



صلى الله عليه وسلم



دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده صنایع و مرکز برنامه‌ریزی سیستم‌ها

شاخص‌های قابلیت فرآیند چندمتغیره با ثبات در حضور خطای ابزار  
اندازه‌گیری و بررسی تاثیر خطای اندازه‌گیری بر مقادیر این شاخص‌ها

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی صنایع

مسعود یوسف زاده

استاد راهنما

دکتر علی زینل همدانی



دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده صنایع و مرکز برنامه‌ریزی سیستم‌ها

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی صنایع

آقای مسعود یوسف زاده

تحت عنوان

شاخص‌های قابلیت فرآیند چندمتغیره با ثبات در حضور خطای ابزار اندازه‌گیری  
و بررسی تاثیر خطای اندازه‌گیری بر مقادیر این شاخص‌ها

در تاریخ / / ۱۳۹۲ توسط کمیته‌ی تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

دکتر علی زینل همدانی

۱- استاد راهنمای پایان نامه

دکتر غلامعی رئیسی اردلی

۲- استاد داور

دکتر ناصر ملاوردی

۳- استاد داور

دکتر مهدی بیجاری

۴- سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده

## شکر و سپاس:

از پدر و مادر عزیزم که در تمام مراحل زندگی یاور و پشتیبان من بوده‌اند، کمال شکر و قدردانی را دارم. همچنین از برادران بزرگوارم به خاطر حمایت‌های بی‌دریغشان شکر می‌کنم.

از جناب آقای دکتر همدانی استاد عزیزم که اندیشیدن را به من آموختند و با صبر و حوصله مراد انجام این پایان‌نامه یاری دادند و با لطف علمی و اخلاقی خود، تحصیل در مقطع کارشناسی ارشد را برایم آسان نمودند، مراتب سپاس و شکر را دارم و توفیق و سلامتی ایشان را از خداوند منان خواستارم.

بر خود لازم می‌دانم تا از دوستان خوبم که طی این مرحله جز با حضور پر نشاط و فعال این عزیزان میسر نبود سپاسگزاری کنم.

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات،  
ابتکارات و نوآوری‌های ناشی از تحقیق موضوع  
این پایان نامه متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است.

تقدیم به:

به همه خوانندگان به ویژه دستاران علم کیفیت

## فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فهرست مطالب	هشت
چکیده	۱
<b>فصل اول: کلیات و روش تحقیق</b>	
۱-۱- مقدمه	۳
۲-۱- هدف تحقیق	۴
۳-۱- فرضهای تحقیق	۴
۴-۱- روش تحقیق	۴
۵-۱- ساختار ادامه تحقیق	۵
<b>فصل دوم: مروری بر ادبیات موضوع</b>	
۱-۲- مقدمه	۶
۲-۲- تاریخچه	۷
۳-۲- کنترل کیفیت یک متغیره	۸
۴-۲- کارایی فرآیند یک متغیره	۸
۱-۴-۲- تحت کنترل بودن و کارا بودن یک فرآیند	۸
۲-۴-۲- کارایی بالفعل و کارایی بالقوه	۱۱
۳-۴-۲- انحراف استاندارد کوتاه مدت و بلند مدت	۱۲
۴-۴-۲- نیاز به استفاده از شاخصهای مختلف کارایی فرآیند	۱۳
۵-۴-۲- مقادیر پیشنهادی برای نسبت کارایی فرآیند	۱۵
۶-۴-۲- مطالعه کارایی فرآیند	۱۶
۷-۴-۲- معرفی شاخصهای توانایی فرآیند یک متغیره	۱۹
۵-۲- کنترل کیفیت چند متغیره	۲۴
۶-۲- شاخصهای کارایی فرآیند چند متغیره با متغیرهای مستقل	۲۵



- ۲-۶-۱- معرفی علائم به کار رفته در شاخصهای کارایی فرآیند چند متغیره ..... ۲۶
- ۲-۶-۲- انواع شاخصهای کارایی فرآیند چند متغیره ..... ۲۷
- ۲-۷- مثال کاربردی ..... ۳۸

### فصل سوم: خطای اندازه گیری

- ۳-۱- مقدمه ..... ۴۲
- ۳-۲- تحلیل سیستم اندازه گیری ..... ۴۳
- ۳-۳- کارایی فرآیند یک متغیره با در نظر گرفتن کارایی ابزار اندازه گیری ..... ۴۴
- ۳-۳-۱- محاسبه شاخص  $C_p$  با در نظر گرفتن کارایی ابزار اندازه گیری ..... ۴۵
- ۳-۳-۲- محاسبه شاخص  $C_{pk}$  با در نظر گرفتن کارایی ابزار اندازه گیری ..... ۴۶
- ۳-۳-۳- محاسبه شاخص  $C_{pm}$  و  $C_{pmk}$  با در نظر گرفتن کارایی ابزار اندازه گیری ..... ۴۶
- ۳-۴- تاثیر خطای ابزار اندازه گیری بر مقادیر شاخصهای توانائی فرآیند چند متغیره ..... ۴۷
- ۳-۴-۱- شاخص  $MC_p^Y$  شیشه بری و همدانی در حضور کارایی ابزار اندازه گیری ..... ۴۷
- ۳-۴-۲- شاخص  $MC_p^Y$  اسکالیارینی در حضور کارایی ابزار اندازه گیری ..... ۴۸

### فصل چهارم: تاثیر خطای ابزار بر مقادیر شاخصها

- ۴-۱- مقدمه ..... ۵۰
- ۴-۲- بررسی تاثیر خطای ابزار با استفاده از مثالهای شبیه سازی شده ..... ۵۲

### فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادات

- ۵-۱- نتیجه گیری ..... ۶۷
- ۵-۲- پیشنهادات ..... ۶۸

## چکیده:

از جمله مباحث مهم کیفیتی که امروزه مورد توجه خاصی قرار گرفته است، مبحث تحلیل کارایی فرآیند می‌باشد. اصولاً در هر برنامه بهبود کیفیتی که در صنایع تولیدی و یا خدماتی انجام می‌شود، مطالعه کارایی فرآیند از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. شاخص‌های توانایی فرآیند با هدف اندازه‌گیری کارایی فرآیندها بر طبق مشخصه‌های استاندارد، از مهمترین ابزارهای هستند که در مطالعات کارایی فرآیند از آن‌ها استفاده می‌شود. این شاخص‌ها معیاری جهت ارزیابی دقت، صحت و عملکرد فرآیندهای تولیدی می‌باشند. طی دهه‌های گذشته تحقیقات وسیعی در ارتباط با شاخص‌های توانایی فرآیند یک متغیره انجام شده است؛ اما شاخص‌های توانایی فرآیند چند متغیره در این بین تا حدود کمتری مورد توجه قرار گرفته‌اند. شاخص‌های توانایی فرآیند چند متغیره به منظور ارزیابی وضعیت فرآیندهای تولیدی با دو و یا بیشتر از دو مشخصه کیفی همبسته نظیر وزن، طول و عرض، مورد استفاده قرار می‌گیرند. امروزه با گسترش سیستم‌های اتوماتیک کنترل محصول، امکان دسترسی به حجم بالاتری از داده‌های کمی و کیفی فراهم شده است و لذا این گونه شاخص‌ها در صنعت کاربرد وسیع‌تری یافته‌اند. موضوع دیگری که در این میان باید مورد توجه قرار گیرد، کارایی ابزار اندازه‌گیری مورد استفاده به منظور تعیین و اندازه‌گیری مشخصه‌های فرآیند مورد بررسی می‌باشد؛ چراکه صحت مقادیر اندازه‌گیری شده مشخصه‌ها تا اندازه زیادی به دقت ابزار اندازه‌گیری مورد استفاده بستگی دارد که خود تاثیر گذار در برآورد شاخص توانایی فرآیند می‌باشد. با توجه به نقش و اهمیتی که مقادیر این شاخص‌ها در انتخاب تامین کنندگان و تعیین روش‌های ارزیابی محصولات ایفا می‌کنند؛ در صورتی که در محاسبات کارایی فرآیند، خطای ابزار اندازه‌گیری در نظر گرفته نشود، منجر به انحراف قابل توجهی در تعیین و یا تخمین کارایی فرآیند شده و این موضوع می‌تواند منجر به خسارت قابل توجهی به تولیدکنندگان شود. از طرف دیگر تولیدکنندگان نمی‌توانند کارا بودن فرآیند تولیدی خود را به مشتریان ثابت کنند که این موضوع نیز کاهش سوددهی سازمان را به همراه خواهد داشت. مطالعات متعددی در زمینه بررسی تاثیر خطای اندازه‌گیری بر روی شاخص‌های توانایی فرآیند یک متغیره انجام شده است؛ اما این مطالعات در حوزه شاخص‌های توانایی فرآیند چند متغیره، تنها به تعداد اندکی در سالیان اخیر محدود می‌شود. لذا تلاش می‌شود که با ارائه شاخص‌های توانایی فرآیند چند متغیره در حضور خطای ابزار اندازه‌گیری، کارایی فرآیندهای تولیدی به طور دقیق‌تری مورد بررسی قرار گرفته و تخمین بهتر و واقعی‌تری از کارایی این فرآیندها به دست آید.

شاخص‌های توانایی فرآیند چند متغیره بر خلاف شاخص‌های توانایی فرآیند یک متغیره، منحصر به فرد نیستند و بر اساس تعاریف مختلفی محاسبه می‌شوند. لذا در به کارگیری این نوع شاخص‌ها در مطالعات کارایی فرآیند یک نوع سردرگمی در انتخاب مناسب‌ترین شاخص وجود دارد. در این تحقیق شش شاخص توانایی فرآیند چند متغیره با تعاریف متفاوت مورد بررسی قرار گرفتند که ضمن ارائه رویکردی به منظور نحوه بررسی تاثیر خطای اندازه‌گیری بر مقادیر هر یک از این شاخص‌ها، حساسیت این شاخص‌ها نیز به کارایی ابزار اندازه‌گیری مورد تحلیل قرار گرفته است. در ادامه شاخص‌های  $MXC_p$  و  $ECp_k$  که کمترین حساسیت را نسبت به خطای ابزار اندازه‌گیری از خود نشان دادند، به عنوان باثبات ترین شاخص‌ها در حضور خطای ابزار اندازه‌گیری معرفی شدند.

