

# تجزیه و تحلیل حالات خرابی بالقوه و آثار ناشی از آن (FMEA)

---

هادی شیرویه زاد

[www.Shirouyehzad.com](http://www.Shirouyehzad.com)

## تعریف FMEA و انواع آن

---

بطور کلی FMEA روشی سیستماتیک برای شناسایی، اولویت بندی و اقدام مقتضی در قبال حالات خرابی بالقوه پیش از وقوع آنهاست.

## مفاهیم مرتبط

- چطور یک محصول / فرآیند ممکن است خراب شود ؟
- حالت خرابی چه آثاری می تواند داشته باشد ؟
- شدت آثار خرابی چقدر است ؟
- چه چیزی می تواند باعث بروز حالت خرابی شود؟
- چقدر احتمال وقوع دارد ؟
- چه کنترل های پیشگیرانه / آشکار کننده در حال حاضر در نظر گرفته شده است ؟
- این کنترل ها چقدر مؤثر است ؟
- میزان ریسک کلی این حالت خرابی چقدر است ؟
- برای کاهش این ریسک چه می توان کرد ؟

## مفاهیم مرتبط

---

انواع گوناگون FMEA به شرح زیر می باشند:

- FMEA مربوط به طراحی: DESIGN FMEA
- FMEA مربوط به فرآیند: PROCESS FMEA
- FMEA مربوط به سیستم: SYSTEM FMEA

## فواید FMEA

---

- کاهش موارد خرابی محصول
- کاهش دوره تکوین محصول
- پرهیز از هزینه دوباره کاری‌ها
- تامین اطلاعات مفید برای صحت‌گذاری طراحی
- شناسایی ویژگی‌هایی از محصول که نیازمند کنترل‌های ویژه است
- اولویت بندی اقدامات مرتبط با بهبود طراحی

## فوائد FMEA

---

- تقویت حسن تعلق تیمی نسبت به پروژه
- اولویت‌بندی فعالیت‌های بهبود فرایند به ترتیب اهمیت
- افزایش احساس تعلق به فرآیند در اعضای تیم
- تولید یکنواخت‌تر و ثبات بیشتر خروجی فرآیند
- کاهش برگشتی‌ها و ضایعات
- افزایش بهره‌وری
- تسهیل فرآیند تولید

## تاریخچه FMEA

---

در ۱۹۶۰ مسائل ایمنی در صنعت هوا - فضا برای اولین بار انگیزه اجرای FMEA در این صنعت گردید.

در آغاز هدف از اجرای FMEA شناسایی و پیشگیری از خطراتی بود که ایمنی را تهدید می کرد بعبارت دیگر FMEA به منظور پیشگیری و حذف خطراتی که ایمنی را تهدید می کرد بوجود آمد و سپس برای بهینه سازی فرآیند و ایمن سازی ساخت یک محصول و کارکرد آن مورد استفاده قرار گرفت .

## هدف FMEA

---

هدف از FMEA در یک فرآیند یا محصول، پیشگیری از وقوع خرابی است یا به عبارت دیگر علاج واقعه قبل از وقوع می‌باشد. که قبل از شروع تولید انبوه به منظور شناسایی عیوب بالقوه ناشی از فرآیند/ محصول انجام می‌شود.

FMEA با بهینه سازی فرآیندها و محصولات باعث کاهش مبالغ زیادی از هزینه‌ها می‌شود.



## چه موقع از FMEA استفاده می شود

---

- طراحی محصول جدید، فرایند جدید، خدمت جدید.
- تغییر محصول، فرایند، خدمت
- بهبود مستمر

## تعریف مشتری از دیدگاه FMEA

---

معمولاً برای FMEA مصرف کننده نهایی بعنوان مشتری تعریف می شود اگرچه مشتری می تواند خدمات، عملیات مونتاژ/ساخت بعدی باشد.

## پیش‌نیازهای لازم جهت تدوین FMEA

---

تیم مسئول تدوین FMEA پیش‌نیازهای ذیل را برای تهیه FMEA باید فراهم آورده باشد:

- اطلاع داشتن از مشخصات ویژه محصول
- در دسترس داشتن نمودار فرآیند عملیات ( O.P.C )
- آشنایی با تکنیک طوفان ذهنی ( BRAIN STORMING )
- آشنایی با بهبود مستمر ( CONTINUAL IMPROVEMENT )
- داشتن فرهنگ کار گروهی ( TEAM WORKING )

# مراحل اجرای FMEA

---

۱- برنامه ریزی و تهیه برنامه FMEA

۱-۱- انتخاب اعضای تیم FMEA

۱-۲- زمانهای برگزاری جلسات FMEA و موضوعات مورد

بحث.

## مراحل اجرای FMEA

---

۲ - برگزاری جلسه طوفان ذهنی و تکمیل فرم

**FMEA**

۲-۱- عملکرد (عملیات - ماجول)

شرح مختصری از عملیات یا فرآیند مورد تجزیه و تحلیل را با عنوان عملیات وارد کنید (مثلاً پیچش، سوراخکاری، رزوه کاری، جوشکاری، مونتاژ و ...) ضمناً توصیه می شود شماره مرتبط با هر مرحله فرآیند / عملیات مورد تجزیه و تحلیل را ثبت کنید

## مراحل اجرای FMEA

### ۲-۲- خطاها و شکستهای بالقوه

حالت خرابی بالقوه حالتی است که فرآیند بطور بالقوه نیازمندیهای فرآیند و یا مقاصد طراحی را آنطور که در ستون قبل تشریح شده برآورده نمی کند درحقیقت تشریحی از عدم مطابقت در آن عملیات خاص می باشد .

- ۱- خم شدن
- ۲- پوشش نامناسب
- ۳- سطح خشن
- ۴- خارج از اندازه بودن
- ۵- ترک داشتن
- ۶- خمیدگی
- ۷- کثیفی

فرض کنید احتمال خرابی وقوع دارد نه اینکه حتماً اتفاق خواهد افتاد.

## مراحل اجرای FMEA

### ۲-۳- آثار ناشی از خطاها و شکستهای بالقوه

آثار بالقوه خرابی اثرات حالت خرابی روی مشتری تعریف می شود بر حسب اینکه مشتری چه چیزی را امکان دارد تجربه کند یا به آن توجه کند آثار خرابی را تشریح کنید بخاطر داشته باشید که مشتری ممکن است یک مشتری داخلی تا مشتری نهایی باشد.

- |                          |                               |                 |
|--------------------------|-------------------------------|-----------------|
| ۱- صدا دادن              | ۲- محکم نشدن                  | ۳- خشن شدن      |
| ۴- ضایعات                | ۵- دوباره کاری تعمیر          | ۶- ظاهر نامناسب |
| ۷- خطر برای اپراتور دارد | ۸- باعث خسارات تجهیزات می شود |                 |

# مراحل اجرای FMEA

---

## ۲-۴- تعیین نمره شدت (SEVERITY)

نرخی مرتبط با وخیم ترین اثر برای یک حالت خرابی می باشد. و عددی بین ۱ و ۱۰ می باشد.



رتبه	وخامت اثر خطا
۱	اثر خطا مورد توجه مشتری قرار نمی گیرد
۲	اثر بسیار ناچیز که می تواند مشتری هم متوجه آن گردد اما او را هرگز آزار نمی دهد
۳	اثر ناچیز که می تواند مشتری را آزار دهد اما مشتری هرگز در صدد رفع آن نیست.
۴	اثر ناچیز که می تواند مشتری را آزار دهد و مشتری در صدد رفع آن برمی آید.
۵	اثر کم که سبب ناراحتی مشتری می گردد اما مشتری در پی برطرف سازی آن نیست
۶	اثر کم که سبب ناراحتی مشتری می گردد و مشتری علاقه مند به حذف آن است
۷	اثر معمولی که باعث عملکرد نادرست طرح یا فرآیند می گردد.
۸	اثر مهم که خطای بزرگی را در پی دارد. اما ایمنی مشتری را به مخاطره نمی اندازد
۹	اثر بحرانی که سبب نارضایتی مشتری می گردد. هزینه بالایی بدنبال دارد و ایمنی مشتری را تهدید می کند
۱۰	اثر مخاطره آمیز، که خطرات جانی بدنبال دارد و هزینه فراوان در پی دارد

## مراحل اجرای FMEA

---

### ۲-۵- علل بوجود آورنده شکستهای بالقوه (CAUSE-EFFECT)

جوشکاری نامناسب ( جریان، زمان، فشار )  
عملیات حرارتی نامناسب ( زمان و حرارت )  
تنظیم نامناسب ماشین  
سرعت زیاد تغذیه مواد اولیه  
سرعت نامنظم نقاله  
برنامه ریزی نامناسب  
شکستگی ابزار راهگاه یا سوراخ هواکش ناکافی  
عدم یا ناکافی بودن روانکاری  
گیج های نادرست

## مراحل اجرای FMEA

---

### ۲-۶- تعیین نمره وقوع (OCCURANCE)

وقوع، احتمال اینکه آن حالت / مکانیزم خرابی خاص، به وقوع بپیوندد، می باشد.

