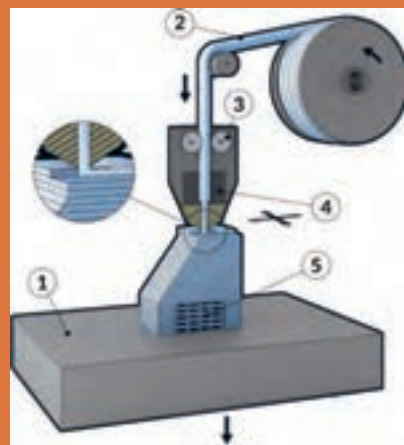
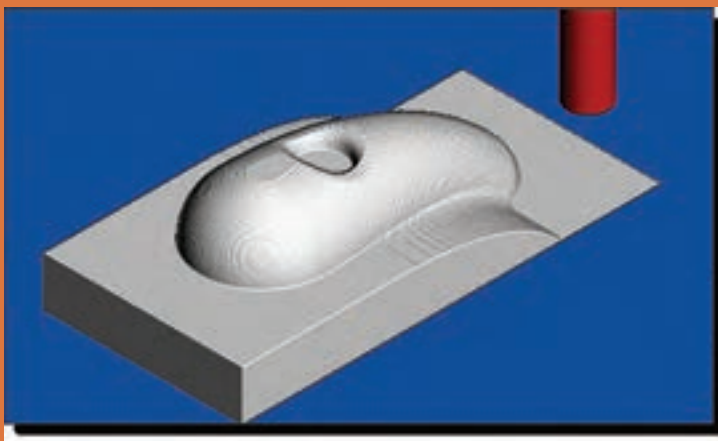




## پودمان ۴

روش‌های ساخت به کمک رایانه (CAM)



# واحد یادگیری ۱

## پاورمیل

### مقدمه

با پیشرفت روزافزون تکنولوژی در حوزه صنعت، از نرم افزارهای زیادی در زمینه ساخت به کمک رایانه استفاده می شود که به آنها نرم افزارهای CAM گفته می شود. برخی از این نرم افزارهایی عبارتند از : Surf CAM برنامه ماشین کاری فرز CNC با سه محور کنترل توسط یکی از نرم افزارهای پر کاربرد بنام پاورمیل آشنا کنیم.

### استاندارد عملکرد

تهیه برنامه ماشین کاری برای فرز CNC سه محور کنترل توسط نرم افزار پاورمیل

### پیش نیاز و یاد آوری

- برای یادگیری این واحد، هنرجو باید مهارت های زیر را قبلا کسب کرده باشد.
- توانایی و مهارت کار با رایانه و سیستم عامل Windows
  - توانایی و مهارت کار با یکی از نرم افزارهای مدل سازی مانند سالید ورکز، کتیا، اینونتور
  - توانایی و مهارت کار با دستگاه فرز معمولی و شناخت ابزارهای عمومی آن

## نرم افزار (PowerMill)

### آشنایی با فرز CNC سه محور کنترل

دستگاه فرز CNC سه محور کنترل یکی از ماشین‌آلات پرکاربرد است که در صنایع قالب‌سازی و قطعه‌سازی استفاده می‌شود. کدهای تهیه شده به صورت دستی یا به کمک نرم‌افزار CAM تهیه و به ماشین ارسال می‌شود. کنترلرهای دستگاه مانند یک رایانه کدها و دستورات را خوانده و آنها را به سیگنال‌های الکتریکی تبدیل و با ارسال فرمان‌های الکتریکی به سرو موتورها باعث حرکت و هدایت محورها و اسپیندل در مسیرهای تعریف شده می‌شوند. میکروسویچ‌ها و خط‌کش‌های دیجیتال بازخوردهای مورد نیاز را جهت ادامه فرایند به کنترلر ارسال می‌کنند. کنترلرهای نصب شده در فرزهای سی‌سی سه محور کنترل، قادر به کنترل دقیق حرکت میز دستگاه در دو جهت محور X و Y و همچنین محور (اسپیندل) آن در راستای محور Z می‌باشد. حرکت این محورها دقیقاً مانند فرز معمولی‌اند با این تفاوت که در فرز CNC اسپیندل حرکت در راستای محور Z را انجام می‌دهد. (میز این نوع دستگاه‌ها حرکت دورانی ندارد). بیشتر فرزهای CNC مجهز به دستگاه تعویض خودکار ابزار یا Tool Change می‌باشند و کنترلر با توجه به برنامه تهیه شده فرمان تعویض ابزار را ارسال می‌کند.

کنترلرهای مختلفی برای این دستگاه‌ها توسط شرکت‌هایی مانند فانوک، هایدن‌هاین، زیمنس، فاکور، میتسوبیشی و... طراحی و تولید می‌شوند. در شکل‌های ۱ نمونه‌هایی از کنترلرهای CNC نشان داده شده است.



شکل ۱

### نقاط صفر و مرجع

برای کنترل عملیات ماشین‌کاری در ماشین‌های CNC، پارامترهای موقعیت، سرعت و نیرو اندازه‌گیری می‌شود. همچنین به منظور داشتن حرکت‌های دقیق ابزار و میز ماشین، تنظیم سیستم اندازه‌گیری ماشین و ساده‌تر شدن برنامه نویسی باید یک سری نقاط به عنوان نقاط مرجع تعریف شود. این نقاط عبارتند از:

#### نقطه صفر ماشین (M)

این نقطه که توسط شرکت سازنده بر روی دستگاه تعریف می‌شود ثابت بوده زمانی که دستگاه روشن می‌شود محور Z و میز به صورت خودکار به موقعیت صفر ماشین منتقل می‌شوند.

نقطه صفر ماشین در ماشین‌های فرز معمولاً در گوشه پایین و سمت چپ میز تعریف شده است.

#### نقطه صفر قطعه کار (W)

این نقطه به منظور سهولت در تهیه برنامه ماشین‌کاری توسط برنامه‌نویس یا اپراتور پاورمیل تعیین می‌شود. چنانچه این نقطه تعریف نشود، برنامه تهیه شده براساس صفر ماشین خواهد بود (عملیات برنامه‌نویسی

مشکل تر می شود.)

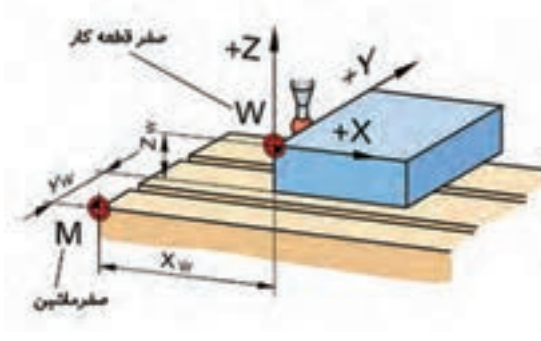
در شکل ۲ نقاط صفر ماشین (M) و صفر قطعه کار (W) نشان داده شده است.

### نقطه صفر ابزار (T)

نقطه صفر ابزار (Point Reference Tool): این نقطه در موقعیت خاصی از ابزار گیر تعریف شده است و جبران و تصحیح طول و شعاع ابزار در راستای هر یک از محوره‌های X، Y و Z نسبت به این نقطه محاسبه می‌شود. نقطه صفر ابزار با حرف T مشخص می‌شود. در شکل ۳ موقعیت این نقطه با حرف T نشان داده شده است.



شکل ۳



شکل ۲

## ضرورت استفاده از نرم‌افزارهای CAM

در ماشین‌های سی ان سی از قبیل تراش و فرز، برنامه نویسی باید کدهای خاصی به منظور تبدیل زبان برنامه نویسی برای ماشین کاری قطعات را با توجه به شکل هندسی و فرم قطعه بنویسد، برنامه نویسی دستی قطعات تراشکاری و با وجود سایکل‌های آماده برای اعمالی مانند پیچ تراشی، شیار تراشی و غیره معمولاً کار پیچیده‌ای نیست. اما در فرزکاری کار برنامه نویسی خصوصاً برای قطعاتی که دارای اجزا و فرم‌های پیچیده می‌باشد بسیار سخت و زمان بر می‌باشد و تعداد خطوط برنامه بسیار زیاد خواهد شد، در این موارد نرم‌افزارهای CAM مانند پاورمیل، با اعمال تعاریف و تنظیمات خاصی، این کدها را به صورت خودکار ایجاد می‌کنند.

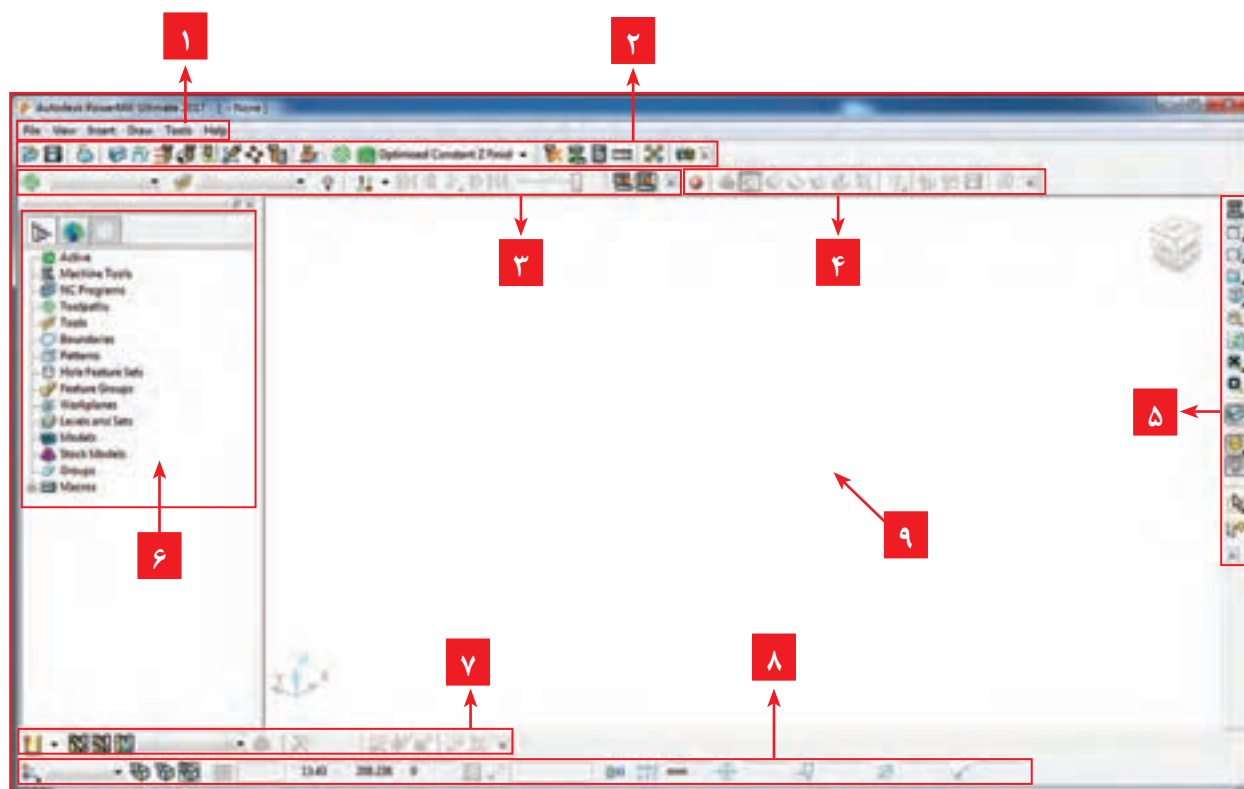
## معرفی نرم‌افزار پاورمیل (PowerMill)

نرم افزار پاورمیل (ورژن ۲۰۱۷) که متعلق به شرکت اتودسک (AutoDesk) می‌باشد، یک نرم افزار بسیار پرکاربرد و قدرتمند است که در صنایع مختلفی نظیر قالب سازی و خدمات CNC مورد استقبال و استفاده گسترده قرار گرفته است. نرم افزار پاورمیل با داشتن امکانات قدرتمندی در زمینه استراتژی‌های فرزکاری قطعات ساده تا پیچیده در گستره وسیعی از دستگاه‌های CNC تا پنج محور کنترل کاربرد دارد. در ورژن‌های جدید مانند ۲۰۱۷ بخش تراشکاری (Training) نیز به آن اضافه شده تا بر قابلیت‌های این نرم افزار قدرتمند بیافزاید.

برخی ویژگی‌های برجسته پاورمیل عبارتند از :

- به کارگیری تکنیک‌ها و استراتژی‌های مختلف در زمینه خشن کاری، پرداخت کاری، سوراخ کاری و سایر عملیات ماشین کاری
  - امکان به کارگیری و تعریف انواع ابزارهای براده برداری
  - امکان به کارگیری این نرم‌افزار در اکثر دستگاه‌های CNC با کنترلرهای مختلف تا پنج محور
  - پردازش قدرتمند جهت کاهش زمان ماشین کاری، افزایش کیفیت سطح، کنترل برخوردها و...
  - گستردگی استفاده از این نرم‌افزار در صنایع مختلف کشورمان
- آشنایی با محیط نرم‌افزار:**

قبل از شروع بهتر است با محیط نرم‌افزار پاورمیل ۲۰۱۷ آشنا شویم. پس از دبل کلیک بر روی عنوان نرم‌افزار، پنجره آن به شکل زیر باز می‌شود. در شکل ۴ نام برخی نوار ابزارها و نواحی مختلف نمایش داده شده است.



شکل ۴

### نوار ابزارها و نواحی مهم نرم‌افزار پاورمیل

- ۱ **نوار منو (Menu Bar):** شامل کلید دستورات و تنظیمات نرم‌افزار پاورمیل و help برنامه می‌باشد.
- ۲ **نوار ابزار اصلی (Main Bar):** مهم‌ترین نوار ابزار پاورمیل که تعاریف و تنظیمات اصلی مانند تعریف بلوک خام، نوع و مقدار ارتفاع نشست و برخاست‌های ابزار، فواصل ایمن، نقاط شروع و انتهای ماشین کاری و غیره از طریق این نوار ابزار انجام می‌شود.

۳ **نوار شبیه‌سازی (Simulation)**: پس از ایجاد مسیر ماشین کاری و تنظیمات پارامترهای مربوط به آن و قبل از تهیه برنامه ماشین کاری می‌توان با نوار ابزار Simulation مسیر ماشین کاری را شبیه سازی کرد و اشکالات آن را برطرف کرد.

۴ **نوار ابزار View Mill**: برای نمایش بلوک و مدل در حالات مختلف جهت عملیات شبیه‌سازی کاربرد دارد.

۵ **نوار ابزار Viewing**: پس از ورود مدل به نرم‌افزار و یا درحین کار با قسمت‌های مختلف نرم‌افزار جهت داشتن دید مناسب می‌توان دید مدل را از طریق این نوار ابزار تغییر داد.

۶ **پنجره Explorer**: تاریخچه عملیات انجام شده مانند تعاریف و تنظیمات بلوک خام، ابزارها، استراتژی‌ها، تعریف، workplan ها، Boundary و برنامه‌های تهیه شده ماشین کاری و غیره در این پنجره قابل مشاهده و تغییر است.

۷ **نوار تعریف ابزار (Tool Toolbar)**: برای تعریف ابزارهای مناسب برای انجام انواع عملیات‌های ماشین کاری استفاده می‌شود.

۸ **نوار ابزار وضعیت (Statues)**: این نوار ابزار، وضعیت صفر قطعه کار فعال (Workplane)، قطر ابزار، تولرانس، مختصات ماوس و غیره را نشان می‌دهد.

۹ **پنجره گرافیکی**: در این پنجره مدل، بلوک خام، ابزارها و مسیرهای ماشین کاری (Toolpath)، به صورت گرافیکی نمایش داده می‌شود.

در شروع کار با نرم‌افزار، همواره این پنجره بر محور Z دستگاه مختصات عمود است.

نکته



برای اضافه کردن نوار ابزارها به محیط پاورمیل، باید از منوی View گزینه Toolbar را کلیک کنید و سپس از لیست باز شده نوار ابزار مورد نظر را تیک بزنید.

نوار ابزارهایی که در بالا به آن اشاره شد را از محیط حذف و دوباره آنها را برگردانید.

فعالیت ۱



## مراحل کار در نرم‌افزار پاورمیل



شکل ۵

قطعه شکل ۵ را در نظر بگیرید، اگر بخواهید آن را با یک دستگاه فرز معمولی ماشین کاری (فرز کاری) کنید، چگونه انجام می‌دهید؟ مسلماً ابتدا باید ماده خامی بزرگ‌تر از ابعاد اصلی قطعه تهیه کنید. پس از بستن و ساعت کردن قطعه کار، باید با بستن ابزار مناسب، مماس کردن ابزار و صفر کردن ورنیه‌های

دستگاه، تنظیم عده دوران و پیشروی مناسب، خشن کاری اولیه قطعه کار را انجام دهید. اکنون این سؤال پیش می‌آید که آیا فقط از یک ابزار برای فرز کاری آن استفاده می‌کنید، برای فرز کاری شیار باید ابزار دیگری استفاده کرد، سوراخ‌ها توسط مته و در صورت نیاز برقوقاری می‌شوند. برای فرز کاری گوشه‌های گرد نمی‌توانید از فرز انگشتی سر تخت استفاده کنید و باید از ابزاری که سر آن گرد است کمک بگیرید. در اکثر نرم‌افزارهای CAM مانند پاورمیل روند کار نیز تقریباً به همین گونه است. یعنی باید بلوک ماده خام، ابزارهای مناسب، پارامترهای ماشین کاری مانند سرعت برشی، عده دوران، فاصله‌های ایمن ابزار، استراتژی‌های مناسب ماشین کاری برای رسیدن به قطعه نهایی تعریف گردد و در نهایت G کد آن توسط نرم‌افزار پاورمیل تهیه و به دستگاه CNC ارسال می‌شود. اپراتور پاورمیل جهت گرفتن خروجی برنامه ماشین کاری، تعاریف، تنظیمات و اقدامات خاصی را انجام می‌دهد، در اینجا برای آموزش بهتر نرم‌افزار پاورمیل آن را در نه گام توضیح می‌دهیم. البته به این معنی نیست که این مراحل حتماً باید به‌روال زیر انجام گیرد. در ورژن‌های جدید مانند ۲۰۱۷ بسیاری از مراحل زیر در پنجره تعریف استراتژی قابل تعریف و تنظیم می‌باشد.

### نگاهی به مراحل کار در نرم‌افزار پاورمیل

**گام اول:** وارد کردن مدل طراحی شده از نرم‌افزارهای مدل سازی به محیط پاورمیل  
**گام دوم:** بررسی مدل در نماهای مختلف و اصلاح وضعیت و موقعیت آن نسبت به محورمختصات جهت تعیین نقطه صفر قطعه کار.  
**گام سوم:** تعریف نقطه صفر قطعه کار یا Workplane  
**گام چهارم:** تعریف بلوک ماده خام اولیه جهت ماشین کاری  
**گام پنجم:** تعیین و تعریف ابزارهای ماشین کاری  
**گام ششم:** تعیین استراتژی‌های مناسب ماشین کاری (Toolpath Strategies) و شبیه‌سازی (Simulation)  
**گام هفتم:** تنظیم پارامترهای ماشین کاری  
**گام هشتم:** تهیه برنامه ماشین کاری (NC Program) و رایت کردن برنامه (Write)  
**گام نهم:** ارسال برنامه به دستگاه از طریق نرم‌افزارهای انتقال فایل مانند (نرم‌افزار CIMCO) اینک به تشریح هر یک از مراحل می‌پردازیم.

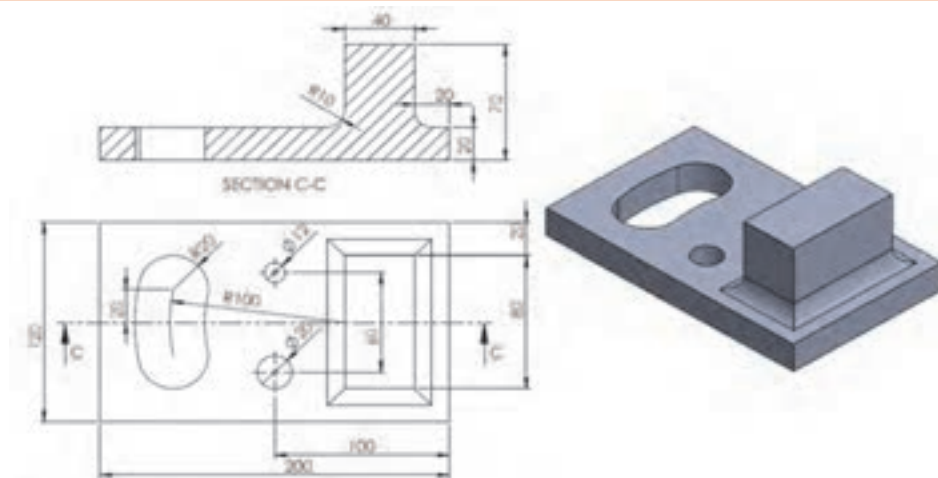
### گام اول: وارد کردن مدل در نرم‌افزار پاورمیل

فرمت استاندارد کاربرد محیط پاورمیل فایل‌های با پسوند dkg می‌باشد. نرم‌افزارهای مدل سازی مانند سالی‌دورکز وکتیا قادرند مدل را با فرمت‌هایی مانند stp, igs که پرکاربردترین فرمت‌های قابل استفاده در نرم‌افزارهای CAM هستند ذخیره کنند. لذا بهتر است بعد از طراحی مدل در نرم‌افزارهای مدل‌سازی فایل مدل خود را به یکی از فرمت‌های فوق ذخیره کنیم. البته پاورمیل قادر است فایل‌های با فرمت استاندارد نرم‌افزارهای مدل سازی را نیز با روش‌هایی که ذکر می‌کنیم تبدیل فرمت و باز کند.





مدلی را که نقشه آن در شکل ۶ آورده شده است را در نرم افزار سالی دورکز طراحی و آن را با نام Model ۱ در مسیور دلخواه (یا Desktop) ذخیره کنید. (نمای روبرو در صفحه Front رسم شود).



شکل ۶

اکنون می خواهیم مدل رسم شده را در نرم افزار پاورمیل وارد کنیم.

### روش های وارد کردن مدل

۱ استفاده از گزینه **Import Model** از منوی **File**: از منوی **File** گزینه **open** را انتخاب و سپس روی نام مدل در مسیور ذخیره شده کلیک کنید و بر روی دکمه **open** کلیک کنید چنانچه پسوند فایل غیر از **dwg** باشد پس از انجام عملیات ترجمه فایل و نشان دادن فرم **Information** (شکل ۷) مدل را باز می کند. با عمل درگ کردن فایل مدل به درون نرم افزار پاورمیل نیز مدل تبدیل فرمت و باز می شود. (اگر نرم افزار پاورمیل قادر به باز کردن مدل نشد، مدل خود را **Desktop** ذخیره کنید).



شکل ۷

مدلی را طراحی و با فرمت Igs ذخیره کنید.

فعالیت  
عملی ۲

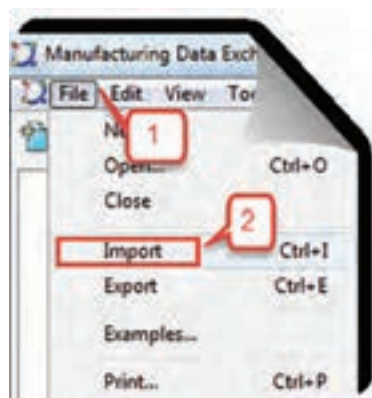


مدل طراحی شده در فعالیت ۱ (Model ۱) را به روش Import Model در پاورمیل باز کنید.

فعالیت  
عملی ۳



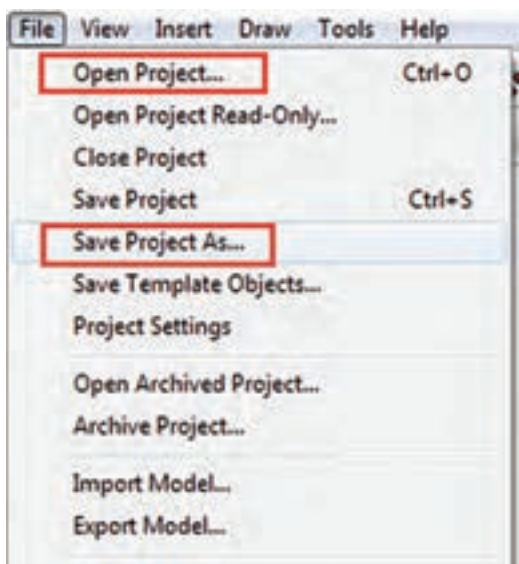
۲ استفاده از نرم‌افزار کمکی Manufacturing Data Exchange Utility که همراه با نرم‌افزار پاورمیل نصب می‌شود. در مواردی که فرمت فایل توسط نرم‌افزار پاورمیل قابل شناسایی نباشد به کمک این برنامه جانبی و دستورات Import و Export که در منوی File این برنامه واقع شده، می‌توانید فرمت فایل مدل را به فرمت dkg تبدیل کنید (شکل ۸).



شکل ۸

### ذخیره کردن و باز کردن پروژه

پروژه چیست؟ تمامی تعاریف و تنظیمات انجام شده بر روی مدل (از قبیل تعریف بلوک خام، ابزار، استراتژی ماشین‌کاری، پارامترهای ماشین‌کاری و غیره) در قالب یک فایل پروژه ذخیره می‌شود. برای ذخیره‌سازی کارهای انجام شده تحت نام یک پروژه کافی است از طریق منوی File دستور Save Project as... را انتخاب کنید و پس از نام‌گذاری پروژه و تعیین مسیر ذخیره‌سازی با کلیک بر روی دکمه Save، پروژه را ذخیره نمایید. ضمناً جهت باز کردن پروژه‌های ذخیره شده، از دستور Open Project استفاده کنید. (شکل ۹)



شکل ۹



فرمت مدل طراحی شده در فعالیت ۱ را با استفاده از نرم‌افزار Manufacturing Data Exchange با روش اول به فرمت dgk تبدیل کنید و سپس آن را در محیط پاورمیل باز کنید. اکنون مدل باز شده را با نام Project ۱ در پاورمیل ذخیره کنید.

### گام دوم: بررسی مدل در نماهای مختلف

هنگامی که مدلی را در پاورمیل باز می‌کنید آن را با استفاده از نوار ابزار View در نماهای مختلف، بررسی کرده تا بتوانید موقعیت آن را نسبت به دستگاه مختصات با موقعیت مناسب قطعه کار روی میز دستگاه CNC تطبیق دهید. (وضعیت مدل در پاورمیل با وضعیت بستن قطعه روی میز ماشین یکی باشد).

**نوار ابزار (View):** همانطور که گفته شد پس از باز شدن نرم‌افزار پاورمیل، پنجره گرافیکی عمود بر محور Z است، برای مشاهده مدل در نماهای مختلف از نوار ابزار View استفاده می‌شود. (شکل ۱۰) مربوط به شکل شماره ۱۰ می‌باشد.



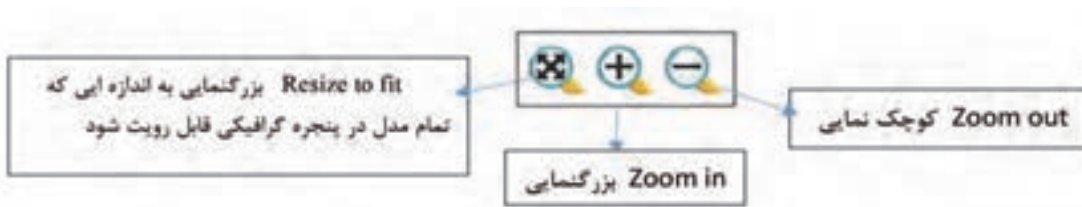
شکل ۱۰

عملکرد این ابزارها مشابه نرم‌افزار سالید ورکز می‌باشد.

فایل Project ۱ را باز کرده با کلیک بر روی آیکن‌های فوق مدل را در نماهای مختلف قرارداده و شکل هندسی آن را به لحاظ ظاهری بررسی کنید.



**دستورات Zoom:** برای زوم کردن (بزرگ نمایی و کوچک نمایی) مدل از این دستورات استفاده می‌شود. (شکل ۱۱)



شکل ۱۱

با استفاده از دستورات فوق عملیات بزرگنمایی و کوچک‌نمایی مدل وارد شده (Project ۱) را تمرین کنید.

فعالیت  
عملی ۶



### کار با ماوس و صفحه کلید:

**Zoom** « می‌توان با چرخاندن کلید چرخان ماوس عمل بزرگنمایی یا کوچک‌نمایی مدل را انجام داد. **Pan** « می‌توان با نگه داشتن همزمان کلید چرخان ماوس (Scorall) و کلید Shift و جابجا کردن ماوس به اطراف عمل جابجایی مدل را انجام داد. **Rotate** « می‌توان با نگه داشتن کلید چرخان ماوس و حرکت چرخشی ماوس عمل دوران مدل را انجام داد.

