



نمودارهای کنترل فرایند و زنجیره تحویل

علی رضا فراز و رضا برادران کاظم زاده

چکیده:

تئوری زنجیره تحویل^۱ به بررسی تحویل کالاها و خدمات به مشتریان در محدوده زمانی مشخصی می‌پردازد. بدینه است مطلوب آن است که زمان تحویل کالا و خدمات به مشتریان به حداقل برسد. عموماً وجود چندین سایت‌های تولید، تحویل و همچنین تنوع روش‌های گوناگون حمل و نقل کالا و خدمات به پیچیدگی این مسئله می‌افزاید. علاوه، زمان صرف شده در هر یک از مراحل فرایند تحویل متغیری تصادفی است. از آن رو پایش متغیرهای زمانی در یک فرایند تحویل از اهمیت خاصی برخوردار است. در این مقاله، با یک مطالعه کاربردی در شرکت TNT در ایالت دلور آمریکا نشان داده می‌شود که چگونه می‌توان زنجیره های تحویل در مدیریت زنجیره تامین را در قالب فرایندهای چندمتغیره مدل بندي نمود. همچنین به منظور پایش فرایند، به استقرار نمودار بهینه اقتصادی - آماری نمودار کنترل چند متغیره DWL² معرفی شده توسط فراز و پارسیان (۲۰۰۶) بر پایه مدل اقتصادی لورنزن و وانس (۱۹۸۶) پرداخته و سپس با استفاده از روش جستجو ژنتیک الگوریتم مقادیر بهینه پارامترهای نمودار کنترل تعیین گردیدند..

کلمات کلیدی

زنجیره تحویل - کنترل آماری فرایند، نمودار کنترل T2 هتلینگ، روش نمونه‌گیری با اندازه نمونه و فواصل نمونه‌گیری متغیر، طراحی اقتصادی و آماری، الگوریتم ژنتیک، زنجیره های مارکوف.

پیدا کرده است. مدیریت زنجیره تامین پدیده‌ای است که این کار را به طریقی انجام می‌دهد که مشتریان به توانند خدمت قابل اطمینان و سریع را با محصولات با کیفیت در حداقل هزینه و زمان دریافت کنند. همچنین بر اساس نگرش زنجیره ارزش پورتر که در آن زنجیره تامین شامل تمام فعالیت‌های موردنیاز برای ارائه یک محصول یا خدمت به مشتری نهایی است، زنجیره تحویل به عنوان بخشی از جریان کالا و خدمات در زنجیره تامین در نظر گرفته شده است. یک زنجیره تحویل به تشریح تمام فعالیت‌های مرتبط در تحویل کالاها و خدمات به مشتریان در زنجیره تامین می‌پردازد. در واقع یک زنجیره تحویل بخش مرتبط با کلیه فعالیت‌های حمل و نقل مرتبط برای ارسال محصولات به مشتریان در یک زنجیره تامین است. یک فرآیند کسب و کار ساده تحویل پیترزا را تهبا با یک زنجیره تحویل در نظر بگیرید. چنان‌چه مشخص است، هرگونه نقصی که منجر به تاخیر غیرمتعارف در تحویل پیترزا به مشتریان گردد، ولو آن که پیترزا تهیه شده از کیفیت بالایی برخوردار باشد، سبب نارضایتی مشتریان می‌گردد. این مثال ساده، اهمیت زنجیره تحویل را در اعتبار سازمان‌ها در بازارهای رقابتی به منزله جلب و حفظ مشتریان به خوبی نمایان می‌سازد.

۱. مقدمه

امروزه عرصه رقابت‌های جهانی از یک سو و محور مشتری مداری از سوی دیگر سبب گردیده است که سازمان‌ها، شرکت‌ها، بنگاه‌های اقتصادی و تولیدی علاوه بر پرداختن به سازمان و منابع داخلی، خود را ملزم به مدیریت و نظارت بر منابع و ارکان مرتبط خارج از سازمان پنداشتند. علت این امر در واقع دستیابی به مزیت یا مزایای رقابتی با هدف کسب سهم بیشتری از بازار است. بر این اساس فعالیت‌هایی نظیر برنامه‌ریزی عرضه و تقاضا، تهییه مواد، تولید و برنامه‌ریزی محصول، خدمت نگهداری کالا، کنترل موجودی، توزیع، تحویل کالا و خدمت به مشتری که قبل از همگی در سطح شرکت انجام می‌شده اینک به سطح زنجیره تامین انتقال

تاریخ وصول: ۸۸/۱۲/۵

تاریخ تصویب: ۸۹/۳/۲۶

علی‌رضا فراز، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده فنی و مهندسی، بخش مهندسی صنایع Alireza.faraz@gmail.com

دکتر رضا برادران کاظم زاده، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده فنی و مهندسی،

بخش مهندسی صنایع rkazem@modares.ac.ir

¹ Delivery Chain

به عنوان یک نشان تبلیغاتی برای سازمان خود در ذهن مشتریان منسجم نمایند. از طرفی واژه کیفیت امروزه معنایی فراتر از تطبیق مشخصات کیفی کالا با الامات فنی است. قیمت پایین تر، هزینه تعمیر و نگهداری پایین تر، خدمات پس از فروش بهتر و حتی تحويل به موقع از جمله ویژگی های کلیدی است که همراه با واژه کیفیت در ذهن مشتریان نقش می بندد. در این راستا، سازمان ها می کوشند تا علاوه بر فائق آمدن بر نیازهای اصلی مشتریان، حتی در فرایند تحويل به موقع و بدون وقفه کالاها و خدمات از هم پیشی گیرند.

بدلیل اهمیت زنجیره تحويل، اغلب سازمان ها از پیمانکاران در زنجیره تحويل خود استفاده می کنند. زنجیره تحويل این سازمان ها از موسسات تحويل قراردادی و سازمان هایی که عملیات لجستیکی و پشتیبانی تحويل را به عنوان نفر ثالث برای آن تولید کنندگان انجام می دهند، تشکیل شده است. بنابراین، در این حالت عمل حیاتی برای سازمان حفظ مسئولیت عملیات کنترل در شبکه تحويل است در حالی که عمدۀ کارهای اجرایی را به پیمانکاران بیرون از سازمان محول کرده است. این روش موجب می گردد که سازمان به هنگام ضرورت، ارائه کنندگان خدمات را بدون این که اخلاقی در شبکه زنجیره تحويل به وجود آید، تعییر دهد. در این راستا بکارگیری یک سیستم کنترل آماری فرایند می تواند به این سازمان ها در ارزیابی عملکرد پیمانکاران کمک شایانی نماید.

بدیهی است که استقرار هر سیستم کنترل هزینه های سرباری را به سازمان تحمل می کند که از سود و منفعت سازمان می کاهد. از آن رو استفاده و بکارگیری سیستم های پایش اقتصادی صرفه جویی های قابل ملاحظه ای را عاید سازمان می کند.

در این زمینه، پیتر دراکر معتقد است که به منظور رقابت موفقیت آمیز در بازار رقابتی فزاینده جهانی، یک سازمان باید از هزینه های کامل زنجیره تامین خود آگاه بوده و به منظور مدیریت هزینه ها فعالیت کند. سازمان ها باید از صرف این دیدگاه که در درون سازمانشان چه می گذرد صرف نظر کرده و هزینه های دگر را مورد بررسی قرار دهند. در چند سال اخیر، سازمان های کشورهای صنعتی و پیشرفته جهان توجه ویژه ای به مدیریت زنجیره تحويل داشته اند و از این رهگذر به موفقیت های قابل توجهی نیز دست یافته اند، که گواه این امر حجم بالایی از مبادلات تجاری است که هزینه حمل و نقل آن ها به میلیاردها دلار در سال بالغ می گردد. در ادامه به برخی از ملاحظات اساسی در استقرار نمودارهای کنترل در یک زنجیره تحويل اشاره می شود.

۱-۲. رویکرد فرایندی در پایش زنجیره های تحويل

به طور کلی داده های زنجیره تحويل باید به گونه ای جمع آوری و ثبت گردد که امکان شناسایی حالت های غیر معمول و ویژه که سبب بروز تأخیرات بیش از حد معمول در تحويل خدمات و کالاها

سازمان ها و شرکت های پیشرو، از لحاظ انعطاف پذیری زنجیره های تحويل خود نیز پیشرو بوده و به طور موثر عمل کرده اند و دلیل آن نیز مزایای حاصله از دریافت به موقع کالا و خدمات توسط مشتریان است که از لحاظ افزایش رقابت پذیری و سهم بازار، افزایش فروش و کاهش هزینه ها بسیار چشمگیر است.