میزان رخداد	رتبه
بسیار نادر، خیلی به ندرت	۱
نادر	۲
شانس ناچیز در رخداد	۳
شانس کم در رخداد	۴
خطا گاه و بی گاه رخ می دهد	۵
معمولاً رخ می دهد	۶
اغلب رخ می دهد	۷
زیاد رخ می دهد	۸
بسیار زیاد رخ می دهد	۹
حتماً رخ می دهد	۱۰

## مراحل اجرای FMEA

---

### ۲-۷- کنترل‌های موجود جهت شناسایی شکست‌های بالقوه

علت / مکانیزم خرابی یا حالات خرابی را آشکار می‌کند و جهت اقدامات اصلاحی راهنمایی می‌دهد. در صورت امکان استفاده از روش اول یعنی کنترل‌های پیشگیرانه ارجح‌تر است.

## مراحل اجرای FMEA

---

### ۲-۸- تعیین نمره تشخیص (DETECTION)

تشخیص نرخی مرتبط با بهترین کنترل لیست شده در ستون کنترل های جاری فرآیند است.

رتبه	قابلیت کشف
۱	حتماً قابل شناسایی است
۲	با احتمال بسیار بالایی قابل شناسایی است
۳	با احتمال بالایی قابل شناسایی است
۴	معمولاً شناسایی می شود
۵	با احتمال پنجاه، پنجاه شناسایی می شود
۶	شانس کم در شناسایی
۷	شانس ناچیز در شناسایی
۸	شانس بسیار ناچیز در شناسایی
۹	شانس بعید در شناسایی
۱۰	غیر قابل شناسایی

## مراحل اجرای FMEA

---

### ۲-۹- محاسبه عدد ریسک (NUMBER PRIORITY RISK)

مقدار RPN عبارتست از حاصل ضرب سه عدد شدت (S)، احتمال وقوع (O) و تشخیص (D)

$$RPN = S * O * D$$

این عدد به عنوان درجه ریسک پذیری هر مرحله فرآیند می تواند از ۱ تا ۱۰۰۰ تغییر کند.



## مراحل اجرای FMEA

### ۳- تفسیر FMEA

شکستهایی که RPN آنها بالاتر باشد در الویت قرار می گیرند.

	S	O	D	RPN
A	4	5	10	200
B	4	8	2	64
C	9	2	1	18

# مراحل اجرای FMEA

---

## ۴- تعیین اقدامات لازم

۴-۱- حذف وقوع (ELEMIMATE THE OCCURENCE)

۴-۲- کاهش شدت (REVIEW THE SEVERITY)

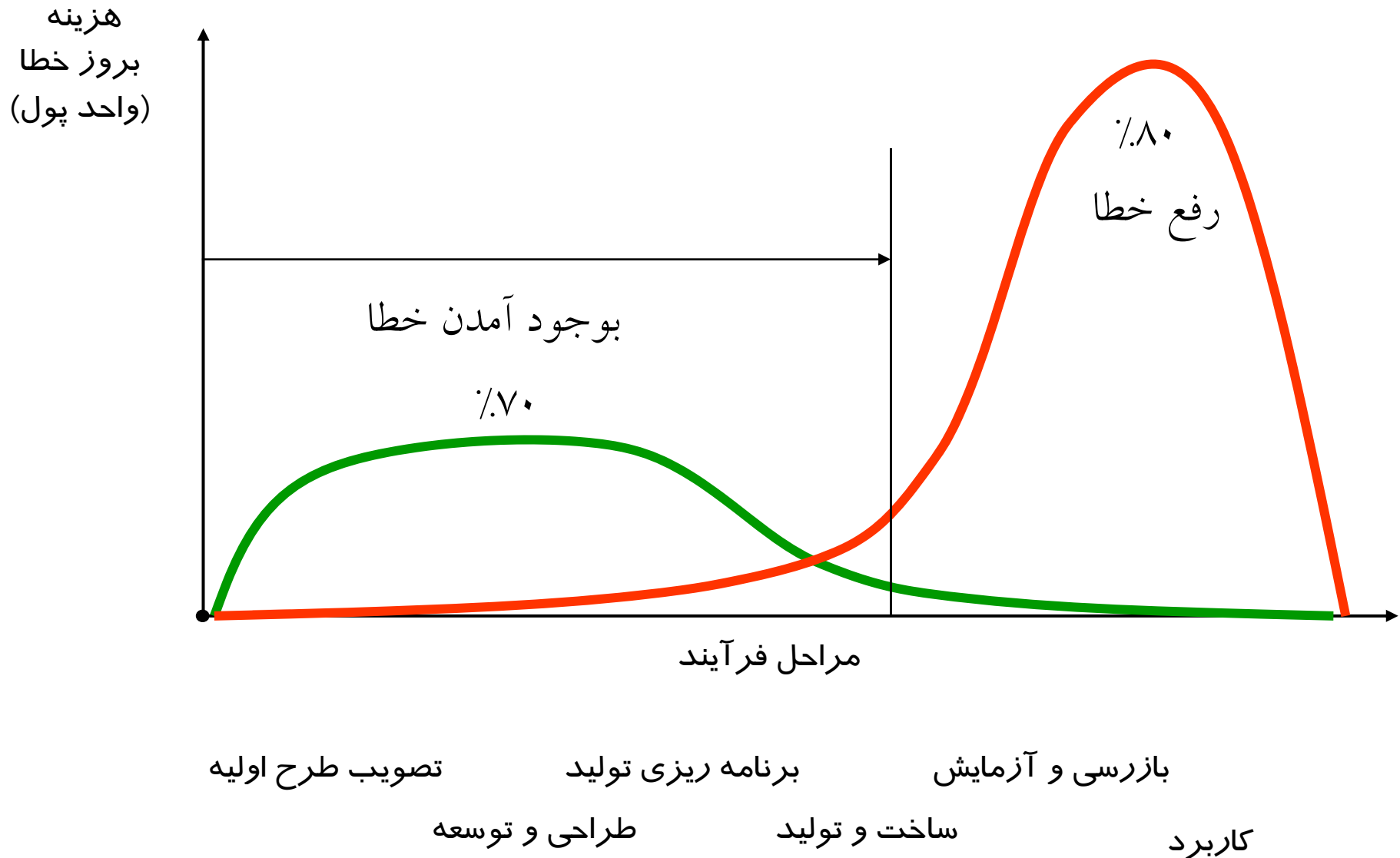
۴-۳- کاهش وقوع (REDUCE THE OCCURENCE)

۴-۴- بهبود تشخیص (IMPROVE THE DETECTION)

۴-۴-۱- قبل از رسیدن به مشتری

۴-۴-۲- بعد از رسیدن به مشتری

# نتایج قابل اندازه گیری FMEA (پیشگیری در قبال برطرف سازی)



## هشدارهایی در بکارگیری FMEA

✓ FMEA جایگزین فعالیتهای مهندس طراح در طراحی نیست

✓ هر خطای قابل تصور لزوماً نباید ارزیابی گردد

✓ FMEA ضامن انتخاب طرح بهینه در طراحی نیست

✓ FMEA محدودیت دارد ولی دادن شاخ و برگ اضافی به آن

کارایی آن را کم می کند



✓ معیارهای وخامت / رخداد و کشف خطا باید متناسب

با صنعت و سازمان تعریف گردند

## هشدارهایی در بکارگیری FMEA (ادامه)

✓ ...

✓ RPN می تواند گمراه کننده باشد!

✓ استفاده از پارتو برای اولویت بندی RPN کاربرد نادرستی از مفهوم پارتو است

✓ پیشبرد تمامی اجزای FMEA در تیم اجباری نیست

✓ حتی اگر اعضای تیم در موقعیت مکانی پراکنده باشند باز هم تشکیل تیم و اجرای تیمی جلسات توصیه می شود

## تعریف تیم:

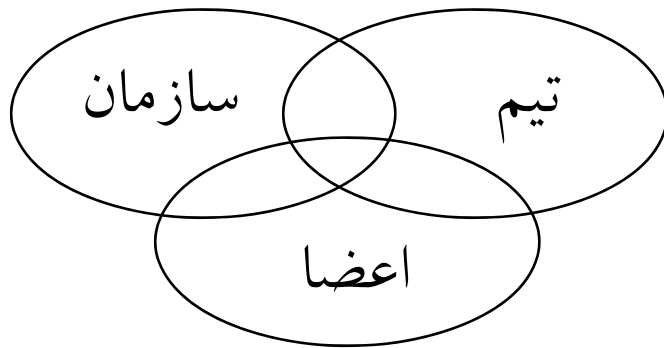
گروهی از افراد که با مشارکت یکدیگر برای حصول اهداف سازمانی بصورت جمعی فعالیت دارند، برای حل مسائل جلسات تشکیل می دهند و بطور موثر فرآیند را بهبود می بخشند.

# *Synergy*

$$2+2=5$$

# FMEA تیم

عوامل موثر در کارایی تیم:



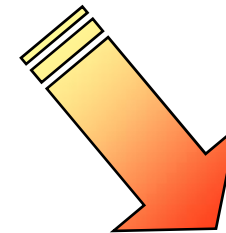
اعضا	تیم	سازمان
آگاهی فردی	مدیریت جلسات	فلسفه
دیدگاه متفاوت	مسئولیتها	انتظارات
یکدلی	دستورالعمل کاری	پاداش
	دستور کار جلسات	

# تیم FMEA

هدف جلسات نامعلوم است  
تکرار اطلاعات قدیمی  
درباره مشکلات و مسائل خسته کننده بحث می شوند  
مدیر تیم متکلم وحده است  
اعضای تیم حاضر نیستند یا حضور ندارند  
حجم کارهای زیادی به اعضا سپرده می شود  
هیچ چکیده ای از جلسات استخراج نمی شود  
قابلیت انعطاف اعضای تیم کم است

اگر

زوال تیم!



