مدل کشف و بهبودِ خطاهای بحرانی در تولید لوله های گاز درزجوش مارپیچی(Spiral) بر پایه تکنیک FMEA و اصول تفکرناب

[1]؛ دکتر رضا توکلی مقدم[2]؛ محسن قانون[3] فاطمه جلیلی [4]فرشید نورمحمدی

چکیده

در حال حاضر به جهت افزایش فشارهای رقابتی، محدودیت منابع و با وجود نگرش جدید در رابطه با کیفیت، تولید کنندگان سعی در حذف هر گونه اتلاف، از داخل سیستم هایشان دارند که سبب کاهش هزینه های غیر ارزشی، توسعه و بهبود کیفیت محصول با قیمت رقابتی و پاسخگویی سریعتر و مؤثرتر به تقاضاها و انتظارهای مشتریان می شود.

در این تحقیق با اجرای گام به گام تکنیک FMEA (آنالیز حالات خطا و اثرات ناشی از آن) در ابتدا حالات بالقوه خطا در پروسه تولید لوله های خطوط انتقال گاز [به روش اسپیرال یا همان درز جوش مارپیچی] شناسایی شده و از نگاه مشتریان داخلی، اثرات و وخامت این خطاها مورد بررسی قرار گرفته است. در ادامه با ترسیم نمودار FTA (آنالیز درختی خطا) برای همگی خطا ها، علل ریشه ای مرتبط با هر خطا مشخص گردید و سپس بر اساس اصلِ 20-80 پارتو بحرانی ترین علت هر خطا تعیین گردید. در انتها با محاسبه RPN (درجه الویت ریسک) و اجرای روش ها و طرحهای بهبود [بر پایه اصول تفکرناب] برای بزرگترین RPN ها موفق به جلوگیری از بروز بحرانی ترین خطاها که منجر به فعالیتهای بدون ارزش افزوده از نگاه مشتری (NVA) مانند دوباره کاری و ضایعات می گردید، شدیم که کاهش در مصرف منابع، زمان سیکل و هزینه های تحمیلی را در بر داشت.

کلمات کلیدی

خطاهای بحرانی، FMEA، اصول تفکر ناب، آنالیز درختی خطا، علل ریشه ای، RPN، فعالیتهای بدون ارزش افزوده

A Model to Define and Improve Critical Failures in Spiral Gas Pipe's Production, Based on FMEA Technique and Principles of Lean Thinking

Dr. Reza Tavakkoli Moghaddam : Mohsen Ghanoon: Fatima Jalili : Farshid Nourmohammadi

ABSTRACT

Nowadays, because of increasing competition and also decreasing resources and existing a new aspect of quality; producers have to remove all types of waists from their systems that causes reduction in none productive costs; improving products'quality with competitive prices and a quick and efficient response to customers' demands and expectations.

In this research, we started step by step using FMEA (Failure Modes and Effects Analysis) technique in the gas pipe's production process [called spiral]. First we defined Potential Failure Modes and then we analysed their effects and severities on internal customers. we drew F.T.A (Fault Tree Analysis) diagram for each fault in order to find its root causes and selecting the most critical cause based on 20-80- pareto fact. Finally, by calculating RPN (Risk Priority Number) and implementing improvement plans we reached to a point avoiding critical failures were causing NVAs (NoneValue Added) like reworks and defects, which causes resource consumption, raising cycle times and unwanted costs.

KEYWORDS

Critical Failures - FMEA - Principles of Lean Thinking - Fault Tree Analysis - Root Causes - RPN - NoneValue Added

1. tavakoli@ut.ac.com
2. mohsenghanoon@yahoo.com
3. fatimajalili@yahoo.com
4. manager@ofogh.com

1- مقدمه

مطابق با آخرین تحقیقات 25% تا 40% از حاشیه سود صنایعی که در کلاس جهانی (Word Class) تولید می کنند؛ صرف هزینه های داخلی ضایعات (Internal failure costs) که شامل هزینه های مربوط به دوباره کاری ها، پرسنل درگیر و زمان سیکل طولانی تر می باشد میشود. با مطالعات بعمل آمده پیرامون روشهای شناسائی و تحلیل ضایعات و مقابله با آن و سوابق موفق موجود از بکار گیری تکنیک FMEA در شناخت دقیق و جامع از مسائل موجود در صنایع مختلف و تاثیر به سزای آن در پیگیری پروژه های بهبود، نهایتا این تکنیک با سودجوئی از اصول تفکر ناب در فرآیند حل مسئله بعنوان مناسب ترین گزینه به منظور جلوگیری از هزینه های غیر ارزشی (NVA[1]) در رابطه با تولید لوله های قطور گاز به روش اسپیرال انتخاب گردید؛ که در ذیل، در ابتدا تکنیک و تفکر تولیدی مذکور، معرفی گردیده و در ادامه با شرح مشکل مورد بررسی، نتایج بدست آمده از اجرای یک مدل کاربردی آمده است.

پایه های تکنیک FMEA در ارتش ایالات متحده امریکا و در نوامبر سال 1949 با معرفی روشی بنام MIL-P-1629 جهت کنترل حالات خطا، تأثیرات و نیز آناتیز بحرانی بودن آن شکل گرفت و در خارج از ارتش، در ابتدا در سال 1985 در صنعت هوا فضا (عملیات آپولو) بکار گرفته شد و پس از آن شرکتهای خودروسازی آمریکا همانند جنرال موتورز شروع به بکارگیری این تکنیک در صنایع خود کردند که این تلاش منجر به شکل گیری FMEA در سطح کلیه صنایع با نام اختصاری SAEJ-1739 شد. تفکر ناب نیز نتیجه حدود یک دهه تلاش آقایان جیمز ووماک و دانیل جونز از دانشگاه MIT آمریکا برای کشف رموز موفقیت سیستم تولید تویوتا یا همان TPS[2] که آقای تائیچی اوهنو در سراسر دهه های 1950 و 1960 رهبر شکل گیری آن در تویوتا بود، در قالب اصول و مفاهیم بنیادن می باشد. سرانجام نتیجه تحقیقات این دو در سال 1990 با معرفی یک فرآیند فکری پنج مرحله ای در کتابی به نام' ناب ماشینی که جهان را تغییر داد' تحت عنوان یک نگرش جدید تولیدی به جهانیان معرفی گردید.

