



استخراج و تحلیل خطاهای فرآیند تولید با استفاده از PFMEA

(مطالعه موردی: کارخانه قند کردستان)

محمد باغبانی^۱، سلیمان ایران زاده^{۲*}، مجید باقرزاده خواجه^۳

۱- گروه آموزشی مدیریت، واحد سقز، دانشگاه آزاد اسلامی، سقز، ایران.

۲- استاد، گروه آموزشی مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز، تبریز، ایران.

۳- استادیار، گروه آموزشی مدیریت، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز، تبریز، ایران.

اطلاعات مقاله	چکیده
تاریخ های مقاله:	هدف از این تحقیق شناسایی حالت های بالقوه خطا در فرآیند تولید کارخانه قند کردستان است. در این پژوهش ابتدا نقشه فرآیندهای سازمانی خط تولید با استفاده از منطق مدل سازی IDEF0 بطور دقیق استخراج شد تا تمامی جنبه ها و مراحل و فعالیت های فرآیند تولید قند از شکر خام بصورت شماتیک و تصویری مورد مطالعه دقیق قرار گیرد. سپس در قالب کار تیمی و در جلسات متعدد و تخصصی تعداد ۴۹ خطای اصلی و بالقوه موجود در تمامی مراحل و فعالیت های فرآیند تولید قند، شناسایی شد. در ادامه در جلسات متعدد میزان شدت خطا، احتمال وقوع خطاها و احتمال کشف خطاها تعیین و با استفاده از میزان RPN (نمره اولویت خطا) برای هر کدام از خطاها استخراج گردید. در ادامه علل اصلی و ریشه ای ۲۴ خطای اولویت دار بوسیله آنالیز درختی خطا (FTA) مشخص شد و باتوجه به علل خطاها، راهکارهای مناسب برای کاهش آثار خطاها مستندسازی گردید. در نهایت منشاء خطاهای فرآیندی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.
تاریخ دریافت: ۹۷/۰۳/۲۷ تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۹/۰۴	
کلمات کلیدی: PFMEA نقشه فرآیندها، IDEF0 درخت تحلیل خطا.	
DOI: 10.52547/fsct.18.02.09	
*مسئول مکاتبات: Dr.iranzadeh@yahoo.com	

۱- مقدمه

سازمان‌ها همواره بدنال دستیابی به میزان رضایت بخشی از کارایی و اثربخشی در انجام وظایف، فعالیت‌ها و فرآیندهای خود هستند، یکی از راهکارهای ارتقای اثربخشی و کارایی سازمان‌ها شناسایی مشکلات مختلف و تنگناهای متنوع و گسترده و نیز خطاهای ایجاد شده در فرایندهای مختلف تولیدی و غیر تولیدی و تلاش برای کاهش یا حذف اینگونه گلوگاه‌های موجود در سیستم است، از جمله مشکلات اصلی سازمان‌های صنعتی می‌توان به نرخ بالای زمان‌های بیکاری و توقف‌های بلند مدت و متعدد ماشین‌آلات و تجهیزات و نیز تأخیرهای مختلف در فرآیندهای تولید و عملیات، بروز خطاهای بزرگ و دردسر ساز و اشاره نمود، در واقع اغلب مشکلات سازمان‌های تولیدی ناشی از وقوع اشتباه و خطاهای با ریسک و آثار بالا در فرآیندهای مرتبط به تولید و عملیات است. تحقیقات گذشته نشان داده است که کاهش یا حذف حالات و آثار خطا در ماشین‌آلات و تجهیزات و افزایش سطح دسترسی، سطح کیفیت و سطح عملکرد آنها موجب ارتقای کمی و کیفی تولید محصولات و ارائه خدمات سازمانهای مختلف خواهد شد [۱ و ۲]. تولید با کیفیت اغلب کاری مشکل، زمان بر و با خطرات بسیار است، یکی از آن خطرات می‌تواند نقص (شکست) ایجاد شده در طول فرآیند تولید باشد. این مشکلات را تا حدودی می‌توان با ابزارها، تکنیک‌ها و روش‌های مختلف کنترل نمود، یکی از مشهورترین این ابزارها به منظور بهبود مستمر در محصول و فرایند تکنیک تجزیه و تحلیل حالات خطا و آثار آن (FMEA) است [۳ و ۴].

FMEA یکی از مهم‌ترین ابزارهای کیفیت برای تعریف، شناسایی و حذف خرابی‌های احتمالی، مشکلات و خطاها از سیستم، طراحی، فرآیند و یا خدمات برای بهبود کیفیت قبل از رسیدن محصول یا خدمت به دست مشتری می‌باشد [۵ و ۶].

در قالب این ابزار مفید انواع خطاهای موجود در مراحل مختلف تولید محصولات و ارائه خدمات شناسایی و ولویت‌بندی می‌گردد و برنامه‌های اجرایی و عملی جهت کاهش خطاها برای ارتقای وضعیت کمی و کیفی محصولات و خدمات سازمان‌ها تدوین می‌گردد. برای اینکه انواع خطاها و آثار آنها در بخش‌های مختلف یک سازمان تولیدی یا خدماتی مورد مطالعه قرار گیرد، از انواع متفاوتی از تکنیک FMEA

استفاده می‌گردد، یکی از انواع این ابزارها تجزیه و تحلیل حالات خطا و اثرات ناشی آن در فرآیند (PFMEA) است که برای تحلیل و ارزیابی شکست‌های بالقوه در فرآیند تولید و مونتاژ کاربرد دارد [۷-۹]. برای استفاده مناسب از این تکنیک باید در سازمان مراحل مختلف فرآیند تولید را به صورت کامل استخراج نمود. لذا برای پیاده‌سازی این تکنیک در کارخانه قند، ابتدا خلاصه مراحل لازم برای تبدیل شکر خام به قند به صورت زیر مدون گردید:

۱- تحویل شکر خام به انبار کارخانه: شکر خام به صورت فله در انبار مواد اولیه دپو می‌گردد.

