

# راهنمای کاربردی Abaqus به همراه مسائل مهندسی عمران سازه و ژئوتکنیک

تألیف

محمد یکرنگ نیا

دانشجوی دکتری سازه و زلزله

دانشگاه صنعتی شریف

رضا شهبازی

کارشناس ارشد ژئوتکنیک

دانشکده فنی دانشگاه تهران



نشر علم عمران

[www.elme-omran.com](http://www.elme-omran.com)

[Info@elme-omran.com](mailto:Info@elme-omran.com)

عضو:



انجمن کتابخانه‌های ایران

این اثر مشمول قانون حمایت مولفان و مصنفان و هنرمندان مصوب ۱۳۴۸ است، هر کس تمام یا قسمتی از این اثر را بدون اجازه ناشر و مؤلف، نشر یا پخش یا عرضه کند مورد پیگرد قانونی قرار خواهد گرفت.

سرشناسه	شهبازی، رضا، ۱۳۶۵
عنوان و پدید آورنده	راهنمای کاربردی Abaqus به همراه مسائل مهندسی عمران سازه و ژئوتکنیک/ تألیف رضا شهبازی، محمد یکرنگ نیا
مشخصات نشر	تهران: علم عمران، ۱۳۹۲
مشخصات ظاهری	هشت، ۵۳۲ ص
شابک	۹۷۸-۶۰۰-۵۱۷۶-۱۷-۹
فهرست نویسی	فیپا
موضوع	آباکوس -- روشهای المان محدود-- نرم افزار-- سازه و تجزیه تحلیل-- برنامه های کامپیوتری
شناسنامه افزوده	یکرنگ نیا، محمد، ۱۳۶۲
رده بندی کنگره	۱۳۹۲ ش ۹ ر/۹ TA۳۴۷
رده بندی دیویی	۶۲۰/۰۰۱۵۱۵۳۵
شماره کتابشناسی	۳۱۲۶۸۳۶



نشر علم عمران

راهنمای کاربردی Abaqus به همراه مسائل مهندسی عمران سازه و ژئوتکنیک  
تألیف:

رضا شهبازی، محمد یکرنگ نیا

چاپ اول	بهار ۱۳۹۲
حروف چینی و صفحه آرایی	علم عمران
تعداد و قطع صفحات	۵۴۰ صفحه خشتی
شمارگان	۱۰۰۰
بهای کتاب	۳۲۰۰۰۰ ریال
بهای CD	۱۰۰۰۰۰ ریال
شابک	ISBN 978-600-5176-17-9

نشر علم عمران: تهران، خیابان کارگر جنوبی، بین انقلاب و روانمهر، بن بست گشتاسب شماره هفت، واحد ۶، تلفن: ۶۶۴۸۴۵۰۸، دورنگار: ۶۶۴۷۶۷۶۲  
حقوق چاپ و نشر برای نشر علم عمران محفوظ است.

## پیشگفتار پدیدآورندگان

امروزه طیف وسیعی از پروژه های مقاطع کارشناسی ارشد و دکتری تخصصی در بسیاری از رشته ها شامل انجام شبیه سازی ها و تحلیل های عددی می گردد. در رشته مهندسی عمران نیز درصد قابل توجهی از این مطالعات با استفاده از روش اجزای محدود و با به کارگیری نرم افزارهای مهندسی موجود انجام می گیرد. همچنین بهره گیری از این نرم افزارها در میان شرکت های مشاور به منظور بررسی هرچه عمیق تر سازه ها و سیستم های خاص رو به رشد می باشد. در میان گزینه های موجود، نرم افزار آباکوس به عنوان ابزاری قدرتمند، مطمئن و دارای قابلیت ارتباط نزدیک تر با کاربر در سال های اخیر با اقبال روزافزونی مواجه و عملاً جایگزین نرم افزارهای پیشرو در این زمینه مانند انسیس شده است. لازم به ذکر است این نرم افزار که نخستین بار در سال ۱۹۷۸ به بازار آمد تاکنون ورژن های متعددی داشته و در این سال ها به پیشرفت های قابل ملاحظه ای در قابلیت های خود رسیده است. واژه آباکوس نیز در لاتین به معنی چرتکه بوده که نامی با مسما برای این نرم افزار می باشد.

در ابتدای هر مثال این کتاب، اهداف مربوطه که در ارتباط مستقیم با توانایی هایی است با اتمام آن به خواننده منتقل می شود، بیان گردیده است. این مثال ها منتخبی است از بیش از ۴۵۰ مساله ای که نگارندگان تجربه رفع اشکال، تحلیل و کالیبره کردن آن ها را در برگزاری بیش از ۳ سال دوره های مقدماتی و پیشرفته در آموزشگاه ها و سازمان های گوناگون و نیز انجام پروژه های مختلف کاری داشته اند. در انتخاب این مثال ها سعی گردیده است تا نمونه های شاخص و نکته داری از پرکاربردترین مسائل در حوزه مهندسی سازه و زلزله و ژئوتکنیک با در نظرگیری محدودیت حجم کتاب ارائه گردد. هر یک از این مثال ها نکات و ترفندهای خاصی را به مخاطب آموزش می دهد که مشابه آن لزوماً در مثال های دیگر موجود نمی باشد. از نقاط قوت این کتاب تاکید بر بخش تئوری و بررسی عمیق تر مباحث و همچنین ارائه نکات نانوشته ای است که اغلب تجربی بوده و حاصل ساعت ها کار با نرم افزار می باشد. همچنین ارائه مثال ها با در نظرگیری نوین بودن آن ها در مقایسه با کتاب های مشابه موجود بوده و نیز به منظور اطمینان از صحت فرضیات، نتایج مدل های عددی با نتایج آزمایشگاهی و روابط تحلیلی- آیین نامه ای مقایسه و کالیبره شده اند. نظر به این که کتاب حاضر مشتمل بر مباحث تخصصی و قابلیت های خاص نرم افزار می باشد، آشنایی اولیه با مباحث مقدماتی اجزای محدود و امکانات پایه ای نرم افزار ارائه نشده است. با این حال در ابتدا یک مثال ساده از یک خرابای دو بعدی با هدف آشنایی مقدماتی یا یادآوری خوانندگان از قابلیت های پایه ای و اولیه نرم افزار ذکر شده است. همچنین از آنجا که توضیح قابلیت های نرم افزار در قالب حل مثال ها به درک و به خاطر سپاری آن ها کمک بیشتری می کند، از پرداختن صرف به منوهای نرم افزار اجتناب گردیده است. از پیش زمینه هایی که به خوانندگان محترم در درک هرچه بهتر مفاهیم این کتاب کمک می کند می توان به تحلیل سازه، مقاومت مصالح، مکانیک خاک، مهندسی زلزله، بتن، دینامیک سازه و اجزای محدود اشاره نمود.

