

مهندسی معکوس - چرا و چگونه

حسن نوروزی
مهدی حسین پور
حسن یزدی پور

چکیده:

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۰۸/۱۵
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۱۰/۲۰

مهندسی معکوس در عرصه صنعت و فناوری در شرایطی که در زمان و تامین منابع مالی محدودیت وجود دارد کارایی بالای خود را نشان می‌دهد و به همین دلیل و بخاطر ایجاد شانس وارد شدن در رقابت های فناورانه و اقتصادی، مورد توجه بسیاری از کشورهای در حال توسعه قرار گرفته است. این روش بخصوص در سال‌های اخیر توسط کشورهای آسیای جنوب شرقی با نتایج کاملاً موثر بکار گرفته شده است. از این رو مهندسی معکوس روشی آگاهانه و عالمانه در دسترسی به فناوری براساس فناوری موجود و محصولات موجود است و تفاوت زیادی با کپی سازی و ماکت سازی دارد که نیاز است مفهوم مهندسی معکوس از دو واژه ذکر شده تمیز داده شود. در این مقاله سعی شده تا خوانندگان با فرآیند مهندسی معکوس براساس منابع و مراجع علمی موجود آشنا شوند. [۱]

واژه‌های کلیدی:

مهندسی معکوس، مهندسی مستقیم، تجزیه و تحلیل عملکردی / اقتصادی، دمو تاژ

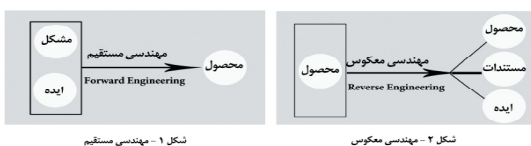
۱- مقدمه

در طی سال های اخیر به خصوص از ابتدای دهه ۷۰ در ایران با توجه به تحریم های اعمال شده، رویکرد مناسبی نسبت به انجام پروژه‌ها بصورت مهندسی معکوس ایجاد شده و طی گذشت بیش از یک دهه، استفاده از این روش؛ تجربیات گرانبهایی را نصیب متخصصان ایرانی کرده است. با وجود اهمیت موضوع فوق متاسفانه منابع علمی بسیار اندکی در این زمینه منتشر شده است.

۲- مهندس معکوس چیست؟

مهندسی معکوس ترجمه به معنی "دوباره بنظم در آوردن" می‌باشد که واژه مقابل آن مهندسی مستقیم^۲ می‌باشد. همانطور که در شکل‌های ۱ و ۲ نشان داده می‌شود مهندسی مستقیم با یک ایده یا یک نیاز شروع و سرانجام به ایجاد یک محصول ختم می‌شود. اما در مهندسی معکوس این مساله وابسته به هدفی

است که از اجرای فرایند مهندسی معکوس دنبال می‌شود چراکه ممکن است هدف ما از انجام این فرایند روی یک محصول خاص، صرفاً ایده برداری باشد.



۳- راهبردهای دستیابی به فناوری و محصولات

در اصل برای دستیابی به فناوری به عنوان یک محصول

1. Reverse Engineering
2. Forward Engineering

صنعتی راه‌های گوناگونی وجود دارد که هر کشوری در هریک از زمینه‌های صنعتی با توجه به ساختار علمی و صنعتی خود و میزان خوداتکایی در زمینه‌های علوم و فنون، میزان دسترسی به منابع ارزی موردنیاز، مواد اولیه داخلی، نوع و کیفیت نیروهای متخصص، روابط سیاسی بین‌المللی و منطقه‌ای، آنها را به کار می‌بندد. در زیر انواع مهم راهبردهای دستیابی به محصول جدید و فناوری موردنظر را بیان می‌کنیم:

- راهبرد نوآوری و طراحی تا تولید محصول از طریق فعالیت‌های تحقیق تا تولید؛

- راهبرد توسعه فناوری؛

- راهبرد کپی‌سازی و مهندسی معکوس؛

- راهبرد انتخاب، انتقال و بومی‌کردن فناوری؛

- راهبرد استفاده موثر از امکانات و فناوری موجود؛

- راهبرد خرید کارخانه و فرایند تولید به صورت تحویل کامل؛

- راهبرد خرید کالا و فناوری موردنظر.

ضرورت شناخت رفتار فناوری برای انتخاب راهبرد مناسب یکی از تصمیم‌گیری‌های راهبردی در زمینه دستیابی به یک محصول یا فناوری و انتخاب مناسبترین روش دستیابی به آن است. به عبارتی می‌توان اذعان داشت که این تصمیم‌گیری بستگی شدیدی به مرحله رشد و توسعه آن محصول یا فناوری (در مهندسی شکل‌گیری و پیدایش و تکامل آن فناوری) دارد. به عنوان مثال، اگر یک فناوری در مهندسی پیدایش خود (کشور اولیه) در مرحله معرفی باشد، اقدام برای دستیابی به آن از طریق انتقال فناوری کاری نسنجیده است. همچنین اگر محصول در مهندسی پیدایش خود در مرحله افول بوده و فناوری برتری جایگزین آن شده باشد، اقدام برای دستیابی به محصول اولی از طریق همین راهبرد، کاری مخاطره‌آمیز است.