سازمان ها و شرکت ها همواره برای جلب رضایت مشتریان خود به تحويل به موقع کالاها و خدمات توجه خاصی نموده و همواره سعی می نمایند تا با بکارگیری یک سیستم اطلاعات کارآمد، زمان های تحويل را بهینه نمایند. در این راستا فورکر و همکاران^۱ (۱۹۹۷)، کوبی و همکاران^۲ (۲۰۰۱)، ترنت^۳ (۲۰۰۱)، فلین و فلین^۴ (۲۰۰۵) و ماتیوس^۵ (۲۰۰۶) به بررسی فعالیت های مدیریت کیفیت بر عملکرد زنجیره تامین پرداختند. آن ها نتیجه گیری کردند که چگونه فعالیت های کیفی به اثربخشی بیشتر زنجیره تامین و رضایت مشتری منجر می شود. راموس و همکاران^۶ (۲۰۰۷) در مقاله خود به مزایای بکارگیری نمودارهای کنترل در زنجیره تامین شرکت های موتورولا آمریکا و رولزرویز آلمان پرداختند. اخیراً سان و ماتسویی^۷ (۲۰۰۸) به طراحی اقتصادی نمودار کنترل X شوهرات در یک زنجیره تامین پرداختند. اما تا کنون مطالعه ای در خصوص بکارگیری نمودارهای کنترل در یک زنجیره تحويل صورت نگرفته است که در این مقاله بدان پرداخته می شود. در بخش بعدی به ضرورت پایش اقتصادی زنجیره های تحويل و اتخاذ رویکردی فرایندی در زنجیره تحويل می پردازد.

در این بخش، به برخی ملاحظات اساسی در استقرار نمودارهای کنترل در یک زنجیره تحويل نیز پرداخته می شود. در بخش سوم با یک مطالعه موردی زنجیره تحويل شرکت TNT در شهر دلاور^۸ آمریکا به صورت یک فرایند چند متغیره مدل می گردد و با استقرار نمودار کنترل بهینه اقتصادی - آماری T2 هتلینگ با حدود هشدار دوگان پیشنهادی توسط فراز و پارسیان^۹ (۲۰۰۶) نشان داده می شود که چگونه سازمان ها می توانند به صرفه جویی های قابل ملاحظه ای از بعد اقتصادی دست یابند. سرانجام نتیجه گیری و پیشنهادات بخش پایانی مقاله را شامل می شود.

۲. نمودارهای کنترل فرایند و زنجیره های تحويل

صدای مشتری در سال های اخیر سبب گردیده است که سازمان های پیشرو جهت افزایش سهم بازار در عرصه رقابت جهانی، در عرصه کیفیت از یکدیگر پیشی بگیرند و همواره سعی نمایند تا کیفیت را

¹ Farker et al.

² Kuei et al.

³ Trent

⁴ Flynn and Flynn

⁵ Matthews

⁶ Ramos, et al.

⁷ Sun and Matsui

⁸ Delaware

۲-۳. استانداردهای کار و زمان

از آنجا که متغیرهای زمان تحويل در هر زنجیره تحويل اساس کنترل و پایش آن را فراهم می‌سازد لازم است که تحلیل کار و زمان به نحوی شایسته صورت پذیرفته باشد. بدیهی است در صورتی که محدوده استانداردهای زمانی مشخصی برای بخش‌های مختلف تعیین نگردیده باشد، شناسایی علل حالت‌های خارج از کنترل در تأخیرات مقدور نبوده و هدف والای نمودارهای کنترل محقق نمی‌گردد. بعلاوه وجود استانداردهای زمانی کار این امکان را فراهم می‌سازد که قابلیت زنجیره تحويل محاسبه و درجهت بهبود فرایند اقدامات لازم صورت پذیرد.

863065971 Details			
Reference	EMS		
Pick up date	22 Sep 2009		
Destination	Delaware		
Delivery Date			
Signatory			
Date	Time	Location	Status
26 Sep 2009	03:34:00	Dwl	Shipment Received At Destination Depot.
24 Sep 2009	09:19:00	Dwl	Held Awaiting Correct Address. Follow Up Actions Underway.
24 Sep 2009	07:22:00	Dwl	Shipment Received At Destination Depot.
24 Sep 2009	06:10:28	Delaware Rover	Shipment In Transit.
24 Sep 2009	06:08:26	Delaware Rover	Shipment Received At Transit Point.
24 Sep 2009	00:22:15	Liege Euro Hub	Shipment In Transit.
23 Sep 2009	10:53:25	Frankfurt Airport	Shipment In Transit.
23 Sep 2009	08:22:43	Frankfurt Airport	Shipment In Transit.
23 Sep 2009	08:20:16	Frankfurt Airport	Shipment Received At Transit Point.
22 Sep 2009	20:17:00	Tehran	Shipment In Transit.

نمودار ۱. یک نمونه از داده‌های ثبت شده در سیستم جمع آوری داده‌ها در شرکت TNT

۳. یک مطالعه موردنی

در تئوری زنجیره تحويل معمولاً بسیاری از فرایندهای تحويل که دارای مبدأ و مقصد های نزدیک به هم می باشند در هم ادغام می شوند. هر گونه فعالیت‌های بارگذاری، تخلیه، حمل و نقل هوایی، دریایی، قطار، ترانزیت کامپیون و ... به طور جداگانه در این مبحث و با نام روش حمل و نقل مورد بحث واقع می‌شوند. این امر حاکی از آن است که شرکت‌ها معمولاً برای هر روش قراردادی متفاوت با روش دیگر انعقاد می‌کنند. لذا هر روش در قالب یک بخش در نظر گرفته می‌شود. همچنین مبدأها و مقصد ها در زنجیره تحويل بوسیله گره‌ها مشخص می شوند و بدیهی است که ممکن است چندین مسیر بین یک مبدأ و یک مقصد وجود داشته باشد. شهرهای اصلی و مقاصد نزدیک به آن می توانند در قالب یک گره با هم ادغام شوند. به عنوان یک نمونه کاربردی، شرکت TNT در طی قراردادهایی می‌باشد مرسولات را از دو مبدأ در ناحیه صنعتی ویلمینگتون^۱ به سه مقصد در جنوب ایالت دلاور به نام‌های

به مشتریان می‌شود را میسر سازد. لذا وجود یک نگاه فرایندی به زنجیره تحويل اولین ملاحظه این مبحث است. متغیرهای زمان تحويل بیانگر مدت زمان سپری شده در حمل و نقل و تحويل محصولات به مشتریان است و مهمترین مشخصه کیفی فرایند تحويل است.

چنان‌چه دادها بیانگر حالتی خارج از کنترل می‌باشند، فرایند تحويل باید مورد بررسی قرار گیرد تا علل ریشه‌ای بروز تأخیرات بیش از حد شناسایی و رفع گردد. بعلاوه در زنجیره تحويل شناسایی تأخیرات متوسط تا بزرگ در میانگین زمان تحويل نسبت به تأخیرات کوچک از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. بعلاوه برقراری تعادل میان زمان تحويل و هزینه‌های تحمیلی به سازمان‌ها از اهمیت اقتصادی-آماری می‌تواند برای این دسته از سازمان‌ها مزایای خاصی برخوردار است. از آن رو طراحی بهینه یک روش کنترل اقتصادی-آماری می‌تواند برای این دسته از سازمان‌ها مزایای را به ارمغان آورد.

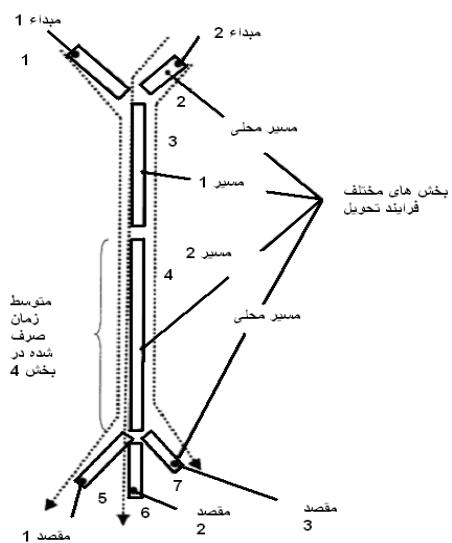
۲-۴. سیستم جمع آوری داده‌ها

شرکت‌ها و سازمان‌های پیشرو در رقابت با یکدیگر در جذب و نگهداری مشتریان این را آموخته‌اند که وجود یک رابطه مناسب با مشتریان یک ضرورت است ولی برای موفقیت کافی نیست. زمانی که مشتریان سفارش کالا می‌دهند، این انتظار را دارند که کالاهای موردنیاز خود را به موقع و سر وقت تحويل گیرند. آنان همچنین انتظار دریافت اطلاعات به هنگام درخصوص وضعیت کالاهای سفارش داده شده را از قبیل وضعیت بارگیری و آخرین وضعیت مرسولات را دارند. در این راستا این گونه شرکت‌ها برای مشتریان خود این امکان را فراهم آورده‌اند که در هر لحظه از طریق اینترنت با سازمان‌ها ارتباط برقرار کنند و به اطلاعات ردیابی کالاهای و مرسوله‌های ارسالی دسترسی یابند.