در این تحقیق، تمرکز ما به روی جوش داخل و خارج لوله های اسپیرال (Spiral) خطوط انتقال گاز در سرتاسر درز جوش مارپیچی آنها به منظور افزایش کیفیت می باشد. با توجه به این موضوع که فرآیند جوش تا آنجا متأثر از پارامترهای گوناگون است که حتی متخصصین و کارشناسان تولید و کنترل کیفیت بعد از سالها تجربه، دلیل یا دلایل مرتبط با بعضی از خطاهای جوش را نمی توانند به درستی تشخیص دهند؛ سبب گشته تا خطاهای مرتبط با جوش در این صنعت، بسیاری از اوقات جزئی تفکیک ناپذیر از فرآیندهای تولید تلقی شوند که این ابهام در تشخیص دلایل که همان حلقه های مفقوده مسئله می باشند، منجر به سرگردانی و ماندگاری مکرر لوله های گاز در استپهای بازرسی و تعمیر متمادی و نهایتاً بسته شدن خط تولید شده و در پاره ای از اوقات نیز با صرف همه هزینه ها و فرصتهای از دست رفته، تعدد خطاها و نیز شدت اثرات ناشی از این خطاها به روی لوله [که گاهی می تواند ناشی از تعمیرهای مکرر بروی یک موضع خاص باشد] به حدی است که منجر به خروج لوله از بازهٔ مورد قبول مشتری مطابق با یکی از دو استاندارد پذیرفته شده شرکت گاز به نامهای API[3] و IPS[4] و تبدیل آن به لولهِ با گریدِ پائینتر (لوله آب) می شود که با افت درجه کیفی، کاهش شدید قیمت محصول را به همراه دارد. تنها شانس رهائی لوله از یک ضایعه غیر قابل جبران (مطابق استاندارد) این است که ضایعه در نزدیکی دو سر لوله واقع شده باشد که در این صورت با برش و کاستن از طول لوله (تا آن حدی که با توافق مشتری قابل اغماض می باشد) می توان قسمت آسیب دیده را حذف نمود. مطابق با آنچه گفته شد با توجه به اینکه امکان درمان(حذف ضایعه) تنها در موارد اندکی وجود دارد سعی در مطالعه بالینی به منظور شناسائی بیماری فرآیند و پیشگیری از آن شده است. هدف از تحقیق حاضر ارائه یک مدل کاربردی است که می تواند عیوب متعدد مشخص شده در لوله ها را بر اساس شناسنامه محصول بعنوان از یک منبع اطلاعاتی جامع و قابل اطمینان شده اند را از نگاه مشتریان داخلی (Internal Customers) الویت بندی نماید؛ به نحوی که بتوان بحرانی ترین آنها (CTQ[5]) را با استفاده از تکنیک FMEA شناسائی و بر پایه آموخته ها و اصول تفکر ناب و در قالب استراتژیهای میان مدت و بلند مدت پالایش نمود.

2- انتخاب نوع FMEA

در ابتدا لازم است تا شرایطی که اجرای FMEA در آنها توصیه می شود نام برده شود:

1- در زمان طراحی سیستم، محصول و یا فرآیند جدید.
2- زمانی که می خواهیم فرآیند های موجود را در محیط های جدید و با شرایط کاری جدید تجربه کنیم..
3- زمانی که می خواهیم طرحها و یا فرآیند های تولید و مونتاژ موجود را بهبود بخشیم.
4- به منظور بهبود مستمر.

موارد 3 و 4 بیانگر رویکرد ما در انتخاب نوع FMEA در این مقاله می باشند. به منظور برآورده نمودن خواسته های ما از فرآیند های کلیدی (مورد سوم) از PFMEA که یکی از 4 نوع FMEA موجود در زمینه های طراحی، فرآیند، سیستم و سرویس میباشد، استفاده شده است. این نوع از FMEA، عوامل بالفعل یا بالقوه خطا در فرآیندهای ساخت و مونتاژ را که منجر به تولید محصول نامناسب میگردد را شناسائی می کند و با تجزیه و تحلیل نظم یافته ای، فرآیندهای موجود را با کاهش ریسک خرابی، از طریق اجرای اقدامات اصلاحی و پیشگیرانه برای خطاها و نقص های آن غنی کرده و استحکام بخشیده و باعث کاهش نرخ خرابی میگردد که با توجه به ساختار گرائی و وجود یک فرآیند تکاملی در PFMEA، میتواند بعد از پایه گذاری، مرجعی برای بررسی و بهبود مستمر مشکلات فرآیند (مورد چهارم) گردد؛ که ما با بکارگیری اصول تفکر ناب همانگونه که در ادامه خواهد آمد به این هدف همگرا شده ایم.

