

علم را با نوشتن، در بند کنید

امام علی (ع)

۱-۱ مقدمه

مهندسی معکوس چیست؟ اجازه دهید قبل از تعریف مهندسی معکوس تعریفی از مهندسی داشته باشیم. مهندسی در لغت از هندسه گرفته شده، به معنای علم اندازه گیری، اما امروزه تعریف‌های گسترده‌تری از مهندسی می‌شود. آنچه که در اینجا به آن نیاز داریم این است: مهندسی فرآیندی است که طی یک احساس نیاز با محوریت علم موجب ایجاد یک محصول می‌شود. که آن محصول می‌باید نیازی را برطرف کند. مهندسی معکوس عکس این فرآیند را انجام می‌دهد، بدین معنی که محصول، مورد ارزیابی قرار گرفته، علوم بکاررفته در آن استخراج شده و بر مبنای علوم بدست آمده محصول تولید می‌شود و در نهایت رفع نیاز می‌شود. پس باید توجه داشت که مهندسی و مهندسی معکوس هر دو در رفع نیاز مشترک عمل میکنند. آری مهندسی معکوس تنها تولید محصولی که علم آن در اختیار نباشد نیست، بلکه یکی از راه‌های انتقال دانش فنی در کشورهای در حال توسعه است و قضیه همان نرفتن راه رفته شده می‌باشد. اما چه تمایزی بین مهندسی معکوس و کپی برداری وجود دارد؟ واقعیت آن است که چنانچه در فرایند مهندسی معکوس روح طراحی وجود نداشته باشد و هیچ تلاشی جهت بهینه سازی و ارتقاء کیفیت محصول نشود، با کار ناپسند کپی برداری هیچ تفاوتی نخواهد داشت.

اگر سابقه صنعت و چگونگی رشد آن در کشورهای جنوب شرقی آسیا را مورد مطالعه قرار دهیم به این مطلب خواهیم رسید که در کمتر مواردی این کشورها دارای ابداعات فن آوری بوده اند و تقریباً در تمامی موارد کشورهای غربی (آمریکا، اروپا) پیشرو بوده اند. پس چه عاملی باعث این رشد شگفت آور و فنی در کشورهای خاور دور گردیده است؟

در این نوشتار به یکی از راهکارهای این کشورها در رسیدن به این سطح از دانش فنی می‌پردازیم. در صورتی که به طور خاص کشور ژاپن را زیر نظر بگیریم، خواهیم دید که تقریباً تمامی مردم دنیا از نظر کیفیت محصولات آنها را تحسین می‌کنند، ولی به آنها ایراد می‌گیرند که با کپی برداری از روی محصولات دیگران به این موفقیت دست یافته اند.

این بخش اگر هم که درست باشد و در صورتی که کپی برداری راهی مطمئن برای رسیدن به هدف باشد چه مانعی دارد که این کار انجام شود. این مورد، به خصوص در باره کشورهای در حال توسعه و یا جهان سوم با

توجه به شکاف عمیق فن آوری بین این کشورهای و کشورهای پیشرفته دنیا ، امری حیاتی به شمار می رود و این کشورها باید همان شیوه را پیش بگیرند (البته در قالب مقتضیات زمان و مکان و سایر محدودیت ها). به عنوان نمونه ، قسمتی از تاریخچه صنعت خودرو و آغاز تولید آن در ژاپن را مورد بررسی قرار می دهیم :

تولید انبوه خودرو در ژاپن قبل از جنگ جهانی دوم و در سال ۱۹۲۰ بوسیله کارخانه های " ایشی کاواجیما " آغاز شد که مدل ژاپنی فورد آمریکایی را کپی کرده و به شکل انبوه به بازار عرضه نمود .

همچنین شورلت ژاپنی AE جزو اولین خودروهای کپی شده آمریکایی توسط ژاپنی ها بود که به تعداد زیاد تولید می شد. سپس با تلاش فراوانی که انجام شد (آنهم در شرایط بحرانی ژاپن در آن دوره) مهم ترین کارخانه خودروسازی ژاپن یعنی "تویوتا" در سال ۱۹۳۲ فعالیت خود را با ساخت خودرویی با موتور " کرایسلر " آغاز نمود و در سال ۱۹۳۴ نوع دیگری از خودرو را با موتور " شورلت " ساخته و وارد بازار نموده و از سال ۱۹۳۶ ، اولین تلاشها برای ساخت خودرویی تمام ژاپنی آغاز شد. البته تا مدت ها ژاپنی ها مشغول کپی برداری از اتومبیل های آمریکایی و اروپایی بودند. آنها خودروی پاکارد و بیوک آمریکایی و رولزرویس ، مرسدس بنز و فیات اروپایی را نیز تولید کردند که همین تولیدها زمینه ساز گسترش فعالیت خودروسازی ژاپن شد و سرانجام در دهه ۱۹۶۰ پس از سعی و کوشش فراوان اولین اتومبیل تمام ژاپنی که دارای استاندارد جهانی هم بود ساخته و به بازار عرضه شد .

در تمامی مطالب فوق رد پای یک شگرد خاص و بسیار مفید به چشم می خورد که " مهندسی معکوس " (Reverse engineering) نام دارد. مهندسی معکوس روشی آگاهانه برای دستیابی به فن آوری حاضر و محصولات موجود است . در این روش متخصصین رشته های مختلف علوم پایه و کاربردی از قبیل مکانیک، فیزیک و اپتیک ، مکاترونیک، شیمی پلیمر، متالورژی، الکترونیک و ... جهت شناخت کامل نحوه عملکرد یک محصول که الگوی فن آوری مذکور می باشد، گروه های تخصصی را ایجاد می کنند و با تجهیزات پیشرفته و دستگاههای دقیق آزمایشگاهی به همراه سازماندهی مناسب تشکیلات تحقیقاتی و توسعه (R&D) سعی در بدست آوردن مدارک و نقشه های طراحی محصول فوق دارند تا پس از مراحل نمونه سازی (Prototyping) و در صورت لزوم ساخت نیمه صنعتی (Pilot plant) تولید محصول را طبق استاندارد فنی محصول الگو آغاز کنند. همانگونه که اشاره شد استفاده از روش مهندسی معکوس برای کشورهای در حال توسعه روش بسیار مناسبی جهت دسترسی به فن آوری ، رشد و توسعه آن می باشد. این

کشورها که در موارد بسیاری از فن آوری ها در سطح پایینی قرار دارند ، در کنار روشها و سیاست های دریافت دانش فنی، مهندسی معکوس را مناسب ترین روش دسترسی به فن آوری تشخیص داده و سعی می کنند با استفاده از روش مهندسی معکوس ، اطلاعات و دانش فنی محصولات موجود ، مکانیزم عمل کرد و هزاران اطلاعات مهم دیگر را بازیابی کرده و در کنار آن با روشهای مهندسی مستقیم (Forward Engineering) روش های ساخت قطعات ، و استفاده از تجهیزات و تستهای خط مونتاژ و ساخت مانند قالب ها ، گيج و فیکسچرها و دستگاههای کنترل ، نسبت به ایجاد کارخانه ای پیشرفته و مجهز جهت تولید محصولات فوق اقدام نمایند.

مهندسی معکوس ممکن است در رفع معایب و افزایش قابلیت های محصولات موجود نیز مورد استفاده قرار بگیرد. به عنوان مثال در آمریکا ، مهندسی معکوس توسط شرکت " جنرال موتور " بر روی محصولات کمپانی "فورد" و نیز بر عکس ، جهت حفظ وضعیت رقابتی و رفع نواقص محصولات به کار برده می شود. بسیاری از مدیران کمپانی های آمریکایی ، هر روز قبل از مراجعه به کارخانه ، بازدیدی از جدیدترین محصولات عرضه شده در فروشگاه ها و نمایشگاه های برگزار شده انجام داده و جدیدترین محصولات عرضه شده مربوط به محصولات کمپانی خود را خریداری نموده و به واحد تحقیق و توسعه تحویل می دهند تا نکات فنی مربوط به طراحی و ساخت محصولات مذکور و آخرین تحقیقات ، هر چه سریعتر در محصولات شرکت خود نیز مورد توجه قرار گیرد.

