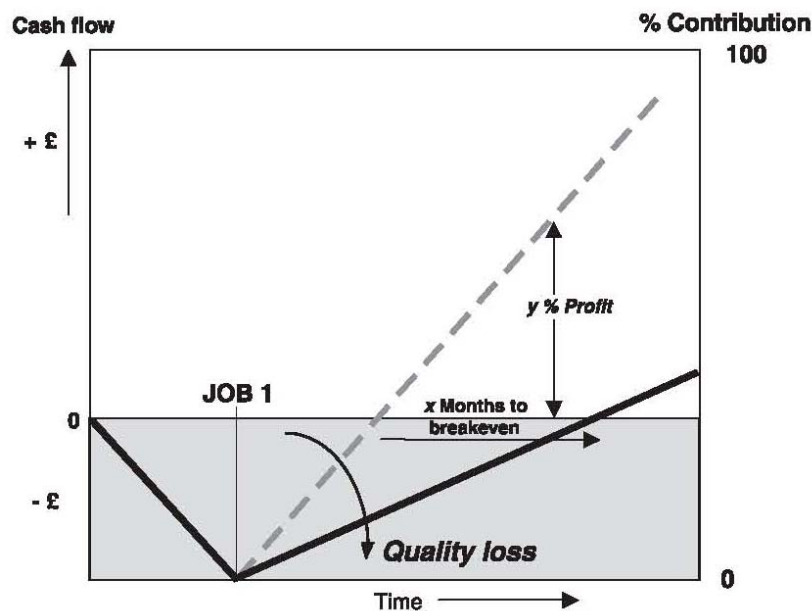


مقدمه ای بر مهندسی کیفیت و قابلیت اعتماد

۱.۱ شرح مسئله

برای بهبود عملکرد اقتصادی، شرکت های تولیدکننده نیازمند کاهش سطح عدم تطابق و هزینه های خرابی به خاطر طراحی و تولید ضعیف می باشند. هزینه های خرابی بزرگترین سرفصل هزینه در اقتصاد تولید می باشد و شامل دوباره کاری، اسکرب قطعات، خدمات گارانتی، مرجوعی محصول و دعاوی مربوط به قابلیت اعتماد محصول می باشد. در نتیجه، هزینه های خرابی باعث کاهش سود شرکت می شود. شرکتهایی که تلاش می کنند هزینه های خرابی را کاهش دهند می توانند ایجاد مزیت رقابتی کنند (Russell and Taylor, 1995).

تأثیر هزینه های خرابی یا "عدم کیفیت" بر سود محصول در شکل ۱-۱ نشان داده شده است. سطح بالای هزینه های خرابی منجر به کاهش فروش و احتمالاً شکست پروژه و عدم بازگشت سرمایه گذاری می شود.



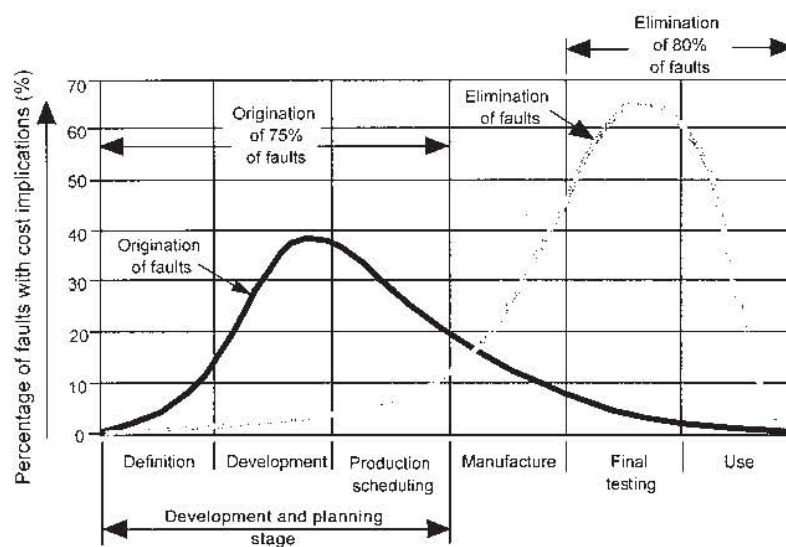
شکل ۱-۱ تأثیر عدم کیفیت روی سود پروژه محصول

در تلاش برای مبارزه با هزینه های کیفیت بالا و بهبود عمومی کیفیت محصول، شرکت ها معمولاً سیستم های مدیریت تضمین کیفیت مانند BS EN ISO 9000 را انتخاب می کنند. سیستم مدیریت تضمین کیفیت الزاماً کیفیت محصول را تضمین نمی کند، اما برای استقرار سیستم های مورد نیاز برای ردیابی و مسائل کنترل کیفیت هم از منظر تجاری و هم از منظر تأمین کننده های آنها، راهنمایی هایی می کند. پذیرش استانداردهای کیفی تنها قدم اول در تحقق محصولات کیفی می باشد و همچنین سهم نامعلوم در کاهش هزینه های خرابی دارد. یک پاسخ بسیار موثر خیلی از تولیدکنندگان، اجرا و پشتیبانی از طراحی بلندمدت محصول و توسعه استراتژی های معطوف به مهندسی محصول می باشد.

