

طراحی و ساخت به کمک کامپیوتر

مقدمه ای بر CAD/CAM

- با توجه به رشد روزافزون استفاده از کامپیوتر در در حوزه های مختلف علمی، کاربرد و گستردگی این وسیله بسیار زیاد شده است.
- در حوزه مهندسی مکانیک نیز با توجه به پیچیدگی محاسبات مربوطه، استفاده از کامپیوتر در صنعت امروزی اجتناب ناپذیر شده است.
- کمبود نیروی انسانی متخصص در زمینه های طراحی، ساخت و تحلیل قطعات پیچیده منجر به استقبال گسترده محققین از کامپیوتر در زمینه مهندسی مکانیک شده است.
- استفاده از ابزارهای CAD/CAM/CAE به معنای حذف خلاقیت های فردی انسان در این زمینه ها نیست بلکه این ابزارها کارهای تکراری را حذف کرده و از خطاهای ناخواسته و ناسازگاریها جلوگیری می کنند.

مقدمه ای بر CAD/CAM

مهمترین اهداف استفاده از ابزارهای CAD/CAM/CAE

(۱) تقلیل نیاز به متخصص

(۲) تقلیل زمان

(۳) تقلیل هزینه

(۴) ایجاد هماهنگی بین اعضای تیم پروژه

(۵) تقلیل اشتباهات و خطاها

مقدمه ای بر CAD/CAM

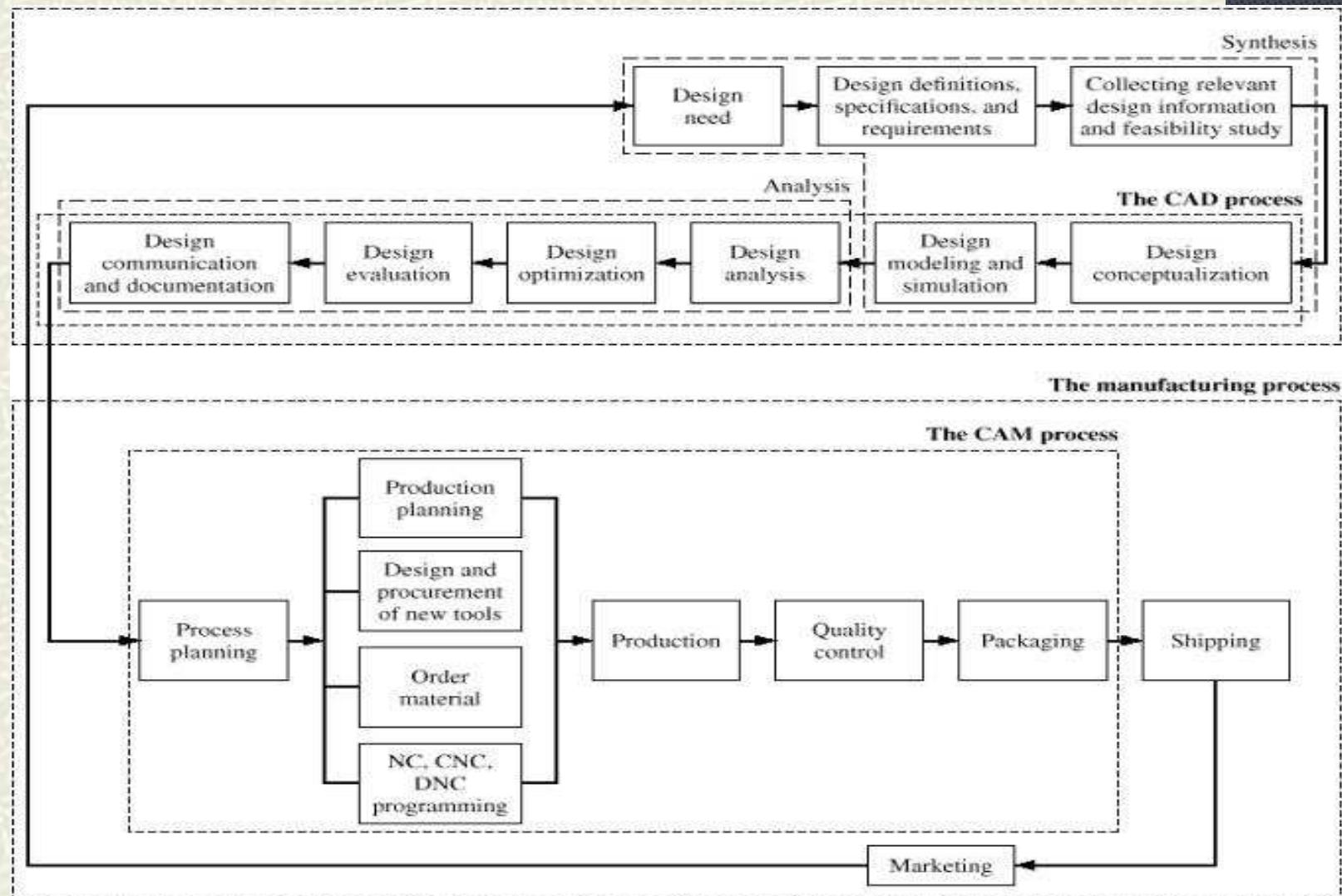
تفاوت تایپ دستی با تایپ کامپیوتری: افزایش کیفیت، کاهش زمان و هزینه، امکان ذخیره سازی، بازیابی و ارسال و نقل و انتقال متون و همچنین ترجمه یک متن به زبان های دیگر

تفاوت نقشه کشی سنتی با نقشه کشی به کمک کامپیوتر: بهبود کیفیت کار، کاهش هزینه ها، افزایش سرعت، ذخیره سازی، بازیابی و ارسال و نقل و انتقال نقشه از طریق کامپیوتر، ایمیل و اینترنت.

تفاوت طراحی سنتی با طراحی به کمک کامپیوتر:

تفاوت طراحی و ساخت سنتی با طراحی و ساخت به کمک کامپیوتر: در سالهای اخیر تحولات اساسی و توسعه در سخت افزار و نرم افزارهای طراحی، آنالیز مهندسی، ساخت و تولید، توسعه فناوری ارتباطات و اینترنت از یک طرف و پیشرفت سریع تکنولوژی ماشین های کنترل عددی و رباتیک از طرف دیگر موجب پیشرفت بسیار زیاد این زمینه شده است.

مقدمه ای بر CAD/CAM



مقدمه ای بر CAD/CAM

همانطور که در شکل مشاهده می شود چرخه تولید محصول از دو بخش عمده طراحی و ساخت تشکیل شده است.

فرایند طراحی از نیاز مشتری شده و حاصل آن مستنداتی به شکل نقشه است. فعالیت ها در طراحی ماهیتاً متفاوت بوده و بر دو نوعند: خلاقیت و تحلیل شناسایی نیاز، مشتری یابی، تعریف مسئله، تعیین مشخصات طرح، امکان سنجی فنی و اقتصادی و خلق یا ترکیب ایده طرح بر خلاقیت، نوآوری و ابتکار انسان استوار است. نتیجه و خروجی این فعالیت ها منجر به ایده طرح می شود.

اغلب اطلاعات و داده های فنی در این قسمت کیفی بوده و کامپیوتریزه کردن آنها مشکل است. همچنین علیرغم پیشرفت بسیار زیاد فناوری کامپیوتر، هنوز خلاقیت، نوآوری و ابتکار از آن انسان است و نه کامپیوتر.

در بخش دوم طراحی، فعالیت هایی که از نوع تحلیلی هستند تحت آنالیز، بهینه سازی، ارزیابی و صحه گذاری قرار می گیرند. در اینجا شکا هندسی، ابعاد، اندازه ها، جنس و خواص اجزای طرح نهایی شده و به صورت نقشه های اجرایی و لیست مواد در می آید.

مقدمه ای بر CAD/CAM

در فرایند ساخت، عملیات برنامه ریزی فرایند تولید نیز بسیار نیاز به ابتکار، خلاقیت، نوآوری و تجربه دارد و کمتر می توان از کامپیوتر استفاده کرد.

مهمترین قابلیت های کامپیوتر در فعالیت های مهندسی:

(۱) توانایی محاسبات ریاضی حجیم، خسته کننده و غیر قابل انجام توسط انسان مانند روش FEM

(۲) سرعت بالای انجام این محاسبات پیچیده

(۳) توانایی مدلسازی هندسی قطعات و مجموعه های مکانیکی

(۴) قدرت انجام کارهای گرافیکی و متحرک سازی جهت فهماندن ایده ها و طرح ها به دیگران

(۵) ظرفیت بالای ذخیره اطلاعات به طور منسجم و سازمان یافته و بازیابی سریع آنها در هر زمان

(۶) قابلیت کنترل و هدایت ماشین آلات در ماشین های پیشرفته و ربات ها و ایجاد اتوماسیون در فعالیت ها

(۷) یکنواختی در محصولات و خستگی ناپذیری کار کامپیوتر

مقدمه ای بر CAD/CAM

- ۸) به وجود آوردن مرتبه ای از هوش و بکارگیری آن در فعالیت های طراحی، ساخت و تولید
- ۹) هوشمندتر کردن و قابل اطمینان تر کردن و همچنین ارزان تر کردن محصولات صنعتی
- ۱۰) اتوماتیک کردن کارهای تکراری و روتین
- ۱۱) برقراری ارتباط سریع و لحظه ای بین واحدهای مختلف طراحی، ساخت و تولید مستقل از مکان و از طریق اینترنت

طراحی به کمک کامپیوتر

Computer Aided Design (CAD)

به طور کلی CAD به یک فرایند طراحی اطلاق می شود که در آن از بسته های نرم افزاری و سخت افزار کامپیوتر برای انجام عملیات طراحی استفاده می شود. هدف نهایی CAD افزایش بهره وری، انعطاف پذیری و آسان سازی فعالیت ها در فرایند طراحی می باشد.

سطوح مختلف کاربرد کامپیوتر در طراحی:

(۱) نقشه کشی: پایین ترین سطح استفاده از کامپیوتر در طراحی.

در این زمینه کامپیوتر، نقشه های طرح ارزیابی شده و نهایی شده را رسم نموده و برای تولید آماده می کند و بدین ترتیب جای نقشه کشی به وسیله دست انسان را گرفته و سبب ارتقای بهره وری و انعطاف پذیری می شود. مانند مجموعه نرم افزارهای Autocad

طراحی به کمک کامپیوتر Computer Aided Design (CAD)

سطوح مختلف کاربرد کامپیوتر در طراحی:

(۲) مدلسازی هندسی: مدلسازی قطعات و مجموعه ها به کمک کامپیوتر که برای خلق ایده و یا طرح از آن استفاده می شود.