۲- تشکیل شربت و انتقال آن به فرآیند تولید: شکر خام وارد مسیر حل کن می‌گردد و با مقداری آب با دمای مشخص ۷۵ تا ۸۰ درجه، مخلوط شده و در مخازن توسط میکسر حل می‌گردد؛ بوسیله بریکس متر، مقدار بریکس آن (درصد جامد در محلول) سنجیده می‌شود و در صورت بریکس پایین سرعت تسمه انتقال شکر خام بیشتر و در صورت بریکس بالا این سرعت کاهش می‌یابد و اگر مقدار بریکس بین ۵۷ تا ۶۰ باشد، پمپ ارسال محلول روشن می‌شود تا محلول وارد مسیر تولید شود.

۳- آهک‌زنی به شربت (دیفکاسیون) برای جداسازی ناخالصی‌های موجود در شربت

۴- اضافه کردن گاز کربنیک: در اثر ترکیب شدن آهک موجود در شربت و گاز کربنیک، کربنات کلسیم (CACO₃) ایجاد می‌شود. کربنات کلسیم ضمن رسوب کردن، همراه خود مقدار زیادی از ناخالصی‌های شربت را به رسوب تبدیل و عمل جداسازی درصد بالایی از ناخالصی‌ها را انجام می‌دهد.

۵- صاف کردن شربت

۶- رنگبری شرب با استفاده از رزین

۷- پخت شربت تا رسیدن به بریکس ۹۰ تا ۹۱ در دمای ۱۰۲ درجه

۸- ریختن قند پخت شده توسط کلکتور در قالب‌های چیده شده در واگن‌ها (قند سبز) و انتظار حدود ۳ ساعته

۹- گذاشتن قالب‌های قند سبز به داخل سانتریفوژ و چرخش سانتریفوژ با سرعت دورانی حدود ۸۷۵ دور در دقیقه

۱۰- خارج کردن کله‌های قند از قالب‌ها و انتقال پالت‌های قند به به گرمخانه با دمای ۷۰ تا ۷۵ درجه

۱۱- خارج کردن کله قندهای خشک شده پس از زمان انتظار

۱۲ تا ۱۳ ساعت

۱۲- شکستن قند بوسیله دستگاههای قند شکن و بسته بندی حبه های قند با دستگاه بسته بندی

در این تحقیق پس از شناسایی مراحل تولید، تمامی فرایندهای تولیدی بطور کامل و با تهیه نقشه فرآیند برطبق استاندارد IDEFO¹ و با نرم افزار IGrax مدل سازی و تحلیل شد و پس از شناسایی تمامی خطاهای بالقوه و منشأهای خطاها، برای اولویت بندی آنها در جلسات تخصصی و بصورت تیمی میزان شاخص RPN (عدد اولویت خطا) تعیین گردید. سپس با ترسیم تحلیل درخت خطا (FTA) علل ریشه ای ایجاد خطاهای اولویت دار شناسایی شد. در پایان باتوجه به منشأ خطاهای فرایند تولید، پنج فرضیه زیر مورد آزمون قرار گرفت: فرضیه ۱: تعداد مشکلات و خطاهای فرآیند با منشأ تجهیزات و ماشین آلات بیشتر از خطاهای با منشأ انسانی است.

فرضیه ۲: تعداد مشکلات و خطاهای با منشأ تجهیزات و ماشین آلات کارخانه بیشتر از خطاهای با منشأ روش تولید است.

فرضیه ۳: تعداد مشکلات و خطاهای با منشأ تجهیزات و ماشین آلات کارخانه بیشتر از خطاهای مرتبط به ترکیب مواد اولیه است.

فرضیه ۴: تعداد مشکلات و خطاهای با منشأ تجهیزات و ماشین آلات کارخانه بیشتر از خطاهای مرتبط به روش اندازه گیری است.

فرضیه ۵: تعداد مشکلات و خطاهای با منشأ تجهیزات و ماشین آلات کارخانه بیشتر از مجموع خطاهای با منشأ سایر عوامل در فرآیند تولید است.

۲- مواد و روش ها

ابزارهای مورد استفاده در این تحقیق بصورت زیر می باشند:

الف) FMEA

FMEA یکی از مشهورترین تکنیک های مدیریت کیفیت است که به منظور بهبود مستمر در محصول و فرایند بکار می رود. اولین استفاده رسمی از FMEA به اواسط دهه ۱۹۶۰ در صنعت هوافضا، خودروسازی و درخصوص مسائل مرتبط به سلامت و ایمنی بر می گردد [۱۳-۱۰]. از آن زمان به بعد

FMEA به ابزاری کلیدی بویژه در صنایع تبدیلی شیمیایی تبدیل گردید [۱۲] و بطور گسترده ای در آمریکا؛ اروپا و شرکت های تولید ژاپن مورد استفاده قرار گرفت [۱۰]. FMEA یک ابزار نظام یافته بر پایه کار تیمی است که در تعریف، شناسایی، ارزیابی، پیشگیری، حذف یا کنترل حالات، علل و اثرات خطاهای بالقوه در یک سیستم، فرآیند، طراحی یا خدمت بکار گرفته می شود، قبل از آنکه محصول یا خدمت نهایی بدست مشتری برسد به بیان دیگر FMEA یک روش تحلیلی در ارزیابی ریسک است که می کوشد تا حد ممکن خطرات بالقوه موجود در محدوده ای که در آن ارزیابی ریسک انجام می شود و همچنین علل و اثرات مرتبط با آن را شناسایی و امتیازدهی کند [۱۵ و ۱۴].

میزان اولویت هر کدام از حالات خطا در FMEA را با محاسبه عدد اولویت ریسک (RPN)^۲ در قالب حاصل ضرب سه مؤلفه شدت خطا (S)^۳، احتمال وقوع خطا (O)^۴ و احتمال کشف خطا (D)^۵ مشخص می کنیم [۱۰]. چون در این تکنیک درجه بندی هر کدام از سه مؤلفه مذکور بر اساس اعدادی بین ۱ تا ۱۰ می باشد، RPN محاسبه شده نیز می تواند عددی بین ۱ تا ۱۰۰۰ گردد، به عبارت دیگر:

$$RPN = S \times O \times D \quad \text{رابطه ۱}$$

هرچه عدد اولویت خطا به عدد ۱۰۰۰ نزدیک تر باشد نشان دهنده ریسک بالاتر و مهم تر بودن خطرات و شکست های ایجاد شده در فرایندهای تولیدی و خدماتی است و باید علت یا علل آن به سرعت توسط تیم FMEA بررسی شود [۱۳]. برعکس هرچه این عدد به سمت عدد صفر میل کند نشان دهنده آثار کمتر خطرات و شکست های بالقوه در سیستم است و اولویت کاهش یا حذف اینگونه خطاها در اقدامات اصلاحی پایین تر خواهد بود. برای تعیین میزان سه شاخص فوق درجه بندی های متفاوتی تعریف شده است، بطور کلی نحوه تعیین درجه بندی سه شاخص کمی شدت، احتمال وقوع و احتمال کشف بصورت جدول ۱ است:

هدف؛ روش شناسی و دیگر جزئیات این تکنیک بستگی به نوع آن دارد، در اکثر متون مرتبط FMEA در قالب چهار نوع Service FMEA, Design FMEA, System FMEA, PFMEA تقسیم بندی شده است [۴]. لازم به ذکر است این چهار نوع در مواردی با همدیگر ارتباط و تاحدودی همپوشانی دارند.

2. Risk Priority Number
3. Severity
4. Likelihood of Occurrence
5. Detection

1. Integration DEFinition 0

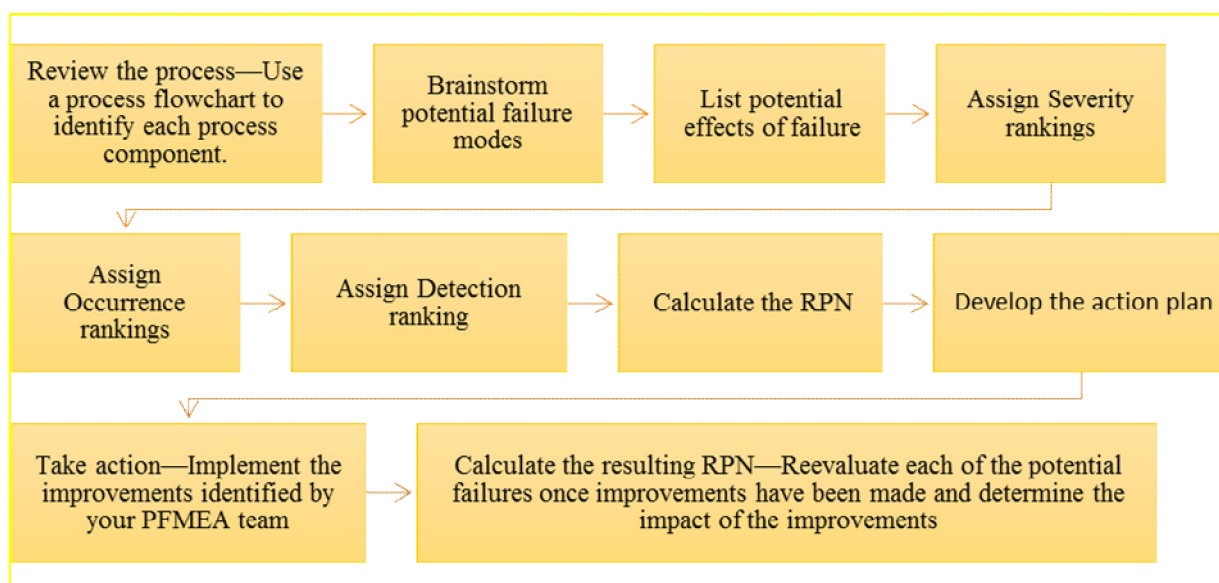
Table 1 Definite ranking for the severity, detection and occurrence of failures [1, 9, 16]

Ranking	Severity	Detection	Occurrence
1	Dangerous without warning	Absolutely low	Weak, Danger is unlikely
2	Dangerous with Warning	Very weak	
3	Very High	Weak	Low, Danger is relatively rare
4	High	Very low	
5	Medium	Low	Average
6	Low	Medium	
7	Very Low	Almost high	High, frequent dangers
8	Weak	High	
9	Very weak	Very high	Very high, danger is almost inevitable
10	None	Absolutely definitive	

ب) PFMEA

می‌کند. دلیل استفاده از PFMEA بهبود مستمر محصول و فرآیند برای افزایش رضایت مشتری است. PFMEA همراه دیگر ابزارهای کیفیت، اقدامات و فلسفه پیشگیری مشکلات و بهبود مستمر، که از عوامل کلیدی مدیریت کیفیت جامع هستند، را پشتیبانی می‌کند [۱۷]. در شکل زیر مراحل استفاده از PFMEA آمده است [۱۸].

تکنیک PFMEA برای تحلیل و ارزیابی شکست های بالقوه در فرآیند تولید و مونتاژ کاربرد دارد [۷-۹]. این ابزار اثر شکست‌ها را شناسایی و اقدام لازم برای حذف یا کاهش شکست‌ها را در ایجاد و مستندسازی کلی رویه ها شناسایی

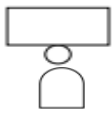
**Fig 1** Ten Steps to Conduct a PFMEA**ج) درخت تحلیل خطا**

شناسه‌های درخت خطا، گیت‌هایی^۱ هستند که منطق جاری در درخت را مشخص می‌کنند. گیت‌ها ارتباط منطقی بین رویدادهای پایین دست (ورودی گیت) و بالادست (خروجی گیت) را مشخص می‌کنند [۲۲]. در جدول زیر نمادهایی که در برای ترسیم FTA در این پژوهش بکار می‌رود، به‌مراه شرح آنها آمده است [۲۳].

درخت تحلیل خطا یا FTA برای پیش‌بینی اتفاقات مختلف در حالت بروز خطاهای متنوع است [۱۹]. به عبارت دیگر برای ترسیم ارتباط بین اتفاقات مانند خطاهای زیر سیستم‌ها و دلایل خطاها کاربرد دارد [۲۰]. لذا استفاده از FTA تا حدودی از کاستی‌های FMEA می‌کاهد. می‌توان گفت تحلیل درخت خطا متشکل از کلیه علل منطقی است که می‌تواند هریک به تنهایی یا مجموعاً منجر به یک حادثه نهایی گردد [۲۱].