آنگاه

قصور بدلیل عدم فهم درست مسائل  
کاهش رغبت برای جمع آوری اطلاعات  
اطلاعات ناقص بدلیل پیچیدگی فرم  
اطلاعات نادرست یا ناقص بدلیل ترس  
استفاده ناصحیح از اطلاعات موجود



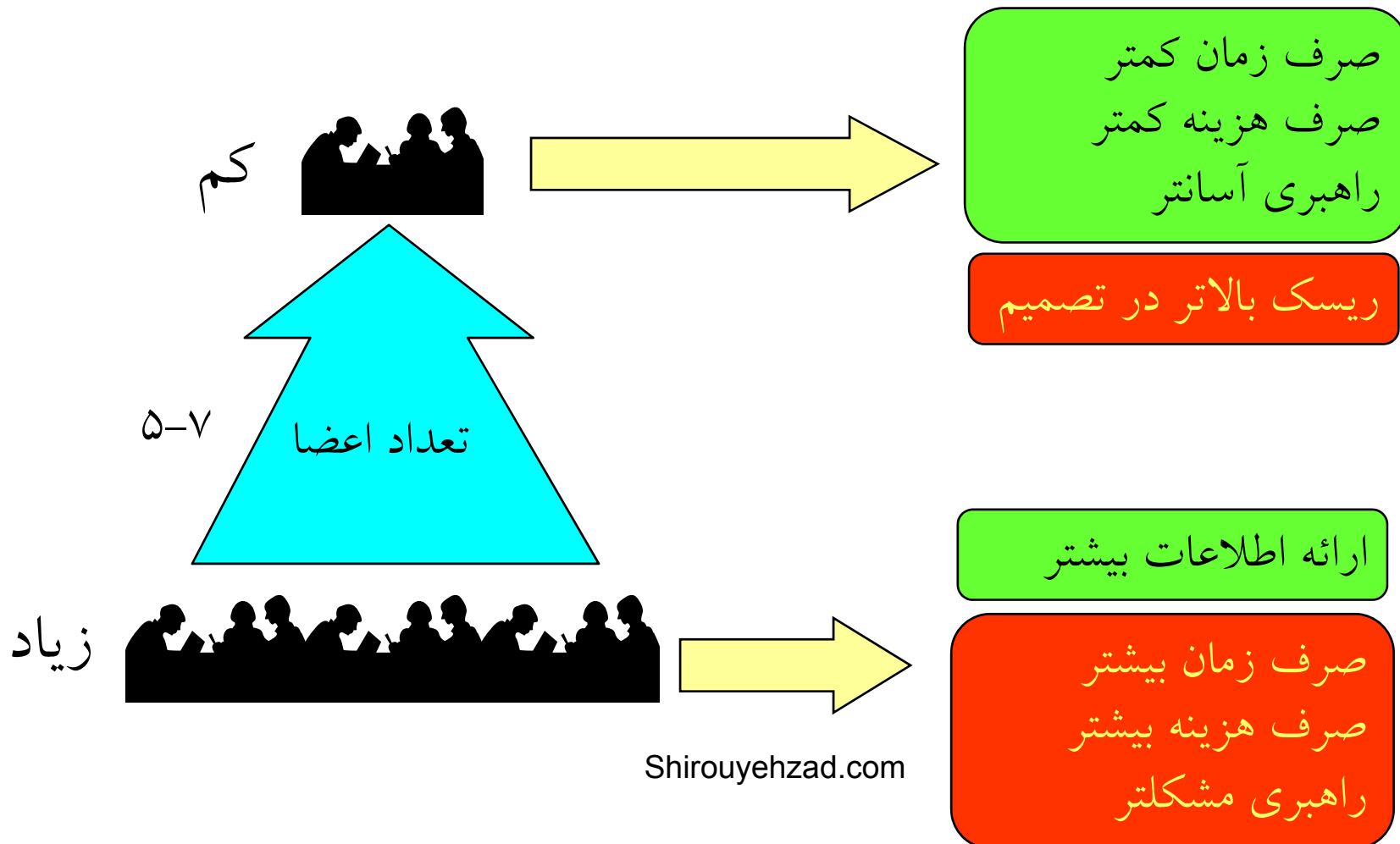
# FMEA تیم

## اعضای پیشنهادی برای تیم FMEA

مشتري	مهندسی مواد	تحقیق و توسعه
تامین کننده	مهندسی کالیبراسیون	طراحی مهندسی
	خدمات گارانتی	مهندسی قابلیت اطمینان
	تکنیکسین ها	مهندسی فرآیند
	تولید	مهندسی کیفیت
	بسته بندی	نگهداری و تعمیرات

# FMEA تعداد اعضای تیم

تعداد اعضای پیشنهادی برای تشکیل تیم



## نحوه امتیازدهی در تیم FMEA

چه عددی را باید در نظر بگیریم؟

۹ - ۹ - ۱۰ - ۱۰ - ۱ - ۸ - ۹

✗ حذف یک بعنوان عدد خارج از محدوده

✗ وزن دهی بر اساس تجربه افراد در خصوص موضوع

✗ حذف بیشترین و کمترین عدد

✗ انتخاب امتیاز با بیشترین تکرار

✗ انتخاب بزرگترین امتیاز

## FMEA نحوه امتیازدهی در تیم

چه عددی را باید در نظر بگیریم؟

۹ - ۹ - ۱۰ - ۱۰ - ۱ - ۸ - ۹

✓ حصول توافق در تیم برای یک عدد

✓ روش میانه با در نظر گیری Outlier - Split

# FMEA نحوه امتیازدهی در تیم

روش میانه با در نظر گیری Outlier - Split ✓

وخامت بر اساس نظر اعضا								اثر خطا
نهایی	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	
Outlier	۸	۹	۲	۱۰	۸	۹	۸	A
Split	۸	۹	۸	۸	۲	۳	۴	B
۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵	C
۶	۷	۷	۷	۶	۶	۵	۵	D

**RPN**

## عدد اولویت ریسک

1-1000

عملا هیچ معنای خاصی ندارد. تنها می تواند به نوعی اهمیت خطا را نشان دهد

$$\text{Risk Priority Number} = \underbrace{S \times O}_{\text{Proactive}} \times \underbrace{D}_{\text{Reactive}}$$

