فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

چکیده ۱

۱- مقدمه ۳

۲-انتخاب مواد مرتبط با فرایند ۱۰

۲-۱- پیلون یا اسکلت کامپوزیتی ۱۲

۲-۱-۱- کامپوزیت و تعریف آن ۱۲

۲-۱-۱-۱- فرایند تولید الیاف شیشه ۱۵

۲-۱-۱-۲- فرایند ساخت کامپوزیت پیچشی ۱۶

۲-۱-۲- الیاف کربن ۱۸

۲-۱-۲-۱- دسته بندی الیاف کربن براساس ویژگی ها ۱۹

۲-۱-۲-۲- دسته بندی براساس نوع پیش زمینه ۲۰

۲-۱-۲-۳- دسته بندی براساس دمای نهایی عملیات حرارتی ۲۰

۲-۱-۲-۴- کاربردهای الیاف کربن ۲۰

۲-۱-۳- الیاف شیشه ۲۲

۲-۱-۳-۱- انواع الیاف شیشه ۲۳

۲-۱-۳-۲- اشکال مختلف الیاف شیشه ۲۴

۲-۱-۳-۳- انواع بافت ها در الیاف شیشه ۲۵

۲-۱-۴- پلی استر ۲۸

۲-۱-۴-۱- میزان هاردنر در رزین پلی استر ۲۹

۲-۱-۴-۲- ماده ی شتاب دهنده در رزین پلی استر (کاتالیزور) ۲۹

۲-۱-۴-۳- زمان بستن پلی استر ۳۰

۲-۱-۴-۴- میزان انقباض پلی استر ۳۰
۲-۱-۴-۵- رنگ کردن مجسمه های پلی استری ۳۱
۲-۱-۵- رزین های اپکسی ۳۱
۲-۱-۵-۱- رزین ژلکوت ۳۱
۲-۱-۵-۲- رزین لمینت ۳۲
۲-۱-۵-۲-۱- خمیرهای لایه گذاری ۳۲
۲-۱-۵-۲-۲- رزین های لایه گذاری ۳۳
۲-۱-۵-۳- خمیر های لمینت ۳۴
۲-۱-۵-۴- چسب های اپکسی ۳۵
۲-۱-۵-۵- رزین های ریخته گری ۳۶
۲-۲- روکش ایجاد شده بر روی پیلون ۳۷
۲-۲-۱- سیلیکون ۳۷
۲-۲-۱-۱- سیلیکون های قالب سازی ۳۷
۲-۲-۱-۲- سیلیکون های (RTV) Room temperature vulcanization ۳۸
۲-۲-۱-۳- سیلیکون های (HTV) high temperature vulcanization ۳۹
۲-۲-۱-۴- لاستیک های سیلیکون ۴۰
۲-۲-۱-۵- محصولات دیگر سیلیکون ۴۲
۲-۲-۱-۶- خواص سیلیکون ها ۴۲
۲-۲-۲- پلی اورتان ۴۷
۲-۲-۲-۱- تاریخچه پلی اورتان ۴۷
۲-۲-۲-۲- پلی اورتان انعطاف پذیر ۴۸
۲-۲-۲-۳- پلی اورتان سخت فیلر دار ۴۹

۲-۲-۴- پلی اورتان سخت بدون فیلر ۴۹
۲-۲-۵- پلی اورتان های وکیوم کستینگ ۵۰
۲-۲-۶- پلی اورتان سیستم RIM ۵۱
۲-۳- لاتکس ۵۱
۲-۳-۱- تعریف لاتکس ۵۲
۲-۳-۲- روش های فرایند لاتکس ۵۴
۲-۳-۳- لاتکس پلی کلروپرن ۵۵
۲-۳-۴- اقدامات عملی برای تهیه روکش ۶۰
۳- فرایند های مرتبط با فرایند تولید ۶۳
۳-۱- قالب گیری با استفاده از گچ ۶۴
۳-۱-۱- گچ و طرز استفاده آن درقالب گیری ۶۴
۳-۱-۲- قالب گیری گچی به روش مستقیم ۶۶
۳-۱-۲-۱- مقاوم کردن مدل های گچی ۶۷
۳-۱-۳- چگونه از دست قالب بگیریم ۶۸
۳-۱-۴- چه کار کنیم که گچ دیر ببندد ۶۹
۳-۱-۵- چه کار کنیم که گچ زود ببندد ۷۰
۳-۱-۶- ساختن مدل با خمیر مجسمه سازی ۷۰
۳-۱-۶-۱- فرمول خمیر مجسمه سازی ۷۲
۳-۲- قالب گیری سیلیکونی ۷۲
۳-۲-۱- ایجاد نقش برجسته یکطرفه ۷۳
۳-۲-۱-۱- ایجاد نقش برجسته یک طرفه کوچک ۷۳
۳-۲-۱-۲- ایجاد نقش برجسته یکطرفه بزرگ ۷۹

۳-۲-۱-۲-۱- نقش برجسته یکطرفه بزرگ از طریق ایجاد حوضچه ۸۰
۳-۲-۲- قالب گیری سیلیکونی با ایجاد فضای خالی دور مدل ۸۴
۳-۲-۳- قالب گیری سیلیکونی لایه لایه ۸۷
۳-۲-۴- قالب گیری با سیلیکون ۵۳۹ ..... ۸۷
۳-۲-۵- نقش برجسته دو طرفه ۸۸
۳-۲-۶- بزگ کردن مدل با استفاده از سیلیکون ۸۹
۳-۲-۷- نکات بهداشتی در مورد سیلیکون ۸۹
۳-۲-۸- چسب آکواریوم ۸۹
۳-۲-۹- مطابقت روش سیلیکونی با فرایند ساخت پروتز های دست و پا ۹۴
۳-۳- قالب گیری ماسه ای ۹۵
۳-۴- قالب گیری با لاتکس ۹۵
۳-۴-۱- شیوه قالب گیری دو تکه با لاتکس ۹۵
۳-۴-۲- انواع قالب های لاستیکی ۹۷
۴- فرایند قالب گیری و ساخت ۹۹
۴-۱- ساخت پایه دست مصنوعی ۱۰۰
۴-۲- دست مصنوعی پیش ساخته ۱۰۵
۴-۲-۱- دست مصنوعی پیش ساخته تو پر ۱۰۵
۴-۲-۲- دست مصنوعی پیش ساخته تو خالی ۱۰۸
۴-۳- ساخت دست مصنوعی برای فرد قطع عضو از یک دست ۱۱۱
۴-۳-۱- نرم افزار Catia ۱۱۲
۴-۳-۱-۱- تاریخچه نرم افزار کتیا (CATIA) ۱۱۳
۴-۳-۱-۲- ویژگیهای اصلی نرم افزار Catia ۱۱۵

۴-۳-۲- شبیه سازی از طریق تصویر از سه نما (پرسپکتیو) ۱۱۶
۴-۳-۲-۱- ایجاد شبکه‌ای از منحنی‌ها منطبق بر عکس‌های ورودی ۱۱۶
۴-۳-۲-۲- ایجاد یک Geometrical Set ۱۱۶
۴-۳-۲-۳- ایجاد یک طرح دو بعدی ۱۱۸
۴-۳-۲-۴- ایجاد یک سطح با ابزار Extrude ۱۱۹
۴-۳-۲-۵- به‌کار بردن یک ماده طرح‌دار بر روی سطح ۱۲۰
۴-۳-۲-۶- جایگزینی عکس با طرح پیش‌فرض ۱۲۰
۴-۳-۲-۷- ایجاد یک طرح دو بعدی ۱۲۲
۴-۳-۲-۸- تغییر اندازه و جابه‌جا کردن تصویر مرجع ۱۲۳
۴-۳-۲-۹- حذف طرح دوبعدی ۱۲۳
۴-۳-۲-۱۰- تغییر اندازه سطح برای منطبق شدن تصویر ۱۲۴
۴-۳-۲-۱۱- ایجاد طرح دوبعدی ۱۲۴
۴-۳-۲-۱۲- ایجاد سطح با ابزار Extrude ۱۲۵
۴-۳-۲-۱۳- به‌کار بردن یک ماده طرح‌دار بر روی سطح ۱۲۶
۴-۳-۲-۱۴- جایگزینی عکس با طرح پیش‌فرض ۱۲۷
۴-۳-۲-۱۵- ایجاد یک طرح دوبعدی ۱۲۸
۴-۳-۲-۱۶- ایجاد یک سطح با ابزار Extrude ۱۲۹
۴-۳-۲-۱۷- به‌کار بردن یک ماده طرح‌دار بر روی سطح ۱۲۹
۴-۳-۲-۱۸- جایگزینی یک عکس با طرح پیش‌فرض ۱۳۰
۴-۳-۲-۱۹- ایجاد منحنی‌های سه‌بعدی با ابزار 3D Curve ۱۳۵
۴-۳-۲-۲۰- تغییر مکان طرح دوبعدی ایجاد شده بر روی مقطع H ۱۴۴
۴-۳-۲-۲۱- تولید سطوح اصلی بدنه هواپیما ۱۵۰

۴-۴- ساخت دست مصنوعی برای فرد قطع عضو از دو دست ۱۵۳
۴-۵- ساخت دست های متحرک ۱۵۳
۴-۵-۱- استفاده از تکنولوژی بیو مکاترونیک ۱۵۹
۴-۵-۱-۱- قسمت های مختلف سیستم بیو مکاترونیک ۱۶۰
۴-۵-۲- نحوه کنترل دست مصنوعی ۱۶۱
۴-۶- ساخت پوست برای اندام های مصنوعی ۱۶۲
۴-۶-۱- برقراری حس لامسه توسط الکتریسیته ۱۶۲
۴-۷- راه هایی برای نزدیک شدن اندام مصنوعی به طبیعی ۱۶۳
۵- نتایج وپیشنهادات ۱۶۵
۵-۱- نتایج ۱۶۶
۵-۲- پیشنهادات ۱۶۹
منابع ۱۷۳

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

فصل دوم :

شکل۲-1- قسمت پایه یک دست مصنوعی ۱۱

شکل ۲-2- قسمت بدنه یک دست مصنوعی با روکش نیمه ۱۱

شکل ۲-3- الیاف کربن به صورت کلافی ۱۹

شکل۲-4 - شمایی از الیاف کربن باز شده ۲۲

شکل ۲-5- شمایی از الیاف شیشه کاربردی در کامپوزیت ۲۳

شکل۲-6- بافت Plain ۲۵

شکل۲-7- بافت Twill ۲۵

شکل۲-8- بافت Satin ۲۶

شکل۲-9- بافت Basket ۲۶

شکل۲-10- بافت Leno ۲۷

شکل۲-11- بافت Mock leno ۲۷

شکل۲-12- مدل سازی قسمت داخلی درب اتوموبیل با استفاده از رزین لایه گذاری ۳۴

شکل۲-13- شمایی از گل خمیر مدل سازی آماده ۳۵

شکل۲-14- چسب‌های اپکسی ۳۶

شکل۲-15- رزین ریخته گری اپکسی در حال ریختن روی مدل ۳۷

شکل۲-16- قالب سیلیکنی روی نقش برجسته یکطرفه سیلیکن ۴۰

شکل۲-17- چرخ دنده های ساخته شده با پلی اورتان سخت فیلر دار ۴۹

شکل ۲-18- شمایی از پلی اورتان سخت بدون فیلر ۵۰

شکل۲-19- قطعه ساخته شده از پلی اورتان سیستم RIM ۵۱

فصل سوم :

شکل۳-1- شمایی از مدل های اولیه ۷۴

شکل۳-2- شمایی از سیستم قالب گیری چرخان ۷۴

شکل۳-3- نحوه قرار گرفتن مدله به همراه سیستم راهگاهی روی میز کار ۷۵

شکل۳-4- قرار گرفتن درجه زیرین روی مدل ها و ریختن سیلیکون ۷۵

شکل۳-5- برگرداندن درجه و قرار دادن مدل ها سر جای خود ۷۶

شکل۳-6- قرار دادن درجه رویی قالب و فیکس کردن آن و ریختن سیلیکون ۷۶

شکل۳-7 - باز کردن درجه ها از هم و خارج کردن مدل ها و سیستم راهگاهی ۷۷

شکل۳-8- دوباره سوار کردن درجه ها روی یکدیگر ۷۷

شکل۳-9- ریختن مذاب باسیستم چرخشی قالب ۷۸

شکل۳-10- باز کردن قالب و خارج کردن نقش برجسته نهایی ۷۸

شکل۳-11- شمایی از نقش نهایی تولید شده ۷۹

شکل۳-12- قرار گرفتن مدل اولیه بر روی میز کار ۸۰

شکل۳-13- آنکادر شدن مدل و پوشاندن آن ۸۱

شکل۳-14- ریختن گچ روی مدل پوشیده از خمیر ۸۱

شکل۳-15- برداشتن قالب گچی از روی مدل و جدا کردن خمیر مجسمه سازی ۸۲

شکل۳-16- قرار دادن مجدد قالب گچی روی مدل بدون حضور خمیر مجسمه سازی ۸۲

شکل۳-17- ریختن سیلیکون در داخل قالب گچی ۸۳

شکل۳- 18- جدا کردن قالب سیلیکونی از قالب گچی ۸۳

شکل ۳-19- شمایی از قالب سیلیکونی نهایی آماده برای ریخته گری ۸۴

شکل ۳-20 قالب یک تکه یقه باز ۹۸

فصل چهارم :

شکل۴-1- گچ گرفتن دور تا دور ناحیه قطع شده ۱۰۱

شکل۴-2- قالب گچی تو خالی که داخل آن گچ مجسمه سازی ریخته میشود ۱۰۲

شکل۴-3 - مدل گچی بر روی پایه در حال ریختن دوغاب سیلیکون ۱۰۳

شکل۴-4- تزریق سیلیکون بر روی مدل گچی ۱۰۳

شکل۴-5- عملیات ماشین کاری روی پایه اولیه ۱۰۴

شکل۴-6- گچ گیری دور تل دور دست برای ساخت قالب گچی ۱۰۶

شکل۴-7- ریختن گچ مجسمه سازی در داخل قالب گچی ۱۰۶

شکل ۴-8- گچ مجسمه سازی در حال خشک شدن درون قالب ۱۰۷

شکل۴-9- تندیس نهایی پس از متلاشی شدن قالب گچی ۱۰۷

شکل۴- 10- نمایش قسمت مثبت و منفی قالب ۱۰۸

شکل۴-11- صابون مالی و سپس پوشاندن سطح داخلی قالب بوسیله خمیر ۱۰۹

شکل۴-12- قالب گچی در حال پر شدن از دو غاب ۱۱۱

شکل۴-13-منوی start ۱۱۷

شکل۴-14- ابزار ایجاد بخش جدید ۱۱۷

شکل۴- 15- منوی insert ۱۱۸

شکل۴-16- ایجاد خط عمودی در صفحه ۱۱۹

شکل ۴-17- سطح باز ایجاد شده با ابزار extrude ۱۱۹

شکل۴-18- ابزار Apply Material برای ایجاد ماده طرح دار ۱۲۰

شکل۴-19- نمودار درختی B&W Tiling ۱۲۱

شکل۴-20 - اصلاح نحوه نمایش عکس ۱۲۱

شکل۴- 21- نمودار ایجاد طرح دو بعدی ۱۲۲
شکل ۴-22 - پنجره تغییر اندازه و ابعاد تصویر ابتدایی ۱۲۳
شکل ۴-23- نحوه منطبق کردن تصویر در پنجره Extrude ۱۲۴
شکل ۴-24- ایجاد طرح دو بعدی در صفحه ۱۲۵
شکل ۴-25- پنجره ایجاد سطح باز با ابزار Extrude ۱۲۶
شکل ۴-26- سطح طرح دار ایجاد شده ۱۲۶
شکل ۴-27- پنجره B&W Tiling ۱۲۷
شکل ۴-28 - مماس کردن ابتدا و انتها با سطح ۱۲۸
شکل ۴-29- رسم خط عمدی در انتهای قطعه ۱۲۸
شکل ۴-30- استفاده از جعبه ابزار surface برای ایجاد سطح باز ۱۲۹
شکل ۴-31- انطباق دو نما بر هم ۱۳۰
شکل ۴-32- انطباق سه نما بر یکدیگر ۱۳۱
شکل ۴-33- نمودار درختی Refrence ۱۳۲
شکل ۴-34- ابزار اصلی Insert ۱۳۳
شکل ۴-35- نحوه تغییر مقدار افزایش سطح مقطع ۱۳۴
شکل ۴-36- ایجاد فضا توسط نماها از سه بعد ۱۳۵
شکل ۴-37- وایر فریم اولیه تولید شده ۱۳۶
شکل ۴-38- پنجره Curve creation برای تولید وایرفریم از سطوح مقطع ۱۳۷
شکل ۴-39- پنجره Curve creation برای تولید ۱۳۸
شکل ۴-40- ایجاد وایر فریم روی سطح مقطع ایجاد شده ۱۳۹
شکل ۴-41- اتصال وایرفریم های رسم شده به هم ۱۴۰
شکل ۴-42- نحوه تغییر مکان طرح دو بعدی ایجاد شده ۱۴۲

شکل ۴-43- ایجاد وایرفریم روی سطح مقطع H ۱۴۳
شکل ۴-44- تغییر مکان وایرفریم روی مقطع H ۱۴۴
شکل ۴-45- ایجاد طرح دو بعدی (وایرفریم) روی مقطع I ۱۴۵
شکل ۴-46- تغییر مکان طرح دو بعدی روی مقطع I ۱۴۷
شکل ۴-47- ایجاد طرح دو بعدی روی مقطع B ۱۴۸
شکل ۴-48- تغییر مکان وایر فریم روی مقطع B ۱۴۹
شکل ۴-49- نمایش کامل وایر فریم های رسم شده ۱۵۰
شکل ۴-50 - سطوح کشیده شده روی wireframe ۱۵۱
شکل ۴-51- شمایی از آرماتور و اسکلت داخلی ۱۵۲
شکل ۴-52- اسکلت داخلی دست با قابلیت حرکت ۱۵۴
شکل ۴-53- نمایی از دستگاه ولت سنج ۱۵۵
شکل ۴-54- الکترود های متصل به بازو به همراه تقویت کننده و رایانه ۱۵۶
شکل ۴-55- عملیات ماشین کاری برای تعبیه محل الکترود در پایه دست ۱۵۷
شکل ۴-56- دست مصنوعی با قابلیت حرکتی توسط عضلات سینه ۱۵۹

چکیده

به جرات می توان چنین عنوان کرد که ساخت پروتز های دست و پای مصنوعی بر خلاف ظاهر، یک صنعت نو پا نیست بلکه قدمتی بسیار طولانی دارد. بسیاری از افرادی که در جنگ ها در گذشته های دور دست و پای خود را از دست می دادند صنعت گران زمان را به این فکر وا داشتند که این نقصان را برای چنین افرادی چگونه برطرف کنند. اما ساخت این پروتز ها از ابتدا به شکل امروزی نبود. شاید تکه ای چوب تراشیده شده می توانست جای پای قطع شده فردی را پر کند و تا حدی نقصان او را برطرف نماید. در روزهای ابتدایی این صنعت به دلیل عدم تنوع مواد و عدم پیشرفت تکنولوژی ساخت و استفاده از مواد گوناگون، چوب می توانست به عنوان اولین ماده مورد استفاده در ساخت پروتز های مصنوعی دست یا پا مورد استفاده قرار گیرد. اما به مرور زمان با پیشرفت علم و فناوری و انقلاب صنعتی رخ داده در دنیا مواد جدیدی کشف و ساخته شد و بر اساس آن فرایند های جدیدی نیز برای ساخت چنین پروتز هایی پا به عرصه وجود گذاشت. امروز می توان با قاطعیت اعلام کرد که دنیا به مرحله جدیدی از ساخت پروتز های مصنوعی دست و پا رسیده است که حتی کوچکترین محدودیتی را چه از نظر حرکتی و چه از نظر زیبایی ظاهری ایجاد نمی کند. امروزه پروتز های مصنوعی دست و پا به گونه ای ساخته می شوند که فرد می تواند به واسطه آن به ورزش حرفه ای هم بپردازد و دیگر کمترین محدودیتی در زندگی عادی افراد دیده نمی شود.

در این پروژه سعی شده تا حد امکان به شرح و توضیح در مورد ساخت پروتز های مصنوعی دست و پا و به صورت تاکید پروتز های مصنوعی دست پرداخته شود. سعی شده تا تاریخچه ای از این پروتز ها گرداوری شده و همچنین در مورد مواد کاربردی در ساخت این پروتز ها شرحی داده شود. اینکه چه موادی در ساخت این پروتز ها به کار می روند، انواع این مواد، خصوصیات این مواد و کاربرد های دیگر

این مواد نیز در بخش دیگری ذکر شده است. همچنین از آنجایی که ساخت مجسمه و تندیس یکی از فرایند های کاملا شبیه و شاید مربوط به ساخت پروتز های دست و پا می باشد، بخشی از کار به عنوان فرایندهای مرتبط با فرایند ساخت دست و پای مصنوعی ذکر گردیده است. در آخر فرایند های مربوط به ساخت پروتز های دست و پا بیان گشته که در این پروژه به سه بخش تقسیم بندی گردیده، که هر بخش فرایند مخصوص به خود را دارد با این توضیح که یا مرحله ایی بیشتر و یا کمتر نسبت به فرایند دیگر دارد. بطور کلی می توان پروسه ساخت دست مصنوعی را به سه بخش تقسیم کرد. بخشی را می توان مربوط به ساخت تندیس یا مجسمه سازی در نظر گرفت و آن زمانی است که از یک دست سالم قالب گیری گردد. فرایند دوم را می توان اینگونه در نظر گرفت که فرد یکی از دو دست خود را از دست داده است که در چنین شرایطی فرایند تولید کمی متفاوت است. و سومین فرایند زمانی است که فرد هر دو دست خود را از دست داده است که باز هم در چنین شرایطی فرایند ساخت متفاوت می باشد. اما باید به این نکته توجه داشت که نتیجه هر سه فرایند یکسان است و آن هم تولید یک دست مصنوعی با توانایی های حرکتی یا بدون این توانایی ها که تنها جنبه زیبایی دارد می باشد. بدیهی است با همه تلاشی که در فرایند تهیه این پروژه شده است مسلما دارای نقایصی می باشد که امیدوارم دیگر دوستان آن را تکمیل نمایند.

۱- مقدمه

Spanish First

شاید با دیدن تصویری که در ابتدا مشاهده نمودید این گونه به نظر آید که نیازی به نوشتن مقدمه برای این پروژه نباشد اما شاید با وجود گویا بودن این تصویر از پیشرفت بشریت در ترمیم و جایگزین کردن اندام قطع شده انسان در حد اعلی خود اشاره به نکاتی چند به عنوان مقدمه خالی از لطف نباشد

در گذشته های دور قطع کردن اندام همواره به عنوان راه حل نهایی برای جلوگیری از پیشرفت یا درمان بیماری هایی که موجب گرفتاری اندام ها می شوند، مطرح بوده است. در گذشته جایگزینی برای اندام قطع شده وجود نداشت و شخصی که اندام خود را از دست می داد باید این محرومیت را تحمل می کرد. اما به مرور زمان و با پیشرفت علم اندام های مصنوعی وارد عرصه پزشکی و جایگزین اندام های از دست رفته انسان ها شدن. در اواخر قرن هفدهم نسل تازه‌ای از پاهای مصنوعی بالای زانو به میدان آمدند. تکنولوژی به کار رفته در این پاها به گونه ای بود که دیگر نیاز به قفل شدن مفصل زانو نداشتند. در آغاز قرن نوزدهم جیمز پات انگلیسی چند قدم دیگر به ساختار طبیعی پا نزدیک شد. پای مصنوعی جیمز پات علاوه بر مفصل زانو، مفصل مچ پا هم داشت. این مفصل به وسیله بخیه‌هایی به رباط زانو وصل و از این طریق کنترل می‌شد. این پای جدید به شهرت جهانی رسید. جالب اینجاست که در هر کشوری بسته به آنکه اولین بار چه شخصیتی از آن استفاده کرد به آن نام معروف شد. مثلا در آمریکا به خاطر آنکه اولین بار ویلیام سلفو آن را به پا کرد به پای سلفو مشهور شد. از آن زمان به بعد عمده تلاش سازندگان اندام‌های مصنوعی برای ارتقای سیستم مفاصل مصنوعی استوار بود. در اواخر قرن نوزدهم آرام آرام ایده جانشین ساختن مفاصل استیلی با ماده‌ای سبک تر همچون آلومینیوم مطرح شد.با وجود این سال‌ها زمان لازم بود تا این ایده جدید رنگ واقعیت به خود بگیرد. سرانجام در سال ۱۹۱۲ مارسل دسوتر دست به کار شد. جالب آن است که مثل بسیاری از سازندگان اندام های مصنوعی او هم پزشک نبود. دسوتر، خلبان صاحب‌نام ارتش انگلیس در یک سانحه هوایی پای خود را از دست داده بود. او به کمک برادر خود نخستین پای آلومینیومی را برای خود ساخت.[۸]

شکوفایی دانش و هنر در دوره رنسانس در ساخت اندام‌های مصنوعی هم نمود یافت. دوره رنسانس را باید دوره انقلاب در ساخت اعضای مصنوعی هم دانست. اندام های مصنوعی در آن زمان عمومـا از آهـن، استیل، مس و چوب ساخته می‌شدند.[۸]

در سال ۱۵۰۸ سربازی آلمانی به نام گاتزفون برلیشنگن یک جفت دست مصنوعی داشت که قابل حرکت و تنظیم بود. او دست راست خود را در یکی از جنگ‌ها از دست داده بود. دست مصنوعی او با کمک دست سالم‌اش تنظیم می‌شد و توسط اهرم‌های فنری حرکت می‌کرد. همچنین در سال ۱۵۱۲ یک جراح ایتالیایی در سفرنامه خود از مرد بی‌دستی یاد کرده است که با کمک ابزاری که به بازوهایش بسته بود می‌توانست کلاهش را بردارد، در کیف‌اش را باز کند و نام خودش را روی کاغذ بنویسد. همچنین در تاریخ آمده است که دریاسالار باربارروزا، ژنرال مشهور روم شرقی دستی مصنوعی داشت که با نقره آبکاری شده بود. (آمبریوز پاری) را باید پدر جراحی مدرن قطع اندام و ساخت اندام‌های مصنوعی به حساب آورد. او که جراح ارتش فرانسه بود برای اولین بار بدون آنکه اندام قطع شده را با صفحه داغ بسوزاند به ترمیم بافت آن پرداخت. او همچنین برای اولین بار یک پای مصنوعی مفصل‌دار ساخت. پایی که دکتر پاری طراحی کرده بود بالاتر از زانو نصب می‌شد و قابلیت تنظیم داشت. پاری با ساختن این اندام‌ها دورنمای نسل تازه‌ای از اعضای مصنوعی را ترسیم کرد. دورنمایی که حتی اعضای الکترودی روزگار ما را نیز دربرمی‌گیرد. اتفاق مهم دیگر در این دوره توسط همکار دکتر پاری یعنی دکتر لورین به وقوع پیوست. او نیز با یک ابتکار جدید ساخت اعضای مصنوعی را وارد مسیر تازه‌ای کرد. دکتر لورین برای اولین بار به جای فلزات سنگین از مواد سبکی همچون چسب کائوچو، کاغذ فشرده و چرم برای ساخت اندام مصنوعی بهره برد. بیشترین اندام های قطع شده مربوط به افراد مبتلا به زخم های دیابتی است. همچنین سربازان که به دنبال اصابت گلوله و ترکش اندام های خود را از دست می دهند در این

گروه قرار دارند. این افراد و هزاران فرد دیگر که به علل مختلف اندام های خود را از دست می دهند محققان را بر آن داشته اند تا بیش از گذشته در زمینه تکنولوژی بیونیک تحقیق کنند.[۸]

در روزگار ما هم ماجرای پیشرفت‌های تکنیکی در ساخت انـدام‌هـای مصـنوعی کـم و بـیش الگـوی مشابهی با گذشته خود دارد. در حقیقت باید گفت همچنان جنگ‌ها هستند که با ویرانی‌های پشـت‌سـر خود اسباب پیشرفت این صنعت را فراهم می‌کنند. پس از پایان جنگ جهانی دوم نارضایتی‌های گسترده اجتماعی موجب شد تا دولت آمریکا بخش قابل توجهی از بودجه تسـلیحاتی خـود را بـه جـای سـاخت اسلحه به پروژه‌های ساخت اندام‌های مصنوعی کارآمدتر اختصاص دهد.[۱۰]

امروزه اندام‌های مصنوعی که از پلاستیک و کامپوزیت‌های پیچیده ساخته می‌شوند بسیار سبک‌تـر و قابل تحمل‌تر هستند. همچنین به کارگیری میکروربات‌ها موجب شده است تا عـلاوه بـر ظـاهر طبیعـی بیشترین کارایی ممکن را داشته باشند.

امروزه با بکارگیری دانش های مهندسی در علوم توانبخشی دریچه جدیدی به روی معلولین باز شده و ایشان می توانند با استفاده از سیستم های طراحی شده توسط مهندسین زندگی بهتری را پیش رو داشته باشند دست مصنوعی از لحاظ کلی به سه گروه تقسیم می گردد که این سه گروه خود شامل زیر شاخه هایی هستندکه بسته به شرایط جسمی معلول و هزینه های مربوطه انتخاب می گردند. گروه اول: پروتز هایی می باشند که فقط برای زیبایی ساخته شده و پنجه هیچگونه حرکتی ندارد. گروه دوم: پروتزهایی می باشند که علاوه بر زیبایی شامل پنجه متحرک هستند و معلول می تواند بوسیله آن عمل گرفتن اجسام را انجام دهد، نیروی لازمه توسط حرکت عضلات بدن تأمین می گردد. گروه سوم: وجه تمایز گروه سوم با گروه دوم در این است که نیروی لازم برای گرفتن اجسام توسط منبع ذخیره انرژی که بر روی پروتز نصب می باشد تأمین می گردد. لازم به ذکر است که گروه سوم کامل ترین نوع پروتز دست است که در این پروژه توضیحات مختصری در مورد آن ارائه می گردد. پنجه پروتز: پنجه یکی از

بخشهای پروتز می باشد که ایجاد حرکت و وارد کردن نیرو به اجسام توسط این قسمت انجام می پذیرد. این قسمت پروتز جایگزین پنج انگشت و کف دست طبیعی می شود و باید برای طراحی آن عوامل زیر را در نظر گرفت. ۱- شکل ظاهری : یکی از دلایل استفاده از دست مصنوعی رفع مشکلات روانی ناشی از کمبود عضو می باشد، لذا دست مصنوعی باید به گونه ای طراحی گردد که از لحاظ ظاهری شباهت زیادی به دست طبیعی داشته باشد. ۲- اندازه پنجه: پنجه باید طوری طراحی شود که بتوان آن را به اندازه دست طبیعی برای افراد ساخت تا موجب اختلاف طول و حجم بین دست سالم و دست مصنوعی نگردد . ۳- وزن پنجه: باید پنجه به گونه ای طراحی شود که حداقل وزن را داشته باشد چرا که وزن پنجه مستقیماً از طریق سوکت به بدن معلول منتقل و موجب خستگی و ناراحتی شخص می گردد. ۴- نحوه کنترل: پنجه باید به طوری طراحی شود که با سیستم کنترل های قابل نصب بر روی بدن کنترل شود. ۵- نحوه حرکت پنجه: پنجه باید به گونه ای طراحی گردد که نحوه حرکت آن مشابه دست طبیعی باشد تا هنگام حرکت تفاوتی با دست طبیعی نداشته باشد. ۶- میزان مصرف انرژی: منبع انرژی مورد نیاز باید به راحتی قابل نصب و حمل با پروتز باشد و بتوان زمان کاری معقولی را برای آن در نظر گرفت. برای طراحی این قسمت مطالعاتی بر روی آناتومی دست طبیعی صورت گرفت.[۱۱]

تکنولوژی جدید ساخت اندام های مصنوعی نه تنها قدرت و انعطاف بیشتری را نوید می دهد بلکه پوست مصنوعی حساس به فشار و اندام هایی که با ذهن فرد کنترل می شود را نیز در برنامه کاری قرار داده است. با کمک آزمایش اندام های جدید که قابلیت یکپارچگی با گوشت و استخوان و سیستم عصبی را دارند از دست دادن اندام به فراموشی سپرده خواهد شد. هم اکنون دانشگاه های بزرگی چون جان هاپکینز و MIT در حال کار روی این نسل از اندام های مصنوعی هستند.

برای ساخت یک پروتز مصنوعی مراحل متعددی طی می شود. اولین مرحله ای که برای ساخت این پروتز ها در این فرایند طی می گردد ساخت یک پایه برای پروتز مصنوعی می باشد این مرحله به این

دلیل انجام می گیرد که پروتز ساخته شده به خودی خود نمی تواند به بدن فرد متصل گردد. برای این کار نیاز به قالب گیری و سپس روکش کردن مدل ساخته شده از قالب می باشد. پس از ساخت پایه نیاز به ساخت خود پروتز می باشد برای این کار ابتدا از یک مدل باید قالب گرفته شود. در گذشته این مدل می توانست دست فرد دیگری باشد و بر طبق آن استاندارد هایی برای یک دست تعریف می شد و اینگونه می توان گفت که این پروتز ها دارای استانداردهایی بر اساس اندازه قالب بودند و اگر کسی عضوی از بدن خود را از دست می داد دیگر نیاز به قالب گیری نبود و ممکن بود عضوی برای فرد ساخته شود که از نظر زیبایی هماهنگی کامل با دیگر اعضای بدن فرد را نداشته باشد. اما امروزه با پیشرفت تکنولوژی و ساخت نرم افزار های شبیه سازی کار برای ساخت پروتز های مصنوعی حتی از دیدگاه زیبایی شناختی هم به تکامل رسیده است. در این پروژه سعی شده است تا شرحی در مورد مواد و فرایند و تکنولوژی ساخت این پروتز ها شرح داده شود.

۲-انتخاب مواد مرتبط با فرایند

انتخاب مواد مربوط به فرایند:

بطور کلی می توان اینگونه بیان کرد که یک دست مصنوعی کار گذاشته شده برای بیمار از دو بخش پایه و بدنه تشکیل شده است که هر یک فرایند ساخت مربوط به خودش را دارد و هـر کـدام از مـواد و قسمت های مختلفی تشکیل شده اند.

شکل۲-1- قسمت پایه یک دست مصنوعی

شکل ۲-2- قسمت بدنه یک دست مصنوعی با روکش نیمه

قسمت بدنه از نظر نوع مواد بکار برده شده به دو بخش تقسیم بندی می شود. یکی پیلون یا اسکلت داخلی و دیگری روکش دست که روی پیلون قرار می گیرد و حالت دست را با رنگ واقعی ایجاد می کند. بطور کلی بخش پیلون از مواد کامپوزیتی ساخته می شود. رایج ترین نوع کامپوزیتی که در ساخت این قسمت بکار می رود کامپوزیتی است با الیاف کربن و SiC به همراه ماتریسی از پلی استر و اپکسی. از طرف دیگر پس از ساخت این پیلون روکشی روی ان اعمال می شود تا شکل کامل دست را به خود بگیرد که این روکش می تواند از جنس سیلیکون، لاتکس یا پلی اورتان باشد. در این بخش در ابتدا به شرح و توضیحی در مورد مواد تشکیل دهنده کامپوزیت که پیلون یا اسکلت داخلی را از روی آن می سازند می پردازیم و سپس مباحثی را در مورد روکش آن بیان می کنیم.

۲-۱- پیلون یا اسکلت کامپوزیتی

این قسمت از مواد کامپوزیتی شامل تقویت کننده هایی از الیاف شیشه و کربن و رزین اپکسی و پلی استر تهیه می شود که در ادامه شرحی از این مواد ارائه گشته.

۲-۱-۱- کامپوزیت و تعریف آن

تاریخچه مواد پلیمری تقویت شده با الیاف به سالهای ۱۹۴۰ در صنایع دفاعی و به خصوص کاربردهای هوا - فضا بر می گردند برای مثال در سال ۱۹۴۵ بیش از ۷ میلیون پوند الیاف شیشه به طور خاص برای صنایع نظامی، مورد استفاده قرار گرفته است. در ادامه با توجه به مزایای آنها، به صنایع عمومی نیز راه یافتند.

در کامپوزیتهای پلیمری حداقل دو جزء مشاهده می‌شود:

۱. فاز تقویت کننده که درون ماتریس پخش شده است.

۲. فاز ماتریس که فاز دیگر را در بر می گیرد و یک پلیمر گرماسخت یا گرمانرم می باشد که گاهی قبل از سخت شدن آنرا رزین می‌نامند.

خواص کامپوزیت ها به عوامل مختلفی از قبیل نوع مواد تشکیل دهنده و ترکیب درصد آن ها، شکل و آرایش تقویت کننده و اتصال دو جزء به یکدیگر بستگی دارد.

از نظر فنی، کامپوزیت های لیفی، مهمترین نوع کامپوزیت ها می باشند که خود به دو دستهٔ الیاف کوتاه و بلند تقسیم می‌شوند. الیاف می‌بایست استحکام کششی بسیار بالایی داشته، خواص لیف آن (در قطر کم) از خواص توده ماده بالاتر باشد. در واقع قسمت اعظم نیرو توسط الیاف تحمل می شود و ماتریس پلیمری در واقع ضمن حفاظت الیاف از صدمات فیزیکی و شیمیایی، کار انتقال نیرو به الیاف را انجام می دهد. ضمناً ماتریس الیاف را به مانند یک چسب کنار هم نگه می دارد و البته گسترش ترک را محدود می کند. مدول ماتریس پلیمری باید از الیاف پایین تر باشد و اتصال قوی بین الیاف و ماتریس بوجود بیاورد. خواص کامپوزیت بستگی زیادی به خواص الیاف و پلیمر و نیز جهت و طول الیاف و کیفیت اتصال رزین و الیاف دارد. اگر الیاف از یک حدی که طول بحرانی نامیده می شود، کوتاهتر باشند، نمی‌توانند حداکثر نقش تقویت کنندگی خود را ایفا نمایند.[۴]

الیافی که در صنعت کامپوزیت استفاده می‌شوند به دو دسته تقسیم می‌شوند:

لف)الیاف مصنوعی ب)الیاف طبیعی

کارایی کامپوزیت های پلیمری مهندسی توسط خواص اجزاء آنها تعیین می شود. اغلب آنها دارای الیاف با مدول بالا هستند که در ماتریسهای پلیمری قرار داده شده اند و فصل مشترک خوبی نیز بین این دو جزء وجود دارد.

ماتریس پلیمری دومین جزء عمده کامپوزیت های پلیمری است. این بخش عملکردهای بسیار مهمی در کامپوزیت دارد. اول اینکه به عنوان یک بایندر یا چسب الیاف تقویت کننده را نگه می دارد. دوم، ماتریس تحت بار اعمالی تغییر شکل می دهد و تنش را به الیاف محکم و سفت منتقل می کند.

سوم، رفتار پلاستیک ماتریس پلیمری، انرژی را جذب کرده، موجب کاهش تمرکز تنش می شود که در نتیجه، رفتار چقرمگی در شکست را بهبود می بخشد.

تقویت کننده ها معمولا شکننده هستند و رفتار پلاستیک ماتریس می تواند موجب تغییر مسیر ترک های موازی با الیاف شود و موجب جلوگیری از شکست الیاف واقع در یک صفحه شود.

بحث در مورد مصادیق ماتریس های پلیمری مورد استفاده درکامپوزیت ها به معنای بحث در مورد تمام پلاستیک های تجاری موجود می باشد. در تئوری تمام گرماسخت ها و گرمانرم ها می توانند به عنوان ماتریس پلیمری استفاده شوند. در عمل، گروه های مشخصی از پلیمرها به لحاظ فنی و اقتصادی دارای اهمیت هستند.

از الیاف متداول در کامپوزیت ها می توان به شیشه، کربن و آرامید اشاره نمود. در میان رزین ها نیز، پلی استر، وینیل استر، اپوکسی و فنولیک از اهمیت بیشتری برخوردار هستند. در بخش های بعدی،انواع الیاف ها و خواص و کاربردهای آنها می پرداریم.[۴]

الیاف شیشه مشهورترین تقویت کننده مورد استفاده در صنعت کامپوزیت می باشد .فایبرگلاس یا الیاف شیشه که پرکاربردترین کامپوزیت ها هستند، فیبرها یا الیاف ساخت بشر است که در آن، ماده ی تشکیل دهنده‌ی فیبر، شیشه است. الیاف شیشه‌ها، موارد استفاده‌های فراوانی از جمله در: ساخت بدنه‌ی خودروها و قایق های تندرو و مسابقه‌ای، کلاه ایمنی موتورسواران، عایقکاری ساختمانها و کوره‌ها و یخچال ها و ... دارند. ساختمان و اندازه‌ی این الیاف شیشه‌ها بسیار متغیر است. کوچکترین آنها به وسیله‌ی چشم غیر مسلح دیده نمی‌شود و بسیار ریز هستند. اندازه‌های کمی بزرگتر از آن ذراتی هستند

که در کارخانجات ساخت فرآورده های الیاف شیشه ها به کمک هوا نقل و انتقال یافتـه و سـبب سـوزش پوست و بینی و گلو می‌شود. الیاف شیشه متداولترین الیاف مصرفی کامپوزیت‌ها در دنیا و ایران است که متاسفانه در ایران ساخته نمی شود. انواع مختلفی از آن بصورت تجاری وجود دارند، ترکیبـات شـیمیایی این الیاف با هم متفاوت است و هر کدام برای کاربرد خاصی مناسب است. تقریباً ۹۰ درصد الیـاف مـورد استفاده در کامپوزیت های مهندسی الیاف شیشه می باشد. الیاف شیشه استحکام و سختی مناسبی دارد، خواص مکانیکی خود را در دماهای بالا حفظ می کند، مقاومت رطوبت و خوردگی مناسبی دارد و نسـبتاً ارزان است. تقسیم بندی شش نوع الیاف شیشه و ترکیب درصدهای آن در زیر نشان داده شده است:[۴]

GLASS-E	مصارف عمومی
GLASS-R	خواص مکانیکی بالاتر
GLASS-S	خواص مکانیکی بالاتر
GLASS-C	مقاومت شیمیایی مناسب
GLASS-ECR & GLASS-AR	مقاومت اسید و باز خوب

۲-۱-۱-۱- فرایند تولید الیاف شیشه

فرآیند تولید الیاف شیشه را می‌توان بصورت زیر خلاصه نمود:

۱- آماده سازی مواد خام: بیش از نیمی از مواد اولیه مورد اسـتفاده ماسـه سـیلیس اسـت و قسـمت اصلی هر نوع الیاف شیشه را تشکیل می دهد. سایر اجزاء شامل مقادیر نـاچیز سـایر ترکیبـات شـیمیایی می‌باشند.

۲- بخش اختلاط (Batch House): در اینجا مواد با هم مخلوط شـده بـرای قسـمت کـوره آمـاده می‌شوند. اصطلاحا به این توده مخلوط، Batch گفته می‌شود.

۳- کوره: دمای کوره به اندازه کافی زیاد است تا ماسه و سایر اجـزاء را ذوب کنـد و بصـورت شیشـه مذاب در آورد. سطح داخلی کوره با آجرهـای مخصوصـی سـاخته شـده اسـت کـه در دوره‌هـای زمـانی مشخص تعویض می‌شوند.

۴- بخش Bushing: شیشه مذاب روی سینی هـای پلاتینـی مقـاوم حرارتـی متعـدد، جریـان پیـدا می‌کند. در این سینی‌ها هزاران روزنه وجود دارد که بوشینگ نامیده می‌شوند.

۵- تشکیل الیاف: جریان شیشه مذاب از درون بوشینگ‌ها بیرون کشیده می‌شود و تا قطر معین نازک می‌شوند، سپس توسط آب یا هوا خنک می‌شوند تا الیاف تشکیل شوند.

