

راهنمای جامع نرم افزار **PLAXIS** شامل پروژه‌های ژئوتکنیکی کاربردی

تألیف
محسن بیرنگ برازین



نشر عالم عمران
www.elme-omran.com
Info@elme-omran.com

عضو:



انجمن کتاب‌های دیجیتال

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	محسن بیرنگ برازین، ۱۳۶۷.
عنوان و پدید آورنده	راهنمای جامع نرم افزار PLAXIS شامل پروژه‌های ژئوتکنیکی کاربردی، مولف محسن بیرنگ برازین
مشخصات نشر	تهران: علم عمران، ۱۳۹۶.
مشخصات ظاهری	۶۴۲ ص.: مصور، جدول، نمودار
شابک	۳-۳۵-۵۱۷۶-۶۰۰-۹۷۸-۵۰۰۰۰۰ ریال
موضوع	نرم افزار پلاکسیس، Plaxis computer software، مهندسی ژئوتکنیک نرم افزار، خاک—مکانیک
موضوع	خاک—مکانیک خاک—الگوهای ریاضی، Soil Mechanics—Mathematical models
رده‌بندی کنگره	۱۳۹۶ ر ۲ ب / ۷۱۰ TA
رده‌بندی دیویی	۶۲۴/۱۵۱۳۶۰۲۸۵
شماره کتابخانه ملی	۴۷۷۰۴۹۰



نشر علم عمران

راهنمای جامع نرم افزار PLAXIS شامل پروژه‌های ژئوتکنیکی کاربردی

تالیف	محسن بیرنگ برازین
چاپ اول	تابستان ۱۳۹۶
حروف چینی و صفحه‌آرایی	علم عمران
تعداد و قطع صفحات	۶۴۲ صفحه خشتی
شمارگان	۱۰۰۰
بهای کتاب	ریال ۵۰۰۰۰۰
شابک ۳-۳۵-۵۱۷۶-۶۰۰-۹۷۸	ISBN 978-600-5176-35-3

نشر علم عمران: تهران، یوسف آباد، خیابان جهان آرا، بین خیابانهای ۱۶ و ۱۸، پلاک ۳۳، طبقه دوم، واحد ۱۱،
تلفن: ۸۱۳۵۳۹۳۰، دورنگار: ۸۱۳۵۳۹۳۲

حقوق چاپ و نشر برای نشر علم عمران محفوظ است.

مقدمه

نویسنده

نرم‌افزار پلکسیس (Plaxis) یکی از نرم‌افزارهای بسیار محبوب و کاربردی در مدل‌سازی و تحلیل مسائل ژئوتکنیکی به روش اجزا محدود می‌باشد که سال‌هاست در کشور ما نیز مورد استفاده دانشجویان، مهندسين و مشاورین حوزه خاک و پی قرار می‌گیرد. این نرم‌افزار در نسخه‌های مختلفی ارائه شده است که بعضاً از نظر امکانات، کاربرد و لایسنس تفاوت‌های زیادی دارند. نسخه‌های مورد استفاده در ایران مربوط به سال‌های پیش است. این نرم‌افزار شامل نسخه‌های دوبعدی و سه‌بعدی می‌باشد و نسخه دوبعدی آن Plaxis 2D که با عنوان Plaxis نیز شناخته می‌شود در کتاب حاضر معرفی خواهد شد. نرم‌افزار Plaxis به سفارش مدیریت منابع آب کشور هلند در دانشگاه صنعتی Delft در سال ۱۹۸۷ تهیه و سپس در سال ۱۹۹۳ قابلیت‌های آن گسترش داده شده که توسط موسسه CUR (Center for Civil Engineering Research and Codes) نیز مورد تأیید و پشتیبانی قرار گرفت.

با توجه به نبود مرجع و راهنمایی جامع برای معرفی نرم‌افزار Plaxis و نیاز جامعه مهندسين به یک منبع قوی بر آن شدیم تا کتابی کاربردی را تهیه و تدوین نماییم که در آن مدل‌سازی مسائل و پروژه‌های مختلف ژئوتکنیکی را به صورت گام‌به‌گام در این نرم‌افزار تشریح کرده و در پیرامون آن نکات مهم مفهومی و اجرایی را مرور نماییم. در این کتاب همواره سعی بر آن بوده تا کوچک‌ترین و جزئی‌ترین نکات از قلم دور نمانده و در قالب مثال‌های متنوع تقریباً تمامی شرایط و مباحثی که در یک پروژه ژئوتکنیکی اجرایی یا آزمایشگاهی حاکم می‌باشد تشریح شود. در فصل اول کتاب مراحل کلی که باید قبل، بعد و در زمان مدل‌سازی یک پروژه ژئوتکنیکی دانست بیان شده و در فصل دوم نرم‌افزار Plaxis در قالب حل یک مثال به‌طور کامل معرفی گردیده است. در ادامه کتاب و در سایر فصول، مهم‌ترین مباحث ژئوتکنیکی دسته‌بندی شده و مباحث پیرامون آنها با مثال‌ها و پروژه‌های کاربردی و اجرایی متنوع بررسی شده‌اند و در کنار آنها علاوه بر کاربردهای این نرم‌افزار به نقاط ضعف و قوت نرم‌افزار Plaxis نیز اشاره شده است. در ابتدای هر فصل مباحث مقدماتی در مورد عنوان فصل یادآوری شده و هدف آن بیان گردیده است. در پایان هر پروژه نیز نتایج مدل‌سازی مورد تحلیل و بحث قرار گرفته و گاهی با نتایج میدانی یا آزمایشگاهی مقایسه شده است.

کتاب حاضر با توجه به کاربرد فراوان در زمینه‌های مختلف پروژه‌های ژئوتکنیکی، مرجعی مناسب و بسیار پرکاربرد برای دانشجویان مقاطع کارشناسی ارشد و دکتری ژئوتکنیک، سازه‌های دریایی، زلزله و سایر رشته‌های مرتبط می‌باشد. همچنین تلاش شده است نحوه نگارش کتاب به گونه‌ای باشد تا استفاده از آن توسط مهندسين مشاور و پیمانکاران خدمات مهندسی میسر باشد. لازم به ذکر است علی‌رغم تلاش‌های انجام شده این اثر به عنوان مرجع و راهنمایی جامع برای نرم‌افزار Plaxis در کشور خالی از نقص نبوده و لذا از کلیه اساتید، صاحب نظران و مجریان تقاضا می‌گردد تا با ارائه نظرات و انتقادات خود اینجانب را به منظور بهبود کتاب در چاپ‌های بعدی و همچنین سایر تألیفات مرتبط یاری دهند.

در انتها از پدر و مادر عزیزم، این دو معلم بزرگوام که همواره بر کوتاهی و درستی من، قلم عفو کشیده و کریمانه از کنار غفلت‌هایم گذشته‌اند و در تمام عرصه‌های زندگی یار و یآوری بی چشم‌داشت برای من بوده‌اند و همسر مهربانم که در تمامی طول نگارش این کتاب با دلگرمی‌هایش درکنارم بود، صمیمانه تشکر می‌کنم.