3- فرآیند های کلیدی و مشتریان

در اولین گام، محدوده عملیاتی خود را که از ورود مواد اولیه به خط تولید شروع و به ایستگاه بازرسی نهائی ختم می شد را به دو بخش مجزا، به صورت زیر تقسیم نمودیم:

1- **فرآیندهای کلیدی**
2- **مشتریان داخلی**

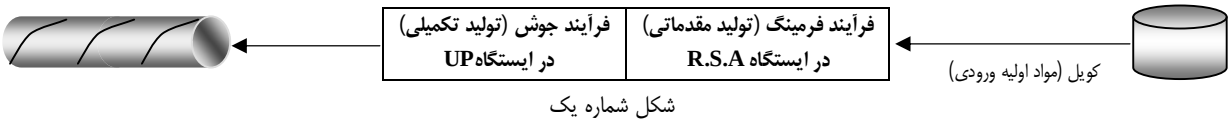
3-1- فرآیند های کلیدی

3-1-1- هدف از تعیین فرآیند های کلیدی

در واقع ما با جدا ساختن فرآیند های کلیدی خود از ایستگاههای عمدتاً کنترلی و اصلاحی؛ سعی در نمایان ساختن و بزرگ نمائی کارخانه ای پنهان (Hiden Factory) داشتیم که عادت کرده بود تولید خود را به هر قیمتی که شده در اختیار ایستگاههای بعدی قرار دهد. زیرا هر چه تیراژ تولید بالا می رفت به طبع پاداش بیشتری به پرسنل این ایستگاهها تعلق می گرفت. در اینجا ذکر این نکته ضروری به نظر می رسد که بارها در مقالات منتشر شده در زمینه تولید ناب، بر این موضوع تاکید شده است که ما با تولید بیشتر و پر کردن بافر (buffer) از موجودی در تولید انبوه مبتنی بر دسته و صف (batch and queue)، نه تنها کار خارق العاده ای انجام نداده ایم؛ بلکه تنها خط تولید را مملو از WIP[6] یا موجودی در حین ساخت کرده ایم. در مسئله مورد بحث، به جهت افزایش سرعت تولید و به دنبال آن کاهش نظارت بر کیفیت لوله های خروجی فرآیندهای کلیدی (فرآیند های بالای جریان)، عیوب متعددی دائماً در این موجودی ها بوجود می آمد و ایستگاههای کنترلی و اصلاحی را متحمل فعالیتهای اضافه (over processing) می کرد که از سوئی می بایست تا 25% (رقمی که در گذشته فکر می شد بین 3% تا 7% باشد) از سود حاصل از فروش لوله ها را صرف هزینه های مرتبط با بازرسی های متمادی التراسونیک (Ultrasonic) و تست های رادیو گرافی (Radiation Test) می کردیم و از سوئی دیگر بعد از مدتی با پر شدن ظرفیت ایستگاهها منجر به بسته شدن خط تولید و توقف طولانی لوله ها در انتظار باز شدن خط می گشت و در نهایت چون کار از ابتدا درست انجام نمی شد موجودی ها می بایست جریان ارزش به مراتب طولانی تر را با بوجود آمدن انواع اتلافها طی می کردند.

3-1-2- تعریف فرآیند های کلیدی

فرآیند های کلیدی در دو مرحله متمادی (همانگونه که در شکل شماره 1 نشان داده شده است) با ورود مواد اولیه به خط تولید و با توجه به تنظیماتی که در ابتدای هر سفارش صورت می گیرند، منجر به تولید و خروج لوله هایی مطابق با خواست مشتری می گردند.



شکل شماره یک

3-1-2-1- فرآیند فرمینگ (تولید مقدماتی)

در این فرآیند، بعد از اینکه کویل (ورق فلزی لول شده) باز و تنش گیری شد، با عبور از غلطکهای فرمینگ (Forming) و روی هم قرار گرفتن لبه های ورق که از داخل و خارج پخ خورده اند به روی یکدیگر به شکل ظاهری لوله درآورده می شود که در ادامه با استفاده از جوش co_2 که به آن جوش موقت نیز گفته میشود، از روی درز جوش داخل و خارج لوله جوش داده می شود.

3-1-2-2- فرآیند جوش زیر پودری (تولید تکمیلی)

لوله ها پس از خارج شدن از فرآیند فرمینگ، در این فرآیند تکمیلی پیوسته (توقف مجاز نمی باشد) از روی درز جوش داخل و خارج لوله که قبلا به صورت موقت جوش داده شده است؛ از هر طرف توسط دو الکترود که یکی از الکترودها با تغذیه توسط جریان برق پیوستهِ DC باعث نفوذ بیشتر جوش شده و دیگری با تغذیه توسط جریان برق متناوبِ AC باعث شکل گیری گرده می شود؛ جوش دائم زیر پودری داده می شوند.

اتصال دائمی محل درز لوله بر اساس دستور العمل جوش (WPS[7]) از مراحل بسیار با اهمیت تولید لوله های اسپیرال می باشد که به صورت جوش زیر پودری با دستگاههای UP[8] انجام می پذیرد و لذا هر قدر تنظیمات تجهیزات دستگاههای UP بطور دقیق و صحیح انجام شود، بهبود و ارتقاء کیفیت جوش را بدنبال خواهد داشت؛ که البته ما با بررسی فرآیند قبلی (فرآیند فرمینگ) همانگونه که در ادامه خواهد آمد به دنبال کشف تمامی علل نهفته (underlying causes) و تا ثیر آنها به روی فرآیند جوش هستیم.