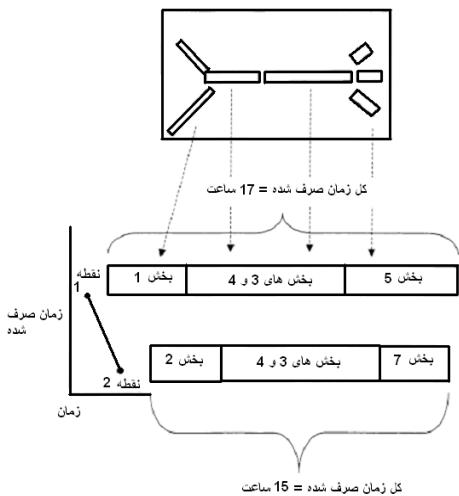
چالش زنجیره تحويل در این راستا ایجاد این اطمینان است که کالاهای سفارش داده شده در زمان اعلام شده از سوی سازمان‌ها به مشتریان تحويل داده می‌شود. همچنین سازمان‌ها درخصوص ارائه برنامه زمان‌بندی درخصوص زمان تحويل کالاهای خریداری شده به مشتریان خود آگاهی می‌دهند و در صورت هرگونه تغییر در برنامه آن‌ها را در جریان قرار می‌دهند. تمامی موارد پیش گفته، چالش‌هایی را ایجاد می‌کند که باید توسط زنجیره تحويل مورد توجه قرار گیرد.

در زنجیره تحويل، تعیین یک مبدأ زمان برای ثبت داده‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. اگر این نکته در ثبت داده‌های مسیرهای تحويل رعایت نگردد پایش فرایند تحويل میسر نمی‌گردد و نمودارهای کنترل قابلیت خود را از دست می‌دهند. از آن رو استقرار یک سیستم کارآمد ثبت داده‌ها از الزامات پایش داده‌های زنجیره تحويل است. نمودار ۱ یک نمونه از سیستم جمع آوری داده‌ها را در شرکت TNT به نمایش می‌گذارد.

¹ Willmington



نمودار ۲. بخش های فعالیت های تحویل در شرکت TNT Delaware



نمودار ۳. ماهیت چندمتغیره فعالیت های تحویل در شرکت TNT Delaware

۳-۳. مقدمه‌ای بر نمودار کنترل T^2 هتلینگ و طرح نمونه DWL گیری

براساس تعهد شرکت در تحویل کالاهای، بردار میانگین و ماتریس واریانس کوواریانس ۶ مسیر ممکن، زمانی که فرایند تحت کنترل است و با بررسی ۵۰ نمونه ۳ تایی، به فرم زیر تخمین زده شده است.

$$\mu_0 = \begin{bmatrix} 17 \\ 17 \\ 16 \\ 16 \\ 16 \\ 16 \\ 15 \end{bmatrix} \quad (1)$$

جورج تاون^۱ (مقصد ۱)، میلسبورو^۲ (مقصد ۲) و اوشن ویو^۳ (مقصد ۳) تحویل دهد. مرسولات بعد از عبور از مسیرهای محلی، از ویلمینگتون با کامیون به بندر پن^۴ ارسال می‌گردد. سپس توسط کشتی به بندر بای^۵ منتقل شده و از آنجا توسط قطار به مقصد ۱ و بوسیله کامیون به دو مقصد دیگر ارسال می‌شوند. شکل ۲ فرایند زنجیره تحویل شرکت TNT در ایالت دلاور آمریکا را به همراه متغیرهای زمانی آن به تصویر می‌کشد.

از آن جا که این متغیرها بیانگر زمان های تحویل می باشند، بنابراین نوع وسیله حمل و نقل و مراحل مختلف فرایند تحویل در قالب بخش هایی در آن مشخص گردیده است. طول هر بخش مختلف در نمودار ۲ متناظر با متوسط زمان صرف شده آن فعالیت تحویل است. خط های نقطه چین بیانگر سه مسیر از شش مسیر ممکن برای تحویل محصولات است.

چنان‌چه ملاحظه می‌شود کلیه مسیرهای تحویل در بخش های ۳ و ۴ مشترک می باشند که نسبت به سایر بخش‌ها زمان بیشتری را به خود تخصیص می‌دهند. از آن رو هر گونه تاخیری در یک یا هردوی این بخش‌ها کلیه مسیرهای تحویل را با تاخیر مواجه می‌سازد. از آن رو متغیرهای زمانی مسیرهای مختلف تحویل شدیداً به هم همبسته می‌باشند.

نمودار ۳ ماهیت چندمتغیره بودن متغیرهای زمان تحویل برای دو مسیر متفاوت را به نمایش می‌گذارد. نمودار ۲ نیز در قسمت بالای نمودار ۳ آورده شده است تا درک کلی نمودار آسان گردد. در پایش متغیرهای زمان تحویل، مبدأ زمان ثبت داده‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. این مبدأ به عنوان نمونه می‌تواند ابتداً یا پایان هر بخش و یا پایان مسیر در نظر گرفته شود.

در این مقاله مبدأ زمان را لحظه ارسال کالاهای به مشتریان در نظر می‌گیریم. با توجه به نمودار ۳، مدت زمان سپری شده برای تحویل کالا از مبدأ ۱ به مقصد ۵ (مسیر ۱)، ۱۷ ساعت و مدت زمان سپری شده برای تحویل کالا از مبدأ ۲ به مقصد ۷ (مسیر ۲)، ۱۵ ساعت است. حال فرض کنید که تاخیری ۱ ساعتی در بخش ۳ به دلیل خاصی به وقوع بیرونند.

در این صورت زمان تحویل مسیرهای ۱ و ۲ به ترتیب ۱۸ و ۱۶ ساعت به طول خواهد انجامید. از آن جا که دو مسیر مذکور شدیداً همبسته می‌باشند، لذا لازم است که به منظور اعمال کنترل فرایند تحویل، داده‌ها در قالب بردار ثبت و پردازش شوند. در بخش بعدی به پیشنهاد یک رویه کنترل بهینه به منظور افزایش سود زنجیره تحویل شرکت پرداخته می‌شود.

¹ Georgetown

² Millsborough

³ Ocean View

⁴ Port Penn

⁵ Port Bay

می‌کند. اساس کار این نمودار بر پایه تعیین حجم نمونه و فاصله زمانی نمونه گیری زیر گروه $-i$ ام بر پایه مقدار آماره T_{i-1}^2 ، استوار است. نمودار کنترل DWL T^2 ، زمانی که $w_h < w_n$ است، به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$(h_i, n_i) = \begin{cases} (h_2, n_2) & \text{if } w_n \leq T_{i-1}^2 < UCL \\ (h_2, n_1) & \text{if } w_h \leq T_{i-1}^2 < w_n \\ (h_1, n_1) & \text{if } 0 \leq T_{i-1}^2 < w_h \end{cases} \quad (2)$$

نمودار ۴ نمونه‌ای از نمودار کنترل T^2 است. در این راستا، در هر بار نمونه‌گیری از فرایند همواره یکی از حالات زیر رخ می‌دهد:

حالت ۱: $w_h < T^2 \leq 0$ و فرایند تحت کنترل است.

حالت ۲: $w_h \leq T^2 < w_n$ و فرایند تحت کنترل است.

حالت ۳: $T^2 \leq w_n < k$ و فرایند تحت کنترل است.

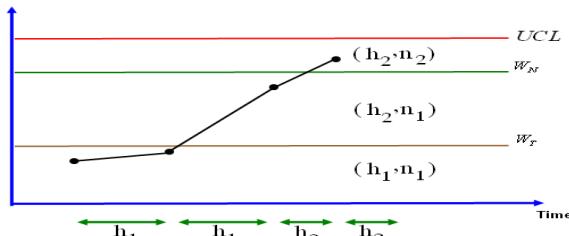
حالت ۴: $T^2 \geq k$ و فرایند تحت کنترل است.

