www.iiec2016.com
کنفرانس بین‌المللی مهندسی صنایع
IIEC ۱۳۹۴
صفحه ۰۰۰-۰۰۰
دوره ۱۲
دانشگاه خوارزمی
انجمن علمی مهندسی صنایع
12th International Industrial Engineering Conference

کاربرد تکنیک FMEA و طراحی آزمایشات تاگوچی در پیش بینی و صرفه جویی هزینه های کیفیت (مطالعه موردی : شرکت دخانیات ارومیه)

امیر سلیمان نژاد تمر [a]، اکبر زواری رضائی [b]

[a] باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد ارومیه، دانشگاه آزاد اسلامی، ارومیه، ایران
[b] استادیار حسابداری و امور مالی، دانشگاه ارومیه

نویسنده مسئول: سلیمان نژاد (sosoleyman@yahoo.com)

چکیده

هزینه های کیفیت در یک سازمان تولیدی بخش مهمی از هزینه ها را تشکیل می دهند. در این مقاله کاربرد تکنیک FMEA و طراحی آزمایشات تاگوچی در پیش بینی و صرفه جویی هزینه های کیفیت بررسی میشود. برای این منظور ضمن تعریف انواع هزینه های کیفیت، مبانی تکنیک تحلیل حالات بالقوه شکست و طراحی آزمایشات تاگوچی را تشریح میکنیم. سپس عوامل ایجاد کننده ضایعات شناسایی، و با استفاده از روش های آماری علت های بوجود آورنده هزینه های کیفیت بررسی میشوند. در مراحل بعدی تکنیکFMEA و تاگوچی را در سطوح مورد نظر طراحی میکنیم. پس از اجرای تکنیکهای فوق و ارایه راه حل ها، در مراحل پیشگیری و ارزیابی هزینه های کیفیت حدود ۱۵۱۰ میلیون ریال برای۷ ماه نخست سال صرفه جویی ایجاد میگردد. این تحقیق از لحاظ هدف کاربردی است و برای تجزیه و تحلیل داده ها از آمار توصیفی و نرم افزارهای EXCEL- MINITAB17 استفاده گردیده است.

کلمات کلیدی: تکنیک تحلیل حالات بالقوه شکست، طراحی آزمایشات تاگوچی، هزینه های کیفیت، صرفه جویی هزینه ها

۱. مقدمه

معمولا در سازمان هزینه های کیفیت به طور مشخص محاسبه نمی شوند زیرا در ترازنامه سود و زیان شرکت زیاد لازم نمی باشند ولی نقش مهمی در سودآوری شرکت دارند[۱]. هزینه یابی کیفیت روش هزینه یابی مبتنی بر فرایند است که به لحاظ مفهومی به دنبال سنجش و ایجاد تعادل بین هزینه های پیشگیرانه و هزینه های تضمین کیفیت در برابر هزینه های بدی کیفیت و ضایعات و نارضایتی مشتری است [۲]. در این تحقیق واژه هزینه های کیفیت به معنای هزینه های کیفیت ضعیف است. در بیشتر موارد هزینه های کیفیت به سه دسته اصلی (پیشگیری، ارزیابی ،شکست داخلی)متمایز می شوند و سازمان های مدرن برای کاهش هزینه های شکست داخلی و بهبود کیفیت، قادر به برآورد کردن هزینه های کیفیت خود هستند[۱۸]. هدف اصلی سیستم هزینه یابی کیفیت، شناسایی، کاهش و حذف هزینه های ناشی از عدم کیفیت در مراحل مختلف زنجیره تولید یک محصول و یا ارائه یک خدمت میباشد. بررسی رفتار هزینه در اجزای مختلف هزینه کیفیت شرکت ها، حاکی از آن است که صنعت باید برای کاهش شکست داخلی و خارجی در هزینه های پیشگیری سرمایه گذاری کند[۱۹]. هزینه یابی کیفیت از مباحث جدید مدیریتی است که ابعاد مختلف شرکت نظیر: حسابداری صنعتی،کنترل کیفیت ،تعمیر و نگهداری، مدیریت تولید ،آموزش و بهسازی، و ... را بیان میکند و با تهیه و مقایسه روندهای کیفیت میتوان هزینه های کیفیت را کنترل و بهبود کرد[۳]. استفاده از FMEAبرای اولین بار در دهه ۱۹۶۰ در صنایع هوا و فضای آمریکا جهت ساخت سفینه آپولو مشاهده شده است و پس از آن برای موسسات اتمی و صنایع خودروسازی بکار رفت. از سال۲۰۰۰ تاکنون این روش یکی از پرکاربردترین روش های ارزیابی ریسک در تمامی صنایع میباشد[۴]. در طراحی آزمایشات تاگوچی، روش هایی را که به منظور جستجوی بهبود کیفیت و ثبات زیان های کمتر و مشخص نمودن خصوصیات فرآیندها و خصوصیات کلیدی که قبل از تولید لازم است میتوان بهبود بخشید.

این تحقیق از نظر روش یک تحقیق توصیفی و پیمایشی است.جهت جمع آوری داده ها و اطلاعات از روش کتابخانه ای و میدانی استفاده میشود دوره زمانی تحقیق، اطلاعات و داده های حسابداری و کنترل کیفیت،۷ ماهه سال۱۳۹۴ میباشد و جهت صرفه جویی هزینه های کیفیت از ترکیب تکنیک تحلیل حالات بالقوه شکست و طراحی آزمایشات تاگوچی استفاده میگردد. جامعه مورد بررسی، حجم تولید، اسناد و حسابهای واحد کنترل کیفیت و کارخانه، می باشد.

۲. طبقه بندی هزینه های کیفیت

متداول ترین طبقه بندی در ادبیات حسابداری مدیریت، هزینه های کیفیت را به چهار طبقه تقسیم می کند که عبارتند از: هزینه های پیشگیری، هزینه های ارزیابی، هزینه های شکست داخلی و شکست خارجی. این طبقه بندی که با عنوانPAF شناخته میشود در حرفه های حسابداری و کیفیت به نحو مطلوبی پذیرفته شده است[۲۰].

۱.۲. هزینه های شکست داخلی

هزینه هایی که در داخل سازمان به علت عدم انطباق و معیوب بودن قطعات و تولیدات در هر یک از مراحل طراحی، تولید ایجاد می شوند و هزینه هایی از قبیل ضایعات،دوباره کاری ها، بازرسی مجدد، بهسازی و اصلاح ، اقدام اصلاحی و می باشند.زیر گروه‌های تشکیل دهنده این گروه عبارت اند ازهزینه های دورریزیا اسقاطی- هزینه های تعمیر و دوباره کاری محصولات تولیدی شرکت- هزینه های توقف خط تولید - هزینه مرغوبیت کمتر - هزینه های تحلیل شکست- تعمیر واصلاح اقلام معیوب دریافتی- هزینه های ناشی از نگهداری نامناسب مواد اولیه

۲.۲. هزینه های شکست برونی

این گروه، هزینه هایی را دربرمی‌گیرد که پس از دریافت محصول توسط مشتری ایجاد می‌شوند و تا پیش از به کارگیری محصول توسط مشتری، مشخص و کشف نشده‌اند. عناصر این گروه از هزینه ها عبارتند از:هزینه های ضمانت هزینه های برگشت محصول توسط مشتری و شکایات مشتریان هزینه های اصلاح محصولات دردست مشتریان: هزینه های تعویض، تعمیر یا جایگزینی محصولات معیوبی[۵].