استفاده از کامپیوتر در تبدیل ایده ی ذهنی از یک قطعه و نمایش سه بعدی آن مانند نرم افزار Solidworks

در این حالت، مدل طرح از ابتدا در کامپیوتر تهیه شده تا برای آنالیز و ارزیابی ارسال شود و پس از بهینه سازی ابعادی، نقشه های ساخت آن به طور خود کار قابل استخراج خواهد بود.

(۳) آنالیز و بهینه سازی

(۴) اتوماسیون در طراحی مکانیکی: پیدایش امکانات ترسیم، نورپردازی و متحرک سازی تصاویر سه بعدی به همراه مدلسازی و مونتاژ کامپیوتری سبب شده است تا امروزه این فناوری کاربرد گسترده ای در طراحی صنعتی، طراحی کارخانه و آرایش ماشین آلات پیدا کند. در این راستا نرم افزارهای قدرتمندی مثل Solidworks ارائه گشته اند.

طراحی به کمک کامپیوتر

Computer Aided Design (CAD)

سطوح مختلف کاربرد کامپیوتر در طراحی:

۵) ارزیابی و صحنه گذاری: از دیرباز یکی از آرزوهای سازمانهای تولیدی این بوده است که طراحی محصولی را که نهایی می شود بتوانند مستقیماً به تولید انبوه برسانند بدون اینکه نیاز به نمونه سازی و تست آن باشد. امروزه به کمک نرم افزارهای قدرتمند ارائه شده، طراحان قادرند عملیات مدلسازی، آنالیز، بهینه سازی، ارزیابی و شبیه سازی عملکرد یک محصول و حتی تست آن را انجام دهند.

در این راستا و در صورتی که نیاز به ساخت نمونه اولیه باشد امروزه روشهای بسیار دقیق و سریع Rapid Prototyping به وجود آمده اند.

ساخت به کمک کامپیوتر Computer Aided Manufacturing (CAM)

روند پیدایش ماشینهای CNC و استفاده از آنها در ساخت قطعات

CAM عبارت است از کاربرد موثر نرم افزار و سخت افزار کامپیوتر در فعالیت های مختلف ساخت و تولید اعم از طراحی فرایند، برنامه ریزی، کنترل فرایند و عملیات ساخت و تولید. هدف نهایی CAM اتوماسیون فعالیت های ساخت و تولید به منظور آسان سازی این فعالیت ها، افزایش بهره وری و انعطاف پذیری در تولید می باشد.

طراحی و ساخت به کمک کامپیوتر CAD/CAM

ایده ال این بخش این است که در حالتی که قرار است قطعه از طریق ماشینکاری تولید شود، داده های هندسی جسم به عنوان ورودی به کامپیوتر وارد شود و کامپیوتر به طور اتوماتیک عملیات مدلسازی، آنالیز و در نهایت آماده سازی برنامه NC برای ساخت و ارسال آن به ماشین را انجام دهد.

تولید یکپارچه کامپیوتری Computer Integrated Manufacturing(CIM)

CIM نهایت تصور بشر از تولید می باشد.

نقشه کشی صنعتی / گرافیک دو بعدی به کمک کامپیوتر

برای ترسیم یک شکل دو بعدی، داشتن اطلاعات اجزای هندسی آن از قبیل نقطه، خط، منحنی های دایروی و منحنی های غیر دایروی کافیست.

کامپیوتر به دو صورت قادر به درک و ترسیم اجزای هندسی یک شکل دو بعدی است.

(۱) گرافیک برداری (Vectorized Graphics)

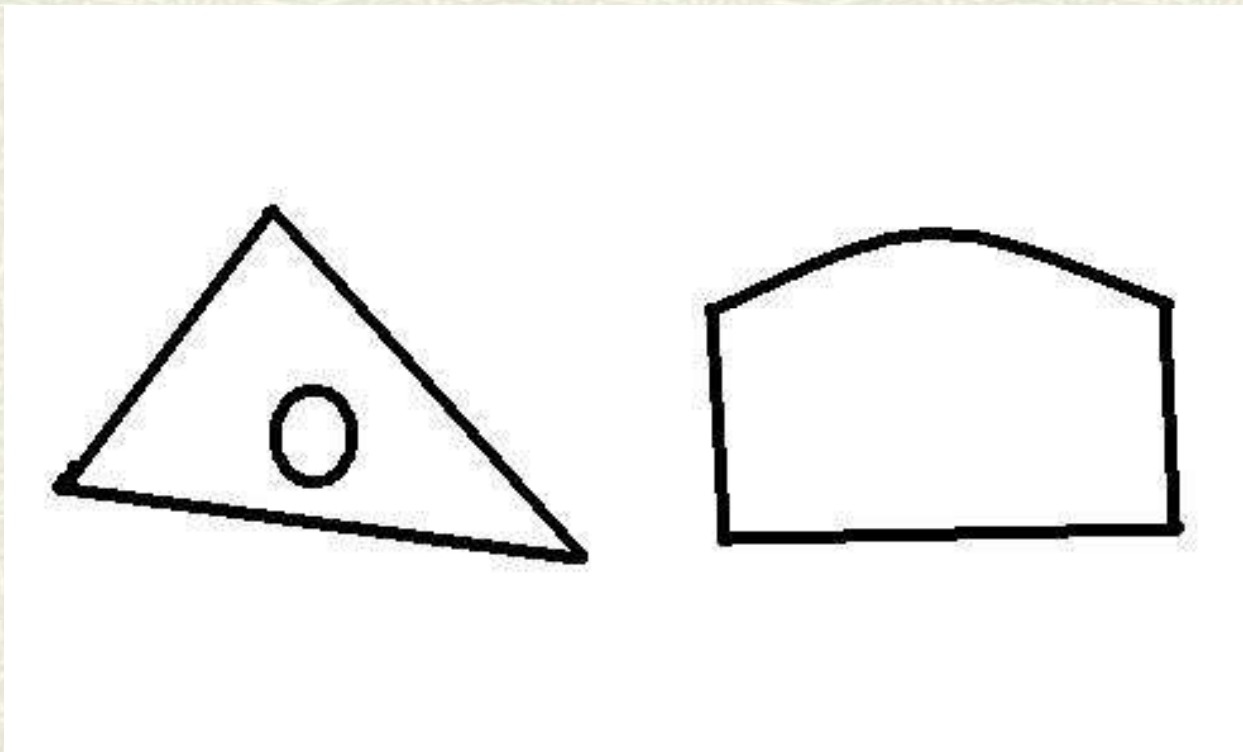
(۲) گرافیک جاروبی (Raster Graphics)

در روش برداری، تصویر بر اساس ایجاد یک بردار خطی مستقیم بین هر دو نقطه مجاور به وجود می آید. بنابراین حتی منحنی ها هم به صورت مجموعه ای از خطهای مستقیم تشکیل می شوند.

نقشه کشی صنعتی / گرافیک دو بعدی به کمک کامپیوتر

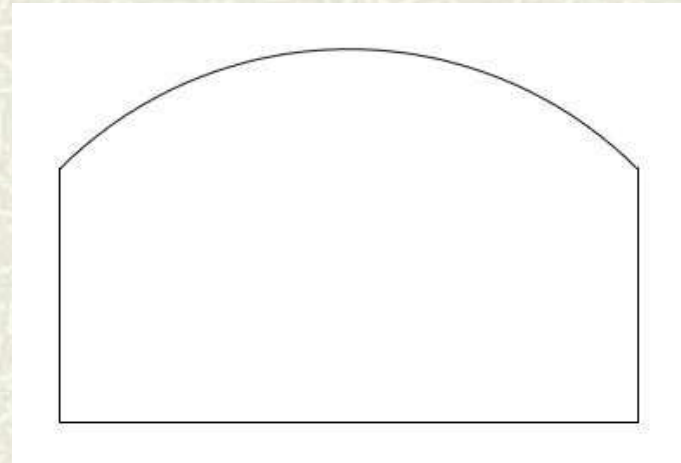
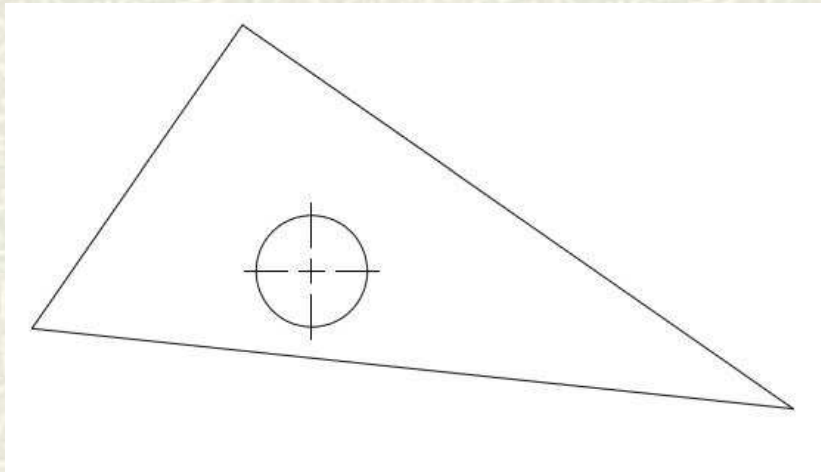
در گرافیک جاروبی، نحوه درک و ترسیم اجزای هندسی، ماهیتا با گرافیک برداری متفاوت است. بر خلاف گرافیک برداری که در آن کامپیوتر تمامی اجزا یا نقاط تشکیل دهنده یک خط را درک و ترسیم می کند و خط به طور ریاضی برای آن تعریف شده است، گرافیک جاروبی متشکل از هزاران جزء تصویر که پیکسل نامیده می شوند می باشند. در این حالت کامپیوتر هیچ درکی از ماهیت تصویر ندارد و تنها می داند که هر پیکسل باید به چه رنگی روی صفحه مانیتور ظاهر شود و بنابراین انجام تغییر و یا تبدیل هندسی روی آن ممکن نیست.

نقشه کشی صنعتی / گرافیک دو بعدی به کمک کامپیوتر



Raster Graphics

نقشه کشی صنعتی / گرافیک دو بعدی به کمک کامپیوتر



Vectorized Graphics

نقشه کشی صنعتی / گرافیک دو بعدی به کمک کامپیوتر

در گرافیک برداری نه تنها حجم اطلاعات ذخیره شده بسیار کم می باشد بلکه اجرای تبدیلات هندسی (Geometric transformation) روی شکل نیز ممکن است.

اصول ریاضی تبدیل های هندسی در گرافیک برداری:

(۱) مقیاس گذاری (Scaling): در این تبدیل، شکل مورد نظر با مقیاس مشخص شده کوچک یا بزرگ می شود.

(۲) چرخش (Rotation): دوران شکل مورد نظر در جهت و زاویه مشخص

(۳) انعکاس (Reflection): قرینه شدن شکل مورد نظر نسبت به یکی از محورها یا نقاط مشخص شده

(۴) برش (Shearing): برش و ترسیم مقطع شکل مورد نظر در امتداد یک محور

(۵) انتقال (Transportation): انتقال شکل مورد نظر به محل دیگر

(۶) تبدیل همانی (Identity): در این تبدیل شکل مورد نظر بدون تغییر باقی می ماند.