حالت ۵: $w_h < T^2 \leq 0$ و فرایند خارج از کنترل است.

حالت ۶: $w_h < T^2 < w_n$ و فرایند خارج از کنترل است.

حالت ۷: $w_n < T^2 < k$ و فرایند خارج از کنترل است.

حالت ۸: $k \leq T^2 < w_h$ و فرایند خارج از کنترل است.



نمودار ۴. نمودار کنترل چندمتغیره DWL T2

زمانی که $k \geq T^2$ ، نمودار کنترل هشداری را مبنی بر خارج از کنترل بودن فرایند اعلام می‌دارد و جستجو برای یافتن علل ویژه و رفع آن‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد. چنان‌چه فرایند تحت کنترل باشد، این هشدار یک زنگ خطر استباهی^۱ است (حالت ۴). از آنجا که بعد از مشاهده یک هشدار واقعی (و نه هشدار غلط)، فرایند نمونه گیری از فرایند و رسم نقاط بر روی نمودار کنترل به منزله پایش آن متوقف می‌شود، بنابراین، حالت ۸ را می‌توان حالت جاذب^۲ در زنجیرهای مارکوف نامید. مفاهیم اساسی زنجیرهای مارکوف را که در این بخش به کار رفته‌اند را می‌توان در سینلار^۳ (۱۹۷۵) یافت. حال با فرض توزیع نمایی مدت زمان وقوع تغییرات در میانگین فرایند با میانگین $\frac{1}{\lambda}$ ، برای یک زنجیر مارکوف با حالت گذرا فوق، ماتریس احتمال تغییر وضعیت زمانی به قرار زیر است:

$$\Sigma = \begin{bmatrix} 2.98 & 2.52 & 1.63 & 4.45 & 3.88 & 2.72 \\ 2.37 & 4.18 & 3.73 & 1.85 & 2.31 & \\ 2.13 & 3.38 & 2.68 & 1.98 & & \\ 2.10 & 2.15 & 3.41 & & & \\ 1.72 & 4.06 & & & & \\ 2.21 & & & & & \end{bmatrix}$$

هدف کنترل هم زمان کلیه مسیرهای تحويل است. در طرح کلاسیک نمونه‌گیری در نمودار کنترل T2 هتلینگ، همواره بطور متوالی در هر h ساعت زمانی، نمونه‌هایی تصادفی به حجم n از فرایند جمع آوری شده و میانگین آن‌ها (\bar{x}) محاسبه می‌گردد. سپس مقادیر آماره $T^2 = n(\bar{x} - \bar{\mu}_0)^T (\bar{x} - \bar{\mu}_0)$ بر روی نموداری با حد کنترل بالا (k) رسم می‌شوند. مادامی که مقدار آماره کوچک تر از حد کنترل بالا باشند، فرایند تحت کنترل نامیده می‌شود. چنان‌چه برای زیرگروهی $k > T^2$ شود، فرایند خارج از کنترل فرض می‌گردد و جستجو برای کشف و شناسایی عامل انحراف در فرایند آغاز می‌شود. بطور کلی در نمودار کنترل T2 فرض می‌شود که ساختار همبستگی مشخصه‌های کیفی، دارای تغییرات نبوده و فرایند تنها تحت تاثیر عوامل با دلیل که باعث تغییر در بردار میانگین فرایند می‌شوند، عمل می‌کند. مقدار این تغییر، معمولاً در مقیاس ماهالابونیس اندازه‌گیری می‌شود و با نماد $p = \sqrt{(\mu - \mu_0)^T (\mu - \mu_0)}$ نشان داده می‌شود که μ بیانگر بردار بعدی میانگین شخصه‌های کیفی در حالت خارج از کنترل است. در این مقاله، از آنجا که بردار میانگین و ماتریس واریانس کواریانس فرایند زنجیره تحويل معلوم‌اند (توسط تعداد کثیری از نمونه‌های مقدماتی برآورده شده‌اند)، آماره T2 هتلینگ دارای توزیع کای اسکور با $p=6$ درجه آزادی است و از این‌رو حد کنترل بالا برای نمودار را می‌توان صد α ٪ بالایی توزیع کای دو در نظر گرفت. در صورتی که فرایند خارج از کنترل باشد، آماره نمودار دارای توزیع کای اسکور غیر مرکزی با $p=6$ درجه آزادی و پارامتر غیر مرکزی برابر $\eta = nd^2$ است. فراز و پارسیان (۲۰۰۶) به طراحی آماری نمودار کنترل چند متغیره T² هتلینگ با طرح نمونه گیری DWL پرداختند و در طی مقایسه‌ای نشان دادند که طرح مذکور در مقایسه با طرح کلاسیک از مزایای آماری و اقتصادی بسیار بهتری برخوردار است. به قسمی که این طرح توان طرح کلاسیک را در شناسایی تغییرات کوچک تا متوسط فرایند تقریباً به سه برابر بهبود می‌بخشد و در عین حال صرفه جویی‌های اقتصادی قابل ملاحظه‌ای را نیز عاید سازمان های کاربر می‌نماید. از طرفی طرح DWL نسبت به طرح کلاسیک حتی برای شناسایی تغییرات متوسط تا بزرگ به جزء تغییرات بسیار بزرگ (شیفت‌های بزرگتر از ۳ در میانگین فرایند همواره گزینه بهتری است. این طرح از دو اندازه نمونه n_1 و n_2 و دو فاصله زمانی نمونه گیری h_1 و h_2 به همراه دو خط هشدار w_n و w_h که به ترتیب تعیین کننده تغییر در اندازه نمونه و فاصله زمانی بین زیر گروه‌ها می‌باشند، استفاده در اینجا نمایش نموده است.

¹ False Alarm
² Absorbing State
³ Cinlar

که در آن i_j بیانگر احتمال شرطی تغییر وضعیت به حالت فعلی j بر روی حالت قبلی i است.

همچنین داریم $\eta_2 = n_2 d^2$ ، $\eta_1 = n_1 d^2$ و بعلاوه نماد p بیانگرتابع توزیع تجمعی کای اسکور در نقطه x با درجه آزادی ν با پارامتر غیر مرکزی η است. حال داریم:

$$\mathbf{P} = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & p_{13} & p_{14} & p_{15} & p_{16} & p_{17} & p_{18} \\ p_{21} & p_{22} & p_{23} & p_{24} & p_{25} & p_{26} & p_{27} & p_{28} \\ p_{31} & p_{32} & p_{33} & p_{34} & p_{35} & p_{36} & p_{37} & p_{38} \\ p_{41} & p_{42} & p_{43} & p_{44} & p_{45} & p_{46} & p_{47} & p_{48} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & p_{55} & p_{56} & p_{57} & p_{58} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & p_{65} & p_{66} & p_{67} & p_{68} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & p_{75} & p_{76} & p_{77} & p_{78} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned} p_{11} &= p_{21} = \Pr(0 \leq T^2 < w_n) \times e^{-\lambda h_1} = F(w_n, p, \eta = 0) \times e^{-\lambda h_1} \\ p_{12} &= p_{22} = \Pr(w_n \leq T^2 < w_h) \times e^{-\lambda h_1} = [F(w_h, p, \eta = 0) - F(w_n, p, \eta = 0)] \times e^{-\lambda h_1} \\ p_{13} &= p_{23} = \Pr(w_h \leq T^2 < k) \times e^{-\lambda h_1} = [F(k, p, \eta = 0) - F(w_h, p, \eta = 0)] \times e^{-\lambda h_1} \\ p_{14} &= p_{24} = \Pr(T^2 \geq k) \times e^{-\lambda h_1} = [1 - F(k, p, \eta = 0)] \times e^{-\lambda h_1} \\ p_{15} &= \Pr(0 \leq T^2 < w_n) \times (1 - e^{-\lambda h_1}) = F(w_n, p, \eta = n_1 d^2) \times (1 - e^{-\lambda h_1}) \\ p_{16} &= \Pr(w_n \leq T^2 < w_h) \times (1 - e^{-\lambda h_1}) = [F(w_h, p, \eta = n_1 d^2) - F(w_n, p, \eta = n_1 d^2)] \times (1 - e^{-\lambda h_1}) \\ p_{17} &= \Pr(w_h \leq T^2 < k) \times (1 - e^{-\lambda h_1}) = [F(k, p, \eta = n_1 d^2) - F(w_h, p, \eta = n_1 d^2)] \times (1 - e^{-\lambda h_1}) \\ p_{18} &= \Pr(T^2 \geq k) \times (1 - e^{-\lambda h_1}) = [1 - F(k, p, \eta = n_1 d^2)] \times (1 - e^{-\lambda h_1}) \\ p_{25} &= \Pr(0 \leq T^2 < w_n) \times (1 - e^{-\lambda h_1}) = F(w_n, p, \eta = n_2 d^2) \times (1 - e^{-\lambda h_1}) \\ p_{26} &= \Pr(w_n \leq T^2 < w_h) \times (1 - e^{-\lambda h_1}) = [F(w_h, p, \eta = n_2 d^2) - F(w_n, p, \eta = n_2 d^2)] \times (1 - e^{-\lambda h_1}) \\ p_{27} &= \Pr(w_h \leq T^2 < k) \times (1 - e^{-\lambda h_1}) = [F(k, p, \eta = n_2 d^2) - F(w_h, p, \eta = n_2 d^2)] \times (1 - e^{-\lambda h_1}) \\ p_{28} &= \Pr(T^2 \geq k) \times (1 - e^{-\lambda h_1}) = [1 - F(k, p, \eta = n_2 d^2)] \times (1 - e^{-\lambda h_1}) \\ p_{31} &= p_{41} = \Pr(0 \leq T^2 < w_n) \times e^{-\lambda h_2} = F(w_n, p, \eta = 0) \times e^{-\lambda h_2} \\ p_{32} &= p_{42} = \Pr(w_n \leq T^2 < w_h) \times e^{-\lambda h_2} = [F(w_h, p, \eta = 0) - F(w_n, p, \eta = 0)] \times e^{-\lambda h_2} \\ p_{33} &= p_{43} = \Pr(w_h \leq T^2 < k) \times e^{-\lambda h_2} = [F(k, p, \eta = 0) - F(w_h, p, \eta = 0)] \times e^{-\lambda h_2} \\ p_{34} &= p_{44} = \Pr(T^2 \geq k) \times e^{-\lambda h_2} = [1 - F(k, p, \eta = 0)] \times e^{-\lambda h_2} \\ p_{35} &= p_{45} = \Pr(0 \leq T^2 < w_n) \times (1 - e^{-\lambda h_2}) = F(w_n, p, \eta = n_2 d^2) \times (1 - e^{-\lambda h_2}) \\ p_{36} &= p_{46} = \Pr(w_n \leq T^2 < w_h) \times (1 - e^{-\lambda h_2}) = [F(w_h, p, \eta = n_2 d^2) - F(w_n, p, \eta = n_2 d^2)] \times (1 - e^{-\lambda h_2}) \\ p_{37} &= p_{47} = \Pr(w_h \leq T^2 < k) \times (1 - e^{-\lambda h_2}) = [F(k, p, \eta = n_2 d^2) - F(w_h, p, \eta = n_2 d^2)] \times (1 - e^{-\lambda h_2}) \\ p_{38} &= p_{48} = \Pr(T^2 \geq k) \times (1 - e^{-\lambda h_2}) = [1 - F(k, p, \eta = n_2 d^2)] \times (1 - e^{-\lambda h_2}) \\ p_{55} &= \Pr(0 \leq T^2 < w_n) = F(w_n, p, \eta = n_1 d^2) \\ p_{56} &= \Pr(w_n \leq T^2 < w_h) = F(w_h, p, \eta = n_1 d^2) - F(w_n, p, \eta = n_1 d^2) \\ p_{57} &= \Pr(w_h \leq T^2 < k) = F(k, p, \eta = n_1 d^2) - F(w_h, p, \eta = n_1 d^2) \\ p_{58} &= \Pr(T^2 \geq k) = 1 - F(k, p, \eta = n_1 d^2) \\ p_{65} &= p_{75} = \Pr(0 \leq T^2 < w_n) = F(w_n, p, \eta = n_2 d^2) \\ p_{66} &= p_{76} = \Pr(w_n \leq T^2 < w_h) = F(w_h, p, \eta = n_2 d^2) - F(w_n, p, \eta = n_2 d^2) \\ p_{67} &= p_{77} = \Pr(w_h \leq T^2 < k) = F(k, p, \eta = n_2 d^2) - F(w_h, p, \eta = n_2 d^2) \\ p_{68} &= p_{78} = \Pr(T^2 \geq k) = 1 - F(k, p, \eta = n_2 d^2) \end{aligned}$$

ماتریس واحد از درجه هفت و $\mathbf{h}' = (h_1, h_2, h_2, h_2, h_1, h_2, h_2)$ بردار فواصل زمانی نمونه‌گیری است. همچنین متوسط زمان لازم از وقوع شیفت تا دریافت یک هشدار از سوی نمودار کنترل (AATS) به صورت زیر تعریف می‌گردد:

$$AATS = ATC - \frac{1}{\lambda} \quad (4)$$

با خواص زنجیر مارکوف، امید ریاضی مدت زمان لازم از شروع فرایند تا رسیدن به حالت جاذب، از فرم زیر بدست می‌آید:

$$ATC = \mathbf{b}'(\mathbf{I} - \mathbf{Q})^{-1} \mathbf{h} \quad (3)$$

که در آن \mathbf{Q} همان ماتریس تغییر وضعیت P است که سطر و ستون مربوط به حالت جاذب، حذف شده است و $\mathbf{b}' = (0, 0, 1, 0, 0, 0, 0)$ برداری بیانگر احتمال‌های آغازین و \mathbf{h}

۳-۳. متوسط زمان یک چرخه کیفی

با توجه به نمودار ۵ ، متوسط زمان هر چرخه کیفی در قالب حاصل جمع زمان‌های زیر است:

- متوسط زمان صرف شده از زمان شروع فرایند تا شناسایی و کشف آن که در قالب مفهوم مارکوفی ATC بیان می‌شود.

متوسط زمان صرف شده برای تفسیر نتایج زیرگروهی که هشدار خارج از کنترل را اعلام کرده است که به صورت E نشان داده می‌شود.

- متوسط زمان صرف شده برای جستجو، کشف و علل ویژه انحرافات که با نماد T_1 نشان داده می‌شود.

- متوسط زمان صرف شده برای رفع علل ویژه و تعمیر فرایند که با نماد T_2 نشان داده می‌شود.

بنابراین، متوسط زمان هر چرخه کیفی به صورت زیر قابل محاسبه می‌باشد:

$$E(T) = ATC + \bar{n}E + T_1 + T_2 = \frac{1}{\lambda} + AATS + \bar{n}E + T_1 + T_2 \quad (8)$$

که در آن

$$\bar{n} = n_1(p_{18} + p_{28} + p_{58} + p_{68}) + n_2(p_{38} + p_{48} + p_{78})$$

و بیانگر متوسط حجم نمونه زیرگروهی است که هشدار خارج از کنترل را اعلام کرده است.

۴-۳. متوسط هزینه یک چرخه کیفی

بر پایه مدل اقتصادی لورنزن و وانس (۱۹۸۶) هزینه هر چرخه کیفی به چهار مؤلفه اصلی زیر طبقه بندی می‌گردد:

- هزینه تحمیلی به شرکت زمانی که فرآیند تحویل تحت کنترل است، که با نماد C_0 نشان داده می‌شود.

- هزینه تحمیلی به شرکت مادامی که فرآیند تحویل خارج از کنترل است، که با نماد C_1 نشان داده می‌شود.

- هزینه ارزیابی و بررسی هشدارهای غلط نمودار کنترل که با نماد a'_3 نشان داده می‌شود.

- هزینه تعیین محل و تعمیر و اصلاح انحرافات با دلیل که با نماد a_3 نشان داده می‌شود.

- هزینه‌های ثابت و متغیر نمونه گیری از فرایند که به ترتیب با نمادهای a_1 و a_2 نشان داده می‌شوند.