کلمات کلیدی: ۱- تحلیل کارایی فرآیند ۲- شاخص‌های توانایی فرآیند چند متغیره ۳- خطای ابزار اندازه‌گیری

## فصل اول کلیات و روش تحقیق

### ۱-۱- مقدمه

با گذشت زمان نقش و اهمیت مباحث حوزه کیفیت در صنایع تولیدی و خدماتی پررنگ تر می شود، به طوری که امروزه نقش کیفیت در رشد و توسعه اقتصادی سازمان ها بسیار بیشتر از سالیان گذشته شده است. همین امر سبب گردیده تا مفاهیم و مباحث حوزه کیفیت مورد توجه خاص پژوهشگران، مدیران، تولیدکنندگان، مشتریان و ... قرار گیرد. یکی از محورهای اساسی در کنترل کیفیت آماری، تحلیل کارایی فرآیند<sup>۱</sup> می باشد که طی این سال ها به میزان قابل توجهی به آن پرداخته شده است. اگر کنترل کیفیت آماری را به سه حوزه اساسی ۱- کنترل آماری فرآیند<sup>۲</sup> - ۲- طراحی آزمایشات<sup>۳</sup> - ۳- نمونه گیری برای پذیرش<sup>۴</sup> دسته بندی کنیم، آن گاه کنترل آماری فرآیند با استفاده از دو

ابزار نمودارهای کنترلی و تحلیل توانائی فرآیند انجام می شود. به عبارتی استفاده از نمودارهای کنترلی و کسب اطمینان از اینکه فرآیند تحت کنترل آماری قرار دارد، پیش نیازی برای تحلیل توانائی فرآیند محسوب می شود. یکی از معمول ترین و مشهورترین روش های تحلیل کارایی فرآیند که از اوایل دهه هشتاد قرن بیستم به منظور تعیین شایستگی فرآیند<sup>۳</sup> گسترش یافت، استفاده از شاخص های توانائی فرآیند است.

تغییر پذیری در اندازه های کیفیت و یا هر مشخصه ای دیگر در یک فرآیند از دو منبع فرآیند تولید و فرآیند اندازه

---

<sup>1</sup>Process Capability Analysis

<sup>2</sup>Statistical Process Control (SPC)

<sup>3</sup> Design Of Experiments (DOE)

<sup>4</sup>Acceptance Sampling

گیری حاصل می‌شود. لذا باید توجه داشت که توانائی ابزار اندازه‌گیری نیز تاثیر بسزایی در تخمین دقیق و

درست کارایی فرآیند دارد. تحلیل کارائی فرآیند بدون توجه به توانائی ابزار اغلب منجر به تصمیمات نامطلوب می‌شود و با توجه به نقش و اهمیت این شاخص‌ها در انتخاب تامین کنندگان و تعیین روش‌های ارزیابی محصولات [۱]، در در صورتیکه این مسئله در تخمین توانائی فرآیند مورد توجه قرار نگیرد، می‌تواند منجر به خسارات جدی به تولیدکنندگان شود.

از سوی دیگر امروزه اکثر فرآیندها بیش از یک مشخصه کیفی را دارا می‌باشند و به دلیل همبستگی بسیاری از این مشخصه‌ها به یکدیگر، نیاز به استفاده از روش‌های چند متغیره در مطالعات کارایی فرآیند بیش از پیش احساس می‌گردد. از همین رو شاخص‌های بررسی توانائی فرآیند چند متغیره مطرح شدند. این شاخص‌ها به منظور اندازه‌گیری کارایی فرآیندهایی با چندین مشخصه کیفی همبسته مورد استفاده قرار می‌گیرند.

با توجه به مباحثی که مطرح شد می‌توان نتیجه گرفت که با ارائه شاخص‌های توانائی فرآیند چند متغیره با در نظر گرفتن کارایی ابزار، می‌توان کارایی فرآیندهای تولیدی را به طور دقیق‌تری بررسی نموده و تخمین بهتر و واقعی‌تری از کارائی فرآیندهای مذکور داشت. تخمین‌های دقیق و واقعی منجر به تصمیم‌گیری‌های درست توسط تولیدکنندگان در انتخاب تامین کنندگان و تعیین روش‌های ارزیابی محصولات خواهد شد و به این ترتیب کیفیت محصولات تولیدی به اندازه قابل توجهی افزایش خواهد یافت.

## ۱-۲- هدف تحقیق

همانطور که در فصول آتی این تحقیق نیز مطرح خواهد شد، تاکنون مطالعات زیادی در زمینه بررسی تاثیر کارایی ابزار اندازه‌گیری بر مقادیر شاخص‌های توانائی فرآیند یک متغیره انجام شده است. اما در زمینه شاخص‌های توانائی فرآیند چند متغیره در حضور کارایی ابزار و بررسی تاثیر خطاهای اندازه‌گیری بر مقادیر این شاخص‌ها مطالعات بسیار اندکی از جمله مطالعات شیشه‌بری و همدانی [۲-۵] به عنوان اولین مطالعات در این حوزه و همچنین تحقیقات اسکالیارینی [۶، ۷] انجام شده است؛ این در حالی است که طی سالیان اخیر با استفاده از سیستم‌های اتوماتیک بازرسی محصول، امکان دسترسی به حجم بیشتری از داده‌های کمی و کیفی در رابطه با یک فرآیند وجود داشته و به دلیل همبستگی بسیاری از این داده‌ها به یکدیگر، نیاز به استفاده از روش‌های چند متغیره در مطالعات کارایی فرآیند احساس می‌گردد. همچنین باید توجه داشت که توانائی ابزار اندازه‌گیری نیز تاثیر بسزایی در تخمین درست و دقیق کارایی فرآیند دارد. با توجه به نقش و اهمیت مقادیر این شاخص‌ها در انتخاب تامین کنندگان و تعیین روش‌های ارزیابی محصولات، تحلیل کارائی فرآیند بدون توجه به توانائی ابزار، اغلب منجر به تصمیمات نامطلوب می‌شود و در صورتی که این مسئله در تخمین شاخص توانائی فرآیند مورد توجه قرار نگیرد، می‌تواند منجر به خسارات جدی به تولیدکنندگان شود.

