دانشگاه تهران

دانشکده مدیریت

عنوان تحقیق:

دستیابی به فناوری از طریق فرآیند مهندسی معکوس

مقدمه

یکی از مهمترین روشهای دستیابی به فنآوری مخصوصاً در بین کشورهای در حال توسعه «مهندسی معکوس» می باشد مهندسی معکوس یا طراحی معکوس یا دسترسی آگاهانه به فناوری از روی فناوری موجود می باشد. در این روش متخصصین و محققین رشته های مختلف علوم کاربردی از قبیل: مکانیک، الکترونیک، الکترومکانیک، شیمی، پلیمر، متالوژی، فیزیک اپتیک، و... با تشکیل تیم های تخصصی جهت شناخت دقیق نحوهٔ عملکرد یک محصول (که الگوی فناوری مورد تقلید است) با استفاده از تجهیزات و دستگاههای مدرن و دقیق آزمایشگاهی سعی در به دست آوردن دانش فنی تولید و تهیه نقشه های محصول فوق می نمایند تا طی مراحلی نمونه سازی و «تولید نیمه صنعتی»[1] ساخت و تولید محصول فوق طبق مشخصات و استانداردهای فنی محصول الگو سازی انجام پذیرد. از این جهت است که مهندسی معکوس، مشابه سازی یا، «کپی سازی عالمانه و آگاهانه» محسوب می شود تا محصول تولید شده از این فرآیند و روش، حداقل انحرافات را با مشخصات فنی محصول مورد نظر داشته باشد. این انحرافات به علت شکاف فناوری موجود در رابطه با امکانات و دستگاههای ساخت و تولید، ویژگیهای متالوژیکی، شیمیایی و پلیمری و... جبران نگردد، محصولی با کیفیت و استانداردهای مورد نظر تولید نخواهد شد.

---

[1] - Pilot plant

ژاپن اولین کشوری بود که جهت پر نمودن شکاف فناوری خود در دهه های اول قرن نوزدهم اقدام به کپی سازی ماشین آلات نساجی انگلیس و... نمود و در کنار روشهای دیگر مانند دعوت از متخصصان و دانشمندان کشورهای پیشرفته، راه اندازی مراکز تحقیقاتی صنعتی و کاربردی، بالا بردن فرهنگ تحقیقات صنعتی، حمایت همه جانبه از دست آوردهای صنعتی و ایجاد پارکهای علمی و پژوهشی و ... شتاب سریعی را در دسترسی به فناوری به دست آورد، و در روند مهندسی معکوس آنچنان دقیق و ظریف عمل نمود که سریعتر و بهتر از کشورهای صاحب فناوری به اصلاح و نوآوری در فن آوری های فوق نایل گردید.

چنین دومین کشور بعد از ژاپن و اولین کشور در دهه های ۵۰ تا ٦۰ قرن بیستم است که دستیابی به فناوری را از طریق مهندسی معکوس محصول با توجه به شرایط سیاسی، اقتصادی و صنعتی داخلی و خارجی در سرلوحهٔ اقدامات صنعتی خود قرار داده است. همچنین این کشور با اتخاذ روشهای مناسب دیگری مانند: بومی سازی فناوری، دسترسی به فناوری کاربر و حمایت همه جانبه دولت از برنامه های بلند مدت صنایع، راه اندازی مراکز تحقیقات صنعتی و.. در حال کاهش سریع شکاف فناوری خود با کشورهای توسعه یافته می باشد به طوری که اکنون در بعضی از صنایع جزو کشورهای توسعه یافته قلمداد می گردد.

در دهه های اخیر کشورهایی نظیر کره شمالی، مالزی، اندونزی و ایران در کنار سایر روشهای مناسب دسترسی به فناوری، از رو ش مهندسی معکوس در بعضی از

زمینه های صنعتی با توجه به اوضاع و شرایط سیاسی، اقتصادی، صنعتی، نظامی و منطقه ای استفاده نموده اند.

تعدادی از سیاست گذاران و استراتژیست های صنعتی ایران با توجه به شکاف عظیم فناوری موجود با کشورهای توسعه یافته، داشتن صنایع مونتاژ، تحریم های اقتصادی و صنعتی، وجود روحیه و انگیزه های خود کفایی و استقلال صنعتی بعد از پیروزی انقلاب اسلامی «روش مهندسی معکوس» را به عنوان اصولی ترین روشها در خط مشیهای دسترسی به فناوری انتخاب کرده اند.

۲-۳-۲- انواع روشهای مهندسی معکوس محصول

مهندسی معکوس به عنوان یکی از روشهای اساسی و اصولی در دسترس به فناوری بر حسب اینکه در دستیابی به فناوری از چه میزان اطلاعاتی و مدارک و یا از چه نوع الگو و مدلی استفاده نمایند به روشهای فرعی دیگری قابل تفکیک است. به عبارت دیگر بر حسب اینکه تیم مهندسی معکوس به چه میران دانش فنی جهت استفاده از این روشها نیازمند باشد.

مهندسی معکوس به صورت الگوهای زیر طبقه بندی می گردد.

الف) بیونیک

مهندسی معکوس با الهام از مکانیسم های طبیعی موجود (این روش از جهتی نیـز در زمرۀ روشهای طراحی تا تولید محسوب می شود ولی از آن جهت که ایده ایـن نحـوه دستیابی به فناوری موجود در دسترس ولو طبیعـی بـوده اسـت، در اینجـا در زمـرۀ روشهای مهندسی معکوس مورد بحث قرار گرفته است)

ب) تکنونیک

مهندسی معکوس از روی نمونه محصولات موجود

ج) مهندسی معکوس از روی فرآیند کارخانه موجود (با تکیه بر استفاده از پایلوت پلنت در صنایع شیمیایی)

اینک به تشریح ویژگیهای هر یک از این الگوها می پردازیم.

۲-۳-۲-۱- مهندسی معکوس با الهام از مکانیزم های طبیعی (بیونیک)

انسان همواره برای الهام گرفتن به جهان زنده پیرامونش نگریسته است. شاید اولـین الگوبرداری انسان از جهان زنده، به تاریخ زندگی بشر از همان لحظات نخستین حیات بر می گردد. از جمله پرواز پرندگان هزاران سال الهام بخش طرح های بی شماری از ماشین های پرنده بوده است. اگر بتـوان فـرض کـرد کـه هـر جانـدار کنـونی زمـین، محصول نهایی میلیون ها سال تکامل نسل است و در این فاصله زمانی بسـیار زیـاد،

انتخاب های طبیعی هر چه را که با هدف ویژه اش سازگاری رضایتمندانه نداشته از بین برده است، تقلید از طبیعت مزایای ممتازی دارد. همچنین از دیدگاه موحدین، نظام هستی و از جمله موجودات زنده عالم، توسط خالق هستی بخش، به حسن وجه لباس خلقت پوشیده و استمرار حیات و کمال نیز با مشیت الهی است، از این رو الهام از آفرینش، تلاش تکاملی و در راستای حرکت خداگونه با مختصات خویش تلقی خواهد شد.

موجودات زنده در واقع سیستمهای ویژه ای هستند که مکانیسم های معین و پیچیده ای در آنها به کار رفته است، باید با گردهمائی زیست شناسان، مهندسان در کانون یک رشته بین رشته ای به بسیاری از چیزها، دست یافت چه در آنجاست که آنها می توانند درباره مسائل مربوطه به بحث بپردازند و این همان هدفی است که علم بیونیک تعقیب می نماید.

بیونیک یعنی اینکه برای طراحی فناوری از جانداران الهام بگیریم، و از این رو بیونیک به خلق فناوری بیشتر شباهت دارد تا مهندسی معکوس فناوری.

امروزه الهام گرفتن از طبیعت و تقلید مستقیم از آن، نقش به سزایی در طراحی دستگاهها و ماشین آلات حساس و پیچیده دارد. دلفین ظاهراً با نیروی عضلانی کم قادر به حرکت در دریا می باشد، زیرا آب به نرمی در امتداد بدن دلفین عبور می کند. راز دلفین در این است که پوست بدنش دو لایه می باشد. لایه نازک بیرونی شدیداً قابل ارتجاع است و لایه ضخیم درونی شبیه به یک رشته لوله پر شده از ماده

اسفنجی است. اگر الگویی از یک جریان پر تلاطم در اطراف بدن دلفین تشکیل شود اثر کلی این تلاطم به علت حالت ارتجاعی پوست بدن دلفین هرگز احساس نخواهد شد. از این رو، امروزه برای ساختن زیر دریاییها سعی می کنند جدار آنها را مانند پوست بدن دلفین بسازند تا از تلاطم آب کاسته شود تا زیر دریاییها بتوانند با یک توان ثابت موتور به سرعت زیاد دست پیدا کنند. از این خصوصیت در بهبود پیشروی اژدها نیز استفاده شده است.

ساده ترین راه برای بهره برداری چنان که در مورد دلفین عنوان گردید تقلید صادقانه از مدل زنده است، اما این فقط تعریف قسمت اول بیونیک است.

بیونیک علم سیستمهایی است که در کار آنها از سیستمهای زنده تقلید شده است.

اما نباید دو قسمت دیگر تعریف را فراموش کنیم که بیونیک علم سیستم هایی است که خصوصیات ویژه سیستم های زنده را دارند و علم سیستم هایی است که به سیستم های زنده شباهت دارند. تکامل موجب پیدایش مکانیزم هایی شده است که می توانیم از روی آنها نسخه برداری کنیم اما فرآیند تکامل را باید مطالعه کرد و از آن چیزهای بسیاری آموخت. در علم بیولیک پیش از آنکه از مکانیسم های طبیعی تقلیدی کورکورانه شود باید ماهیت و مکانیزم عملکرد این مکانیزمها را شناخت.

یک نمونه خوب دیگر، گیرنده های حسی مار زنگی است. این موجود مکانیزم حسی مادون قرمز فوق العاده حساسی دارد که در حفره ای بین سوراخ بینی و چشم او قرار گرفته است. این اندام به اندازه ای حساس است که در برابر یک هزارم درجه

تغییر دمای سطحی از خود واکنش نشان می دهد و این مقدار برای مار از نظر اینکه وجود حیوان دیگری را حس کند، کافی است. مکانیزم عصبی در پوست انسان فقط می تواند به یک دهم درجه تغییر دما پاسخ دهد. در حالیکه مکانیزم حسی مادون قرمز مار زنگی تا یک میلیونیم ولت حساس است. انسان مکانیزمهای حسی مادون قرمزی ساخته است که حساسیت آنها صد هزار بار بیش از یک مکانیزم حسی مار زنگی است.

اما این بدان معنی نیست که بیونیک از مطالعه مکانیزم حسی مار زنگی نمی تواند سود چندانی ببرد. آشکارگرهای مار زنگی با وجود اندازه کوچکشان نسبت به آشکارگرهای مصنوعی از نظر جهت نمائی بهترند. از سوی دیگر باید به خاطر داشت که بین آشکارگرهای گرمایی و شبکه سلولهای عصبی مار زنگی هیچ گونه مکانیزم تقویت کننده خاصی وجود ندارد. بررسی اصل تبدیل انرژی در این نوع آشکارگرها و نیز بررسی امکان ارتباط دادن آشکارگر مادون قرمز شبیه مار زنگی به یک تقویت کننده و سرانجام ساختن اسباب و دستگاه هایی که حساسیت آن بارها از حساسیت آشکارگر طبیعی زیادتر باشد، موضوع جالبی خواهد بود. در دوران جنگ دوم مهندسان آلمانی آشکارگرهایی ساختند که تیراندازان ورزیده می توانستند تنها از روی مقدار گرمای تابشی بدن، شخصی را از چند صد متری مورد هدف قرار دهند و همچنین از مکانیرم عملکرد موشکهای هومینک غیر فعال که از شیوه هدایت تا لحظه برخورد به هدف استفاده می کند می توان نام برد. در این موشک انرژی ساطع شده

از هدف (از نوع مادون قرمز) را گرفته و توسط یک مسیر ناوبری تناسبی PN سعی در شکار جتهای جنگی پیشرفته می نماید.

لذا با توجه به سرعت مافوق صوت این جت ها و فاصله بسیار دور هدف از موشک و دیگر عوامل و محدودیت های طبیعی و مصنوعی که در اجرای این مکانیزم می تواند اخلال کند طراحی این مکانیزم را به صورت یکی از شاهکارهای علم بیونیک در الهام گرفتن از طبیعت و جانداران درآورده است.

نمونه دیگر مکانیزم بازتاب صوتی خفاش است که امکان می دهد خفاش در هنگام پرواز با سرعت زیاد با موانع برخورد نکند و ضمناً حشرات کوچک متحرک را شکار نماید. پیغامی که رادار طبیعی خفاش آماده می کند کافی است به او بگوید که این انعکاس صدا از سوی شی ثابت یا متحرک است.