در اصل، برای کشورهای در حال توسعه اقدام برای انتقال فناوری در مورد محصولاتی که در مهندسی پیدایش خویش مرحله معرفی را سپری کرده و در مرحله رشد هستند معقول‌تر است. در این صورت اقدام یک کشور در حال توسعه برای دستیابی به عین این محصول یا فناوری از طریق راهبرد تحقیق تا تولید، امری غیراقتصادی و غیرعاقلانه خواهد بود مگر آنکه اهدافی مانند تقویت پایه‌های علمی و فنی کشور مطرح باشد که بازهم انتخاب این راهبرد احتمالاً امری مطلوب نخواهد بود. هرچه درجه تکامل یک فناوری بیشتر باشد تا قبل از مرحله افول و منسوخ شدن، راهبرد خرید محصول و فناوری مقرون به صرفه‌تر

خواهد بود.

بر اساس نیازهای فناورانه‌ی کشورهای در حال توسعه مانند ایران و جبران سریع این خلا فناورانه با کشورهای پیشرفته، راهبرد مهندسی معکوس راهبرد موردنظر در این مقاله است که در ادامه به بیان متدولوژی آن خواهیم پرداخت. [۵]

۴- دلایل استفاده از روش مهندسی معکوس

• دسترسی به فناوری، از روی فناوری و محصولات موجود (فرایند تجزیه و تحلیل سیستم موجود به منظور شناسایی اجزا و ارتباطات بین آنها و ایجاد سیستمی شبیه آن چیزی که موجود است یا در سطحی بالاتر از آن).

• انجام تجزیه و تحلیل روی محصولات رقیب، به منظور رفع معایب و افزایش قابلیت‌های محصول خودی.

• تهیه‌ی قطعات یدکی و ایجاد مراکز تعمیر و نگهداری تجهیزات پیشرفته (به دلیل عدم پایداری کشور فروشنده محصول به تعهدات خود در قبال مشتری در زمینه گارانتی و وارانتهی محصول)

• تهیه مستندات مربوط به محصول. در این زمینه می‌توان به موارد ذیل اشاره نمود:

- عدم انطباق اطلاعات به دلیل تغییرات اعمال شده روی محصول در طول سالیان متمادی؛

- نبود مستندات کافی از طرح اصلی؛

- مفقود شدن مستندات طرح اصلی؛

- عدم تهیه مستندات برای محصول در حال تولید و نیاز به مستندات بخصوص در هنگام انتقال فناوری.

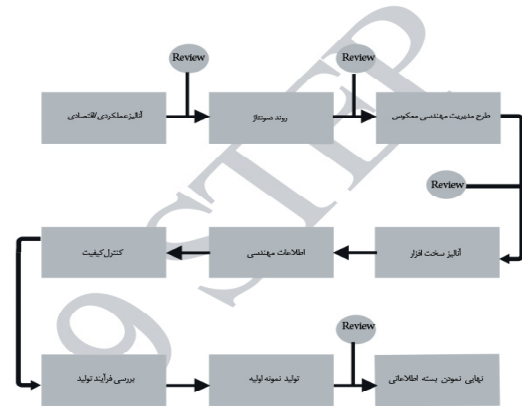
نکته حایز اهمیت در زمینه تهیه مستندات و گردآوری دانش مجموعه، توجه به بحث مدیریت دانش در سازمان‌ها می‌باشد.

منظور از مدیریت دانش عبارت از مستندسازی، نگهداری و بازیابی دوباره دانش، خرد و تجربیات با ارزش افزوده کارکنان سازمان، به عنوان بخشی از دارایی‌های سازمان است. به عبارت دیگر، مدیریت دانش کوششی برای تبدیل دانش کارکنان (سرمایه انسانی) به دارایی مشترک سازمانی (سرمایه فکری ساختاری) می‌باشد.

۳- آشنایی با روند انجام مهندسی معکوس

بعد از آشنایی با مفهوم مهندسی معکوس حال به چگونگی انجام آن پرداخته می‌شود. در ادامه این مقاله با فازهای مختلف موجود

در فرآیند مهندسی معکوس آشنا خواهید شد. همان طور که در شکل زیر مشخص شده است این فرآیند در نه مرحله اجرا می شود.



۳-۱- تجزیه و تحلیل عملکردی / اقتصادی

تجزیه و تحلیل عملکردی / اقتصادی به منظور جمع آوری مستندات در دسترس، تعیین الزامات اطلاعاتی که در دسترس نیستند، معین نمودن الزامات انجام تست و تهیه برآورد هزینه‌ها و زمانبندی‌های مربوط به مهندسی معکوس می‌باشد. [۳]

۳-۱-۱- جمع آوری داده‌ها

این مرحله شامل جمع آوری همه‌ی اسناد به منظور توصیف ساختار طراحی، تولید، تضمین کیفیت، انجام تست و الزامات بسته بندی تجهیزات است. هدف از فاز جمع آوری اطلاعات، تامین اسناد مورد نیاز و جلوگیری از تکرار غیر ضروری و تسهیل در تهیه اسناد فنی در حین فرآیند مهندسی معکوس است. [۳] به منظور شناخت هرچه بیشتر محصول قبل از انجام فرآیند مهندسی معکوس، اولین قدم جمع آوری اسناد و مدارک همراه آن محصول می‌باشد که این اسناد و مدارک با توجه به روش خریداری آن محصول (CBU^۱, SKD^۲, CKD^۳) می‌تواند شامل عناوین ذیل باشد:

- کتابچه فنی سیستم؛
- کتابچه تعمیر، نگهداری و عملکرد؛
- شرح تفصیلی جزء جزء قطعات؛
- چارت اختصاصی تعمیر و نگهداری؛
- نقشه‌های مهندسی؛

- الزامات تست سیستم؛
- کاتالوگ های تجاری و بروشورها؛
- دستورالعمل های تولید؛
- خصوصیات جنس مورد نیاز؛
- شرایط تضمین کیفیت؛
- رویه‌های تست تحویلگیری؛
- مشخصات تست؛
- تجهیزات تست یا فیکسچرها؛

- تغییرات یا تجدید نظرهای مناسب در مهندسی [۱]

بعد از جمع آوری اطلاعات و منابع موجود، ایجاد یک فایل برای نمونه انتخاب شده در حین فرآیند مهندسی معکوس ضروری می‌باشد که این فایل شامل همه اسناد فنی جمع آوری شده،

پرونده‌ها، یافته‌ها و غیره می‌باشند. [۳]

۳-۱-۲- ارزیابی داده‌ها

پس از جمع آوری کلیه اسناد و مدارکی که از محصول مورد نظر در دسترس می‌باشد در این مرحله می‌بایست آنها را مورد ارزیابی قرار داد. هدف از فاز ارزیابی اطلاعات مشخص نمودن موارد ذیل می‌باشد:

- ۱- مشخص نمودن داده های مورد نیازی که موجود نمی‌باشند؛
- ۲- تخمین هزینه و زمانبندی برای انجام فرآیند مهندسی معکوس با توجه به اطلاعات بدست آمده از محصول؛
- ۳- براساس هزینه برآورد شده در بند ۲ در صورتی که بازده نزولی باشد، فرآیند مهندسی معکوس نیاز به انجام ارزیابی مجدد خواهد داشت.

به منظور معین نمودن اطلاعات فنی و شناسایی اطلاعات مورد نیازی که در دسترس نمی‌باشند، اسناد موجود باید مورد بررسی و مرور قرار بگیرند و بعد از آن مشخص شود چه اطلاعاتی در دسترس نیست. [۳]

۳-۱-۳- سخت افزار مورد نیاز

نکته قابل اهمیت این است که در حین مهندسی معکوس به هر اندازه که سخت افزار مناسب بیشتری برای تهیه داده های لازم وجود داشته باشد، دقت داده های کسب شده افزایش خواهد یافت. پیچیدگی و الزامات مربوط به انجام تست، روی تعداد اقلام مورد نیاز، تغییرات زیادی را ایجاد می‌کند. سخت افزار مورد نیاز

1. Semi Knock Down
2. Complete Knock Down
3. Complete Build Up

مهندسی معکوس می‌بایست براساس ارزیابی ریسک و تشخیص پیچیدگی اجزا مشخص شود چرا که امکان خرابی اقلام در طول فرآیند دمونتاژ و انجام عملیات تجزیه تحلیل موادی وجود دارد. تا جایی که امکان دارد از میان اقلام موجود فقط از اقلام نو (استفاده نشده) باید استفاده نمود چرا که احراز ملاک های عملکردی و تیرانس‌ها از روی اقلام استفاده شده مشکل می‌باشد و این بدان علت است که اجزای یک مجموعه بعد از گذشت مدتی از کارکرد، ممکن است دچار نقصان و خرابی شوند. [۳]

۳-۱-۴- الزامات تست

الزامات تست که شامل بازرسی اولیه و آزمون سخت افزار تهیه شده برای مهندسی معکوس و بازرسی و پذیرش نمونه اولیه ساخته شده و تست شده می‌باشد، مطابق با اطلاعات جمع آوری شده تعیین می‌شود. انجام تست های خاص و الزامات مربوط به تجهیزات تست و فیکسچرها مشخص شده و در این راستا طرح تست تهیه می‌گردد.

هدف از تهیه طرح تست تایید نیازمندی‌هایی است که در مشخصه‌های کاربردی و استانداردهای مربوط تعریف شده است. از جمله موارد فوق می‌توان به تایید عملکرد، مشخص نمودن قابلیت اطمینان و دوام و تایید یکپارچگی ساختاری اشاره نمود. اگر در اسناد موجود داده های کافی مربوط به تست وجود ندارد باید آنجیزیه و تحلیلی نیز جهت تهیه رویه‌ها و ملاک های انجام تست انجام پذیرد که از جمله موارد فوق می‌توان به مدهای عیوب بحرانی و محدودیت ها اشاره نمود. [۳]

