نشریه بین المللی علوم مهندسی، شماره ۲، جلد۱۷، تابستان ۱۳۸۵، صفحه ۱۷- ۹
دانشگاه علم و صنعت ایران

مکان‌یابی بهینه ایستگاه‌های بازرسی در خطوط تولید متوالی (سریالی)

جمشید پرویزیان و احسان ملیحی

چکیده: در این مقاله یک الگوی اصلاح‌شده برای جایابی بهینه‌ی ایستگاه‌های بازرسی در یک خط تولید متوالی ارائه شده، به روش الگوریتم ژنتیک حل‌گشته است. در الگوی ارائه‌شده در هر ایستگاه بازرسی تنها به بررسی مشخصاتی اکتفا می‌شود که در مراحل تولید پس از آخرین ایستگاه بازرسی پیشین ایجادشده و یا تغییر یافته‌اند. اصلاح انجام‌شده مستلزم این فرض است که کلیه قطعاتی که از یک ایستگاه بازرسی به مرحله بعدی خط تولید وارد می‌شوند سالم هستند. افزون بر این، در این الگو قطعاتی که در ایستگاه بازرسی معیوب تشخیص‌داده می‌شوند می‌توانند بسته به نوع عیب، از خط تولید خارج شده، یا پس از اصلاح به خط تولید بازگردند. در صورتی که اصلاح مورد نظر مستلزم انجام عملیات مجدد باشد این قطعات به مرحله‌ی تولیدی پس از آخرین ایستگاه بازرسی پیشین ارجاع‌می‌شوند. در غیر این صورت، عملیات تعمیر در خارج از خط تولید صورت‌پذیرفته سپس قطعه به مرحله بعدی خط تولید وارد می‌شود. فرض‌هایی که در توسعه این الگو در نظر گرفته‌شده منجر به افزایش درجه غیر خطی مساله، به ویژه در مسایل با ابعاد بزرگ می‌شود. به همین دلیل از الگوریتم ژنتیک به عنوان یکی از مهم‌ترین روش-های ابتکاری در حل این مدل استفاده شده‌است. مثال‌های ارائه شده به خوبی قابلیت الگوی ارائه شده در این مقاله را در مقایسه با سایر الگوها نشان می‌دهند.

واژه‌های کلیدی: خطوط تولید متوالی، تخصیص ایستگاه بازرسی، الگوریتم ژنتیک

۱. مقدمه

کارآیی هر سیستم تولیدی تابعی پیچیده از عواملی چون سیاست-های بازرسی، کارآیی و چگونگی عملکرد تک‌تک ایستگاه‌های کاری، اندازه‌ی بافرهای به کارگرفته شده در تولید و سایر سیاست‌های عملیاتی می‌باشد. در عمل روش‌های مختلفی برای افزایش بازده نهایی سیستم وجود دارد که از موثرترین آنها سیاست‌های بازرسی می‌باشد. تحقیقات در زمینه سیاست‌های بازرسی را می‌توان به دو شاخه‌ی عمده تقسیم‌کرد: ۱- بهینه‌سازی پارامترهای بازرسی در یک ایستگاه بازرسی و ۲- تخصیص بهینه‌ی ایستگاه‌های بازرسی در سیستم تولیدی [1]. فعالیت‌های انجام‌شده در شاخه‌ی اول به وفور در ادبیات کنترل کیفیت آماری مورد استناد قرارگرفته است [2]. در این شاخه هدف عبارت است از یافتن اندازه‌ی بهینه‌ی نمونه، تواتر بهینه‌ی نمونه‌برداری، و برقراری تعادل بهینه میان هزینه‌های بازرسی و هزینه‌های کیفیت.

در دیگر شاخه، هدف همانا یافتن روش‌های توزیع بهینه ایستگاه-های بازرسی در خطوط تولید است [3]. فعالیت‌های بازرسی می-توانند نه تنها بر کیفیت محصول نهایی که بر هزینه آن نیز تاثیر قابل توجهی داشته‌باشند. کیفیت می‌تواند حاصل انجام به‌جا و مناسب فعالیت بازرسی باشد. با این حال، انجام این فعالیت‌ها قیمت نهایی محصول را افزایش‌می‌دهد. در سیستم‌های تولید متوالی(سریالی)، که در آن عملیات تولیدی در یک زنجیره‌ی گسسته و دنبال هم بر روی قطعه صورت می‌پذیرد، قطعه ممکن است در اثر انجام نادرست هر یک از فرآیندهای تولید به یک قطعه نامنطبق تبدیل‌شود. اگر از حرکت این قطعه نامنطبق (ناسالم) در ادامه خط جلوگیری نشود انجام عملیات بعدی بر روی قطعه معیوب و نهایتاً تحویل آن به مشتری هزینه‌های مضاعفی را بر تولید تحمیل می‌کند. این قطعه معیوب حتی می‌تواند باعث اشکالاتی در خط تولید و ماشین‌آلات شود که منجر به توقف خط تولید گردد. فعالیت‌های بازرسی در مراحل مختلف خط تولید می‌توانند از تحمیل چنین هزینه‌هایی پیشگیری‌کنند. در مقابل، بازرسی خود مستلزم پرداخت هزینه‌های مربوط می‌باشد. از این رو با تعیین نقطه سربه‌سر بین هزینه‌های ایجادشده در اثر انجام فعالیت بازرسی در مکان مناسب و یا عبور قطعات معیوب به مراحل بعدی تولید می‌توان جای مناسب را برای انجام بازرسی با هدف دستیابی به کمترین هزینه یافت.

نسخه اصلی مقاله در تاریخ ۱۳۸۲/۴/۱۷ واصل، و پس از بازنگریهای لازم، در تاریخ ۱۳۸۳/۸/۱۸ به تصویب نهایی رسیده است.
دکتر جمشید پرویزیان، استادیار دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی اصفهان. Japa@cc.iut.ac.ir
احسان ملیحی، کارشناس ارشد مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی اصفهان. Ehsan.malihi@gmail.com

Archive of SID
www.SID.ir

مدل های متعددی برای تعیین مکان مناسب و بهینه فعالیت‌های بازرسی در خطوط تولید گسترش یافته‌اند. در هر یک از این مدل‌ها تنها بخشی از واقعیت فرآیند بازرسی مورد توجه قرارگرفته، با درنظرگرفتن فرض‌های ساده‌کننده و توجه خاص روی یک صفت ذاتی فرآیند، مدل ساخته شده‌است.