1 Gates

Table 2 Fault Tree Symbols

Symbols	Description
	Basic Event- A basic initiating fault requiring no further development
	AND - Output fault occurs if all of the input faults occur
	OR - Output fault occurs if a least one of the input faults occurs

د) مستندسازی فرآیندها با استاندارد IDEF0

مستندسازی روش مفید و مؤثری است جهت شناسایی، مدون کردن و کنترل فعالیتها و فرایندهای مؤثر بر کیفیت کالا یا خدمت در هر سازمان [۲۱]. IDEF0 یا "تعریف یکپارچه کارکردها" که به صورت "Integration Definition language 0" نیز نشان داده می شود، استاندارد است که در سال ۱۹۸۱ به درخواست نیروی هوایی ارتش آمریکا به عنوان یک استاندارد و متدولوژی عمومی برای تهیه مدل های یکنواخت و تعریف شده از چگونگی نمایش ارتباط بین فعالیتها، کارکردها و وظایف، فرایندها و عملیات مختلف مورد نیاز یک سیستم یا بنگاه؛ و چگونگی پردازش اطلاعات آنها، ایجاد شده و به تصویب نهادهای ذیربط آن کشور رسیده است. بکارگیری استاندارد IDEF0 برای ساخت مدل های فرایندی در سطوح مختلف، می تواند در حصول اطمینان از پیش بینی نیازمندی های هر یک از سطوح فرایند یا کارکردها و توجه پیشاپیش به ارتباط بین فرایندهای اساسی و فرایندهای فرعی، ارتباط متقابل بین فعالیتهای یک فرایند و امثال آن بسیار مفید باشد و نگرش و جامع و یکپارچه به مجموعه فرایندهای یک سیستم و ارتباط متقابل آنها را تأمین نماید. در این استاندارد، در ترسیم هر سطح از فرایند؛ بجهای (زیر فرآیندی) شبیه به مادر (فرآیند سطح بالاتر)، با شکل و شمایل و مشخصات مشابه، متولد می شود [۲۴]. شکل زیر، مدل عمومی IDEF0 را نشان می دهد.

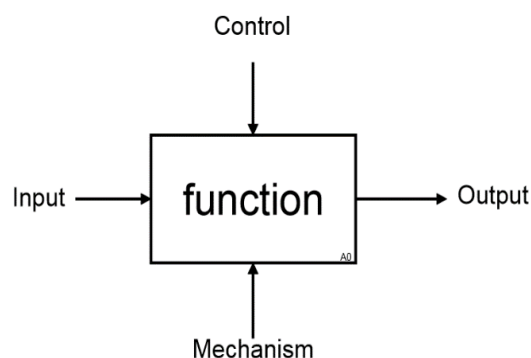


Fig 2 IDEF0 process model

هنگام کار با نرم افزار IDEF0 و ترسیم مدلها و نقشه های فرایندی اگر در هر سطحی از ترسیم مدل، باکس (مستطیل) نشان دهنده فرایند دارای سایه باشد، بدین معنی است که این فرایند دارای یکسری فرایندها یا فعالیتهای فرعی است که با کلیک بر روی آن و استفاده از فلش باز کردن جزئیات^۱ می توان زیر فرایندها/ زیر فعالیتهای آنها مشاهده کرد و برعکس اگر در رده های پایین و زیر فرایندها باشیم می توان با کلیک بر روی فلش باز کردن والدین^۲ (اشاره به همان رابطه مادر فرزندی بین فرایندها) به رده ها و فرایندهای بالاتر رفت و بدینوسیله کلیه فعالیتها و فرایندهای هر سازمانی را بصورت یکپارچه و منسجم و در قالب نقشه های سازمانی^۳ ترسیم و تهیه نمود. ماهیت سلسله مراتبی IDEF0 به سیستم اجازه می دهد تا بسادگی به جزئیات بیشتری استخراج شده و تا حد لازم برای انجام تصمیم گیری مفید واقع شود. بهترین روش برای ایجاد نقشه فرایندها پیاده روی^۴ در طول مراحل و فعالیت های فرآیند است. تمامی مراحل فرآیند باید به نوبت دنبال شود و در طول پیاده روی باید یادداشت برداری لازم صورت پذیرد. باید از رفتن به راه میان بر پرهیز کرد تا مراحل مهم را فراموش نکنیم [۱۲].

۳- نتایج تحقیق

۳-۱- استخراج مدل IDEF فرایندهای تولیدی

برای شناسایی فعالیتهای صورت گرفته در تولید قند، جلسات متعددی با مدیر عامل کارخانه، مدیر تولید؛ مسئولین واحدهای برنامه ریزی، مهندسی، تعمیرات نگهداری، ایمنی بهداشت و صاحبان فرایندهای مختلف شرکت قند کردستان برگزار شد و ضمن آشنا نمودن آنها با اصول و نحوه بکارگیری استاندارد IDEF0 و نرم افزار I Graf، کلیه فرایندها و فعالیتهای تولید

1. Open Decomposition
2. Open Parent
3. Organizational Map
4. Walking

پیکانهای سمت چپ ورودی فرآیند، سمت راست خروجی، پیکانهای بالا کنترل کننده‌های فرآیند و پیکانهای پایین جعبه فرآیند، مکانیسم‌ها (انجام دهندگان فعالیت‌ها) هستند.

قند در کارخانه قند کردستان مورد بررسی و مطالعه دقیق قرار گرفت و مدل IDEF این فرایندها در قالب نقشه فرایندهای سازمانی استخراج گردید. در شکلهای زیر سطح صفر و سطح یک مدل IDEF آمده است. شایان ذکر است در این مدلها