این مورد برای مهندسی بیونیک بسیار جالب است زیرا به کمک رادار خیلی دشوار می توان هواپیمائی را که در ارتفاع کم از زمین در حال پرواز است، تشخیص داد. جنبه دیگر بررسی رادار که خفاش به آن کمک می نماید حذف سیگنال هائی است که خفاشهای دیگر تولید می کنند، حتی موقعی که عده زیادی خفاش همزمان با هم در غاری جیغ می کشند، به نظر می آید که مزاحمت کمتری برای یکدیگر ایجاد می کنند و قادرند راه خروجی غار را پیدا کنند. زمانی که رادار برای مقاصد نظامی به کار می رود اثر سیگنال هایی که دشمن تعمداً می فرستد به سودمندی آن شدیداً لطمه وارد می کند. عبارت «جنگ الکترونی» شامل سیستم های پیچیده پارازیت دهنده و

اقدامهای متقابل بر ضد این حملات است. بیونیک می تواند در این مورد کمک ارزنده ای را به رادار بکند و آسیب پذیری آن را در مقابل پارازیت به حداقل برساند. کشف بسیار جالب دیگر این بود، وقتی خفاش به نقطه ای می رسید که تا حشره حدود پنجاه سانتی متر بیشتر فاصله نداشت رفتارش را تغییر می داد و فرکانس سیگنال هایش ناگهان زیادتر می شد و خفاش فوراً به شکارش حمله می برد. رجحان دیگر رادار خفاش آن است که طول موج سیگنال رادار خفاش از لحظه شروع تا ختم سیگنال ها از ۳/٤ تا ۷ میلی متر نوسان می کند در حالیکه هیچ یک از رادارهای ساخته انسان نمی تواند به این طریق عمل کند و این از اسرار کار برجسته خفاش است. شاید بررسی تغییرات وسیع فرکانس در سیگنال های رادار خفاش از نظر به کار گرفتن یافته های آن در سیستمهای ساخته انسان سودمند باشد.

حرکات گریزوار بعضی از حشرات که به وسیله خفاش تعقیب می شوند یادآور حرکات هواپیما در گریز از حیطه رادارها می باشد. سیستم گیرنده این حشرات از دو سلول و دو تار عصبی تشکیل شده است و از کارآیی جالبی برخوردار است. این تارهای عصبی تماس خیلی نزدیکی با پرده مرتعش دارند که به مانند پوستی که روی طبلی می کشد، روی یک حفره صوتی را پوشانده است. ارتعاش این پرده به طور مکانیکی تارها را تحریک کرده و این تحریک تبدیل به تکان های عصبی می شود. حساسیت دو تار با هم فرق می کند تار حساستر باعث می شود که پرده نزدیک شدن خفاش را با اینکه هنوز دهها متر با او فاصله دارد احساس می کند و بعد فرار

را بر قرار ترجیح می دهد. اگر در این کار موفق نشد، تار دوم تحریک می شود و به حشره خبر می دهد که خفاش نزدیک تر می آید و خطر صورت جدی به خود می گیرد اگر خفاش روی سر حشره پرواز کند حشره به روی زمین شیرجه می رود و اگر خفاش در زیر حشره پرواز کند حرکات انحرافی گریزواری انجام می دهد و به سرعت می چرخد و مرتباً مسیرش را تغییر می دهد. حشره می تواند جهت نزدیک شدن دشمن را با کمک دو عدد گیرنده که به یک سیستم شنوایی مربوطند و هر کدام در یک طرف قفسه سینه اش قرار گرفته است، تشخیص دهد، اگر حرکات گریزوار حشره با شکست مواجه شود، خفاش نزدیکتر می شود و فرکانس سیگنال هایش افزایش پیدا می کند. این به این معنی است که خفاش محل طعمه اش را پیدا کرده است و در صدد ربودن آن است. حشره سپس مکانیزم پارازیت دهنده اش را بکار می اندازد. برای ا این کار پاهایش را به طریق خاص به هم می مالد و باعث می شود که ناحیه کوچکی از پوشش سخت بدنش به ارتعاش درآید. به این ترتیب حشره ظاهراً سیستم خفاش را که برای پیدا کردن ارتفاع وی به کار می رود، مختل می سازد، تمام سیستم های زیستی که بازتاب صوت محل اشیاء را پیدا می کنند اساساً شبیه رادارهای ساخته انسان هستند، یک نمونه جالب دیگر از بیونیک ، سیستمهای خبره می باشند. این سیستمها تقلیدی ابتدایی از نیروی تفکر مغز انسان است که در خلال آن سعی می شود رفتار انسان در حل مسایل شبیه سازی شود. همان گونه که

انسان دارای قابلیت گسترده ای از استنتاج به منظور یافتن راه حلهای یک مسأله است یک سیستم خبره نیز از پاره ای از روشهای مورد استفاده انسان به صورت ساده تر در جستجو، کاوش و ارزیابی معرفت و تجربه استفاده می کند. عموماً یک سیستم خبره با ویژگی های زیر مشخص می شود:

– در محدوده خاص تخصصی کارایی دارد.

– قابلیت انعطاف گسترده ای در ساخت و گسترش آن موجود است.

– ارتباط با کاربر بسیار طبیعی تر از سایر نرم افزارهاست.

– در یک سیستم خبره چند بخش اصلی به شرح زیر را به تفکیک می توان ذکر کرد:

۱. پایگاه دانش یا معرفت[۱]

۲. نحوه استنباط و استنتاج[۲]

۳. پایگاه داده ها[۳]

٤. ارتباط با کاربر[٤]

– از سیستمهای خبره در موارد زیر استفاده مؤثر به عمل آمده است:

۱. تشخیص بیماری های مسری

۲. مشاوره در کشف مواد

۳. نگهداری و حفاظت از مراکز تلفن

٤. کاربرد در سیستمهای هوشمند کنترل به ویژه کنترل در خط

---

[1] . Knowledge Base
[2] . Inference Engine
[3] . Data Base
[4] . User Inter face

۵. آنالیر آزمایش های شیمیایی، جهت استنباط ساختار ترکیبات ناشناخته

٦. توصیه های اولیه طراحی و یا بهسازی طراحی توجه به اجرای واقعی آنها یا نتایج شبیه سازی

۷. استفاده در تفسیر نتایج، اطلاعات و شواهد بدست آمده در بخشهای مختلف طراحی، تولید و سیستم های جانبی

۸. کمک به اتوماسیون از طریق هوشمند کردن روبات ها

۹. استفاده از قابلیت های گسترده آن به منظور آموزش و تربیت نیروی انسانی با سطوح پائین تر با توجه به تخصص انباشته در سیستم

۱۰. سیستم خبره جهت برنامه ریزی فرآیند تولید قطعات دوار و انتخاب هوشمندانه ابزار برش

۱۱. سیستم های خبره جهت کنترل و تست نهایی محصولات و دستگاههای ساخته شده

هر چند بیوتیک یافته های بسیار سودمندی به ما ارائه کرده است اما هدف اصلی، پرفایده ای که از به کار بردن این دستاوردها به جای بازسازی موجودات زنده مد نظر است به کار گرفتن اصول و قواعد طبیعت و سازش آنها با یکدیگر است. نکته جالب اینجاست که وقتی بیونیک در زمینه تولید انرژی به کار می رود از طبیعت الهام می گیرد و تقلید کردن از آن قاعده کلی است.

۲-۳-۲-۲- مهندسی معکوس از نمونه موجود محصول (تکنونیک)

مهندسی معکوس از روی نمونه محصول در دسترس، یکی از روشهای مهم دستیابی به فناوری می باشد (در حقیقت اصلی ترین شق مهندسی معکوس، همین تکنونیک است). لازمه اجرای این روش وجود نمونه هایی از محصول مورد بررسی است که ک مبنای کار تحقیقات قرار می گیرد. شرط دیگر این است که شکاف فناوری به حدی باشد که اگر از طریق طراحی مستقیم سعی در دسترسی به فناوری و محصول مورد نیاز شود زمان بسیار طولانی همراه با ریسک بسیار زیاد رو در روی سیاست گذاران صنعتی قرار خواهد گرفت و یا اگر از طریق انتقال فناوری یا خرید فناوری سعی در ورود فناوری شود با مشکلی عدم انتقال دانش فنی فناوری فوق یا عدم امکان بررسی و تجزیه و تحلیل عمیق فناوری و یا عدم ایجاد توان طراحی داخلی، در نهایت عدم انتقال فناوری به علت خصوصیات استراتژیکی آن (مانند فناوریهای نظامی) مواجه شویم. در چنین شرایطی سیاست گذاران صنعتی مجبوو به استفاده از روش مهندسی معکوس محصول خواهند شد تا شکاف موجود فناوری را در زمان مناسب و با اطمینان بیشتر طی نمایند.

جهت معرفی فرآیند مهندسی معکوس یا طراحی معکوس محصول لازم است که فرآیند طراحی مستقیم محصول بررسی و شناخته شود و تفاوت ها و شباهت های موجود بین این دو روش ارائه گردد و در نهایت ارجحیت روش مهندسی معکوس از

روی نمونه در دسترس به روش طراحی مستقیم بیان شده و نقاط ضعف آن شمرده شود.

تفاوت روش مهندسی معکوس با روش طراحی محصول در آن است که در روش مهندسی معکوس محصولی را که می خواهیم تولید کنیم در دسترس می باشد یعنی جواب مسأله معلوم است ولی راه رسیدن به این جواب معلوم نیست. اما در روش طراحی محصول در ابتدا حتی ایده کلی نیز نسبت به محصول و اجزاء به کار رفته در آن وجود ندارد و همگی باید توسط محقق و طراح، طراحی گردد به عبارت دیگر مسأله کشف و اختراع یک موضوع و یا یک پدیده جدید (مانند حس آشکارسازی مادون قرمز در مار زنگی) سریعاً نسبت به شناخت پدیده و علل به وجود آمدن آن اقدام می نماید و راههای رسیدن به آن را کشف می نماید در حالیکه مهندسی معکوس محصول کشف مکانیزم عملکرد، نحوه ساخت، تولید و تست محصولی است که قبلاً توسط دیگران تولید شده است. لذا بر اساس نمونه هایی که در دسترس ما قرار می گیرد دانش فنی ساخت، مونتاژ و تست و کنترل کیفیت محصول بدست آمده و محصول فوق عملاً تولید می گردد. در ظاهر چنین به نظر می رسد که جواب کلیه سوالات در رابطه با محصول در روش مهندسی معکوس برای محقق و طراح روشن است. البته در واقع چنین نیست و سوالات بسیار زیادی در طراحی، ساخت، مونتاژ و تست محصول وجود دارد که با تلاش پیگیر شبانه روزی محققین و طراحان کشف و مورد تجزیه و تحلیل قرار می گیرد و حتی در بسیاری از موارد مجدداً محصول

طراحی می گردد. به عنوان مثال تلرانس قطعه که تعیین آن جزء مهمترین بخشهای کاری در مرحله تحقیق است را نمی توان فقط با روش اندازه گیری بدست آورد و برای تعیین آن محقق باید شناخت کافی نسبت به مکانیزم عملکرد محصول و زیر مجموعه ها (سنتز عملکرد) و نوع ارتباط قطعات با هم و... داشته باشد در حالیکه خود این مکالیزم در ابتدای کار برای محقق بطور کامل مشخص نیست. مشخصات مواد اولیه ای که این قطعات با تلرانس های فوق و مشخصات کیفی دیگر (مشخصات متالوژیکی، پلیمری، شیمیایی و... با توجه به نوع قطعه) از آنها ساخته می شود. در دسترسی به قطعات طبق مشخصات تدوین شده از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است که از روی نمونه در دسترس به سادگی برای محقق مشخص و روشن نمی باشد.

فرآیند ساخت قطعات، نوع دستگاه ها و ابزارآلات مورد نیاز ساخت، مشخصات دستگاه ها و ابزارآلات مورد نیاز جهت بررسی صحت و درستی کارکرد قطعات و زیر مجموعه ها و مجموعهٔ اصلی، شیوه مونتاژ قطعات به هم و مشخصات کیفی مورد نیاز جهت صحت و درستی کارکرد زیر مجموعه ها و محصول اصلی، شیوه مونتاژ قطعات به هم، مشخصات کیفی مورد نیاز جهت صحت عملکرد زیر مجموعه ها و محصول اصلی، تلرانس آنها و اطلاعات دیگر از جمله مواردی است که در ابتدای روش مهندسی معکوس از روی نمونه محصول مشخص و روشن نیست و محقق باید تلاشهای سخت کوشانه ای را جهت روشن نمودن آنها داشته باشد. اما

این بدان معنی نیست که در این روش همه چیز از صفر باید شروع شود بلکه این روش مزایایی بر روش طراحی محصول دارد که عبارتند از:

۱. در این روش نیازی به صرف اوقات جهت طراحی محصول و مکانیزمهای عملکرد آن، طراحی قطعات و زیر مجموعه های به کار رفته در محصول و... وجود ندارد (سنتز عملکرد و سنتز بافت وجود ندارد) بلکه فقط شناخت و کشف عملکرد و ساختار محصول و زیر مجموعه ها مورد نیاز است.

