

نمودارهای کنترل فرایند و زنجیره تحویل

علی‌رضا فراز و رضا برادران کاظم زاده

چکیده:

تئوری زنجیره تحویل^۱ به بررسی تحویل کالاها و خدمات به مشتریان در محدوده زمانی مشخصی می‌پردازد. بدیهی است مطلوب آن است که زمان تحویل کالا و خدمات به مشتریان به حداقل برسد. معمولاً وجود چندین سایت های تولید، تحویل و همچنین تنوع روش های گوناگون حمل و نقل کالا و خدمات به پیچیدگی این مسئله می‌افزاید. بعلاوه، 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 دلاور آمریکا نشان داده می‌شود که چگونه می‌توان زنجیره های تحویل در مدیریت زنجیره تامین را در قالب فرایندهای چندمتغیره مدل بندی نمود. همچنین به منظور پایش فرایند، به استقرار نمودار بهینه اقتصادی - آماری نمودار کنترل چند متغیره $DWL T^2$ 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.

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 پندارند. علت این امر در واقع دستیابی به مزیت یا مزایای رقابتی با هدف کسب سهم بیشتری از بازار است. بر این اساس فعالیت‌هایی نظیر برنامه‌ریزی عرضه و تقاضا، تهیه مواد، تولید و برنامه‌ریزی محصول، خدمت نگهداری کالا، کنترل موجودی، توزیع، تحویل کالا و خدمت به مشتری که قبلاً همگی در سطح شرکت انجام می‌شده اینک به سطح زنجیره تامین انتقال

پیدا کرده است. مدیریت زنجیره تامین پدیده‌ای است که این کار را به طریقی انجام می‌دهد که مشتریان به‌توانند 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 فرایند کسب و کار ساده تحویل پیتزا را تنها با یک زنجیره تحویل در نظر بگیرید. چنان‌چه مشخص است، هرگونه نقصی که منجر به تاخیر غیرمعارف در تحویل پیتزا به مشتریان گردد، ولو آن که پیتزا 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.

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

به‌عنوان یک نشان تبلیغاتی برای سازمان خود در ذهن مشتریان منسجم نمایند. از طرفی واژه کیفیت امروزه معنایی فراتر از تطابق مشخصات کیفی کالا با الزامات فنی است. قیمت پایین تر، هزینه تعمیر و نگهداری پایین تر، خدمات پس از فروش بهتر و حتی تحویل به موقع از جمله ویژگی‌های کلیدی است که همراه با واژه کیفیت در ذهن مشتریان نقش می‌بندد. در این راستا، سازمان‌ها می‌کوشند تا علاوه بر فائق آمدن بر نیازهای اصلی مشتریان، حتی در فرایند تحویل به موقع و بدون وقفه کالاها و خدمات از هم پیشی بگیرند.

بدلیل اهمیت زنجیره تحویل، اغلب سازمان‌ها از پیمانکاران در زنجیره تحویل خود استفاده می‌کنند. زنجیره تحویل این سازمان‌ها از موسسات تحویل قراردادی و سازمان‌هایی که عملیات لجستیکی و پشتیبانی تحویل را به عنوان نفر ثالث برای آن تولیدکنندگان انجام می‌دهند، تشکیل شده است. بنابراین، در این حالت عمل حیاتی برای سازمان حفظ مسئولیت عملیات کنترل در شبکه تحویل است درحالی که عمده کارهای اجرایی را به پیمانکاران بیرون از سازمان محول کرده است. این روش موجب می‌گردد که سازمان به هنگام ضرورت، ارائه کنندگان خدمات را بدون این‌که اخلاقی در شبکه زنجیره تحویل به وجود آید، تغییر دهد. در این راستا بکارگیری یک سیستم کنترل آماری فرایند می‌تواند به این سازمان‌ها در ارزیابی عملکرد پیمانکاران کمک شایانی نماید.

بدیهی است که استقرار هر سیستم کنترل هزینه‌های سرباری را به سازمان تحمیل می‌کند که از سود و منفعت سازمان می‌کاهد. از آن رو استفاده و بکارگیری سیستم‌های پایش اقتصادی صرفه جویی‌های قابل ملاحظه‌ای را عاید سازمان می‌کند.