جالب است بدانید که مهندسی معکوس حتی توسط سازندگان اصلی نیز ممکن است به کار گرفته شود، زیرا به دلایل متعدد ، نقشه های مهندسی اولیه با ابعاد واقعی قطعات (مخصوصاً زمانی که قطعات چندین سال پیش طراحی و ساخته و مکرر اصلاح شده است) مطابقت ندارد برای مثال جهت نشان دادن چنین نقشه هایی با ابعاد واقعی قطعات و کشف اصول طراحی و تolerانس گذاری قطعات ، بخش میکرو سویچ شرکت honywell از مهندسی معکوس استفاده نموده و با استفاده از سیستم اندازه گیری (Coordinate Measuring Machine) (CMM) سرعت زیاد ابعاد را تعیین نموده و به نقشه های مهندسی ایجاد شده توسط سیستم CAD منتقل می کنند. متخصصین این شرکت می گویند که روش مهندسی معکوس و استفاده از ابزار مربوطه ، به نحو موثری زمان لازم برای تعمیر و باز سازی ابزار آلات ، قالب ها و فیکسچرها ی فرسوده را کم می کند و لذا اظهار می دارند که " : مهندسی معکوس زمان اصلاح را به نصف کاهش می دهد " .

یکی دیگر از فوائد مهندسی معکوس در ایجاد حس رقابت بین شرکت های داخلی برای ارتقاء کیفیت محصول می باشد. بطوری که استاندارد MILITARI (صنایع نظامی امریکا) هدف از تدوین استانداردهای مهندسی معکوس را ایجاد انگیزه رقابت در بین شرکت های وابسته به صنعتگران نظامی امریکا می داند. تا ن همواره در جهت ارتقاء محصول خود باشند.

یکی دیگر از فوائد مهندسی معکوس در ایجاد حس رقابت بین شرکت های داخلی برای ارتقاء کیفیت محصول می باشد. بطوری که استاندارد MILITARI (صنایع نظامی امریکا) هدف از تدوین استانداردهای مهندسی معکوس را ایجاد انگیزه رقابت در بین شرکت های وابسته به صنعتگران نظامی امریکا می داند. تا ناچار باشند همواره در جهت ارتقاء محصول خود باشند.

مهندسین معکوس علاوه بر اینکه باید محصول موجود را جهت کشف طراحی مورد بررسی قرار دهند، باید مراحل بعد از خط تولید یعنی انبارداری و حمل و نقل را از کارخانه تا مشتری و نیز قابلیت اعتماد را در مدت استفاده مفید مورد تجزیه و تحلیل قرار دهند. چرا که مثلاً فرایند آنیلینگ مورد نیاز قطعه، ممکن است برای ایجاد مشخصات مورد نظر در هنگام عملکرد واقعی محصول یا در طول مدت انبار داری و حمل و نقل طراحی شده و لزوم وجود آن تنها در هنگام اجرای مراحل مذکور آشکار خواهد شد.

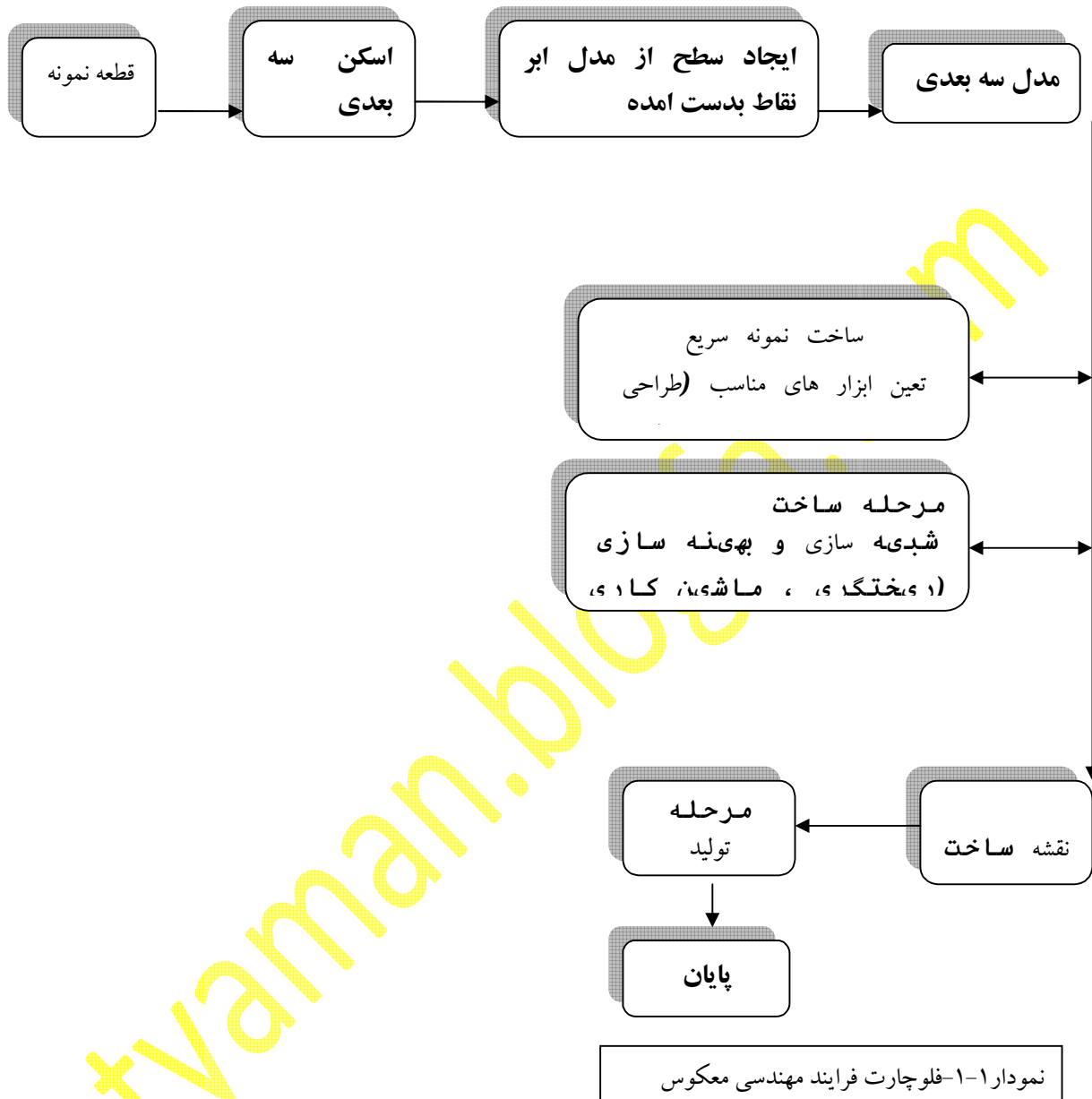
چه بسا که بررسی یک پیچ بر روی سوراخی بر بدنه محصول (که به قطعات و اجزای دیگر متصل نشده)، متخصصان مهندسی معکوس را ماه ها جهت کشف راز عملیاتی آن به خود مشغول کند، غافل از آنکه محل این پیچ، امکانی جهت تخلیه هوا، تست آبیندی یا امکان دسترسی به داخل محصول جهت تست نهایی می باشد.

