



## مدلسازی المان محدود لوله فولادی انتقال سیال نفت مدفون در خاک ماسه ای تحت انفجار به روشی نوین CONWEP و بررسی توزیع تنشها بر روی سطح لوله در نرم افزار آباکوس

حمید فرحانی<sup>۱\*</sup>، غلامرضا راشد<sup>۲</sup>

۱- کارشناس ارشد، مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعت نفت-دانشکده نفت آبادان-ایران

۲- دانشیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعت نفت -دانشکده نفت آبادان-ایران

\*h.farhani242@gmail.com

ارسال: اردیبهشت ماه ۱۴۰۱ پذیرش: خرداد ماه ۱۴۰۱

### چکیده

در این مقاله قابلیت مدلسازی عددی لوله فولادی انتقال سیال نفت از جنس (ASTM) پیرامونی به همراه مزایا و معایب این تکنیک بیان می شود و سپس یک مثال از مدل سازی انفجار به روش کانوپ (conwep) حل می شود. خاطر نشان می شود که برای مدل سازی هر دو نوع انفجار های زمینی (surface (blast) و انفجار های هوایی (air blast) می توانید از تکنیک کانوپ (conwep) استفاده کرد. در یکی از انواع مسایل در تحلیل سازه ها و لوله های انتقال سیال نفتی، پاسخ سازه ها به انفجار و بارگذاری ناشی از شوک است. وقوع انفجار در هوا (air blast) سبب وقوع یک جبهه فشاری از هوا می شود که به سازه ها برخورد می کند. سازه ها بخشی از این انرژی را جذب می کنند و بخشی دیگر را دوباره به محیط اطراف خود منعکس می کنند. انرژی جذب شده توسط سازه باعث ایجاد تنش و کرنش مکانیکی در آن می شود. بسته به میزان انرژی جذب شده توسط سازه که خود بخشی از انرژی آزاد شده از انفجار است، بخش هایی از سازه می توانند وارد ناحیه پلاستیک و یا حتی آسیب خود شوند.

واژگان کلیدی: مدلسازی المان محدود، انتقال سیال نفت، حداکثر تنش، کرنش لوله فولادی مدفون در خاک، تحت انفجار به روش conwep.

### ۱- مقدمه

سیستم های خط لوله مدفون معمولاً برای انتقال آب، فاضلاب، نفت/گاز طبیعی و سایر مواد استفاده می شود تعدادی از مسائل مهندسی که همیشه نمی توانستند از طریق محاسبات تحلیلی حل شوند، اکنون می توانند با تحلیل های عددی با استفاده از روش اجزای محدود (FEM) حل شوند. بررسی پاسخ سازه های مدفون به بار انفجار به منظور طراحی ایمن این سازه ها اهمیت بالایی برای مهندسان مکانیک دارد. پاسخ سازه های مدفون به بار انفجار در سه زمینه تحلیلی، آزمایشگاهی و عددی در ادبیات فنی مطرح شده است. روش های تحلیلی غالباً بر پایه تحلیل تک درجه آزادی و صرفاً با در نظر گرفتن مواد اصلی ارتعاش انجام یافته اند. در این روش ها معمولاً اندرکنش خاک سازه با در نظر گرفتن میراگر در مدل لحاظ می شود. اما روش های عددی