نقشه کشی صنعتی / گرافیک دو بعدی به کمک کامپیوتر

عملیات تبدیل های فوق به جز تبدیل انتقال به صورت زیر انجام می شود:

$$P' = P.T$$



بردار مختصات
شکل تغییر یافته

ماتریس تبدیل

$$T = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix}$$

توضیحات	D	C	B	A	تبدیل
$P' = P \ \& \ T = I$	1	0	0	1	همانی
$P' = P$	1	0	0	1	مقیاس گذاری
تغییر مقیاس در راستای محور x	1	0	0	a	
تغییر مقیاس در راستای محور y	d	0	0	1	
تغییر مقیاس در راستای محور x و y	d	0	0	a	
انعکاس نسبت به محور y	1	0	0	-1	انعکاس
انعکاس نسبت به محور x	-1	0	0	1	
انعکاس نسبت به مبدا مختصات	-1	0	0	-1	
برش در امتداد محور y	1	0	b	1	برش
برش در امتداد محور x	1	c	0	1	
برش در امتداد محور x و y	1	c	b	1	
					چرخش

مدلسازی قاب سیم وار Wire frame Modeling

در این مدلسازی هندسی:

- (۱) جسم توسط یالهایش بیان می شود.
- (۲) فقط نقاط، خطوط، قوسها، و منحنی هایی که یالهای جسم را در فضا تشکیل می دهند به عنوان داده های مربوط به قطعه در حافظه ذخیره شده و برای کامپیوتر قابل شناسایی و درک هستند.
- (۳) این روش پایین ترین سطح مدلسازی کامپیوتری می باشد و محدودیت هایی که ناشی از نداشتن اطلاعات از هندسه جسم می باشد دارد.
- (۴) از مزایای این نوع مدلسازی هندسی می توان به سادگی و آسان بودن تولید آن اشاره نمود. این مدل کمترین حجم حافظه را اشغال می کند و بنابراین سریعتر ایجاد شده و هزینه کمتری دارد.

مدلسازی قاب سیم وار Wire frame Modeling

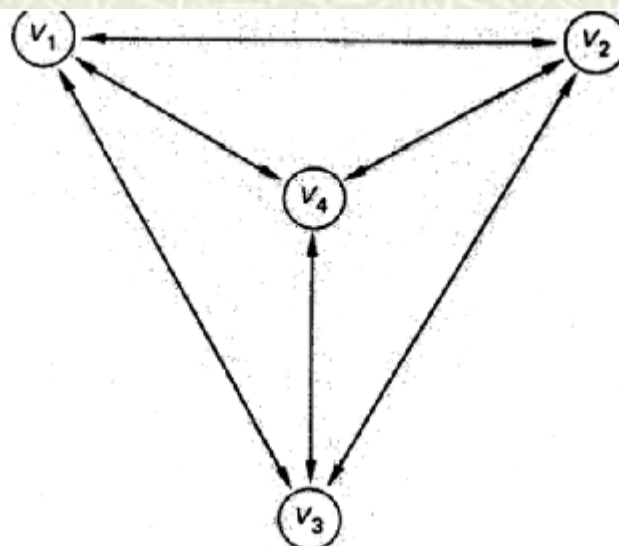
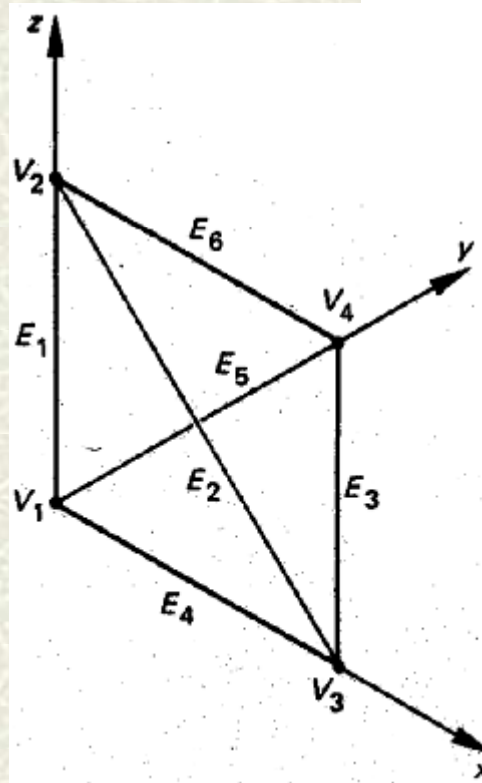
محدودیت های این روش:

(۱) این مدل حاوی کمترین اطلاعات از جسم است و بنابراین فقط برای اجسام هندسی ساده و غیر پیچیده قابل استفاده است.

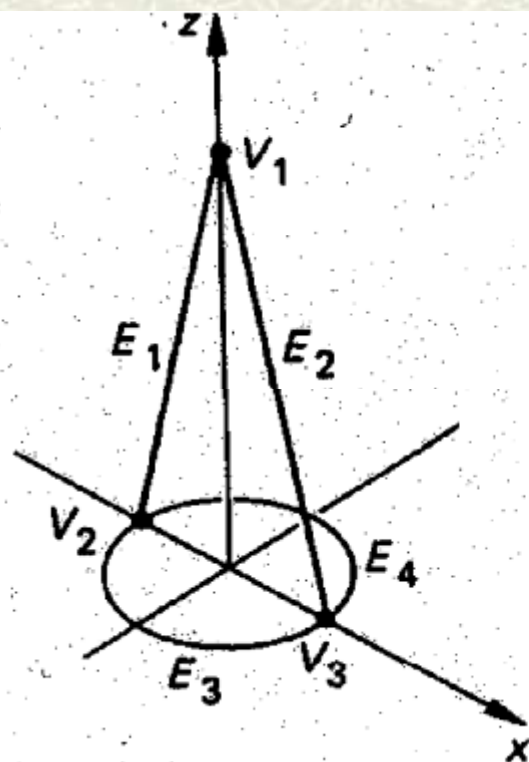
(۲) این مدل چون سطح و حجم جسم را نمی شناسد و داده های آن را ندارد قادر نیست داخل و خارج جسم را از هم تمیز دهد. بنابراین از تشخیص مرز مشترک مابین دو جسم متقاطع عاجز است.

(۳) این مدل خواص فیزیکی جسم مانند حجم، وزن، سطح مقطع، مرکز ثقل و ممان اینرسی را نمی تواند محاسبه کند.

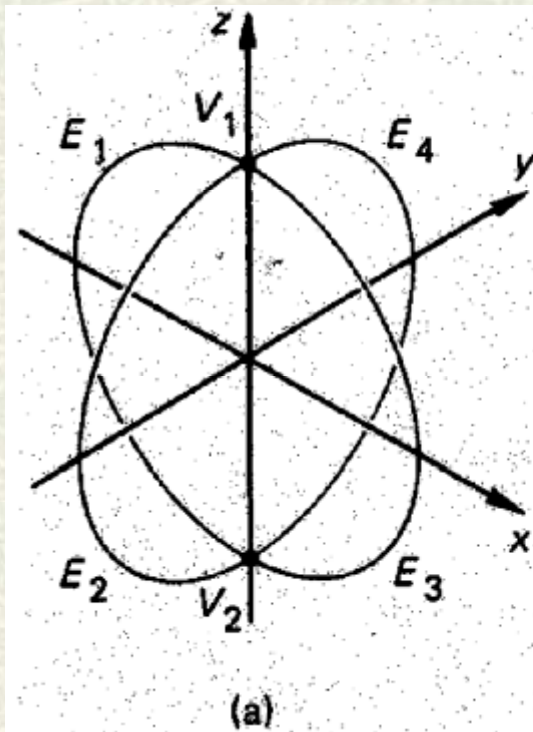
(۴) این نوع مدل به دلیل نمایش خطوط نامرئی مبهم است و بیننده برداشتهای متفاوتی از یک قطعه می تواند داشته باشد.



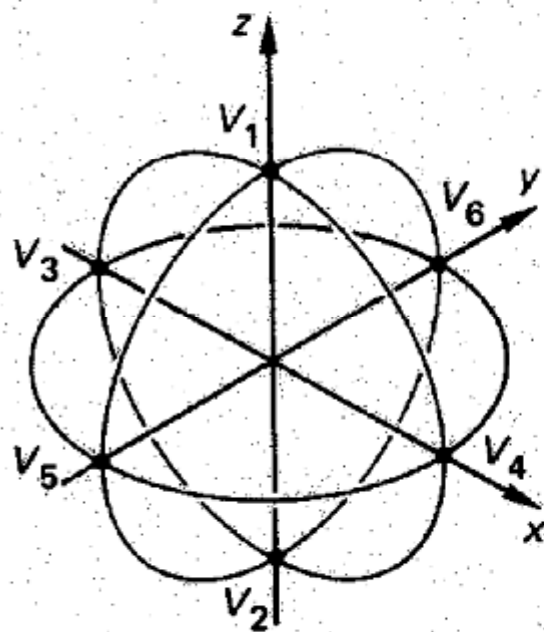
Vertex list	Edge list	Edge type
V_1 (0,0,0)	E_1 $\langle V_1, V_2 \rangle$	Linear
V_2 (0,0,1)	E_2 $\langle V_2, V_3 \rangle$	Linear
V_3 (1,0,0)	E_3 $\langle V_3, V_4 \rangle$	Linear
V_4 (0,1,0)	E_4 $\langle V_3, V_1 \rangle$	Linear
	E_5 $\langle V_1, V_4 \rangle$	Linear
	E_6 $\langle V_4, V_2 \rangle$	Linear



Vertex list	Edge list	Edge type
V_1 (0,0,3)	E_1 $\langle V_1, V_2 \rangle$	Linear
V_2 (-1,0,0)	E_2 $\langle V_1, V_3 \rangle$	Linear
V_3 (1,0,0)	E_3 $\langle V_2, V_3 \rangle$	Semi-circular
	E_4 $\langle V_2, V_3 \rangle$	Semi-circular



<i>Vertex list</i>	<i>Edge list</i>
V_1 (0,0,1)	E_1 $\langle V_1, V_2 \rangle$
V_2 (0,0,-1)	E_2 $\langle V_1, V_2 \rangle$
	E_3 $\langle V_1, V_2 \rangle$
	E_4 $\langle V_1, V_2 \rangle$