بخش سازه و زلزله این کتاب مشتمل بر ۵ مثال است. مثال اول با هدف آشنایی اولیه با قابلیت های پایه ای نرم افزار و یا جنبه یادآوری برای خوانندگانی که آشنایی اولیه با نرم افزار دارند تنظیم شده است و شامل تحلیل استاتیکی یک خرپای دو بعدی می باشد. در مثال دوم رفتار کمانشی الاستیک و پسا کمانشی پلاستیک یک قاب فولادی مورد بررسی قرار گرفته و پاسخ ها با مقادیر تئوری مقایسه می گردند. در مثال سوم، رفتار درون صفحه یک دیوار آجری با روش میکرو ساده سازی شده شبیه سازی دقیق شده و رفتار آن با تطابق نتایج مدل عددی با نتایج آزمایشگاهی موجود، مورد بررسی عمیق قرار می گیرد. رفتار خمشی یک جبهه و چرخه ای یک تیر بتن مسلح در شرایط مختلف بدون خاموت، با وجود خاموت و با اضافه نمودن ورقه های FRP به عنوان تقویت در مثال چهارم مورد بررسی قرار گرفته و با مقادیر آیین نامه طراحی کنترل می گردد. بیان اشتباهات رایج در زمینه مدلسازی بتن مسلح از دیگر مواردی است که در این فصل انجام می گیرد. در مثال پنجم نیز رفتار لرزه ای یک قاب فولادی در برابر بارگذاری زلزله با روش های مودال و حل عددی صریح، آنالیز تاریخیچه زمانی شده و نیز نکات مربوط به آماده سازی رکوردهای زلزله و خطاهای احتمالی در این زمینه بیان می گردد.

بخش ژئوتکنیک این کتاب مشتمل بر ۵ مثال می باشد. در مثال اول مباحث مربوط به آزمایش سه محوری و شرایط بارگذاری کوتاه مدت و بلند مدت خاک چسبنده اشباع مطرح می شود. علاوه بر این، در این مثال خواننده با روش استخراج پارامترهای مدل های رفتاری Camclay و دراکر-پراگر و موهر-کولمب به کمک نتایج آزمون های آزمایشگاهی آشنا می شود. در مثال دوم مسئله تحکیم دوبعدی گیسون و همکاران (۱۹۷۰) که در واقع حل دقیقی برای تحکیم یک لایه اشباع با توسعه افقی المان های نامحدود است، مطرح می شود. در مثال سوم ظرفیت باربری پی نواری صلب مستقر بر بستر ماسه ای خشک بررسی می شود. مقایسه نتایج بدست آمده با استفاده از دو مدل رفتاری الاستوپلاستیک موهر-کولمب و دراکر-پراگر با مقادیر بدست آمده از حل تحلیلی ترزاقی هدف اصلی از طرح این مثال می باشد. در مثال چهارم ظرفیت باربری شمع بتنی توپر استوانه ای در سیستم خاک دولایه رسی اشباع در بارگذاری بلند مدت و کوتاه مدت بررسی می شود. در این مثال یکی از لایه ها رس بیش تحکیم یافته بوده و دیگری عادی تحکیم یافته است. در مثال پنجم یک تونل ساده با مقطع دایره ای در یک محیط همگن مدلسازی می شود که در این مثال بحث آزادسازی تنش نیز گنجانده شده است که با درک صحیح مفهوم آن، می توان (با انتخاب روش حفاری مناسب) تنش وارد بر پوشش تونل را تنظیم نمود.

در انتها جا دارد از خانواده های عزیز و اساتید گرانقدر خود بابت زحمات ایشان قدردانی گردد. محبت های آقایان مهندس نبی گودرزی، محمدعلی داستان و علیرضا مهدیزاده در بخش سازه و زلزله و نیز پیشنهادات آقای مهندس امیر سلیمان زاده در مورد این پیشگفتار قابل ذکر است. همچنین از آقای مهندس موسوی مدیریت محترم نشر علم عمران و همکاران ایشان برای صفحه آرایی و حروف چینی نیز قدردانی می گردد.

مسئله با وجود تمامی دقت نظرهای به عمل آمده، کتاب حاضر عاری از اشتباه و نقص نمی باشد. بدون شک پیشنهادات و انتقادات خوانندگان محترم در رفع نواقص احتمالی موجود و غنی تر نمودن آن در چاپ های بعدی راهگشا خواهد بود. همچنین از همکاری خوانندگان محترمی که تجربیات موفق و مطالعات عمیقی در زمینه شبیه سازی عددی مثال های خاص یا پرکاربرد در حوزه مهندسی سازه و زلزله و نیز ژئوتکنیک دارند، در چاپ های بعدی این کتاب استقبال می گردد.

محمد یکرنگ نیا

دانشجوی دکتری سازه و زلزله

دانشگاه صنعتی شریف

m.yekrangnia@gmail.com

رضا شهبازی

کارشناس ارشد ژئوتکنیک

دانشکده فنی دانشگاه تهران

reza.shahbazi@ut.ac.ir

تهران - فروردین ۱۳۹۲

۶۹.....	۷-۲-۲- مش بندی قسمت های مختلف مدل
۷۱.....	۸-۲-۲- تعریف Job (مدول Job).....
۷۵.....	۹-۲-۲- بررسی نتایج و Post- Processing.....
۷۸.....	۱۰-۲-۲- تحلیل پساکمانشی مدل.....