۳-۱-۵- برآورد هزینه و زمان بندی مهندسی معکوس

در صورتی که برآورد هزینه و زمان بندی پیشاپیش انجام شده باشد، باید آنها را مورد بازنگری قرار داد. البته اکثر این برآوردها براساس بهترین حدس و گمان‌ها و بدون توجه به میزان در دسترس بودن سخت افزار صورت می‌گیرد. برآورد هزینه و زمان بندی در مهندسی معکوس اصولاً براساس پیچیدگی نمونه و تعداد اجزا و قطعات در برگیرنده آن انجام می‌شود. نکته حایز اهمیت در تخمین میزان هزینه و زمان بندی تجربه و تخصص کارشناسان می‌باشد چراکه هرچه نفرا ت تجربه بیشتری داشته باشند تخمین ها به واقعیت نزدیکتر خواهند بود. [۳]

۳-۲- رویه‌های دمونتاژ

رویه‌ای برای دمونتاژ هر یک از نمونه‌ها لازم می‌باشد تا بتوان با استفاده از این رویه‌ها یکپارچگی کارکردی هر مورد را تضمین نمود تا تجزیه و تحلیل و مستند سازی دقیقی در این رابطه صورت پذیرد.

قبل و در حین عملیات دمونتاژ باید از مجموعه عکسبرداری و فیلمبرداری صورت پذیرد، چرا که در برخی موارد ممکن است هیچگونه سابقه دیگری موجود نباشد. همچنین قطعات بوسيله برچسب مشخص شده و در داخل نایلون قرار گیرند و البته موقعیت آنها نیز در مجموعه باید مورد توجه قرار گیرد. لازم به ذکر است در این مرحله می‌بایست کار نام گذاری و شناسه گذاری مجموعه‌ها و اجزا نیز انجام شود که در این زمینه می‌توان از اطلاعات بدست آمده از اسناد که در مراحل قبلی مطالعه شده است؛ استفاده نمود. [۱]

۳-۲-۱- بازرسی اولیه و انجام تست

به منظور جلوگیری از تکرار خطاها و اشتباهات، سخت افزار لازم برای مهندسی معکوس را باید مورد بازرسی و بازرسی دقیق قرار داد تا احتمال هرگونه آسیب طی حمل و نقل از بین برود. برای حصول اطمینان از اینکه عملکردهای نمونه تحت مهندسی معکوس مطابق مشخصه‌های از پیش تعیین شده است، روی آن تست کارکردی اولیه انجام می‌شود. [۳]

۳-۲-۱-۱- بررسی پیکربندی فیزیکی (PCA)

این فرآیند عبارت است از بازرسی ظاهری نمونه با توجه به اسناد فنی موجود، تا صحت و سقم اطلاعات موجود با اطلاعاتی که به صورت ظاهری از روی نمونه قابل شناسایی است مورد تایید قرار گیرد. لازم به ذکر است این بررسی در زمینه مشخصات کارکردی نیز باید بر روی نمونه صورت پذیرد. فرآیند PCA مطابق با رویه‌ها و الزامات Mi1-STD-1521A صورت می‌پذیرد. [۳]

۳-۲-۱-۲- اندازه برداری های اولیه

قبل از دمونتاژ همه ابعاد و داده‌های الکترونیکی باید ثبت شوند که از جمله این موارد می‌توان به پارامترهای ورودی/خروجی، لقی‌ها، مقادیر گشتاور و ابعاد اصلی مونتاژ که بعد از دمونتاژ غیر قابل حصول هستند اشاره نمود. همچنین اندازه

1. Prototype
2. Test Plan
3. Physical Configuration Audit

برداری روی همه‌ی قطعات متحرک و محافظه‌ی کاری آنها شامل زوایای چرخش، فضاهای خالی بین تلرانس‌های بسته و ابعاد فرعی صورت می‌پذیرد. [۳]

در نهایت کلیه اطلاعات جمع‌آوری شده از مجموعه‌های مکانیکی می‌تواند به صورت یک کروکی از آن ارایه و ثبت شود. [۱]

۳-۲-۲- دمونتاز

این عملیات عبارت است از تفکیک و دمونتاز محصول به مجموعه‌ها و قطعات واسطه‌ای، تفکیک مجموعه‌ها به زیرمجموعه‌ها، تفکیک زیر مجموعه‌ها به اجزای منفرد می‌باشد. لازم به ذکر است که طی مرحله دمونتاز سخت افزار، باید سعی شود تا جایی که امکان دارد مواردی را که مربوط به رویه‌های مونتاژ می‌باشند ثبت گردند. در طول مرحله دمونتاز می‌بایست هر یک از قطعات یا اجزا شناسایی شوند (با زدن برچسب و قرار دادن در داخل نایلون) تا کنترل آنها راحت‌تر صورت پذیرد. بدین منظور با تهیه یک لیست، می‌توان اجزای تفکیک شده از مجموعه را به همراه تعداد آنها مشخص نمود. [۳]

هریک از قطعات یا اجزا باید بازبینی شوند تا بتوان هر نوع علامت‌گذاری که سازنده واقعی آنها را مشخص می‌نماید تشخیص داد. (به عنوان مثال علامت تجاری، شرکت سازنده، شماره قطعه و پروانه ساخت از این قبیل می‌باشند) در هنگام انجام عملیات روان کاری می‌بایست به علامت‌های روی روان سازها توجه نمود، چراکه ممکن است آنها شرایط روان کاری را مشخص نمایند. باید توجه داشت که قبل از اینکه بخش‌های دمونتاز شده تمیز شوند، نمونه‌هایی از روغن و گریس روی آنها برای استفاده‌های بعدی نگهداشته شود. [۳]