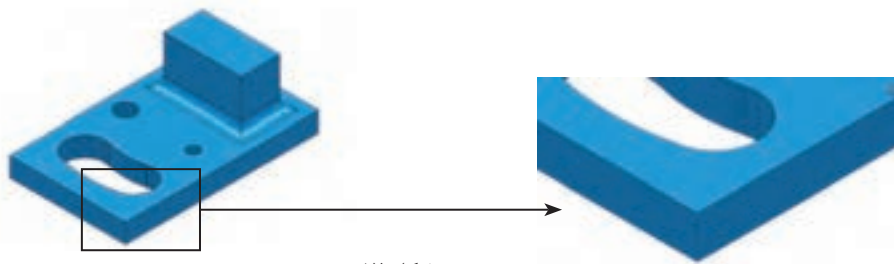
توسط ماوس و کلید Shift و کلید چرخان ماوس، اعمال Zoom, Pan, Rotate را روی مدلی که قبلاً باز کرده‌اید تمرین کنید تا مهارت کافی کسب نمایید.

فعالیت  
عملی ۷



### دستور Zoom to Box

از این دستور برای بزرگنمایی بخشی از مدل استفاده می‌شود، بدین منظور کافی است با نگه داشتن کلیک چپ و رسم یک کادر حول قسمتی از مدل که مدنظرتان است به بزرگ‌نمایی آن قسمت دست یابید. (شکل ۱۲)



شکل ۱۲

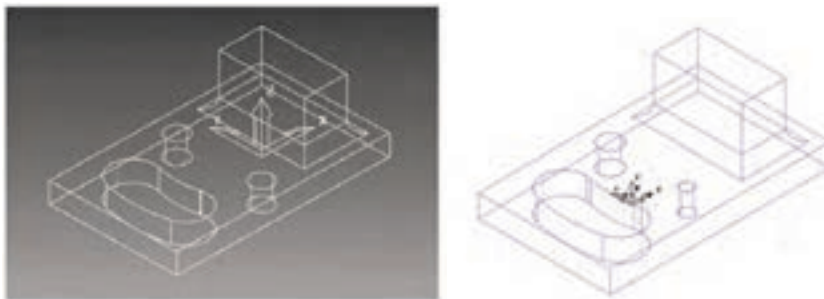
گوشه‌ای از مدل را با دستور Zoom to Box بزرگ‌نمایی کنید و سپس با دستور Resize to Fit به حالت اول برگردانید.

فعالیت  
عملی ۸



### دستور Wireframe

جهت نمایش مدل بصورت سیمی و بدون رنگ‌آمیزی، جهت دید بهتر اجزای مخفی مدل به کار می‌رود. (شکل ۱۳)



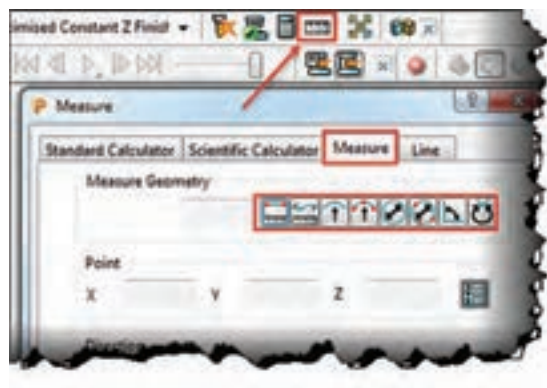
شکل ۱۳

**Plane Shade**: مدل به صورت رنگ شده نمایش داده می‌شود. از این دستور برای مشاهده و شناسایی سطوح مختلف مدل (مانند سطوح با شیب منفی) استفاده می‌شود که با رنگ‌های مختلف نمایش داده می‌شود.

**Block**: از این دستور برای نمایش یا عدم نمایش بلوک در محیط گرافیکی استفاده می‌شود. گاهی اوقات لازم است برای انتخاب راحت‌تر سطوح مدل، بلوک نمایش داده نشود (اصطلاحاً خاموش شود). توجه: مشابه این دستور در نوار ابزار اصلی نیز وجود دارد که عملکرد آن تعریف بلوک خام است ولی در اینجا منظور، آیکنی است که در نوار ابزار Viewing قرار دارد.

## دستور Measure

در پاورمیل هنگام کار بر روی مدل، (خصوصاً بر روی مدل‌هایی که نقشه اندازه‌های آن را در اختیار نداریم)، می‌توان از این دستور مانند یک ابزار اندازه‌گیری، برای اندازه‌گیری ابعاد اجزای مدل استفاده کرد. با اجرای این دستور در نوار ابزار اصلی کادر محاوره‌ای شکل ۱۴ باز می‌شود.



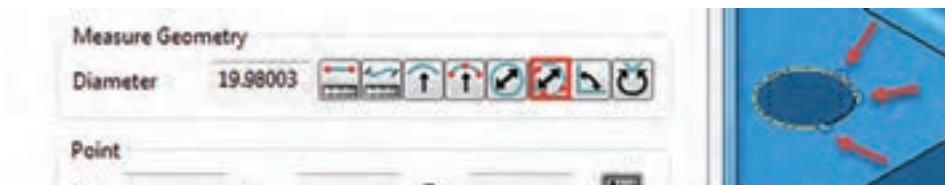
این دستورات می‌توانند اندازه‌هایی مانند قطر یا شعاع دایره سوراخ‌ها، طول اضلاع و فاصله بین دو نقطه، را نشان دهند.

شکل ۱۴

**مثال ۱:** فرض کنید می‌خواهید قطر سوراخی را که مقدار آن را نمی‌دانید، اندازه بگیرید. نحوه اندازه‌گیری قطر دایره سوراخ:

- ۱ مدل را در وضعیت دید از بالا قرار دهید.
- ۲ دستور Measure را از نوار ابزار اصلی اجرا کنید.
- ۳ از تب Measure گزینه Diameter from tree point را انتخاب کنید.

۴ بوسیله کلیک چپ ماوس سه نقطه دلخواه روی محیط دایره بالای سوراخ کلیک کنید تا قطر دایره در کادر Diameter نشان داده شود. شکل ۱۵



شکل ۱۵

**مثال ۲:** فرض کنید می‌خواهید ارتفاع دیواره پایین مدل را اندازه بگیرید.  
نحوه اندازه گیری فاصله بین دو نقطه :

- ۱ مدل را در وضعیت مناسب قرار دهید بطوریکه نقاط مورد نظر قابل انتخاب باشد.
- ۲ دستور Measure را اجرا کنید.
- ۳ از تب Measure اولین گزینه یعنی Distance between two point را انتخاب کنید.
- ۴ بوسیله کلیک چپ ماوس به ترتیب دو نقطه‌ای که فاصله بین آنها مدنظرتان است انتخاب کنید تا مقدار آن در کادر Distance درج شود. ( شکل ۱۶ )



شکل ۱۶

با روش سعی و خطا و با کمک هنرآموز خود عملکرد سایر گزینه‌های دستور Measure را بررسی کنید شکل ۱۷.



شکل ۱۷

## دستور Transform

همانطور که گفتیم پس از وارد کردن مدل در پاورمیل باید موقعیت آن را نسبت به دستگاه مختصات محیط نرم‌افزار پاورمیل، با موقعیت مناسب قطعه کار روی میز دستگاه CNC تطبیق دهیم. بهترین نما برای تشخیص موقعیت فعلی مدل و اصلاح آن نمای دید از بالاست، زیرا مشابه ایستادن فرد روبروی میز فرز CNC و از بالا نگاه کردن به قطعه کار است. در بسیاری از موارد بهتر است طول مدل در راستای محور X دستگاه قرار گیرد، مگر آنکه قطعه یا گیره دیگری بر روی سمتی از میز بسته شده باشد و احتمال برخورد ابزار با آن وجود داشته باشد و یا شکل، اندازه و تعداد قطعات بسته شده روی میز، سبب شود بلوک خام در راستای دیگری روی میز مهار شود.

چنانچه کار مدل‌سازی قطعه را خودتان انجام می‌دهید بهتر است موارد بالا را در حین کار با نرم‌افزارهای

CAD مانند سالی دورکز رعایت کنید. اما اگر مدل توسط شخص دیگری (کارفرما) طراحی شده باشد، باید با استفاده از دستور Transform اصلاحات لازم را در وضعیت آن انجام دهید.

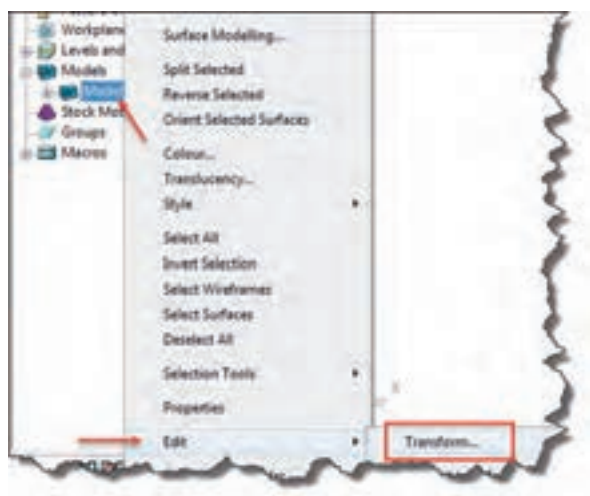
**مثال ۳:** می‌خواهیم فایل ۱ project را باز کرده، سپس وضعیت آن را از شکل ۱۸ به وضعیت شکل ۱۹ تبدیل کنیم.



شکل ۱۹



شکل ۱۸



شکل ۲۰

برای این کار باید در پاورمیل مطابق با مراحل زیرمدل را بچرخانید. (فایل ۱ Project را باز کنید.)

۱ بر روی علامت + کنار عبارت Model در پنجره Explorer کلیک کنید تا زیر شاخه آن باز شود.

۲ بر روی نام مدل (model ۱) کلیک راست کنید.

۳ از زیر منوی باز شده گزینه Edit و سپس گزینه Transform را انتخاب کنید تا کادر محاوره‌ای آن مانند شکل ۲۱ باز شود.

مراحل ۱ تا ۳ در شکل ۲۰ نشان داده شده است.

در کادر محاوره‌ای Transform Model برای جابجا کردن، چرخاندن و تغییر مقیاس مدل در راستای محورها، مطابق توضیحات شکل ۲۱ عمل می‌شود.



در این قسمت با وارد کردن مقدار فاصله جابه‌جایی در کادر Distance و هر بار کلیک بر روی هر کدام از محورهای X، Y، Z مدل به اندازه این عدد در راستای محور کلیک شده جابه‌جا شود.

در این قسمت با وارد کردن مقدار زاویه دوران در کادر Angle و هر بار کلیک بر روی هر کدام از محورهای X، Y، Z مدل به اندازه این زاویه، حول محور کلیک شده دوران می‌کند.

در این قسمت با وارد کردن مقدار مقیاس در کادر Scale و هر بار کلیک بر روی هر کدام از محورهای X، Y، Z به اندازه این عدد در راستای محور کلیک شده تغییر مقیاس می‌دهد.

شکل ۲۱

پودمان ۴: تحلیل روش‌های ساخت به کمک رایانه (CAM)

در این مثال باید مدل را ۹۰ درجه حول محور X دوران دهید. برای این کار :  
۴- در کادر Rotate عدد ۹۰ درجه را وارد و یک بار بر روی محور X کلیک کنید تا مدل ۹۰ درجه بچرخد و در وضعیت شکل ۱۹ قرار بگیرد.

اگر بخواهید مدل در راستای خاصی جابجا شود، کفایت مقدار جابجایی را (مثلاً ۵۰) را در کادر Distance وارد و بر روی محور مورد نظر (مثلاً Y) یک بار کلیک کنید تا مدل در راستای محور Y جابجا شود. (در این مثال نیازی به جابجایی مدل نداریم)  
- با وارد کردن اعداد به صورت منفی، جابجایی، دوران و مقیاس به صورت معکوس انجام می‌شود.

نکته



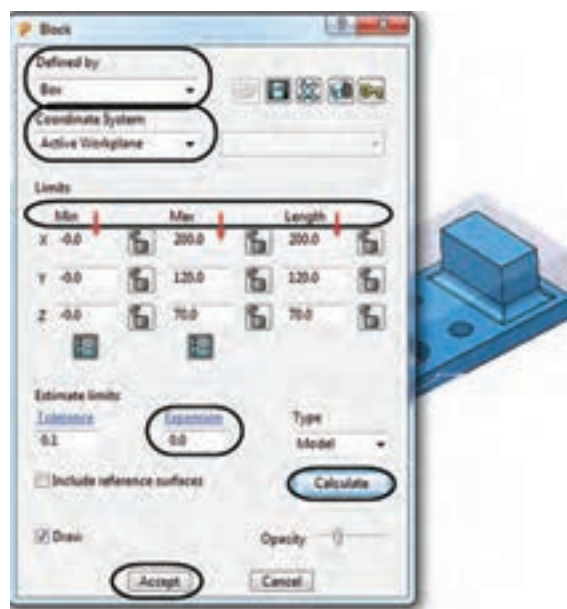
فایل Project ۱ را به وضعیت شکل ۱۹ در آورید و دوباره آن را با همان نام Project ۱ ذخیره کنید.  
- مدل را به اندازه ۲۰ میلی‌متر در راستای محور X و سپس ۳۵ میلی‌متر در راستای محور Y جابجا کنید و دوباره به مکان قبلی باز گردانید.  
- مقیاس مدل را در تمام جهات دو برابر کنید و سپس به حالت قبل برگردانید.

فعالیت  
عملی ۹



### گام سوم : تعریف بلوک خام اولیه ( Block )

بلوک خام اولیه به ماده خامی گفته می‌شود که پس از عملیات ماشین کاری، قطعه نهایی از آن حاصل می‌شود. (شکل ۲۲)



بلوک خام



شکل ۲۲

برای تعریف بلوک روی دستور Block در نوار ابزار اصلی (Main Tool) کلیک نمایید تا پنجره آن باز شود. (شکل ۲۳)

شکل ۲۳



## توضیحات کادر محاوره‌ای شکل ۲۳

● در کادر «Defined by»، نوع بلوک (جهت کاهش دور ریز مواد خام) تعیین می‌شود، که انواع آن عبارتند از:

۱ «Box» برای قطعاتی که شکل آنها را می‌توان از یک بلوک خام به شکل مکعب بدست آورد. مانند شکل ۲۲

۲ «Picture» تعریف بلوک برای قطعاتی که دارای مقاطع خاصی هستند. بدین منظور ابتدا باید مقطع مدل را در یک نرم‌افزار Cad طراحی کرده و با فرمت pic ذخیره کنیم و در پاورمیل از آن برای تعریف بلوک استفاده کنیم. (به help برنامه مراجعه کنید)

۳ «Triangles» از این روش برای تعریف بلوک برای ماشین‌کاری قطعاتی که به‌روش ریخته‌گری، پیش تولید شده‌اند، استفاده می‌شود. شکل بلوک شبیه مدل نهایی ولی در مقیاس بزرگتر تعریف می‌شود.



شکل ۲۴

۴ «Boundary» جهت تعریف بلوک برای ماشین‌کاری قسمت خاصی از مدل استفاده می‌شود (شکل ۲۴).

۵ «Cylinder» تعریف بلوک به شکل استوانه و برای قطعاتی که فرم آن به استوانه شبیه است (مانند شکل ۲۵).



شکل ۲۵

● کادر «Coordinate System» از این قسمت برای تعیین سیستم مختصات دهی استفاده می‌شود که معمولاً گزینه «Active Workplane» (صفرقطعه فعال) کاربرد بیشتری دارد.

● در کادرهای «Length», «Max», «Min» از بخش «Limits» به ترتیب از چپ به راست مقادیر کمترین، بیشترین و طول بلوک می‌باشد، که پس از کلیک بر روی دکمه «Calculate» توسط خود نرم‌افزار محاسبه می‌شود.

● «Expansion» اضافه طول: چنانچه عددی در این کادر وارد شود

و سپس بر روی دکمه «Calculate» کلیک کنید، این مقدار به ابعاد بلوک در تمام جهتها اضافه می‌شود. به عنوان مثال اگر عدد ۱۰ را در این کادر وارد کنید، بلوک در تمام جهتهای مثبت و منفی، ۱۰ میلی‌متر بزرگ‌تر خواهد شد. (طول، عرض و ارتفاع هر کدام ۲۰ میلی‌متر افزایش می‌یابند. چرا؟)

آیکن قفل که در کنار کادرها دیده می‌شود برای ثابت نگه‌داشتن اندازه‌های بلوک در راستای خاصی است. با قفل کردن هر جهت و وارد کردن مقدار «Expansion» و کلیک بر روی «Calculate» مدل در همه جهتها به‌غیر از جهتهای قفل شده افزایش می‌یابد.

در شکل‌های ۲۶ و ۲۷ اندازه‌های بلوک براساس ابعاد قطعه و مقدار اضافی  $\text{Expansion} = 10$  را در تمام جهتها، و در نماهای مختلف مشاهده می‌کنید.

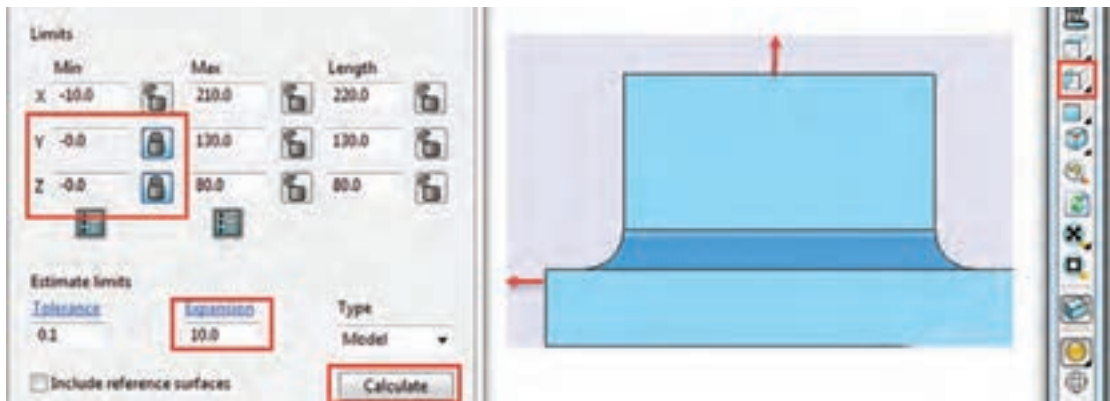


شکل ۲۷



شکل ۲۶

باکمک هنرآموز خود تغییرات ابعاد بلوک‌های نشان داده شده در شکل‌های ۲۸ را در کادر زیر آن بنویسید.



شکل ۲۸

اگر بخواهید اندازه بلوک را در راستای مشخصی تغییر بدهید، پس از وارد کردن مقدار آن، در کادر مورد نظر باید روی دکمه Accept کلیک کنید. کلیک بر روی Calculate سبب می‌شود مدل دوباره بر اساس اندازه‌های قطعه (به اضافه مقدار Expansion) محاسبه شود.



– فایل ۱ Project را باز کنید. روی دستور Block از نوار ابزار اصلی کلیک کنید. روی دکمه Calculate کلیک کنید تا بلوک خام بر اساس ابعاد مدل محاسبه شود. فایل را با همان نام ۱ Project ذخیره کنید.

دوباره دستور Block را اجرا کرده، طول و عرض و ارتفاع بلوک را مشاهده و یادداشت کنید. اکنون مقدار Max z را به ۱۸۵ تغییر دهید و بر روی دکمه Accept کلیک کنید و نتیجه کار را مشاهده و با مقادیر قبلی مقایسه کنید.

دوباره دستور Block را اجرا و پس از وارد کردن عدد ۱۸۵ این بار بر روی دکمه Calculate کلیک کنید. نتیجه را با حالت قبل مقایسه کنید و با دوستان و هنرآموز محترم خود در مورد آن بحث کنید. – یکی از مدل‌هایی که در پودمان قبلی (سالیدور کز) طراحی کرده، به محیط پاورمیل وارد کرده، بلوک خام را بر اساس اندازه‌های مدل محاسبه کنید، سپس به ابعاد مدل در راستای Max Z و Min X، ۱۲ میلی‌متر اضافه کنید. سایر راستاها بدون تغییر بماند.

– دوباره بلوک را بر اساس ابعاد قطعه محاسبه کرده (کافیست مقدار Expansion = 0 و در ادامه بر روی دکمه Calculate کلیک کنید). این بار ابعاد بلوک را در تمام جهت‌ها به استثنای Min X به اندازه ۲۰ میلی‌متر اضافه و ۱۰ میلی‌متر از راستای Max Y کم کنید.

**پرسش:** در هنگام تعریف مجدد بلوک نباید سطحی از مدل در حالت انتخاب باشد. چرا؟

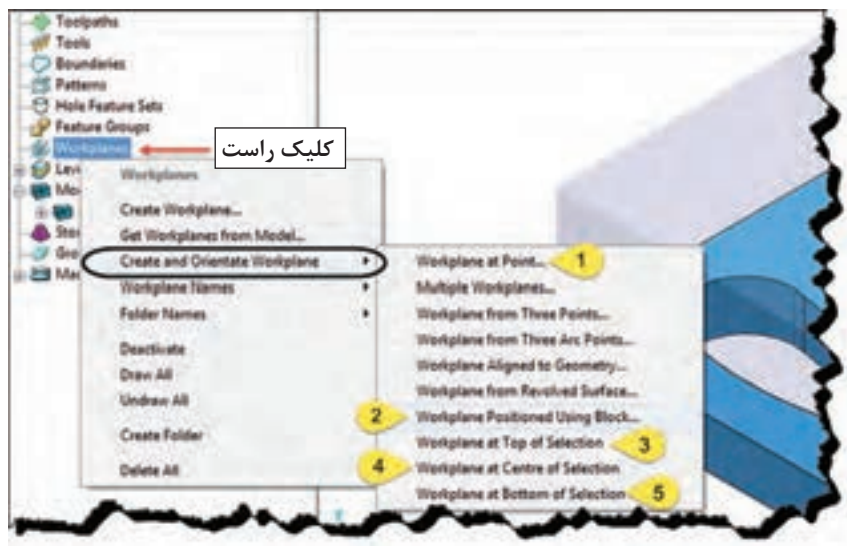
### گام چهارم: تعریف نقطه صفر قطعه کاریا Workplane

یکی از نکات اصلی در فرایند برنامه‌نویسی CNC تعریف نقطه صفر قطعه کار می‌باشد. در پاورمیل به چند روش می‌توان این نقطه را تعریف نمود. اما ساده‌ترین روش برای تعریف نقطه صفر قطعه کار، تعریف Workplane می‌باشد که به توضیح آن می‌پردازیم.

۱- ابتدا فایل ۱ Project را باز کنید.

۲- برای تعریف Workplane بر روی گزینه Workplane در ناحیه Explorer کلیک راست کنید.

۳- سپس روی گزینه Create and Orientate Workplane کلیک کنید تا لیستی از روش‌های تعریف Workplane باز شود (شکل ۲۹).

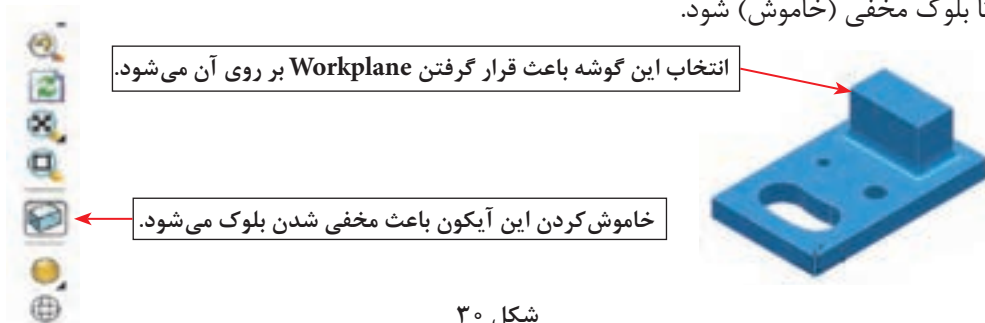


شکل ۲۹

اکنون به شرح مختصری از ۵ روش پرکاربرد که در شکل ۲۹ مشخص شده‌اند می‌پردازیم.

### ۱ گزینه Workplane at Point ...

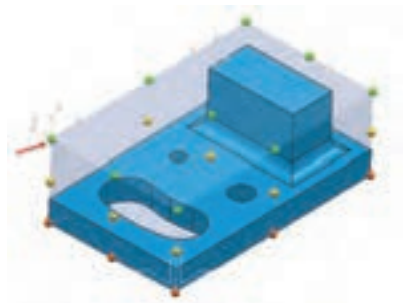
چنانچه بخواهیم نقطه صفر قطعه کار بر روی گوشه یا نقطه‌ای از مدل قرار بگیرد، این روش مناسب است. پس از انتخاب این گزینه کافیست بر روی نقطه یا گوشه‌ای از مدل کلیک کنید. (شکل ۳۰) برای اینکه بتوانید به راحتی نقاط مدل را انتخاب کنید، بر روی دستور Block از نوار ابزار Viewing کلیک کنید تا بلوک مخفی (خاموش) شود.



شکل ۳۰

### ۲ گزینه Workplane Positioned Using Block ...

یکی از ساده‌ترین روش‌های تعیین نقطه صفر قطعه کار، زمانی است که می‌خواهید نقطه صفر بر روی یکی از گوشه‌های بلوک و یا مرکز وجوه بلوک خام تعریف شده قرار گیرد، لذا پس از تعریف بلوک و انتخاب این گزینه مدل و بلوک به شکل ۳۱ در می‌آید، اکنون با انتخاب هریک از نقاط رنگی، نقطه صفر قطعه کار در آنجا قرار می‌گیرد. (بلوک باید روشن باشد)



شکل ۳۱

### گزینه ۳ Workplane at Top of Selection

اگر بخواهیم مرکز یک سطح انتخاب شده به عنوان صفر قطعه کار تعریف شود از این گزینه استفاده می‌شود. به عنوان مثال اگر بخواهیم صفر قطعه کاریا Workplane در مرکز سطح آبی رنگ باشد، کافیتست سطح فوق را با کلیک چپ ماوس انتخاب و سپس با انتخاب گزینه Workplane at Top of Selection صفر قطعه کار به مرکز این سطح منتقل می‌شود. (شکل ۳۲-الف)

اگر دیواره سوراخ یا شیار لوبیایی در شکل ب را انتخاب کنید (کلید Shift را نگه داشته تمام دیواره‌ها را با کلیک چپ ماوس انتخاب کنید) پس از انتخاب روش ۳، صفر قطعه کار در مرکز و بالای سوراخ یا حفره لوبیایی قرار می‌گیرد. (شکل ۳۲-ب)



### گزینه ۳ ... Workplane at Center of Selection

این گزینه در این مثال مرکز استوانه سوراخ را به عنوان نقطه صفر تعریف می‌کند. (پس از انتخاب دیواره داخلی یک سوراخ)

### گزینه ۳ ... Workplane at of Selection

این گزینه مرکز سوراخ و در سطح زیرین قطعه را به عنوان صفر تعریف می‌کند.

فایل ۱ Project را باز کنید و خواسته‌های زیر را بر روی آن انجام دهید.

۱ یک Workplane در وسط وجه بالایی بلوک ایجاد کنید.

۲ یک Workplane در گوشه پایین سمت چپ بلوک ایجاد کنید.

۳ یک Workplane در بالای سوراخ سمت راستی مدل ایجاد کنید. (بهتر است بلوک را از نوار ابزار

Viewing خاموش کنید).

۴ یک Workplane در گوشه پایین سمت چپ مدل ایجاد کنید.

فعالیت  
عملی ۱۱



نکته



در یک پروژه می‌توان چند Workplane برای استراتژی‌های مختلف تعریف کرد ولی برای تعریف بلوک یا استراتژی باید فقط یک Workplane را فعال یا Active کرد.



شکل ۳۳

برای فعال کردن Workplane باید بر روی نام Workplane مورد نظر در پنجره Explorer کلیک راست کرده گزینه Active را تیک بزنید. اگر بر روی Workplane تعریف شده کلیک راست کنید، گزینه‌های زیر قابل تنظیم است (شکل ۳۳).

- Active فعال کردن Workplane
- Rename تغییر نام Workplane
- Delete Workplane پاک کردن Workplane

Workplane اول در فعالیت ۱۱ را Active کنید. فایل را با نام ۲ Project ذخیره کنید.