۲.۳ . هزینه های پیشگیری

هزینه هایی هستند که جهت اجرای اقدامات و به کارگیری برنامه هایی جهت جلوگیری از به وجود آمدن عدم انطباق، صرف میکنیم ودر بردارنده کلیه هزینه های مرتبط با شناسایی، پیشگیری یا کاهش ریسک بروز عدم انطباق یا عیب می باشند. اصلی‌ترین زیرگروه های موجود در این گروه عبارتند از:هزینه های کنترل فرایند- هزینه آزمایش نهائی- هزینه های طرح ریزی کیفیت- هزینه های آموزش - هزینه های بازنگری محصولات جدید-هزینه های طراحی و کنترل فرایند

۲.۴. هزینه های ارزیابی

هزینه هایی که صرف انجام اقداماتی برای اطمینان الزامات کیفی اعم از تصدیق و کنترل کیفیت در کلیه مراحل طراحی،خرید،تولیدمیباشد.این هزینه ها برای تعیین مطابقت یا عدم مطابقت مشخصه های محصول باویژگی‌های کیفی مورد نظر صرف می‌شوند.هزینه های اصلی این گروه ها عبارتند از:هزینه بازرسی و آزمایش مواد ورودی - بازرسی و آزمایش حین فرایند- بازرسی و آزمایش محصول نهایی- بررسی کیفیت موجودی انبارها - هزینه های ایجاد و ممیزی سیستمهای کیفیت- هزینه های دقیق نگه داشتن دستگاههای آزمایش ،کنترل تجهیزات و اندازه گیری

۳. عوامل مؤثر بر سیستم هزینه یابی کیفیت

الف- عوامل ماشینی؛ شامل قطعات مرغوب، سرعت مناسب، ابزار اندازه گیری مناسب و ماشین آلات نو و پیشرفته است.
ب- عوامل انسانی؛ شامل آموزش کافی، کارکنان با تجربه، نظارت و رضایتمندی کارکنان است.
پ- عوامل طراحی؛ شامل طراحی مناسب قطعات و ترتیب خط تولید .
ت-عوامل مواد؛ ملزومات و قطعات؛ شامل تأمین مواد از یک منبع، محل و جابجایی صحیح،مشخصات صحیح و محل نگهداری مناسب[۶].
در این تحقیق از برخی عوامل ذکر شده برای صرفه جویی هزینه های کیفیت در مبحث تکنیک FMEA و طراحی آزمایشات استفاده میشود.

۴. انواع روشهای آماری مفید در کنترل کیفیت

۱.۴. روشهای حین تولید

این روشها غالبا بر اساس ۷ ابزار قدیمی از طریق کاهش پراکندگی و تغییرات موجب بالا رفتن کیفیت در حال تولید می شوند.

۲.۴. روشهای قبل تولید

این روشها غالبا با روش طراحی آزمایشها و توسط دانشمندان ژاپنی از جمله تاگوچی مطرح شد.ایشی کاوا بر اساس تجربه می گوید:"حدود ۹۵٪مسائل کیفیت در کارخانه ها میتواند از طریق هفت ابزار قدیمی حل شود." به روش های فوق "کنترل فرآیند آماری"می گویند..

۳.۴. نمونه گیری برای پذیرش[۷]. در این مقاله از برخی ابزارهای روشهای حین تولید و روشهای قبل تولید استفاده میکنیم.

۵. تکنیک تجزیه و تحلیل حالات بالقوه شکست و آثار آن(FAILUR MODE & EFFECTS ANALYSIS)

تجزیه و تحلیل حالات بالقوه شکست عبارت است از مجموعه ای از دستورالعملهای یک فرایند و یک فرم برای مشخص کردن و الویت بندی مشکلات احتمالی یا خطاها[8]. FMEA تکنیکی تحلیلی و متکی بر قانون پیشگیری قبل از وقوع است که برای شناسایی عوامل بالقوه خرابی به کار میرود. FMEA رویکردی گام به گام برای شناسایی حالات بالقوه خرابی و شکست در فرآیند طراحی و تولید یک کالا یا ارائه یک خدمت (با هدف پیشگیری از وقوع این خرابی ها و

حالات شکست) است و روشی ساختار یافته برای کمی کردن اثرات بالقوه بروز خطا است که امکان اولویت بندی اقداماتی را برای کاهش یا حذف این حالات شکست به وجود می آورد[9]. FMEA به تجزیه و تحلیل طراحی یک بخش یا مونتاژ کمک میکند تا خرابی های بالقوه را شناسایی کند این خرابی ها را رتبه بندی کند و روشی برای حذف این مسائل و مشکلات قبل از وقوع پیدا کند[10]. هدف ازاجرای FMEA جستجوی تمام مواردی است که باعث شکست یک محصول یا فرایند می شود، قبل از اینکه آن محصول به مرحله تولید برسد و یا فرایند آماده تولید شود. تهیه FMEA فرصت هایی را برای سازمان فراهم میکندکه اگر فقط در قابل یک فرم مستند شوند، هرگز مشکلات راحل نمیکنند[21]. FMEA اگر درست و به موقع اجرا شود،فرایندی زنده وهمیشگی است؛یعنی هرزمان که قرار است تغییرات بنیادی در طراحی محصول و یا فرایند تولید(یا مونتاژ) انجام گیرد باید بروز شوند لذا همواره ابزاری پویاست که درچرخه بهبود مستمر به کارمیرود. یکی از عوامل موفقیتFMEA زمان اجرای آن است. این تکنیک برای آن طرح ریزی شده که (یک اقدام قبل از واقعه باشد) نه(یک تمرین بعد از آشکار شدن مشکلات) به بیانی دیگر، یکی ازتفاوت های اساسی FMEA با سایر تکنیک های کیفی این است کهFMEA یک اقدام کنشی است، نه واکنشی[11].

۶. کاربرد تکنیک تجزیه و تحلیل حالات بالقوه شکست

FMEA درهریک از شرایط زیر اجرا می شود[22]:

الف. درزمان طراحی سیستمی جدید، محصولی جدید ویا فرایندی جدید. ب. زمانی که قرار است طرح های موجود ویا فرایند تولید/مونتاژ تغییر کند.
پ. زمانی که فرایند های تولید یا مونتاژ و یا یک محصول در محیطی جدید و یا شرایط کاری جدید قرار می گیرد. ت. برنامه های بهبود مستمر.