در این زمینه، پیتز دراکر معتقد است که به منظور رقابت موفقیت آمیز در بازار رقابتی فزاینده جهانی، یک سازمان باید از هزینه‌های کامل زنجیره تامین خود آگاه بوده و به منظور مدیریت هزینه‌ها فعالیت کند. سازمان‌ها باید از صرف این دیدگاه که در درون سازمان‌شان چه می‌گذرد صرف‌نظر کرده و هزینه‌های دگر را مورد بررسی قرار دهند. در چند سال اخیر، سازمان‌های کشورهای صنعتی و پیشرفته جهان توجه ویژه‌ای به مدیریت زنجیره تحویل داشته‌اند و از این رهگذر به موفقیت‌های قابل توجهی نیز دست یافته‌اند، که گواه این امر حجم بالایی از مبادلات تجاری است که هزینه حمل و نقل آن‌ها به میلیاردها دلار در سال بالغ می‌گردد. در ادامه به برخی از ملاحظات اساسی در استقرار نمودارهای کنترل در یک زنجیره تحویل اشاره می‌شود.

سازمان‌ها و شرکت‌های پیشرو، از لحاظ انعطاف‌پذیری زنجیره‌های تحویل خود نیز پیشرو بوده و به طور موثر عمل کرده‌اند و دلیل آن نیز مزایای حاصله از دریافت به موقع کالا و خدمات توسط مشتریان است که از لحاظ افزایش رقابت‌پذیری و سهم بازار، افزایش فروش و کاهش هزینه‌ها بسیار چشمگیر است.

سازمان‌ها و شرکت‌ها همواره برای جلب رضایت مشتریان خود به تحویل به موقع کالاها و خدمات توجه خاصی نموده و همواره سعی می‌نمایند تا با بکارگیری یک سیستم اطلاعات کارآمد، زمان‌های تحویل را بهینه نمایند. در این راستا فورکر و همکاران^۱ (۱۹۹۷)، کویی و همکاران^۲ (۲۰۰۱)، ترنت^۳ (۲۰۰۱)، فلین و فلین^۴ (۲۰۰۵) و ماتیسوس^۵ (۲۰۰۶) به بررسی فعالیت‌های مدیریت کیفیت بر عملکرد زنجیره تامین پرداختند. آن‌ها نتیجه‌گیری کردند که چگونه فعالیت‌های کیفی به اثربخشی بیشتر زنجیره تامین و رضایت مشتری منجر می‌شود. راموس و همکاران^۶ (۲۰۰۷) در مقاله خود به مزایای بکارگیری نمودارهای کنترل در زنجیره تامین شرکت‌های موتورولا آمریکا و رولزرویز آلمان پرداختند. اخیراً سان و ماتیسوی^۷ (۲۰۰۸) به طراحی اقتصادی نمودار کنترل X شوهارت در یک زنجیره تامین پرداختند. اما تا کنون مطالعه‌ای در خصوص بکارگیری نمودارهای کنترل در یک زنجیره تحویل صورت نگرفته است که در این مقاله بدان پرداخته می‌شود. در بخش بعدی به ضرورت پایش اقتصادی زنجیره‌های تحویل و اتخاذ رویکردی فرایندی در زنجیره تحویل می‌پردازد.

در این بخش، به برخی ملاحظات اساسی در استقرار نمودارهای کنترل در یک زنجیره تحویل نیز پرداخته می‌شود. در بخش سوم با یک مطالعه موردی زنجیره تحویل شرکت TNT در شهر دلاور^۸ آمریکا به صورت یک فرایند چند متغیره مدل می‌گردد و با استقرار نمودار کنترل بهینه اقتصادی - آماری T2 هتلینگ با حدود هشدار دوگان پیشنهادی توسط فراز و پارسیان (۲۰۰۶) نشان داده می‌شود که چگونه سازمان‌ها می‌توانند به صرفه‌جویی‌های قابل ملاحظه‌ای از بعد اقتصادی دست یابند. سرانجام نتیجه‌گیری و پیشنهادات بخش پایانی مقاله را شامل می‌شود.

۲. نمودارهای کنترل فرایند و زنجیره‌های تحویل

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

۲-۱. رویکرد فرایندی در پایش زنجیره‌های تحویل

به طور کلی داده‌های زنجیره تحویل باید به گونه‌ای جمع‌آوری و ثبت گردد که امکان شناسایی حالت‌های غیر معمول و ویژه که سبب بروز تاخیرات بیش از حد معمول در تحویل خدمات و کالاها

¹ Forker et al.

