کاهش اسقاط قطعات تولیدی به روش شش سیگما

غلام محمد صنعتی
سازمان صنایع هوافضا- گروه صنایع پدافند هوایی- صنایع شهید باقری- مدیر مهندسی صنایع و بهره وری
Sanati_4990@yahoo.com
غلام رضا نوروزی
سازمان صنایع هوافضا- گروه صنایع پدافند هوایی- صنایع شهید باقری- مدیر برنامه ریزی و کنترل پروژه
[E-mail]

واژه‌های کلیدی
شش سیگما، **(6δ)** صدای مشتری (**VOC**) ، چرخهٔ **DMAIC** ، تغییر (**variation**) ، عیب **(Defect)** ، انحراف معیار ، سطح سیگما، **CTQ** .

چکیده

در طول حیات صنعتی، ابزارها / راهکارهای مختلفی به منظور بهبود وضعیت تولید از نظر کمی و کیفی مورد نظر بوده است. کمیت تولیدات صنعتی در ابتدای روند گسترش صنعت، به عنوان پارامتر اساسی جهت ادامهٔ حیات سازمان‌ها مدنظر بوده است در حالیکه با گذر از زمان، اهمیت کیفیت محصولات برای حفظ بازار فروش به عنوان پارامتر تعیین‌کننده‌ای در سرنوشت سازمان‌ها شناخته شده است. در این راستا، ابزارهای متعددی جهت بهبود این پارامتر اساسی توسط بشر استفاده شده است. در این برهه از زمان که دنیای رقابتی نیاز به برترین‌ها جهت باقی ماندن در شرایط رقابتی دارد، متدولوژی شش سیگما (6δ) به عنوان روشی سیستماتیک جهت به کارگیری منسجم از ابزارهای مختلف کیفی مطرح گردید. در این متدولوژی سعی بر کاهش انحرافات فرایندها می‌باشد که اهداف اساسی در به‌کارگیری آن را می توان در مواردی شامل کاهش تغییرات، کاهش عیوب، بهبود بازدهی، بالا بردن رضایت مشتری و بهبود در مسائل مالی خلاصه نمود. شش سیگما زمانی در صنعت به عنوان یک ابزار قوی و مؤثر کاربرد خواهد داشت که اقدامات اصلاحی و پیشگیرانه کوتاه مدت یا بلند مدت قادر به بهبود فرایند نباشند. در صورت نیاز به شناخت علل اساسی و مزمن ایجاد انحراف ذاتی در فرایند، استفاده از این روش بسیار مفید است.

این مقاله پس از مرور اجمالی بر متدولوژی شش سیگما و ادبیات مربوطه، به تجزیه و تحلیل نتایج حاصله در پروژهٔ عملی تولید قطعات، می‌پردازد و ضمن رعایت فازها و استفادهٔ بجا از ابزارهای ابن متدولوژی نتایج بهبود حاصل شده را تشریح می‌نماید.

مقدمه

در دنیای امروز ، تمرکز روی مشتری، امری ضروری است. البته ما این مطلب را تصدیق می کنیم ، اما آیا براستی به این ایده عمیقا" نگاه میکنیم ؟ آیا واقعا" باور داریم که عامل بالقوه برای پیشرفت تجارت و رسیدن به سطح موفقیتی که ما انتظار رسیدن به آنرا می کشیم ، یک مرکز و کانون دارد؟ پر واضح است که ما نمی توانیم روی مواردی تمرکز کنیم، که آنها را اندازه گیری نمی‌کنیم و اگر اندازه نمیگیریم در نتیجه قادر به بهبود آن نمی باشیم. سعی در بهبود بعضی چیزها وقتیکه ما استاندارد برای اندازه گیری در دست نداریم، مانند بازی کردن در یک مسابقهٔ ورزشی بدون آشنایی با جریان بازی می باشد.

ما باید این حقیقت دیرین را باور کنیم و اجازه دهیم که ، کیفیت محصولاتمان معرف ما باشد. بعبارت دیگر ، کیفیت محصولاتمان می تواند گویای قابلیت واقعی فرآیندهایمان باشد. برای اندازه گیری کیفیت محصول، کیفیت فرآیند را اندازه می گیریم زیرا هر دو وابسته اند.تصدیق عکس این مطلب خیلی مهم است.

با چالشی که درآینده ای نه چندان دور در مقابل تجارت آزاد جهانی پیش رو داریم باید بدانیم که ، بقای ما وابسته به ترقّی تجارت ماست و ترقی تجارت ما توسط مشتری تعیین میگردد وآنچه مشتری بدان اهمیت میدهد ، کیفیت، قیمت وخدمات محصول ماست،واینها عوامل مستقیم اثر گذار بر قابلیت فرآیندوتغییرپذیری آن میباشد وروشن است برای حذف تغییر پذیری باید علم و دانشی صحیح بکار ببریم و یادگیری این علم و دانش وابسته به اشتیاق ما برای بقاء می باشد.

در واقع اگر شما نمی توانید بعضی چیزها را بشکل اعداد بیان کنید ، بعضی چیزها را در مورد آن نمیدانید واگر بعضی چیزهارادر مورد آن ندانید ،نمیتوانیدآنرا کنترل کنید وهمواره باید ممنون شانس باشیدواگر ممنون شانس هستید پس چرا نگران آن میباشید؟ از اینرو ما باید زبان اعداد را یاد بگیریم ،این طرز تفکّر یک فلسفهٔ تجارت ویک روش راهنما برای شرکتها ارائه میکند.ولذا ما تصمیماتمان را روی یک استاندارد همگانی وروش علمی به نام" شش سیگما" متمرکز میکنیم. ما ،خواهیم دید که شش سیگما میتواند در هر زمینه ای برای اندازه گیری کیفیت فرآیند کارمان ، مورد استفاده قرار گیرد. وقتی مشتریان ما را تأیید وکیفیت محصولاتمان را احساس کنند و هنگامی که حصارهای کیفیت با یک بهبود ده یا حتی صد برابری برداشته شود و مدیران مایل به مطالعهٔ کیفیت ، انتقال تجارب پر منفعت ،روشها وتکنولوژیهابه محل کار خودباشند،سازمان ما در تجربه سرآمدی شش سیگما قرارمیگیرد. سازمانها در درازمدت با یک تمرکز نامحدود روی کیفیت جمعی ، می توانندبه یک بهبود حتی صد برابری برسند وباید تعبیر "غیرممکن بودن" را دور بیاندازند. این راهی است برای رضایت جمعی مشتریان وتجارت پیشرفته.