فعالیت  
عملی ۱۲

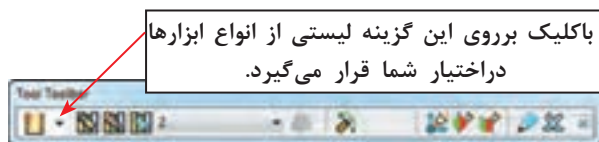


توجه داشته باشید پس از، جابجایی مدل و تغییر Workplane یا صفر قطعه کار، باید یک بار بر روی دکمه Calculate کلیک کنید تا مکان جدید بلوک خام دوباره محاسبه شود. تا زمانی که این کار را انجام ندهید بلوک خام نسبت به وضعیت جدید مدل به روز یا Update نمی‌شود. (بلوک روی مدل قرار نمی‌گیرد)

نکته



### گام پنجم: تعریف ابزار

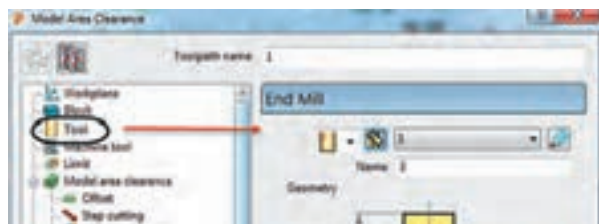


شکل ۳۴

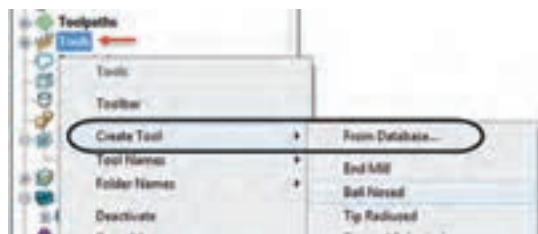
در پاورمیل می‌توان انواع ابزارها را بر اساس نوع استراتژی و شکل قطعه تعریف کرد. در اینجا به روشهای تعریف ابزار و معرفی سه نوع از ابزارهای پر کاربرد می‌پردازیم.

#### روش‌های تعریف ابزار

- استفاده از نوار ابزار Tool (شکل ۳۴)
- تعریف ابزار از طریق پنجره Toolpath Strategies (شکل ۳۵)



شکل ۳۵



شکل ۳۶

● کلیک راست بر روی گزینه Tool از پنجره Explorer، کلیک بر گزینه Create Tool و انتخاب ابزار مورد نظر از لیست ظاهر شده. (شکل ۳۶)  
نوار ابزار Tool معمولاً در قسمت پایین نرم افزار پاورمیل وجود دارد، در غیر اینصورت می توان به روش زیر آن را فراخواند.

View ⇒ Toolbar ⇒ Tool

### معرفی ابزارهای پر کاربرد در پاورمیل



شکل ۳۷

**End Mill** تیغه فرز انگشتی سرتخت :  
این ابزار درخشن کاری و پرداخت کاری سطوح کاملاً تخت یا دیواره کاملاً عمودی مورد استفاده قرار می گیرد. در شکل ۳۷ نوع ساده و اینسرتی این ابزار نشان داده شده است.



شکل ۳۸

**Ball Nosed** تیغه فرز انگشتی سرگرد:  
این ابزار صرفاً در عملیات پرداخت کاری استفاده می شود (شکل ۳۸).



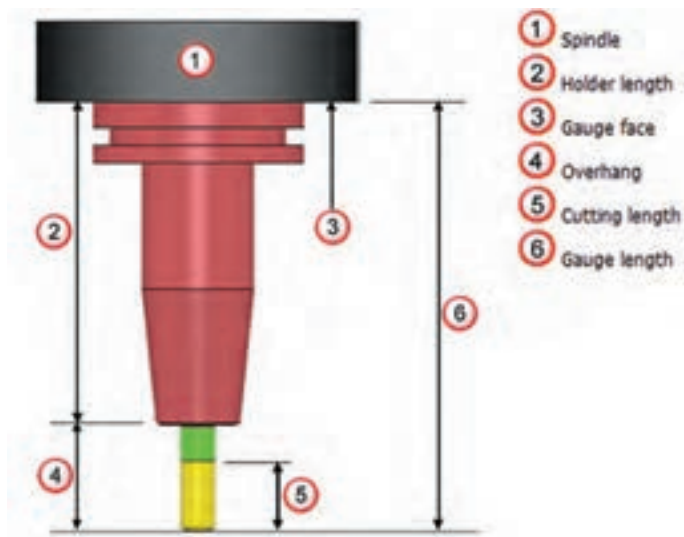
شکل ۳۹

**Tip Radiused** تیغه فرز انگشتی سرتخت با گوشه های گرد : این ابزار بیشتر در پرداخت کاری، همچنین ماشین کاری گوشه های گرد، کاربرد دارد. (شکل ۳۹) از نوع تیغه دار آن در خشن کاری نیز استفاده می شود.

### تعریف ابزار، ساق (دنباله) ابزار و نگهدارنده در پاورمیل

در شکل ۴۰ ابزار به همراه ساق (Shank) و نگهدارنده یا ابزارگیر (Holder) نشان داده شده است. اکنون می خواهیم یک فرز انگشتی سرتخت End Mill تعریف نماییم.

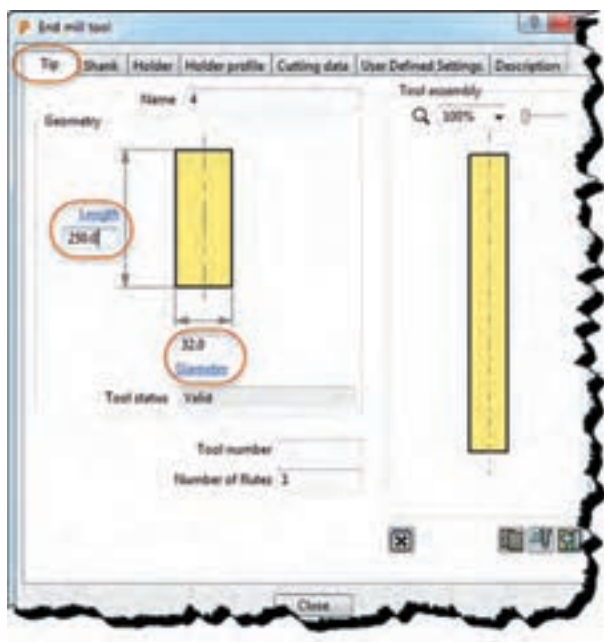
پودمان ۴: تحلیل روش‌های ساخت به کمک رایانه (CAM)



- ۱- اسپیندل
- ۲- طول نگه دارنده
- ۳- سطح زیرمحور (اسپیندل)
- ۴- طولی از ابزار که بیرون از هولدر است
- ۵- طول قسمت برشی ابزار
- ۶- طول ابزار و ابزارگیر

شکل ۴۰

ابزار از نوع End Mill را از نواری ابزار Tool انتخاب کنید تا کادر شکل ۴۱ باز شود. در تب Tip مانند شکل ۴۱ می‌توانید نام ابزار (Name)، طول (Length) و قطر ابزار (Diameter)، شماره ابزار (Tool Number) و تعداد لبه ابزار (Number of flutes) را تعریف کنید.



- «Name» تعریف نام ابزار
- «Length» تعریف طول ابزار
- «Diameter» تعریف قطر ابزار
- «Tool Status» کلمه Value به معنی صحیح بودن ابعاد ابزار
- «Tool number» شماره ابزار
- «Number of flutes» تعداد لبه‌های برشی

شکل ۴۱

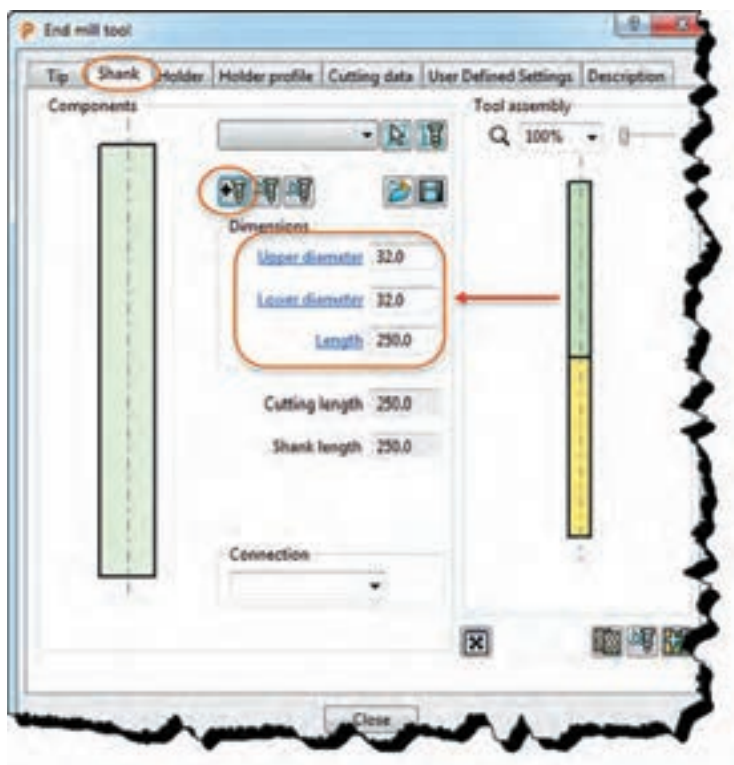
فایل Project ۲ را باز کرده یک ابزار با قطر ۴۰ و طول ۱۰۰ میلی‌متر از نوع سرتخت (End Mill) با نام آن ۴۰e تعریف کنید. پروژه را با همان نام Project ۲ ذخیره کنید.

فعالیت  
عملی ۱۳





برای تعریف ساق ابزار یا Shank از تب دوم (Shank) استفاده می‌شود. (شکل ۴۲)



شکل ۴۲

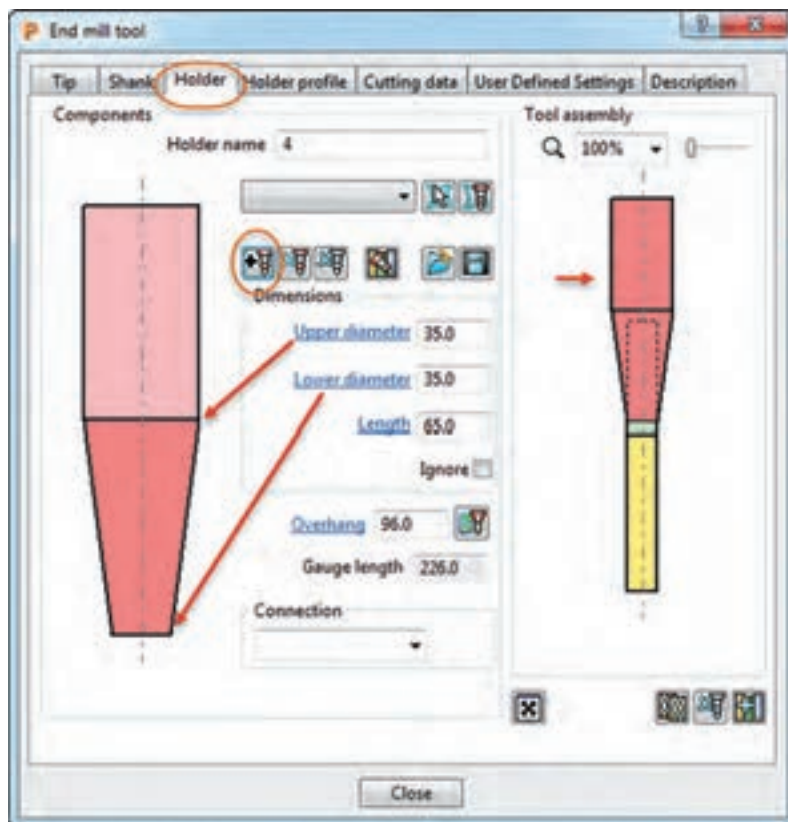
- «Add a shank component» اضافه کردن ساق ابزار: با هر بار کلیک بر روی این گزینه یک ساق اضافه می‌شود.
  - «Remove a shank component» حذف کردن ساق ابزار، با هر بار کلیک بر روی این گزینه یک ساق ابزار کم می‌شود.
  - «Upper diameter» تعریف قطر بالایی ساق ابزار
  - «Lower diameter» تعریف قطر پایینی ساق ابزار
- در صورت متفاوت بودن مقادیر دو پارامتر بالا، ساق ابزار به شکل مخروطی و در صورت یکسان بودن به شکل استوانه تعریف می‌شود.
- «Lenght» تعریف طول ساق ابزار
  - «Cutting Length» طول قسمت برشی ابزار که در تب Tip تعریف شده است.
  - «Shank Length» طول ساق ابزار

برای ابزار تعریف شده در فعالیت قبل یک ساق استوانه‌ای بطول ۶۰ و قطر ۴۰ تعریف نمایید. با همان نام ذخیره کنید.

فعالیت  
عملی ۱۴



برای تعریف نگهدارنده، ابزار گیر یا هولدر از تب سوم (Holder) استفاده می‌شود. (شکل ۴۳)



شکل ۴۳

● «Remove holder component» اضافه کردن هولدر ابزار: با هر بار کلیک بر روی این گزینه یک هولدر اضافه می‌شود. در شکل ۴۳ یک هولدر دو قسمتی (یک قسمت مخروطی و یک قسمت ساده) ایجاد شده است.

● «Remove holder component» حذف کردن هولدر ابزار: با هر بار کلیک بر روی این گزینه قسمتی از هولدر ابزار حذف می‌شود.

● «Upper diameter» تعریف قطر بالایی ساق ابزار

● «Lower diameter» تعریف قطر پایینی ساق ابزار

یکسان نبودن مقادیر دو پارامتر بالا باعث مخروطی شدن هولدر می‌شود.

● «Length» تعریف طول ساق ابزار

● «Cutting Length» طول قسمت برشی ابزار که در تب Tip تعریف شده است.

● «Shank Length» طول ساق ابزار که در تب Shank تعریف شده است.

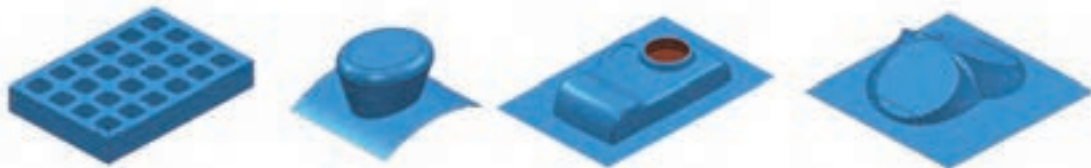
برای ابزار تعریف شده در فعالیت عملی ۱۸ یک هولدر دو قسمتی (ساده و مخروطی) با ابعاد دلخواه ایجاد کنید. از شکل ۴۳ کمک بگیرید.

فعالیت  
عملی ۱۵



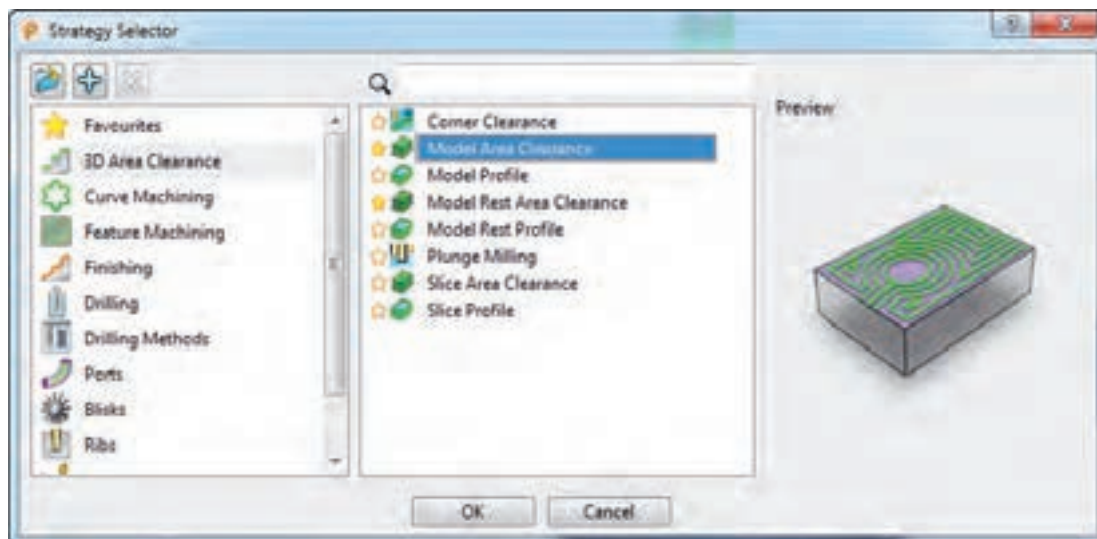
## گام ششم: تعریف استراتژی ماشین کاری (Toolpath Strategies)

استراتژی ماشین کاری چیست؟ به نوع مسیر حرکت ابزار بر روی بلوک یا قطعه که منجر به عملیات براده برداری و رسیدن به قطعه نهایی می شود استراتژی ماشین کاری یا استراتژی مسیر ابزار گفته می شود. به شکل های زیر نگاه کنید. آیا برای فرز کاری آن می توان از یک روش استفاده کرد. یک قطعه ممکن است دارای سطوح صاف، شیبدار یا منحنی ساده و پیچیده، شیار، سوراخ، گوشه پخدار، گرد و غیره باشد، در پاورمیل روش های متنوعی برای فرز کاری این موضوعات وجود دارد. برخی از آنها برای خشن کاری و برخی برای پرداخت کاری استفاده می شود. برخی از استراتژی ها برای فرز کاری سطوح تخت و برخی برای فرز کاری دیواره ها و برخی دیگر برای سطوح منحنی مناسبند. بیشتر مواقع برای رسیدن به فرم نهایی قطعه، باید از چند استراتژی مختلف استفاده شود. در این پودمان قصد داریم شما را با برخی از استراتژی های مهم آشنا کنیم.



### دستور Toolpath Strategies

پس از وارد کردن مدل، تعیین Workplane و تعریف بلوک خام می توانید بر روی دستور Toolpath Strategies در نوار ابزار اصلی کلیک کنید تا پنجره تعریف استراتژی مطابق شکل ۴۴ باز شود. این پنجره از دو قسمت تشکیل شده است. در سمت چپ دسته بندی استراتژی ها و در سمت راست انواع استراتژی های هر دسته انتخاب شده مشاهده می شود. (شکل ۴۴)



شکل ۴۴

شرح مختصر:

- «Favourites» مجموعه استراتژی‌های منتخب
- «3D Area clearance» مجموعه استراتژی‌های خشن کاری
- «Curve Machining» مجموعه استراتژی‌های فرم تراشی دو بعدی، پخ زنی و فرزکاری سطوح تخت
- «Finishing» مجموعه استراتژی‌های پرداخت کاری
- «Drilling» مجموعه استراتژی‌های سوراخ کاری
- «Blisks» استراتژی‌های ویژه برای فرزکاری سطوح پیچیده مانند پره‌های توربین (فرزهای بیش از سه محور کنترل)
- «Rib» استراتژی شیارزنی
- «Turning» مجموعه استراتژی‌های تراش کاری

### اصطلاحات و تنظیمات مشترک استراتژی‌ها

در بسیاری از استراتژی‌هایی که به آنها خواهیم پرداخت پارامترهای مشترکی وجود دارد که لازم است با آنها آشنا شوید.

Cut Direction : جهت براده برداری

جهت براده برداری که دو نوع است :

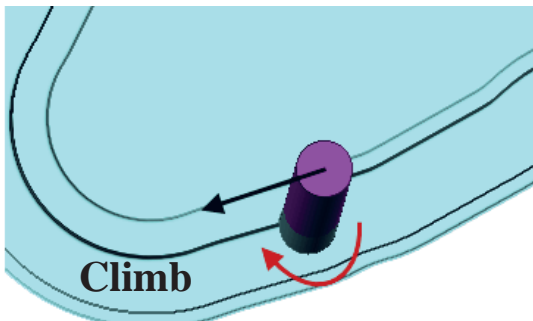
- ۱ براده برداری همراه Climb (ابزار سمت چپ ناحیه ماشین کاری شده)،
  - ۲ براده برداری غیرهمراه Conventional (ابزار سمت راست ناحیه ماشین کاری شده)
- در شکل ۴۵ هر دو روش نشان داده شده است.

جهت براده برداری با توجه به نوع استراتژی (خشن کاری یا پرداخت کاری) و کیفیت سطح تعیین می‌گردد.

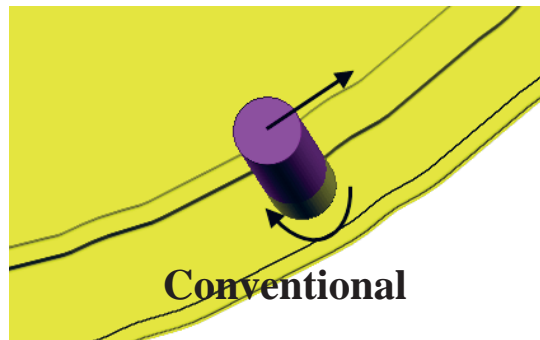
نکته



انتخاب گزینه Any در تنظیمات نرم‌افزار، بدین معنی است که روش براده برداری به عهده نرم‌افزار پاورمیل گذاشته می‌شود، تا از هر دو روش بسته به فرم مدل استفاده کند.



براده برداری همراه

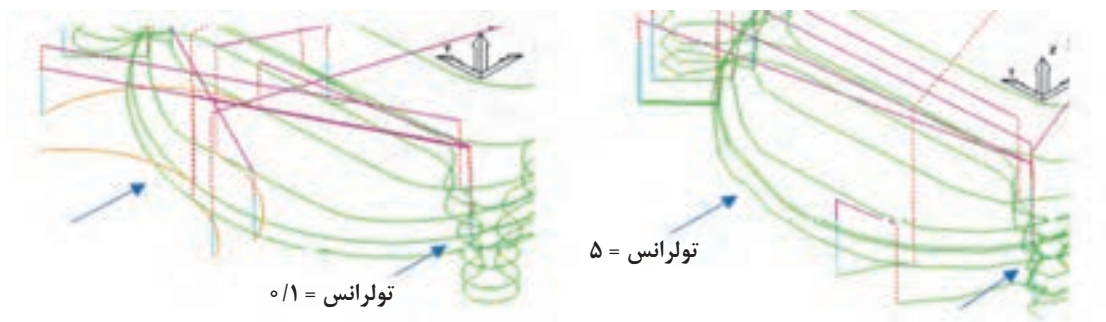


براده برداری غیر همراه

شکل ۴۵

**Tolerance (تولرانس):** مفهوم تولرانس در پاورمیل با آنچه در نقشه خوانی آموختید متفاوت است. در پاورمیل هنگام تهیه برنامه ماشین کاری، منحنی‌های موجود در مسیر ابزار به چند صدضلعی‌های منتظم تقسیم می‌شود و خطوط مسیرازار بر روی گوشه‌های این چند ضلعی قرار می‌گیرد، حال هر چه مقدار تولرانس عدد بزرگ‌تری باشد تعداد اضلاع آن کمتر می‌شود. به‌عنوان مثال اگر یک منحنی به شعاع ۱۰ میلی‌متر با تولرانس ۵ میلی‌متر ماشین کاری شود، چند ضلعی‌های به‌وجود آمده در اثر براده‌برداری با چشم کاملاً مشهود است. ولی اگر تولرانس ۰/۱ میلی‌متر باشد چند ضلعی با چشم قابل مشاهده نخواهد بود، بلکه به شکل یک منحنی تقریباً واقعی دیده می‌شود و کیفیت سطح بهتری ایجاد می‌شود، ولی در عوض تعداد خطوط برنامه زیادتر می‌شود.

در شکل‌های ۴۶ تفاوت مسیره‌های ایجاد شده (خطوط سبز) با تولرانس‌های ۵ و ۰/۱ میلی‌متر را مشاهده می‌کنید.



شکل ۴۶

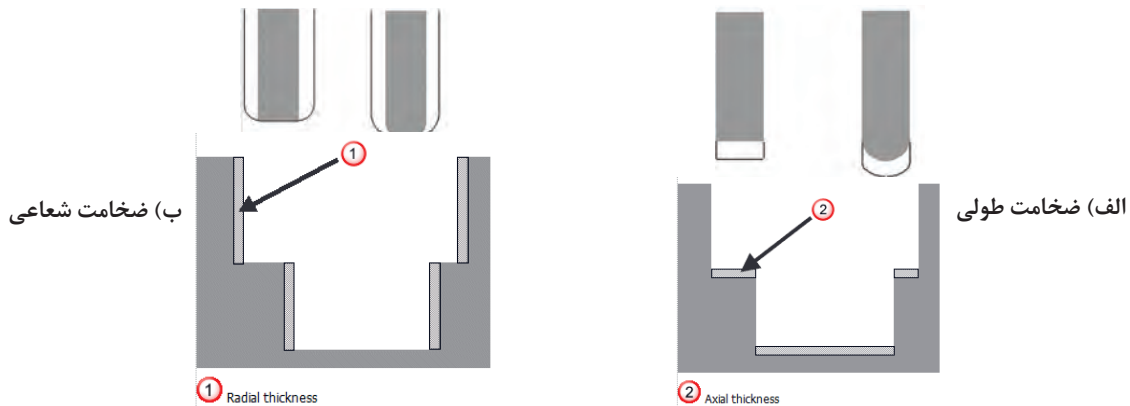
در استراتژی‌های خشن کاری معمولاً تولرانس در حدود ۰/۲ یا ۰/۳ میلی‌متر ولی در پرداخت کاری در حدود چند صدم میلی‌متر تنظیم می‌شود.

نکته



**Thickness: ضخامت باقی مانده:** به مقدار بار ماشین کاری باقی مانده برای ماشین کاری مرحله بعدی (مانند پرداخت کاری) Thickness گفته می‌شود. به عبارتی همواره درخشن کاری باید مقداری از ضخامت قطعه برای مراحل بعدی باقی بماند. مثلاً اگر مقدار آن را ۲ میلی‌متر تعیین کنیم ابزار تا ارتفاع ۲ میلی‌متر مانده به سطح نهایی عمل ماشین کاری را انجام می‌دهد. در اصل نرم‌افزار پاورمیل فرض می‌کند قطر و یا طول ابزار ۲ میلی‌متر بزرگ‌تر است. در فرزکاری سطوح مختلف یک قطعه با توجه به نوع ابزار و شکل و فرم قطعه باید این مقادیر تعیین گردد.

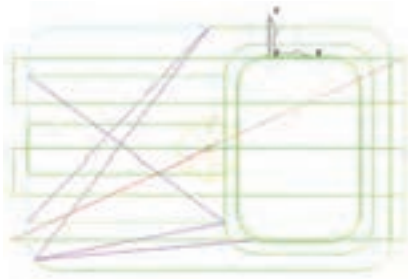
در شکل ۴۷- الف: مقادیر ضخامت طولی (Axial Thickness) و در شکل ۴۷- ب: مقادیر ضخامت شعاعی (Radial Thickness) در دو ابزار End Mill و Ball Noised و ضخامت باقی مانده از قطعه پس از ماشین کاری نشان داده شده است.



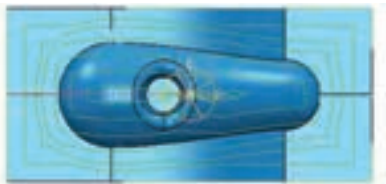
شکل ۴۷

تحقیق کنید اگر بخواهیم شیاری به عرض ۳۰ میلی‌متر را با ابزار ۲۰ میلی‌متر فرزکاری کنیم، چنانچه  $Thickness = 6mm$  شعاعی، وارد شود، آیا استراتژی قادر به انجام آن می‌باشد؟

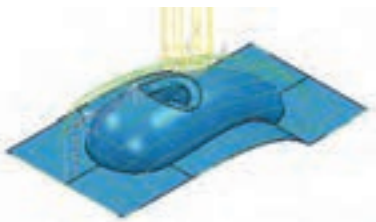
فعالیت  
عملی ۱۶



شکل ۴۸



شکل ۴۹

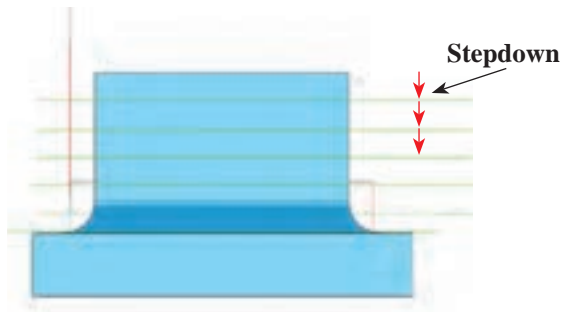


شکل ۵۰

**Stepover گام ابزار:** درخشن کاری مقدار پیشروی ابزار در راستای شعاعی (جابجایی عرضی ابزار) را  $Stepover$  گویند. این جابجایی‌ها یا پاس‌ها در خشن کاری یکسان و منظم است. مقدار  $Stepover$  معمولاً حداکثر ۸۰٪ قطر ابزارهای سرتخت  $End\ Mill$  یا قطر مؤثر ابزار  $Tip\ Radiused$  در نظر گرفته می‌شود، تا هر مسیر حرکت ابزار، بخشی از پاس قبلی را هم پوشانی کند. مثلاً اگر قطر ابزار ۲۰ باشد مقدار  $Stepover$  را می‌توان حدود ۱۶ میلی‌متر در نظر گرفت. شکل ۴۸ (خطوط سبز، مسیر ابزار یا همان  $Toolpath$  می‌باشد).