با توجه به این نکته که خطای اندازه‌گیری اجتناب‌ناپذیر است، بایستی با در نظر گرفتن تاثیر این خطاها در مطالعات کارایی فرآیند چند متغیره، میزان خطای تخمین کارایی فرآیند را تا حد امکان کاهش داد. لذا در این پایان‌نامه هدف

آن است که با ارائه انواع شاخص‌های توانائی فرآیند چند متغیره و بررسی تاثیر خطای اندازه‌گیری بر مقادیر هریک از این شاخص‌ها، مقاوم‌ترین شاخص را در حضور خطای اندازه‌گیری، معرفی کرده و روابطی را برای تخمین هرچه دقیق‌تر این شاخص ارائه دهیم. در نتیجه کارایی فرآیندهای تولیدی به طور دقیق‌تری مورد بررسی قرار گرفته و تخمین بهتر و واقعی‌تری از توانائی فرآیندهای مذکور به دست می‌آید.

### ۱-۳- فرض‌های تحقیق

در تحقیق حاضر، فرض‌های زیر در نظر گرفته می‌شود:

الف) مشخصه‌های فرآیند مورد بررسی دارای توزیع تقریبی نرمال هستند.

ب) فرآیند تحت کنترل آماری قرار دارد.

پ) مشخصه مورد مطالعه در حالت یک متغیره ( $X$ ) دارای توزیع نرمال به صورت  $X \sim N(\mu, \sigma^2)$  باشد

ت) خطای ابزار اندازه‌گیری نیز مطرح بوده و خطاهای حاصل از اندازه‌گیری ( $M$ ) نیز دارای توزیع نرمال به صورت  $M \sim N(0, \sigma_{Me}^2)$  است.

ث) کیفیت متغیر مشاهده شده ( $Y$ ) از کیفیت متغیرهای مقدار واقعی ( $X$ ) و خطای اندازه‌گیری ( $M$ ) مستقل می‌باشد و در نتیجه توزیع تصادفی مشاهده شده پس از اندازه‌گیری ( $Y$ ) که از جمع دو متغیر  $X$  و  $M$  حاصل می‌شود نیز نرمال بوده و به صورت  $Y \sim N(\mu_Y = \mu, \sigma_Y^2 = \sigma_X^2 + \sigma_{Me}^2)$  خواهد بود.

ج) خصوصیت کیفیتی فرآیند تولیدی مورد مطالعه در حالت چند متغیره دارای توزیع نرمال چند متغیره به صورت  $X \sim N(\mu, \Sigma)$  بوده و خطای ابزار اندازه‌گیری نیز دارای توزیع نرمال چند متغیره به صورت  $M \sim N(0, \Sigma_{Me})$  است.

چ) ابزارهای اندازه‌گیری برای مشخصه‌های کیفی مختلف از هم مستقل بوده و کارایی معلوم دارند.

ح) مشخصه‌های کیفی فرآیند مورد مطالعه دارای واحد اندازه‌گیری یکسان هستند.

### ۱-۴- روش تحقیق

در این تحقیق، ابتدا شاخص‌های توانائی فرآیند در حالت یک متغیره، بدون در نظر گرفتن کارایی ابزار اندازه‌گیری معرفی شده و سپس به معرفی انواع شاخص‌های توانائی فرآیند چند متغیره خواهیم پرداخت. پس از ارائه توضیحاتی در مورد خطای اندازه‌گیری و کارایی ابزار اندازه‌گیری، شاخص‌های توانائی فرآیند یک متغیره را در حضور کارایی ابزار اندازه‌گیری مورد بررسی مجدد قرار خواهیم داد. سپس با در نظر گرفتن توانائی ابزار اندازه‌گیری در محاسبه انواع شاخص‌های توانائی فرآیند چند متغیره و انجام تحلیل حساسیت، تاثیر خطای اندازه‌گیری بر مقادیر هریک از این شاخص‌ها بررسی شده و مقاوم‌ترین و با ثبات‌ترین شاخص از میان شاخص‌های مذکور شناسایی و معرفی می‌شود. نهایتاً روابطی برای تخمین هرچه بهتر و دقیق‌تر شاخص مقاوم، ارائه خواهد شد.

## ۱-۵- ساختار ادامه تحقیق

ساختار کلی این پایان نامه بدین صورت است که در فصل دوم پس از مرور مختصری بر تاریخچه کیفیت و بیان ضرورت توجه به این مقوله، تحلیل کارایی فرآیند و جایگاهش در کنترل کیفیت آماری معرفی شده و تفاوت آن با کنترل آماری فرآیند به طور دقیق تشریح می‌گردد. پس از آن شاخص‌های توانائی فرآیند یک متغیره بدون در نظر گرفتن کارایی ابزار معرفی شده و در ادامه انواع شاخص‌های توانائی فرآیند چند متغیره که با تعاریف و روش‌های مختلف محاسبه شده‌اند، معرفی شده و یک مثال کاربردی نیز برای بیان شفاف نحوه محاسبه هریک از این شاخص‌ها آورده خواهد شد.