مانند اجزاء محدود برای مدل سازی مسائل همبسته مانند اندرکنش خاک، ماده منفجره و سازه کارایی بالاتری دارند. در پژوهش های پیشین، معادله اجزاء محدود به منظور تحلیل پدیده انفجار مدفون، آن را به صورت یک بار فشاری به مرز خارجی محیط اثر می دهند و کل محیط خاک به همراه سازه مدفون با رویکرد لاگرانژی مدل می شود. استفاده از این رویکرد برای تحلیل پاسخ حوزه دور انفجار می تواند قابل قبول باشد، اما در مواردی که نقطه انفجار فاصله اندکی با سازه مدفون دارد، استفاده از این رویکرد ناکارآمد است. از طرف دیگر، مدل سازی منطقه نزدیک نقطه انفجار با رویکرد لاگرانژی اجزاء محدود به دلیل رخ دادن تغییر شکل های بسیار بزرگ مکان سازه به کار گرفتند. آن ها دریافتند که پاسخ خاک در مناطق دور از انفجار صرفاً ناشی از تغییر شکل فاز جامد است. درحالی که در مناطق نزدیک نقطه انفجار پاسخ خاک ترکیب ای از تغییر شکل تمام فازهای موجود است. سازی SPH لو و همکاران [۳] با ترکیب دو روش برای نواحی دورتر FEM ماده منفجره و ناحیه اطراف آن و روش به این نتیجه رسیدند که مدل پیشنهادی از دقت مناسبی باری تخمین گودال پذیر نیست. تغییر شکل های بزرگ نزدیک ماده منفجره باعث گسیختگی شدید در اجزاء محدود آن ناحیه می شود و محاسبات را متوقف می کند. به همین منظور برای مدل سازی صحیح حوزه نزدیک انفجار و درعین حال بررسی اثر انفجار بر سازه های مدفون ترکیب رویکرد کنوب برای مدل سازی کامل این پدیده پیشنهاد می شود. ماده منفجره و خاک اطراف آن با رویکرد کنوب و پاسخ حوزه دور خاک و مدفون با رویکرد این روش در اجزاء محدود مدل می شود. در این روش گودال ناشی از پدیده انفجار در خاک به درستی مدل شده بدون اینکه نیازی باشد نگران مشکل در اجزاء آن ناحیه باشید و همکاران پاسخ دینامیکی سازه های استوانه ای مدفون در عمق کم را در مقیاس آزمایشگاهی مورد مطالعه قرار دادند و نتایج خود را با مدل سازی اجزاء محدود مقایسه نمودند [۲] یانگ با مدل کردن یک سازه دو بعدی مدفون در برابر انفجار سطحی با استفاده از روش اجزاء محدود به بررسی اثر میرایی خاک، ابعاد و جنس سازه و فاصله انفجار از سازه پرداخت و نشان در پاسخ طیفی تطابق SDOF با روش FEM داد که روش عددی مناسبی دارد. وانگ و لو [۳] یک مدل جدید سه-فاز (ذرات جامد، آب و هوا) برای شبیه سازی کامل رفتار خاک در برابر بار انفجار به کار گرفتند. آن ها دریافتند که پاسخ خاک در مناطق دور از انفجار صرفاً ناشی از تغییر شکل فاز جامد است. درحالی که در مناطق نزدیک نقطه انفجار پاسخ خاک ترکیبی از تغییر شکل تمام فازهای موجود است. گویی و چین [۴] پدیده انفجار را بار تونلی در زیر فرودگاه تایوان با مطالعه پارامترهای مانند میرایی خاک، شدت بار و گودال ناشی از انفجار مورد بررسی قرار دادند و نشان دادند که شدت انفجار از عوامل مؤثر بر میزان افزایش لنگار خمشی و تنش وارد بر تونل است. همچنین میرایی خاک اثر زیادی در پاسخ تونل نخواهد گذاشت همکاران [۷۷] به مدل سازی یک سازه نیمه مدفون تحت بار پرداختند. چن و همکاران انفجار چند زمانه توسط نرم افزار [۷۲] یک سازه قوسی آسیب دیده را مورد تعمیر قرار داده و سپس تحت یک انفجار مدفون بررسی کردند. آن ها با استفاده از دیوار بنایی در کنار دیوار داخلی، تعمیر نقاتر خورده و استفاده از نوارهای فولادی پیچ شده به هم انفجار، بار وارد بر سازه، پاسخ دیوار سازه برخوردار است. یانگولوفسکی و همکاران [۳] نیز رفتار یک دیوار مدفون تحت انفجار مدفون را مورد مطالعه قرار دادند. ما و همکاران پاسخ عضو خمشی از یک سازه مدفون را نسبت به بار انفجار با در نظر گرفتن اندرکنش خاک و سازه به صورت تحلیلی به دست آورد.