برای سال های متمادی این موضوع قابل فهم بوده است که کنترل کیفیت تنها در پایان خط تولید، تجربه خوبی نبوده است (Crosby, 1969). این موضوع منجر به افزایش توجه بر روی یکپارچه کردن کیفیت تا مراحل اولیه طراحی محصول شد (Evbuomwen 1996,).

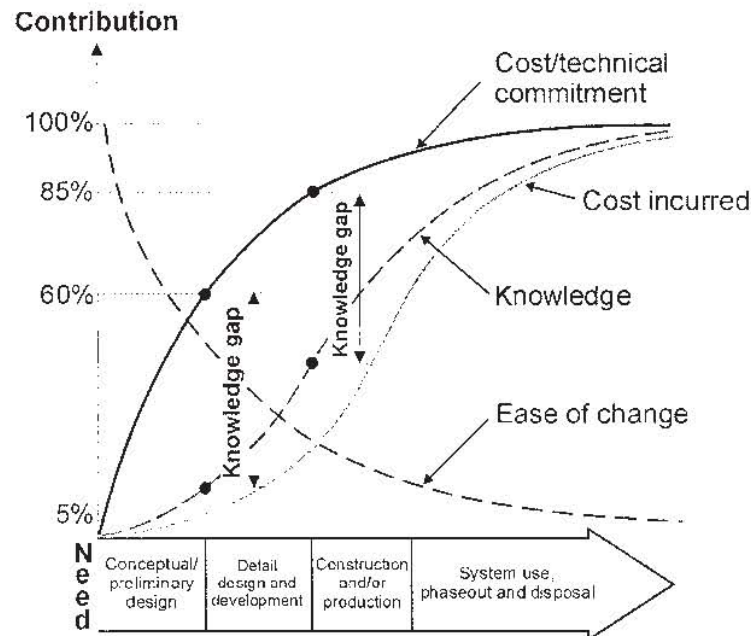
(Sanchez, 1993). در نتیجه، یک انتقال تدریجی از تکنیک های کیفیت به روز تجاری مانند کنترل فرآیند آماری (SPC) که در طول ۵۰ سال گذشته محرکه اصلی بهبود کیفیت بوده است، به دیدگاه کیفیت آف لاین که از ابزارها و تکنیک های طراحی استفاده می کند، شده است.

توجه به بهبود کیفیت در طراحی موضوعی نیست که از قلم افتاده باشد. مطالعات نشان داده است، غالب تمام هزینه ها و مسائل کیفی در مرحله ظهور محصول ایجاد شده است. با توجه بر ایجاد خرابی های محصولی جدید، معلوم شده است که به طور نمونه وار، ۷۵ درصد منشا خرابی ها در مراحل ایجاد و برنامه ریزی می باشد، اما تا تست نهایی محصول یا وقتی که محصول مورد استفاده قرار می گیرد، حدود ۸۰ درصد خرابی ها تشخیص داده نمی شوند (شکل ۱-۲ را نگاه کنید). نتایج اشتباهات طراحی می تواند فلج کننده باشد: خیل عظیم مرجوعات، اصلاحات هزینه بر، کاهش تکرارپذیری و فروش، یا حتی خارج شدن از بازار! مهندس ها و طراح ها گاهی اوقات تصور می کنند که اشخاص دیگری باعث ایجاد هزینه های محصول شده اند، اما سطرهای بالا جزئیاتی است از اینکه چطور هزینه های محصول طراحی شده ایجاد می شود (Foley and Bernardson, 1990).