فصل سوم به مبحث کارایی ابزار اندازه‌گیری و لزوم توجه به آن در مطالعات کارایی فرآیند می‌پردازد. پس از معرفی شاخص‌های توانائی فرآیند یک متغیره در حضور کارایی ابزار اندازه‌گیری، مطالعاتی که در زمینه بررسی تاثیر خطای ابزار بر مقادیر شاخص‌های توانائی فرآیند چند متغیره انجام شده است، مورد بررسی قرار می‌گیرد. ضرورت انجام تحقیق حاضر، تفاوت آن با سایر مطالعات در این زمینه و محاسبه انواع شاخص‌های توانائی فرآیند چند متغیره در حضور خطای اندازه‌گیری در فصل چهارم آورده شده است. بررسی حساسیت هریک از این شاخص‌ها به خطای ابزار با استفاده از مثال‌های کاربردی در ادامه همین فصل آمده است. فصل پنجم به نتیجه‌گیری و پیشنهادات پایان نامه اختصاص یافته است.

## فصل دوم مروری بر ادبیات موضوع

در این فصل پس از مروری مختصر بر تاریخچه کیفیت و بیان ضرورت توجه به آن در صنایع تولیدی، تحلیل کارایی فرآیند و جایگاه آن در حوزه کنترل کیفیت آماری مورد بحث قرار می‌گیرد. در ادامه به معرفی شاخص‌های توانائی فرآیند یک متغیره پرداخته می‌شود در پایان به معرفی انواع شاخص‌های توانائی فرآیند چند متغیره پرداخته و با ذکر یک مثال عملی نحوه محاسبه این شاخص‌ها نشان داده می‌شود.

### ۲-۱- مقدمه

طی ادوار مختلف، کیفیت محصول در کلیه فرآیندهای تولیدی و صنعتی یکی از مهمترین دغدغه‌های صنعتگران بوده است. امروزه با تنگتر شدن عرصه رقابت برای سازمان‌های تولیدی، مفهوم کیفیت نیز دستخوش تغییرات اساسی شده و لزوم توجه به مباحث کیفیت بیش از پیش مورد توجه مدیران و تولیدکنندگان قرار گرفته است. همین امر سبب شده تا اکثر سازمان‌های تولیدی به فکر بهبود مستمر کیفیت محصولات و فرآیندهای خود و در نتیجه آن افزایش رضایت مشتریان و دسترسی به سهم بیشتری از بازار باشند. در این میان تحلیل کارایی فرآیند بدون شک جزء

جدایی‌ناپذیر هر برنامه بهبود کیفیتی خواهد بود و یکی از موضوعات اساسی می‌باشد که طی این سال‌ها بدان پرداخته شده است. مطالعات زیادی در رابطه با بحث کارایی فرآیند یک متغیره طی سالیان اخیر انجام شده است، لیکن در این میان کمتر به مفاهیم چند متغیره پرداخته شده است. این در حالی است که در طی سالیان اخیر با استفاده از سیستم‌های اتوماتیک کنترل محصول، امکان دسترسی به حجم بیشتری از داده‌های کمی و کیفی فراهم شده و به دلیل همبستگی بسیاری از این داده‌ها به یکدیگر، نیاز به استفاده از روش‌های چند متغیره در مطالعات کارایی فرآیند احساس می‌شود.

علاوه بر این کارایی ابزار اندازه‌گیری نیز موضوع بسیار مهمی است که نباید در بحث کارایی فرآیند از آن غافل شد. در صورتیکه ابزارهای اندازه‌گیری مورد استفاده از کارایی لازم برخوردار نبوده و دارای خطای زیادی باشند، این مسئله می‌تواند منجر به تخمین نادرست و کمتر برآورد کردن<sup>۵</sup> و یا بیشتر برآورد کردن<sup>۶</sup> کارایی فرآیند تولید گردد [۸]. با توجه به نقش و اهمیت شاخص‌های توانائی فرآیند در انتخاب تامین‌کنندگان و تعیین روش‌های ارزیابی محصولات، در صورتی که تولیدکنندگان محصولات تاثیر خطای ابزار اندازه‌گیری را در محاسبات کارایی فرآیند در نظر نگیرند، این امر می‌تواند منجر به خسارات قابل توجهی برای آن‌ها شود. از طرف دیگر در صورت عدم توجه به بحث کارایی ابزار اندازه‌گیری و خطا در تخمین شاخص‌های مربوط، تولیدکنندگان نمی‌توانند کارا بودن فرآیند تولیدی خود را برای مشتریان (مصرف‌کنندگان) اثبات کنند و در نتیجه تعداد زیادی از محصولات تولیدی آن‌ها رد شده و بازگشت داده می‌شود که این موضوع نیز کاهش سود دهی سازمان را به همراه دارد. بنابراین در نظر گرفتن و اعمال تاثیر کارایی ابزار اندازه‌گیری در تخمین توانائی فرآیند از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده و عدم توجه به آن خسارات جدی را به تولیدکنندگان وارد می‌آورد.

## ۲-۲- تاریخچه

کیفیت همیشه بخش لاینفک محصولات و خدمات بوده است. با این حال آگاهی ما در مورد اهمیت آن و روش‌های رسمی کنترل و بهبود کیفیت به صورت تکاملی انجام گرفته است. کاربرد روش‌های آماری در تولید و تضمین کیفیت از تاریخچه نسبتاً قدیمی برخوردار است. در سال ۱۹۲۴ والتر شوهارت<sup>۷</sup> در آزمایشگاه‌های تلفن بل اساس نمودار کنترل را پایه‌گذاری کرد. به طور کلی این مقطع نقطه آغاز کنترل آماری فرآیند شناخته می‌شود. در زمان جنگ جهانی دوم بحث کنترل کیفیت آماری در صنایع تولیدی مختلف پذیرفته و به کار گرفته شد. در دهه ۱۹۵۰ برای اولین بار در آمریکا از طراحی آزمایش‌ها به منظور بهبود محصول و فرآیند استفاده گردید. در دهه ۱۹۶۰ صنایع دفاعی و هوایی برنامه‌های نقصان صفر<sup>۸</sup> را به طور وسیعی استفاده نمودند [۹].