تعاریف برخی از مفاهیم شش سیگما: [۴]

قبل از پرداختن به مفهوم شش سیگما و سایر مطالب، لازم می‌دانیم که برای همزبانی و برداشت مشترک از این مفاهیم و واژه‌ها شرح مختصری را بیان نماییم

صدای مشتری۱ : عبارت صدای مشتری، برای تشریح نیازمندیها و انتظارات مشتری و همچنین برداشت وی از محصول یا خدمت شما مورد استفاده قرار می‌گیرد.

CTQ2 : مشخصه بحرانی کیفیت، نیازمندیهای خروجی فرایند و معیارهای اندازه‌گیری، موارد بحرانی فرایند نامیده می‌شوند و از خواسته‌های مشتری، نقاط ریسک، موارد اقتصادی و قوانین و مقررات حاصل می‌گردد، مانند تحویل به موقع، صحت سفارشات و ...

نقشه کلی فرایند۳: از این نمودار برای مصور ساختن فرایندهای اصلی سازمان استفاده می شود و از مخفف کلمات Supplier, Input , Process , Output و Customer بدست آمده است.

تغییر۴: در طبیعت هیچ دو چیزی شبیه هم نیستند، عدم تشابه دو محصول در یک ویژگی یکسان را تغییر می گویند. دو نوع تغییر وجود دارد:

۱ – تغییر ناشی از علل عام (تغییرذاتی/ پارازیت سفید) ۲ – تغییر ناشی از علل خاص(پارازیت سیاه)

LSL 5: حد پایین مشخصه مشتری

حداقل نیازمندیهای فیزیکی و عملکردی مورد نیاز مشتری

6USL : حد بالای مشخصه مشتری

حداکثر نیازمندیهای فیزیکی و عملکردی مورد نیاز مشتری

---

[1] - Voice Of Customer

[2] - Critical To Quality

[3] - SIPOC

[4] - Variation

[5] - Lower Specification Level

[6] - Upper specification Level

فرصت۱: هر امکانی که برای وقوع خطا وجود داشته باشد فرصت نامیده می شود.

عیب۲ : هر تغییری در مشخصه مورد نیاز محصول (یا قطعات) یا فرایند وجود دارد و آنقدر از مقدار هدف دور است که نیازمندیهای فیزیکی و عملکردی مورد نیاز مشتری را برآورده نسازد، از نظر مشتری یک عیب نامیده می شود.

$$DPU = \frac{\text{تعداد}}{\text{تعداد واحدهای بررسی شده}} \qquad DPMO = \frac{\text{(تعداد عیوب)} * 10^{6}}{\text{تعداد واحدهای چک شده * تعداد انواع فرصتهای خرابی}}$$

انحراف معیار: شاخص آماری جهت پی بردن به انحراف موجود در مجموعه‌ای از داده‌ها، دسته‌ای از اقلام و یا یک فرایند است.

سطح سیگما : برای مقایسه تغییرات فرایند با حدود نیازمندیها استفاده می گردد و به حدود مشخصه، میانگین و انحراف معیار وابسته است.

سطح سیگما برای دو منظور زیر مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۱ ـ بر روی معیارهایی که از دید مشتری سازمان مهم است تمرکز دارد

۲ ـ روش یکسانی جهت مقایسه و اندازه‌گیری فرایندهای متفاوت ارائه می‌دهد.

مفهوم شش سیگما: [1], [3], [4]

در پاسخ به سوال "شش سیگما چیست ؟ "تعابیر مختلفی می‌توان بیان نمود، که برخی می‌تواند به شرح زیر باشد:

۱ ـ مقیاس و معیاری آماری برای نشان دادن کارایی یک فرایند یا محصول

۲ ـ هدفی جهت رسیدن به سطح عالی و کاملی از بهبود

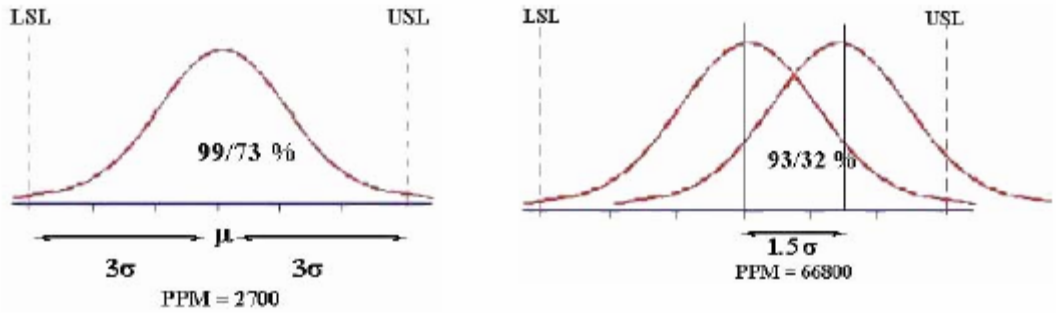
۳ ـ سیستمی مدیریتی جهت رسیدن به جدیدترین شکل رهبری در سازمان و دستیابی به کلاس جهانی

سیگما در فرآیند آماری عبارت است از، انحراف استاندارد از میانگین . شش سیگما متدولوژی جامعی در جهت بهبود و اثربخشی سازمان است که در درون خود از ساختار ، برنامه ها و ابزارهای توانمند مدیریت کیفیت برخوردار است.امروزه شش سیگما بهترین سطح کلاس کیفی است .بطوریکه در چنین سطحی فقط ۳,۴ فرصت برای تولید محصول نامنطبق در یک میلیون فرصت (PPM۳)داریم.هرگاه نرخ سیگما افزایش می یابد ، کیفیت محصول افزایش یافته و هزینه پائین می آید و رضایت مشتریان نیز جلب می شود.

رویکرد شش سیگما کاهش مشخص کلیه خطاهای خدمات می باشد .هدف از اجرای شش سیگما ، کاهش هزینه ، افزایش بازدهی در سازمان و نیز ایجاد رقابت با دیگر سازمان ودر نهایت افزایش سهم بازار می باشد.

در سالهای ۱۹۲۰ سه سیگما بعنوان یک معیار عملی برای تولید عاری از عیب مورد پذیرش قرار گرفت. در نگاه اول فرایندهای مبتنی بر 3σ خوب بنظر می رسند . چرا که در این فرایندها ۰/۲۷ ٪ از قطعات تولیدی خارج از محدوده مشخصه مهندسی قرار می گیرند . بعبارت دیگر تعداد اقلام نامنطبق برابر ۲۷۰۰ در میلیون خواهد بود . (P.P.M = 2700)

اما واقعاً اینگونه نیست چرا که با تغییر میانگین فرایند ، تعداد اقلام نامنطبق بسیار چشم گیر خواهد شد و با وجود این در حال حاضر این معیار برای تولید و رقابت در کلاس جهانی نمی تواند مورد پذیرش قرار گیرد.