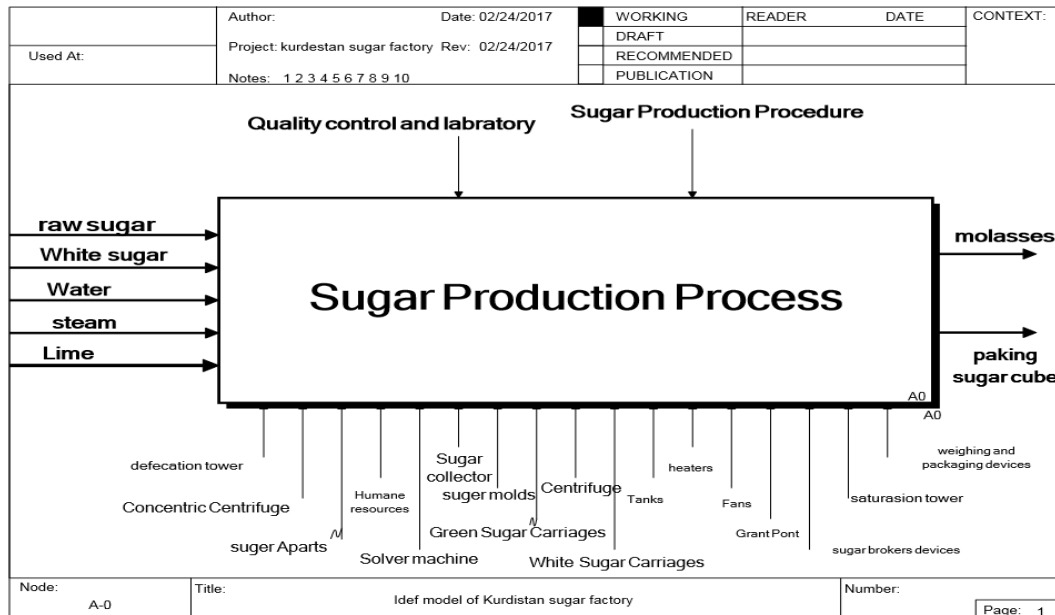


Fig 3 Functional decomposition of Sugar production Process Map

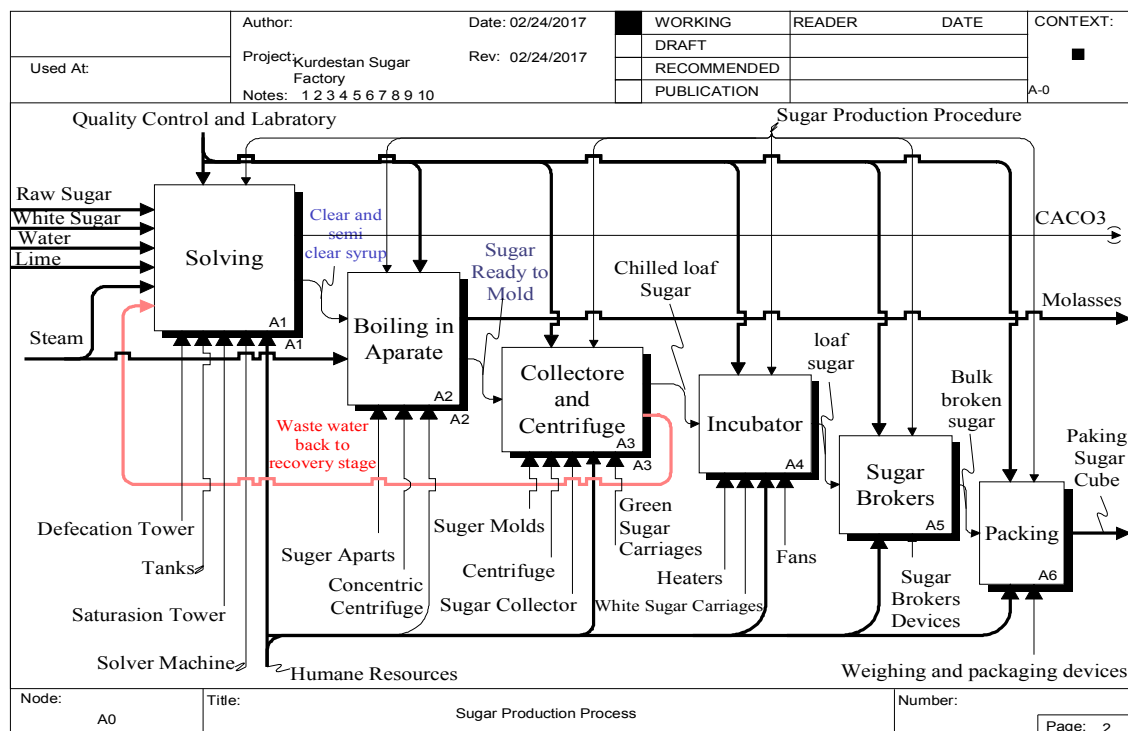


Fig 4 Functional decomposition of Sugar production Process Map

۳-۲- استخراج خطاهای بالقوه فرایندهای تولید

در مراحل بعدی تحقیق، با مرور دقیق نقشه فرایندهای استخراجی منطبق بر IDEF تمامی خطاهای موجود، به همراه منشاء خطاها در فرایندهای خط تولید قند کارخانه قند کردستان طی جلسات متعدد کارشناسی بر طبق منطق طوفان

فکری و با شناسایی منشاء خطاهای احتمالی بصورت زیر استخراج گردید. منشاء خطاها به شش طبقه تجهیزات، محل کار، ترکیب مواد، روش اندازه‌گیری، روش تولید و عوامل انسانی تقسیم گردید. همچنانکه مشاهده می‌شود تعداد خطاهای شناسایی شده در فرایندهای تولید ۴۹ خطا می‌باشد.

Table 3 Failures in sugar production processes and their origin

Sub process	Potential Failure	Failure Code	Failure Origin					
			Equipment	Workplace	Material Composition	Measurement Method	Human Factor	Production Method
Solving	Brix (The sugar content of an aqueous solution) is above 60	F1	√		√	√	√	
	Brix lower than 57	F2	√	√	√	√	√	
	Low volume of syrup compared to the desired volume	F3	√		√	√	√	√
	Large volume of syrup compared to the desired volume	F4	√		√	√	√	√
Lime saps production	Insufficient lime milk produced	F5	√		√		√	√
	Inadequate quality of lime milk produced	F6	√		√		√	√
Lime to syrup (Saturation)	Absence of booms in the range of 12 to 15	F7	√				√	
	Negative effect on PH of saturation phase	F8	√		√	√	√	√
Carbon dioxide production	Insufficient Carbon dioxide produced in boilers	F9	√				√	√
	Transfer low carbon dioxide to syrup	F10	√				√	√
	Transfer a lot of carbon dioxide to the syrup	F11	√				√	√
Saturation	PH above 8.6	F12	√		√	√	√	
	PH below 8.3	F13	√		√	√	√	
Filter by Grant Pont	The syrup is not clear	F14	√			√	√	
	Brix is above 51	F15	√				√	
	Brix lower than 49	F16	√				√	
Filter press	Correctly not filter press and high CaCO_3 at output	F17	√				√	

