



بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ



مدلسازی مکانیکی

و دینامیکی

سازه‌های خاکی در

PLAXIS

مؤلف: مهندس سینا فتح الله زاده
(کارشناس ارشد عمران ژئوتکنیک - مدرس دانشگاه)

سرشناسه	فتح‌الله‌زاده، سینا، ۱۳۶۶-
عنوان و نام پدیدآور	مدلسازی مکانیکی و دینامیکی سازه‌های خاکی در PLAXIS
مشخصات نشر	تهران: نوآور، ۱۳۹۳.
مشخصات ظاهری	۳۱۲ص.
شابک	۹۷۸-۶۰۰-۱۶۸-۲۲۲-۳
وضعیت فهرست نویسی	فیبا
یادداشت	این مدرک در آدرس http://opac.nlai.ir قابل دسترسی است.
شماره کتابشناسی ملی	۳۶۰۴۹۰۵

مدلسازی مکانیکی و دینامیکی سازه‌های خاکی در PLAXIS

مهندس سینا فتح‌الله‌زاده

نوآور

نسخه ۱۰۰۰

محمدرضا نصیرنیا

۹۷۸-۶۰۰-۱۶۸-۲۲۲-۳

مؤلف:

ناشر:

شمارگان:

مدیر تولید:

شابک:



نشر نوآور

نمایشگاه دائمی و مرکز فروش:

نوآور: تهران - خ انقلاب، خ فخررازی، خ شهدای ژاندارمری نرسیده به خ دانشگاه ساختمان ایرانیان،

پلاک ۵۸، طبقه اول، واحد ۳

تلفن: ۹۲ - ۶۶۴۸۴۱۹۱

www.noavarpub.com

کلیه حقوق چاپ و نشر این کتاب مطابق با قانون حقوق مؤلفان و مصنفان مصوب سال ۱۳۴۸ برای ناشر محفوظ و منحصراً متعلق به نشر نوآور می‌باشد. لذا هر گونه استفاده از کل یا قسمتی از این کتاب (از قبیل هر نوع چاپ، فتوکپی، اسکن، عکس برداری، نشر الکترونیکی، هر نوع انتشار به صورت اینترنتی، سی دی، دی وی دی، فیلم فایبل صوتی یا تصویری و غیره) بدون اجازه کتبی از نشر نوآور ممنوع بوده و شرعاً حرام است و متخلفین تحت پیگرد قانونی قرار می‌گیرند.

فهرست مطالب

۱۰	پیشگفتار
۱۲	شروع بکار نرم افزار
۱۲	مقدمه
۱۲	شروع بکار
۱۲	نصب نرم افزار
۱۵	ابزارهای کلی مدلسازی
۱۷	داده‌های ورودی
۱۷	ورودی عناصر هندسه
۱۷	شروع برنامه
۱۸	تنظیمات اولیه
۱۹	مدل
۲۰	ایجاد یک مدل هندسی
۲۲	ابزارهای ترسیم
۲۲	انتخاب عناصر هندسه
۲۲	نقاط و خطوط
۲۲	صفحات
۲۴	تکیه‌گاه‌های مفصلی
۲۵	ژئوگرید
۲۵	اندرکنش
۲۶	مهارهای دوسر آزاد
۲۶	مهارهای دوسر ثابت
۲۷	تونل
۲۷	جابجایی‌های از پیش تعریف شده
۲۸	شرایط مرزی استاندارد
۲۸	بارهای گسترده
۲۸	بارهای نقطه‌ای