لیندزی و بیشاپ مدلی را برای تعیین مکان ایستگاه‌های بازرسی ارائه‌کردند [4]. در این مدل فرض شده‌است که در هر ایستگاه همه قطعات مورد بازرسی قرارمی‌گیرند. از روش برنامه‌ریزی پویا برای حل مسأله با هدف کمینه‌کردن مجموع هزینه‌های بازرسی و تولید ازدست‌رفته استفاده شده‌است. تولید از دست‌رفته حاصل انجام نادرست عملیات تولیدی است. آنها اثبات کردند که اگر قطعات به شکل منفرد، و نه انبوه، مورد بازرسی قرارگیرند بازرسی بهینه در هر ایستگاه دارای سطح ۱۰۰ درصد و یا صفر خواهد بود. چرا که نقش بازرسی تشخیص موارد معیوب است و مسؤولیتی در قبال مشکلات کیفیت ندارد. در نتیجه بازرسی بر مبنای نمونه‌گیری نمی‌تواند قابل قبول باشد. این نتیجه بعدا توسط وایت [5] و بریتنی [6] تأییدشد.

وایت در مقاله مستقلی دو مدل برای یک سیستم تولید متوالی ارائه نمود که در آنها، پس از هر ایستگاه تولیدی، می‌تواند یک ایستگاه بازرسی بدون خطا وجود داشته باشد. مسأله به شکل یافتن کوتاه‌ترین مسیر در یک شبکه مستقیم مدل شده‌است [7]. در هر ایستگاه، تراز بازرسی ۱۰۰ یا صفر است. تفاوت دو مدل در محدودیتی است که بر تعداد ایستگاه‌های بازرسی اعمال گشته‌است. فرض شده که قطعات معیوب هر مرحله قابل یا غیرقابل تعمیر هستند. هزینه‌ها شامل یک بخش ثابت، یک بخش متغیر برای هر قطعه، هزینه‌ی قابل انتظار عملیات به هدررفته روی قطعات مردود، هزینه دورریزی و جریمه ناشی ازعبور قطعات معیوبی است که در ایستگاه بازرسی شناسایی نشده‌اند.

جمع بندی جامعی از تحقیقات انجام شده در این زمینه توسط راز ارائه شده‌است [3]. وی نشان داد که در مدل‌های مختلفی که برای بازرسی ارائه‌شده همه جنبه‌های پیچیده مساله منظور نگردیده‌است. به علاوه ساختار چند مرحله‌ای مسأله، انگیزه استفاده مکرر از روش برنامه‌ریزی پویا برای حل آن بوده‌است. با این حال، برنامه ریزی پویا مستلزم آن است که خروجی یک مرحله تنها به تصمیم‌گیری در همان مرحله و خروجی ناشی از تصمیم‌گیری در مرحله بلافاصله قبل یا بعد از آن بستگی داشته باشد. به علاوه، در این روش فرض می‌شود که وابستگی بین دو مرحله را می‌توان کاملاً در یک بردار حالت نشان داد. در نتیجه، حل مدلی که در آن هزینه و نرخ خطای فرآوری و بازرسی ثابت نبوده، یا به کل مسیری که محصول طی می‌کند بستگی داشته باشد، به این روش مشکل خواهدبود.

کار مجدد به عنوان یکی از سیاست‌های اساسی در ایستگاههای بازرسی بر روی قطعه نامنطبق می‌تواند باعث بازگشت قطعه به خط تولیدشود. از این رو در مدل ارائه شده توسط یام و مک‌دوئل قطعه نامنطبق می‌تواند تعمیر شده، یا برای کار مجدد به مرحله‌ای از خط تولید بازگردد و یا به ضایعات تبدیل‌شود [8]. برگشت قطعه برای کار مجدد باعث غیرخطی شدن مساله می‌شود. اگر از کار مجدّد صرف‌نظر گردد قضیه ارائه‌شده در این مقاله نشان می‌دهد که حل بهینه در یک نقطه حدی واقع می‌شود به گونه‌ای که مسأله حداقل دارای یک جواب ۰-۱ است. برای حل مساله از روش برنامه‌ریزی صحیح مختلط ۰-۱ استفاده شده‌است. در مدل دوسانبی و یان [9] تنها تعداد معدودی ایستگاه بازرسی قابل دسترسی است و نرخ تولید توسط نرخ بازرسی کنترل می‌شود. این مدل بر مبنای هزینه بازرسی برای پیداکردن نسبتی از قطعات که در یک ایستگاه باید بازرسی شوند با استفاده از روش برنامه‌ریزی پویا حل شده‌است.

در مدل راز و بریکر تصمیم‌گیری در باره رد یا قبول قطعات تولید-شده لازم است بر اساس حدود مشخص روی احتمال وجود قطعات سالم در میان قطعات رد شده و یا معیوب در میان پذیرفته شده انجام پذیرد [10]. در این مدل میزان این حدود به عنوان قیودی برای مسأله بهینه‌سازی درنظرگرفته می‌شود بدون آنکه هزینه‌ی خطا در چند ایستگاه متوالی بازرسی غیر کامل در تابع هدف منظورگردد. استفاده از روش شاخه و کرانه مانع آن است که تصمیم‌گیری در هر ایستگاه بتواند از ایستگاه‌های پسینی تاثیر-بپذیرد. با ساختاری مشابه، در مقاله دیگری راز و کاسپی امکان وجود یک ایستگاه تعمیر برای اصلاح قطعات معیوب و بازگرداندن آنها به خط را بررسی‌کردند. در این الگو قطعات معیوب هیچگاه برای کار مجدد به مراحل پیشینی ارجاع نمی‌شوند [11].

راز و همکاران به حل مسأله تعیین سیاست بهینه بازرسی، با هدف مشخص‌کردن اینکه چه محصولاتی در چه بخشی از تولید باید بازرسی‌شوند، پرداخته‌اند [12]. در این تحقیق، ماشین آلات تولیدی به صورت اتفاقی موجب عدم انطباق محصولات می‌شوند و محموله-های تولیدی از لحاظ مقدار در محدودیت قرار دارند.