۷. نحوه استفاده از تکنیک تجزیه و تحلیل حالات بالقوه شکست

به منظورتکمیل فرم FMEA ،تیم مسئول باید برای سؤالات زیر پاسخ های کاملی تهیه کند[23]:

الف - تحت چه شرایطی محصول نمی تواند اهداف ومقاصد طراحی رابرآورده سازد و یا نیازهای فرایند تحقق نمی یابد؟
ب - حالات خرابی چه تأثیری برمشتری ویا فعالیت های بعدی خواهند داشت؟
پ - اثرخرابی (براساس رتبه بندی۱تا ۱۰) چه شدتی دارد؟ (عدد شدت =severity)
ت - علل بالقوه خرابی کدامند؟
ث - احتمال وقوع علل خرابی (براساس رتبه بندی۱ تا ۱۰) چقدراست؟ (عدد وقوع = occurance rate)
ج - درحال حاض چه کنترل هایی به منظور پیشگیری و یا تشخیص حالات خرابی و علل آن انجام می شود؟
چ - قدرت تشخیص کنترل های موجود (براساس رتبه بندی ۱ تا۱۰) چه میزان است؟ (عدد تشخیص = Detection)
ح - میزان خطرپذیری حالات بالقوه به ازای علل مختلف چه مقداراست؟ (Risk priority number)
(تشخیص) × (وقوع)× (شدت) = (RPN) نمره اولویت ریسک
خ - به منظورکاهش میزان خطر پذیری چه اقداماتی می تواند صورت گیرد؟

۸- فواید اجرای FMEA

پاره ای ازفواید اجرای *FMEA* عبارتند از[12] :

۱. کاهش هزینه های مرتبط با محصولات خراب ویا نامنطبق ۲. بهبود کیفیت، افزایش درجه اطمینان کالا و ایمنی محصولاتی که تولید خواهند شد.
۳. نیاز به تغییرات ضرروی درفرایند و یا محصول درزمان تولید انبوه کاهش می یابد. ۴. بهبود تصویر سازمان در نظر مشتری،چرا که موجب افزایش رقابت پذیری سازمان در بازارمی شود. ۵. کاهش زمان معرفی محصول به بازار. ۶. رواج فرهنگ کارتیمی دردرون سازمان.

۹. طراحی آزمایشها

طراحی آزمایشها روشی است که برای آزمایش کردن و بهینه سازی عملکرد فرایندها محصولات امورخدماتی یا راهکارها به کار گرفته میشود[8]. کاربرد به موقع و موفقیت آمیز طراحی آزمایش در توسعه فرآیند تولید، می‌تواند اساسا زمان تولید و هزینه‌ها را تقلیل داده و به فرآیندها و فراورده‌هایی منتهی شود که در نوع خود عملکرد بهتر و اعتماد پذیری بالاتر از آنهایی دارند که با کاربـرد شیوه های دیگر بدست آمده‌اند[13].

۱.۹. طراحی آزمایشات تاگوچی

دکتر تاگوچی روش هایی را که به منظور جستجوی بهبود کیفیت و ثبات زیان های کمتر و مشخص نمودن خصوصیات فرآیندها و خصوصیات کلیدی که قبل از تولید لازم است را بهبود بخشید. تفاوت اصلی بین روش تاگوچی و روش کنترل آماری فرایند این است که روش تاگوچی بیش‌تر روی تغییرپذیری و انجام اقدام‌های پیشگیری در زمان طراحی متمرکز است تا مرحله‌ی تولید و پس از تولید[14]. به کارگیری کل عمل ممکن است هزینه بسیار بالایی داشته باشد و یا ازلحاظ عملی امکان‌پذیر نباشد. بنابراین مطالعه‌ی طراحی آزمایش کسری عوامل در دو یا سه سطح اجرا می‌شود. تاگوچی برای ارائه آزمایشات گروه های ویژه

ای از آرایه- های ارتوگونال(OA)را ترکیب و ایجادمی نماید[24]. بطور کلی آزمایشات انجام شده با استفاده ازآرایه های ارتوگونال، وقتی عملکرد کاملا صحیحی دارند که حداقل تداخل بین فاکتورها وجود داشته باشد. تاگوچی دو روش متفاوت برای انجام و کامل کردن تحلیل آزمایشات پیشنهاد میکند:

۱ - روش استاندارد: که در آن نتیجه یک موقعیت آزمایش و یا میانگین نتیجه بدست آمده از تکرار یک موقعیت آزمایش به واسطه اثر عمده و ANOVA پردازش می شود. مطالعه ANOVA اثر نسبی فاکتورها را در بخشهای مجزا تعیین میکند.

۲ - روش دوم که تاگوچی شدیدا برای آزمایشات همراه با تکرار توصیه می کند استفاده از نسبت سیگنال به نویز (S/N) برای مراحل یکسان در تحلیل است. این تحلیل با استفاده از تغییرات نتایج، بهترین و قویترین شرایط کاری را تعیین میکند. (این نسبت پراکندگی حول یک مقدار مشخصه را بیان میکند هر چه نسبت فوق بیشتر باشد پراکندگی کمتر خواهد بود)[15] . دو نسبت استاندارد که کاربرد زیادی با توجه به نوع مسئله دارند طبق روابط(۱و۲) عبارتنداز :

$$S/N = -10\times\log(S(1/Y2)/n) \quad \text{: هرچه بزرگتر بهتر} \qquad (۱)$$

$$S/N = -10\times\log(S(Y2)/n) \quad \text{: هرچه کوچکتر بهتر} \qquad (۲)$$

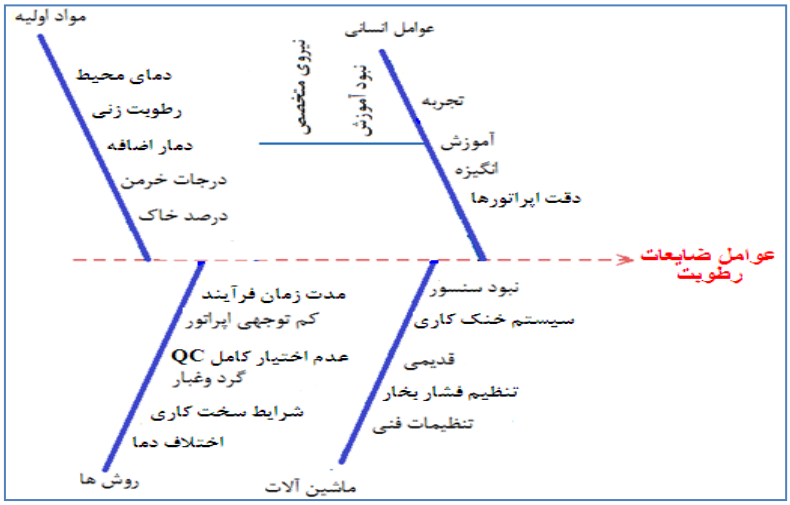
که در آنها Y مقدار پاسخ در هر آزمایش- n تعداد تکرار آزمایشها میباشد.

۱۰. شناسایی موارد هزینه زا توسط ابزارهای کنترل کیفیت آماری

۱.۱۰. رسم نمودار استخوان ماهی

با کمک نمودار استخوان ماهی علل ایجاد ضایعات را که باعث ایجاد هزینه های کیفیت می شوند با۴ دلیل اصلی(ماشین آلات، عوامل انسانی، مواد اولیه،روشها) همراه با علل فرعی آنها طبقه بندی و ارتباط آنها را با یکدیگر تعریف میکنیم. با استفاده از این نمودار سعی میکنیم تا حد امکان علل بروز هزینه ها(ضایعات) را در تکنیک FMEA و تاگوچی بررسی و کنترل کنیم. درنمودار(۱و۲) عوامل ضایعات وزن محصول و رطوبت با جزییات رسم شده اند.