۲۹	تکیه گاه‌های غیر مفصلی
۲۹	زهکش
۲۹	چاه (چشمه)
۳۱	بخش اول / مدل‌سازی مکانیکی
۳۲	درس اول: نشست یک پی دایروی بر روی ماسه
۳۲	هندسه مدل
۳۳	حالت ۱: پی صلب
۳۳	داده‌های ورودی
۳۴	تنظیمات کلی
۳۵	خطوط هندسه
۳۷	شرایط مرزی
۴۴	مش بندی
۴۶	شرایط اولیه
۴۸	انجام محاسبات
۵۳	نمایش نتایج خروجی
۵۸	حالت ۲: پی انعطاف پذیر
۵۹	اصلاح بارگذاری
۶۰	اضافه کردن مشخصات مربوط به جنس پی
۶۲	تولید مش
۶۲	شرایط اولیه
۶۳	محاسبات
۶۵	نمایش نتایج
۶۶	ترسیم منحنی بار-جابجایی
۶۷	مقایسه میان حالت ۱ و ۲
۷۱	درس دوم: آنالیز الاستیک پی، تحت بارهای افقی و قائم
۷۱	هندسه مدل
۷۲	تنظیمات اولیه
۷۳	خطوط هندسی، لایه‌ها و عناصر
۷۵	مشخصات جنس عناصر مدل
۷۸	مش بندی

۷۹	شرایط اولیه
۸۱	انجام محاسبات
۸۴	مشاهده نتایج خروجی
۸۵	درس سوم: گودبرداری
۸۶	هندسه مدل
۸۷	خطوط هندسی، لایه‌ها و عناصر
۹۰	مشخصات جنس عناصر مدل
۹۶	مش بندی
۹۸	شرایط اولیه
۱۰۲	محاسبات
۱۰۶	مشاهده نتایج خروجی
۱۱۳	درس چهارم: سد خاکی
۱۱۴	مدل هندسی
۱۱۵	مشخصات جنس عناصر مدل
۱۱۷	مش بندی
۱۱۸	شرایط اولیه
۱۱۹	محاسبات
۱۲۵	خروجی
۱۲۷	درس پنجم: گودبرداری با دیوارهای حائل مسلح شده
۱۲۷	ورودی
۱۲۸	مدل هندسی
۱۲۹	مشخصات جنس عناصر مدل
۱۳۱	مش بندی
۱۳۲	شرایط اولیه
۱۳۲	محاسبات
۱۳۸	خروجی
۱۴۱	درس ششم: آنالیز خاکریز
۱۴۱	ورودی
۱۴۲	مدل هندسی
۱۴۳	تنظیمات جنس عناصر مدل و تولید مش

۱۴۴	شرایط اولیه
۱۴۶	محاسبات
۱۴۸	خروجی
۱۵۱	آنالیز ضریب اطمینان
۱۵۴	ارزیابی نتایج
۱۵۸	آنالیز مش به روز شده
۱۶۳	درس هفتم: خاکریز تقویت شده با ژئوتکستایل
۱۶۴	هندسه مدل
۱۶۵	تنظیمات جنس عناصر مدل
۱۶۶	مش بندی
۱۶۶	شرایط اولیه
۱۶۸	محاسبات
۱۶۹	خروجی
۱۶۹	آنالیز ضریب اطمینان
۱۷۲	بررسی حالت بدون وجود ژئوتکستایل
۱۷۴	حالت وجود لایه سخت در زیر مدل - بدون حضور ژئوتکستایل
۱۷۷	درس هشتم: نشست ناشی از ساخت تونل
۱۷۹	هندسه مدل
۱۸۱	شرایط مرزی
۱۸۲	مشخصات جنس عناصر مدل
۱۸۴	مش بندی
۱۸۵	شرایط اولیه
۱۸۶	محاسبات
۱۹۰	خروجی
۱۹۳	درس نهم: ساخت تونل به روش اتریشی
۱۹۴	داده‌های ورودی
۱۹۷	شرایط مرزی
۱۹۷	مشخصات جنس عناصر مدل
۱۹۸	مش بندی
۱۹۸	شرایط اولیه