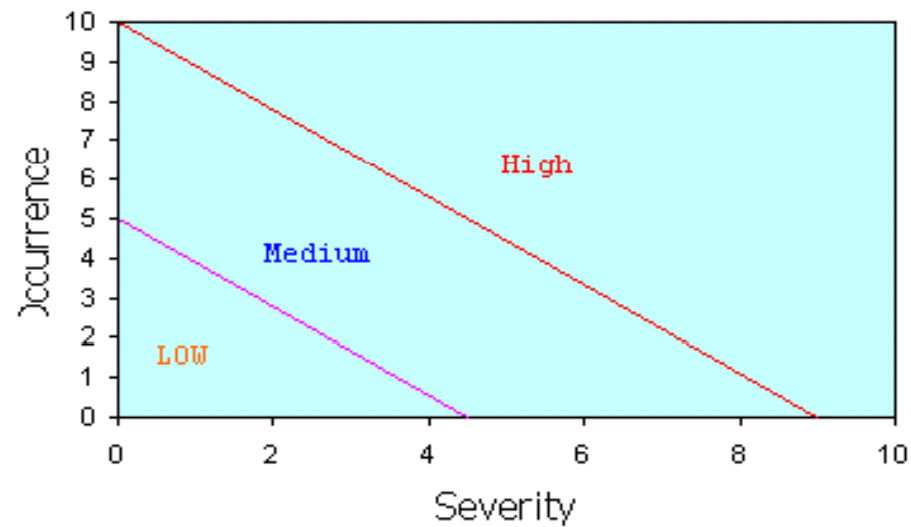
ماهیت قبل از وقوع

ماهیت پس از اتفاق

---

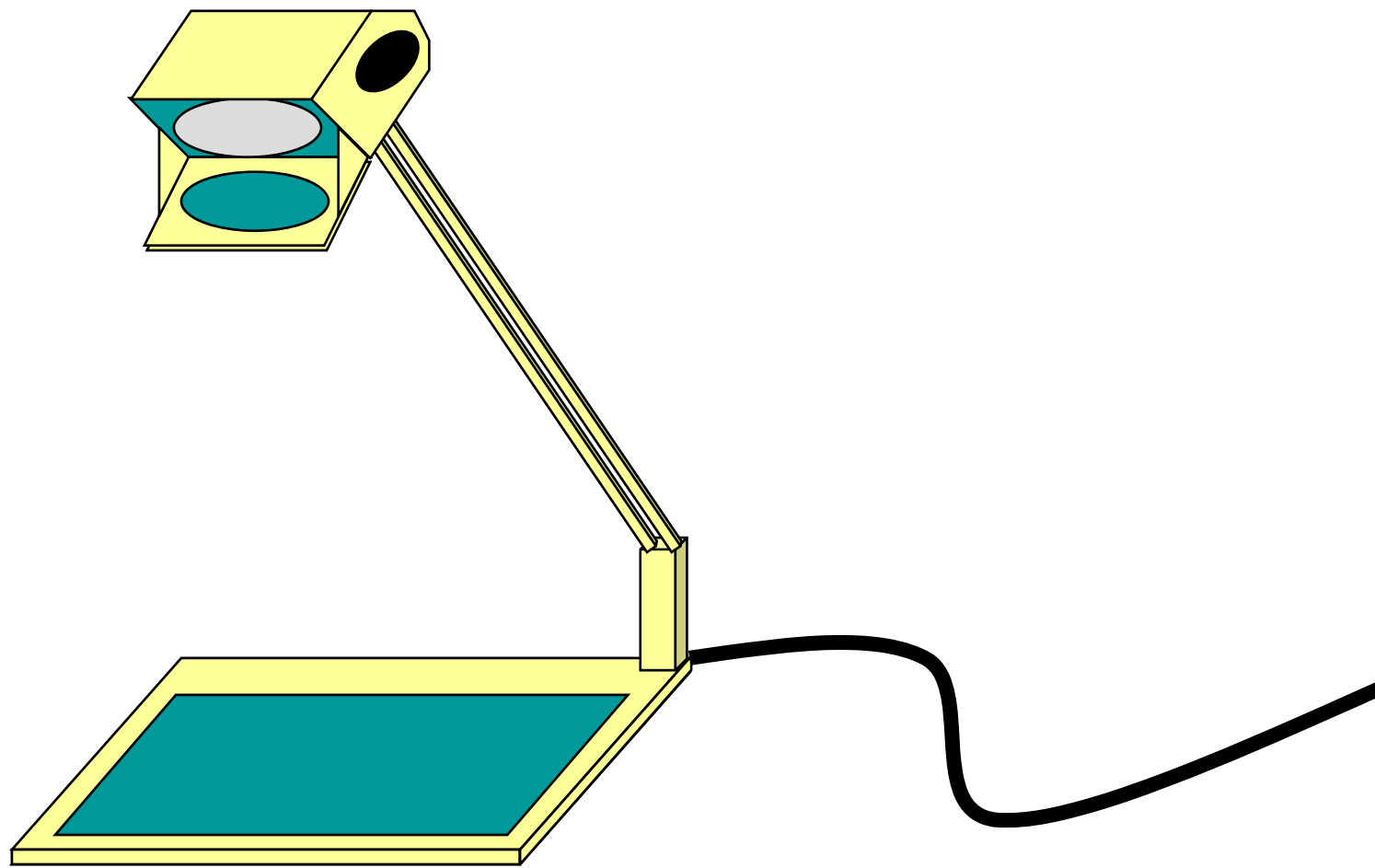
## استفاده از نمودار ناحیه ای در کنار RPN

### Area Chart



# DFMEA مثال برای

اورهد





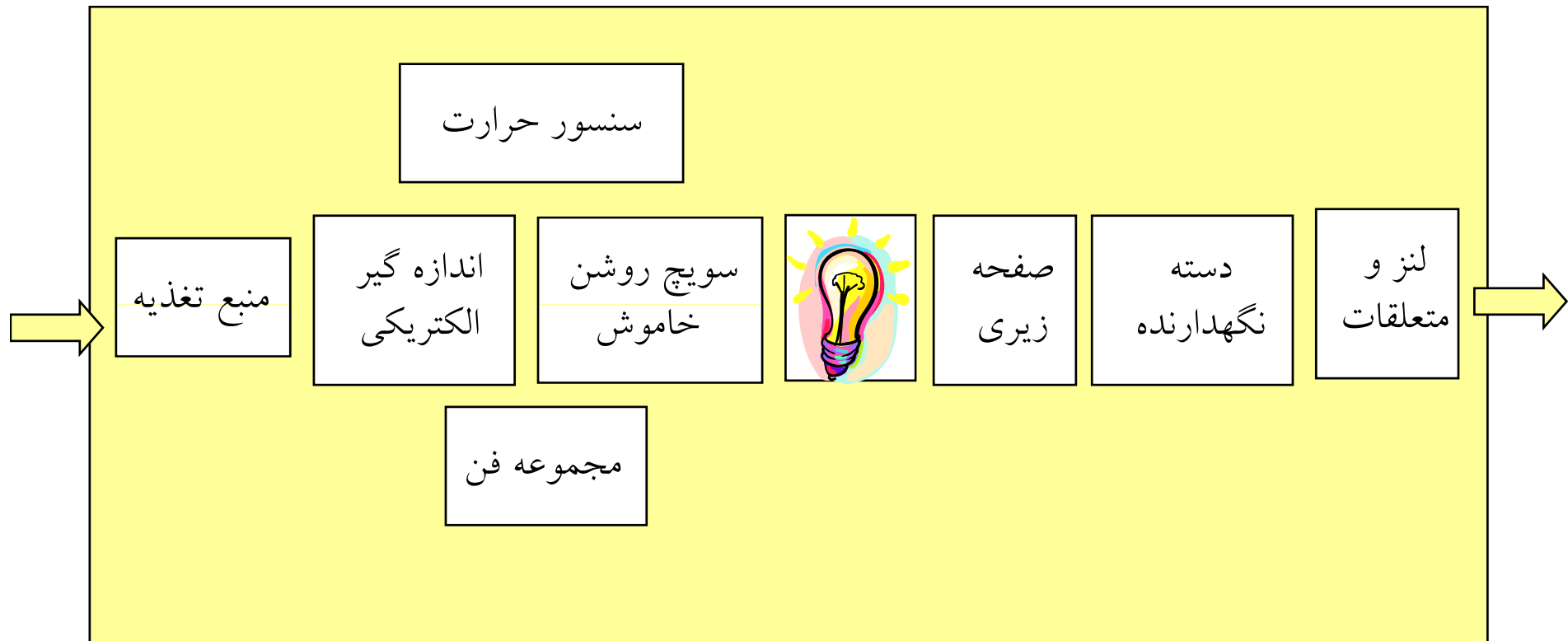
# DFMEA مثال برای

اورهد



# DFMEA مثال برای

## Block Diagram - اورهد



# مثال برای DFMEA

اورهد- فرم ورود اطلاعات

۲- وظایف - استخراج

نور بدهد

تلق ترانسپرنت را نگهدارد

قابل حمل باشد

تصویر را روی پرده تنظیم کند

در دمای کاری باقی بماند

ولتاژ ۱۱۰/۲۲۰ را بپذیرد

دو شاخه دیواری معمولی داشته باشد

تصویر را واضح نمایش دهد

تصویر را رو به جلو پرتاب کند

تصویر را بزرگ کند

تصویر را با نور زیاد بفرستد

بی صدا کار کند

کاربر و اجزاء دستگاه را نسوزاند

خودش را خنک کند

# مثال برای DFMEA

اورهد- فرم ورود اطلاعات

۲- وظایف - تصفیه

نور بدهد

تلق ترانسپرنت را نگهدارد

~~قابل حمل باشد~~

تصویر را روی پرده تنظیم کند

در دمای کاری باقی بماند

ولتاژ ۱۱۰/۲۲۰ را بپذیرد

~~دوشاخه دیواری معمولی داشته باشد~~

تصویر را واضح نمایش دهد

تصویر را با نور زیاد نمایش دهد

تصویر را بزرگ کند

~~تصویر را چند برابر نمایش دهد~~

بی صدا کار کند

کاربر و اجزاء دستگاه را نسوزاند

~~خودش را خنک کند~~

# DFMEA مثال برای

۳- خطاها

اورهد- فرم ورود اطلاعات

خطا	وظیفه
نور ندهد تلق ترانسپرنت را نگه ندارد تصویر را روی پرده تنظیم نکند حرارت بالاتر از دمای کاری برود با ولتاژ ۱۱۰/۲۲۰ کار نکند	نور بدهد تلق ترانسپرنت را نگهدارد تصویر را روی پرده تنظیم کند در دمای کاری باقی بماند ولتاژ ۱۱۰/۲۲۰ را بپذیرد تصویر را واضح نمایش دهد تصویر را با نور زیاد نمایش دهد تصویر را بزرگ کند بی صدا کار کند کاربر و اجزاء دستگاه را نسوزاند

# مثال برای DFMEA

۴- اثرات

اورهد- فرم ورود اطلاعات

اثر	خطا
تصویر دیده نمی شود تصویر دیده نمی شود تصویر دیده نمی شود ???	نور ندهد تصویر را واضح نمایش نمی دهد تصویر را بزرگ نمی کند