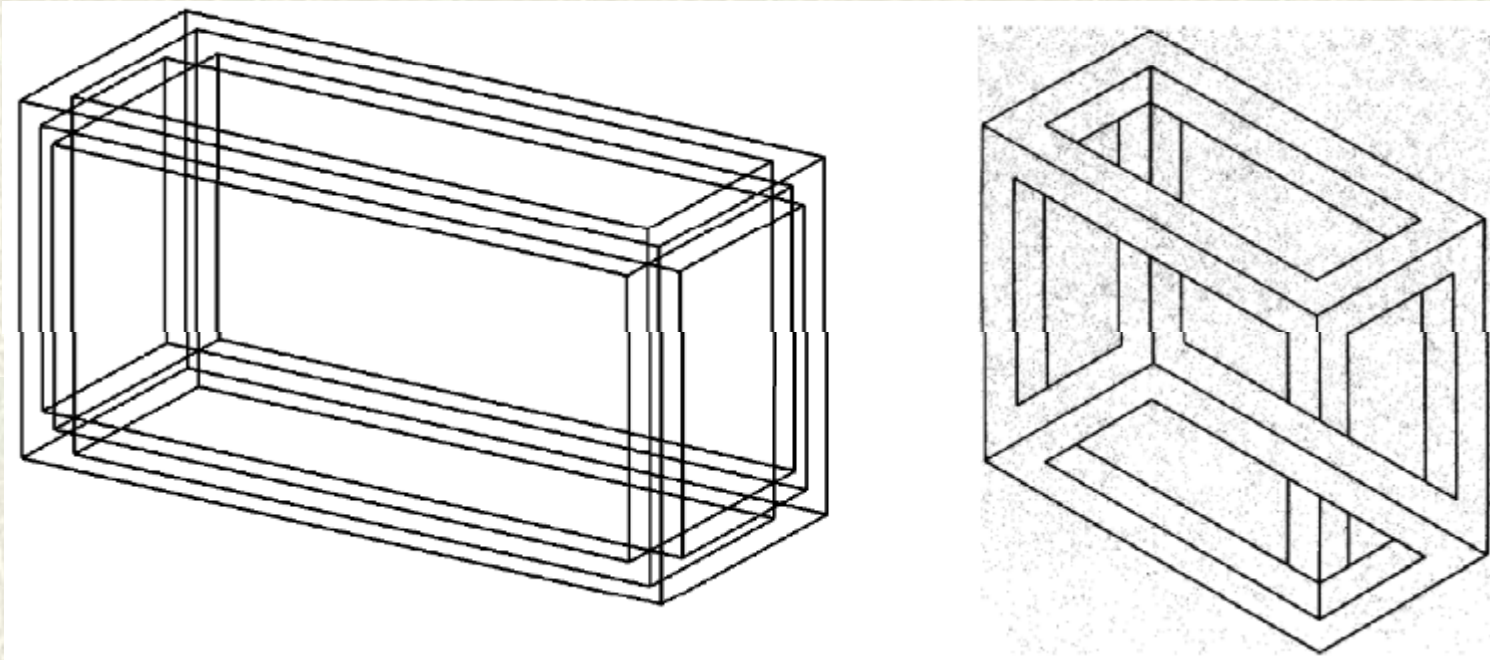


(b)

Vertex list	Edge list
V_1 (0,0,1)	E_1 $\langle V_1, V_3 \rangle$
V_2 (0,0,-1)	E_2 $\langle V_1, V_4 \rangle$
V_3 (-1,0,0)	E_3 $\langle V_1, V_5 \rangle$
V_4 (1,0,0)	E_4 $\langle V_1, V_6 \rangle$
V_5 (0,-1,0)	E_5 $\langle V_2, V_3 \rangle$
V_6 (0,1,0)	E_6 $\langle V_2, V_4 \rangle$
	E_7 $\langle V_2, V_5 \rangle$
	E_8 $\langle V_2, V_6 \rangle$
	E_9 $\langle V_3, V_5 \rangle$
	E_{10} $\langle V_5, V_4 \rangle$
	E_{11} $\langle V_4, V_6 \rangle$
	E_{12} $\langle V_6, V_3 \rangle$

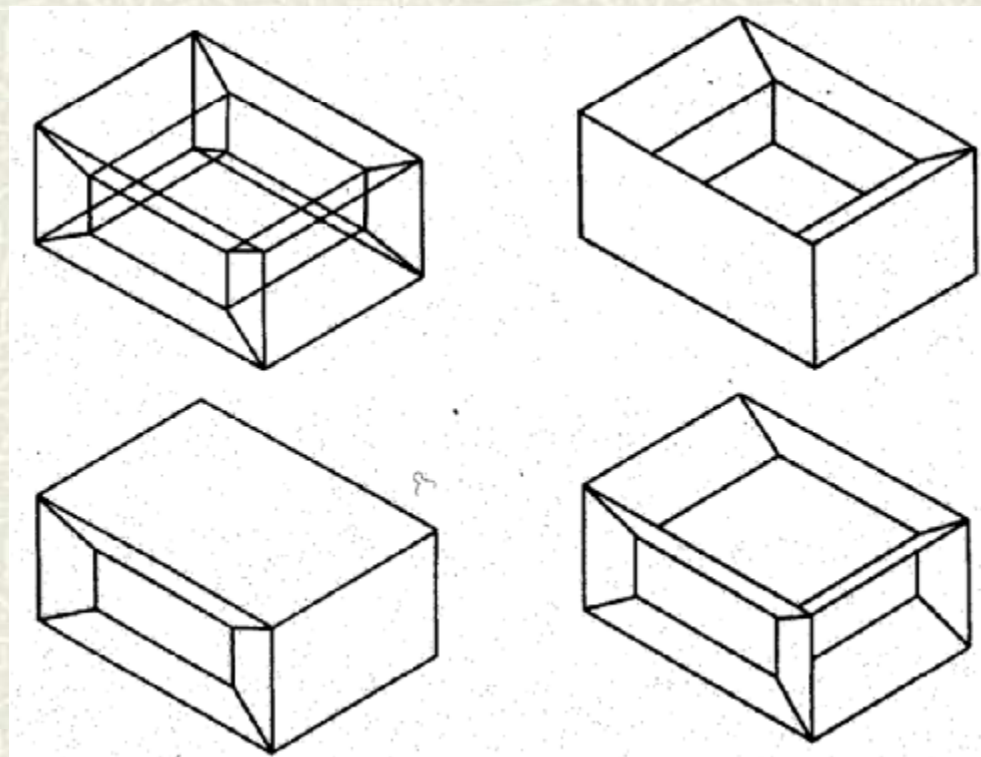
سه مشکل اساسی در روش مدل سازی قاب سیم وار:

1) **Validity:** Wire frame model does not always represent a valid solid entity even the constraints are all satisfied



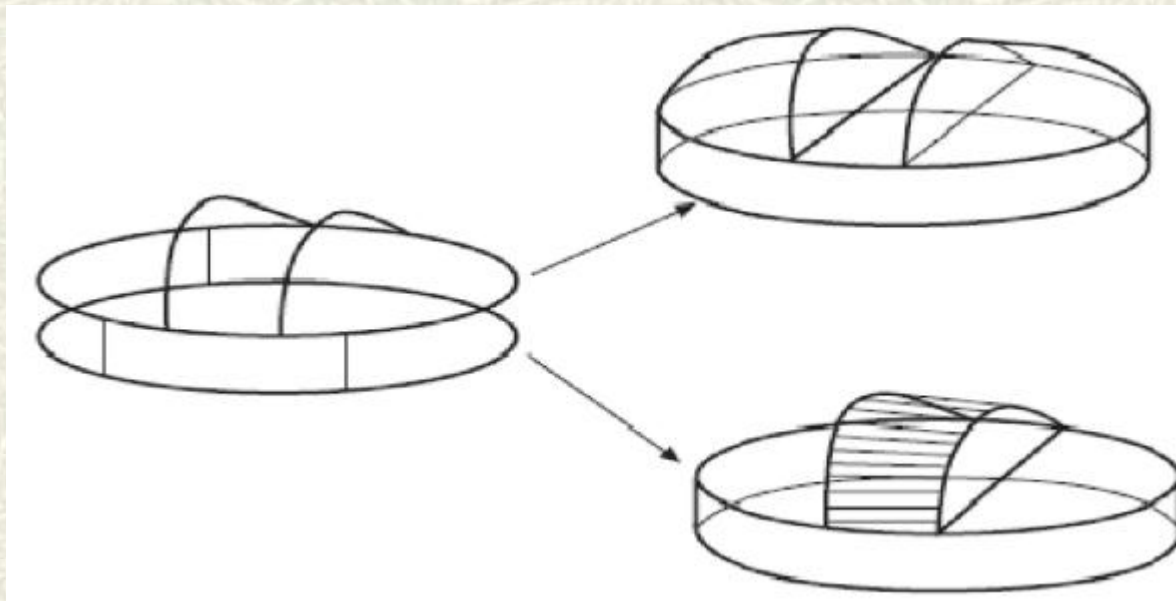
سه مشکل اساسی در روش مدل سازی قاب سیم وار:

2) **Ambiguity:** Possible to produce a general wire frame which can be interpreted to represent more than one real object



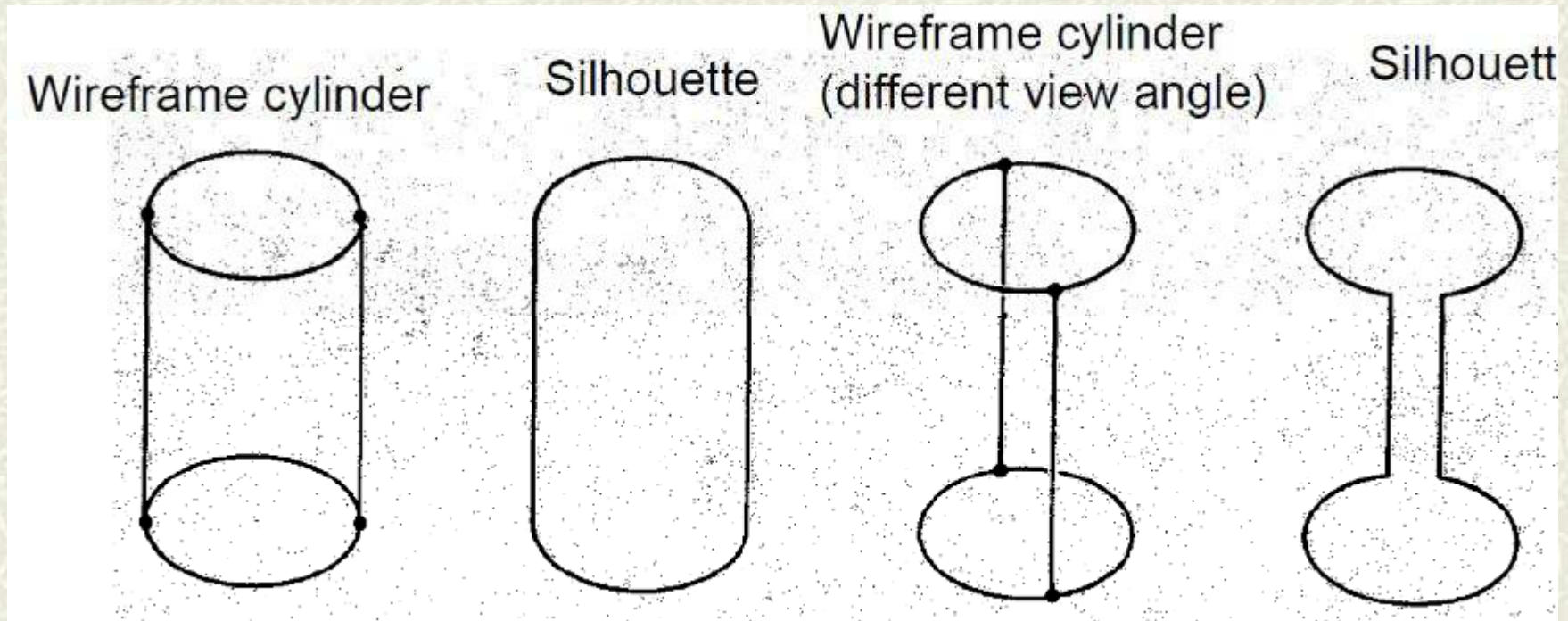
سه مشکل اساسی در روش مدل سازی قاب سیم وار:

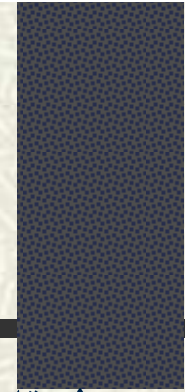
2) **Ambiguity:** Possible to produce a general wire frame which can be interpreted to represent more than one real object



سه مشکل اساسی در روش مدل سازی قاب سیم وار:

3) Viewing difficulties:





اجزای مدل قاب سیم وار:
اجزای مدل قاب سیم وار بر اساس نوع معادله ریاضی که بیانگر آنهاست به دو دسته تحلیلی و مصنوعی تقسیم می شوند.
اجزای تحلیلی (**Analytic entities**) مانند نقطه، خط، قوس و منحنی های مقاطع مخروطی از قبیل بیضی، سهمی و هذلولی. این نوع اجزا در ساخت مدل قطعات ساده مورد استفاده قرار می گیرند.

اجزای مصنوعی (**Synthetic entities**) مانند انواع منحنی های مکعبی (**Cubic Spline**)، منحنی های بزییر (**Bezier Spline**)، منحنی های بی - اسپیلاین (**B-Spline**) و منحنی های نرب (**NURB**)

اغلب اوقات استفاده از منحنی های تحلیلی جهت ساختن مدل قاب سیم وار قطعات مکانیکی با شکل هندسی پیچیده کافی نیست. محصولات دارای یالها و سطوح پیچیده مانند بدنه اتومبیل، کشتی، هواپیما، پره های ملخ هواپیما و بالگرد، قالب کفش و بطریها مثالهایی از قطعاتی هستند که برای مدلسازی نیاز به منحنی های پیچیده دارند.

از دیدگاه ریاضی، ساختن منحنی های مصنوعی، نوعی انطباق و ارتباط دادن منحنی به مجموعه ای از نقاط (Curve-fitting) به منظور تولید منحنی ملایم (Smooth) و همواری است که بیانگر یالی از جسم باشد.

بسته به نیاز مدلسازی، این منحنی ممکن است از تمامی نقاط عبور داده شود که به این حالت درونیابی گوئیم (Interpolation) و یا اینکه شکل منحنی توسط این نقاط تعیین شود که به این حالت تقریب زنی (Approximation) گوئیم.

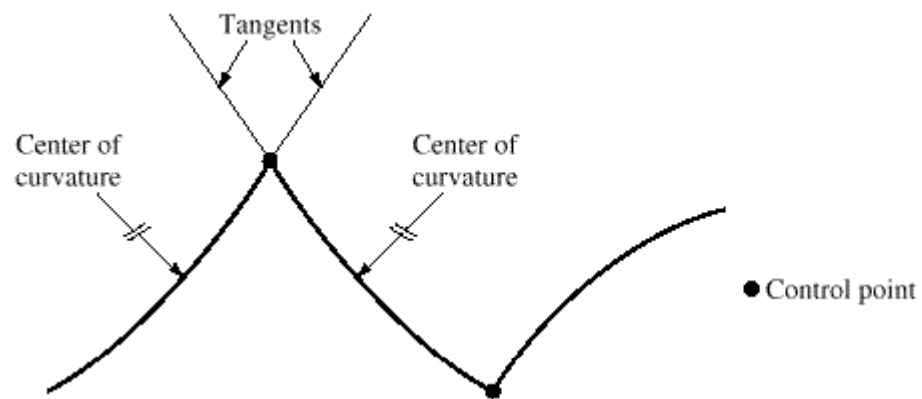


*Approximate a
given set of data
points*

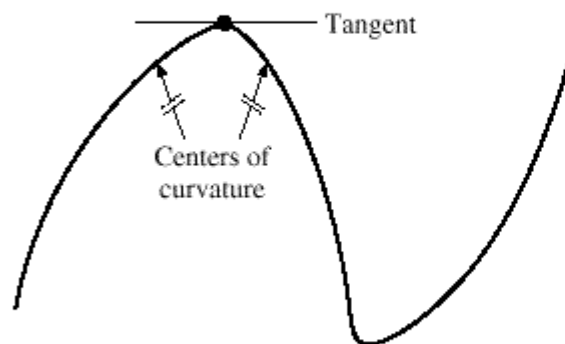


*Interpolate a
given set of data
points*

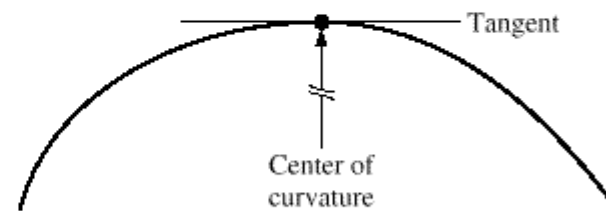
بسته به میزان ملایمی و هموار بودن منحنی معرف یک یال، می توان شروط پیوستگی متفاوتی در نقاط داده شده اعمال کرد. مرتبه پیوستگی وقتی مهم تر می شود که یک منحنی پیچیده از تعدادی قطعه منحنی تشکیل شده باشد.



(a) Zero-order continuity (C^0 curve)



(b) First-order continuity (C^1 curve)



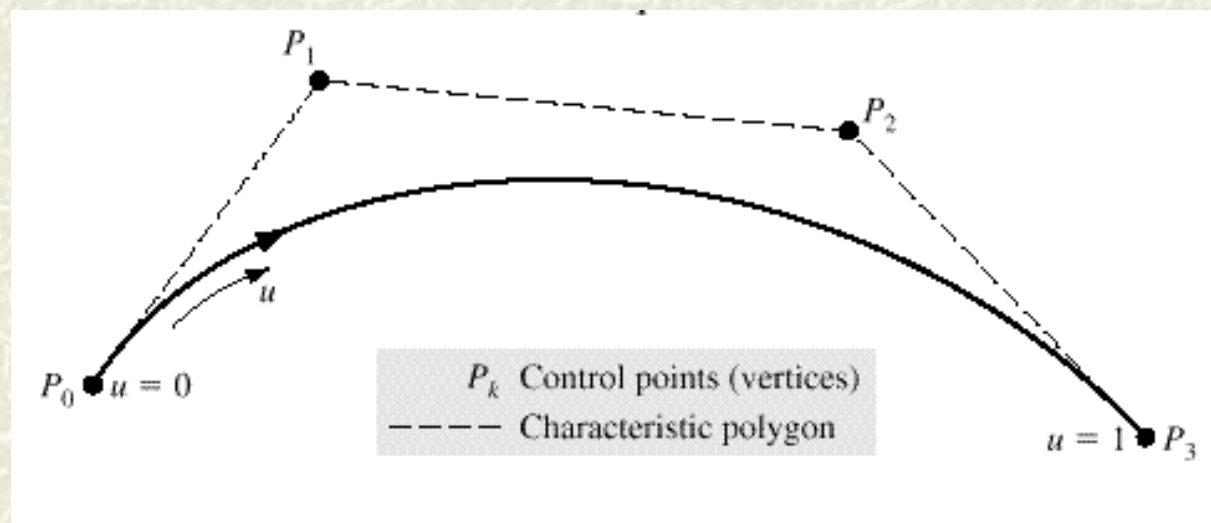
(c) Second-order continuity (C^2 curve)

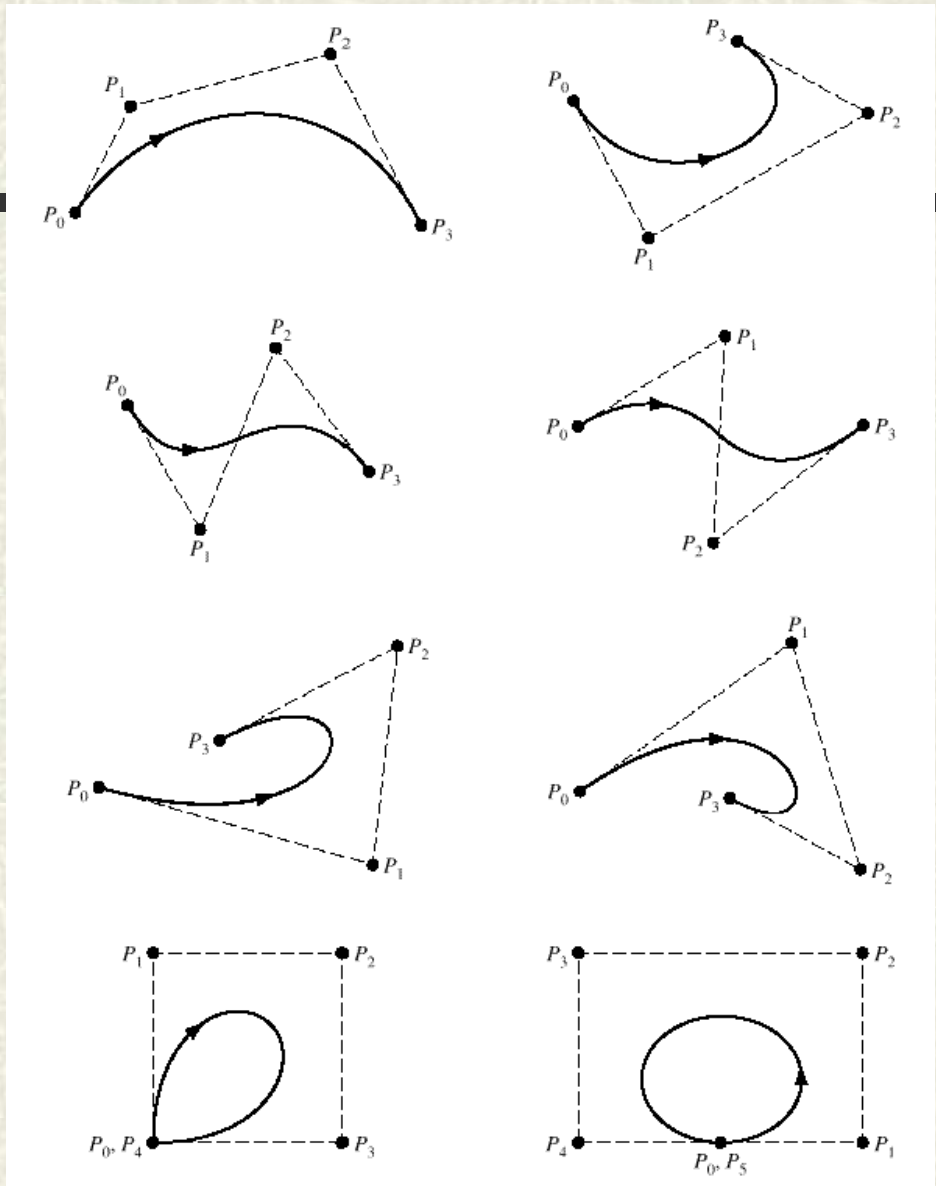
تهیه مدل قاب سیم وار برای اجسام با شکل پیچیده در دو حالت مختلف انجام می شود.
(۱) مهندسی معکوس:

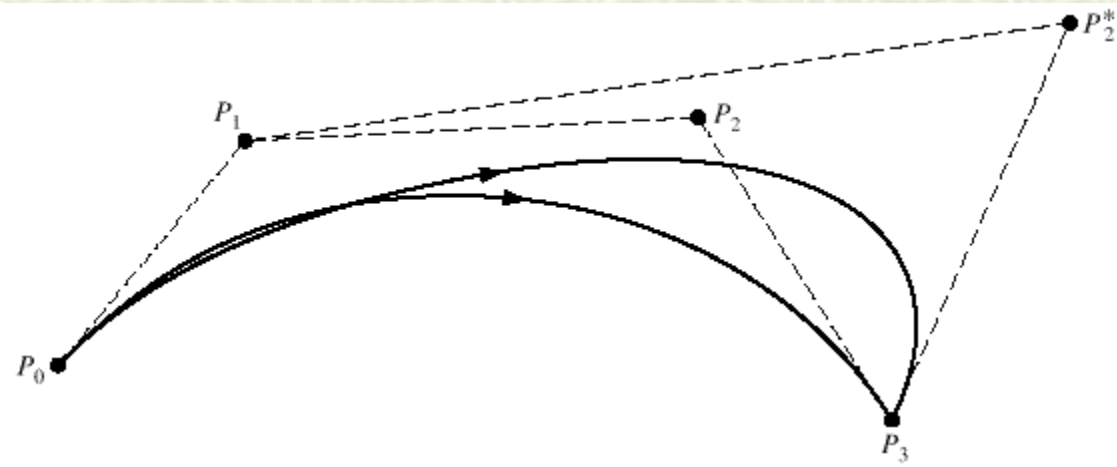
در این حالت می بایستی با اندازه گیری دقیق نقاط مختلفی از یالها و سطوح جسم، منحنی های ملایمی از آنها عبور داده شوند تا شکل هندسی جسم تعریف شود. به عبارت دیگر منحنی مصنوعی باید نقاط روی جسم را درونیابی کند.

(۲) طراحی جدید:

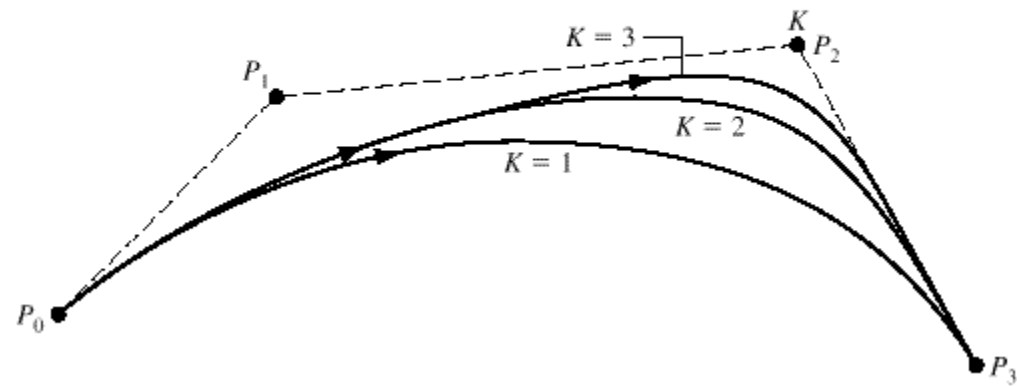
در این حالت هدف تبدیل ایده های ذهنی به اجسام فیزیکی است. بنابراین بایستی یالها و سطوح جسم توسط منحنی هایی تقریب زده شوند و سپس آنقدر منحنی ها دستکاری شوند و تغییر یابند تا شکل مطلوب حاصل شود.

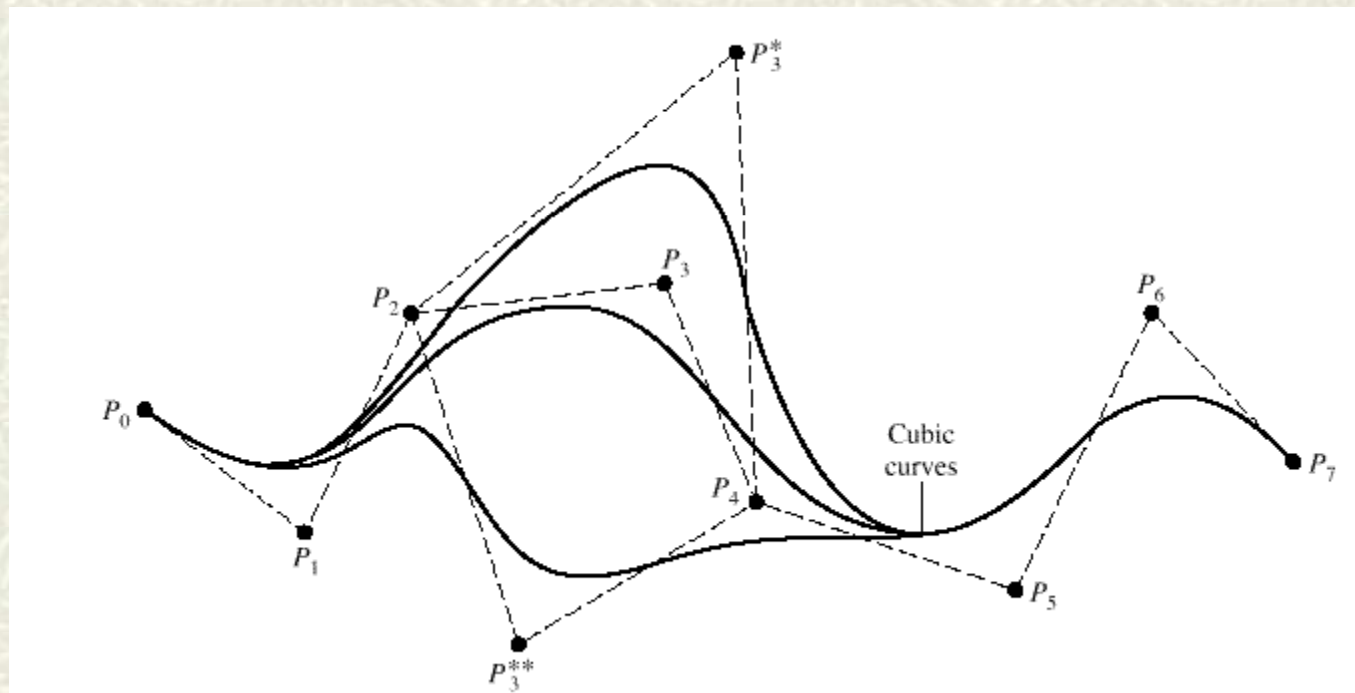


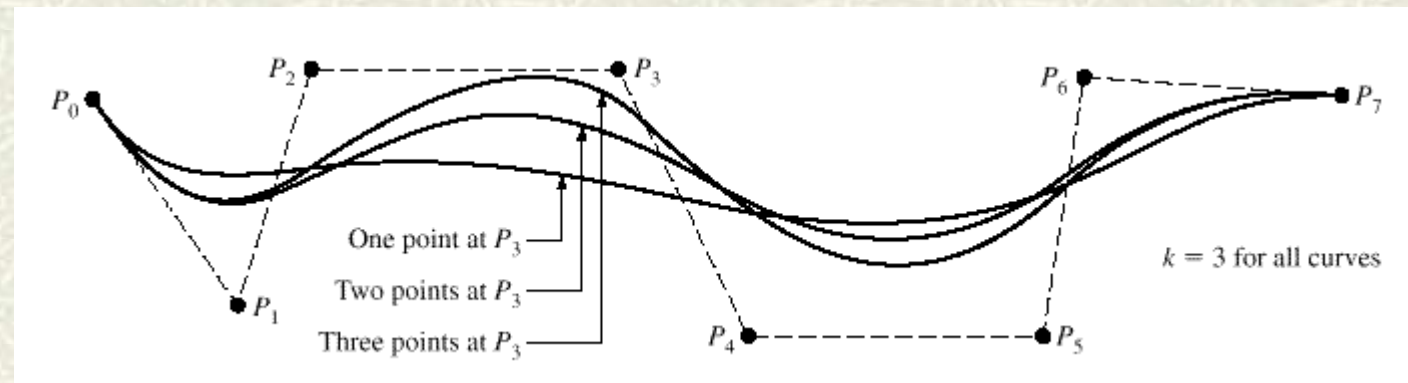
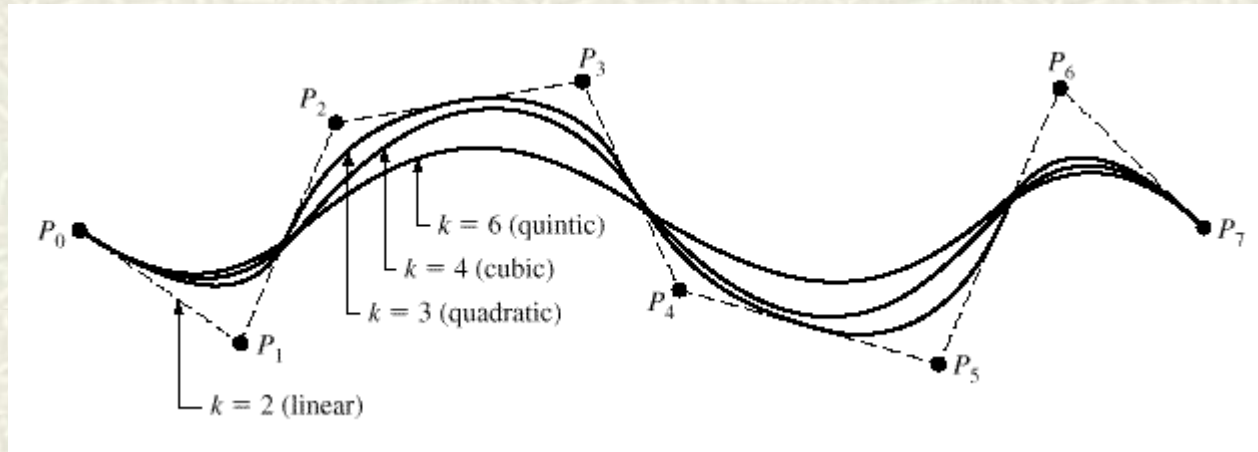