محسن بیرنگ

بهار ۱۳۹۶

فهرست مطالب

۲۰	۵-۱-۲-۲ Interface ابزار
۲۰	۶-۱-۲-۲ Node-to-node anchor ابزار
۲۰	۷-۱-۲-۲ Fixed-end anchor ابزار
۲۰	۸-۱-۲-۲ Tunnel ابزار
۲۰	۹-۱-۲-۲ Drain ابزار
۲۱	۱۰-۱-۲-۲ Well ابزار
۲۳	۲-۲-۲ تعریف شرایط مرزی
۲۶	۳-۲-۲ تعریف انواع بارگذاری
۲۶	۱-۳-۲-۲ تعریف بارگذاری خطی (Distributed Load)
۲۷	۲-۳-۲-۲ تعریف بارگذاری نقطه‌ای (Point Loads)
۲۷	۳-۳-۲-۲ تعریف تغییر مکان (Prescribed displacements)
۲۹	۳-۲ تشریح مراحل مدل‌سازی در برنامه‌ی Plaxis با حل یک مثال
۳۰	۱-۳-۲ ساخت هندسه
۳۱	۲-۳-۲ ایجاد شرایط مرزی و بارگذاری
۳۲	۳-۳-۲ تعریف و اختصاص خصوصیات مصالح
۴۰	۴-۳-۲ مش بندی
۴۷	۵-۳-۲ ایجاد شرایط اولیه
۵۱	۶-۳-۲ آنالیز و تحلیل مدل

۶۱	۱-۳-۳ فصل سوم: ظرفیت باربری پی‌های سطحی
۶۱	۱-۳-۳ مقدمه

فصل اول: معرفی و آشنایی با محیط برنامه ۱

۱-۱	۱-۱ معرفی برنامه PLAXIS 2D
۲-۱	۲-۱ روش اجزا محدود
۳-۱	۳-۱ بررسی یک مدل ژئوتکنیکی
۴-۱	۴-۱ مراحل تحلیل مسائل ژئوتکنیکی
۴-۱-۴	۴-۱-۴ تعیین اهداف برای آنالیز مدل
۴-۱-۴-۲	۴-۱-۴-۲ در نظر گرفتن یک تصویر مفهومی از مدل
۴-۱-۳-۴	۴-۱-۳-۴ ساخت و اجرای مدل‌های ساده‌ی و ایده‌آل از مدل اصلی
۴-۱-۴-۴	۴-۱-۴-۴ جمع‌آوری و هماهنگ کردن داده‌های خاص موردنیاز در حل مسئله
۴-۱-۵-۴	۴-۱-۵-۴ آماده‌سازی یک سری از جزئیات اجرای مدل
۴-۱-۶-۴	۴-۱-۶-۴ انجام محاسبات مدل
۴-۱-۷-۴	۴-۱-۷-۴ تفسیر نتایج

فصل دوم: حل مسئله با PLAXIS ۹

۱-۲	۱-۲ آشنایی با محیط برنامه Plaxis
۱-۲-۱	۱-۲-۱ ابزارهای ترسیم هندسه‌ی مدل
۱-۱-۲-۲	۱-۱-۲-۲ Geometry Line ابزار
۲-۱-۲-۲	۲-۱-۲-۲ Plate ابزار
۳-۱-۲-۲	۳-۱-۲-۲ Hinge and Rotation Spring ابزار
۴-۱-۲-۲	۴-۱-۲-۲ Geogrid ابزار

۲-۳-۲-مثال.....	۶۲
۱-۲-۳-تعیین ظرفیت باربری فونداسیون براساس معیار گسیختگی.....	۶۲
۲-۲-۳-تعیین ظرفیت باربری فونداسیون براساس نشست مجاز.....	۸۰
۳-۲-۳-تعیین ظرفیت باربری فونداسیون واقع بر خاک چندلایه.....	۹۱
۴-۲-۳-ظرفیت باربری فونداسیون واقع بر خاک بهسازی شده.....	۹۹

فصل چهارم: بررسی پایداری و ضریب اطمینان شیروانی‌های خاکی..... ۱۰۵

۱-۴-مقدمه.....	۱۰۵
۲-۴-مثال‌ها.....	۱۰۷
۱-۲-۴-بررسی پایداری شیروانی خاکی.....	۱۰۷
۲-۲-۴-بررسی پایداری شیروانی خاکی در حضور آب زیرزمینی.....	۱۲۸
۳-۲-۴-بررسی پایداری شیروانی خاکی در حضور آب زیرزمینی و سربار.....	۱۳۳
۴-۲-۴-بررسی پایداری شیروانی خاکی نامحدود.....	۱۴۲

فصل پنجم: پی‌های عمیق..... ۱۵۵

۱-۵-مقدمه.....	۱۵۵
۲-۵-مثال‌ها.....	۱۵۷
۱-۲-۵-تعیین ظرفیت باربری تک شمع.....	۱۵۷
۲-۲-۵-استفاده از ریزشمع‌ها در کنترل نشست سازه.....	۱۷۳
۳-۲-۵-ستون‌های سنگی.....	۱۸۴

فصل ششم: جریان آب در خاک..... ۲۰۱

۱-۶-مقدمه.....	۲۰۱
۲-۶-ابزارهای برنامه‌ی Plaxis در بحث جریان آب در خاک.....	۲۰۱
۳-۶-مثال‌ها.....	۲۰۵
۱-۳-۶-آب‌گیری سد خاکی.....	۲۰۵
۲-۳-۶-تعیین دبی عبوری از زیر سد بتنی.....	۲۲۰
۳-۳-۶-ساخت شیروانی خاکی مصنوعی و تعیین ضریب اطمینان.....	۲۳۲
۴-۳-۶-بررسی تحکیم در اثر خاک‌ریزی.....	۲۴۴
۵-۳-۶-بررسی تحکیم در اثر خاک‌ریزی و استفاده از زهکش‌های افقی.....	۲۵۷
۶-۳-۶-بررسی موردی رفتار سد خاکی.....	۲۵۹

۳-۳-۶-۱-تحلیل ساخت و آب‌گیری سد.....	۲۶۱
۳-۳-۶-۲-تحلیل ساخت مرحله‌ای سد.....	۲۷۲

فصل هفتم: گودبرداری و سازه‌های نگهبان..... ۲۷۹

۱-۷-مقدمه.....	۲۷۹
۲-۷-مثال‌ها.....	۲۸۰
۱-۲-۷-بررسی پایداری گود با استفاده از دیواره سپری.....	۲۸۰
۲-۲-۷-آبکشی از گود پایدار شده با استفاده از دیواره سپری.....	۲۹۶
۳-۲-۷-بررسی پایداری گود با استفاده از سیستم دیواره سپری و مهار متقابل.....	۳۰۳
۴-۲-۷-بررسی پایداری گود با استفاده از مهار متقابل و شمع.....	۳۰۹
۵-۲-۷-بررسی پایداری گود با استفاده از روش انکراژ.....	۳۱۹
۶-۲-۷-بررسی پایداری گود با استفاده از انکراژ و استفاده از مدل رفتاری سخت شونده.....	۳۳۵
۷-۲-۷-بررسی پایداری گود با استفاده از روش میخ‌کوبی.....	۳۴۲
۸-۲-۷-بررسی پایداری گود با استفاده از میخ‌کوبی با مدل رفتاری سخت شونده.....	۳۵۵
۹-۲-۷-اجرای دیوار حائل خاک مسلح شده با ژئوستتیک‌ها روی گود پایدار شده با سیستم ترکیبی میخ‌کوبی و انکراژ.....	۳۵۷
۱۰-۲-۷-بررسی پایداری گود با استفاده از سازه نگهبان خرپایی.....	۳۷۵

فصل هشتم: مدل‌های رفتاری و خصوصیات مصالح..... ۳۸۷

۱-۸-مقدمه.....	۳۸۷
۲-۸-معرفی مدل‌های رفتاری در برنامه Plaxis.....	۳۸۹
۱-۲-۸-مدل رفتاری الاستیک (Linear Elastic model).....	۳۹۰
۲-۲-۸-مدل رفتاری موهر-کلمب (Mohr-Coulomb model).....	۳۹۸
۳-۲-۸-مدل رفتاری سخت شونده (Hardening Soil model).....	۴۰۱
۴-۲-۸-مدل رفتاری سخت شونده با کرنش‌های کوچک (Hardening Soil model with small strain).....	۴۰۶
۵-۲-۸-مدل رفتاری کم کلی اصلاح‌شده (Modified Cam-Clay Model).....	۴۱۳
۶-۲-۸-مدل رفتاری خاک نرم (Soft Soil Model).....	۴۱۶
۷-۲-۸-مدل رفتاری خاک نرم با خزش (Soft Soil Creep Model).....	۴۱۸

- ۴۸۶-۲-۹- تحلیل تونل دایره‌ای در عمق زمین.....
- ۴۹۵-۳-۲-۹- تحلیل تونل نعل اسبی در عمق زمین.....
- ۵۰۰-۴-۲-۹- بررسی اثرات نشست ناشی از حفاری تونل در مناطق شهری ...
- ۵۱۴-۵-۲-۹- بررسی پایداری تونل با استفاده از سیستم نگهداری.....