² Kuei et al.

³ Trent

⁴ Flynn and Flynn

⁵ Matthews

⁶ Ramos, et al.

⁷ Sun and Matsui

⁸ Delaware

۳-۲. استانداردهای کار و زمان

از آنجا که متغیرهای زمان تحویل در هر زنجیره تحویل 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 تاخیرات مقدور نبوده و هدف والای نمودارهای کنترل محقق نمی‌گردد. بعلاوه وجود استانداردهای زمانی کار این امکان را فراهم می‌سازد که قابلیت زنجیره تحویل محاسبه و در جهت 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	Dw1	Shipment Received At Destination Depot.
24 Sep 2009	09:19:00	Dw1	Held Awaiting Correct Address. Follow Up Actions Underway.
24 Sep 2009	07:22:00	Dw1	Shipment Received At Destination Depot.
24 Sep 2009	06:10:26	Delaware Roveri	Shipment In Transit.
24 Sep 2009	06:08:26	Delaware Roveri	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 موردی

در تئوری زنجیره تحویل معمولاً بسیاری از فرایندهای تحویل که دارای مبداء و مقصدهای نزدیک به هم می‌باشند در هم ادغام می‌شوند. هر گونه فعالیت‌های بارگذاری، تخلیه، حمل و نقل هوایی، دریایی، قطار، ترانزیت کامیون 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 مبداءها و مقصدها در زنجیره تحویل بوسیله گره‌ها مشخص می‌شوند و بدیهی است که ممکن است چندین مسیر بین یک مبداء و یک مقصد وجود داشته باشد. شهرهای اصلی و مقاصد نزدیک به آن می‌توانند در قالب یک گره با هم ادغام شوند. به عنوان یک نمونه کاربردی، شرکت TNT در طی قراردادهایی می‌بایست مرسولات را از دو مبداء 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 تحویل اولین ملاحظه این مبحث است. متغیرهای زمان تحویل بیانگر مدت زمان سپری شده در حمل و نقل و تحویل محصولات به مشتریان است و مهمترین مشخصه کیفی فرایند تحویل است.

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

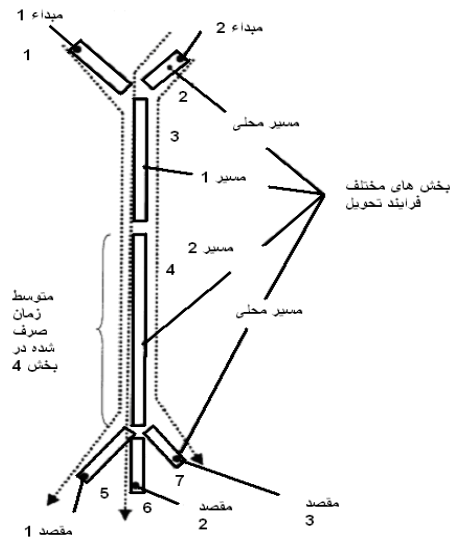
۲-۲. سیستم جمع آوری داده‌ها

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 تحویل 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 کالاها و مرسوله‌های ارسالی دسترسی یابند.

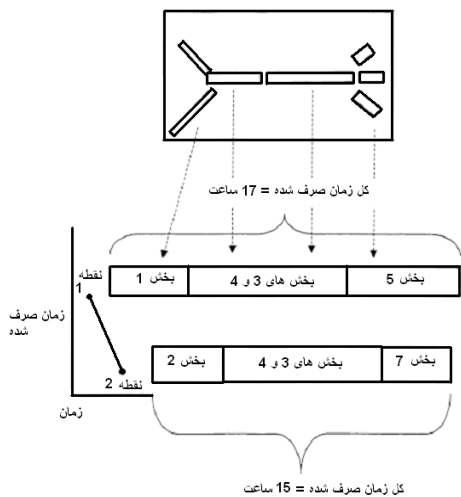
چالش زنجیره تحویل در این راستا ایجاد این اطمینان است که کالاهای سفارش داده شده در زمان اعلام شده از سوی سازمان‌ها به مشتریان تحویل داده می‌شود. همچنین سازمان‌ها درخصوص ارائه برنامه زمان‌بندی درخصوص زمان تحویل کالاهای خریداری شده به مشتریان خود آگاهی می‌دهند و درصورت هرگونه تغییر در برنامه آن‌ها را در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

در زنجیره تحویل، تعیین یک مبداء زمان برای ثبت داده‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. اگر این نکته در ثبت داده‌های مسیرهای تحویل رعایت نگردد پایش فرایند تحویل 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 تحویل است. نمودار ۱ یک نمونه از سیستم جمع آوری داده‌ها را در شرکت TNT به نمایش می‌گذارد.