۲. در روش مهندسی معکوس از دو نظر اطمینان بیشتری در حصول به مشخصات نهایی محصول وجود دارد، مورد اول آن است که مشخصات نهائی محصول در عمل و حین کاربرد توسط طراحان و سازندگان اولیه تثبیت شده اند و به احتمال زیاد محصولی که چنین مشخصاتی را داشته باشد نیاز طراحان بعدی را رفع خواهد کرد. مورد دوم آن است که راه رسیدن به آن محصول با توجه به مشخصات فنی فوق کاملاً مشخص، روشن و هموار شده است چون طراحان و سازندگان اولیه در عمل این محصول را طی سعی و خطاهای فراوان ساخته اند و روشهای ساخت را نیز تثبیت کرده اند، پس در طراحی معکوس اطمینان بیشتری در دسترسی به مشخصات نهایی و عملکرد صحیح این مشخصات نهایی در رفع نیازهای طراحی خواهیم داشت. در حالیکه این اطمینان در طراحی صرف بستگی به میزان تجربه و خلاقیت و روش سیستماتیک طراحی و ساخت محصولات خواهد داشت به نحوی که برای تیم های طراحی کننده ای که اولین محصول را طراحی می کنند اطمینان کمتری در حصول به

محصول مورد نظر و با مشخصات مورد نیاز نسبت به تیم هایی که چند ده سال تجربه طراحی و ساخت و آشنا به روش طراحی سیستماتیک نیز می باشند وجود خواهد داشت.

۳. با توجه به اینکه معمولاً در محصولات تولیدی جهت سهولت تولید، قطعات و مجموعه های استاندارد شده به کار می رود، در صورت استفاده از روش مهندسی معکوس، به جای بررسی و تعیین استانداردها برای اجزاء مختلف تنها شناخت و طبقه بندی کردن این استانداردها مورد نیاز خواهد بود، در نتیجه سرعت عمل زیادتری در اجرای پروژه ایجاد می شود.

٤. دسترسی به روشهای ساخت اقتصادی با توجه به تلرانس های ابعادی و مشخصات کیفی و مکانیکی یا شیمیایی قطعات از مراحل بسیار اساسی در تولید محصول می باشد که علاوه بر تسلط استادی طراح در مکانیزم عملکرد محصول و زیر مجموعه های فرعی آن مستلزم مهارت طراح در شناخت فرآیندهای مناسب ساخت با توجه به امکانات موجود و دقتهای لازم می باشد. اما در فرآیند مهندسی معکوس متخصصین و محققین با استفاده از مشخصات ظاهری قطعات نسبت به کشف فرآیندهای تولید قطعات (مخصوصاً روشهای تولید آشکار از ظاهر قطعه) اقدام می نمایند. این اطلاعاتی که متخصصین از قطعات بدست می آورند چون مربوط به فرآیندهای تولید انبوه قطعات است اطلاعات با ارزشی است که بعد از طی مراحل طولانی و پر هزینه طراحی، ساخت نمونه، تولید صنعتی و... توسط طراحان و

سازندگان اولیه ایجاد شده اند و از این طریق در اختیار متخصصین مهندسی معکوس قرار می گیرند که از نظر زمانی و هزینه و ... کمک های بسیار زیادی به محققین در فرآیند مهندسی معکوس خواهد کرد. توسط این اطلاعات و علوم کاربردی دیگر در زمینه ساخت قطعات، محققین باید روشهای تولید پنهان قطعات را که تا حدودی ممکن است توسط فرآیندهای بعدی از نظرها مخفی بماند کشف نموده و مراحل دسترسی به قطعه تولیدی را تدوین نماید.

۲-۳-۲-۳- فرآیند مهندسی معکوس از روی نمونه محصول با تکیه بر فعالیت های تحقیق و توسعه در عمل:

در این قسمت روال انجام یک فرآیند کامل طراحی معکوس را برای یک ماشین (حدود هزار نوع قطعه یا بیشتر) با عملکرد عمدتاً مکانیکی مورد بررسی قرار می دهیم. در این قسمت بدواً اصول پایه طراحی که ترسیم کننده خط مشی کار است ارائه می شود و سپس به توضیح فرآیند پرداخته می شود. فرآیند از مطاعات اولیه در زمینه انتخاب محصول مورد نظر آغاز و با نحوه انتخاب نمونه، مونتاژ و سنجش، فراهم سازی مقدمات ساخت، ساخت نمونه و مونتاژ آن و تست تأمین کیفیت، و تولیدی کردن فرآیند ادامه می یابد. در طی این فازها، نحوه دخالت فعالیت های تحقیق و توسعه و آموزش در مراحل مختلف و اصول لازم برای به ثمر رسیدن فرآیند طراحی معکوس و ایجاد و آمادگی و ایجاد زمینه و آمادگی لازم برای وارد شدن در

مراحل بعدی که شامل بهسازی (جزئی و کلی)، طراحی مجموعه ها، و ارائه طرحهای جدید کامل (طراحی مستقیم) است، بر شمرده خواهد شد.

۲-۳-۳- توصیه ها و مراحل فرآیند مهندسی معکوس محصول

۱. تأثیر مستقیم تجربه سیستماتیک قبلی در موفقیت فرآیند طراحی مهندسی

در عمل، گروه هایی که تجربه منظم کار تعمیر و نگهداری سیستم را داشته اند و یا قسمتی از دانش ساخت سیستم به صورت تجربه در ساخت قطعات یدکی و یا حتی انتقال فناوری به صورت ساخت قطعات متصله و یا حتی ساخت قطعات نیمه منفصله را بدست آورده اند، زمینه مناسبتری برای وارد شدن به این روند را دارند (این شرط، به هیچ وجه کافی نیست).

۲. تأکید بر انجام تحقیقات (کاربردی) به عنوان عامل رفع کننده معضلات جامعه و زمینه ساز توسعه مهندسی معکوس.

۳. مرحله بندی کردن اهداف به صورت: مرحله اول کپی سازی سیستم، مرحله دوم- بهینه سازی سیستم کپی شده و مرحله سوم- طراحی در یک فرآیند دراز مدت، و با تأکید بر تسلط کامل بر دانش فنی هر فاز و سپس ورود در فاز بعدی.

٤. گسترش حساب شده و تدریجی کار، وارد نشدن در «ماجراجوئی های فنی»، و عدم اقدام در هر موردی که درجه آزادی در هر مرحله را بالا برده و امکان حصول نتیجه مثبت و درک دلائل ضعف عملکرد را کاهش می دهد.

۵. تقسیم بندی منطقی کار در هر مرحله (با توجه به اهمیت موضوع، پارامترهای اقتصادی و کیفیتی، و امکانات، تخصص ها و زمان موجود) به سه نوع:

نوع اول: قسمت هایی از سیستم که مهندسی معکوس آن در داخل شرکت و یا با نظارت کامل آن انجام می شود.

نوع دوم: قسمت هایی از سیستم که در داخل کشور قابل دستیابی است.

نوع سوم: مواردی که از منابع خارجی باید تهیه شود.

٦. کوچک کردن جبهه رویارویی با کار در حد امکان: برای این منظور، استفاده از قطعات استاندارد تا سر حد ممکن و جایگزین کردن مجموعه های جانبی سیستم (که در عملکرد اصلی سیستم تأثیر مشخص نمی گذارد) با مجموعه های موجود در بازار توصیه می شوند.

۷. فاز تست و کنترل عملکرد و کالیبراسیون

۸. فاز تأیید و تولیدی کردن فرآیند تولید محصول

۹. فاز مصرف، نگهداری و تعمیر محصول

۱۰. فاز بهسازی محصول فعلی

۱۱. فاز طراحی کلی محصول جدید

فعالیت های تحقیق و توسعه و آموزش قابل تفکیک از فازهای مذکور نبوده و در تمام مسیر ادامه می یابند.

روابط بین فازهای اصلی مسیر در نمودار ۱ آمده است.

۲-۳-۳- ۱- انتخاب و شناسایی محصول

در این فاز، بدواً اعمال مقدماتی هر کار طراحی (فارغ از نوع آن) انجام می پذیرد که شامل تعریف دقیق نیاز، سپس تعریف هدف، و آنگاه تعریف مشخصات مورد انتظار از محصول است. طبعاً بعد از این ایده های مختلف با تجسم کلی آنها برای رسیدن به هدف مذکور و اقناع مشخصات ارائه می شوند که زمینه فکری مناسبی برای کار طراحی فراهم می سازند. در مرحله بعدی به مطالعه نمونه های عرضه شده در بازار قابل دسترس جهانی برای برطرف کردن نیاز از جنبه های مختلف کیفیت و کارآیی، مطلوبیت عمومی، پارامترهای اقتصادی، پیچیدگی ساخت و عملکرد، امکان ساخت و تدارک قطعات و مجموعه ها و ... در مقایسه با یکدیگر می پردازیم و بعداً با کمک گیری از روشهای تصمیم گیری، بهترین نمونه محصول و مناسب ترین روش دستیابی به آن را (مهندسی معکوس) انتخاب می کنیم.

به موازات همین اعمال، کارهای تحقیق و توسعه و آموزش باید به قصد ایجاد پوشش مناسب برای مراحل بعدی آغاز شوند. نمونه این اقدامات عبارتند از:

۱. آموزش مباحث پایه و کاربردی برای مراحل بعدی کار به دست اندرکاران.

۲. مطالعات اولیه روی تئوریهای علمی کاربردی که مبنای عملکرد محصول باشند.

۳. آغار اقدامات برای شناسایی استانداردهای عملکرد و روشهای تست و کالیبراسیون نمونه ها.

٤. آغاز شناسایی روشهای استاندارد سازی مواد و قطعاتی که احتمال کاربرد آنها در محصول وجود دارد.

٥. شناخت روشهای کدگذاری و هویت سازی قطعات و مجمرعه های سیستم مشابه

نمودار ۱- سلسله مراتب مهندسی معکوس تا طراحی محصول

- اقدامات اجرایی تر این مرحله که باید انجام شود، عبارتند از:

۱. جمع آوری تمام اطلاعات ممکن حول محصول مثل کاتالوگها، کتابچه های راهنمای عملکرد، جزوه های تعمیر و نگهداری و کتابچه های سفارش قطعات یدکی.

۲. تأمین چند نمونه و کامل از محصول مورد نظر (حداقل ۳ نمونه)، چند نمونه مستعمل (حداقل یکی)

۳. تعیین اندازه گیری دقیق ورودی ها و خروجی ها سیستم

٤. تعیین پارامترهای اساسی عملکرد محصول

۲-۳-۳-۲- پیاده سازی و سنجش

در این فاز، بدواً با انجام بررسی کامل روی منابع و نمونه های موجود، سیستم را به چند مجموعه تقسیم کرده به هر مجموعه کد و نام خاصی می دهیم. آنگاه ساده ترین مجموعه ممکن را (در حد اطلاعات موجود) از لحاظ سادگی عملکرد، سادگی دمونتاژ و ارتباط کمتر عملکردی انتخاب کرده و اعمال مونتاژ (پیاده سازی) را روی یک نمونه موجود آغار می کنیم. در پیاده سازی باید کار با دقت، مراعات حساسیت ها، ثبت نکات مهم و اندازه گیری پارامترهایی نظیر گشتاورها و.. انجام پذیرد. آسیب ندیدن قطعات، برداشتن نمونه مواد آب بندی کننده، پرکننده و ... برداشتن طرح دستی که نحوه ارتباط و مونتاژ قطعات را روی هم بدقت نشان دهد از جمله نکات اساسی

در این مرحله هستند (تهیه نمودار دمونتاژ) معمولاً مجموعه بعد از بازکردن، به چند زیر مجموعه و تعدادی قطعه منفرد تجزیه می شود که کار دمونتاژ زیر مجموعه ها به همین ترتیب ادامه می یابد.

بعد از دمونتاژ مجموعه، نخستین کار، تهیه تصویر از تمامی قطعات در کنار هم با مشخص کردن نام مجموعه و مشخص کردن مقیاس است. این تصویر بعداً بعنوان یک مدرک قطعی مانع از قلم افتادن یک یا چند قطعه خواهد شد. (نقشه باز شده قعطان محصول)

بعد از این، فاصله، کار نام گذاری و کدگذاری قطعات آغاز شده، و در کنار آن کار دمونتاژ سایر مجموعه ها نیز بترتیب آغاز می شود.

در مرحله بعدی، پس از جدا سازی قطعاتی که احتمال استاندارد بودن آنها می رود، به اندازه گیری ابعاد قطعات می پردازیم که البته باید مقدم بر آن، حدود دقت اندازه گیری معلوم شده باشد. اگرچه قطعات نمونه اصلی بعنوان قطعات مبنا حفظ می شوند، با انجام برشهای مناسب روی قطعات نمونه های دیگر می توان گوشه های ناپیدای جسم و ابعاد قطعاتی که توسط اتصالات جدانشدنی (جوش،...) به هم متصل شده اند را اندازه گرفت. این اندازه ها که مربوط به ابعاد قطعه بدون پوشش می باشند، بصورت گرد نشده بر روی نقشه هایی که در همین زمان با نماهای مناسب از هر قطعه رسم شده اند، ثبت می شوند. بعداً نقشه با انجام اصلاحات لازم، و با همان

ابعاد گرد نشده اصلی، روی کالک منتقل شده و به این صورت «نقشه مبنا»ی قطعه آماده می شود.