3-2- مشتریان داخلی

برای انجام این تحقیق و به منظور نمایان ساختن روابط علت و معلولی (cause and effects) در مسیر ساختاری مناسب چون FMEA از تیمی متشکل از کارشناسانی که هر کدام در زمینه کاری خود دارای دانش و تجربه کافی بودند استفاده گردید؛ که یکی از نتایج ارزنده آن، رسیدن به تعریف جامع و دقیقی از مشتری [که هم در FMEA و هم در تفکر و تولید ناب از نقش محوری برخوردار هستند] تحت عنوان کلی مشتریان داخلی می باشد. این نوع تعریف شده از مشتریان، که مطابق جدول شماره یک به ترتیب در ایستگاه های بازرسی چشمی تا بازرسی نهائی مستقر می باشند با توجه به برخورد هر روزه و مداوم خود در طی زمان (سعی گردید تا از افراد با تجربه استفاده شود)، اولاً تجارب بسیار ارزنده ای از انواع خطاهای موجود در محصول (لوله) را دارا بوده و ثانیاً به دلیل گذراندن دوره های تخصصی و تکمیلی مختلف، نظر آنها از صلاحیت و ارزش فنی کافی برخوردار می باشد. سناریوی نوشته شده برای مشتریان داخلی [که خانواده ای از مشتریان را تشکیل می دهند] بر این منطق استوار است که، آنها در پائین جریان (down streams) نقش مشتریانی را بازی می کنند که لوله های خروجی از فرآیندهای کلیدی بالای جریان را گوئی خریداری کرده و با صرف زمان به منظور بررسی محصول خریداری شده؛ در صورت وجود عیب می بایست با صرف منابع در دسترس نیز به ترمیم آن بپردازند و گاه وخامت عیب مشاهده شده به حدی است که مجبور به کسر مقداری از آن با برش لوله می شوند و همچنین گاهی نیز با برآورده نشدن خواسته های آنها (در واقع خواست استاندارد) از محصول، مجبور به فروش لوله با قیمت پائینتر هستند که همگی این موارد نارضایتی آنها را به همراه دارد. همانطور که مشاهده می شود و قبلاً نیز اشاره شد، مشتریان داخلی تعریف شده علاوه بر حفظ منافع مشتریان خارج از سازمان تا حدود زیادی حافظ منافع تولید کننده نیز می باشند.

نام ایستگاه		عملیات
1	بازرسی چشمی	تشخیص عیوب و تست UT دو سر لوله
2	ZF6	تست RT دو سر لوله
1-3	تعمیرات جوش	سنگ
2-3		تعمیر
3-3		برش

نام ایستگاه		عملیات
4	هیدروتست	آزمایش مجدد
5	ZF8 و ZF9	تشخیص نقاط معیوب
1-6	MT	تشخیص ترک
2-6		تشخیص عدم نفوذ
7	ZF12	تست RT - از ZF9

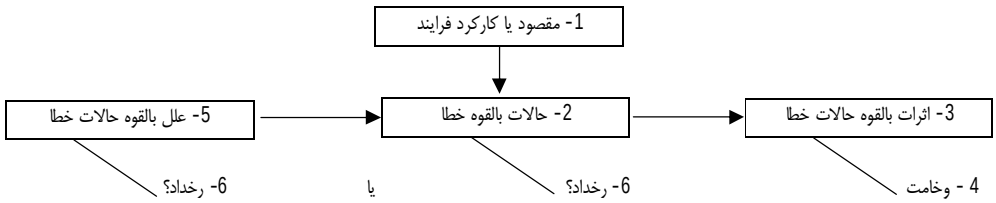
بازرسی جوش	ارجاء به بازرسی نهائی

بازرسی نهائی	تایید مرحله دوم

جدول شماره یک (تذکر : اعداد بر حسب ترتیب قرار گرفتن ایستگاهها می باشند)

4- اجرای قدم به قدم Process FMEA

پس از شنا سائی محدوده عملیاتی فرآیند های کلیدی و معرفی مشتریان داخلی و خواسته های آنها و کارکردی که از محصول انتظار دارند، مطابق با شش قدم الگوریتم نشان داده شده در شکل زیر، پس از معرفی کارکرد فرآیند در ابتدا به حالات خطای موجود در فرآیند کلیدی جوش و میزان وقوع مربوط به آنها پرداخته و سپس به بررسی اثرات و وخامت این خطاها از منظر مشتریان داخلی و در نهایت به شناسائی علل، در فرآیند های کلیدی جوش و فرمینگ می پردازیم.



شکل شماره دو

4-1- شناسایی کارکرد فرآیند

تمامی آنچه که از خروجی فرآیند های کلیدی (لوله)، مطابق با خواسته های استانداردهای API و IPS که پرسنل کنترل کیفی در میان مشتریان داخلی متولیان آن هستند؛ انتظار میرود را کارکرد محصول می نامیم..

4-2- شناسایی حالات بالقوه خطا

در ابتدا رویکرد های مختلف برای شناسائی حالات بالقوه خطا در فرآیند جوش مورد بررسی قرار گرفته و سپس با انخاب یک سفارش روتین (1422mm) که پرسنل تمامی ایستگاهها در طی سالها تولید، از دانش و تجربه کافی در مورد آن سایز برخوردار بودند، شروع به جمع آوری اطلاعات مندرج در شناسنامه محصول در را بطه با خطاهای مر بوط به یک محدوده 1000 تائی از لوله ها به منظور درج در یک بانک اطلاعاتی گردید؛ که دلیل بررسی این تعداد از لوله ها در شرح ششمین قدم از الگوریتمی که در شکل دو معرفی گشت؛ بیان خواهد شد.

4-2-1- معرفی و گزینش رویکرد

برای شناسائی حالات بالقوه خطا، از دو رویکرد عملکردی و نرم افزاری استفاده می شود. در زیر شرح مختصری از هر یک از این دو نوع رویکرد و معایب و مزایای آنها آورده شده است.

4-2-1-1- رویکرد عملکردی

این رویکرد با منفی کردن فعل مربوط به کارکرد محصول، حالت خطا را معرفی می کند. این رویکرد معمول تر از رویکرد دیگر بوده و برای کسانی که به تازگی کار با FMEA را شروع کرده اند و بدرستی نمی توانند حالات خطا را شناسائی کنند، توصیه می شود.