شکل ۱-۲: منشا و حذف خرابی های محصول در ظهور محصول (DTI, 1992)

آشکارترین کاهش هزینه می تواند از تغییر طراحی محصول به جای تغییر در روش تولید بدست آید (Bralla, 1986). در مراحل برنامه ریزی و طراحی، هزینه ها ثابت می باشد. در مرحله ظهور محصول هزینه ها عموماً بین ۶۰ تا ۸۵ درصد می باشد. اما هزینه های واقعی ممکن است تنها ۵ درصد کل هزینه های پروژه باشد. بنابراین، بیشتر مسائل خیلی زود بدون آنکه مشکلات عدیده ای بعداً ایجاد کنند و یا هزینه بر باشند، با طراحی دقیق جلوگیری می شود (Dertouzos, 1989). در این حالت غالباً کیفیت می تواند بدون اینکه هزینه های کلی تولید را افزایش دهد، در محصول نهادینه شود (Soderberg, 1995). اما، برای دستیابی به آن احتیاج به کاهش "شکاف دانش" یا Knowledge gap بین طراحی و تولید داریم. این موضوع در شکل ۱-۳ نشان داده شده است.



شکل ۱-۳: شکاف دانش

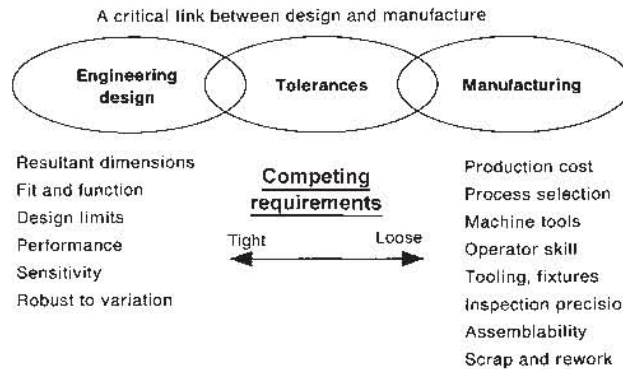
طراحی به عنوان عامل اصلی و تعیین کننده کیفیت و نهایتاً هزینه ها، شناخته می شود. همچنین، طراحی یک فاکتوری برای تعیین زمان ورود به بازار محصولات می باشد (Welch and Dixon, 1992). در قدیم، طراح ها نگران نوع محصول، عملکرد و ساختار یکپارچه آن بودند (Craig, 1992). اما حالا طراح بیشترین مسئولیت و پاسخگویی برای اطمینان بخشیدن به اینکه محصول در تطابق با خواسته ها و مشخصات فنی مشتری می باشد را دارد. همچنین طراحی باید منطبق بر هدف های هزینه ای باشد و کیفیت و قابلیت اطمینان در تمامی کاربردهای محصول را تضمین کند. علاوه بر آن تمامی این کارها باید در محدوده زمانی فشرده و مشخص شده انجام گیرد.

از مطالب بالا واضح است که طراح نیازمند آگاهی از مسائل مهم فاز تولید محصول می باشد. از منظر کیفیت، طراح باید مطابق با استانداردها و مشخصات فنی عمل نماید و همزمان این کار را باید در محدوده قابلیت های بخش تولید کارخانه انجام دهد. بسیاری از طراح ها تجربه های عملی تولید دارند و کاملاً محدودیت ها و قابلیت هایی که باید در آن کار کنند را می دانند. متأسفانه، همچنین بسیاری هم هستند که نمی دانند (Oakley, 1993). با دانستن اصول و ارتباط بین طراحی و تولید، طراح می تواند هزینه های مربوط به خرابی را به طور محسوسی کاهش دهد و همزمان باعث بهبود مزیت کسب و کار شرکت شود. یکی از مهمترین و حساس ترین مواردی که طراح می بایست از تولید بداند، تخصیص ترانس های قابل اجرای فرآیند می باشد.

احتمالاً تا کنون در بهبود طراحی، هیچ تلاش کم هزینه ای به اندازه آنالیز دقیق و اعمال ترانس ها نبوده است (Chase and Parkinson 1991). تأثیر اعمال ترانس ها روی طراحی و فاز تولید در شکل ۱-۴ نشان داده شده است. ترانس های محصول بر رضایت مشتری، بازرسی کیفی، تولید و طراحی تأثیر می گذارد و بنابراین یک رابطه بحرانی بین طراحی، تولید و مشتری وجود دارد (Gerth, 1997; Soderberg, 1995). این موارد نیاز به کنترل و فهم دارند!

هر محصول به مواد، قطعات و فرآیندهای مونتاژی مجزا تقسیم می شود. خواص هر یک از این اجزا احتمالاً یک واریانس با مقدار ایده آل یا هدف آن دارد. از منظر دیگر، طراح با پیش بینی این موضوع، ترانس ها را تعریف می کند، اما غالباً اعمال ترانس ها از دیدگاه هزینه ای و

قابلیت تولید جهت برآورد مشخصات فنی، انجام نمی گیرد (Craig, 1992; Korde, 1997). وقتی واریانس های خواص اجزا بسیار زیاد باشد، محصول برای منظوری که تولید شده است، ناکارآمد خواهد بود. بنابراین بسیار مهم است که مشخص شود که آیا خصوصیات در تطابق با مشخصات فنی است و اگر نیست چقدر با مقدار مورد نظر اختلاف دارد.