نمودار ۱: نمودار استخوان ماهی علل ضایعات وزن محصول



نمودار ۲: نمودار استخوان ماهی علل ضایعات رطوبت

۲.۱۰. جداسازی و فیلتر کردن معیارها

جهت فیلتر کردن معیارهایی که بر کیفیت محصولات و هزینه های کیفیت تاثیر می گذارند با استفاده از داده های نمودار استخوان ماهی، در این مرحله از تکنیکFMEA استفاده میکنیم. نتیجه های استفاده از این تکنیک در جداول ۱و۲ نوشته شده است.

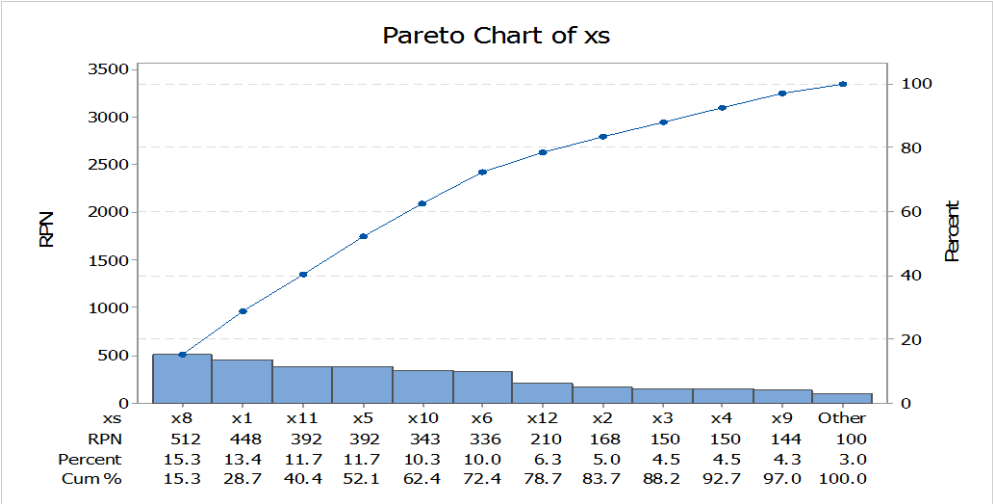
جدول ۱: جدولFMEA: رطوبت محصول

وظیفه فرآیند	حالات بالقوه خرابی	اثرات بالقوه خرابی	seve	علل بالقوه	Xs	occ	det	RPN
صرفه جویی هزینه ها	رطوبت توتون	افزایش دوباره کاری	7	ماشین آلات قدیمی	x1	۸	8	448
		افزایش ضایعات	7	دقت کارکنان	x2	6	4	168
		سود پایین	6	شرایط سخت کاری	x3	5	5	150
		توقف خط تولید	5	عدم اختیار کامل QC	x4	5	6	150
			8	سیستم خنک کاری	x5	7	7	392
			8	تنظیم نبودن فشار	x6	7	6	336
			5	مدت زمان فرآیند	x7	5	4	100
			8	رطوبت مناسب	x8	8	8	512
			6	اضافه کردن دمار	x9	4	6	144
			7	نبود سنسور	x10	7	7	343
			7	تنظیمات فنی دستگاه	x11	7	8	392
			6	دمای محیط	x12	5	7	210

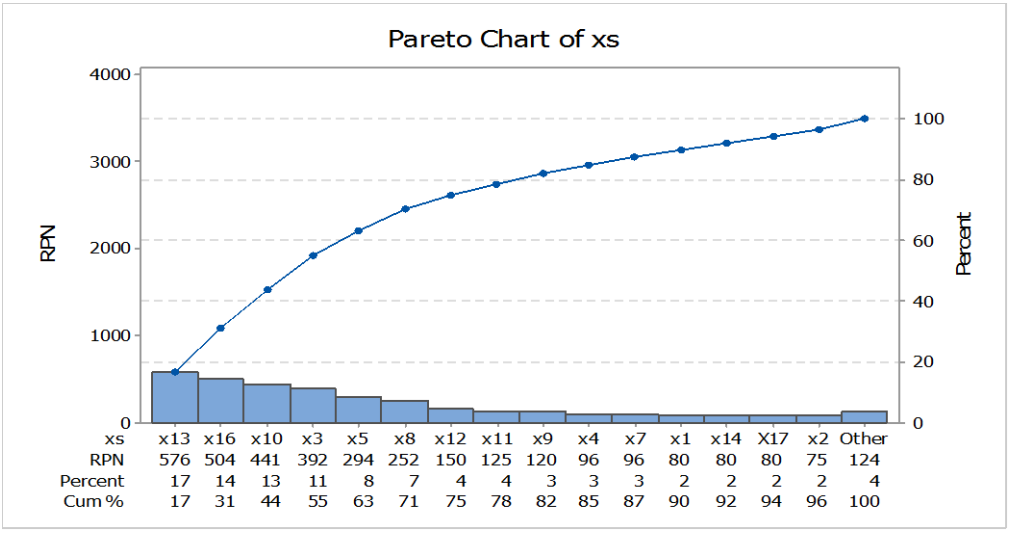
جدول ۲: جدولFMEA: وزن محصول

وظیفه فرآیند	حالات بالقوه خرابی	اثرات بالقوه خرابی	seve	علل بالقوه	Xs	occ	det	RPN
صرفه جویی هزینه ها	وزن محصول	توقف خط تولید	5	انگیزه کاری	x1	4	4	80
		افزایش ضایعات	5	آموزش اپراتور	x2	5	3	75
		ضرر مالی	7	تعداد اپراتورها	x3	7	7	392
		سود پایین	6	دقت اپراتورها	x4	4	4	96
			7	ماشین آلات قدیمی	x5	6	7	294
			4	سپراتور	x6	4	4	64
			6	نبود سنسور	x7	4	4	96
			۷	تنظیمات فنی دستگاه	x8	6	6	252
			5	خرید خارجی	x9	4	6	120
			۷	طول محصول تولیدی	x10	7	9	441
			۵	کم توجهی اپراتور	x11	5	5	125
			5	سر خالی	x12	5	6	150
			8	رطوبت محصول	x13	8	9	576
			5	مصرف ضایعات	x14	4	4	80
			3	درصد خاک	x15	5	4	60
			9	وزن زیاد	x16	7	8	504
			4	عدم اختیار کامل QC	X17	4	5	80

بعد از الویت بندی متغییرهای ورودی/فرآیند با استفاده از نرم افزارMINITAB ، متغییرهای مهم و با الویت را با رسم نمودار پارتو شماره ۳و۴ انتخاب میکنیم.



نمودار۳ : نمودار پارتو RPNهای رطوبت توتون



نمودار ۴: نمودار پارتو RPNهای وزن محصول

در ادامه، عوامل(x های) اصلی را که در تحلیل اثرات و حالات بالقوه خرابی فرآیند تاثیر دارندمطابق جدول ۳ انتخاب و بررسی میکنیم.