۲-۳-۳-۳- مقدمات ساخت (و سفارش)

این فاز پر اهمیت، به سه گروه اقدامات قابل تجزیه است:

گروه ۱- اقدامات هندسی: در این گروه، نقشه اصلی قطعه (که همان نقشه مبنا با ابعاد گرد شده است) آماده می شود. با به نتیجه رسیدن اقدامات از قبل آغازشده در مورد انتخاب سیستم تلرانس گذاری و انطباقات و تحقیقات انجام شده در مورد تعیین دقیق وضعیت مطلوب قطعات و زیر مجموعه ها نسبت به هم زمینه مناسبی فراهم می شود که پس از رسم نقشه های مونتاژی، تلرانس گذاری قطعات (ابعادی و در صورت لزوم هندسی) آغاز گردد. البته با توجه به اهمیت موضوع، باید اطمینان حاصل کرد که همه ابعاد، اندازه ها، تلرانس ها، انطباقات مناسب بوده و به دقت روی نقشه منتقل شده اند.

در کنار این موضوع، باید اقدامات قبلی در مورد تعیین وضعیت مطلوب مجموعه ها نسبت به هم و تعیین حدود تلرانس سر جمع (تلرانس سیستمی) برای هر مجموعه برای کلیت محصول را در این مرحله برای منطقی کردن تلرانس ها و ابعاد داده شده استفاده کرده و تلرانس های سرجمع را نیز کنترل نمود. پس از این، با تعیین صافی سطوح قطعات، می توان تقشه ها را تثبیت کرده و نقشه نهایی قطعات را بدست آورد.

نقشه های زیر مجموعه ای (مثلاً برای قطعاتی که به هم جوش می شوند)، در مرحله بعد تهیه می گردند:

گروه ۲- اقدامات شناسائی کیفیت: اگر چه اقدامات اولیه این گروه بیشتر به فاز انتخاب و شناسایی مربوط می شوند، اما به دلیل سنخیت، همه در این گروه دسته بندی شده اند.

در این گروه، کار با آماده کردن قطعات برای انجام آزمایشهای لازم آغاز می شود. قطعات استاندارد از همان ابتدا از این سیکل کاری حذف می شوند مگر اینکه حساسیت ویژه ای بعداً برای آنها تعریف شود. با بررسی اولیه روی قطعات، دسته بندی آنها از نظر جنس، و مشخص کردن آزمایشهای لازم در هر مرحله به موازات شناسایی امکانات آزمایشگاهی مناسب انجام شده و سپس آزمایشها برای تعیین نوع و درصد عناصر تشکیل دهنده صورت می پذیرد. نتایج آزمایش ها در یک روند معادل یابی مورد بررسی قرار گرفته و در نهایت جنس استاندارد معادل یافته و پس از کنترل، تثبیت می شود. در مرحله بعد، بررسی های لازم برای تعیین نوع و ضخامت پوشش ها، اندازه گیری سختی، چقرمگی و.. (در صورت لزوم) انجام شده و بر مبنای آن در صورت لزوم (به خصوص برای فلزات آهنی) نوع و سیکل عملیات حرارتی مشخص خواهد شد.

آزمایش هایی که در این گروه انجام می شود، زمینه لازم را برای شناخت روش های تولید در مراحل بعدی نیز هموار خواهد کرد، (مواردی نظیر متالوگرافی در قطعات

فلزی)، شناخت نـوع و روش اجـرای فرآینـد، پوشـش دهـی، فرآینـد جوشـکاری و...، فرآیندهایی مانند ریخته گری، پرسکاری و آهنگری و فرآینـدهای مشـابه بـرای غیـر فلزات در همین فاز انجام خواهد شد.

گروه ۳- شناسایی قطعات استاندارد: در این گروه، قطعاتی که بـا احتمـال اسـتاندارد بودن، و نیز قطعات و مجموعه هایی که بدلیل احتمال تهیه از بازار (با توجه بـه اصـل ٦ توصیه ها فرآیند مهندسی معکوس) در فاز قبلی جدا شده اند، مـورد بررسـی قـرار می گیرند. تعیین حساسیت عملکرد قطعه یا مجموعه، عمل لازمی است که تعیین کننده درجه دقت در این مسیر خواهد بـود. شـناخت منـابع اسـتاندارد لازم (اسـتانداردهای رسمی، استانداردهای تولید کنندگان) و نیز تعیین حدود عملکرد مورد انتظار قطعات و مجموعه ها (و در شکل پیشرفته تر آن، استانداردهای عملکرد) زمینـه سـاز اقـدامات این گروه تلقی می شوند.

اقدامات عملی این گروه، با دسته بنـدی قطعـات آغـاز شـده و بـا تعیـین ابعـاد (و در صورت لزوم و وجود حساسیت تعیین جنس، پوشش و سایر عملیات تکمیلی) قطعه و مقایسه آنها با مشخصات استاندارد ادامه می یابد. در مورد مجموعه یا زیر مجموعه هایی که به صورت مونتاژ شده از بازار تهیه می شوند، این بررسـی هـا محـدود بـه شناخت و مقایسه ابعاد و خصوصیات کلی مجموعه، و حدود (یا استاندارد) عملکرد و مقایسه ورودی ها و خروجی ها خواهد بود. در نهایت، مشخصات لازم برای سفارش

قطعات و مجموعه های مذکور تعیین شده و در صررت لزوم عملیات تکمیلی که باید قبل از به کارگیری روی آنها انجام گیرد، مشخص خواهد شد.

در این بررسی ها با قطعات استاندارد یا مجموعه هایی مواجه خواهیم شد، که تفاوتهای کوچکی و مشخصات ظاهری با دقطعات (یا مجموعه های) مورد بررسی دارند اما از نظر عملکردی و پارامترهای مربوط به آن، کاملاً پاسخگوی نیاز می باشند. در این مورد برای جلوگیری از پیچیده شدن مسئله، این قطعه (یا مجموعه) استاندارد است که باید در صورت امکان تغییر کرده و با محل نصب خود انطباق یابد یک بررسی کارشناسانه روشن خواهد کرد که این تغییر ممکن هست یا خیر؟ و به مصلحت هست یانه؟

طبیعی است که این تغییرات نباید موجب ضعف در عملکرد قطعه و تمرکز تنش در آن شود.

۲-۳-۳-۴- ساخت و سفارش

این فاز، فاز بسیار مهمی است، برای شروع این فاز، باید قبلاً تصمیم قطعی در مورد تیراژ تولید نممونه گرفته شده باشد. این تیراژ بستگی به پیچیدگی فنی، میزان قطعیت روشها، مسائل اقتصادی، و... دارد، اما نتایج تجربی نشان می دهند که بسیار محدود کردن تیراژ، باعث پیچیده تر شدن فاز تولید قطعی و پایین آمدن دقت نتایج حاصله از ساخت نمونه شده است. به همین دلایل ساخت حداقل ۵ نمونه در این فاز توصیه می

شود. باید توجه داشت که با توجه به احتمال وجود مشکلات مختلف در مراحل قبلی و بعدی، در برنامه ریزی ساخت قطعات باید عدد مذکور در ضریبی بین ۱/۵ تا ۲/۵ ضرب شود که مقدار این ضریب بستگی به تجربه، مهارت نیروها و میزان قطعیت مشخصات پیش بینی شده برای قطعه دارد.

دسته اول- سفارش: بعضی از اقدامات این گروه باید قبلاً در عرض فازهای دیگر آغاز شده باشد. از جمله این موارد، اقدام برای سفارش مواد اولیه است که برای انجام آن باید قبلاً بررسیهای کافی صورت گرفته و مواد اولیه مورد نیاز از نظر جنس، ابعاد و شکل مقطع دسته بندی شده باشند. البته برای سفارش قطعات استاندارد و مجموعه های ساخته شده می توان اقدامات اجرایی را از همین فاز شروع کرد.

دسته دوم- ساخت: این اقدامات، با پیشنهاد روش ساخت اولیه بر مبنای مطالعات قبلی انجام شده (و آزمایش هایی مثل متالوگرافی و...) آغاز می شود که پس از بررسی های انجام شده در یک کمیته کارشناسی، در نهایت یک روش ساخت دائمی (با یکی دو گزینه قابل قبول) و احیاناً یک روش ساخت موقتی برای ساخت نمونه ها (در صورت لزوم) بدست می آید. در مرحله بعدی، تعیین پروسه کلی ساخت هر قطعه، تعیین ابزارهای لازم برای مراحل ساخت و مونتاژ نمونه (ابزارهای کمکی،

ابزارهای برشی، الکترودهای جوشکاری، ...) تهیه مشخصات لازم برای ابزارها و سپس ساخت ابزارهای ساختنی، کنترل کیفی آنها و در نهایت ساخت قطعات با تلرانس های پیش بینی شده، انجام خواهد شد. بدیهی است که در صورت پیش آمدن اشکال، اصلاح لازم بر مبنای اطلاعات جدید صورت خواهد پذیرفت.

کنترل کیفی قطعات، نیز اقدام لازمی است که باید مرحله به مرحله صورت پذیرد.

۲-۳-۳-۵- مونتاژ و برطرف کردن عیوب کلی نمونه ها

با آماده شده قطعات ساخته شده یا تهیه شده و تأیید کیفیت آنها و با استفاده از نمودارهای مونتاژ، پروسه تدوین شده مونتاژ و نقشه های مونتاژی که در طول این مدت آمده شده است. کار مونتاژ قطعات به صورت سیر از کوچکترین زیر مجموعه ها به سمت تکمیل مجموعه ها با رفع تک تک عیوب مونتاژی در هر مرحله و در نهایت رسیدن به سیستم کامل انجام می گیرد.

کنترل تلرانس های سرجمع (مجموعه ای) و کنترل عملکرد در هر مرحله صورت می پذیرد.

۲-۳-۳-۶- تست، کنترل عملکرد، کالیبراسیون نمونه ها

این فاز، کاملاً بر بررسیهای دقیق علمی مبتنی است اگر چه در شرایط اضطراری می توان بطور محدود بر تجربیات به کار گیرندگان اتکا نمود. طبعاً طراحی اصلی است

که با توجه به محاسبات، منحنی ها، جداول و تئوریهای اساسی علمی که به کار گرفته، می تواند روش کالیبراسیون، تست و کنترل عملکرد را بر مبنای استانداردها و روشهای آماری ارائه نماید و بنابراین این فاز در طراحی معکوس به صورت یک گذرگاه حیاتی به خصوص برای ماشینهای با عملکرد پیچیده در خواهد آمد.

انجام مطالعاتی که قبلاً در اصول پایه و فاز انتخاب و شناسایی آغاز آن توصیه شده، به همراه تکیه بر تجارب مدون می تواند بصورت تدریجی به حل این معضل کمک نماید.

۲-۳-۳-۷- تأئید نتایج نمونه سازی و تولیدی کردن فرآیند محصول

در این فاز، بعد از تائید نتایج، برنامه ریزی برای تولید آغاز می شود. این برنامه ریزی شامل سازماندهی خطوط تولید و مونتاژ، برنامه ریزی تولید و مونتاژ و کنترل کیفیت، احیاناً طراحی سیستم های جنبی که از قبل مطالعات لازم روی آنها آغاز شده می شود، بطور همزمان باید دانش فنی فرآیندهای تولیدی بر مبنای روشهای تثبیت شده تولید به همراه نقشه های مراحل ساخت به دقت برای یکایک قطعات تدوین شوند. ابزارها و قالب ها (منجمله ابزارهای کمکی) بر مبنای ماشین آلات مشخص شده برای آن پیش بینی شوند و نیاز مواد اولیه تأمین گردد. طرح استقرار بخشهای تولیدی و کمک تولیدی طراحی گردیده و عملیات برنامه ریزی حمل و نقل، متعادل

سازی خطوط ساخت و مونتاژ صورت پذیرفته و خط تولید ابتدا بصورت آزمایشی و سپس تولید انبوه راه اندازی و مورد بهره برداری قرار می گیرد.

۲-۳-۳-۸- توزیع محصول، استفاده، و تعمیر و نگهداری محصول

برای توزیع، تعمیر و نگهداری باید شبیه به یک مورد طراحی مستقیم تمام پیش بینیهای لازم به عمل آید. اهمیت این فاز در بعد طراحی، به خصوص از این جهت است که اطلاعات حاصله از نقاط قوی و ضعف عملکرد محصول طراحی شده به صورت بازخور به گروه طراحی منعکس شده و تجزیه و تحلیل شود و در فاز بهسازی و فازهای بعدی مورد استفاده قرار گیرد.

۲-۳-۳-۹ و ۱۰ و ۱۱ بهسازی زیر مجموعه ها و طراحی مجدد مجموعه ها و طراحی کلی (مستقیم) محصول رقابتی جدید

این سه فار در یک روند زمانی قابل طرح هستند و در صورت ایجاد یک پشتوانه کافی از تحقیقات کاربردی و امتزاج آن با تجربیات حاصله از فازهای قبلی فرآیند می توانند در یک زمان معقول ما را به قدرت طراحی مستقیم محصول قابل رقابت برسانند. در فاز بهسازی، بر مبنای اطلاعات بدست آمده از مصرف محصول، بررسی های موردی و تجربه کارشناسان طرح یک یا چند قطعه (حداکثر یک زیر مجموعه) در مجموعه تغییر یافته و تست عملکرد می شود.

تجربیات حاصله، نیازها و پیشرفت های فناورانه باعث می شود که گروه طراحی، وارد فاز طراحی مجموعه شود و یک یا چند مجموعه را بطور کامل تجدید طراحی نماید.