(a) Changing a vertex



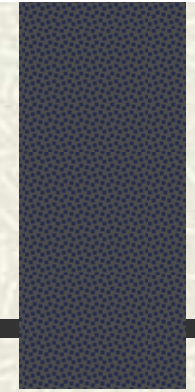




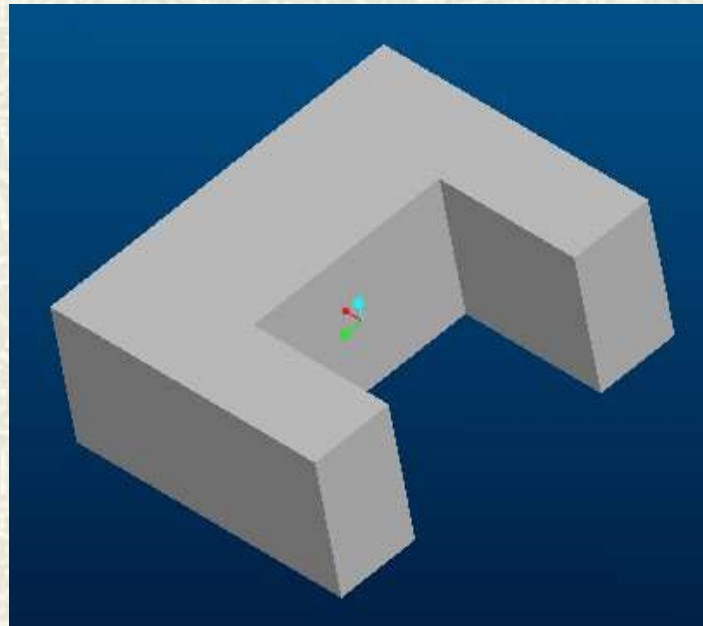
مدلسازی حجمی

مدلسازی حجمی یا توپر، پیشرفته ترین و کاملترین نوع مدلسازی هندسی اجسام است و بیشترین اطلاعات را در مورد اجسام ارائه می کند. در این روش مدلسازی، کامپیوتر علاوه بر اجزای هندسی قبلی مانند نقطه، خط، قوس و منحنی اجزای هندسی توپر را نیز به عنوان یک جزء می شناسد و درک می کند. در مدلسازی حجمی چون کامپیوتر حجم ها را می شناسد و درک می کند به آسانی قادر است محاسبات حجمی و خواص جرمی جسم مانند حجم، وزن، مرکز ثقل یا مرکز هندسی، ممان اینرسی و ... را انجام دهد. مدلسازی حجمی به دلیل دارا بودن توانمندیهای زیاد، امروزه کاربردهای متعددی در فعالیت های طراحی و ساخت پیدا نموده است که از آن جمله می توان به موارد زیر اشاره نمود:

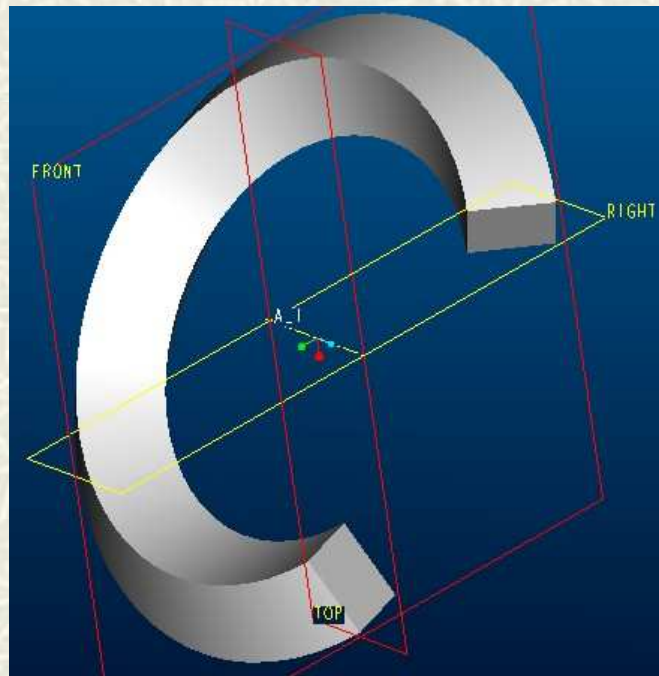
- (۱) بیان طرحها و ایده های طراحان و تبادل آنها و نیز طراحی صنعتی
- (۲) محاسبه خواص جرمی و انجام محاسبات مختلف حجمی
- (۳) ایجاد مدل هندسی و شبکه برای آنالیز مهندسی به روشهای مختلفی مانند روش اجزای محدود
- (۴) مونتاژ قطعات و اجزای ماشین آلات و بررسی مونتاژ پذیری و کنترل کیفی
- (۵) استخراج نقشه های اجرایی و تصاویر پرسپکتیو
- (۶) تهیه داده های مسیر حرکت ابزار در ماشین کاری CNC
- (۷) شبیه سازی سینماتیکی و دینامیکی مکانیزم ها و ماشین آلات



روشهای ساختن مدل حجمی:
(۱) جاروب خطی (Linear Sweep, Extrude): در این روش سطح مبنا در راستای یک خط مستقیم حرکت داده می شود.



روشهای ساختن مدل حجمی:
(۲) جاروب دورانی: در این روش سطح مبنا حول یک محور دوران داده می شود.



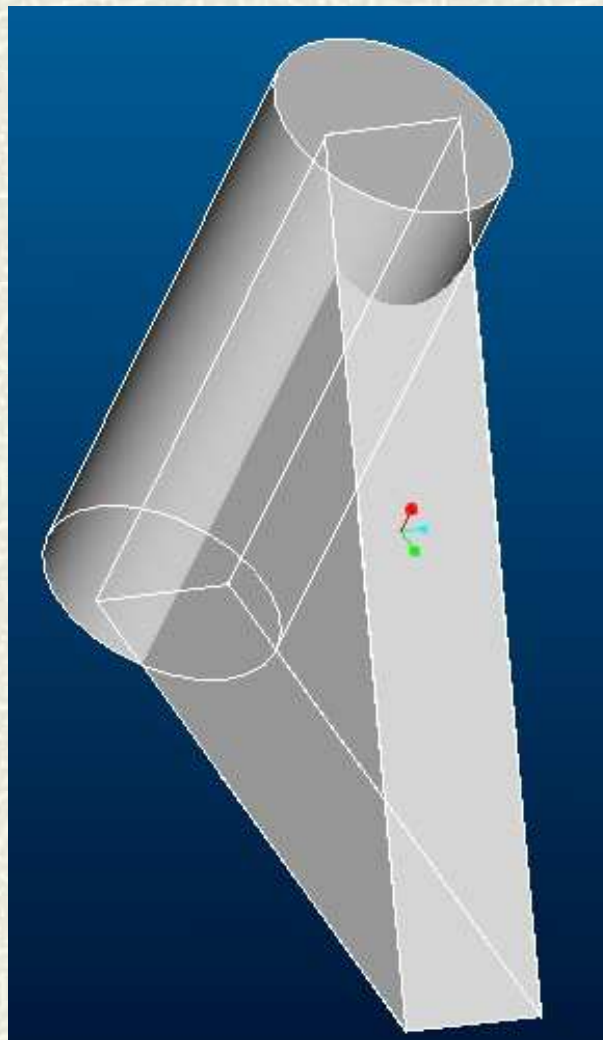
روشهای ساختن مدل حجمی:

۴) مدلسازی عنصری (Primitive modeling):

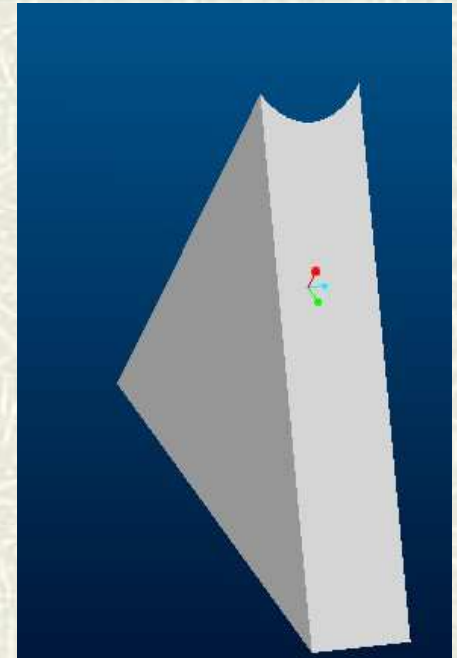
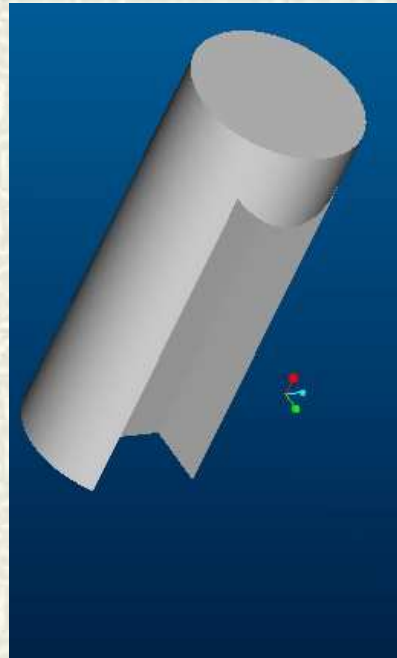
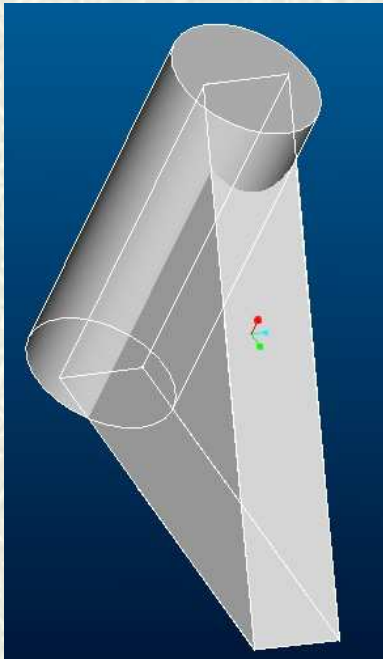
در این روش عناصر اولیه در حافظه کامپیوتر ذخیره شده و به هنگام لزوم مورد استفاده قرار می گیرند. به این نوع مدلسازی CGS: Constructive Solid Geometry می گویند. اساس آن بر این استوار است که عناصر حجمی یا اجزای مدلسازی حجمی مانند آجرهایی که یک ساختمان را می سازند به کمک عملیات ریاضی منطقی (Boolean operation) با هم ترکیب شده تا جسم مطلوب را تولید نمایند.