جدول۳: جدول عوامل اصلی انتخاب شده

عوامل	Xs	شرح متغیرها	نحوه اندازه گیری
عوامل رطوبت	X5	سیستم خنک کاری	سنسور دیجیتالی
	X1	ماشین آلات قدیمی	سال تولید
	X11	تنظیمات فنی دستگاه	کارشناس فنی
	X8	رطوبت زنی	رطوبت سنج
عوامل وزن محصول	X10	طول محصول	کولیس
	X5	ماشین آلات قدیمی	سال تولید
	X3	تعداد اپراتورها	تعیین توسط مسئول

X13	رطوبت محصول	رطوبت سنج	
X16	وزن زیاد	ترازوی دیجیتالی	

در ادامه مراحل متغییرهای که در ایجاد هزینه های کیفیت شرکت تاثیر گذار هستند، در سیستم مذکور تعریف و ثبت شده اند. لذا طریقه جمع آوری اطلاعات برای متغییرهای منتخب تشریح میشود:

الف. سیستم خنک کاری

این متغییر موجب تولید محصول با رطوبت مناسب در مراحل اولیه فرآیند می شود و توسط اپراتور و کارشناس فنی تنظیم میگردد. نتایج آنالیز این سیستم در هر بار نمونه گیری ثبت می شود و در فرمهای مربوطه نگهداری و گزارش می شود .

ب. رطوبت محصول

رطوبت محصول یکی از پارامترهای مهم در فرآیند تولید می باشد و توسط سیستم رطوبت زنی و اپراتورهای مربوطه تنظیم میگردد. این معیار نقش اساسی در هزینه های شکست داخلی دارد.مقادیر این متغییر در گزارشهای روزانه و هفتگی ثبت می شود. نظر به اینکه رطوبت محصول دارای حدود استاندارد می باشد لذا انحراف از حدود مورد نظر موجب افزایش محصولات معیوب و هزینه های کیفیت میشود.

پ. تعداد اپراتورها

این معیار نیز نقش مهمی در کاهش محصولات معیوب و هزینه های کیفیت در کلیه مراحل تولید دارد و در قسمت های مختلف تولید تعداد اپراتورها با توجه به نیاز متفاوت بوده و توسط مسئولین واحدها و بر اساس نیاز تعیین میگردد.

ت. طول محصول تولیدی

طول محصول برای تولیدات مختلف متغییر و متفاوت بوده و بر اساس مشخصات فنی تعریف شده توسط کارشناسان برنامه ریزی مرکزی تعیین میگردد.توجه به این معیار با توجه به اثر گذاری بر هزینه های شکست داخلی در صرفه جویی شرکت موثر میباشد.

ج.وزن زیاد

این متغییر نیز بر اساس مشخصات فنی تعریف شده برای هر محصول توسط واحد برنامه ریزی مرکزی تعیین میشود. وزن هر نوع محصول در فرمهای مربوطه ثبت میشود. وزن زیاد موجب عدم انطباق محصولات میشود لذا این معیار موجب افزایش هزینه های کیفیت شده و باید در محدوده استاندارد تنظیم شود.

۱۱. بررسی و صحه گذاری علل ریشه ای با استفاده ازروشهای آماری مناسب

برای شناسایی علت های ریشه ای ایجاد کننده ضایعات و هزینه های کیفیت در این تحقیق توسط مطالعات کتابخانه ای و نظرات کارشناسان تولید، خصوصا نتایج به دست آمده از نمودار استخوان ماهی که قبلا ذکر شد استفاده کردیم. در ادامه با استخراج عوامل مهم و مقادیر آنها، میزان ضایعات یا درصد کالاهای معیوب متاثر از این عوامل را مطابق جدول(۴) محاسبه کرده ایم.

جدول۴ : درصد ضایعات(معیوب) همرا با علل آن

ضایعات	وزن	طول	رطوبت	تعداد اپراتور
18%	780	56	12/7	2
22%	810	63	11/2	3
24%	580	73	11	1
26%	860	73	10/7	1
17%	۷۶۰	56	13	4
19%	800	63	12/5	2
17%	770	56	13/5	4
22%	810	63	11/5	3

در مرحله بعد ضریب همبستگی پیرسون را برای این عوامل توسط نرم افزارMinitab برآورد میکنیم تا معلوم گردد کدام عامل ها ،علت ریشه ای برای میزان ضایعات می باشد؟در ادامه به بررسی این عوامل پرداخته میشود:

۱.۱۱.آنالیز همبستگی

۱.۱.۱۱. آنالیز همبستگی تعداد اپراتور و میزان ضایعات (کالاهای معیوب)

Correlation: defect_1; oprator
Pearson correlation of defect_1 and oprator = -0.944
P-Value = 0.000

با توجه به نتایج آزمون و مقدار P-Value (کمتر از ۰۵/)متغییر تعداد اپراتور، علت ریشه ای برای میزان ضایعات می باشد.مقدار ضریب همبستگی برای این عامل منفی است بنابراین نتیجه گیری می شود که با کاهش تعداد اپراتور، میزان محصولات معیوب افزایش می یابد.

۲.۱.۱۱. آنالیز همبستگی رطوبت توتون و میزان ضایعات (کالاهای معیوب)

نتایج آزمون عبارتند از :

Correlation: defect; rotobat
Pearson correlation of defect and rotobat = -0.971
P-Value = 0.000

با توجه به نتایج آزمون و مقدار P-Value متغییر رطوبت توتون علت ریشه ای برای میزان ضایعات می باشد. نکته اینکه مقدار ضریب همبستگی برای این عامل منفی است، بنابراین نتیجه گیری می شود که با کاهش رطوبت توتون از مقادیر استاندارد،میزان ضایعات و بالطبع هزینه های شکست داخلی افزایش می یابد.

۳.۱.۱۱. آنالیز همبستگی وزن محصول و میزان ضایعات

نتایج آزمون عبارتند از :

Correlation: defect; vazn
Pearson correlation of defect and vazn = 0.936
P-Value = 0.001

با توجه به نتایج آزمون و مقدار P-Value متغییر وزن محصول،علت ریشه ای برای میزان ضایعات می باشد. نکته اینکه این علت مربوط به محصول میانی است .

۴.۱.۱۱. آنالیز همبستگی طول محصول و میزان ضایعات

Correlation: defect_1; tool
Pearson correlation of defect_1 and tool = 0.941
P-Value = 0.000

با توجه به نتایج آزمون و مقدار P-Value متغییر طول محصول، علت ریشه ای برای میزان ضایعات می باشد.

۱۲. طراحی آزمایشات با روش تاگوچی

در این پژوهش طراحی آزمایشها طبق روش آماری تاگوچی پایه گذاری شده است. قبل از طراحی، فاکتورهای مؤثر همراه با سطوح مورد نظر آنها شناسایی و تعیین شدند، فاکتورهایی که در فرایند ایجاد میزان ضایعات و هزینه های کیفیت در نظر گرفته شده اند عبارت اند از: رطوبت توتون، تعداد اپراتورها، وزن توتون، طول محصول. با توجه به زیاد بودن تعداد فاکتورهایی که باید بررسی میشدند، انجام یک مرحله غربالگری بر اساس نتایج تکنیک تحلیل حالات بالقوه شکست و با استفاده از تجربیات کارشناسان ضروری بود. به این معنی که ابتدا ۸ فاکتور در۳ یا ۲سطح مورد بررسی قرار گرفتند. بعد از نتیجه گیری توسط روش های آماری (آنالیز همبستگی)و شناسایی مؤثرترین فاکتورها، مطابق جدول ۵ بررسی فاکتورها(در۳ سطح با۴عامل)صورت گرفت.