آهار زنی: الیاف مو مانند، با یک مخلوط شیمیایی مـایع کـهSizing نامیـده مـی شـود، پوشـش داده می‌شوند. آهار زنی به دو علت اصلی انجام می‌شود:

۱. برای محفوظ ماندن الیاف از سایش به یکدیگر در طی فرآیند ساخت و کار.

۲. به منظور حصول اطمینان از چسبندگی الیاف به رزین.

دسته (strand): یک دسته از چند تاو (tow) تشکیل شده است و هر تـاو بیـانگر تعـداد لیفهـایی (fiber) است که از یک بوش ریسیده می‌شوند به عنوان مثال می‌تواند دویست لیف باشد. مجموعه‌ای از دسته‌ها، یک رشته (roving) نامیده می‌شود. یک تاب مختصر به رشته داده می‌شود تا کار کردن با آن آسانتر شود. برای کامپوزیت های الیاف پیوسته، انتخاب نوع الیاف، بستگی به فرآیند شکل دهی و میزان آرایش یافتگی الیاف دارد.[۴]

۲-۱-۱-۲- فرایند ساخت کامپوزیت پیچشی

پاشش رزین (spray up)

در تلاش برای افزایش اتوماسیون فرآیند دستی، روش های مختلف پاشش رزین ابداع شده‌اند. این روش ها با کاربرد رشته‌های (roving) ارزانتر، کاهش زمان اعمال رزین و آغشته سازی الیاف و به

حداقل رساندن اتلاف مواد، قیمت کلی کامپوزیت حاصل را کاهش می‌دهند. در فرآیند پاشش رزین، الیاف و رزین بطور همزمان رو یا درون یک قالب پاشیده می‌شوند. الیاف رشته‌ای به یک خردکن وارد شده و بعد داخل جریانِ رزین همراه کاتالیست قرار می‌گیرند. رزین و کاتالیست ممکن است دریک تفنگ پاشش (spray gun) و یا از دو تفنگ پاشش وارد شوند و در هر حال وقتی به قالب می‌رسند، با هم مخلوط شده‌اند. سیستم پاشش ممکن است با هوا باشد. به منظور سهولت کار با دستگاه، معمولا تفنگ پاشش به یک میله متحرک آویزان است.

پس از پاشش رزین و الیاف و نشستن آنها روی قالب، از الیاف آغشته به رزین، حباب های هوا توسط غلطک کاری خارج می‌شوند و الیاف کاملا خوابانده می‌شوند و سطح صاف می‌شود. لایه‌های بعدی رزین و الیاف را نیز می‌توان تا رسیدن به ضخامت مطلوب اعمال نمود. سپس قطعه را در فشار و دمای محیط پخت می‌کنند، هر چند می‌توان با اعمال حرارت، پخت را سریع کرد.

رزین های مورد استفاده دراین فرآیند معمولا پلی استر و اپوکسی هستند. با پاشش ژل کوت روی قالب می‌توان یک سطح نهایی عالی ایجاد کرد. طی فرآیند پاشش رزین، به منظور افزایش مقاومت در یک جهت یا محل خاص می‌توان الیاف پارچه‌ای را به آن اضافه نمود. قالب‌های فرآیند می‌توانند از جنس چوب، وینیل پلی استر، اپوکسی، لاستیک و یا فولاد باشند.[۳]

کامپوزیت های الیاف طبیعی مصرفی در قطعات خودروها علاوه بر داشتن حداقل خواص مکانیکی، از رفتار شکست بسیار خوبی برخوردار هستند. این کامپوزیت ها به صورت غیر ناگهانی و تدریجی می شکنند و همچنین در حین تصادفات، کمتر لبه های تیز و برنده که سرنشین خودرو را زخمی کند تولید می کنند. این کامپوزیت ها به طور خلاصه نسبت به مواد متداول از خواصی مناسب زیر برخوردارند:

۱) سطح نهایی بسیار صاف و نرمی دارند.

۲) ظاهر آنها بسیار بهتر از پلاستیک های ارزان قیمت است.

۳) ازنظر حرارتی در برابر شعله بسیار مقاوم تر از پلاستیک ها هستند.

۴) جاذب اصوات بیرونی هستند.

۵) به مرور زمان تغییر شکل نمی دهند.

۶) نسبت به تغییرات جوی همچون رطوبت مقاوم هستند.

۷) هزینه پایینی دارند.

۲-۱-۲- الیاف کربن

الیاف کربن نسل جدیدی از الیاف پر استحکام است . این مواد از پیرولیز کنترل شده گونه هایی از الیاف مناسب تهیه می شود؛ به صورتی که بعد از پیرولیز حداقل ۹۰ درصد کربن باقی بماند. الیاف کربن نخستین بار درسال ۱۸۷۹ میلادی زمانی که توماس ادیسون از این ماده به عنوان رشته پرمقاومت در ایجاد روشنایی الکتریکی استفاده کرد، پای به عرصه علم و فن آوری گذاشت. با این حال درآغاز دهه ۱۹۶۰ بود که تولید موفق تجاری الیاف کربن، با اهداف نظامی و به ویژه برای کابرد در هواپیمای جنگی، آغاز شد. دردهه های اخیر، الیاف کربن در موارد غیر نظامی بسیاری، همچون هواپیماهای مسافربری و باربری، خودروسازی، ساخت قطعات صنعتی، صنایع پزشکی، صنایع تفریحی – ورزشی و بسیاری موارد دیگر کاربردهای روزافزونی یافته است. الیاف کربن در کامپوزیت های با زمینه سبک مانند انواع رزین ها به کار می رود. کامپوزیت های الیاف کربن در مواردی که استحکام و سختی بالا به همراه وزن کم و ویژگی های استثنایی مقاومت به خوردگی مدنظر باشند، یگانه گزینه پیش روست. همچنین هنگامی که مقاومت مکانیکی در دمای بالا، خنثی بودن از لحاظ شیمیایی و ویژگی ضربه پذیری بالا نیز انتظار برود، بازهم کامپوزیت های کربنی بهترین گزینه هستند . با توجه به این ویژگی ها، پهنهٔ گسترده موارد کاربرد این ماده در گستره های گوناگون فن آوری به سادگی قابل تصور است.[۴]

خواص مکانیکی بالا، چگالی پایین، مقاومت مکانیکی و مدول بالا، مقاومت در برابر اصطکاک و دمای بالا، دوام و عمر طولانی در برابر مواد شیمیایی و نفوذ ناپذیری در برابر اشعه X از بارزترین خصوصیات الیاف کربن بشمار می رود. به همین دلیل الیاف کربن در تکنولوژی نوین پیشتاز می باشد. به جرات می توان تمام پیشرفت های بشر درصنایعی نظیر هوافضا، خودرو و محصولات ورزشی و صنایع دیگر را مرهون خواص بی نظیر این محصول دانست.

الیاف کربن را می توان براساس مدول الاستیک، استحکام و دمای نهایی عملیات حرارتی به گروه های زیر دسته بندی کرد

۲-۱-۲-۱- دسته بندی الیاف کربن براساس ویژگی ها

۱- الیاف کربن با ضریب کشسانی بسیار بالا ؛ بیشتر از ۴۵۰ گیگا پاسکال.

۲- الیاف کربن با ضریب کشسانی بالا؛ بین ۳۵۰ تا ۴۵۰ گیگا پاسکال.

۳- الیاف کربن با ضریب کشسانی متوسط ؛ بین ۲۰۰ تا ۳۵۰ گیگا پاسکال.

۴- الیاف کربن با استحکام کششی بالا و ضریب کشسانی پایین ؛ استحکام کششی بیش از ۳ گیگا پاسکال و ضریب کشسانی کم تر از ۱۰۰.

۵- الیاف کربن با استحکام کششی بسیار بالا ؛ بالاتر از ۴/۵ گیگا پاسکال.

شکل ۲-3- الیاف کربن به صورت کلافی

۲-۱-۲-۲- دسته بندی براساس نوع پیش زمینه

۱- الیاف کربن با پیش زمینه الیاف پلی اکریلونیتریل.

۲- الیاف کربن با پیش زمینه قیر صنعتی.

۳- الیاف کربن با پیش زمینه قیر مزوفاز.

۴- الیاف کربن با پیش زمینه قیر ایزوتروپیک.

۵- الیاف کربن با پیش زمینه الیاف ریون (ابریشم مصنوعی).

۶- الیاف کربن با پیش زمینه فاز گازی.

۲-۱-۲-۳- دسته بندی براساس دمای نهایی عملیات حرارتی

۱- الیاف نوع ۱، دمای عملیات حرارتی بالاتر از ۲۰۰۰ درجه سانتی گراد ؛ تولید کننده الیاف HM.

۲- الیاف نوع ۲، دمای عملیات حرارتی حدود ۱۵۰۰ درجه سانتیگراد ؛ تولید کننده الیاف HS.

۳- الیاف نوع ۳، دمای عملیات حرارتی کم تر یا حدود ۱۰۰۰ درجه سانتی گراد؛ تولید کننده الیاف با ضریب استحکام پایین.

۲-۱-۲-۴- کاربردهای الیاف کربن

الیاف کربن در موارد صنعتی گوناگونی به کارمی رود که در این جا نمونه هایی از آن ارایه شده است: صنعت حمل و نقل

کاربردهای صنعت حمل و نقل بدین گونه اند: مخازن گاز مایع خودروها، قطعات موتور، کمک فنر، شفت های انتقال نیرو، ملحقات چرخ و جعبه فرمان، لنت های ترمز، بدنه ماشین های مسابقه، بدنه کشتی ها و فنرهای لول.

صنایع ساختمانی و معماری

مواد ساختاری پل ها، ساز و کار پل های جمع شونده، تقویت کننده بتن های پرمقاومت، سازه های باربر، دیوارهای جداکننده، سازه های پیش تنیده برای کمک به سازه های بتنی حمل بار، استفاده در تعمیر ساختمان های در حال تخریب، استفاده در جداره داخلی تونل ها برای جلوگیری از ریزش تونل و استفاده در رمپ ها برای جلوگیری از ریزش خاک را می توان از کاربردهای ساختمانی این الیاف دانست.

صنایع هواپیما سازی و هوافضا

سازه های داخلی کابین مسافرین اعم از پانل های جداره صندلی ها و میزها، پوشش ها، اجزای سازه ای ماهواره ها، لبه بال هواپیماهای جنگنده، نوک هواپیماهای مافوق صوت، نازل موشک های دوربرد و قطعات حساس موتور هواپیماها نیز می توانند دارای الیاف کربن باشند.

صنایع پزشکی

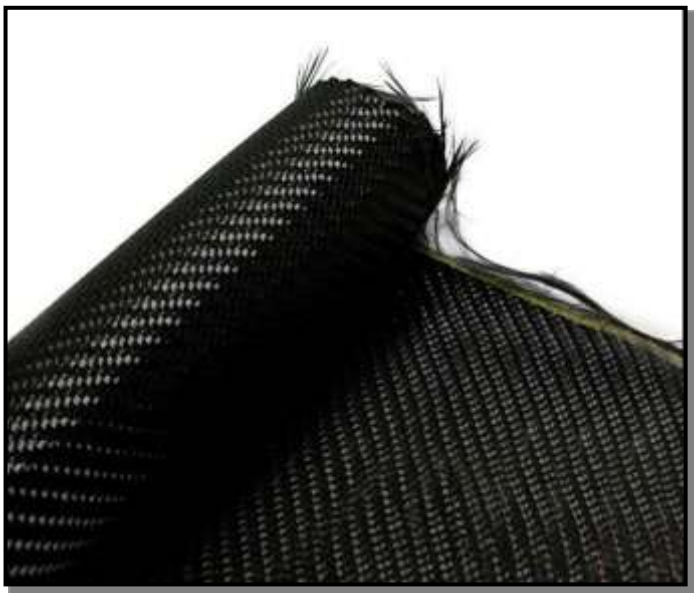
الیاف کربن در ساخت استخوان مصنوعی، اجزای تجهیزات پرتوی ایکس، صندلی های چرخدار، انواع اجزای مصنوعی بدن برای معلولین و دریچه قلب به کار می روند.

بخش انرژی

از جمله کاربردهای الیاف کربن در بخش انرژی، می توان بدین موارد اشاره کرد: باتریهای سوختی، پره های توربین و پره های آسیاب های بادی برای تولید برق از انرژی باد.

صنایع الکترونیک، تجهیزات الکتریکی و ماشین سازی

این کاربردها عبارتند از: قاب رایانه های همراه، اجزای رایانه ها، بازوی ربات های صنعتی، چرخ دنده‌ها، غلتک ها، چرخدنده های پرسرعت، قطعات خود روغنکاری شونده، آنتن ها، مواد عایق الکتریکی، مخازن تحت فشار، غلتک چاپ گرها و قاب تلفن های همراه.



شکل۲-4 - شمایی از الیاف کربن باز شده

۲-۱-۳- الیاف شیشه

الیاف شیشه مشهورترین تقویت کننده مورد استفاده در صنعت کامپوزیت می‌باشد و انواع مختلفی از آن بصورت تجاری وجود دارند که برخی از آنها عبارتند از:

E، S،C،ECR،AR. ترکیبات شیمیایی این الیاف با هم متفاوت است و هر کدام برای کاربرد خاصی مناسب است.

تقریباً ۹۰ درصد الیاف مورد استفاده در کامپوزیت های مهندسی الیاف شیشه می‌باشد. الیاف شیشه استحکام و سختی مناسبی دارد، خواص مکانیکی خود را در دماهای بالا حفظ می‌کند، مقاومت رطوبت و خوردگی مناسبی دارد و نسبتاً ارزان است. تقسیم بندی شش نوع الیاف شیشه و ترکیب درصدهای آن در زیر ادامه داده شده است

الیاف شیشه بدلیل دارا بودن الاستیسیته عالی، دانسیته پایین، مقاومت در برابر شوک های حرارتـی، قیمت پایین و عایق الکتریکی در موارد ذیل مورد استفاده قرار می گیرد:

صنایع عایق کاری، الکتریکی و صوتی، صنایع ورزشی، صنایع هوافضا، خودروسـازی، سـاخت نیروگـاه های بادی، کشتی سازی، صنایع نظامی، صنایع ساختمان و شیمیایی را می توان نام برد.

شکل ۲-5- شمایی از الیاف شیشه کاربردی در کامپوزیت

۲-۱-۳-۱- انواع الیاف شیشه

۱- الیاف نوع E: جهت کاربردهای الکتریکی و تقویت مکانیکی Reinforced.

۲- الیاف نوع S: جهت کاربردهای با خواص مکانیکی بالا High strength reinforcing.

۳- الیاف نوع C: جهت کاربردهای شیمیایی و مقاومت در برابر خوردگی.

۴- الیاف نوع R: جهت کاربردهای با خواص مکانیکی بالا.

ECR : مقاومت اسید و باز خوب.

AR-glass : مقاومت اسید و باز خوب.

۲-۱-۳-۲- اشکال مختلف الیاف شیشه

دسته (strand): یک دسته از چند تاو (tow) تشکیل شده است و هر تاو بیانگر تعداد لیفهایی (fiber) است که از یک بوش ریسیده می‌شوند به عنوان مثال می‌تواند دویست لیف باشد. مجموعه‌ای از دسته‌ها، یک رشته (roving) نامیده می‌شود. یک تاب مختصر به رشته داده می‌شود تا کار کردن با آن آسانتر شود. برای کامپوزیت های الیاف پیوسته، انتخاب نوع الیاف، بستگی به فرآیند شکل دهی و میزان آرایش یافتگی الیاف دارد.

تعداد تارهای (filament) یک رشته توسط تکس (tex) بیان می‌شود. به عنوان مثال ۶۰۰، ۱ ۲۰۰، ۲۴۰۰

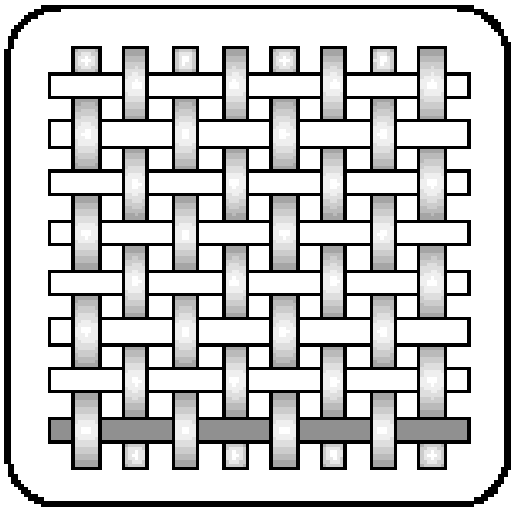
(1 tex = 1000m/g)

می‌توان رشته‌ها را خرد کرد (chopped) و برای تولید نمد شیشه (chopped strand mat) استفاده کرد. در این حالت از یک بایندر (binder) برای ثابت نگاه شدن الیاف در کنار هم استفاده می کنند. بایندر فوق به هنگام آغشته سازی الیاف با رزین خیس خوردگی (wet-out) را کنترل می‌کند و بنابراین آرایش اتفاقی الیاف در نمد حفظ می‌شود. انتخاب بایندر با توجه به کاربرد مواد انجام می گیرد و دوام یک قطعه کامپوزیتی می‌تواند متأثر از نوع بایندر باشد.

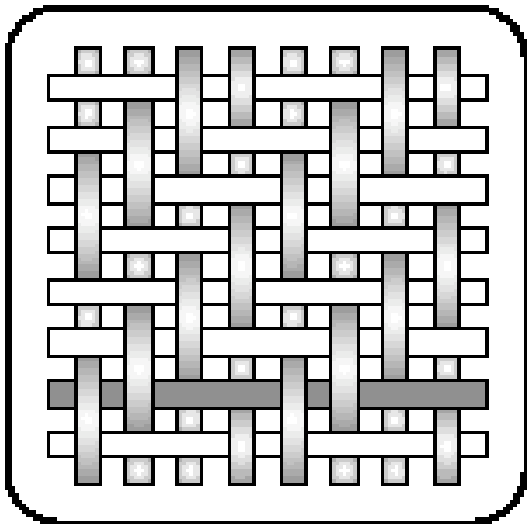
نمدهای الیاف پیوسته (continuous random mat) شکل دیگری از الیاف مورد استفاده می‌باشند که در آنها الیاف پیوسته با آرایش اتفاقی نمد درست می‌شود. این شکل از الیاف برای قرار گرفتن در قسمت های تیز و کنج قالب مناسبند و در این حالت الیاف آن نمی‌شکنند.

همچنین می‌توان از الیاف شیشه با طول های متفاوت برای کاربرد مستقیم در آمیزه سازی (BMC) استفاده کرد. طول الیاف در نمد (CSM) معمولا بیشتر از mm20 و بلندتر از الیاف مورد کاربرد در آمیزه سازی است. طول الیاف مورد استفاده در رزین های گرماسخت نیز بیشتر از گرمانرم هاست.[۴]

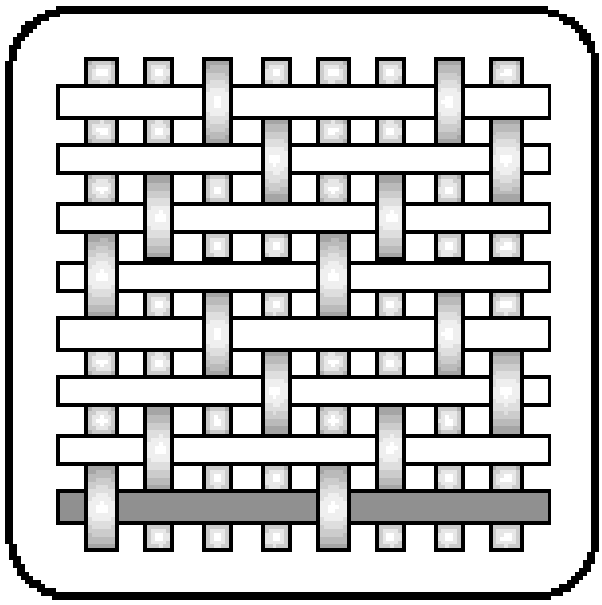
۲-۱-۳-۳- انواع بافت ها در الیاف شیشه



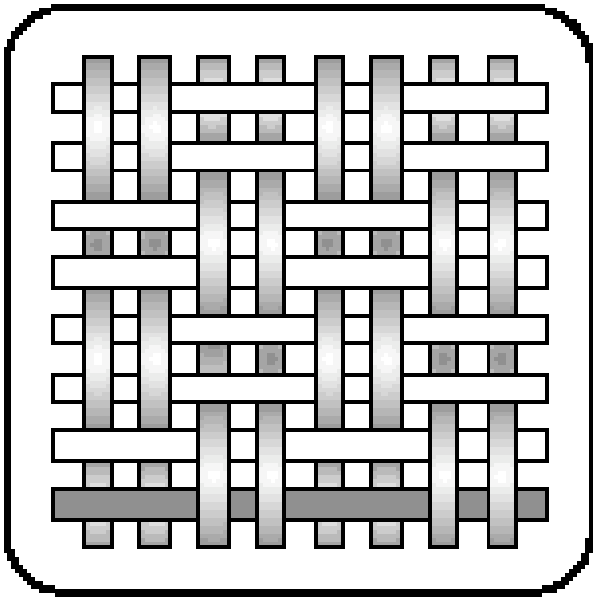
شکل۲-6- بافت Plain



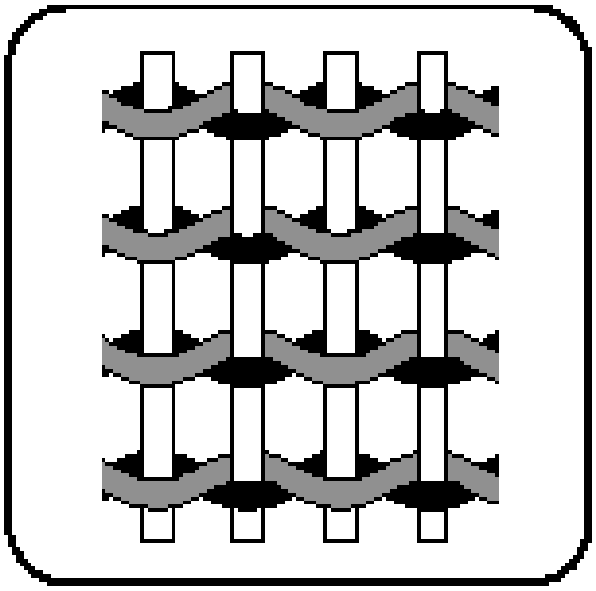
شکل۲-7- بافت Twill



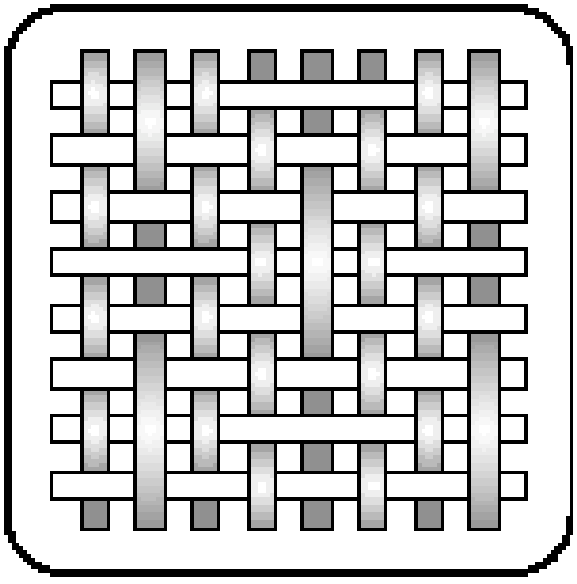
شکل۲-8- بافت Satin



شکل۲-9- بافت Basket



شکل۲-10- بافت Leno



شکل۲-11- بافت Mock leno

۲-۱-۴- پلی استر

Polyester resin

رزین پلی استر ماده ای است که در مجسمه سازی و کارهای صنعتی مورد استفاده قرار می گیرد. رزین پلی استر در ابتدا به شکل مایعی است به غلظت مربا، ولی وقتی با هاردنر مخلوط می گردد، پس از مدتی حرارت آن بالا می رود و به حالت ژله در می آید و سپس سخت و محکم می گردد. (در فارسی واژه "پلی استر" را که در اصل نام نوعی الیاف است، به جای رزین پلی استر هم به کار می برند.)

- به هنگام سفت شدن پلی استر، مولکول ها به هم نزدیک شده و مقداری از محلول نیز تبخیر می گردد. در نتیجه، حجم پلی استر بعد از بستن اندکی کاهش می یابد.

-پلی استر سخت شده را دیگر نمی توان به حالت مایع برگرداند (thermosetting plastic)

- مناسب ترین درجه برای کار با پلی استر، حرارت بیست درجه می باشد.

- پلی استر مایع، بوی زننده ای دارد و اگر روزانه مقدار پنج کیلوگرم از آن مصرف شود بی ضرر است، ولی بیش تر از این مقدار را باید در اتاقی که تهویه می شود انجام داد.

-رزین پلی استر به بعضی اجسام مثل چوب می چسبد. بنابر این باید داخل قالب را صاف بگیریم و از جداکننده ها در داخل آن استفاده کنیم. می توانیم از پارافین و یا فیلم استفاده کنیم. فیلم، مایعی است که با قلم مو بر سطح قالب زده می شود و پس از خشک شدن، یک لایه ی نایلون مانند نازک ایجاد می کند.

- رزین پلی استر باید درجای خنک و تاریک نگهداری شود. عمر رزین در صورتی که مرغوب باشد، به دوازده ماه می رسد.

- پلی استر بعد از بستن، محکم و غیر سمی می گردد و غیر متخلخل است. می توان آن را سوهان زد و یا با مته سوراخ نمود.

- می توان انواع رنگ های پودری را با رزین پلی استر مخلوط نمود تا به صورت رنگین در آید.

- رزین پلی استر در مقابل نور تغییر رنگ نمی دهد.

- هاردنرهای مورد اسفاده در پلی استر، به دو صورت مایع و خمیری وجود دارند. کار کردن با نوع خمیری ساده تر است، هاردنر مایع به رنگ آب است و بوی تندی دارد.[۱۴]

۲-۱-۴-۱- میزان هاردنر در رزین پلی استر

با کم و زیاد کردن هاردنر، می توان زمان سفت شدن را تنظیم نمود. قانون کلی میزان هاردنر در رزین پلی استر های شفاف، ۲ درصد است. رزین پلی استر در لایه های نازک خیلی به کندی سفت می شود و قسمت بالای آن به حالت چسبنده باقی می ماند. در این موارد، باید مقدار هاردنر را به ۴ درصد رساند. اگر ضخامت پلی استر زیاد باشد، احتمال ترک خوردگی پیش می آید که در این مورد، باید میزان هاردنر را یک درصد انتخاب نمود. وقتی که قالب پلاستیکی است و نسبت به حرارت حساس می باشد نیز باید میزان هاردنر را کاهش داد. اگر مقدار هاردنر از ۴ درصد تجاوز کند، باعث می شود پلی استر خیلی ترد و شکننده شود. برای این که پلی استر حالت قابل انعطافی داشته باشد، بایستی میزان هاردنر را یک درصد گرفت.[۱۴]

۲-۱-۴-۲- ماده ی شتاب دهنده در رزین پلی استر (کاتالیزور)

ماده ی شتاب دهنده مایعی است به رنگ بنفش که از ترکیبات کبالت می باشد. مقدار ماده ی شتاب دهنده در رنگ و زمان بستن پلی استر تأثیر می گذارد. بسیاری از شتاب دهنده ها زمان سفت شدن را به جلو می اندازند و باعث می شوند پلی استر میل به زردی یا قرمزی پیدا کند. ماده ی شتاب هنده در ایجاد حرارت به هنگام بستن نیز تأثیر می گذارد. وقتی ماده ی شتاب دهنده بیش تر باشد، به دلیل تسریع عمل پلیمریزاسیون، حرارت بیشتری تولید می گردد. برای آماده کردن پلی استر اول ماده ی

شتاب دهنده را در آن می ریزیم و خوب به هم می زنیم و سپس ماده ی هاردنر را به آن مـی افـزاییم. [۱۴]

۲-۱-۴-۳- زمان بستن پلی استر

زمان بستن پلی استر به مقدار ماده ی شتاب دهنده و مقـدار مـاده ی هـاردنر و دمـای هـوای اتـاق بستگی دارد. زمان بستن پلی استر شفاف، طولانی تر از زمان بستن پلی استر غیر شفاف است. درجـه ی حرارت پایین در اتاق باعث می شود عمل بستن به تعویق بیفتد. اگر درجه حرارت اتـاق زیـر ۱۵ درجـه سانتی گراد باشد، در پلی استر شفاف عمل سفت شدن صورت نمی گیرد. در این صورت گفته می شـود که پلی استر منجمد شده است. ولی پلی استر غیر شفاف در حرارت بالای ۱۲ درجـه مـی توانـد سـفت شود. لایه های نازک پلی استر برای سفت شدن به مدت طولانی تری نیاز دارند.

پلی استر بعد از بستن، تا چندین روز به سخت شدن ادامه می دهد. بنابراین باید برای صاف کاری آن بعد از چند روز که از قالب بیرون آمد اقدام نمود. مدت بستن پلی استر را می توان با قرار دادن مـدل در حرارت ۵۰ تا ۸۰ درجه به نیم ساعت رساند.[۱۴]

۲-۱-۴-۴- میزان انقباض پلی استر

پلی استرهای مختلف، معمولا بین ۳ تا ۵ درصد حجم خود را در طی زمان انعقاد از دست می دهند. این خاصیت دارای مزایا و ضررهایی است. مزیت آن در این است که به علت کوچک شدن، از قالب ساده تر بیرون می آید. ضرر آن در این است که اگر یک لایه از آن را روی لایه ی دیگـری کـه منعقـد شـده بریزیم، به علت این که لایه ی قبلی به علت انقباض با دیواره ی قالب فاصله پیدا کرده است، بـه داخـل آن فاصله راه پیدا می کند و و حجم زائدی را به وجود می آورد که بعدا باید تراشیده شود.[۱۴]

۲-۱-۴-۵- رنگ کردن مجسمه های پلی استری

می توان پودر رنگ را با پلی استر مخلوط نمود و خوب به هم زد و سپس کبالت را به آن اضافه کرد. پس از انجام مراحل بعدی و انعقاد مجسمه، وقتی آن را از داخل قالب بیرون بیاوریم، مجسمه رنگی یکدست خواهد داشت.

مجسمه های پلی استری را همچنین می توان با جوهر رنگ رنگ آمیزی کرد. با جوهر رنگ مقداری استون یا تینر فوری مخلوط می کنیم و با قلم مو آن را به روی مجسمه پلی استری می کشیم.

یکی دیگر از رنگ های مورد استفاده برای پلی استر، رنگ های آلکید می باشند.[۱۴]

۲-۱-۵- رزین های اپکسی

همانطور که اشاره شد یکی دیگر از موادی که می تواند به عنوان ماتریس در ساخت کامپوزیت برای پیلون استفاده می شود اپکسی است که در زیر توضیحاتی در مورد این ماده ذکر شده و انواع آن بیان گردیده.

۲-۱-۵-۱- رزین ژلکوت

در صنایع قالب سازی پلیمری اولین لایه ای که با محیط بیرون در تماس است لایه ژل کت می باشد ژلکت ها یک سطح صاف و مقاوم به مواد شیمیایی و ضربه بدون جمع شدگی ایجاد می کنند. این مواد را براساس محیط و شرایط کاری طبقه بندی می نمایند.

از دیگر خواص منحصر به فرد ژلکت ها می توان قابلیت ماشین کاری، مقاومت حرارتی بالا، رنگ پذیری و مقاومت سایشی و شیمیایی را نام برد. این مواد را پس از اعمال واکس برروی قالب یا مدل،

توسط قلمو یا دستگاه پاشش ژلکت روی سطح قالب یا قطعه پوشش می دهنـد. پـس از انجـام پوشـش بایستی قبل از انجام لایه گذاری سطح ژلکت بصورت آدامسی در آمده باشد.

دسته بندی کلی انواع ژلکوت ها بشرح ذیل می باشد:

۱- ژلکوت مقاوم به دما و تغیرات دمایی جهت قالبهای تزریق فوم، قالبهای تزریق رزین و غیره.

۲- ژلکوت مقاوم به سایش جهت قالب های فرم و مدل و فیکسچرها.

۳- ژلکوت دارای پودر آلومینیوم با قابلیت ماشین کاری و مقاومت گرمایی بالا جهت نگاتیوها و قالب های مختلف.

۲-۱-۵-۲- رزین لمینت

انواع لمینیت ها

۱-خمیرهای لایه گذاری

۲- رزین های لایه گذاری

۲-۱-۵-۲-۱- خمیرهای لایه گذاری

با استفاده ازاین مواد می توان به استحکام بسیار زیادی در قالب دست پیدا کرد. از این مواد عمدتا در محل هایی که از ژلکت به عنوان لایه اول استفاده شده اعمال می گردد.

رزین های اپوکسی که بصورت خمیر بوده و می توانند به عنوان لایه دوم پـس از لایـه ژلکـوت اسـتفاده شوند. این مواد ترکیبی از رشته های بلند الیاف شیشه با فیلرهای مخصوص می باشد. این ترکیب موجب تشکیل لایه ای با استحکام بالا می گردد. این مواد معمولا پس از ژلکت در قالب ها به عنوان پشـت ریـز مورد استفاده قرار گرفته و در ایجاد یک کپی مقاوم و مستحکم از مدل نقشی اساسی دارد. انتقال حرارت

عالی و حرارت زایی کم ازخصوصیات بارز این مواد می باشد. پس از عملیات لایه گذاری جهت رسیدن به خواص ماکزیمم می توان عملیات بازپخت را اجرا نمود.

کاربردعمده این مواد در کپی سازی مدل ها و پشت ریز در قالب های کامپوزیت و RIM ، ساخت محل هایی که نیاز به حجم داریم. این مواد قابل استفاده با دست و ماشین بوده و براحتی توسط ابزار ماشین کاری می گردد.

۲-۱-۵-۲-۲- رزین های لایه گذاری

این رزین ها دارای ویسکوزیته پایینی بوده و الیاف و پرکننده ها بخوبی در این رزین ها آغشته می گردند. با تغییر فرمولاسیون این رزین ها می توان زمان کارکرد Pot life را کنترل نمود.

رزین های اپوکسی لمینیت که عموما به عنوان دومین لایه پس از لایه ژلکت بکار می رود. این رزین ها قادرند به عنوان رزین های کامپوزیت که در ترکیب با الیاف و فیلر باعث افزایش خواص فیزیکی می گردد، مورد استفاده قرار گیرد. جمع شدگی رزین های لمینیت ناچیز بوده که همین امتیاز باعث کاربرد وسیع این رزین در صنایع کامپوزیت می گردد.

رزین های اپوکسی خمیری هستند که عموما بعنوان دومین لایه پس از ژلکوت استفاده می شود.

خواص

خمیرهای پر شده از رشته های بلند الیاف شیشه و فیلرهای مخصوص می باشد که می تواند به آن استحکام بسیار ببخشد. از آن می توان به عنوان پشت ریز در قالب هایی استفاده کرد که هم از ژلکوت سخت وهم از ریخته گی انعطاف پذیر تشکیل شده اند.

دراین گونه ازخمیرها از رزین اپوکسی با پرکننده های مخصوص که موجب افزایش ویسکوزیته با خواص Thixotropic می باشد، استفاده می گردد. این خمیرها جهت ساخت مدل اصلی استفاده شده و بدلیل

جذب آب در حد صفر عمر مفید آن ازمدل های چوبی و گچی بیشتر است. از خصوصیات بارز این مـواد می توان به قابلیت سنباده خوری همانند چوب اشاره نمود.

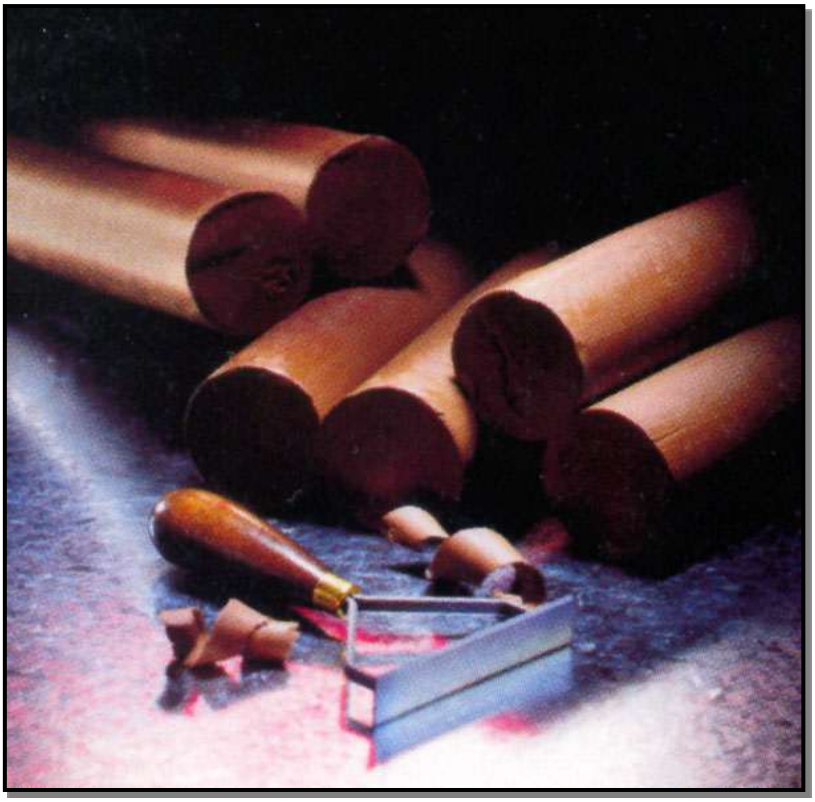
کاربرد: مدل سازی، ترمیم کننده قطعات کامپوزیتی و بلوک متریالها و....

شکل۲-12- مدل سازی قسمت داخلی درب اتوموبیل با استفاده از رزین لایه گذاری

۲-۱-۵-۳- خمیر های لمینت

گل مدلسازی

به دلیل خاصیت حفظ جزئیات مدل و راحتی استفاده و شکل پذیری و نیز عدم ترک خوردگی پـس از سالها آن را ایده آل برای برای طراحان، مدل سازها و هنرمندان نموده است. سالهاسـت کـه طراحـان اتومبیل از این مواد برای مدل سازی استفاده می نمایند. این مواد به جهت کاربرد دارای سختی و دسته بندی های مختلفی می باشد. سطح این مواد این خاصیت را دارد که بعد از سال هـا بتـوانیم بـا افـزودن مواد جدید آن را شکل پذیر نماییم. این مواد با مواد پایه مانند فوم و چوب اتصال خوبی برقـرار کـرده و پس از اتمام کار می توان با لاک و فیلم سطح کار را پوشش داد.



شکل۲-13- شمایی از گل خمیر مدل سازی آماده

۲-۱-۵-۴- چسب های اپکسی

این چسب ها بر پایه رزین اپوکسی بوده و با توجه به نوع کـاربرد دارای فرمولاسـیون هـای متفـاوتی می باشد. دراین چسب ها بدلیل ایجاد پیوندهای عرضی بین مولکول ها موجب ایجاد چسـبندگی بـالا و محکم می گردد. که این مواد را دربرابر حلال های نفتی و روغن ها مقاوم می نماید. استحکام فیزیکی و شیمیایی این نوع چسب ها به نوع فیلر بکار رفته در آن ها بستگی دارد. با انتخـاب فیلرهـای مخصـوص می توان مقاومت حرارتی این چسب ها را تا دمای ۳۵۰ درجه سانتیگراد بالا برد. این چسب ها عمدتا به نام چسب های دوقلو نام برده می شوند.

از تعدادی از این چسب ها می توان جهت اتصال مدل بوردها استفاده نمود.

شکل۲-14- چسب‌های اپکسی

۲-۱-۵-۵- رزین های ریخته گری

کستینگ ها

رزین هایی هستند که به عنوان آخرین لایه برروی لایه لمینیت مورد استفاده قرار می گیرد. در این رزین بدلیل وجود فیلر فلزی دارای بالاترین استحکام فیزیکی بوده و دربرابر انواع فشارها و حرارت مقاوم می باشد. از این رزین می توان در ضخامت های بالا استفاده نمود. قابلیت ماشینکاری این سیستم ها عالی بوده و بایستی در ضخامت های بالا جهت چسبندگی بهتر از خشک نبودن کامل لایه قبلی مطمئن شد.

کاربرد: ساخت قالب های الکتروفرمینگ، وکیوم فرمینگ، متال فرمینگ، ابزارسازی، ساخت قالب های تزریق پلاستیک، قالب های مقاوم در برابر فشار، دفن قطعات الکتریکی، قالب های مقاوم دربرابر حرارت، پوشش های مقاوم در برابر سایش و مواد شیمیایی، پشت ریز برای الگوها، مدل ها و جیگ و فیکسچر.

شکل۲-15- رزین ریخته گری اپکسی در حال ریختن روی مدل

۲-۲- روکش ایجاد شده بر روی پیلون

همانطور که پیشتر اشاره شد روکش ایجاد شده بر روی دست یا پای مصنوعی می تواند از موادی مانند سیلیکون، پلی اورتان و یا لاتکس باشد که در ادامه به ارائه توضیحاتی در مورد این مواد پرداخته شده.

۲-۲-۱- سیلیکون

۲-۲-۱-۱- سیلیکون های قالب سازی

سیلیکون ازجمله مواد پلیمری است که ازترکیب اتم های سیلیسیم و اکسیژن تشکیل شده است. این ساختمان مولکولی موجب مقاومت بیشتر آن در برابر حرارت نسبت به مواد آلی دیگر می گردد. با فرمولهای مختلفی از این مواد می توان به طیف وسیعی از حالت های فیزیکی دست یافت.

سیلیکون ها را می توان بصورت های مختلف تولید نموده و مورد استفاده قرارداد.

۱- سیلیکون های مایع (روغن سیلیکون).

۲- سیلیکون های گرما پخت (HTV) .

۳- سیلیکون های هواپخت (RTV).

سیلیکون های مایع: در مواقعی که بخواهیم ویسکوزیته سیلیکون مورد استفاده را کاهش دهیم از این مواد استفاده می نماییم. در ضمن این مواد باعث کاهش سختی پس از عملیات پخت نیز می گردند. بسیار واکنش ناپذیر هستند. این روغن ها با ختم زنجیر پلیمر به یک سیلان دارای یک گروه واکنش پذیر مانند تری‌متیل کلروسیلان و با انجام واکنش با آب تهیه می‌شوند. این روغن ها نسبت به سایر پلیمرها وزن مولکولی کمتری دارند و به‌عنوان روان کننده استفاده می‌شوند. در کروماتوگرافی مایع - جامد و مایع - مایع از سیلیکاژل به‌عنوان ماده جاذب استفاده می‌شود.[۹]

۲-۲-۱-۲- سیلیکون های Room temperature vulcanization (RTV)

قابلیت پخت در دمای اتاق و نیز انعطاف پذیری و عدم چسبندگی به سطوح را دارد. با توجه به ویسکوزیته این مواد می توان از این مواد در کپی برداری از سطوح و مدل ها استفاده نمود. این مواد بسیار منعطف بوده و استفاده از آن به دفعات تاثیری در کیفیت این مواد ندارد. با استفاده از کاتالیست های ویژه می توان سرعت پخت را تا حد زیادی افزایش داد.

کاربرد: ساخت قالب های عمومی، ساخت قالب های دقیق مدل سازی، ریخته گری های سریع و مکرر، تکثیر در سرامیک سازی، صنایع سرامیک سازی، صنایع مجسمه سازی، قالب ها ی مقاوم در برابر کشش، صنایع واشر سازی، ورق های طلاکوبی ، روان کننده ها و جدا کننده ها، قالب محصولات پیچیده با ابعاد دقیق.[۹]

۲-۲-۱-۳- سیلیکون های high temperature vulcanization (HTV)

با توجه به خواص بالای این مواد می توان از آنها در ساخت قطعاتی که درمعرض حرارت مـی باشـند استفاده نمود. ازجمله کاربردهای این مواد ساخت قالب های عمومی و ریخته گری مـی باشـد. از جملـه کاربردهای این مواد می توان به ساخت قالب های سرامیک سازی و واشر سازی نام برد.