### فصل سوم: دیوار مصالح بنایی

۹۱.....	۱-۳- مقدمه.....
۹۲.....	۲-۳- صورت مساله.....
۹۳.....	۱-۲-۳- ساخت هندسه مدل.....
.....	۲-۲-۳- تعریف خصوصیات مصالح و سطح مقطع و نسبت دادن
۱۰۱.....	آنها به هندسه ایجاد شده.....
۱۰۶.....	۳-۲-۳- سرهم بندی پارتها.....
۱۱۴.....	۴-۲-۳- تعریف نوع تحلیل و خروجی های مورد نیاز.....
۱۱۹.....	۵-۲-۳- تعریف اندرکنش ها و قیدهای مربوطه.....
۱۳۵.....	۶-۲-۳- تعریف بارها و شرایط تکیه گاهی.....
۱۴۱.....	۷-۲-۳- مش بندی قسمت های مختلف مدل.....
۱۴۵.....	۸-۲-۳- تعریف Job (مدول Job).....
۱۵۴.....	۹-۲-۳- بررسی نتایج و Post- Processing.....

### فصل چهارم: عملکرد لرزه ای قاب

۱۷۱.....	۱-۴- مقدمه.....
۱۷۲.....	۲-۴- صورت مساله.....
۱۷۳.....	۱-۲-۴- ساخت هندسه مدل (مدول Part).....
.....	۲-۲-۴- تعریف خصوصیات مصالح و سطح مقطع و نسبت دادن
۱۷۴.....	آنها به هندسه ایجاد شده.....

### بخش اول: مثال های سازه ای

#### فصل اول: تحلیل استاتیکی خریای دوبعدی

.....	۱-۱- مقدمه.....
.....	۲-۱- صورت مساله.....
.....	۱-۲-۱- ساخت هندسه مدل (مدول Part).....
.....	۲-۲-۱- تعریف خصوصیات مصالح و سطح مقطع و نسبت دادن
.....	آنها به هندسه ایجاد شده (مدول Property).....
.....	۳-۲-۱- سرهم بندی پارتها (مدول Assembly).....
.....	۴-۲-۱- تعریف نوع تحلیل و خروجی های مورد نیاز.....
.....	۵-۲-۱- تعریف بارها و شرایط تکیه گاهی.....
.....	۶-۲-۱- مش بندی قسمت های مختلف مدل.....
.....	۷-۲-۱- تعریف Job (مدول Job).....
.....	۸-۲-۱- بررسی نتایج و Post- Processing.....

#### فصل دوم: رفتار پساکمانشی قاب

.....	۱-۲- مقدمه.....
.....	۲-۲- صورت مساله.....
.....	۱-۲-۲- ساخت هندسه مدل (مدول Part).....
.....	۲-۲-۲- تعریف خصوصیات مصالح و سطح مقطع و نسبت دادن
.....	آنها به هندسه ایجاد شده (مدول Property).....
.....	۳-۲-۲- سرهم بندی پارتها (مدول Assembly).....
.....	۴-۲-۲- تعریف نوع تحلیل و خروجی های مورد نیاز.....
.....	۵-۲-۲- تعریف اندرکنش ها و قیدهای مربوطه.....
.....	۶-۲-۲- تعریف بارها و شرایط تکیه گاهی.....

۲۹۳.....۸-۲-۵-تعریف Job (مدول Job).....

۲۹۷.....۹-۲-۵-بررسی نتایج و Post- Processing.....

### بخش دوم: مثال های ژئوتکنیکی

#### فصل ششم: مدلسازی آزمایشات سه محوری

۳۲۳.....۱-۶-۱-مقدمه.....

۳۳۵.....۱-۱-۶-ساخت هندسه مدل (Module: Part).....

۳۳۸.....۲-۱-۶-تعریف خصوصیات مصالح.....

۳۴۳.....۳-۱-۶-مونتاژ قطعات (Module: Assembly).....

۳۴۴.....۴-۱-۶-تعریف گامهای تحلیل (Module: Step).....

۳۴۸.....۵-۱-۶-تعریف بارگذاری و شرایط مرزی و اولیه.....

۳۵۴.....۶-۱-۶-مش بندی هندسه مدل (Module: Mesh).....

۳۵۷.....۷-۱-۶-پردازش (Module: Job).....

۳۵۸.....۸-۱-۶-پس پردازش (Module: Visualisation).....

#### فصل هفتم: مدلسازی تحکیم بارگذاری نواری

۳۷۱.....۱-۷-۱-مقدمه.....

۳۷۳.....۱-۱-۷-ساخت هندسه مدل (Module: Part).....

۳۷۵.....۲-۱-۷-مش بندی هندسه مدل (Module: Mesh).....

۳۸۱.....۳-۱-۷-تولید المان نامحدود.....

۳۸۴.....۴-۱-۷-تعریف خصوصیات مصالح (Module: Property).....

۳۸۷.....۵-۱-۷-تعریف گامهای تحلیل (Module: Step).....

۳۹۰.....۶-۱-۷-تعریف بارگذاری و شرایط مرزی و اولیه.....

۳۹۵.....۷-۱-۷-پردازش (Module: Job).....

۳۹۶.....۸-۱-۷-پس پردازش (Module: Visualisation).....

۱۷۴.....۳-۲-۴-سرهم بندی پارتها (مدول Assembly).....

۱۷۴.....۴-۲-۴-تعریف نوع تحلیل و خروجی های مورد نیاز.....

۱۷۷.....۵-۲-۴-تعریف اندرکنش ها و قیدهای مربوطه.....

۱۷۹.....۶-۲-۴-تعریف بارها و شرایط تکیه گاهی.....

۱۸۰.....۷-۲-۴-مش بندی قسمت های مختلف مدل.....

۱۸۱.....۸-۲-۴-تعریف Job (مدول Job).....

۱۸۴.....۹-۲-۴-بررسی نتایج و Post- Processing.....

۱۹۶.....۱۰-۲-۴-انتخاب رکورد ورودی و بانک داده های موجود.....

۱۹۶.....۱۱-۲-۴-مقیاس سازی رکوردها و انتخاب مولفه های رکوردهای

اعمالی.....

۱۹۷.....۱۲-۲-۴-اصلاح رکوردها.....

۱۹۹.....۱۳-۲-۴-نرم افزارهای اصلاح رکوردهای زلزله.....

۲۰۹.....۱۴-۲-۴-چرا زلزله بم بسیار مخرب بوده است؟.....

#### فصل پنجم: تیر بتن مسلح تقویت شده با FRP

۲۳۱.....۱-۵-۱-مقدمه.....

۲۳۲.....۲-۵-۲-صورت مساله.....

۲۳۲.....۱-۲-۵-ساخت هندسه مدل (مدول Part).....

۲۳۲.....۲-۲-۵-تعریف خصوصیات مصالح و سطح مقطع و نسبت دادن

آنها به هندسه ایجاد شده (مدول Property).....