روزنکرانز و همکاران به بررسی مسأله مکان‌یابی ایستگاه‌های بازرسی در حالت شبکه‌ای پرداخته‌اند. کاهش هزینه‌های بازرسی و جریمه-های ناشی از عدم وجود بازرسی در تابع هدف مورد توجه قرار گرفته-است [13]. یان‌هانگ‌چو [14] مدلی مشابه با مدل یام و مک‌دوئل [8] برای سیستم‌های تولید چندمرحله‌ای ارائه کرده‌است. در این مطالعه از روش‌های ابتکاری برای حل مدل استفاده شده است.

امونز و رابین اویتز از مسأله مکان‌یابی ایستگاه‌های بازرسی و تخصیص فعالیت‌های بازرسی در سیستم‌های تولیدی چندمرحله‌ای به عنوان یکی از مهمترین مسایلی که در حوزه‌ی سیستم‌های بازرسی مطرح می‌شود نام برده‌اند [15]. آنها با روشی ابتکاری سعی کرده‌اند با نزدیک‌شدن به نقطه‌ی سربه‌سر میان هزینه‌های ناشی از وجود فعالیت‌های بازرسی در یک نقطه از خط تولید و هزینه‌های ناشی از عدم انطباق قطعات به دلیل نبود بازرسی مکان مناسب استقرار فعالیت‌های بازرسی را پیدا کنند.

Archive of SID

www.SID.ir

مدل یام و مک‌دوئل مبنای بسیاری از مطالعاتی است که برای جایابی بهینه‌ی ایستگاه‌های بازرسی صورت گرفته‌است. در تحقیق حاضر تغییراتی در این مدل صورت‌گرفته که آن را به واقعیت نزدیک‌تر کند از جمله قطعات ورودی به اولین ایستگاه تولیدی پس از هر ایستگاه بازرسی سالم فرض‌می‌شوند چرا که تنها قطعاتی از یک ایستگاه بازرسی عبور نمی‌کنند که دارای مشخصات نامنطبقی باشند که در فاصله دو ایستگاه ایجاد شده‌اند. علاوه بر این، در این مقاله قطعاتی که نیاز به کار مجدد دارند نه به ایستگاه تولیدی پیشین بلکه به اولین مرحله تولیدی پس از آخرین بازرسی پیشین برمی‌گردند. در اینجا هر ایستگاه نه فقط به ایستگاه‌های پیشین، که به ایستگاه‌های پس از خود نیز می‌تواند وابسته باشد چرا که برخی قطعات برای کار مجدد از مراحل پسینی به یک ایستگاه بازمی-گردند. همچنین در ساخت مدل، بر اساس یافته‌های لیندزی و بیشاپ [4]، وایت [5] و یام و مک‌دوئل [8] تنها به یافتن جواب بهینه‌ای پرداخته‌شده که در آن در یک ایستگاه بازرسی همگی یا هیچکدام از قطعات بازرسی می‌شوند. بنابراین تنها می‌توان انتظار جواب‌های صفر و یا صد در صد بازرسی را برای هر ایستگاه تولیدی داشت. با توجه به غیرخطی بودن مدل، به جای روش‌های برنامه-ریزی پویا، شاخه و کرانه، و یا برنامه‌ریزی صحیح از الگوریتم ژنتیک برای حل مسأله استفاده شده است. در مثال‌های ارائه‌شده کارآیی الگو و روش حل در مقایسه با الگوی مبنا نشان داده شده، نتایج حاصل با مدل یام و مک‌دوئل مقایسه شده‌است.

۲. علایم به کاررفته در مدل

w_{j1} متوسط نرخ قطعات منطبق وارد شده به ایستگاه تولیدی j ام

w_{j2} متوسط نرخ قطعات نامنطبق وارد شده به ایستگاه تولیدی j ام

ε_j احتمال تبدیل یک قطعه منطبق به یک قطعه نامنطبق به علت ایجاد یک خرابی در ایستگاه تولیدی j ام

v_{j1} نرخ ورود قطعات منطبق به ایستگاه بازرسی j ام

v_{j2} نرخ ورود قطعات نامنطبق به ایستگاه بازرسی j ام

d_j متغیر تصمیم گیری؛ درصدی از قطعات ورودی به یک ایستگاه بازرسی که در آن ایستگاه بازرسی می شوند.

u_{j1} متوسط نرخ رد قطعات سالم در ایستگاه بازرسی j ام

u_{j2} متوسط نرخ رد قطعات معیوب در ایستگاه بازرسی j ام

α_j احتمال رد قطعه سالم در ایستگاه بازرسی j ام

β_j احتمال پذیرش قطعه معیوب در ایستگاه بازرسی j ام

R_{j1} هزینه تعمیر قطعات سالم رد شده

R_{j2} هزینه تعمیر قطعات معیوب رد شده

R_{j3} هزینه های اضافی بازگشت هر قطعه برای انجام کار مجدد

S_j هزینه دور ریز قطعات در ایستگاه بازرسی j ام

f_{j1} کسری از قطعات رد شده که نیاز به تعمیر دارند.

f_{j2} کسری از قطعات رد شده که نیاز به کار مجدد دارند.

f_{j3} کسری از قطعات رد شده که به ضایعات تبدیل می شوند.

I_j هزینه بازرسی هر قطعه در مرحله j ام

P_j هزینه فرآیند هر قطعه در مرحله j ام

R درآمد حاصل از فروش هر واحد محصول

C جریمه حاصل از تحویل قطعه معیوب به مشتری

tdr نرخ معیوب خروجی از خط تولید

۳. مدل بازرسی

در سیستم‌های تولید متوالی محصول یا خروجی هر مرحله، به استثناء آخرین مرحله، خوراک یا ورودی مرحله بعدی، به استثناء اولین مرحله، می‌باشد. یک سیستم تولید متوالی چند مرحله‌ای شامل مجموعه‌ای از مراحل تولیدی است که قطعات در واحدهای مجزا در خط تولید حرکت می‌کنند.