رزین های قالب گیری RTV از نظر سیستم پخت به دو دسـته Condensation cure و Addition cure تقسیم بندی می گردد.

Condensation cure

در این نوع پخت از کاتالیست قلع استفاده می گردد و به آن اختصارا سری GI گفته می شـود. ایـن رزین در دمای محیط بسیار خوب پخت شده و بسیار خوب مخلوط و هـوا زدایـی مـی گـردد. ایـن نـوع سیستم جمع شدگی کمی از خود نشان می دهد و قالب های تولید شده بـا ایـن سیسـتم جهـت قالـب گیری پلی استر، اپوکسی، پلی اورتان، گچ و واکس عالی می باشد.

Additional cure

در این نوع پخت از کاتالیست پلاتینی استفاده شده و به آن اختصارا سری P گفتـه مـی شـود. ایـن سیستم موجب بهبود خواص حرارتی شده و توسط حرارت سرعت پخت افـزایش مـی یابـد. ایـن نـوع از رزین جهت ساخت قالب های فرایند جهت قالبگیری اپوکسی، فلزات با نقطه ذوب پـایین و پلـی اورتـان مناسب می باشد.

این سیستم با توجه به ویسکوزیته پایین، برای قالبسازی و قسمت هایی که بایستی انعطاف پذیر باشند استفاده می شود این سیستم در برابر پارگی بسیار مقاوم بوده و مقاومت کشسانی آن نیز بسیار بالاست. این مواد دارای زمان کارکرد نسبتا کوتاهی می باشند. این مواد دارای قابلیت ارتجاعی بالایی بوده و مقاومت بالایی به اسیدها و قلیاها دارد.[۹]

کاربرد این مواد در ریخته گری های سطحی می باشد.

شکل۲-16- قالب سیلیکنی روی نقش برجسته یکطرفه سیلیکن

۲-۲-۱-۴- لاستیک های سیلیکون

لاستیک های سیلیکون ، از پلیمرهای دارای گروه های مختلف واکنش پذیر و معمولاً به سه روش تهیه می‌شوند.

پخت تراکمی دوجزئی

تراکم دوجزئی پلیمرهای سیلیکون معمولاً با گروه های هیدروکسیل ختم مـی شـود. ایـن رزیـن هـا معمولا دارای یک عامل شبکه ساز مانند متیل سیلیکون مـی‌باشـند. بـرای انجـام واکـنش شـبکه‌سـازی معمولا از یک آغازگر مانند ترکیبات آلی قلع استفاده می شود. این واکنش ها معمولا دارای فراورده هـای فرعی هستند. مخصوصا اگر واکنش درفضای بسته صورت گیرد یا مواد اولیه به صورت لایه هـای ضـخیم استفاده شود.

پخت رطوبتی یک‌جزئی

سیلیکون های یک جزئی با رطوبت هوا پرورانده می شوند. سیستم های نمونه به گـروه هـای اسـتات ختم شده‌اند. دراثر ایجاد شبکه با رطوبت، استیک اسید آزاد می‌شـود. اسـید اسـتیک آزاد شـده در ایـن واکنش سبب خورده شدن فولاد، مس و سایر فلزات می شود. برای جلوگیری از ایـن مسـئله پلیمرهـایی تهیه شده‌اند که فراورده فرعی آنها خورنده نیست. اغلب سیستم‌های یک‌جزئی، از نوع دی‌متیل سیلیکون هستند.

پخت دوجزئی وینیل

می‌توان گروه های وینیل را به‌عنوان گروههای انتهایی وارد پلیمرهای سیلیکون ساخت.

بر اساس کاتالیست پخت مورد استفاده می توان نوع پخت فوق الذکر را انتخاب نمود.

۲-۲-۱-۵- محصولات دیگر سیلیکون

صمغ های سیلیکونی پلیمرهایی با وزن مولکولی بالا هستند. رقیق کننده های سیلیکونی سیال های واکنش ناپذیر سیلیکون هستند. سیلیکون های سخت در جلاهای سیلیکونی و رزینهای لعابی بکار می‌روند و گریس سیلیکون که از آمیختن سیلیکای اسفنجی با سایر پر کننده‌ها با روغن سیلیکون تهیه می‌شوند و کاربرد وسیعی در دماهای مختلف دارند.[۹]

۲-۲-۱-۶- خواص سیلیکون ها

سیلیکون ها چسبندگی بسیار خوبی دارند و برخی بطور طبیعی، چسب می باشند. سیلیکون ها بهترین رها ساز قالبی هستند. روغن سیلیکون به‌عنوان رهاساز قالب بکار می‌رود، اما ممکن است روی جسم قالب گیری شده منتقل شود و رنگ آمیزی را دشوار کند. مقاومت سیلیکون ها در برابر شرایط جوی بسیار خوب است. نور فرابنفش، ازن، آب و ... حتی برای مدت ده سال هم بر روی آنها بی‌اثرند. قارچ ها می‌توانند روی لاستیک های سیلیکون رشد کنند. اما با شوینده‌های قوی از بین می‌روند. در فرمول بندی‌های جدید ، سیلیکون های مقاوم در برابر قارچ هم تولید می‌شوند.[۹]

جدول ۲-۱- ویژگی های انواع سیلیکون ها

نوع سیلیکن	رنگ سیلیکن	درجه چسبندگی در ۲۳ درجه سانتی‌گراد	وزن مخصوص	سختی DIN 53505	استحکام کششی N/mm^2 DIN 53504 S 3 A	تغییر طول at break% DIN 53504 Stand. test bar III	مقاومت در مقابل پارگی N/mm ASTM D 624 Die B
RTV-M 400	زرد روشن	35 000 – 45 000	1,30	23 ± 3	2,0	250	4
RTV-M 426	خرمائی	20 000 – 30 000	1,44	60 ± 5	4,5	120	5
RTV-M 428	خرمائی	20 000 – 25 000	1,49	80 ± 5	5,5	100	5
RTV-M 457	خاکستری روشن	25 000 – 35 000	1,24	40 ± 3	3,0	250	4
RTV-M 480	خاکستری متمایل به سفید	300 000 – 400 000	1,20	55 ± 5	4,5	170	8
RTV-M 533**	مرواریدی	40 000 – 50 000	1,16	25 ± 3	5,0	380	22
RTV-M 540***	مرواریدی	50 000 – 60 000	1,19	35 ± 3	5,5	300	22
RTV-M 539	رنگ وازلین	Paste - Like	1,11	20 ± 3	4,0	600	28

نوع سیلیکن	رنگ سیلیکن	درجه چسبندگی در ۲۳ درجه سانتی‌گراد	وزن مخصوص	سختی DIN 53505	استحکام کششی N/mm^2 DIN 53504 S 3 A	تغییر طول at break% DIN 53504 Stand. test bar III	مقاومت در مقابل پارگی N/mm ASTM D 624 Die B
RTV-ME 622[1])	قرمز	40 000 – 70 000	1,17	23 ± 3	5,5	550	9
RTV-ME 628[1])	خاکستری	150 000 – 200 000	1,24	47 ± 5	3,4	230	10
HF 1	خاکستری متمایل به سفید	Kneadable	1,28	55 ± 5	4,5	230	11
HF 6	خرمایی	20 000 – 30 000	1,44	60 ± 5	4,5	110	5
HF 7	خرمایی	18 000 – 24 000	1,32	50 ± 3	6,0	150	5
HF 8	خرمایی	18 000 – 24 000	1,53	70 ± 3	6,0	90	5

خصوصیات ویژه	زمان لازم برای لاستیکی شدن به ساعت	زمان لخته بستن به دقیقه	ماده سخت کننده یا هاردنر	زمان لازم برای لاستیکی شدن به ساعت	زمان لخته بستن به دقیقه	ماده سخت کننده یا هاردنر	نوع سیلیکن
قابل ریختن ، با کشش لاستیکی زیاد	5-7 4-6	Appr.40 Appr.20	2%T40 3%T40	15-20 9-12	appr . 180 appr . 90	2%T37 3%T37	RTV-M 400
با چسبندگی کم، سفت – مقاومت به حرارت	3.5-4 1.5-2	40 20	2%T40 3%T40	20-25 5.5-6	90 80	3%T37 4%T37	RTV-M 426
با چسبندگی کم، سفت – زیاد مقاوم در مقابل حرارت	7-8	Appr.50	2%T40	14-16	appr . 100	3%T37	RTV-M 428
قابل ریختن ، با کشش لاستیکی زیاد، برای همه گونه مصرف – درصد کشش طولی برای پارگی	3-3.5 2-2.5	Appr.15 Appr.10	2%T40 3%T40	18-20 8-10	150 60	2%T37 3%T37	RTV-M 457
قابل مالیدن، با حالت پلاستیکی متوسط	3-4 1.5-2.5	40-50 20-30	2%T40 3%T40	10-15 7-10	150-200 100-150	3%T37 4%T37	RTV-M 480
قابل ریختن، با کشش لاستیکی زیاد، مقاوم در مقابل پاره شدن همه نوع مصرف	8-10	30-40	5%T46	15-20	90-110	5%T35	RTV-M 533**
قابل ریختن، با کشش لاستیکی زیاد، مقاوم در مقابل پاره شدن، قابل استفاده برای پلی اوره‌اتان مالیدنی، غیرسیال	8-10	25-35	5%T46	15-20	60-70	5%T35	RTV-M 540***

خصوصیات ویژه	زمان لازم برای لاستیکی شدن به ساعت	زمان لخته بستن به دقیقه	ماده سخت کننده یا هاردنر	زمان لازم برای لاستیکی شدن به ساعت	زمان لخته بستن به دقیقه	ماده سخت کننده یا هاردنر	نوع سیلیکن
با کشش لاستیکی زیاد، مقاوم در مقابل پارگی، مناسب برای قالبهای جدار نازک مالیدنی، با کشش لاستیکی، مناسب برای پلی اوره‌اتان	6-8 4-6	Appr.50 Appr.25	4%T46 5%T46	20-24 10-15	appr . 180 appr . 100	4%T35 5%T35	RTV-M 539
قابل ریختن، نرم و مناسب برای پلی اوره‌اتان	24 h at RT Appr. 20 min at 70				60	Comp A:B 9:1	RTV-ME 622[1])
قابل ریختن، با کشش متوسط لاستیکی، مناسب برای پلی اوره اتان در فشارهای بالا	24 h at RT 30 min at 70				45	Comp A:B 9:1	RTV-ME 628[1])
مالیدنی، نیمه سفت ، بصورت اندود مکرر	4-5	60-90	2% T 40 (Paste)				HF 1
با چسبندگی کم، سفت، بصورت اندود مکرر	3.5-4	40-50	2% T 40				HF 6
با چسبندگی کم، با کشش لاستیکی متوسط، بصورت اندود مکرر	6-8	40-50	2% T 40				HF 7
با چسبندگی کم، خیلی سفت، بصورت اندود مکرر	4-6	40-50	2% T 40				HF 8

ادامه جدول ۲-۱

۲-۲-۲- پلی اورتان

پلی اورتان ها به دسته ای از مواد شیمیایی اطلاق می شوند که از واکنش پلیول ها و ایزوسیانات ها به عنوان قسمتی از مواد اصلی PU ساخته می شوند. پلی اورتان که با نام پلی کربامات هم شناخته می شود به دسته ای از ترکیبات بزرگتری به نام پلیمر تعلق دارد.

جهت ساختن پلیمرهای پلی اورتان حداقل دو گروه ماده واکنشی به شرح ذیل مورد نیاز می باشد:

الف- ترکیباتی از خانواده ایزو سانات ها.

ب- ترکیبات اتم هیدروژن فعال.

۲-۲-۲-۱- تاریخچه پلی اورتان

اولین بار اتو بایر و همکارانش در سال ۱۹۳۷ در لابراتوار AG FARBEN در شهر لورکوزن آلمان موفق به کشف پلیمرهای پلی اورتان شدند.

بعد از آن برای اولین بار پلیول پلی اتر به صورت تجاری توسط دوپونت در سال ۱۹۵۶ معرفی شد. سپس در سال ۱۹۶۰ بیش از ۴۵هزار تن از فوم پلی اورتان انعطاف پذیر تولید شد و در سال ۱۹۶۷ رجید فوم که دارای استحکام و ثبات بیشتری بود ساخته شد. سپس در اواخر دهه ۶۰ میلادی استفاده از رجید فوم به عنوان مواد اصلی داخل اتومبیل گسترش یافت.

هم اینک پس از گذشت بیش از ۸ دهه پلی اورتان، به شکلهای مختلف از جمله فوم های سخت، فوم های انعطلاف پذیر، الاستومرها، ترمو پلاستیک الاستومرها، رزین، رنگ، پوشش و غیره مورد استفاده قرار می گیرند.

کاربرد پلی اورتان ها، پلی اوره ها و پراکنش های پلی اورتانی و سایر ترکیباتی شرکت کننده در واکنشهای آنها پیوسته در حال گسترش است.

پلی اورتان ها دسته ای از پلیمرهای پر مصرف با خواص عالی هستند. بـه همـین خـاطر، طراحـان و متخصصان صنایع پوشش دهی به خوبی توان بهره بردای از این ترکیبات را در کاربردهای گوناگون دارند مثال های متعددی برای کاربردهای فراوان این ترکیبات وجود دارد، از جمله پوشش هـای شـفاف بـرای پوشش دهنده های تک لایه مخصوص بام ها و رنگ های مشـخص کـردن محـل گـذر عـابرین پیـاده و غیره....

مقاومت پلی اورتان ها در برابر سایش ضربه و ترک خوردگی بسیار خوب است، از جمله ویژگی هـای آنها پخت سریع و کامل در دمای محیط است. پلی اورتان ها آلیفاتیک از انواع آروماتیک گرانتر هسـتند. به همین خاطر انواع آروماتیک و نمونه های اپوکسی دار در استری ها، رنگ هـای پایـه و پوشـش هـای رابط به کار می روند. در حالی که آلیفاتیک ها ویژه پوشش نهایی هستند. استفاده از پوشش های محافظ برای جلوگیری از پدیده خوردگی در ساختارهای فولادی که آستر و پوشش پایه آنها از نوع سامان هـای اپوکسی دار است، نمونه ای از کاربردهای مهم پلی اورتان ها محسوب می شوند. مورد دیگر، سامانه های پوشش دهنده کف است که در آن ها نیز انواع پوشش های پایه را می توان به کـار بـرد، گـاهی پوشـش نهائی از نوع اورتان برای لایه نهایی کف نیز کفایت می کند.[۸]

۲-۲-۲-۲- پلی اورتان انعطاف پذیر

این سیستم با توجه به ویسکوزیته پایین، برای قالبسازی و قسمت هایی کـه بایسـتی انعطـاف پـذیر باشند استفاده می شود این سیستم در برابر پارگی بسیار مقاوم بوده و مقاومت کشسـانی آن نیـز بسـیار بالاست. این مواد دارای زمان کارکرد نسبتا کوتاهی می باشند. این مواد دارای قابلیـت ارتجـاعی بـالایی بوده و مقاومت بالایی به اسیدها و قلیاها دارد. از این نوع پلی اورتان به عنـوان پوششـی بـر روی پیلـون دست برای قسمت هایی که نیاز به انعطاف پذیری دارند استفاده می شود.

۲-۲-۲-۳- پلی اورتان سخت فیلر دار

این مواد دارای فیلرهای خاصی بوده که می توان از آنها در حجم های بالا استفاده نمـود. ایـن مـواد همینطور از مقاومت دمایی بالایی برخوردار می باشد. از دیگر خصوصیات این مواد می تـوان بـه قابلیـت ماشین کاری، مقاومت حرارتی و سایشی بالا و تداوم ابعادی را نام برد. از جمله فیلرهای مورد مصرف در این مواد می توان به پودر آلومینیوم اشاره نمود که موجب ایجاد سختی بسیار بالا در این مواد می گردد.

کاربرد این مواد در ساخت الگو های ریخته گری، تولید مدل اولیه برای قالب های فرمینگ، تولیـد و تکثیر سریع قالب و قالب های مقاوم در برابر سایش می باشد.[۸]

شکل۲-17- چرخ دنده های ساخته شده با پلی اورتان سخت فیلر دار

۲-۲-۲-۴- پلی اورتان سخت بدون فیلر

این سیستم بدلیل ویسکوزیته بسیار پایین در الگوسازی و ریخته گری های بـا دیـواره نـازک کـاربرد دارد. قدرت انعطاف پذیری و مقاومت دمایی این مواد بالا می باشد. قابلیت افزودن فیلر، مقاومت بـالا در برابر رطوبت و استفاده در کارهای پیچیده بدون فیلر را نام برد. این مواد در بین پلی اورتـان هـا تقریبـا دارای پایین ترین ویسکوزیته می باشند

از کاربردهای های عمده این مواد می توان ساخت مدل ها و ریخته گری های دقیق و تولیـد سـریع مدل را نام برد.[۸]

شکل ۲-18- شمایی از پلی اورتان سخت بدون فیلر

۲-۲-۲-۵- پلی اورتان های وکیوم کستینگ

این مواد شفاف بوده و عمدتا در مواردی که شبیه سازی موادترموپلاستیکی مانندABS, PA , PP PMMA مد نظر است مورد استفاده قرار می گیرند. این مواد دارای سختی های متفاوتی بوده و دارای ویسکوزیته پایینی است و در برابر نورماوراء بنفش مقاوم می باشد. از این مواد می توان در ریخته گری های حجیم نیز استفاده نمود. این مواد همچنین بدلیل رنج وسیع کارکرد دارای مقاومت حرارتی بسیار خوبی نیز می باشند. این مواد دارای طیفی از رنگ های مختلف بوده و سرعت پخت آن بسیار بالاست. از این مواد جهت پشت ریز قالب نیز می توان استفاده نمود.[۸]

۲-۲-۲-۶- پلی اورتان سیستم RIM

این مواد عمدتا جهت شبیه سازی مواد ترموپلاستیک مانند PP بکار میرود. از خصوصیات عمده این مواد می توان به خشک شدن سریع این مواد اشاره نمود. این مواد در تولید قطعات با سرعت تولید بالا مناسب بوده و در تولید با روش Reaction injection moulding کاربرد دارد. مقاومت در برابر ضربه و مقاومت تا دمای حدودا ۲۰۰ درجه از خصوصیات بارز این مواد می باشد.[۸]

شکل۲-19- قطعه ساخته شده از پلی اورتان سیستم RIM

۲-۲-۳- لاتکس

امروزه تولید کالا های دیپ شده لاتکسی در بسیاری از کشور های جهان مورد توجه قرار گرفته است. علت این توجه را می توان در فرایند آسان با دستگاه های ساده ، ظرفیت پائین سرمایه گذاری در این زمینه نسبت به تولید قطعات با لاستیک جامد و صرفه جوئی در نیرو و زمان فرایند عنوان کرد. محصولات لاتکسی تهیه شده توسط فرایند دیپ شامل دستکش های صنعتی، خانگی، پزشکی و جراحی، بادکنک های هواشناسی، اسباب بازی و وسایل جراحی و غیره می باشد.[۱۶]

اولین گام جهت تولید محصولات لاتکسی شناخت انواع لاتکس، انتخاب لاتکس و روش فرایند تولید آن می باشد.

لاتکس بر اساس منبع تهیه به ۴ دسته طبیعی، سنتزی، مصنوعی و اصلاح شده تقسیم می گردد که عبارتند از :

۱- لاتکس طبیعی نتیجه متابولیسم طبیعی در درخت و گیاه می باشد .

۲- لاتکس سنتزی از فرایند پلیمریزاسیون امولسیونی منومر های مختلف بدست می آید مانند لاتکس کوپلیمر استایرن- بوتادین ، پلی کلروپرن ، پلی وینیل استات و . . .

۳- لاتکس مصنوعی از پخش توده پلیمر در یک سیال آبی بدست میاید مانند لاستیک ریکلیم شده ی پخش شده و یا الاستومر بوتیل پخش شده.

۴- لاتکس اصلاح شده از اصلاح (معمولا شیمیایی) انواع لاتکس بدست می آید.

روش های دیگری نیز برای طبقه بندی لاتکس وجود دارد ازجمله طبقه بندی لاتکس بر مبنای ساختمان شیمیایی پلیمر یا کوپلیمر های سازنده و یا بر مبنای ساختمان فیزیکی پلیمر ها که در روش اخیر ، لاتکس به دو دسته لاتکس های لاستیکی و لاتکس های رزینی تقسیم می گردد.[۱۶]

۲-۲-۳-۱- تعریف لاتکس

لاتکس را به ساده ترین شکل می توان به عنوان یک سیستم کلوئیدی و دو فازی متشکل از یک فاز جامد پراکنده در یک فاز مایع یا محیط پراکندگی تعریف نمود.

فاز مایع یا محیط پراکندگی را فاز پیوسته و یا فاز آبکی می نامند، هم فاز مایع و هم سیال آبکی که هنگام منعقد شدن لاتکس از آن به بیرون می تراود ، محلول های رقیق آبی می باشند که ممکن است تا اندازه ای در ترکیب شیمیایی با هم اختلاف داشته باشند.

فاز پراکندگی را فاز ناپیوسته یا گسسته نیز می نامند که شامل واحد های پلیمری عمدتا در PH بازی و بار الکتریکی منفی است. قطر ذرات کمتر از ۵ میکرون است و در محیط مایع مرتبا تکرار می شود. این واحد های پلیمری اغلب دارای شکل هندسی نامتقارن می باشد.

پایداری ذرات پلیمری لاتکس در فاز مایع به حضور موادی با سطح فعال مانند امولسیفایر ها و لایه ای از آب روی سطح ذره پلیمری مربوط می گردد. این لایه آبی باعث می شود که ذرات پلیمری آزادانه در فاز مایع حرکت کنند. بدین ترتیب سیستم دوفازی پایدار می ماند. علت جذب لایه آبی روی سطح ذرات پلیمری در لاتکس های طبیعی و سنتزی متفاوت است. در لاتکس طبیعی سطح خارجی پلیمر توسط یک لایه چربی و یک لایه پروتئینی احاطه شده است . لایه پروتئینی موجود در پلیمر قابل حل در سرم لاتکس می باشد و با تغییر PH فاز مایع یونیزه می شود. این یونیزاسیون بار روی پلیمر را تعیین می کند . به علت وجود این بار بر روی پلیمر جذب شدن ملکول های دوقطبی آب در اطراف آن لایه آبیس اطراف ذرات پلیمری در لاتکس طبیعی ایجاد می شود.

اما در لاتکس های سنتزی در هنگام فرایند پلیمریزاسیون امولسیونی از امولسیفار استفاده می کنند. ملکول های امولسیفایر در قسمت آبگریز خود به سطح پلیمر می چسبند بنابراین قسمت آبدوست روی ملکول اتمولسیفایر خارجی ترین سطح روی ذره پلیمری را ایجاد می کند. که با جذب آب سبب ایجاد لایه آبی در اطراف ذره پلیمری می شود.[۱۶]

به طور کلی پایداری ذرات لاتکس سنتزی تحت تاثیر عوامل زیر میباشد:

۱- استحکام میان سطحی ذره پلیمری و امولسیفایر،که به وسیله امولسیفایر جذب شده روی سطح ذره ایجاد می شود.

۲- لایه آبی،که خاصیت آبدوستی امولسیفایر موجب نگهداری آن اطراف ذره می شود.

۳- استحکام یونی، یون های هم پیوند با امولسیفایر جذب شده روی سطح ذره.

۲-۲-۳-۲- روش های فرایند لاتکس

پیش از پرداختن به آمیزه کاری لاتکس ارائه توضیحاتی در مورد روش های فرایند آن به علت نقش تعیین کننده نوع فرایند در انتخاب مواد افزودنی به آمیزه لاستیکی و همچنین به علت متفاوت بودن فرایند لاتکس نسبت به روش های معمول فرایند لاستیک جامد ضروری به نظر می رسد.

برای تولید قطعات لاتکسی ، از فرایند دیپ (غوطه وری) استفاده می کنند. در این فرایند ، ابتدا باید لاتکس با افزودن مواد مناسبی به صورت آمیزه درآید. در عمل دیپ ، قالبی را در آمیزه تهیه شده برای مدت زمان معین و مناسب غوطه ور می کند تا لایه اسی از آمیزه لاتکسی روی قالب بنشاند. سپس قالب از آمیزه خارج می شود تا این لایه یا فیلم تشکیل شده خشک یا پخت گردد . قالب ها با توجه به نوع قطعه شکل های متفاوتی دارند و می توانند از جنس آلومینیومی چینی یا سرامیکی باشند.

فرایند دیپ در کاربرد تجاری به سه روش انجام می شود که عبارت است از : دیپ مستقیم ، دیپ انعقادی ، دیپ حساس به حرارت.

روش دیپ مستقیم : قالب در آمیزه لاتکسی غوطه ور می گردد و سپس در هوای داغ پخت می گردد. ضخامت فیلم را می توان با تکرار عمل غوطه وری زیاد کرد. روش دیپ مستقیم مواقعی کاربرد دارد که ضخامت خیلی نازک مورد نظر باشد.

روش دیپ انعقادی: از آنجایی که اکثر لاتکس ها آنیونی می باشند هنگامی که در تماس با محلول های الکترولیت قرار می گیرند به طور خود به خودی و تغییر ناپذیر منعقد می شوند از این اثر در تولید کالاهای دیپ شده استفاده می کنند، ابتدا قالب در یک محلول الکترولیت (حمام انعقاد) غوطه ور شده سپس داخل آمیزه لاتکسی فرو برده میشود که در نتیجه این عمل لاتکس در تمای با قالب منعقد شده و به صورت ژل در می آید.[۱۶]

حمام انعقاد محلولی از یک یا چند نمک محلول در آب، الکل یا هر دو مـی باشـد .نیتـرات کلسـیم و مخلوطی از نیترات کلسیم و کلرید کلسیم نتایج بسیار خوبی را به عنوان الکترولیت ارائه می دهد.

روش دیپ حساس به حرارت در این روش موادی که حلالیـت معکـوس داشـته یعنـی بـا افـزایش دمـا حلالیت آنها کاهش می یابد و آمیزه لاتکسی افزوده می گـردد. از ایـن رو بـا بـالا رفـتن درجـه حـرارت لاتکس به طور خود به خود منعقد می شود. دمای انعقاد معمولا ۴۰ تا ۴۵ در جه سانتیگراد مـی باشـد. قبل از این که عمل دیپ انجام شود قالب در هوای داغ تا ۲۰ درجه سانتیگراد بالا تر از نقطه ذوب آمیزه حرارت می بیند و سپس قالب در آمیزه لاتکسیب فرو برده می شـود. فیلمـی از آمیـزه روی قالـب مـی نشیند . پس از خروج قالب از آمیزه باید آن را در هوای داغ نگه داری نمود تا فیلم حاصل به طور کامـل در تمام سطوح منعقد گردد. فاکتور هایی که روی ضخامت فیلم اثر می گذارند عبارتند از: دمـای قالـب، زمان دیپ و غلظت آمیزه لاتکسی.

معمولا زمان دیپ بین ۵ تا ۱۰ ثانیه است در این فرایند فیلم هایی ضخیم تـر از روش قبـل تولیـد مـی گردد.

از آنجایی که فرایند حساس به حرارت ، فیلم های با دیواره ضخیم ایجاد می کند در ایـن پـروژه از ایـن فرایند استفاده گردید.[۱۶]

۲-۲-۳-۳- لاتکس پلی کلروپرن

یکی از مواد لاتکسی می باشد که در ساخت روکش دسـت هـای مصـنوعی کـاربرد زیـادی دارد. در کاربرد های ویژه مانند تولید روکش ضد اسید با اینکه لاتکس طبیعی دارای خواص فیزیکی برجسـته از جمله ازدیاد طول در نقطه پارگی بالا، مقاومت خوب در برابر پارگی و مدولوس پائین می باشـد ولـی بـه علت عدم مقاومت آن در برابر حلال ها و مواد شیمیایی نمی توان از این لاتکس اسـتفاده کـرد بنـابراین

برای تولید روکش ضد اسید به خاطر مقاومت خوب کلروپرن در برابر حلال ها و مواد شیمیایی از لاتکس پلی کلروپرن استفاده می شود.

لاتکس پلی کلروپرن سیستم تشکیل شده از ذرات پلیمری ،کلرو و بوتادین پخش شده در فاز آبی می باشد. این لاتکس توسط سیستم امولسیونی تولید می شود لاتکس پلی کلروپرن پس از ولکانیزاسیون طیف وسیعی از خواص برجسته را دارا می باشد و به همین علت جایگاه ویژه ای در میان لاتکس های سنتزی دارد. آمیزه ولکانیزه شده لاتکس پلی کلروپرن از یک سو دارای خواص فیزیکی خوب و از سوی دیگر دارای مقاومت عالی نسبت به اثرات تخریبی حلال ها، مواد شیمیائی، فرسودگی حرارتی و آتش زائی می باشد یکی از ویژگی های لاتکس پلی کلروپرن کریستالی شدن آن است که تا حد زیادی به فرایند تولید آن بستگی دارد در نتیجه جهت گیری منظم ماکروملکول ها، کریستال ها تشکیل و پدیده کریستالیزاسیون رخ می دهد. این پدیده بر خلاف همو پلیمر ها در کوپلیمر ها مشاهده نمی گردد از أنجایی که تمام گرید های لاتکس پلی کلروپرن همو پلیمر می باشد (به جز دو گرید) پدیده کریستالیزاسیون در این لاتکس به وضوح مشاهده می گردد.[۱۶]

تقسیم بندی های متنوعی از لاتکس پلی کلروپرن ارائه می گردد. تقسیم بندی های ارائه شده در زیر که توسط بایر ارائه شده است ابتدا بر اساس میزان کریستاله شده و سپس نوع کاربرد می باشد :

الف -میزان کریستاله شدن:

۱- کریستاله شدن ضعیف.

۲- کریستاله شدن متوسط.

۳- کریستاله شدن قوی.

ب- نوع کاربرد:

۱- ساختمان آمیزه قیری

۲- قطعات دیپ شده.

۳- پلیمر فعال با ۴٪ متاکریلیک اسی.د

با توجه به گرید های مختلف لاتکس بای پرن T برای تولید قطعات دیپ شده مناسب می باشد از این رو این لاتکس برای تولید روکش ضد اسید استفاده گردیده.

آمیزه کاری :

عمل افزایش مواد مورد نیاز به لاتکس جهت تولید محصولات لاتکسی که نقش آن بهبود بخشیدن به محصولات مورد نظر می باشد، آمیزه کاری نامیده می شود. ترتیب افزودن مواد شیمیایی به لاتکس در آمیزه کاری نقش مهمی را بازی می کند.

می توان مواد شیمیایی به کار رفته برای آمیزه کاری را به دو دسته تقسیم کرد.

۱- مواد شیمیایی که به طو معمول به لاتکس افزوده می گردند مثل مواد پخت، شتاب دهنده، آنتی اکسیدان و ...

۲- مواد شیمیایی که روی ویژگیهای کلوئیدی لاتکس اثر می گذارند مثل پایدار کننده، عوامل حساس کننده به حرارت ،منعقد کننده و ...

در آمیزه کاری لاتکس لازم است که اجزا پیش از افزوده شدن به لاتکس در محیط آبکی به طور یکنواخت پخش شوند. تهیه محلول های آبکی به روش های متعدد به تناسب نوع مواد ، جامد یا مایع بودن، قابل حل یا نبودن آنها در آب انجام می شود.

اجزای قابل حل در آب به صورت محلولهای آبی به لاتکس اضافه می شوند . (البته پایدار نمودن لاتکس پیش از افزودن مواد شیمیایی و بخصوص محلول های بسیار غلیظ یا محلول هایی که PH بسیار متفاوتی با PH لاتکس دارند)

اجزای جامد یا مایعات غیر قابل حل در آب با استفاده از محلـول رقیقـی از مـاده ی پخـش کننـده مناسب به صورت دیسپرسیون و امولسیون در می آید و سپس به لاتکس افزوده می شوند. برای داشـتن بهترین خواص ممکن در قطعات ساخته شده ، لاتکس کلروپرن باید ولکانیزه شود . از آنجاییکه مکانیسم پخت (ولکانیزه شدن) پلی کلروپرن با کائوچوی طبیعی، الاستومر نیتریلی و الاستومر اسـتایرن بوتـادین متفاوت است، تفاوت های عمده ای را نیز در فرمولاسون آمیزه هایی که بر پایـه لاتکـس پلـی کلروپـرن هستند نسبت به لاتکس سایر کائوچو و الاستومرها پدید می آورند.[۱۶]

قطعات بر پایه ی لاتکس کلروپرن در حضور اکسید روی ولکانیزه می شوند . معمولاً اکسید روی فعال برای این منظور توصیه می گردد. این ماده علاوه بر ایجاد اتصالات عرضی، مقاومت در برابر فرسودگی، حرارت و عوامل جوی را افزایش می دهد. اکسید روی فعال نقش بسیار مهمی به عنوان پذیرنده ی اسید آزاد شده در آمیزه بازی می کند. به علت حضور کلر آلیلی در ساختمان مولکول ، اسید کلریدریک در محیط آزاد میشود .اکسیدروی فعال سید کلریدریک را جذب می کند که باعث افزایش مقاومت آمیزه نسبت به Aging می گردد. همچنین اثر حساس کننده و تغلیظ تدریجی لاتکس می شود.

گوگرد، اگرچه در تمام موارد مورد نیاز نیست اما سبب افزایش درجه ولکانیزاسیون می شود. این حالت برای کالا های دیپ شده خیلی مهم است زیرا افزایش درجه ولکانیزاسیون باعث کاهش کریستاله شدن می شود و از سخت شدن جلوگیری می کند.

در لاتکس کلروپرن هدف استفاده از شتاب دهنده ها بیشتر بالا بردن درجه ولکانیزاسیون است تا کوتاه تر کردن زمان پخت. البته بعضی از شتاب دهنده ها و یا ترکیبی از آن ها اثرات ویژه ای بر آمیزه دارد مانند افزایش مدول و استحکام کششی. شتاب دهنده اتیلن تیواوره و یا ترکیبی از دی فنیل اوره با دی فنیل گوانیدین برای لاتکس پلی کلروپرن مناسب می باشد. برای پخش مواد جامد (از جمله عوامل

پخت، شتاب دهنده و رنگ) در آب از عوامل پخش کنندگی استفاده می شود. عمده ترین عامل پخش گنندگی در مصرف لاتکس نمک سدیمی آلکیل نفتالن سولفونیک اسید می باشد .

به منظور ریز کردن ذرات جامد تا اندازه ذرات در سیستم کلوئیدی از ظرف مخصوص بالمیدی یا آسیاب توپی استفاده می شود در این ظرف توپ ها یا سنگ هایی با اندازه های متفاوت وجود دارد. ظرف بالمیل روی چند غلطک به طور مداوم می چرخد که در اثر چرخش سنگ های موجود درون ظرف عمل آسیاب شدن و پخش یکنواخت مواد راحت تر و بهتر انجام می شود افزایش محلول خیلی رقیقی از آلکیل نفتالن سولفونیک اسید به عنوان مواد جامد درون بالمیل، باعث می شود که به هنگام آسیاب شدن به سرعت حل شده و محلولی با ویسکوزیته پائین حاصل شود. عمل آسیاب شدن مواد جامد در ظرف بالمیل به مدت ۲۴ ساعت به طول می انجامد.

استفاده از آنتی اکسیدان ها مقاومت بالاتری در اثر تخریب، حرارت، اکسیژن، ازن و شرایط کارکرد دینامیکی ایجاد می کند و خواص الاستیکی و استحکامی آمیزه در مدت زمان طولانی تری حفظ می شود. آنتی اکسیدان مشتق دی فنیل آمین برای این منظور کاربرد دارد.

موادی که در زیر مورد برسی قرار می گیرند موادی هستند که روی ویژگی های کلوئیدی لاتکس تاثیر می گذارد.

برای پایدار کردن آمیزه لاتکس کلروپرنی از پایدار کننده پلی گلیکل اتر آروماتیک استفاده می شود امولوین W یک امولسیفایر غیر یونی است. از آنجایی که حلالیت امولسیفایر های غیر یونی با افزایش دما کاهش می یابد این نوع امولسیفایر هال برای پایداری آمیزه لاتکسی حساس به حرارت مورد استفاده قرار می گیرد امولوین W به سادگی در آب سرد قابل حل است و معمولا ۲۰ تا ۲۵ درصد آن استفاده می شود، این ماده نقطه جامد شدن لاتکس کلروپرن را کاهش می دهد.

از آنجایی که برای تولید روکش ضد اسید روش فرایند حساس به حرارت انتخاب شده است باید به آمیزه لاتکسی ماده ای اضافه نمود که هنگامی که قالب با دمای حدود ۴۰ تا ۵۰ درجه سانتی گراد وارد آمیزه می شود آمیزه به آن دما حساس شده و لایه ای از آن روی قالب منعقد می شود.

برای این منظور یعنی جهت حساس کردن آمیزه به حرارت از ماده حساس کننده به حرارت به نام coagulant ws که دارای ترکیب شیمیایی پلی سیلوکسان است به همراه محلول آبی نمک آمونیوم(کلرید آمونیوم) استفاده می شود coagulant ws در درجه حرارت های بالا به صورت ژل در می آید و اثر ناپایدار کننده بر لاتکس دارد همچنین قادر است با توجه به فرمولاسیون نقطه انعقادی در حدود ۳۲ تا ۸۰ درجه سانتیگراد ایجاد کند. نقطه انعقاد دمایی است که در آن دما آمیزه لاتکسی به صورت منعقد شده روی قالب می نشیند.

محلول رقیقی از آمونیوم کلراید می تواند به عملکرد coagulant ws کمک کرده و همچنین منجر به تنظیم دمای انعقاد گردد. بدین گونه با استفاده از مقادیر مختلف آمونیوم کلراید در فصول و شرایط آب و هوایی مختلف می توان نقاط انعقاد متفاوتی را برای آمیزه ایجاد نمود . به طور مثال در شرایط آب و هوایی گرم با استفاده از مقادیر کم آمونیوم کلراید ، دمای انعقاد آمیزه بالا می رود تا آمیزه ی لاتکسی در دمای محیط ناپایدار نگردد.[۱۶]

۲-۲-۳-۴- اقدامات عملی برای تهیه روکش

موادی که در بالا عنوان شد برای افزایش به لاتکس کلروپرن و تهیه آمیزه برای تولید روکش ضد اسید استفاده می شود . بعد از اینکه فرمولاسیون با مقادیر مشخص شده طراحی گردید که به صورت مرحله به مرحله ر آزمایشگاه آمیزه تهیه شد . با استفاده از قالب کوچکی عمل دیپ کردن و همچنین به دست آوردن ضخامت مورد نظر برای تهیه روکش متناسب با مدت زمان نگهداری در آمیزه (مدت زمان

دیپ کردن) انجام شد . عملیات خشک کردن و پخت فیلم ها به طور آزمایسشی برای کسب مدت زمان مناسب نیز در آزمایشگاه انجام گردید.

آمیزه ی لاتکس در چند مرحله به صورت زیر تهیه می شود:

پس از انتخاب لاتکس کلروپرن (مرحله ی اول) در مرحله ی دوم فرمولاسیون ،اکسید روی فعال ، شتاب دهنده ی NPV/C ، گوگرد و دوده با محلول ۵٪ آبی در ظرف بال میل مخلوط شدند . عمل آسیاب کردن این مواد به مدت ۲۴ ساعت به طول انجامید که مخلوط یکدست و یکنواختی حاصل گردید که سپس به لاتکس اضافه شد . در مرحله ی سوم چون آنتی اکسیدانت DDR به صورت امولسیونی میباشد به راحتی با لاتکس در یک مرحله به تنهایی مخلوط گردید. در مرحله چهارم و پنجم محلول ها مطابق فرمولاسیون به طور جداگانه و به ترتیب به لاتکس اضافه شدند. عمل افزایش مواد به لاتکس همراه با همزدن مداوم محلول انجام می گیرد پس از این که عمل آمیزه سازی و تهیه شیت با ضخامت مناسب در آزمایشگاه با موفقیت انجام شد آمیزه در اشل بزرگتر و برای تولید دستکش در خط تولید تهیه گردید .

آمیزه پس از تهیه در ظروف دو جداره ریخته شد تا با گردش آب سرد و جاری دمای آن پائین و ثابت باقی بماند زیرا دمای آمیزه نباید از ۲۵ در جه سانتیگراد تجاوز نماید. ویسکوزیته آمیزه فورا پس از تهیه بالا می رود اما پس از ۲۴ ساعت تا حدودی که بتوان عمل دیپ را بدون هیچ مشکلی انجام داد مجددا افت می نماید و سپس ثابت باقی می ماند بنابر این پس از طی ۲۴ ساعت زمان استراحت و ثابت ماندن ویسکوزیته آمیزه قالب های روکش تمیزی که در دمای ۴۰ تا ۵۰ درجه سانتیگراد حرارت داده شده بود داخل آمیزه غوطه ور شدند که به این ترتیب فیلمی از آمیزه به صورت ماده منعقد شده برگشت ناپذیر روی قالب قرار گرفت سپس قالب های روکش به همراه فیلم ایجاد شده در دمای ۸۰ تا ۹۰ درجه سانتیگراد خشک شد بعد از عمل خشک کردن دستکش ها در اتوکلاو پخت شده و پس از پخت کامل

روکش ها از قالب خارج شده و در داخل حوضچه های آب سرد شستشو شدند و بالاخره پس از خشک شدن با دستگاه خشک کن روکش ها آماده مصرف می گردد.

با وجود مشکلات و سختی هایی که بر سر راه تولید این نوع روکش ها وجود داشت روکش های ضد اسید با موفقیت در فرایند تولید تهیه شد.[۱۶]

۳- فرایند های مرتبط با فرایند

تولید

همانطور که قبلا اشاره شد یکی از رشته های که کاملا مرتبط با فرایند ساخت دست و پای مصنوعی می باشد هنر مجسمه سازی است. در حقیقت اگر ما از دست سالمی قالب گیری کنیم یا یک مدل از دست بسازیم و قالب گیری را از طریق آن انجام دهیم نوعی از فرایند مجسمه سازی را به اجرا گذاشته ایم. وقتی یک دست مصنوعی بسازیم در حقیقت تندیسی از یک دست را ساخته ایم و این بدان معناست که فرایند ساخت یک پروتز مصنوعی دست یا پا خود می تواند نوعی مجسمه سازی باشد. اما آنچه که در ساخت دست یا پای مصنوعی یا مجسمه سازی از اهمیت ویژه ای برخوردار است فرایند قالب گیری است. در ساخت پزوتز های مصنوعی دست و پا برای قالب گیری از گچ استفاده می شود که در بخش بعدی شرحی از آن ارائه می گردد. اما در مورد مجسمه سازی با توجه به ابعاد مدل، پیچیدگی های آن از مواد مختلفی برای قالب گیری استفاده می شود که هریک از این مواد دامنه کاربرد وسیعی حتی در ساخت پروتز های مصنوعی دست و پا می تواند داشته باشد و درنتیجه می توان اینگونه استنباط کرد که ساخت پروتز های مصنوعی دست و پا یکی از فرایند های جنبی ساخت مجسمه می باشد و بطور کلی می توان آن را بخشی از هنر مجسمه سازی بیان نمود. برای روشن تر شدن این امر در زیر انواع فرایند های قالب گیری برای ساخت مجسمه بیان گردیده است:

۳-۱- قالب گیری با استفاده از گچ

این فرایند در ساخت پروتز های مصنوعی دست و پا کاربرد بسیار وسیعی دارد که در بخش بعد شرح کامل آن ارائه می گردد.

۳-۱-۱- گچ و طرز استفاده آن درقالب گیری

قدمت استفاده از گچ درمجسه سازی به ۵۰۰۰ سال پیش برمی گردد. درمصر قالبها و مجسمه هایی گچی که مربوط به ۲۵۰۰ سال پیش از میلاد باشد کشف شده است بعدها در بقایای آثار تمدن یونان و رم نیز نشانه هایی از آن پدیدار گشته است در ایران درگچ بریهای زیبای محراب ها و دیوار مساجد گچ

مورد استفاده قرار می گرفته است از همه آن ها زیباتر گچ بری های محراب سلطان خدابنده در مسجد جامع اصفهان و گچ بری های فریبنده پیر بکران درحوالی اصفهان می باشد .