میزان تغییرات PPM با انحراف میانگین در 3σ

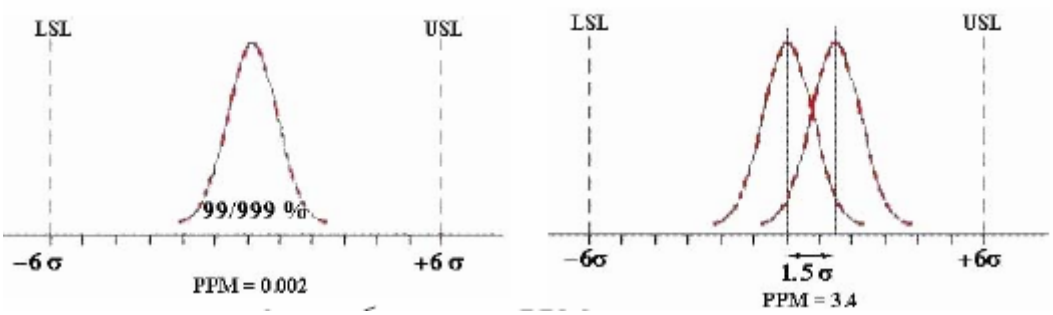
در شرایط رقابتی موجود ، هدف باید طراحی و تولید محصولاتی باشد، که نوسانات موجود در فرایند تولید آن به اندازه ای کوچک باشد که فاصله حدود مشخصه مهندسی بالا و پائین تا میانگین فرایند شش انحراف معیار باشد . در این حالت PPM = 0.002 خواهد گردید . و حتی با تغییرات

[1] - Opportunity

[2] - Defect

[3] - Part Per Million

میـانگین فراینـد و عـدم انطبـاق بـر میـانگین فنـی ـ در صـورت تحـت کنتـرل واقـع بـودن فراینـد ـ حـداکثر اقـلام نـامنطبق بـه PPM = 3.4 خواهد رسید .



میزان تغییرات PPM با انحراف میانگین در 6σ

در پایان باید گفت که فرایند زمانی در حالت شش سیگما است، که تغییرپذیری ذاتی فرایند نصف مشخصه‌های مهندسی آن باشد ویک نکتـه مهم این است که با پهن کردن دامنه مشخصات می توان به راحتی به شش سیگما رسید ولی آیا مشتری این چنین مشخصا تی را قبول دارد؟ ما باید بـه دنبال کم کردن δ باشیم تا تمام داده ها در دامنه مشخصات قرار گیرند.

فرایند انجام شش سیگما: [2], [4], [5]

تشکیل تیم‌های بهبود جزء مشهورترین و فعالترین اجزای پروژه شش سیگما محسوب می‌شود. برای اینکه تیم‌ها که با تخصصها و ویژگیهـای مختلفی تشکیل شده‌اند و ذاتا با یکدیگر متفاوت هستند به خطـا نرونـد و هـم‌افزایـی درون تیمهـا ایجـاد شـود از مـدل مـشترک و مناسـبی بـا عنـوان DMAIC1 (تعریف کردن، اندازه‌گیری کردن، تحلیل کردن، بهبود دادن و کنترل کردن) استفاده می‌شود. یک پروژه شـش سـیگما دارای یـک چرخـه است که با تعیین و انتخاب پروژه شروع و سپس وارد مراحل بعدی یعنی، تشکیل تیم، تهیه منشور پروژه، آمـوزش تـیم، انجـام DMAIC و بکـارگیری راه‌حلها و در پایان انتقال راه‌حلها است، می‌شود.

حا به تشریح فازهای فرایند DMAIC می‌پردازیم:

۱ـ فاز تعریف:

مراحل مختلف و خروجی‌های فاز تعریف پروژه شش سیگما به شرح ذیل می‌باشد:

۱. بیان اهمیت پروژه (با توجه به جنبه‌های مالی)
۲. پرکردن فرم منشور پروژه با اطلاعاتی نظیر: توصیف پروژه، اندازه‌گیری‌های پایه، نتایج مالی حاصله، اعضای تیم و برنامه زمانبندی پـروژه (برای تعریف اهداف اولیه می توان از تکنیک الگوبرداری استفاده کرد).
۳. ترسیم یک نمودار کلی از فرایند موجود و تجزیه و تحلیل خروجیها به منظور شناسایی مدلهایی از فرایند که بیشترین اثر را دارند.
۴. جمع آوری و نمایش داده‌هایی که نیازهای مشتری و خواسته‌های او را تائید می کنند. اعتباردهی به CTQهای تعریف شده .

ابزارهای کیفی مورد استفاده در فاز تعریف شامل:

۱. نقشه فرایند (Proccess Map).
۲. SIPOC.
۳. نمودار درختی (Tree Diagram).
۴. آنالیز حالتهای بالقوه خطا (FMEA).
۵. نمودار پاراتو (Pareto Diagram).
۶. نمودار علت و معلول (Cause & Effect Diagram).
۷. ماتریس اولویت‌ها (Priority Matrix/QFD).

[1]- Define, Measure, Analyze, Improve, Control

۲ـ فاز اندازه‌گیری:

مراحل مختلف و خروجی‌های فاز اندازه‌گیری پروژه شش سیگما به شرح ذیل می‌باشد:

تعیین معیارهای اندازه‌گیری بر اساس CTQ ها و نمودارSIPOC .
تعیین تعدادی از معیارهای اندازه‌گیری بحرانی.
تدوین برنامه جمع آوری داده‌های مورد نیاز.
صحه‌گذاری سیستم اندازه‌گیری.
نمایش داده‌ها با استفاده از نمودارها به منظور نشان دادن میزان نوسانات و الگوهای موجود در داده‌ها.
محاسبه قابلیت فعلی فرایند و تعیین سطح سیگما .

ابزارهای کیفی مورد استفاده در فاز اندازه‌گیری شامل:

۱- نرم افزار آماری.
۲- قابلیت فرایند (Proccess Capability).
۳- فرمهای بازرسی (Check Sheet).
۴- تجزیه و تحلیل سیستم‌های اندازه‌گیری (MSA).

۳ـ فاز آنالیز:

مراحل مختلف و خروجی‌های فاز آنالیز پروژه شش سیگما به شرح ذیل می باشد:

۱. تجزیه و تحلیل جزیی فرایند به منظور شناسایی مشکلات ریشه ای (فعالیت‌های دارای ارزش افزوده و بدون ارزش افزوده فعالیت‌های ضروری و غیر ضروری).
۲. نمایش نظرات تیم در خصوص علل بروز مشکل (نمودار علت و معلول).
۳. انجام آزمون فرضیه آماری به منظور تصدیق علل ریشه‌ای.
۴. تصدیق علل ریشه‌ای با استفاده از ابزارهای آماری.
۵. استفاده از تکنیک طراحی آزمایشات به منظور تصدیق علل ریشه‌ای.