هنگام دمونتاز مجموعه‌های الکتریکی کلیه ترمینال‌های علامت‌گذاری شده می‌بایست تحت بررسی و بازبینی قرار گیرند. در صورتی که ترمینال‌ها، محل پین‌ها و یا داده‌های "از - به" روی سیم‌ها حک نشده باشد انتهای هر یک باید به وضوح علامت‌گذاری شده و فهرستی در این زمینه تهیه گردد. بعد از انجام نشانه‌گذاری برای ثبت دقیق‌تر اطلاعات از مجموعه‌ها عکس برداری می‌نمایند. [۳]

در صورت نیاز به جدا نمودن قسمت‌هایی که جوشکاری شده و یا اتصالات محکمی دارند، باید توجه داشت که آیا در این حالت دمونتاز مخرب لازم است یا خیر و در صورت مثبت بودن

پاسخ، کلیه تست‌های غیر مخرب (از قبیل آلتراسونیک، مایع نافذ و ...) باید قبل از انجام هرگونه تخریب یا تست مخرب روی سخت افزار انجام پذیرد. [۳] نکته حایز اهمیت در این مرحله عبارت از اندازه‌گیری وزنی مجموعه‌ها و زیرمجموعه‌ها است چراکه ممکن است نمونه از لحاظ وزنی دارای محدودیت باشد. [۱]

فرمت پیشنهادی جهت تهیه گزارش دمونتاز به صورت جدول زیر می‌باشد که استفاده از عکس در آن سبب ایجاد دیدی کامل در خواننده گزارش نسبت به انجام عملیات می‌شود، اما باید توجه داشت که در هنگام چاپ اسناد، برای بالا بردن وضوح عکس‌ها از کیفیت عالی چاپگر استفاده شود. [۱]

جدول (۱) فرمت تهیه گزارش دمونتاز [۱]

نام محصول	نام و شناسه‌ی مجموعه / زیر مجموعه			شماره مرحله
	فهرست اجزا و تعداد	تشریح مراحل دمونتاز	ابزار	
	عکس	مواد کمکی		

۳-۲-۳- شناسایی/غربال قطعات

پس از انجام عملیات دمونتاز، تمام قطعات یا اجزا می‌بایست بازبینی شوند و تا حد امکان سعی شود به صورت دقیق شناسایی شوند که در این زمینه می‌توان به Mi1-STD-965 مراجعه نمود. در این مرحله نیاز است تا یک آنالیز اقتصادی بر روی همه المان‌های انحصاری و المانهای غیر استاندارد انجام گیرد تا تاثیر هزینه تهیه آنها در فرآیند مهندسی معکوس مشخص شود. [۳]

۳-۳- طرح مدیریت مهندسی معکوس^۲

برای حصول اطمینان از اینکه کارها روال منطقی و درست خود را طی نماید و یا اینکه در روند امور و برنامه‌ها خللی ایجاد نشود، طرح مدیریت مهندسی معکوس مورد استفاده قرار می‌گیرد. طرح مذکور تنها به شرطی موفقیت آمیز است که ابزارها و اطلاعات مورد نیاز به درستی بکار گرفته شوند. برای تحقق اهداف این طرح موارد زیر می‌بایست مورد توجه قرار گیرند:

- ۱- تعریف وظایف و فعالیت‌های مشخص هر بخش؛
- ۲- تعیین توالی و ترتیب فعالیت‌ها و وظایف مورد نظر؛

1. From-To
2. Reverse Engineering Management plan

۳- تعیین منابع اعم از منابع انسانی، مادی و هزینه‌های مورد نیاز؛

۴- برنامه‌ریزی جهت شروع و تکمیل هر یک از فعالیت‌ها؛
در این رابطه استفاده از گانت چارت، به منظور کنترل و نظارت بر فعالیت‌ها و تحقق اهداف می‌تواند بهترین گزینه باشد. [۳]

۳-۴- تجزیه و تحلیل سخت افزار

به منظور پوشش و جبران اطلاعات ناقص در بسته‌ی اطلاعاتی که تاکنون تهیه شده است، سخت افزار دمونتاژ شده می‌بایست تحت تجزیه و تحلیل قرار گیرد. در مواردی که اسناد فنی کامل نیست و یا اطلاعاتی وجود ندارند، تجزیه و تحلیل سخت افزاری (از قبیل تجزیه و تحلیل ابعادی، مادی، الکتریکی / الکترونیکی) صورت می‌گیرد تا داده‌های فنی مورد نیاز برای تولید تهیه و تکمیل شود. اطلاعاتی که از این طریق حاصل شده در نقشه‌ها و مشخصه‌های نهایی اقلام، منظور خواهند شد. نکته بسیار مهم در این زمینه این است که همه‌ی تجهیزات تست، قبل از استفاده باید کالیبره شوند. کالیبراسیون همه‌ی تجهیزات تست و اندازه‌گیری باید براساس DTS-liM-۲۶۶۵۴ صورت پذیرد. [۳]