شکل ۱-۴: تolerانس ها - رابطه بحرانی بین طراحی و تولید (Chase and Parkinson, 1991)

اعمال تolerانس های نامناسب و واریانس کنترل نشده یکی از بزرگترین دلایل خرابی، اسکرب، دوباره کاری، مرجوعات کالا، افزایش دوره زمانی توسعه محصول، گسیختگی جریان کار و احتیاج به بازرسی می باشد (Gerth and Hancock, 1995).

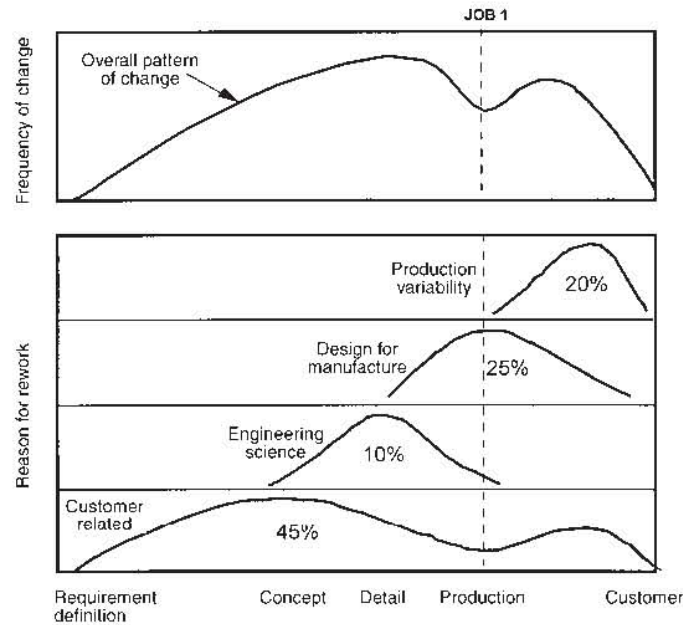
اگر فرآیند های تولید واریانس نداشته باشند، مسائل کیفی بوجود نخواهد آمد، بنابراین کاهش اثرات نوع (Variations) در مرحله طراحی، یک راه اقتصادی برای بهبود کیفیت محصول می باشد (Bergman, 1992; Kehoe, 1996).

مسائل کیفیت محصول نتیجه مستقیمی از واریانس در تولید و مونتاژ می باشد (Craig, 1992). اما، مطالعات در بسیاری از صنایع نشان داده است معمولاً مشکلات ناشی از تolerانس های تولید در مرحله طراحی بسیار دیر تشخیص داده می شود. به طور میانگین، تقریباً ۷۰ درصد دوباره کاری های مهندسی تولید به خاطر مسائل کیفی می باشد، که باعث از بین رفتن رضایت مشتری و خواسته های آن می شود. تقریباً ۴۰ درصد دوباره کاری ها تا موقعی که تولید محصول آغاز نشده باشد، تشخیص داده نمی شود.

دلایل دوباره کاری در شکل ۱-۵ شرح داده شده است. این دلایل به چهار گروه طبقه بندی می شوند:

- تغییرات مرتبط با مشتری (شامل کیفیت فنی)
- مسائل علم مهندسی (محاسبات طراحی، خطا ها و مانند آن)
- امکان سنجی تولید و مونتاژ و مسائل هزینه ای
- مسائل واریانس های تولید

موضوع اول (تغییرات مرتبط با مشتری) ممکن است در مرحله طراحی، جزئیات فنی، نمونه سازی و تست اتفاق افتد که در واقع بدین معنی است که هنوز مقداری از خواسته های مشتری برآورد نشده است. مسائل علم مهندسی، به طور متوسط کمتر از ۱۰ درصد دوباره کاری ها را شامل می شود و معمولاً قبل از شروع مرحله تولید اصلاح می شود. بیش از ۵۰ درصد دوباره کاری ها در عناصر پر هزینه طراحی از دیدگاه تولید و تنوع محصول اتفاق می افتد.