بعد از هر ایستگاه تولیدی می‌تواند یک ایستگاه بازرسی و یا یک ایستگاه تولیدی دیگر وجود داشته‌باشد. یک قطعه در هر مرحله از خط متوالی می‌تواند بسته به انطباق با مشخصات لازم در آن مرحله، منطبق و یا نامنطبق باشد. معمولا" احتمال وجود یک قطعه نامنطبق در هر مرحله معلوم فرض می‌شود. در هر مرحله از بازرسی نیز احتمال ردکردن قطعات سالم (خطای نوع یک) و پذیرش قطعات معیوب (خطای نوع دو) نیز معلوم فرض می‌شود. قطعاتی که در یک ایستگاه بازرسی رد می‌شوند می‌توانند به ضایعات تبدیل‌شده و یا برای عملیات تعمیر، تعویض یا کار مجدد ارسال‌گردند. ضایعات می توانند به دورریز تبدیل‌شده یا به فروش برسند که در هر حال از خط تولید خارج می‌شوند. در عملیات تعمیر و تعویض، با انجام اصلاحاتی روی قطعه، عیب ایجادشده بر طرف گشته، قطعه، با تحمیل هزینه اضافی، به مرحله تولیدی بعد ارسال می‌شود. در مدل اولیه‌ای که برای بازرسی در سیستم تولید متوالی ارائه‌شده (شکل ۱)، قطعاتی که نیاز به کار مجدد دارند به عملیات قبل از بازرسی وارد می‌شوند و پس از انجام دوباره فرآیند وارد ایستگاه بازرسی می-گردند. در حالی‌که در مدل اصلاح‌شده قطعاتی که نیاز به دوباره-کاری دارند به اولین ایستگاه عملیاتی بعد از آخرین بازرسی وارد می‌شوند (شکل ۲).

مجموع قطعات سالم و معیوب با نرخ $w_{j1}+w_{j2}$ از مرحله $j-1$ ام وارد مرحله j ام می‌شوند. در بدبینانه‌ترین حالت، تمام قطعاتی که در اثر انجام فرآیند j ام معیوب می‌شوند از قطعات سالم واردشده به

Archive of SID

www.SID.ir

این ایستگاه می‌باشند نه از قطعاتی که در مراحل قبلی معیوب شده‌اند.

در صورتی که مراحل تولیدی بین دو ایستگاه بازرسی را یک بلوک بازرسی بنامیم، در مدل ارائه‌شده در این مقاله هر ایستگاه بازرسی فقط مشخصه‌های تولیدشده در بلوک قبلی‌اش را بازرسی می‌کند. در مقایسه، هر ایستگاه می‌تواند به بازرسی تمام مشخصات محصول تا این مرحله بپردازد [8]. ازاین‌رو در مدل حاضر مجموع قطعاتی که وارد ایستگاه بازرسی می‌شوند، $v_{j1}+v_{j2}$، شامل قطعات واقعاً منطبق، w_{j1}، و قطعات نامنطبقی که در بازرسی قبلی سالم تلقی‌شده‌اند، $d_{j-1}w_{j2}$، در نظرگرفته می‌شوند:

$$v_{j1} = (1-\varepsilon_j)[w_{j1} + d_{j-1}w_{j2}] \qquad (۱)$$

$$\begin{aligned} v_{j2} &= w_{j1} + w_{j2} - v_{j1} \\ &= \varepsilon_j w_{j1} + [1-d_{j-1}(1-\varepsilon_j)]w_{j2} \end{aligned} \qquad (۲)$$

اگر $d_{j-1} = 0$، یعنی در ایستگاه $j-1$ بازرسی انجام نشده‌باشد در این صورت:

$$v_{j1} = (1-\varepsilon_j)w_{j1} \qquad (۳)$$

$$v_{j2} = \varepsilon_j w_{j1} + w_{j2} \qquad (۴)$$

نرخ قطعاتی که درایستگاه j ام بازرسی می‌شوند $(w_{j1}+w_{j2})d_j$ می‌باشد. از این تعداد، برخی از قطعات منطبق به اشتباه رد می‌شوند که متوسط تعداد این قطعات برابر است با:

$$u_{j1} = \alpha_j v_{j1} d_j \qquad (۵)$$

تعداد قطعات نامنطبقی که در این ایستگاه شناسایی می‌شوند عبارت است از:

$$u_{j2} = (1-\beta_j)v_{j2}d_j \qquad (۶)$$

بنابراین مجموع قطعات مردود درایستگاه j ام برابر است با:

$$u_j = u_{j1} + u_{j2} \qquad (۷)$$

از مجموع قطعات ردشده، تعداد $f_{j1}\times u_j$ پس از آن که تعمیر و یا تعویض شدند، مشروط بر آنکه عملیات تعمیر یا تعویض بدون خطا انجام گرفته‌باشد، در مرحله بعدی به جریان قطعات منطبقی که به ایستگاه $j+1$ ام می‌رود افزوده می گردند. همچنین تعداد $f_{j3}\times u_j$ قطعه نیز به عنوان ضایعات در این ایستگاه از خط خارج می‌شود. تعداد $f_{j2}\times u_j$ قطعه برای انجام کار مجدد به اولین ایستگاه عملیاتی بعد از آخرین ایستگاه بازرسی ماقبل افزوده می‌شوند. در اینجا فرض می‌شود احتمال نامنطبق‌شدن قطعات در فرآیند کار مجدد با این احتمال برای قطعات در فرآیند اولیه برابر است. بنابراین نرخ ورود قطعات منطبق به ایستگاه $j+1$ ام برابر است با:

$$w_{j+1,1} = v_{j1} - u_{j1} + f_{j1}u_j + d_j\Big(\sum_{m=j+1}^{n} f_{m,2}.u_m.x_{m,j}\Big) \qquad (۸)$$

$$x_{m,j} = \begin{cases} 1 & for \quad d_m = d_j = 1, \\ & m, j = \min|m-j| \\ 0 & otherwise \end{cases} \qquad (۹)$$

که در آن m اولین ایستگاه عملیاتی پس از آخرین ایستگاه بازرسی است و j اولین ایستگاهی است که در آن بازرسی انجام می‌شود.