# مثال برای DFMEA

۴- اثرات

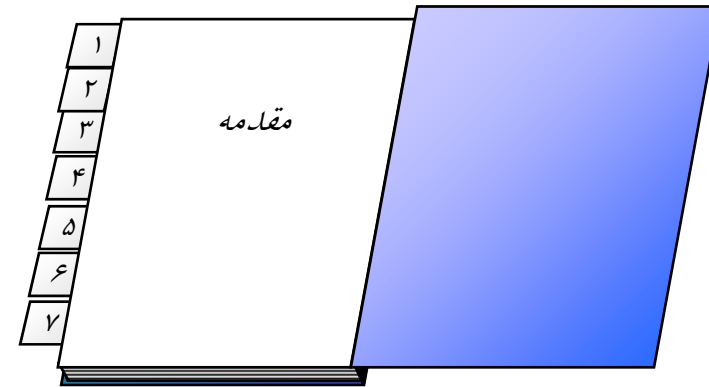
اورهد- فرم ورود اطلاعات

اثر	خطا
کسی چیزی نمی بیند دیدن تصویر مشکل می شود برای برخی، دیدن مشکل می شود	نور ندهد تصویر را واضح نمایش نمی دهد تصویر را بزرگ نمی کند

# نظامنامه FMEA

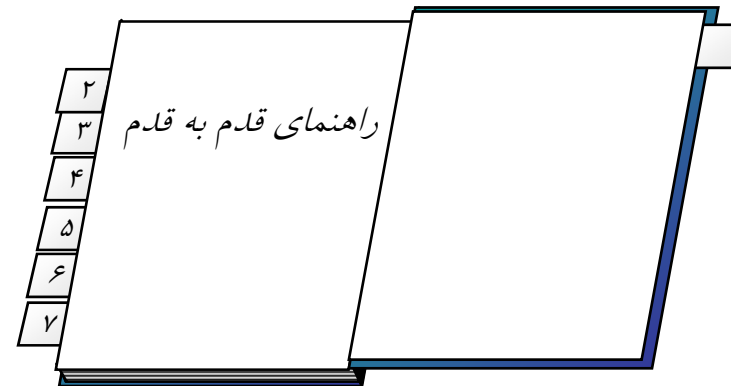






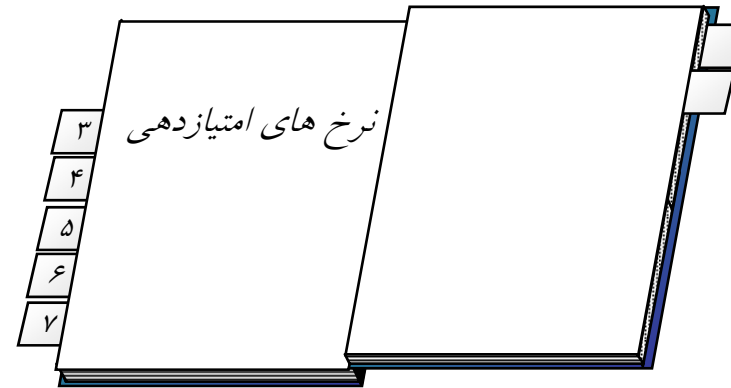
نظامنامه باید با یک معرفی اجمالی از روش FMEA، چگونگی بکارگیری و دلایل بکارگیری آن آغاز گردد

## (۲) راهنمای قدم به قدم



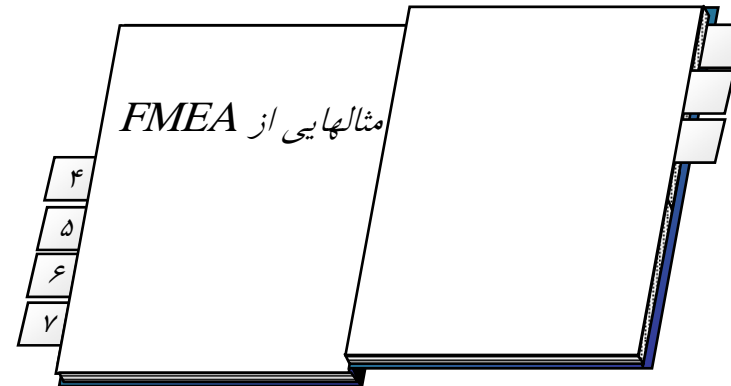
بایستی شامل شرح واضح، قابل فهم و قدم به قدم روش FMEA باشد. این خطوط راهنما بایستی در سازمان اجرا شود و بهینه گردد و نتایج آن در این نظامنامه بعنوان راهکار نهایی شده درج گردد.

## ۳) نرخ‌های امتیازدهی



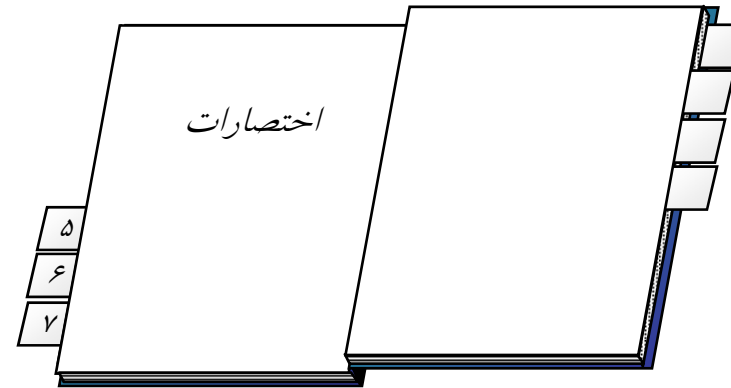
در این نظامنامه باید نرخ‌های امتیازدهی نیز وارد گردند، آنطور که با شرایط سازمان همخوانی کامل داشته باشد.

برای وخامت با در نظر گیری طبیعت سازمان  
برای رخداد با در نظر گیری سوابق کیفیت در سازمان  
برای احتمال کشف نیز با در نظر گیری سیستم تولید

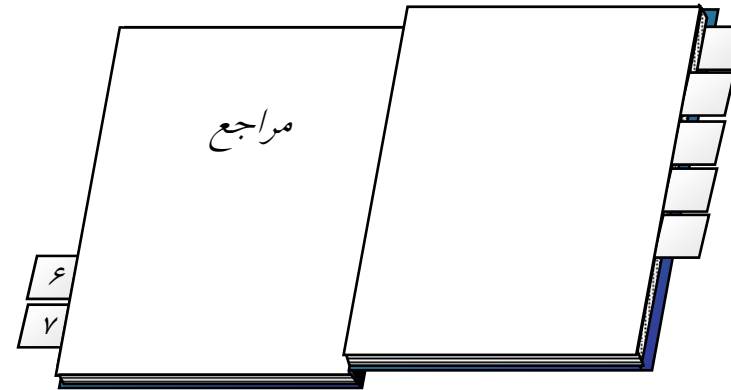


مثالهای عملی ( حتی مربوط به سازمان و یا سازمان مشابه ) در صورتی که خیلی هم بزرگ نباشد می تواند به درک مفاهیم و جهت دهی اولیه کمک کند

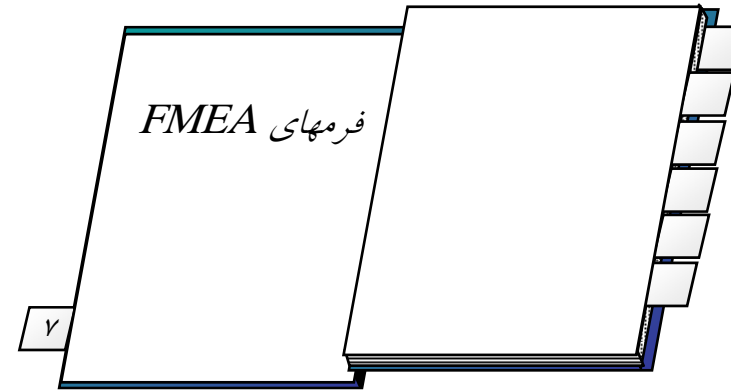
## Things Gone Right



شرح اختصارات و لغات مورد استفاده در این روش می تواند تضمین کننده حصول زبان مشترک برای اجرای صحیح FMEA باشد