از سوی دیگر مهندسین معکوس باید عوامل غیر مستقیمی را که ممکن است در طراحی و تولید محصول مذکور تاثیر بگذارند، به دقت بررسی نمایند. به دلیل اینکه بسیاری از این موارد با توجه به خصوصیات و مقتضیات زمانی و مکانی ساخت محصول مورد نظر، توسط سازندگان اصلی، توجیه پذیر است اما ماجرای آن به وسیله مهندسین معکوس فاجعه ساز باشد. مثلاً فرآیند تولید قطعات تا حدود زیادی بستگی به تعداد محصولات مورد نیازو ... دارد. اگر تعداد محصولات مورد نیاز در کشور ثانویه بسیار کمتر از کشور اصلی، که در حد جهانی و بین المللی فعالیت می کند، باشد؛ پس به عنوان مثال تعیین فرآیند یک قطعه با کالیتی (

نوعی پلیمر) از طریق ساخت قالب های چند حفره ای با مکانیزم عملکرد خود کار با توجه به معضلات پخت قطعه در داخل قالب ، می تواند برای مهندسين معکوس فاجعه ساز شود_ اگر که این مهندسان از فرایندهای ساده تر با توجه به تیراژ تولید محصول و نیز خصوصیات تکنولوژیکی کشور خود استفاده نکنند. بنابراین مرحله بعد از کشف طراحی، تطبیق طراحی انجام شده بر مقتضیات زمانی و مکانی کشور ثانویه می باشد که باید به دقت مورد توجه متخصصین مهندسی معکوس واقع شود.

از مهندسی معکوس می توان برای جایگزین کردن قطعات یدکی که شکسته و یا بهر دلیل آسیب دیده باشند و اطلاعات فنی آنها نیز مشهود نباشد بهره جست. علی الخصوص زمانی که قطعه وارداتی باشد. ممکن است قیمت تمام شده مدل بدست آمده کمی گرانتر از نمونه وارداتی آن باشد اما این کار نه تنها تضمینی در قابل دسترس بودن آن است بلکه می توان با بهینه کردن آن زمان استفاده از آن را افزایش داد و اطلاعات فنی آن را بدست آورد. بطور کل باید گفت از مهندسی معکوس برای غلبه بر عیب های موجود و گسترش توانایی های دستگاه ها، تهیه قطعات یدکی ، ایجاد مراکز تعمیر و نگهداری دستگاه های پیشرفته، ابزاری برای یادگیری، ابزاری برای ساخت مصولات جدید، ابزاری برای رقابت، بالا بردن کارایی و مورد استفاده قرار میگیرد.

در اینجا نیز کامپیوتر مورد استفاده قرار میگیرد تا هندسه قطعه را بهینه سازی کند، جنس ماده را مشخص کند، روش ساخت را بررسی کند و در نهایت نقشه ساخت را به ما بدهد. همچنین میتوان فایل قطعه را وارد نرم افزارهای CAD/CAM/CAE کرده و انواع تحلیل ها را روی آن انجام داد. نمودار زیر مراحل مختلف مهندسی معکوس به روش نوین را نشان میدهد. نمودار (۱-۱)



ایجاد مدل *cad*، شناسایی مواد، وساخت سریع از مهمترین بخش های مهندسی معکوس به شمار میرود، لذا این سه مرحله در ادامه توضیح داده میشود.

۲-۱ مطالعه هندسه قطعه

برای مدل سازی سریع، آنالیز و ساخت، به مدل سه بعدی قطعه نیاز داریم، برای این کار را میتوان از نرم افزارهایی مانند *CAD*، *CATIA*، *SOLID WORKS*، *PRO ENGINEER* و... استفاده کرد. شایان ذکر است که این کار در مواردی که قطعه از هندسه پیچیده ای برخوردار است تا حدودی مشکل و زمان بر است. برای ساخت مدل کامپیوتری به ابعاد و اندازه های قطعه نیازمندیم برای این کار می توان از دو روش متفاوت استفاده کرد. روش لمسی و روش غیر لمسی در روش اول که برای قطعات ساده از آن استفاده میشود از ابزار اندازه گیری دستی مانند میکرومتر، کولیس، ساعت اندازه گیری و غیره استفاده میشود. البته قطعات با شکل های پیچیده را در این روش با دستگاه *CMM* (coordinate measuring machine) اندازه برداری می کنند.

اما روش دوم که مورد بحث اصلی ما نیز است روش دیجیتالی کردن قطعه (*digitising*) است در واقع در این روش اندازه های قطعه بدون تماس ابزار اندازه گیری با سطح آن صورت می گیرد که خود شامل روش های زیر است.

- *Laser scanning* در این روش یک پرتو باریک لیزر توسط پروب دستگاه به سطح قطعه تابانده میشود و یک گیرنده نوری انعکاس این پرتو ها را دریافت میکند هر باریکه از نور لیزر تقریباً ۳۵-۴۰ درجه با دریافت کننده زاویه دارد، که همراه فاصله نور تا قطعه یک مثلث را تشکیل میدهد که به کمک آن دستگاه مختصات را مشخص می کند، که در ادامه مفصلاً مورد بحث و بررسی قرار خواهد گرفت. شکل (۱-۱)

- *Computed Assisted Tomography (CT)* این روش در واقع مانند سی تی اسکن پزشکی عمل میکند، این دستگاه با تاباندن اشعه *x* به کمک چند سنسور یک عکس از لایه درون قطعه می گیرد و مقطعی از جسم را مانند حالت نما در برش به ما نشان می دهد. سپس از این لایه ها و اندازه گیری فاصله بین آنها می توان مدل سه بعدی را رسم کرد. البته تصویر بدست آمده در این روش بصورت

ابر نقاط بوده و باید توسط روش هایی که در این کتاب گفته خواهد شد، تبدیل شود. از مزایای این روش این است که میتوان قطعات بسیار پییده را اندازه برداری کرد.

- *Profile projector* در این روش با تاباندن نور به سطح قطعه سایه آن را ایجاد کرده و سایه آن را اندازه گیری میکنند.

- *White light triangulation* این روش نیز یکی از روش های نوری است که حاصل آن ابر نقطه است که در اصل شبیه به *Laser scanning* میباشد. در این روش اندازه ها بر مبنای انعکاس نوری مباحثند که با زاویه به سطح قطعه تابانده شده و بازتاب آن به سمت منبع نور یعنی دوربین می باشد. مزیت این روش نسبت به لیزر در این است که نقاط بدست آمده هم جهت و همسو می باشند و به هر تعداد بار می توان ابر نقاط را فشرده تر ایجاد کرد، این کار زمانی که قطعه بزرگ یا پیچیده باشد بسیار به ما کمک می کند و همچنین می توان از چندین نمای مختلف با زاویه دوربین مختلف از قطعه اندازه برداری کرد و آنها را با هم پیوند داد. نماهای گرفته شده در نهایت به صورت ابر نقاط سه بعدی از قطعه درآمده و در یکی از نرم افزارهای مهندسی معکوس مانند *Geomagics*, *catia*, *STRIM*, *Imageware*, *Surfacer*, *Magics*, *Pro/Scan*, *Rapidform* به سطح و در نهایت به حجم تبدیل می شوند.



شکل 1-1

۳-۱ شناسایی مواد

شناسایی مواد دومین مرحله مهم از مهندسی معکوس می باشد . چندین روش مخرب و غیرمخرب برای شناخت ترکیبات مواد وجود دارد. البته روش چشمی نیز در مواقعی که خواص شیمیایی اهمیت نداشته باشد استفاده میشود . اما در اغلب موارد میبایست مواد شناسایی شود بطوری که قطعه آسیب نبیند. این بسیار مهم است که مهندس از خواص فیزیکی قطعه اطلاع داشته باشد . چند روش متداول شناسایی مواد در زیر آورده شده است .