فصل دهم: تحلیل‌های دینامیکی و شبه استاتیکی.....۵۲۹

- ۵۲۹-۱-۱۰- مقدمه.....
- ۵۳۰-۲-۱۰- مثال‌های تحلیل شبه استاتیکی.....
- ۵۳۰-۱-۲-۱۰- تحلیل شبه استاتیکی شیروانی خاکی.....
- ۵۳۷-۲-۱-۱۰- تحلیل شبه استاتیکی سد خاکی در پایان ساخت.....
- ۵۴۷-۳-۱۰- تحلیل دینامیکی.....
- ۵۵۵-۱-۳-۱۰- تحلیل لرزه‌ای دیوار وزنی.....
- ۵۷۹-۲-۳-۱۰- تحلیل لرزه‌ای سد خاکی در پایان ساخت.....
- ۵۸۷-۳-۳-۱۰- تحلیل دینامیکی پی دایره‌ای واقع بر خاک لایه‌ای.....
- ۵۹۸-۴-۳-۱۰- تحلیل لرزه‌ای ساختمان.....
- ۶۱۳-۵-۳-۱۰- تحلیل لرزه‌ای دیوار میخ‌کوبی شده.....
- ۶۱۹-۶-۳-۱۰- شمع کوبی.....

مرجع.....۶۳۱

- ۴۲۰-۸-۲-۸- مدل رفتاری سنگ درزه‌دار (Jointed Rock Model).....
- ۴۲۱-۳-۸- مدل‌سازی آزمایش‌های سه محوره.....
- ۴۳۱-۱-۳-۸- مدل‌سازی آزمایش سه محوره تحکیم یافته زهکشی شده (CD) برای یک نمونه خاک با مدل رفتاری موهر-کلمب و مدل سخت شونده.....
- ۴۲۲-۲-۳-۸- مدل‌سازی آزمایش سه محوره تحکیم یافته زهکشی نشده (CU) با مدل رفتاری موهر-کلمب و مدل سخت شونده.....
- ۴۳۳-۳-۳-۸- مدل‌سازی آزمایش سه محوره تحکیم یافته زهکشی شده برای یک خاک ماسه‌ای با سختی‌های متفاوت با مدل رفتاری سخت شونده.....
- ۴۳۶-۴-۸- آزمایش تحکیم یک‌بعدی (اندومتر).....
- ۴۴۳-۱-۴-۸- مدل‌سازی آزمایش ائدومتر برای یک نمونه خاک با مدل رفتاری موهر-کلمب و مدل سخت شونده.....
- ۴۴۴-۲-۴-۸- مدل‌سازی آزمایش تحکیم یک‌بعدی برای یک خاک ماسه‌ای با سختی‌های متفاوت با مدل رفتاری سخت شونده.....
- ۴۵۳-۵-۸- آزمایش فشارسنجی (پرسیومتری).....
- ۴۵۴-۶-۸- استفاده از ابزار Soiltest برای آزمایش‌های خاک.....
- ۴۶۰-۱-۲-۹- حفاری تونل به روش مرحله‌ای.....

فصل نهم: تونل‌ها.....۴۶۵

- ۴۶۵-۱-۹- مقدمه.....
- ۴۷۱-۲-۹- مثال‌ها.....
- ۴۷۱-۱-۲-۹- حفاری تونل به روش مرحله‌ای.....

فصل اول

معرفی و آشنایی با محیط برنامه

۱-۱- معرفی برنامه Plaxis 2D

خاک موجود در طبیعت به ندرت حالت کلاسیک (همگن ایزوتروپ و ارتجاعی) دارد. لذا در کاربرد تئوری‌ها، روابط و نمودارهای ارائه شده برای تخمین خواص مهندسی خاک قضاوت مهندسی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. همچنین معضلات موجود در تحت الارض از جمله زمین لغزه، روانگرایی، نشست، لایه‌های مسئله‌دار و ... مهندسین طراح را ضمن غافلگیری با مشکلات عدیده‌ای مواجه می‌کند که رهایی از آنها به تکنولوژی و دانش پیشرفته نیازمند می‌باشد. به‌رحال صحت سازه واقع بر شالوده به کیفیت شالوده زیر آن بستگی دارد و عدم شناخت لایه‌های تحت‌الارضی و رفتار آنها یا وجود خطا در نتایج آزمایشگاهی یا عدم صحت محاسبات طراحی می‌تواند منجر به نتایج زیانباری برای پروژه گردد. در این راستا استفاده از نرم‌افزارهای ژئوتکنیکی در تحلیل مسائل امری اجتناب‌ناپذیر می‌باشد. یکی از نرم‌افزارهای بسیار محبوب و کاربردی در این راستا نرم‌افزار اجزا محدود Plaxis می‌باشد. اولین ویرایش این نرم‌افزار به منظور آنالیز سدهای خاکی احداث شده روی خاک‌های نرم در قسمت‌های کم ارتفاع و پست کشور هلند و به سفارش مدیریت منابع آب آن کشور در دانشگاه صنعتی Delft در سال ۱۹۸۷ تهیه و سپس در سال ۱۹۹۳ قابلیت‌های آن گسترش داده شد که توسط موسسه CUR (Center for Civil Engineering Research and Codes) نیز مورد تأیید و پشتیبانی قرار گرفت.

پلکسیس نرم‌افزاری است که برای تحلیل تغییر شکل‌ها و پایداری در پروژه‌های مهندسی ژئوتکنیک کاربرد دارد. معمولاً در مسائل مهم ژئوتکنیک، یک مدل رفتاری پیشرفته برای مدل‌سازی رفتار غیرخطی و وابسته به زمان خاک‌ها بسته به هدف موردنظر لازم است. با این نرم‌افزار می‌توان خاک‌برداری و خاک‌ریزی مرحله‌ای با شرایط بارگذاری و شرایط مرزی مختلف را مدل‌سازی نمود. در فصول این کتاب و در طی تحلیل مسائل و پروژه‌های مختلف کاربردهای این نرم‌افزار به‌طور کامل تشریح شده و مزایا و معایب آن بیان خواهد شد.