۲۷۷.....۳-۲-۵-سرهم بندی پارتها (مدول Assembly).....

۲۸۱.....۴-۲-۵-تعریف نوع تحلیل و خروجی های مورد نیاز.....

۲۸۶.....۵-۲-۵-تعریف اندرکنش ها و قیدهای.....

۲۸۸.....۶-۲-۵-تعریف بارها و شرایط تکیه گاهی.....

۲۹۱.....۷-۲-۵-مش بندی قسمت های مختلف مدل.....

۵۰۵.....	۱-۱-۴-مونتاژ قطعات (Module: Assembly)
۵۰۶.....	۱-۱-۵-تعریف گامهای تحلیل (Module: Step)
۵۰۹.....	۱-۱-۶-تعریف خواص سطوح تماس
۵۱۳.....	۱-۱-۷-تعریف بارگذاری و شرایط مرزی و اولیه:
۵۲۲.....	۱-۱-۸-پردازش و پس پردازش (Visualisation)

## فصل هشتم: بارگذاری حدی برای رسیدن به ظرفیت باربری

۴۰۳.....	۱-۸-مقدمه
۴۰۶.....	۱-۸-۱-ساخت هندسه مدل (Module: Part)
۴۰۸.....	۱-۸-۱-۱-تعریف خصوصیات مصالح
۴۱۱.....	۱-۸-۲-مونتاژ قطعات (Module: Assembly)
۴۱۲.....	۱-۸-۳-تعریف گامهای تحلیل (Module: Step)
۴۱۴.....	۱-۸-۴-تعریف بارگذاری و شرایط مرزی و اولیه
۴۲۰.....	۱-۸-۵-مش بندی هندسه مدل
۴۲۳.....	۱-۸-۶-پردازش
۴۲۴.....	۱-۸-۷-پس پردازش

## فصل نهم: ظرفیت باربری شمع

۴۳۳.....	۱-۹-مقدمه
۴۴۲.....	۱-۹-۱-ساخت هندسه مدل (Module: Part)
۴۴۶.....	۱-۹-۲-مش بندی هندسه مدل (Module: Mesh)
۴۵۴.....	۱-۹-۳-تعریف خصوصیات مصالح
۴۵۸.....	۱-۹-۴-مونتاژ قطعات (Module: Assembly)
۴۵۹.....	۱-۹-۵-تعریف گامهای تحلیل (Module: Step)
۴۶۱.....	۱-۹-۶-تعریف خواص سطوح تماس
۴۶۸.....	۱-۹-۷-تعریف بارگذاری و شرایط مرزی و اولیه
۴۷۵.....	۱-۹-۸-پردازش (Module: Job)
۴۷۶.....	۱-۹-۹-پس پردازش (Module: Visualisation)

## فصل دهم: مدلسازی حفاری مقطع تونل

۴۸۵.....	۱-۱۰-مقدمه
۴۸۷.....	۱-۱۰-۱-ساخت هندسه مدل (Module: Part)
۴۹۲.....	۱-۱۰-۲-مش بندی هندسه مدل (Module: Mesh)
۵۰۰.....	۱-۱۰-۳-تعریف خصوصیات مصالح (Module: Property)



## فصل اول

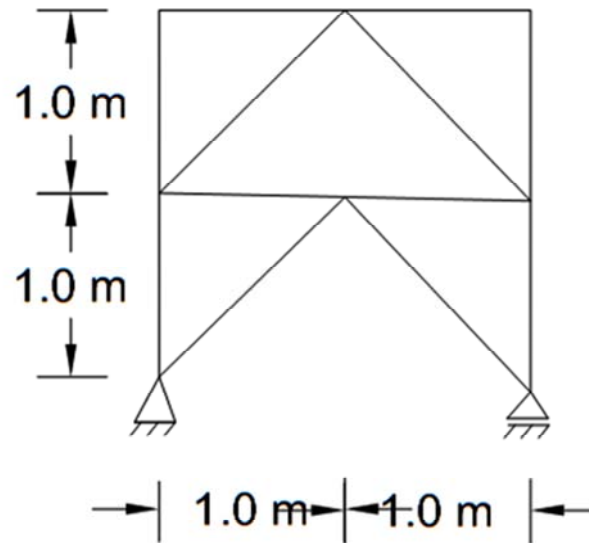
### تحلیل استاتیکی خرابای دوبعدی

#### ۱-۱- مقدمه

در مثال اول این کتاب، استفاده از ساده ترین نوع المان یعنی المان خرابایی مورد بررسی قرار می گیرد. هدف دیگر از ارائه این مثال، آشنایی کاربران با محیط نرم فزار و فرآیند مدلسازی در آن است.

#### ۱-۲- صورت مساله

مساله مورد نظر یک خرابای دوبعدی است که در جهت خارج صفحه مهار شده است و تحت بارگذاری استاتیکی قرار گرفته است. لازم به ذکر است تمامی اعضا از ماده الاستیک با مدول الاستیسیته  $2.1 \text{ GPa}$  و ضریب پواسون  $0.3$  و با مقطع دایروی با قطر  $5 \text{ cm}$  ساخته شده اند. شکل ۱-۱- نمایی از خرابای مورد نظر را نمایش می دهد.



شکل ۱-۱- نمایی از خرابا

خواسته های مساله عبارت اند از:

۱- تغییر مکان قائم نقطه A

۲- عکس العمل های تکیه گاهی

۳- تنش های محوری در اعضا

از آنجا که خرابای فوق، مدول الاستیسیته مصالح و مساحت سطح مقطع اعضا هیچ تاثیری در مقدار تنش ها و عکس


العمل های تکیه گاهی ندارند. اما برای محاسبه خواسته اول مساله، لازم است مقادیری برای پارامترهای فوق الذکر در نظر گرفته شود.

