. 163-168.

[7] Seliaman, M.E., Ahmad, A.R., "*Optimizing Inventory Decisions in a Multi-Stage Supply Chain Under Stochastic Demands*", Applied Mathematics and Computation, Vol. 206, No. 2, 2008, pp. 538-542.

[8] Sarker, B. R., Wang, S., "*Optimal Models for a Multi-Stage Supply Chain System Controlled by Kanban Under Just-in-Time philosophy*", European Journal of Operational Research, Vol. 172, No. 1, 2004, pp. 179-200.

[9] Abdou, G., Dutta, S.P., "*A Systematic Simulation Approach for the Design of JIT Manufacturing Systems*", Journal of Operations Management, Vol. 11, No. 3, 1993, pp. 225-238.

[10] Reda, H.M., "*A Review of Kanban—the Japanese* "Just-In-Time" production system", Engineering Management International, Vol. 4, No. 2, 1987, pp. 143-150.

[11] Gupta, S.M., AlTurki, Y.A.Y., "*An Algorithm to Dynamically Adjust the Number of Kanbans in Stochastic Processing Times and Variable Demand Environment*",

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2025-07-17]

Production Planning and Control, Vol. 8, No. 2, 1997, pp. 133–141.

[12] Chan, F.T.S., "*Effect of Kanban Size on Just-in-Time Manufacturing Systems*", Journal of Materials Processing Technology, Vol. 116, No. 2-3, 2001, pp. 146-160.

[13] Abdul-Nour, G., Lambert, S., Drolet, J., "*Adaptation of Jit Philosophy and Kanban Technique to a Small-Sized Manufacturing Firm; a Project Management Approach*", Computers & Industrial Engineering, Vol. 35, No. 3-4, 1999, pp. 419-422.

[14] Takahashi, K., Nakamura, N., "*Decentralized Reactive Kanban System*", European Journal of Operational Research, Vol. 139, No. 2, 2002, pp. 262-276.

[15] Azadeh, A., Bidokhti, B., Sakkaki, S.M.R., "*Design of Practical Optimum JIT Systems by Integration of Computer Simulation and Analysis of Variance*", Computers & Industrial Engineering, Vol. 49, No. 4, 2005, pp. 504-519.

[16] Yavuz, M., Tufekci, S., "*A Bounded Dynamic Programming Solution to the Batching Problem in Mixed-Model Just-in-Time Manufacturing Systems*", International Journal of Production Economics, Vol. 103, No. 2, 2006, pp. 841-862.

[17] Miyazaki, S., Ohta, H., Nishiyama, N., "*The Optimal Operation Planning of Kanban to Minimize the Total Operation Cost*", International Journal of Production Research, Vol. 26, No. 8, 1988, pp. 1605–1611.

[18] Seidmann, Abraham., "*Regenerative Pull (Kanban) Production Control Policies*", European Journal of Operational Research, Vol. 35, No. 3, 1988, pp. 401-413.

[19] Buzacott, J.A., "*Queuing models of Kanban and MRP Controlled Production Systems*", Engineering Costs and Production Economics, Vol. 17, No. 1-4, 1989, pp. 3-20.

[20] Gupta, Y.P., Gupta, M., "*A System Dynamics Model of a JIT-Kanban System*", Engineering Costs and Production Economics, Vol. 18, No. 2, 1989, pp. 117-130.

[21] Deleersnyder, J.L., Hodgson, T.J., King, R.E., Ogrady, P.J., Savva, A., "*Integrating Kanban Type Pull Systems and MRP Type Push Systems—Insights from a Markovian Model*", IIE Transactions, Vol. 24, No. 3, 1992, pp. 43–56.

[22] Askin, R.G., Mitwasi, M.G., Goldberg, J.B., "*Determining the Number of Kanbans in Multiitem Just-in-Time Systems*", IIE Transactions, vol. 25, No. 1, 1993, pp. 89–98.

[23] Albino, V., Dassisti, M., Okogbaa, G.O., "*Approximation Approach for the Performance Analysis of Production Lines Under a Kanban Discipline*", International Journal of Production Economics, Vol. 40, No. 2-3, 1995, pp. 197-207.