۳-۴-۱- آنالیز ابعادی

ابعاد در اصل تشریح‌کننده شکل قطعات می‌باشند و موقعیت قطعات را با توجه به شکل آنها نسبت به هم تعیین می‌نمایند. تolerانس‌ها محدودیت‌های ابعادی را به منظور تسهیل در امر ساخت قطعات و حصول اطمینان از اندازه و کارکرد مناسب قطعات یا مجموعه‌ها تشریح می‌نمایند. در این مرحله نیاز است تا روی همه اجزا و قطعات، تجزیه و تحلیل ابعادی صورت پذیرد و چنانچه در داده‌برداری امکان دسترسی به بعضی از ابعاد قسمت‌هایی که قبلاً دمونتاژ آنها امکان پذیر نبوده است وجود داشت، آنها را می‌بایست برش زد. [۳]

گوناهگونی روش‌های ساخت می‌تواند سبب ایجاد اعداد غیرمتجانس و ناموزون در ابعاد بعضی از قطعات و مجموعه‌ها گردد. در صورت امکان تجزیه و تحلیل‌های ابعادی نباید روی کمتر از دو نمونه انجام شود. نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل ابعادی نمونه‌ها ممکن است تحت مقایسه قرار گیرند و طی آن امکان وجود اختلافات ساختی مشخص شود که نتایج حاصل از این مقایسه در احراز تolerانس‌های موجود در اجزاء کمک شایانی خواهد نمود. همچنین این کار سبب خواهد شد تا اطمینان حاصل گردد که نمونه‌های انتخاب شده بصورت تصادفی، با هم یکسان هستند و عیوب موجود در آنها ناچیز است. [۳] در صورت امکان می‌بایست مشخص شود که آیا نمونه‌های ساخته شده‌ی موجود

در یک مجموعه یکسان هستند و این موضوع باید در مطالعات مربوط به قابلیت تولید مد نظر قرار گیرند. [۳]

لازم به ذکر است با گسترش نرم افزارهای مدل سازی از قبیل SolidWorks, Mechanical Desktop, CATIA و غیره می‌توان مجموعه را قبل از ساخت قطعات از نظر مونتاژی مورد بررسی قرار داد و با کنترل وزن مدل تهیه شده با استفاده از نرم افزار و وزن قطعه اصلی از صحت اندازه برداری صورت گرفته بر روی مجموعه‌های مکانیکی اطمینان حاصل نمود. [۱]

۳-۴-۲- تجزیه و تحلیل موادی

تجزیه و تحلیل موادی شامل تجزیه و تحلیل شیمیایی و متالورژیکی است که به منظور مشخص کردن ساختار، ترکیب، سختی‌ها، پوشش‌ها، پرداخت کاری‌ها و عملیات حرارتی روی هر یک از قطعات و اجزا انجام می‌شود. همیشه باید سعی شود از نمونه‌های کامل برای تجزیه و تحلیل موادی استفاده گردد. توجه به این نکته حایز اهمیت است که برشکاری نامناسب نمونه، بر روی خواندن سختی و تفسیر عملیات حرارتی آن تاثیر خواهد گذاشت. [۳]

۳-۴-۳- تجزیه و تحلیل الکتریکی / الکترونیکی

تجزیه و تحلیل الکتریکی / الکترونیکی پارامترهای ورودی / خروجی، مشخصات اجزا، مسیرهای جریان، مواد و اتصالات لازم را جهت تولید مجدد از طریق مهندسی معکوس مشخص می‌نماید. [۳]

۳-۴-۴- مشخصات و طرح های مهندسی

طرح‌ها و مشخصه‌های مهندسی تهیه شده در این مرحله، برای کشیدن نقشه‌های سطح ۳، نقشه‌های کنترلی و سایر اسناد فنی مورد نیاز برای تکمیل بسته اطلاعات فنی اولیه استفاده خواهند شد.

مشخصه‌ها و طرح‌های مهندسی باید الزامات کامل داده‌های فنی، نقشه‌های مدارها، فهرست قطعات، پارامترهای اجزا، همه داده‌های ورودی / خروجی، الزامات خاص، نقشه‌های شکل موج خاص، اطلاعات زمانی و چیدمان مدارها که مورد نیاز برای تولید محصول نهایی از حیث تمام مجموعه‌ها، زیر مجموعه‌ها، اجزا و قطعات می‌باشد را فراهم نمایند تا بتوان یک نمونه اولیه از قطعه تحت بررسی تولید نمود. [۳]

۳-۵- نقشه‌های مهندسی سطح ۳

نقشه‌های مهندسی سطح ۳ حاصل فرایند مهندسی معکوس هستند که شامل پارامترهای مستند شده لازم برای تولید نمونه

می‌باشد. استانداردهای MIL-D-1000A و STD-1000-DOD به طور کامل الزامات مربوطه به نقشه‌های سطح ۳ را تشریح می‌نمایند.