برای تهیه گچ مجسمه سازی سنگ مخصوص را از معدن به کارخانه می آورند و در آنجا آن را خرد می کنند و درکوره با حرارت ۱۸۰ درجه سانتی گراد می پزند و سپس آسیاب کرده و با سم گچ دندانپزشکی بفروش می رسانند .

موقع خریدن گچ بایستی آن را امتحان کرد وطریقه امتحان بدین ترتیب است که مقداری از آنرا داخل پیاله ای که آب دارد می ریزند و خوب بهم می زنند و از روی ساعت معلوم می کنند که مدت بستن آن چند دقیقه است این مدت اگر از سه دقیقه کمتر باشد آن گچ برای ریختن مجسمه قابل استفاده نمی باشد .

موقع آب گرفتن گچ باید مقداری آب در کاسه ریخت وهم وزن آن گچ اضافه نمود یا آنقدر گچ در آب ریخته شود که جزیره ای درآن بوجود آید سپس یک دقیقه صبر کنید و پس از بهم زدن آن را مورد استفاده قرار بدهید .

برای اینکه گچ دیرتر ببندد مقداری چسب محلول در آب به آن اضافه می کنند و برای اینکه زودتر بندد محلول آب نمک یا آب گرم به آن می افزایند .

یکی از انواع گچ داندانپزشکی به گچ مول دانو معروف است که بسیار بادوام و محکم می باشد این گچ برای ساختن مجسمه درقالب یکبار مصرف مورد استفاده قرار می گیرد گچ را بهتر است داخل کیسه های نایلونی بدون سوراخ که در آن محکم بسته شده باشد و یا در داخل قوطی های فلزی نگه داریم تا رطوبت موجود در هوا باعث از دست رفتن خاصیت آن نگردد.

گچ مول دانو پس از ۲۰ دقیقه می بندد و پس از نیم ساعت کاملا محکم می شود و نسبت مخلوط شدن آن با آب بایستی یک به سه باشد یعنی سه قسمت گچ را با یک قسمت آب مخلوط می کنیم.[۷۴-۲]

۳-۱-۲- قالب گیری گچی به روش مستقیم

درمجسمه های کوچک اول آرماتور مورد نظر را درست می کنیم و روی پایه ای چوبی نصب می نماییم و سپس تکه های کرباس رابه دوغاب گچ آغشته کرده و به دور آن می پیچیم تاضخیم شده و گچ بتواند روی آن بایستد سپس به کمک کارد آشپزخانه یا قلم گچ بری کم کم به آن گچ اضافه می کنیم و آنقدر این کار را ادامه می دهیم تا فرم دلخواه بدست آید و هر جا هم که قسمتی از گچ مجسمه زائد یا اضافی بنظر برسد از طریق تراشیدن آن را بر می داریم .

هر قدر به مرحله آخر کار نزدیک می شویم مقدار گچی را که درهر دفعه اضافه می کنیم باید کمتر و عمل آن دقیق تر باشد .

اگر مجسمه بزرگی را بخواهیم بسازیم بهتر است آن را تو خالی بگیریم برای این کار بهتر است اول یک آرماتور متناسب با مجسمه بر روی پایه ای نصب کنیم و سپس مقدار توری لانه مرغ تهیه کرده و به دور آن قرار داده و فرم می دهیم خاصیت توری لانه مرغ دراین است که قابلیت شکل پذیری خوبی دارد و به هر شکل که بخواهیم می توانیم آن را درآوریم. پس از اینکه شکل مورد نظر را بوجود آوردیم تکه های کرباس را به دوغاب گچ آغشته کرده و روی آن می مالیم و آنقدر گچ اضافه می کنیم تا به فرم دلخواه برسیم. البته درمراحل آخر که کار احتیاج به دقت بیشتری دارد مقدار گچی راکه اضافه می کنیم بایستی خیلی کم و با دقت بیشتری صورت گیرد. هرجا هم که گچ آن زیادی به نظر رسید بایستی با کارد یا سوهان چوب ساب آنرا بتراشیم. و در آخر سرهم اگر بخواهیم می توانیم یک دست سنباده به آن

بزنیم و با رنگ روغن آن را رنگ کنیم. اگر بخواهیم رنگ آن برنزی باشد بهتر است اول بـا رنـگ روغـن سیاه آنرا رنگ کنیم و سپس قلم مو را هم بداخل رنگ قهوه ای و هم بداخل رنگ سبز بزنیم و روی رنگ سیاه را با آن بصورت جسته گریخته رنگ نماییم بطوریکه بعضی از جاهای مجسمه سیاه و بعضـی جاهـا سبز و بعضی جاها مخلوطی از این سه رنگ باشد بعداز آن قلم مو را به داخل پـودر اکلیـل خشـک مـی زنیم و بصورت جسته گریخته روی مجسمه می مالیم بطوریکه بیشتر جاهای برجسته را با رنـگ خـود روشن نماید. پس از اتمام کار و خشک شدن کامل رنگ یا دست هم روغن جلا روی آن می مالیم و می گذاریم تاخشک شود .

استفاده از گل کوزه گری (گل رس) درقالب گیری

مقداری گل رس ازکارگاه های کوزه گری بخرید و آن را روی زمین تخت کنید و دست خود را چرب کرده و به پشت روی آن بخوابانید و با دست دیگر به همه جای آن فشار بدهید تا درگل فرو رود سـپس دست را برداشته و چهار طرف گل را تخته گذاشته تا حوضچه ای درست شود .حالا گچ را آب بگیریـد و به داخل این حوضچه بریزید و مفتولی که یک سر آن حلقه شده باشد توی گچ قرار بدهید تا بعداً گچ را توسط این حلقه به دیوار آویزان نمایید به جای دست می توانید چیزهای دیگری داخل گر فرو کنید و از آنها نقش برجسته تهیه نمایید که خود به سلیقه شما بستگی پیدا می کند.[۷۶-۲]

این مجسمه ها ابتدا با خمیر ساخته شده وسپس از طریق قالب یک بار مصرف به گچ تبدیل شده اند .

۳-۱-۲-۱- مقاوم کردن مدل های گچی

طریقه اول- مدل گچی را داخل فر اجاق گاز قرار داده و حرارت آن را به ۱۰۰ یا ۱۵۰ درجـه سـانتی گراد می رسانیم تا آب موجود درآن خارج گردد. سپس آن را بیـرون آورده و در محلـول گـرم هیـدرات باریم غوطه ور می کنیم هرچه مدت غوطه ور شدن بیشتر باشد به همان اندازه درجه استحکام آن زیادتر می گردد پس از مدتی مجسمه رابیرون آورده و با پارچه نرم مالش مـی دهـیم و بعـد آن را در محلـول

اسید اکزالیک (آ ب اکسیژنه) ۱۰ درصد (۱۰ قسمت اسید و ۹۰ قسمت آب) فرو می بریم بعد ازمدتی آن را بیرون آورده و خشک می کنیم و بعد با پارچه نرمی آنرا پولیش (مالش) می دهیم دراین لحظه سطح آن استحکام سطح سنگ مرمر را پیدا می کند و در مقابل آب و رطوبت مقاوم می گردد .

برای رنگ کردن آن باید آن را پس از اینکه از فر بیرون می آوریم در محلول سولفات آهن (زاج سبز) و یا محلول سولفات مس (کات کبود) و یا درمحلول سولفات کرم فرو می بریم و سپس به ترتیب در محلول هیدرات باریم و اسید اکزالیک غوطه ور می کنیم .

طریقه دوم – اول مقداری اسید بوریک که بصورت پودر سفید رنگی است از مغازه هایی که مواد شیمیایی می فروشند بخرید و آنرا درآب گرم حل کنید اسید بوریک درآب حل نمی شود مگر اینکه مقداری آمونیاک به آن اضافه کنیم پس از این کار مدل را در این محلول غوطه ور می سازیم یا با ملاقه از محلول روی آن می ریزیم و پس از خشک شدن با پارچه نرمی مالش می دهیم تا صیقلی شود.

اسید بوریک درمغازه هایی که مواد شیمیایی می فروشند فراوان است و در زرگری مورد استفاده قرار می گیرد. محلول بالا را می توانید درموقع آب گرفتن گچ به آن اضافه کنید (دراین آزمایش اگر مقدار آمونیاک زیاد باشد گچ نمی بندد.)[۸۶-۲]

۳-۱-۳- چگونه از دست قالب بگیریم

کمی گل رس (کل کوزه گری) یا خمیر مجسمه سازی را به وسعت پهنای دست روی میز تخت می کنیم و دست خود را که قبلا با پارافین چرب کرده ایم برروی آن فشار می دهیم تا کمی فرو رود سپس گچ ژیپس را آب گرفته و کم کم روی دست می ریزیم تا همه جای آن را بدون اینکه حبابی ایجاد شود می پوشانیم بعد از اینکه گچ خود را گرفت گچ و دست را با هم برمی گردانیم و لبه های گچ را تمیز کرده و با نوک قاشق درچند جای آن فرو رفتگی هایی بوجود می آوریم. سپس لبه های گچ را تمیز کرده و به کمک قلم مو و مایع ظرف شویی و رنگ آن را آغشته می کنیم تا دو تکه قالب به هم نچسبند.

حالا روی دست و لبه قالب کم کم گچ می ریزیم و آن را با کاردک صاف می کنیم و کناره ها را شکل می دهیم و صبر می کنیم تا سفت شود. در این موقع نوک کاردک را به درز قالب که بصورت خطی رنگی معلوم است فرو می کنیم و اهرم وار تکان می دهیم تا دو تکه از هم جدا شود .سپس دست را بیرون آورده و داخل قالب ها را به مایع ظرف شویی آغشته می کنیم و بعد زیر شیر آب می گیریم. دو تکه قالب را با هم جفت کرده و با کش می بندیم و درزها را نیز برای جلوگیری از نشت با گچ مسدود می کنیم و مقدار لازم گچ آماده کرده و به داخل آن می ریزیم (اگر گچ مول دانو باشد بهتر است) و چند تکه مفتول نیز برای استحکام داخل آن قرار می دهیم و یک ساعت صبر می کنیم تا گچ کاملا سفت شود حالا آن را روی تکه بزرگی ابر یا کیسه ای پر از ماسه و یا روی پارچه ای که مچاله شده باشد قرار می دهیم و با چکش لاستیکی و قلم سنگ تراشی و یا پیچ گوشتی قالب را که مچاله شده باشد قرار می دهیم و با چکش لاستیکی و قلم سنگ تراشی و یا پیچ گوشتی قالب را که مثل پوسته ای ضخیم روی مجسمه دست را پوشانده است ذره ذره خرد می کنیم تا شکل دست ازداخل آن بیرون بیاید. [۲-۷۴]

۳-۱-۴- چه کار کنیم که گچ دیر ببندد

اگر به گچ دندانپزشکی ۴ درصد پودر ریشه گل ختمی اضافه کنیم باعث می شود بستن آن را به تاخیر اندازد مثلا به جای اینکه پس از ۵ دقیقه ببندد بعداز یک ساعت ببندد. اگر مقدار ریشه گل ختمی را به دو برابر برسانیم مدت بستن گچ به ۲ یا سه ساعت خواهد رسید این مخلوط گچ و پودر ریشه ختمی پس از بستن و خشک شدن خیلی مقاوم تر و محکم تر خواهد شد. ریشه گل ختمی بایستی خوب نرم و سائیده شده باشد و برای این کار باید آنرا از جوراب توری با الک ریز عبور داد. برای خوب

مخلوط شدن پودر ریشه گل ختمی و گچ بهتر است پودر را با گچ مخلوط کرده و چند بار از الک عبور دهیم و سپس آن را آب بگیریم.

اضافه کردن نشاسته صمغ عربی یا سریشم نجاری به گچ نیز باعث می شود که گچ دیرتر ببندد پس در گچ بری و یا مجسه سازی بطور مستقیم بهتر است از ریشه گل ختمی استفاده شود.[۸۶-۲]

۳-۱-۵- چه کار کنیم که گچ زود ببندد

اگر مقداری زاج توی آب بریزیم باعث می شود که گچ زودتر ببندد اگر سنگ گچ را در محلول زاج بخیسانیم و بعد آن را بپزیم گچی بوجود می آید که هم مثل مرمر سخت و با دوام است. از بوراکس برای همین کار نیز می توان استفاده کرد برای محکم شدن مجسمه می توان مجسمه را تا ۷۰ درجه حرارت داد و بعد با قلم مو آب باریت را روی آن مالید.

برای رنگ کردن مجسمه بهتر است موقع ریختن به گچ آن مقدار ۵ درصد آهک زنده اضافه نمود و بعد از بستن گچ مجسمه را در محلول یکی از سولفات ها فرو برد.[۸۶-۲]

۳-۱-۶- ساختن مدل با خمیر مجسمه سازی

قطعه چوبی بشکل مکعب مستطیل وبابعاد ۱۰×۱۵×۵ سانتیمتر تهیه کنید و با مته ۳ میلیمتری به فواصل یک سانتیمتری بر روی آن سوراخهایی به عمق ۳ سانتیمتر ایجاد نمایید چند تکه مفتول نرم آهنی یا آلومینیومی به قطر سه میلیمتر برای ساختن آرماتور فراهم کنید مدلی را که در نظر دارید بسازید پیش چشم خود مجسم کنید و شکل آرماتور آن را در ذهن خود بپروانید و سپس مفتول ها را به آن شکل درآورید و قسمت پایین آرماتور ها را در سوراخها فرو کنید و با دست خمیر مجسمه سازی را تکه تکه روی آن بچسبانید. اگر هوا سرد است و خمیر دراثر سرما خیلی سفت شده آن را کنار بخاری

بگذارید تا کمی نرم شود و آنگاه از آن استفاده کنید. خمیر را دراوایل کار بصورت قطعات بزرگتر و در لحظات آخر که مجسمه به حالت مرحله دقیق می رسد کوچکتر و کوچکتر به مجسمه اضافه کنید و حتی در مراحل آخر اندازه آنها را از دانه برنج نیز کوچکتر بگیرید خمیر را درمراحل آخر بوسیله ابزار اضافه کننده و یا با تیغه قلم تراش روی مجسمه بگذارید و جاهایی را که خمیر آن اضافی است با ابزارهای کم کننده بردارید ابزارهای کم کننده را می توانید با مفتو ل های نازک فنری که ضخامت آن ها نصف ضخامت سوزن دست دوزی باشد تهیه کنید. این مفتول ها را به شکل دایره و یا مثلث و یا شکل سنجاق گیره سر درآورید وبه انتهای بدنه خودکار به کمک حرارت وصل نمایید از هر یک از این وسائل درجای مناسب خود استفاده کنید. وقتی مفتول فنری را به بدنه خودکار وصل می کنید بهتر است مغز خودکار را بیرون بیاورید و بدنه خود کار را روی آتش بگیرید تا نرم شود و سپس مفتول را درآنجا قرار دهید و با دست شکل آن را منظم کنید و در آب سرد فرو ببرید تا سفت شود. کاری نکنید که مفتول نیز حرارت ببیند زیرا خاصیت فنری خودرا از دست می دهد. برای ساختن ابزار اضافه کننده می توانید از قلم تراشهای کوچک استفاده کنید یا یک مفتول به قطر ۳ میلیمتر را روی چراغ سرخ کنید و با چکش بکوبید تا تخت شود و کناره های آن را با سوهان بسائید تا شکل دلخواه به خود بگیرد.

بعد از اینکه مجسمه را ساختید و آن را کاملا پرداخت نمودید با خط مسیر تقسیم قالب را بر روی آن مشخص کنید و قطعات فلزی نازکی را که قبلا با قیچی بریده اید درآنجا ها فرو کنید و دیواره تقسیم بوجود بیاورید و با گچ شروع به قالب گیری کنید پس از قالب گیری خمیر را بیرون آورده و داخل قالب را با مایع ظرف شویی کاملاً آغشته نمایید و زیر شیر بگیرید و پس از جفت کردن به داخل آن گچ بریزید (برای اینکار گچ مولدانو بهتراست) پس از دو ساعت با قلم و چکش لاستیکی قالب را بصورت پوسته ضخیمی روی مجسمه را پوشانده است ذره ذره خرد می کنیم تا مجسمه ظاهر شود. بعداً این

مجسمه را پرداخت می کنید و پس از خشک شدن سنباده می زنید و اصلاحات لازم و ظریف کاریهای آن را انجام بدهید. پس از تهیه قالب لاستیکی از این مجسمه شروع به تکثیر آن نماید.[۸۸-۲]

۳-۱-۶-۱- فرمول خمیر مجسمه سازی

۱- موم عسل ۲ قسمت

۲- پارافین جامد۳ قسمت

۳- پارافین مایع ۴ قسمت

اول پارافین مایع و جامد را در داخل ظرفی ریخته و روی چراغ سه فیتله ای می گذاریم و بعد موم را داخل آن می اندازیم و پس از آب شدن مل را اضافه می کنیم و با قاشق به هم می زنیم ودرصورتیکه بخواهیم خمیر رنگی داشته باشیم مقداری هر گل اخرا قبل از ریختن مل می افزاییم. این خمیر را می گذاریم سرد شود وسپس از آن استفاده می کنیم برای آب کردن پارافین جامد و موم هیچگاه از چراغ گاز یا پریموس استفاده نکنید زیرا حرارت زیاد آنها باعث تغییر خاصیت موم می گردد. مل را می توانید از مغازه های رنگ فروشی بخرید .از مل برای تهیه بتونه پنجره استفاده می شود. در مورد نسبتهای گفته شده، خودتان نیز می توانید جهت کیفیت بهتر تغییراتی بوجود بیاورید و خمیر مناسب تری تهیه نمایید.[۸۸-۲]

۳-۲- قالب گیری سیلیکونی

این نوع قالب گیری بیشتر در ساخت مجسمه و کمتر در ساخت پروتز های مصنوعی دست و پا کاربرد دارد و این امر به دلیل هزینه بالای این فرایند می باشد ولی از طرفی کیفیت بالایی را ارائه می کنند. در ساخت پروتز های مصنوعی دست و پا قالب گیری سیلیکونی زمانی بکار می رود که مدلی که از آن قالب گیری به عمل می آید دست یک فرد نباشد و یا به عبارت دیگر مدل مرده باشد. در این حالت می توان از قالب گیری سیلیکونی استفاده نمود. در مجسمه سازی از قالب گیری سیلیکونی برای

تولید نقش برجسته می توان استفاده نمود. بر این مبنا قالب گیری سیلیکونی در مجسمه سازی برای تولید نقش برجسته به بخش های زیر تقسیم می شود.

۳-۲-۱- ایجاد نقش برجسته یکطرفه

۳-۲-۱-۱- ایجاد نقش برجسته یک طرفه کوچک

این فرایند مانند تولید سکه ای است که فقط یک طرف آن نقش برجسته داشته باشد مانند مدال ها. برای این امر ابتدا نیاز به مدل اولیه می باشد. در ادامه فرایند مربوط به ایجاد نقش برجسته یک طرفه توضیح داده شده است.

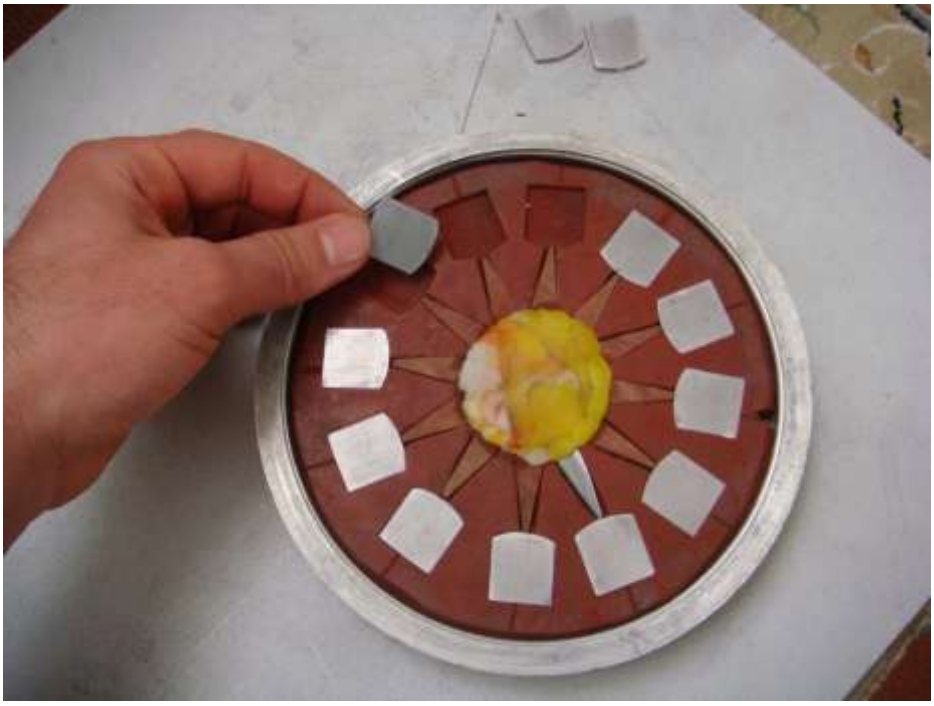
ابتدا مدل اولیه را روی میز کار قرار می دهیم، این مدل می تواند یکی یا چند مدل باشد سپس درجه زیرین را روی مدل ها قرار می دهیم و سیلیکون را در داخل آن تزریق می کنیم و صبر می کنیم تا سیلیکون ببندد باید توجه داشت در این میان باید راهباره ها در نظر گرفته شوند. سپس درجه را برمی گردانیم و مدل ها را یکی یکی سر جای خود قرار می دهیم. حال درجه رویی را سر جایش قرار می دهیم و دوباره سیلیکون را این بار روی درجه رویی می ریزیم و پس از مدتی که سیلیکون خود را گرفت درجه رویی را بر می داریم و مدل ها را از داخل درجه زیرین خارج می کنیم و همچنین مدل های راهباره ها را نیز خارج می کنیم. سپس مذاب یا هر ماده دیگری که برای مجسمه سازی از آن استفاده کرده ایم داخل قالب می ریزیم، با چرخیدن قالب مذاب با نیروی گریز از مرکز وارد هر یک از محفظه ها شده و شکل نهایی را به دست می دهد. در ادامه نمایی مصور از این فرایند ارائه شده است.

شکل۳-1- شمایی از مدل های اولیه

شکل۳-2- شمایی از سیستم قالب گیری چرخان

شکل۳-3- نحوه قرار گرفتن مدله به همراه سیستم راهگاهی روی میز کار

شکل۳-4- قرار گرفتن درجه زیرین روی مدل ها و ریختن سیلیکون



شکل۳-5- برگرداندن درجه و قرار دادن مدل ها سر جای خود

شکل۳-6- قرار دادن درجه رویی قالب و فیکس کردن آن و ریختن سیلیکون

شکل۳-7 - باز کردن درجه ها از هم و خارج کردن مدل ها و سیستم راهگاهی

شکل۳-8- دوباره سوار کردن درجه ها روی یکدیگر

شکل۳-9- ریختن مذاب باسیستم چرخشی قالب

شکل۳-10- باز کردن قالب و خارج کردن نقش برجسته نهایی

شکل۳-11- شمایی از نقش نهایی تولید شده

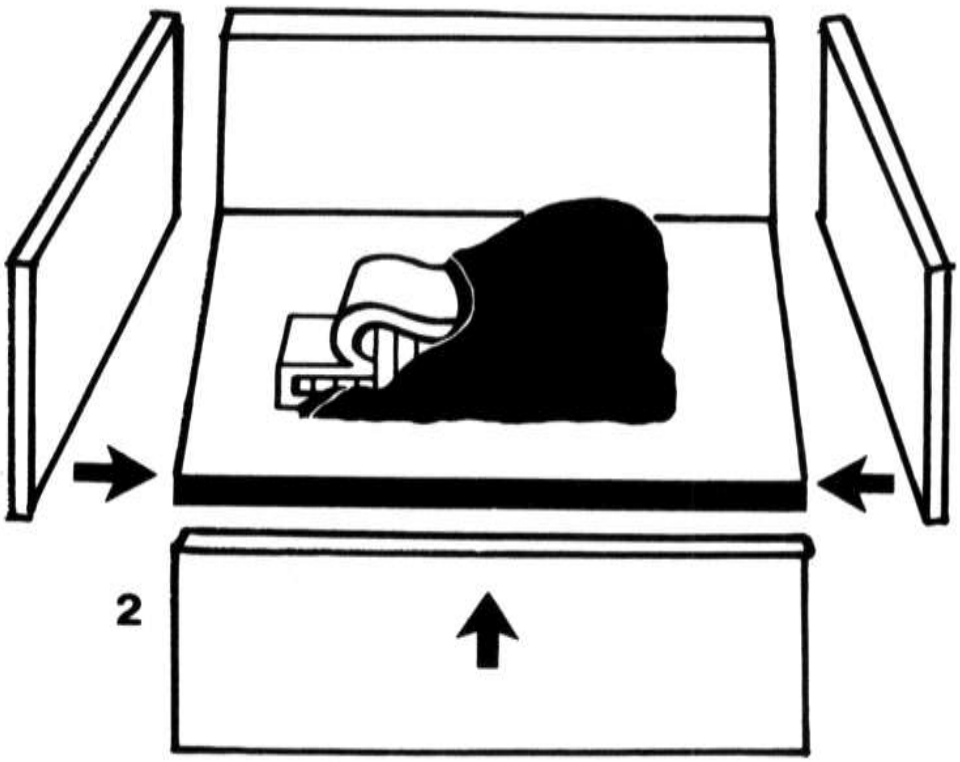
۳-۲-۱-۲- ایجاد نقش برجسته یکطرفه بزرگ

روش دیگری نیز غیر از روش چرخشی برای تولید نقش برجسته یکطرفه وجود دارد که بیشتر برای ساخت مجسمه های گچی و تولید گچ بری های آماده بکار می رود. در این روش از فرایندی به نام آنکادر کردن استفاده می کنیم. ابتدا مدل یکطرفه را روی میز کار قرار می دهیم و سپس دور آن را با یک کاور آنکادر می کنیم و اطراف را با چسب آکواریم خوب عایق بندی می کنیم و در آخر سیلیکون را در داخل بخش آنکادر شده تزریق می کنیم. صبر می کنیم تا سیلیکون خود را بگیرد. سپس کادر ها را برداشته و قالب سیلیکونی را بر می گردانیم و سپس مواد مربوط به مجسمه نهایی را که می تواند از گچ یا هر ماده دیگری باشد داخل محفظه قالب می ریزیم تا در آخر نقش برجسته یک طرفه را به دست دهد.

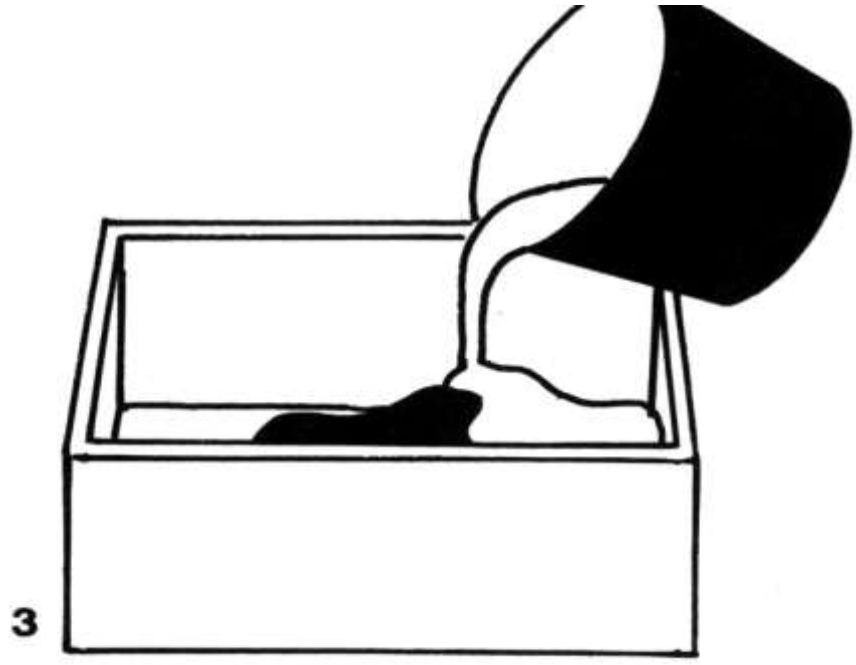
۳-۲-۱-۲-۱- نقش برجسته یکطرفه بزرگ از طریق ایجاد حوضچه

در این روش ابتدا مدل را روی میز کار قرار می دهیم سپس روی آن را باخمیر مجسمه سازی می پوشانیم تا تمام جزییات مدل در آن مشخص شود. سپس مدل را روی میز کار آنکادر می نماییم و بعد از آنکادر کردن روی مدل خمیر مالی شده را گچ می ریزیم و صبر می کنیم تا گچ خود را کامل بگیرد. بعد از خشک شدن گچ و محکم شدن آن قالب گچی را از روی مدل بر می داریم و خمیر مجسمه سازی را از آن جدا می کنیم . حال بر روی قالب گچی سوراخ هایی اعمال می کنیم و دوباره قالب گچی را روی مدل قرار می دهیم اما این بار بدون اینکه روی مدل خمیر مجسمه سازی وجود داشته باشد. این عمل باعث می شود تا یک فضای خالی در داخل قالب گچی ایجاد شود. حال سیلیکون را از داخل همان سوراخ ها به داخل قالب می ریزیم و صبر می کنیم تا سیلیکون خود را بگیرد سپس قالب گچی را برداشته و در نهایت قالب سیلیکونی را از مدل جدا می کنیم در این حالت یک قالب سیلیکونی در اختیار خواهیم داشت. مزیت این روش نسبت به روش قبل کاهش در مصرف سیلیکون و کاهش دور ریز می باشد.[۹۲-۲]

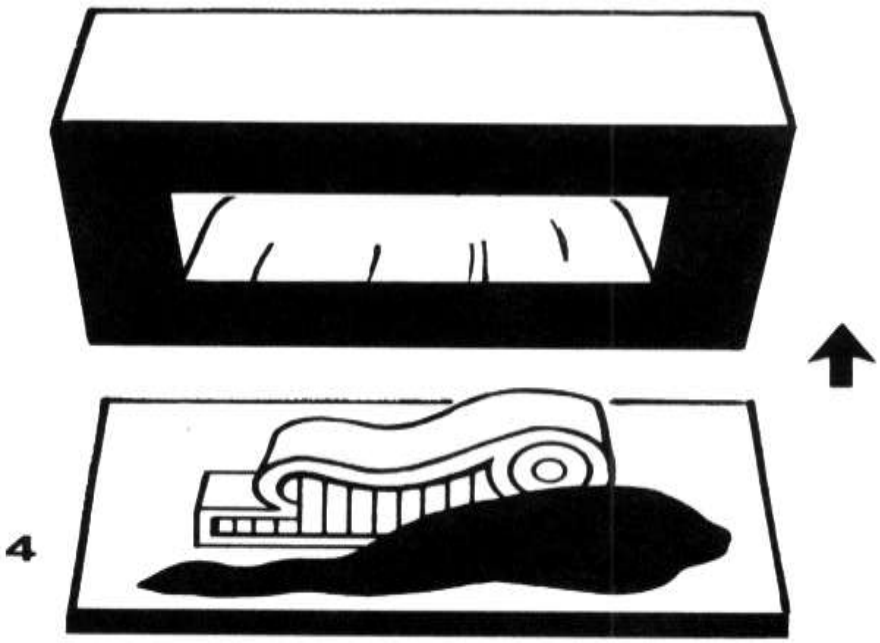
شکل۳-12- قرار گرفتن مدل اولیه بر روی میز کار



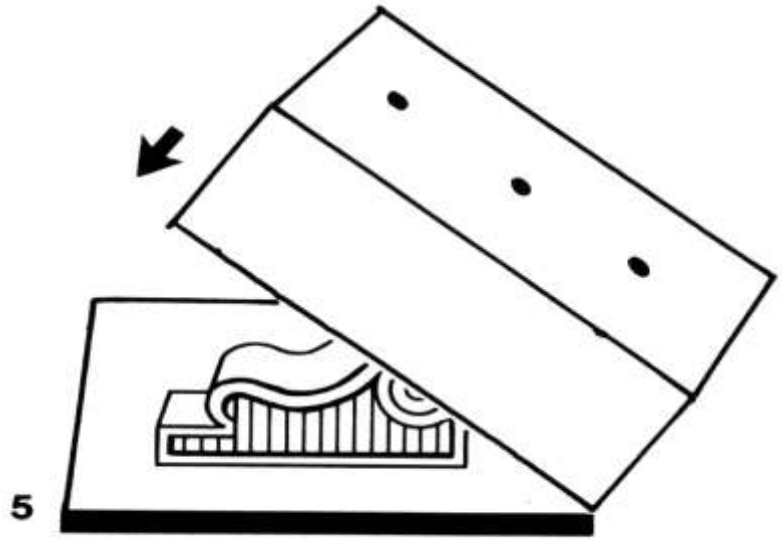
شکل۳-13- آنکادر شدن مدل و پوشاندن آن



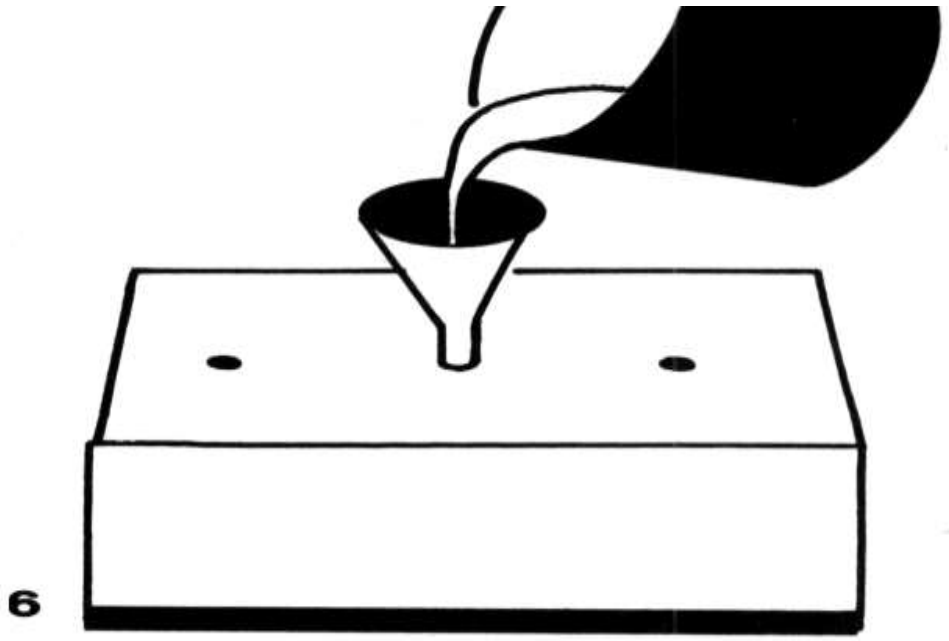
شکل۳-14- ریختن گچ روی مدل پوشیده از خمیر



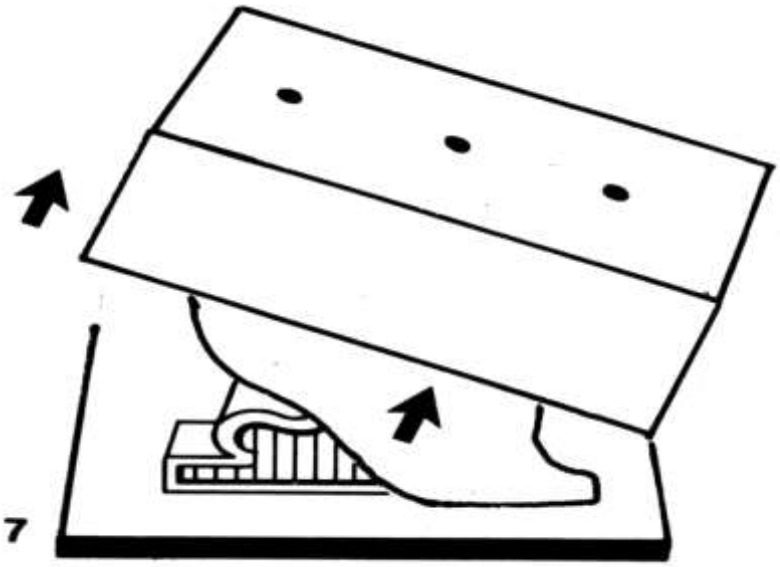
شکل۳-15- برداشتن قالب گچی از روی مدل و جدا کردن خمیر مجسمه سازی



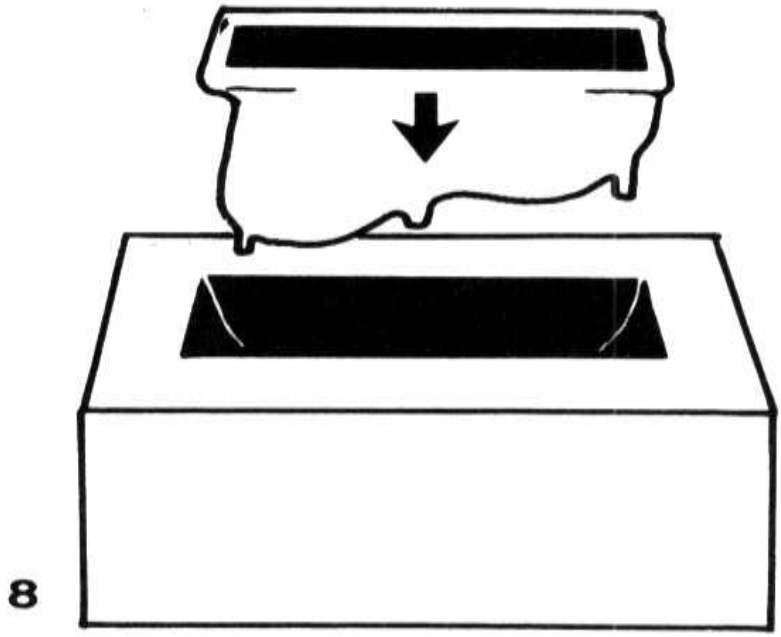
شکل۳-16- قرار دادن مجدد قالب گچی روی مدل بدون حضور خمیر مجسمه سازی



شکل۳-17- ریختن سیلیکون در داخل قالب گچی



شکل۳- 18- جدا کردن قالب سیلیکونی از قالب گچی



شکل ۳-19- شمایی از قالب سیلیکونی نهایی آماده برای ریخته گری

هر دو روشی که در بالا ذکر شد در نهایت یک فرایند را انجام می دهند و آن قالب گیری سیلیکونی یکطرفه می باشد با این تفاوت که در روش ایجاد حوضچه با وجود اینکه یک مرحله قالب گیری افزایش می یابد و آن هم مرحله قالب گیری گچی می باشد ولی در عوض میزان مصرف سیلیکون پایین آمده و میزان دور ریز به میزان قابل توجهی کاهش می یابد و هزینه قالب گیری را کاهش می دهد. اما نکته ای که در این بین وجود دارد این است که از روش دوم برای مدل های یکطرفه پیچیده با سطوح تو خالی نمی توان استفاده کرد زیرا ایجاد همان حالت مدل با استفاده از خمیر مجسمه سازی کاری بسیار مشکل می باشد.

۳-۲-۲- قالب گیری سیلیکونی با ایجاد فضای خالی دور مدل

دراین طریقه خمیر مجسمه سازی را روی میز تخت می کنیم تا ضخامت آن به نیم سانتیمتر برسد و سپس با این خمیر تخت تمام روی مدل را به جز زیر پایه آن می پوشانیم با انگشت به همه جای آن فشار وارد می کنیم تا کاملاً به مدل بچسبد سپس مقداری خمیر را بشکل طناب و به قطر یک

سانتیمتر درست کرده و با آن دور تا دور طول مجسمه یک برآمدگی درست می کنیم تا مجسمه بـه دو نیم تقسیم شود ورقه های نازک فلز را با قیچی می بریم هر اندازه قطعات این ورقه نازک بایـد متناسـب با اندازه مدل باشد .حالا مدل را به پشت روی زمین مـی خوابـانیم ورقـه هـای نـازک فلـز را از قسـمت برآمدگی ها درخمیر فرو می کنیم بطوریکه دور تا دور مدل یک دیواره فلزی بوجـود بیایـد. چنـد عـدد سوزن ته گرد تهیه کرده و قسمت گرد آن ها را با انبر دست می چینیم و به داخل خمیر فرو می کنـیم بطوریکه قسمتی از سوزن از خمیر بیرون بماند دراین زمان گچ را آب می گیریم و روی این نیمه از مدل را با گچ طوری می پوشانیم که ضخامت آن به ۲ سانتیمتر برسد (زیر پایه مدل راگچ نمی گیریم) بعد از اینکه گچ خودرا گرفت آنرا به همراه مدل به آرامی برمی گردانیم و طرف دیگر را نیز پس از فـرو کـردن سوزن ته گرد گچ می گیریم از این مرحله به بعد می توانیم به دو صورت عمل کنیم:

صورت اول– گچ هارا از هم جدا می کنیم و پس ازکنار گذاشتن ورقه های فلزی تمـام خمیـری دور مدل را بر می داریم و بعد آن را سرجایش می گذاریم و تکه دیگر قالب را بر روی آن قرار می دهیم و با کش محکم می بندیم و درزهای آن را نیز برای جلوگیری از نشت با گچ مسدود می کنیم.

در این موقع مدل در داخل قالب گچی به وسیله سوزنهای ته گرد در فضا نگه داشته شده و در تمـام اطراف آن فضایی خالی (فضایی که قبلاً توسط خمیر اشغال شده بود) تشـکیل شـده اسـت حـالا ایـن فضای خالی را با سیلیکون پر می کنیم و می گذاریم تا لاستیکی شود بعد از لاستیکی شدن که معمـولا ۱۵ تا ۲۰ ساعت طول می کشد کش قالب را باز کرده و قالبهای گچی را از هم جدا کـرده و مـدل را بـا سیلیکون لاستیکی شده آن روی میز می گذاریم و با تیغ موکت بری در جهت طول برآمـدگی فقـط در یک طرف قالب و به اندازه ای که لازم می دانیم یک شکاف طولی بوجود می آوریم تا بـه آسـانی بتـوان قالب لاستیکی را از روی مدل برداشت (قالب یک تکه یقه باز) حالا مدل را به کناری می گذاریم دولبه و شکاف را جفت می کنیم و قالب های گچی رابر روی آن قرار داده و بـا کـش مـی بنـدیم و سـپس گـچ

درست کرده و به داخل قالب می ریزیم تا مدلی گچی بوجود بیاید .

صورت دوم– دراین حالت یکی از پشت قالب ها را برداشته ویا ابزار تیزی وسط لبه برآمده شکافی طولی بوجود می آوریم و خمیر نیمه بالایی را از روی مدل برمی داریم و نیمه زیرین را به حال خودش باقی می گذاریم حالا مقداری خمیر را به شکل طنابی به قطر نیم سانتیمتری در آورده و روی لبه بریده شده قرار داده و کمی فشار می دهیم تا به لبه بچسبد این خمیر طناب مانند برای ایجاد قفل و بست لبه های قالب است حالا پشت قالب را همراه با سوزنهایی که در آن فرو رفته اند روی مجسمه قرار می دهیم و با کش می بندیم و درزها را هم برای جلوگیری از نشت با گچ می پوشانیم سیلیکون را با ماده خشک کن مخلوط کرده و داخل فضایی می ریزیم که قبلا خمیر در آنجا وجود داشته است بعد از ۱۵ یا ۲۰ ساعت که سیلکون لاستیکی می شود پشت قالب طرف دیگر را برداشته و تمام خمیر داخل آن را بر می داریم و پس از چرب کردن لبه های سیلیکون قبلی پشت قالب را سرجایش می گذاریم و با کش محکم می بندیم و برای جلوگیری از نشت درزها را باز هم با گچ می پوشانیم حالا داخل این قسمت سیلیکون می ریزیم تا لاستیکی شود. پس از لاستیکی شدن که معمولاً ۱۵ تا۲۰ ساعت طول می کشد پشت قالب ها را برداشته و سوزنهای آنها را با انبر دست بیرون می کشیم. حالا دوتکه قالب لاستیکی را از هم باز کرده و مجسمه داخل آنرا بیرون می آوریم به این نوع قالب قالب دو تکه می گویند. حالا یکی از قالب های لاستیکی را داخل پشت قالب گچی خودش قرار می دهیم و تکه دیگر را روی آن می گذاریم و خوب جفت می کنیم و پشت قالب خودش را نیز رویش می گذاریم و باکش محکم می بندیم و سپس گچ درست کرده وبه داخل قالب می ریزیم تا مدل جدید بوجود بیاید .