نرخ قطعات معیوبی که در ایستگاه بازرسی j ام شناسایی نمی‌شوند و وارد ایستگاه عملیاتی $j+1$ ام می‌گردند برابر است با:

$$w_{j+1,2} = v_{j2} - u_{j2} \qquad (۱۰)$$

بنا به فرض، قطعات معیوبی که در یک ایستگاه بازرسی شناسایی نمی‌شوند در دنباله جزء قطعات سالم درنظر گرفته می‌شوند. چون عیوب ایجادشده در یک بلوک تنها در ایستگاه بازرسی متعاقب آن بازرسی می‌شوند قطعاتی که در ایستگاه مورد نظر به اشتباه به عنوان سالم پذیرفته می‌شوند تنها درصورتی ممکن است به عنوان نامنطبق شناخته‌شوند که در یکی از ایستگاه‌های تولیدی بعدی در آنها عیبی ایجاد شود و در ایستگاه‌های بازرسی متناظر شناسایی شوند و یا در ادامه خط، به اشتباه، در یکی از ایستگاه‌های بازرسی به عنوان نامنطبق رد شوند. بنابراین اگر $d_j = 1$، احتمال آنکه قطعاتی که قبل از ایستگاه بازرسی j ام نامنطبق شده‌اند و در ایستگاه بازرسی مربوطه شناسایی نشده‌اند، همچنان در ادامه خط تولید در بین قطعات سالم باقی بمانند برابر است با:

$$\prod_{k=j+1}^{n}(1-\varepsilon_k) * \prod_{k=j+1}^{n}(1-\alpha_k.d_k) \qquad (۱۱)$$

تعداد قطعات معیوبی که در آخرین مرحله در میان قطعات سالم فقط دارای عیوبی هستند که در فاصله بین دو ایستگاه بازرسی j ام وایستگاه بازرسی قبل از آن به وجود آمده‌اند را می‌توان از رابطه زیر به‌دست آورد:

$$w_{j+1,2} * \prod_{k=j+1}^{n}(1-\varepsilon_k) * \prod_{k=j+1}^{n}(1-\alpha_k.d_k) \qquad (۱۲)$$

بنابراین، نرخ معیوب خروجی از کل خط برابر است با نرخ معیوب خروجی از آخرین بلوک بازرسی به‌اضافه‌ی مجموع نرخ قطعات معیوبی که پس از هر ایستگاه بازرسی با قطعات سالم خروجی از آن ایستگاه مخلوط شده‌اند و تا آخرین مرحله از قطعات سالم جدا نشده‌اند:

$$tdr = w_{n+1,2} + \sum_{j=1}^{n}[d_j(w_{j+1,2} * \prod_{k=j+1}^{n}(1-\varepsilon_k) * \prod_{k=j+1}^{n}(1-\alpha_k d_k))] \qquad (۱۳)$$

قابل ذکر آنکه P_0 و ε_0 به ترتیب هزینه‌ی ماده خام و احتمال وجود ماده خام نامنطبق قبل از ورود به خط تولید است. سایر پارامترها در

Archive of SID
www.SID.ir

این مرحله صفر می‌باشند. بنابراین می توان $w_{0,2}$ را بدون هیچ کاستی برابر صفر فرض کرد. در نتیجه نرخ ورود قطعات به خط تولید $w_{0,1}$ می باشد. همچنین d_0 و d_{n+1} برابر صفر فرض می‌شوند. با نوشتن معادلات (۸-۱۰) برای هر ایستگاه عملیاتی، محدودیت‌های مسأله تعریف می‌شوند. برای تعیین بهترین وضعیت ایستگاه‌های بازرسی ضمن آنکه این قیود برقرار می‌شوند لازم است تابع هزینه کمترین مقدار را داشته‌باشد. این تابع علاوه بر هزینه تولید و بازرسی برای هر مرحله، شامل هزینه‌های کار مجدد، تعویض و تعمیر، جریمه و همچنین هزینه دورریز یا در آمد حاصل از فروش ضایعات بازرسی می‌باشد.

هزینه (درآمد) حاصل از فروش w_{n+1} قطعه سالم و tdr قطعه معیوب (هزینه شکست خارجی) برابر است با:

$$TC(1) = -R \times w_{n+1,1} + (C-R) \times tdr \qquad (۱۴)$$

مجموع هزینه‌های تعمیر و تعویض در همه ایستگاه‌های بازرسی برابر است با:

$$TC(2) = \sum_{j=1}^{n} f_{j1} R_{j1} u_{j1} + \sum_{j=1}^{n} f_{j1} R_{j2} u_{j2} \qquad (۱۵)$$

مشابه آنچه در بالا گفته شد هزینه‌های کار مجدد و ضایعات به ترتیب برابرند با:

$$TC(3) = \sum_{j=1}^{n} f_{j2} R_{j3} u_{j1} + \sum_{j=1}^{n} f_{j2} R_{j3} u_{j2} \qquad (۱۶)$$

$$TC(4) = \sum_{j=1}^{n} f_{j3} S_{j} u_{j1} + \sum_{j=1}^{n} f_{j3} S_{J} u_{j2} \qquad (۱۷)$$

به این ترتیب، هزینه شکست داخلی از جمع معادلات (۱۵) و (۱۶) و (۱۷) به دست می‌آید.

هزینه بازرسی در کل خط برابر است با:

$$TC(5) = \sum_{j=1}^{n} I_j d_{j(} w_{j1} + w_{j2}) \qquad (۱۸)$$

که در آن $d_j(w_{j1} + w_{j2})$ تعداد قطعه‌ی بازرسی‌شده در ایستگاه بازرسی j ام است.

با داشتن هزینه‌ی فرآوری، می‌توان از جمع هزینه‌های شکست خارجی، شکست داخلی، بازرسی و فرآوری تابع هزینه را به‌دست آورد:

$$TC = TC(1) + TC(2) + TC(3) + TC(4) + TC(5) + TC(6) \qquad (۱۹)$$

که در آن هزینه‌ی فرآوری، $TC(6)$، برابر است با:

$$TC(6) = \sum_{j=1}^{n} P_j (w_{j1} + w_{j2}) \qquad (۲۰)$$

آخرین محدودیتی که لازم است به مدل اضافه نمود روی اولین نرخ ورود، w_{01}، یا آخرین نرخ خروج، $w_{n+1,1} + w_{n+1,2}$، است:

$$w_{01} = 1 \quad or \quad w_{n+1,1} + w_{n+1,2} \le 1 \qquad (۲۱)$$

به این ترتیب، مدل جایابی بهینه‌ی ایستگاه‌های بازرسی در یک خط تولید متوالی با متغیرهای تصمیم‌گیری $d_j, \quad j = 1,..,n$ ، به شکل زیر داده می‌شود:

کمینه کنید

TC

را تحت محدودیت های

$$w_{j+1,1} = v_{j1} - u_{j1} + f_{j1} u_j + d_j \left(\sum_{m=j+1}^{n} f_{m,2} . u_m . x_{m,j} \right), \quad j = 1,...,n$$

$$w_{j+1,2} = v_{j2} - u_{j2}, \quad j = 1,..,n$$

$$w_{n+1,1} + w_{n+1,2} = 1 \quad or \quad w_{01} = 1$$

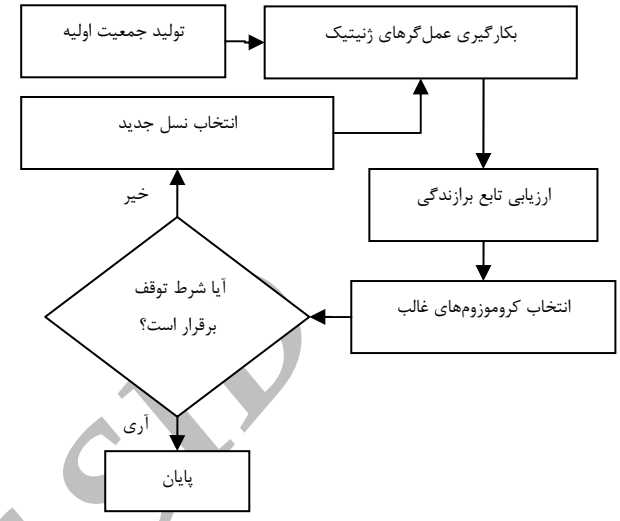
۴. روش حل با رویکرد الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنیتیک یک تکنیک بهترسازی برای توابع تعریف‌شده روی دامنه‌ی محدود می‌باشد که برای اولین بار توسط جان هالند در سال ۱۹۷۵ تحت عنوان تطابق در سیستم‌های طبیعی و مصنوعی مطرح و به دلیل الگوبرداری از مراحل تکامل طبیعی به روش ژنیتیک موسوم شد. امروزه این رویکرد یکی از مناسب‌ترین رویکردهای ابتکاری در حل مسایل غیرخطی به حساب می‌آید. از آنجا که مسأله جایابی ایستگاه‌های بازرسی شدیداً غیرخطی است، استفاده از روش‌های ابتکاری برای حل مدل از اعتبار قابل توجهی برخوردار می‌باشد [14, 15, 16, 17].

استفاده از الگوریتم ژنتیک نه تنها باعث کاهش زمان حل در مسائل با ابعاد بزرگ می‌شود بلکه این امکان را به‌وجود می‌آورد که هرگونه تغییر و محدویتی را بتوان به راحتی در مدل اعمال کرد. ساختار الگوریتم ژنتیک که در این مقاله از آن استفاده شده، در شکل ۳ نشان‌داده شده‌است. در الگوریتم به‌کار گرفته‌شده برای حل مدل، هر کروموزوم بیانگر خط تولید می‌باشد که در آن یک ژن نماینده یک ایستگاه تولیدی است. از آنجا که هدف تعیین "بودن" و یا "نبودن" ایستگاه بازرسی پس از یک ایستگاه تولیدی است هر ژن می‌تواند مقدار صفر (نبود ایستگاه) یا یک (بودن ایستگاه) را اتخاذ کند. به عنوان مثال رشته ۱۰۰۰۱۱۰۱۰۰ بیانگر وجود ایستگاه بازرسی پس از ایستگاههای تولیدی اول، پنجم، ششم و هشتم در یک خط تولید سریالی ده ایستگاهی می‌باشد. تابعی که به عنوان معیار برازندگی کروموزوم‌ها درنظرگرفته شده همان تابع هدفی است که در معادله ۱۹ به آن اشاره‌شده است. برای پوشش‌دادن فضای جواب از عملگرهای تقاطعی و جهشی برای تولید هر نسل از نسل قبلی استفاده شده است. در عملگر تقاطعی دو کروموزوم به صورت اتفاقی از جمعیت به عنوان والدین انتخاب شده، از یک نقطه به صورت

Archive of SID
www.SID.ir

تصادفی شکسته می‌شوند و فرزندان از ترکیب قسمتی از یک والد و قسمت نامتناظری از والد دیگر به‌وجود می‌آیند، شکل ۴. به این ترتیب، هر یک از کروموزوم‌ها ارزیابی و بهترین آن‌ها در هر تکرار انتخاب و برای ایجاد نسل بعدی به‌کارگرفته می‌شود.



شکل ۳. الگوریتم ژنتیک به‌کار گرفته‌شده

والد اول	1	0	0	0	1	1	0	1	0	0
والد دوم	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1
فرزند اول	1	0	0	0	1	1	0	1	0	0
فرزند دوم	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1

شکل ۴. عملگر تقاطع

برای جلوگیری از یکسان‌شدن جمعیت از عملگر جهش استفاده می‌شود. در اینجا یک کروموزوم انتخاب شده، به صورت تصادفی یکی از ژن‌های آن تغییر می‌کند.

والد	1	0	0	0	1	1	0	1	0	0
فرزند	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0

شکل ۵. عملگر جهش

تعداد تکرارهای این الگوریتم با آزمایش‌های متفاوت طوری تعیین می‌شود که نسل‌های بعدی نتوانند کاهش بیشتری در تابع هزینه ایجادکنند. به دیگر سخن، تعداد نسل‌هایی که هر بار مورد ارزیابی قرار می‌گیرند چنان خواهدبود که طی چند نسل متوالی تابع هزینه مقدار ثابتی داشته‌باشد.