در اواخر دهه ۱۹۷۰ و اوایل دهه ۱۹۸۰، مدیران آمریکایی سفرهای متعددی را جهت فراگیری روش‌های کیفی مدیران ژاپنی انجام دادند و در همین دوران، آمریکا نیز وارد نهضت کیفیت شد. در سال ۱۹۷۴ پروفیسور جوران اولین شاخص کارایی فرآیند را به عنوان یک شاخص یک متغیره برای مقایسه حدود مشخصه قابل قبول مشتری با انحراف واقعی فرآیند معرفی کرد. در اواخر دهه ۱۹۸۰ استفاده از کنترل کیفیت آماری در صنایع خودروسازی آمریکا به عنوان یک اصل لازم در تدارکات کالا کاربرد یافت [۱۰]. در سال ۱۹۹۱ هر سه شرکت بزرگ آمریکایی فورد، جنرال موتور و کرایسلر به طور فراگیر از شاخص‌های کارایی فرآیند یک متغیره برای سنجش کیفیت محصولات استفاده کردند. همچنین این فرهنگ را نیز در میان تامین‌کنندگان خود رواج داده و جزء خواسته‌های خود مطرح نمودند. این مسئله

<sup>5</sup> Underestimated

<sup>6</sup> Overestimated

<sup>7</sup> Walter A. Shewhart

<sup>8</sup> Zero Defects



منجر به تدوین نظامنامه کنترل فرآیند آماری توسط کمیته<sup>۹</sup> AIAG شد [۱۱]. در طی پیشرفت مفاهیم کیفیت یکی از مسائلی که همواره مورد توجه قرار گرفته است، کنترل کیفیت آماری چند متغیره است، به طوری که مواجه شدن با مسائل واقعی، دلایل رویکرد چند متغیره را توجیه می نمود. رویکرد چند متغیره در کنترل کیفیت نخستین بار توسط هاتلینگ در سال‌های ۱۹۴۷ و ۱۹۵۱ در مطالعه دقت بمباران یک سایت مورد بررسی قرار گرفت. از آن زمان تا به امروز افراد بسیار زیادی چون مونته‌گمری، چان، شهریاری، تام، پیرن و ... در رابطه با کنترل کیفیت آماری چند متغیره و مطالعات کارایی فرآیند در این حالت به مطالعه و تحقیق پرداخته‌اند.

### ۲-۳- کنترل کیفیت یک متغیره

کنترل کیفیت آماری را می توان در سه مقوله کنترل آماری فرآیند، طراحی آزمایشات و نمونه گیری برای پذیرش دسته بندی کرد. از طرف دیگر مبحث کنترل آماری فرآیند خود به دو حوزه نمودارهای کنترلی و تحلیل کارایی فرآیند تقسیم می شود. یکی از پایه های اساسی در طراحی نمودارهای کنترل، فرض نرمال بودن جامعه آماری مشخصه کیفی مورد بررسی می باشد. نمودارهای کنترل بسیاری مانند  $(\bar{X}, R)$ ،  $(\bar{X}, S)$ ،  $C$ ،  $np$  و غیره برای حالت های یک متغیره به کار می روند. توجه به این نکته ضروری است که در کنترل کیفیت آماری از دو طریق می توان فرآیند را تحت کنترل قرار داد. روش اول بر اساس کنترل عوامل موثر بر فرآیند تولیدی مانند فشار، درجه حرارت و غیره می باشد و فرآیند مستقیماً از طریق پایش این عوامل کنترل می گردد. روش دوم مبتنی بر کنترل مشخصه های کیفی محصول تولید شده در هر مقطع از فرآیند می باشد که معمولاً در انتهای کار صورت می گیرد. معمولاً در پروژه های بهبود، پس از استفاده از نمودارهای کنترل و حصول اطمینان از تحت کنترل بودن فرآیند، نوبت به تحلیل کارایی فرآیند و استفاده از شاخص های توانائی فرآیند، می رسد. تعیین کارایی فرآیند و محاسبه شاخص های توانائی فرآیند از موضوعات مهم و اساسی در کنترل کیفیت آماری بوده که در ادامه به صورت مفصل مورد بررسی قرار می گیرد.

### ۲-۴- کارایی فرآیند یک متغیره

#### ۲-۴-۱- تحت کنترل بودن و کارا بودن یک فرآیند

امروزه تکنیک های آماری به صورت گسترده ای در مراحل مختلف تولید یک محصول به کار گرفته می شوند. از جمله مهمترین کاربرد تکنیک های مذکور می توان به کمی نمودن تغییر پذیری فرآیند و تحلیل تغییر پذیری با توجه به نیازها و مشخصات فنی محصول و کمک به ساخت و توسعه آن به گونه ای که این تغییر پذیری حذف یا به میزان نسبتاً زیادی کاهش یابد، اشاره نمود. این فعالیت های کلی را تحلیل کارایی فرآیند می نامند.

تحلیل کارایی فرآیند به عنوان یک مطالعه مهندسی جهت تخمین کارایی فرآیند تعریف می گردد. تخمین کارایی فرآیند ممکن است در قالب یک توزیع احتمال که دارای شکل، مرکز و تغییر پذیری خاصی است، ارائه شود. در این صورت می توان تحلیل کارایی فرآیند را بدون توجه به مشخصات فنی مشخصه کیفی انجام داد. به عبارت دیگر می توان

<sup>۹</sup> Automotive Industry Action Group

کارایی فرآیند را در قالب نسبت اقلام معیوب که خارج از حدود مشخصات فنی قرار می‌گیرند، محاسبه نمود. با این حال نیازی به حدود مشخصات فنی جهت انجام تحلیل کارایی فرآیند نمی‌باشد [۹].