شکل ۱-۵: موقعیت دوباره کاری در مرحله توسعه محصول (Swift et al, 1997)

کاهش تنوع قطعات در مرحله طراحی یکی از روش های کاهش واریانس های تولید می باشد. جایی که این موضوع به درستی درک و کنترل شود، ممکن است نتایج زیر حاصل شود:

- تولید آسانتر
- بهبود انطباق
- کاهش تنوع کاری
- کاهش دوره زمانی انجام کار
- کاهش تغییرات طراحی
- افزایش پایداری و بهبود قابلیت اعتماد
- افزایش قابلیت تعمیرات و نگهداری محصول

۲-۱ هزینه های کیفیت

منظور از هزینه های کیفیت، تمامی هزینه های یک شرکت در ارتباط با کیفیت می باشد. غالباً هزینه های کیفیت یک شرکت بین ۵ تا ۳۰ درصد فروش سالانه آن می باشد. در بعضی کسب و کارهای فنی، هزینه های کیفیت تا ۳۶ درصد نیز گزارش شده است (Dale, 1994; Kehole, 1996; Mayler, 1996). این موضوع در شرکت های خدماتی تا ۴۰ درصد نیز دیده شده است (Bendell et al, 1993). اصولاً هزینه های کیفیت را می توان به چهار گروه زیر طبقه بندی نمود:

- هزینه های پیشگیری Prevention Costs

هزینه های پیشگیری، هزینه هایی می باشند که ما انتظار داریم کارها برای بار اول درست انجام شوند. برای مثال برنامه تضمین کیفیت، بازرگری طراحی ها، ابزارها و تکنیک های انجام کار، و آموزش

- هزینه های سنجش Appraisal Costs

هزینه های سنجش، هزینه هایی هستند که شامل بازرسی و بررسی کالا و مواد ورودی انجام می گیرد. در حالی که بازرسی و تست لازم و ضروری است، از طرفی باید تا آنجا که امکان دارد کاهش یابد تا هزینه های مضاعف به پروژه نیفزاید.

- هزینه های خرابی Failure Casts

هزینه های خرابی به دو دسته زیر تقسیم می شوند:

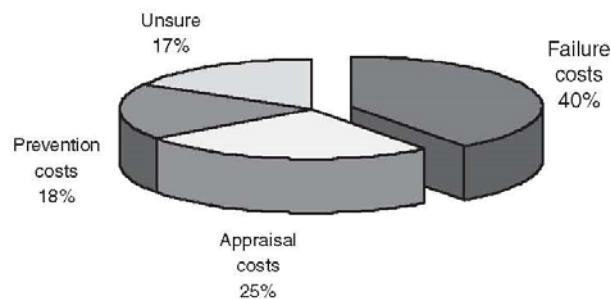
الف) هزینه های خرابی داخلی: مانند دوباره کاری، اسکرب قطعات، تغییر طراحی. در واقع هزینه هایی می باشند که قبل از خروج محصول ایجاد می شود.

ب) هزینه های خرابی خارجی: شامل مرجوعی کالا، هزینه های گارانتی و خدمات پس از فروش

- فرصت های از دست رفته Lost Opportunities

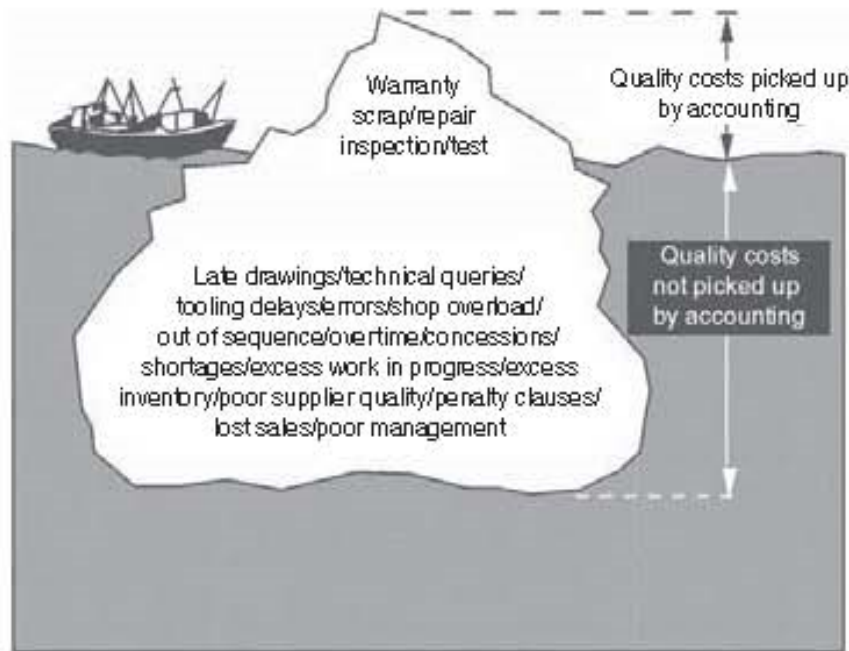
برآورد دقیق این گروه از هزینه های کیفیت غیر ممکن می باشد. این هزینه مربوط به عدم استقبال محصول یک کمپانی به دلیل سابقه خدمات و کیفیت پایین آن شرکت می باشد. ممکن است شرکت به دلیل عدم حسن انجام کار، برای مناقصه بعدی دعوت نشود.