عملیات ریاضی منطقی عبارتند از: اجتماع (Union)، تفاضل (Difference) و اشتراک (Intersection).

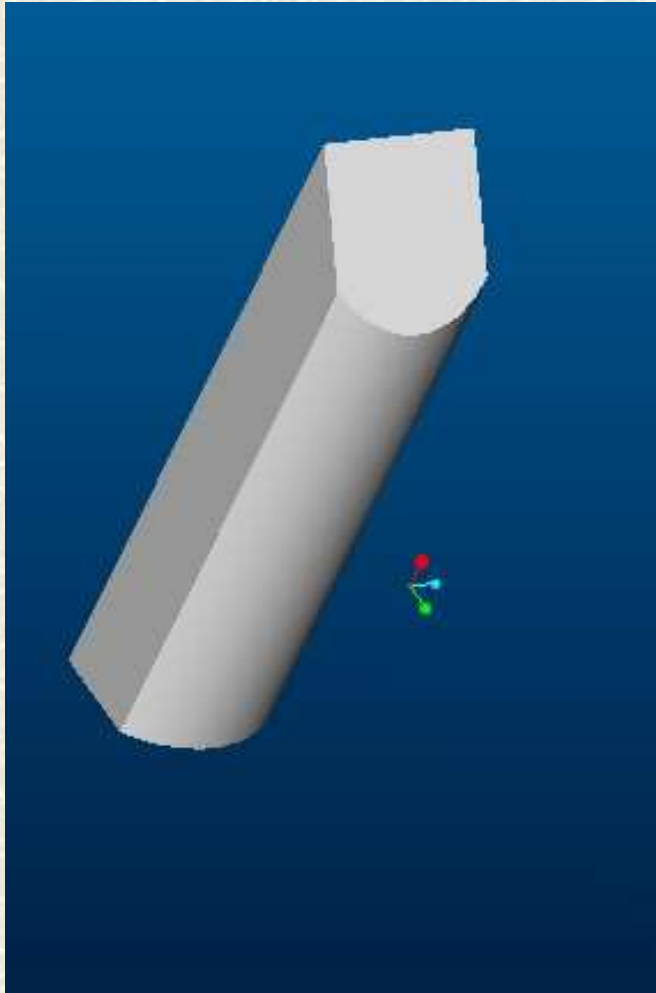
با ترکیب دو عنصر از این طریق، حجم جدیدی حاصل می شود که دیگر هیچگونه ارتباطی با اجزای تشکیل دهنده خود ندارد و با حالت مونتاژ دو جسم کاملاً متفاوت است.



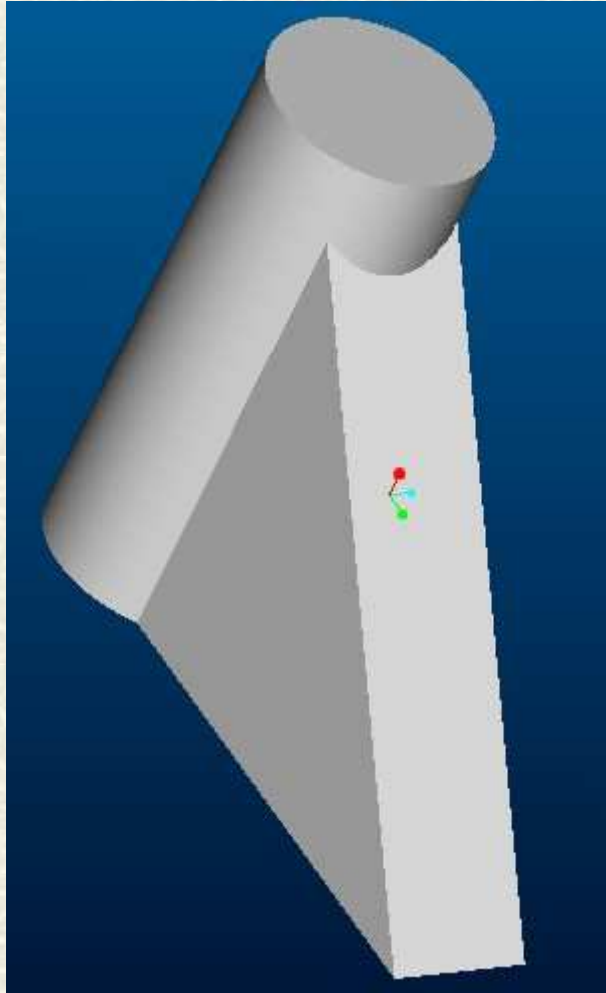
تفاضل



اشتراك



اجتماع





روشهای ساختن مدل حجمی:

مدلسازی عنصری علیرغم ساده بودن، دارای ضعف هایی است که کاربرد آن را محدود نموده است. به دلیل محدود بودن تعداد عناصر اولیه مدلسازی در نرم افزارهایی که به این روش عمل می کنند اجسام با شکلهای هندسی پیچیده مانند پره توربین، مانیفولد اگزوز و یا استخوانهای بدن را نمی توان با دقت به این روش مدلسازی نمود.

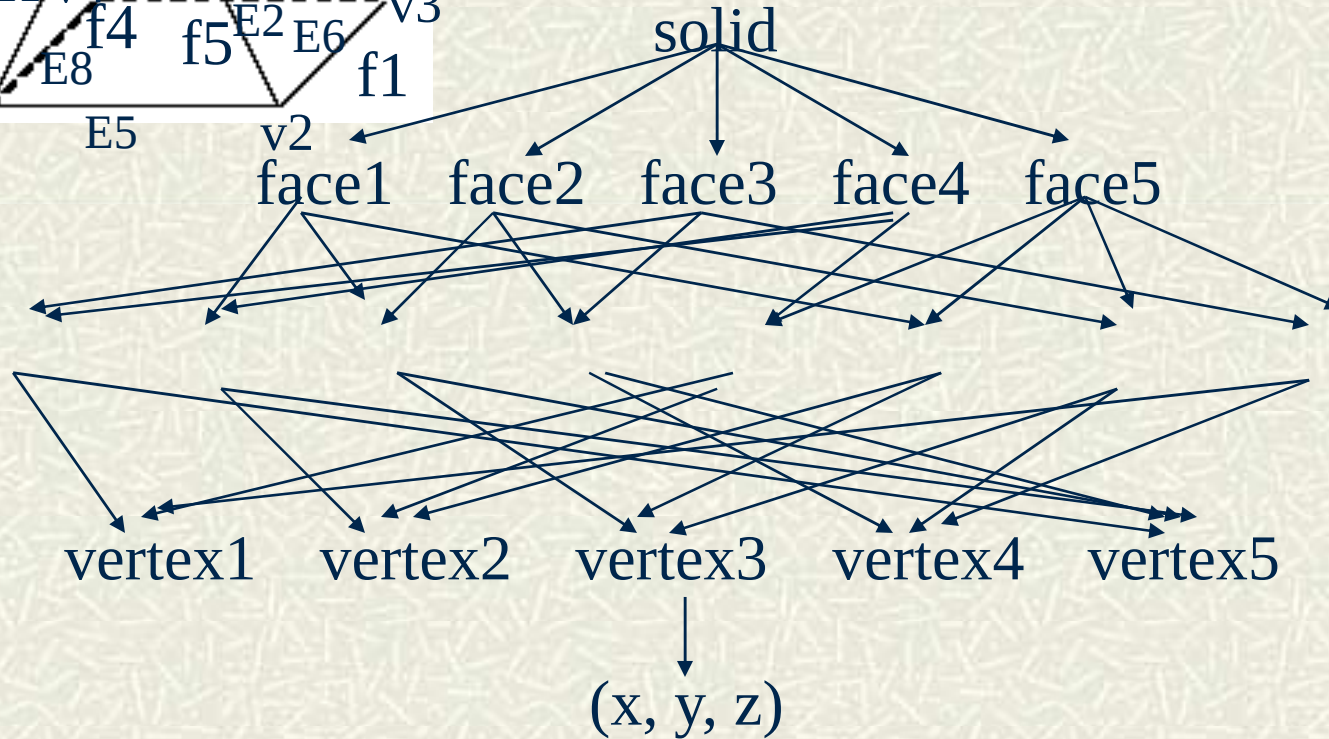
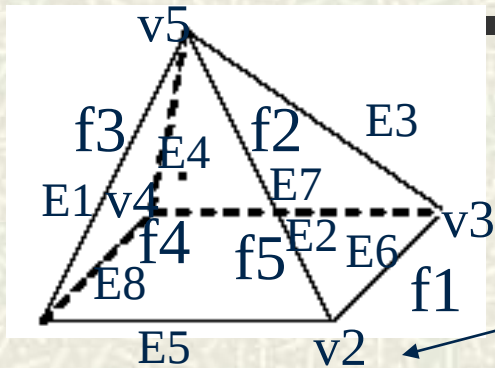
روشهای ساختن مدل حجمی:

۵) مدلسازی کرانه ای (Boundary modeling): مدلسازی کرانه ای که اصطلاحاً به روش B-Rep معروف است جسم را به عنوان حجمی که از اطراف توسط سطوح محبوس شده است در نظر گرفته و مدل حجمی آن را می سازد. در این روش مدل حجمی جسم بر پایه دو نوع اطلاعات هندسی تعریف می شود.

الف) داده های توپولوژی (Topological data): که فقط نحوه اتصال گوشه ها، یالها و سطح های جانبی را در جسم توصیف می کند.

ب) داده های ابعادی (Geometric data): ابعاد و موقعیت گوشه ها، یالها و سطوح را در فضا تعیین می کند.

B-Rep data structure



Combinatorial
structure /
topology

Metric information
geometry

روشهای ساختن مدل حجمی:

در روش مدلسازی کرانه ای، داده های مربوط به لبه ها و وجوه جسم ذخیره می شوند. این کار باعث تسریع در فراخوانی اطلاعات در کاربردهایی مانند دیدن مدل از زوایای مختلف و یا تهیه نماهای مختلف از مدل می شود. تنها عیب آن حجم زیاد اطلاعات مدل ایجاد شده با این روش می باشد.

برخی نرم افزارها بدین صورت عمل می کنند که ابتدا مدل حجمی جسم را با روش CSG می سازند سپس داده های مدل CSG را به اطلاعات B-Rep تبدیل می کنند. مزیت روش مدلسازی کرانه ای اینست که قادر است سطوح پیچیده جسم را که توسط مدل سطحی تعریف شده اند به حجم های پیچیده تبدیل کند.