ابزارهای کیفی مورد استفاده در فاز آنالیز شامل:

۱- نمودار علت و معلول.
۲- هیستوگرام.
۳- نمودار پارتو.
۴- نمودار روند.
۵- نمودار پراکندگی یا پراکنش.
۶- تحلیل آماری.

۴ـ فاز بهبود و نوآوری:

مراحل مختلف و خروجیهای فاز بهبود پروژه شش سیگما به شرح ذیل می‌باشد:

۱. ایجاد راه حل بر اساس الگوبرداری و انتخاب بهترین نگرش بر اساس نمایش معیارها.
۲. انجام تجزیه و تحلیل سود- هزینه برای راهکارهای اجرا شده.
۳. پیشنهاد راهکاری که شامل سرمایه‌گذاران کلیدی باشد.
۴. استفاده از FMEA به منظور شناسایی ریسک‌های مربوط به راهکار و انجام اقدامات پیشگیرانه.
۵. اجرای راهکار در مقیاس کوچک و ارزیابی نتایج.
۶. توسعه برنامه کامل برای اجرا و تغییرات مدیریتی.

ابزارهای کیفی مورد استفاده در فاز بهبود شامل:

۱- طراحی آزمایشات.
۲- طوفان ذهنی.
۳- FMEA
۴- -ارزیابی ریسک.

۵ـ فاز کنترل:

مراحل مختلف و خروجی‌های فاز کنترل پروژه شش سیگما به شرح ذیل می‌باشد:

۱. تائید صلاحیت، اعتباردهی و صحه‌گذاری.
۲. توسعه و اجرای یک طرح برای درک چگونگی تغییرات فرایند.
۳. مستندسازی فرایند جدید، استفاده از ابزارهای آموزشی و ابزار دیگر برای اطمینان از استانداردسازی.
۴. نمایش فرایند با استفاده از نمودارهای کنترل برای اطمینان از درمحدوده بودن فرایند و تطبیق با مشخصه ها.
۵. محاسبه مجدد قابلیت فرایند، سیگما فرایند و نتایج مالی بر اساس بهبود.
۶. انتقال فرایند بهبود یافته به صاحب پروژه برای مدیریت فرایند و قدردانی از تیم بهبود.
۷. مستندسازی نتایج و خلاصه بندی یافته های کلیدی، تعیین پروژه‌های بالقوه آتی.

ابزارهای کیفی مورد استفاده در فاز کنترل شامل:

۱- کنترل فرایند آماری.
۲- برنامه‌های اجرای برای موارد خارج از حدود کنترل.
۳- تغییرات در طراحی به منظور حذف نقایص.

نتایج اجرای پروژۀعملی :

براساس بررسی‌های بعمل آمده درخصوص انتخاب یکCase جهت اجرای پروژۀ شش سیگما تیم پروژه برآن شد که با پرداختن به مشکلات پروژه‌های صنعت و مصاحبه با مدیران پروژه‌ها، استخراج آمار کمی و کیفی و همچنین صدای مشتری بتواند یک پروژۀ عملی که مشکل حاد صنعت نیز باشد را انتخاب نماید. که بدین ترتیب مشاهده شد درخصوص کاهش اسقاط پروژه‌های تولیدی می‌توان فعالیت نمود به همین منظور یک پروژۀ جاری صنعت که دارای بیشترین میزان اسقاط و همچنین شکایت مشتری بود بعنوان Case انتخاب شد با بررسی که درخصوص آمار جمع‌آوری شدۀ سال ۸۲ این پروژه بعمل آمده مشاهده شد که از میزان ۲۶۸۶۸۳ قطعۀ تولید شده به تعداد ۹۵۸۸ عدد قطعه معیوب ایجاد شده است که هزینه‌ای بالغبر ۶۲۰ میلیون ریال را برای صنعت درپی داشته است، لذا این امرازیک سو و باقدمت بودن پروژه درصنعت, موجود بودن اطلاعات کمی , تکنولوزی بربودن پروژه و استفاده شدن حداقل ۲۵درصد از ظرفیت تولیدی صنعت دراین پروژه ازسوی دیگر سبب شد که تیم پروژه درخصوص کاهش اسقاط این پروژه خاص وارد عمل شود.

۱ـ فاز تعریف و اندازه‌گیری:

جنبۀ اقتصادی پروژه :

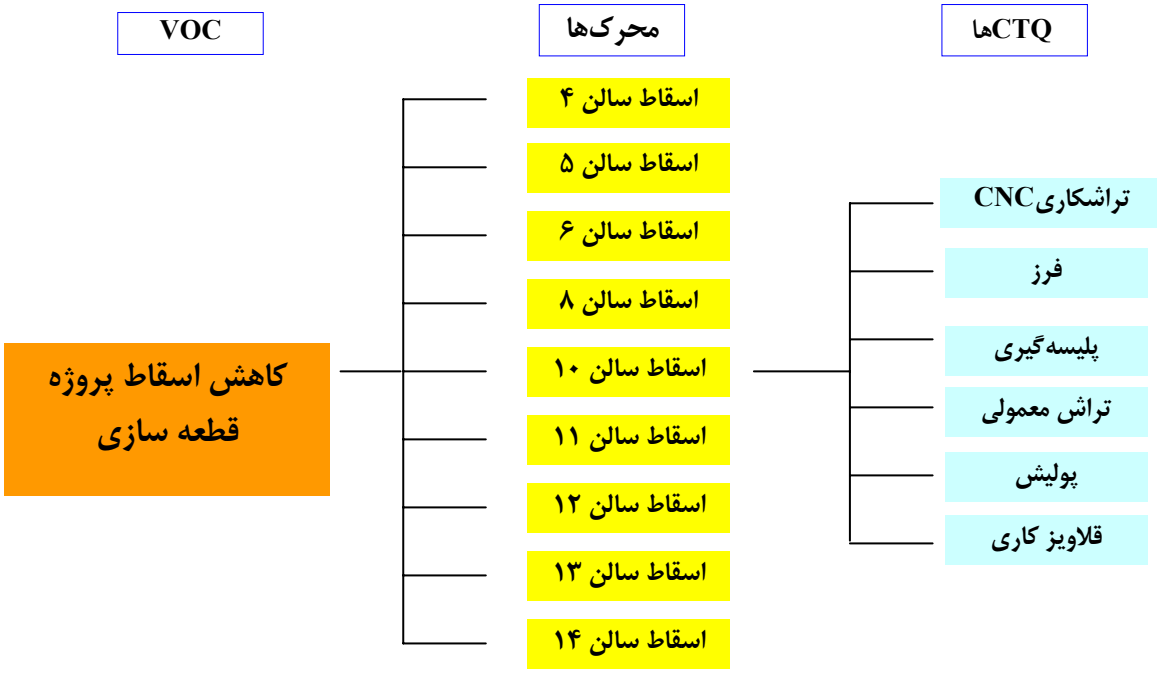
بعنوان یک اصل در شش سیگما، پروژه‌هایی که جهت اجراء انتخاب می‌گردند، بایستی توجیه اقتصادی داشته باشند، این پروژه نیز با توجه به پیش‌بینی بعمل آمده درخصوص میزان تولید در سال ۸۳ و همچنین هدف کاهش میزان اسقاط از مقدار ۳۵۶۸۵ عدد در میلیون به ۱۰۰۰۰ عدد در میلیون و باتوجه به اینکه قیمت متوسط هر قطعه براساس میانگین وزنی بدست آمده از چهار قرارداد منعقده ۴۸۷۹۰ ریال می‌باشد، پیش‌بینی می‌شود، دارای صرفه‌جویی به میزان ۱،۲۵۶،۱۷۱،۱۵۰ ریال خواهد بود.