جدول۵ : عوامل موثرو سطوح در نظر گرفته شده برای هر عامل

تعداد عامل	نوع عامل	نماد	سطح۱	سطح۲	سطح۳
۱	وزن توتون	Toton	740	۸۱۰	۸۶۰
۲	طول	Tool	۷۳	۶۳	۵۶
۳	تعداد اپراتور	Tedad	۱	۲	۳
۴	رطوبت	Rotobat	۱۱/۵	۱۲/۵	۱۳/۵

۱.۱۲. آرایه های اورتوگونال مورد استفاده

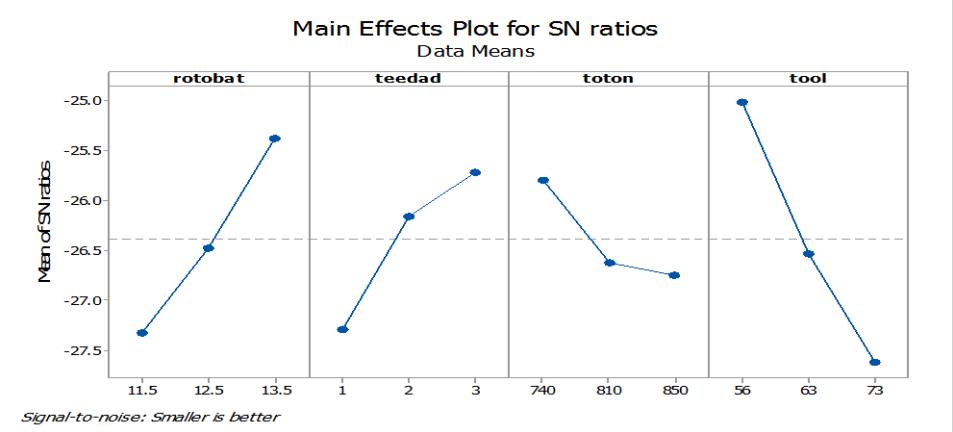
طراحی یک آزمایش شامل انتخاب مناسبترین آرایه ارتوگونال، تعیین فاکتورها با ستونهای مناسب و نهایتا موقعیت آزمایشها (شرایط آزمایش) میباشد. آرایه های ارتوگونال فرآیند طراحی آزمایشها را سهولت می بخشند[16]. برای تعریف و تجزیه و تحلیل داد ه ها، گام بعدی به طراحی ماتریس آزمایش ها اختصاص دارد و برای کنترل پارامترها آرایه متعامد مناسب را انتخاب میکنیم در این مطالعه ۳ سطح از عوامل در نظر گرفته شد و با کمک نرم افزار تعداد ۹ آزمایش بدین منظور تعیین گردید. آزمایش های ایجاد میزان ضایعات با به کارگیری ۹ سری آزمایش با ۲بار تکرار، که ترکیبی از۴ عامل در۳سطح می باشد انجام شد و نتایج به دست آمده از هر مجموعه آزمایش ها به صورت درصد ضایعات نشان داده شده است(جدول۶). با توجه به محدودیت در اجرای آزمایشات، این آزمایش درشرایط کارکرد تولیدی، زمان توقف تولید و با استفاده از تجارب و اطلاعات به دست آمده از کارکردهای سالهای قبل طراحی شده است و نزدیکترین ارقام به واقعیت فرآیند تولید، برای متغییر پاسخ نوشته شده اند. برای تجزیه و تحلیل نتیجه ها درتمام مراحل از نرم افزار Minitab17 استفاده شده است.

جدول۶: آرایه L۹ همراه با نتایج آزمایش

شماره آزمایش	toton	tool	Tedad	rotobat	Res1	Res2
1	1	1	1	1	۲۷.۵٪	۲۸٪
2	1	2	2	2	۲۳.۵۳٪	۲۳.۷٪
3	1	3	3	3	۱۹٪	۱۹.۲۵٪
4	2	1	2	3	۲۰٪	۲۱٪
5	2	2	3	1	۲۴.۵٪	۲۴.۷۴٪
6	2	3	1	2	۱۸.۵۸٪	۱۸.۴۵٪
7	3	1	3	2	۲۱.۶۳٪	۲۲٪
8	3	2	1	3	۱۴.۸۲٪	۱۴٪
9	3	3	2	1	۲۰.۷۱٪	۲۰٪

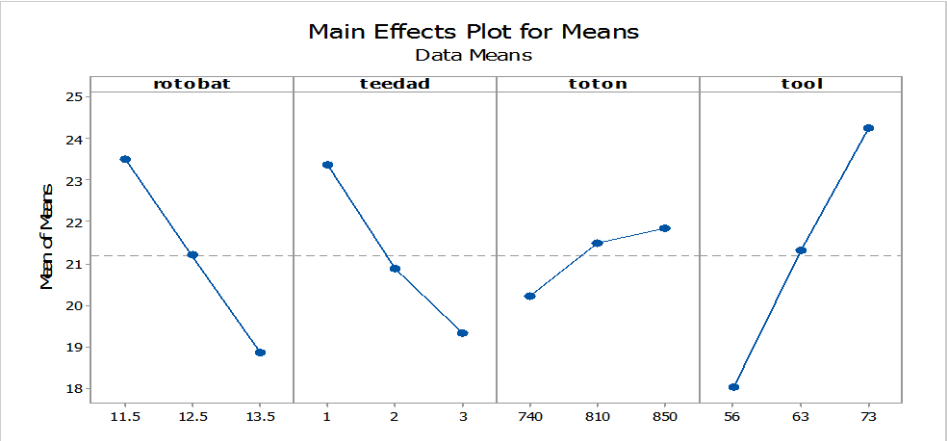
۲.۱۲. یافته های حاصل از تجزیه و تحلیل داده ها توسط نرم افزار

پس از طراحی آزمایشات و به دست آوردن مقدار پاسخ با توجه به اینکه هدف، رسیدن به کمترین مقدار میزان ضایعات یا تعداد کالاهای معیوب تولیدی است، با استفاده از نرم افزارMinitab، آزمایش بر مبنای- کمتر، بهتر است- محاسبه شده است. در تکنیک تاگوچی برای به دست آوردن شرایط بهینه در آزمایشات از نسبت S/N استفاده میشود. در هر آزمایش بالاترین مقدار S/N ، نشان دهنده این است که اثر پارامترهای قابل کنترل بیشتر از اثر پارامترهای غیر قابل کنترل است[17]. در نمودار ۵ با استفاده از نرم افزار مقدارS/N برای هر ۴ عامل محاسبه شده است. با توجه نمودار، عامل طول و رطوبت دارای بیشترین شیب و اثر میباشند. لذا استنباط میگردد که برای کمترین مقدار ایجاد ضایعات، عامل های رطوبت و تعداد کارکنان و طول در سطح۳ و وزن توتون در سطح ۱ قرار دارند.



نمودار۵: نمودار اثرات اصلی برای نسبت های سیگنال به نویز

در نمودار۶ توسط نرم افزار یک نمودار برای میانگین اثرات اصلی رسم میکنیم. در این نمودار مقادیر به دست آمده برای هر عامل، با مقادیر به دست آمده در نمودار مقادیرS/N برای هر عامل باید نسبت عکس داشته باشند تا نیازی به طراحی مجدد در آزمایشات نباشد، این اصل در نمودارهای ما برقرار است بنابراین لزومی به تکرار آزمایشات نداریم.