دور مدل را با لایه ای از خمیر می پوشانیم ودر جاهای مختلف میخ هایی به آن فرو می کنیم بطوریکه نیمی از آ نها خمیر برون بماند .

روی خمیر را با گچ می پوشانیم و یک قالب دو تکه گچی درست می کنیم و سپس خمیر را بر

می داریم .

وجود میخها بین قالب گچی و مدل فضایی خالی ایجاد می کند که با سیلیکون یا کروژل یا ژلاتین پر می شود. این روش قالب گیری در مجسمه سازی فرایندی است که برای تولید یک پروتز تو خالی مورد استفاده قرار می گیرد که در فصل بعد به آن اشاره خواهد شد.[۹۴-۲]

۳-۲-۳- قالب گیری سیلیکونی لایه لایه

در این طریقه سیلیکون را با ماده خشک کن (۱۰۰ قسمت سیلیکون + ۵ قسمت خشک کن) مخلوط می کنیم و خوب به هم می زنیم به کمک کاردک چوبی روی مجسمه می مالیم و چند ساعت صبر می کنیم تا خشک شود سپس لایه دیگری اضافی می کنیم و برای استحکام آن نیز روی هر لایه مقداری توری پرده را که با قیچی تکه کرده ایم قرار می دهیم و سپس روی آن سیلیکون می مالیم تا محکم شود در این طریقه ضخامت قالب بایستی به ۳ میلیمتر برسد.

۳-۲-۴- قالب گیری با سیلیکون ۵۳۹

سیلیکون ۵۳۹ سفتی وازلین را دارد و همرنگ آن نیز می باشد ولی فوق العاده چسبناک می باشد بطوریکه مقدار زیادی از آن روی دیواره عمودی قرار بگیرد بدون اینکه از جای خود تکان بخورد و همین جهت باعث شده تا از آن برای قالب گیری از روی نقش برجسته های گچی یا سنگی که امکان جابجایی آنها وجود ندارد استفاده نمود:

طریقه قالب گیری با سیلیکون ۵۳۹:

ابتدا مقداری سیلیکون را با مقدار لازم مایع خشک کن روی شیشه ای تخت مخلوط می کنیم و با دست به هم می زنیم تا خوب مخلوط شود و سپس با کاردک آن را خوب مالش می دهیم تا عمل مخلوط شدن کامل گردد سپس به کمک انگشت آن را روی مجسمه یا نقش برجسته می مالیم بطوریکه قشر نازکی که کمتر از یک میلیمتر است بوجود بیاید در این مرحله بایستی دقت کافی به عمل

آید تا هیچ قسمتی از مجسمه ناپوشیده نماند و یا حباب هوا بر روی آن تولید نگـردد سـپس صـبر مـی کنیم تا این لایه لاستیکی شود در مرحله دوم مقدار بیشتری سیلیکون را با خشک کن مخلوط می کنیم و این دفعه به جای انگشت به کمک کارد آشپزخانه لایه ای به ضخامت ۳ میلیمتر روی لایه قبلـی مـی کشیم و آن را صاف می کنیم پس از لاستیکی شدن با گچ برای آن پشت قالب درست می کنیم پـس از اینکه گچ پشت قالب سفت شد آن را از روی سیلیکون برمی داریم و قالب لاستیکی را نیز از مجسمه یـا نقش برجسته جدا می کنیم و روی زمین قرار می دهیم، حالا قالب لاستیکی را داخل پشت قالب گچـی قرار داده و توی آن گچ بری های قدیمی برای موزه ها قالب گیری کرد و به تکثیر آن ها پرداخت.[۱۰۵-۲]

در نقش برجسته از قالب یک تکه ولی در مجسمه از قالب دو تکه یا یک تکه باز استفاده می کنیم .

۳-۲-۵- نقش برجسته دو طرفه

این روش برای تولید نقش برجسته از مدل هایی که دو طرف آن نقش برجسته دارد به کار می رود مثل سکه های رایج که هر دو طرف آن نقش برجسته دارد. در این روش ابتدا خمیر مجسمه سازی را روی میز کار پهن می کنیم سپس مدل دو طرفه را تا نیمه در آن فرو می کنیم و در آخر دور آن را مانند روش های قبل آنکادر می کنیم و بعد در چهار گوشه خمیر مجسمه سازی در داخل قسمت آنکادر شده ساچمه های کوچک قرار می دهیم تا بتوانیم قسمت منفی و مثبت قالب را تولید کنیم. همچنین از مدل های چوبی برای ایجاد راهگاه استفاده می کنیم. سپس بخش آنکادر شده را تا نیمه از سیلیکون پر می کنیم و پس از پر شدن آن تا نیمه درجه ایجاد شده را خارج می کنیم و از پشت در داخل قسمت آنکادر شده قرار می دهیم و دوباره در حالی که هنوز مدل در داخل درجه زیرین قرار دارد روی آن سیلیکون می ریزیم در این حالت یک قالب دو درجه ای از سیلیکون داریم که هر درجه آن یک قسمت از نقش برجسته را شامل می شود. برای ساخت نقش برجسته باید مدل را از داخل قالب خارج کنیم.

حال وقتی دو درجه را روی هم قرار دهیم یک قالب کامل داریم که می توان از آن به عنوان قالبی برای تولید نقش برجسته دو طرفه استفاده کرد

۳-۲-۶- بزگ کردن مدل با استفاده از سیلیکون

ابتدا با سیلیکون RTV-2 ازمدل قالب گیری می کنند و سپس قالب را به داخل تری کلرواتیلن می اندازند تا آماس کند به داخل این قالب گچ می ریزند و پس از سفت شدن بیرون آورده و دوباره از آن با همین نوع سیلیکون قالب گیری می کنند و باز هم به داخل تری کلرواتیلن می اندازند و به داخل آن گچ می ریزند این کار را بارها و بارها تکرار می کنند تا مدل به اندازه دلخواه بزرگ شود.[۱۰۵-۲]

۳-۲-۷- نکات بهداشتی در مورد سیلیکون

خود سیلیکون ماده سمی نیست ولی هاردنر آن باعث ناراحتی های پوستی می شود اگر هاردنر (کاتالیزگروه) به روی پوست بپاشد بایستی با آب و صابون آن را شست.[۱۰۵-۲]

۳-۲-۸- چسب آکواریوم

چسب آکواریوم نیز یکی از انواع سیلیکون هاست که به هاردنر احتیاج ندارد و در مجاورت هوا خشک می شود از این چسب می توان برای چسباندن قالب های پاره سیلیکونی استفاده نمود.

از چسب آکواریوم نیز میتوان برای قالب گیری استفاده نمود بشرطی که روی مجسمه را به مایع ظرف شویی آغشته کرده باشیم.

برای چسباندن پاره های سیلیکون به هم از همان نوع سیلیکون قالب نیز می توان استفاده نمود.

[۱۰۵-۲]

جدول ۳-۱- موارد مصرف سیلیکون

صنعت	صنایع پلاستیک				صنایع پلاستیک			صنایع ماشین‌سازی و هواپیماسازی		صنایع مبل سازی		صنایع چینی‌سازی بهداشتی و وسائل	صنایع چرمسازی و کفش	
موارد مصرف	مجسمه				پیش الگو			پیش الگو	چرخهای	تزئینات، قطعات بزرگ		نقوش	پوشش	پلی اورەاتان
جنس مجسمه / نوع سیلیکون	گچ	فلزات زودگداز	پولیستر	پلی اورەاتان	پولیستر	پلی اورەاتان	ABS پلی آمید ، PVC پولیسترن زرین اپوکسی	پولیستر ABS پولیسترن	زرین اپوکسی	پلی‌اورەاتان اسفنجی نیمه سخت	پلی‌اورەاتان	پولیستر	گچ	PVC	پلی اورەاتان
RTV-M 400	●		●		●				●			●			
RTV-M 426		●								●	●				
RTV-M 428		●									●				
RTV-M 457	●		●		●		●	●				●	●		●
RTV-M 480	●		●		●										
RTV-M 533**	●		●		●		●	●	●	●		●			●
RTV-M 540***				●		●				●	●				

جنس مجسمه نوع سیلیکون	مواد مصرف	صنعت	HF 8	HF 7	HF 6	HF 1	RTV-M 628	RTV-M 539
پلی اورەاتان	پوشش	صنایع چرمسازی و کفش	●	●	●	●		
PVC							●	
پلی اورەاتان	نقوش	صنایع چینی‌سازی بهداشتی و وسائل						
پلی‌اورەاتان اسفنجی نیمه سخت	چرخهای	صنایع ماشین‌سازی و هواپیماسازی					●	
پولیستر	قطعات بزرگ	صنایع مبل سازی					●	
پلی‌اورەاتان	تزئینات،							
زرین اپوکسی	پیش الگو							
پولیستر ABS پولیسترن								
ABS پلی آمید ، PVC پولیسترن زرین اپوکسی		صنایع پلاستیک						
پلی اورەاتان	پیش الگو						●	
پولیستر								●
پلی اورەاتان	مجسمه	صنایع پلاستیک					●	
پولیستر								●
فلزات زودگداز								
گچ								

ادامه جدول ۳-۱

ادامه جدول ۱-۳

صنعت	اجزاء ساختمان				صنایع الکتریکی و الکترونیکی و صنایع فلزی		صنایع دستی					
موارد مصرف	بازسازی مجسمه‌های قیمتی و نقش برجسته آثار تاریخی				تکثیر پیش الگوی قطعات		نقش برجسته					شمع های تزیینی
جنس مجسمه نوع سیلیکون	گچ	سیمان	پلی اوره‌تان	پولیستر	پولیستر	رزین اپوکسی	موم	گچ	فلزات زود گداز	پولیستر	پلی اوره اتان	شمع
RTV-M 400	●			●	●		●	●		●		●
RTV-M 426									●			
RTV-M 428												
RTV-M 457				●	●	●		●				
RTV-M 480	●	●		●								
RTV-M 533	●	●		●	●	●	●	●		●		●

RTV-M 540			●			●					●	
RTV-M 539	●	●		●								
RTV-M 622												
RTV-M 628			●								●	
HF 1												
HF 6												
HF 7												
HF 8												
صنعت	**اجزاء ساختمان**				**صنایع الکتریکی و الکترونیکی و صنایع فلزی**		**صنایع دستی**					
موارد مصرف	بازسازی مجسمه‌های قیمتی و نقش برجسته آثار تاریخی				تکثیر پیش الگوی قطعات		نقش برجسته					شمع های تزیینی
جنس مجسمه / نوع سیلیکون	گچ	سیمان	پلی اوره‌تان	پولیستر	پولیستر	رزین اپوکسی	موم	گچ	فلزات رود گداز	پولیستر	پلی اوره اتان	شمع

۳-۲-۹- مطابقت روش سیلیکونی با فرایند ساخت پروتز های دست و پا

در ساخت پروتز های مصنوعی دست و پا می توان جدا از روش قاالب گیری با گچ از روش قالب گیری سیلیکونی نیز استفاده کرد اما این روش کاربرد زیادی ندارد زیرا هزینه های کار بسیار افزایش پیدا کرده و دور ریز مواد افزایش می یابد. اما از طرف دیگر کیفیت سطحی کار افزایش می یابد. سوال اصلی که اینجا مطرح می شود این است که کدام یک از روش هایی که در آن از روش قالب گیری سیلیکونی استفاده می شود برای ساخت پروتز های دست و پا مناسب است؟

این سوال را می توان اینگونه پاسخ داد که یک دست یا پا که به صورت مدل مرده در آمده است را می توان به صورت یک حجم در نظر گرفت که دو سطح با نقش برجسته دارد مانند یک سکه که دارای دو سطح با نقش برجسته است. پس در این حالت باید از روشی در فرایند قالب گیری سیلیکونی استفاده کرد که در آن می توان نقش برجسته دو طرفه ایجاد کرد. پس می توان این نتیجه را گرفت که تمام فرایند های ساخت نقش برجسته با استفاده از قالب گیری سیلیکونی برای تولید دست و پای مصنوعی مناسب نیست و فقط از روشی می توان استفاده نمود که در آن نقش برجسته دو طرفه ایجاد می کنند. یعنی فرایندی شبیه به فرایند قالب گیری گچی که در آن نیز همانند قالب گیری سیلیکونی برای ایجاد نقش برجسته دو طرفه از خمیر مجسمه سازی استفاده می کنند. با این تفاوت که در روش سیلیکونی هزینه بسیار بالاست. اما نکته قابل توجه و قابل ذکر در مورد ساخت پروتز های مصنوعی دست و پا با استفاده از روش قالب گیری سیلیکونی آن است که در این روش حتما باید از مدل مرده استفاده شود. یعنی یا مدل گچی برای ساخت پروتز های مصنوعی یا مدل چوبی یا گچی برای ساخت تندیس.

۳-۳- قالب گیری ماسه ای

در مجسمه سازی این روش شباهت زیادی به ریخته گری در قالب ماسه ای دارد که معمولا هم برای ساخت مجسمه های فلزی از آن استفاده می شود (بیشتر از جنس برنز یا برنج). از این روش قالب گیری بیشتر برای ساخت تندیس های تمام نمای بزرگ مورد استفاده قرار می گیرد. همچنین این روش قالب گیری برای ساخت مجسمه های فلزی با پیچیدگی های زیاد و مقاطع تو خالی که نیاز به ماهیچه گذاری دارد مورد استفاده قرار می گیرد.

۳-۴- قالب گیری با لاتکس

لاتکس مایعی است به رنگ شیر ولی دارای غلظت بیشتری است و از مشخصات آن این است که به شدت بوی آمونیاک می دهد و در مجاورت هوا به نوعی لاستیک تبدیل می گردد و همین خاصیت اخیر است که آن را برای ساختن قالبهای لاستیکی مناسب می سازد از لاتکس برای چسباندن قطعات یونی لیت نیز استفاده می کنند.[۹۱-۲]

۳-۴-۱- شیوه قالب گیری دو تکه با لاتکس

۱- مدلی را که می خواهیم از آن قالب بگیریم بایستی با لایه ای از لاک الکل بپوشانیم بخصوص مدل های فلزی اگر با لاک الکل پوشانده نشوند لاتکس به آنها آسیب می رساند ولی مجسمه های از جنس نایلون احتیاجی به لاک ندارند اگر لاتکس را روی مجسمه ای که با رنگ روغن رنگ آمیزی شده باشد بمالیم هم لاتکس و هم لایه رنگ روغن فاسد می شود و می گندد بایستی در نظر داشت که مواد روغنی هیچگاه نباید با لاتکس در تماس باشد زیرا باعث فساد و ضایع شدن آن می گردد.

۲- با مداد یا ماژیک روی مدل خطی می کشیم که آنرا طولاً به دو نیمه تقسیم نماید، سپس مدل را روی تخته ای خوابانیده ودور تا دور آن را تا خط تقسیم با خمیر مجسمه سازی پر می کنیم بطوریکه

درحدود خط تقسیم یک لبه به پهنای ۲ سانتیمتر بوجود بیاید آنگاه مقداری خمیر را به شکل طناب و به قطر نیم سانتی متر درست کرده و دور تا دور در طول این لبه و بر روی آن می گذاریم وکمی فشار می دهیم تا به آن بچسبد، وجود این خمیر طنابی شکل برای قفل و بست قالب است و مثل یک زیپ باعث می شود و دو تکه قالب خوب به هم جفت شوند.

۳- روی این لبه و طناب روی آن را به کمک قلم مو با لاک الکل می پوشانیم تا لاتکس با خمیر تماس حاصل ننماید.

۴- قلم موی کوچکی را به مایع ظرف شویی آغشته می کنیم و با آن لاتکس را به روی مدل می مالیم (اگر قلم مو را به مایع ظرف شویی آغشته نکنیم لاتکس موهای قلم مو را به هم می چسباند و قلم مو غیر قابل استفاده می گردد.)

۵- بعد از اینکه لایه لاتکس را روی مجسمه زدیم یک ساعت صبر می کنیم تا کاملاً خشک شود و همین که از خشک شدن آن اطمینان حاصل کردیم لایه دیگری از لاتکس با قلم مو روی آن می مالیم. البته بعد از هر لایه باید قلم مو را با آب کاملاً بشوییم مدت خشک شدن هر لایه ممکن است بیش یا کمتر از یک ساعت طول بکشد که خود بستگی به میزان رطوبت هوا و گرمای آن دارد وجود پنکه نیز خشک شدن آن را جلو می اندازد.

۶- بعد از اینکه تقریباً ۱۵تا ۲۰ لایه روی هم زدیم می توانیم دو لایه دیگر با خمیری که از مخلوط لاتکس و آرد کاغذ تهیه شده به لایه های قبلی اضافه می کنیم (برای تهیه آرد کاغذ باید کاغذ را داخل چرخ گوشت های برقی تیغه دار بریزیم تا خرد شود و یا مقوای ضخیم و یا فیبر را با سوهان چوب ساب سوهان می کنیم تا آرد شود.)

۷- بعد از اتمام دو لایه آخر دو روز صبر می کنیم و سپس روی آن را با گچ به ضخامت ۲ سانتی متر می پوشانیم و می گذاریم تا کاملاً سفت شود بعد از این مرحله مدل را بر می گردانیم و طرف دیگر آن را روی تخته می خوابانیم و خمیرها را از آن جدا می کنیم.

۸- هم روی لبه قالب لاتکسی و هم روی لبه قالب گچی را با مایع ظرف شویی آغشته می کنیم و صبر می کنیم تا مایع کاملا خشک شود و بعد با قلم مو لاتکس را به ترتیب قبل روی مدل و لبه لاتکس می مالیم و در اینجا نیز باز تعداد لایه ها را به ۱۵ تا ۲۰ می رسانیم باید در نظر داشت که روی لبه قالب را اگر با مایع ظرف شویی نپوشانیم دو تکه قالب به هیچ وجه از هم جدا نمی شوند.

بهتر است لبه های قالب را ۵ تا ۶ لایه ضخیم تر از خود بدنه بگیریم تا بهتر بهم جفت شوند.

۹- روی این قسمت را نیز گچ بگیرید (قسمت گچی را پشت قالب می گویند) و پس از سفت شدن اول پشت قالبها را بردارید و سپس قالب لاتکسی را از هم باز کرده و مدل اصلی را بیرون بیاورید.

۱۰- حالا داخل قالب لاتکسی را به مایع ظرف شویی آغشته کنید و یکی از آنها را داخل پشت قالب قرار دهید و تکه دیگر را روی آن بگذارید و با فشار انگشت لبه ها را به هم فشار دهید تا با هم جفت شوند و بعد پشت قالب خودش را روی آن بگذارید و با نوار کشی (کش لاستیک تویی ماشین) محکم ببندید با ندازه لازم گچ آب بگیرید و به آرامی داخل آن بریزید تا مدل درست شود به جای گچ سیمان نیز می توانید بکار ببرید ولی از ریختن پولیستر به داخل قالب لاتکسی خودداری کنید زیرا پولیستر باعث فاسد شدن قالب لاتکسی می گردد.[۹۱-۲]

۳-۴-۲- انواع قالب های لاستیکی

۱- قالب دو تکه: قالبی است که از دو تکه درست شده باشد مانند قالب های سیلیکونی برای تولید نقش برجسته دو طرفه.

۲- قالب یک تکه شکاف دار یا یقه باز: این قالب یک تکه است و یک شکاف دارد و مثل پیراهن یقه باز از مدل جدا می شود.[۹۲-۲]

شکل ۳-20 قالب یک تکه یقه باز

۳- قالب یک تکه یا دستکشی: این قالب یک تکه است ودر قالب گیری ازفرمهای ساده که زیاد پیچیده نباشد و همچنین درنقش برجسته ها مورد استفاده قرار می گیرد.

۴- فرایند قالب گیری و ساخت

در این بخش به بررسی نحوه و چگونگی ساخت یک پروتز دست مصنوعی می پردازیم. اینکه ساخت دست مصنوعی چه پروسه ای را طی می کند و از چه موادی در ساخت این دست مصنوعی استفاده می شود. فرایند ساخت دست مصنوعی را می توان به سه بخش تقسیم کرد.

۱- ساخت دست مصنوعی برای استفاده به صورت پیش ساخته.

۲- ساخت دست مصنوعی برای فرد قطع عضو از یک دست.

۳- ساخت دست مصنوعی برای فرد قطع عضو از دو دست.

چنین می توان گفت که این تقسیم بندی می تواند یک تقسیم بندی کامل برای ساخت دست مصنوعی باشد. تمامی سه فرایند بالا مراحلی تقریبا مشابه را طی می کنند اما هر چه کار پیچیده تر می شود و عوامل تاثیر گذار در قالب گیری بیشتر، تعداد مراحل برای ساخت دست مصنوعی افزایش می یابد.

۴-۱- ساخت پایه دست مصنوعی

در مورد بخش اول اینگونه می توان بیان داشت که این فرایند چیزی شبیه به مجسمه سازی می باشد و از تمام تکنیک هایی که در فصل قبل به آن اشاره شد بویژه تکنیک های قالب گیری گچی می توان استفاده کرد. اما در مورد فرایند های دوم و سوم بعد از ساخت خود دست نیاز به یک پایه داریم زیرا همانطور که در گذشته هم بررسی شد یک دست مصنوعی را می توان به دو قسمت بدنه و پایه تقسیم کرد که بدنه بخش اصلی دست و پایه بخشی از دست می باشد که به عضو قطع شده فرد اتصال می یابد در نتیجه برای ساخت دست مصنوعی قبل از هر چیز ابتدا باید پایه ای برای کار ساخته شود. برای این کار ابتدا از قسمت و ناحیه قطع شده دست فرد گچ گیری به عمل می آید. یعنی از ناحیه عضو قطع شده به عنوان مدل استفاده کرده و دور تا دور آن را گچ می گیریم.

شکل۴-1- گچ گرفتن دور تا دور ناحیه قطع شده

پس از خشک شدن گچ قالب گچی را از روی عضو قطع شده خارج می کنیم. در این حالت یک قالب گچی توخالی داریم که دقیقا حالت قسمت قطع شده دست فرد را خواهد داشت. حال در داخل این قالب گچی گچ مجسمه سازی می ریزیم و صبر می کنیم تا خشک شود.

شکل۴-2- قالب گچی تو خالی که داخل آن گچ مجسمه سازی ریخته میشود

پس از خشک شدن گچ در داخل در داخل قالب گچی آن را خارج کـرده. در ایـن حالـت یـک مـدل گچی شبیه به قسمت قطع شده بدن فرد خواهیم داشت حال برای اینکه قسـمت پایـه را بسـازیم مـدل گچی را روی یک پایه وصل می کنیم و دوغاب سیلیکون به همراه هاردنر را به صورت لایه لایه از طریق تزریق یا مکش روی مدل می کشیم. امروزه روش مکش به دلیـل دقـت بـالا و کیفیـت سـطحی بـالا از طرفداران زیادی برخوردار می باشد. اما نسبت به روش تزریق که با دست انجام مـی شـود هزینـه هـای بالاتر و تجهیزات بیشتری را نیاز دارد. بدین ترتیب پس از خشک شدن لایه های سیلیکون بر روی مدل گچی مدل را از داخل پایه گچی خارج می کنیم.

شکل۴-3 - مدل گچی بر روی پایه در حال ریختن دوغاب سیلیکون

شکل۴-4- تزریق سیلیکون بر روی مدل گچی

در این حالت یک پایه اولیه داریم که این پایه برای عملیات ماشین کاری اعم از افزایش کیفیت سطحی، ایجاد سوراخ هایی جهت تعبیه الکترود، ایجاد سوراخ هایی جهت ایجاد بسط برای اتصال و رعایت تلرانس ابعادی فرستاده می شود.

شکل۴-5- عملیات ماشین کاری روی پایه اولیه

پس از عملیات ماشین کاری در حقیقت یک پایه آماده داریم که می تواند به قسمتی از دست که دست از آن ناحیه قطع شده است متصل شود و پس از اتصال دیگر قسمت های دست مصنوعی که شامل آرماتور و روکش است روی آن قرار می گیرد. این پایه یک بخش تو خالی است که می تواند محل اتصال الکترود ها برای تولید دست های مصنوعی متحرک نیز باشد.

۴-۲- دست مصنوعی پیش ساخته

مهمترین خصوصیتی که این روش دارد این است که در این روش از یک دست سالم قالب گیری به عمل می آید. یعنی از دست فردی قالب گیری می کنیم که هر دو دست خود را سالم در اختیار دارد. برای ساخت چنین دست مصنوعی از قالب گیری گچی استفاده می گردد. از این روش هم می توان یک دست مصنوعی تو پر و هم می توان یک دست مصنوعی تو خالی تولید کرد که از نظر عملکردی تفاوت چندانی با هم ندارند با این تفاوت که در یکی فرایند ماهیچه گذاری نیز به اجرا در می آید.

۴-۲-۱- دست مصنوعی پیش ساخته تو پر

برای ساخت این دست مصنوعی ابتدا از دست فرد یک قالب گچی گرفته می شود. یعنی دور تا دور دست را گچ مخصوص می گیرند. در این حالت از دست فرد به عنوان مدل استفاده می شود. پس از خشک شدن کامل گچ، دست را از راخل آن خارج می کنند. در این حالت قسمت داخلی قالب شکل دست را بطور کامل به خود گرفته است. حال در داخل این قالب گچی گچ مجسمه سازی می ریزند. پس از خشک شدن گچ داخل قالب، قالب اصلی متلاشی شده و دست مصنوعی گچی از داخل آن خارج می شود. به این نوع قالب، قالب یک بار مصرف یا قالب غیر دائمی می گویند. در داخل این قالب به جای گچ می توان هر ماده دیگری که قابلیت تندیس سازی از آن وجود داشته باشد می توان استفاده کرد. در ادامه برخی از مراحل کار بصورت مصور ارائه گردیده است.

شکل۴-6- گچ گیری دور تل دور دست برای ساخت قالب گچی

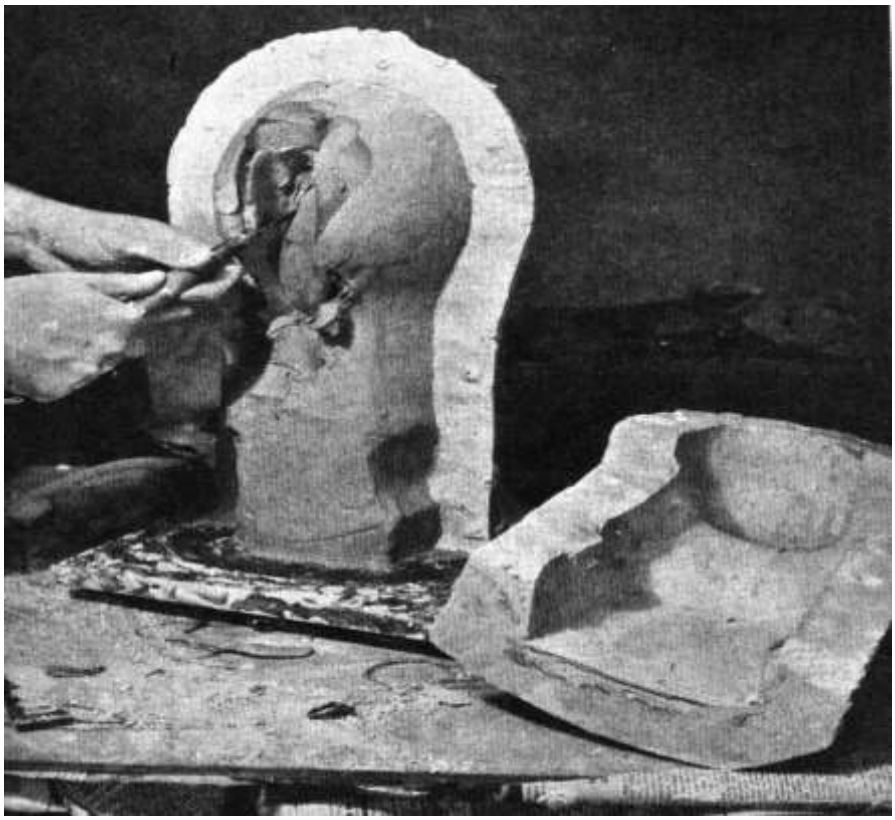
شکل۴-7- ریختن گچ مجسمه سازی در داخل قالب گچی

شکل ۴-8- گچ مجسمه سازی در حال خشک شدن درون قالب

شکل۴-9- تندیس نهایی پس از متلاشی شدن قالب گچی

۴-۲-۲- دست مصنوعی پیش ساخته تو خالی

در این روش برخلاف روش قبل که قالب یک تکه از دست گرفته می شود، از قالب گیری دو تکه یـا دو درجه ای استفاده می کنیم (ایجاد نقش برجسته دو طرفه). برای ساخت چنین دستی هم می توان از یک دست و هم می توان از مدل مرده استفاده کرد. در هر دو روش و حالت ابتدا خمیر مجسمه سازی را روی میز کار پهن می کنیم سپس دست را روی خمیر مجسمه سازی قرار داده و تا نیمه در آن فرو مـی کنیم، در قسمت های کناری دست ساچمه هایی کار می گذاریم تا بتوانیم بخش منفی و مثبت قالـب را تولید نماییم. سپس روی دست را کاملا گچ می گیریم و صبر می کنیم تا گچ کاملا خشک شود. بعـد از آن دست را به همراه نیمه منفی قالب برمی گردانیم و این بار قسمت رویی دست را گچ می گیریم و بـاز هم صبر می کنیم تا گچ کاملا خشک شود.



شکل۴- 10- نمایش قسمت مثبت و منفی قالب

پس از خشک شدن کامل گچ دو نیمه قالب را که تمامی جزئیات یک دست را شامل می شوند از هم باز می کنیم و در داخل سطح داخلی قالب را صابون می مالیم تا از چسبندگی جلوگیری به عمل آید. حال باید قسمت ماهیچه را تولید کنیم، برای این امر سطح داخلی را به ضخامت دست مصنوعی مورد نظر تو خالی با خمیر مجسمه سازی یا خمیر کاغذ کاملا می پوشانیم.

شکل۴-11- صابون مالی و سپس پوشاندن سطح داخلی قالب بوسیله خمیر

در این بخش باید دقت داشته باشیم که دو انتهای خارجی قالب از این امر مستثنا هستند. یعنی آن قسمت ها را با خمیر مجسمه سازی نمی پوشانیم. با این روش در حقیقت ریشه ماهیچه ایجاد می کنیم تا ماهیچه ای که در درون قالب قرار می گیرد جایی برای تکان خوردن نداشته باشد. پس از اینکه سطح داخلی قالب را بطور کامل با خمیر مجسمه سازی پوشاندیم البته به ضخامت مورد نظر، این بار دو درجه

قالب را از هم جدا می کنیم، ماهیچه تولیدی را خارج مـی کنـیم و خمیـر مجسـمه سـازی را از سـطح داخلی قالب پاک می کنیم. در این حات یک قالب خواهیم داشت به همراه یـک ماهیچـه بـرای سـاخت دست مصنوعی تو خالی. در ادامه فرایند ابتدا ماهیچه تولیدی را در داخل قالب قرار می دهـیم و سـپس نیمه دیگر قالب را بر روی آن قرار می دهیم، در چنین حالتی ریشه ماهیچه اجـازه هـیچ گونـه حرکـت اضافی به ماهیچه در داخل قالب نمی دهد. پس از محکم کردن قالب حال ما یک قالب داریم به همراه یک ماهیچه در داخل آن که اطراف آن فضای خالی ایجاد شده و آماده برای ریختن ماده مجسمه سازی می باشد. این ماده می تواند دوغاب سیلیکون باشد بنابراین دوغـاب سـیلیکون را در فضـای بـین سـطح داخلی قالب و ماهیچه ریخته و دست را تولید می کنیم. پس از اینکه دوغاب سـیلیکون خـود را گرفـت قالب را باز کرده و دست را خارج می کنیم و ماهیچه را نیز از داخل آن خارج می کنیم تا دست تو خالی آماده باشد. نکته قابل ذکر آن است که در حین ریختن دوغاب در داخل قالب باید قالـب را بوسـیله گـچ کاملا محکم نماییم. برای این فرایند می توان از روش قالب گیری سیلیکونی نیـز اسـتفاده کـرد کـه در بخش نتایج به آن اشاره می شود.

شکل۴-12- قالب گچی در حال پر شدن از دو غاب

۴-۳- ساخت دست مصنوعی برای فرد قطع عضو از یک دست

این فرایند کمی متفاوت با ساخت دست مصنوعی ساده می باشد. زیـرا در ایـن روش دسـتی وجـود ندارد که از آن قالب گیری به عمل آید در نتیجه کار کمی مشکل تر و پیچیده تر می شود. برای چنـین افرادی از فرایند شبیه سازی استفاده می گردد. مثلا برای فردی که دست راست خـود را از دسـت داده است از دست چپ او برای ساخت دست راست استفاده می گردد با این توصیف که دسـت چـپ او را در نرم افزاری به نام catia شبیه سازی کرده و با عمل mirror کردن آن، دست چپ را به دسـت راسـت تبدیل می کنند و از روی آن دست مصنوعی را می سازند. در این بخش از آنجا که امکان شـبیه سـازی دست وجود نداشت یک بدنه هواپیما و یک دستگیره از دو روش پرسـپکتیو و اسـکن سـه بعـدی شـبیه سازی شده است و باید توجه داشت که فرایند شبیه سازی دست مصنوعی دقیقا همـان فراینـد ایـن دو روش است با توجه به این نکته که از چه روشی برای ایجاد wireframe استفاده می شود. بطـور کلـی در سطح سازی به کمک نرم افزار catia باید یک wireframe طراحی کرد که نقش اساسی در ایجاد سطح را دارد. این wireframe را به سه روش می توان طراحی کرد:

۱- بوسیله اندازه گیری ابعاد دست.

۲- به کمک گرفتن اسکن سه بعدی از دست.

۳- به کمک گرفتن عکس از سه بعد دست (پرسپکتیو).

روش دوم و سوم با هم تفاوت هایی دارند که به قرار زیر می باشند:

در روش دوم نیاز به ایجاد مقطع از نمونه مورد نظر کمتر احساس می شود. بدین ترتیب در مهندسی معکوس طرفداران بیشتری دارد و بیشتر برای شبیه سازی مورد استفاده قرار می گیرد. از طرف دیگر در

این روش نمونه دقیق تر مدل می شود و برای قطعات حساس مثل پره های توربین که روی سطح انحنا داریم استفاده می شود. (برای مدل کردن نیاز به wireframe داریم). در روش سوم که جلوتر آن را بطور کامل مورد بررسی قرار می دهیم با استفاده از سه عکس از سه بعد قطعه و همچنین مقطع هایی از قسمت های مختلف قطعه که می تواند همان دست باشد شروع به مدل کردن می کنیم. به کمک این عکس ها ابتدا باید wireframe را طراحی می کنیم و سپس روی این وایرفریم سطح را اعمال می کنیم تا قطعه کاملا شبیه سازی شود. بنا بر این برای طراحی یک عضو مثل دست می توان از نرم افزار کمک گرفت که به این ترتیب باید برای مدل کردن عضو ابتدا wireframe را به یکی از سه روش بالا طراحی کرد و سپس روی آن سطحی اعمال کرد تا عضو مورد نظر شبیه سازی شود. قبل از این کار شرح مختصری در مورد نرم افزار catia و کاربرد های آن در مهندسی ارائه می کنیم.

۴-۳-۱- نرم افزار Catia

نرم افزار کتیا نرم افزاری قوی برای طراحی به کمک کامپیوتر (CAD)، مهندسی (تحلیل) به کمک کامپیوتر (CAE) و ساخت به کمک کامپیوتر (CAM) از سیستمهای مطرح روز دنیا در صنایع هوافضا (هواپیما سازی)،دریائی، عمران (ساختمانی)، خودرو سازی،طراحی سازه، ادوات صنعتی، کارخانجات لوازم خانگی و ... که از این نرم افزار در پرسه های طراحی صنعتی خود استفاده می کنند. از نتایج استفاده این نرم افزار می توان کاهش زمان طراحی، کاهش خطا در طراحی، بهینه کردن طرح کاهش زمان تولید، افزایش کیفیت محصول و افزایش سود دهی را نام برد.

در ایران این نرم افزار ابتدا توسط شرکت های خودروسازی ایران خودرو (IRAN Khodro) و سایپا (SAIPA) خریداری شد. پس از یادگیری این نرم افزار توسط مهندسین این شرکت ها این نرم افزار به محبوب ترین نرم افزار مهندسی کشور در میان مهندسین و دانشجویان مبدل شد به طوری که هم اکنون از این نرم افزار در صنایع مختلف در ایران استفاده می شود.[۱۷]

۴-۳-۱-۱- تاریخچه نرم افزار کتیا (CATIA)

در سال ۱۹۶۹ شرکتی با نام Dassault در فرانسه نرم افزاری بنام CATI برای نقشه کشی دو بُعدی و ماشینکاری با کمک کامپیوتر پایه گذاری نمود و در سال ۱۹۷۵ این محصول به محیط سه بُعدی گسترش پیدا کرد و در آن زمان با انجام پروژهٔ ساخت مدل تونل باد برای یک شرکت هواپیماسازی که بطور معمول ۶ ماه زمان نیاز داشت، در طی ۴ هفته به نتیجه رساند. با این عمل تحولی در دنیای طراحی، ساخت و تولید ایجاد کرد.[۱۳]

در سال ۱۹۸۱ بطور عمومی نام آن به CATIA تبدیل شد و در ژوئن همان سال شرکت I.B.M. نیز این شرکت را به همراه نرم افزارش بین نرم افزارهای امریکائی و ژاپنی، برای توسعه، گسترش، خدمت رسانی و کسب درآمد در سراسر جهان برگزید.[۱۳]

ویرایش ۴ کتیا در سال ۱۹۹۴ به بازار ارائه شد که به علت حجم زیاد برنامه، تنها بر روی Work Station ها قابل اجراء بود که هزینهٔ بالائی داشت. ویرایش ۵ آن که تحت ویندوز می باشد نیز در اواخر دههٔ ۹۰ وارد بازار شد. نگارش ۵ آن به حدی پر قدرت بود که حتی کاربران نگارش های قبل را متحیّر ساخت. نگارش ۵ نه تنها امکانات گستردهٔ ۴ را حفظ کرده بود بلکه اصلی ترین مشکلی که کاربران نگارش ۴ داشتند، یعنی کاربری سخت آن را نیز برطرف کرده بود.[۱۳]

در سال ۱۹۹۷ این شرکت برای کاربران سطح پائین نرم افزار Works Solid را به بازار عرضه کردند. اکنون CATIA V.5 کاملاً User Friendly می باشد و به راحتی با ریز پردازنده های پنتیوم ۴ قابل اجراء می باشد.

این نرم افزار دارای کاربردهای وسیعی است که در زیر به برخی از آنها اشاره می گردد:

۱- محیط های مدل سازی : (Solid Model) این قسمت که در زیر مجموعه ماژول Mechanical Design قرار دارد برای مدل کردن قطعات توپر (Solid) و مجموعه مونتاژی و طراحی قالب و طراحی مدل های ورقکاری(Sheetmetal) ، نقشه کشی صنعتی، تلرانس گذاری و ... استفاده می شود.

مدل سازی سطوح: این قسمت علاوه بر ساخت سطوح پیچیده قابلیت انجام مدلسازی روی ابر نقاط و فایل های حاصل از اسکن سه بعدی را نیز دارا است.

۲- محیط ماشینکاری: پس از ساخت مدل به کمک قابلیت های محیط ماشینکاری به راحتی می توان عملیات ماشینکاری مورد نیاز برای تهیه قطعه مدل شده از روی قطعه خام را تعریف کرده و هر مرحله از ماشینکاری را بصورت متحرک (انیمیشن) مشاهده کنید.

۳- محیط تحلیل المان محدود: به کمک قابلیت های این محیط می توانید قطعات و مدل های مونتاژی ساخته شده در این نرم افزار را تحلیل کرده و مواردی مانند تغییرشکل، توزیع تنش و ... را در آنها بدست آورد.

۴- طراحی و تحلیل مکانیزم ها: به کمک این قابلیت از نرم افزار Catia می توانید پس از تعریف اتصالات بین اجزای مختلف مکانیزم، حرکت مکانیزم را مشاهده کرده و آن را تحلیل کنید.

یکی از مهمترین قابلیت های این نرم افزار این است که به کاربر اجازه می دهد به راحتی که از یک محیط کاری به محیط کاری دیگر منتقل گردد. به عنوان مثال شما پس از این که در محیط Digitized Shape Editor از یک ابر نقاط اسکن تهیه کردید به راحتی می توان در محیط Genrative Shape Design و یا Free Style از آن Surface تهیه کنید. زیرا همانطور که شاید اطلاع داشته باشید برای اینکه بتوانید مدل خود را از یک محیط به محیط دیگر ببرید ابتدا نیاز

است که مدل خود را به صورتی ذخیره و یا Import کنید کـه نـرم افـزار دیگـر قابلیـت خوانـدن ایـن اطلاعات را داشته باشند و احتمالا در این انتقال مدل شما ممکن است data lost داشته باشد.[۱۳]

۴-۳-۱-۲- ویژگیهای اصلی نرم افزار Catia

۱- نگهداری تاریخچهٔ تهیهٔ مدل (History): این امر سبب می گردد تا بتوان با حداکثر قدرت بـه ساخت و مدیریت مدل ها پرداخت (میتوان مکان عملیات را جابجا و یا آنان را موقتاً بـی اثـر نمـود. بـه عنوان مثال می توان اثر یک فیلد را خنثی کرد.)

۲- برخورداری از قابلیت پارامتریک و فرمول پذیری (Parametric): با ایـن خاصـیت مـی تـوان ابعاد یک مدل را بصورت وابسته به مقادیر دیگر ترسیم نمود و در صورت تغییر در پارامترهای اولیه مدل به هنگام می گردد.

۳- بلادرنگ (Real Time): مشاهده شدن تغییرات بصورت همزمان. بـه عنـوان مثـال تغییـر در سایز یک مکعب و یا دوران آن در حالت Shade در هنگام اجراء سایر دستورات.

۴- هوشمندی (Intelligent): سبب می گردد تا بـا بکـارگیری الگـوریتم هـای پیشـرفته کمـک شایانی به کاربر نماید تا با حداقل عملیات به هدف مورد نظر دست یابد.

۵- رابطهٔ بسیار قوی گرافیک (Advance Interface): یکی از ایرادهای اصلی اکثر نرم افزارهـا، نداشتن محیط راحت و قوی گرافیکی است. محیط راحت و کاربرپسند کتیا سبب می گردد تا کـاربر بـه راحتی خواسته های خویش را مهیا سازد.