## ۱-۲-۱ - ساخت هندسه مدل (مدول Part)

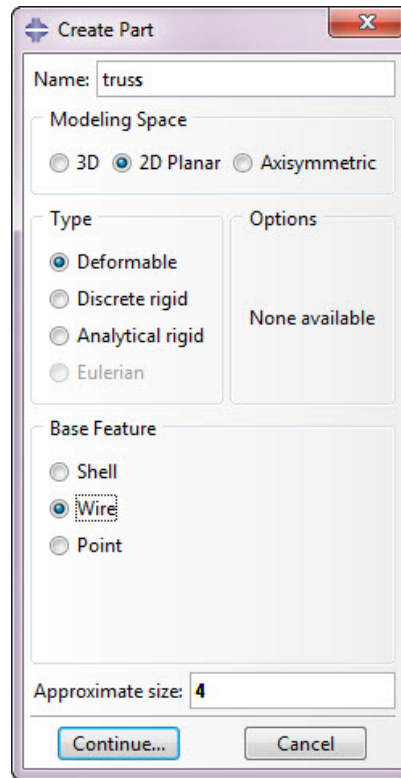
در گام اول لازم است هندسه مدل ساخته شود. این کار در مدول Part صورت می گیرد (شکل ۱-۲-).



شکل ۱-۲- نمایش از Context bar

برای این منظور با استفاده از منوی Part > Create و یا با استفاده از آیکون  وارد فضای ترسیمی نرم افزار می شویم. لازم به ذکر است اگر نشانگر موس را برای لحظه ای روی هر آیکون قرار دهیم، نام آیکون مربوطه نمایش داده می شود.

با ورود به بخش ترسیم نرم افزار، پنجره ای با عنوان Create Part باز می شود (شکل ۱-۳). در قسمت بالای پنجره نام Part مورد نظر وارد می گردد. در این مثال از آنجا که سیستم خربا، دو بعدی است، در قسمت Modeling Space گزینه 2D Planar انتخاب می گردد. همچنین از آن جا که سیستم مربوطه صلب نیست، باید در قسمت Type، گزینه Deformable انتخاب گردد. در قسمت Shape، از آنجا که در سیستم های خربایی و تیری، اعضا بصورت خطوط رسم شده و بعداً به آنها مشخصات سطح مقطع نسبت داده می شود، از گزینه Wire استفاده می گردد. همچنین در قسمت پایین در محل Approximate Size، مقدار ۴ وارد می گردد. این مقدار طول ضلع یک مربع بوده که درون آن گرید بندی شده و کاربر را برای ترسیم شکل های هندسی راهنمایی می کند. لازم به ذکر است این طول باید کمی از بزرگ ترین بعد سیستم بزرگ تر باشد. در صورت وارد کردن مقدار کمتر برای این بعد، نمونه از فضای گرید بندی شده خارج می شود. همچنین در صورت بزرگ دادن این مقدار، فاصله بین خطوط گرید، زیاد شده و عملاً در آسان کردن مرحله ترسیم شکل هندسی به کاربر کمکی نمی کند.



شکل ۱-۳- پنجره ای Create Part

لازم به ذکر است نرم افزار ABAQUS برخلاف نرم افزارهایی مانند ANSYS هیچ گونه واحد پیش فرض و قابل تغییری ندارد.

بنابراین کاربر از همان ابتدای فرآیند مدلسازی باید در انتخاب واحدها و سازگاری آنها با یکدیگر دقت نماید. به عنوان مثال اگر واحد طول را

متر انتخاب می کند، مخرج واحد مدول الاستیسیته هم باید  $m^2$  باشد. در این مثال واحدهای انتخابی برای طول و نیرو به ترتیب متر و نیوتن

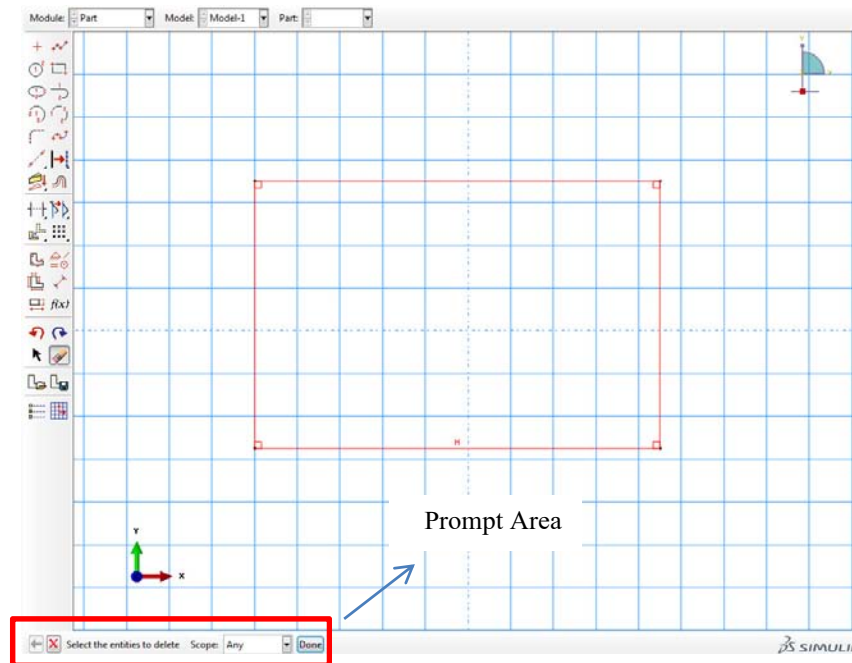
است. جدول ۱-۱ واحدهای مرسوم در مدلسازی عددی را نمایش می دهد.

جدول ۱-۱- واحدهای مرسوم در مدلسازی عددی



Quantity	SI	SI (mm)	US Unit (ft)	US Unit (inch)
Length	m	mm	ft	in
Force	N	N	lbf	lbf
Mass	kg	tonne (10 <sup>3</sup> kg)	slug	lbf s <sup>2</sup> /in
Time	s	s	s	s
Stress	Pa (N/m <sup>2</sup> )	MPa (N/mm <sup>2</sup> )	lbf/ft <sup>2</sup>	psi (lbf/in <sup>2</sup> )
Energy	J	mJ (10 <sup>-3</sup> J)	ft lbf	in lbf
Density	kg/m <sup>3</sup>	tonne/mm <sup>3</sup>	slug/ft <sup>3</sup>	lbf s <sup>2</sup> /in <sup>4</sup>


با کلیک بر روی Continue وارد فضای ترسیم نرم افزار می شویم. این فضا از نظر محیط آن و قابلیت های موجود به نرم افزارهای AutoCAD و SolidWorks بسیار شبیه است. در این مرحله قصد داریم اعضای خرابایی را ترسیم کنیم. لازم به ذکر است برای ساخت هندسه مدل های عددی روش های مختلفی وجود دارند که بسته به سادگی و راحتی هر کاربر می تواند متفاوت باشد. در این مثال یکی از این روش ها را بکار می گیریم. از مسیر Add > Line > Rectangle  و یا از آیکون  گزینه ترسیم مستطیل را انتخاب می کنیم. شکل مستطیل با دو نقطه نمایش داده شده است. این بدان معناست که برای ترسیم مستطیل لازم است دو نقطه متقابل انتخاب گردد.