تا ۹۰ درصد هزینه های کیفیت مربوط به خرابی می باشد، هزینه های خرابی داخلی و خارجی تقریباً به یک میزان می باشند (Crosby, 1969; Russel and Taylor, 1995; Smith, 1993). یک بررسی در سال ۱۹۹۴ بر روی شرکت های انگلیسی نشان داده است که خرابی ۴۰ درصد کل هزینه های کیفیت می باشد. ۲۵ درصد مربوط به هزینه های سنجش، ۱۸ درصد هزینه های پیشگیری و ۱۷ درصد هزینه های غیر ثابت می باشد. این موضوع در شکل ۱-۶ نشان داده شده است.



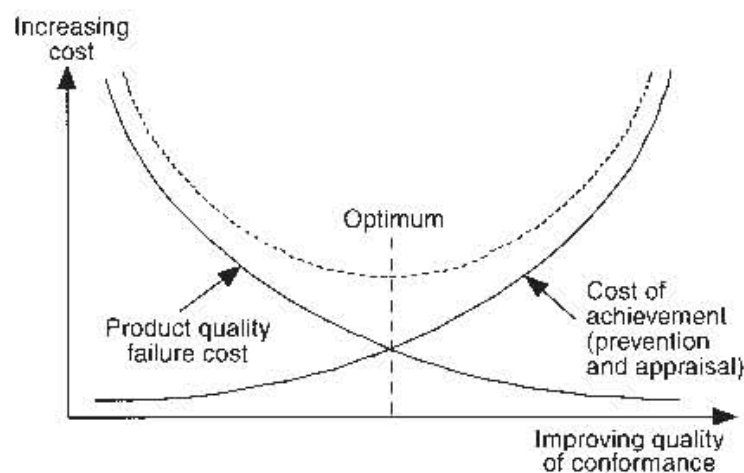
شکل ۱-۶: هزینه کیفیت در صنعت انگلیس (Booker, 1994).

بسیاری از سازمان ها اندازه نارسایی های کیفیت شان را برآورد نمی کنند و معمولاً ناخواسته سیستم های مالی را به کار می گیرند که هزینه های کیفیت را به طور صحیح نشان نمی دهد. در بسیاری موارد، خرابی به عنوان هزینه های بالاسری در نظر گرفته می شود. هزینه های نارسایی کیفیت به طور مستقیم سود شرکت را کم می کند! سازمان ها ممکن است سیستم های مالی برای تشخیص اسکرب، بازرسی، تعمیر و تست داشته باشند، اما این هزینه ها تنها نوک کوه یخی شکل ۱-۷ را شامل می شود.



شکل ۱-۷: هزینه های پنهان کیفیت ضعیف (Laboviz, 1988)

یک شرکت باید هزینه های خرابی و سنجش کیفیت را تا حد امکان کم کند. از طرفی باید سرمایه گذاری بر روی پیشگیری را افزایش دهد. البته اگرچه پیشگیری برای خرابی صفر هدف و آرزوی کیفیت می باشد، اما معمولاً از منظر اقتصادی این امر غیر ممکن است. این موضوع که میزان مطلوب و منطقی پیشگیری چقدر باشد، بسته به صنعت مربوطه دارد. به طور حتم در صنعت هواپیمایی میزان پیشگیری با یک کارگاه ماشینکاری ساده بسیار متفاوت می باشد. برخی صاحب نظران میزان ۴ درصد فروش یک شرکت تولید کننده را به عنوان حد متعادل صرف هزینه برای پیشگیری در نظر گرفته اند (Crosby, 1969). شکل ۱-۸ یک مدل ساده هزینه - کیفیت را نشان می دهد. هر کسب و کاری می بایست حد بهینه هزینه و کیفیت را تعیین کند.