بر اساس DOD-D-1000 نقشه‌های سطح ۳ شامل نقشه‌های مهندسی و فهرست‌های وابسته به آنها می‌باشند که مشخصات کافی را برای ساخت و تولید بدون توسل به تلاش برای طراحی محصول جدید، داده‌های طراحی جدید یا مراجعه به بخش طراحی محصول اصلی فراهم می‌نمایند. این نقشه‌ها باید دارای خصوصیات بیان شده در ذیل باشند:

- شامل الزاماتی باشند که تولید مجدد نمونه اصلی را امکان‌پذیر نمایند و مشخصات تغییر داده شده‌ی ناشی از مهندسی ارزش و بهبود محصول و سایر فعالیت‌های تغییر طراحی در آنها لحاظ نشده باشد؛

- محصول نهایی را توصیف نمایند؛

- داده‌های مهندسی را برای پشتیبانی تولید فراهم کنند؛

- در ارتباط با سایر موارد تدارکاتی، اطلاعات لازم را برای تهیه مقرون به صرفه اقلام مشابه اصلی فراهم کنند. [۳ و ۴]

لازم بذکر است نقشه‌های مهندسی در سه سطح تعریف می‌شوند که در نقشه‌های مهندسی سطح ۱ اطلاعات مربوط به طراحی مفهومی و طراحی توسعه‌ای، در نقشه‌های مهندسی سطح ۲ اطلاعات مربوط به نمونه‌ی اولیه و تولید غیر انبوه و در نقشه‌های مهندسی سطح ۳ اطلاعات کامل مربوط به تولید ارایه می‌شود. [۴]

در نقشه‌های مهندسی بایستی موارد ذیل در نظر گرفته شوند: جزئیات فرایند/اطلاعات مربوط به تیرانس‌ها و ابعاد/سکان‌های مونتاژی حساس/ویژگی‌های ورودی و خروجی/دیاگرام‌ها/اتصالات الکتریکی و مکانیکی/خصوصیات فیزیکی (مانند شکل و پرداخت)/جزئیات شناسایی مواد/بازرسی، تست و معیار ارزیابی/اطلاعات کالیبراسیون/اطلاعات کنترل کیفیت/مولفه‌های ایمنی بحرانی و ...

۳-۵-۱ - مطالعه‌ی قابلیت تولید

از جمله مواردی که بعد از پشت سر گذاشتن مراحل مختلف باید مورد بررسی قرار بگیرد، مطالعه قابلیت تولید می‌باشد. در این زمینه باید از کامل و دقیق بودن نقشه‌ها و مشخصات تهیه شده در طول فرآیند مهندسی معکوس اطمینان حاصل نمود. در این مرحله، نکات زیر باید مورد توجه واقع شوند:

- بازنگری سایر ملاحظات مهندسی مانند ارتقای محصول و

مهندسی ارزش؛

- مشخص نمودن دقت و صحت اسناد فنی مربوط به ساخت محصول؛

- مشخص نمودن دقت و صحت نقشه‌ها و مشخصات با توجه به امکان ساخت قطعات و مجموعه‌ها؛

- تأیید تیرانس‌ها و حصول اطمینان از قابلیت جابجایی قطعات در مجموعه؛

- حصول اطمینان از اینکه نقشه‌ها به صورت کامل از لحاظ ابعاد و تیرانس با استانداردهای کاربردی مطابقت دارند؛

- حصول اطمینان از اینکه نقشه‌ها مقتضیات سطح مشخص شده (سطح ۱ و ۲ و ۳) را برآورده سازند.

در حین اجرای مطالعه قابلیت تولید می‌بایست کلیه اطلاعات مربوط به ابعاد و تیرانس‌ها (بخصوص ابعاد بحرانی)، مواد، عملیاتی حرارتی (مطابق با ۶۸۷۵-H-Mi1 و ۶۰۸۸-

۶۸۷۵-H-Mi1)، پرداخت‌ها، روش‌های اتصال قطعات (از قبیل جوشکاری، لحیم‌کاری و غیره) بر اساس MIL-STD-403،

DOD-STD-1866، MIL-STD-22، پوشش‌ها (مطابق با 171-STD-Mi1)، انتخاب اجزا و قطعات

استاندارد، بررسی شرایط تضمین کیفیت شامل: آزمون‌های

دینامیکی، پارامترهای الکتریکی/الکترونیکی، الزامات محیطی (مطابق 2036-E-Mi1)، آزمون مایع نافذ (مطابق 2036-E-

Mi1)، آزمون ذرات مغناطیسی (مطابق 11472-M-Mi1 و 6868-I-Mi1)، بازرسی رادیوگرافی (مطابق 1264-STD-

Mi1 و 6021-C-Mi1)، بررسی لقی و مناسب بودن اجزا مورد توجه قرارگیرند. [۳]

۳-۶ - کنترل کیفیت

در بررسی کنترل کیفی، هدف این است که نقشه‌های سطح ۳ و نمونه اولیه با مشخصات نمونه اصلی انتخاب شده مطابقت داشته باشند. برای حصول اطمینان از اینکه محصول با نقشه‌ها،

مشخصات، بازرسی‌ها، تست‌ها و سایر الزامات همخوانی داشته باشد باید از یک طرح جامع کنترل کیفی استفاده نمود. جهت

آشنایی با الزامات سیستم بازرسی مربوط به پشتیبانی و خدمات و الزامات طرح کیفی بهتر است از Mi1-I-45208 و

Mi1-Q-9858 استفاده شود. [۳]

۳-۶-۱ - مستندسازی کنترل کیفیت

به منظور تکمیل کلیه نقشه‌ها، اطلاعات تست‌ها و تحقق شرایط کنترل کیفیت، داشتن یک برنامه کنترل کیفیت ضروری است.