با انتخاب آیکون مربوطه در قسمت Prompt Area دستوراتی به کاربر داده می شود که طبق آن، کار مربوط به آیکون انتخاب شده طی مراحل به اتمام برسد (شکل ۱-۴-). دقت به این قسمت در مراحل مختلف مدلسازی که متاسفانه توسط بسیاری از کاربران مبتدی نادیده گرفته می شود، کمک بسیاری در برطرف نمودن مشکلات اولیه و تسریع در فرآیند مدلسازی دارد. لازم به ذکر است چنین قسمتی در نرم افزارهایی مانند AutoCAD نیز وجود دارد. در اینجا دستوری که نمایش داده می شود، انتخاب نقطه اولیه و سپس نقطه متقابل است. لازم به ذکر است، محل این مستطیل و نیز طول اولیه اضلاع آن در این مرحله برای ما اهمیتی ندارد. شکل ۱-۴-، نمایی از مستطیل ایجاد شده را نمایش می دهد. لازم به ذکر است پیش فرض های نمایش نرم افزار برای چاپ بهتر تغییر داده شده اند. طبق این پیش فرض ها اضلاع با رنگ زرد و قید ها (۴ قید عمودی و یک قید افقی در ضلع پایین) با رنگ سفید نمایش داده می شوند.

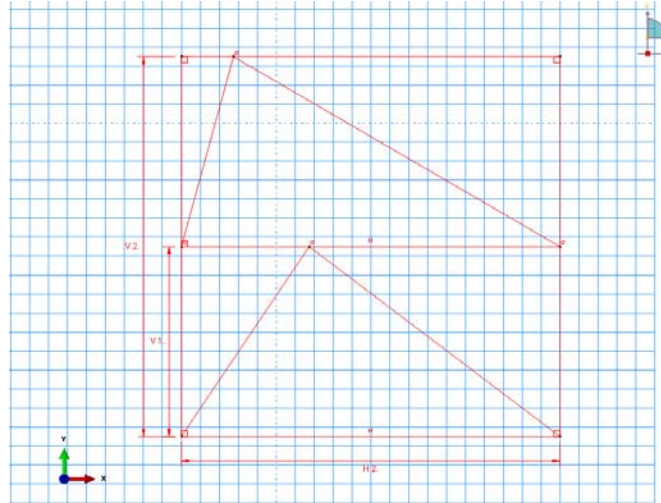


شکل ۱-۴- ترسیم مستطیل


در مرحله بعدی باید طول اضلاع مستطیل مشخص گردد. برای این منظور از مسیر **Add > Dimension** و یا از آیکون  وارد دستور اندازه می شویم. با انتخاب یکی از اضلاع قائم و نیز یکی از اضلاع افقی و یک کلیک بر روی هر نقطه ای از صفحه نمایش، در ادامه با وارد نمودن مقدار ۲ در قسمت **New Dimension**، مستطیل به ابعاد مورد نظر تغییر می یابد. لازم به ذکر است در صورت انتخاب یک دستور مانند **dimension**، مادامی که از دستور مربوطه خارج نشده ایم، دستور فعال بوده و می توان آن را بدون نیاز به کلیک مجدد بر روی آیکون، اجرا نمود. برای خروج از این دستور باید از دکمه **Esc** استفاده نمود. همچنین می توان با راست کلیک و انتخاب **Cancel Procedure** و یا کلیک مجدد بر روی آیکون مربوطه از دستور انتخاب شده، خارج شد. در صورت خارج شدن شکل مستطیلی از حالت قابل مشاهده، می توان از مسیر **View > AutoFit** و یا از آیکون  استفاده نمود.

در مرحله بعدی اضلاع میانی خرپا را ترسیم می کنیم. این کار با استفاده از **Add > Line > Connected Lines** و یا آیکون  صورت می گیرد. لازم به ذکر است محل دقیق این اضلاع در این مرحله اهمیتی ندارد؛ فقط لازم است اضلاع یکدیگر را قطع نمایند، ضلع

افقی دارای قید H باشد، اضلاع از محل مفصل های خرپا شروع شده و به انتها برسند و نیز اضلاع قطری بر یکدیگر عمود نباشند. شکل ۵-۱



شکل ۱-۵- نمایشی از هندسه مدل تکمیل نشده

در مرحله بعدی، ضلع پایینی خرپا باید حذف گردد. این کار با استفاده از مسیر **Edit > Delete** و یا استفاده از آیکون  انجام می گیرد. با کلیک بر روی ضلع پایینی مدل و انتخاب **Done**، عضو مربوطه حذف می گردد. لازم به ذکر است پس از انتخاب این دستور، گزینه های مختلفی برای کاربر نمایش داده می شود (Scope):

- ۱- Any: که هر قسمتی را که انتخاب شود، حذف می کند.

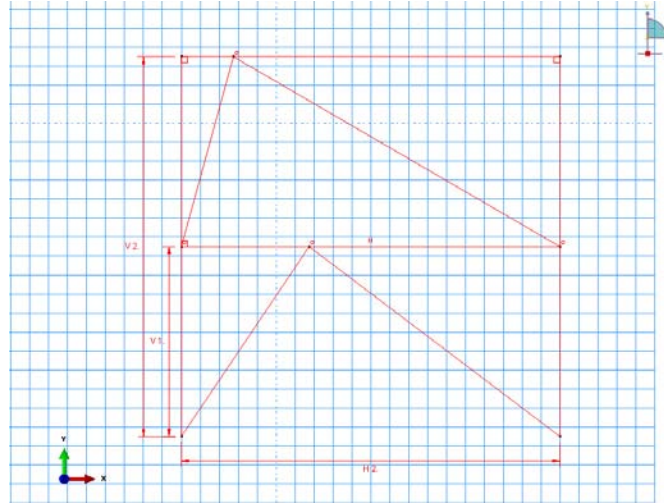
۲- Geometry: تنها اعضا را حذف می کند.