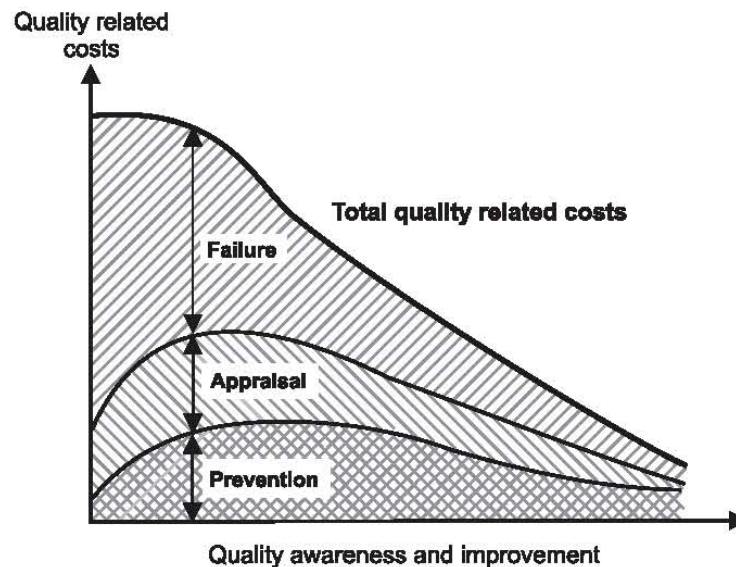


شکل ۱-۸: بهینه سازی هزینه های کیفیت

۱-۲-۱ روش های برآورد هزینه - کیفیت

مدل های هزینه - کیفیت می توانند به کسب و کارها کمک کنند تا تأثیر سطوح خرابی را روی هزینه ها در مدت توسعه محصول بفهمند. طراح ها باید از این مدل ها استفاده کنند تا هزینه ها را در مراحل مختلف تخمین زنند. این نتایج یک فرآیند تصمیم گیری را ایجاد می کند که بالاخص در مرحله طراحی بسیار موثر می باشند (Hundal, 1997). برآورد هزینه های کیفیت در سه سطح کاملاً مختلف بیان شده است:

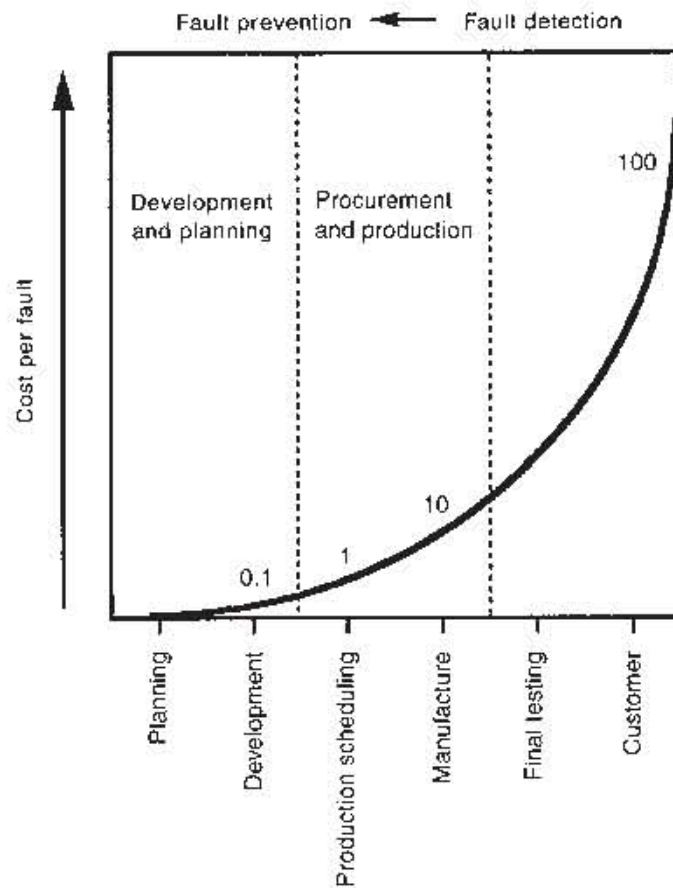
- مدل های اقتصادی هزینه - کیفیت که روش های عمومی یا مقیاس بزرگ یا دیدگاه از بالا به پایین می باشند. این مدل ها مسیر های کلی هزینه های کیفیت را که بر پایه تغییر زمان یا بهبود تخمین زده شده اند را نشان می دهند. مدلی که در استاندارد BS6143 (شکل ۱-۱۲) ارائه شده است، از این نوع می باشد. همانطور که در شکل قابل مشاهده می باشد، با بهبود کیفیت هزینه های پیشگیری کاهش می یابد.