Syrup decoloring	Inappropriate decoloring of resin	F18	√	√	√	√
Vapor production	Created steam Not sufficient	F19	√	√	√	√
Syrup concentration	Vacuum deficiency	F20	√	√	√	
	Add powdered sugar in Brix less than 89	F21	√	√	√	√
	Add powdered sugar in Brix more than 90	F22	√	√	√	√
	Baking operation less than the required time	F23	√	√	√	√
	Baking operation longer than required	F24	√	√	√	√
	The mistake in measuring the Brix of the syrup	F25	√		√	√
Separation of wastewater	Incomplete separation of syrup	F26	√		√	
Sugar molding	Transfer to the baking stage with a temperature of fewer than 102° C	F27	√		√	
	Transfer of baking to Sugar molding with brix less than 90	F28	√		√	
	No setting of green sugar molding time (more time)	F29	√		√	
	Ambient temperature higher than ideal	F30	√	√	√	
	Expect green sugar wagons less than expected	F31			√	
Centrifuge	Discrepancy between rotational speed and centrifuge time with the refining process product	F32	√		√	
Stove room	Low temperature	F33	√		√	√
	High temperature	F34	√		√	√
	Low waiting time in Stove room	F35			√	√
	Improper arrangement of wagons	F36			√	√
	Inappropriate air humidification inside Stove room	F37	√		√	√
	Inappropriate Circulation of air in the Stove room	F38	√		√	√
sugar breaker	The Inappropriate placements of Sugar Inside Blade	F39	√		√	
	Inappropriate performances of sugar cutter blades	F40	√		√	

	Row brushes are not able to arrange sausage pieces	F41	√	√
	Irregular movements of the guillotine when breaking parts of cuffs	F42	√	√
	Improper sieving and separation of sugar and sugar powder	F43	√	√
	Irregular oscillation of sugar crusher belt	F44	√	√
	Forget the cellphone	F45		√
	Jet printer not working	F46	√	√
Packing	Improper arrangement of cartons on pallets	F47	√	√
	Crash of the lift	F48	√	√
	Inappropriate carton placement on the conveyor belt	F49	√	√

۳-۳- اولویت‌بندی خطاها و استخراج درخت

تحلیل خطا (FTA) برای خطاهای اولویت‌دار

پس از برگزاری چندین جلسه کارشناسی و تخصصی با استفاده از RPN تعداد ۲۴ خطای اولویت دار مشخص گردید و برای آنها درخت تحلیل خطا تهیه گردید. در تهیه این درخت ها تا

حدامکان با بازنگری‌های چندین باره از عبارات ساده و قابل فهم استفاده گردید و سعی شد ضمن شناخت تمامی عوامل ایجاد خطاهای بالقوه ارتباط بین این عوامل در خطاهای مختلف مدنظر باشد. در شکل زیر یک نمونه از درخت تحلیل خطا آمده است.

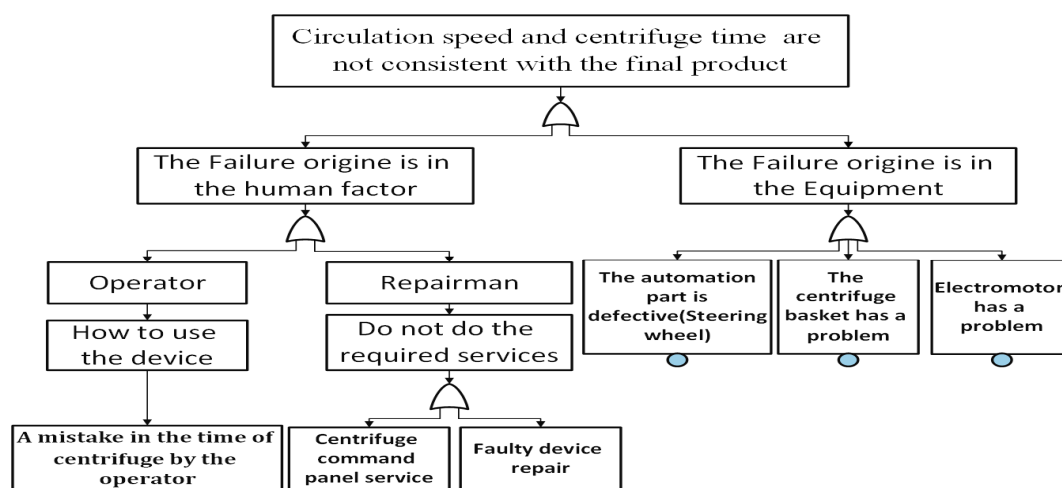


Fig 5 Fault tree analysis for failure with the highest Priority

۳-۴- آزمون فرضیات تحقیق

منشأ خطاهای شناسایی شده در فرایند تولید کارخانه قند کردستان است.

برای آزمون فرضیات تحقیق منشأ خطاهای مختلف فرآیند تولید را دسته بندی نمودیم. نمودار راداری زیر نشان دهنده

۴- بحث

استخراج نقشه فرایندها و درخت تحلیل خطا موجب بهتر شده دیدگاه و نگرش فرآیندی و در نتیجه درک فراگیر کلیه فرآیندها و فعالیت ها در راستای پیاده سازی PFMEA خواهد شد. همچنین استخراج درخت تحلیل خطا برای هرکدام از خطاهای اولویت دار منجر به شناخت کامل عوامل و منشاءهای ایجاد خطاهای بالقوه در فرآیند تولید می‌گردد و در نتیجه ارائه راهکارهای اجرایی و مناسب برای کاهش یا حذف خطاهای بالقوه، تسهیل می‌شود. با توجه به اینکه بیشترین منشأ خطاها مربوط به عامل انسانی است، پیشنهاد می‌شود کارگاه‌های آموزشی درخصوص نحوه شناسایی خطاهای مختلف در فرایندهای تولید و نیز نحوه تعمیر و نگهداری دستگاه‌ها برای کارکنان جدید الاستخدام برگزار و بصورت دوره‌ای نیز بازآموزی آنها برای کارکنان قدیمی کارخانه انجام شود. همچنین نظر به اینکه عامل تجهیزات در رده دوم عوامل ایجاد کننده خطا هستند؛ باید کارخانه قند کردستان نسبت به پیاده سازی سیستم نت(نگهداری و تعمیرات) منسجم و علمی اقدام نماید و در دوره‌های کوتاه مدت نسبت به کالبره نمودن و بازرسی تمامی تجهیزات موجود در فرایند تولید اقدام کند تا از ایجاد مشکلات و خطاهای با شدت بالا و درجه وقوع زیاد در تجهیزات و ماشین‌آلات تا حد امکان جلوگیری شود.