اما در استراتژی‌های پرداخت کاری (به غیر از استراتژی  $Constant\ Z\ finishing$ )، از آنجایی که مسیر ابزار همواره بر روی سطوح تصویر می‌شود لذا عملاً فاصله پاس‌های ماشین کاری تصویر شده روی سطوح تخت یکسان و منظم ولی در سطوح شیب دار یا قوس دار متغیر است. این موضوع در افزایش کیفیت سطح در عملیات پرداخت کاری مؤثر است.

در شکل ۴۹ قطعه با یک استراتژی پرداخت کاری و  $Stepover = 10$  ماشین کاری شده است. به فواصل نامنظم ماشین کاری بر روی سطوح تخت و منحنی دقت کنید. در حالی که در شکل ۵۰ در نمای سه بعدی فواصل یکسان به نظر می‌رسد.



شکل ۵۱

**Stepdown عمق بار:** به میزان نفوذ ابزار در راستای محور Z یا همان عمق بار، Stepdown گفته می‌شود. مقدار آن بر اساس جنس قطعه کار، توان ماشین، پیشروی و... تعیین می‌شود. از آنجایی که اساس کار در CNC بار کم و سرعت زیاد است، مقدار آن درخشن تراشی حداکثر ۰/۵ میلی‌متر و در پرداخت کاری حدود صدم میلی‌متر تعیین می‌شود (شکل ۵۱).

خط چین‌های قرمز نشست و برخاست‌های ابزار از روی کار است.

اکنون برخی از استراتژی‌های مهم در پاورمیل را توضیح می‌دهیم.

### استراتژی‌های خشن کاری 3D Area Clearance

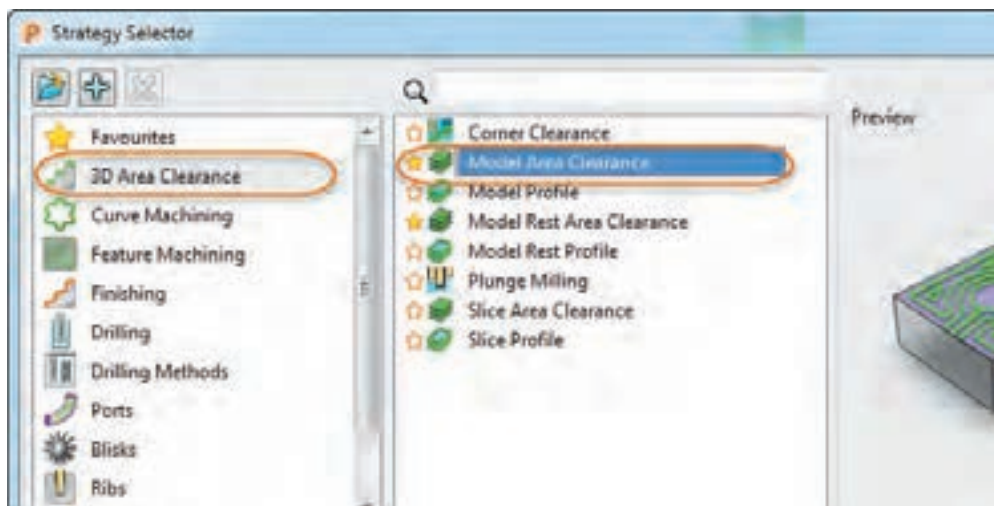
از استراتژی‌های این گروه عموماً در خشن کاری یا ماشین کاری اولیه بلوک خام استفاده می‌شود.

### استراتژی Model Area Clearance

از جمله استراتژی‌های خشن کاری است که در آن مسیر ابزار یا Toolpath تابع فرم مدل می‌باشد. به طور کلی در پاورمیل مرکز ابزار همواره از مرز بلوک تعریف شده خارج نمی‌شود و در داخل بلوک از شکل هندسی مدل تبعیت می‌کند. (مگر توسط اپراتور تنظیمات خاصی انجام شده باشد).

از دیگر نکات مهم در خشن کاری و قبل از عملیات پرداخت کاری این است که با تعریف استراتژی‌های مناسب تا حد امکان بلوک را تا رسیدن به فرم اولیه قطعه کار (با لحاظ مقدار Thickness) ماشین کاری کنیم و در نهایت آن را با استراتژی‌های پرداخت کاری به سطح مطلوب نهایی برسانیم. کار را با مدل طراحی شده در فعالیت اول دنبال می‌کنیم.

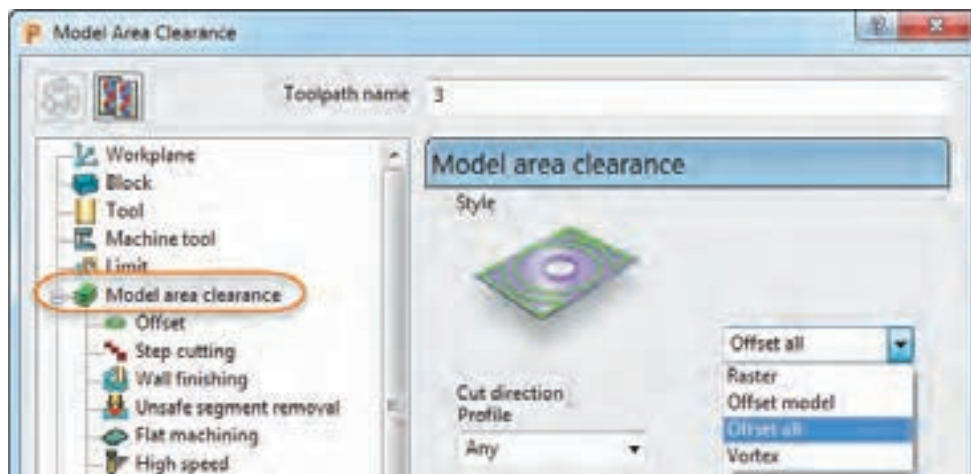
۱- فایل Project 2 را باز کنید، بر روی دستور Toolpath Strategies از نوار ابزار اصلی کلیک نمایید، تا کادر محاوره‌ای مطابق شکل ۵۲ باز شود.



شکل ۵۲

۲- از کادر سمت چپ گروه 3D Area Clearance و از سمت راست گزینه Model Area Clearance را کلیک کنید تا کادر آن مانند شکل ۵۳ باز شود.

۳- از سمت چپ این کادر گزینه Model Area Clearance را انتخاب کنید تا پنجره تعریف استراتژی در سمت راست ظاهر شود. مقادیر استراتژی را مانند شکل ۵۳ تنظیم کنید.

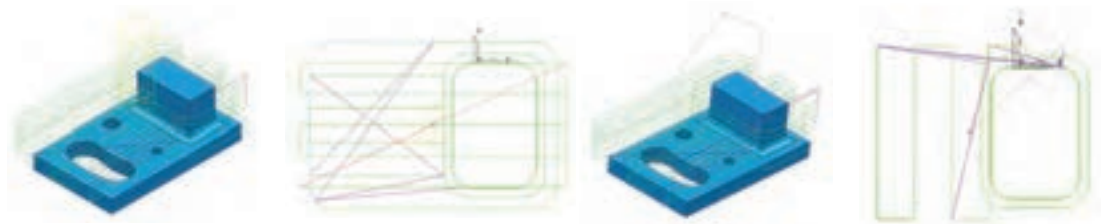


شکل ۵۳

تشریح گزینه‌های کادر استراتژی Model Area Clearance :

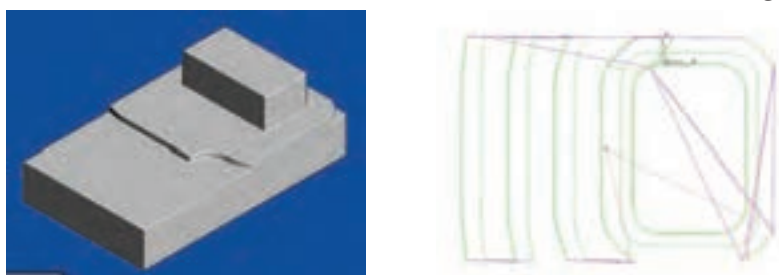
۳- در قسمت Style روش‌های زیر قابل انتخاب است :

**Raster**: مسیر ابزار به شکل رفت و برگشتی و معمولاً در راستای طول مدل ( $Angle = 0$ ) یا عرض مدل ( $Angle = 90$ ) است (شکل‌های ۵۴).



شکل ۵۴

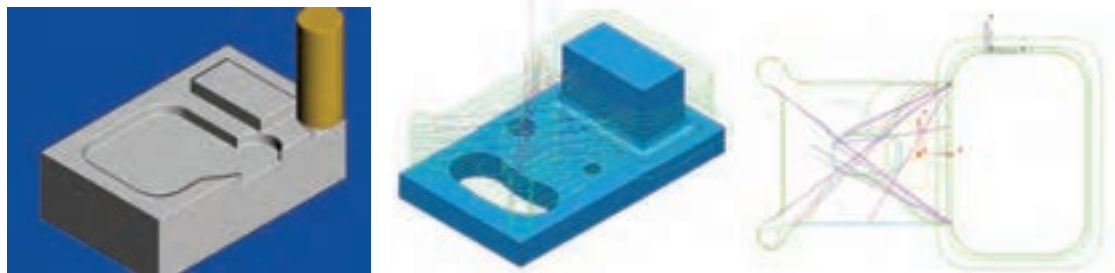
**Offset model**: در این روش مسیر ابزار (Toolpath) به صورت آفست‌های متوالی از فرم هندسی کل مدل ایجاد می‌شود (شکل ۵۵).



شکل ۵۵



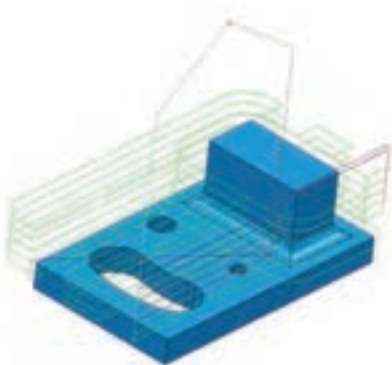
**Offset all**: در این روش مسیر ابزار به صورت آفست‌های متوالی در اطراف اجزای مدل ایجاد می‌شود (شکل ۵۶).



شکل ۵۶

در این مثال گزینه **Offset all** را انتخاب کنید.  
 ۴- در قسمت **Cut Direction** جهت براده برداری را **Any** انتخاب کنید، تا تعیین جهت براده برداری توسط پاورمیل به صورت خودکار انجام شود.  
 ۵- در کادر **Tolerance**، تولرانس را  $0.1$  میلی‌متر وارد کنید.  
 ۶- در کادر **Thickness** عدد  $0.5$  میلی‌متر را وارد کنید تا ماشین کاری  $0.5$  میلی‌متر باقی مانده به سطح نهایی انجام شود.

۷- از آنجایی که قطر ابزار  $40$  میلی‌متر در نظر گرفته شده مقدار **Stepover** را،  $32$  میلی‌متر وارد کنید. ( $80\%$  قطر ابزار)  
 ۸- مقدار **Stepdown** را  $0.3$  میلی‌متر وارد کنید. (در شکل ۵۷ برای نمایش بهتر مسیر ابزار، مقدار  $10$  میلی‌متر وارد شده است).  
 ۹- بر روی دکمه **Calculate** کلیک کنید تا مسیر ماشین کاری محاسبه، ایجاد و نمایش داده شود.  
 همانطور که در شکل ۵۷ می‌بینید سطح بالایی و دیواره‌های کناری پایین هیچ مسیر ابزاری وجود ندارد و عملاً این قسمت‌ها براده برداری نشده است. فکر می‌کنید دلیل آن چیست؟



شکل ۵۷

### گام هفتم: شبیه سازی و کار با نوار ابزارهای **View Mill, Simulation**

پس از ایجاد مسیر ماشین کاری یا **Toolpath** می‌توانید عملیات ماشین کاری را شبیه سازی کنید. بدین منظور از دو نوار ابزار فوق استفاده می‌شود. چنانچه این دو نوار ابزار را در محیط پاورمیل نمی‌بینید، از مسیر زیر آنها را تیک بزنید تا ظاهر شوند.

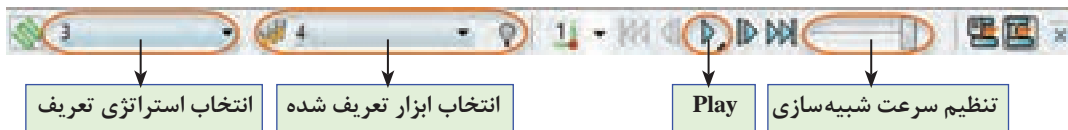
View – Toolbar – View Mill/Simulation

با کلیک بر روی اولین دستور نوار **View Mill** می‌توانیم سایر ابزارهای آن را فعال یا روشن کنیم. پس از آن، یکی از روش‌های نمایش بلوک و مدل (رندرینگ) را انتخاب کنید. شکل ۵۸



شکل ۵۸

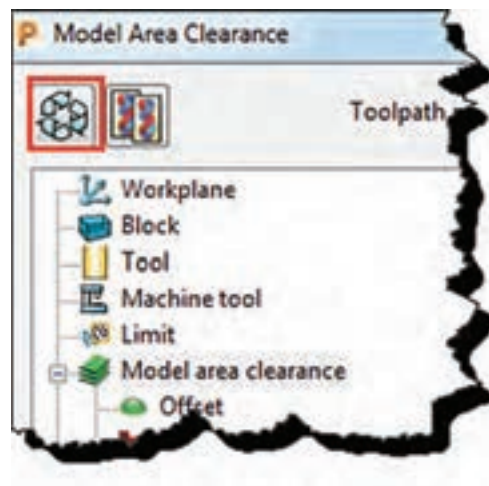
اکنون در نوار ابزار Simulation نام استراتژی و نام ابزاری که قبلاً تعریف کرده اید را به ترتیب در کادر اول و دوم انتخاب کنید سپس بر روی دکمه Play کلیک کنید تا عملیات شبیه‌سازی (Simulation) شروع شود (شکل ۵۹).



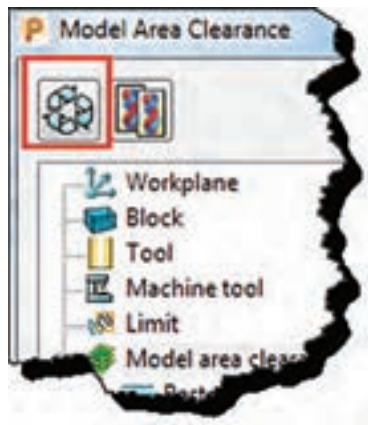
شکل ۵۹

**ماشین کاری دیواره‌ها:** در پاسخ به این سؤال که چرا سطح بالایی و دیواره‌های کناری پایین مدل ماشین کاری نشده، باید گفت از آنجایی که در این قسمت‌ها بلوکی برای ماشین کاری وجود ندارد و مرکز ابزار نمی‌تواند از مرکز بلوک خارج شود لذا مسیر ابزار یا Toolpath ایجاد نمی‌شود. اگر بخواهیم این قسمت‌ها نیز ماشین کاری شود باید ابعاد بلوک را با دستور Block بزرگ‌تر کنیم. (البته این به این معنی نیست که ابعاد واقعی ماده خام را بزرگ‌تر کنیم بلکه فقط بصورت نرم‌افزاری این کار را انجام می‌دهیم).

- برای این کار لیست Toolpath در ناحیه Explorer را با کلیک بر روی علامت +، باز کرده بر روی نام استراتژی موردنظر (در این مثال ۱) کلیک راست کنید،
- ابتدا گزینه Active را تیک زده تا فعال شود و سپس گزینه Setting را انتخاب کنید تا پنجره استراتژی باز شود (شکل ۶۰).

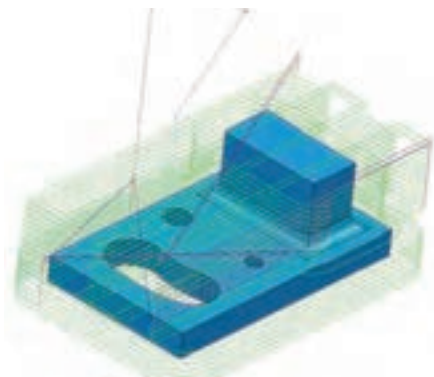


شکل ۶۰



شکل ۶۱

● اکنون بر روی دکمه Edit Toolpath کلیک کنید تا بتوانید تنظیمات را تغییر دهید (شکل ۶۱).



شکل ۶۲

● بر روی عبارت Block که در سمت چپ پنجره تنظیمات استراتژی ظاهر می‌شود کلیک کنید. در سمت راست با قفل کردن Min Z و وارد کردن عدد ۱۰ در کادر Expansion و کلیک بر روی Calculate، بلوک جدید در تمام راستاها به غیر از راستای سطح پایین (Z) به اندازه ۱۰ میلی‌متر افزایش می‌یابد.

● بر روی دکمه Calculate مربوط به استراتژی کلیک کنید تا Toolpath جدید محاسبه شود. همان‌طور که در شکل ۶۲ می‌بینید این بار برای سطح بالا و دیواره‌ها مسیر ماشین‌کاری یا Toolpath ایجاد شده است.

نکته



توجه داشته باشید که در عمل دیواره‌های پایین ممکن است در گیره بسته شده باشد و امکان ماشین‌کاری آن وجود نداشته باشد. در این موارد معمولاً قبل از ماشین‌کاری اصلی، دیواره‌ها ماشین‌کاری و گونیا می‌شوند.

پس از انجام تنظیمات استراتژی و قبل از کلیک بر روی Calculate و محاسبه مسیر ماشین‌کاری لازم است یکسری پارامترهای ماشین‌کاری تعریف گردد. لذا در گام هشتم با این پارامترها و تنظیم آنها آشنا می‌شوید و سپس سایر استراتژی‌ها بیان خواهد شد.

### گام هشتم: تعریف پارامترهای ماشین‌کاری

یکی از مهم‌ترین کارها در پاورمیل تعریف و تنظیم پارامترهای ماشین‌کاری است. پارامترهایی از قبیل عده دوران، سرعت حرکت سریع (G00)، سرعت پیشروی ماشین‌کاری (G01)، نحوه ورود و خروج ابزار، ارتفاع ایمن ابزار و غیره که همگی از طریق نوار ابزار Main (شکل ۶۳) یا از داخل پنجره استراتژی‌ها قابل انجام است (شکل ۶۴)، که روش دوم به دلیل اعمال پارامترها بر روی استراتژی فعال بهتر است.

پودمان ۴: تحلیل روش‌های ساخت به کمک رایانه (CAM)



شکل ۶۳ - نوار ابزار اصلی



شکل ۶۴

**دستور Feeds and Speeds:** از این دستور برای تعریف پارامترهای زیر استفاده می‌شود. با کلیک بر روی آیکن این دستور کادر محاوره ای از آن باز می‌شود. گزینه‌های آن به شرح زیر است (شکل ۶۵).

- **Type** «تعیین نوع ماشین کاری، خشن کاری (Roughing) و یا پرداخت کاری (Finishing)
- **Operation** «تعیین نوع عملیات: عمومی (General)، شیار تراشی (Slotting)، فرم تراشی (Profiling) فرز کاری سطح (Face Milling)، فرز کاری عمودی (Plunge Milling)، سوراخ کاری (Drilling)
- **Coolant** «نوع ماده خنک کاری (مایع خنک کننده، هوا وغیره)
- و سایر پارامترهای اصلی دیگر که در شکل توضیح داده شده است.

Tool/material properties		Cutting conditions	
Surface speed	سرعت برشی	Spindle speed	عده دوران اسپیندل
0.0 m/min		1500.0 rpm	
Feed/tooth	پیشروی به ازای هر دندانه	Cutting feed rate	سرعت پیشروی در حین براده برداری
0.0 mm		1000.0 mm/min	
Axial depth of cut	مقدار بار در راستای Z	Plunging feed rate	سرعت حرکت پلانچ (نفوذ در کار)
0.0 mm		500.0 mm/min	
Radial depth of cut	مقدار بار در راستای شعاعی	Skim feed rate	سرعت حرکت سریع (G00)
0.0 mm		3000.0 mm/min	

شکل ۶۵

مقادیر فوق بر اساس نوع عملیات، نوع، قطر و جنس ابزار، نوع استراتژی و... تعیین می‌گردد. (معمولاً اطلاعات بخش سمت راست وارد می‌شود).

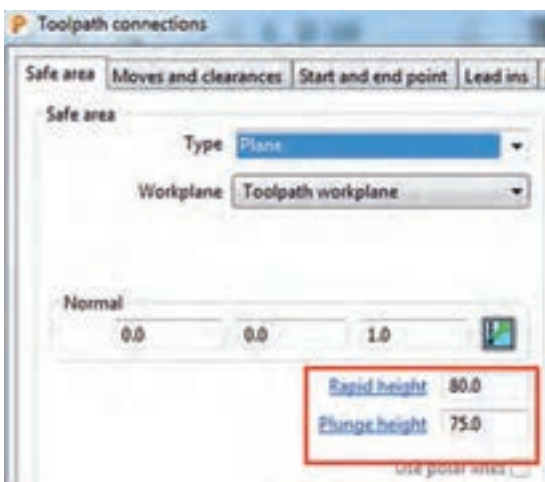
**Plunging feed rate:** پس از آن که ابزار با سرعت سریع (G00) به ارتفاع پلانچ (در صفحه بعد توضیح

داده شده است) می‌رسد، از آنجا تا زمان نفوذ ابزار به قطعه با این سرعت حرکت می‌کند.

**Skim feed rate:** ابزار در حین عملیات ماشین‌کاری مرتباً از روی کار بلند شده تا به موقعیت پاس بعدی برود، به این مسیر Skim گفته می‌شود، که در کادر بالا سرعت آن تعیین می‌شود (G00).

### دستور Rapid Move Height

با کلیک بر روی این دستور کادر محاوره‌ای Toolpath Connection باز می‌شود در تب Safe Area دو مقدار مهم زیر تعریف می‌شود (شکل ۶۶).



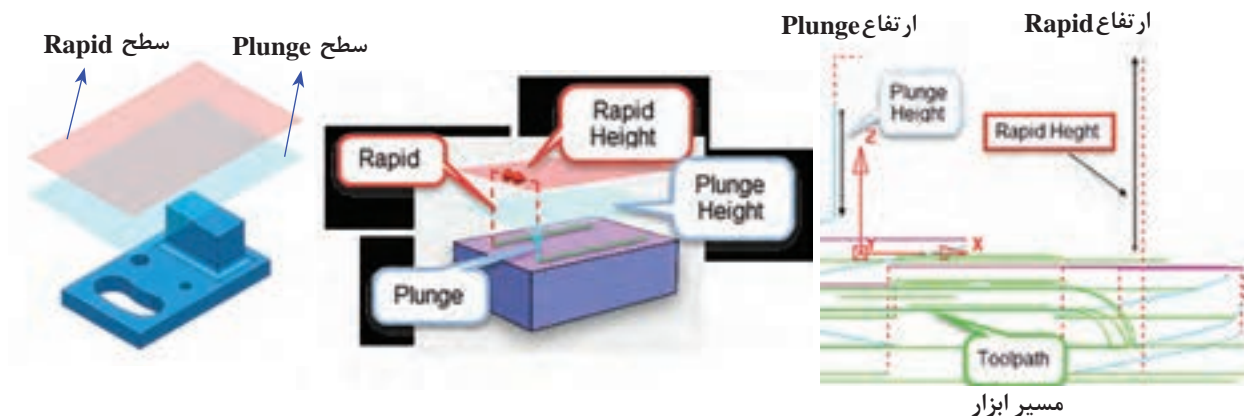
شکل ۶۶

### ● Rapid height

زمانی که ابزار در حین عملیات ماشین‌کاری از روی کار بلند می‌شود تا به پاس بعدی برود تا ارتفاعی که در این کادر تنظیم می‌شود بالا می‌رود (با حرکت سریع Rapid).

### ● Plunge height

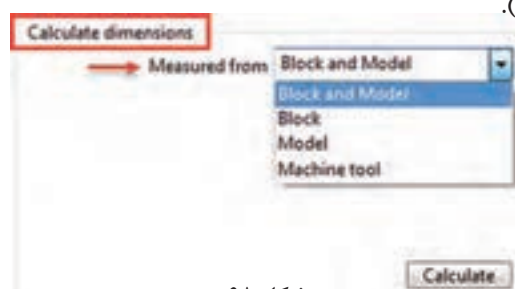
ابزار هنگام شروع پاس بعدی با حرکت سریع (G00) تا ارتفاعی که در این کادر تنظیم می‌شود پایین می‌آید و سپس با سرعت پلانچ (سرعت نفوذ در کار) که در کادر فرم شکل ۶۵ تعیین شده به کار نزدیک می‌شود (شکل ۶۷).



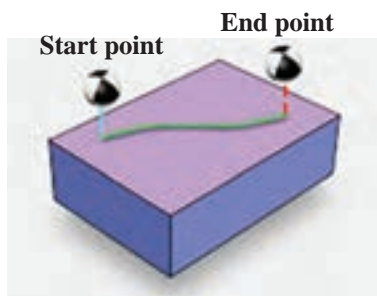
شکل ۶۷

نکته مهم: تنظیم صحیح این مقادیر از برخورد ابزار با بلوک جلوگیری می‌کند، درعین حال زیاد بودن این مقادیر باعث طولانی شدن فرآیند ماشین‌کاری می‌شود. (در شکل‌های ۶۶ و ۶۷ این مقادیر اغراق‌آمیز و به‌منظور دید بهتر تنظیم شده).

در کادر Measured from از قسمت Calculatedimension باتعیین ملاک محاسبه (نسبت به ماشین، بلوک، مدل یا هر دو)، همچنین وارد کردن دو پارامتر Rapid / Plunge Clearance و کلیک بر روی دکمه Calculate دو ارتفاع Rapid / Plunge height توسط نرم‌افزار پاورمیل محاسبه می‌شود و در دو کادربخش نرمال درج می‌شود (شکل ۶۸).



شکل ۶۸

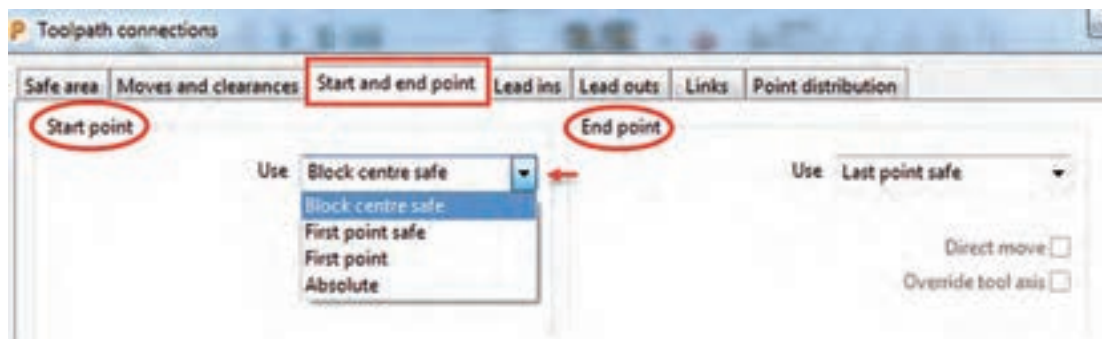


شکل ۶۹

### Start and End Point: از دیگر پارامترهای مهمی

که باعث جلوگیری از برخورد ابزار با بلوک، قطعه کار و یا میز می‌شود ارتفاع نقاط شروع و پایان ماشین‌کاری است. ابزار با اجرای استراتژی با حرکت سریع به نقطه شروع ایمن (Start Point) رفته و سپس با سرعت پلانچ به کار نفوذ می‌کند. در پایان عملیات ماشین‌کاری نیز ابزار با حرکت سریع از روی کار بلند شده به نقطه پایان ایمن (End point) می‌رود (شکل ۶۹).

با اجرای این دستور کادر محاوره‌ای Toolpath Connection مطابق شکل ۷۰ باز می‌شود. تب Start point and End point را انتخاب کنید.