¹ Wilmington



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



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

۱-۳. مقدمه‌ای بر نمودار کنترل T^2 هتلینگ و طرح نمونه

گیری DWL

براساس تعهد شرکت در تحویل کالاها، 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.

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

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 می‌گردند. 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 آن‌جا 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 هر دوی 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 ابتدا یا پایان هر بخش و یا پایان مسیر در نظر گرفته شود.

در این مقاله مبدأ زمان را لحظه ارسال کالاها 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 بپیوندد.

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

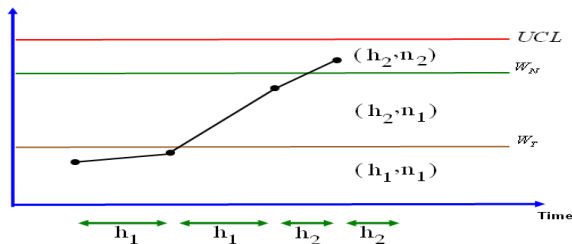
¹ Georgetown
² Millsborough
³ Ocean View
⁴ Port Penn
⁵ Port Bay

می‌کند. اساس کار این نمودار بر پایه تعیین حجم نمونه و فاصله زمانی نمونه‌گیری زیر گروه i -ام بر پایه مقدار آماره T_{i-1}^2 ، استوار است. نمودار کنترل T^2 DWL، 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 DWL است. در این راستا، در هر بار نمونه‌گیری از فرایند همواره یکی از حالات زیر رخ می‌دهد:

- حالت ۱: $0 \leq T^2 < w_h$ و فرایند تحت کنترل است.
- حالت ۲: $w_h \leq T^2 < w_n$ و فرایند تحت کنترل است.
- حالت ۳: $w_n \leq T^2 < k$ و فرایند تحت کنترل است.
- حالت ۴: $T^2 \geq k$ و فرایند تحت کنترل است.
- حالت ۵: $0 \leq T^2 < w_h$ و فرایند خارج از کنترل است.
- حالت ۶: $w_h \leq T^2 < w_n$ و فرایند خارج از کنترل است.
- حالت ۷: $w_n \leq T^2 < k$ و فرایند خارج از کنترل است.
- حالت ۸: $T^2 \geq k$ و فرایند خارج از کنترل است.



نمودار ۴. نمودار کنترل چندمتغیره T^2 DWL

زمانی که $T^2 \geq k$ ، نمودار کنترل هشدار 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 اشتباهی^۱ است (حالت ۴). از آنجا که بعد از مشاهده یک هشدار واقعی (و نه هشدار غلط)، فرایند نمونه‌گیری از فرایند و رسم نقاط بر روی نمودار کنترل به منزله پایش آن متوقف می‌شود، بنابراین، حالت ۸ را می‌توان حالت جاذب^۲ در زنجیره‌های مارکوف نامید. مفاهیم اساسی زنجیره‌های مارکوف را که در این بخش به‌کار 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:

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

هدف کنترل هم زمان کلیه مسیرهای تحویل است. در طرح کلاسیک نمونه‌گیری در نمودار کنترل T^2 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 $T^2 = n(\bar{x} - \bar{\mu}_0)' \Sigma^{-1} (\bar{x} - \bar{\mu}_0)$ 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 $T^2 > k$ شود، فرایند خارج از کنترل فرض می‌گردد و جستجو برای کشف و شناسایی عامل انحراف در فرایند آغاز می‌شود. بطورکلی در نمودار کنترل T^2 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 $d = \sqrt{(\mu - \mu_0)' \Sigma^{-1} (\mu - \mu_0)}$ نشان داده می‌شود که μ بیانگر بردار p بعدی میانگین شاخص‌های کیفی در حالت خارج از کنترل است. در این مقاله، از آنجا که بردار میانگین و ماتریس واریانس کواریانس فرایند زنجیره تحویل معلوم‌اند (توسط تعداد کثیری از نمونه‌های مقدماتی برآورد شده‌اند)، آماره T^2 هتلینگ دارای توزیع کای اسکور با $p=6$ درجه آزادی است و از اینرو حد کنترل بالا برای نمودار را می‌توان صدک α -ام بالایی توزیع کای دو در نظر گرفت $k = \chi_{\alpha}^2(p)$. 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 $\eta = nd$ است. فراز و پارسیان (۲۰۰۶) به طراحی آماری نمودار کنترل چند متغیره T^2 هتلینگ با طرح نمونه‌گیری 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 سازمان‌های 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 نمونه‌گیری h_1 و h_2 به همراه دو خط هشدار w_h و w_n که به ترتیب تعیین کننده تغییر در اندازه نمونه و فاصله زمانی بین زیر گروه‌ها می‌باشند، استفاده