۱۹۸.....	محاسبات
۲۰۰.....	خروجی
۲۰۳.....	بخش دوم / مدل‌سازی دینامیکی
۲۰۴.....	مقدمه بخش دینامیکی
۲۰۴.....	درباره این بخش
۲۰۵.....	درس دهم: آنالیز دینامیکی یک ژنراتور بر روی فنداسیون
۲۰۵.....	ورودی
۲۰۶.....	مدل هندسی
۲۰۸.....	مرزهای جاذب
۲۰۹.....	مشخصات جنس عناصر مدل
۲۱۱.....	مش بندی
۲۱۱.....	شرایط اولیه
۲۱۲.....	محاسبات
۲۱۵.....	محاسبات اضافی به همراه میرایی
۲۱۶.....	خروجی
۲۱۹.....	درس یازدهم: کوبش شمع
۲۲۰.....	هندسه مدل
۲۲۲.....	مشخصات جنس عناصر مدل
۲۲۳.....	مش بندی
۲۲۳.....	شرایط اولیه
۲۲۴.....	محاسبات
۲۲۷.....	خروجی
۲۳۱.....	درس دوازدهم: ساختمان تحت تأثیر زلزله
۲۳۱.....	داده‌های ورودی
۲۳۱.....	مدل هندسی
۲۳۴.....	مشخصات جنس عناصر مدل
۲۳۵.....	مش بندی
۲۳۵.....	شرایط اولیه
۲۳۶.....	محاسبات
۲۳۹.....	خروجی

۲۴۳	بخش سوم / بکارگیری PLAXIS در چند پروژه اجرایی
۲۴۴	مثال اول: ایستگاه A10 متروی تهران
۲۴۴	مشخصات ایستگاه
۲۴۶	خلاصه‌ای از مشخصات ژئوتکنیکی محل احداث ایستگاه A10
۲۴۸	بررسی سطح آبهای زیرزمینی
۲۴۹	روش اجرای ایستگاه
۲۴۹	بررسی نشستهای سطح زمین
۲۵۰	تعیین پروفیل نشست در محدوده هسته مرکزی و سازه‌های جانبی
۲۵۰	خصوصیات سازه‌ها
۲۵۴	هندسه مدل
۲۶۳	مشخصات جنس عناصر مدل
۲۶۷	مش بندی
۲۶۸	شرایط اولیه
۲۶۹	محاسبات
۲۷۴	خروجی
۲۷۵	مثال دوم: پروژه میخ‌کوبی در حاشیه زاینده‌رود
۲۷۶	هندسه مدل
۲۷۸	مشخصات جنس عناصر مدل
۲۸۰	مش بندی
۲۸۰	شرایط اولیه
۲۸۱	محاسبات
۲۸۲	خروجی
۲۸۵	مثال سوم: گودبرداری در مجاورت بنای Unilever House لندن
۲۸۶	مراحل اجرای پروژه
۲۸۷	داده‌های لایه‌های خاک زیرین
۲۸۸	مدل هندسی
۲۹۱	مشخصات جنس عناصر مدل
۲۹۳	مش بندی
۲۹۳	شرایط اولیه
۲۹۵	محاسبات

۲۹۸.....	خروجی
۳۰۰.....	Structral elements: A پیوست
۳۰۲.....	Input Parameters for Plate: B پیوست
۳۰۴.....	Interfaces : C پیوست
۳۰۵.....	Initial Stresses: D پیوست
۳۰۷.....	PLAXIS Menu : E پیوست

پیشگفتار

خداوند را شاکرم که به من این توان را عنایت فرمود تا بتوانم اثری دیگر را به جامعه علمی کشور ارائه دهم و دیگر بار سعادت این امر را داشته باشم که خدمتی کوچک در این راستا، انجام داده باشم. از دست و زبان که برآید، کز عهده شکرش به درآید.