- آنالیز شیمیایی (Analytical Chemistry): در این روش سعی می شود تا با توجه به آنالیز شیمیایی عیار آن را مشخص کرده و مواد پایه را شناسایی کنند. این آزمایش نیاز به تخریب قسمتی از نمونه دارد و وقت گیر و فشرده است که تا حدی به تجربه نیز نیازمند است .
- طیف سنجی (Mass Spectrometry) در روش طیف سنجی اتم های تشکیل دهنده جسم شناسایی میشود. نمونه حرارت داده میشود تا به فاز بخار برسد سپس گاز های بخار شده توسط خطوط طیف شان در طیف سنج مشاهده می شوند و از آنجایی که اتم های مختلف نور و فرکانس مختلفی دارند، نوع هر یک مشخص می شود. در این روش می توان درصد هر یک از عناصر بکار رفته را تشخیص داد . بزرگترین مشکل این روش تشخیص طیف های مختلف می باشد که تا حدی به تجربه مخصوصاً در مورد مواد مرکب نیاز دارد.
- میکروسکوپ الکترونی پوینده (Scanning Electron Microscope): میکروسکوپ الکترونی پوینده (SEM) در واقع از پراکنده کردن اشعه x استفاده می کند. این روش دقیق ترین و سریع ترین راه شناسایی مواد است. در این کار با آشکار کردن مشخصات سطح و بافت داخلی شی ، می توان به خواصی مانند سفتی و میزان ارتجاعی بودن آن پی برد و هم چنین به دلیل اینکه در این رویت شکل و سایر ذرات مشخص است، می توان به نیروی استحکام پی برد. این میکروسکوپ می تواند عناصر سازنده شی را مشخص نماید. بنابراین می توان به خواصی مانند نقطه ذوب ، اکتیویته شی دست یافت. اما محدودیتی نیز دارد و آن این است که وزن اتمی مواد باید بیشتر از ۱۱ باشد.

۴-۱ مدل سازی

در این مرحله نوبت به ساخت نمونه ای از قطعه میرسد که به عنوان نمونه به آن نیاز داریم تا از روی آن مدل قالب قطعه را جهت ریخته گری و یا عملیات اسپارک (EDM) ایجاد کنیم. لذا باید این نمونه خیلی سریع و کم هزینه قابل ساخت باشد. دو راه متداول برای این کار وجود دارد ۱-روش مستقیم که در آن مدل بصورت پلاستیکی از جنس رزین و یا کاغذی از روی ابعاد کامپیوتری بدست می آید ۲-روش غیر مستقیم که می بایست از ابزار مختلف برای ساخت مدل استفاده کرد. در روش اول که گاهی اوقات به عنوان پرینت سه بعدی نیز از آن یاد می شود کامپیوتر برش ها پیوسته پیوسته با فاصله $0.25-0.5\text{ mm}$ را ایجاد کرده و اطلاعات آن را به نوعی دستگاه خاص فرستاده و با مواد درون دستگاه که معمولاً رزین می باشند مدل را لایه به لایه شکل می دهند. دستگاه هایی که این عمل را انجام می دهند به دستگاه های RP (Rapid Prototyping) معروف اند. اما در روش دوم که برای قطعات کوچک و یا حساس استفاده می شود مدل را از جنس ترموست، پلی اورتان و یا دیگر پلاستیک های با دوام می سازند و یا در برخی مواقع از فلزات با دمای ذوب پایین استفاده می کنند.

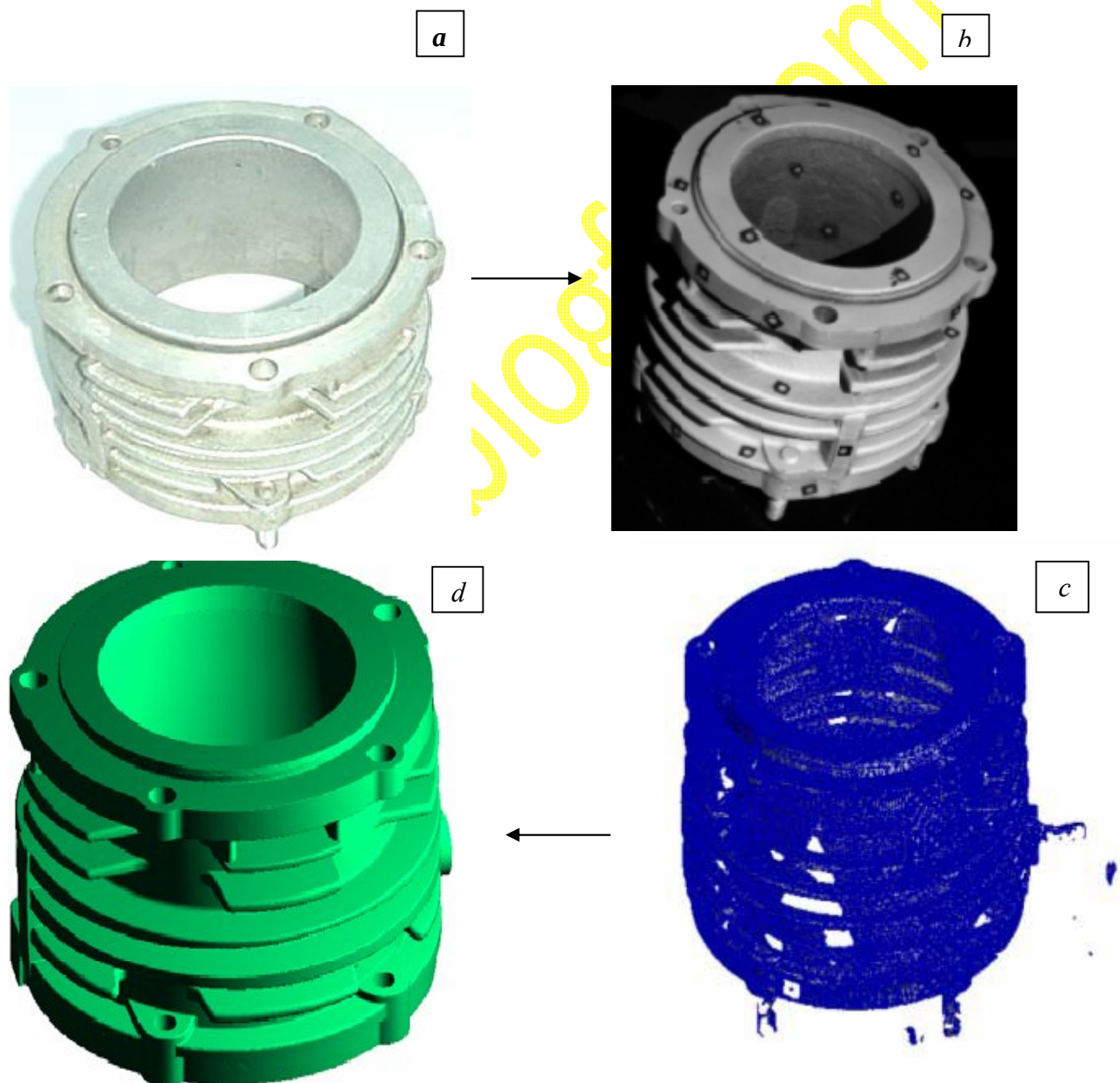
۵-۱ مطالعه موردی

یک بدنه فیلتر روغن از یک مجموعه هیدروویکی متعلق به بازوی یک ماشین خاص انتخاب شده تا به روش مهندسی معکوس ساخته شود (شکل ۲) بنا بر این طبق مراحل گفته شده در بالا عمل می کنیم.

۱-۵-۱ هندسه قطعه

همان طور که در شکل ۲c مشاهده میشود مدل ابر نقاط بدنه توسط یک دستگاه اسکنر سه بعدی از نوع ATOS II تهیه شده است. اسکنر با گرفتن چند تصویر از زوایای مختلف این کار را انجام داده است و برای روی هم انداختن (match) این تصاویر نیاز به علالت گذاری روی بدنه میباشد این علامت در واقع نقش نقاط مرجع را بازی میکند شکل (۲-۱). لذا همان طور که در تصویر ۲b مشاهده میکنید روی بدنه علامت گذاری شده است. پس از اسکن کردن بدنه آن را به یکی از نرم افزارهای ابر نقاط برده و پس از ویرایش آن (کاستن نقاط ناخواسته، مشخص کردن فشردگی نقاط، تعیین مختصات مرجع، روی هم انداختن تصاویر گرفته شده و....) مدل را مش بندی کرده و آماده سطح سازی می کنیم. این داده ها میتوانند با فرمت هایی

نظیر *ASCII, STL, IGES* و *VDA* ذخیره شوند. برای این بدنه ۵۵ علامت گذاشته شد و ۳۳ تصویر از زوایای مختلف تهیه شده است و زمان کلی برای اسکن این قطعه حدود ۴ ساعت بوده است، البته با دستگاه های جدید این مراحل بسیار کاهش یافته بطوری که می توان با یک مرحله اسکن مدل ابر نقاط مش بندی شده را تهیه کرد. پس از این مراحل نوبت به تبدیل مدل مش بندی شده به مدل سه بعدی می باشد. همان طور که در شکل *d* مشاهده می کنید این مدل توسط یکی از نرم افزارهای *CAD* تهیه می شود و آماده مدل سازی سریع می شود. (شکل ۱-۲)



شکل ۱-۲- شکل *a* مدل اصلی، شکل *b* علامتگذاری، شکل *c* ابر نقاط و شکل *d* مدل سه بعدی رایانه ای.