نمودار SIPOC پروژه به قرار ذیل می‌باشد :

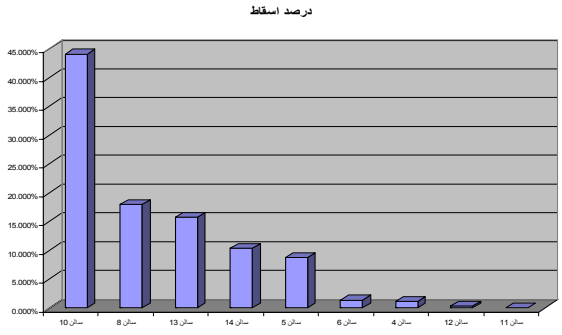
Suplier	Input	Process	Output	Customer
ـ کارفرما ـ بازار ـ معاونت ساخت صنایع شهید باقری	ـ انواع میلگرد ـ انواع شمش آمادی نقشه‌ها فرآیند کنترل پروسه شیت‌ها کارت محموله‌ها ابزارآلات نیروهای‌متخصص ماشین‌آلات		ـ قطعات ـ کارت محموله ـ فاکتورهای فروش ـ اسقاط	– کارفرما –کلیه سالنهای تولید و مواد صنایع شهید باقری

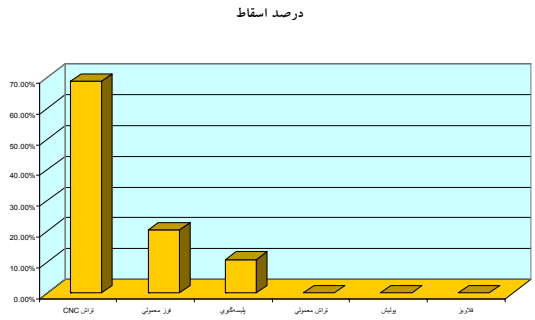
ورود مواد اولیه ←برشکاری ← تراشکاری ← CNC فرزکاری← پلیسه‌گیری

درخت CTQs حاصل شده پس از بررسی‌های بعمل آمده در جلسات طوفان ذهنی و مشاوره با افراد فنی به قرار ذیل می‌باشد.



حال برای اینکه بتوان محدودهٔ پروژه را محدودتر نمود پس از جمع‌آوری آمار و اطلاعات از نمودار پاراتو کمک گرفتیم و قانون ۸۰-۲۰ را اجرا کردیم بدین ترتیب محرک اصلی پروژه سالن ۱۰ و CTQ های اصلی پروژه ۱ــ اسقاط ماشین‌تراش CNC ۲ــ اسقاط ماشین فرز حاصل گردید.





نمودار پاراتو انتخاب CTQها

نحوه اندازه گیری	تعریف عیب	CTQs
تعداد اسقاط	عدم تطابق با مشخصه‌های موردنیاز	اسقاط ماشین تراشCNC
تعداد اسقاط	عدم تطابق با مشخصه‌های موردنیاز	اسقاط ماشین فرز

جدول CTQهای انتخاب شده

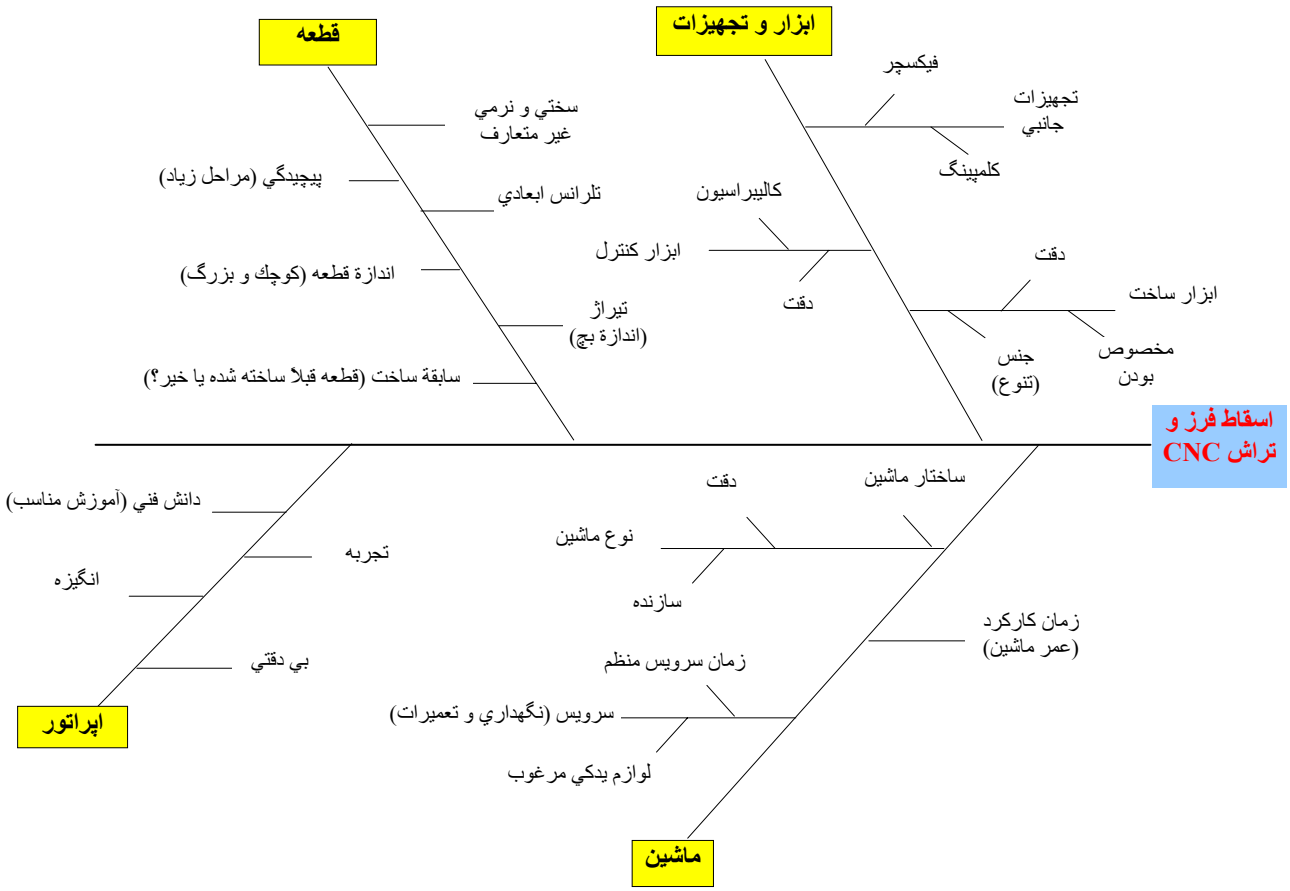
قبل از اینکه به فاز اندازه‌گیری برویم بایستی سطح سیگما در ابتدای کار محاسبه شود تا بتوان در انتهای کار هم مقایسه‌ای داشته باشیم و میزان هدف افزایش سطح سیگما مشخص گردد.