به فرض اگر ما می خواستیم حالت خطا را با رویکرد فوق نشان دهیم؛ می بایست عنوان می کردیم که فرآیند در تولید یک لوله سالم یا به طور دقیتر فرآیند جوش سالم که از آن انتظار می رفت نا موفق بوده و با شکست مواجه شده؛ که نتیجه آن تولید یک لوله ناسالم بوده است که با توجه به کلی بودن عبارتِ ناسالم بودن و نبود یک تعریف فنی مشخص برای آن از این رویکرد استفاده نشده است.

4-2-1-2- رویکرد نرم افزاری *

این رویکرد بر خلاف رویکرد اول، نیاز به اطلاعات تفصیلی در رابطه با مشخصه های فرآیند مورد بررسی دارد و تنها مشکل آن، این است که نمی توان اثری که به روی مشتریان گذارده می شود را به راحتی معیین نمود که در اینجا این مشکل با وجود اشراف کامل مشتریان داخلی به روی خطاها و مستند شدن دقیق این خطاها در شناسنامه محصول و همچنین تشخیص اثر خطا ها به کمک دانش فنی بالا و تجحیزاتی که در اختیار دارند خود به خود منتفی می باشد و در نهایت از این رویکرد در تعیین حالات بالقوه خطا استفاده شده است.

4-2-2- پی ریزی بانک اطلاعاتی خطاها

با بررسی تمامی حالات خطای مشاهده شده در فرآیند کلیدی جوش که توسط بازرسان ایستگاه بازرسی جوش در شناسنامه های مرتبط با 1000 لولهِ کاندید شده ثبت گردیده بود؛ کل خطاهای متفاوتیکه (جمعاً 10 مورد) به روی جوش داخل و خارج اتفاق می افتاد (جدول شماره 2) و در مجموع 20 خطا شناسائی شد تا براساس آن یک بانک جامع از خطاهای شناسائی شده پی ریزی گردد.

1	اسپاتر	د	خ
2	مک و حفره در گرده	د	خ
3	گرده ا ضا فی	د	خ
4	گرده نا کا فی	د	خ
5	آندرکات	د	خ
6	سوختگی درز	د	خ
7	انحرا ف از درز	د	خ
8	عدم یکنوا ختی جوش	د	خ
9	عدم نفوذ جوش	د	خ
10	جوش دوبل	د	خ

جدول شماره دو

4-3- شناسایی اثرات بالقوه خطا

برای شناسائی اثرات بالقوه خطا و انعکاس ندای مشتریان (VOC[9]) سعی شد تا به محل واقعی انجام کار (gemba) رفته تا بتوانیم از نزدیک و با درج تمامی نقطه نظرات پرسنل در طی برگزاری جلسات طوفان ذهنی تمامی اثرات ممکن را شناسائی کنیم که آثار شناسائی شده عبارتند از: سنگ، تعمیر، برش، تستهای UT، RT ، MT و تبدیل لوله به گرید پائینتر.

4-4- تعیین شدت اثر (وخامت اثر)

برای تعیین شدت اثرات مربوط به خطاها از برآیند نظرات کارشناسان حوزه های مختلف کاری در تیم تشکیل شده با در نظر گرفتن عامل مهم هزینه و جداول زیر استفاده گردیده است.

	اثرات	درجه وخامت
1	سنگ	1
2	MT	2
3	UT	3
4	RT	4
5	تعمیر	5-7
6	برش	8
7	تبدیل لوله به گرید پائینتر	10

جدول شماره سه

امتیاز	شرح درجه بندی وخامت
1	اثر خطا مورد توجه مشتری قرار نمی گیرد
2	اثر خیلی ناچیز، مشتری متوجه آن می شود، اما این اثر موجب آزار و ناراحتی مشتری نمی گردد.
3	اثر ناچیز که باعث آزار مشتری می شود اما باعث نمی شود که مشتری درصدد بر طرف کردن آن بر آید.
4	اثر ناچیز که باعث ناراحتی وآزار مشتری می شود و مشتری در صدد بر طرف کردن آن بر آید.
5	اثر کم که باعث ناراحتی و آزار مشتری می شود ولی مشتری در پی رفع آن نیست.
6	اثر کم که باعث آزار مشتری می شود و مشتری در صدد بر طرف کردن آن بر می آید.
7	اثر معمولی که باعث کارکرد نادرست محصول می شود و یا اثر خطایی است که باعث تنزل ارزش محصول می گردد.
8	اثر مهم یک خطای بزرگ که ایمنی مشتری را به خطر نمی اندازد و هزینه زیادی به دنبال ندارد.
9	اثر بحرانی که باعث نارضایتی مشتری می شود، کارکرد طرح را متوقف می سازد،هزینه بالایی به دنبال دارد و ایمنی مشتری را به خطر می اندازد (البته خطرات جانی در پی ندارد).
10	اثر بسیار خطرناک که خطر جانی بدنبال داشته یا کارکرد طرح را کاملا متوقف می کند و یا هزینه های بسیار گزاف خطا برای سازمان بوجود می آورد.

جدول شماره چهار

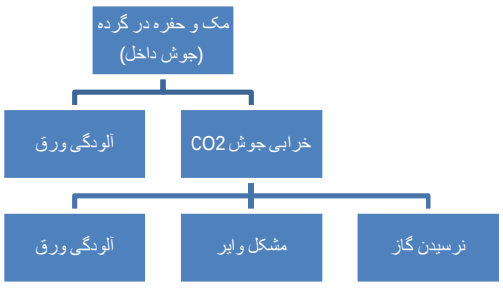
5- شناسایی علل بالقوه حالات خطا

5-1- تعریف علل ریشه ای (Root Cause)

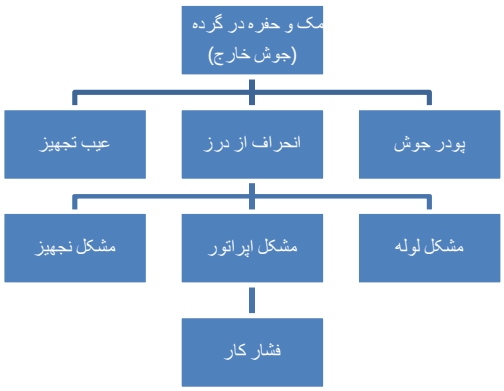
با توجه به تعبیرهای مختلف از علل ریشه ای در ابتدا لازم بود تا تعریف واضحی از این علل ارائه گردد.
تعریف کلیدی علل ریشه ای: تنها علل اندکی هستند که در بوجود آوردن اکثر خطا هائی که شناسائی می شوند سهم عمده ای دارند که این علل همان علل ریشه ای هستند؛ این علل را میتوان در ماهیت طرح، تامین کنندگان و فرآیند ها ی کلیدی جستجو نمود.