بنابراین، متوسط هزینه هر چرخه کیفی به صورت زیر قابل محاسبه می‌باشد:

همچنین، برای محاسبه متوسط تعداد هشدارهای غلط (ANF)، متوسط دفعات نمونه گیری از فرایند (ANS) و متوسط نمونه‌های جمع‌آوری شده از فرایند (ANI)، با توجه به خواص مقدماتی زنجیره مارکوف می‌توان نوشت که:

$$ANF = \mathbf{b}'(\mathbf{I} - \mathbf{Q})^{-1}(0, 0, 0, 1, 0, 0, 0)' \quad (5)$$

$$ANS = \mathbf{b}'(\mathbf{I} - \mathbf{Q})^{-1}(1, 1, 1, 1, 1, 1)' \quad (6)$$

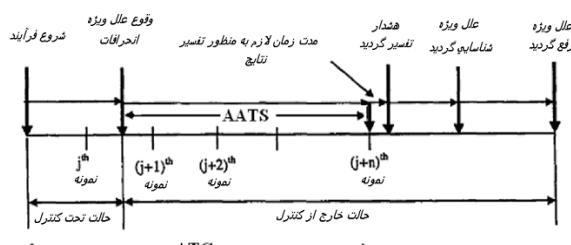
$$ANI = \mathbf{b}'(\mathbf{I} - \mathbf{Q})^{-1}(n_1, n_1, n_2, n_2, n_1, n_1, n_2)' \quad (7)$$

۲-۳. بناسازیتابع هزینه

در عمل هر فرایند از حالت تحت کنترل شروع به فعالیت می‌کند. سپس بر اثر وقوع یک عامل ویژه ، فرایند از کنترل خارج می‌شود و تا زمان شناسایی آن علل و نهایتاً تعمیر فرآیند به فعالیت خود ادامه می‌دهد.

بدیهی است که فرایند مذکور بس از تعمیر و رفع علل ویژه انحراف مجدداً به حالت آغازین خود باز می‌گردد. این چرخه ، چرخه کیفی^۱ نامیده می‌شود و در قالب یک فرایند تجدید پاداش^۲ مدل بندی می‌گردد که در آن متوسط هزینه هر چرخه بر حسب واحد زمان E(A) از تقسیم متوسط هزینه هر چرخه E(C) ، بر متوسط زمان به طول انجامیدن هر چرخه E(T) ، محاسبه می‌گردد. نمودار^۳ یک چرخه کامل کیفی را به همراه معیارهای آماری AATS و ATC ، به نمایش می‌گذارد.

بر پایه اصول فرایند تجدید پایش، لورنزن و وانس (۱۹۸۶) یک مدل اقتصادی جامع برای طراحی بهینه اقتصادی نمودارهای کنترل ارائه دادند که در این مقاله مورد استفاده قرار می‌گیرد. فراز و همکاران (۲۰۰۹) با تلفیق مدل مذکور و مفاهیم زنجیره مارکوف یک مدل اقتصادی را برای طراحی بهینه نمودار کنترل T2 هتلینگ با طرح نمونه گیری دو اندازه نمونه متغیر بناسازی کردند که در این بخش مدل مذکور به طرح DWL بسط داده می‌شود.



نمودار ۵. نمایش گرافیکی یک چرخه کیفی

¹ Quality Cycle

² Renewal Reward Process

الگوریتم ژنتیک برای بهینه سازی تابع هدف نیازی به تجزیه و تحلیل ریاضی و پیچیده تابع مورد نظر ندارد و در بسیاری از زمینه‌های بهینه سازی به طور وسیعی استفاده می‌شود. در واقع هدف الگوریتم ژنتیک دست یابی به یک بهینه عمومی و نه محلی، بدون بغرنج کردن فضای جواب است. در واقع الگوریتم ژنتیک از یک مجموعه جواب‌های شدنی کوچک (جمعیت) در یک فرایند موادی شروع به تولید نسل جدید یا جمعیت جدید می‌نماید. این فرایند تکراری برگرفته از مباحث ژنتیکی تکامل موجودات است و نسل جدید را همانند فرایند بقا به طور کاملاً تصادفی از نسل حاضر تولید می‌کند. از جمله ویژگی‌های الگوریتم ژنتیک می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- ۱- در الگوریتم ژنتیک، جمعیتی از نقاط (به جای یک نقطه) به صورت موادی مورد جستجو قرار می‌گیرند.
- ۲- در الگوریتم ژنتیک از قواعد انتقال احتمالی (به جای قواعد انتقال قطعی) استفاده می‌شود.

۳- در الگوریتم ژنتیک نیازی به اطلاع درباره مشتق‌پذیری تابع هدف نیست و تنها کافی است که برای مسئله مورد نظر یک تابع برآشش تعریف شود.

۴- به راحتی می‌تواند برای مسائل چند هدفه بکار رود.
۵- روش‌های متعددی برای سرعت دهنده الگوریتم و بهبود کیفیت جواب وجود دارد و به محض افزایش آگاهی از دامنه مسئله می‌توان با محدود کردن فضای پاسخ، از این روش‌ها استفاده نمود.

۶- لیستی از متغیرهای بهینه ارائه می‌دهد و نه فقط یک جواب بهینه.

به طور کلی ژنتیک الگوریتم دارای پارامترهای کلیدی زیر است:

• جمعیت:

الگوریتم ژنتیک با تعدادی از جواب‌های اولیه شدنی بنام جمعیت اولیه شروع به کار می‌کند. هر جمعیت دارای N_{pop} کروموزوم می‌باشد که به طور کاملاً تصادفی از فضای جواب مسئله مورد بررسی تولید می‌شوند. هرچه این کمیت مقدار بزرگتر باشد، در هر نسل محدوده بزرگتری از فضای پاسخ مورد بررسی قرار می‌گیرد. در این مقاله مقدار این پارامتر 100 در نظر گرفته شده است.

• روش انتخاب^۲

در این مرحله بر اساس روشی خاص دو کروموزوم به عنوان والد برای نسل کشی انتخاب می‌شوند. روش‌های انتخاب متفاوت منجر به نسل‌های متفاوت خواهند شد. چرخ رولت^۳ و روش انتخابی تورنمنت^۴ روش‌های انتخاب استانداردی برای الگوریتم ژنتیک می‌باشند.

$$E(C) = \frac{C_0}{\lambda} + C_1[AATS + \bar{n}E + T_1 + T_2] + a'_3ANF + a_3 \\ + (a_1ANS + a_2ANI) \quad (9)$$

حال با در نظر گرفتن فرض فرایند تجدید پاداش، متوسط هزینه تحمیلی هر ساعت از فرایند تحويل از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$E(A) = \frac{E(C)}{E(T)} \quad (10)$$

پارامترهای اقتصادی برآورد شده مدل لورنزن و وانس برای فرایند تحويل شرکت TNT در ایالت دلاور آمریکا در جدول ۱ داده شده است.

جدول ۱. پارامترهای برآورد شده مدل اقتصادی لورنزن و

وанс در شرکت Delaware TNT

$a_1 =$	$\lambda =$	$E =$	$C_0 =$	$C_1 =$	$p =$
5\$	0.003	0.5h	1150\$	2550\$	6
$a_2 =$	$T_1 =$	$T_2 =$	$a'_3 =$	$a_3 =$	$d = 1$
5\$	0.75 h	2.5 h	250\$	450\$	

۳-۵. ژنتیک الگوریتم و طراحی اقتصادی نمودار کنترل DWL T2

هدف از طراحی بهینه اقتصادی و آماری نمودار کنترل DWL T² برای پایش فرایند تحويل، یافتن مقادیر پارامترهای نمودار کنترل به قسمی است که هزینه انتظاری بر هر ساعت از فرایند تحويل را کمینه نماید و در عین حال از خطای نوع I پایین و در سطح مطلوبی برخوردار باشد. در واقع:

$$\begin{aligned} \min E(A) \\ S.t.: \\ \cdot \hat{=} 0.005 \\ k \neq 0 \\ 0 \neq w_h \neq w_n \neq k \\ 1 \hat{=} n_1 \neq n_2 \\ 0.1 \hat{=} h_2 \hat{=} h_1 \hat{=} 8 \\ n_1, n_2 \in Z^6 \end{aligned} \quad (11)$$

مسئله بهینه سازی فوق، دارای متغیرهای تصمیم گسسته و پیوسته و فضای پاسخ نامحدود است. از آن رو حل این مدل با استفاده از روش‌های بهینه کاوی کلاسیک مقدور نمی‌باشد. ژنتیک الگوریتم یک روش جستجو فرا ابتکاری است که توسط هلند^۱ در سال ۱۹۷۵ معرفی گردید. از آن زمان تا کنون این الگوریتم نسبت به سایر الگوریتم‌های فرا ابتکاری دیگر بیشتر مورد توجه قرار گرفته است.

² Selection Strategy

³ Roulette

⁴ Tournament

الگوریتم ژنتیک را مجبور می سازد تا همواره تعدادی از بهترین‌ها را در هر نسل نگه دارد. به تجربه ثابت شده است که این مکانیزم عملگر الگوریتم ژنتیک را بهبود داده و در ضمن زمان همگرایی را کوتاه می نماید. این عملگر توسط گلدبرگ^۱ در سال ۱۹۸۹ معرفی گردید. در این مقاله تعداد کروموزوم‌هایی که طبق این قاعده به نسل بعدی کمی می‌شوند، برابر ۵ در نظر گرفته شده است.