یکی از پرکاربردترین نرم افزارهای مهندسان عمران، علی الخصوص مهندسان ژئوتکنیک، نرم افزار PLAXIS می باشد که تقریباً در تمامی پروژه های ژئوتکنیکی بکار گرفته می شود. بررسی شرایط پروژه، قبل از اجرا، حین اجرا و پس از اجرا، از مهمترین جنبه های اینگونه پروژه ها می باشد. این نرم افزار برای کاربران این امکان را فراهم می نماید تا از طریق مدلسازی شرایط حاکم بر پروژه، آنالیزی از نحوه عملکرد در مراحل مختلف اجرا را داشته باشند و به تحلیل خروجی های حاصل از این آنالیز بپردازند. این خروجی ها شامل مواردی همچون، تغییر شکل های ایجاد شده ناشی از مراحل ساخت یا اعمال نیروها، مقدار نشست، میزان تنش ها و کرنش ها در نقاط مختلف مدل، مقدار سرعت و شتاب در مدل، پایداری و مقدار ضریب اطمینان، ترسیم نمودارهای مختلف و بسیاری موارد دیگر، می باشد. استفاده از این امکانات، این نرم افزار را به یکی از قدرتمندترین نرم افزارهای مربوط به آنالیز ژئوتکنیکی تبدیل کرده است.

در کتاب پیش رو، آموزش نرم افزار دو بعدی PLAXIS v.8.5، بر اساس درس هایی ارائه گردیده تا کاربران علاوه بر فراگیری ابزارها و بخش های مختلف نرم افزار، با عملکرد آن در کاربردهای مختلف برنامه در زمینه طراحی، آنالیز و مدلسازی، آشنا گردند. این اثر در سه بخش مجزای مدلسازی مکانیکی، مدلسازی دینامیکی و کاربرد PLAXIS در چند پروژه اجرایی تهیه گردیده است. در بخش اول دروسی از مدلسازی مکانیکی سازه های خاکی از جمله آنالیز پی، سد خاکی و خاکریز آورده شده است. در بخش دوم، تأثیرات دینامیک در مدلسازی سازه های خاکی همانند اثر زلزله و کوبش شمع مدنظر قرار گرفته و در بخش انتهایی نیز چند پروژه مهم اجرایی که در آن نرم افزار PLAXIS جهت آنالیز و شبیه سازی شرایط پروژه استفاده گردیده است، بطور کامل توضیح داده شده است.

در تألیف این کتاب از فایل های معرفی نرم افزار، ارائه شده توسط شرکت طراح برنامه PLAXIS استفاده گردیده است. دروس و پروژه های ارائه شده، طوری مطرح گردیده که کاربران پس از مطالعه این اثر، بطور کامل توانایی استفاده و بکارگیری نرم افزار PLAXIS در

مدلسازی مسائل مختلف را داشته باشند. توصیه اکید می‌گردد که با توجه به مرتبط بودن مطالب با یکدیگر، دروس کتاب به ترتیب آورده شده مطالعه گردد. همچنین لازم به ذکر این نکته مهم می‌باشم که استفاده از مطالب آموزش داده شده جهت بکارگیری نتایج آنالیزها در پروژه‌های آتی، کاملاً مرتبط با قضاوت مهندسی و شرایط موجود بر پروژه می‌باشد.

باری دیگر نیز امیدوارم این اثر بتواند مورد استفاده دانشجویان و مهندسان عزیز قرار گیرد و بتواند نقشی کوچک در جهت انجام علمی و هرچه بهتر پروژه‌های عمرانی و ژئوتکنیکی در کشور را داشته باشد. از اساتید، مهندسان و دانشجویان محترم خواستارم با ارسال پیشنهادات و انتقادات خود، در جهت بهبود این اثر بنده را یاری رسانند و نیز کمبودها و کاستی‌ها را به اینجانب ببخشایند.

بر خود لازم می‌دانم که از اساتید محترم و گرانقدر، جناب آقای دکتر بهرام نادری و جناب آقای دکتر رسول مهدی‌زاده و همچنین جناب آقای مهندس مجتبی محمدنژاد از مؤسسه مهندسين مشاور ساحل، جهت تهیه فایل‌های PLAXIS در پروژه‌های اجرایی و استفاده از نظرات و راهنمایی‌های این عزیزان، کمال تشکر و قدردانی را نمایم.

بی شک تحمل بار تمام مشقات تألیف یک اثر بر دوش خانواده می‌باشد که با صبر و بردباری، یاری‌رسان و مهمترین راهنمای ما می‌باشند. از تک تک اعضای خانواده علی‌الخصوص پدر و مادرم که بیشترین نقش را در تألیف این کتاب ایفا کردند، صمیمانه سپاسگذارم.