¹ False Alarm
² Absorbing State
³ Cinlar

که در آن p_{ij} بیانگر احتمال شرطی تغییر وضعیت به حالت فعلی j بر روی حالت قبلی i است. همچنین داریم $\eta_1 = n_1 d^2$ ، $\eta_2 = n_2 d^2$ و بعلاوه نماد $F(x, p, \eta)$ بیانگر تابع توزیع تجمعی کای اسکور در نقطه x با p درجه آزادی و با پارامتر غیر مرکزی η است. حال داریم:

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

$$\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:

$$AATS = ATC - \frac{1}{\lambda} \quad (۴)$$

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

$$ATC = \mathbf{b}'(\mathbf{I} - \mathbf{Q})^{-1} \mathbf{h} \quad (۳)$$

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 \mathbf{I} و

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 T₁ نشان داده می‌شود.
 - متوسط زمان صرف شده برای رفع علل ویژه و تعمیر فرایند که با نماد T₂ نشان داده می‌شود.
- بنابراین، متوسط زمان هر چرخه کیفی به صورت زیر قابل محاسبه می‌باشد:

$$E(T) = ATC + \bar{n}E + T_1 + T_2 = \frac{1}{\lambda} + AATS + \bar{n}E + T_1 + T_2 \quad (۸)$$

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.

۳-۴. 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 فرایند تحویل تحت کنترل است، که با نماد C₀ نشان داده می‌شود.
 - هزینه تحمیلی به شرکت مادامی که فرایند تحویل خارج از کنترل است، که با نماد C₁ نشان داده می‌شود.
 - هزینه ارزیابی و بررسی هشدارهای غلط نمودار کنترل که با نماد a₃ نشان داده می‌شود.
 - هزینه تعیین محل و تعمیر و اصلاح انحرافات با دلیل که با نماد a₃ نشان داده می‌شود.
 - هزینه های ثابت و متغیر نمونه گیری از فرایند که به ترتیب با نمادهای a₁ و a₂ 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 نمونه های جمع‌آوری شده از فرایند (ANI)، با توجه به خواص مقدماتی زنجیره مارکوف می‌توان نوشت که:

$$ANF = \mathbf{b}'(\mathbf{I} - \mathbf{Q})^{-1}(0, 0, 0, 1, 0, 0, 0)' \quad (۵)$$

$$ANS = \mathbf{b}'(\mathbf{I} - \mathbf{Q})^{-1}(1, 1, 1, 1, 1, 1, 1)' \quad (۶)$$

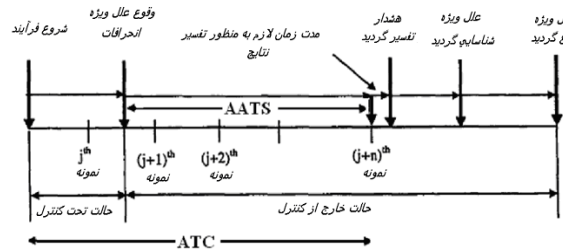
$$ANI = \mathbf{b}'(\mathbf{I} - \mathbf{Q})^{-1}(n_1, n_1, n_2, n_2, n_1, n_1, n_2)' \quad (۷)$$

۳-۲. بناسازی تابع 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 فرایند به فعالیت خود ادامه می‌دهد.