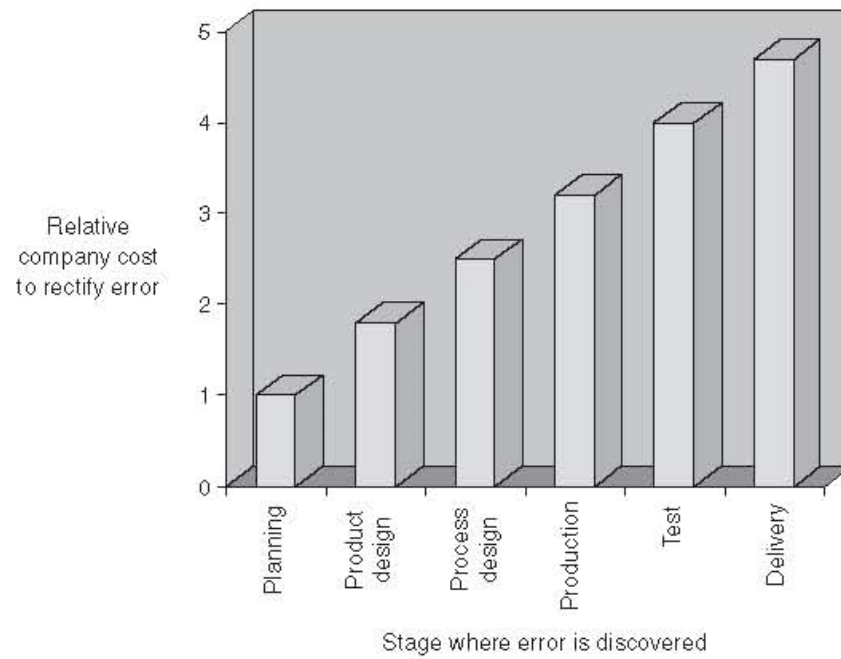
مدل عمومی هزینه - کیفیت (BS 6143, 1990)

- مدل مقیاس کوچک یا دیدگاه از پایین به بالا به هزینه های کیفیت. جایی که امکان محاسبه هزینه های به هدر رفته در تولید و مرجوعات وجود دارد، استفاده از این روش امکان پذیر می باشد. استفاده از این روش نیازمند تجربه زیاد در برآورد هزینه ها و وجود اطلاعات کافی می باشد. برای شرکت های تولید کننده معمولاً استفاده از این روش بسیار سخت و غیر مفید می باشد. بعلاوه این روش امکان برآورد هزینه های کیفیت در مراحل اولیه توسعه محصول را ندارد.
- آنالیز تطبیقی (CA) یا مقیاس بندی هزینه - کیفیت. در این روش هزینه های خرابی در گذشته به گونه ای مقیاس بندی می شود تا اجازه تغییر در طراحی بوجود آید. این روش از روش اول دقیقتر و از روش دوم کلی تر می باشد. این روش به خصوص در مرحله طراحی بسیار مفید می باشد.
- یک محصول را در نظر بگیرید که هزینه تمام شده آن PC می باشد. هزینه ها بابت خرابی در مراحل مختلف عمر محصول بررسی شده است و بر حسب PC بدست آمده است (Braunsperger, 1996; DTI, 1992).
- هزینه های خرابی داخلی مربوط به دوباره کاری در پایان خط تولید برابر است با 0.1 PC

- هزینه خرابی خارجی مربوط به بازرسی مشتری برابر است با PC
- هزینه خرابی خارجی برای گارانتی و خدمات برگشت محصول به خاطر خرابی محصول در دست استفاده مشتری برابر است با 10 PC
- این رابطه عموماً به قانون ۱۰ برابر معروف است و در شکل ۱-۱۳ نشان داده شده است. قانون ۱۰ برابر بیان می کند که چطور یک خرابی در صورتی که تشخیص داده نشود، هزینه های ۱۰ برابر نسبت به هزینه اصلی آن در مراحل بعدی ایجاد می کند. به عبارت دیگر، محصول باید طوری طراحی گردد که به سختی هر گونه مشکل و خرابی در آن گسترش پیدا کند و یا اگر هم اتفاق بیفتد، مشکلات و خرابی باید هر چه زودتر در فرآیند ساخت محصول تشخیص و اصلاح شود (Braunsperger, 1996). بررسی های دیگری نیز انجام شده است که نشان می دهد این هزینه ها می تواند حتی بیشتر از قانون ۱۰ درصد هم باشد (شکل ۱-۱۴).



شکل ۱-۱۳: قانون ۱۰ برابر مربوط به هزینه های خرابی



شکل ۱-۱۴: مقیاس بندی هزینه تشخیص خطاها در مراحل بعدی تولید (Ostrowski, 1992)