نکته حائز اهمیت این است که در مدل هایی که تقارن وجود دارد تنها نیمی از مدل ابر نقاط را به مدل سه بعدی تبدی می کنیم تا بدین طریق خطاهای ناشی از اندازه برداری نیمه دیگر مدل حذف شود. و دیگر اینکه در قطعات براق جهت جلوگیری از انعکاس نور، روی آنها را با پودری از جنس دی اکسید تیتان می پوشانند.

۱-۵-۲ ترکیبات مواد

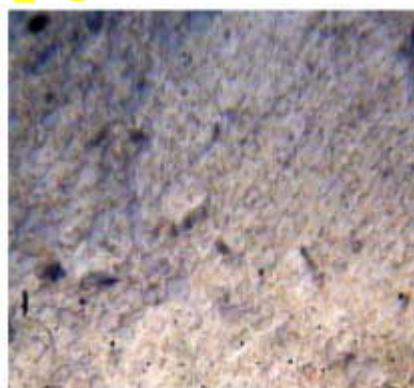
برای تعیین ترکیبات موجود در ماده از روش طیف سنجی استفاده شده است. در این آنالیز مواد زیر (بصورت درصد) مشاهده شده است.

Al90.25, Cu-0.06, Fe-0.43, Mg-0.38, Mn-0.22, Si-8.66

با استفاده از استاندارد *IS: 617-1975* نزدیکترین آلیاژ استاندارد انتخاب می شود که آن *Grade 4450* است و ترکیبات آن به قرار زیر است:

AL90.6-91.85, Cu-0.1, Fe-0.5, Mg-0.20-0.45, Mn-0.3, Ni-0.1, Pb-0.1, Si-6.5-7.5, Tin-0.05, Titanium-0.2, and Zinc-0.1.

سختی با استفاده از آزمایش راکول انجام شده که برابر است با *77.66 RB* و ساختار میکروسکوپی بررسی شده با میکروسکپ نوع *ZEISS ICM 405* نشان می دهد که ساختار *AL-SI* بسیار درشت دانه بوده و سیلیکون بشکل سوزنی در زمینه *AL* وجود دارد. شکل (۱-۳) با بزرگنمایی ۳۰۰ برابر این مطلب را نشان



شکل ۱-۳- تصویر میکروسکوپی مقطعی از نمونه جهت تشخیص ساختار

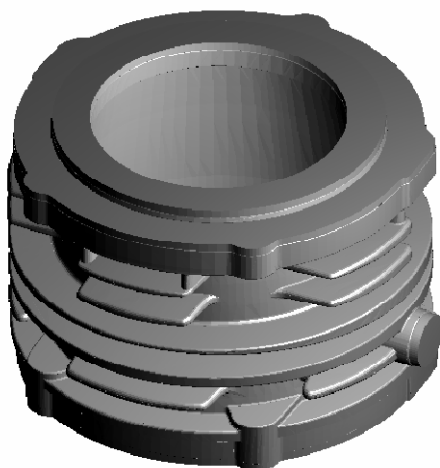
می دهد.

۱-۵-۳ فرآیند طرح ریزی (انتخاب فرآیند تولید)

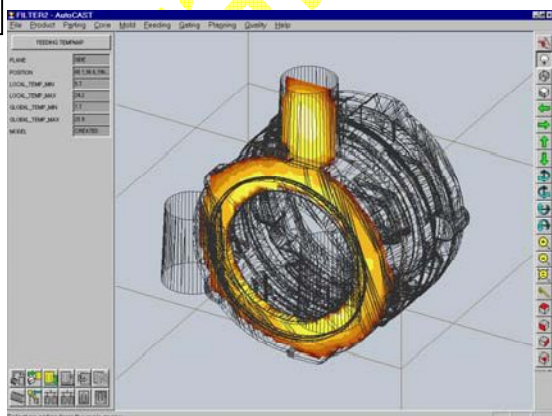
از مدل سه بعدی بدست آمده از نرم افزار CAD جهت استفاده در شبیه سازی ریخته گری در نرم افزار AutoCAST استفاده شده است (شکل ۴). مدل اصلی با فرمت STL ذخیره شده و به نرم افزار AutoCAST آورده شده است. سپس از کتابخانه استاندارد نرم افزار که شامل انواع مواد و آلیاژهای آنان است، آلیاژ مورد نظر انتخاب می شود. پس از انتخاب نوع ریخته گری که در اینجا ریخته گری با ماسه است نرم افزار اطلاعاتی از قبیل محل ذوب ریزی، اندازه آن و نوع دریچه به ما پیشنهاد می کند که این اطلاعات حالت ایده آل را به ما نشان می دهد، و کاربر می تواند تغییراتی در آن ایجاد کند. پس از مشخص شدن محل تزریق نرم افزار فرآیند ریخته گری را شبیه سازی کرده و محل هایی را که ممکن است در آنها ریخته گری منظم انجام نگیرد، مثلاً مناطقی که ممکن است چروک شدگی و یا تخلخل ایجاد شود را مشخص می کند و طراح آنقدر این محل ها را بهینه می کند تا مناسبترین موقعیت را پیدا کند. (شکل ۴-۱)

a

b



d



c



شکل ۴-۱- شبیه سازی ریخته گری در نرم افزار اتو کست جهت تشخیص محل تزریق و دیگر پارامترهای ریخته گری

۱-۵-۴ قطعه آزمایشی و الگوی ریختگری

برای ساخت مدل آزمایشی (مدل سازی سریع) از دستگاه لیتوگرافی مدل *SLA5000* استفاده شد. ماده مورد استفاده در این دستگاه نوعی رزین است و ضخامت هر لایه تشکیل دهنده آن (دقت دستگاه) 0.1mm است. این فرایند ۲۲ ساعت بطول انجامید. خشک کردن مواد بوسیله دمیدن هوا بوده و بری استقامت بخشیدن به مواد از شعه *uv* استفاده شده است (شکل *a*). روش اقتصادی تری نیز وجود دارد که کمتر از ۱۲ ساعت این کار را انجام میدهد و آن استفاده از *SLA QuickCast* و یا *Thermojet RP* می باشد. در این دو روش نیز ضخامت لایه ها 0.1mm است اما در روش *QuickCast* ساختار بصورت حفره های لانه زنبوری بوده و جنس آن همان رزین است، در الگوی *Thermojet RP* از موم استفاده می شود و این روش اقتصادی تر می باشد. شکل (۱-۵)



a



b



d



c

شکل ۱-۵- مدل پروتوتایپ نمونه، ساخته شده از سه جنس مختلف بوسیله پیرینتر های سه بعدی