در مقایسه خروجی‌های این تحقیق با نتایج تحقیقی که با عنوان "کشف خطا و بهینه‌سازی آن در مخزن پخت کارخانه قند با استفاده از FMEA و روش تاگوچی" در سال ۲۰۱۳ توسط Senthilvelan و Mariajayaprakash در کشور هند انجام شده است موارد زیر قابل ذکر است: در تحقیق مذکور دلایل و منشاءهای خطاها در قسمت پخت به سه نوع خطای مکانیکی، خطای الکتریکی و خطای مرتبط به سنسور دما، تقسیم شده است و برای شناسایی دلایل خطاها از نمودار علت-معلولی که به نمودار استخوان ماهی یا نمودار ایشیکاوا نیز معروف است، استفاده شده، سپس خطاها با تکنیک FMEA اولویت بندی و از روش تاگوچی(افزایش کیفیت بدون افزایش هزینه) برای بهبود وضعیت خطاها استفاده گردیده است، در حالی‌که در تحقیق حاضر اولاً منشاءهای ایجاد خطاها به شش طبقه روش تولید، عوامل انسانی، محیط کاری، روش اندازه‌گیری، ترکیب مواد و تجهیزات تقسیم گردید و بوسیله تحلیل درخت خطا منشاءهای خطاها و دلایل و

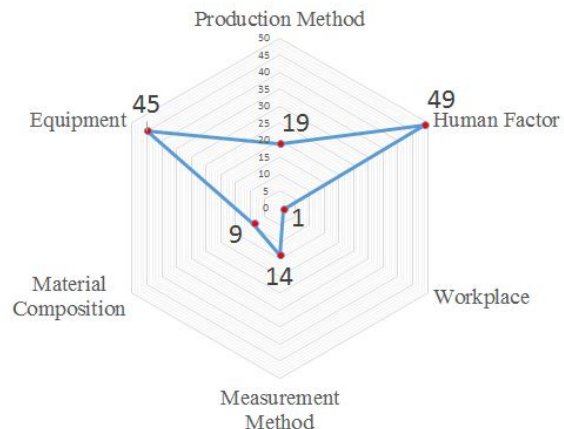


Fig 6 Diagram of the origin of various Failures in the PFMEA technique of Kurdistan Sugar Factory

با توجه به نمودار فوق، آزمون سایر فرضیات تحقیق بصورت زیر می‌باشد.

فرضیه ۱: تعداد مشکلات و خطاهای با منشأ تجهیزات و ماشین‌آلات کارخانه بیشتر از خطاهای با منشأ انسانی است. در نمودار مشاهده می‌شود که تعداد خطاهای مرتبط به تجهیزات ۴۵ عدد و خطاهایی که منشأ آنها عامل انسانی است ۴۹ خطا است؛ لذا فرضیه اول تأیید نمی‌شود.

فرضیه ۲: تعداد مشکلات و خطاهای با منشأ تجهیزات و ماشین‌آلات کارخانه بیشتر از خطاهای با منشأ روش تولید است: تعداد خطاهای مرتبط به تجهیزات ۴۵ و مرتبط به روش تولید ۱۹ خطا است، لذا فرضیه دوم تأیید می‌شود.

فرضیه ۳: تعداد مشکلات و خطاهای با منشأ تجهیزات و ماشین‌آلات کارخانه بیشتر از خطاهای مرتبط به ترکیب مواد اولیه است: تعداد خطاهای مرتبط به تجهیزات ۴۵ و مرتبط به ترکیب مواد ۹ خطا است، لذا فرضیه سوم هم تأیید می‌شود.

فرضیه ۴: تعداد مشکلات و خطاهای با منشأ تجهیزات و ماشین‌آلات کارخانه بیشتر از خطاهای مرتبط به روش اندازه‌گیری است: تعداد خطاهای مرتبط به تجهیزات ۴۵ و مرتبط به روش اندازه‌گیری ۱۴ خطا است، لذا فرضیه چهارم تأیید می‌شود.

فرضیه ۵: تعداد مشکلات و خطاهای با منشأ تجهیزات و ماشین‌آلات کارخانه بیشتر از مجموع خطاهای با منشأ سایر عوامل در فرآیند تولید است: تعداد خطاهای مرتبط به تجهیزات ۴۵ و تعداد خطاهای مرتبط به مجموع منشأ خطاهای دیگر ۹۲ است، لذا فرضیه پنجم تأیید نمی‌شود.