از دیگر ویژگی ها می توان قابلیت جابجائی آسان و سریع بین محیط ها، سرعت بـالای واکـنش نـرم افزار در برابر عملیات صورت گرفته، مدیریت بر فعالیت های مربوط به طراحی، خروجی بـا فرمـت هـای

مختلف، قابلیت تبادل اطلاعات بین دیگر نرم افزارهای CAD و حتی کاربر می تواند یک محیط دلخـواه کاری با آیکون های مورد نیاز خود، طراحی کند.[۱۳]

۴-۳-۲- شبیه سازی از طریق تصویر از سه نما (پرسپکتیو)

در این روش همانطور که پیشتر اشاره شد برای شبیه سازی قطعه یا عضو بدن ابتدا باید سـه تصـویر و پرسپکتیو از سه نمای قطعه یا عضو ایجاد گردد و این تصاویر به نرم افزار انتقال یافته و پس از انتقـال تصاویر و مقاطع طراحی شده به نرم افزار یک wireframe بر مبنای آن طراحـی مـی شـود و پـس از طراحی این وایر فریم که در ادامه به طور کامل در مورد بدنه یک هواپیما شرح داده خواهد شد روی آن سطح کشیده می شود تا شبیه سازی بطور کامل صورت گیرد. در ادامه از آنجا که ایجاد مقطع از دسـت امکان پذیر نبود طراحی برای بدنه هواپیما صورت گرفت که البته لازم به ذکر است که فرایندی که برای تولید وایرفریم و تولید سطح در مورد بدنه هواپیما صورت می گیرد تفاوتی با فرایند شبیه سـازی دسـت ندارد و در نتیجه از بدنه هواپیما به عنوان مثال استفاده شده است.

۴-۳-۲-۱- ایجاد شبکه‌ای از منحنی‌ها منطبق بر عکس‌های ورودی

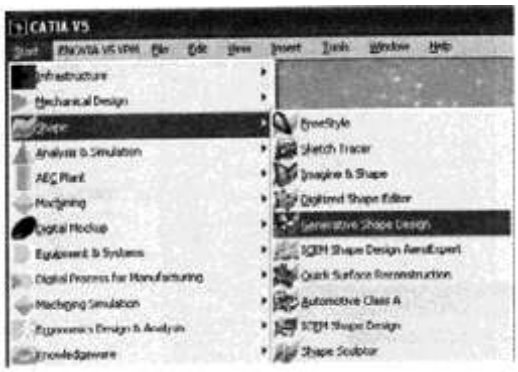
در این قسمت، پس از وارد کردن عکس‌هایی از سه نمای مدل به نرم‌افزار CATIA، به‌کمک ابزارهای محیط Free Style شبکه‌ای از منحنی‌ها را براساس آن‌ها طراحی می‌کنیم.[۵]

۴-۳-۲-۲- ایجاد یک Geometrical Set

با ورود به محیط CATIA، به‌صورت پیش‌فرض یک پنجره Product خالی ایجاد می‌شـود. فعـلاً بـه این پنجره نیازی نداریم؛ می‌توانیم با انتخاب گزینه Close از منوی File، آن را ببندیم.

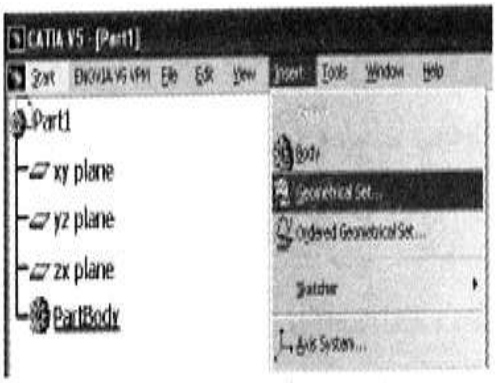
مطابق شکل۴-۱۳ ، از منوی Start، گزینه Shape و سپس از زیر منـوی آن، گزینـه Generative Shape Design را انتخاب می کنیم تا وارد این مجیط شود. در پنجره باز شده، مطابق شـکل ۴-۱۴ ، گزینه Enable hybrid design را غیرفعال و بر روی دکمه OK کلیک مـی کنـیم. اکنـون یـک Part خالی در محیط Generative Shape Design ایجاد شده است.

مطابق شکل ۴-۱۵، از منوی Insert گزینه Geometrical Set را انتخاب می کنیم و در پنجره باز شده، عبارت Reference را برای Name وارد و بر روی دکمه OK کلیک می نماییم.[۵]



شکل۴-13-منوی start

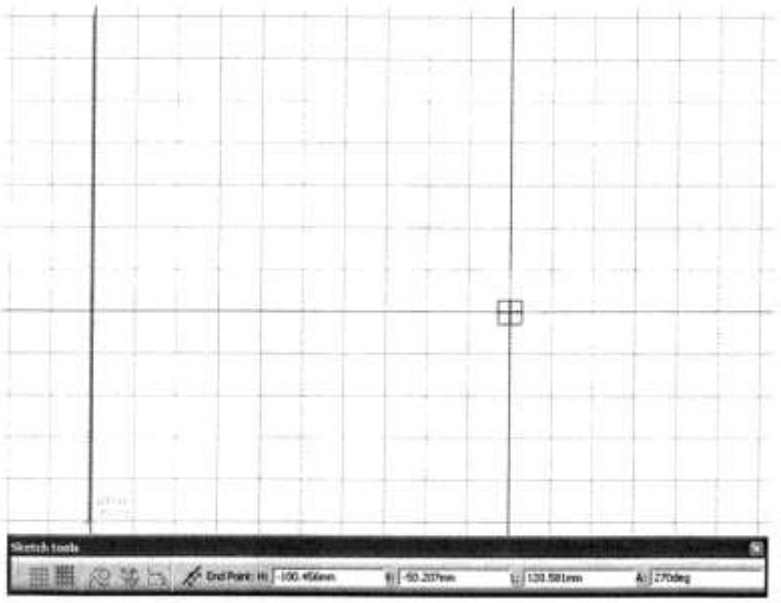
شکل۴-14- ابزار ایجاد بخش جدید



شکل۴- 15- منوی insert

۴-۳-۲-۳- ایجاد یک طرح دو بعدی

بر ابزار Sketch از جعبه‌ابزار Sketcher کلیک می نماییم و از نمودار درختی، yz plane را انتخاب می کنیم. مطابق شکل ۴-۱۶. بعد یک خط عمودی را در طرف چپ محور V رسم می کنیم، به‌طوری که طول خط تقریباً 120mm و فاصله افقی آن از مبدأ، تقریباً 100mm باشد. برای این کار با استفاده از ابزار Line از جعبه‌ابزار Profile، روی نقطه بالای خط در طرف چپ محور V کلیک می کنیم. قبل از کلیک برایب انتخاب نقطه دوم خط، در جعبه‌ابزار Sketch tools، مقدار L (طول خط) و H (فاصله افقی خط از مبدأ) را کنترل می کنیم. سپس از محیط Sketcher خارج می شویم.[۵]



شکل۴-16- ایجاد خط عمودی در صفحه

۴-۳-۲-۴- ایجاد یک سطح با ابزار Extrude

بر ابزار Extrude از جعبه‌ابزار Surfaces کلیک نمایید و در پنجره باز شده، طرح دوبعدی Sketch.1 را به‌عنوان Profile و yz plane را به‌عنوان Direction انتخاب می کنیم. بر روی دکمه Reverse Direction کلیک می کنیم. اشاره‌گر ماوس را در صفحه نمایش بر روی Limit 1 قرار می دهیم. دکمه سمت چپ ماوس را نگه می داریم و آن را تا طول تقریبی 285mm مطابق شکل صفحه بعد می کشیم. سپس بر روی دکمه OK کلیک می کنیم.[۵]

شکل ۴-17- سطح باز ایجاد شده با ابزار extrude

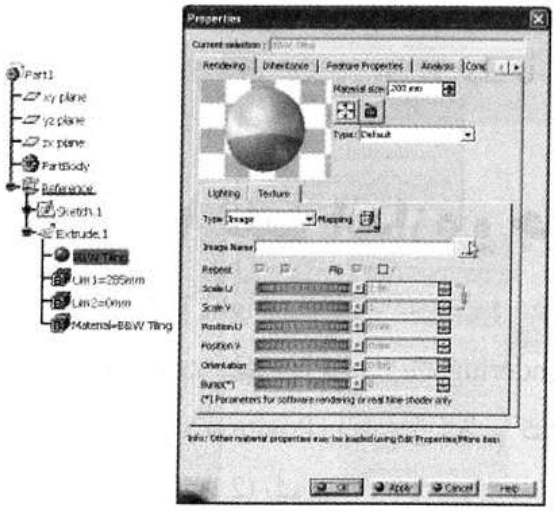
۴-۳-۲-۵- به‌کار بردن یک ماده طرح‌دار بر روی سطح

مطابق شکل ۴-۱۸-الف، بر ابزار Apply Material از جعبه‌ابـزار Apply Material کلیـک مـی کنیم و در پنجره باز شده از زبانه Construction یک ماده طرح‌دار مثل B & W Tiling انتخاب می نماییم. بر روی سطح ایجاد شده در قسمت قبل کلیک و دکمه OK را انتخاب می کنیم. مطابق شکل ۴-۱۸- ب برای دیدن طـرح روی قطعـه، بـر ابـزار Shading with Material از جعبـه View کلیـک می نماییم.[۵]

شکل۴-18- ابزار Apply Material برای ایجاد ماده طرح دار

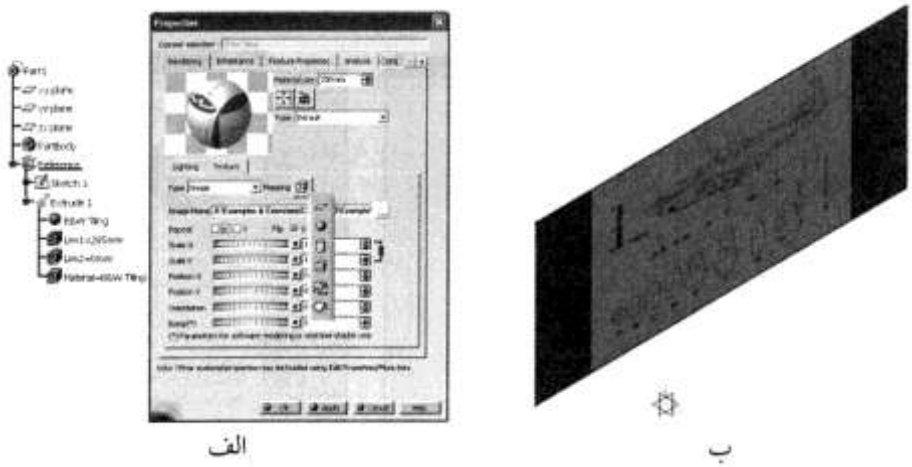
۴-۳-۲-۶- جایگزینی عکس با طرح پیش‌فرض

از نمودار درختی، روی B&W Tiling دو بار کلیک می نماییم و در پنجره باز شده (Properties)، مطابق شکل زیر، از زبانه Rendering و سپس زبانه Texture در پایین پنجره را انتخـاب مـی کنـیم. گزینه Image را به‌عنوان Type در نظر می گیریم و برای انتخاب عکس مورد نظر خود بر آیکن کلیک می کنیم. از پوشه Examples & Exercises، فایـل Ariplane-right.jpg را از پوشـه ایـن بخـش انتخاب نموده و دکمه Open را کلیک می کنیم.[۵]



شکل۴-19- نمودار درختی B&W Tiling

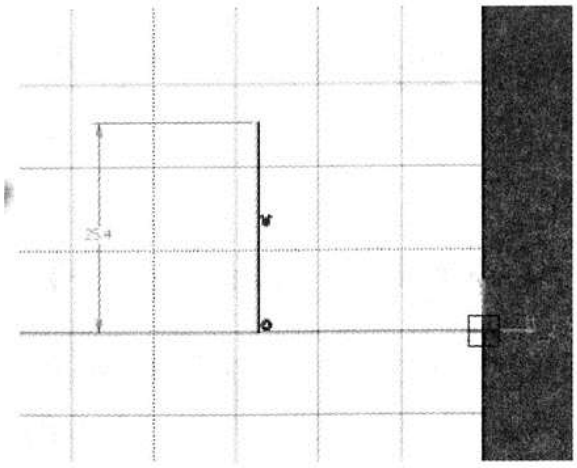
برای اصلاح نحوه نمایش عکس، مطابق شکل ۴-۲۰- الف، در پنجره Properties، آیکن (Cubical Mapping) را از قسمت Mapping انتخاب می کنیم، در بخش Flip گزینه U را فعال و در بخش Repeat، گزینه‌های U و V را غیرفعال می کنیم. با کلیک روی دکمه OK، شکل ۴-۲۰- ب حاصل می‌شود.



شکل۴-20 - اصلاح نحوه نمایش عکس

۴-۳-۲-۷- ایجاد یک طرح دو بعدی

بـر ابزار Sketch از جعبه‌ابـزار Sketcher کلیـک مـی نمـاییم و از نمـودار درختـی zx plane را انتخاب می کنیم. مطابق شکل ۴-۲۱ خط عمودی در سمت چپ محور V رسم می کنـیم. یـک انتهـای این خط باید با محور H در تماس باشد. بر ابزار Constraint از جعبه‌ابزار Constraint کلیک نمـوده و سپس خطی را که رسم کرده ایم، انتخاب می کنیم. مقدار 25.4mm (برابـر یـک ایـنچ) را وارد مـی کنیم و از محیط Sketcher خارج می شویم.[۵]



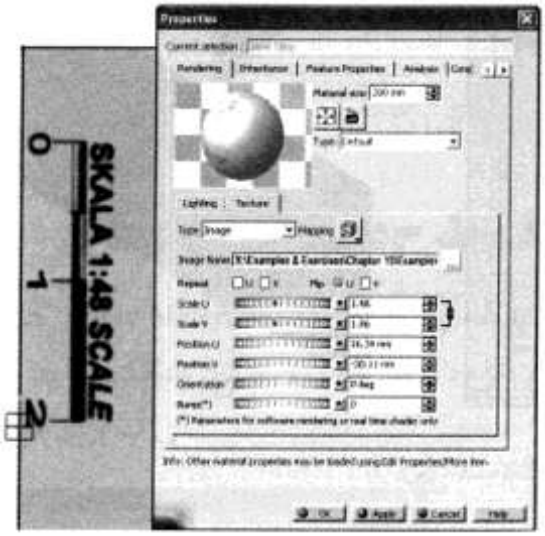
شکل۴- 21- نمودار ایجاد طرح دو بعدی

هدف از این کار، تطبیق دادن اندازه ترسیمات با اندازه واقعی است. همان‌طور که اشاره شد. علاوه بـر مشخص کردن خطوط مدل در عکس‌های ورودی، باید اندازه‌ای را متناسـب بـا انـدازه واقعـی در عکـس ورودی به‌عنوان مقیاس مشخص کردن تا با ترسیم کردن خطی در نرم‌افزار بـه همـان انـدازه خـط را بـا اندازه مشخص شده در عکس تطبیق داد تا با این کار اندازه واقعی عکس حاصل شود.

۴-۳-۲-۸- تغییر اندازه و جابه‌جا کردن تصویر مرجع

بر ابزار Right View از جعبه‌ابزار View کلیک می کنیم. از نمودار درختی بر روی B & W Tiling دو بار کلیک می نماییم و در پنجره باز شده، زبانه Rendering را انتخاب می کنیم که طول خط رسم شده در قسمت قبل (Sketch.2)، نصف طول مقیاس (مثلاً از ۱ تا ۲) بشود.

اکنون مقادیر مقیاس را تغییر ندهید و برای اینکه مطابق شکل صفحه بعد ، رأس شکل بر روی مبدأ مختصات قرار بگیرد، Position و Position V را در پنجره Properties تغییر می دهیم. در انتخاب بر روی دکمه OK کلیک می نماییم.[۵]



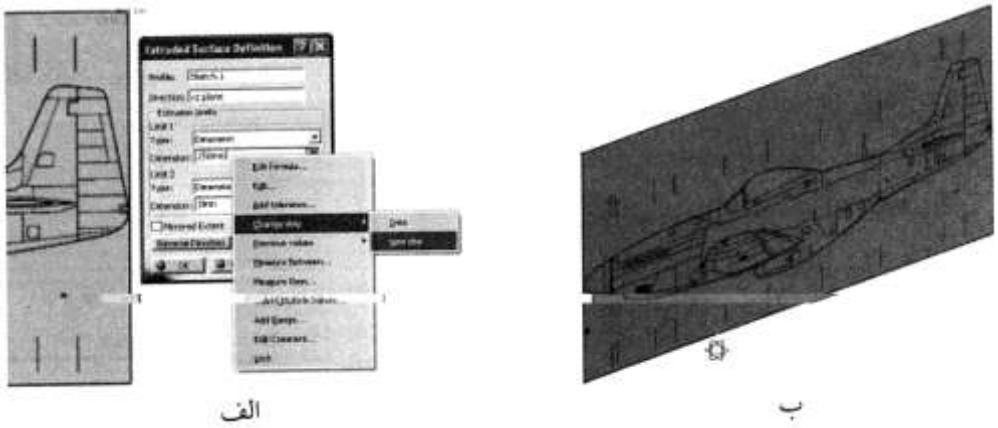
شکل ۴-22 - پنجره تغییر اندازه و ابعاد تصویر ابتدایی

۴-۳-۲-۹- حذف طرح دوبعدی

از نمودار درختی، بر روی Sketch.2 کلیک کنید و کلید <Delete> را از فشار می دهیم.

۴-۳-۲-۱۰- تغییر اندازه سطح برای منطبق شدن تصویر

از نمودار درختی بر روی Extrude.1 دو بار کلیک می کنیم تا پنجره Extruded Surface Definition باز شود. برای اینکه لبه‌های سطح، با تصویر دم هواپیما مماس شوند، مطابق شکل زیر قسمت الف در پنجره این ابزار، مقدار Dimension بخش Limit 1 را تغییر می دهیم. همان‌طور که مشاهده می‌شود با کلیک بر آیکن در بخش Dimension مقدار آن در هر بار کلیک، 1mm تغییر می‌کند. برای اینکه میزان این تغییر را به دلخواه تعیین کنیم، می‌توانیم در بخش Dimension، کلیک راست نماییم و از زیر منوی Change step گزینه new one را انتخاب کنیم، سپس در پنجره باز شده مقدار 0.1mm را وارد و آن را تأیید نماییم. اکنون مطابق شکل زیر قسمت ب مقیاس، موقعیت و اندازه نمای راست (Right View) صحیح است.[۵]

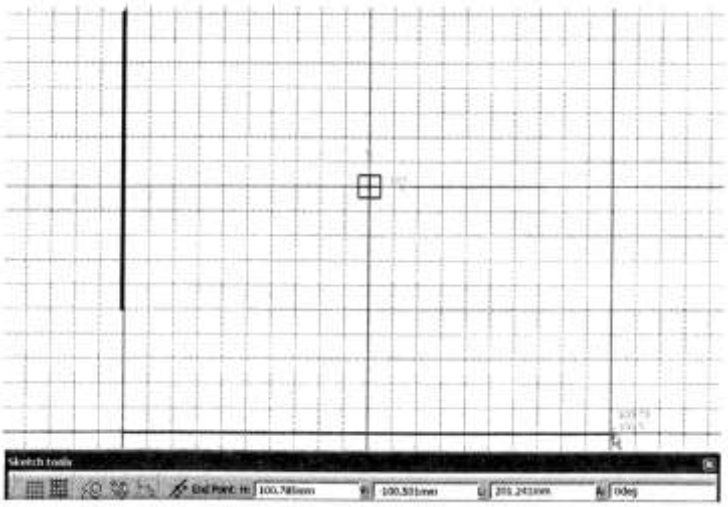


شکل ۴-23- نحوه منطبق کردن تصویر در پنجره Extrude

۴-۳-۲-۱۱- ایجاد طرح دوبعدی

بر ابزار Sketch از جعبه‌ابزار Sketcher کلیک می کنیم و از نمودار درختی، yz Plane را انتخاب می نماییم. مطابق شکل ۴-۲۴، خطی افقی با طول تقریبی 200mm و تقریباً 100mm زیر

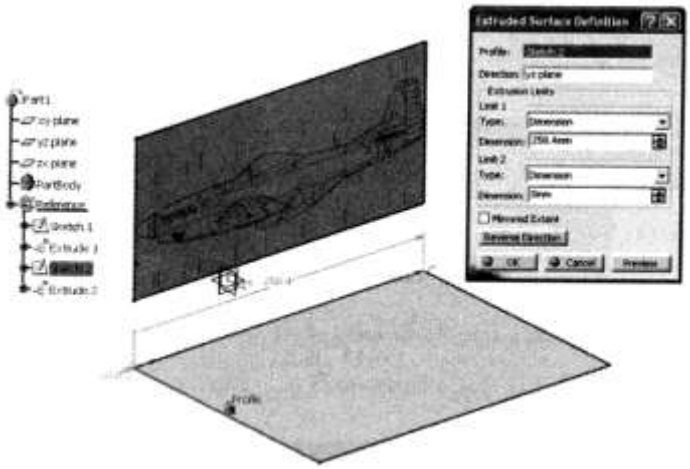
مبدأ رسم می کنیم. نقطه اول خط را انتخاب نموده و قبل از انتخاب نقطه دوم توجه مـی کنـیم کـه در پنجره Sketch tools مقدار L تقریباً 200mm باشد. سپس از محیط Sketcher خارج شویم.[۵]



شکل ۴-24- ایجاد طرح دو بعدی در صفحه

۴-۳-۲-۱۲- ایجاد سطح با ابزار Extrude

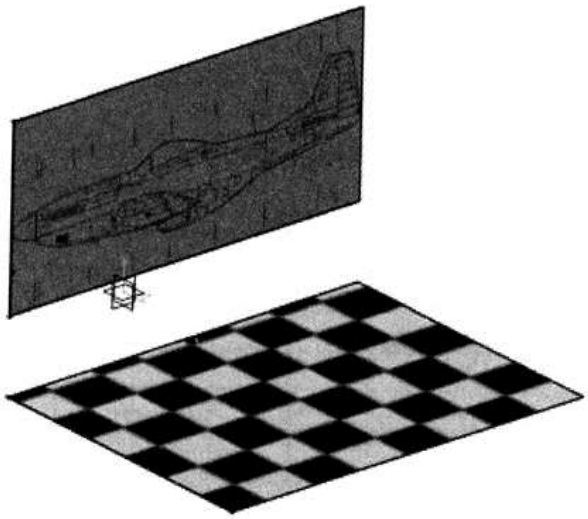
بر ابزار Extrude از جعبه‌ابزار Surfaces کلیک می کنیم و در پنجره باز شده، مطابق شکل ۴-۲۵، طـرح دوبعـدی Sketch (ایجـاد شـده در قسـمت قبـل) را بـه‌عنـوان Profile و plane را بـه‌عنـوان Direction در نظر می گیریم. بر دکمه Reverse Direction کلیک می کنیم. مقدار Dimension را مانند سطح Ectrude.1 وارد کنید و روی دکمه OK کلیک می نماییم.[۵]



شکل ۴-25- پنجره ایجاد سطح باز با ابزار Extrude

۴-۳-۲-۱۳- به‌کار بردن یک ماده طرح‌دار بر روی سطح

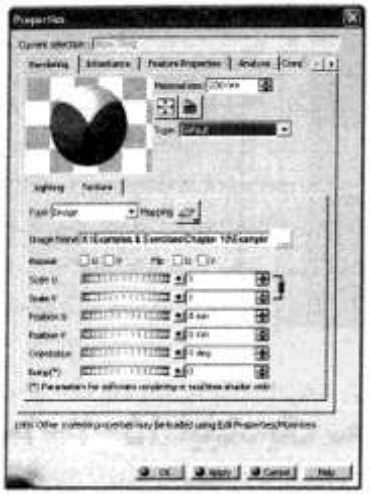
بر ابزار Apply Material از جعبه‌ابزار Apply Material کلیک نمـوده و در پنجـره بـاز شـده، از فهرست، یک ماده طرح‌دار مثل B & W Tiling را انتخاب می کنیم. بر روی سطح Extrude.2 کلیک نموده و سپس روی دکمه OK کلیک می نماییم تا شکل زیر حاصل شود.[۵]



شکل ۴-26- سطح طرح دار ایجاد شده

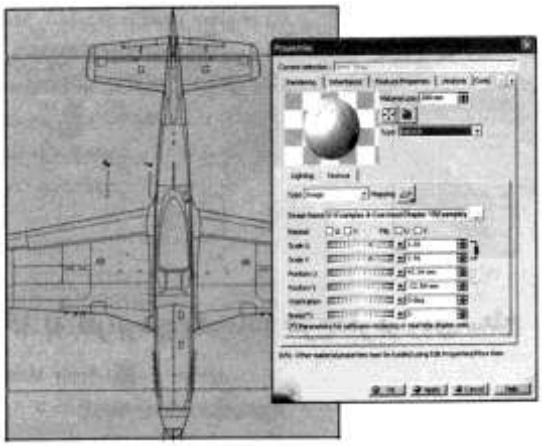
۴-۳-۲-۱۴- جایگزینی عکس با طرح پیش‌فرض

از نمودار درختی بر روی B &W Tiling دو بار کلیک نموده و در پنجره بـاز شـده (Properties)، مطابق شکل ۴-۲۷، زبانه Rendering را انتخاب می کنیم. سپس در همان پنجره، زبانـه Texture را انتخاب می کنیم و گزینه Image را به‌عنوان Type در نظر می گیریم. برای انتخـاب یـک عکـس، بـر آیکن کلیک می کنیم. از پوشه Examples & Exercises فایل Airplane-top.jpg را از پوشه این بخش انتخاب نموده و دکمه Open را کلیک می کنیم. با باز شدن عکس هواپیمـا مـی‌بینـیم کـه ایـن عکس به‌درستی بر روی صفحه، تصویر شده است؛ بنابراین نیازی به این تغییر آن نداریم. باید توجه کنیم که در پنجره ابزار Properties، در مقابل Repeat، گزینه‌های U و V فعال نباشند.



شکل ۴-27- پنجره B&W Tiling

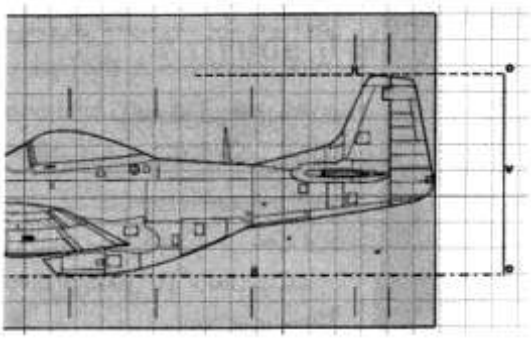
بر ابزار Top View از جعبه‌ابزار View کلیـک نمـوده و مطـابق شـکل ۴-۲۸، مقـادیر Scale U و Scale V را تا زمانی که نوک و دم هواپیما با لبه سطح مماس شوند، تنظـیم کنیـد. بـرای اینکـه نـوک تصویر بر روی مبدأ واقع شود، مقادیر Position U و Position V را تنظیم می کنیم. سپس بـر روی دکمه OK کلیک می نماییم.[۵]



شکل ۴-28 - مماس کردن ابتدا و انتها با سطح

۴-۳-۲-۱۵- ایجاد یک طرح دوبعدی

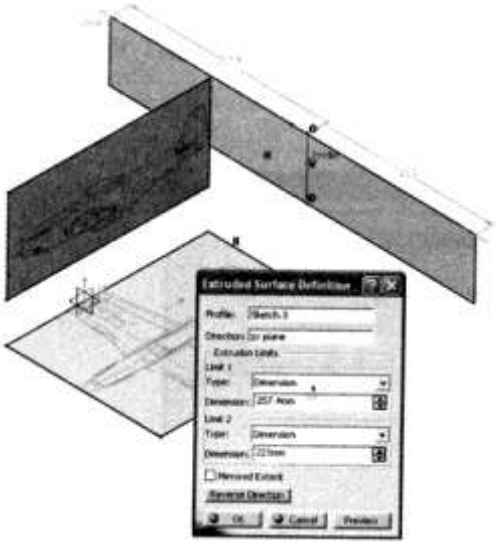
بـر ابـزار Sketch از جعبه‌ابـزار Sketcher کلیـک مـی کنـیم و از نمـودار درختـی، zx Plane را انتخاب می نماییم. یک خط عمودی با استفاده از ابزار Line از جعبه‌ابزار Profile، مطابق شـکل ۴-۲۹ رسم می کنیم. دو محور افقی با استفاده از ابزار Axis از جعبـه‌ابـزار Profile منطبـق بـر دو سـر خـط عمودی به‌عنوان مرجع رسم می کنیم و سپس خط عمودی را با این محور طوری تنظیم می کنـیم کـه دو محور بر نقاط بالایی و پایینی تصویر پیش‌زمینه مماس باشند. سپس از محیط Sketcher خارج می شویم.[۵]



شکل ۴-29- رسم خط عمدی در انتهای قطعه

۴-۳-۲-۱۶- ایجاد یک سطح با ابزار Extrude

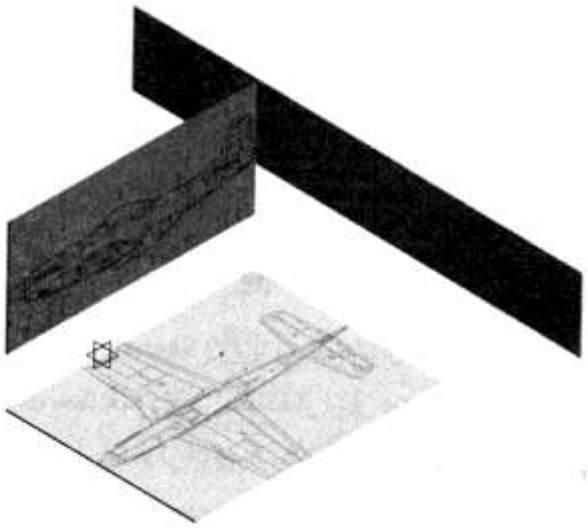
بر ابزار Extrude از جعبه‌ابزار Surfaces کلیک می کنیم و در پنجره باز شده، مطابق شکل ۴-۳۰، طرح دوبعدی Sketch.4 را به‌عنوان Profile و zx plane را از نمودار درختی به‌عنوان Direction در نظر می گیریم و بر روی دکمه Reverse Direction کلیک می کنیم. برای اینکه طول Extrude شده در دو راستا، تقریباً یکسان باشد، در صفحه نمایش، Limit 2 را دِرَگ و بر روی دکمه OK کلیک می کنیم.[۵]



شکل ۴-30- استفاده از جعبه ابزار surface برای ایجاد سطح باز

۴-۳-۲-۱۷- به‌کار بردن یک ماده طرح‌دار بر روی سطح

بر ابزار Apply Material از جعبه‌ابزار Apply Material کلیک می کنیم. با کلیک بر زبانه Construction در پنجره باز شده، از فهرست موجود، یک ماده طرح‌دار مانند B & W Tiling انتخاب می نماییم و بر روی سطح Extrude.3 کلیک می کنیم. با انتخاب دکمه‌های Apply و سپس OK، پنجره را می بندیم.[۵]

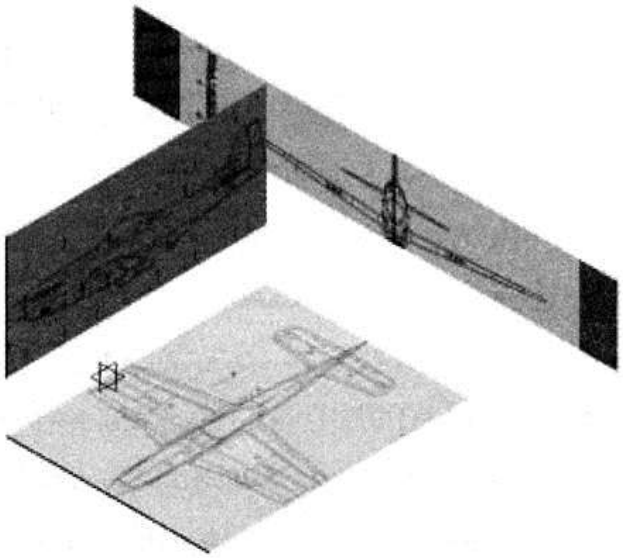


شکل ۴-31- انطباق دو نما بر هم

۴-۳-۲-۱۸- جایگزینی یک عکس با طرح پیش‌فرض

از نمودار درختی بـر روی B & W Tiling دو بـار کلیـک مـی کنـیم و در پنجـره بـاز شـده، زبانـه Rendering را انتخاب می کنیم، حال در پایین پنجره، بر زبانه Texture کلیـک مـی کنـیم. گزینـه Image را به‌عنوان Type در نظر می گیریم و برای انتخاب یک عکس، بر آیکـن کلیـک مـی کنـیم. از پوشه Examples & Exercises فایل Airplane-front.jpg را از پوشـه ایـن بخـش انتخـاب مـی نماییم و دکمه Open را کلیک می کنیم. همان‌طور که می‌بینیم، عکس هواپیمـا بـه‌درسـتی بـر روی صفحه، تصویر نشده اسـت. بـرای اصـلاح آن، از بخـش Mapping، آیکـن (Cubical Mapping) را انتخاب نمایید و در مقابل Repeat در این پنجره، گزینه U و V را غیرفعال کنید.

بر ابزار Front View از جعبه‌ابزار View کلیک می کنیم. در پنجره باز شـده، مقـادیر Scale U و Scale V را برای اینکه لبه‌های سطح بر اکسترمم‌های (بالا و پایین) تصویر منطبق شـوند، تنظـیم مـی کنیم. سپس بدون تغییر مقادیر Scale U و Scale V، برای اینکه مرکز تصویر بر روی مبـدأ مختصـات واقع شود، Position U و Position V را تنظیم و بر روی دکمه OK کلیک می کنیم.



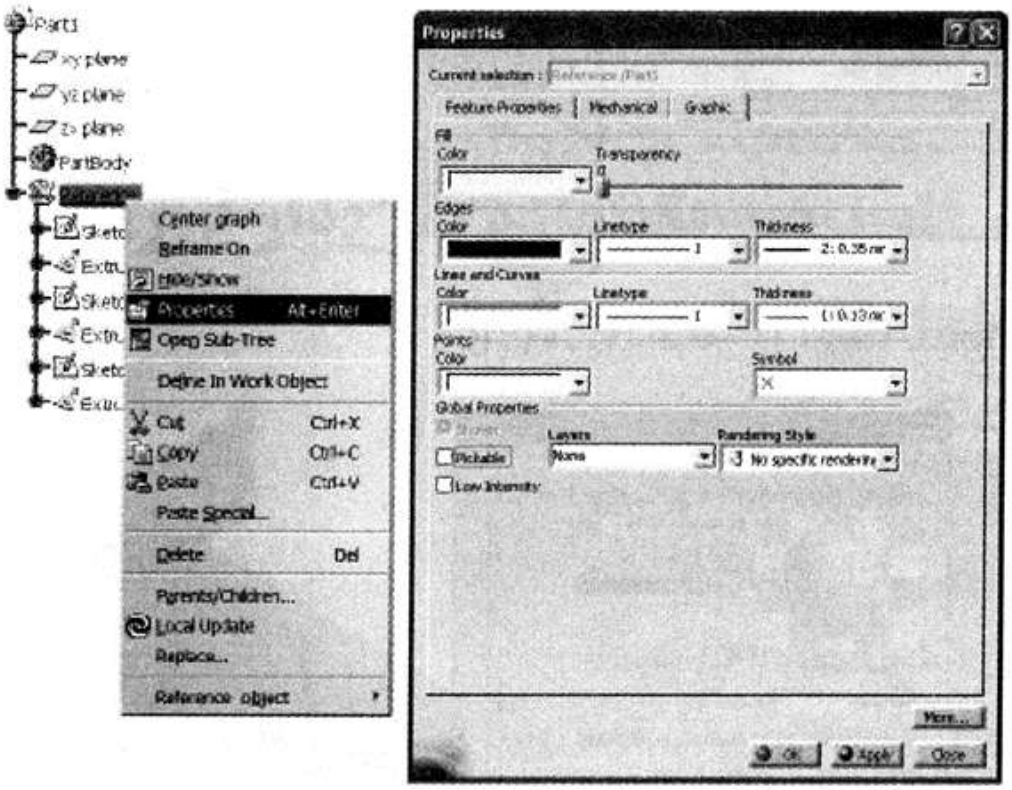
شکل ۴-32- انطباق سه نما بر یکدیگر

اکنون هر سه تصویر تنظیم شده است. با تنظیم طرح دوبعـدی Sketch.1، نمـای راسـت (Right View) را اصلاح می کنیم. به‌همـین ترتیـب بـا تنظـیم Skerch.3 و Extrude.2 نمـای بـالا (Top View) و با تنظیم Skerch.4 و Extrude.3 نمای جلو (Front View) را اصلاح می نماییم.

طرح‌های دوبعدی Skerch.1، Skerch.3 و Skerch.4 را مخفی می کنیم.

غیرقابل انتخاب کردن یک Geometrical Set

در نمودار درختی بر روی Reference کلیک راست نموده و گزینـه Properties را انتخـاب مـی کنیم. در پنجره باز شده، مطابق شکل ۴-۳۳، زبانه Graphic را انتخاب و گزینه Pickable را غیرفعال می کنیم. سپس روی دکمه OK کلیک می کنیم.

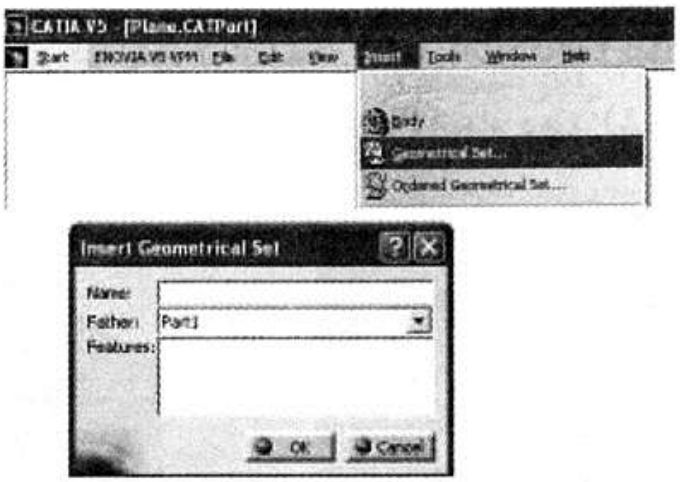


شکل ۴-33- نمودار درختی Refrence

با غیرفعال کردن گزینه Pickable، قسمت‌های Geometrical Set و یـا Body مـوردنظر، از لحـاظ طراحی عملاً غیرقابل انتخاب و استفاده می‌شوند؛ چرا که ما از این نماها به‌عنوان تصاویر پس‌زمینه برای طراحی استفاده می‌کنیم.

ایجاد یک Geometrical Set

مطابق شکل ۴-۳۴ از منوی Insert، گزینه Geometrical Set... را انتخاب می کینم و در پنجره باز شده، بر روی دکمه OK کلیک می نماییم.

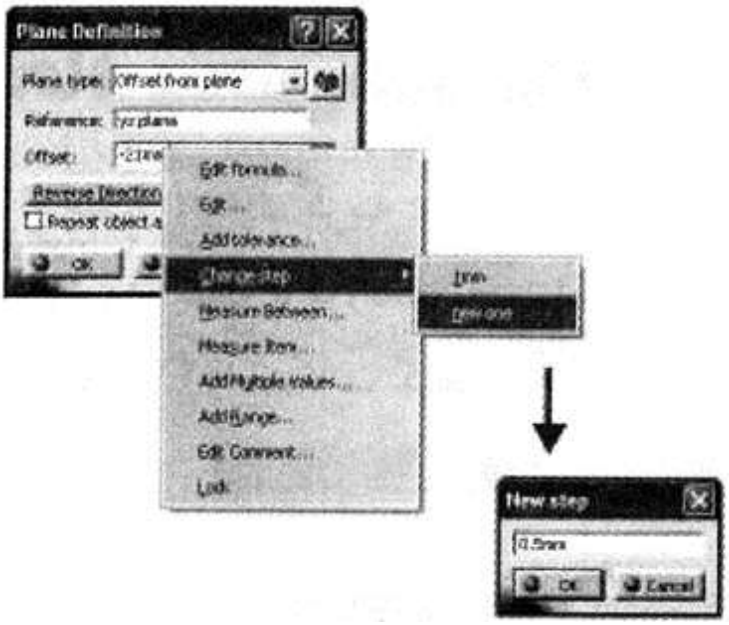


شکل ۴-34- ابزار اصلی Insert

ایجاد صفحات مرجع

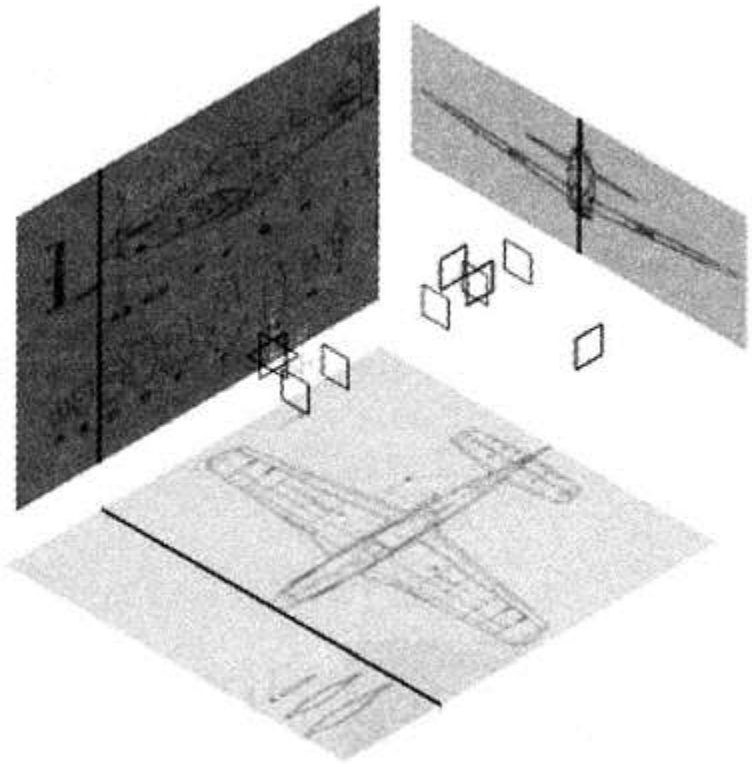
بر ازار Plane از جعبه ابزار Wireframe کلید نموده و yz plane را انتخاب مـی کنـیم. بـر ابـزار Right View از جعبه‌ابزار View کلیک می کنیم. اشاره‌گـر مـاوس را روی نقطـه Offset در صـفحه نمایش قرار می دهیم، نقطه را انتخاب نموده و سپس آن را بر روی سطح مقطع B از شکل ۴-۳۵، دِرَگ می کنیم. مقدار Offset را تقریباً 21mm- در نظر می گیریم و بر روی دکمه OK کلیـک مـی کیـنم. عملیات بالا را برای سطح مقطع‌های D، G، H و I تکرار می کنیم.

برای تغییر مقدار افزایش، در قسمت Offset کلیک راست نمـوده و از زیـر منـوی Change step گزینه New one را انتخاب می کنیم، سپس مقدار 0.5mm را در پنجـره بـاز شـده وارد مـی کنـیم. اکنون با استفاده از آیکن، مقدار Offset را به‌طور دقیق تنظیم می کنیم.