محاسبه سطح سیگما

تعداد قطعات سالم درسال ۱۳۸۲	۲۵۹۰۹۵
تعداد قطعات اسقاط درسال ۱۳۸۲	۹۵۸۸
تعداد کل قطعات پروژه درسال ۱۳۸۲	۲۶۸۶۸۳
PPM	۳۵۶۸۵
سطح سیگمای بلند مدت	۱,۸۱
سطح سیگمای کوتاه مدت	۳,۳۱

۲ـ فاز آنالیز:

با مشخص شدن محرک و CTQ ها حال بایستی در فاز آنالیز به تجزیه و تحلیل علل پرداخت که در این پروژه با استفاده از تکنیک نمودار استخوان ماهی (علت و معلول) این امر صورت پذیرفت. نکتهٔ مهم در رابطه با این نمودار این است که بایستی بسیار دقیق و کارشناسانه علل شناسایی گردد. چرا که سر نخ کار از همین‌جا آغاز می‌گردد و درصورت استخراج علل کم اهمیت یا بی‌اهمیت روند تحلیل پروژه را با مشکل مواجه خواهد نمود.



با توجه به نمودار فوق ۲۳ عامل از علل ریشه‌ای اسقاط در ماشین‌های فرز CNC و تراش شناسایی گردید. حال بایستی به طریقی برای هریک از عوامل آمار کمی استخراج نمود، بدلیل محدود بودن زمان انجام پروژه بایستی به طریقی این عوامل را محدودتر نمود که در این پروژه با استفاده از تکنیک جدول اولویت‌ها این امر تحقق پیدا نمود که نتایج بقرار ذیل می‌باشد :

نظر دهنده‌ها / معیارها	شخص اول	شخص دوم	شخص سوم	شخص چهارم	شخص پنجم	جمع
تأثیر گذاری	۰,۴۵	۰,۵	۰,۶	۰,۵	۰,۶	۲,۶۵
جمع‌آوری داده	۰,۴	۰,۲	۰,۲	۰,۳	۰,۳	۱,۴
سوابق	۰,۱۵	۰,۳	۰,۲	۰,۲	۰,۱	۰,۹۵

جدول اولویت برای دلایل اسقاط

	معیارها / پارامترها	تأثیر گذاری	جمع‌آوری داده	سوابق	جمع
	وزن	۲٫۶۵	۱٫۴	۰٫۹۵	۵
۱	دانش فنی اپراتور	۲۱۲	۱۲۶	۵۳٫۲	۳۹۱٫۲
۲	انگیزه اپراتور	۲۳۸٫۵	۷۷	۳۹٫۹	۳۵۵٫۴
۳	تجربه اپراتور	۲۶۲٫۳۵	۱۲۸٫۸	۸۶٫۴۵	۴۷۷٫۶
۴	بی‌دقتی اپراتور	۱۹۶٫۱	۷۸٫۴	۴۵٫۶	۳۲۰٫۱
۵	پیچیدگی	۲۹۱٫۵	۱۲۳٫۲	۹۹٫۷۵	۵۱۴٫۴۵
۶	اندازهٔ قطعه	۲۱۲	۹۳٫۸	۴۷٫۵	۳۵۳٫۳
۷	سابقهٔ ساخت	۲۰۹٫۳۵	۱۴۵٫۶	۱۰۸٫۳	۴۶۳٫۲۵
۸	سختی و نرمی غیر متعارف	۱۶۹٫۶	۶۷٫۲	۲۶٫۶	۲۶۳٫۴
۹	تلرانس ابعادی	۲۵۷٫۰۵	۱۰۲٫۲	۷۶٫۹۵	۴۳۶٫۲
۱۰	تیراژ	۱۸۰٫۲	۱۰۲٫۲	۶۹٫۳۵	۳۵۱٫۷۵
۱۱	کالیبراسیون ابزار کنترل	۱۵۳٫۷	۱۰۷٫۸	۵۸٫۹	۳۲۰٫۴
۱۲	دقت ابزار کنترل	۱۲۷٫۲	۱۰۰٫۸	۵۷	۲۸۵
۱۳	فیکسچر	۱۵۶٫۳۵	۷۷	۶۱٫۷۵	۲۹۵٫۱
۱۴	کلمپینگ	۱۴۰٫۴۵	۶۸٫۶	۳۹٫۹	۲۴۸٫۹۵
۱۵	جنس ابزار	۱۳۲٫۵	۶۸٫۶	۴۱٫۸	۲۴۲٫۹
۱۶	دقت ابزار ساخت	۱۴۰٫۴۵	۵۳٫۲	۵۳٫۲	۲۴۶٫۸۵
۱۷	مخصوص بودن ابزار ساخت	۷۶٫۸۵	۳۳٫۶	۳۸٫۹۵	۱۴۹٫۴
۱۸	ساختار ماشین	۱۱۱٫۳	۶۵٫۸	۴۷٫۵	۲۲۴٫۶
۱۹	زمان کارکرد (عمر ماشین)	۱۱۹٫۲۵	۶۴٫۴	۵۲٫۲۵	۲۳۵٫۹
۲۰	دقت ماشین	۱۵۳٫۷	۶۴٫۴	۴۹٫۴	۲۶۷٫۵
۲۱	سازنده	۱۵٫۹	۴۳٫۴	۴۴٫۶۵	۱۰۳٫۹۵
۲۲	زمان سرویس منظم	۶۰٫۹۵	۸۹٫۶	۷۱٫۲۵	۲۲۱٫۸
۲۳	لوازم یدکی مرغوب	۳۹٫۷۵	۵۰٫۴	۴۰٫۸۵	۱۳۱