بدیهی است که فرایند مذکور پس 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 ۵، 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 بفرنج کردن فضای جواب است. در واقع الگوریتم ژنتیک از یک مجموعه جواب های شدنی کوچک (جمعیت) در یک فرایند موازی شروع به تولید نسل جدید یا جمعیت جدید می نماید. 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 می کند. از جمله ویژگی های الگوریتم ژنتیک می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- ۱- در الگوریتم ژنتیک، جمعیتی از نقاط (به جای یک نقطه) به صورت موازی مورد جستجو قرار می گیرند.
 - ۲- در الگوریتم ژنتیک از قواعد انتقال احتمالی (به جای قواعد انتقال قطعی) استفاده می شود.
 - ۳- در الگوریتم ژنتیک نیازی به اطلاع درباره مشتق‌پذیری تابع هدف نیست و تنها کافی است که برای مسئله مورد نظر یک تابع برازش تعریف شود.
 - ۴- به راحتی می تواند برای مسائل چند هدفه بکار رود.
 - ۵- روش های متعددی برای سرعت دهی به الگوریتم و بهبود کیفیت جواب وجود دارد و به محض افزایش آگاهی از دامنه مسئله می توان با محدود کردن فضای پاسخ ، از این روش ها 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 جواب های اولیه شدنی بنام جمعیت اولیه شروع به کار می کند. هر جمعیت دارای N_{pop} کروموزوم می‌باشد که به طور کاملاً تصادفی از فضای جواب مسئله مورد بررسی تولید می‌شوند. هرچه این کمیت مقدار بزرگتری باشد، در هر نسل محدوده‌ی بزرگتری از فضای پاسخ مورد بررسی قرار می‌گیرد. در این مقاله مقدار این پارامتر ۱۰۰ 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 تورنامنت^۴، روش‌های انتخاب استاندارد برای الگوریتم ژنتیک می

$$E(C) = \frac{C_0}{\lambda} + C_1[AATS + \bar{n}E + T_1 + T_2] + a'_3 ANF + a_3 \quad (9)$$

$$+ (a_1 ANS + a_2 ANI)$$

حال با در نظر گرفتن فرض فرآیند تجدید پاداش، متوسط هزینه تحمیلی هرساعت از فرایند تحویل از رابطه زیر بدست می‌آید:

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

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

جدول ۱. پارامترهای برآورد شده مدل اقتصادی لورنزن و

وانس در شرکت Delaware TNT					
$a_1 =$	$\lambda =$	$E =$	$C_0 =$	$C_1 =$	$\frac{p}{6}$
5\$	0.003	0.5h	1150\$	2550\$	
$a_2 =$	$T_1 =$	$T_2 =$	$a'_3 =$	$a_3 =$	$d = 1$
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 تحویل ، یافتن مقادیر پارامترهای نمودار کنترل به قسمی است که هزینه انتظاری بر هر ساعت از فرایند تحویل را کمینه نماید و در عین حال از خطای نوع I پایین و در سطح مطلوبی برخوردار باشد. در واقع:

$$\min E(A)$$

$$S.t.:$$

$$\lambda \leq 0.005$$

$$k \geq 0$$

$$0 \leq w_h \leq w_n \leq k \quad (11)$$

$$1 \leq n_1 \leq n_2$$

$$0.1 \leq h_2 \leq h_1 \leq 8$$

$$n_1, n_2 \in Z^+$$

مسئله بهینه سازی فوق، دارای متغیرهای تصمیم گسسته و پیوسته و فضای پاسخ نامحدوب است. از آن رو حل این مدل با استفاده از روش های بهینه کاوی کلاسیک مقدور نمی باشد. 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 الگوریتم های فرا ابتکاری دیگر بیشتر مورد توجه قرار گرفته است.

² Selection Strategy

³ Roulette

⁴ Tournament

1 Holland

الگوریتم ژنتیک را مجبور می‌سازد 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 می‌نماید. این عملگر توسط گلدبرگ^۴ در سال ۱۹۸۹ معرفی گردید. در این مقاله تعداد کروموزوم‌هایی که طبق این قاعده به نسل بعدی کپی می‌شوند، برابر ۵ دنظر گرفته شده است. بعد از آنکه عملگرد تلاقی و جهش صورت پذیرفت، میزان تابع مطلوبیت برای هر کروموزوم محاسبه می‌شود. کروموزوم‌ها رتبه بندی می‌شوند و مجدداً بهترین‌ها انتخاب می‌شوند، معیار توقف بررسی می‌شود و مجدداً این حلقه تا رسیدن به جواب بهینه ادامه می‌یابد.