شکل ۴-35- نحوه تغییر مقدار افزایش سطح مقطع

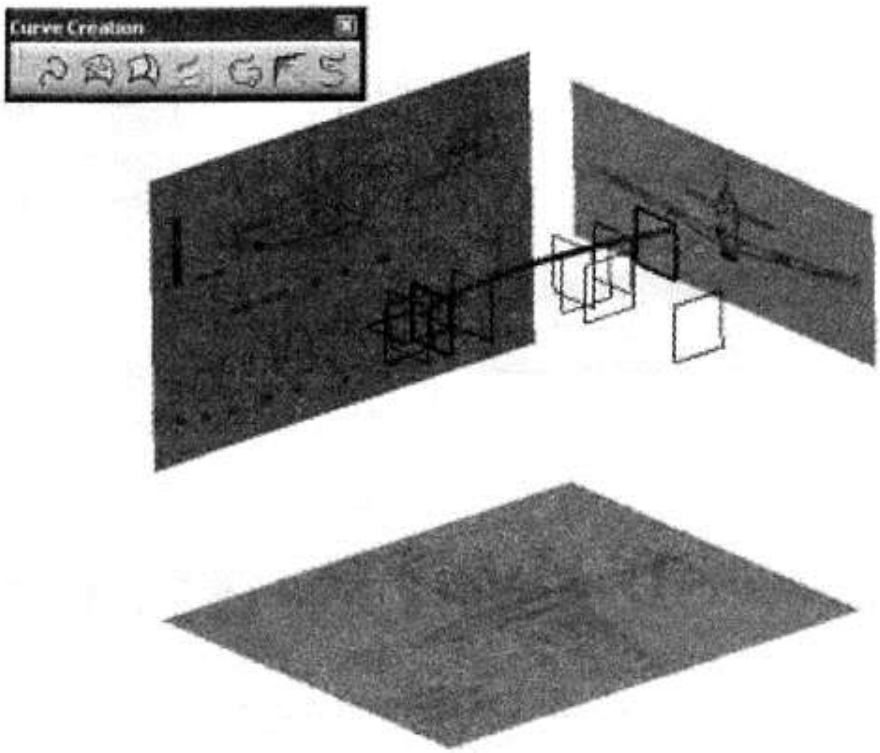
بر ابـزار Plane از جعبـه‌ابـزار Wireframe کلیـک و Plane را انتخـاب می کنـیم و اشـــاره‌گـــر مـاوس را روی Move در صفـحه‌نمـایش قرار می دهیم، سپس آن را نـزدیـک سـطح مقطـع ۱، دِرَگ می کنیم و مقدار Offset را حدود 14mm- در نظر می گیریم و بر روی دکمه OK کلیک می نماییم. دوباره بر ابزار Plane از جعبه‌ابزار Wireframe کلیک نموده و صفحه Plane.6 (صفحه ایجـاد شـده در سطح مقطع ۱) را انتخاب می کنیم. در پنجره باز شده، مقدار 25mm را به عنوان Offset وارد می کنیم و بر روی دکمه OK کلیک می نماییم. دوباره بر ابزار Plane از جعبه‌ابـزار Wiregrame کلیـک نموده و صفحه Plane.6 را انتخاب می کنیم. مقدار 125mm را به‌عنوان Offset وارد و بر روی دکمه OK کلیک می نماییم، قصد داریم سمت راست مدل را بسـازیم، بنـابراین بایـد جهـت ایـن صـفحات را معکوس کنیم. بدین‌منظور بر صفحه Plane.6 دو بار کلیک می نمـاییم و در پنجـره بـاز شـده، دکمـه Reverse Direction را انتخاب می کنیم. بر روی دکمه OK کلیک می نمـاییم. همـین کـا را بـرای Plane.7 و Plane.8 انجام می دهیم.[۵]



شکل ۴-36- ایجاد فضا توسط نماها از سه بعد

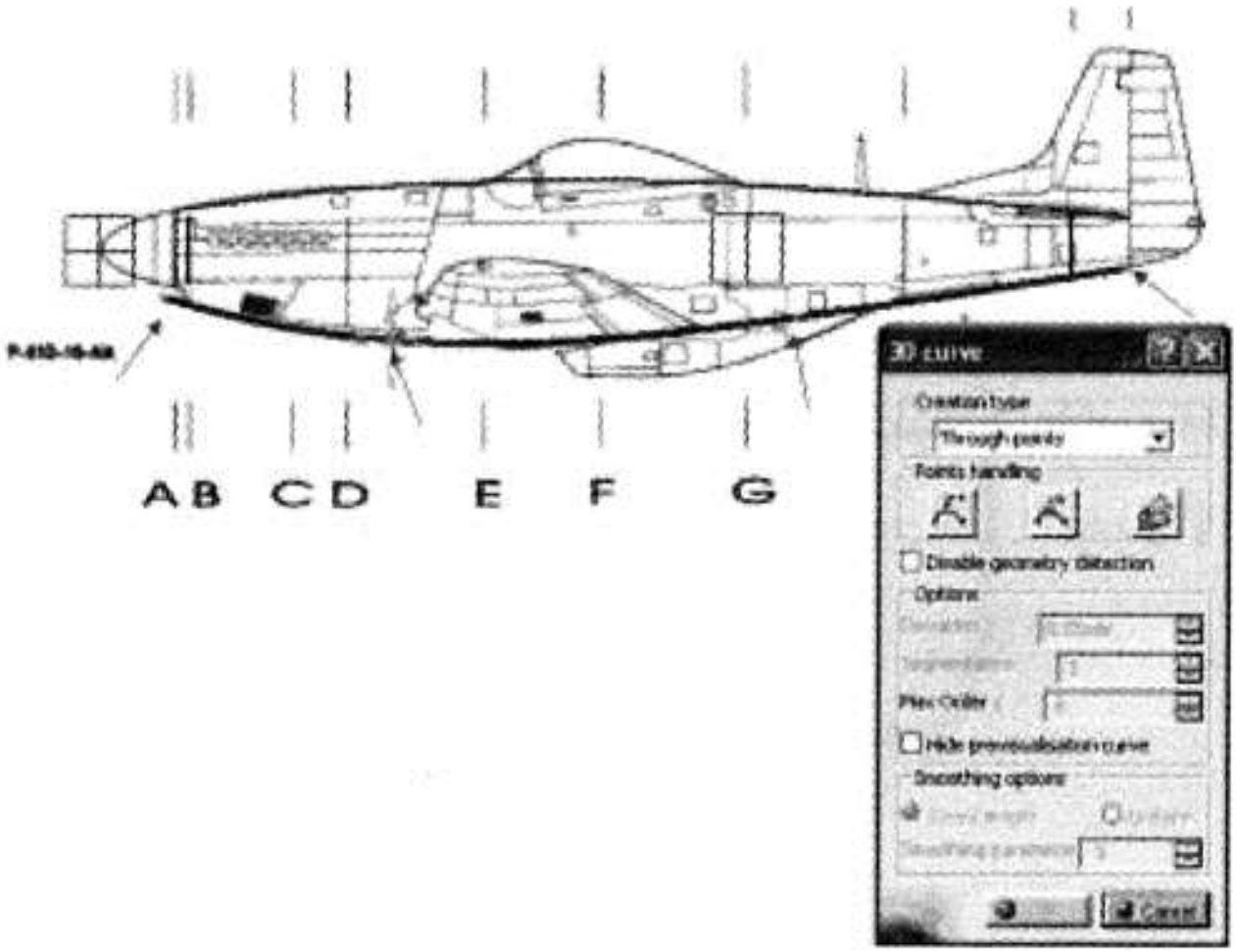
۴-۳-۲-۱۹- ایجاد منحنی‌های سه‌بعدی با ابزار 3D Curve

از منوی Start، گزینه Shape و از زیر منوی آن، گزینه Free Style را انتخاب می کنیم تا وارد محیط Free Style شویم. بر روی نقطه قرمز رنگ جهت نما کلیک راست نموده و گزینه Lock Privileged Plane Orientation Parallel Screen را انتخاب می کنیم.



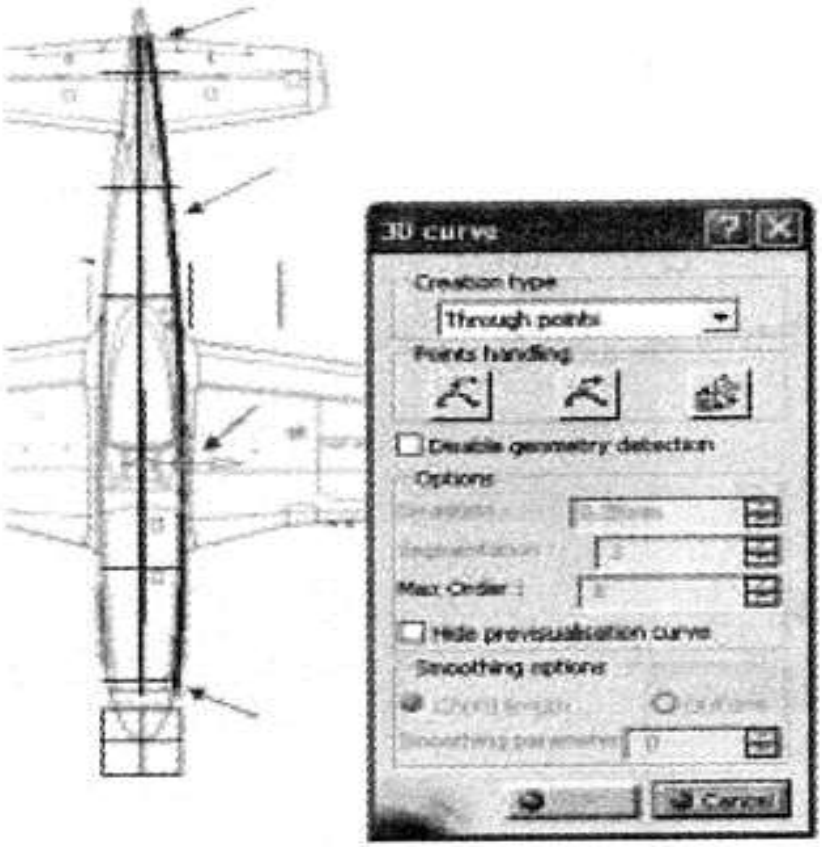
شکل ۴-37- وایر فریم اولیه تولید شده

منظور از نقاط کنترلی، نقاطی است که با حرکت دادن آن می‌توانید شکل منحنی را تغییر می دهیم. اگر در وضعیت Right View قرار نداشته باشیم، بـر ابـزار Right View از جعبـه‌ابـزار View کلیـک می کنیم. سپس بر ابزار 3D Curve از جعبه‌ابزار Curve Creation کلیک نمـوده و یـک منحنـی بـا چهار نقطه کنترلی رسم و بر روی دکمه OK کلیک می کنیم تا منحنی شکل زیرحاصل شود.



شکل ۴-38- پنجره Curve creation برای تولید وایرفریم از سطوح مقطع

بـر ابـزار Top View از جعبـه‌ابـزار View کلیـک نمـوده و ابـزار 3D Curve از جعبـه‌ابـزار Curve Creation را انتخاب می کنیم. یک منحنی با چهار نقطه کنترلی رسم و بر روی دکمه OK کلیک مـی کنیم (شکل ۴-۳۸).



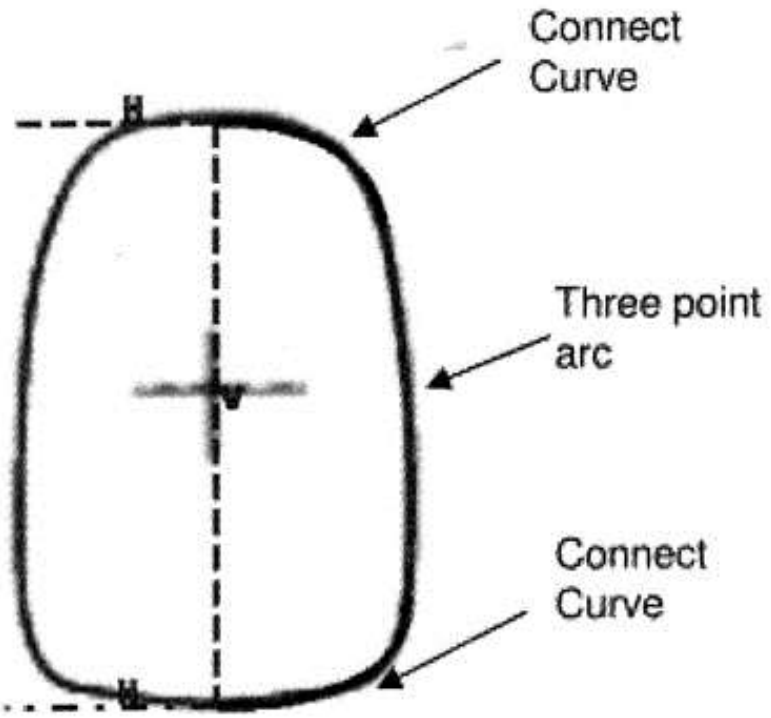
شکل ۴-39- پنجره Curve creation برای تولید

ایجاد یک طرح دوبعدی بر روی سطح مقطع D

از منـوی Start، گزینـه Shape و از زیـر منـوی آن، گزینـه Generative Shape Design را انتخاب تا وارد این محیط شویم. بر ابزار Sketch از جعبـه‌ابـزار Sketcher کلیـک مـی نمـاییم و zx plane را از نمودار درختی انتخاب می کنیم. محوری عمودی بر روی سطح مقطع D رسم می کنیم که از مرکز آن بگذرد. سپس دو محور افقی بر روی سطح مقطع D رسم می کنیم. با ابـزار Three Point Arc Starting With Limits از جعبه‌ابزار Profile، یک کمان رسم می کنیم.

مطابق شکل صفحه بعد، دو کمان دیگر با ابزار Connect از جعبه‌ابزار Profile رسم می کنـیم. بـرای تغییر جهت مماس شدن در نقاط انتهایی، بر روی کمان ایجاد شده دو بار کلیک می کنیم. برای منطبق کردن منحنی بر روی تصویر، نقاط انتهایی کمان و یا مقدار Tension را تنظـیم و بـر روی دکمـه OK

کلیک می کنیم. به‌جهت فلش‌های ابزار Connect دقت می کنیم تـا ترسـیم هماننـد مقطـع D انجـام شود.



شکل ۴-40- ایجاد وایر فریم روی سطح مقطع ایجاد شده

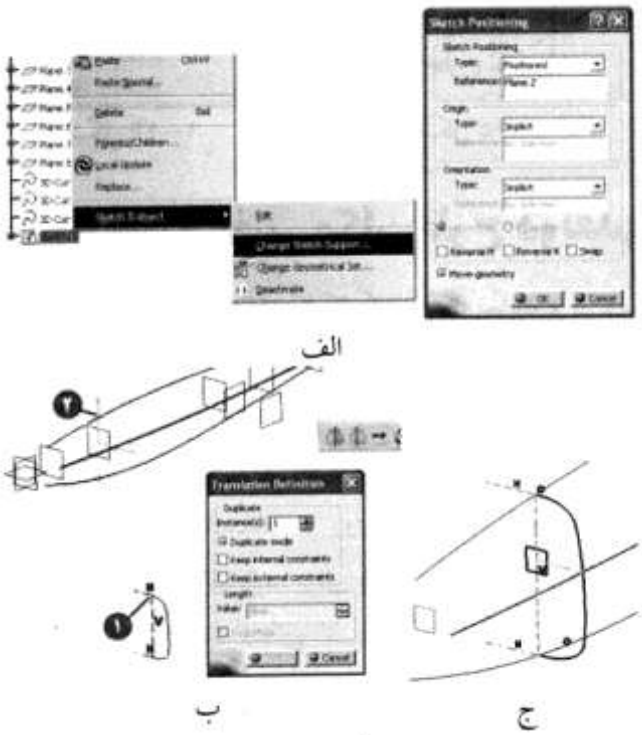
تغییرمکان طرح دوبعدی ایجاد شده بر روی سطح مقطع D

مطابق شکل۴-۴۱ الف، بر طرح دوبعدی Sketch.5 کلیک راست نموده و از زیر منوی Sketch.5 object، گزینه ...Change Sketch Support را انتخاب می کنیم. صفحه Plane.2 را انتخاب می کنیم و در پنجره باز شده گزینه Positioned را به‌عنـوان Type در قسـمت Sketch Positioning در نظر می گیریم و بر روی دکمه OK کلیک می نماییم.

به‌منظور ویرایش Sketch.5، روی آن دو بار کلیک می کنیم و منحنی‌های 3D Curve.1، 3D Curve.2 و 3D Curve.3 را از نمودار درختی، به‌طور همزمان انتخاب می نماییم. برای به‌دست آوردن نقاط تقاطع بر ابزار Intersect 3D Elements از جعبه‌ابزار Operation کلیک می کنیم.

همه منحنی‌ها و محورهای Sketch.5 را انتخاب نمایید و بر ابزار Translate از جعبه‌ابزار Operation کلیک می کنیم. در پنجره باز شده، مطابق شکل ۴-۴۱ ب، گزینه Duplicate mode را غیرفعال می کنیم و ابتدا نقطه ۱ و سپس نقطه ۲ را انتخاب می نماییم.

مطابق شکل ۴-۴۱ ج سه قید Coincidence را برای مماس شدن سه نقطه تقاطع با طرح دوبعدی، اضافه کنید و از محیط Sketcher خارج می شویم.



شکل ۴-41- اتصال وایرفریم های رسم شده به هم

ایجاد یک طرح دوبعدی بر روی سطح مقطع G

بر ابزار Sketch از جعبه‌ابزار Sketcher کلیک نموده و zx plane را انتخاب می کنیم. یک محـور عمودی بر روی سطح مقطع G رسم می کنیم، به‌طوری که از مرکز آن عبور کند. دو محور افقی دیگر بر روی مقطع G رسم مـی کنـیم. یـک کمـان بـا ابـزار Three Point Arc Staring With Limits از جعبه‌ابزار Profile و یک خط افقی ترسیم می کنیم. دو کمان با ابزار Connect از جعبه‌ابزار Profile رسم می کنیم. برای تغییر دادن جهت مماس شدن، در نقاط انتهایی بر روی کمـان ایجـاد شـده دوبـار کلیک می کنیم تا پنجره Connect Curve Definition باز شود. برای منطبق کردن منحنی بر روی تصویر، نقاط انتهایی کمان و یا مقدار Tension را تنظیم مـی کنـیم. بـر روی دکمـه OK کلیـک مـی نماییم.

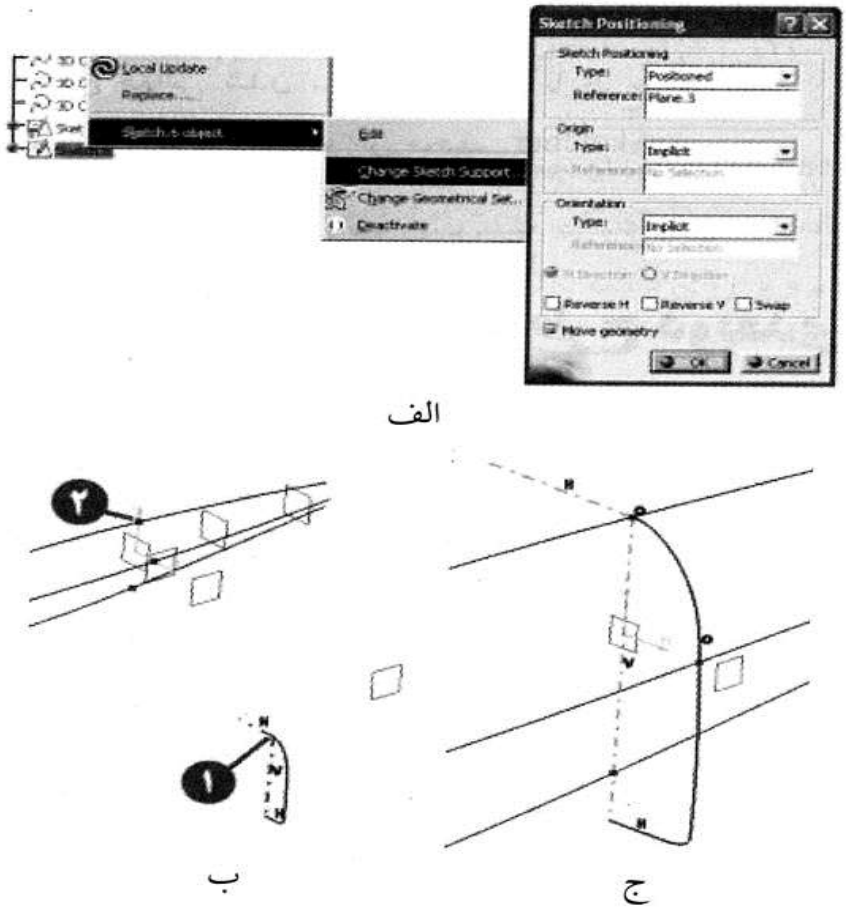
تغییر مکان طرح دوبعدی ایجاد شده بر روی مقطع G

بـر طـرح دوبعـدی Sketch.6 کلیـک راسـت نمـوده و از زیـر منـوی Sketch.6 object، گزینـه Change Sketch Support... را انتخاب می کنیم در پنجـره بـاز شـده، مطـابق شـکل ۴-۴۲ الـف، صـفحه Plane.3 را بـه‌عنـوان Reference و گزینـه Positioned را بـه‌عنـوان Type، در قسـمت Sketch Positioning در نظر می گیریم، سپس بر روی دکمه OK کلیک می نماییم.

بـرای ویـرایش Sketch.6، بـرروی آن دو بـار کلیـک می کنیم و منحنی‌های 3D Curve.1، 3D Curve.2 و 3D Curve.3 را انتخاب می نمـاییم. بـرای بـه‌دسـت آوردن سـه نقطـه تقـاطع بـر ابـزار Intersect 3D Elements از جعبـه‌ابـزار Operation کلیـک مـی کنـیم (شـکل ۴-۴۲ب). همـه منحنی‌ها و محورها را انتخاب می نماییم و بر ابزار Translate از جعبه‌ابزار Operation کلیـک مـی

کنیم. در پنجره باز شده، گزینه Duplicate mode را غیرفعال می نماییم و براساس شکل ۴-۴۲ب، ابتدا نقطه ۱ و سپس نقطه ۲ را انتخاب می کنیم.

دو قید Coincidence را برای مماس شدن دو نقطه تقاطع، مطابق شکل۴-۴۲ج، به طرح دوبعدی اضافه می کنیم.

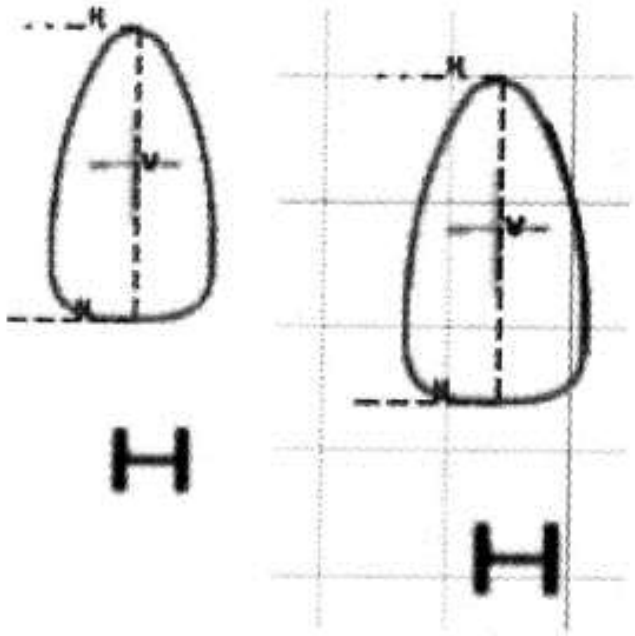


شکل ۴-42- نحوه تغییر مکان طرح دو بعدی ایجاد شده

قسمت نشان داده شده را حذف و یک محور افقی از نقطه تقاطع باقیمانده رسم می کنیم. با درِگ کردن نقطه انتهایی کمان، طول آن را کوتاه می کنیم و سپس یک کمان با ابزار Connect از جعبه‌ابزار Profile، بین محور و کمان رسم می کنیم و از محیط Sketcher خارج می شویم.

ایجاد یک طرح دوبعدی بر روی مقطع H

بر ابزار Sketch از جعبه‌ابزار Sketcher کلیک می کنیم و zx plane را انتخاب می نماییم. یک محور عمودی رسم می کنیم که از مرکز مقطع H عبور کند. همچنین ، دو محور افقی بر روی مقطع H و یک کمان با ابزار Three Point Arc Stating With Limits از جعبه‌ابزار Profile ترسیم می کنیم. سپس دو کمان با ابزار Connect از جعبه‌ابزار Profile رسم می کنیم و به‌منظور تغییر جهت مماس شدن در نقاط انتهایی، بر روی کمان‌های ایجاد شده دو بار کلیک می کنیم تا پنجره Connect Curve Definition باز شود. درصورت نیاز در پنجره Connect Curve Definition بر روی دکمه Reverse Definition کلیک می کنیم. برای منطبق کردن منحنی بر روی تصویر، نقاط انتهایی کمان و یا مقدار Tension را تنظیم می نماییم و از محیط Sketcher خارج می شویم.[۵]



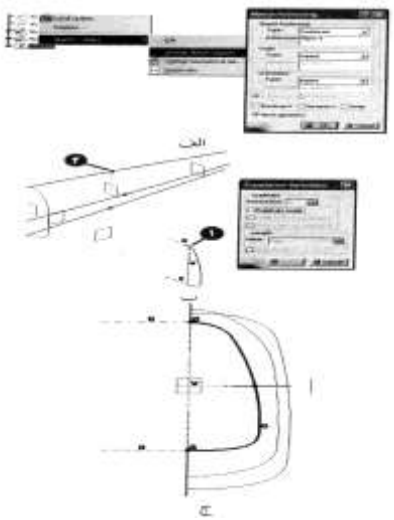
شکل ۴-43- ایجاد وایرفریم روی سطح مقطع H

۴-۳-۲-۲۰- تغییر مکان طرح دوبعدی ایجاد شده بر روی مقطع H

مطابق شکل ۴-۴۴ الف، بر طرح دوبعدی Sketch.1 کلیک راست نموده و از زیر منوی Sketch.1 object گزینه Change Sketch Support... را انتخاب می کنیم. در پنجره باز شده در قسمت Sketch Positioning صفحه Plane.4 را به‌عنوان Reference انتخاب می کنیم و گزینه Positioned را به‌عنوان Type در نظر می گیریم. سپس بر روی دکمه OK کلیک می نماییم.

به‌منظور ویرایش Sketch.1، در نمودار درختی روی آن دو بار کلیک می کنیم، سپس منحنی‌های 3D Curve.1، 3D Curve.2 و 3D Curve.3 را انتخاب نموده و برای به‌دست آوردن نقاط تقاطع بر ابزار Intersect 3D Elements از جعبه ابزار Operation کلیک می کینم. همه منحنی‌ها و محورهای Sketch.7 را انتخاب و بر ابزار Translate کلیک می کنیم؛ در پنجره باز شده، گزینه Duplicate mode را غیرفعال می کنیم و مطابق شکل ۴-۴۴-ب، ابتدا نقطه ۱ و سپس نقطه ۲ را انتخاب می نماییم.

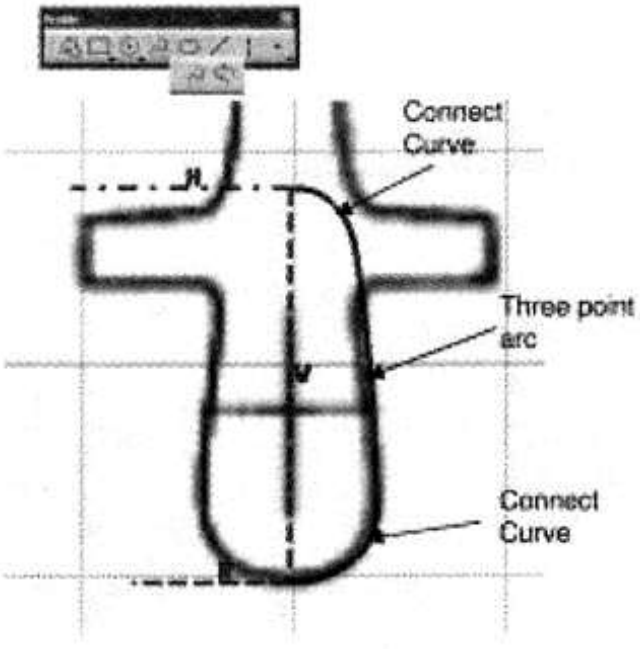
مطابق شکل ۴-۴۴ ج، سه قید Coincidence را برای مماس شدن سه نقطه تقاطع به طرح دوبعدی اضافه می کنیم و از محیط Sketcher خارج می شویم.



شکل ۴-44- تغییر مکان وایرفریم روی مقطع H

ایجاد یک طرح دوبعدی بر روی مقطع I

بر ابزار Sketch از جعبه‌ابزار Sketcher کلیک می کینم و zx plane را انتخاب می نماییم. یک محور عمودی بر روی مقطع I رسم می کنیم، به‌طوری که از مرکز آن بگذرد. همچنین دو محور افقی دیگر و یک کمان با ابزار Three Point Arc Staring With Limits از جعبه‌ابزار Profile، بر روی مقطع I ترسیم می کنیم. سپس دو کمان با ابزار Connect رسم نموده و برای تغییر جهت مماس شدن، در نقاط انتهایی، بر روی کمان ایجاد شده دو بار کلیک می کنیم و درصورت نیاز در پنجره Connect Curve Definition، بر روی دکمه Reverse Direction کلیک می نماییم. برای منطبق کردن منحنی بر روی تصویر، نقاط انتهایی کمان و یا مقدار Tension را تنظیم می کنیم و از محیط Sketcher خارج می شویم.

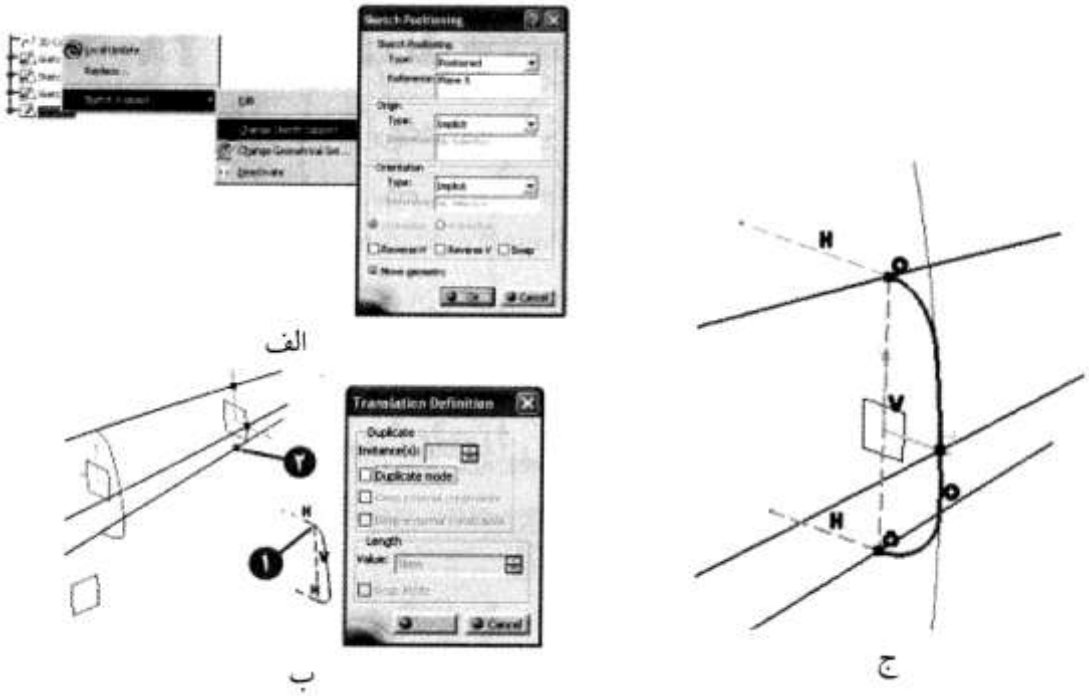


شکل ۴-45- ایجاد طرح دو بعدی (وایرفریم) روی مقطع I

تغییر مکان دوبعدی ایجاد شده بر روی مقطع ۱

بـر طـرح دوبعـدی Sketch.8 کلیـک راسـت نمـوده و از زیـر منـوی Sketch.8object گزینـه Change Sketch Support... را انتخاب می کنیم. در پنجره بـاز شـده، مطـابق شـکل ۴-۴۶-الـف، صفحه Plane.5 را به‌عنـوان Reference انتخـاب مـی کیـنم. در قسـمت Sketch Positioning، گزینه Positioned را به‌عنوان Type در نظر می گیریم و بر روی دکمه OK کلیک می نماییم.

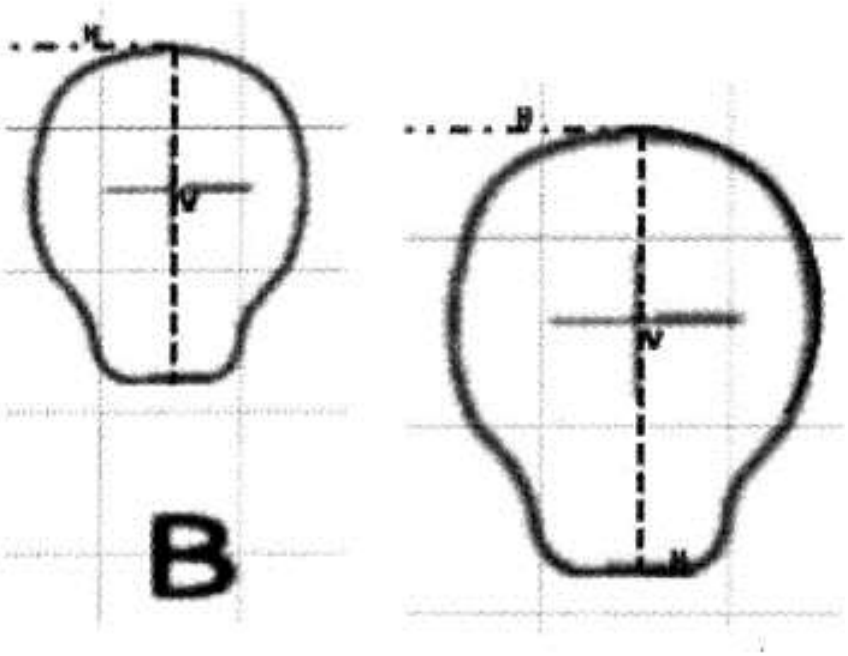
به‌منظور ویـرایش Sketch.8، بـر روی آن دو بـار کلیـک نمـوده و منحنـی‌هـای 3D Curve.1، 3D Curve.2 و 3D Curve.3 را انتخاب می کنیم. اکنون برای به‌دست آوردن سه نقطه تقـاطع، بـر ابـزار Intersect 3D Elements از جعبه‌ابزار Operation کلیک می کنیم. همه منحنی‌هـا و محورهـا و محورهای Sketch.8 را انتخاب نموده و بر ابزار Translate از جعبـه‌ابـزار Operation کلیـک مـی کنیم. در پنجره باز شده، مطابق شکل ۴-۴۶ ب، گزینه Duplicate mode را غیرفعـال مـی کنـیم و ابتدا نقطه ۱ و سپس نقطه ۲ را انتخاب می نماییم. مطابق شـکل ۴-۴۶ ج، سـه قیـد Coincidence، برای مماس شدن سه نقطه تقاطع با طرح دوبعدی، اضافه می کنیم و از محیط Sketcher خـارج مـی شویم.



شکل ۴-46- تغییر مکان طرح دو بعدی روی مقطع I

ایجاد یک طرح دوبعدی بر روی مقطع B

بر ابزار Sketch از جعبه‌ابزار Sketcher کلیک می کنیم و zx plane را انتخاب می نماییم. یک محور عمودی بر روی مقطع B رسم می کنیم، به‌طوری که از مرکز آن عبور کند. همچنین یک محور افقی و یک کمان با ابزار Three Point Arc Starting With Limits از جعبه‌ابزار Profile و یک خط افقی بر روی مقطع B رسم می کنیم. سپس، یک کمان با ابزار Connect از جعبه‌ابزار Profile رسم می نماییم. برای تغییر جهت مماس شدن در نقاط انتهایی، بر روی کمان ایجاد شده دو بار کلیک می کنیم و در صورت نیاز در پنجره Connect Curve Definition بر روی دکمه Reverse Direction کلیک می نماییم. برای منطبق کردن منحنی بر روی تصویر، نقاط انتهایی کمان را تنظیم می کنیم یا مقدار Tension را تغییر می دهیم. سپس از محیط Sketcher خارج می شویم.



شکل ۴-47- ایجاد طرح دو بعدی روی مقطع B

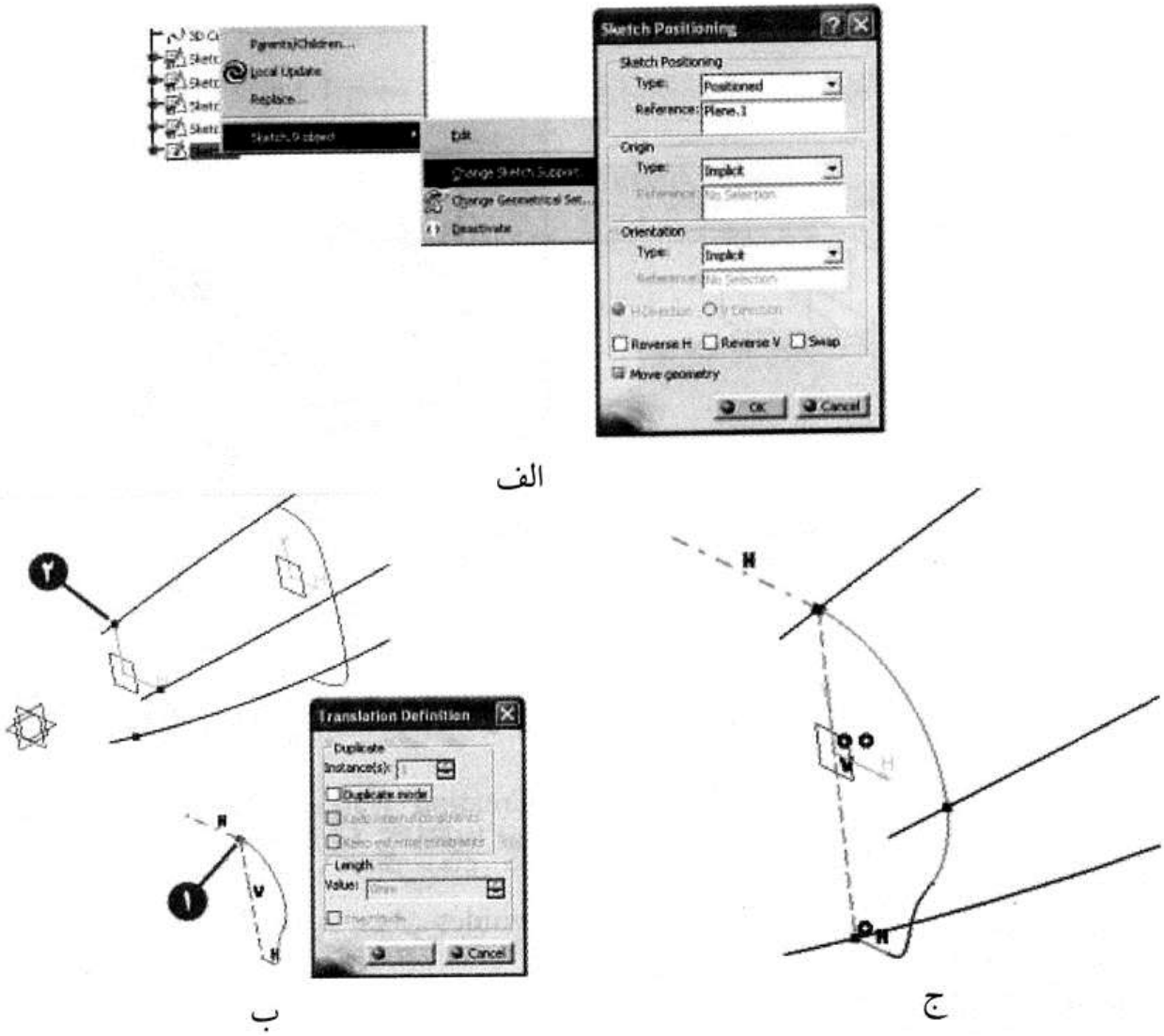
تغییر مکان طرح دوبعدی ایجاد شده بر روی مقطع B

برروی طرح دوبعدی Sketch.9 کلیک راست نموده و از زیرمنوی Sketch.9object گزینه Change Sketch Support... را انتخاب می کنیم، مطابق شکل ۴-۴۸ الف، در پنجره باز شده در قسمت Sketch Positioning، صفحه Plane.1 را به‌عنوان Reference انتخاب می کنیم و گزینه Positioned را به‌عنوان Type در نظر می گیریم. بر روی دکمه OK کلیک می نماییم.

به‌منظور ویرایش Sketch.9 بر روی آن دو بار کلیک نموده و منحنی‌های 3D Curve.1، 3D Curve.2 و 3D Curve.3 را انتخاب می کنیم؛ اکنون برای به‌دست آوردن سه نقطه تقاطع بر ابزار Intersect 3D Elements از جعبه‌ابزار Operation کلیک می کینم. همه منحنی‌ها و محورهای Sketch.9 را انتحاب نموده و بر ابزار Translate از جعبه‌ابزار Operation کلیک می کنیم. در

پنجره باز شده مطابق شکل ۴-۴۸ ب، گزینه Duplicate mode را غیرفعال نموده و براساس همان شکل، ابتدا نقطه ۱ و سپس نقطه ۲ را انتخاب می کنیم.

مطابق شکل ۴-۴۸ ج، سه قید Coincidence را برای مماس شدن سه نقطه تقاطع با طرح دوبعدی اضافه می کنیم و از محیط Sketcher خارج می شویم، سپس فایل را با نام Airplane.CATPart ذخیره می کنیم.[۵]



شکل ۴-48- تغییر مکان وایر فریم روی مقطع B

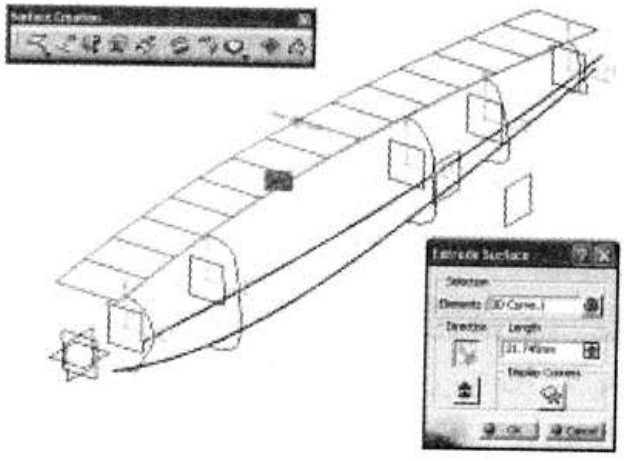
۴-۳-۲-۲۱- تولید سطوح اصلی بدنه هواپیما

در این قسمت ابتدا با توجه به شبکه منحنی‌ها طراحی شده از عکس‌های موجود، سطوح اصلی بدنه هواپیما را طراحی می‌کنیم، سپس به طراحی بال و دم هواپیما می‌پردازیم.

ایجاد دو سطح با ابزار Extrude Surface

از منوی Start، گزینه Shape و از زیرمنوی آن گزینه Free Style را انتخاب می کینم تا وارد این محیط شویم. بر ابزار Extrude Surface از جعبه‌ابزار Surface Creation کلیک نموده و منحنی 3D Curve.1 را انتخاب می کنیم بر روی آیکن (Normal to the curve) از بخش Direction کلیک می کنیم. فلش دوطرفه روی سطح را به سمت چپ و تا حدود 20mm دِرَگ نموده و بر روی دکمه OK کلیک می کنیم.

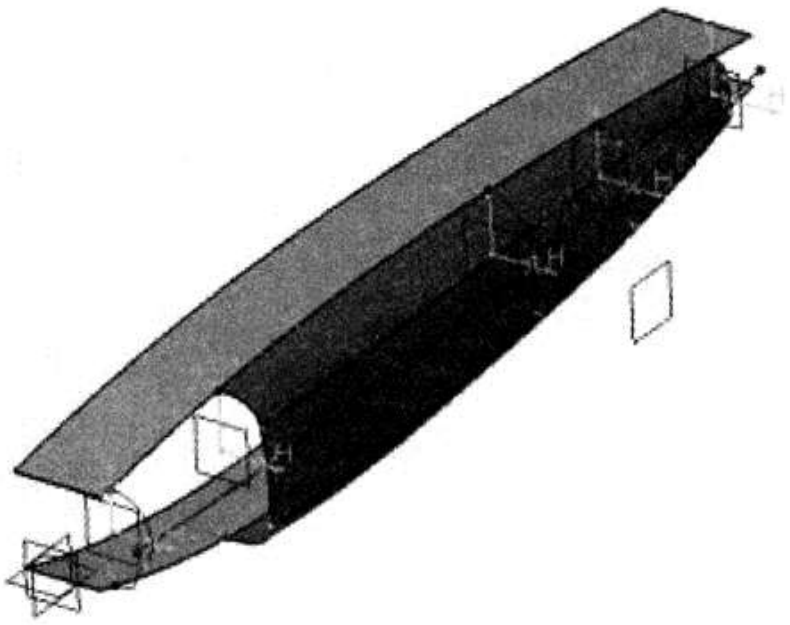
به‌طور مشابه، با ابزار Extrude Surface از جعبه‌ابزار Surface Creation، سطح دیگری از منحنی 3D Curve.1 و 3D Curve.2 را مخفی می کینم.