بعد از آنکه عملگرد تلاشی و جهش صورت پذیرفت، میزان تابع مطلوبیت برای هر کروموزوم محاسبه می‌شود. کروموزوم‌ها رتبه بندي می‌شوند و مجدداً بهترین‌ها انتخاب می‌شوند، معیار توقف بررسی می‌شود و مجدداً این حلقه تا رسیدن به جواب بهینه ادامه می‌یابد.

۳-۳. کاربرد صنعتی و ملاحظات کاربردی

در این بخش به بررسی استقرار بهینه اقتصادی-آماری نمودار کنترل DWL T2 می‌پردازیم. مهندس ناظر فرایند تحویل شرکت TNT به منظور پایش فرایند، از طرح کنترل هتلینگ کلاسیک و استفاده ابتکاری ایشیکاوا^۲ با پارامترهای $k=18/55$ ، $n=3$ و $h=8$ استفاده می‌کند. در واقع، بر اساس این طرح ، وی از تحت کنترل بودن فرایند تحویل در ابتدای هر نوبت کاری اطمینان حاصل می‌کند. طرح ایشیکاوا بدلیل سادگی و آن که مهندسان را کمتر با مباحث غرایج آماری درگیر می‌کند ، در صنایع از محبوبیت خاصی برخوردار است. این طرح کلاسیک و ابتکاری قادر است که تغییری به اندازه واحد در میانگین فرایند را $177/43$ ساعت یا حدوداً یک هفته پس از وقوع آن شناسایی کند. بر اساس داده‌های جدول ۱، هزینه تحمیلی بر ساعت این طرح معادل $1690/45$ دلار می‌باشد. حال بر پایه مدل لورنزن و وانس (۱۹۸۶) ، پارامترهای بهینه طرح DWL T2 و معیارهای آماری و اقتصادی آن عبارتند از: $k=15/04$ ، $h_1=2/84$ و $h_2=0/23$ که $n_1=3/87$ ، $n_2=4$ و $w_h=3/87$ هزینه‌ای معادل $E(A)=1224/78$ دلار بر ساعت را بر سازمان تحمیل می‌کند. بر پایه این طرح چنان‌چه آماره T2 هتلینگ در بازه $(3/67$ و $0/0)$ قرار گیرد، نمونه بعدی بعد از ۱۷۱ دقیقه و به حجم واحد خواهد بود. در صورتی که آماره T2 هتلینگ در بازه $(3/84$ و $3/87)$ قرار گیرد، نمونه بعدی بعد از ۱۴ دقیقه و به حجم واحد از فرایند جمع آوری می‌گردد. در غیر این صورت، نمونه بعدی به حجم ۴ و بعد از ۱۴ دقیقه از فرایند جمع آوری می‌گردد. این طرح سازمان مذکور را قادر می‌سازد که تغییر مورد نظر را در 382 دقیقه (کمتر از 7 ساعت) بعد از وقوع آن شناسایی کند. این طرح نسبت به طرح کلاسیک یک بهبود نسبی $\%38$ را در هزینه‌ها نشان داده و شرکت TNT را قادر می‌سازد در هر ساعت $465/68$ دلار صرفه جویی نماید. از آن جا که شرکت TNT به طور شبانه روزی و

باشند. معمولاً برای کروموزوم‌های هر نسل، مقدار تابع هزینه آن‌ها محاسبه می‌شود و به ترتیب صعودی مرتب می‌شوند. آنگاه بهترین‌های هر نسل برای عمل جفت گیری انتخاب می‌شوند و مابقی حذف می‌گردد. نرخ انتخاب، X_{rate} از N_{pop} کسری است. تعداد کروموزوم‌هایی که در هر نسل نگهداری می‌شوند برابر است با $X_{\text{keep}} = X_{\text{rate}} \cdot N_{\text{pop}}$. در واقع هر نسل شامل X_{keep} کروموزوم ارشد و $N_{\text{pop}} - X_{\text{keep}}$ فرزند است که با عمل جفت گیری از والدین بدست آمدده‌اند. در این مقاله $X_{\text{rate}} = 0.95$ در نظر گرفته شده است.

انتخاب بر اساس چرخه رولت بدین صورت است که در این روش کروموزوم‌های بهتر شانس انتخاب بیشتری دارند و شانس انتخاب کروموزوم مناسب با میزان برازنده‌گی آن کروموزوم است. در روش تورنمنت ابتدا مسابقه ای با معمولاً ۲ یا ۳ کروموزوم اجرا می‌شود و در بین آن‌ها بهترین کروموزوم به جمعیت بعدی کمی می‌شود. این عمل به اندازه جمعیت تکرار می‌گردد.

• عملگر تلاقی^۱

عملگر تلاقی استاندارد برای تولید نسل جدید، بدین صورت است که دو والد به عنوان پدر و مادر انتخاب می‌شوند و حاصل جفت گیری دو فرزند است. والدین در مجموع باید $N_{\text{pop}} - X_{\text{keep}}$ فرزند را تولید کنند تا نسل جدید تکمیل گردد.

• عملگر جهش^۲

برای آن که ژنتیک الگوریتم سریعاً به یک مقدار بهینه محلی همگرا نشود عملگر جهش صورت می‌گیرد تا تنوع بررسی و آزادی عمل الگوریتم در بررسی نقاط فضای جواب افزایش یابد. در اینجا عددی تصادفی از توزیع خاصی به مقدار زن کروموزوم انتخابی اضافه می‌شود. اغلب کاربران الگوریتم ژنتیک عددی تصادفی از توزیع نرمال با میانگین صفر را انتخاب می‌کنند. در این روش باید برای واریانس توزیع نرمال مقداری انتخاب شود. البته معمولاً کروموزوم‌هایی برای عمل جهش انتخاب می‌شوند که جزو بهترین کروموزوم‌های هر نسل نباشند.

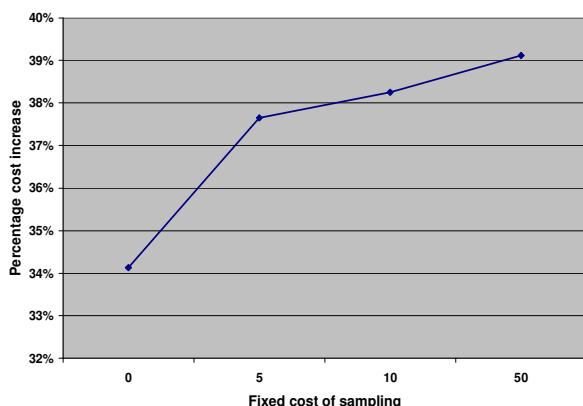
• عملگر نخبگی^۳

زمانی که از اپراتورهای ژنتیکی استفاده می‌شود ممکن است بهترین کروموزوم‌ها از دست بروند. لذا لازم است که به منظور حفظ بهترین اطلاعات هر نسل، نخبگان هر نسل مستفیماً به نسل بعدی انتقال یابند. در واقع، نخبگی روشنی است برای نگهداری یک کمی از بهترین کروموزوم‌های هر نسل در نسل جدید. مکانیزم فوق

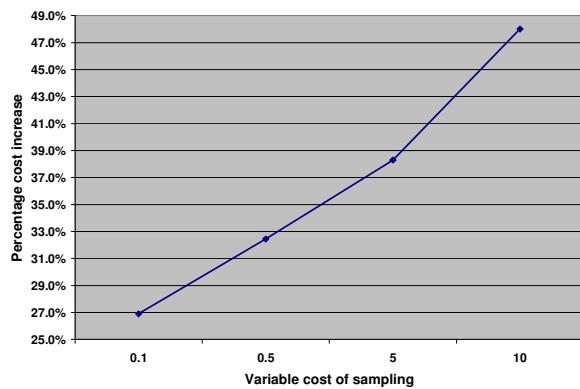
¹ Mating

² Mutation

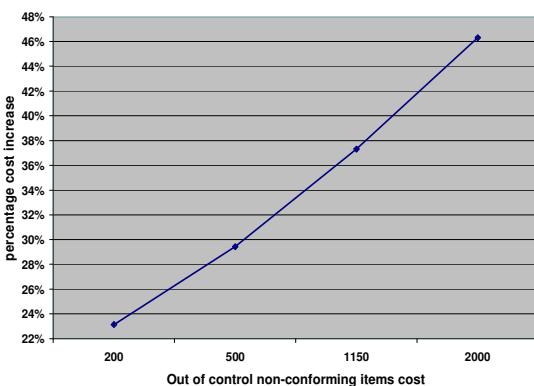
³ Elitism



نمودار ۷. عملکرد نسبی طرح DWL در مقایسه با طرح a_1 با تغییر پارامتر FRS



نمودار ۸. عملکرد نسبی طرح DWL در مقایسه با طرح a_2 با تغییر پارامتر FRS



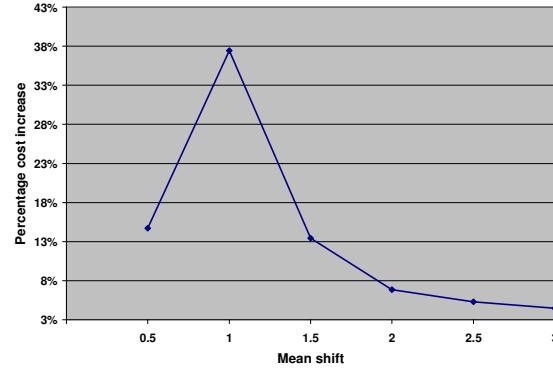
نمودار ۹. عملکرد نسبی طرح DWL در مقایسه با طرح FRS با تغییر پارامتر C_1