۱-۲- روش اجزا محدود

یکی از روش‌های عددی در تحلیل مسائل محیط‌های پیوسته مانند خاک روش اجزا محدود می‌باشد که مبنای برنامه‌ی Plaxis نیز می‌باشد. روش المان

محدود یکی از پرکاربردترین روش‌های عددی در زمینه مهندسی است که اولین بار به‌وسیله ترنر^۱ و همکاران (۱۹۵۶) برای استفاده در تحلیل ساختمان، ارائه شد. در این روش هندسه مسئله به یک سری المان تقسیم می‌شود که در نقاط گرهی با یکدیگر ارتباط دارند و روابط تنش - کرنش به‌وسیله معادلات مناسب، مشخص می‌شوند. تنش، کرنش و تغییر شکل را می‌توان با تغییر در شرایط مسئله تحلیل نمود. انعطاف‌پذیری زیاد این روش در مدل‌سازی‌ها، اعمال شرایط مرزی متنوع و همچنین توسعه کدهای تجاری توانمند، باعث شده است که این روش، یکی از پرکاربردترین روش‌های عددی باشد. از میان نرم‌افزارهایی که با این روش قادر به حل مسائل ژئوتکنیکی هستند می‌توان به Ansys، Abaqus و Plaxis اشاره نمود.

می‌توان خطاها در روش المان محدود را به چند دسته تقسیم کرد:

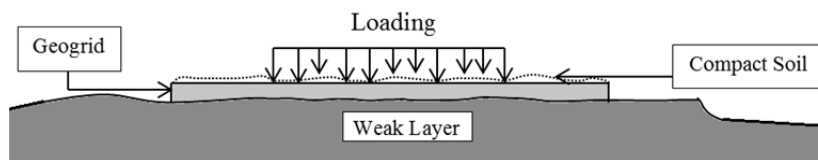
- ۱- خطاهای مدل‌سازی: در روش المان محدود شکل‌های پیچیده دقیقاً مدل نمی‌شوند و این موضوع خطایی به روش المان محدود تحمیل می‌کند.
- ۲- خطاهای گسسته سازی باعث می‌شود یک شکل پیوسته یا فرم ریاضی پیوسته به چند المان یا فرم چند ضابطه‌ای تقسیم بشود.
- ۳- خطاهای پردازش یا تحلیل که ناشی از تحلیل عددی هستند. مثل تعداد ارقام بعد از اعشار، خطاهای ناشی از روش‌های تکراری حل و البته خطاهای فوق مطلق نیستند، یعنی توسعه‌دهندگان روش المان محدود خود را به روش‌های فعلی محدود نکرده‌اند.
- ۴- یکی دیگر از خطاهایی که باید در کشورهایی که قانون کپی‌رایت را رعایت نمی‌کنند توجه کرد خطای ناشی از نرم‌افزارهای قفل شکسته است.
- ۵- در اینجا به خطاهای انسانی استفاده از نرم‌افزار یا روش و یا تفسیر نتایج نیز اشاره می‌شود.

در زیر به چند منبع اصلی خطاهای المان محدود در پروسه استفاده از نرم‌افزار اشاره می‌شود:

- ۱- مدل‌سازی سازه: ممکن است تمام سازه را نتوان با جزئیات مدل کرد و یا مدل‌سازی جزئیات خیلی ریز تأثیر قابل‌ملاحظه‌ای بر نتایج نداشته باشد و زمان تحلیل را بسیار افزایش دهد.
- ۲- المان‌ها: المان‌های ریزتر نتایج دقیق‌تری به دست می‌دهند ولی زمان تحلیل بیشتر می‌شود.
- ۳- نتایج عددی: تنش‌ها و کرنش‌ها تنها در گره‌ها از المان محدود حاصل می‌شود و در بقیه نقاط با درون‌یابی محاسبه شده‌اند.

۱-۳- بررسی یک مدل ژئوتکنیکی

فرض کنید می‌خواهیم یک سازه‌ی خاص مثلاً یک لایه متراکم خاک که روی یک لایه ژئوگرید قرار گرفته و روی یک لایه سست خاکی واقع شده‌اند و تحت بارگذاری قرار می‌گیرند را مورد تحلیل قرار دهیم (شکل ۱-۱).



شکل ۱-۱- نمونه‌ای از یک مدل ژئوتکنیکی

- هدف از تحلیل سیستم فوق بررسی مکانیزم رفتاری و ظرفیت باربری آن خواهد بود. برای بررسی آن راه‌های مختلفی به صورت زیر وجود دارد:
- ۱- یک سری نمونه ژئوتکنیکی از این مدل که تمامی خصوصیات را داشته باشد تهیه کرده و آنها را در آزمایشگاه بررسی کنیم و رفتار آنها را مشاهده نماییم. با مشاهده رفتار این نمونه‌های کوچک می‌توان دریافت که مکانیزم رفتاری مدل واقعی به چه صورتی خواهد بود. اما در استفاده از این روش مشکلی وجود خواهد داشت چراکه در واقعیت ذرات خاک در کنار یکدیگر قرار دارند و با یکدیگر اندرکنش خواهند داشت لذا در این روش اندرکنش خاک‌ها و اثر آنها در نظر گرفته نخواهد شد. به این روش که یک مدل را به چند بخش تقسیم کرده و با مطالعه روی هر بخش نتیجه را به کل مدل تعمیم می‌دهیم مطالعه تجربی می‌گویند. مزیت این روش در این است که مکانیزم رفتاری مدل را به ما نشان می‌دهد و ایراد آن در این است که اندرکنش‌ها را به ما نشان نمی‌دهد.
 - ۲- برای اینکه بتوانیم اثر اندرکنش‌ها را مشاهده نماییم می‌توان مدل واقعی را مقیاس کرده و یک مدل در ابعاد آزمایشگاهی از آن ایجاد نماییم و آن را در آزمایشگاه مورد بررسی قرار دهیم. (به عنوان مثال ابعاد یک فونداسیون واقعی به طول ۱۰ متر را با یک مدل به اندازه ۱۰ سانتی‌متر مقیاس نماییم). در این روش نیاز داریم تا برای هر ترکیب بارگذاری یک نمونه فیزیکی بسازیم. (به تعداد ترکیبات بارگذاری باید نمونه ساخت و آنها را آزمایش نمود، با این فرض که تمام نمونه‌های ساخته شده مشابه یکدیگر هستند و در آزمایش نیز مشکلی پیش نخواهد آمد) اگرچه در این روش اثر اندرکنش‌ها را می‌توان مشاهده کرد اما ایراد روش در این است که ساخت نمونه‌های فیزیکی بسیار پرهزینه و سخت می‌باشد. استفاده از این روش که روش فیزیکی نام دارد برای یک سازه خاص مانند نیروگاه هسته‌ای می‌تواند بسیار مفید و کاربردی باشد ولی برای سازه‌ای مانند تونل توجیه اقتصادی نخواهد داشت.
 - ۳- روش سوم انجام مطالعات میدانی می‌باشد؛ به این ترتیب که اگر قرار باشد مدل موردنظر در اصفهان ساخته شود می‌توان از نتایج یک مدل مشابه که در نقطه‌ای دیگر از کشور ساخته شده است استفاده کرد. این روش مشابه روش فیزیکی بوده و روش مطلوبی نیز می‌باشد؛ اما به شرط آنکه مدلی که می‌خواهیم از اطلاعات آن استفاده نماییم به درستی ابرابندی دقیقی شده باشد و بتوان رفتار آن را پایش کرد. ایراد این روش که مطالعه میدانی نام دارد در این است که اولاً دقت ابرابندی باید قابل اعتماد باشد و ثانیاً احتمال تشابه دو سازه در تمامی شرایط بسیار کم می‌باشد.
 - ۴- روش چهارم نشان دادن رفتار مدل به کمک یک سری روابط ریاضی و تحلیلی می‌باشد که به این روش، مطالعه تحلیلی گفته می‌شود چراکه با حل یک سری معادلات ریاضی به نتایج خواهیم رسید. این روابط شامل رابطه تعادل، رابطه تنش-کرنش و رابطه سازگاری می‌باشد. با حل این سه دست معادله می‌توان رفتار توده خاک را به صورت ریاضی نشان داد. در بعضی مواقع این معادلات برای یک سری شرایط خاص حل شده‌اند. به عنوان مثال برای حفاری تونل‌های دایره‌ای که در محیط الاستیک قرار دارند، برای فشارهای داخلی مختلف تغییر مکان‌های تونل به دست آمده‌اند و به صورت دیاگرام ترسیم شده‌اند. به چنین طرح‌هایی که جواب آنها بسته است و به صورت نموداری ارائه شده است حل بسته می‌گویند. در برخی از موارد برای حل معادلات از ساده‌سازی استفاده می‌کنیم. به عنوان مثال زمانی که می‌خواهیم پایداری یک شیروانی خاکی را در حالت لرزه‌ای بررسی کنیم از روش شبه استاتیکی استفاده می‌کنیم. یا در روش تعادل حدی نمی‌توان تغییر مکان‌ها را به دست آورد و تنها می‌توان ضریب اطمینان را به دست آورد. بنابراین برای اینکه بتوان در یک پروژه هم تنش‌ها و هم تغییر مکان‌ها را به دست بیاوریم نیاز به این داریم که سه دسته معادله شامل معادله‌ی تعادل (که مقادیر تنش‌ها را به ما می‌دهد)، معادله سازگاری (که تغییر مکان‌ها و کرنش‌ها را به ما می‌دهد) و یک معادله رفتاری (که بین معادله سازگاری و معادله تعادل رابطه برقرار می‌کند) را حل نماییم. در حالت کلی این سه معادله یک دستگاه ۱۵ معادله ۱۵ مجهولی را به ما می‌دهد. این دستگاه ۱۵ معادله و ۱۵ مجهولی را نمی‌توان به صورت دستی حل کرد. بنابراین برای حل این دستگاه از نرم‌افزارهای ژئوتکنیکی مانند Plaxis استفاده خواهیم کرد