شکل ۷۰

● Start Point « نقطه شروع ماشین کاری

● End Point « نقطه پایان ماشین کاری

در کادر Use می‌توانید به روش‌های زیر نقاط شروع و پایان ماشین کاری را تعیین کنید.

● Block center safe « نقطه شروع / پایان حرکت ابزار، ابزار در وسط سطح بالای بلوک با ارتفاع ایمن قرار می‌گیرد.

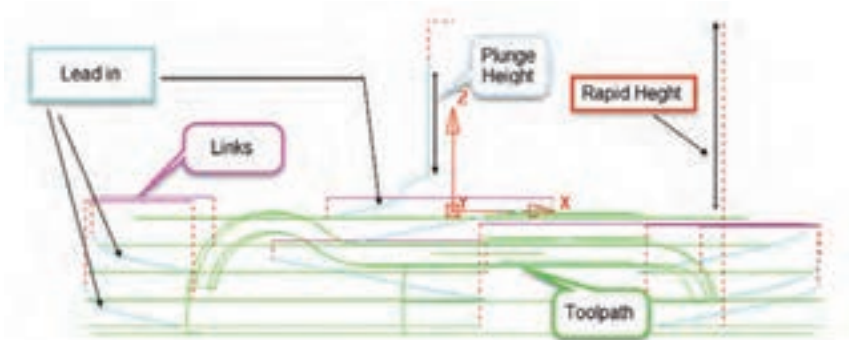
● First/Last point safe « نقطه شروع / پایان حرکت ابزار، نزدیک‌ترین / دورترین نقطه به قطعه کار با فاصله ایمن

● First/Last point « نقطه شروع / پایان حرکت ابزار، نزدیک‌ترین / دورترین نقطه به قطعه کار

● Absolute « تعیین مختصات شروع و پایان حرکت بصورت درج مختصات به شکل مطلق

### دستور Leads and Links

**دستور Leads in/Lead out:** برای تعیین چگونگی نشست و برخاست‌های (ورود و خروج) ابزار در حین عملیات ماشین کاری (حرکت‌های بین پاس‌های ماشین کاری) استفاده می‌شود، و از فاکتورهای مهم در کاهش زمان ماشین کاری و جلوگیری از شکستن ابزار و بالا بردن عمر ابزار می‌باشد، چنانچه ابزار به‌طور نامناسب به بلوک یا قطعه کار نفوذ کند احتمال وارد شدن شک و شکستن آن می‌باشد. در شکل ۷۱ بصورت تصویری Lead in به رنگ فیروزه‌ای نشان داده شده است.



شکل ۷۱

پس از اجرای این دستورات نوار ابزار اصلی پنجره Toolpath Connection باز می‌شود (شکل ۷۰).

● تب Leads in: نحوه ورود ابزار به کاردر حین عملیات ماشین کاری

● تب Leads out: نحوه خروج ابزار از کاردر حین عملیات ماشین کاری

● تب Links: نحوه اتصال یک خروج به ورود (چگونگی اتصال پاس‌های ماشین کاری)

### روش‌های ورود و خروج ابزار Leads in/out:

تب‌های Lead in و Lead out دارای گزینه مشابهی‌اند، که اولی نحوه ورود و دومی نحوه خروج ابزار به شرح زیر تعریف می‌شود.

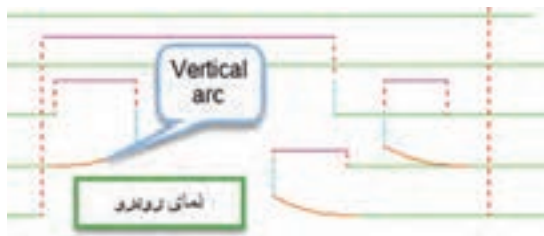
● None: هیچ روشی برای ورود یا خروج تعریف نمی‌شود، احتمال وارد شدن شوک به ابزار وجود دارد.

● Surface normal arc: ابزار در مسیری به شکل کمان عمود بر سطح، وارد کار (یا خارج) می‌شود.

● Vertical arc: ابزار در مسیری به شکل یک کمان عمود بر صفحه افق، وارد کار (یا خارج) می‌شود.

در شکل ۷۲ خروج ابزار از این نوع است.

پودمان ۴: تحلیل روش‌های ساخت به کمک رایانه (CAM)



شکل ۷۲

● **Horizontal arc**: ابزار در مسیری به شکل یک کمان افقی، وارد کار (یا از آن خارج) می‌شود. در شکل ۷۳ - الف خروج ابزار از این نوع می‌باشد. شعاع کمان در کادر Radius تعیین می‌شود.

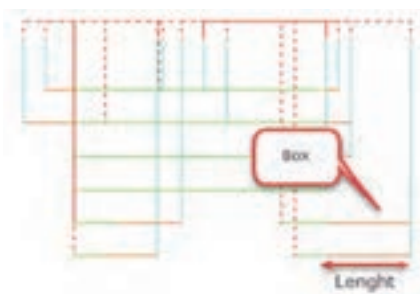
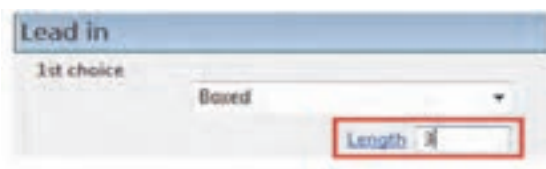
- **Horizontal arc left**: مانند حالت قبل ابزار در مسیری به شکل یک کمان افقی ولی از سمت چپ وارد کار (یا از آن خارج) می‌شود. این نوع ورود در براده برداری همراه  $G41$  کاربرد دارد.
- **Horizontal arc right**: ابزار در مسیری به شکل یک کمان و از سمت راست وارد کار (یا از آن خارج) می‌شود. در براده برداری غیرهمراه  $G42$  کاربرد دارد (شکل ۷۳- الف).

هنگام خروج ابزار در پایان عملیات ماشین‌کاری (خصوصاً پرداخت کاری) برای اینکه ابزار بر روی دیواره‌ها خط یا خش ایجاد نکند، بهتر است Lead out را از نوع Horizontal arc تعریف کنیم.

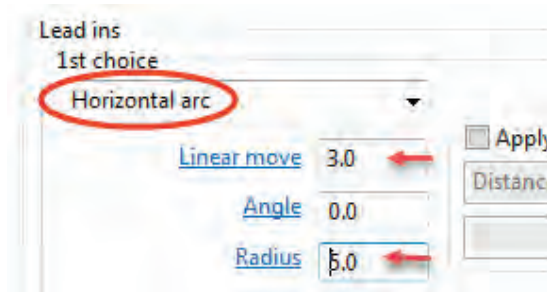
نکته



● **Box**: ابزار به صورت افقی، بدون زاویه و با فاصله اندازه وارد شده در کادر Length وارد یا از آن خارج می‌شود (شکل ۷۳ - ب).



ب



الف

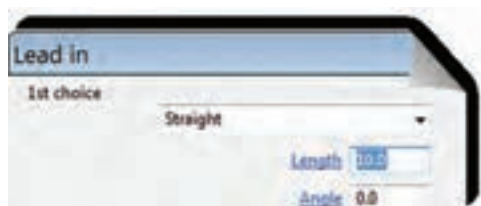
شکل ۷۳





شکل ۷۴

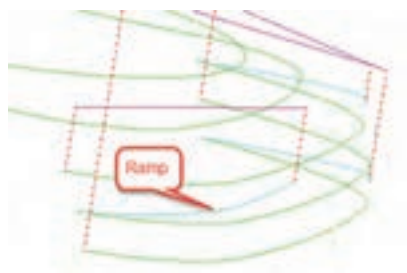
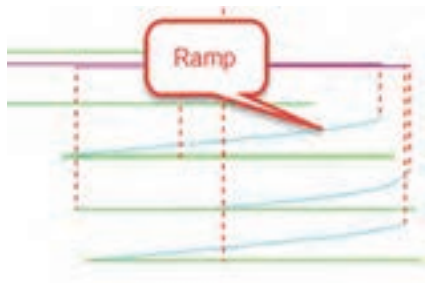
● **Extended Move**: ابزار در امتداد مسیر حرکت و پس از ماشین کاری سطح به اندازه طول تنظیمی در کادر Length از کار خارج یا به اندازه این فاصله قبل تر از قطعه حرکت اضافی داشته باشد. این ورود و خروج در مورد استراتژی پرداخت Raster finishing کاربرد دارد (شکل ۷۴).



شکل ۷۵

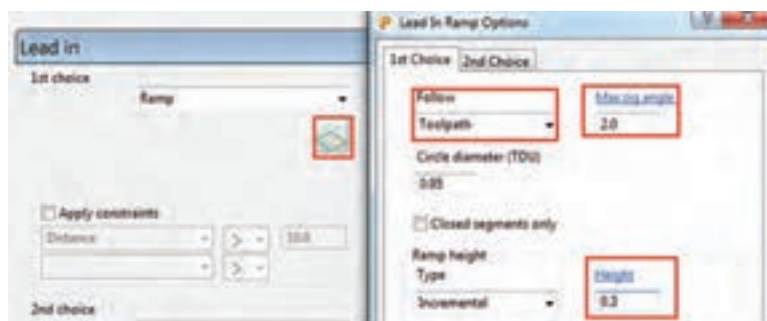
● **Straight**: ابزار به صورت یک خط افقی ولی با یک زاویه (واقع در صفحه XY) نسبت به محور X وارد کار (یا از آن خارج) می شود. در فرم شکل ۷۵ طول و زاویه خط تعیین می شود.

● **Ramp**: ابزار در مسیری قوسی شکل و با یک شیب (زاویه) وارد کار می شود. این نوع ورود و خروج به دلیل نفوذ تدریجی ابزار در کار و عدم اعمال ضربه به ابزار بسیار کاربرد دارد (شکل ۷۶).



شکل ۷۶

برای تنظیم مقادیر حرکت Ramp باید بر روی گزینه Ramp Option کلیک کنید. و سپس مقادیر ارتفاع و زاویه Ramp را در کادرهای نشان داده شده وارد کنید (شکل ۷۷). در قسمت Follow با انتخاب Toolpath تعیین می کنیم حرکت Ramp در امتداد مسیر ابزار باشد.

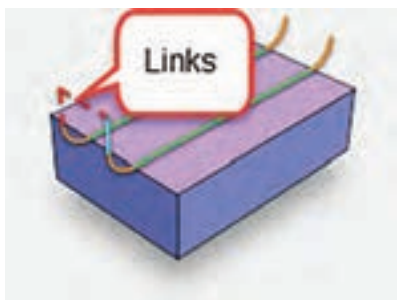


شکل ۷۷

معمولاً مقادیر، درجه  $\text{Max zig angle} = 2$  و  $\text{Height} = 0,3 \text{ mm}$  مناسب است.

- علت وجود دو انتخاب (1s Choice , 2s Choice) در پنجره‌ها این است فواصل برخی نشست و برخاست کوتاه و برخی دیگر بلند می‌باشد. (ابزارازیک ناحیه بلند شده و در ناحیه دیگری وارد می‌شود)، انتخاب اولی برای فواصل کوتاه و انتخاب دوم برای فواصل بلندتر تعریف می‌شود. - برای کنترل برخورد ابزار با بلوک باید گزینه Gouge Check همواره تیک خورده باشد.

نحوه اتصال نشست و برخاست ها (Links) منظور از Links نحوه اتصال یک خروج ابزار به ورود بعدی و یا نحوه اتصال پاس‌های ماشین کاری و تعیین نوع ارتفاع‌های نشست و برخاست‌های ابزار است (شکل ۷۸).



شکل ۷۸

### روش‌های مختلف تعریف Links

- Safe
- Incremental
- Skim
- On surface
- Stepdown
- Straight
- Circular arc

● **Safe** در این حالت ابزار در حین عملیات ماشین کاری هنگام برخاستن تا ارتفاع تعیین شده در کادر Rapidheight از تب Safe area از دستور Rapid Move بالا می‌آید. (نسبت به بلوک) سرعت این حرکت سریع (G 00) و برای سوراخ کاری مناسب است.

● **Incremental** ارتفاع برخاست‌ها و نشست‌های ابزار به صورت افزایشی (نه مطلق) نسبت به سطح قطعه کار از کادر Rapid height محاسبه می‌شود.

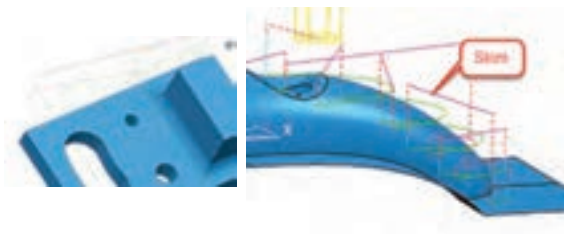


شکل ۷۹

● **On surface** «نشست و برخاستی وجود ندارد بلکه مسیر ابزار همواره بر روی سطح کار می‌باشد (شکل ۷۹).

● **Skim** «مبنای ارتفاع نشست و برخاست ابزار بجای بلوک خام، از روی سطح مدل و به اندازه مقدار تعریف شده صورت می‌گیرد. این امر باعث کاهش زمان ماشین کاری است. (سرعت حرکت ابزار G01 است) (شکل ۸۰).

حرکت Skim بیشتر برای استراتژی‌های پرداخت کاری‌ها استفاده می‌شود. (بجز Constant Z)



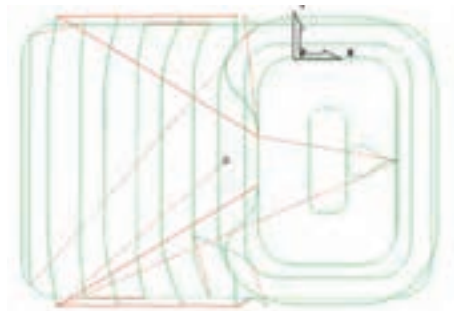
شکل ۸۰

● **Stepdown** « اتصال مسیره‌ها بصورت پلکانی است و ارتفاع پله‌ها به اندازه عمق بار می‌باشد. این حرکت برای استراتژی Constant z مناسب است (شکل ۸۱).



شکل ۸۱

● **Straight** « اتصال مسیره‌ها به صورت خط مستقیم است (شکل ۸۲).



شکل ۸۲

● **Circular arc** « اتصال مسیره‌ها به شکل یک کمان می‌باشد (شکل ۸۳).



شکل ۸۳

فایل Project 2 را باز کرده سپس تنظیمات هر ردیف از جدول زیر را جداگانه اعمال کنید. پس از محاسبه استراتژی (Calculate) آن را شبیه‌سازی کنید. سپس استراتژی را ویرایش و تنظیمات آن را مطابق ردیف بعد انجام داده دوباره شبیه‌سازی و نتایج را با هم مقایسه کنید. پس از انجام مرحله ۴ فایل را با نام Project 3 ذخیره کنید.

فعالیت  
عملی ۱۷



● استراتژی Model Area Clearance ، قطر ابزار ۴۰ سرتخت، مقادیر عددی نشست و برخاست‌های ابزار دلخواه

● Start / End point =Block center Safe

● Rapid height =۲ , Plunge height=۱

Links	Lead out	Lead in	Stepover	Stepdown	Style	
Circular Arc	Straight	Straight	۳۲	۰/۲	Raster	ردیف ۱
On Surface	Box	Extended Move	۳۲	۰/۲	Raster	ردیف ۲
Stepdown	Straight	Horizontal arc	۳۰	۳	Offset	ردیف ۳
Skim	Extended Move	Ramp	۳۲	۰/۳	Offset all	ردیف ۴

اکنون که با پارامترهای ماشین‌کاری آشنا شدید به ادامه مبحث استراتژی‌های ماشین‌کاری می‌پردازیم.

**ماشین کاری شیار:** درخشن کاری مدل فعالیت اول با ابزار قطر ۴۰ در مرحله قبل به دلیل بزرگ بودن ابزار، درون شیار لوبیایی ماشین کاری نخواهد شد. به چند روش می‌توان درون شیار را ماشین کاری نمود. البته به این نکته توجه کنید که پاورمیل کاران همواره بهترین روش را انتخاب می‌کنند. ولی از آنجایی که مبحث ما آموزشی است بهتر است با راهکارهای مختلف در موقعیت‌های متفاوت آشنا شوید.

● استفاده از ابزار با قطر کمتر و محدود کردن بلوک خام

● استراتژی Model Rest area clearance

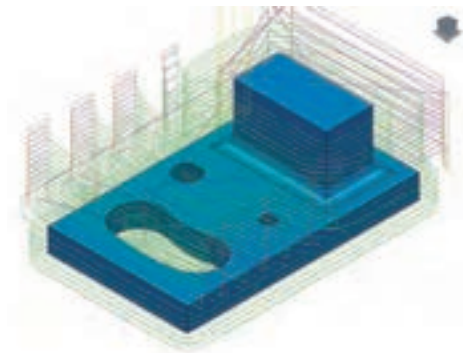
● استراتژی Constant Z finishing

### روش اول : استفاده از ابزار با قطر کمتر و محدود کردن بلوک خام

در این روش اگر بخواهیم درون شیار لوبیایی ماشین کاری شود باید از ابزار با قطر پایین تر استفاده کنیم، تا امکان حرکت ابزار درون حفره امکان پذیر باشد.

فایل Project 2 را باز کنید. استراتژی Model Area Clearance را با پارامترهای زیر اجرا کنید. مقدار  $Stepover=16$ ،  $Stepdown=1$ ،  $Thickness=1$ ، ابزار سر تخت با قطر ۲۰ میلی‌متر و سایر پارامترها براساس آنچه آموخته‌اید. اکنون Toolpath جدید را با کلیک بر روی Calculate ایجاد کنید.

فعالیت  
عملی ۱۸



شکل ۸۴

همانطور که می‌بینید این بار شیار نیز ماشین کاری می‌شود. (شکل ۸۴)

همانطور که دیدید با انتخاب ابزار کوچک تر توانستیم داخل شیار را نیز ماشین کاری کنیم. اما این کار یک اشکال دارد و آن هم افزایش زمان ماشین کاری با ابزار کوچک تر است که باعث افزایش هزینه تولید می‌شود. برای پرهیز از این اشکال می‌توانیم با کم کردن Max Z از بلوک خام، حرکت ابزار را به ناحیه‌ای که شیار در آن قرار دارد محدود کنیم. برای این منظور :

● ابتدا عمل خشن کاری اولیه را با ابزار ۴۰ و مقدار  $Thickness=1$  یکبار انجام دهید.

● دوباره با اجرای دستور تعریف استراتژی، پنجره استراتژی Model Area Clearance را باز کرده، از سمت چپ پنجره استراتژی بر روی کلمه Tool کلیک کرده ابزاری از نوع End MILL با قطر ۲۰ تعریف کنید.

● این بار بر روی عبارت Block از سمت چپ پنجره کلیک کرده، مطابق شکل ۸۵ از سمت راست مقدار max Z را از ۵- به ۵۵- تغییر دهید سپس روی Accept کلیک کنید تا ارتفاع بلوک کاهش یافته و هم سطح ارتفاع شیار شود.



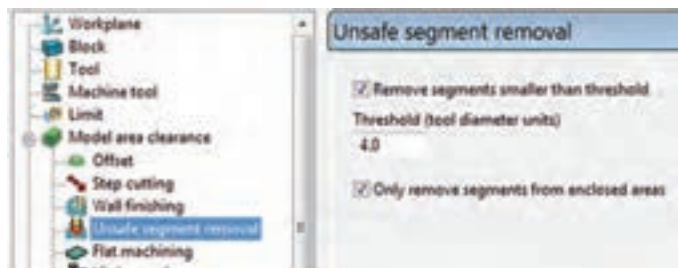
شکل ۸۵



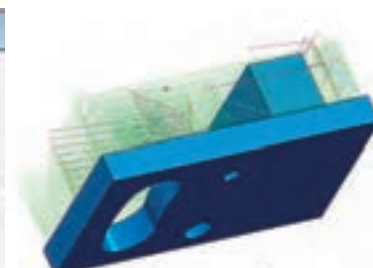
شکل ۸۶

● بر روی دکمه Calculate استراتژی کلیک کنید تا Toolpath جدید محاسبه شود. همانطور که در شکل ۸۶ می بینید عمل ماشین کاری با کم کردن ارتفاع بلوک، به ناحیه شیار محدود شده است. فایل را با نام Project 4 ذخیره کنید.

- توجه:** گاهی اوقات می خواهیم با ابزار کوچکی عمل فرز کاری را انجام دهیم ولی نمی خواهیم داخل سوراخها و شیارها و حفره ها براده برداری شود. در این موارد چه باید کرد؟
- مثلاً این بار فرض کنید می خواهیم کل بلوک را با ابزار ۲۰ سر تخت فرز کاری کنیم ولی داخل شیار فرز کاری نشود. در این موارد باید از پارامتر TDU به شرح زیر استفاده کنید.
- ۱ استراتژی مرحله قبل را در حالت Edit قرار دهید و از سمت چپ پنجره استراتژی Model Area Clearance بر روی گزینه Unsafe segment removal کلیک کنید (شکل ۸۷).
  - ۲ گزینه Remove segment smaller ..... را تیک بزنید (شکل ۸۷).
  - ۳ در کادر Threshold (tdu) عدد ۴ را وارد کنید (ضریبی از قطر مؤثر ابزار) (شکل ۸۷).
  - ۴ برنامه را Calculate کنید. همانطور که می بینید با اینکه قطر ابزار ۲۰ است ولی برنامه از ماشین کاری شیارهایی که عرض آنها از ۴ برابر قطر مؤثر ابزار کمتر است صرف نظر می کند (شکل ۸۸).



شکل ۸۷



شکل ۸۸

فعالیت عملی ۱۹

فعالیت ۱۸ را این بار با همان ابزار ۲۰ سر تخت و  $Thickness = 10$  انجام دهید. آیا شیار لوبیایی ماشین کاری می شود؟ (آیا این ابزار قادر به ایجاد شیار می باشد؟) چرا؟



### روش دوم: استراتژی Model Rest Area Clearance

این استراتژی برای ماشین کاری قسمت های باقی مانده از مرحله خشن کاری قبلی استفاده می شود. به طوری که ابتدا پس از انجام خشن کاری اولیه، با استفاده از استراتژی Rest و با کمک ابزار کوچک تر یک Toolpath دیگر برای ماشین کاری قسمت هایی از بلوک که ابزار قبلی قادر به ماشین کاری آن نبوده، ایجاد می کنیم. مراحل این کار به شرح ذیل است:

پودمان ۴: تحلیل روش‌های ساخت به کمک رایانه (CAM)

۱ فایل Project 3 را که در فعالیت ۲۱ ایجاد و ذخیره کرده‌اید باز کنید. (استراتژی خشن کاری اولیه با ابزار ۴۰ انجام شده است)

۲ دستور Toolpath Strategies از نوار ابزار اصلی اجرا کنید (شکل ۸۹).



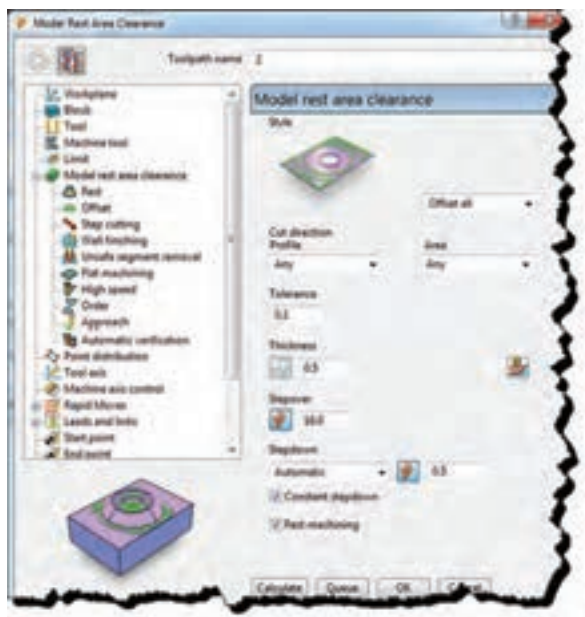
شکل ۸۹

۳ پس از باز شدن کادر شکل ۹۰ از سمت گروه 3D Area Clearance و از سمت راست استراتژی Model Rest Area Clearance را انتخاب کنید



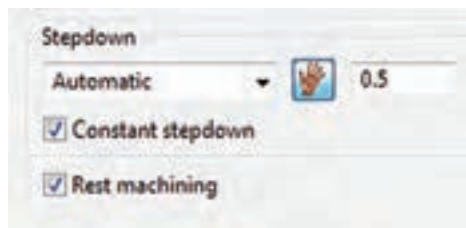
شکل ۹۰

۴ پارامترهای استراتژی را مطابق شکل ۹۱ تنظیم کنید.



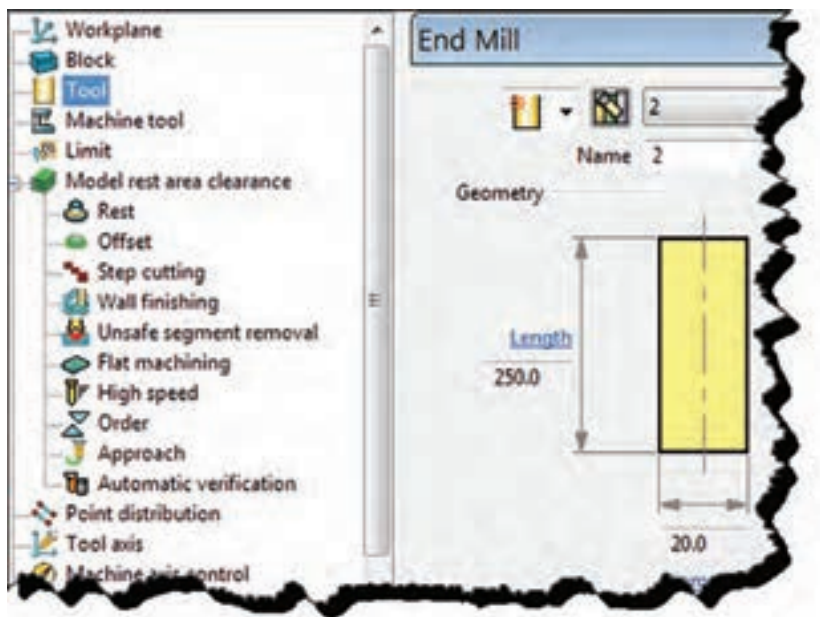
شکل ۹۱

۵ گزینه Rest machining را در پایین پنجره استراتژی تیک بزنید (شکل ۹۲).



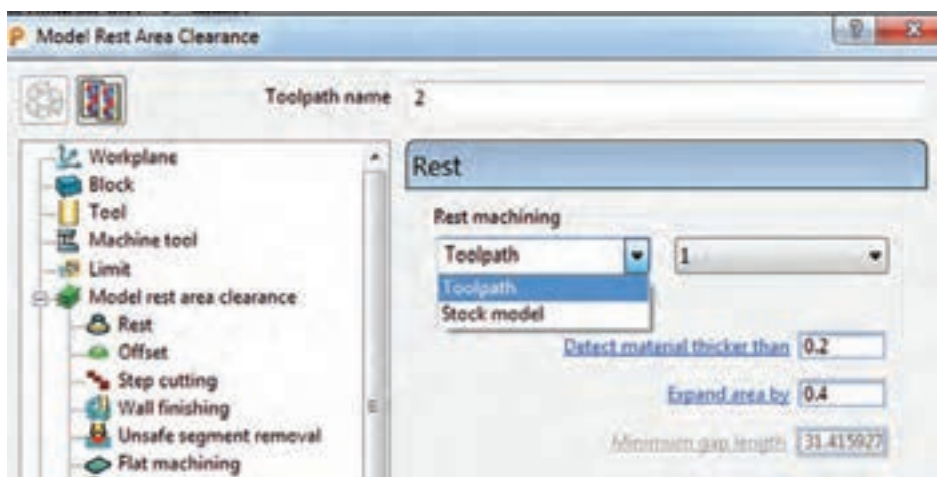
شکل ۹۲

۶ گزینه Tool را از سمت چپ پنجره استراتژی انتخاب کرده و ابزاری از نوع End Mill با قطر ۲۰ تعریف کنید و نام آن را e20 قرار دهید (شکل ۹۳).



شکل ۹۳

۷ روی گزینه Rest در سمت چپ پنجره استراتژی کلیک کنید و در سمت راست مطابق شکل ۹۴ از قسمت Rest machining گزینه Rest machining و از کادر مقابل آن، استراتژی ۱ که همان استراتژی خشن کاری اولیه است و قبلا تعریف کرده اید را انتخاب کنید تا Toolpath جدید نسبت به آن ایجاد شود.