- industry. *Applied Soft Computing*. 30: p. 94–103.
- [7] Asan, U. and A. Soyer. 2016. Chapter 10: Failure Mode and Effects Analysis Under Uncertainty: A Literature Review and Tutorial, in *Intelligent Decision Making in Quality Management*. In C. Kahraman, & S. Yanik, . p. 266.
- [8] Lundgren, M., M. Hedlind, and T. Kjellberg. 2016. Model Driven Manufacturing Process Design and Managing Quality, in 26th CIRP Design Conference. .
- [9] Stamatis, D.H. 2003. Failure mode and effect analysis: FMEA from theory to execution: Milwaukee: American Society for Quality, Quality Press, John Wiley & Sons, Ltd. .
- [10] Nuchpho, P., S. Nansaarng, and A. Pongpullponsak. 2014. Risk Assessment in the organization by using FMEA Innovation: A Literature Review, in 7th International Conference on Educational Reform.
- [11] Liu, H.-C., et al. 2012. Risk evaluation in failure mode and effects analysis with extended VIKOR method under fuzzy environment. *Expert Systems with Applications*. 39(17): p. 12926-12934.
- [12] E. McDermott, et al., The basic of FMEA. 2nd edition ed ed. 2009, New York: Taylor & Francis Group.
- [13] Chang, K.H. and T.C. Wen. 2010. Novel efficient approach for DFMEA combining 2-tuple and the OWA operator. *Expert Systems with Applications*,. 37: p. 2362–2370.
- [14] Rezaei, K., M. Sidi, and B. Nouri. 2005. Analysis of Errors and Effects of It. Second Edition of Tehran ed.: Athena.
- [15] Kalathil, M.J., V.R. Renjith, and N.R. Augustine. 2020. Failure mode effect and criticality analysis using dempster shafer theory and its comparison with fuzzy failure mode effect and criticality analysis: A case study applied to LNG storage facility. *Process Safety and Environmental Protection*, 138: p. 337-348.
- [16] Mendes, A., et al. 2015. A FSA based fuzzy DEMATEL approach for risk assessment of cargo ships at coasts and open seas of Turkey. *Safety Science*, p. 5.
- [17] Johnson, K. and M. Khan. 2003. A study into the use of the process failure mode and effects analysis (PFMEA) in the automotive industry in the UK. *Journal of*

ریشه‌های بوجود آمدن آنها مشخص شدند. در این تحقیق برای اولویت‌بندی خطاها از تکنیک PFMEA بهره گرفته شده است و در نهایت در این تحقیق با بررسی موشکافانه درخت تحلیل خطا راهکارهای عملی برای بهبود وضعیت پیشنهاد و اجرایی شدند.

۵- نتیجه‌گیری

استفاده توأم از ابزارهای مناسبی چون PFMEA و نرم افزارهای مناسب استخراج نقشه فرآیندهای سازمانی و تکنیک تحلیل درخت خطا، موجب ایجاد دیدگاهی یکپارچه و منسجم نسبت به خطاها و شکست‌های موجود در فعالیت‌های مرتبط به فرآیندها و دلایل ایجاد آنها خواهد شد و در نتیجه امکان ارائه راهکارهای عملی را در جهت حذف یا کاهش آثار خطاهای موجود در فرآیندهای سازمانی افزایش خواهد داد.

۶- منابع

- [1] Helvacioğlu, S. and E. Ozen. 2014. Fuzzy based failure modes and effect analysis for yacht system design. *Ocean Engineering*. Ocean Engineering, 79: p. 131-141.
- [2] Hassan, A., et al. 2010. Conceptual process planning – an improvement approach using QFD, FMEA, and ABC methods. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*. 26(4): p. 392-401.
- [3] Banduka, N., et al. 2016. Using 80/20 Principle to Improve Decision Making At PFMEA. in 27TH Daaam International Symposium On Intelligent Manufacturing And Automation. Vienna, Austria.
- [4] Căndeaa, G., S. Kifor, and C. Constantinescu. 2014. Usage of case-based reasoning in FMEA-driven software, in Conference on Digital Enterprise Technology - DET 2014 – Disruptive Innovation in Manufacturing Engineering towards the 4th Industrial Revolution.
- [5] Mariajayaprakash, A. and T. Senthilvelan. 2013. Failure detection and optimization of sugar mill boiler using FMEA and Taguchi method. *Engineering Failure Analysis*. 30: p. 17-26.
- [6] Mariajayaprakash, A., T. Senthilvelan, and R. Gnanadass. 2015. Optimization of process parameters through fuzzy logic and genetic algorithm—A case study in a process

- [21] Rezaei, K., M. Sidi, and B. Nouri. 2005. Analysis of Errors and Effects of It. Second Edition. Tehran: Athena(in persian).
- [22] NASA, Fault Tree Handbook with Aerospace application, ed. E. V. 1.1. 2002. Washington: Prepared for NASA Office of Safety and Mission Assurance; NASA Headquarters. Retrieved 0918,access 21 apr 2017.
- [23] NASA, Fault Tree Handbook with Aerospace application, ed. V. 1.1. 2002. Washington: Prepared for NASA Office of Safety and Mission Assurance;NASA Headquarters.
- [24] Rahmazade Heravi, M., Process Organizations and Organizational Paradigms. 2003, Tehran: Publication of Publications Office.
- Materials Processing Technology,. 139: p. 348–356.
- [18] Braglia, M., M. Frosolini, and R. Montanari. 2003. Fuzzy criticality assessment model for failure modes and effects analysis. International Journal of Quality & Reliability Management. 20(4): p. 503-524.
- [19] Chen, Z., X. Wu, and J. Qin. 2014. Risk assessment of an oxygen-enhanced combustor using a structural model based on the FMEA and fuzzy fault tree. Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 32: p. 349-357.
- [20] Peeters, J., R. Basten, and T. Tinga. 2017. Improving failure analysis efficiency by combining FTA and FMEA in a recursive manner. E. T. Universiteit, Ed. 528.



Extraction and analysis of production process Failures using PFMEA (case study: Kurdistan Sugar factory)

Baghbani, M.¹, Iranzadeh, S.^{2*}, Bagherzadeh khajeh, M.³

1. Ph.D , Department of Management, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran.

2. Prof, Department of Industrial Management, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran,

3. Assistant Prof, Department of Management, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran,

ARTICIE INFO	ABSTRACT
Article History: Received 17 June 2018 Accepted 24 November 2020 Keywords: PFMEA, Process Map, IDEF0, FTA. DOI: 10.52547/fsct.18.02.09 *Corresponding Author E-Mail: Dr.iranzadeh@yahoo.com	The purpose of this research is to identify possible failures modes in the process of producing Kurdistan sugar factory. In this research, firstly, the Process map of the production process by using the IDEF0 modeling logic was extracted accurately in order to schematically analyze all the aspects and processes of sugar production from raw sugar. Then, in the form of teamwork and at various expert meetings, 49 major and potential failures were identified in all processes and activities of the sugar production process. In the following sessions, the failure severity, the probability of occurrence of failures and the probability of error detection were determined. Using the RPN (risk priority number) was extracted for each failure. In the following, the root causes of the 24 priority failures were determined by FTA, and due to the causes of the errors, suitable solutions to reduce the effects of failures were documented. Finally, the origins of process failures were analyzed.