شکل ۴-49- نمایش کامل وایر فریم های رسم شده

ایجاد سطح با ابزار Net Surface

بر ابزار Net Surface از جعبه‌ابزار Surface Creation کلیک می کنیم. سپس با نگه داشتن کلید <Ctrl>، طرح‌های دوبعدی Sketch.5، Sketch.6، Sketch.7 و Sketch.8 را به‌عنوان guides انتخاب می کنیم. در پنجره Net Surface، بر روی عبارت profiles (0) کلیک می کنیم. سپس با نگه داشتن کلید <Ctrl>، براساس شکل زیر، لبه دیگر سطح ۱ و منحنی 3D Curve.3 و لبه دیگر سطح ۲ را به‌عنوان Profiles انتخاب می کینم. سپس نوع اتصال لبه‌های هر دو سطع را به Tangent تغییر داده و بر روی دکمه OK کلیک می نماییم (شکل ۴-۵۰).[۵]



شکل ۴-50 - سطوح کشیده شده روی wireframe

و به همین ترتیب می توان با استفاداه از ابزار nut surface تمامی سطوح را روی وایر فریم تولیدی ایجاد کرد و قطعه راشبیه سازی کرد اما نکته قابل توجه و قابل ذکر در مورد شبیه سازی یک دست این است که پس از شبیه سازی دست طبق دستور العمل اشاره شده در بالا باید دست را با استفاده از ابزار

mirror، آینه کرد تا دست راست به دست چپ و یا دست چپ به دست راست تبدیل گردد. پس از شبیه سازی دست اطلاعات نرم افزار به سیستم رایانه یک دستگاه CNC منتقل می شود و این دستگاه دست فرد را بر روی یک بلوک گچی بطور کامل و با تمام جزییات می تراشد و به صورت یک مدل گچی همسان با دست ارائه می کند از این به بعد فرایند همان فرایند قالب گیری گچی که شرح آن در بخش ۳-۲-۲ ارائه گردید می باشد با این تفاوت که در این بخش دیگر ماهیچه نداریم و از پیلون یا اسکلت ثابت استفاده می شود که این اسکلت بطور دائم در درون دست مصنوعی ساخته شده باقی می ماند. با این شرح که پس از قالب گیری از مدل گچی، داخل آن را خمیر مجسمه سازی اضافه نمی کنند تا ماهیچه سازی انجام گیرد. بلکه یک پیلون یا اسکلت توسط دستگاه شبیه ساز بر اساس ضخامت پوسته سیلیکونی دست طراحی شده و توسط دستگاه CNC بر روی بلوک کامپوزیتی که قبلا شرح داده شده است طراحی می شود و اسکلت نهایی را به دست می دهد. حال این اسکلت در داخل قالب قرار می گیرد و داخل آن مواد سیلیکونی، لاتکسی یا پلی اورتانی ریخته می شود تا شکل نهایی دست به دست آید. در نهایت این دست به قسمت پایه متصل شده و آماده کار است.

شکل ۴-51- شمایی از آرماتور و اسکلت داخلی

۴-۴- ساخت دست مصنوعی برای فرد قطع عضو از دو دست

در چنین شرایطی فرد دست سالمی ندارد تا از آن قالب گیری به عمل آید و یا از روی یک دست دست دیگر را شبیه سازی کرد. بنابر این از روش شبیه سازی دیگری استفاده می کنیم. بر طبق این فرایند ابتدا از دست یک فرد سالم که دارای آناتومی اسکلت و عضلات طبیعی می باشد اسکن سه بعدی گرفته می شود و سپس طی فرایند هایی که در بخش های ۳-۳-۲ و ۳-۳-۳ شرح داده شد دست فرد در نرم افزار شبیه سازی می شود. نرم افزار CATIA تمام تمام ابعاد دست فرد مورد نظر را مورد تجزیه و تحلیل قرار می دهد و آن را بر اساس اندازه ها فرموله بندی می کند. در این صورت اگر ابعاد و اندازه قسمت قطع شده دست یک فرد را به ورودی نرم افزار وارد کنیم، نرم افزار دست فرد را شبیه سازی می کند به گونه ای که با تناسب اندام فرد تداخلی نداشته باشد. برای مثال اگر قطر بازوی سمت چپ فردی کمتر از قطر بازوی سمت چپ فرد دیگری باشد، دستی که نرم افزار برای هر یک از دو فرد شبیه سازی می کند با هم متفاوت است و آنکه قطر بازوی بزرگتری دارد دست بزرگتری نیز در انتها خواهد داشت. ادامه این فرایند نیز دقیقا مانند همان پروسه ای است که در بخش های قبل به آن اشاره شد، یعنی ساخت پیلون و ایجاد روکش پس از قالب گیری.

۴-۵- ساخت دست های متحرک

از حدود ۵۰ سال قبل تلاش برای ساخت دست های مصنوعی با قابلیت حرکت شروع شد. بزرگترین و مهم ترین فرقی که این دست ها با دست های قبلی دارند قسمت داخلی یا پیلون آن هست که باعث تفاوت های عمده در فرایند ساخت این دست ها با دست های قبلی می شود. همانطور که در شکل ۴-۱۵ در این دست ها بخش اسکلت داخلی از قسمت های مکانیکی بسیاری تشکیل شده است که روی هم سوار شده و یک اسکلت یکپارچه و قابل حرکت را ایجاد می کند.

شکل ۴-52- اسکلت داخلی دست با قابلیت حرکت

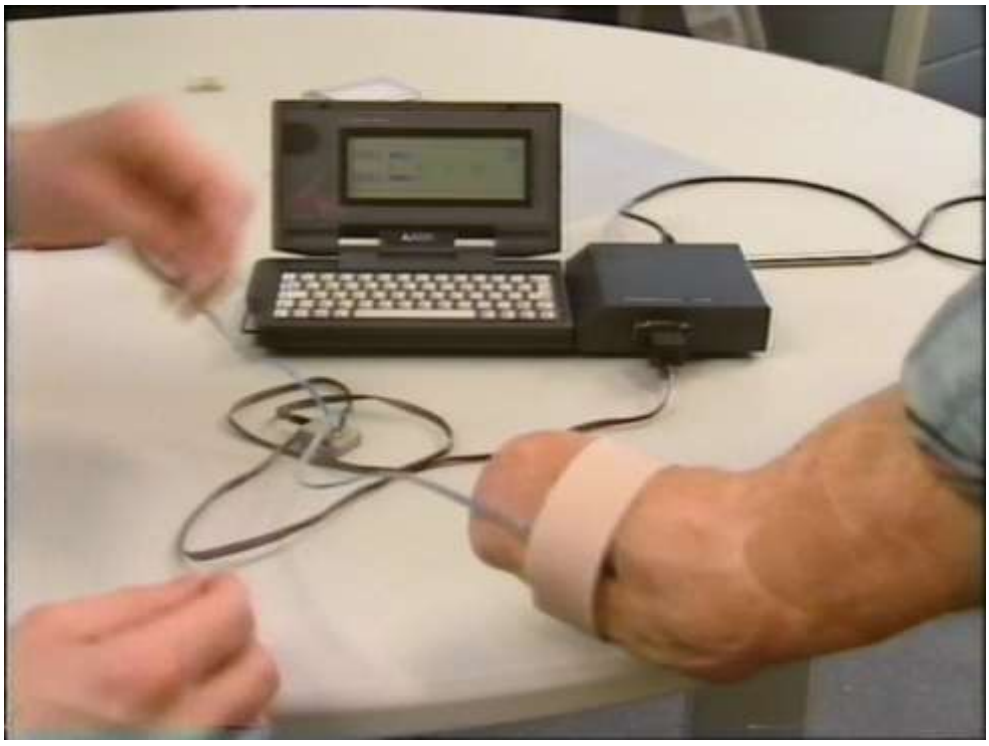
برای به حرکت در آوردن یک دست مصنوعی به صورت طبیعی باید نحوه حرکت دست سالم به طور کامل مورد بررسی قرار گیرد برای این منظور چندین سیستم مکانیکی طراحی شده که به توسط سروموتورهای تعبیه شده به حرکت در می آیند ، بسته به نوع سیستم طراحی شده می توان از سروموتورهایی با اختلاف پتانسیل ۶ الی ۱۲ ولت استفاده نمود. دست مصنوعی با پانزده مفصل متحرک در سیستم انتقال قدرت پنجه های ساخته شده ، از گیربکسهای کاهنده دور استفاده شده است که برای موتورهای مختلف به نسبت دورهای ۸۰۰ الی ۱۷۵۰ طراحی شده اند. برای هر کدام از پنجه های ساخته شده مجموعه ای از قطعات ، مفصلها و لینکها طراحی و ساخته شده که با یکدیگر متفاوت می باشند. مجموعه این قطعات برای ساده ترین پنجه حدود ۱۵۰ عدد و برای کاملترین آن ۳۰۰ عدد می باشد . لازم به ذکر است که ساده ترین پنجه حدود ۲۵۰ گرم وکاملترین آن حدود ۴۰۰ گرم وزن داشته و بدلیل انتخاب مناسب موتور و باطری پنجه های مورد نظر برای ۱۲ ساعت کار متوسط قابل استفاده می باشند که بعد از آن نیاز به شارژ مجدد باطری می باشد. دست مصنوعی با سه مفصل متحرک با پیشرفتهایی که در علم مکانیک صورت گرفته می توان روبوتهایی طراحی نمود که کلیه حرکات دست

طبیعی را حتی کاملتر از دست طبیعی انجام دهد اما دست روبوتیک با توجه به نوع آن با برنامه های مختلفی کنترل می شوند ، که بوسیله کامپیوترهای پیشرفته قابل اجرا می باشد در حالی که پنجه مصنوعی باید بگونه ای طراحی شود که بوسیله سیستم کنترلهای خاصی که فرمان را به طرق مختلف از بدن دریافت می کنند فعال شود.[۱۲]

اولین دست ها با توانایی حرکتی فقط توانایی حرکت در ناحیه انگشتان را داشتند. برای ایجاد چنین توانایی از نصب کردن الکترود هایی بر روی بازوی فردی که دست خود را از دست داده بود استفاده می کردند. در حقیقت در این روش از ولتاژ تولیدی توسط عضلات بازوی خود فرد برای به حرکت در آوردن انگشتان استفاده می کردند. در این فرایند آنقدر الکترود را به صورت نقطه دور بازوی فرد می چرخاندند تا نقطه ای از بازو را بیابند که بیشترین ولتاژ را در همه جهات حرکتی تولید نماید. همانطور که مشخص است در این روش از ولتاژ تولید شده توسط خود عضلات بدن استفاده می شود، ولتاژی که قادر به حرکت دادن یک قطار بازی توسط یک مبدل و تقویت کننده می باشد. نکته قابل ذکر در مورد این روش استفاده از تقویت کننده هایی می باشد که ولتاژ تولید شده توسط عضلات را برای به حرکت در آوردن انگشتان تقویت می کند. این ولتاژ توسط یک کامپیوتر سنجیده می شود (شکل۴-۱۶).[۱۲]

شکل ۴-53- نمایی از دستگاه ولت سنج

همانطور که در شکل ۴-۱۷ مشاهده می شود الکترود به بازوی فرد متصل شده و سپس بـه قسـمت تقویت کننده وصل شده و از طریق آن به رایانه متصل می شود تا میزان ولتاژ در همه جهات حرکتی به دست آید. در این فرایند آنقدر چرخش الکترود دور بازوی فرد ادامه پیدا مـی کنـد تـا رایانـه بیشـترین قابلیت حرکتی در همه جهات را نشان دهد. لازم به ذکر است که انجام این فرایند نیاز به مهارت و تجربه بسیار بالایی دارد.



شکل ۴-54- الکترود های متصل به بازو به همراه تقویت کننده و رایانه

پس از یافتن نقطه ای روی عضلات بازو که بیشترین ولتاژ را در همه جهات حرکتی ارائه می کند آن نقطه را علامت گذاری کرده و در هنگام قالب گیری از بازوی فرد برای ساخت قسمت پایه دست مصنوعی با علامت گذاری روی قالب گچی محل قرار گیری الکترود ها را مشخص می کنند و بعد از اتمام ساخت پایه دست طی عملیات ماشین کاری مطابق شکل ۴-۱۸ محل اتصال دست را بر روی پایه

دست تعبیه می کنند و پس از اتصال دست به بازو الکترود را در جای خود قرار می دهند تا دست قابلیت حرکت پیدا کند.

شکل ۴-55- عملیات ماشین کاری برای تعبیه محل الکترود در پایه دست

اما این فرایند دو محدودیت عمده دارد:

۱- قابلیت حرکت فقط در ناحیه انگشتان می باشد

۲- فرد برای اینکه بتواند انگشتان خود را حرکت دهد باید تمام تمرکز خود را بر روی بازوی خود و قسمتی که الکترود قرار گرفته متمرکز کند که این باعث محدودیت های حرکتی دیگر می شود.

امروزه روش های جدیدتری برای ساخت پروتز های متحرک ارائه شده است که در ادامه بطور خلاصه به آن اشاره شده است.

یکی از این روش ها استفاده از امواج الکتریکی مغز که در رگ‌های عصبی جاری می‌شود بعلاوه سیگنال‌های عضلانی است. همانطور که پیشتر اشاره شد تا پیش از این معمولاً در طراحی دست مصنوعی مثلاً از آرنج به پایین سعی می‌کردند که از عضلات بازو برای فرمان‌های کنترلی دست مصنوعی

استفاده کنند و این غالباً برای افراد مشکل بود چون برای هر حرکت باید کلی تمرکز می‌کردند تا با عضلات بازو سیگنالی را تولید کنند که بتواند دست مصنوعی را به حرکت درست وا دارد. ولی نکته در این است که شخص دیگر عضلات دست را ندارد و در نتیجه برای هر حرکت کوچک می‌بایست شدیدا تمرکز کند تا توسط عضلات بازو (بایسپس و ترایسپس) سیگنالی مناسب حرکت دست مصنوعی تولید کند. این یعنی در واقع مغز می‌بایستی که از نو برنامه ریزی بشود و طبیعتاً بچه‌ها سریعتر با دست مصنوعی کنار می‌آیند ولی برای بزرگسالان امر به مراتب مشکل‌تر است. برای همین بزرگسالان از دست مصنوعی غالباً به عنوان فقط تزئینی استفاده می‌کرده‌اند.

ولی در طراحی جدید یک واسطه بین مغز و دست مصنوعی برداشته شده است. در این مدل رگ عصبی‌ای که هنوز در بازوی شخص بعد از قطع عضو مانده است به عضله قفسه سینه متصل می‌کنند که هر وقت مغز فرمان حرکت دست قطع شده و حالا مصنوعی را می‌دهد، عضله سینه منقبض شده و آن سیگنال توسط الکترودهایی در سطح پوست به دست مصنوعی انتقال پیدا می‌کند و باعث حرکت آن می‌شود.

ممکن است این سوال پیش آید که در این مدل هم باز واسطه‌ای بین مغز و دست مصنوعی توسط عضله سینه وجود دارد پس فرقش با قبلی‌ها چیست؟ نکته در این است که در این مدل عضله قفسه سینه فقط مثل یک کانال انتقال سیگنال کار می‌کند ولی در مدل‌های قدیمی این خود عضلات بازو بودند که می‌بایست تمام سیگنال‌های مناسب حرکت دست مصنوعی را یاد می‌گرفتند و تولید می‌کردند و آن یادگیری عضله برای حرکت عضله دیگری که دیگر وجود ندارد مستلزم یادگیری مغزی است مثل بچه‌ای که تازه بخواهد که مثلا راه رفتن را یاد بگیرد. در این مدل جدید عضله قفسه سینه کاره‌ای نیست. فقط انتقال سیگنال را می‌دهد و مغز نیز مجبور نیست که همه حرکات را از نو یاد بگیرد بلکه از الگوهای قدیمی که از عضو قطع شده داشته است همچنان استفاده می‌کند و سیگنال را به دست

مصنوعی منتقل می‌کند. هنوز هم مغز باید کمی به دست مصنوعی عادت کنـد (حرکـت دادنـش را یـاد بگیرد) ولی این یاد گیری به مراتب سریعتر و بی واسطه‌تر از مدل‌های قبلی است.[۱۲]

شکل ۴-56- دست مصنوعی با قابلیت حرکتی توسط عضلات سینه

۴-۵-۱- استفاده از تکنولوژی بیو مکاترونیک

در این روش که تلفیقی از تکنولوژی مکانیکی و الکترونیکی بطـور همزمـان مـی باشـد ابتـدا دسـت مصنوعی ساخته شده و سپس توسط الکترود هایی به عضلات بازوی فرد متصل می شود. اما این دسـت قابلیت حرکتی چندانی ندارد و فقط می تواند سیگنال های الکتریکی تولید شـده توسـط عضـلات را بـه نیروی مکانیکی بسیار ضعیفی تبدیل نماید که قابلیت حرکتی زیادی را نمی تواند ایجاد نمایـد. بنـابراین برای تقویت این نیرو های مکانیکی از سیستم های مکانیکی مکا ترونیک استفاده می شود اما مشکلی که باعث محدودیت در کاربرد این سیستم ها در پروتز های مصنوعی پر هزینـه بـودن آن و دیگـری نمـای نازیبای آن می باشد زیرا این سیستم مکانیکی در قسمت بیرونی دست یا پا کار گذاشته می شود و نمای ظاهری زیبایی را به نمایش نمی گذارد و ممکن است برخی محدودیت های دیگر را برای فـرد اسـتفاده

کننده از آن ایجاد می کند. مثلا اینکه این سیستم فقط زمانی کاربرد دارد که فرد نیاز به حرکت کـردن مداوم داشته باشد و برای مثال اگر فرد بخواهد استراحت کند یا بخوابد باید این سیستم را از عضـو جـدا کند اما به هر حال این روش نیز یکی از روش هـای ارائـه شـده بـرای بـه حرکـت در آوردن یـک عضـو مصنوعی می باشد در ادامه معرفی مختصری از این سیستم ارائه گردیده است.

بیو مکاترنیک پیوند انسان با ماشین است. یـک حالـت میـان رشـته ای دارد کـه دربردارنـده زیسـت شناسی، عصب شناسی، مکانیک، الکترونیک و رباتیک است دانشمندان بومکاترونیک در این صدد هستند که وسایلی را طراحی کنند و بسازند که با عضلات، اسکلت و دستگاه عصبی انسـان متقـابلا عمـل کنـد. هدف آن ها یاری کردن و بالا بردن کنترل انسان بر حرکت خود است؛ بنابراین، افرادی که کنترشان بـر حرکت مختل شده باشد و یا به صورت مادرزادی یا بیماری یا آسیب از دست داده باشند، شـامل هـدف های دانشمندان هستند.[۹]

۴-۵-۱-۱- قسمت های مختلف سیستم بیو مکاترونیک

۱- بیوستسور یا بیو حسگر ها:

بیو حسگر ها "خواسته و قصد های" کاربر یا می یابند. بسته به نوع اختلال و نوع وسیله این اطلاعات می تواند از سیستم های عصبی و یا سیستم های عضلانی فرستاده شود. این اطلاعات به تنظـیم کننـده (که ممکن است در خارج یا درون بدن باشد) منتقل می کند. همچنین بیو سنسـور هـا اطلاعـات را در جهت عکس یعنی از محرک های بیوکاترونیکی به سیستم عضلانی یا عصبی کاربر منتقل می کنند. بیـو حسگر ها ممکن است سیم هایی باشند که فعالیت های الکتریکی را (مانند آشکارسـازهای گالوانیـک) از روی پوست، الکترود هایی که درون عضله فرو رفته اند و یا الکترود های نیمه رسانای منظم که عصب ها ار درون آن ها رشد کرده اند، می یابند.

۲- حسگر های مکانیکی:

حسگر های مکانیکی اطلاعاتی مربوط به وسیله (به عنوان مثال مکان عضو، نیروی وارد شده و وزن بار) را اندازه گیری می کند. این اطلاعات به بیوسنسور ها و یا تنظیم کننده ها انتقال داده می شود. این حسگرها وسایل مکانیکی مانند نیروسنج و شتاب سنج را شامل می شوند.

۳- تنظیم کننده ها:

سیستم عصبی یا عضلانی کاربر و دستگاه را به هم متصل می کند. دستور و قصد کار را یا برای دستگاه ترجمه می کند یا آن را مستقیماً می فرستد. همچنین اطلاعات را از بیوسنسور ها و سنسورهای مکانیکی گرفته و به کاربر منتقل و یا برای او ترجمه می کند. تنظیم کننده برحرکات دستگاه بیومکاترونیکی نظارت دارد.

۴---محرک

محرک یک عضله ی مصنوعی تولید کننده ی نیرو یا حرکت است. محرک می تواند موتوری باشد که که عضله ی موضعی کاربر را جایگزین یا کمک می کند.[۹]

۴-۵-۲- نحوه کنترل دست مصنوعی

اگر دست مصنوعی بخواهد کار دست طبیعی را بصورت کاملاً ارادی انجام دهد لازم است فیدبک ها و عصب های قطع شده به نحوی جبران گردد. این فیدبک ها و فرمان ها توسط سنسورهایی که بر روی بدن فرد نصب می گردند دریافت شده و پس از پردازش و ترکیب با اطلاعات فیدبکی موجود در سیستم کنترل پنجه مصنوعی به سروموتورهائی که نقش عضله را ایفا می نمایند ارسال می شود و این سروموتورها کار عضله را انجام داده و موجب حرکت پنجه مصنوعی می شوند. برای دریافت فرمانهای حرکت از عضو باقیمانده فرد و کنترل دست مصنوعی از طریق این فرمان ها سنسورهای مختلفی طراحی

شده است. این سنسورها بسته به شرایط جسمی و حرکتی فرد و همچنین میزان قطعی عضو در حالات مختلف قابل استفاده می باشند که در زیر پنج مدل مختلف از آنها را نام می بریم:

۱- سنسورهای الکترومکانیکی که توسط انقباض عضله تحریک می شوند.

۲- سنسورهای الکترومکانیکی که توسط حرکت شانه تحریک می شوند.

۳- سنسورهایی که توسط کیسه های هوا با بدن در ارتباط هستند.

۴- سنسورهای تماسی.

۵- سنسورهای میوالکتریک.[۹]

۴-۶- ساخت پوست برای اندام های مصنوعی

پوست مصنوعی حساس و با ظاهر واقعی مرحله مهمی از ساخت پروتز را تشکیل می دهد، به خصوص اگر بخواهیم ظاهر اندام مصنوعی از اندام طبیعی قابل افتراق نباشد. بهترین پوست های پوشاننده که Cosmeses نام دارند به طرز تعجب آوری واقعی به نظر می رسند و حتی سوراخ های پوستی و مو نیز در آن ها طراحی شده است، اما تنها اشکال آن ها این است که حس لامسه خوبی را تامین نمی کنند. محققان اخیرا توانسته اند قطعات کوچکی از Cosmeses باریک و قابل انعطاف به همراه حس لامسه جاسازی شده بسازند.[۷]

۴-۶-۱- برقراری حس لامسه توسط الکتریسیته

پوست مصنوعی از یک پلیمر لاستیک مانند ساخته شده است که محکم، سبک و قابل انعطاف است. در داخل آن نانولوله های یک لایه کربنی جاسازی شده است که موجب می شود با تغییر فشار وارده به ماده، مقاومت الکتریکی آن تغییر کند، با اندازه گیری تغییرات مقاومت لایه نانولوله پوست قادر خواهد بود فشارهای مختلف و انواع مختلف تماس را شناسایی کند. البته این پوست برای رسیدن به لطافت و ظرافت پوست طبیعی انسان باید راه زیادی را طی کند ولی همین قابلیت حس ساده به همراه حس دما

تحول عظیمی در جایگزینی حس اندام های از دست رفته ایجاد می کند. محققان هم اکنون در حال کار روی راه های مخابره این پیام ها به عصب و مغز افراد هستند. همچنین آنها در تلاشند حداقل آستانه حساسیت را افزایش دهند.[۷]

۴-۷- راه هایی برای نزدیک شدن اندام مصنوعی به طبیعی

برای واقعی جلوه دادن اندام مصنوعی بهتر این است که آن را به طور دائمی یا لااقل نیمه دائمی به بدن متصل کنیم. هم اکنون حتی بهترین انواع به جای متصل شدن، پوشیده می شوند که این خود موجب بروز مشکلاتی مانند خراشیدگی سوکت ها شود. بعضی از محققان در این فکرند که آیا نمی شود به جای بستن بند اندام مصنوعی را مستقیما به اسکلت بدن وصل کرد. گروهی از جراحان سوئدی با استفاده از تکنیک هایی که مختص کاشت دندان است مشغول کار روی این سیستم هستند. این تیم قطعات تیتانیوم را در استخوان باقی مانده اندام طبیعی قرار می دهد به گونه ای که ۲ سانتی متر انتهایی آن از پوست بیرون باشد تا بتوان اندام مصنوعی را روی آن سوار کرد. این سیستم اتصال به اندام مصنوعی اجازه می دهد تا به راحتی وصل و از جای خود جدا شود بدون آن که در حرکت مفصل اندام اصلی اختلال ایجاد کند.

چیزی که در نهایت این بخش قابل ذکر است این است که ساخت دست و پای مصنوعی یک صنعت انحصاری را ایجاد کرده است. اما وارد شدن صنعت دست و پا های قابل حرکت دریچه جدیدی را روبروی این صنعت گشوده است و آن را تا حدی از حالت انحصاریش خارج کرده است. برای ساخت چنین دست و پاهایی مهندسان وکارشناسان زیادی درگیر شده اند. در چنین فرایندی برای ساخت دست و پا نیاز به توان و مهارت و دانش فنی برای شبیه سازی، ساخت اسکلت داخلی و محاسبه نیرو های وارده به هر قسمت و همچنین ساخت سیستم های الکترونیکی که از ولتاژ تولیدی بدن یا سیگنال

های الکترونیکی مغز فرمان دریافت نماید کاملا واضح است و این امر باعـث جـذاب و مهمتـر از آن کـار گشا و مشکل گشا بودن این صنعت می گردد.[۷]

۵- نتایج وپیشنهادات

۵-۱- نتایج

همانطور که در طول فرایند این پروژه اشاره شد، پروتز های مصنوعی دست یا پا از مواد مختلفی ساخته می شوند، اما تنوع این مواد نسبت به خیلی از صنایع دیگر زیاد نمی باشد و همین امر باعث کاهش شدید تنوع در ساخت این نوع پروتز ها می باشد. این محدودیت در گذشته بسیار شدیدتر دیده می شد و در نتیجه باعث می گردید تا در ساخت این نوع پروتز ها محدودیت های بسیاری وجود داشته باشد، تا آنجا که در مورد پروتز های اولیه ساخته شده می توان گفت که چوب می توانست تنها ماده و ترکیب سازنده این نوع پروتز ها باشد. اما پیشرفت علم تنوع را هم پیشرفت می دهد و باعث می گردد تا بتوان از مواد، عناصر و ترکیبات بیشتری در ساخت این نوع پروتز ها استفاده کرد. امروزه با وجود پیشرفت علم و فن آوری باز هم محدودیت هایی در ساخت این پروتز ها وجود دارد، البته در مورد ساخت پروتز های زیبایی. اما در مورد پروتز هایی که قابلیت حرکت زیادی دارند تنوع نیز به شدت افزایش می یابد تا جایی که می توان این نوع پروتز ها را به هر گونه که مورد نیاز و قبول فرد سفارش دهنده باشد، طراحی کرده و برای ساخت آن نیز می توان از مواد متنوعی استفاده نمود، که این امر باعث گسترش روزافزون این صنعت شده و باعث می گردد تا تعداد بیشتری از متخصصان علوم و صنایع دیگر نیز در ساخت این پروتز ها دخالت داشته باشند. اما به عنوان یک نتیجه کلی می توان اینگونه اشاره نمود که آنچه که در این پروژه بیشتر مورد توجه بوده است، فرایند ساخت یک پروتز به عنوان پروتز زیبایی بوده است، چیزی که شاید ۵۰ الی ۶۰ سال پیش مورد توجه قرار می گرفته است. اما امروزه با توجه به پیشرفت تکنولوژی قابلیت ایجاد مفاصل و حتی تاندون ها برای تولید یک دست یا پای مصنوعی دیگر ساخت این نوع پروتز ها مربوط به افراد و همچنین مواد خاص نمی باشد. از طرف دیگر باید به این نکته اشاره کرد که ساخت پروتز های مصنوعی دست و پا از آن جهت از نظر زیبایی شناختی در این

پروژه مورد توجه قرار گرفت که در حقیقت هدف، فرایند ساخت این پروتز ها بود. از آنجایی که پروتز ها امروز بیشتر به سمت مونتاژ پیش می روند تا ساخت یکپارچه، در این پروژه ساخت یکپارچه آن ها مورد توجه قرار گرفت، یعنی بیشتر فرایند ساخت آن اعم از مدل سازی و قالب گیری اشاره شد و بیشتر سعی شد که آنچه که نیاز به مهارت فنی زیاد دارد مورد استفاده قرار گیرد. همانطور که اشاره شد فرایند ساخت یک پروتز مصنوعی مراحل متعددی دارد که مهمترین مرحله آن قالب گیری از مدلی که می تواند زنده و یا مرده باشد می باشد. از این جهت فرایند ساخت پرو تز های مصنوعی بسیار شبیه هنر مجسمه سازی می باشد. اما امروزه با ورود تکنولوژی بویژه در ساخت پروتز های مصنوعی با قابلیت حرکتی، این صنعت از هنر مجسمه سازی فاصله گرفته است و تا حد زیادی می توان گفت که مرحله قالب گیری از ساخت این پروتز ها حذف شده است و به جای آن فرایند مونتاژ کردن جایگزین شده است. در حقیقت می توان اینگونه اشاره کرد که در علم امروز برای ساخت این پروتز ها دو مرحله داریم؛ یکی مونتاژ کردن قسمت های مختلف اسکلت داخلی به یکدیگر و دیگری اضافه کردن روکش به عنوان پوست بر روی این اسکلت. در بخش مونتاژ محاسبات مکانیکی و دینامیکی از اهمیت ویژه ای برخوردار است و پس از مونتاژ روکش که به عنوان پوست عمل می کند بر روی قسمت های مختلف مونتاژ شده کشیده می شود و در حقیقت عمل قالب گیری و ساخت پیلون و ریختن دوغاب سیلیکون به داخل قالب حذف شده است. از این منظر شاید بتوان اینگونه گفت که در ساخت پروتز های مصنوعی با قابلیت حرکتی شاید توجه به زیبایی نسبت به پروتز های قبلی که فقط جهت زیبایی ساخته می شد کمتر شده است و آن هم به دلیل تفاوت های عمده در ساخت این پروتز ها با دست ها یا پاهایی که در گذشته ساخته می شد می باشد. اما امروزه تلاش های بسیاری صورت می گیرد تا پروتز ها هم قابلیت حرکتی خوبی داشته باشند و هم از منظر زیبایی شناختی به تکامل برسند. همانطور که اشاره شد در گذشته ساخت پروتز های مصنوعی دست و پا شباهت بسیار زیادی به هنر مجسمه سازی داشت و این امر یکی

از دلایل محدود شدن این صنعت بود. آنچه که در این پروژه به آن اشاره شد ساخت پروتز هایی شبیه به دست و پای طبیعی بود که البته دارای استحکام زیاد و وزن کم باشند. برای رسیدن به این هدف می بایست تا اسکلت داخلی آن ها از موادی که این دو قابلیت را فراهم سازند ساخته شود و همانطور که اشاره شد این مواد جز کامپوزیت ها نیستند. البته کامپوزیت های زمینه پلیمری، که با توجه به الیاف به کار رفته در آن ها از کربن و شیشه و پلیمری بودن زمینه، هم می توانند استحکام بالا را تامین کرده و هم وزن کمی داشته باشند. همچنین برای تامین زیبایی این پروتز ها بر روی اسکلت داخلی آن روکشی کشیده می شود که این روکش در حقیقت نقش پوست را ایفا می کند و جنس آن باید از مواد استحکام بالا و سبک باشد و همچنین انعطاف پذیر باشد، در نتیجه مواد پلاستیکی از جمله سیلیکون، لاتکس و پلی اورتان می توانند این قابلیت را فراهم نمایند. غیر از این مراحل به مرحله دیگری نیز اشاره شد که در حقیقت ساخت پایه دست مصنوعی می باشد. اما این مرحله می تواند حذف شود. به عنوان پیشنهاد می خواهم به این نکته اشاره کنم که برای حذف مرحله ساخت پایه دست مصنوعی می توان اسکلت داخلی را به استخوان بدن متصل نمود، همانند فرایندی که در ایمپلنت دندان مصنوعی صورت می پذیرد. یعنی به جای اینکه دست را به پایه ساخته شده متصل نماییم می توانیم اسکلت داخلی یا پیلون را به طور مستقیم به استخوان باقی مانده در محل قطع دست متصل نماییم که البته این امر نیاز به تحقیقات زیاد و دقت فراوان دارد. اولین نکته ای که باید در این فرایند مورد توجه قرار گیرد، سازگار بودن جنس اسکلت داخلی با متابولیسم بدن انسان می باشد. شاید بتوان از بیو سرامیک ها برای تحقق این امر استفاده کرد که صد البته محدودیت بارزی دارد و آن سنگین تر بودن مواد سرامیکی نسبت به مواد پلیمری می باشد.

۵-۲- پیشنهادات

به جز پیشنهاد فوق الذکر سه پیشنهاد دیگر نیز ارائه می کنم. یکی در مورد ساخت پروتز هایی که به عنوان پروتز های پیش ساخته مورد استفاده قرار می گیرند، دیگری در مورد استفاده از ماده ای به نام آرالدیت در ساخت این پروتز ها و در آخر هم ساخت ساخت پوست مصنوعی را به عنوان پیشنهاد ارائه می کنم.

۱- در ساخت پروتز هایی که به عنوان پروتز های پیش ساخته مورد استفاده قرار می گیرند می توان مرحله ماهیچه سازی را آسانتر نمود. یعنی فرایند را نسبت به آنچه که در این پروژه به آن اشاره شد سهل تر نمود. همانطور که قبلا اشاره شد در ساخت این پروتز ها مرحله ای با عنوان ماهیچه گیری و ماهیچه سازی داریم که کار حساس و زمان بری می باشد و ما با این پیشنهاد این مرحله را آسان می نماییم. برای این کار طبق دستورالعمل زیر اقدام می کنیم:

همانند آنچه که در فصل ۴ توضیح داده شد ابتدا از دست یک قالب دو تکه می گیریم، پس از قالب گیری قسمت منفی و مثبت قالب را از هم جدا می کنیم و داخل آن را با خمیر مجسمه سازی می پوشانیم، اما این بار این کار را در همه قسمت های دست به غیر از ناحیه کف دست و انگشتان انجام می دهیم و در انتها هم ریشه ماهیچه را برای ثابت شدن ماهیچه در قالب ایجاد می کنیم. با این کار می توان دستی تولید کرد که بخشی از آن تو خالی و بخش دیگر تو پر باشد. مزیتی که این دست نسبت به دست اشاره شده در فصل ۴ دارد این است که در ساخت این دست نیاز به مهارت و دقت زیاد در فرایند ماهیچه سازی نداریم زیرا ماهیچه سازی در ناحیه انگشتان و کف دست که احتمال شکستن قالب در این قسمت ها وجود دارد حذف شده و احتمال شکستن قالب کاهش می یابد. اما این روش عیب بزرگی نیز دارد و آن سنگینی آن می باشد. همانطور که می دانیم سیلیکون ماده نسبتا سنگینی است و وقتی در قسمت ماهیچه و کف دست ماهیچه سازی صورت نگیرد در حقیقت آن قسمت از دست کاملا

تو پر خواهد شد و این باعث می گردد تا این دست نسبت به دست اشاره شده در فصل ۴ سنگین تر باشد، و در حقیقت این دست نمی تواند به عنوان یک دست کاربردی مورد توجه باشد و بیشتر به عنوان یک فرایند کارگاهی و آموزشی می تواند مورد توجه باشد.

۲- مساله دیگر قابل ذکر به عنوان پیشنهاد، ساخت پروتز با روکشی از ماده ای به نام آرالدیت می باشد. این ماده که در مجسمه سازی و ساخت تندیس کاربرد زیادی دارد می تواند به جای دوغاب سیلیکون، لاتکس یا پلی اورتان مورد استفاده قرار گیرد. در حقیقت می توان بجای مواد سیلیکونی یا لاتکسی روکشی از این نوع مواد بر روی اسکلت داخلی ایجاد کرد، زیرا هم استحکام بالاتری دارد و هم وزن کمتری نسبت به سیلیکون و لاتکس دارد. اما از نظر زیبایی محدودیت دارد زیرا قابلیت رنگ پذیری مانند سیلیکون و لاتکس را ندارد. در ادامه توضیحات مختصری در مورد این ماده ارائه گردیده.

یکی دیگر ازانواع رزین ها آرالدیت می باشد که در مجسمه سازی و صنعت قالب سازی مصرف فوق العاده زیادی دارد آرالدیت انواع و اقسامی دارد مثلاً بعضی از آنها را داخل قالب می ریزند و بعضی دیگر را بصورت لایه لایه همراه با پشم شیشه به داخل قالب می زنند. دراینگونه موارد اگر قالب دو تکه باشد اول آرالدیت همراه پشم شیشه را به داخل هر یک آنها زده و سپس دو تکه قالب را به هم می چسبانند اگر دهانه قالب گشاد باشد و دست به داخل آن برود با انگشت مقداری آرالدیت را به درز قالب می مالند تا محکم شود و دو تکه خوب به هم بچشبد در صورتیکه دست نتواند به داخل قالب برود بهتر است لبه ها را کمی بیشتر آرالدیت بزنید تا هنگامی که دو تکه قالب روی هم سوار شوند این مقدار بیشتر بهم فشار آورده و درز خود به خود محکم می شود. یکی دیگر از انواع آرالدیت ها برای ژل کوت مصرف می شود یعنی اینکه اول یک لایه از آرالدیت را به کمک قلم مو به داخل قالب می زنند و سپس یا بصورت لایه لایه و یا بصورت ریختن با آن عمل می کنند .

آرالدیت نیز همانند پولی استر وقتی با هاردنر مخصوص به خود مخلوط می شود پس از چند ساعت به ماده سختی بدل می گردد.

آرالدیت به خاطر استحکام و قابلیت کاری و انقباض نامحسوس آن به عنوان یکی از مواد مطلوب درساختن نمونه هایی از حیوانات ماقبل تاریخ شناخته شده است. این نمونه ها سبک، محکم و ضد آب هستند و به آسانی نیز تمیز می شوند.

۳- و به عنوان آخرین پیشنهاد می توانم به ساخت پوست مصنوعی اشاره کنم. وقتی که می توانیم روکشی بر روی اسکلت داخلی اعمال کنیم، پس می توانیم پوستی را هم از موادی مشابه بسازیم که فقط جنبه زیبایی داشته باشد. این پوست می تواند برای افرادی که در ناحیه دست یا پا دچار سوختگی شدید شده اند مورد استفاده قرار گیرد. در ادامه شرح مختصری در مورد فرایند تولید این نوع پوست در آزمایشگاه ارائه شده است. نکته ای که در مورد این محصول باید مورد توجه قرار گیرد قابلیت رنگ پذیری آن می باشد. لذا نمی توان از هر ماده ای برای ساخت آن استفاده کرد.

روش‌های تهیه پلی آمیدها با روش‌های تهیه پلی استرها مشابهند. در سال ۱۹۳۶، دانشمند آلمانی "شلاک "موفق به پلیمریزاسیون کاپرولاکتام و تولید نایلون ۶ شد. این نایلون به نام تجارتی" پرلون " در اروپا وارد بازار شد و پس از جنگ جهانی دوم ، تولید نایلون ۶ در اکثر کشورها شروع شد.

پرلون (Perlon) ، پلی آمید مشهوری است که در اشل صنعتی از واکنش خود تراکمی آمینوهگزانوئیک اسید بدست می‌آید.

این ترکیب از طریق نوآرایی" بکمن "سیکلوهگزانون اکسیم و تبدیل به کاپرولاکتام قابل دسترسی است. وزن مخصوص نایلون، ۱/۱۴ است و در حدود ۲۱۵-۲۲۰ درجه سانتی‌گراد ذوب می‌گرد.

وسایل و مواد مورد نیاز:

- رآکتور (بزرگ برای اشل صنعتی)
- کاپرولاکتام
- دی‌اکسید تیتان
- اسید استیک
- سیسم ریسندگی

روش تولید:

در مرحله اول برای تولید صنعتی ، (چون مرحله اول پلیمریزاسیون)، کاپرولاکتام مذاب همراه کمی دی‌اکسید تیتان و اسید استیک توسط یک فیلتر وارد لوله‌های رآکتور پلیمریزاسیون می‌شود، پلیمری که تولید گردید، پس از خروج از رآکتور بالافاصله وارد سیستم ریسندگی می‌گردد. در مرحله دوم که شامل ریسندگی است، نایلون ۶ به حالت مذاب وارد منافذ ریزی شده و از آنبصورت رشته‌های ظریفی خارج می‌گردد.

در آخر باید به این نکته اشاره کنم که ساخت پروتز های امروزی توانسته تا حد بسیار زیادی محدودیت را از پیشروی بردارد به گونه ای که امروزه افرادی که حتی از دو پا یا دو دست قطع عضو هستند می توانند به راحتی به فعالیت روزانه پرداخته و حتی به ورزش حرفه ای نیز بپردازند. مثالی که در این زمینه بسیار قابل لمس است، رکورد شکنی ورزشکاران قطع عضو از دو پا در ورزشی همانند دو و میدانی می باشد. به امید پیشرفت روزافزون این صنعت و پیش پا برداشتن محدودیت های باقی مانده.

منابع

۱- رضاییان، محمود، ۱۳۸۴، ژل نانو کامپوزیت، مقاله، دانشگاه تهران.

۲- شروه، عربعلی، ۱۳۸۴، مجسمه سازی و قالب گیری، انتشارات بهار، چاپ سوم.

۳- کریمیان، رضا، ۱۳۸۵، نانو کامپوزیت تحول بزرگ در مقیاس کوچک، مقاله پژوهشی.

۴- موحدی، علی، ۱۳۸۰، راهنمای کامپوزیت، نشر الگو، چاپ سوم.

۵- نوین، فرهاد، ۱۳۸۹، مهندسی معکوس CATIA، نشر آفرنگ، چاپ اول.

6- Abrahams, Andrew, An Amazing Foot Put Legless Vet Bill Demby Back,119, P, 1998, People Weeckly, April.

7- Artificial Limbs, How Products Are Made, 2007, Retrieved 11 February 2007.

8- Bionic Hands Wish Top Tech Prize, BBC News, 9 June 2008, Retrived 25 April 2010.

9- H. Bender, K. Berghus, H. Friemann, Manual For The Rubber Industry, Bayer

10- Sabolich, John, You Are Not Alone, Sabolich Prosthetic And Research, 1991 Center

11-Shurr, Donald G And Thomas M. Cook, Prosthetics And Orthotics,1990 Apple Leton And Lang.

12- www.armdynamics.com

13- www. Bioemm.com

14- www.design.ir

15- www.ottobock.com

16- www-Robbereng.com

17- www.Sat2.com