5-2- استراتژی استخراج علل ریشه ای با استفاده از ابزارهای پشتیبان

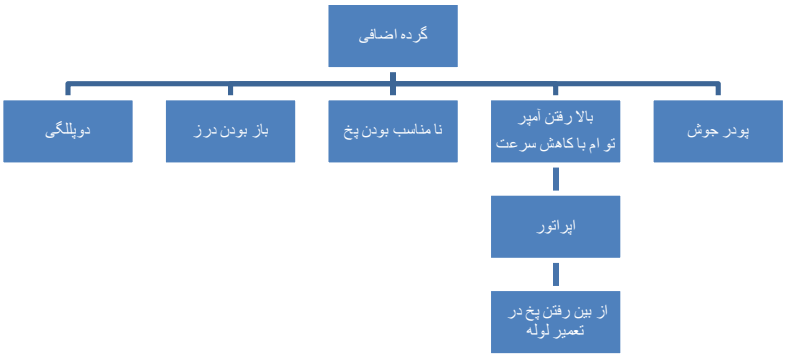
با استفاده از آنالیز درختی و اصل 20-80 پارتو علل ریشه ای مربوط به تمامی خطاها مطابق الگوریتم زیر تعیین گردیده است.
1- بررسی کلیه علل با برگزاری جلسات طوفان ذهنی و بر اساس روش 5why که تا پنج علت به صورت متوالی پرسیده می شود در میان سرپرستان تولید مستقر در فرآیندهای کلیدی.
2- سازماندهی نتایج حاصل از جلسات در قالب نمودار آنالیز درختی عیب.
3- مشخص نمودن علل ریشه ای در هر سطح از آنالیز درختی عیب با دوایر و رسیدن به ریشه ای ترین و در واقع بحرانی ترین علت بر اساس منطق 20-80 پارتو (pareto) و با مد نظر قرار دادن این مطلب که کاهش عیوب به مراتب سهل تر ا ز حذف آنهاست, عیوبی که بیشترین $DPMO^{10}$ رابه خود اختصاص داده بودند, به عنوان کاندیدای بهبود معرفی گشتند
4- وارد نمودن بحرانی ترین علت ها در جدول.
در ادامه نمودارهای FTA مربوط به تمامی حالات خطای شناسائی شده به ترتیب آمده است.