۵. مثال‌ها

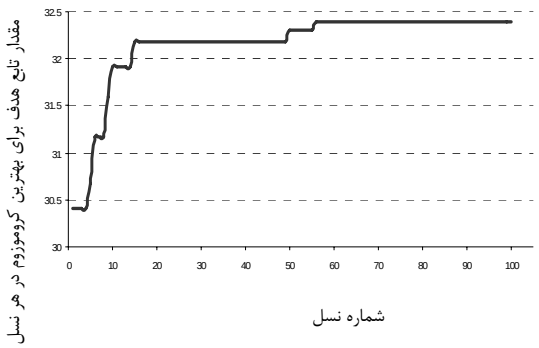
۱. ۵. داده‌ی اتخاذشده در این مساله در جدول ۱ آمده است [۸]. دراولین بازرسی ۲۰٪ از قطعات رد شده تحت عملیات تعمیر قرار-گرفته، ۳۰٪ دوباره‌کاری شده، و ۵۰٪ به ضایعات تبدیل می‌شوند. در دومین ایستگاه بازرسی تمام قطعات رد شده، به ضایعات تبدیل می‌شوند. و در سومین ایستگاه ۵۰٪ از قطعات رد شده به ضایعات تبدیل‌شده، ۵۰٪ تحت عملیات دوباره‌کاری قرار می‌گیرند. در آمد حاصل از هر قطعه سالم ۱۰۰ واحد پول وجریمه حاصل از هر قطعه نامنطبق که از خط تولید خارج می‌شود ۱۵۰ واحد پول درنظر گرفته شده‌است. وقتی که محدودیتی روی ورود مواد اولیه به خط اعمال‌کنیم ($w_{01}=1$) جواب بهینه مطابق آنچه در جدول ۲ آمده، خواهدشد. نتایج حاصل از مدل حاضر در این جدول با نتایج یام مقایسه شده‌است. این مقایسه نشان می‌دهد که روش حاضر به نقاط بازرسی مشابهی می‌انجامد که این می‌تواند به اطمینان از صحت الگوریتم به‌کاررفته کمک‌نماید. بر اساس جواب بهینه‌ی مدل حاضر، بازده فرآیند، که نشانگر ضایعات آشکارشده‌ی خط تولید است و می‌تواند به شکل $\left(\left(w_{4,1}+w_{4,2}\right)/w_{0,1}\right)$ تعریف‌شود، از مقدار ۸۸/۹۵ که در الگوی اولیه به‌دست آمده به ۸۸/۷۷ تغییر می یابد. در عوض مقدار سود حاصل با بیش از ۱۰ درصد افزایش به ۵۳/۶ واحد پول در برابر تولید یک واحد کالا در واحد زمان تغییر می‌یابد. این بهبود عمدتاً ناشی از کاهش هزینه‌های بازرسی مجدد روی قطعاتی است که یک بار در طول خط بازرسی شده‌اند. مقایسه جواب‌ها همچنین نشان می‌دهد افزایش تعداد قطعات نامنطبق در پایان خط در مدل جدید در برابرکاهش قابل توجه هزینه‌ها ناچیز است.

۲. ۵. مثال زیر توانایی الگوریتم وروش حل ارائه‌شده را در حل مسائل با ابعاد بزرگ نشان‌می‌دهد. اطلاعات اولیه مدل برای یک خط تولید با ۱۰ ایستگاه کاری در جدول ۳ نشان‌داده شده‌است.

جدول شماره ۴ می‌تواند برای مقایسه میان جواب‌های بهینه در دو حالت استفاده‌شود (وقتی که درآمدحاصل از خروج قطعه سالم ۱۰۰ و جریمه قطعه ناسالم ۱۵۰ واحد پول فرض شود).

در نمودار ۱ همگرایی جستجو در فضای جواب به سمت جواب بهتر بعد از ۱۰۰ تکرار با کاربرد بیش از ۲۰۰۰ عملگر ژنی برای مثال ۲ نشان‌داده شده‌است.

نمودار ۱. همگرایی آلگوریتم ژنتیک به سمت جواب بهینه



Archive of SID
www.SID.ir

۶. نتایج

الگوی ارائه شده در این مقاله، در مقایسه با الگوهای پیشین که برای تعیین محل بهینه ایستگاه‌های بازرسی در یک خط تولید متوالی پیشنهاد شده‌بودند، با آنچه در عمل صورت می پذیرد هم-خوانی بیشتری دارد، چرا که در هر ایستگاه بازرسی تنها به بازرسی مشخصاتی می‌پردازد که پس از آخرین ایستگاه بازرسی پیشین ایجاد شده‌اند. افزون بر این، استفاده از الگوریتم ژنتیک می‌تواند . شرایط غیر خطی حاصل برای تطبیق با شرایط فیزیکی پیچیده‌تر را تسهیل نماید. الگوریتم ارائه‌شده برای استفاده در مسایل هرچند بزرگ به راحتی قابل تعمیم است. این الگو امکانات وسیعی در هر مرحله از خط برای آگاهی از وضعیت خط تولید و تعیین هزینه‌های ناشی از تولید در اختیار مدیریت تولید قرار می‌دهد.

جدول ۱. داده مثال اول

۳	۲	۱	۰	مرحله کاری
۱	۱	۱		هزینه بازرسی
۵	۲۰	۱۰		هزینه فرآیند
۰	۰	۵		هزینه‌ی تعمیر قطعات منطبق
۰	۰	۲۰		هزینه‌ی تعمیر قطعات نامنطبق
۳	۰	۲		هزینه‌ی دوباره‌کاری
۴۰	-۲	۰		هزینه‌ی ضایعات
۰	۰	۰/۲		درصد تعمیرات
۰/۵	۰	۰/۳		درصد دوباره‌کاری
۰/۵	۱	۰/۵		درصد ضایعات
۰/۰۱	۰/۰۵	۰/۰۲		خطای آلفا
۰/۰۱	۰/۱	۰/۰۱		خطای بتا
۰	۰/۱	۰/۰۵	۰/۰۵	احتمال تولید قطعه‌ی معیوب

جدول ۲. مقایسه بین جواب بهینه در مدل اولیه (یام ۱۹۸۷) ومدل اصلاح‌شده

	مدل اولیه			مدل حاضر		
مرحله	**تصمیم**	w_{j1}	w_{j2}	**تصمیم**	w_{j1}	w_{j2}
۰		۱/۰۰۰۰			۱/۰۰۰۰	
۱	**بازرسی شود**	۰/۹۸۵۱	۰/۰۵۰۰	**بازرسی شود**	۰/۹۸۵۱	۰/۰۵۰۰
۲		۰/۹۴۰۶	۰/۰۰۱۰		۰/۹۹۴۱	۰/۰۰۱۰
۳	**بازرسی شود**	۰/۸۹۷۶	۰/۰۹۴۲	**بازرسی شود**	۰/۸۹۵۷	۰/۰۹۹۵
آخر		۰/۸۸۸۶	۰/۰۰۰۹		۰/۸۸۶۸	۰/۰۰۱۰
مقدار تابع هدف	۴۸/۲۲۴۷			۵۳/۶۰۰۰		
بازده(٪)	۸۸/۹۵۰۰			۸۸/۷۷۶۷		
درصد معیوب	۰/۱۰۱۲			۰/۲۸۷۵		