تحلیل کارایی فرآیند یک جزء ضروری در برنامه‌های بهبود کیفیت محسوب می‌شود. از بین کاربردهای مهمی که اطلاعات حاصل از تحلیل کارایی فرآیند دارند، می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱. پیش بینی میزان تطابق فرآیندها با تolerانس‌ها؛
۲. کمک به تولیدکنندگان و طراحان محصول در انتخاب یا اصلاح یک فرآیند؛
۳. کمک به انتخاب فاصله نمونه‌گیری برای اهداف کنترل فرآیند؛
۴. تعیین و مشخص نمودن خواسته‌های عملکرد یک محصول جدید؛
۵. انتخاب بین تامین‌کنندگان بالقوه؛
۶. برنامه‌ریزی توالی فرآیندهای تولید زمانی که فرآیندها اثر متقابل بر تolerانس‌ها دارند؛
۷. کاهش تغییرپذیری در یک فرآیند تولید [۹].

بنابراین تحلیل کارایی فرآیند روشی است که در بسیاری از مراحل تولید یک محصول کاربرد دارد. این مراحل شامل طراحی محصول و فرآیند، انتخاب تامین‌کننده و برنامه‌ریزی ساخت و تولید می‌گردد.

نمودارهای کنترلی و شاخص‌های توانائی فرآیند، دو مورد از مهم‌ترین ابزارهای تحلیل کارایی فرآیند می‌باشند؛ در واقع نمودارهای کنترلی به عنوان پیش‌نیازی برای مطالعات کارایی فرآیند مطرح بوده و کاربرد آن‌ها شامل موارد ذیل می‌باشد:

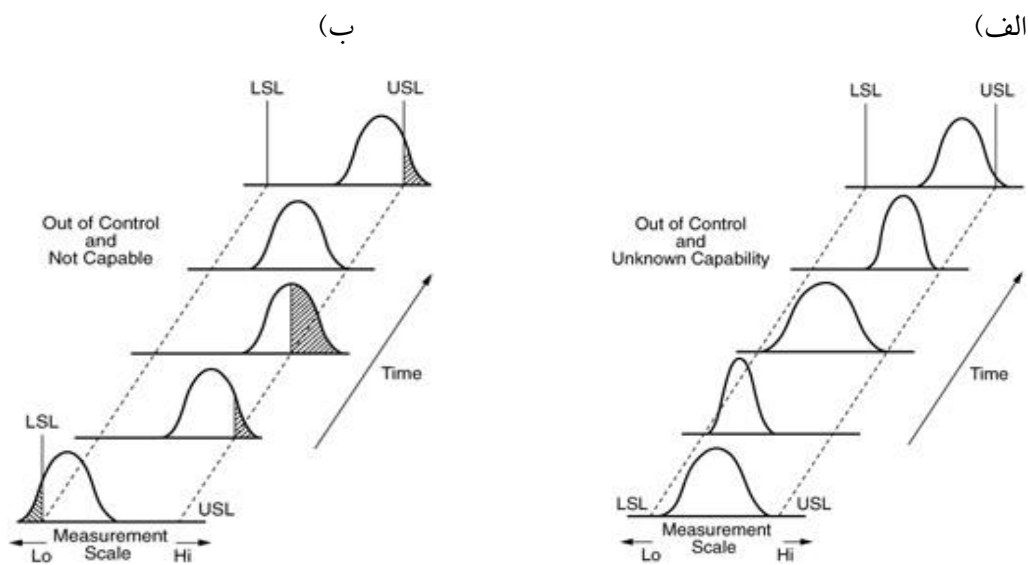
- شناسایی متغیرهای کیفی محصول؛
- انجام اصلاحات در راستای بهبود کیفیت محصول خروجی؛
- تشخیص حالت خارج از کنترل بودن فرآیند؛
- نمایش تغییرات محصول خروجی در طول زمان؛
- تهیه اطلاعات برای تصمیم‌گیری‌های مرتبط با حدود مشخصات فنی.

توجه به این نکته ضروری است که نمودارهای کنترلی با فراهم نمودن اطلاعات مورد نیاز امکان کاهش تغییرات را فراهم می‌آورند. از طرفی شاخص‌های کارایی فرآیند با در نظر گرفتن الزامات تعیین شده از سوی مشتری، استانداردها و داده‌های واقعی اخذ شده از فرآیند، امکان مقایسه آنچه که رخ داده در مقایسه با آنچه که باید باشد را فراهم می‌نماید. لازم به ذکر است که استفاده از شاخص‌های توانائی فرآیند یکی از معمول‌ترین و مشهورترین روش‌های تحلیل کارایی فرآیند است؛ چراکه در اغلب مواقع ترجیح داده می‌شود که کارایی فرآیند به صورت یک کمیت ارائه گردد که این

کمی سازی توسط شاخص های مذکور امکان پذیر می باشد.

به طور خلاصه نمودارهای کنترلی ابزاری جهت شناسایی و از بین بردن علل خاص<sup>۱۰</sup> می باشند در حالی که مطالعه کارایی فرآیند ابزاری جهت کاهش علل عام<sup>۱۱</sup> و تغییرات ذاتی در یک فرآیند است. علل خاص شامل دلایل قابل شناسایی و محدود در فرآیند می باشند و تاثیر زیادی بر محصول خروجی داشته و با حذف آنها فرآیند تحت کنترل قرار خواهد گرفت. علل عام شامل دلایل کوچک و متعددی در فرآیند بوده که نمی توان آنها را از ذات فرآیند جدا نمود. این علل تاثیر ناچیزی بر فرآیند داشته و با حذف آنها کارایی فرآیند تا حدودی افزایش می یابد.