[24] Mascolo, M.D., Frein, Y., Dallery, Y., "*An Analytical Method for Performance Evaluation of Kanban Controlled Production Systems*", Operations Research, Vol. 44, No. 1, 1996, pp. 50–64.

[25] Nori, V.S., Sarkar, B.R., "*Cyclic Scheduling for a Multi-Product, Single-Facility Production System Operating Under a Just-in-Ttime Delivery Policy*", Journal of the Operational Research Society, Vol. 47, No. 3, 1996, pp. 930–935.

[26] Sarker, B.R., Balan, C.V., "*Operations Planning for Kanbans Between two Adjacent Workstations*", Proceedings of the 19th International Conference on Computers and Industrial Engineering, 1996, Miami, FL Elsevier Science Ltd.

[27] Watanabe, N., Hiraki, S., "*An Approximate Solution to a Jit-Based Ordering System*", Computers & Industrial Engineering, Vol. 31, No. 3-4, 1996, pp. 565-569.

[28] Co, H. C., Sharafali, M., "*Over Planning Factor in Toyota's Formula for Computing the Number of Kanban*", IIE Transactions, Vol. 29, 5, 1997, pp. 409–415.

[29] Andijani, A.A., "*A Multi-Criterion Approach for Kanban Allocations*", Omega, Vol. 26, No. 2, 1998, pp. 483-493.

[30] Nori, V.S., Sarkar, B.R., "*Optimum Number of Kanbans Between Two Adjacent Stations*", Production Planning and Control, Vol. 9, No. 1, 1998, pp. 60–65.

[31] Sarker, B.R., Balan, C.V., "*Operations Planning for a Single-Stage Kanban System Operating Under Linear Demand*", International Journal of Production Research, Vol. 36, No. 2, 1998, pp. 357–375.

[32] Sarker, B.R., Balan, C.V., "*Operations Planning for a Multi-Stage Kanban System*", European Journal of Operational Research, Vol. 112, No. 2, 1999, pp. 284–303.

[33] Parija, G.R., Sarker, B.R., "*Operations Planning in a Supply Chain System with Fixed-Interval Deliveries of Finished Goods to Multiple Customers*", IIE Transactions, Vol. 31, No. 11, 1999, pp. 1075–1082.

[34] Panayiotou, C.G., Cassandras, C.G., "*Optimization of Kanban-Based Manufacturing Systems*", Automatica, Vol. 35, No. 9, 1999, pp. 1521-1533.

[35] Seki, Y., Hoshino, N., "*Transient Behavior of a Single-Stage Kanban System Based on the Queueing Model*", International Journal of Production Economics, Vol. 60-61, 1999, pp. 369-374.

[36] Herer, Y.T., Shalom, L., "*The Kanban Assignment Problem – A Non-Integral Approach*", European Journal of Operational Research, Vol. 120, No. 2, 2000, pp. 260-276.

[37] Tardif, V., Maaseidvaag, L., "*An Adaptive Approach to Controlling Kanban Systems*", European Journal of Operational Research, Vol. 132, No. 2, 2001, pp. 411-424.

[38] Shahabudeen, P., Gopinath, R., Krishnaiah, K., "*Design of Bi-Criteria Kanban System using Simulated annealing Technique*", Computers & Industrial Engineering, Vol. 41, No. 4, 2002, pp. 355-370.

[39] Lovell, M.C., "*Optimal Lot Size, Inventories, Prices and JIT Under Monopolistic Competition*", International Journal of Production Economics, Vol. 81-82, 2003, pp. 59-66.

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2025-07-17]

[40] Boucherie, R.J., Chao, X., Miyazawa, M., "*Arrival First Queueing Networks with Applications in Kanban Production Systems*", Performance Evaluation, Vol. 51, No. 2-4, 2003, pp. 83-102.

[41] Al-Tahat, M.D., Mukattash, A.M., "*Design and Analysis of Production Control Scheme for Kanban-Based JIT Environment*", Journal of the Franklin Institute, Vol. 343, No. 4-5, 2006, pp. 521-531.

[42] Yavuz, M., Tufekci, S., "*Dynamic Programming Solution to the Batching Problem in Just-in-Time Flow-Shops*", Computers & Industrial Engineering, Vol. 51, No. 3, 2006, pp. 416-432.