با توجه به جدول اولویت‌ها هفت معیار به شرح زیر انتخاب گردید که حال بایستی توسط طراحی فرم‌های جمع‌آوری اطلاعات آمار داده‌های مربوط به هفت معیار، استخراج نمود و مبنای محاسبات رگرسیون قرار داد:

۱ ـ پیچیدگی ۲ ـ تجربه اپراتور ۳ ـ سابقه ساخت ۴ ـ تلرانس ابعادی ۵ ـ دانش فنی اپراتور ۶ـ اندازه قطعه ۷ ـ تیراژ

جهت کمی نمودن واژه‌هایی مانند پیچیدگی و اندازهٔ قطعه از تعاریف استاندارد شده‌ای که توسط تیم پروژه تهیه شده استفاده گردید.

تعریف پیچیدگی: پیچیدگی بر اساس ۳ عامل به چهار درجه تقسیم بندی شده است. عوامل به این شرح است:

۱ ـ ابزار خاص ۲ ـ تخصص خاص ۳ ـ آسیب پذیری

پیچیدگی درجه ۱ : آندسته از قطعاتی که هر سه عامل را دارا باشند

پیچیدگی درجه ۲ : آندسته از قطعاتی که دو عامل از ۳ عامل را دارا باشند

پیچیدگی درجه ۳ : آندسته از قطعاتی که یک عامل از ۳ عامل را دارا باشند

پیچیدگی درجه ۴ : آندسته از قطعاتی که هیچکدام از عوامل را دارا نباشند

تعریف اندازه قطعه : اندازه بر اساس ۳ عامل به این شرح مورد بررسی قرار گرفته است:

۱ ـ قطر قطعه (قطر بین ۱۰ تا ۱۸۰ مناسب)

۲ـ L/D (L/D>7) (نسبت طول به قطرکمتر از ۷ مناسب)

۳ـ تقارن (دارا بودن شکل هندسی متقارن برای نیروی گریز از مرکز)

تلرانس : اندازه عددی مقدار تلرانس در محاسبات منظور شده است

برای سایر معیار ها نیز از مقادیر واقعی خود آنها نظیر سابقه اپراتور تیراژ و .. استفاده گردید.

نتایج حاصل از جدول اولویت‌ها بایستی پس از جمع‌آوری اطلاعات کمی و با استفاده از تکنیک رگرسیون مورد استفاده قرار گیرد که این امر پس از ۲۱ بار اجراء برنامه در نرم‌افزار Minitab و باتوجه به مقادیر باقیمانده ها و نظر اساتید محترم در خصوص استفاده از تعداد اسقاط بجای نسبت اسقاط و همچنین بررسی اثرات متقابل متغییرهای مستقل، به شکل ذیل حاصل گردید :

The regression equation is

نرخ اسقاط $y = ۴۵٫۸ + ۴۴٫۶X_1 + ۰٫۰۴۳۰X_2 + ۰٫۰۴۷۲X_3 - ۳٫۳۳X_4 - ۱۷٫۶X_5 - ۰٫۴۸۵X_6 + ۱٫۱۴X_7$

$S = ۴٫۷۸۴$ $R\text{-}Sq = ٪۸۱٫۰$ $R\text{-}Sq(adj) = ٪۷۵٫۲$

همانطور که در بالا ارائه شده است قدرت رگرسیون برابر ۸۱ درصد بدست آمده که نشان دهنده مناسب بودن معادله حاصله است.

۳ـ فاز بهبود:

Xهای اصلی انتخاب شده برای CTQ

نام متغیر	شرح متغیر	نام متغیر	شرح متغیر
X_1	تلرانس	X_5	پیچیدگی
X_2	تیراژ	X_6	سنوات
X_3	قطر	X_7	اثر متقابل تجربه و پیچیدگی
X_4	تجربه		

راه‌حل‌های پیشنهادی برای بهبود CTQها

باتوجه به Xهای اصلی انتخاب شده برای ارائهٔ راه‌حلهای بهینه، جلسات طوفان ذهنی متعددی توسط تیم شش سیگما برگزار شد و پس از بحث‌های فراوان دو دستورالعمل با عنوان دستورالعمل کلاسه‌بندی قطعات و پرسنل براساس جدول زیر برای هر یک از CTQ ها تدوین شد که در ادامه ارائه شده است.

نام متغیر	مسئله/ مشکل	راه‌حل‌های پیشنهادی
X_1	تلرانس	دستورالعمل کلاسه بندی قطعات
X_2	تیراژ	
X_3	قطر	دستورالعمل کلاسه بندی قطعات
X_4	تجربه	دستورالعمل کلاسه بندی پرسنل
X_5	پیچیدگی	دستورالعمل کلاسه بندی قطعات
X_6	سنوات	دستورالعمل کلاسه بندی پرسنل
X_7	اثر متقابل تجربه و پیچیدگی	دستورالعمل کلاسه بندی پرسنل دستورالعمل کلاسه بندی قطعات

دستورالعمل کلاسه بندی قطعات

	درجه	شرح	امتیاز
پیچیدگی	۱	آندسته از قطعاتی که هر سه عامل را دارا باشد	۳۰
	۲	آندسته از قطعاتی که دو عامل از سه عامل را دارا باشد	۲۰
	۳	آندسته از قطعاتی که یک عامل از سه عامل را دارا باشد	۱۰
	۴	آندسته از قطعاتی که هیچکدام از عوامل را ندارد	۰
اندازه	Q≤۱۰ و Q≥180	اندازه قطر کوچکتر از ۱۰ و بزرگتر از ۱۸۰	۳۰
	L/D>۷	نسبت طول به قطر بزرگتر از ۷	۲۰
	تقارن	اگر تقارن نداشته باشد	۱۰
	تقارن	اگر تقارن داشته باشد	۰
تلرانس	۰,۰۵-۰,۰۲	تلرانس بسته	۳۰
	۰,۱-۰,۰۵	تلرانس معمولی	۲۰
	۰,۱	تلراتس باز	۱۰

کلاس ۱	۷۵<امتیاز≤۹۰
کلاس ۲	۵۰<امتیاز≤۷۵
کلاس ۳	۳۰<امتیاز≤۵۰
کلاس ۴	۳۰≤امتیاز

۴ـ فاز کنترل:

براساس دستورالعمل کلاسه‌بندی قطعات، قطعات آماده جهت شارژ در کارگاه کلاسه‌بندی شده و مطابق فرم نمونه، به سالن شارژ شد و اطلاعات مربوطه جمع‌آوری و تحلیل‌های نهایی صورت گرفت که نتایج آن در ادامه ارائه شده است.