نمودار۶ : نمودار اثرات اصلی برای میانگین ها

در آخر آنالیز نتایج برای نسبت S/N محاسبه گردیده است(شکل۱)، در نتایج این شکل مشاهده می کنیم، توسط نرم افزارMinitab برای صرفه جویی میزان ضایعات و هزینه های کیفیت عامل های، طول، رطوبت، تعداد کارکنان و وزن توتون، در جدول پاسخ به ترتیب رتبه بندی شده اند که تاثیر گذاری این عوامل در ایجاد ضایعات و هزینه های کیفیت را نشان میدهد. نکته مهم اینکه اگر این عوامل درشرایط تولید و قسمت کارخانه در سطوح بهینه و مورد انتظار به طور مناسب اجرا و رعایت شود طبق خروجی نرم افزار، برای متغییر پاسخ مقدار ۱۲/۸۶٪ پیش بینی میگردد که عدد قابل توجهی است .

Taguchi Analysis: res۱; res۲ versus rotobat; teedad; toton; tool

Response Table for Signal to Noise Ratios
Smaller is better

Level	rotobat	teedad	toton	tool
۱	-۲۷,۳۲	-۲۷,۲۹	-۲۵,۸۰	-۲۵,۰۲
۲	-۲۶,٤۷	-۲٦,۱٦	-۲٦,٦۳	-۲٦,٥۳
۳	-۲٥,۳۸	-۲٥,۷۲	-۲٦,۷٤	-۲۷,٦۲
Delta	۱,۹٤	۱,٥۷	۰,۹٥	۲,٦۱
Rank	۲	۳	٤	۱

Response Table for Means

Level	rotobat	teedad	toton	tool
۱	۲۳,٥۰	۲۳,۳٦	۲۰.۲۲	۱۸,۰۱
۲	۲۱,۲۱	۲۰,۸۸	۲۱,٤۹	۲۱,۳۲
۳	۱۸,۸٦	۱۹,۳۳	۲۱,۸٥	۲٤,۲٤
Delta	٤,٦٤	٤,۰۲	۱,٦۳	٦.۲۳
Rank	۲	۳	٤	۱

شکل۱ : خروجی نرم افزار برای نسبتS/N و اثرات اصلی آزمایشات تاگوچی

۱۳. مراحل پیش بینی و صرفه جویی هزینه های کیفیت

پس از اجرای روش تاگوچی و تکنیکFMEA همراه با ارائه راه حل ها در کارخانه تولیدی، مراحل صرفه جویی هزینه ها در طی زمان نمایان می شود. در طراحی آزمایشات به این نتیجه رسیدیم که انجام کامل این تکنیک مقدار ضایعات تولیدی را تا ۱۳٪ کاهش میدهد اما اجرای کامل مراحل این تکنیک در کوتاه مدت امکان پذیر نیست. اما میتوان قسمت هایی از این طراحی را اجرا کرد که توانایی پیش بینی و صرفه جویی هزینه ها را خواهیم داشت. برای مثال با اجرای گزینه طول محصول(سطح ۳ نسبت به سطح۱) با فرض ثابت بودن بقیه مراحل در قسمت تولیدی کارخانه، میتوانستیم تا ۱۹۳۰ میلیون ریال با تولید۲۰۵،۰۰۰،۰۰۰ عدد، فقط برای یک محصول در سال۱۳۹۳ صرفه جویی داشته باشیم(اجرای این مرحله امکان پذیر است)، این صرفه جویی۴۷۰ میلیون ریال برای ۷ ماهه سال۱۳۹۴طبق محاسبات حسابداری میباشد، این مرحله جزو مراحل پیشگیری هزینه های کیفیت محسوب میشود.

از دیدگاه دیگر قادر به اجرای کامل مراحل طراحی آزمایشات در سطوح بهینه با توجه به مشکلات موجود نیستیم، ولی با اجرای سطح های مورد نظر مراحل آن در شرایط واقعی تولید قادر به پیش بینی و رعایت کاهش هزینه ها هستیم .برای مثال اگر در شرایط تولید، عوامل را در سطوح ۲ برای محصول نوع SS اجرا کنیم طبق محاسبات با تکنیک تاگوچی، مقدار ۲۱٪برای میزان ضایعات پیش بینی میگردد لذا ۸٪ از میزان ضایعات تولید کاسته میشود (با توجه به نوع محصول اجرای کامل تکنیک درسطوح بهینه دشوار می باشد) یعنی حدود ۲۶۰ میلیون ریال کاهش هزینه خواهیم داشت و در شرایط واقعی تولید نیز، این مقدار مشاهده میگردد. انتظار می رود با رعایت راه حل های ارایه شده شاهد کاهش بیشتری باشیم.

با همکاری واحد کنترل کیفیت در مرحله ارزیابی هزینه های کیفیت رطوبت محصولSS درمقایر بسیار نزدیک به سطح۳ تنظیم شده است(این شرایط امکان پذیر است) طبق برآورد، میزان ضایعات به۱۸٪ الی ۲۰٪میرسد بنابراین ۹٪ از میزان محصولات معیوب و ضایعات کاسته میشود(پیش بینی برای میزان ضایعات طبق تکنیک ۱۹/۳۴٪ است)که برای۷ ماهه اول سال جاری حدود۳۳۰ میلیون ریال صرفه جویی، فقط برای محصولSS درکاهش هزینه ها خواهیم داشت.

همزمان این آزمایش برای محصولsh درشرایط واقعی تولید نیز اجرا شده است، بنابراین همچنان رطوبت محصول در مقادیر نزدیک به سطح ۳ تنظیم میشود. با انجام محاسبات در این حالت مقدار ضایعات به ۱۳٪ کاهش می یابد یعنی تولید از این نوع محصول۴۵۰ میلیون ریال صرفه جویی برای شرکت در۷ ماه نخست سال دارد. این نتایج در جدول ۷ خلاصه شده اند. لازم به ذکر است تلاش میگردد تولید واقعی کارخانه برای هر محصول، در حال حاضر در محدوده سطوح ذکر شده انجام گیرد.

جدول۷: کاهش هزینه ها در اثر تکنیک تاگوچی برای دو محصول درمرحله ارزیابی

صرفه جویی	طول محصول	وزن توتون	تعداد اپراتور	رطوبت	سطوح عامل / محصول
۳۳۰میلیون ریال	۲	۲	۲	۳	ss
۴۵۰میلیون ریال	۳	۱	۲	۳	sh

همزمان با انجام موارد بیان شده، کنترل فرآیند آماری برای محصولات فوق نیز انجام شده است که منجر به کاهش هزینه های شکست داخلی تا سقف ۴۳۰ میلیون ریال میگردد. جدول۸ نتایج تحقیق برای صرفه جویی هزینه های کیفیت را نشان میدهد. نکته اینکه تمام اقدامات فوق در شرایط کارکرد شرکت با ظرفیت تولیدی کم انجام شده است، بدیهی است با افزایش ظرفیت تولید در صورت اجرا و رعایت تکنیکهای بکار رفته در این تحقیق، شاهد صرفه جویی و کاهش بیشتر هزینه های کیفیت خواهیم بود.