[43] Banerjee, A., Kim, S., Burton, J., "*Supply Chain Coordination Through Effective Multi-Stage Inventory Linkages in a JIT Environment*", International Journal of Production Economics, Vol. 108, No. 1-2, 2007, pp. 271-280.

[44] Shahabudeen, P., Sivakumar, G.D., "*Algorithm for the Design of Single-Stage Adaptive Kanban System*", Computers & Industrial Engineering, Vol. 54, No. 4, 2008, pp. 800-820.

[45] Hao, Q., Shen, W., "*Implementing a Hybrid Simulate on Model for a Kanban-Based Material Handling System*", Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, Vol. 24, No. 5, 2008, pp. 635-646.

[46] Jawahar, N., Balaji, A.N., "*A Genetic Algorithm for the Two-Stage Supply Chain Distribution Problem Associated with a Fixed Charge*", European Journal of Operational Research, Vol. 194, 2009, pp. 496-537.

[47] Mitchell, M., *An Introduction to Genetic Algorithms*, Cambridge, MA: MIT Press, 1999.

[48] Michalewicz, Z., *Genetic Algorithm + data structures = Evolution Program*, *Springer Verlag*, USA, 1999.

[49] Ko, H., Evans, G., "*A Genetic-Algorithm Based Heuristic for the Dynamic Integrated Forward/Reverse Logistics Network for 3PLs*", Computers and Operations Research, Vol. 34, 2007, pp. 346-366.

[50] Borisovsky, P., Dolgui, A., Eremeev, A., "*Genetic Algorithms for a Supply Management Problem: MIP-Recombination vs Greedy decoder*", European Journal of Operational Research, Vol. 195, 2009, pp. 770-779.

[51] Cheng, Y.H., Shih, C., "*Maximizing the Cooling Capacity and COP of Two-Stage Thermoelectric Coolers Through Genetic Algorithm*", Applied Thermal Engineering, Vol. 26, No. 8-9, 2006, pp. 937-947.

[52] Vroblefski, M., Brown, E.C., "*A Grouping Genetic Algorithm for Registration Area Planning*", Omega, Vol. 34, No. 3, 2006, pp. 220-230.

[53] Zhang, G.Q., Lai, K.K., "*Combining Path Relinking and Genetic Algorithms for the Multiple-Level Warehouse Layout Problem*", European Journal of Operational Research, Vol. 169, No. 2, 2006, pp. 413-425.

[54] Jiao, J., Zhang, Y., Wang, Y., "*A Heuristic Genetic Algorithm for Product Portfolio Planning*", Computers and Operations Research, Vol. 34, 2007, pp.777-799.

[55] Drezner, Z., "*Extensive Experiments with Hybrid Genetic Algorithms for the Solution of the Quadratic Assignment Problem*", Computers & Operations Research, Vol. 35, No. 3, 2008, pp. 717-736.

[56] Essafi, I., Mati, Y., Dauzere, P.S., "*A Genetic Local Search Algorithm for Minimizing Total Weighted Tardiness in the Job-Shop Scheduling Problem*", Computers & Operations Research, Vol. 35, No. 8, 2008, pp. 2599-2616.

[57] Pezzella, F., Morganti, G., Ciaschetti, G., "*A Genetic Algorithm for the Flexible Job-Shop Scheduling Problem*", Computers & Operations Research, Vol. 35, No. 10, 2008, pp. 3202-3212.

[58] Moz, M., Pato, M.V., "*A Genetic Algorithm Approach to the Nurse Rerostering Problem*", Computers and Operations Research, Vol. 34, 2007, pp. 667-691.

[59] Mendes, J.J.M., Goncalves, J.F., Resende, M.G.C., "*A Random key Based Genetic Algorithm for the Resource Constrained Project Scheduling Pproblem*", Computers & Operations Research, Vol. 36, No. 1, 2009, pp. 92-109.

[60] Kien, M.N., "*A Continuation Approach for Solving Nonlinear Optimization Problems with Discrete Variables*", Ph. D thesis, 2002, Department of Management Science and Engineering, Stanford University, UK.

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2025-07-17]