سینا فتح‌الله زاده

شروع بکار نرم افزار

مقدمه

نرم افزار PLAXIS یک بسته مدلسازی مهندسی است که با بکارگیری از روش های اجزاء محدود برای آنالیز تغییر شکل و پایداری در پروژه های مهندسی ژئوتکنیک بکار برده می شود. ورودی های گرافیکی ساده برنامه، مدل های پیچیده ای از روش های اجزاء محدود را آنالیز و خروجی های آن نتایج دقیق و با جزئیات زیادی را ارائه می کند. تمام محاسبات کاملاً بطور اتوماتیک که پایه آن بر اساس روش های عددی می باشد، انجام می شود. این کتاب به کاربران این امکان را می دهد که پس از چندین ساعت آموزش به راحتی استفاده از این بسته نرم افزاری را فرا گیرند.

از کاربران انتظار می رود قبل از استفاده از این کتاب با مفاهیم پایه مکانیک خاک آشنا باشند، همچنین توانایی استفاده در محیط Windows را داشته باشند. اکیداً به کاربران توصیه می گردد که دروس این کتاب را به ترتیب ذکر شده به پیش ببرند. فایل درس های توضیح داده شده در این کتاب در پوشه های مربوط به هر درس در سی دی این کتاب، موجود می باشند.

شروع بکار

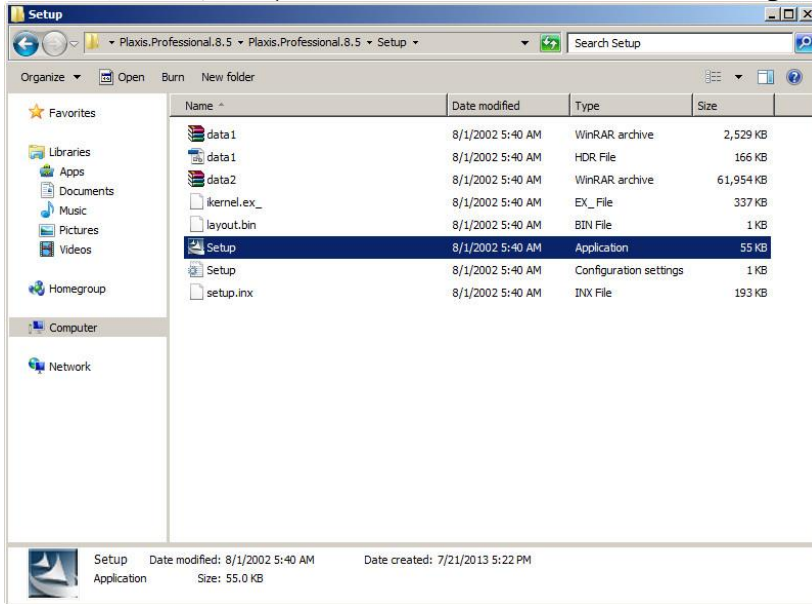
نصب نرم افزار

طریقه نصب نرم افزار PLAXIS v8.5 شامل سه مرحله می باشد. ابتدا نسخه 8 نرم افزار نصب می گردد. سپس این نسخه به نسخه 8.2 و در انتها نیز به نسخه 8.5 ارتقاء می یابد. برای نصب، مراحل زیر را دنبال کنید:

نصب PLAXIS v8 :