شکل های ۱-۲ و ۲-۲ تفاوت بین کارایی و تحت کنترل بودن فرآیند را نشان می دهند [۱۲].



شکل ۱-۲: الف) فرآیند خارج از کنترل و کارایی نامعلوم ب) فرآیند خارج از کنترل و ناکارا

شکل ۱-۲ بند (الف) یک فرآیند خارج از کنترل و ناکارا را نشان می دهد که توزیع این فرآیند شناخته شده نیست؛ بنابراین فرآیند مذکور قابل کنترل و به دنبال آن کارا نخواهد بود. شکل ۱-۲ بند (ب) یک فرآیند خارج از کنترل و ناکارا را نشان می دهد که خروجی این فرآیند از توزیع نرمال تبعیت می کند، بنابراین می توان با استفاده از روش های کنترل آماری مطرح در مباحث کیفیتی، فرآیند را تحت کنترل در آورد.

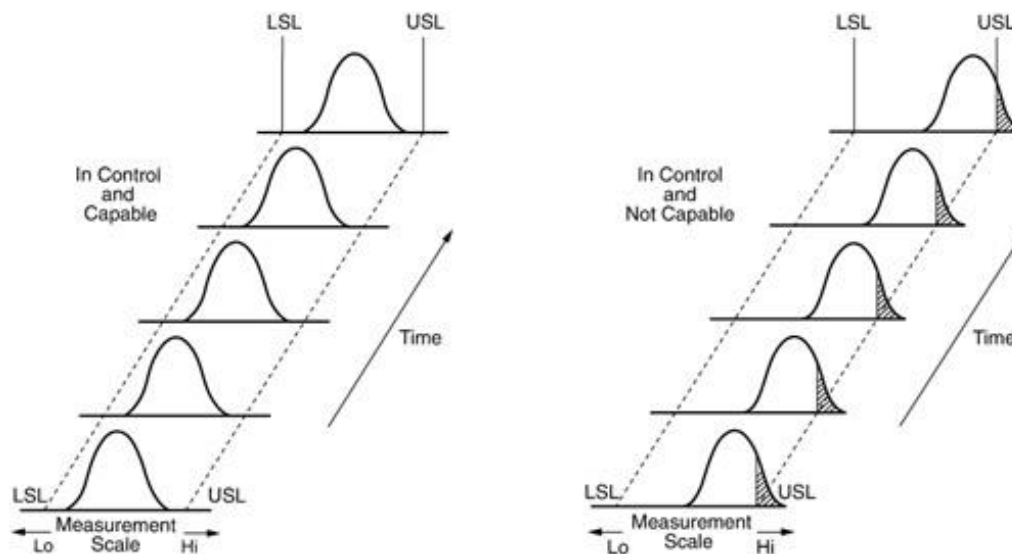
شکل ۲-۲ بندهای (الف) و (ب) فرآیندهای تحت کنترل را نشان می دهد. بند (الف) یک فرآیند تحت کنترل را نشان می دهد که این فرآیند از کارایی لازم برخوردار نبوده و انحراف میانگین منجر به افزایش تولید قطعات معیوب شده است. بند (ب) همان فرآیند بند (الف) را نشان می دهد که در آن میانگین فرآیند تنظیم شده و به این ترتیب قطعات معیوب کمتری تولید شده و کارایی فرآیند افزایش یافته است.

<sup>10</sup>Assignable Causes

<sup>11</sup>Random Causes

(الف)

(ب)



شکل ۲-۲: الف) فرآیند تحت کنترل و ناکارا (ب) فرآیند تحت کنترل و کارا

با توجه به توضیحات فوق، اهمیت مطالعه کارایی فرآیند در کنار تحت کنترل قرار دادن آن، کاملاً مشخص می‌شود.

#### ۲-۴-۲- کارایی بالفعل<sup>۱۲</sup> و کارایی بالقوه<sup>۱۳</sup>

کارایی بالقوه یک فرآیند در حقیقت ناشی از میزان پراکندگی در فرآیند می‌باشد. از طرف دیگر چنانچه پراکندگی و مرکزیت فرآیند به صورت همزمان در نظر گرفته شوند، این وضعیت به عنوان کارایی بالفعل فرآیند شناخته می‌شود. همانگونه که از تعریف فوق مشخص است فرآیند هنگامی دارای کارایی بالقوه می‌باشد که پراکندگی آن در مقایسه با حدود تolerانس مشتری وضعیت مطلوبی داشته باشد، ولی یک فرآیند زمانی دارای کارایی بالفعل است که هم پراکندگی آن شرایط فوق را داشته باشد و هم مرکزیت فرآیند نسبت به مقدار هدف فرآیند اختلاف کمی داشته باشد. تفاوت بین کارایی بالقوه و کارایی بالفعل در شکل ۲-۳ نشان داده شده است.

به صورت کلی تغییر میانگین تأثیری بر کارایی بالقوه نداشته، لیکن تأثیر بسیار زیادی بر روی کارایی بالفعل دارد. در ادامه این تحقیق منظور از کارایی، کارایی بالفعل یک فرآیند می‌باشد.

<sup>12</sup>Performance Capability

<sup>13</sup> Potential Capability