### ۳- Dimension: تنها ابعاد را حذف می کند.

۴-Constraint: تنها قیدهای نسبت داده شده به هندسه مدل را حذف می‌کند.

تقسیم بندی این دستور به موارد فوق الذکر تنها به منظور راحتی کاربران است. در مدل های با هندسه پیچیده شاید تنها لازم باشد یک سری قیدهایی که قبلاً تعریف شده است، حذف گردد. در اینصورت کافی است بجای انتخاب تک تک این قیدها، Scope را به Constraint

تغییر داده و کل هندسه مدل را انتخاب نمود و با انتخاب Done در قسمت Prompt Area تایید نمود. شکل ۱-۶ نمایی از هندسه مدل تا این مرحله را نمایش می دهد.



شکل ۱-۶- نمایی از هندسه مدل تکمیل نشده

لازم به ذکر است از آنجا که سیستم مورد نظر، خرابایی است، در محل برخورد اعضا، حتما باید مفصل تعریف گردد. نرم افزار بر حسب پیش فرضی که دارد، در صورت تعریف المان های خرابایی برای اعضای محل تقاطع آنها را مفصل در نظر گرفته و به این ترتیب نیازی به تعریف رفتار مفصلی نیست. اما بر طبق تعریف خرابا لازم است اعضا یکدیگر را قطع نمایند. به عبارت دیگر، در محل برخورد اعضا، حتما اعضای مورد نظر به انتها برسند. لازم به ذکر است این امر از مزایای نرم افزار بوده، بطوریکه نیازی به تعریف اندرکنش با رفتار مفصلی بین هریک از اضلاع در مدول Interaction وجود ندارد. این امر در مورد Section ها از نوع تیر (Beam) نیز صادق است؛ بطوریکه نرم افزار رفتار اتصال صلب را بین اضلاع در تماس با هم تعریف می کند.

در صورت الزام به در نظرگیری رفتار بین اضلاع که غیر از پیش فرض نرم افزار باشد، باید تک تک اضلاع جداگانه تعریف شده و در مدول Interaction بین آنها اندرکنش با رفتار مناسب تعریف گردد.




همانطور که در شکل ۷-۱ قابل مشاهده است. اضلاع افقی و عمودی، بصورت یکپارچه مدل شده اند و یک عضو می باشند. (اگر نشانگر موس را بر روی این اعضا قرار دهیم، رنگ کل عضو از زرد به سفید تغییر می کند که این امر بیانگر یکپارچه بودن این اعضاست.) در این راستا لازم است، درمحل برخورد مفاصل، اعضای فوق الذکر به دو قسمت تقسیم شوند. این کار با استفاده از مسیر **Edit > Split** صورت می گیرد. لازم به ذکر است در گوشه پایین سمت راست برخی آیکون ها، مثلث مشکی رنگ کوچکی وجود دارد. اگر بر روی این آیکون ها تنها یکبار کلیک کرده و نگه داریم، گزینه های مشابهی در معرض استفاده قرار می گیرد.

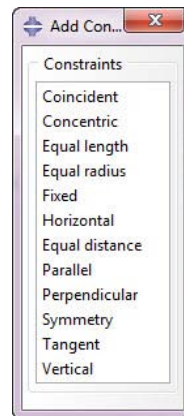


شکل ۷-۱- انتخاب گزینه Split

برای تقسیم اعضای فوق الذکر، باید بر روی هر یک از آنها کلیک کرده و در مرحله بعد بر روی یکی از اضلاع متقاطع آنها کلیک کنیم. حال اگر نشانگر موس را بر روی اعضای که تقسیم شده اند قرار دهیم، رنگ هر قسمت از زرد به سفید تغییر می کند که این امر بیانگر تقسیم اضلاع فوق به دو قسمت در محل مفاصل مدل است.

در قسمت بعدی باید طول تمامی اعضا تعیین گردد. برای این منظور می توان از گزینه **Dimension** استفاده نمود. اما برای آشنایی هرچه بیشتر و سریعتر خوانندگان با قابلیت های نرم افزار، این کار با تعریف یکسری قید صورت می گیرد. برای این منظور با استفاده از مسیر

**Add > Constraint** و یا با استفاده از آیکون  گزینه تعریف قید انتخاب می گردد. با کلیک بر روی آیکون مورد نظر گزینه های مختلفی در اختیار کاربر قرار می گیرد (شکل ۸-۱-).




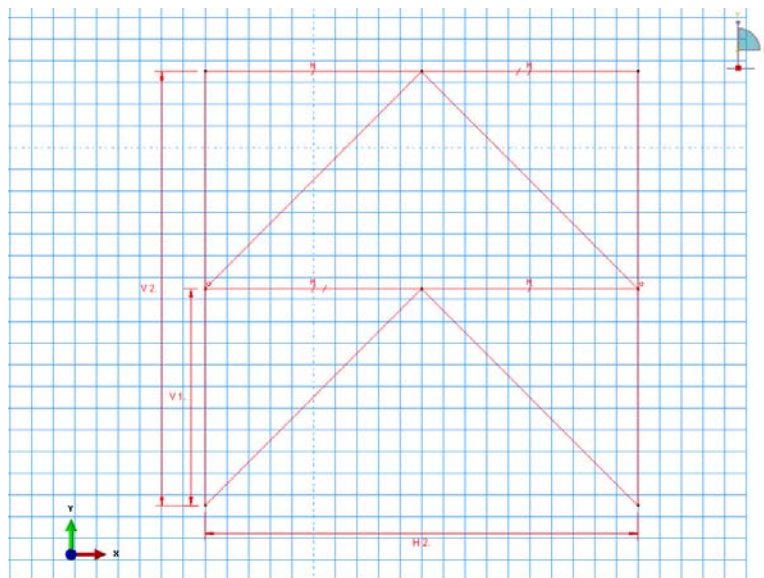
شکل ۸-۱- گزینه های مختلف Constraint

این گزینه ها و کاری که انجام می دهند در جدول ۱-۲- نمایش داده شده است.