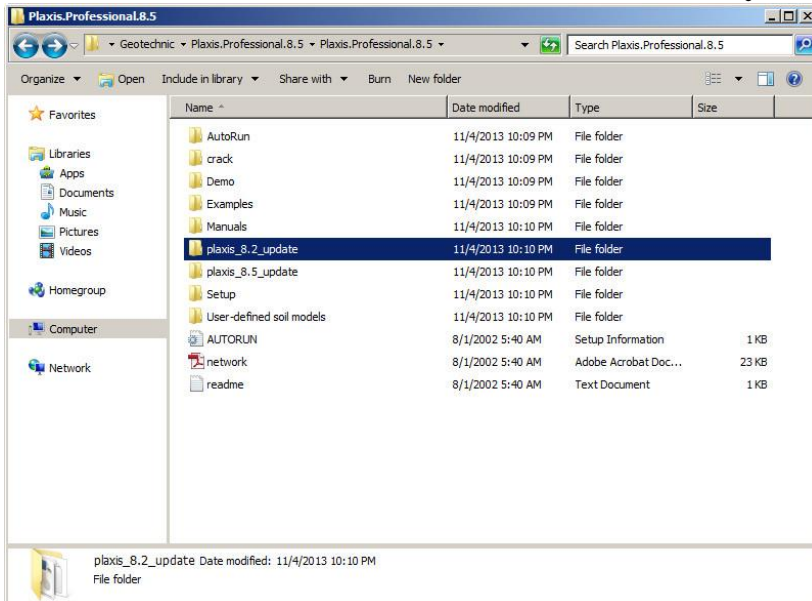
- در پوشه Setup بر روی فایل setup.exe کلیک کرده تا Plaxis v.8 نصب گردد.
- هنگامیکه از شما registration disk خواسته شد، فایل USERDEF.PUF را از پوشه مربوطه فرا بخوانید.
- در هنگام نصب، گزینه personal computer installation را انتخاب کنید. سپس اگر در

جایی از شما hardlock drives خواسته شد، آن را از پوشه برنامه نصب کنید.



ارتقاء به نسخه 8.2 :

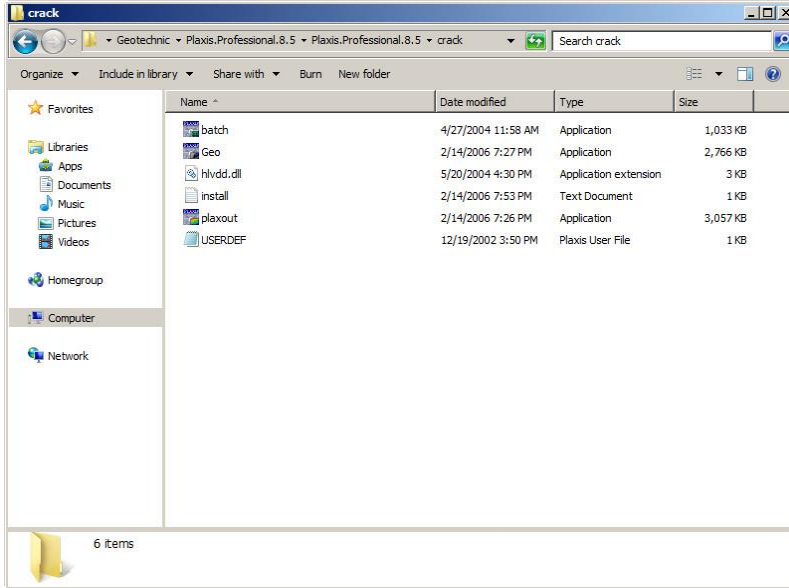
- در پوشه Plaxis_8.2_update فایل setup.exe را کلیک کرده تا نرم افزار به ورژن 8.2 به روز گردد.