که از روش‌هایی مانند المان محدود یا تفاضل محدود برای حل دستگاه استفاده می‌کنند. حال برای اینکه اطمینان حاصل نماییم که جواب‌های به دست آمده از حل دستگاه صحیح و قابل اعتبار می‌باشد می‌توان از مقایسه نتایج با روش‌های قبلی استفاده کرد.

استفاده از سه روش اول معمولاً سخت، زمان‌بر و یا پرهزینه می‌باشد، بنابراین اکثر تحلیل‌ها در مسائل عمرانی به روش تحلیلی و حل معادلات ریاضی و بخش اعظم آنها با روش‌های عددی و مدل‌سازی انجام می‌پذیرند.

صرف نظر از اینکه از چه نرم‌افزاری برای مدل‌سازی استفاده کرده باشیم می‌بایست نتایج و خروجی‌های تحلیل یکسان باشند چراکه همگی دستگاه ۱۵ معادله و ۱۵ مجهولی را حل خواهند کرد که این دستگاه و معادلات تغییر نخواهند کرد و این روش‌های حل هستند که ممکن است تغییر کنند. نرم‌افزارها صرفاً وظیفه حل این دستگاه را برعهده دارند و هیچ تضمینی وجود ندارد که نتایج درست باشند یا خیر. بنابراین برای اطمینان از اینکه نرم‌افزار به‌درستی کار می‌کند و نتایج قابل قبولی به ما ارائه می‌دهد بایستی در ابتدا نتایج خروجی از نرم‌افزار را با یکی از سه روش اول مقایسه کرده و در صورت اطمینان از عملکرد نرم‌افزار از آن برای مطالعات بعدی استفاده نمود.

۱-۴- مراحل تحلیل مسائل ژئوتکنیکی

هیچ‌گاه نباید تصور شود که یک مدل عددی مانند ماشینی عمل می‌کند که داده از یک طرف وارد آن می‌شوند و نتایج از طرف دیگر از آن خارج می‌شوند. یک مدل عددی باید با دقت بالایی ایجاد شود و چندین نمونه برای به دست آوردن درک درستی از مشکل آن مورد ارزیابی و آزمایش قرار گیرد. مراحل کلی که برای یک آنالیز عددی موفق در مسائل ژئوتکنیکی توصیه می‌شود به صورت زیر می‌باشد که در ادامه این بخش در خصوص آنها به‌طور مفصل صحبت خواهیم کرد.

- ۱- تعیین اهداف برای آنالیز مدل
- ۲- در نظر گرفتن یک تصویر مفهومی از مدل
- ۳- ساخت و اجرای مدل‌های ساده و ایده‌آل از مدل اصلی
- ۴- جمع‌آوری و هماهنگ کردن داده‌های خاص مورد نیاز در حل مسئله
- ۵- آماده‌سازی یک سری از جزئیات اجرای مدل
- ۶- انجام محاسبات مدل
- ۷- تفسیر نتایج

۱-۴-۱- تعیین اهداف برای آنالیز مدل

اغلب در یک مدل‌سازی، تعریف میزان جزئیات بستگی به هدف آنالیز دارد. به عنوان مثال چنانچه هدف ما از مدل‌سازی تصمیم‌گیری در خصوص انتخاب مکانیسم رفتاری یک سیستم باشد، می‌بایست یک مدل خام از سیستم ساخته شود، البته به‌شرط آنکه اجازه دهیم مکانیسم موردنظر رخ دهد. وارد کردن جزئیات پیچیده در یک مدل‌سازی چنانچه تأثیر بسیار اندکی در پاسخ مدل و نتایج آن داشته باشد و یا حتی بی‌ربط با هدف مدل‌سازی باشد لازم نبوده و به‌طور کلی می‌بایست مدل‌سازی را با یک دید کلی و در نظر گرفتن اصلاحات انجام داد.

۱-۴-۲- در نظر گرفتن یک تصویر مفهومی از مدل

در فرآیند مدل‌سازی، بسیار مهم است که یک تصویر مفهومی از مدل موردنظر خود داشته باشیم؛ چراکه به ما کمک خواهد کرد تا بتوانیم یک برآورد اولیه از رفتار مدل تحت شرایطی که به آن تحمیل شده است داشته باشیم. برای این منظور باید سؤال‌هایی مختلفی در خصوص ایجاد تصویری مفهومی از مدل موردنظر پرسیده شود. به عنوان مثال باید از خود پرسیم که آیا سیستمی که در حال مدل‌سازی آن هستیم می‌تواند پایدار باشد؟ آیا پاسخ غالب این مدل خطی است یا غیرخطی؟ با استفاده از این پرسش‌ها می‌توان شرایط کلی از مدل عددی مانند هندسه مدل، نوع مدل رفتاری، شرایط مرزی و اولیه را تعیین کرد که به ما کمک می‌کند تا تعیین نماییم که برای آنالیز مدل موردنظر نیاز به یک مدل سه بعدی است یا مدل دو بعدی؟

۱-۴-۳- ساخت و اجرای مدل‌های ساده و ایده‌آل از مدل اصلی

زمانی یک مدل برای آنالیز عددی کارآمدتر و مفیدتر خواهد بود که قبل از ساخت مدل دقیقی از آن، برای اولین بار مدل‌های ساده و آزمایشی از آن ساخته شود. مدل‌های ساده باید در اولین مرحله از یک پروژه ساخته شوند تا به درک و فهم بهتری از مدل کمک کنند. همچنین می‌توان به کمک این مدل‌های اولیه به نتایج بیشتری از مدل مفهومی ساخته شده در مرحله قبل رسید و به پرسش‌های بیشتری پاسخ دهیم، لذا ممکن است مرحله قبل پس از اجرای مدل‌های ساده نیاز به تکرار داشته باشد. ساخت مدل‌های ساده کمک می‌کند تا کاستی‌هایی که مدل اصلی برای آنالیز دارند مشخص شود. به عنوان مثال آیا مدل رفتاری انتخاب شده به اندازه کافی رفتار مورد نظر مدل را نشان می‌دهد؟ آیا شرایط مرزی بر پاسخ‌های مدل تأثیرگذار هستند؟ ساخت مدل‌های ساده و اولیه از مدل اصلی همچنین کمک خواهند کرد تا دریا بایم کدام یک از اطلاعات و پارامترهایی که برای مدل‌سازی انتخاب شده‌اند بیشترین تأثیر را در آنالیز دارند.