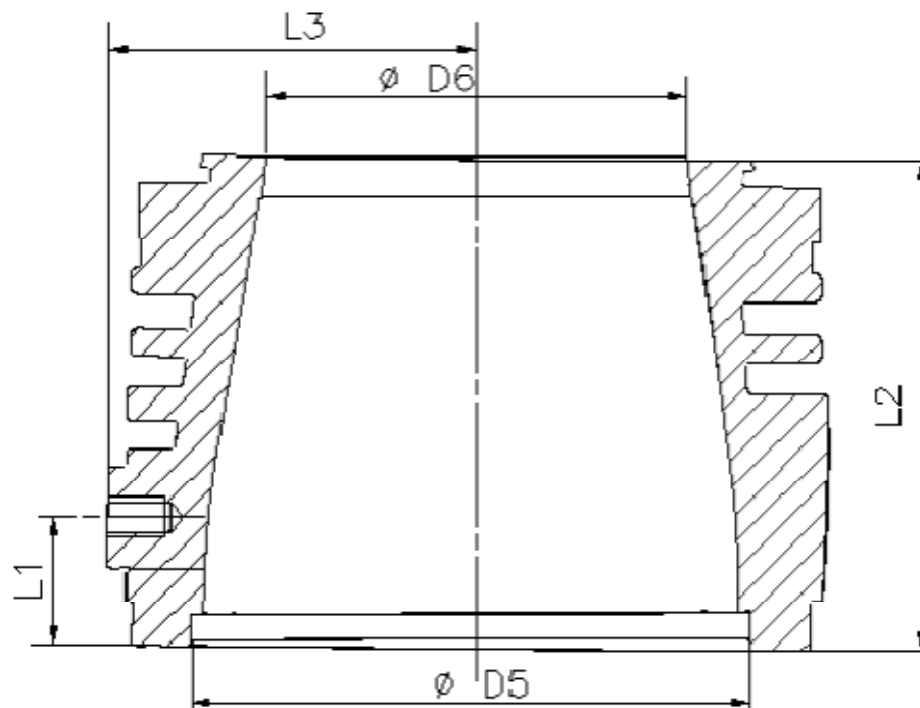
۱-۵-۵ مقایسه ابعادی

از آنجایی که ممکن است در مراحل مختلف از جمله اسکن سه بعدی، پردازش ابر نقاط، مدل کردن سه بعدی و ساخت سریع خطاهایی وجود داشته باشد لذا می باید ابعاد در مراحل مختلف مقایسه شود تا منشاء خطا در صورت وجود و غیر قابل اغماض بودن مشخص شود و نسبت به رفع آن اقدام کرد. شکل ۶ ابعاد کلیدی و مهم بدنه را نشان می دهد. مقایسه ابعادی بین قطعه اصلی، مدل سه بعدی و نمونه آزمایشی در جدول (۱-۲) آورده شده است. چنانچه خطاهای بوجود آمده نیاز به تصحیح داشته باشد باید مقاطعی از مدل بدست آمده از ابر نقاط و برش های در نظر گرفته شده در فایل مربوط به مدل سازی سریع را مورد بررسی قرار داده و مدل ابر نقاط را در آن ناحیه مربوطه اصلاح کرد. سپس مدل سه بعدی را اصلاح کرده و مدل سازی سریع را مجدداً انجام می دهیم. به هر حال این کار بسیار دشوار است، و توسط الگوریتم های بخصوص انجام می گیرد. بطور خلاصه باید گفت این الگوریتم ها با مقطع زدن در فواصل نزدیک در دو قطعه مقایسه را انجام داده و یکی را نسبت به دیگری اصلاح میکند. و یا ممکن است بتوان در نمونه آزمایشی آنها را تصحیح کرد، مانند قطرهایی که کوچکتر از حد مجاز باشند و یا طول هایی که بیشتر از حد مجاز باشند. (شکل ۱-۶)

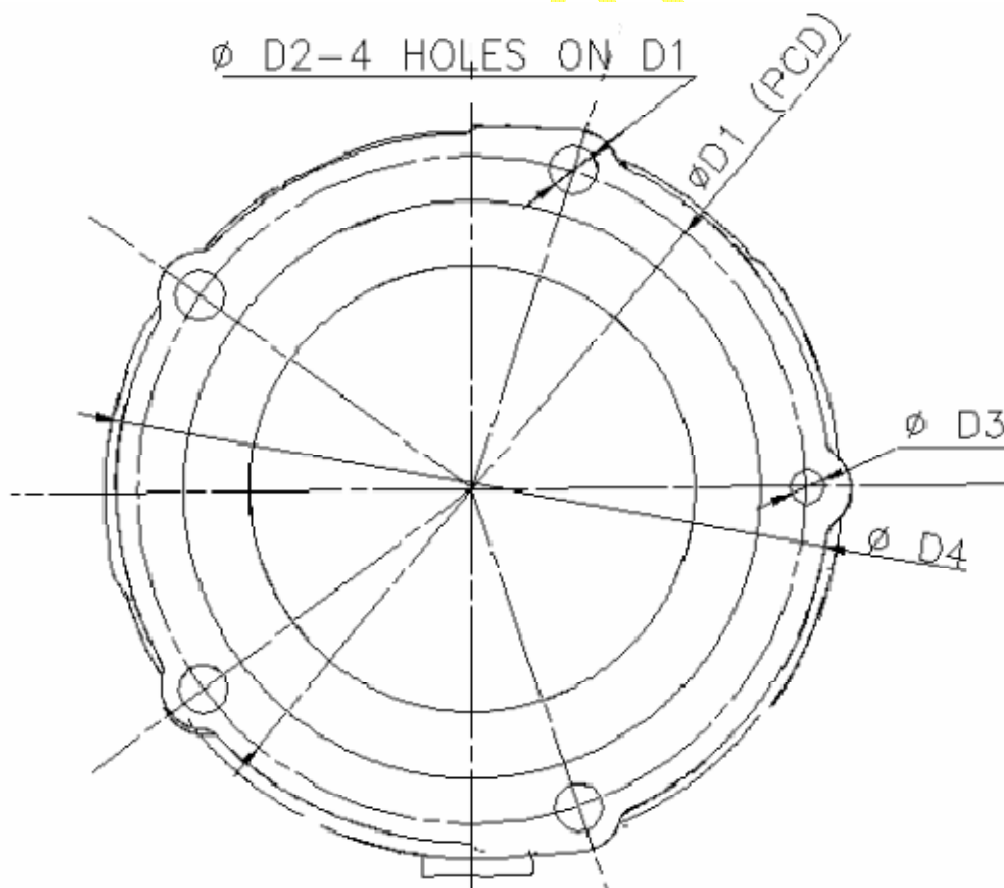
جدول ۱-۲

Table 1: Dimensional Comparison

Dimension	Original Part (mm) 'O'	CAD Part (mm) 'C'	SLA RP Part (mm) 'R'	%Error: Original and CAD Part $\frac{(C-O) \times 100}{O}$	%Error: Original and RP Part $\frac{(R-O) \times 100}{O}$	%Error: CAD and RP Part $\frac{(C-R) \times 100}{C}$
Diameter D1	124.00	123.71	122.98	-0.23	-0.82	-0.59
Diameter D2	9.00	8.98	8.61	-0.22	-4.33	-4.12
Diameter D3	6.00	6.12	5.98	2.00	-0.23	-2.18
Diameter D4	132.00	133.34	132.45	1.01	0.34	-0.66
Diameter D5	108.00	108.98	109.08	0.90	1.00	0.09
Diameter D6	84.00	83	82.02	-1.19	-2.36	-1.18
Length L1	25.00	25.02	25.52	0.08	2.08	1.99
Length L2	95.00	95.76	96.61	0.80	1.69	0.88
Length L3	71.00	71.86	71.96	1.21	1.35	0.14



SECTIONAL VIEW



شکل 1-6- تعیین ابعاد مهم قطعه با استفاده از نقشه بدست آمده از

مدل رایانه‌ای

توضیحات و مباحث

تبدیل کردن مدل ابر نقاط به سطح اغلب کار طاقت فرسایی محسوب می شود چرا که در هنگام اسکن کردن، ناپوستگی های زیادی وجود دارد که می باید بدقت آنها را در یکی از نرم افزارهای متداول ابرنقاط به هم متصل کرد و همچنین مرزهای سوراخها و تورفتگی ها را مشخص کرد. این کار در قطعات بزرگ و پیچیده بسیار مشکل است هر چند که بدنه تفکیک کننده روغن جز قطعات نیمه پیچیده محسوب میشود. برای رفع این گونه مشکلات در اسکنرهای پیشرفته تر سعی شده اولاً نرم افزاری طراحی شود تا بتوانند عمل یکپارچه سازی (مش بندی) را بطور اتوماتیک انجام دهند و یا برای نرم افزارها اسکنرهای طراحی می شود. از آنجا که موضوع بحث ما در این کتاب نرم افزار CATIA می باشد، یک نمونه از این اسکنرها که مختص به این نرم افزار می باشد را در ادامه معرفی خواهیم کرد. مرحله شبیه سازی ریخته گری واقعاً یکی از مراحل به صرفه اقتصادی می باشد، چرا که در

بهینه سازی و تهیه قالب مورد نظر بسیار به ما کمک میکند. البته نباید فراموش کرد زمانی که نیاز به ماشین کاری و یا دیگر فرآیندهای تولید باشد میتوان از نرم افزارهای مربوطه بهره جست. در جدول (۱-۲) زمان انجام پروژه را مشاهده می کنید.