برای هر طرح کنترل کیفی، نیاز به تهیه چک لیست می‌باشد تا بدین وسیله مطمئن شد تمام اجزای مرتبط به طور کامل مدنظر قرار گرفته‌اند. با استفاده از DTS-IIM-501 نقشه‌ها تحت بررسی قرار می‌گیرند، چرا که ممکن است در آنها اشکالات اساسی و جزئی وجود داشته باشد. چنانچه در نقشه‌ای ایراد اساسی وجود داشته باشد، کلیه پارامترها برای انجام عملیات با مشکل اساسی روبرو خواهند شد. در خاتمه عملیات مستندسازی باید تاییدیه‌ای اخذ گردد که نشان دهد مستندسازی به طور صحیح انجام شده و با کلیه مشخصات و الزامات کاربردی همخوانی دارد و کلیه اصلاحات و تغییرات در آن بعمل آمده است [۳]

۳-۷- تولید نمونه ی اولیه

قبل از این مرحله، می‌بایست مراحل تولید تحت بررسی و مرور قرار گیرند که این مهم به منظور معین نمودن مسایل اقتصادی تولید نمونه مهندسی معکوس شده انجام می‌پذیرد و هدف از آن معین نمودن اطلاعات تولید نمونه اولیه مناسب براساس اظهارات تولیدکنندگان اجزا می‌باشد. هدف از تولید نمونه‌ی اولیه رسیدن به تطابق میان ساخت و تست این نمونه با کلیه مشخصات نمونه اصلی می‌باشد. در بحث تهیه نمونه‌های اولیه به منظور انجام تست، مقرون به صرفه بودن و سایر هزینه‌ها و موارد مرتبط باید مدنظر قرار گیرد. [۳]

کلیه قطعات و مجموعه‌های اولیه باید براساس خط مشی‌های بازرسی موجود تحت بازرسی قرار گیرند. همچنین برنامه کنترل کیفیت دربرگیرنده دستورالعمل‌های تدارکات، ساخت، مونتاژ، بازرسی، تست و غیره باشد. در حین انجام عملیات مونتاژ باید توجه شود که این عملیات دقیقاً مطابق با مشخصات و الزامات تعریف شده صورت پذیرد. همچنین از انجام دقیق عملیات روانکاری اطمینان حاصل گردد. بعد از عملیات مونتاژ، تست نمونه اولیه مطابق با طرح تست های جامع صورت پذیرد که در این زمینه پارامترهایی نظیر تطابق قابلیت اطمینان، قابل دسترسی بودن، الزامات قابلیت تعمیر و نگهداری، عوامل انسانی، ایمنی و غیره حایز اهمیت می‌باشند. [۳]

۳-۸- نهایی نمودن بسته اطلاعاتی

بعد از تایید نمونه اولیه ساخته شده از هر حیث، این بسته اطلاعاتی جهت انجام اقدامات بعدی و نیز انجام تغییرات جهت تولید انبوه مورد استفاده قرار می‌گیرد. [۳]

۴- مزایا و دستاوردهای مهندسی معکوس

- ۱- ایجاد توانایی و تقویت فنی - فناوری ساخت از طریق شناخت و درک کامل محصول (اخذ دانش فنی محصول) و به وجود آوردن اعتماد به نفس در مهندسان و کارشناسان صنعت در مواجهه با صنایع و فناوری های داخلی؛
- ۲- امکان طراحی یک محصول بهنگام، در سطح استانداردهای جهانی با کشف راه های جدید بهبود و توسعه محصول، درجهت ارضای نیازهای مشتری مثل عملکرد بهتر، افزودن ویژگی ها و رفع نواقص محصول، همچنین ارضای نیازهای بازار مثل تغییر فناوری یا بهبود آن و کاهش هزینه؛
- ۳- ایجاد توان بالقوه جهت جذب، در انتقال فناوری‌های پیشرفته؛
- ۴- تربیت نیروی متخصص مورد نیاز صنایع راهبردی
- ۵- نظام‌مندسازی برای کمک به درک و مستندسازی طراحی و فرایند طراحی
- ۶- امکان الگوبرداری رقابتی درجهت درک محصولات رقبا و توسعه بهتر محصولات خود
- ۷- امکان انجام مهندسی مجدد با استفاده از دانش فنی اخذ شده به وسیله مهندسی معکوس. [۵]

مراجع

۱. حسین پور، مهدی - «روند مستندسازی در مهندسی معکوس مجموعه‌های مکانیکی» - دومین سمپوزیم مستندسازی سازمان هوافضا- بهمن ۱۳۸۴.
۲. غنی، عسگر- «مهندسی معکوس» -، نشریه پژوهش و مهندسی 3.MIL-HDBK-115B , REVERS ENGINEERING HANDBOOK, APRIL 2011[3]
4. MIL-D-1000A , MILITARY SPECIFICATION DRAWINGS, ENGINEERING AND ASSOCIATED LISTS, October 1975
۵. حجتی، سیدمحمدحسین و طالب بیدختی، عباس - «مهندسی معکوس» - ماهنامه تدبیر- شماره ۱۵۷- خرداد۱۳۸۳.