۴. نتیجه گیری

در این مقاله، با یک مطالعه کاربردی نشان داده شد که چگونه می‌توان زنجیره‌های تحویل در مدیریت زنجیره تأمین را در قالب

بی‌وقفه خدمات خود را ارائه می‌نماید، بکارگیری طرح DWL در مقایسه با طرح FRS صرفه جویی سالیانه بیش از چهار میلیون دلار را عاید سازمان می‌نماید. چنان‌چه مشخص است این میزان صرفه جویی بدون اعمال هیچ گونه هزینه اضافی و تنها با تنظیم بهینه‌پارامترهای نمودار کنترل حاصل می‌گردد که رقم بسیار قابل توجهی است. حال در صورت اعمال طرح اقتصادی – آماری مذکور بر سایر فرایندهای تحویل صرفه جویی‌های کلانی عاید شرکت TNT می‌گردد که بدون اعمال هیچ گونه هزینه اضافی و تنها با تغییر پارامترهای نمودارهای کنترل حاصل می‌گردد.

در ادامه چنان‌چه در فصل قبلی بدان پرداخته شد، سانیگا و همکاران (۲۰۰۱) در تحقیقات خود به این نتیجه دست یافته‌ند که پارامترهای اقتصادی هزینه‌های نمونه‌گیری، هزینه‌های عملکرد DWL در حالت خارج از کنترل و میزان تغییر رخ داده شده در میانگین فرایند از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند. لذا در ادامه نتایج حاصل از تغییر مقدار این پارامترها را بر عملکرد بهینه نمودار DWL نسبت به طرح کلاسیک را مورد بررسی قرار می‌دهیم. نمودار ۶ نشان می‌دهد که با افزایش پارامتر d ، مزیت‌های اقتصادی طرح DWL نسبت به طرح FRS کاهش می‌یابد که نتیجه غیرمنتظره‌ای نیست. نمودار ۷ باری دگر گویای این مطلب است که هزینه ثابت نمونه‌گیری تاثیر چندانی بر عملکرد بهینه نمودار DWL نداشته و از آن رو است که می‌توان در تخمین آن وقت و هزینه کمتری را صرف نمود، اما نمودار ۸ بیانگر تاثیر قابل ملاحظه هزینه متغیر نمونه‌گیری است. چنان‌چه ملاحظه می‌شود، با افزایش پارامتر a_2 صرفه جویی‌های قابل ملاحظه‌ای با بالکردن DWL عاید سازمان می‌شود. نمودار ۹ نیز تداعی گر همین مطلب است. با افزایش هزینه‌های عملکرد فرایند در حالت خارج از کنترل، مزیت‌های اقتصادی طرح DWL نیز به طور معنی داری بیشتر نمود پیدا می‌کند به طوری که چنانچه مقدار پارامتر C_1 به ۲۰۰۰ دلار افزایش یابد، مزیت اقتصادی طرح DWL نسبت به طرح کلاسیک به مرز ۵۰٪ نزدیک می‌شود.



نمودار ۶. عملکرد نسبی طرح DWL در مقایسه با طرح FRS با تغییر پارامتر d

- Science and Engineering Management, 3, 2008 , pp. 211-219.
- [8] Kuei, C., Madu, C.N., Identifying critical success factors for supply chain quality management. Asia Pacific Management Review, Vol 6, No.4, 2001, pp. 409-423.
- [9] Matthews,C., Linking the SCM to TQM, Quality Progress, 39, 2006, 29-35.
- [10] Ramos, J.C., Asan, S.S. and Majetic, J., *Benefits of Applying Quality Management Techniques to Support Supply Chain Management*, Int Logistic and Supply Chain Congress, November 8-9, Istanbul, Turkeye, 2006.
- [11] Cinlar, E., *Introduction to Stochastic Processes*. PrenticeHall, Englewood Cliffs, NJ, 1975.
- [12] Lorenzen, T.J. and Vance, L.C., *The Economic Design of Control Charts: a Unified Approach*, Technometrics 28, 1975, pp. 3-11.

فرایندهای چندمتغیره مدل بندی نمود. در ادامه به منظور پایش فرایند ، به استقرار نمودار بهینه اقتصادی – آماری نمودار کنترل چند متغیره T^2 برپایه مدل اقتصادی لورنزن و وانس (۱۹۸۶) پرداخته و سپس با استفاده از روش جستجو ژنتیک الگوریتم مقادیر بهینه پارامترهای نمودار کنترل تعیین گردیدند. نتایج مقایسات عددی حاکی از آن است که طرح کنترل مذکور نه تنها از نظر اقتصادی صرفه جویی سالیانه بیش از چهار میلیون دلار را عاید سازمان می نماید ، بلکه چنان‌چه فراز و پارسیان (۲۰۰۶) نیز عنوان داشتند سریع‌ترین روش در شناسایی تغییرات در میانگین فرایند نیز هست به طوری که سرعت شناسایی تغییرات در میانگین فرایند را از یک هفته به کمتر از ۷ ساعت بهبود می‌بخشد. بنابراین طرح DWL می‌تواند تغییرات در میانگین فرایند را در سریع‌ترین زمان و با کمترین هزینه شناسایی نماید (خاصیت ۱ و ۲). از خواص آماری خوبی نیز برخوردار است (خاصیت ۳) و به دلیل سادگی و محبوبیت ذاتی نمودارهای کنترل هتلینگ (خاصیت ۴)، می‌تواند بعنوان روشی کارا در پایش فرایندهای چندمتغیره زنجیره تحويل مورد استفاده قرار گیرد. در پایان ذکر این نکته ضروری است که اگرچه فضای حاکم بر کسب و کار کشور ما در مقایسه با کشورهای توسعه یافته و پیشرفته صنعتی دارای اختلافات نسبتاً زیادی است، اما با توجه به حرکت‌های آغاز شده در صنایع کشور به منظور ارتقاء بهره‌وری و افزایش میزان صادرات غیرنفتی، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که در فضای رقابتی شدید جهانی، سازمان‌ها و موسسات کشور ما ناگزیرند که هرچه سریعتر در جهت بهره‌گیری از این روش‌های پیشرفته در صحنه تجارت داخلی و خارجی گام بردارند.

مراجع

- [1] Faraz, A., Parsian, A., *Hotelling's T2 Control chart with Double Warning Lines*. Journal of Statistical Papers, Vol. 47, No. 4. 2006
- [2] Faraz, A., Kazemzade, R.B., Saniga, E., *Economic and Economical Statistical Design of Hotelling's T2 Control Chart with Two-State Adaptive Sample Size*, Journal of Statistical Computation and Simulation, DOI: 10.1080/00949650903062574, 2009.
- [3] Farker, L.B., Mendez, D., Hershauer, J.C., TQM in the SCM: what is its impact on performance?, Int J Prod Res, 14, 1997, pp. 91-118.
- [4] Flynn, B.B., Flynn, E.J., *Synergies Between Supply Chain Management and Quality Management: Emerging Applications*, Int J Prod Res, 43, 1997, pp. 3421-3436.
- [5] Ishikawa, K., *Guide to Quality Control*, Asian Productivity Organization, Tokyo, 1976.
- [6] Trent, R., Applying TQM to SCM, supply Chain Management Review, 2001, pp. 70-78.
- [7] Sun, J., Matsui, M., *A Control Chart Design Used in Supply Chain Management System*, Int J management