زمان مورد نیاز (ساعت)	مراحل انجام فرایند
۴	اسکن سه بعدی
۸	سطح سازی
۲۰	مدل سازی سریع (PROTOTYP)
۴	شبیه سازی ریخته گری
۸۰	قالبگیری
۱۲	ماشین کاری
۱۲۸	جمع کل

۶-۱ اسکنرهای سه بعدی 3D SCANERS

از آنجا که کار با داده‌های بدست آمده از اسکنرهای سه بعدی هدف ما در این کتاب است، لذا این دستگاه که دارای انواع مختلفی است را جدا گانه بررسی می کنیم.

بطور کل اسکنرها به دو نوع تماسی^۱ و غیر تماسی^۲ تقسیم میشوند. در نوع اول همان طور که از نام آن پیداست پروب دستگاه موضوع را لمس میکند. نمونه این دستگاه‌ها cm^3 ها هستند. نوع دوم که مورد بحث ما قرار خواهد گرفت به وسیله ساع کردن نور و اثر بازتاب آن اسکن را انجام میدهند.

اسکنرهای سه بعدی دستگاه هایی هستند که اطلاعات ابعادی اجسام را جمع آوری کرده و می توان این اطلاعات را در کامپیوتر بشکل ابری از نقاط با هر فشردگی مشاهده کرد که هر یک از این نقاط دارای مختصات معین می باشند. نقاط بدست آمده براحتی قابل پردازش بوده و این کار اصطلاحاً دیجیتالایزینگ^۴ گفته می شود. تکنولوژی های مختلفی ممکن است در ساخت این دستگاه ها استفاده شود که بستگی به کاربرد آن دارد و هر کدام محدودیت هایی دارند برای مثال: تکنولوژی های نوری در بازتاب نور از صفحات صیقلی و شفاف دچار مشکل می شوند. و برای رفع این مشکل از یک لایه پودری استفاده می شود که به برگشت فتون های نور به اسکنر کمک می کند. لیزرها بهتر از نور معمولی کار می کنند چرا که می توانند میلیارد ها فتون را مستقیماً به سطح موضوع برخورد دهند و تنها مقدار کمی از این فتون ها به اسکنر باز می گردند. از تکنولوژی آلتراسونیک نیز می توان در این دستگاه ها استفاده کرد. اما بازتاب نور به رنگ سطح نیز بستگی دارد، و رنگ های روشن مانند سفید نور را به شدت بازتاب داده و باعث بدست آمدن اطلاعات غلط می شود، رنگ مشکی نیز مقدار زیادی از فتون ها را جذب می کند و سطوح شیشه ای نور را منعکس نمی کنند. همه این موارد مشکلاتی در فرآیند اسکن سه بعدی محسوب می شوند. که با ترفند هایی قابل حل می باشند. همان طور که گفته شد هدف اسکنرهای سه بعدی ایجاد ابر نقاط اجسام است که خود این ابر نقاط می توانند کاربردهای مختلفی می تواند داشته باشد، مثلاً می تواند برای بدست آوردن شکل اولیه یک اثر باستانی استفاده شود یا در علوم پزشکی جهت شبیه سازی اعضا بدن استفاده شود، در مهندسی معکوس نیز جایگاه آن مشخص شد.

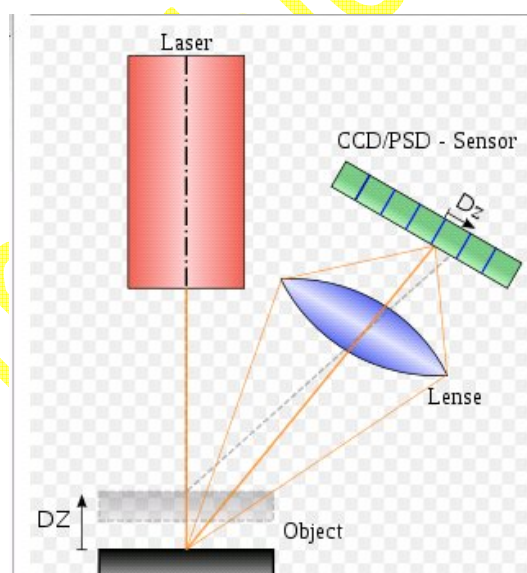
¹ Contact

² Non-contact active

³ Coordinate Measuring Machine

⁴ Digitizing

اسکنرها چگونه کار می کنند؟ طرز کار اسکنرهای سه بعدی بسیار شبیه به دوربین عکاسی است. مانند دوربین ها میدان مخروطی شکل از نما تشکیل میدهند و مانند دوربین ها فقط اطلاعات سطح را برداشت می کنند. شاید بتوان گفت عمده ترین فرق بین آنها این است که دوربین ها اطلاعات مربوط به رنگ شکل را برداشت می کنند اما اسکنرهای سه بعدی اطلاعات مربوط به ابعاد را ضبط می کنند. اسکنر سه بعدی فاصله هر نقطه از سطح را نسبت به نقطه دیگر در آن شکل را ضبط می کند. اما چگونه؟ اگر یک بردار با مختصات کروی را در نظر بگیرید که اسکنر مبدا آن باشد و جهت بردار آن بسمت بیرون اسکنر باشد و $\alpha=0$ و $\gamma=0$ آنگاه هر نقطه از شکل به زوایای α و γ بستگی خواهد داشت که با داشتن فاصله اسکنر تا سطح که از طریق دستگاهی روی اسکنر اندازه گیری می شود مولفه r بدست می آید. مختصات کروی هر سه بعد موقعیت هر نقطه را نسبت به موقعیت مختصات محلی اسکنر مشخص می کند. به عبارت ساده تر زمانیکه اشعه لیزر به سطح جسم برخورد می کند، یک دوربین نقطه برخورد با سطح را مشاهده می کند و زمانی که مکان این نقطه تغییر کند این تغییر در میدان دید دوربین تغییر می کند. این تکنیک را مثلث سازی⁵ نیز می گویند زیرا نقطه برخورد لیزر، دوربین و ساطع کننده لیزر تشکیل یک مثلث را می دهند. طول یک ضلع مثلث فاصله دوربین



شکل 1-7- نحوه اندازه برداری
اسکنرهای لیزری

⁵Triangulation

و ساطع کننده است که عددی است ثابت و مشخص و همچنین زاویه ساطع کننده لیزر نیز مشخص است. زاویه دوربین نیز بوسیله میدان دید^۶ در اثر تغییر مکان نقطه لیزر محاسبه می شود (شکل ۱-۸). این سه عنصر بطور کامل ابعاد مثلث را تعیین کرده و موقعیت محل نقطه لیزر را به ما می دهند. شکل (۱-۳)

^۷ Ccd چیست؟ یک سنسور الکترونیکی که جابجایی شارژهای الکتریکی را اندازه می گیرد در واقع بر اثر جابجایی سیگنال در موقعیت های مختلف در اثر زمان این کار را انجام میدهد. این کار توسط بلوک های خازنی دستگاه انجام می شود. این وسیله در اسکنرها برای بدست آوردن زاویه محور دوربین با نور منعکس شده استفاده می شود. شکل (۱-۹)



شکل ۱-۸

فاکتورهای قابل توجه در اسکنرها:

- **قدرت تشخیص (Resolution)** به قابلیت تصویر برداری سیستم در تفکیک اندازه زاویه ای بین دو موضوع نزدیک به هم گفته می شود. در واقع در اینجا به حد قابل اندازه گیری در مختصه های $x-y$ گفته میشود. برای مثال اگر هدف اسکن یک حرف برجسته باشد و فونت این حرف کوچکتر از رزولشن دستگاه باشد، در تصویر بدست آمده خوانا نخواهد بود (غیر از بعد z آن). رزولشن به سه عامل اساسی بستگی دارد. ۱- پهنای خط لیزر ۲- فاصله کانونی لنز و ۳- رزولشن ccd
- **دقت (Accuracy)** همان طور که رزولشن قابلیت تفکیک در $x-y$ را مشخص می کند. دقت، کیفیت تصویر در بعد z را مشخص می کند. اسکنرها این اندازه را با محاسبه بدست می آورند. نويزه های CCD، نورهای بازتاب شده ناقص و خلاصه قوانین بنیادی فیزیک دست بدست هم

^۶ Field Of View

مشخص کننده مقدار بزرگی ای که در یک واحد

اسکن ممکن است

^۷ charge-coupled device

می دهند تا این محاسبه با خطا همراه باشد. در طراحی یک اسکنر سه بعدی امکان ندارد خطایی وجود نداشته باشد، به اندازه این خطاها دقت گفته می شود.

- **تراکم نقطه (Point Density)** به فاصله بین دامنه تغییرات دو نقاط مجاور هم گفته می شود. که در واقع اختلاف در بعدهای $x-y$ می باشد. تراکم در x به تعداد اسکن های لنز بستگی دارد. در حالی که تراکم در y به رزولشن CCD بستگی دارد. برای مثال: اگر کاربر اسکن با ۵۰۰ خط لیزر را انتخاب کند و مقدار پیکسل های عمودی CCD، ۴۸۰ باشد، دانسیته نقطه $۴۸۰ * ۵۰۰$ خواهد بود. و این در یک دامنه ۳۰۰MM بیانگر این است که فاصله گزاری نقاط $0.61mm \times 0.64mm$ خواهد بود.

- **عمق فرود (Depth of Field)** عمق فرود یا عمق تمرکز اسکنر دامنه فاصله بیش از حدی است که در هنگام اسکن از خارج موضوع اصلی برداشته می شود. موضوعاتی که خارج از این دامنه قرار دارند بارنگ دیگری مشخص می شود که نشانگر غلط بودن آن است تا در نرم افزارهای ابر نقطه براحتی قابل تشخیص باشد. در واقع این معیار ما را مطمئن می کند که داده های خروجی در حد دقت تعریف شده می باشند.

- **میدان دید (Field of View)** بزرگترین موضوعی را که می تواند تصویر برداری شود در یک واحد اسکن. در واقع توصیف یک زاویه است از یک مخروط که راس آن مرکز لنز عکس برداریست و دنباله آن بسمت موضوع می باشد. هر چه این مقدار بیشتر باشد دقت اسکنر بیشتر است.

اسکنرهای قابل حمل: نوع دیگری از اسکنرهای سه بعدی می باشند که با مکانیزم مثلث سازی که در بالا توضیح داده شد تصاویر سه بعدی را به شکل ابر نقاط یا سطح ^۸NURBS ایجاد می کنند. در این روش لیزر توسط اسکنر دستی به سطح تابانده می شود و یک سنسور فاصله آن را تا سطح اندازه می گیرد. در این دستگاه اطلاعات جمع اوری شده نسبت به یک مختصات در داخل اسکنر سنجیده می شود. بنابر این هر داده ورودی باید با توجه به موقعیت حرکت اسکنر محاسبه شود. موقعیت میتواند نسبت به نقاط مرجع چسبانده شده روی سطح تعین شود و یا با یکی از روشهای ردیابی بیرونی میتوان این کار را انجام داد. برای ردیابی بیرونی اغلب با روش ردیابی لیزری این کار را انجام می دهند که به کمک دوربین موقعیت اسکنر را

^۸ Handheld Scanners

^۹ Non Uniform Rational B-Spline

جهت یابی می کند و یا می توان با استفاده از روش های فتوگرامتری^۱ و با استفاده از حداقل سه دوربین وضعیت هر شش درجه آزادی اسکنر را تعیین نمود/ر-ب-مرجع/۵. اطلاعات بدست آمده از این اسکنرها بشکل نقطه در یک فضای سه بعدی ذخیره شده و با پردازش این نقاط میتوان آنها را به مش های مثلثی تبدیل کرده و در نهایت آنها را به مدل سه بعدی تبدیل کرد. یکی از این اسکنرها که خاص نرم افزار catia ساخته شده در زیر مورد بررسی قرار می گیرد.

Handyscan3DTM

اسکنریست که قادر است در یک مرحله از قطعه اسکن سه بعدی تهیه نموده و داده های خود را مستقیماً به نرم افزار CATIA بفرستد.

MEASUREMENTS	18,000 measurements/s
LASER CLASS	II (eye safe)
RESOLUTION IN Z AXIS	0.1 mm (0.004 in)
ACCURACY	Up to 50 μ m (0.002 in)

نرم افزار به محض دریافت داده ها که همان مختصات نقاط اسکن شده می باشد، آنها را مش بندی کرده و مدل مش بندی شده را در اختیار کاربر قرار

Handyscan 3DTM می دهد تا هر نوع اصلاح لازم روی آن انجام شود. اسکنر دستی ان خود موقعیت

مقدار	خصوصیات
WEIGHT	980 grams (2.1 lb)
DIMENSIONS	160 x 260 x 210 mm (6.25 x 10.2 x 8.2 in)

یاب بوده واز اشعه لیزر استفاده می کند. مشخصات دستگاه عبارتند از جدول ۱-۳:

از مهمترین خصوصیات استفاده از این دستگاه:

- با یک نرم افزار می توان مدل سه بعدی را تهیه کرد
- انتقال داده ها نیاز نیست
- نیاز به مش بندی دستی نیست
- به پردازش ابر نقاط نیاز نیست
- بازرسی سریع قطعات
- ایجاد مدل پارمتریک با کمک CATIA

حداقل سیستم و تجهیزات مورد نیاز برای این دستگاه:

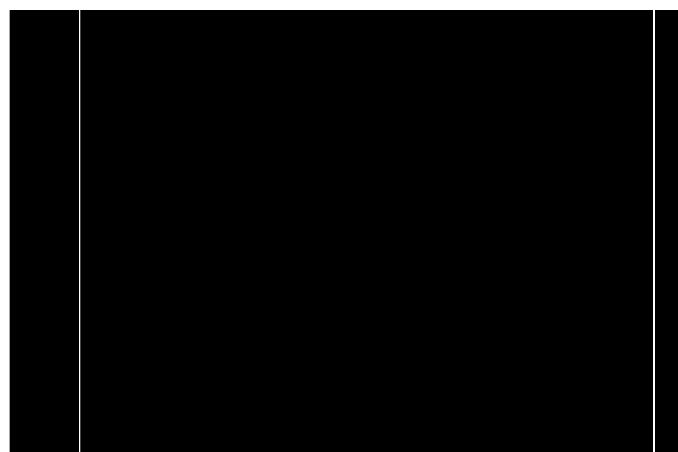
- CATIA V5R17 OR LATER
- Digitized Shape Editor workbench
- Intel Dual Core CPU
- Windows XP Professional SP2 32 bits or later
- 2GB RAM
- 1GB of free disk space
- Dedicated ATI/Nvidia GPU with 128MB dedicated memory
- 1280x800 pixels resolution (higher resolution recommended)
- CD-ROM compatible drive
- PCMCIA slot

در زیر تصاویری از این دستگاه آورده شده:





TYA



شما هم اگر به عجز معنوی نشر علم عقیده دارید، علم خود را با نام خود برای ما ارسال کنید تا با نام شما در وبلاگ "catia" برای دانشجویان قرار داده شود. و به خاطر بسپارید:

*****جوینده گوینده است و یابنده خاموش*****

((خوجه عبدالله انصاری))

tyaman.blogfa.com