لیست نمونه‌ای از کلاسه بندی قطعات پروژه آماده به کار در سالن ۱۰

ردیف	نام قطعه	کد قطعه	کلاس قطعه				درجه
			پیچیدگی	اندازه	تلرانس	جمع	
1	SA10-01-06	163	20	0	20	40	3
2	SA10-00-00	411	30	10	30	70	2
3	SH77-01-01	1229	0	10	30	40	3
4	SH81-02-01	1786	30	0	10	40	3
5	SA81-00-04	970	10	0	10	20	4
6	SA77-01-01	865	0	10	30	40	3
7	SA07-00-18	6	30	10	20	60	2
8	LA64-04-01	2310	20	10	10	40	3
9	LA62-71-01	2145	0	10	40	50	3
10	LA63-50-14	2255	10	10	30	50	3
11	LA61-10-03	2111	20	20	40	80	1
12	LA66-12-01	2369	10	20	30	60	2
13	LA63-50-06	2247	0	10	10	20	4

محاسبه سطح سیگما بهبود

تعداد قطعات سالم در دوره بهبود	۱۰۱۸۲
تعداد قطعات اسقاط در دوره بهبود	۶۲
تعداد کل قطعات پروژه در دوره بهبود	۱۰۲۵۷
PPM	۶۰۴۵
سطح سیگمای بلند مدت	۲,۵۱
سطح سیگمای کوتاه مدت	۴,۰۱

درصد بهبود محقق شده :

پس از بهبودAfter		قبل از بهبود Before	
DPU	۰,۶۰۷	DPU	۹,۱۴
DPO	۰,۰۰۶۰۴۵	DPO	۰,۰۳۵۷
DPMO	۶۰۴۵	DPMO	۳۵۶۸۵
Sigma Level	۴,۰۱	Sigma Level	۳,۳۱

نتیجه گیری :

اجرای این پروژه باعث صرفه جویها و دستاوردهایی مالی و غیر مالی شد که نتایج آن در ادامه بیان می‌گردد.

محاسبه دستاوردهای مالی پروژه

- باتوجه به زمان جمع‌آوری داده‌ها در تعداد ۱۰۱۸۲ قطعه تولید شده تعداد ۶۲ قطعه اسقاط داشته‌ایم و بر این اساس پیش‌بینی می‌شود ۲۴۱٫۸ قطعه در کل ۴۰۰۰۰ قطعات تولیدی سال ۸۳ اسقاط داشته باشیم و این تعداد صرفه‌جویی به میزان ۵۷۸۴۵۴۲۰ ریال را بطور مستقیم در بر دارد (پیش‌بینی تعداد اسقاط بر اساس روند سال ۸۲ به میزان ۱۴۲۷٫۴ قطعه بوده که پس از پروژه شش سیگما این به تعداد ۲۴۱٫۸ کاهش یافته درواقع به میزان ۱۱۸۵٫۶ صرفه‌جویی در اسقاط قطعه داریم)

- به بیان شش سیگما بر اساس ۳۵۶۸۵ اسقاط در میلیون که میزان ۱،۷۴۱،۰۷۱،۱۵۰ ریال هزینه دربر دارد پیش‌بینی برکاهش اسقاط به ۱۰۰۰۰ قطعه در میلیون بوده که میزان ۱،۲۵۳،۱۷۱،۱۵۰ ریال صرفه‌جویی در برداشته و اکنون بطور عملی ۶۰۴۵ قطعه در میلیون اسقاط حاصل شده که این امر موجب کاهش ۱،۴۵۳،۷۹۵،۶۳۰ ریال بطور مستقیم شده است.

سایر دستاوردهای پروژه

- کاهش هزینه‌های QC تولید کننده و مشتری به دلیل کاهش مواضع کنترلی
- افزایش رضایت مشتری به دلیل دریافت قطعه سالم بیشتر
- کاهش دور ریز مواد اولیه و افزایش رضایتمندی مشتری به دلیل استفاده بهینه از مواد اولیه
- کاهش دوباره‌کاریها و هزینه‌های مربوطه
- کاهش سیکل تولید
- افزایش انگیزه و روحیه پرسنل
- بهبود راندمان نگهداری و تعمیرات
- کار گروهی و افزایش روحیه همکاری
- استفاده از تکنیکهای خلاقیت و طوفان ذهنی
- کارسیستماتیک
- استفاده از فنون آماری ومهارت درآنها مانند پاراتو و رگرسیون و جدول اولویت‌ها
- مهارت در طراحی فرم‌های جمع‌اوری داده‌ها
- مهارت در تحلیل داده‌های خام و تبدیل به اطلاعات
- مهارت در مدیریت پروژه
- مهارت در کنترل پروژه

پروژه‌های پیشنهادی برای آینده

- پروژه کاهش دوباره‌کاریها.
- پروژه کاهش اسقاط و دوباره‌کاری در سایر فرایندها نظیر فورج و ریخته‌گری و ماشینکاری سایر سالنها.
- پروژۀ بدست آوردن میزان انگیزۀ اپراتور دراسقاط و دوباره‌کاری قطعات.
- پروژۀ کاهش ماندگاری قطعات و محصولات اتمامی.

منابع و مراجع

۱. مقالۀ" شش سیگما در بهبود فرآیند آموزش" چهارمین مدیران کیفیت ـ محسن ایمانپور
۲. مقالۀ" بهبود اساسی فرآیندها با استفاده از شش سیگما" چهارمین مدیران کیفیت ـ رضا توکلی
۳. مقاله" شش سیگما و نقش آن در بهبود کارایی و اثربخشی فرآیند سازمان" چهارمین مدیران کیفیت ـ بابک خوبیاری.
۴. کتاب شش سیگما چیست؟ رسول نور السناء، امیر صالیحی و عباس سقایی
۵. جزوات آموزشی دروۀ Green Belt ـ مؤسسۀ تحقیقاتی صنایع دفاع