شکل ۹۴

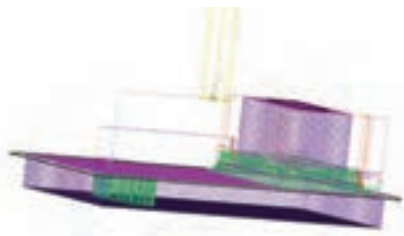
۸ حال بروی دکمه Calculate کلیک کنید تا Toolpath ایجاد شود..

۹ هر دو استراتژی اولیه و Rest را شبیه سازی (Simulate) کنید (شکل های ۹۵ و ۹۶).

پودمان ۴: تحلیل روش‌های ساخت به کمک رایانه (CAM)



شکل ۹۶

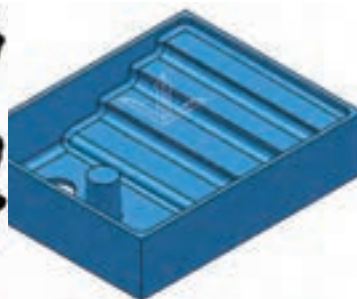
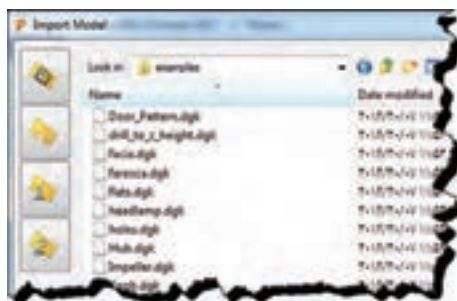


شکل ۹۵

همانطور که در شکل‌های ۹۵ و ۹۶ می‌بینید استراتژی دوم (Rest)، داخل حفره و برخی از قسمت‌های باقیمانده که در مرحله اول ماشین کاری نشده بود را خشن کاری می‌کند. در بسیاری از قطعات مانند مثال بالا ممکن است حفره یا شیار کم عرض، گوشه‌هایی با شعاع کمتر از شعاع ابزار وجود داشته باشد که ابزارهای بزرگ‌تر، قادر به ماشین کاری آنها نیستند، لذا این استراتژی شما را قادر می‌سازد که این نواحی را ماشین کاری کنید.

**تمرین تکمیلی ۱:** از منوی File گزینه Import Model را انتخاب کنید. فایل Flats را از پوشه Example انتخاب و روی دکمه Open کلیک کنید تا مدل باز شود (شکل ۹۷).

تمرین



شکل ۹۷

پس از تعریف بلوک خام و ابزار سرتخت به قطر ۲۰ میلی‌متر، استراتژی خشن کاری ModelAreaClearance را اجرا و مطابق جدول زیر تنظیمات آن را انجام دهید. و سپس با استفاده از استراتژی Rest و ابزار با قطر ۱۲ میلی‌متر آن را تکمیل نموده و نتیجه را شبیه‌سازی و سپس با نام Flats 2 آن را ذخیره کنید.

Style	Cut Direction	Tolerance	Thickness	Stepover	Stepdown	Angle	Lead in	Lead out	Link
Raster	Any	۰/۱	۰/۵	۱۶	۰/۴	۹۰	Ramp	None	Stepdown



شکل ۹۸

### استراتژی Model Profile

در این استراتژی مسیر ابزار به صورت یک پروفیل ساخته شده در اطراف مدل یا اجزای آن و در سطوح با مقادیر Z مختلف انجام می‌شود، همان‌طور که در شکل ۹۸ می‌بینید این روش بیشتر دیواره‌ها را ماشین کاری می‌کند و سطوح افقی ماشین کاری نمی‌شوند.





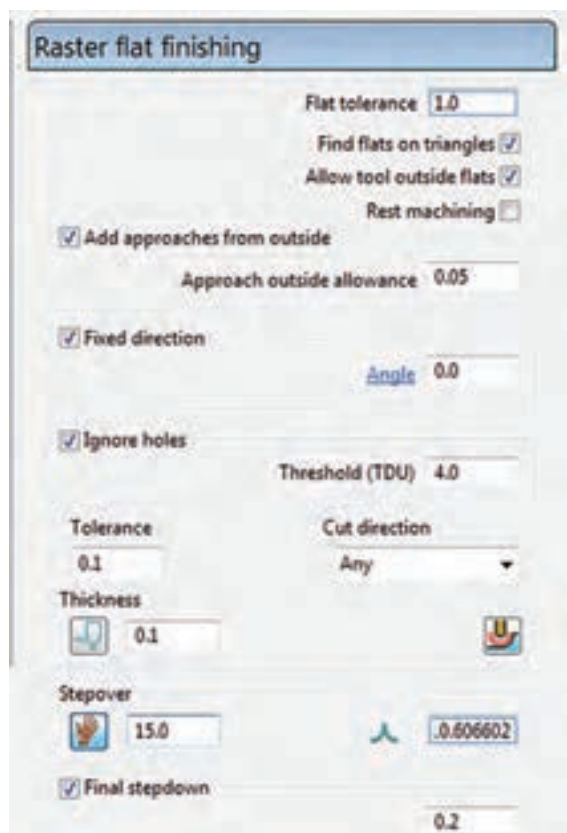
استراتژی Model Profile را یکبار برای کل مدل فایل Project 2 و یکبار با محدود کردن بلوک یا تعریف باند فقط برای شیار لوبیایی ایجاد کنید.

### استراتژی‌های پرداخت کاری

پس از انجام عملیات خشن کاری اولیه (Roughing)، عملیات پرداخت کاری به دو منظور انجام می‌شود. ۱- رسیدن به فرم و سطح نهایی (Thickness = 0) ۲- رسیدن به کیفیت سطح مطلوب. البته عملیات پرداخت معمولاً ممکن است در چند مرحله پیش‌پرداخت (Semi finishing) و پرداخت نهایی (Finishing) انجام گیرد.

### استراتژی Raster Flat finishing

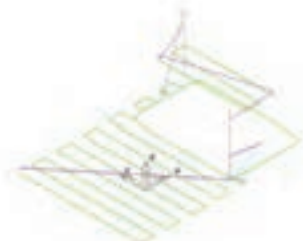
از این استراتژی برای پرداخت سطوح تخت استفاده می‌شود. فرض کنید می‌خواهیم سطوح افقی مدل فعالیت ۱ را پرداخت نماییم.



- فایل Project 4 را باز کنید (خشن کاری اولیه با ابزار ۴۰ و فرزکاری شیار با ابزار ۲۰ انجام شده است)
- بر روی دستور Toolpath Strategies از نوار ابزار اصلی کلیک کنید تا کادر Strategy Selector باز شود.
- از سمت چپ این کادر گروه Finishing و Raster Flat Finishing استراتژی را انتخاب و در نهایت روی دکمه Ok کلیک کنید تا پنجره استراتژی باز شود (شکل ۹۹).

شکل ۹۹

گزینه‌های این استراتژی در زیر توضیح داده شده است  
 ۱- Angle» تعیین کننده زاویه حرکت ابزار روی سطح است. وارد کردن زاویه صفر درجه باعث می‌شود مسیر حرکت ابزار به موازات محور X و زاویه ۹۰ درجه باعث حرکت ابزار به موازات محور Y می‌شود. شکل ۱۰۰

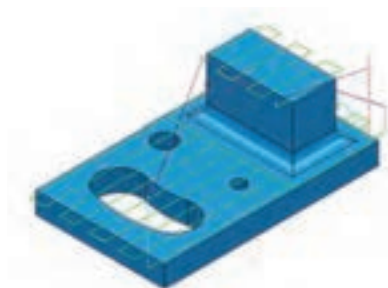


Angle = 90



Angle = 0

شکل ۱۰۰



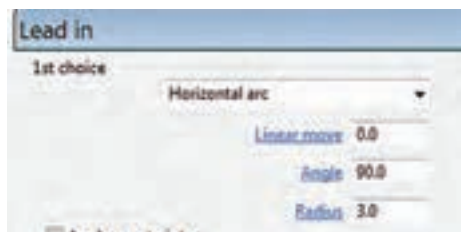
شکل ۱۰۱

۲- Threshold (TDU) «ضریبی از قطر ابزار است. در صورتیکه گزینه Ignore holes را تیک بزیند با وارد کردن این ضریب (مثلاً ۴) سبب می‌شود ماشین تمام شیارها، سوراخ‌ها و حفره‌هایی که عرض یا قطر آنها کمتر از ۴ برابر قطر مؤثر ابزار است سطح پر در نظر گرفته، از روی آن مانند حالت ماشین کاری عبور کند (وجود آن را نادیده می‌گیرد). به عبور ابزار از حفره در شکل ۱۰۱ دقت کنید.

**پرسش:** اگر تیک گزینه Ignore holes را بردارید ابزار هنگام رسیدن به حفره‌ها مسیر خود را تغییر می‌دهد.

ضمناً در این حالت ابزار وارد شیار نمی‌شود. چرا؟

- ۳- Thickness» تعیین کننده ضخامت باقی مانده که در پرداخت کاری نهایی مقدار آن را صفر وارد می‌کنیم.
- ۴- Final stepdown» عدد وارد شده در این کادر به این معنی است که بار پاس آخر ۰/۱۵ میلی‌متر باشد.
- ۵- استراتژی را Calculate و شبیه‌سازی کنید و در نهایت آن را با نام Project 4 ذخیره کنید.



شکل ۱۰۲

بهتر است حرکت‌های Lead in و Leadout در این استراتژی از نوع Horizontal arc یا Extended move و نوع Link از روش Step-down تعریف شود (شکل ۱۰۲).

نکته

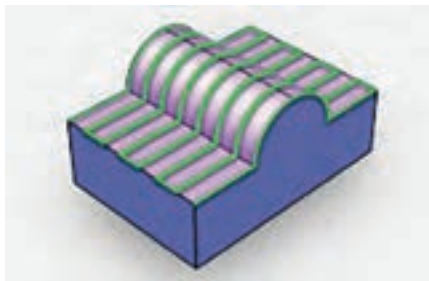


تمرین



**تمرین تکمیلی ۲:** فایل Flats 2 را که در تمرین تکمیلی ۱ انجام داده اید باز کنید. با استفاده از استراتژی Raster Flat Finishing آن را پرداخت کنید.

## استراتژی Raster finishing



شکل ۱۰۳

مسیر ابزار در این نوع استراتژی به صورت رفت و برگشتی و موازی یکدیگر و منظم است. مسیر یا گام‌های ابزار همواره روی سطوح کار تصویر می‌شود. این استراتژی برای سطوحی که زاویه آنها کمتر از ۹۰ درجه و سطوحی که از اکستروود (امتداد) یک پروفیل در یک جهت بوجود آمده‌اند مناسب است مانند (شکل ۱۰۳).

استراتژی را اجرا کنید تا کادر محاوره‌ای آن مطابق شکل ۱۰۴ باز شود.



شکل ۱۰۴

۱ «Angle» زاویه حرکت ابزار نسبت به محور X  
۲ «Start corner» تعیین گوشه برای شروع کار (شکل ۱۰۵).



شکل ۱۰۵

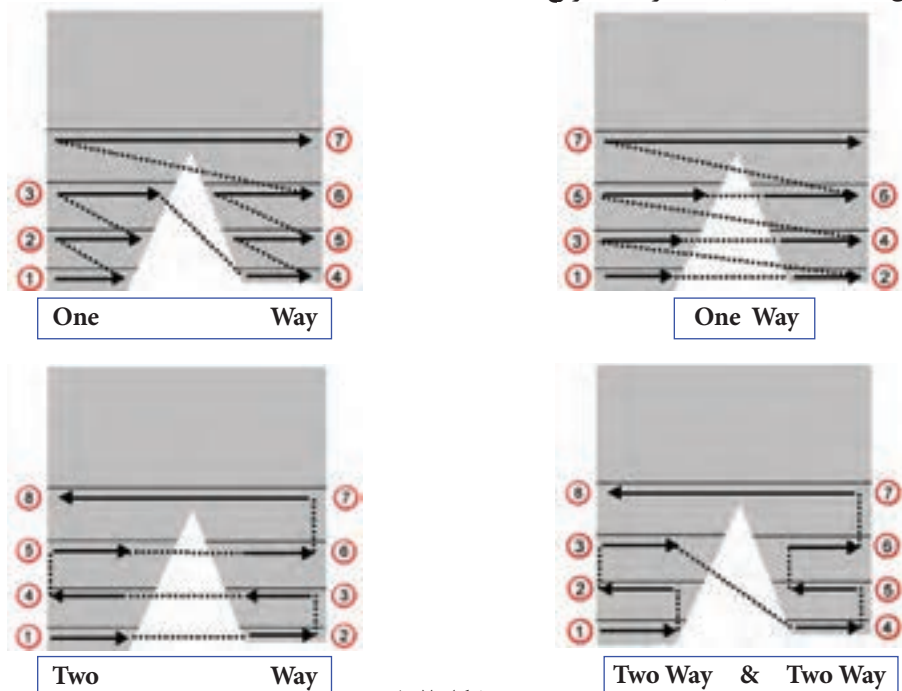
۳ «Perpendicular Pass» در سطوح شیب دار زمانی که پاس‌های ماشین کاری (Stepover) روی سطح تصویر می‌شوند فواصل آنها نامنظم و نامساوی می‌شوند و کیفیت سطح مناسبی ایجاد نمی‌شود. با روشن کردن این گزینه و تعیین مقدار زاویه حداقل شیب در کادر Shallow angle (مثلاً ۳۰ درجه)، مسیر دیگری عمود بر مسیر اصلی نیز برای ماشین کاری جهت پرداخت بهتر سطح ایجاد می‌شود. (برای سطوح شیب‌دار با زاویه ۳۰ تا ۹۰ درجه دو مسیر ابزار ایجاد می‌شود) (شکل ۱۰۶).



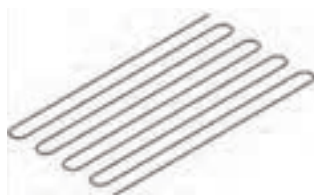
شکل ۱۰۶

۴ «Style» در لیست Style، گزینه One way به این معنی است که ابزار همواره از یک طرف کار براده‌برداری کند و در سمت دیگر از روی کار بلند شده برای شروع براده‌برداری به سمت اول برگردد. و گزینه Two way به این معنی است که در برگشت از طرف مقابل نیز بار اعمال و براده‌برداری صورت گیرد. در

شکل‌های ۱۰۷ حالت‌های مختلف مسیر حرکت ابزار در این استراتژی را می‌بینید. (خط چین بیانگر بلند شدن ابزار و رفتن به نقطه بعدی با حرکت سریع است. (G00)



شکل ۱۰۷



شکل ۱۰۸

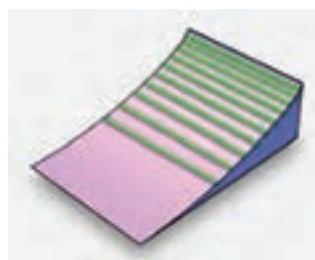
« Arc radius تعیین کننده شعاع قوس اتصال مسیره‌ها است که حداکثر نصف Stepover در نظر می‌گیرند (شکل ۱۰۸).

فایل Project 4 را باز کنید، یک برنامه Raster finishing با مشخصات زیر تهیه کنید. سپس آن را شبیه‌سازی کنید.  
 بلوک Min z = -50 , Tolerance = 0.05 , thickness = 0 و Stepover = 16 mm، ابزار از نوع Tip Radius با قطر ۲۰ و شعاع لبه ۱

فعالیت  
عملی ۲۱



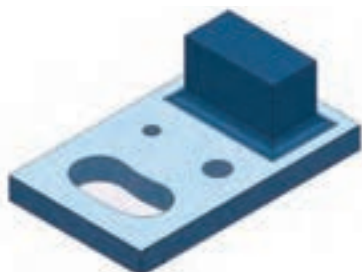
### استراتژی Constant Z Finishing



شکل ۱۰۹

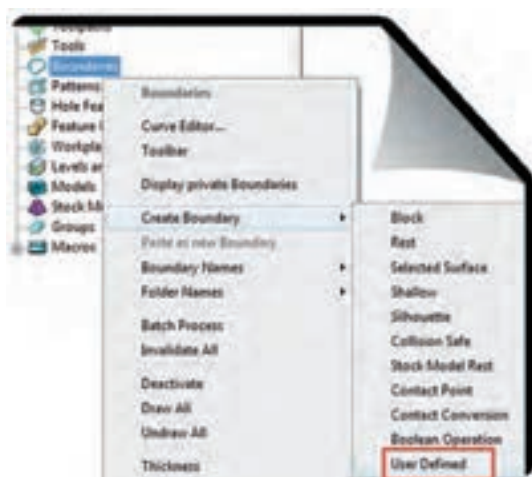
مسیر ابزار (Toolpath) در این استراتژی از برخورد صفحات افقی (فرضی) و موازی باهم به فواصل Stepdown با سطوح قطعه کار ایجاد می‌شود. به خاطر این نظم در فواصل برای ماشین کاری سطوحی که به ۹۰ درجه نزدیک اند (دیواره‌ها) بسیار استفاده می‌شود. در شکل ۱۰۹ هر چه سطح به افق نزدیک می‌شود فواصل Stepdown نامنظم‌تر می‌شود تا جایی که دیگر هیچ Toolpath ایجاد نمی‌شود.

همانطور که گفتیم در مثال مربوط به مدل فعالیت ۱ یکی از روش‌های ماشین کاری شیار لوبیایی استفاده از این استراتژی است. قابل ذکر است بسیاری از مواقع می‌توان از این استراتژی برای خشن کاری نیز استفاده کرد. می‌خواهیم درون شیار را با این استراتژی خشن کاری و پرداخت نماییم.



شکل ۱۱۰

- ۱ فایل Project 3 را باز کنید. (خشن کاری اولیه انجام شده ولی حفره ایجاد نشده است).
- ۲ ابتدا باید یک باند (Boundary) به روش User Defined در ناحیه شیار به روش زیر ایجاد کنید.
  - از نوار ابزار Viewing بلوک را خاموش کنید.
  - مطابق شکل ۱۱۰ روی سطح بالایی شیار کلیک کنید تا انتخاب شود.



شکل ۱۱۱

- مطابق شکل ۱۱۱ بر روی گزینه Boundary در ناحیه Explorer کلیک راست و گزینه Create Boundary و سپس گزینه User Defined (یعنی باندی که توسط کاربر تعریف می‌شود) را انتخاب کنید.

- در پنجره باز شده مطابق شکل ۱۱۲ بر روی گزینه Model کلیک کنید. این انتخاب سبب می‌شود باند بر مبنای مدل ساخته شود.

- نمای مدل را در حالت دید از بالا قرار داده و سپس مدل را نیز از نوار ابزار Viewing خاموش کنید تا لبه‌های مرز مدل و اجزای آن به رنگ زرد نمایان شود (شکل ۱۱۳)، سپس به غیر از لبه حفره لوبیایی بقیه خطوط و دایره‌ها را پاک کنید. به طوری که فقط اسکچ لوبیایی بماند. (شکل ۱۱۴)، اینک باند مورد نظر ساخته شده است.

- ۳ اکنون بلوک و قطعه را روشن کنید.



شکل ۱۱۲



شکل ۱۱۳



شکل ۱۱۴

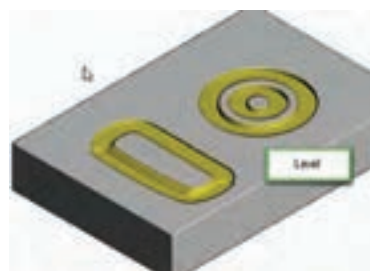
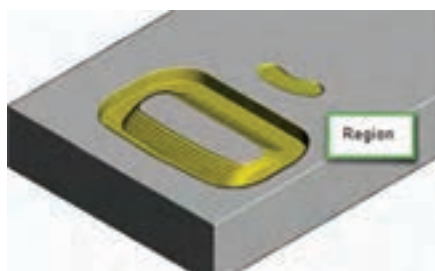


شکل ۱۱۵

۴ استراتژی Constant Z finishing را اجرا کنید.

۵ پارامترهای استراتژی را مطابق شکل ۱۱۵ وارد کنید.

گزینه « Order by » تعیین دستور سبک ماشین کاری region: ماشین کاری بصورت ناحیه به ناحیه، (پس از ماشین کاری یک ناحیه به سراغ ناحیه دیگر می‌رود). level: سطح به سطح (تمام نواحی مدل در یک سطح به اندازه یکسان ماشین کاری می‌شود) (شکل ۱۱۶).



شکل ۱۱۶

گزینه «Spiral» مسیر ابزار بصورت مارپیچ خواهد بود. (کاهش زمان ماشین کاری) گزینه Thickness « کادر اول ضخامت باقی مانده از دیواره (چون می‌خواهیم ابتدا خشن کاری کنیم، مقدار آن را ۰/۳ وارد کنید). و کادر دوم ضخامت باقی مانده برای کف که در این استراتژی و این حفره، صفر وارد کنید.

گزینه Stepdown « با تعیین مقدار حداقل (Minimum) و حداکثر (Maximum) برای Stepdown و تعیین مقدار زبری سطح در کادر Cusp height و تیک زدن گزینه Calculate ...، پاورمیل مقدار مناسب بار یا Stepdown را برای رسیدن به ارتفاع زبری تعیین شده را، بصورت خودکار تعیین می‌کند. ولی اگر گزینه Calculate تیک نخورد ابزار به اندازه حداقل تنظیمی بار می‌گیرد. (مقادیر را مطابق شکل ۱۱۵ وارد کنید)

۶ در سمت چپ پنجره استراتژی، روی عبارت Limit کلیک و باند تعریف شده را به‌عنوان محدوده ماشین کاری معرفی نمایید.

۷ Lead in را از نوع Ramp با زاویه ۲ و ارتفاع ۰/۳ میلی‌متر تعریف نمایید.

۸ بر روی دکمه Calculate کلیک کنید، تا Toolpath ایجاد شود.

۹ پس از شبیه‌سازی Toolpath، مانند شکل ۱۱۷ باید داخل حفره ماشین کاری شده باشد.



شکل ۱۱۷

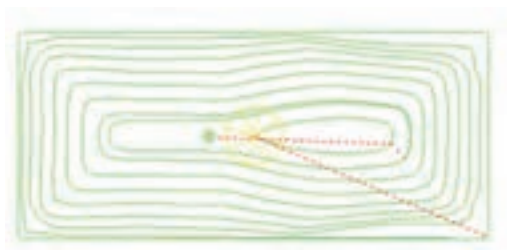
- اکنون یک استراتژی Constant Z finishing دیگر برای پرداخت حفره ایجاد کنید. این بار Thickness = 0 و مقدار Minimum stepdown = 10 قرار دهید. تا دیواره کاملاً پرداخت شود. (علت بالا گرفتن مقدار Stepdown در این مرحله این است که قبلاً حفره خالی شده و می‌خواهیم دیواره حفره با کنار ابزار براده برداری شود)

- پس از خشن کاری اولیه مدل فعالیت ۱ دیواره‌های عمودی مدل را با استراتژی Constant Z finishing و مقدار تولرانس ۰/۰۵ و Thickness = 0 پرداخت نمایید. (تعریف باند لازم نیست و بلوک باید براساس اندازه‌های مدل یا بیشتر تعریف شود.)

فعالیت  
عملی ۲۲



### استراتژی 3D Offset Finishing



شکل ۱۱۸

در این استراتژی، مرز مدل به سمت داخل یا خارج آفست می‌شود. از مزایای این استراتژی آن است که وقتی ابزار به سطح شیبداری می‌رسد، گامش (Stepover) در جهت بردار نرمال بر سطح شیبدار می‌شود (مانند این که ابزار چرخیده و عمود بر سطح شده) در نتیجه زبری سطح یا Cusp کمتر شده و عملاً کیفیت سطح بهتری در سطوح شیبدار ایجاد می‌گردد (شکل ۱۱۸). معمولاً از ابزار Ball Noised در این استراتژی استفاده می‌شود.

فایل Project 4 را باز کرده و با این استراتژی و ابزار قطر ۲۰ و Thickness = 0 آن را پرداخت کنید.

فعالیت  
عملی ۲۳

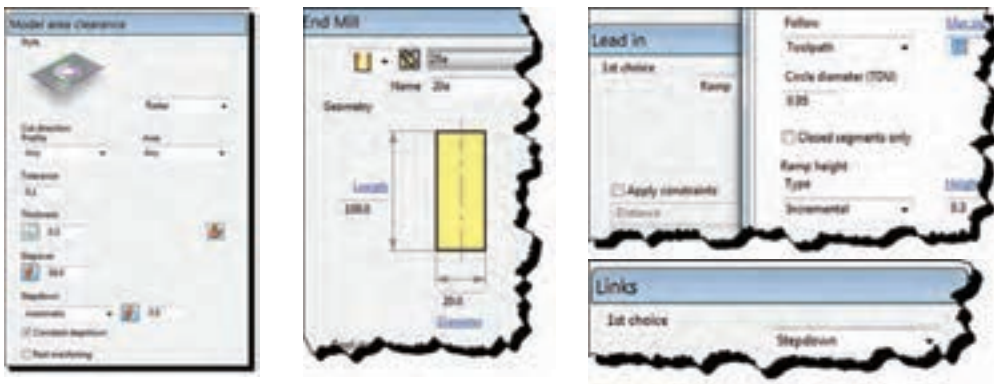


### استراتژی Optimize Constant Z Finishing

از بهترین و کامل‌ترین استراتژی‌های پرداخت است که ترکیبی از دو استراتژی Constant Z و 3D offset می‌باشد. برای سطوحی که دارای پستی و بلندی زیادی هستند، معمولاً باید چند باند و برای هرکدام یک استراتژی مناسب انتخاب و ترکیب یا Append کرد، اما با استفاده از این استراتژی دیگر نیازی به این کار

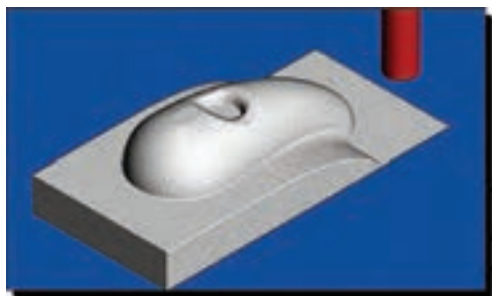
نیست. مثال :

- ۱ فایل مدل Cowling.dgk را از پوشه Example در مسیر نصب پاورمیل باز کنید.
- ۲ بلوک خامی بر اساس ابعاد مدل تعریف کنید (البته این شکل مدل نیست بلکه یک پوسته یا Shell می‌باشد).
- ۳ یک استراتژی خشن کاری Model area clearance با تنظیمات نشان داده شده در اشکال ۱۱۹ تعریف نمایید و شبیه سازی نمایید



شکل ۱۱۹

- ۴ همانطور که در شکل ۱۲۰ می‌بینید این ابزار با این استراتژی قسمتی از حفره را خشن تراشی کرده است.



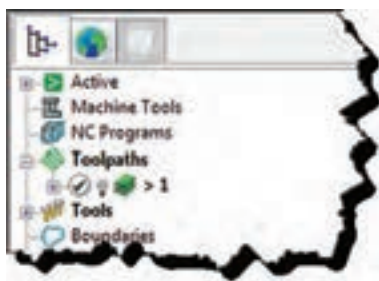
شکل ۱۲۰

در عمل هنگام براده برداری حفره فشار زیادی را به ابزار وارد می‌کند. برای جلوگیری از این اتفاق باید مسیر ابزار شکل گرفته درون حفره را پاک کنید و یا اینکه ابتدا با تعریف باند از نوع Selected Surface و یک استراتژی خشن کاری و یا استراتژی.. Constant Z درون حفره را خالی کنید.

نکته



**تعریف باند و ماشین کاری حفره :** با کلیک بر دستور Exit Viewmill از نوار ابزار Viewmill از حالت Simulate خارج شوید. با کلیک راست بر روی Toolpath ایجاد شده و انتخاب گزینه Delete Toolpath خارج شوید. سپس بلوک را خاموش نمایید تا فقط مدل را مشاهده کنید. (البته می‌توانید این استراتژی آن را پاک کنید).



شکل ۱۲۱

برای مخفی کردن (خاموش کردن) Toolpath کافیست علامت لامپ در کنار نام استراتژی را در پنجره Explore خاموش نمایید.

نکته







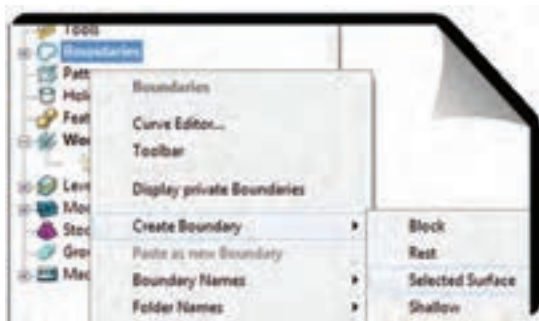
شکل ۱۲۲

را موقتاً خاموش و پس از تعریف ماشین کاری حفره دوباره آن را روشن و از آن استفاده کنید) .