۱-۴-۴- جمع‌آوری و هماهنگ کردن داده‌های خاص موردنیاز در حل مسئله

انواع داده‌هایی که برای آنالیز یک مدل موردنیاز است عبارت‌اند از:

- ۱- جزئیات هندسه مدل مانند موقعیت دهانه‌های زیرزمینی، توپوگرافی سطح، مشخصات سد و ...
- ۲- موقعیت ساختارهای زمین‌شناسی مانند گسل‌ها، لایه‌بندی‌ها، مجموعه درزه‌ها و ...
- ۳- رفتار مواد و مصالح مانند خواص الاستیک-پلاستیک و یا رفتار مواد پس از گسیختگی
- ۴- شرایط اولیه مانند تنش‌های اولیه، فشار آب منفذی، شرایط اشباع و ...
- ۵- بارگذاری خارجی مانند بارگذاری انفجار و ...

از آنجا که معمولاً عدم قطعیت‌های زیادی در ارتباط با شرایط خاص یک مدل (مانند حالت‌های تنش، تغییر شکل‌ها و ویژگی‌های مقاومتی) وجود دارد لذا باید محدوده مناسبی برای پارامترهای مورد بررسی در نظر گرفته شوند. نتایجی که از اجرای مدل‌های ساده در مرحله قبل به دست می‌آید می‌تواند در تعیین این محدوده‌ها کمک‌کننده باشد.

۱-۴-۵- آماده‌سازی یک سری از جزئیات اجرای مدل

زمانی که یک مدل برای انجام محاسبات آماده‌سازی می‌شود جنبه‌های مختلفی از آن مانند موارد زیر در نظر گرفته می‌شود:

- ۱- زمان موردنیاز برای انجام محاسبات هر مدل چقدر است؟
- ۲- باید هر مرحله از اجرای مدل در چند مرحله میانی ذخیره شود تا نیازی به تکرار کل اجرای مدل با تغییر در هر پارامتر نباشد. به عنوان مثال چنانچه آنالیز مدل شامل چندین مرحله بارگذاری و باربرداری باشد، کاربر باید بتواند به هر مرحله دلخواه از آنالیز بازگشت نماید، پارامتر موردنظر خود را تغییر دهد و ادامه آنالیز را دنبال کند.
- ۳- آیا تعداد نقاط کافی در مدل به منظور دریافت یک تفسیر روشن از نتایج مدل و برای مقایسه با داده‌های فیزیکی تعیین شده است؟ این جنبه از آماده‌سازی مدل‌سازی از این حیث حائز اهمیت می‌باشد که با تعیین چند نقطه در مدل می‌توان تغییرات پارامترها (مانند تغییر مکان‌ها یا تنش‌ها) را در حین فرآیند آنالیز و انجام محاسبات مشاهده کرد.

۱-۴-۶- انجام محاسبات مدل

بهتر است قبل از اجرای کامل مدل در ابتدا آن را در یک یا دو بخش به صورت مجزا اجرا نماییم. اجرای مدل‌ها می‌بایست در هر مرحله کنترل شوند تا این اطمینان حاصل شود که به پاسخ مورد انتظار از مدل دست‌یافته‌ایم.

۱-۴-۷- تفسیر نتایج

مرحله نهایی در حل یک مسئله، ارائه نتایج برای تفسیر و تشریح روشن آنالیز می‌باشد که بهتر آن است این مرحله به صورت گرافیکی باشد. یک خروجی گرافیکی می‌بایست در قالبی باشد که قابلیت مقایسه کردن با نتایج میدانی و اندازه‌گیری شده را داشته باشد. همچنین مقادیر عددی هر متغیر در مدل نیز باید به آسانی برای تفسیر دقیق‌تر در دسترس باشد.

ممکن است بسیاری از توضیحاتی که در خصوص مراحل هفت‌گانه فوق داده شدند تا اینجا نامفهوم و ناملموس باشند اما می‌توان آنها را به‌طور خیلی خلاصه در شش مرحله به صورت زیر بیان کرد:

۱- ساخت هندسه

۲- مش بندی: همان‌طور که در روش تحلیلی بیان شد برای حل یک مسئله می‌بایست یک دستگاه ۱۵ معادله و ۱۵ مجهولی را با استفاده از روش المان محدود، تفاضل محدود و یا مشابه آنها حل نماییم. بنابراین ابتدا دستگاه را به اجزای کوچک‌تری به نام مش تبدیل کرده و جواب‌ها را در آنها بررسی کرده و در نهایت جواب را به کل مدل اختصاص خواهیم داد. طبیعتاً هرچه تعداد نقاط تحلیلی (هر مش از تعدادی گره یا نقطه تشکیل شده است) یا چگالی مش‌ها بیشتر باشد دقت تحلیل نیز افزایش خواهد یافت اما در مقابل زمان تحلیل نیز به واسطه اینکه تعداد نقاط بیشتری می‌بایست تحلیل شود افزایش خواهد یافت.

۳- تخصیص مصالح

۴- اختصاص شرایط مرزی و اولیه

۵- محاسبات، بارگذاری، تحلیل‌های مختلف مانند تراوش، حفاری و ...

۶- مشاهده خروجی‌ها

شش گام فوق در تمامی نرم افزارهای ژئوتکنیکی می بایست انجام شوند. اما برخی از نرم افزارها مانند Plaxis هر شش گام را به صورت جداگانه انجام می دهند و در برخی نرم افزارها مانند FLAC می بایست هندسه سازی و مش بندی را به صورت هم زمان انجام داد.

به طور کلی نرم افزارهایی که در ژئوتکنیک حل دستگاه ۱۵ معادله و ۱۵ مجهولی را انجام می دهند می توان به صورت زیر تقسیم بندی کرد:

۱- نرم افزارهایی که از فرض تعادل حدی استفاده می کنند مانند SLOP

۲- نرم افزارهایی که به صورت المان محدود عمل می کنند مانند Abaqus و Plaxis

۳- نرم افزارهایی که به صورت تفاضل محدود عمل می کنند مانند FLAC

استفاده از روش تفاضل محدود در نرم افزارها به خصوص در جاهایی که خاک پلاستیک خواهد شد و جریان پلاستیک بالایی دارد منجر به این خواهد شد که سرعت تحلیل بالاتری نسبت به نرم افزارهای المان محدود داشته باشیم اما لزوماً دقت بالاتری نخواهیم داشت چراکه هر دو نوع نرم افزار دستگاه ۱۵ معادله و ۱۵ مجهولی یکسانی را حل خواهند کرد.