- از پوشه crack فایل‌های batch.exe, geo.exe, plaxout.exe و hlvsd.dll را در محل

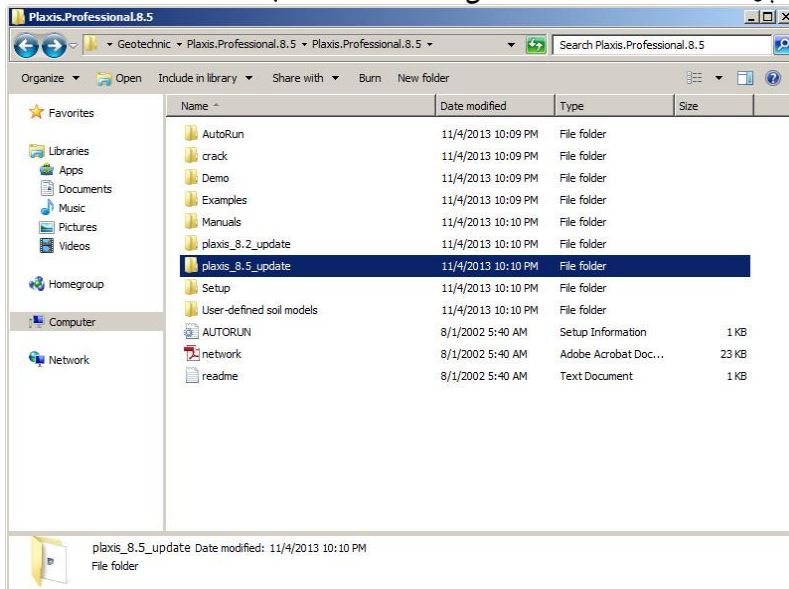
نصب نرم افزار کپی کنید.

- ممکن است لازم باشد که فایل hlvd.dll را در پوشه .../windows/system32 حذف کرده و فایل hlvd.dll موجود در پوشه crack را جایگزین آن کنید.



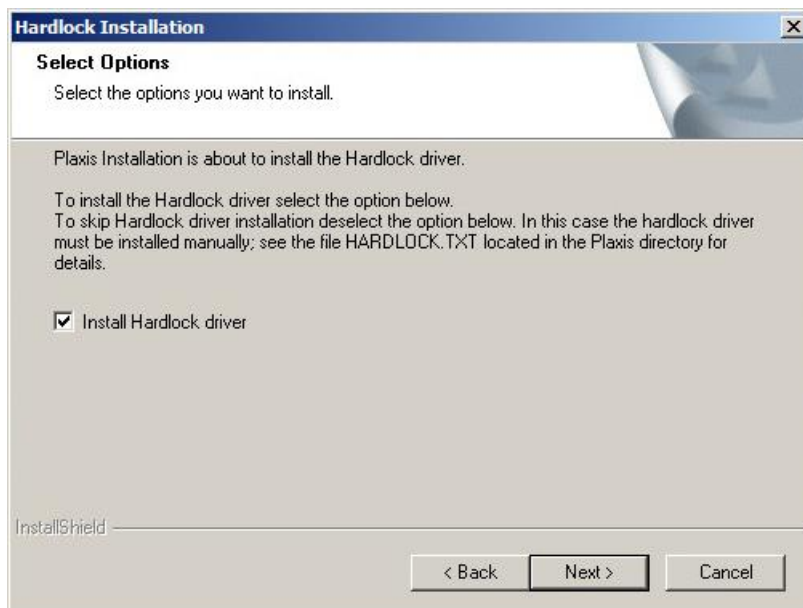
ارتقاء به نسخه 8.5 :

- در پوشه Plaxis_8.5_update فایل setup.exe را نصب کنید.

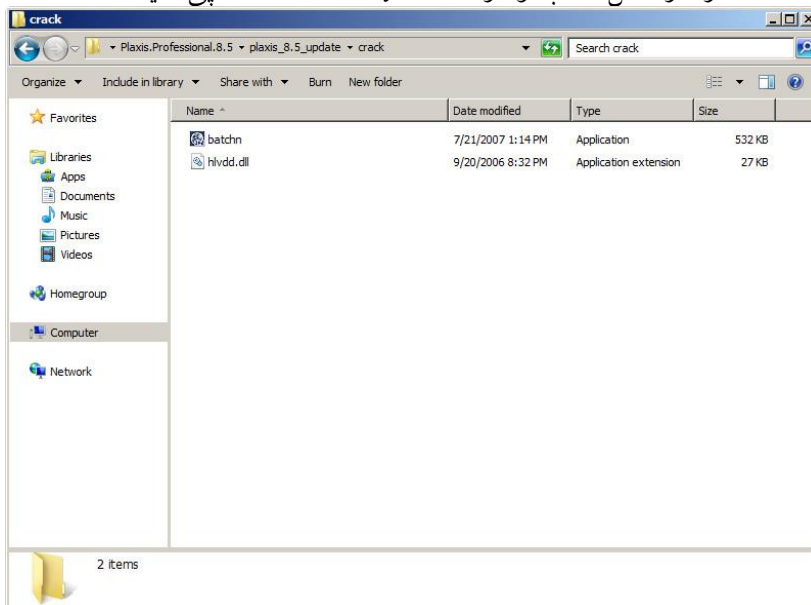


- hardlock drivers را نصب کنید.