جدول ۱-۲- انواع قیدها در محیط ترسیمی نرم افزار

نام قید	قابلیت مربوطه
Coincident	قید تطابق ایجاد می کند
Concentric	قید هم مرکزی ایجاد می کند
Equal Length	قید تساوی طول ایجاد می کند
Equal Radius	قید تساوی شعاع ایجاد می کند
Fixed	قید عدم تغییر پذیری مختصات ایجاد می کند
Horizontal	قید افقی ایجاد می کند
Equal Distance	قید فاصله مساوی نسبت به یک مرجع ایجاد می کند
Parallel	قید موازی ایجاد می کند
Perpendicular	قید متعامد ایجاد می کند
Symmetry	قید متقارن نسبت به یک مرجع ایجاد می کند
Tangent	قید مماسی ایجاد می کند
Vertical	قید قائم ایجاد می کند

در این مثال از گزینه Equal Length برای دو قسمت ایجاد شده در یکی از اضلاع افقی و نیز یکی از اضلاع عمودی استفاده می گردد. اما قبل از اعمال این قید باید تمامی اعضای افقی و قائم به ترتیب دارای قیدهای Horizontal و Vertical شوند. پس از این مرحله، قید Equal Length به قسمت های فوق الذکر اعمال می شود. برای اعمال این قید باید هر دو قسمت اعضای تقسیم شده بصورت جداگانه و با هم انتخاب شود. برای انتخاب همزمان چند عضو با یکدیگر باید در حین انتخاب کلید Shift فشرده شده و نگه داشته شود. لازم به ذکر است به علت وجود قیدهای عمودی از قبل، نرم افزار طول دیگر اضلاع را بصورت خودکار تغییر می دهد. همچنین در صورت وجود هرگونه اشتباهی در فرآیند مدلسازی، نرم افزار قابلیت برگرداندن به مراحل قبلی را از طریق مسیر Edit > Undo و یا آیکون  در اختیار کاربر قرار می دهد. شکل ۱-۹- نمایی از هندسه تکمیل شده نمونه را نمایش می دهد.





شکل ۱-۹- نمایی از هندسه تکمیل شده نمونه

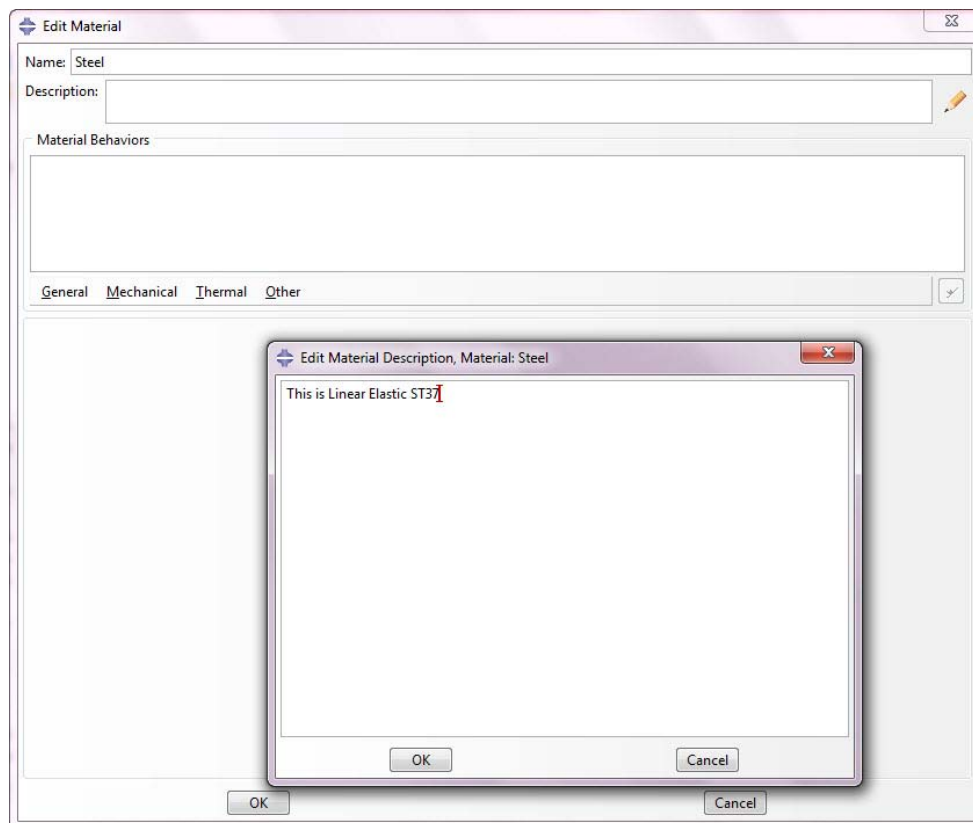
در قسمت آخر این Part با کلیک بر روی قسمت Done در گزینه Sketch the section for the wire در قسمت Prompt Area، گام اول مدلسازی در این بخش برداشته می شود. قبل از تغییر مدول به Property، بهتر است مدل مربوطه با نامی دلخواه و در مسیری دلخواه ذخیره گردد. لازم به ذکر است پس از ذخیره نمودن مدل و در صورت خروج ناگهانی و پیش بینی نشده از نرم افزار به هر دلیلی، نرم افزار قابلیت احیای مدل تا مرحله آخر فرآیند مدلسازی را داراست.

### ۱-۲-۲- تعریف خصوصیات مصالح و سطح مقطع و نسبت دادن آنها به هندسه ایجاد شده (مدول Property)

در این بخش بطور کلی ۳ مرحله در فرآیند مدلسازی انجام می شود:

۱- تعریف خصوصیات مصالح: که با انتخاب خصوصیات رفتاری موجود در کتابخانه نرم افزار و وارد نمودن مقادیر پارامترهای لازم انجام می شود.

- ۲- تعریف سطوح مقطع: که در ساده ترین حالت مصالح تعریف شده در سطح مقطع مربوطه ذخیره می گردد. در هنگام استفاده از المان های خرابی باید علاوه بر مصالح، سطح مقطع عضو مربوطه نیز در این گام تعریف گردد.
- ۳- نسبت دادن سطوح مقطع تعریف شده به قسمت های مختلف هندسه تعریف شده
- به منظور انجام مرحله اول از مدول Property آیکون  را انتخاب می نمایم. پنجره ای با عنوان Edit Material باز می شود که در قسمت فوقانی باید نامی برای مصالح مربوطه انتخاب شود که این نام را Steel می گذاریم (شکل ۱-۱۰-۱). در قسمت Description  می توان توضیحاتی در مورد مصالح مورد استفاده نوشت که استفاده از این بخش اجباری نبوده و تنها به منظور مدیریت داده و راهنمایی کاربران است.



شکل ۱-۱۰-۱ - پنجره Edit Material