ممارست های انجام شده و موفقیت های بدست آمده در فازهای فوق الذکر، بتدریج به گروه طراحی این امکان را خواهد داد که بر مبنای پشتوانه علمی و تجربی بدست آمده و نیاز واقعی جامعه خود وارد فاز طراحی مستقیم کلی سیستم جدید شود.

۲-۳-۴- پشتوانه های فرآیند مهندسی معکوس محصول

اکنون که بر فرآیند طراحی معکوس از روی نمونه محصول، مروری شتابزده و به تناسب فرصت کوتاه کردیم، لازم است یکبار دیگر و تصریحاً بر پشتوانه های اصلی سیستم تأکید کنیم.

یکی از این پشتوانه ها، مدیریت و سازماندهی کارآ و مناسب است که بر مبنای مطالعه ای دقیق و عمیق برای فرآیند و دست اندرکاران آن برنامه ریزی کرده و بطور صحیح آن را راهبری نماید. همچنین واضح است که بدون وجود یک گروه طراحی سیستم فعال که سیستم های کاری را هم برای فاز طراحی و هم فاز تولید و پس از آن، پیش بینی و اجراء نماید، بدون یک گروه پیگیر کنترل پروژه، حصول نتیجه در ابهام اساسی قرار می گیرد.

پشتوانه دوم، نیروی انسانی کارآ و تثبیت شده است، با یک گروه نیروی انسانی ماهر و با انگیزه و ماندگار است که می توان با طی صحیح تـر مراحـل مهندسـی معکـوس سرانجام به قدرت طراحی مستقیم رسید. البته اگر انگیزه، دوام و زمینه رشد موجـود باشد، رشد مهارت از طریق آموزش و تجربه قابل اکتساب است.

پشتوانه سوم، فراهم بودن سطح مناسبی از امکانات و بودجه با زمان بنـدی مناسـب است که با توجه به ملموس بودن آن، به توضیح بیشتری نیار ندارد.

و در نهایت، پشتوانه کاری و مهم، اما کمتر ملموس «فعالیتهای تحقیـق و توسـعه» را باید ذکر کرد که بدون آن این فرآیند مهندسی معکوس بـه کپـی کـاری، کـه پدیـده ای مقطعی، کم کیفیت و غیر قابل گسترش است، تنزل می یابد. همان طوری که تا حدودی در جای جای این بخش نشان داده شده است، تحقیـق و توسـعه در فازهـای مختلـف نقص های مهمی را بر عهده می گیرد. با استفاده از روشهای علمی نظیر آنالیز مودال، روش اجزاء محدود، روشهای مدل سازی و شبیه سازی و... می تـوان بـا بـه دسـت آوردن مشخصات سیستم یا مجموعه ها، مدل ریاضی و معادلات حالت بـه تجزیـه و تحلیل پرداخته و بسیاری از موارد را قبل از اجرای عملـی، کـه مسـتلزم هزینـه قابـل توجه است، بطور ریاضی بررسی و آزمایش کرد. استفاده از نرم افزارهای متنـوع و پر قدرت می تواند به این تجزیه و تحلیل ها و تبدیل آن به نتایج عملـی کمـک شـایانی بکند.

۲-۳-۵- مهندسی معکوس از روی فرآیند کارخانه موجود

در مواردی که محصول به همراه فرآیند کارخانه تولید کننده آن در دسترس است ولی به علل گوناگون از قبیل افزایش تقاضای محصول مورد نظر به حدی بالاتر از ظرفیت کارخانه موجود، کمبود اطلاعات و دانش فنی پیرامون نحوهٔ ساخت محصول، کمبود اطلاعات و دانش فنی پیرامون نحوهٔ طراحی، ساخت و راه اندازی کارخانه نارسائی وجود داشته و در نتیجه نیاز به دستیابی به خط تولید مشابه داشته و یا اطلاعات فنی بیشتری برای به کارگیری خط تولید موجود نیاز داشته باشیم از روش مهندسی معکوس با استفاده از فرآیند تولید در دسترس اقدام می نماییم.

از سوی دیگر اعمال این روش برای محصولات شیمیایی و محصولات مکانیکی که به سطوح مختلف از پیش نیازهای اطلاعات و دانش فنی برای تیم مجری نیاز دارد روش بسیار خوبی خواهد بود. به عبارت دیگر اگر هدف مهندسی معکوس یک محصول شیمیایی مانند «فرمالین» باشد بدون داشتن کارخانه تولید کننده این محصول یا مدارک و اطلاعات فنی دقیق با تمام جزئیات طراحی و ساخت؛ بکار گیری این روش مستلزم طراحی جدید کارخانه تولید کننده فرمالین خواهد شد. و در صورتیکه کارخانه تولیدی این محصول وجود داشته باشد با توجه به میزان اطلاعات و «دانش فنی پنهان»[1] در فرآیند تولید دستگاهها، تجهیزات، تأسیسات و... در مقایسه با اطلاعات اطلاعات و «دانش فنی آشکار»[2] از اهمیت کمتری برخوردار باشد سطح این روش

---

[1] . Hiden Inf.
[2] . Visible Inf.

دستیابی به محصول فرمالین را به سطح دوم اهمیت یعنی بکارگیری روشهای مهندسی معکوس تبدیل خواهد کرد.

به عبارت دیگر مهندسی معکوس از روی نمونه محصولات شیمیائی معادل مهندسی معکوس از روی خط موجود کارخانه تولیدی جهت این محصولات می گردد.

همان طوریکه می دانیم جهت تولید یک محصول مخصوصاً محصول شیمیایی باید ابتدا نمونه آزمایشگاهی آن ساخته شود بعداً در فاز نیمه صنعتی مشکلات تولید انبوه محصول بررسی و تجزیه و تحلیل شده و رفع گردد تا در نهایت کارخانه تولید انبوه با توجه به دو مرحله قبل و مخصوصاً مرحله نیمه صنعتی طراحی ساخته و راه اندازی شود.

نکته مهم دیگر در مهندسی معکوس صنایع شیمیایی (با توجه به اینکه معمولاً محصول شیمیائی از یک یا دو ماده اولیه اصلی به همراه چند ماده اولیه کمکی تشکیل شده که طی فرآیندی خاص توسط دستگاهها، مخازن، بویلرها، راکتورها، برجهای جذب و ارتباطات لوله کشی مخصوص به همراه پمپاژهای ویژه ساخته می شود) آن است که ساخت کارخانه تولید کننده محصول فوق بسیار مهمتر از ساخت خود محصول می باشد.

همانگونه که در فاز نیمه صنعتی نیر توضیح داده خواهد شد در مرحله نمونه سازی روش ساخت نمونه آزمایشگاهی تعیین می شود. اما در مرحله نیمه صنعتی روش تولید محصول به همراه دستگاه ها و ابزارآلات و تجهیزات لازم باید تهیه شود. به

این خاطر است که در صنایع شیمیایی مرحله نیمه صنعتی از اهمیت بالایی برخوردار است.، به هیچ وجه نمی توان در طراحی و ساخت یکه محصول شیمیائی این فاز مهم را از فرآیندهای نمونه سازی تا تولید انبوه حذف کرد. اهمیت این موضوع باعث می شود که در صنایع شیمیایی شبیه سازی محصول معنی مهندسی پیدا نکند. بلکه مشابه سازی کارخانه تولید کننده محصول در روش مهندسی معکوس مد نظر قرار گیرد.

با توجه به اینکه کارخانه الگو در کشورهای در حال توسعه به احتمال خیلی زیاد از روشهای خرید کارخانه به روش کلید در دست و یا روشهای مشابه ایجاد شده است لذا اطلاعات و دانش فنی پروسه های تولید، مدارک و اطلاعات مربوط به ساخت و نصب راه اندازی تجهیرات و خط ارتباطی بین تجهیزات و دستگاه ها در دسترس نمی باشد و فقط ممکن است اطلاعات مورد نیاز تعمیر و نگهداری و سرویس دستگاهها و تجهیزات و خطوط ارتباطات، در دسترس پرسنل ماهر کارخانه الگو باشد همچنین با توجه به نحوه استقرار کارخانه الگو می توان با استقرار تجهیزات و دستگاهها و اتاق کنترل، این کارخانه را از کارخانه الگو بدست آورد. فرآیند ساخت و تولید محصول از مواد اولیه تا محصول نهایی را نیز تا حدودی می توان با توجه به اطلاعات تئوریک مراحل و مشخصات تولید محصول در کارخانه الگو به دست آورد.

۲-۳-۵- ۱- مهندسی معکوس فرآیند تولید فرمالین از روی خط تولید کارخانه مشابه

در سالهای ٦١ تا ٦٢ که فکر مهندسی معکوس فرآیند یکی از واحدهای صنایع شیمیایی فارس در ذهن مدیران شرکت صنایع شیمیایی سینا که خود مدیران وقت شرکت فارس بودند پرورش می یافت انجام کار بسیار سهل و ساده به نظر می رسید و چنین تصور می شد که «دستگاههای خط تولید را با تهیه نقشه از روی آنها می توان ساخت و تجربه نصب هم که در ایران به اندازه کافی وجود دارد و برای راه اندازی هم متخصصین خارجی نیاز ندارد پس به راحتی می توان کارخانه جدیدی را احداث کرد. ولی بعد در عمل دریافته شد که مهندسی معکوس فرآیند کاری است بسیار دقیق و اجرای آن فقط بر اساس اصول علمی و مهندسی امکان پذیر است و مهمتر اینکه کلاس و دانشگاه بسیار خوب و مثمر ثمری برای کلیه افرادی که در آن کار همکاری دارند می باشد و حتی می توان ادعا نمود زمینه ای که برای توسعه صنعت و فناوری و اشاعه فرهنگ مهندسی و پایه ای برای طراحی و ابداع فناوری های جدید می باشد و به این ترتیب مهندسی معکوس فرآیند برای کشورهای در حال توسعه اگر تنها راه حل توسعه فناوری نباشد یکی از روشهای اصلی خواهد بود. و نگاهی به تجربه ای که در صنایع شیمیائی سینا بدست آمد مؤید این موضوع است. لذا این تجربه را با هم مرور می کنیم و به تشریح اقدامات انجام گرفته در این خصوص از زبان دست اندرکاران این فرآیند، خواهیم پرداخت.

الف) اقدامات ابتدائی برای کپی سازی دستگاه ها

در ابتدا با همان تصور قبلی از مشابه سازی (کپی سازی) اقدام به جمع آوری و تهیه نقشه های دستگاه های اصلی تولید فرمالین شد و سپس برای ساخت دستگاه ها که عمدتاً شامل راکتور تبخیر کننده (کندانسور)= مبدل حرارتی و برج جذب بود به سازندگان مختلف مرأجعه و تقاضای ارائه پیشنهاد داده شد. در اولین مرحله دیده شد که شرایط و روش ساخت سازندگان مختلف با هم متفاوت هستند و هر یک سئوالات خاصی دارند که جواب به آنها احتیاج به دانش به خصوصی دارد. به عنوان مثال در مورد روش جوشکاری و نوع الکترود و شرایط طراحی دستگاهها سئوال می کردند زیرا در قیمت و کیفیت کار تأثیر زیادی داشتند. برای جواب لازم بود که دستگاهها دقیقاً مورد بررسی قرار گرفته و مشخص گردد که درون هر دستگاه چه اتفاقی می افتد و شرایط کارکرد هر دستگاه از نظر درجه حرارت، فشار و نوع ترکیبات سیال درون آنها بررسی شوند و در مورد نحوه جوشکاری هم لازم بود که مطالعه شود، چه اینکه جنس بدنه- ضخامت- شرایط کارکرد و شرایط طراحی روی جوشکاری و روش آن تأثیر مستقیم دارد با توجه به این عوامل و با مراجعه به استانداردها و کتب جوشکاری، روش جوشکاری و نوع الکترود و مراحل آن، پیشنهادها سازندگان مورد بررسی و تأئید قرار گرفت.

ب) احداث ساختمانها

پس از تهیه نقشه های دستگاه های اصلی فرمالین نقشه هـای بـرج فرمـالین از نقطـه نظر ایستایی مورد بررسی قرار گرفت و با توجه به تناوب زلزله های شدید با شـدت ۷ درجه ریشتر که در منطقه اتفاق افتاده بود و اینکه احتمال وقوع مجدد آن می رفـت لازم بود که ساختمان برج برای مقاومت در برابر چنین زلزله ای طراحی شود، بـرای این کار لازم بود که کلیـه مطالعـات زمـین شناسـی انجـام گیـرد و در طراحـی ابعـاد ساختمان برج به موضوع تغییـر ابعـاد و اثـرات آن بـر دسـتگاه هـا (از نظـر فضـای استقرار و ضـخامت سـقف هـا و در نتیجـه تغییـر ارتفـاع محـل اسـتقرار بعضـی از دستگاهها) توجه شود. گرچه خوشبختانه در زمینه راه و ساختمان، ایران مـی توانـد گلیم خود را از آب بیرون بکشد ولی هدف از طـرح آن ایـن بـود کـه مـواردی کـه در طراحی باید در نظـر گرفتـه شـود و ارتبـاط تنگاتنـگ بـین سـاختمان و ماشـین آلات مشخص گردد. مثلاً برای اینکه بتوان دسـتگاه هـا را در بـرج نصـب نمـود لازم بـود قسمتهایی از برج فرمالین بعد از نصب دستگاه ها تکمیل کردند و به فضای موجود و جای مانور برای جرثقیل ها توجه شود.