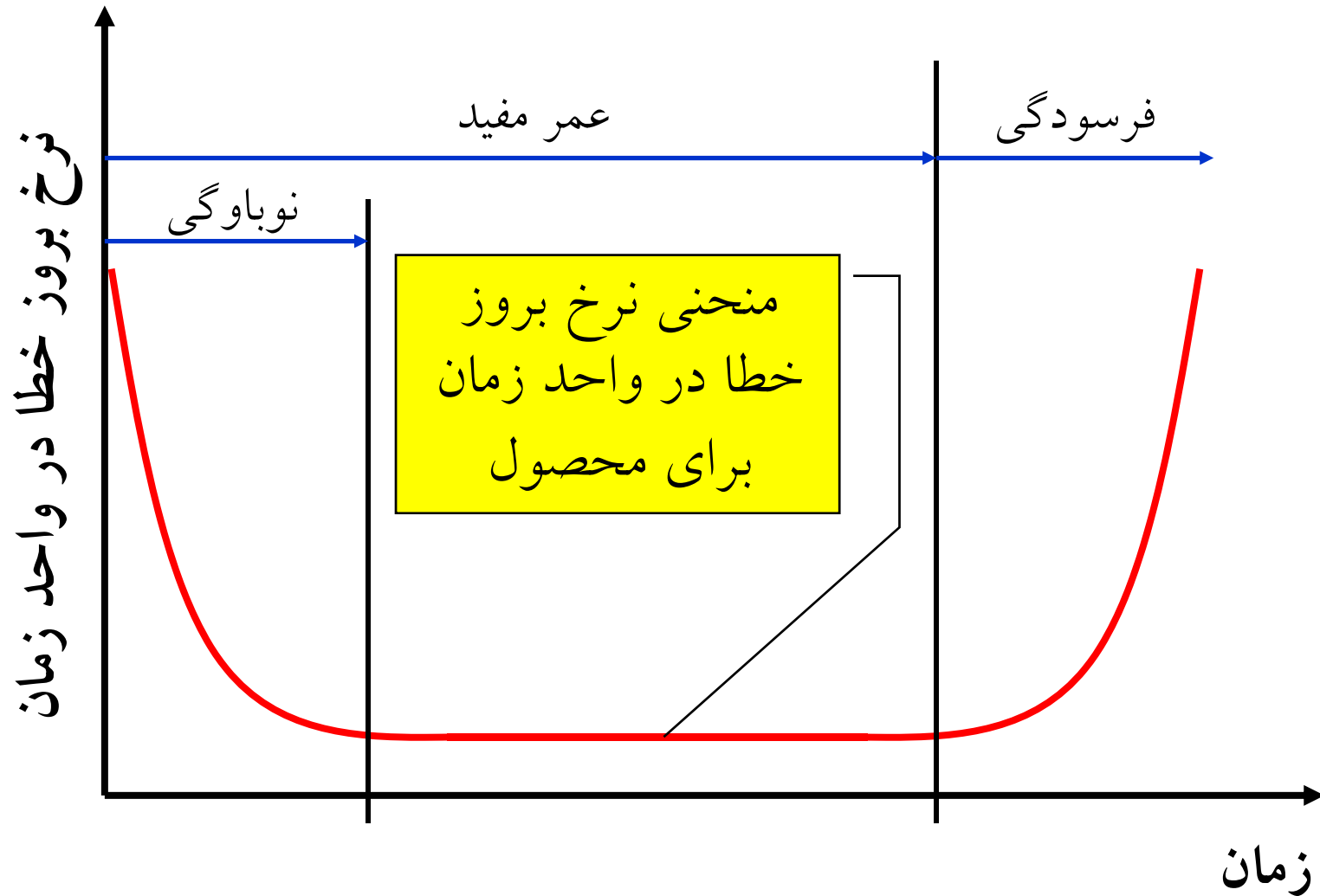


احيانا مراجعی که در این نظامنامه لازم است به آنها ارجاع داده شود. هرچه تعداد مستندات که به هم اشاره می کنند بیشتر باشد نفوذ و حیثه یک مستند کمتر می شود.



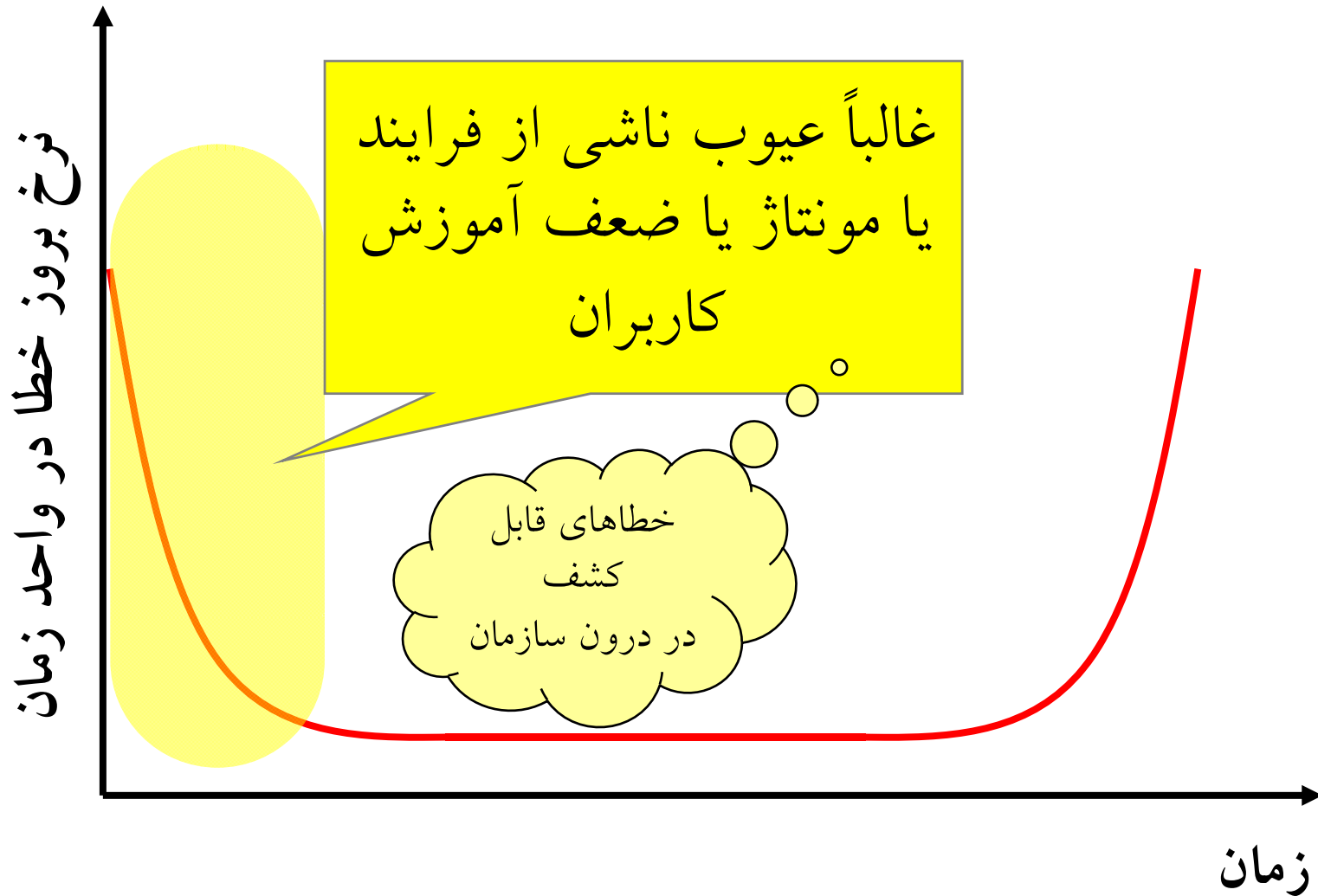
فرمهای مربوط به سازمان در این قسمت از نظامنامه می آید. طبیعی است هیچ الزامی به بکارگیری یک فرم خاص نیست ولی اصول اولیه باید رعایت گردد.