تحلیل ها همواره می بایست به صورت سه بعدی انجام شوند مگر اینکه با دلایل منطقی بتوان نشان داد که مسئله را می توان به صورت دوبعدی در نظر گرفت. بعلاوه تحلیل های سه بعدی معمولاً بسیار زمان بر بوده و نیاز به مدل های رفتاری پیچیده تری دارند. بنابراین تا حد امکان و با انجام یک سری ساده سازی که در ادامه توضیح داده خواهد شد سعی خواهیم کرد تا مسائل را به صورت دو بعدی مدل سازی نماییم:

۱- در یک مسئله سه بعدی چنانچه یک بعد نسبت به دو بعد دیگر خیلی طویل تر باشد به شرط آنکه خواص مصالح و هندسه در امتداد بعد طویل تر ثابت باشد، یا به عبارت دیگر در صورتی که از هر مکان دلخواه در امتداد بعد طویل تر مقطع دلخواهی ایجاد نماییم و به یک مقطع ثابت برسیم می توان بجای مدل سازی سه بعدی از مدل سازی دو بعدی استفاده کرد (یعنی یک مقطع به طول واحد چراکه در این حالت در امتداد بعد طولانی تر هیچ کرنشی ایجاد نخواهد شد) و نتیجه را به کل مدل تعمیم داد. به عنوان مثال برای یک سد خاکی با طول زیاد در صورت برقرار بودن شرایط فوق می توان از مدل سازی دو بعدی استفاده کرد. به چنین مسائلی اصطلاحاً کرنش مسطح گفته می شود. ۹۰ درصد مسائل در تحلیل های دو بعدی به صورت کرنش مسطح خواهند بود.

۲- در برخی از حالات مانند پی دایره ای که هندسه آن نسبت به محور مرکزی اش متقارن است و بارگذاری و خصوصیات مصالح آن نیز نسبت به محور مرکزی متقارن می باشد (باید هر سه شرط برقرار باشند) می توان بجای مدل سازی سه بعدی از مدل سازی دو بعدی استفاده کرد (یک مقطع به ضخامت یک رادیان) و در نهایت جواب هایی که برای یک رادیان به دست می آید را در 2π ضرب کرد تا جواب ها برای کل مدل به دست آیند که در اصطلاح به آنها مسائل تقارن محوری گویند. این مسائل در حدود ۹ درصد از مدل سازی های دو بعدی را شامل می شوند.

۳- یک درصد باقیمانده در مدل سازی های دو بعدی برخلاف مسائل کرنش مسطح که فرض آن طولانی بودن یک راستا نسبت به دو راستای دیگر می باشد مسائل تنش مسطح می باشند که فرض آن این است که یک بعد نسبت به دو بعد دیگر بسیار ناچیز باشد (مانند

یک ورق فولادی با ضخامت بسیار کم یا تحلیل محور طولی سد). در این حالت با فرض اینکه بارگذاری در امتداد بعد ناچیز نداشته باشیم می‌توان بجای مدل‌سازی سه بعدی از مدل‌سازی دو بعدی استفاده کرد.

نرم‌افزار Plaxis دو بعدی تنها دو حالت اول یعنی کرنش مسطح و تقارن محوری را می‌تواند بررسی کند و نمی‌توان برای مسائل تنش مسطح از این نرم‌افزار استفاده کرد.

حال یک سؤال مطرح است که با فرض ساده‌سازی‌های فوق و انجام مدل‌سازی دو بعدی جواب‌ها تا چه اندازه با مدل‌سازی سه بعدی تفاوت خواهد داشت؟ در اینجا باید گفت که بستگی به این دارد که مسئله را در کجا بررسی می‌کنیم. به عنوان مثال چنانچه فرض کرنش مسطح دقیقاً حاکم باشد جواب‌های دو بعدی و سه بعدی تفاوتی نخواهد داشت. پیشنهادی که سازمان جهانی سدهای بزرگ می‌دهد این است که همواره سازه را به صورت سه‌بعدی مدل‌سازی نمایید مگر آنکه دلایل کافی و منطقی برای مدل‌سازی دو بعدی آن وجود داشته باشد.

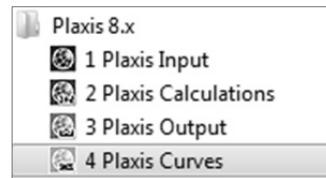
در فصل‌های آتی مدل‌سازی مسائل و پروژه‌های مختلف ژئوتکنیکی تشریح خواهند شد و در آنها با نکات مختلفی پیرامون مباحث آشنا خواهیم شد.

فصل دوم

حل مسئله با Plaxis

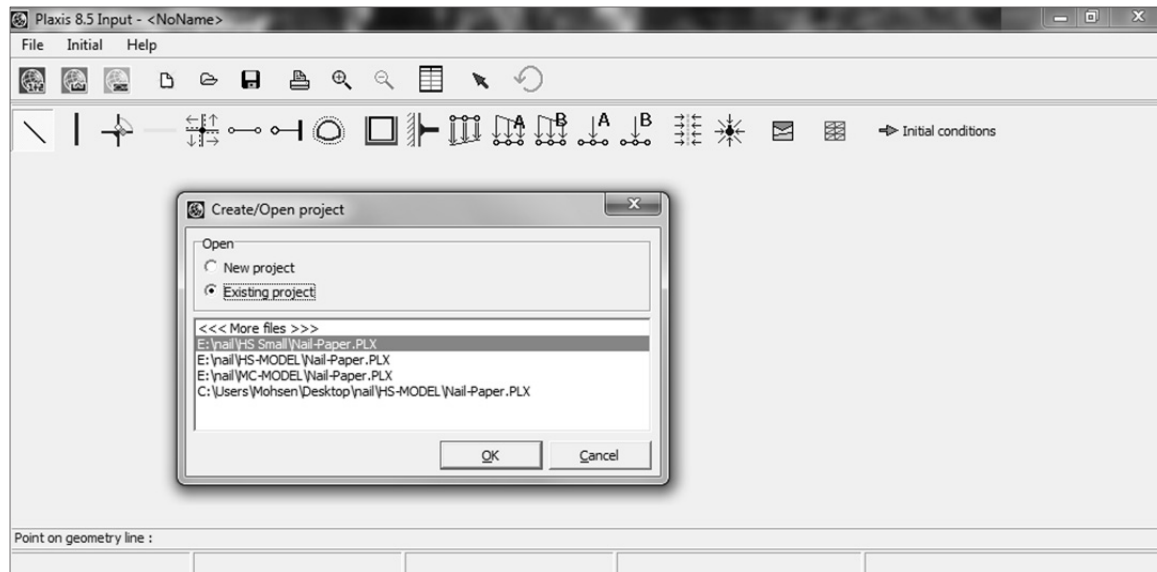
۱-۲- آشنایی با محیط برنامه Plaxis

برنامه Plaxis برای انجام شش مرحله تحلیل که در فصل قبل به آنها اشاره شده دارای چهار زیربرنامه به صورت شکل ۱-۲ می‌باشد. این زیربرنامه‌ها از شاخه Plaxis در منوی Start ویندوز قابل دسترسی می‌باشند.



شکل ۱-۲- زیربرنامه‌های Plaxis

- **Plaxis Input:** در این زیربرنامه عمده‌ترین بخش مدل‌سازی شامل ساخت هندسه، مش بندی، تعریف خصوصیات مصالح، ایجاد بارگذاری و ... اولیه انجام می‌شود.
- **Plaxis Calculation:** در این زیربرنامه عملیات محاسبات انجام می‌شود.
- **Plaxis Output:** در این زیربرنامه می‌توان خروجی‌های حاصل از تحلیل مدل‌سازی را به صورت گرافیکی مشاهده کرد.
- **Plaxis Curves:** در این زیربرنامه می‌توان خروجی‌های مدنظر را برای یک یا چند نقطه به صورت نمودار ترسیم کرد. برای شروع مدل‌سازی پس از فراخوانی زیربرنامه Plaxis Input پنجره‌ای به شکل ۲-۲ باز می‌شود.