شروع بکار نرم‌افزار / ۱۵



- در پوشه crack قرار گرفته در پوشه Plaxis_8.5_update, فایل‌های batch.exe و hlvdd.dll را در محل نصب و در .../windows/system32 کپی کنید.



ابزارهای کلی مدل‌سازی

برای آنالیز هر پروژه جدید، ابتدا احتیاج به یک مدل هندسی می‌باشد. یک مدل هندسی

یک حالت دوبعدی از حالت واقعی سه بعدی مسئله است و شامل نقاط، خطوط و توده‌هایی می‌باشد. یک مدل هندسی می‌تواند شامل لایه‌های خاک، عنصرهای سازه‌ای، مراحل ساخت و بارگذاری باشد. اندازه مدل باید به گونه‌ای باشد که مرزها تأثیری بر نتایج مسئله نداشته باشند.

سه نوع عنصر مدل هندسی در زیر توضیح داده شده است:

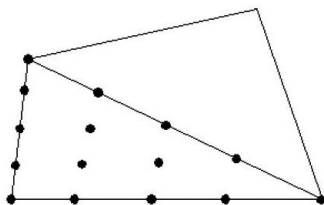
نقاط: نقاط، ابتدا و انتهای یک خط را تشکیل می‌دهند. همچنین می‌توانند جهت موقعیت دهی میخ‌ها (Anchors)، نیروهای نقطه‌ای، و برای مش بندی‌های اجزاء محدود استفاده گردد.

خطوط: خطوط برای تعریف مرزهای فیزیکی هندسه، مرزهای مدل و مواردی همچون دیوارها و سپرها، جداسازی لایه‌های خاک یا مراحل ساخت، بکار می‌رود. یک خط می‌تواند چندین تابع یا مشخصه داشته باشد.

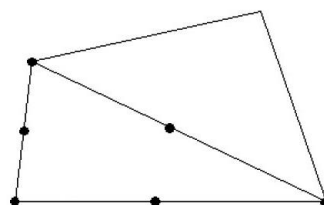
توده: توده محیطی است که توسط خطوط، کاملاً بسته شده است. در یک توده، خصوصیات خاک همگن می‌باشد، از اینرو توده‌ها به عنوان قسمت‌هایی از لایه‌های خاک محسوب می‌شوند. هر عملی در ارتباط با توده‌ها به تمام عناصر توده اعمال می‌گردد.

بعد از ایجاد هندسه مدل، یک مدل اجزاء محدود بطور خودکار بر اساس ترکیب توده‌ها و خطوط در مدل هندسی ایجاد می‌گردد. در یک مش اجزاء محدود دو نوع ترکیب می‌تواند ایجاد گردد که در زیر به توضیح آن‌ها پرداخته شده است:

عناصر: هنگام تولید مش، توده‌ها به عناصر مثلثی تقسیم بندی می‌شوند که می‌تواند شامل ۶ تا ۱۵ گره باشد. یک عنصر ۱۵ گره‌ای، محاسبات دقیق‌تری از تنش‌ها و بارگذاری شکست را ارائه می‌کند. همچنین یک مثلث با ۶ گره برای یک محاسبات سریع بکار می‌رود.



15-Noded



6-Noded

عناصر همجوار توسط گره‌های مشترک آن‌ها به هم متصل می‌گردند. در طول محاسبات اجزاء محدود، جابجایی‌ها (U_x, U_y) در گره‌ها محاسبه می‌شوند. گره‌ها همچنین برای ایجاد منحنی‌های بار-جابجایی نیز بکار می‌روند.