# منحنی Bath Tube در رخداد خطا

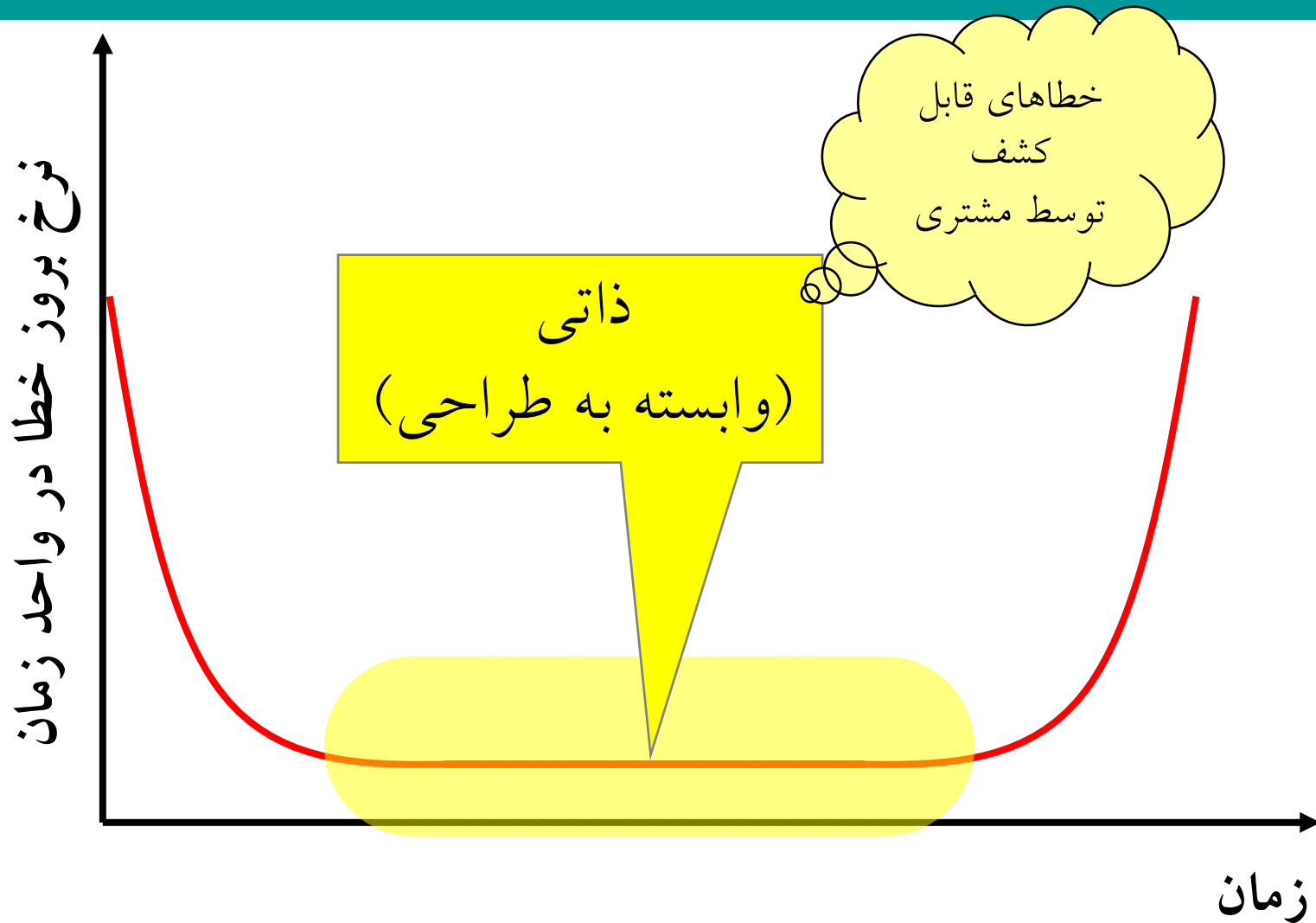




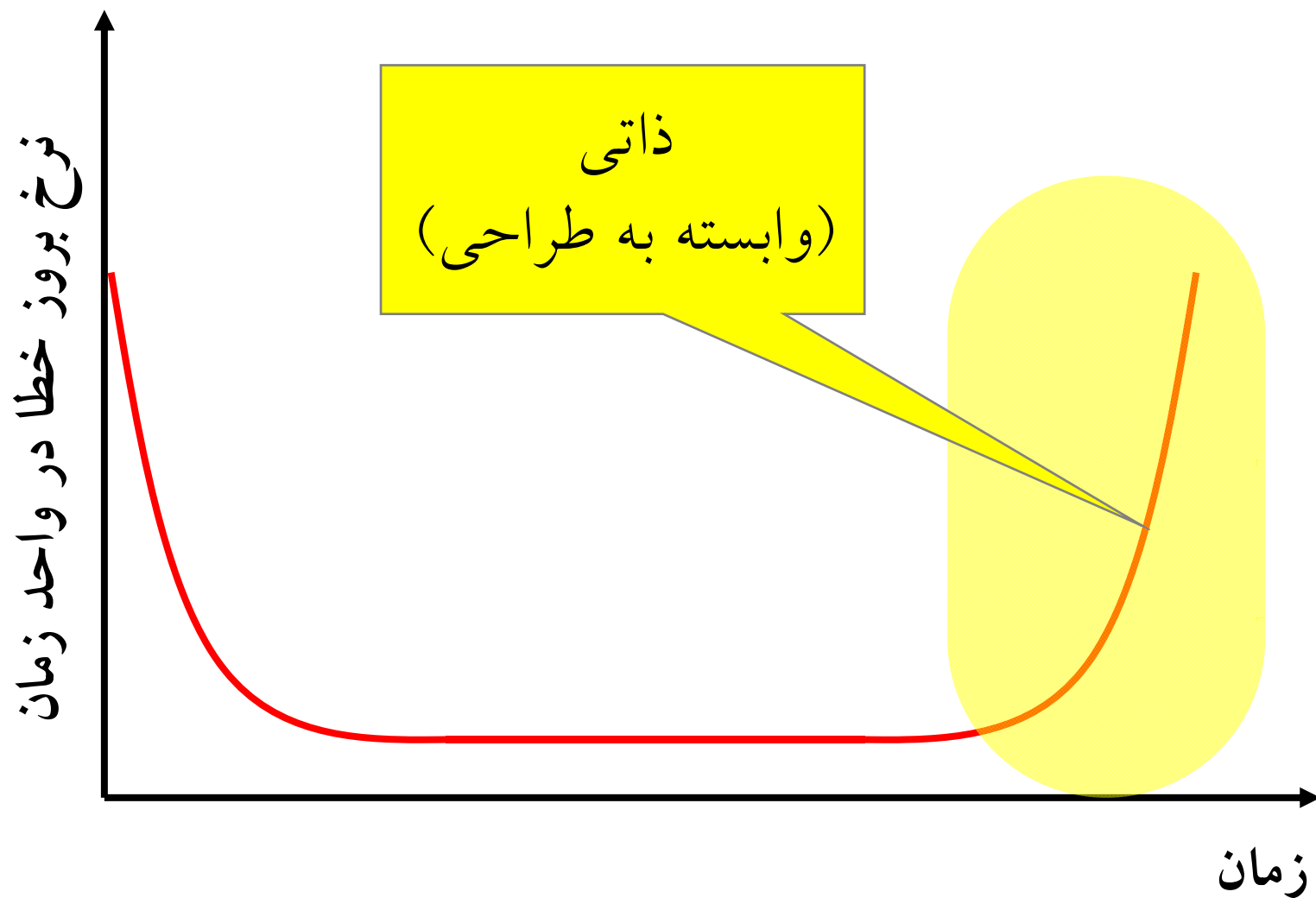
# منحنی Bath Tube در رخداد خطا



# منحنی Bath Tube در رخداد خطا

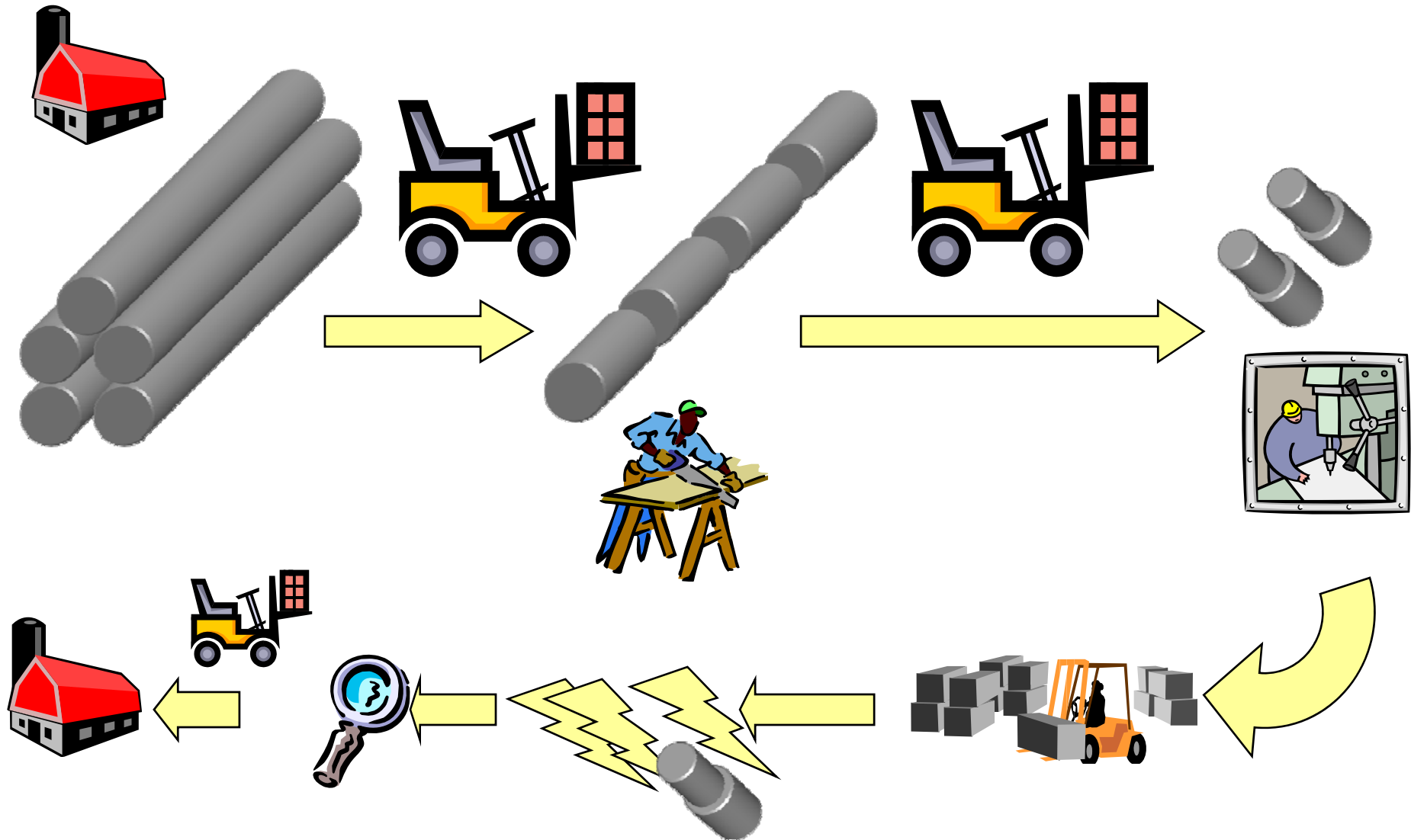


# منحنی Bath Tube در رخداد خطا



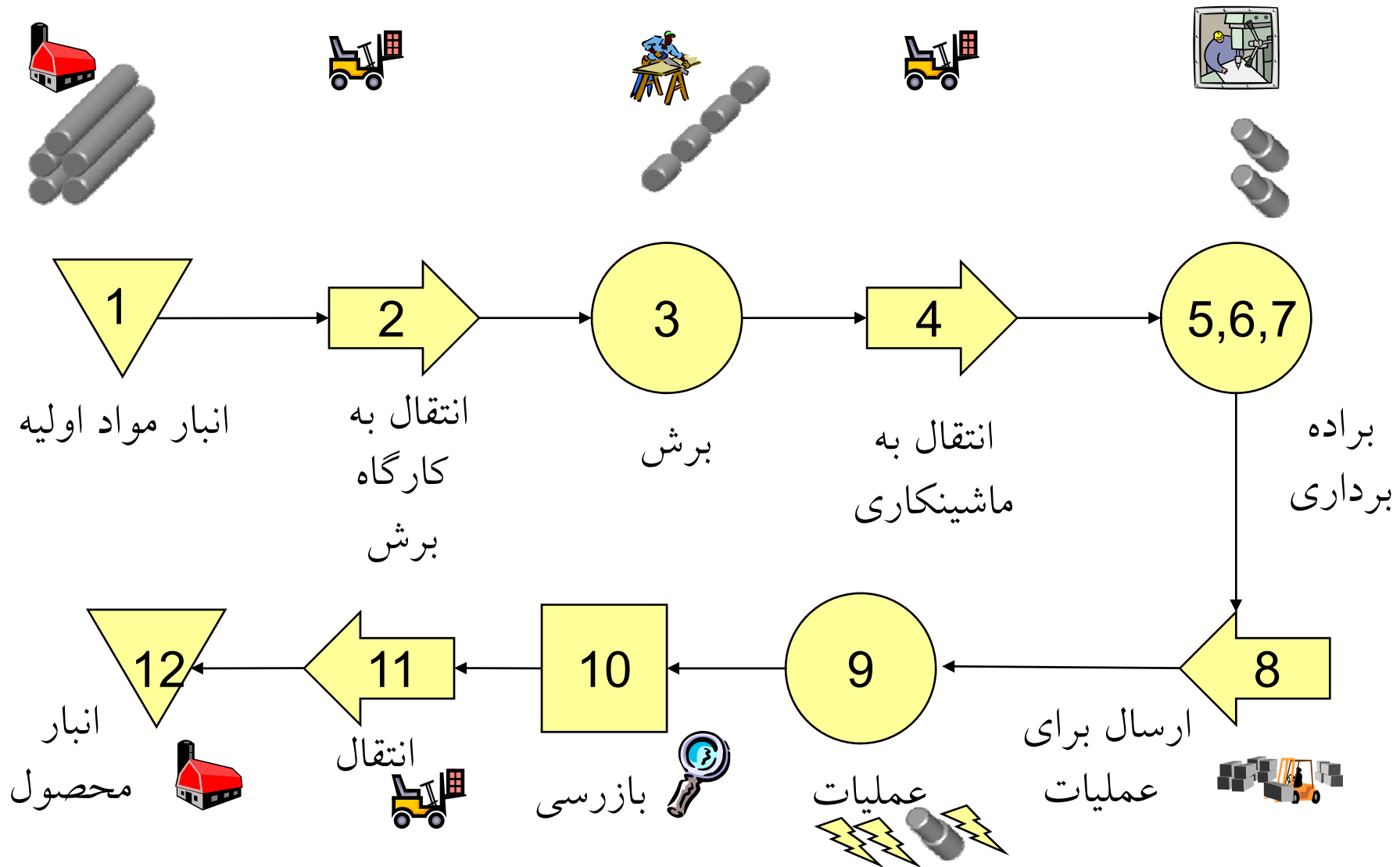
# مثال برای PFMEA

تولید شفت - (قرارداد جدید)



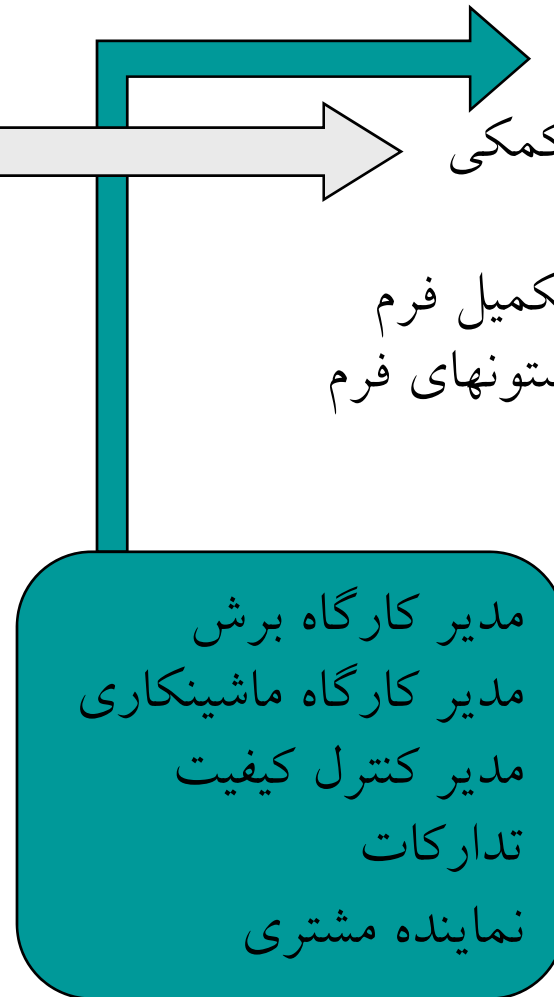
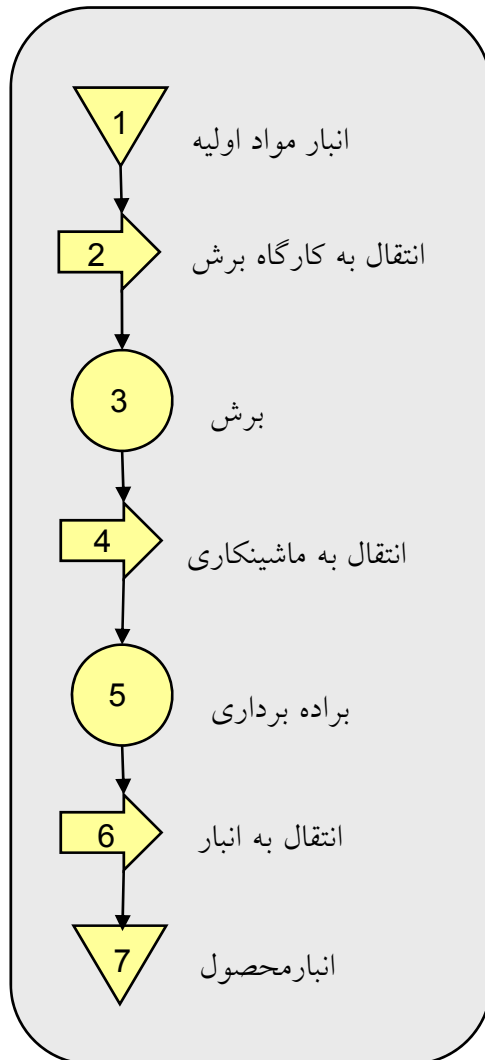
# مثال برای PFMEA

تولید شفت - نمودار فرآیند عملیات



# مثال برای PFMEA

## تولید شفت



- 1- انتخاب تیم و برگزاری جلسات ✓
- 2- استفاده از نمودارها و ابزارهای کمکی ✓
- 3- اولویت بندی ✓
- 4- جمع آوری اطلاعات و شروع تکمیل فرم
- 5- تجزیه و تحلیل و تکمیل سایر ستونهای فرم
- 6- نتیجه گیری
- 7- تایید، ارزیابی، اندازه گیری
- 8- تکرار مجدد

# مثال برای PFMEA

## تولید شفت

- ۱- انتخاب تیم و برگزاری جلسات ✓