جدول ۳. داده‌ی مثال ۲

۱۰	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۰	مرحله کاری
۰	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۲	**۰/۱**	۰/۱	۰/۱		هزینه بازرسی
۵	۵	۱۰	۱۰	۱۰	۵	۵	۳	۳	۰		هزینه فرایند
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	**۰**	۰	۰		هزینه تعمیر قطعات منطبق
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰		هزینه تعمیر قطعات نا منطبق
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰		هزینه دوباره کاری
۰	-۱۵	-۱۵	-۱۲	-۱۰	-۸	-۵	-۵	-۱	-۱		هزینه ضایعات
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰		در صد تعمیرات

Archive of SID

www.SID.ir

ادامه جدول از صفحه قبل											
در صد دوباره کاری		۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
در صد ضایعات		۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
خطای آلفا		۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۳	۰
خطای بتا		۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰

جدول۴. مقایسه بین جواب بهینه در مدل اولیه و مدل اصلاح‌شده

	مدل اولیه			مدل حاضر		
مرحله	تصمیم	w_{j1}	w_{j2}	تصمیم	w_{j1}	w_{j2}
۱		۱/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰		۱/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰
۲		۱/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰		۱/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰
۳		۰/۹۹۵۰	۰/۰۰۵۰		۰/۹۹۵۰	۰/۰۰۵۰
۴		۰/۹۷۵۱	۰/۰۲۴۹		۰/۹۷۵۱	۰/۰۲۴۹
۵		۰/۹۵۵۶	۰/۰۰۱۷	بازرسی شود	۰/۹۷۵۱	۰/۰۲۴۹
۶	بازرسی شود	۰/۹۳۶۵	۰/۰۲۰۹		۰/۹۳۶۵	۰/۰۰۳۱
۷		۰/۹۰۷۷	۰/۰۰۲۲		۰/۹۲۹۳	۰/۰۱۰۳
۸		۰/۸۸۸۶	۰/۰۲۱۲		۰/۹۰۹۷	۰/۰۲۹۸
۹		۰/۸۷۸۸	۰/۰۳۱۰		۰/۸۹۹۷	۰/۰۳۹۹
۱۰	بازرسی شود	۰/۸۳۸۸	۰/۰۰۴۵	بازرسی شود	۰/۸۸۵۳	۰/۰۵۴۳
آخر		۰/۸۳۷۱	۰/۰۰۶۲		۰/۸۸۳۶	۰/۰۰۰۰
مقدار تابع هدف		۳۱/۳			۳۲/۴	
بازده(٪)		۳۳۲۹/۸۴			۳۵۷۱/۸۸	

مراجع

[1] Kim J. & Gershwin S.B., 2003, "*Quality and Quantity Modeling of a Production Line*", Massachusetts Institute of Technology, Workingpaper,https://dspace.mit.edu/bitstream/1721.1/3918/2/IMST022.pdf

[2] Wooddall W.H. and Montgomery D.C, "*Research issues and ideas in statistical process control*", Journal of Quality Technology, Vol. 31, No. 4, 1999, pp. 376-386.

[3] Raz T., "*A survey of models for allocating inspection effort in multistage production systems*", Journal of Quality Technology, 18 (4), 1986, pp. 239-247.

[4] Lindsay G.F., & Bishop A.B., "*Allocation of screening inspection effort: a dynamic programming approach*", Management Science, 10, 1965, pp. 342-352.

[5] White L.S., "*The analysis of a single class of multistage inspection plans*", Management Science, 12, 1966, pp. 685-693.

[6] Britney R. R., "*Optimal screening plans for non-serial production systems*", Management science, 18, 1972, pp. 550-559.

[7] White L.S., "*Shortest route models for the allocation of inspection effort on a production line*", Management Science, 15, 1969, pp. 249-259.

[8] Yum B.J., & Mcdowell E.D., "*Optimal inspection policies in a serial production system including scrap rework and repair: an MILP approach*", International Journal of Production Research, 25 (10), 1987, pp.1451-1464.

[9] Bai D.S. & Yun H.J., "*Optimal allocation of inspection effort in a serial multi-stage production system*", Computers & Industrial Engineering, 30(3), 1996, pp. 387-396.

Archive of SID

www.SID.ir

[10] Raz T. & Bricker D., "*Sequencing of imperfect inspection operations subject to constraints on the quality of accepted and rejected units*", International Journal of Production Research, 25(6), 1987, pp. 809-821.

[11] Raz T. and Kaspi M., "*Location and sequencing of imperfect inspection operations in serial multi-stage production systems*", International Journal of Production Research, 29(8), 1991, pp.1645-1659.

[12] Raz T., Herer Y.T. & GROSFELD-NIR A., "*Economic optimization of off-line inspection*", IIE Transactions, 32 (3), 2000, pp. 205-217.

[13] Rosenkrantz D.J., Giri K.T., & Ravi S.S., "*Algorithms for Path-Based Placement of Inspection Stations on Networks*", INFORMS Journal on Computing, Volume 12, Issue 2, 2000, pp. 136 –149.

[14] Yung-Hung Chu, "*A Study of Inspection Stations Allocation Problem of Production Systems*", Master Thesis, Chung Yuan Christian University, 2001.

[15] Emmons H. & Rabinowitz G., "*Inspection allocation for multistage deteriorating production systems*", IIE Transactions, Vol. 34, No. 12, 2002, pp. 1031-1041(11).

[16] LEE J. and Unnikrishnan S., "*Planning quality inspection operations in multistage manufacturing systems with inspection errors*", International Journal of Production Research, Volume 36, Number 1, 1998, pp. 141 – 156.

[17] Saxena S., Chang C.M., Chow H.B., Lee J., "*Evaluation of heuristics for inspection station allocation in serial production systems*", Proceedings of the 22nd conference on Winter simulation, New Orleans, Louisiana, United States, 1990, pp. 919 – 922.

Archive of SID

www.SID.ir