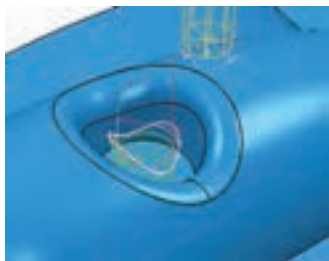
۵ با دستور Zoom to box و نگه داشتن کلید چپ ماوس و کشیدن یک کادر در منطقه حفره، زوم (بزرگنمایی) کنید.

۶ مطابق شکل ۱۲۲ دو سطح کف و دیواره حفره را انتخاب کنید.

۷ مطابق شکل ۱۲۳ بر روی گزینه Boundary از پنجره Explorer کلیک راست کنید. گزینه Create Boundary را انتخاب کنید، سپس از زیر منوی باز شده گزینه Selected Surface را کلیک کنید تا یک باند براساس سطوح انتخاب شده ساخته شود .



شکل ۱۲۳



شکل ۱۲۴

۸ استراتژی Constant Z Finishing را اجرا کرده در سمت چپ پنجره استراتژی گزینه Limits و سپس باند جدید را انتخاب نمایید و یکبار با Thickness = 0.3 و Min stepdown = 0.1 حفره را خشن کاری و یکبار با همین استراتژی ولی Thickness = 0 و Min stepdown = 2 دیواره را پرداخت کنید. نتیجه کار باید مانند شکل ۱۲۴ درآید.

۹ مراحل ۲ تا ۴ را برای خشن کاری اولیه اجرا کنید.

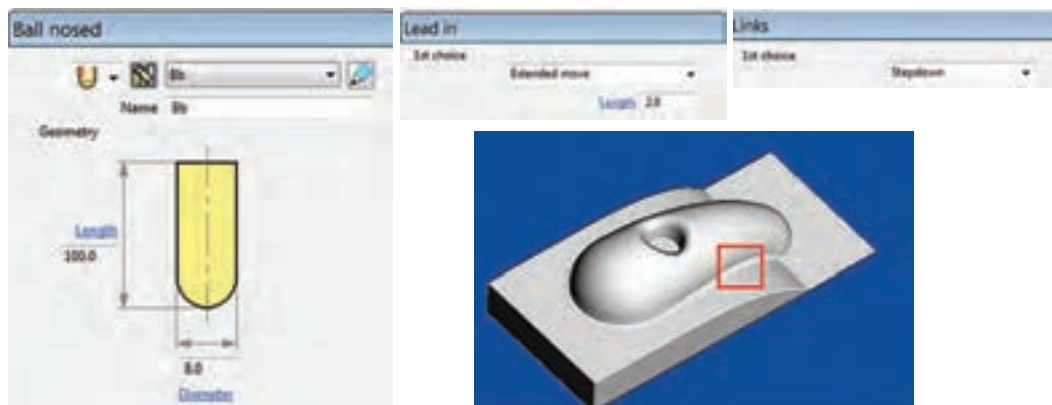
۱۰ این بار برای عملیات پرداخت کاری را برای کل مدل بایک استراتژی از نوع Optimize constant Z... با مقادیر و تنظیمات شکل‌های ۱۲۵ و ۱۲۶ ایجاد کنید. سپس آن را شبیه سازی کنید.

● گزینه Spiral باعث می‌شود مسیر ماشین کاری به شکل مارپیچ درآید.

● گزینه Closed offset باعث بسته شده انتهای Offsetها می‌شود.



شکل ۱۲۵



شکل ۱۲۶

در مثال بالا به جای استراتژی Optimize... از استراتژی 3D Offset استفاده و نتیجه را باهم مقایسه کنید.

فعالیت  
عملی ۲۴



### استراتژی گوشه زنی Corner multi - pencil finishing

اگر به قسمتی از مدل ماشین کاری شده در شکل ۱۲۶ که درون کادر قرمز قرار دارد نگاه کنید متوجه می‌شوید که این استراتژی نتوانسته این نواحی را به خوبی ماشین کاری کند. معمولاً برای ماشین کاری کنج‌ها و گوشه‌ها از استراتژی‌های Corner می‌شود. ماشین کاری در این شکل را با استفاده از این استراتژی کامل می‌کنیم.

توجه داشته باشید در آوردن گوشه با شعاع صفر با دستگاه CNC سه محوره عملاً غیر ممکن است بلکه می‌توانیم بسته به ابزار تا شعاع حداقل ۰,۵ یا یک میلی‌متر این کار را انجام دهیم. (برای ایجاد گوشه کاملاً تیز در حفره‌ها و گوشه از وایرکات یا روش‌های دیگری استفاده می‌شود).  
**مراحل گوشه زنی:**

- ۱- در ادامه فعالیت عملی ۲۹ استراتژی گوشه زنی Corner multi - pencil finishing را انتخاب و اجرا کنید.
- ۲- یک ابزار با قطر ۴ میلی‌متر و از نوع Ball Noised (سرگرد) تعریف کنید. در کادر Name نام آن را b4 وارد کنید.
- ۳- تنظیمات استراتژی را مطابق شکل ۱۲۷ انجام دهید.
  - «Output» گزینه Both انتخاب شود
  - «Threshold angle» زاویه دهنه گوشه: پیش فرض ۱۶۵ درجه است. به این معنی که زوایای کمتر از ۱۶۵ درجه گوشه حساب شده و این استراتژی روی آن قابل انجام است. (حداکثر ۱۷۶ درجه)
  - «Cusp» برای تعیین ارتفاع زبری سطح
  - «Maximum passes» حداکثر تعداد پاس‌ها جهت ماشین کاری فیلت‌ها (گوشه‌های گرد)
  - بر روی Accept کلیک کرده تا Tool Path ایجاد شود.

برای رسیدن به گوشه با شعاع یک میلی‌متر می‌توان یک بار دیگر این استراتژی را با ابزار سرگرد با قطر ۲ میلی‌متر تعریف کرد



## استراتژی سوراخ کاری Drilling

اکنون می‌خواهیم عملیات مته مرغک زنی و سوراخ کاری را بر روی مدل فعالیت ۱ انجام دهیم.

- ۱ فایل Project 4 را باز کنید.
- ۲ ابتدا باید یک باند برای سوراخ‌های قطعه بسازید (به شرح زیر).
- ۳ بلوک را خاموش و روی سطح بالایی سوراخ‌ها کلیک کنید تا انتخاب شود.
- ۴ روی گزینه Boundary از پنجره Explorer کلیک راست و از روش‌های تعریف باند روش User Defined را انتخاب کنید.
- ۵ در پنجره باز شده آیکن Model را انتخاب تا باند بر روی مدل ساخته شود. و سپس دکمه Accept را کلیک کنید (لبه مدل، سوراخ‌ها و حفره زرد رنگ می‌شود) شکل ۱۲۸
- ۶ نمای دید از بالا را انتخاب و مدل را نیز خاموش کنید و به‌غیر از سوراخ‌ها بقیه خطوط زرد را Delete کنید. باند مورد نظر آماده است (شکل ۱۲۸).



شکل ۱۲۸

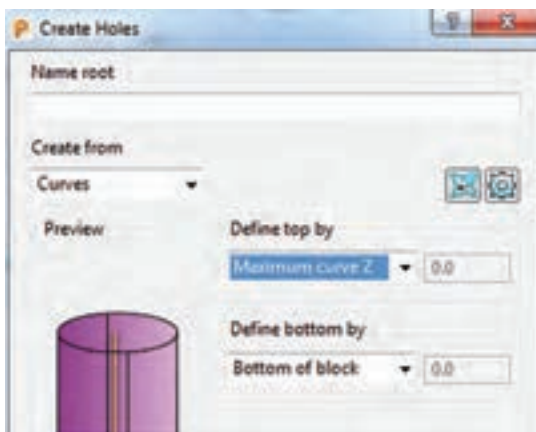
۷ از ناحیه گرافیکی دایره سوراخ‌ها را انتخاب کرده و از قسمت Explorer بر روی گزینه Hole Create کلیک راست و سپس گزینه Create Hole را انتخاب کنید. تا یک نمایه (فیچر Feature) برای سوراخ‌ها ساخته شود.

۸ در کادر باز شده تنظیمات نشان داده شده در شکل ۱۲۹ را اعمال کنید.

○ از بخش Create from گزینه Curve را انتخاب کنید.

○ از بخش Define top by گزینه Maximum curve Z curve z تا سطحی که دواير سوراخ‌ها قرار گرفته بعنوان سطح بالای سوراخ‌ها تعیین شود.

○ از بخش Define bottom by گزینه Bottom of block را انتخاب تا کف بلوک به‌عنوان انتهای کار تعیین گردد.



شکل ۱۲۹

- ۹ اکنون استراتژی Drilling را از مجموعه استراتژی‌ها اجرا کنید.
- ۱۰ شکل ۱۳۰ تنظیمات این استراتژی برای عملیات مته مرغک‌زنی را نشان می‌دهد.



شکل ۱۳۰

### شرح تنظیمات

- **Cycle type** جهت تعیین نوع سیکل سوراخ کاری است: برای مته مرغک‌زنی گزینه Single peck، برای سوراخ کاری Deep drill، برقوکاری Ream، قلاویززنی Treading و غیره
- **Define top by** انتخاب روش تعیین سطح بالای سوراخ، گزینه Hole top را انتخاب کنید.
- **Operation** تعیین نوع عملیات :
  - **Center drill**: مته مرغک‌زنی
  - **Pre drill**: سوراخ کاری
  - **Chamfer**: پخ‌زنی
- **Clearance**: از پارامترهای مهم می‌باشد و معنی اش این است که مته با سرعت سریع (G00) پایین می‌آید و از فاصله عدد درج شده در این کادر نسبت به سطح سوراخ به بعد با سرعت پیشروی حرکت می‌کند. در سوراخکاری با مته‌ها این عدد مانع برخورد سریع مته با براده‌های جمع شده در کف سوراخ می‌شود.
- **Start**: نقطه شروع نسبت به سطح بالای سوراخ
- **Depth**: عمق سوراخ کاری
- **Dwell time**: زمان مکث جهت شکستن براده

## مته مرغک زنی

در اینجا برای مته مرغک زنی تنظیمات زیر را انجام دهید (شکل ۱۳۰).

- ۱ گزینه Single peck را انتخاب کنید.
- ۲ گزینه Hole Top را انتخاب کنید.
- ۳ گزینه Center drill را انتخاب کنید.
- ۴ عمق سوراخ را ۳ میلی‌متر و Clearance را یک میلی‌متر وارد کنید.
- ۵ ابزار از نوع Drill و با قطر ۲ میلی‌متر تعریف نمایید. (در عمل مته مرغک روی ماشین بسته می‌شود)
- ۶ در سوراخکاری Link حتماً از نوع Safe تعریف شود. (نوع حرکت Safe سریع G00 است.)
- ۷ اکنون با کلیک بر روی دکمه Select کادر شکل ۱۳۱ باز می‌شود. هردو سوراخ ۱۲ و ۲۰ را از سمت چپ این پنجره انتخاب و بر روی علامت Add کلیک کنید تا به سمت راست منتقل شوند. سپس دکمه Select و نهایتاً Close را کلیک کنید (شکل ۱۳۲).



شکل ۱۳۱



شکل ۱۳۲

۸ دقت کنید تیک گزینه Drilling Cycle Out put را قبل از محاسبه Toolpath بردارید.

۹ روی دکمه Calculate کلیک کنید تا Toolpath مته مرغک زنی ایجاد شود.

سوراخ کاری با پیش مته ۶

استراتژی Drilling را مجدداً اجرا کنید و تنظیمات آن را به شکل ۱۳۳ انجام دهید.

ابزاری از نوع Drill با قطر ۶ میلی‌متر تعریف کنید.



شکل ۱۳۳

● Peck Depth

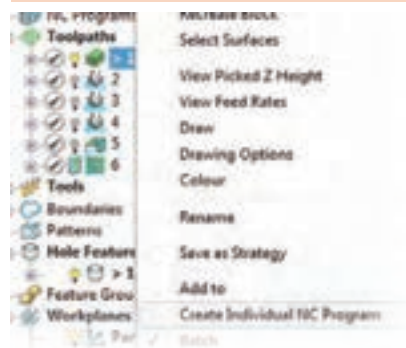
در سوراخ‌کاری، مته عمق کل سوراخ ( ۲۳ میلی‌متر) را در یک مرحله سوراخ نمی‌کند، بلکه در چند مرحله و هر بار به عمق عدد تنظیم شده در کادر فوق عمل (۳mm) سوراخ‌کاری انجام گرفته، بالا می‌آید دوباره با سرعت (G00) پایین آمده و ازفاصله Clearance (نسبت به موقعیت قبل) به بعد با سرعت پیشروی (G01)، ۴ میلی‌متر دیگر نفوذ می‌کند.

$$4 = \text{Clearance (1 mm)} + \text{Peck Depth (3 mm)}$$

مانند حالت مته مرغک‌زنی با کلیک بر روی دکمه Select و انتخاب سوراخ‌ها و کلیک بر دکمه Calculate مسیر ابزار یا Toolpath برای مته ۶ ایجاد می‌شود.

استراتژی سوراخ‌کاری را برای هر دو سوراخ با مته ۱۲ و سپس فقط برای سوراخ ۲۰ با مته ۱۸ ایجاد کنید. سپس با استراتژی Constant z Finishing و ابزار ۱۰ از نوع End Mill قطر سوراخ ۱۸ را به ۲۰ برسانید. و آن را با نام Project 5 ذخیره کنید.

فعالیت  
عملی ۲۵



شکل ۱۳۴

گام نهم: تهیه برنامه ماشین‌کاری

(NC Program و Write یا نوشتن برنامه)

برای تهیه برنامه ماشین‌کاری NC Program ابتدا Toolpath مورد نظر را با کلیک راست بر روی آن Active کنید.(ازناحیه Explore r

۱ دوباره بر روی نام آن کلیک راست کنید.

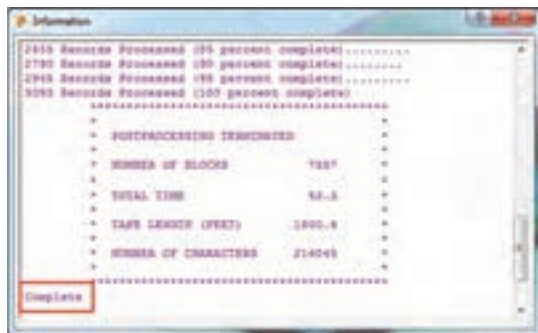
۲ پس از آن روی گزینه Create Individual NC Program

کلیک نمایید (شکل ۱۳۴).



شکل ۱۳۵

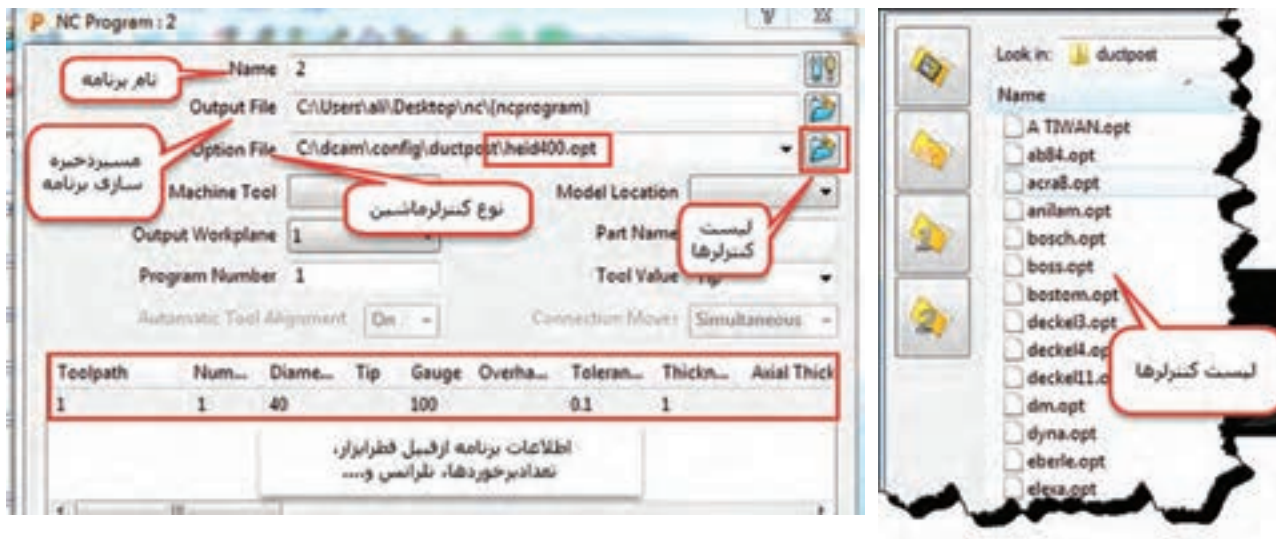
۳ اکنون از زیر شاخه NC Program بر روی نام برنامه ایجاد شده کلیک راست کنید.  
 ۴ گزینه Write را کلیک کنید، تا برنامه ایجاد شود (شکل ۱۳۵).



شکل ۱۳۶

۵ برنامه شروع به رایت شدن شده و در پایان فرم شکل ۱۳۶ ظاهر می‌شود. ( عبارت Complete) باید در انتهای برنامه دیده شود.

۶ اگر بخواهید در مسیر ذخیره سازی برنامه، نام برنامه، نوع ماشین و کنترلر آن و... تغییراتی ایجاد کنید، می‌توانید بر روی نام برنامه در زیر شاخه NC Program کلیک راست و گزینه Setting را انتخاب کرده و پس از انجام تغییرات دوباره روی دکمه Write کلیک کرده تا برنامه مجدداً رایت شود (شکل ۱۳۷).



شکل ۱۳۷

۷ اکنون می‌توان برنامه را مستقیماً یا توسط برنامه واسطه مانند Note pad ویندوز و یا برنامه CIMCO باز کرده و به ماشین ارسال کرد.



فایل Project 5 را که در فعالیت ۳۰ ایجاد کرده اید باز کنید و سپس برای تمام استراتژی‌های خشن کاری، حفره تراشی، پرداخت کاری و سوراخ کاری‌های ایجاد شده به صورت جداگانه برنامه ماشین کاری را ایجاد و آنها را Write کنید.

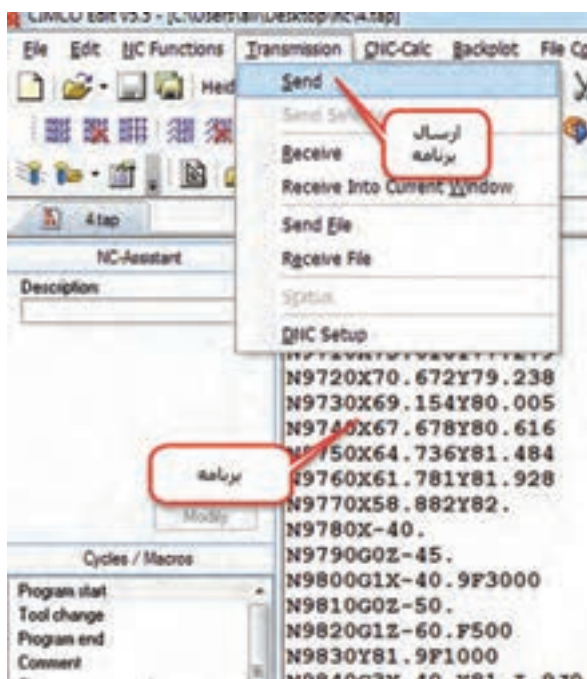
می‌توانید تمام استراتژی‌های ایجاد شده را با هم ادغام کرده و سپس آن را Write کنید تا فقط یک برنامه جامع از تمام استراتژی‌ها ایجاد شود. برای این کار از زیرشاخه Tool path، با گرفتن کلید Ctrl و درگ کردن برنامه‌ها روی هم آنها را ترکیب یا (append) کنید.

### گام دهم: ارسال برنامه به CIMCO و ماشین



شکل ۱۳۸

از این برنامه به عنوان واسطه پاورمیل و ماشین استفاده می‌شود به این معنی که می‌توان برنامه رایت شده را در آن باز کرده، مسیر ابزار و کدهای آن را مشاهده و ویرایش و به دستگاه ارسال نمود. آیکون برنامه به شکل ۱۳۸ می‌باشد.



شکل ۱۳۹

- برنامه CIMCO را نصب و اجرا نمایید.
- از منوی File یکی از برنامه‌های رایت شده در فعالیت عملی ۳۱ را باز کنید.
- در پنجره سمت چپ محیط CIMCO، می‌توانید خطوط برنامه را مشاهده و ویرایش کنید.
- از منوی Transmission با کلیک بر روی دستور Send می‌توانید برنامه را از طریق پورت و کابل متصل به دستگاه ارسال نمایید (شکل ۱۳۹).



- برای مشاهده کدهای برنامه و اصلاح آن، از منوی Backplot گزینه Backplot Window را انتخاب کنید تا پنجره نمایش مسیر ابزار قابل مشاهده شود.
  - در صورت عدم نصب برنامه CIMCO می توانید برنامه را توسط برنامه Notepad ویندوز باز و مشاهده کنید شکل ۱۴۰ بسته به نوع DOCPOST ایی که برای کنترلر ماشین نوشته شده است، اصلاحاتی در خطوط ابتدایی برنامه انجام و آن را ذخیره می کنند. به عنوان مثال:  
برای کنترلر Simens 850 :
- خطوط برنامه را تا انتهای خط ۹۳: LIFTS: پاک کرده خطوط زیر را به آن اضافه کرده و برنامه را ذخیره و ارسال کنید.

```
%_N - b۱۰_ MPF
; $PATH=/_N_MPF_DIR
N۲۰ G۹۰ G۵۴ G۶۴
```

فعالیت

#### فعالیت تکمیلی

مدلهایی که در پودمان قبل و در نرم افزار سالیید ورکز ایجاد کرده اید باز کرده و برنامه های ماشین کاری مناسب را برای آنها تهیه کنید.



```
3:nap - Notepad
File Edit Format view Help
%
:0001
G91 G28 X0 Y0 Z0
G40 G17 G80 G49
G0 G90 Z80.
T1 M6
G54 G90 T0
( Toolpath Name: 1 )
( Output: )
( Units: MM )
( Tool Coordinates: Tip )
( Tool Number: 1 )
( Tool Id: 1 )
( Coolant: Standard )
( Gauge Length: 100.0 )
( Block: )
( MIN X: -145.000 )
( MIN Y: -65.000 )
```

شکل ۱۴۰

## واحد یادگیری ۲

### کار با چاپگر سه بعدی

#### مقدمه

پیشرفت فناوری‌های نوین در دهه‌های اخیر موجب شده است که بشر به منظور رفع نیازهای صنعتی، ماشین‌های جدیدی را به خدمت گیرند. استفاده از سیستم‌های هوشمند و حذف دخالت دست در تولید صنعتی سال‌های اخیر با عنوان انقلاب صنعتی چهارم شناخته می‌شود. ایده انقلاب صنعتی چهارم در سال ۲۰۱۱ در نمایشگاه صنعتی هانوفر آلمان معرفی شد. این ایده همانطور که ارتباطات و بازار مصرف را دگرگون کرد، تولید را نیز تحت تأثیر خویش قرار داد. ایده اصلی انقلاب صنعتی چهارم این است که تولید صنعتی باید همگام با فناوری اطلاعات و ارتباطات پیشرفته رشد کند. در این میان نمونه سازی سریع (RP) با طراحی و ساخت دستگاه‌های «چاپگر سه بعدی» نقش پر رنگی در فرایند ساخت و تولید را مطرح نمود.

#### استاندارد عملکرد

تهیه و تولید برنامه برای ساخت نمونه فیزیکی به کمک دستگاه چاپگر سه بعدی.

#### پیش نیاز و یادآوری

برای یادگیری این واحد هنرجو باید علاوه بر آشنایی کار با رایانه با یکی از نرم‌افزارهای مدل سازی مانند Solidworks و Inventor و.... هم آشنا باشد.

## روش‌های متداول ساخت قطعات

روش‌های تولید معمول و رایج قطعات که امروزه در صنعت بیشتر دیده می‌شود عبارتند از : ریخته‌گری، فورج، نورد، اکستروژن، کشش، شکل‌دهی ورق، انواع روش‌های ماشین‌کاری و...

	شکل‌دهی ورق		اکستروژن		ریخته‌گری
	نورد		کشش		فورج

به کمک هنر آموز خود نام فرآیندهای ساخت زیر را بنویسید.

فعالیت ۱



توضیح	نام	شکل	توضیح	نام	شکل
					
					







## چاپگر سه بعدی (3D printer)

چاپ سه بعدی یکی از روش‌های نمونه‌سازی سریع به‌شمار می‌آید که در مقایسه با «روش‌های نمونه‌سازی معمول» از سرعت بیشتر، دقت بالاتر و هزینه کمتر در نمونه‌سازی قطعات برخوردار است از جمله محاسن آن می‌توان به کاهش زمان، کاهش هزینه، افزایش سرعت طراحی محصول جدید، اعمال سریع اصلاحات و عرضه سریع محصولات جدید به بازار اشاره نمود.

محدودیت‌های عمده نمونه‌سازی سریع از قبیل خواص مکانیکی نسبتاً ضعیف قطعات تولیدی، هزینه بالای نگهداری دستگاه و کاهش کیفیت سطح را می‌توان بر شمرد.

کاربردهای چاپگر سه بعدی: امروزه مدلسازی سه بعدی در رشته‌های گوناگونی همچون قطعه‌سازی،

معماری، طراحی صنعتی، رباتیک، صنایع هوافضا و... رایج شده است. این مدل‌سازی‌ها تا پیش از این به شکل تصاویر دو بعدی روی نمایشگر یا روی کاغذ ارائه می‌شدند و یا به روش‌های سنتی به کمک مهارت دست ساخته می‌شدند تا افراد با دیدن آنها درکی از آنچه طراحان در ذهنشان دارند را بدست آورند. اما چاپگرهای سه بعدی ایده‌های طراحان را در زمان بسیار کوتاهی به واقعیت تبدیل می‌کنند.

	انیمیشن		صنایع نظامی
	خودرو		صنایع فضایی
	بزرگی		طلا و جواهر

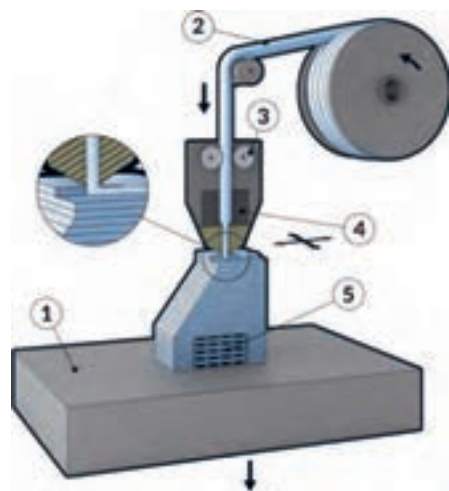
### تکنولوژی چاپگرهای سه بعدی

تکنولوژی‌های استفاده شده در چاپگرهای سه بعدی به شرح زیر است.

#### ۱- تکنولوژی FDM

(Fused Deposition Modeling):

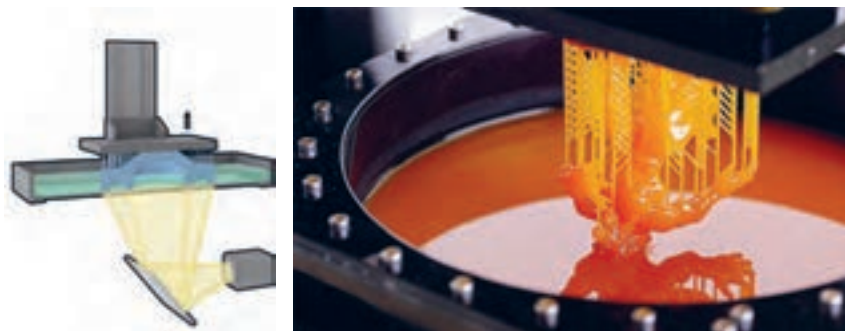
چاپگرهایی که با این فرآیند کار می‌کنند از یک فیلامنت (Filament) «سیم پلاستیکی توپر»، از جنس ترموپلاستیک تغذیه می‌کنند که با ذوب کردن این فیلامنت و سپس اکستروژن (Extrude) کردن آن جسم سه بعدی را به صورت لایه به لایه تشکیل می‌دهد.