ج) تشکیل مرکز طراحی مهندسی و مرکز اسناد و اطلاعات علمی

پس از این مرحله، تعیین محل استقرار برج فرمالین و ساختمانها شروع گردید، نقشـه جانمایی کارخانه الگو، مسلماً نمی توانست مورد استفاده قرار گیرد زیرا که اولاً ابعاد

و محدوده زمینهای دو کارخانه متفاوت بودند و واحدهای تولیدی متفاوتی داشتند. ثانیاً در کارخانه الگو مشکل کمبود محل ذخیره برای مواد اولیه و محصول وجود داشت. این فاکتورها تغییر نقشه جانمایی را غیر قابل اجتناب می کرد. ضرورت تشکیل یک مرکز مهندسی که بتواند کلیه احتیاجات طراحی یک واحد شیمیایی را برآورده سازد، احساس شد و بر این مبنا امور طراحی و مهندسی صنایع شیمیایی سینا پایه گذاری شد. و افراد مورد نیاز از رشته های مختلف مهندسی اعم از فرآیند مکانیک- برق- ابزار دقیق- شیمی و غیره استخدام شدند، در جوار آن یک مرکز اسناد و اطلاعات علمی تأسیس شد تا افراد براحتی بتوانند به جدیدترین اطلاعات علمی ذیربط و ضوابط مهندسی دسترسی داشته باشند. در این مرکز کتابهای مورد نیاز و استانداردهای مختلف طراحی و ساخت از قبیل استانداردهای ASME و ASTM و API و ANSI و BS و DIN جمع آوری گردید که در صورت لزوم در جاهای دیگر درباره آنها توضیحات بیشتری ارائه خواهد شد.

د) مطالعه مبانی طراحی فرآیند و بررسی نقشه های P & ID [1]

برای شروع طراحی احتیاج به اطلاعات پایه ای بود یعنی پروسه تولید و فعل و انفعالات آن و ارتباط بین دستگاه ها و مخازن و پمپ ها و جهت جریان سیال و

[1] . Piping & Instrumentation Diagram

سیستم های کنترل هر خط معین باشد این اطلاعـات در نقشــه هـای طراحـی فرآینـد وجود دارد. تهیه این نقشه ها ابتدای کار طراحی قرار گرفت.

ه) کپی سازی مخازن ذخیره و طراحی P & ID ها

در کارخانه الگو (شیمیایی فارس) مخزن ذخیره مواد اولیه فقط یک عدد وجود داشت که در شرکت سینا این مخازن به تعداد ۵ عدد افزایش یافتند و بدین ترتیب ارتباط این مخازن با یکدیگر و روش بارگیری و تخلیه و ارتباط آنها با واحد فرمالین باید طراحی می شد و نتیجتاً یک نقشه P & ID برای این واحد تهیه شد. در تهیه ایـن نقشــه بایـد فاکتورهای متعددی را در نظر مـی گـرفتیم و لازم بـود کـه وجـود هـر شـیر و لولـه ورودی و خروجی و تجهیزات نصب شده روی مخزن ذخیره دقیقاً بررسی و کاربرد آنها مشخص گردد در اینجا نوع ماده اولیه (متانول) که به آسانی تبخیر مـی گـردد و بدون شعله می سوزد بررسی هـای خـاص دیگـری را ایجـاب مـی کـرد. مـثلاً بـرای جلوگیری از تبخیر داخل مخزن باید فکری می شد. برای سیسـتم آتـش نشـانی آن و همچنین برای کنترل فشار داخل مخازن به طوری که هم بتـوان مخـازن را در فشـار آتمسفر یک نگهداشت و هم خروج بخار متانول را به حداقل رسانید نیز باید تمهیداتی به کار گرفته می شد. خوشبختانه این کار با موفقیـت انجـام شـد و نقشــه P & ID و سیستمهای ذیربط این مخازن طراحی شد. کار مشابهی برای تهیه نقشــه هـای P & ID.

برای واحدهای دیگر کارخانه شامل واحد تصفیه آب- واحد تولید بخار- واحد تولید هوای فشرده و انبار ذخیره محصولات انجام شد و در طراحی هر کدام از اینها اطلاعات جدیدی یا به صورت طراحی جدید و یا کشف آن از نقشه ها و اطلاعات کارخانه الگو کسب می شد.

و) طراحی سیستم تصفیه آب برای شرکت سینا و ساخت مخازن آب

در طراحی و تهیه نقشه های سیستم تصفیه آب به علت تغییر ظرفیت آن لازم بود که طراحی جدید برای مخازن انجام گیرد. در کارخانه الگو (شیمیایی فارس) نقشه های این مخازن وجود نداشت و کل سیستم را به طور یک جا از خارج تهیه کرده بودند. در جستجو در نقاط دیگر کشور دیده شد که این سیستم در ایران ساخته نمی شود و کلیه مصرف کنندگان آن که عمدتاً نیروگاه های بخاری هستند کل سیستم را از خارج تهیه می نمایند.

آب مصرفی سینا کیفیت های مختلفی باید داشته باشد (مانند کارخانه الگو) آب برای بویلرها (سختی صفر) آب یون زدایی شدید (TDS کمتر از ۲۰ PPM) و آب بدون املاح با قابلیت هدایت الکتریکی صفر (TDS کمتر از ۱ PPM) است، مشکل هم فقط تهیه آب اخیر الذکر بود زیرا سیستم تولید انواع دیگر آب را می توانستیم از بازارهای داخل تهیه کنیم. چون نمی خواستیم این سیستم را از خارج خریداری کنیم در صدد طراحی آن در داخل کشور برآمدیم و از واحدهای تصفیه با این کیفیت بازدید به عمل

آمد و کلیه روشهای تصفیه و کارکرد آنها مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت. بالاخره نقاط و نکات مبهم که مانع طراحی و ساخت سیستم تصفیه در داخل کشور می شد کشف گردید و طراحی در داخل کارخانه انجام شد. در داخل کارخانه مخازنی ساخته شدند و سپس نصب و با موفقیت راه اندازی شدند.

ز) طراحی لوله کشی

در بررسی هایی که روی حجم کار احداث کارخانه انجام شد مانند سایر کارخانجات شیمیایی حدود ۳۵٪ کل کارهای اجرایی را کارهای لوله کشی تشکیل می داد و با توجه به تغییر مسیر لوله ها و بعضاً اندازه لوله ها و تغییر در محل استقرار واحدها مشخص می گردد که چه حجم کار طراحی جدید باید انجام می شد. این طراحی ها از قبل موجود نبودند و تیم طراحی می بایست رأساً آنها را تهیه نماید و برای تهیه آنها مجبور بود که اولاً تمام مراحل طراحی را دقیقاً اجرا نماید و هر شکل خاص لوله کشی و یا سیستم کنترل را دقیقاً موشکافی نماید و علت آن را دریابد مثلاً اینکه چرا یک لوله معین که توسط سیستم کنترل میزان جریان آن اندازه گیری می شود مسافتی را بطور مستقیم پیموده و مجدداً باز می گردد و یا دیده می شد که در نقشه های لوله کشی کارخانه الگو (شیمیائی شیراز) نگهدارنده لوله ها ۱ اشکال مختلفی دارند، در روی یک مسیر انواع مختلف این نگهدارنده ها وجود دارند. مثلاً بعضی از نگهدارنده ها لوله را به پایه ثابت و بدون حرکت می کرد و بعضی اجازه جابجایی

لوله را به طرفین می داد و بعضی فقط اجازه جابجایی در امتداد لوله را می داد در حالیکه این نگهدارنده ها برای لوله گیری که مجاور لوله قبلی قرار داشت کاملاً متفاوت بود. این دقت نظرها انجام شد و با دریافت نکات زیادی طراحی لوله کشی شروع شد.

مراحل طراحی لوله کشی:

۱. استاندارد ها

برای اینکه طراحی لوله کشی در تمام محوطه کارخانه بر یک اساس انجام گیرد مستقل از اینکه توسط چه کسی طراحی انجام گیرد لازم است که ضوابط و اساس طراحی معین و تدوین گردد. با مراجعه به کدهای ANSI API که رایج ترین مرجع در طراحی لوله کشی های صنعتی می باشند، جزوات مشخصات مواد لوله کشی و مشخصات لوله کشی، تدوین شدند که در این جزوات جنس لوله برای هر نوع سیال تعریف شده اند. نوع لوله از نظر درز دار شدن یا بدون درز بودن، از نظر ضخامت (از نظر شکل) انتهای لوله و حتی روش نامگذاری خطوط مشخص شده اند.

۲. طراحی پلان

با کمک این جزوات طراحی لوله کشی شروع شد و با این حجم لوله کشی باید طراحی طوری انجام می گرفت که لوله ها با همدیگر برخورد نداشته باشند و در صورت

امکان در کوتاه ترین مسیر باشند و موارد دیگری نظیر حبس هوا در لوله هـا، تخلیـه لوله ها و خصوصاً انقباض و انبساط لوله ها مد نظر قرار داشته باشند. لولـه هـا بـه خاطر اینکه سیالهائی با درجه حرارت و فشارهای مختلف از آنها عبور می کنند تغییر طول می دهند و این تغییر طول می تواند باعث تمرکـز تـنش و شکسـتگی لولـه هـا و بروز خطراتی برای پرسنل و خط تولید بشود از این نظر تک تک مسیرهای لوله کشی و تمام نقاط هر مسیر باید از نظر تمرکز تـنش، کنتـرل و آنـالیز بشـود و بـا طراحـی نگهدارنده های مناسب این تنش را به کمتر از حد مجاز رسانید.

۳. طراحی نقشه های ایزو متریک مسیر لوله ها

پس از تهیه نقشه های پلان لوله کشی و تعیین محل ساپورت ها، تقشه های سه بعدی ایزومتریک برای هر مسیر تهیه گردید. این نقشه ها چند خاصیت دارند اولاً بـه کمـک آن می توان مسیر عبور لوله ها را در فضای سه بعدی تعیین کرده و اگر دو یـا چنـد لوله با یکدیگر برخورد دارند قبل از شروع به نصب مشکل را برطرف سازند و یا می توان فضای موجود برای انجام عملیات تعمیراتی آینده را پـیش بینـی کـرد ثانیـاً مـی توان به کمک آنها قسمتهایی از مسیر لوله کشی را در کارگاه ساخته و بعداً در محـل قسمتهای از پیش ساخته شده را به هم متصل کـرد. سـومین خاصـیت آن اینکـه مـی توان تعداد دقیق شیرآلات- اتصالات و اندازه آنها را به هم متصل کرد و مقدار مـورد نیاز هر لوله را با دقت میلیمتر تعیین کرد که ایـن اطلاعـات پایـه و مبنـای کـار واحـد

تدارکات قرار می گیرد. مراحل مشابهی هم برای طراحی های برقی و ابزار دقیق طی شد. ابتدا جزوات استاندارد تهیه گردید و سپس نقشه مسیر کابلها و نقشه تابلوهای برقی و در نهایت لیست برآورد مقادیر آماده شد.

۴. طراحی ظروف و مخازن بزرگ

همزمان با طراحی های برقی و لوله کشی، طراحی ظروف و مخازن بزرگ نیز باید انجام می شد. پارامترهای مختلفی در این طراحی ها باید مدنظر قرار گیرد تا یک مخزن قابل اطمینان طراحی، ساخته شود. مخزنی که باید چند هزار متر مکعب مواد اولیه و یا محصول را در خود جای دهد، اگر به علت خوردگی و یا ضعف در بدنه سوراخ شود محتوی آن ضایع می گردد و یا اگر به علت عدم وجود سیستمهای ایمنی منفجر گردد چه خسارانی می تواند به بار آورد. اگر از طرف دیگر با اعمال اطمینان های بیش از حد نیاز ضخامت بدنه را به چند برابر حد نیاز برساند باعث افزایش هزینه ها یا سرمایه گذاری می شود.

برای طراحی مخازن با مراجعه به استانداردهای مختلف مناسبترین برای شرکت سینا انتخاب شد و در این میان استاندارد API برای طراحی و ساخت این مخازن انتخاب شد. این استاندارد شامل ضوابط و روشهای طراحی مخازن و همچنین ضوابط و روشهای ساخت مخازن و در نهایت روشهای تست آنها می باشد.

در این مرحله دیده شد که علاوه بر طراحی خود مخزن باید بـه فونداسـیون مخـازن نیز توجه بشود زیرا وزن و محتویات آنها فشار زیادی را بر زمین وارد مـی آورد و چنانچه فونداسیون به طور صحیح طراحی و ساخته نشود امکان نشست مخازن و یا انصراف آنها از حالت قائم وجود دارد.