شکل ۲-۲- شروع مدل‌سازی با ورود به زیربرنامه Input

در پنجره نشان داده شده در شکل ۲-۲ (پنجره‌ی Create/Open project) در کادر Open دو گزینه به صورت زیر وجود دارد:

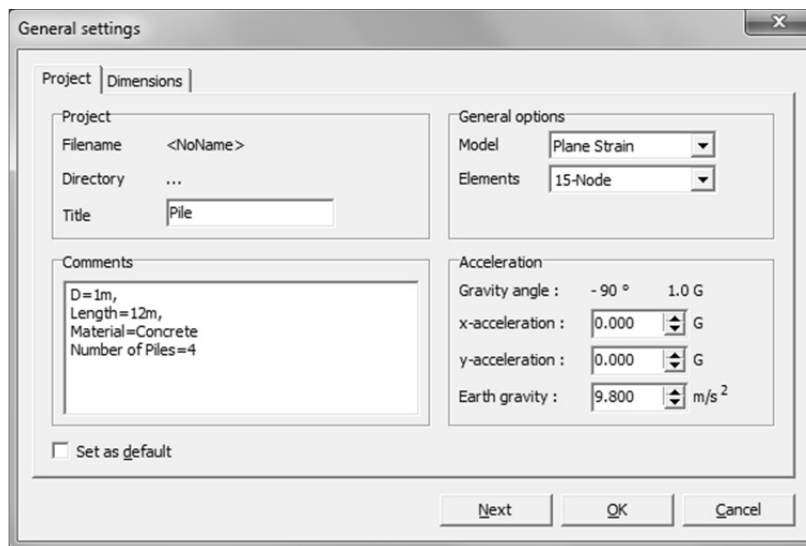
- **Existing project:** با انتخاب این گزینه می‌توان پروژه‌ای که قبلاً ایجاد شده است را مجدداً فراخوانی کرد. در کادر پایین پنجره پروژه‌های ایجادشده‌ی قبلی (مشابه آنچه در شکل ۲-۲ نشان داده شده است) قابل مشاهده و انتخاب می‌باشند. در صورتی که پروژه موردنظر در لیست پایین پنجره موجود نباشد برای فراخوانی آن روی گزینه More files کلیک کرده و پنجره‌ی Create/Open project را OK می‌کنیم. سپس از پنجره‌ای که باز خواهد شد در مسیر موردنظر پروژه دلخواه را انتخاب می‌کنیم تا اجرا شود.
- **New project:** با انتخاب این گزینه می‌توان پروژه‌ی جدیدی ایجاد کرد. با انتخاب این گزینه و OK کردن پنجره‌ی Create/Open project، وارد پنجره تنظیمات General settings می‌شویم (شکل ۲-۳).

در پنجره General settings تنظیمات اولیه پروژه را انجام می‌دهیم. این پنجره از دو سربرگ به صورت زیر تشکیل شده است:

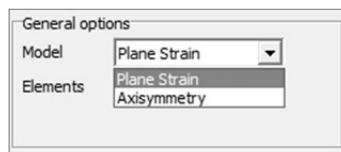
☐ **سربرگ Project:** این سربرگ از چهار بخش به صورت زیر تشکیل شده است:

- 1- **Project:** در این بخش از قسمت Title می‌توان عنوانی برای پروژه موردنظر وارد کرد.
- 2- **Comments:** در صورت نیاز در کادر Comments می‌توان توضیحاتی برای پروژه‌ی موردنظر درج کرد. به عنوان مثال چنانچه بخواهیم تک شمع مدل نماییم می‌توان در کادر Title عبارت Pile و در کادر Comments توضیحاتی در خصوص شمع مانند قطر یا شمع و ... وارد نمود (شکل ۲-۳).
- 3- **General options:** مهم‌ترین بخش این سربرگ می‌باشد که از دو قسمت به صورت زیر تشکیل شده است.

۱-۳- Model: همان‌طور که گفته شد در برنامه Plaxis می‌توان مدل‌ها را به صورت کرنش مسطح و یا تقارن محوری ایجاد کرد که در این بخش می‌توان نوع مدل را انتخاب کرد (شکل ۲-۴). با انتخاب گزینه Plane strain مدل به صورت کرنش مسطح (شکل ۲-۶) و با انتخاب گزینه Axisymmetry مدل به صورت تقارن محوری (شکل ۲-۸) در نظر گرفته خواهد شد. همان‌طور که گفته شد ۹۰ درصد مسائل در تحلیل‌های دوبعدی به صورت کرنش مسطح هستند و به این دلیل پیش فرض برنامه در این قسمت گزینهی Plane strain می‌باشد.



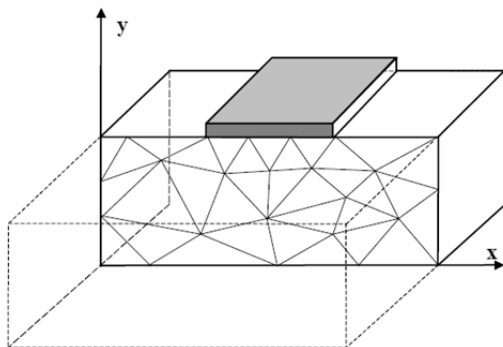
شکل ۲-۳- سربرج Project در پنجره General settings



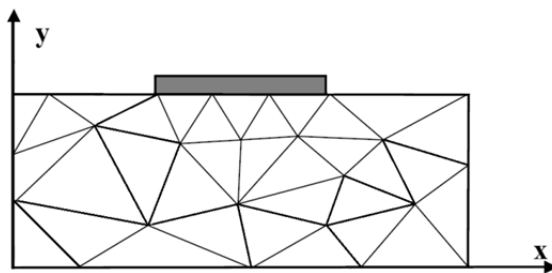
شکل ۲-۴- انتخاب نوع مدل

در شکل ۲-۵ مدلی نشان داده شده است که می‌توان آن را به صورت کرنش مسطح مدل‌سازی کرد. هندسه‌ی این مدل در برنامه Plaxis به صورت شکل ۲-۶ ایجاد خواهد شد.

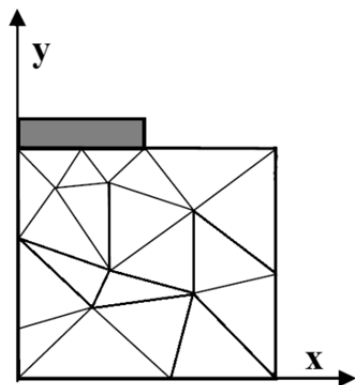
در شکل ۲-۷ مدلی نشان داده شده است که می‌توان آن را به صورت تقارن محوری مدل‌سازی کرد. هندسه‌ی این مدل در برنامه Plaxis به صورت شکل ۲-۸ ایجاد خواهد شد.



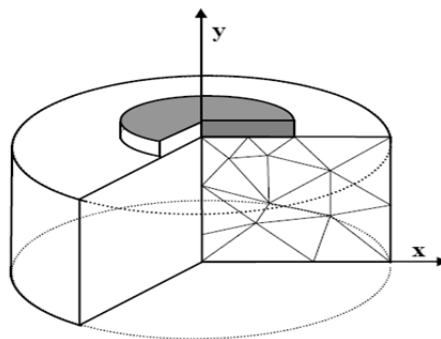
شکل ۲-۵- نمایش مدل کرنش مسطح



شکل ۲-۶- مدل اجزا محدود کرنش مسطح در برنامه‌ی Plaxis



شکل ۲-۸- مدل اجزا محدود تقارن محوری در برنامه‌ی Plaxis



شکل ۲-۷- مدل اجزا محدود تقارن محوری