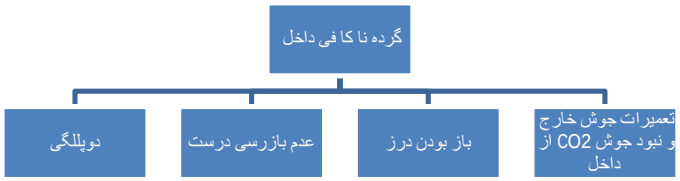
نمودار شماره 1



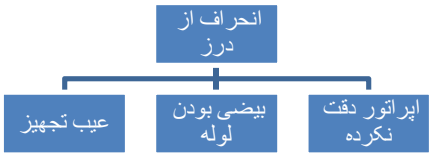
نمودار شماره 2



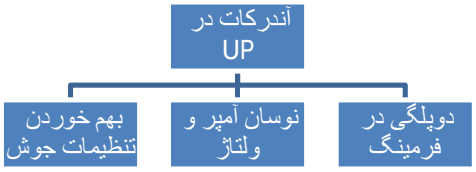
نمودار شماره 3



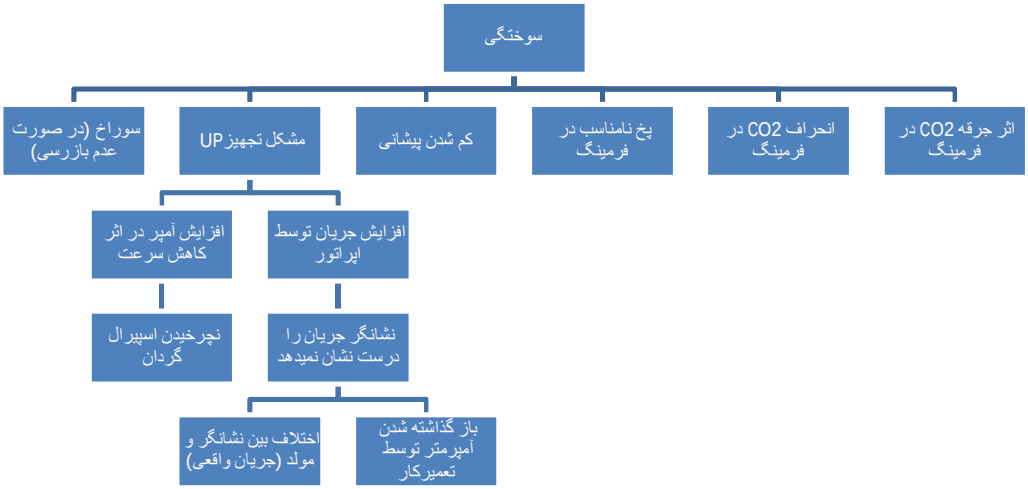
نمودار شماره 4



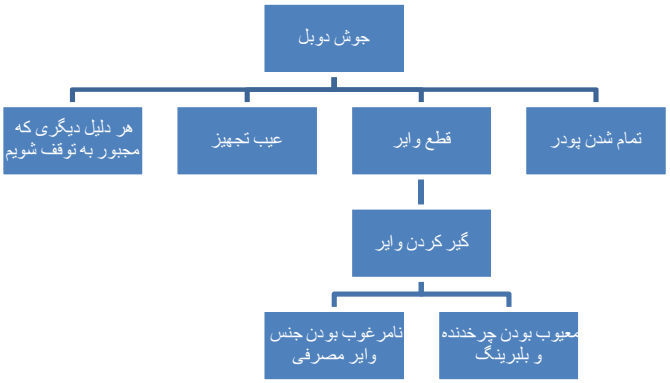
نمودار شماره 5



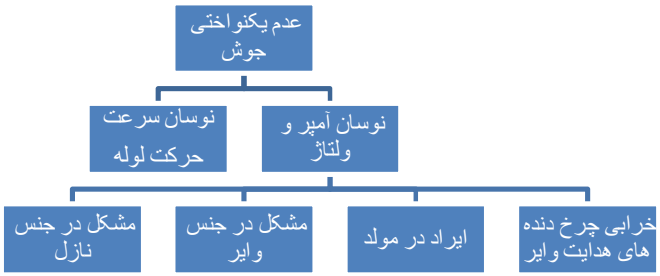
نمودار شماره 6



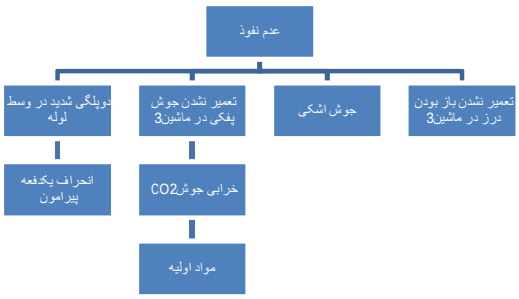
نمودار شماره 7



نمودار شماره 8



نمودار شماره 9



نمودار شماره 10

6- محاسبه احتمال رخداد حالات خطا

به منظور اینکه درصدهای رخداد خطاها بیانگر معیاری برای ارزیابی سطح کیفیت سازمان نیز باشد با معرفی شاخص DPMO، درصدهای مربوط به رخداد خطاهای موجود به روی 1000 لوله که تقریبی از یک میلیون فرصت برای تولید می باشد را محاسبه کردیم. در الگوریتمی که پیش از این در شکل شماره دو معرفی شد، مرحله ششم که همان محاسبه رخداد می باشد در دو مسیر جداگانه نشان داده شده است که اشاره به دو روش برای بدست آوردن احتمال رخداد دارد. در روش اول که دقیقتر از روش دوم می باشد؛ احتمال رخداد حالت خطا (خرابی) را محاسبه و سپس به دنبال علل ریشه ای می گردیم و در روش دوم، علل رخداد خطا را معیین و احتمال رخداد هر یک از علل را محاسبه کرده و در کنار هر علت، احتمال مربوط به آن را در جدول می آوریم که با توجه به اینکه در این روش مسیرهای جداگانه ای را برای هر خطا تا رسیدن به علل ریشه ای متصور می شویم کنترل بیشتری به روی ریشه ها صورت می گیرد ولی با توجه به اینکه در روش اول تخمین دقیقتری از خطا بدست می آید ما از این روش استفاده کرده ایم.

احتمال مربوط به علل مربوط به خطاهای فرآیند فرمینگ را نیز برای بررسی آتی در مورد میزان بهبود در اولین فرآیند کلیدی آورده ایم. شایان ذکر است که با توجه به حدود بالا و پائین احتمالهای بدست آمده در جداول چهار و پنج و شش، اعداد 1 تا 10 به آنها تخصیص یافته (آورده نشده) تا در محاسبه RPN از آنها استفاده گردد.

احتمال وقوع خطاهای فرآیند فرمینگ

انحراف پیرامون	دفرمگی	مواد اولیه	دوپلگی	باز بودن درز	سوراخ	اثر جرقه	پلیسه	ریزش	خرابی جوش CO_2	جوش اشکی	جوش پفکی	مک و حفره
2%	33%	13%	5%	2%	5%	8%	19%	1%	95%	1%	2%	3%

جدول شماره پنج

احتمال وقوع خطاهای فرآیند جوش

اسپاتر		مک و حفره در گرده		گرده اضافی		گرده ناکافی		آندر کات		سوختگی درز		انحراف از درز		عدم یکنواختی		عدم پیوستگی جوش		جوش دوبل	
د	خ	د	خ	د	خ	د	خ	د	خ	د	خ	د	خ	د	خ	د	خ	د	خ
2%	13%	3%	1%	2%	4%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	3%	1%	5%	6%	1%	1%	11%	11%

جدول شماره شش

7- محاسبه احتمال حالت خرابی مشاهده نشده

برای تعیین این احتمال از نظر سرپرستان کنترل کیفی و محاسبه خطای انسان و ماشین استفاده گردیده که نتایج در جدول زیر آورده شده.