۳-۶. 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 ابتکاری ایشیکاوا^۵ 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 بغرنج 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 داده های 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: $k=15/04$ ، $n_1=1$ ، $n_2=4$ ، $w_h=3/67$ ، $w_n=3/84$ که هزینه ای معادل $E(A)=1224/78$ دلار بر ساعت را بر سازمان تحمیل می‌کند. بر پایه این طرح چنانچه آماره T2 هتلینگ در بازه $[0, 3/67]$ قرار گیرد، نمونه بعدی بعد از ۱۷۱ دقیقه و به حجم واحد خواهد بود. در صورتی که آماره T2 هتلینگ در بازه $(3/67, 3/84]$ 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 ۳۸۲ دقیقه (کمتر از ۷ ساعت) بعد از وقوع آن شناسایی کند. این طرح نسبت به طرح کلاسیک یک بهبود نسبی ۳۸٪ 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 جفت‌گیری انتخاب می‌شوند و مابقی حذف می‌گردند. نرخ انتخاب، X_{rate} کسری از N_{pop} است. تعداد کروموزوم‌هایی که در هر نسل نگهداری می‌شوند برابر است با $X_{keep} = X_{rate} \cdot N_{pop}$. در واقع هر نسل شامل X_{keep} کروموزوم ارشد و $N_{pop} - X_{keep}$ فرزند است که با عمل جفت‌گیری از والدین بدست آمده‌اند. در این مقاله $X_{rate} = 0.95$ 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 متناسب با میزان برانزنگی آن کروموزوم است. در روش تورنمانت ابتدا مسابقه‌ای با معمولاً ۲ یا ۳ کروموزوم اجرا می‌شود و در بین آن‌ها بهترین کروموزوم به جمعیت بعدی کپی 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 جفت‌گیری دو فرزند است. والدین در مجموع باید $N_{pop} - X_{keep}$ فرزند را تولید کنند تا نسل جدید تکمیل گردد.

• عملگر جهش^۲

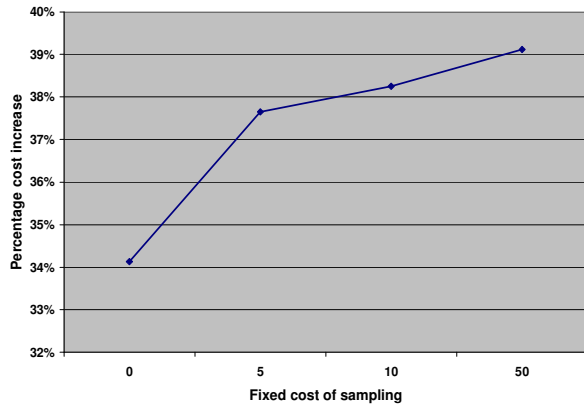
برای آن که ژنتیک الگوریتم سریعاً به یک مقدار بهینه محلی همگرا نشود عملگر جهش صورت می‌گیرد تا تنوع بررسی و آزادی عمل الگوریتم در بررسی نقاط فضای جواب افزایش یابد. در اینجا عددی تصادفی از توزیع خاصی به مقدار ژن کروموزوم انتخابی اضافه می‌شود. اغلب کاربران الگوریتم ژنتیک عددی تصادفی از توزیع نرمال با میانگین 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

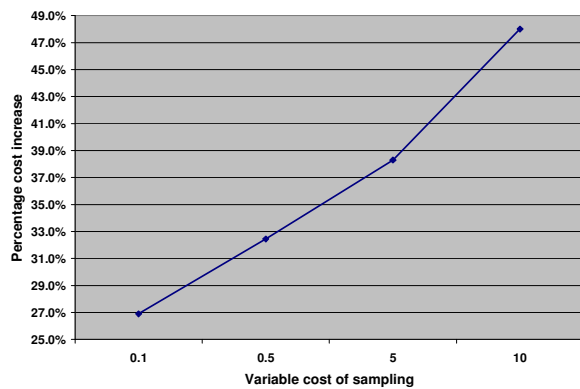
زمانی که از اپراتورهای ژنتیکی استفاده می‌شود ممکن است بهترین کروموزوم‌ها از دست بروند. لذا لازم است که به منظور حفظ بهترین اطلاعات هر نسل، نخبگان هر نسل مستقیماً به نسل بعدی انتقال یابند. در واقع، نخبگی روشی است برای نگهداری یک کپی از بهترین کروموزوم‌های هر نسل در نسل جدید. مکانیزم فوق