ح) مراحل ساخت و نصب دستگاههای فرآیند تولید

۱. نصب دستگاه ها

در مراحل نصب نیز تجربه شد که ایـن کـار روشـها و ضـوابط خـاص خـود را بایـد داشته باشد نکاتی که در نصب یک برج لازم است با نکاتی که در نصب یک پمپ بایـد در نظر داشت متفاوت است. حتی مراحل اولیـه آنهـا یعنـی اسـتقرار دسـتگاهها روی فونداسیون نیز نکات ایمنی و اجرائی خاص خود را دارد و به تجربه دریافته شـد کـه برای نصب دستگاههای سنگین و بزرگ باید به چند فاکتور توجـه نمـود. مـثلاً روش حمل دستگاهها تامحل نصب (محل و موضع اسـتقرار جرثقیـل بـر روی فونداسـیون کنترل و هدایت جرثقیل) نصب پیچ های فونداسیون و مهار دستگاه تـا قبـل از نصـب دائم. به همین دلیل برای نصب، روشها و دستورالعمل های لازم تهیه شـده کـه بـرای اجرا به گروه نصاب ارائه می گردید. گروه دیگری برای اجـرای کـار و مطـابق آن بـا دستورالعمل ها نظارت مـی کـرد و گـروه سـوم بعـد از اتمـام کـار از کـار بازدیـد و بازرسی به عمل می آورد و در آخر گروه راه اندازی طبق دستورالعمل معین خطـوط

لوله و دستگاه ها را تست هیدورلیک و شستشو کرده و اخر الامر راه اندازی می کردند. این کار نه فقط برای نصب دستگاه ها و پمپها به کار می رفت بلکه برای جوشکاری و نصب لوله ها ساخت و نصب مخازن باید مراعات می گردید.

۲. ساخت و نصب مخازن

مراحل ساخت مخازن بعد از تحویل گرفتن فونداسیون آن با ورق چینی کف مخازن شروع می گردید. این چیدن ورقها بر اساس ضابطه خاص انجام می گیرد که در طراحی مد نظر قرار گرفته است. سپس ورقه های بدنه نورد می شوند و قوس مورد نظر در آنها ایجاد می گردد.

پس از آماده کردن لبه های ورق آنها را روی کف قرار می دهند به وسایل خاص این ورقها را در محل ثابت نگه می دارند و نقاط معینی را جوشکاری می کنند و سپس ورق ردیف دوم و مقداری از جوشکاری کف و ردیف اول انجام می گیرد و سپس ردیف سوم نصب می شود و مراحل به همین ترتیب انجام می گیرد تا مخزن ساخته شده و همزمان با جوشکاری آخرین ردیف بدنه، جوشکاری کف مخزن تمام می شود. این پروسه و روش ساخت مخازن و ذخیره روزمینی فلزی دقیقاً تجربه شد و علت اینکه چرا عملی باید در مقطع خاصی از مقاطع ساخت انجام گیرد برای مجریان آشکار و روشن گردید.

۳. جوشکاری لوله کشی های صنعتی

اتصال لوله ها نیز تجربه خاص خود را داشت بطور مسلم جوشکاری لوله های کربن استیل با جوشکاری لوله استنلس استیل متفاوت بود و اصولاً این لوله کشی با آنچه در منازل انجام می گیرد کاملاً متفاوت است و مراحل خاص خود را دارد. و در این تجربه افراد مجرب و آزموده، آزموده شدند که قبل از آن تازه دبیرستان و یا کلاس درس را پشت سرگذاشته بودند.

دستاوردها

الف) اولین و واضح ترین دستاورد این فرآیند مهندسی معکوس احداث و راه اندازی یک واحد شیمیایی بدون طراح و مشاور خارجی است که با سرمایه گذاری ارزی بسیار کمتر از آنکه فناوری از خارج خریداری می گردید تمام شده و محصولاتی را به بازار عرضه کرده که تا قبل از آن کمبود آن در کشور بسیار محسوس بود.

ب) دانش فنی: در طی این فرآیند، مهندسی معکوس عملاً معنی و ساختار دانش فنی و اینکه دانش فنی از چه اطلاعاتی تشکیل شده است به دست آمد. به این ترتیب با مراجعه به این اطلاعات به راحتی می توان نقایص و کمبودهای فناوری هائی را که به ما می فروشند. یا فروخته اند را تشخیص داد.

ج) طراحی سیستم تصفیه آب قابلیت هدایت الکتریکی کمتر از یک دهم میکرو زیمنس که شرح آن قبلا داده شده است.

د) توانایی طراحی سیستم های تاسیسات جانبی- برق-ا بزار دقیق- بخار تصفیه آب گاز و توانائی طراحی های پروسه تولید درصورت مشخص بودن دانش فنی.

ه) توانائی طراحی های مکانیکی برای مخازن تحت فشار و اتمسفر یک و دفاع از آنها (برای توضیح بیشتر به مورد زیر توجه شود). در یکی از مبدل های حرارتی خط تولید فرمالین که از نوع شل و تیوپ می باشد. در زمان ورود به کارخانه مقدار شکستگی در محل اتصال لوله ها به صفحه لوله ها دیده شد. این موضوع به سازنده اطلاع داده شد. جواب دادند که این مبدل پس از ساخت آزمایش هیدرولیک شده و کاملا سالم بوده است و گواهی بازرسی لویدز آلمان هم این موضوع را تایید می کند پس در زمان حمل و در اثر ارتعاش این شکستگی بوجود آمده و چون حمل به عهده شما بوده است ما مسئولیتی در این مورد نداریم. از آنجا که این شکستگی در زمانی که دستگاه در کارخانه بود بیشتر شد استدلال سازندگان را قبول نکردیم و مدعی شدیم که اشکال در ساخت بوده است نه در حمل. نماینده شرکت لویدز گزارش بازرسی خود را مبنی بر سالم بودن دستگاه پس از ساخت مجدداً تایید کرد و خواستار ارسال نمونه شکسته شده به آلمان و به دانشگاه آخن برای تحقیق روی مسئله شد که این کار هم انجام شد و دانشگاه آخن به استناد ابعاد دانه بندی محل شکستگی تایید کرد که اشکال در حمل بوده است (تذکر این نکته ضروریست که هزینه بازرسی شرکت لویدر دانشگاه آخن توسط سازنده پرداخت می گردید). موضوع از نظر تئوری مورد بررسی قرار گرفت و دیده شد که به هیچ وجه امکان این

شکستگی در زمان حمل وجود نـدارد و بـا اسـتدلال سـازنده قبـول کـرده بـه هزینـه خودش دستگاه را به اطریش عودت داده و تعمیر نماید. در راه بازگشـت بـه اطـریش خوشبختانه تعداد شکستگی ها تغیر نکرد و این خود دلیل عملی بر صحت ادعـای مـا بود که اشکال در ساخت می باشد نه در حمل. بلافاصله دستورالعمل تعمیـر و روش جوشکاری توسط شرک سینا تهیه و ارسال گردید و بـر اسـاس آن دسـتگاه مجـدداً تعمیر و عودت داده شد که هم اکنون درحال کار است.

و) از دستاوردهای دیگر تربیت گروهی از مهندسین و کارگرانی است که یا آگـاهی از توانائیهای خود و با جرات و اطمینان می توانند یک واحد صنعتی شـیمیائی را از فـاز صفر تا مراحل راه اندازی طراحی و اجراء نمایند.

۲-۳-۶- اهداف سخت افؤاو! ا و نو! افئ او! مهندسی معکوس

منشأ اصلی اصطلاح مهندسی معکوس از آنالیز سخت افـزاری مـی باشـد، جـایی کـه عمل گشودن رموز طراحی ها از محصولات در دسترس بسیار پیش پا افتاده و عادی به نظر می رسد. مهندسی معکوس علاوه بر اینکه به طور منظم در بهبود محصـولات خودکاربرد دارد در آنالیز محصولات رقبا یا در رابطه با محصولات نظامی دشـمنان نیز کاربرد فراوان دارد.

به طور کلی می توان گفت که هدف سخت افزاری مهندسی معکوس بـه صـورت کپـی کاری سیستم می باشد.

معمولاً نگهدارندگان و بهبود دهندگان سیستم ها، طراحان آنها نیستند، پس استفاده کنندگان و بهبوددهندگان جهت بررسی، تحقیق ویادگیری طراحی سسیتم اصلی منابع زیادی را هزینه می کنند. ابزار مهندسی معکوس این عمل را بدون صرف منابع زیاد تسهیل می نماید. با این مفهوم مهندسی معکوس قسمتی از فرآیند نگهداری و بهبود است که کمک می نماید تا درک واستنباط واقعی از سیستم، تغییرات مناسب پیدا کنند.

۲-۳-۷- کاربردهای مهندسی معکوس

استفاده از روش مهندسی معکوس برای کشورهای درحال توسعه یا عقب مانده روش بسیار مناسبی جهت دستیابی به فناوری، رشد و توسعه آن می باشد. این کشورها که در مورد بسیاری از فناوریها در سطح فناوری پایینی قرار دارند در زمینه روش ها و سیاست های دسترسی به فناوری، مهندسی معکوس را بهترین روش برای رسیدن به فناوری تشخیص می دهند (مانند کشورهای ژاپن، چین، آسیای جنوب شرقی) و سعی می نمایند با استفاده از روش مهندسی معکوس اطلاعات و دانش فنی محصولات در دست، مکانیزم عملکرد و سناریوی عملیات و هزاران اطلاعات مهم واساسی دیگر را کشف و بازیابی و در کنار استفاده از روش های مناسب طراحی مستقیم و روش های ساخت قطعات تجهیزات و تسترهای مورد استفاده در خط مونتاژ و ساخت (مانند قالب ها، گیج ها، فیکسچرها و دستگاه های تست و کنترل و...) نسبت به ایجاد کارخانه ای مجهز و مدرن جهت تولید محصولات

فوق اقدام نمایند. مهندسی معکوس همچنین ممکن است جهت غلبه بر نواقص و یا گسترش توانا یی های دستگاه های موجود نیز به کار رود.

از سوی دیگر مهندسی معکوس به طور گسترده ای درنقاط مختلف دنیا جهت تهیه قطعات یدکی و ایجاد مراکز تعمیر و نگهداری دستگاه ها و تجهیزات پیشرفته مورد استفاده قرار می گیرد.

شرکت ها و سازندگان محصولات (مخصوصاً محصولات نظامی) جهت کنترل مشتریان خود در زمینه سیاست های اقتصادی، مالی، نظامی و منطقه ای از روش های کنترلی گوناگونی جهت ارائه کنترل شده قطعات یدکی و تجهیزات مورد نیاز تست و کالیبراسیون محصولات مورد نظر استفاده می کنند و معمولا نیز به تعهدات خود در قرار دادهای فروش یا انتقال فناوری در زمینه قطعات یدکی و تجهیزات مورد نیاز، پایبند نیستند و با ایجاد بازارهای بین المللی دلالی قطعات یدکی سعی در به دست آوردن سود زیادتری دارند. لذا دراین گونه موارد مهندسی معکوس به عنوان یک روش اساسی و اصولی به همراه مراکز تحقیقاتی و توسعه ای نقش بسیار اساسی در خود اتکائی صنعتی بازی خواهد کرد. بسیار جالب است که عنوان گردد که مهندسی معکوس فنی توسط سازندگان اصلی نیز ممکن است مورد استفاده قرار گیرد زیرا به دلایل متعدد نقشه های مهندسی اولیه با ابعاد واقعی قطعات تطابق نداشته و شرکتها می توانند برای کشف اصول طراحی و تلرانس گذاری قطعاتی از مهندسی معکوس استفاده کنند. و با اندازه گیری از سیستم اندازه گیری CMM با

دقت، سرعت بسیار زیاد ابعاد را تعیین کرده و به نقشه های مهندسی ایجاد شده توسط سیستم CAD انتقال می دهد.

متخصصین یک شرکت اظهار می دارند که روش مهندسی معکوس و استفاده از تجهیزات و نرم افزارهای مربوطه به طور موثری زمان مورد نیاز جهت تعمیر و بازسازی ابزارآلات، دستگاه ها، قالب ها و فیکسچرهای فرسوده را کاهش می دهد و اعلام کرده اند که مهندسی معکوس زمان اصلاح رابه نصف کاهش می دهد.

مهندسی معکوس ممکن است یک کاربرد غیر قانونی از کاربرد علم مهندسی به نظر برسد اما آن یک حقیقت از زندگی روزمره ما می باشد.

۲-۳-۸- مدل مناسب جهت اجرای روش مهندسی معکوس یک محصول پیچیده

چه نکاتی را در مهندسی معکوس یک محصول پیچیده باید در نظر گرفت:

۲-۳-۸- ۱- ساختار سلسله مراتب محصول

اگر به یک محصول ساده و یک محصول پیچیده مکانیکی دقت نماییم تفاوت های بسیاری را در آنها مشاهده می کنیم.

یک محصول ساده از به هم پیوستن چند قطعه بسیار ساده تشکیل شده است که هیچ گونه انتقال اطلاعات یا انرژی بین قطعات آن انجام نمی شود و اگر هم انتقال انرژی بین قطعات آن صورت گیرد صرفا از نوع انرژی مکانیکی است.

اما یک محصول پیچیده و هوشمند از به هم پیوستن چند مجموعه پیچیده و هوشمند دیگری تشکیل شده است که بین آنها انتقال اطلاعات و پیام توسط پالسهای الکتریکی و انتقال انرژی الکتریکی ومکانیکی انجام می شود، هر کدام از این مجموعه دارای حدود و مرزهای معین، مشخص درمحصول اصلی است که یک مجموعه را از مجموعه دیگر تفکیک می کند. هر یک از این مجموعه های مستقل دارای ورودی ها و خروجی های معین می باشند که قابل تفکیک و اندازه گیری از ورودی ها و خروجی های مجموعه های موازی است. هر کدادم از این مجموعه ها نیز به نوبه خود از زیر مجموعه هایی نشکیل شده است که وضعیت و مشابه وضعیت مجموعه ها را از نظر ورودی ها و خروجی ها، حدود و مرزهای مشخص می توان برای آنها تعریف کرد.