- ۲- استفاده از نمودارها و ابزارهای کمکی ✓
- ۳- اولویت بندی ✓
- ۴- جمع آوری اطلاعات و شروع تکمیل فرم ✓
- ۵- تجزیه و تحلیل و تکمیل سایر ستونهای فرم ✓
- ۶- نتیجه گیری ✓
- ۷- تایید، ارزیابی، اندازه گیری ✓
- ۸- تکرار مجدد

شماره : صفحه از		آنالیز حالات بالقوه خرابی و آثار آن (FMEA)										FMEA			
<input type="checkbox"/> طراحی (DFMEA) <input type="checkbox"/> فرآیند (PFMEA)    شرح : تاریخ تمیز : ← تاریخ بازنگری : ← شماره بازنگری : ← نام مسئول / فرم : ← ← ← ← ← اعضای تیم : ← ← ← ← ←															
نتایج اقدامات انجام شده				تاریخ تکمیل	مسئول اقدامات پیشنهادی	اقدامات پیشنهادی	RPN	تشخیص	کنترل‌های جاری	منبع	علل / مکانیزم های بالقوه خرابی	تاریخ	آثار بالقوه خرابی	حاله بالقوه خرابی	شرح عملیات / عملکرد
RPN	تشخیص	منبع	اقدامات انجام شده												

نام و نام خانوادگی : \_\_\_\_\_