**نحوه کار FDM:** در این روش، نازل اکستروژن حرکتی افقی و عمودی را برای رسم مقطع نمونه مورد نظر بر روی صفحه (platform) طی می‌کند. این لایه نازک که از پلاستیکی سخت می‌باشد، بلافاصله به لایه زیر چسبیده و هنگامی که لایه کامل می‌شود. لایه بعدی روی آن از مواد ذوب شده تشکیل می‌شود و این عمل لایه به لایه تا جایی ادامه پیدا می‌کند که هندسه قطعه کار کامل شود. در این تکنولوژی چاپگر سه بعدی کیفیت سطح نسبتاً متوسط و سرعت نسبتاً پایین دارد. اما یکی از متداول‌ترین روش‌های امروزه می‌باشد.

**۲- تکنولوژی DLP (Digital Light Processing):** پردازش دیجیتال نور با استفاده از منبع نور معمولی، از این روش برای ساخت نمونه‌های با دقت بالا در صنعت طلاسازی، دندانپزشکی و ساخت مدل‌های ریخته‌گری

دقیق استفاده می‌شود. در این روش رزین‌های پلیمری در یک مخزن قرار دارد و با تابش نور به این رزین‌های پلیمری داخل مخزن مواد تغییر حالت داده و قطعه مورد نظر تولید می‌شود تابش نور به صورت لایه لایه بوده و هر لایه از قطعه یکجا شکل می‌گیرد. قطعات تولیدی توسط این روش از دقت بالایی برخوردار هستند.



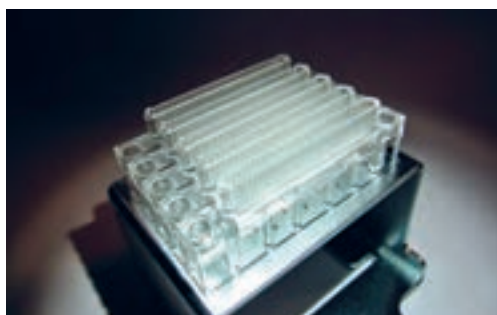
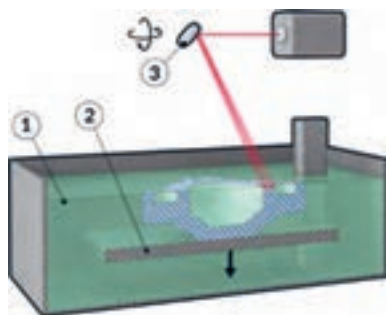
شکل ۱۴۱

با استفاده از منابع معتبر تفاوت تکنولوژی DLP با تکنولوژی SLA را بیان کنید.

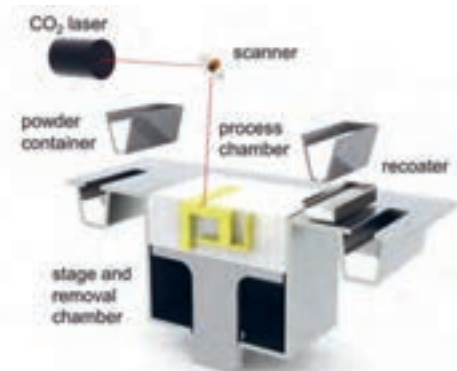
تحقیق کنید



**تکنولوژی SLA (StereoLithography):** تبدیل مواد اولیه از جنس پلیمر مایع به جامد، در این تکنولوژی برخلاف تکنولوژی‌های دیگر، از یک مایع رزین و تابیدن اشعه بر روی این مایع و در نهایت جامد شدن آن و ساختن نمونه استفاده می‌شود.



شکل ۱۴۲



شکل ۱۴۳

### تکنولوژی SLS (Sintering Laser Selective):

تکنولوژی لیزری و رسوب مواد اولیه معمولاً فلزی، این روش در مقایسه با دیگر روش‌های چاپ سه بعدی می‌تواند از مواد اولیه مختلفی برای ساخت قطعات استفاده نمود. موادی از جنس پلیمرها مانند نایلون (خالص و شفاف)، پلی‌استر، فلزات (از جمله فولاد، تیتانیوم) آلیاژهای مخلوط، کامپوزیت‌ها و شن می‌توانند به عنوان مواد اولیه چاپ به وسیله این تکنولوژی به کار بروند.

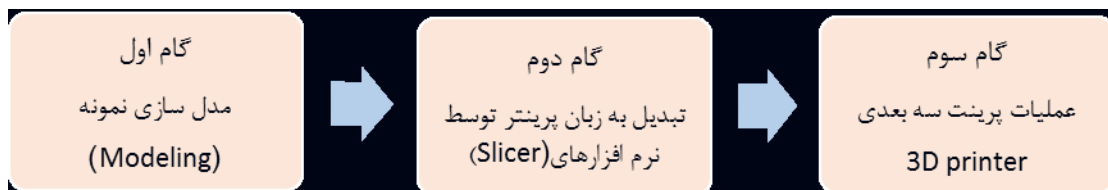
نکته

رایج ترین نوع چاپ سه بعدی روش FDM می‌باشد که با توجه به گستره کاربردی فراوان، قیمت مناسب و سایر مزایای شرح داده شده به فراگیر ترین روش چاپ سه بعدی تبدیل شده است.



### مراحل کار چاپگر سه بعدی

برای انجام عملیات پرینت سه بعدی سه گام زیر باید طی شود.



**گام اول:** در بخش مدل سازی توضیح داده شده است.  
**گام دوم:** استفاده از نرم افزارهای برش دهنده (Slicer) می‌باشد. وظیفه این نرم افزارها تبدیل مدل سه بعدی به برش‌های عرضی که با قرار دادن این برش‌ها بر روی هم هندسه قطعه کار کامل می‌شود. هرکدام از این برش‌ها جهت عملیات به دستگاه چاپگر سه بعدی فرمان حرکت ترکیبی طولی و عرضی مناسب نازل را می‌دهد.  
**گام سوم:** فرآیند ریزش پلاستیک خمیری شده به صورت صفحه به صفحه روی هم که در دستگاه چاپگر سه بعدی انجام می‌شود.

نکته

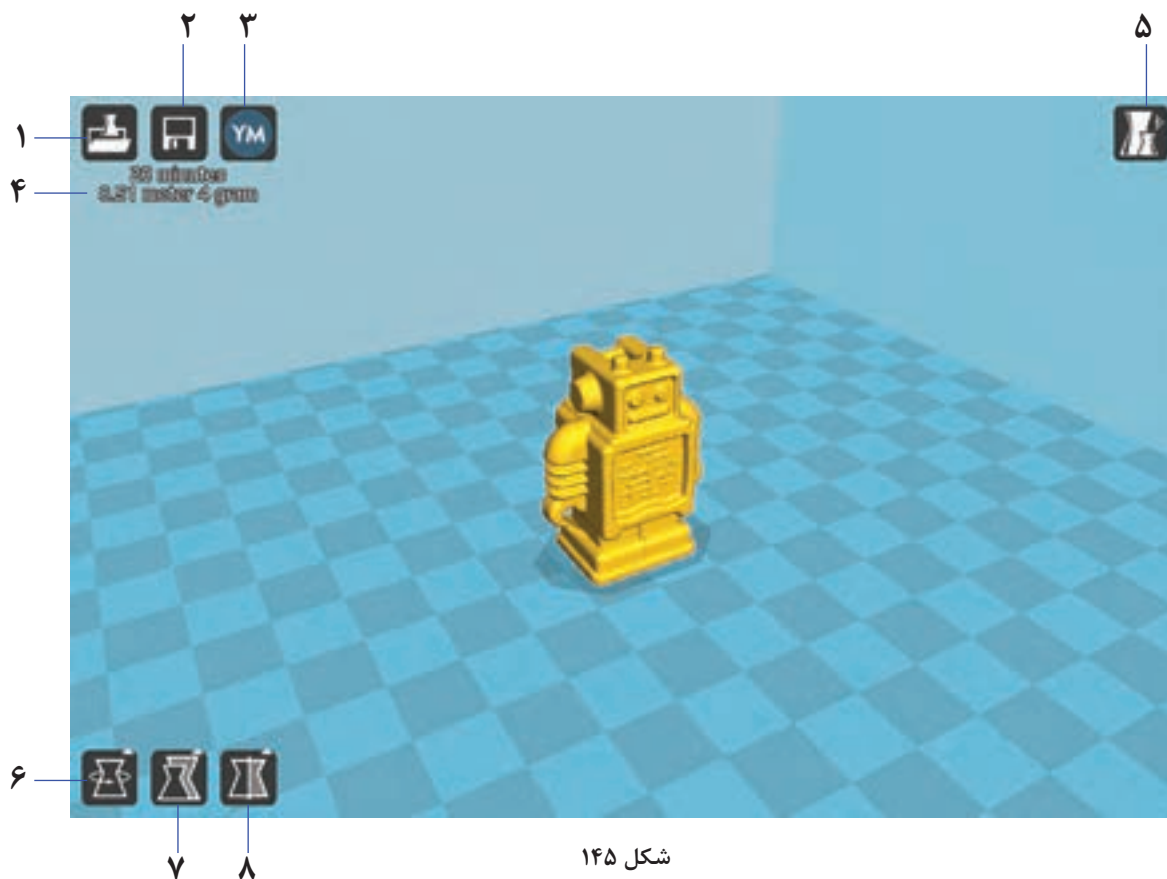
اصول کار همه نرم افزارهای برش دهنده بسیار مشابه می‌باشد.



نرم افزارهای برش دهنده فرضی مدل اهمیت خاصی در کیفیت پرینت خواهد داشت که نرم افزار Cura به عنوان نرم افزار استفاده شده در این کتاب توضیح داده خواهد شد.

## آموزش کار با نرم افزار (Cura)

در ابتدا از مدلی که در نرم افزار سه بعدی طراحی کرده ایم خروجی با پسوند stl و با obj می‌گیریم، برای اینکه cura این فرمت را می‌خواند. زمانی که در برنامه cura یک طرح سه بعدی با فرمت stl را باز می‌کنیم در صفحه شطرنجی cura آبجکت (قطعه کار) خود را می‌بینیم.



شکل ۱۴۵

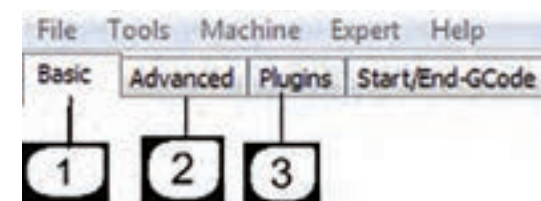
تحلیل و نمایش پروسه پرینت در حالات مختلف		۵	بارگذاری مدل سه بعدی طراحی شده با پسوندهای <code>.stl/obj/dae/amf</code> شده		۱
چرخش مدل و یا برگرداندن به حالت اولیه		۶	ذخیره مدل به زبان ماشین (Gcode)		۲
تغییر اندازه مدل و یا برگرداندن به ابعاد اولیه		۷	اشتراک گذاری مدل		۳
قرینه سازی یا مدل آینه ای در راستای محورها		۸	زمان پرینت، طول و وزن فیلامنت		۴

### نوار ابزارهای مهم Cura

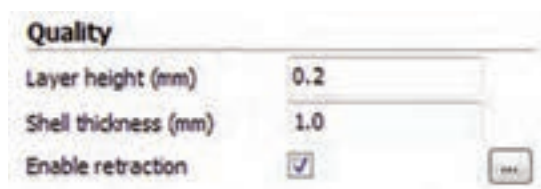
علاوه بر زبانه های تصویری (۱ تا ۸) با کلیک راست کردن روی صفحه نمایش گزینه های زیر نمایان می شود.



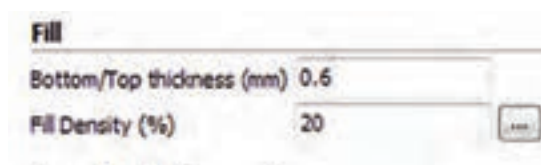
شکل ۱۴۶



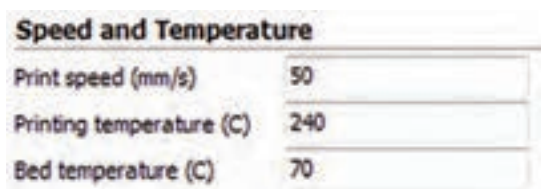
شکل ۱۴۷



شکل ۱۴۸



شکل ۱۴۹



شکل ۱۵۰

- ۱- قرار دادن مدل در وسط صفحه ساخت
- ۲- پاک کردن مدل از صفحه ساخت.
- ۳- ایجاد کپی از مدل
- ۴- جدا کردن مدل به اجزای تشکیل دهنده.
- ۵- پاک کردن کلیه مدل.
- ۶- بار گذاری همه مدل ها.
- ۷ و ۸- برگرداندن مدل (موضوع) پرینت به موقعیت اولیه

### تنظیمات اصلی نرم‌افزار

تنظیمات اصلی نرم‌افزار برای انجام عملیات پرینت به قرار زیر می‌باشد.

#### ۱- Basic setting

##### ● Quality (کیفیت پرینت)

layer height: جهت تعیین ضخامت لایه‌های پرینت.  
 shell thickness: ضخامت دیواره‌های خارجی مدل در راستای افق. حالت متعارف برای این گزینه برابر است با ضرایب قطر نازل دستگاه. (در حالت نرمال باید حداقل دو برابر سایز نازل باشد).  
 Enable retraction: تو و پس کشیدن نازل.

##### ● Fill (پر کردن)

Botton/Top thickness : جهت تعیین نمودن ضخامت کف مدل و ضخامت بالای مدل که معمولاً ضرایبی از ضخامت لایه‌ها می‌باشد که در قسمت بالا اشاره گردید.

Fill Density: جهت تعیین نمودن درصد تراکم شبکه‌های داخل مدل.

##### ● Speed And Temperature (سرعت و دما)

Print Speed: جهت تعیین سرعت حرکت اکسترودر به کار می‌رود. سرعت حرکت اکسترودر تعیین‌کننده کیفیت چاپگر می‌باشد.

Print Temperature: جهت تنظیم دمای اکسترودر اصلی (اکسترودر سمت چپ) به کار می‌رود و قابل ذکر است که می‌بایست بر اساس نوع مواد مورد استفاده تنظیم گردد.



**Bed Temperature:** جهت تنظیم دمای صفحه ساخت به کار می‌رود و قابل ذکر است که می‌بایست بر اساس نوع مواد مورد استفاده تنظیم گردد. (مقدار صفر این گزینه را غیرفعال می‌نماید).

● **Support:** (نگه دارنده)

**Support Type:** جهت مدل‌هایی که نیازمند ساپورت گذاری می‌باشند، فعال نمودن این گزینه مهم می‌باشد. اصولاً قطعاتی که دارای زاویه ۴۵ درجه به بالا می‌باشند، ساپورت گذاری الزامی است. عدم ساپورت گذاری باعث ریزش مواد از روی مدل در حال پرینت و در نتیجه خراب شدن پرینت می‌شود.



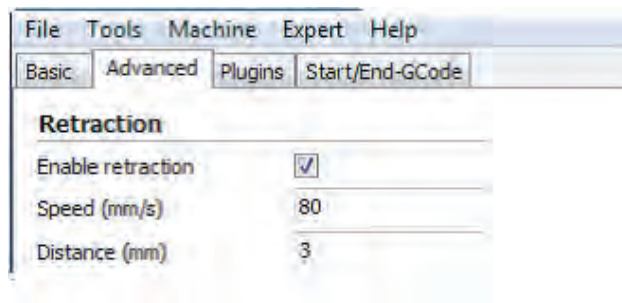
شکل ۱۵۱

**Platform Adhesion Type:** گزینه‌های متفاوتی جهت جلوگیری از بلند شدن لبه‌های قطعه در حال پرینت از صفحه ساخت در این گزینه موجود می‌باشد.

**Filament:** برای تنظیم ابعاد فیلمان و جریان ذوب به کار می‌رود.

**Machin:** برای تنظیم ابعاد نازل به کار می‌رود.

**۲- Advance Setting**



شکل ۱۵۲

● **Retraction:** (تنظیمات تو و یا پس کشیدن)

**Speed:** جهت تعیین سرعت پس کشیدن مواد می‌باشد و سرعت مناسب باعث پرینت با کیفیت می‌شود که معمولاً سرعت ۸۰ میلی‌متر بر ثانیه مورد استفاده قرار می‌گیرد. انتخاب سرعت بالا ممکن است باعث افت کیفیت پرینت شود.

**Distance:** جهت تعیین اندازه پس کشیدن مواد به کار می‌رود. تعیین مقدار صفر به منزله خاموش نمودن عمل پس کشیدن می‌باشد. تعیین مقدار ۵ برای این گزینه باعث پرینت با کیفیت می‌شود.



شکل ۱۵۳

● Quality : (کیفیت)

Quality	
Initial layer thickness (mm)	0.3
Initial layer line width (%)	100
Cut off object bottom (mm)	0.0
Dual extrusion overlap (mm)	0.15

شکل ۱۵۴

**Initial Layer Thickness** جهت تعیین ضخامت پایین ترین لایه از بستر به کار می‌رود.  
**Initial Layer line width** جهت تعیین ظرفیت اکسترودر در هنگام پرینت لایه اول به کار می‌رود.  
**Cut Off Object Bottom** جهت فرو بردن مدل در صفحه کار می‌باشد. این گزینه در مواقعی مورد استفاده قرار می‌گیرد که مدل دارای کف صاف نمی‌باشند و همچنین جهت بریدن قطعه و پرینت نمودن قسمتی از آن کاربرد دارد.  
**Dual Extrusion overlap**: هم‌پوشانی نازل ثانویه بر روی نازل اصلی (در پرینت‌های دو نازل)

● Speed : (سرعت کار)

Speed	
Travel speed (mm/s)	150
Bottom layer speed (mm/s)	20
Infill speed (mm/s)	0.0
Top/bottom speed (mm/s)	0.0
Outer shell speed (mm/s)	0.0
Inner shell speed (mm/s)	0.0

شکل ۱۵۵

**Travel speed**: جهت تعیین سرعت حرکت نازل در حالتی که پرینت انجام نمی‌شود بکار می‌رود. معمولاً تعیین سرعت ۸۰ بهترین سرعت است و افزایش مقدار آن احتمال ایجاد خطا نیز دارد.  
**Bottom layer Speed**: جهت تعیین سرعت پرینت در هنگام پرینت لایه اول به کار می‌رود. مقدار ۲۰ برای این گزینه مقدار خوبی است و تعیین مقدار صفر به معنی انتخاب سرعت پرینت لایه اول همانند سرعت پرینت لایه‌های دیگر می‌باشد. کاهش سرعت باعث افزایش چسبندگی لایه اول به صفحه ساخت می‌شود.  
**Infill Speed**: جهت تعیین سرعت پرینت شبکه داخلی مدل می‌باشد. تعیین مقدار صفر به معنی انتخاب سرعت پرینت شبکه داخل همانند سرعت پرینت لایه‌های دیگر می‌باشد.  
**Top / bottom Speed** تعیین سرعت لایه اول و لایه آخر  
**Outer shell Speed** جهت تعیین سرعت پرینت در هنگام پرینت دیواره‌های خارجی می‌باشد. تعیین مقدار صفر به معنی انتخاب سرعت پرینت دیواره‌های خارجی همانند سرعت پرینت لایه‌های دیگر می‌باشد. کاهش سرعت پرینت دیواره‌های خارجی باعث افزایش کیفیت دیواره‌های خارجی می‌شود.  
**Inner shell Speed** جهت تعیین سرعت پرینت در هنگام پرینت دیواره‌های داخلی می‌باشد. تعیین مقدار

صفر به معنی انتخاب سرعت پرینت دیواره‌های داخلی همانند سرعت پرینت لایه‌های دیگر می‌باشد. افزایش سرعت پرینت لایه‌های داخلی باعث کاهش زمان پرینت می‌شود.

● **COLL:** خنک کردن مواد ریخته شده از نازل

فعالیت ۲



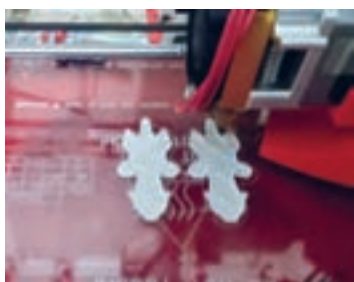
تنظیمات اولیه لازم برای نمونه دلخواه را روی دستگاه پرینتر سه بعدی موجود در هنرستان انجام داده و در فرایند شبیه‌سازی صحت حرکات را کنترل نمایید.



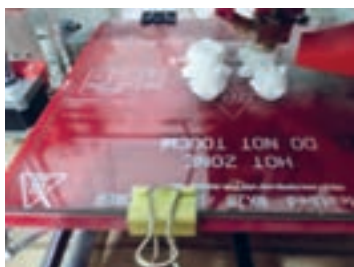
مرحله اول  
اگر تنظیمات دستگاه به درستی انجام شده باشد.  
باید دستگاه در اولین لایه شروع به سایه زدن کند.



مرحله دوم  
لایه اول مربوط (Base) قطعه کار پرینت می‌شود.



مرحله سوم  
حجم مورد نظر قطعه کار در حال تکمیل شدن



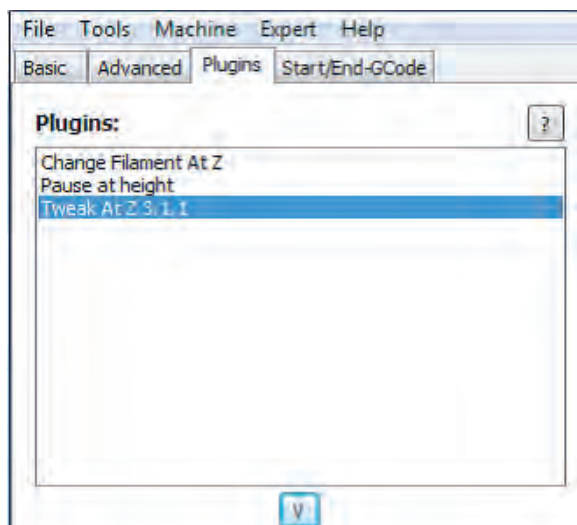
مرحله چهارم  
قطعه کار کامل شده و آماده جدا کردن از Bed می‌باشد.

قطعه شماره ۲ را مطابق مراحل زیر پرینت سه‌بعدی گرفته و شرح عملیات هر مرحله را در مقابل شکل بنویسید.



	مرحله اول
	مرحله دوم
	مرحله سوم
	مرحله چهارم

## ۳-Plugins



شکل ۱۵۶

● **Puling**: چندین افزودگی در این نرم‌افزار جهت افزایش کنترل پارامترها در این نرم‌افزار تعبیه شده است با اعمال تنظیمات در این گزینه‌ها جهت پرینت مدل‌ها با ارتفاع‌های متفاوت می‌توانید دقت پرینت خود را افزایش دهید. جهت استفاده از هر یک از این افزونه‌ها می‌توانید بروی آنها دبل کلیک نمائید. همچنین جهت بستن این افزونه‌ها می‌توانید بروی آیکون V کلیک نمائید.

یک قطعه به انتخاب خودتان مدل‌سازی نموده و سپس با استفاده از پرینتر سه‌بعدی قطعه مورد نظر را بسازید.

فعالیت ۴



## Expert setting

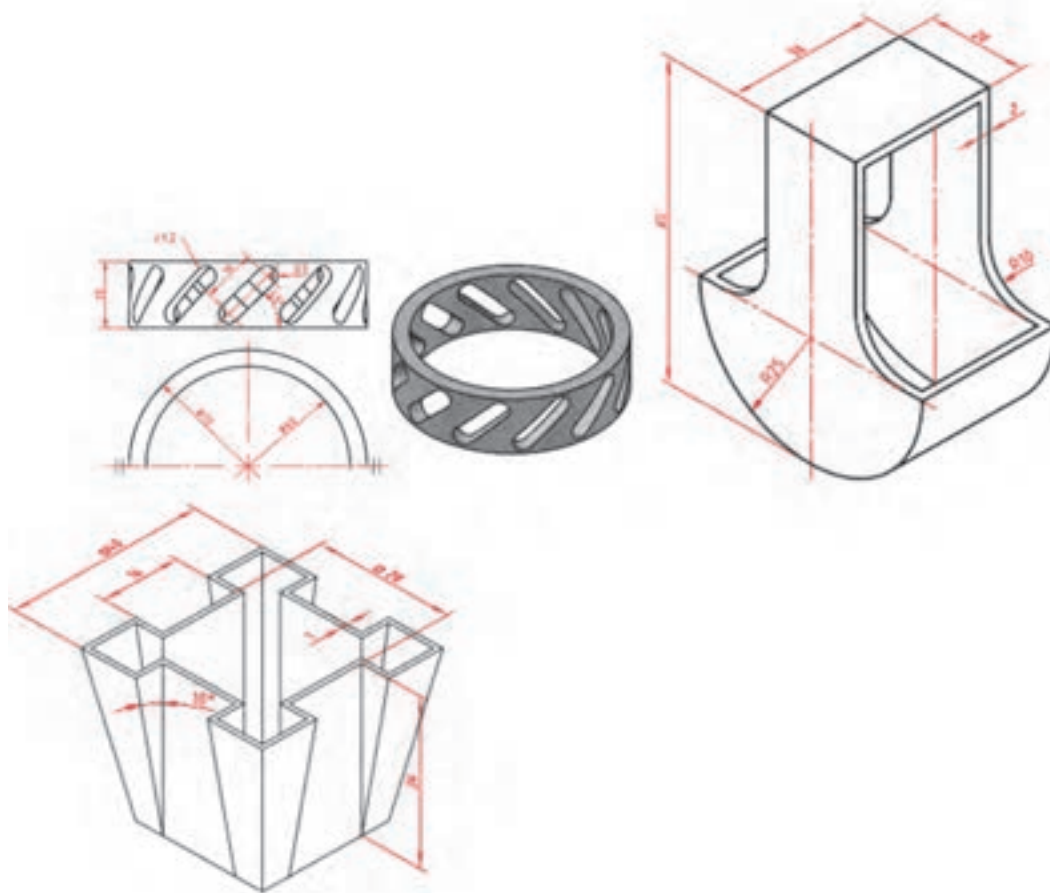
تنظیمات جزیی و دقیق‌تر که در زبانه‌های Basic و Advance توسط کاربر که نیاز به نمایش و تنظیم یک‌جا داشته باشد از گزینه Open Expert setting در زبانه Expert از نوار ابزار اصلی قابل دسترسی می‌باشد.

- ۱- Retraction: تنظیمات برگشت مواد به داخل نازل
- ۲- Skirt: محدوده پرینت را مشخص می‌کند (در هنگام شروع)
- ۳- Cool: تنظیمات دمنده و خنک‌کننده مذاب از خروجی نازل
- ۴- In fill: تنظیمات تراکم لایه‌های داخلی
- ۵- Support: تنظیمات نگهدارنده قطعه اصلی
- ۶- Black Magic: تنظیمات کیفیت گوشه‌ها در هنگام حرکت محور Z
- ۷- Brim: اجزای کمکی در ساخت صفحه اول برای جلوگیری از انقباض
- ۸- Raft: تنظیمات محدوده بستر محافظ قطعه کار

پودمان ۴: تحلیل روش‌های ساخت به کمک رایانه (CAM)

فعالیت ۵

قطعات زیر را که در فصل سوم مدل‌سازی کرده‌اید را با استفاده از پرینتر سه‌بعدی تولید کنید.



شکل ۱۵۷

فعالیت ۶

قطعه دلخواه (زینتی یا دکوری) را مدل‌سازی کرده با استفاده از پرینتر سه‌بعدی تولید کنید.



نمره	استاندارد (شاخص‌ها، داوری، نمره‌دهی)	نتایج	استاندارد عملکرد	تکالیف عملکردی (شایستگی‌ها)
۳	۱- تهیه برنامه ماشین‌کاری قطعات پیچیده برای فرز CNC ۲- ساخت قطعات پیچیده با استفاده از چاپگر سه‌بعدی	بالاتر از حد انتظار	۱- تهیه برنامه‌های جی کد برای قطعه مطابق نقشه  ۲- ساخت قطعات ساده با استفاده از چاپگر سه‌بعدی	تهیه برنامه ماشین‌کاری برای فرز CNC سه‌محوره
۲	۱- تهیه برنامه ماشین‌کاری قطعات ساده برای فرز CNC ۲- ساخت قطعات ساده با استفاده از چاپگر سه‌بعدی	در حد انتظار (کسب شایستگی)		
۱	تهیه برنامه ناقص ماشین‌کاری و ساخت قطعات ساده به صورت ناقص	پایین‌تر از انتظار (عدم احراز شایستگی)		تولید قطعات با استفاده از چاپگر سه‌بعدی
	نمره مستمر از ۵			
	نمره شایستگی پودمان از ۳			
	نمره پودمان از ۲۰			