احتمال وقوع حالت خرابی مشاهده نشده در فرآیند جوش

اسپاتر		مک و حفره در گرده		گرده اضافی		گرده ناکافی		آندر کات		سوختگی درز		انحراف از درز		عدم یکنواختی		عدم پیوستگی جوش		جوش دوبل	
د	خ	د	خ	د	خ	د	خ	د	خ	د	خ	د	خ	د	خ	د	خ	د	خ
0.5%	1%	0%	**1%**	1%	1%	0.4%	0%	0%	0%	0%	0%	0.7%	0.1%	0.8%	0.5%	0.2%	0.3%	1%	0.3%

جدول شماره هفت

8- محاسبه **RPN**

اعداد بدست آمده (از 1 تا 10) برای پارامتر های رخداد، شدت و احتمال کشف را برای حالات خرابی مختلف محاسبه کرده و سپس با ضرب درجات این سه عامل در یکدیگر، نمره اولویت ریسک برای هر الگوی شکست بالقوه و آثار آن به نام RPN بدست آمد که با تعیین الویت (با توجه به نمره بدست آمده) اعمال اصلاحی مانند کنترل و اصلاح سرچشمه ها (Upstream Controling) و پیشگیرانه مانند بکارگیری اصل ارفاق (Forgiving Principle) با تنگ کردن حدود تلرانس در فرمینگ به انجام رسید که این عمل را تا زمانی که RPN حاصله به Min مقدار ممکن کاهش دهیم، ادامه دادیم.

نتیجه گیری

در مسئله مورد بحث در این تحقیق با کمینه کردن و حذف پیوسته اتلافهائی (moda) مانند دوباره کاری ها و ضایعات و ایجاد ارزش از طریق آموزش پرسنل به عنوان ارزشمند ترین منابع سازمان به منظور استفاده مو ٔثر و بهره ور از تجهیزات و ماشین آلات تولیدی، محصولی به مراتب با کیفیت تر تولید شد که با مصرف کمتر منابع مرتبط با مشتریان داخلی کاهش قیمت تمام شده را برای تولید کننده و به طبع با کاهش حاشیه سود به منظور افزایش توان رقابتی، کاهش قیمت تمام شده را برای مشتریان خارجی به همراه داشت و با عبور نکردن محصول از ایستگاههای شناسائی و اصلاح و تعمیر و در حقیقت کوتاه شدن جریان ارزش، موجب حرکت پیوسته تر، افزایش راندمان تولید و در نتیجه کاهش زمان تحویل سفارش به مشتری شد. با برگزاری جلسات نیم ساعته (قبل از پایان شیفت) در انتهای شیفت کاری برای تبادل نظر به روی مسائل اتفاق افتاده در طول شیفت بین سرپرستان ایستگاههای مختلف و همچنین اجرای کارگاههای کایزن و پائین آوردن سرعت فرآیندهای کلیدی و فدا نشدن کیفیت (سرعت بالا وکیفیت پایین درنتیجه تولید فشاری متاثر از تفکر تولید انبوه می باشد) حرکت پیوسته تری ایجاد شد که نتایج زیر را در بر داشت:

1- **21% پیشگیری از هزینه هائی که با کاهش کیفیت تحمیل می شد.**
2- **30% کاهش موجودی در حال ساخت که منجر به پر شدن ظریفت ایستگاه ها و بسته شدن خط می شد.**
3- **11% بهبود بهره وری.**
4- **30% بهبود در جلوگیری از برگشت موجودی.**
5- **12% بهبود در 1st time quality(محصول بدون عیب).**
6- **20% بهبود در تحویل به موقع کالا.**
7- **80% بهبود مشارکت کارکنان در نظام پیشنهادات.**
8- **30% کاهش موجودی در حال ساخت.**

در نهایت، برنامه جامع بهبود سازمان در سطح بینش، تلاش و اجرا به قرار زیر به اجراء درآمد:

- **مستند سازی و مشاهده اجرای راه حل ها**
- **مدیریت عملکرد**
- **فعالیت های پیشگیرانه**
- **اصلاح و بازخورد**
- **کنترل نتایج مالی طرح**
- **تسهیم تجربیات و به اشتراک گذاشتن نتایج طرح**
- **ثبت نتایج و یافته ها**

مراجع

[1] دکتر رضایی، کامران؛ سیدی، مجید؛ نوری، بهروز؛ تجزیه و تحلیل حالات خطا و اثرات ناشی از آن، شرکت مشارکتی ار - و - توف ایران، تهران، چاپ دوم، 1384

[2] دکتر ربانی، مسعود؛ دکتر رضایی، کامران؛ معنوی زاده، ندا؛ عبادیان، محمود؛ تولید ناب: با تکیه بر اصول چهارده گانه تویوتا، شرکت مشارکتی ار - و - توف ایران، تهران، چاپ دوم، 1385

[3] Edward J. Dunn, MD, MPH; *"Healthcare Failure Mode and Effect Analysis"*, http://www.patientsafety.gov, 14.p, 2006

[4] Betsa *"SoftWare Failure Mods& Effect Analysis"*, http://www.wizact.com, 3.p, 2007

[5] Womak, J; P. Jones; D.T.; *Lean Thinking: Banish waste and create wealth in your corporation*, 1996

[6] Rother, Mike; Harris, Rick; *Creating Continuous Flow*, Lean Enterprise Institute, 2001.

[7] Sheng-Hsien, Teng; Shin-Yann, H; *"Failure mods& effect analysis, An integrated approach for product design and process control"*, International journal of Quality and reliability Management, vol 13, No 5, 1996 (USA)

[8] McDermott, Robin E., Raymond J. Mikulak and Michael R. Beauregard, *The Basics of FMEA*. Productivity Inc., United States, 1996.

Ohno, Taiichi; Toyota Production system: beyond larg scale production

زیر نویسها

[1] NVA: NoneValue Added

[2] TPS: TOYOTA Production System

[3] API: American Pipe Standard

[4] IPS: Iran Pipe Standard

[5] CTQ: Critical To Quality

[6] WIP: Work in Process

[7] WPS: Welding Procedur Standard

[8] UP: Under Powder

[9] VOC: Voice of Customer

[10] DPMO: Deffct Per Milion Opportunity