¹ Mating
² Mutation
³ Elitism

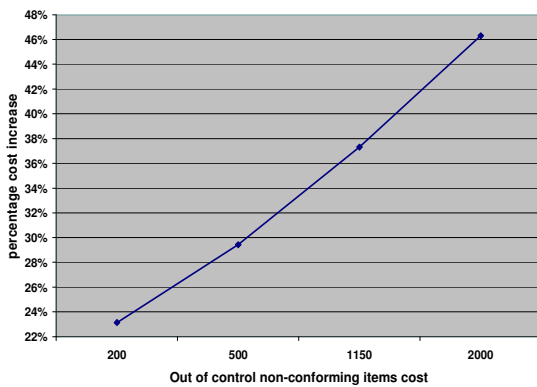
⁴ Goldberg
⁵ Ishikawa



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



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



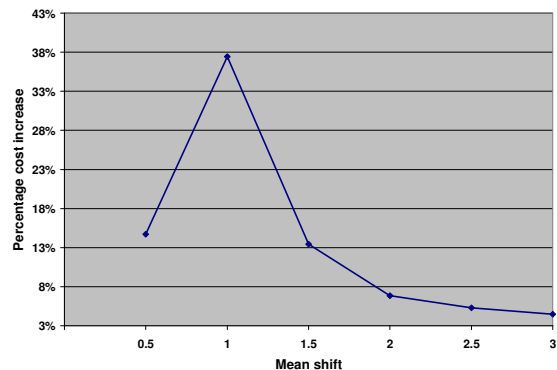
نمودار ۹. عملکرد نسبی طرح DWL در مقایسه با طرح FRS با تغییر پارامتر C_1

۴. نتیجه گیری

در این مقاله، با یک مطالعه کاربردی نشان داده شد که چگونه می توان زنجیره های تحویل در مدیریت زنجیره تامین را در قالب

بی وقفه خدمات خود را ارائه می نماید، بکارگیری طرح DWL در مقایسه با طرح FRS صرفه جویی سالیانه بیش از چهار میلیون دلار را عاید سازمان می نماید. چنانچه مشخص است این میزان صرفه جویی بدون اعمال هیچ گونه هزینه اضافی و تنها با تنظیم بهینه پارامترهای نمودار کنترل حاصل می گردد که رقم بسیار قابل توجهی است. حال در صورت اعمال طرح اقتصادی - آماری مذکور بر سایر فرایندهای نمودار تحویل صرفه جویی های کلانی عاید شرکت می گردد که بدون اعمال هیچ گونه هزینه اضافی و تنها با تغییر پارامترهای نمودارهای کنترل حاصل می گردد.

در ادامه چنانچه در فصل قبلی بدان پرداخته شد، سانیکا و همکاران (۲۰۰۱) در تحقیقات خود به این نتیجه دست یافتند که پارامترهای اقتصادی هزینه های نمونه گیری، هزینه های عملکرد فرایند در حالت خارج از کنترل و میزان تغییر رخ داده شده در میانگین فرایند از اهمیت ویژه ای 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 می دهیم. نمودار ۶ نشان می دهد که با افزایش پارامتر d ، مزیت های اقتصادی طرح DWL نسبت به طرح FRS کاهش می یابد که نتیجه غیر منتظره ای نیست. نمودار ۷ باری دگر گویای این مطلب است که هزینه ثابت نمونه گیری تاثیر چندانی بر عملکرد بهینه نمودار DWL نداشته و از آن رو است که می توان در تخمین آن وقت و هزینه کمتری را صرف نمود، اما نمودار ۸ بیانگر تاثیر قابل ملاحظه هزینه متغیر نمونه گیری است. چنانچه ملاحظه می شود، با افزایش پارامتر a_2 صرفه جویی های قابل ملاحظه ای با بکارگیری طرح DWL عاید سازمان می شود. نمودار ۹ نیز تداعی گر همین مطلب است. با افزایش هزینه های عملکرد فرایند در حالت خارج از کنترل، مزیت های اقتصادی طرح DWL نیز به طور معنی داری بیشتر نمود پیدا می کند 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 می شود.



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, Turkey, 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 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. 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 تحویل 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] Forker, 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*