جدول۸: صرفه جویی هزینه ها

نوع صرفه جویی	مقادیر ریالی	مبنای محاسبه صرفه جویی
صرفه جویی هزینه ها در اثر روشهای پیشگیری	۷۳۰ میلیون ریال	هر عدد محصول میانی و نهایی
صرفه جویی هزینه ها دراثر روشهای ارزیابی	۷۸۰ میلیون ریال	هر کیلوگرم توتون
صرفه جویی هزینه ها در اثر روشهای کنترل فرآیند آماری	۴۳۰ میلیون ریال	هر عدد محصول نهایی
جـــــمع	۱۹۴۰ میلیون ریال	

۱۴- نتیجه گیری

برخلاف تصور، هزینه های کیفیت بخش مهمی از هزینه های شرکت تولیدی را تشکیل می دهد. صرفه جویی این هزینه ها نیازمند بکارگیری دانش و روشهای مناسب میباشد. در این تحقیق از طراحی آزمایشات تاگوچی که یک مرحله پیشگیری است و تکنیک تحلیل حالات بالقوه شکست برای این امر استفاده کردیم. قبل از طراحی، علل ایجاد کننده هزینه ها را در قسمت تولید با نمودارهای کمی و کیفی شناسایی نمودیم. همچنین با روشهای آماری تاثیر این عوامل را درکاهش هزینه های کیفیت تایید نمودیم. سپس آزمایشات تاگوچی را با سطوح مورد نظر در شرایط تولید طراحی کردیم.گرچه اجرای کامل این تکنیک دشوار می باشد، ولی ما بخشی از این مراحل را در سطوح تعیین شده در تولید واقعی اجرا کردیم که قادر به پیش بینی و صرفه جویی هزینه ها شدیم. برای مثال با اجرای این تکنیک، برای دو نوع محصول۷۸۰ میلیون ریال صرفه جویی درکاهش هزینه داشتیم. همچنین با اجرای این تکنیک در مرحله پیشگیری ۷۳۰ میلیون ریال برای۷ ماهه سال ۱۳۹۴در هزینه های شکست داخلی صرفه جویی ایجاد گردید. نهایتا درکاهش هزینه های کیفیت تا ۱۹۴۰میلیون ریال صرفه جویی ایجاد گردید، مهمتر اینکه در کلیه مراحل انجام شده از کیفیت محصولات کاسته نمیشود. مسلم است کارکنان قسمت تولید و مدیران شرکت در این زمینه نقش مهمی دارند، همچنین تداوم در اجرای این تکنیک برای شرکت در صورت افزایش ظرفیت تولید در ماههای آینده، باعث صرفه جویی بیشتر هزینه های کیفیت میشود.

۱۵. منابع

[1] غلامعلی رئیسی ، مهدی رئیسی،۱۳۸۳. بررسی هزینه های کیفیت در صنایع کوچک، دومین کنفرانس بین المللی مدیریت کیفیت، تهران، ایران.

[2] محمد یوسفی، ۱۳۹۱.هزینه یابی کیفیت، وبلاگ آخرین اخبار،تیر ماه، http://magazine.faraed.com.

[3] جمشید اقبالپور، علی اصغر رجبی،۱۳۸۶. هزینه یابی کیفیت،وب سایت بتسا، تابستان.

[4] علیرضا احمدی، ۱۳۹۳. تجزیه و تحلیل حالات خطا FMEA، سایت کافه مدیران، اردیبهشت. http://cafemodiran.com

[5] مهدی کرباسیان، ابوالفضل آقادادی،۱۳۸۵. شش سیگما و هزینه های کیفیت،چاپ اول.اصفهان:انتشارات ارکان دانش.

[6] رحمت اله محمدی پور،۱۳۹۳. هزینه یابی کیفیت به عنوان محرکی برای بهبود مستمر،سایت اطلاع رسانی صنعت، شهریور. www.myindustry.ir

[7] احمد گائینی،۱۳۸۹.کنترل کیفیت آماری،ویرایش اول،موسسه آموزش عالی آزاد پارسه،آبان ،صفحه۱-۱۷.

[8] پیتر پند، رابرت نیومن،کاوانا رولند،۱۳۸۵. راه شش سیگما، ترجمه امیر توفیقی، تهران: ناشر، موسسه کتاب مهربان نشر.

[9] حیدر میر فخرالدینی، عادل آذر،۱۳۹۲. شش سیگما رویکرد حل مسئله ،چاپ اول.یزد: انتشارات دانشگاه یزد.

[10] جی آرتور،۱۳۹۲. شش سیگمای ناب، ترجمه: ابوالفضل ولوی، ناصر حمیدی، تهران، انتشارات شهر آشوب.

[11] مینا معصومی، ۱۳۹۴. معرفی تکنیک FMEA واهداف آن، وبلاگFMEA . 1394www.fmea blogfa.com

[12] علیرضا میرشفیعی،۱۳۸۸. FMEAچیست؟،وبلاگ مهندسی صنایع،آبان. www.mirshafiei.blogfa.com

[13] رضا لطفی، ۱۳۸۹. روش DOE طراحی آزمایشات،سایت تخصصی و پروژه های مهندسی صنایع، بهمن ماه.

[14] احمد افسری،۱۳۹۳. طراحی آزمایشات به روش تاگوچی،مجله فنی مهندسی ساخت و تولید، شماره۲۵ ، صفحه-۱۴۰۱۳۲.-www.irmpm.com

[15] داگلاس مونتگومری،۱۹۹۶. کنترل کیفیت آماری،ترجمه رسول نورالسنا، چاپ یازدهم .تهران: انتشارات دانشگاه علم وصنعت ایران.
[16] ام چاندرا ،۱۳۸۹.کنترل کیفیت آماری.ترجمه احسان علوی راد. اصفهان:انتشارات دانشگاه آزاد شهرمجلسی.
[17] مصطفی زندیه، سیدتقی اخوان نیاکی،۱۳۷۸. بهینه سازی کیفیت از طریق طراحی پارامتر به روش تاگوچی، دومین کنفرانس ملی مهندسی صنایع، یزد،صفحه ۲۰۱-۲۱۴.
[18] Snieska Vytautas., Daunoriene Asta ., 2013. Hidden Costs in the Evaluation of Quality Failure Costs Inzinerine Ekonomika-Engineering Economics, 24(3), 176-186.
[19] Trehan Rajeev., 2013. Spending Behavior on Components of Cost of Quality, International Conference on Innovations in Engineering and Technology,Bangkok,Dec, 25-26.
[20] V. E Sower., R Quarles., & E Broussard., 2007. Cost of Quality Usage and its Relationship to Quality System Maturity. International Journal of Quality & Reliability Management,24(2),121-140
[21] Forrest George.,2015 . Quick Guide to Failure Mode and Effects Analysis, Tools&Templates ,september,. www.isixsigma.com
[22] Deborah L. Smith.,2015 .FMEA: Preventing a Failure Before Any Harm Is Done,. www.isixsigma.com
[23] Williams Tim., 2015. Minimizing Risks: How to Apply FMEA in Services , OCTOBER,. www.isixsigma
[24] S. Kamaruddin, Zahid A. Khan.,2010. Application of Taguchi Method in theOptimization of Injection MouldingParametersfor Manufacturing Products from Plastic Blend,IACSIT International Journal of Engineering and Technology, Vol.2, No.6,December ,PP. 574–580.