با توجه به میزان پیچیدگی محصول، هوشمندی آن بعد از چند سطح دمونتاژ به آخرین سطح سلسله مراتب محصول یعنی قطعات دست پیدا می کنیم بعد از این سطح، دمونتاژ کردن محصول بدون خراب کردن آن امکان پذیر نیست.

۲-۳-۸-۲- ساختار سلسله مراتب مشخصات:

در هر فعالیت مهندسی مخصوصاً مهندسی معکوس باید درک شودکه سه نوع از مشخصات جهت طراحی، ساخت و مونتاژ یک محصول پیچیده وجود دارد. این مشخصات عبارتند از:

۱. مشخصات عملیاتی

۲. مشخصات ابعادی

۳. مشخصات ساختی

الف) مشخصات عملیاتی

توضیح می دهد که محصول و زیر مجموعه های آن چگونه کار می کنند و چگونه روی هم اثر می گذارند. مشخصات عملیاتی به علت اینکه بینش و بصیرت را در چگونگی و چرایی انجام کار محصول ایجاد می کند، بسیار مهم است. مشخصات عملیاتی باید در فرمت و شکلی نمایش داده شود تا جنبه های مهم محصول که به استفاده و عملکرد آن مربوط می شود تعریف شود، فرمت مشخصات حداقل باید وظایف محصول، عملکرد موردانتظار از محصول، پیکربندی محصول، اثر متقابل بین قطعات محصول و مکانیزم های عملکردی را توضیح دهد. یک استفاده مهم از مشخصات عملیاتی می تواند هدایت عملیات، گلاژ و تنظیم محصول و زیر مجموعه های آن در مراحل مونتاژ باشد.

چون تعیین تلرانس های ساخت قطعات و زیر مجموعه ها بدون روشن ساختن نحوه تنظیم و رگلاژ زیر مجموعه ها و مجموعه اصلی و محصول در هنگام مونتاژ امکان پذیر نیست، لذا مشخصات عملیاتی، بالاترین سطح سلسله مراتب مشخصات را تشکیل می دهد که از مشخصات عملیاتی محصول شروع شده وتا مشخصات عملیاتی مجموعه ها و قطعات ادامه پیدا می کند.

ب) مشخصات ابعادی

در مهندسی معکوس یک بخش خاص از محصول باید خصوصیاتی (با توجه به اهمیت مکانیزم عملکردی محصول وزیر مجموعه های آن) که کاملا روشن و واضح است، تثبیت گردد تا جزئیات عملیات بخش مورد نظر به نحو مناسب درک شود لذا محصول به مجموعه هایی که به اندازه کافی کوچک باشند تا سطح مورد نظر از درک و استنباط حاصل شود، تفکیک و دمونتاژ می گردد. زمانی که مجموعه ای به پایین ترین سطح مونتاژی موردنیاز درک عملیاتی و ابعادی رسیده باشد توسعه مشخصات عملیاتی متوقف و تدوین مشخصات ابعادی قطعات ادامه پیدا می کند. توسعه مشخصات ابعادی ممکن است به تفکیک بیشتری از محصول وزیر مجموعه های آن نسبت به هنگامی که جهت درک وظایف و عملکرد لازم است، نیازمند باشد. تفکیک تا سطح مهره، پیچ، واشر و قطعات انفرادی خاص دیگر ادامه پیدا می کند تا سطحی که بعد از این سطح دمونتاژ کردن بدون خراب کردن فیزیکی امکان پذیر نباشد.

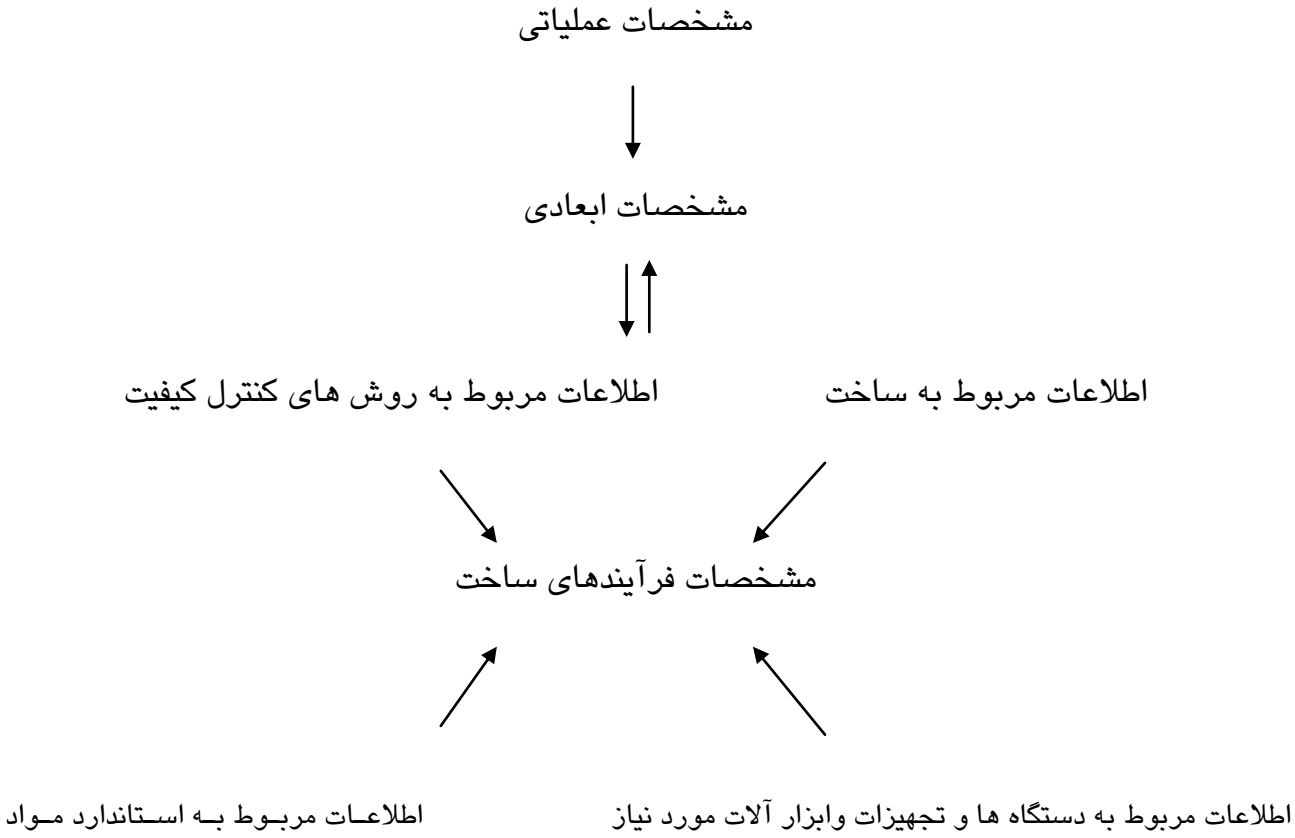
ج) مشخصات فرآیندهای ساخت

تا این مرحله باید مشخصات عملیاتی محصول و زیر مجموعه ها و مشخصات ابعادی ومکانیکی قطعاتی پایه و اساس اقداماتی که تعیین مشخصات فرآیند ساخت قطعات را تشکیل می دهد به دقت روشن شده باشد. البته کاملا واضح است که عوامل

و فاکتورهای زیادی بر مشخصات فرآیندهای ساخت قطعات تاثیر می گذارد ولی به جرات می توان گفت که اولویت اول این عوامل و فاکتورها مشخصات عملیاتی و ابعادی محصول به زیر مجموعه ها و قطعات قرار دارند.

تعیین مشخصات مواد اولیه مورد نیاز ساخت قطعات از اقدامات بعدی و مهم در تعیین مشخصات فرآیندهای ساخت می باشد. پایه و اساس مواد اولیه مورد نیاز قطعات از طریق آنالیز و شناسایی درصد ترکیب مواد تشکیل دهنده قطعات مشخص می شود ولی انتخاب اینکه استاندارد بهینه مواد اولیه جهت ساخت قطعه فوق چه می باشد با توجه به مشخصات عملیاتی و ابعادی قطعه انجام می گردد.

مثلاً با توجه به مشخصات عملیاتی محصول و خصوصیات مکانیکی قطعه ممکن است فرآیند ساخت نورد بر فرآیند ریخته گری یا ماشین کاری ارجحیت داشته باشد، لذا انتخاب مواد اولیه مورد نیاز ساخت قطعه توسط فرآیند نورد دارای مشخصات و ویژگی هایی است که با ماده اولیه فوق با همان درصد ترکیب عناصر جهت عملیات ریخته گری یا ماشین کاری تفاوت فراوان خواهد داشت در این مرحله بحث انتخاب استانداردهای مناسب با توجه به خصوصیات قطعه و فرآیندها ساخت مورد نیاز مطرح می گردد که متخصصین مختلف متالوژی، شیمی، پلیمر و.... با توجه به کتب مرجع نسبت به انتخاب و سفارش آن اقدام می نمایند.



شکل ۲- سلسله مراتب مشخصات محصول و زیر مجموعه های آن

۲-۳-۹- نقاط ضعف روش مهندسی معکوس چیست؟

با توجه به شکاف زیاد فناوری بین کشورهای درحال توسعه و کشورهای پیشرفته معمولا محصولی از محصولات کشورهای پیشرفته برای مهندسی معکوس انتخاب می گردد که دسترسی به فناوری آن برای کشورهای درحال توسعه تا حدودی سهل و آسان باشد. لذا در عمل مشاهده می شود بین فناوری کشور مجری مهندسی معکوس و فناوری محصول الگو در بعضی از زیرمجموعه ها و یا قطعات شکاف

معکوس وجود دارد. مثلاً در زمینه الکترونیک ممکن است فناوری جدید در زیر مجموعه ای ازمجموعه های اصلی محصول الگو جایگزین گردد ویا روش های ساخت چند سال پیش با توجه به فناوری که درمحصول استفاده می گردد ممکن است هم اکنون یا چند سال دیگر منسوخ گردد مانند بردهای کامپیوتری و یا باطری ها که طراحان و سازندگان محصول فوق را از روش مهندسی معکوس دچار مشکل زیادی خواهد کرد.

یکی از نقاط ضعف مهندسی معکوس، سهولت ظاهری در دسترسی به دانش فنی ساخت محصول طی بررسی های اولیه ولی وجود مشکلات، سختی های فراوان در عمل و مراحل اجرائی پروژه (مخصوصا در اولین پروژه های در دست اجرای سازمان ها و نهادهای تحقیقات) می باشد به نحوی که در بررسی ها اولیه معمولا زمان های شش ماهه یاد در نهایت یک ساله را برای انجام پروژه مهندسی معکوس پیش بینی می کنند در حالی که در عمل و اجرا زمان پروژه مهندسی معکوس حداقل ۵ سال به طول می انجامد. علت این امر شاید عدم توجه کافی مجریان پروزه و یا تاثیرات روحی و روانی ناشی از در دسترس بودن جواب مسئله که سهولت دسترسی حل آن را توجیه می کند و... باشد.

مسئله دیگری که گروهی به عنوان نقطه ضعف روش مهندسی معکوس مطرح می نمایند این است که در این روش اعتماد به نفس، ابتکار وخلاقیت که عناصر اصلی در

فعالیت های تحقیقاتی هستند از محقق گرفته شده، درنهایت موجب وابستگی به دیگران می گردد.

یکی از اشکالات دیگر این است که مجریان معمولا روند اصلی تحقیقات تا تولید را به نحو احسن رعایت نمی کنند و قبل از اینکه پیش نیازهای اساسی یک اقدام جدی را تهیه و تدارک نمایند، آن عملیات را شروع می کنند. مثلا ساخت گیج کنترل جهت تولید انبوه قطعات در مرحله نمونه سازی چه معنا و مفهومی می تواند داشته باشد. آیا نقشه نهایی قطعه به همراه ابعاد و تلرانسها و حدود مجاز مربوطه تثبیت و نهایی شده اند؟!

فهرست منابع

۱. علی احمدی، علیرضا، استراتژی های دستیابی به تکنولوژی جدید، مقاله ارائه شده در سمینار تحقیق و توسعه، ۱۳۷۳، اهواز.

۲. غنی، عسگر- پایان نامه کارشناسی ارشد در زمینه مهندسی معکوس، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۷٤، تهران.

۳. موحدی، مسعود، فرآیند طراحی معکوس، مقاله ارئه شده در کنفرانس مهندسی ساخت و تولید در صنایع سنگین، مهرماه ۱۳۷۲، تهران.

٤. مسندی شیرازی نژاد، شبیه سازی یـا روشـی بـرای کسـب و توسـعه تکنولـوژی، شرکت صنایع شیمیایی، مقاله ارائه شـده بـه کنفـراس مهندسـی سـاخت و تولیـد در صنایع سنگین، ۱۳۷۲، تهران.