چن و همکاران [۲] پاسخ یک سازه قوسی شکل مدفون را تحت انفجار به صورت تحلیلی به دست آوردند. آن ها با بررسی انواع خاک های مختلف به این نتیجه رسیدند که برای ایمنی بیشتر بهتر است سازه مدفون در خاک با امدانس آکوساتیک پایین و ضریب کاهندگی بالا اجرا شود. جایاساینگ و همکاران [۳] رفتار یک شمع مدفون را در خاک ماسه ای تحت انفجار مدفون توسط نرم افزار مدل سازی کردند. آن ها نشان دادند که قسمت بالایی شمع آسیب پذیرتر است و پاسخ سازه با دور شدن از محل انفجار کاهش می یابد. چان و همکاران [۷۳] یک سازه قوسی شکل را تحت بارگذاری مدفون تحت آزمایش قرار دادند پارامترهایی نظیر تغییر شکل، تنش، کرنش و شتاب را توسط ابزار اندازه گیری به دست آوردند. آزمایش نشان داد که سازه پس از تشکیل چهار یا پنج خط مفصل خمیری فرو می ریزد. کومار و اقدام به مقاوم سازی سازه آسیب دیده کردند روش

اجزای محدود، که نزدیک به ۵۰ سال است شناخته شده است، به طور موثر در بسته‌های نرم‌افزاری مختلف رایانه‌ای که به طراحی و تحلیل سازه‌های مهندسی کمک می‌کند، مانند ANSYS، ABAQUS، PLAXIS، Kliszczewicz، ۲۰۱۳، پیاده‌سازی شده است. یک مدل عددی از سیستم لوله خاک برای تحلیل یا پیش‌بینی رفتار دقیق خطوط لوله مدفون ضروری است. تئوری‌های تحلیلی برهم‌کنش خاک-سازه مانند روش برنز-ریچارد مدل ریاضی را ارائه می‌دهد که برای طراحی یا تجزیه و تحلیل خطوط لوله مدفون استفاده می‌شود. این تئوری‌ها به دلیل غیرخطی بودن، عدم همگنی و سایر پیچیدگی‌ها، تعامل واقعی بین لوله و خاک اطراف در طول ساخت، سرویس و شرایط نهایی را در نظر نمی‌گیرند. مدلسازی عددی بهترین روش برای مدلسازی مناسب سیستم لوله-خاک است. روش اجزای محدود رایج‌ترین تکنیک عددی است که می‌تواند برای تحلیل و طراحی خطوط لوله مدفون مورد استفاده قرار گیرد، یک مهندس معاصر دارای ابزارهایی است که می‌تواند تحلیل‌های چندمتغیره یک سازه، بهینه‌سازی آن یا ارزیابی تخصصی حالت‌های خرابی را انجام دهند. به نظر می‌رسد استفاده از بسته‌های کامپیوتری توسعه یافته و ژئوتکنیکی (به عنوان مثال Plaxis) برای حل جنبه‌های ساختارهای مدفون، به ویژه برای تجزیه و تحلیل سیستم‌های لوله کشی مدفون، جذاب باشد. چنین ساختارهایی هستنتمقابل با خاک اطراف به روشی خاص، گرسکوویچ و همکاران، هنگامی که چنین برهمکنشی در محاسبات کلاسیک در نظر گرفته شود، خاک معمولاً با یک آنالوگ تا حد زیادی ساده شده جایگزین می‌شود و طرح محاسبه در نظر گرفته شده است. برخلاف محاسبات تحلیلی که معمولاً یک حلقه لوله (۲ بعدی) در نظر گرفته می‌شود، تجزیه و تحلیل‌های عددی اجازه می‌دهد تا ویژگی فضایی یک خط لوله را با خاک اطراف آن (۳ بعدی) در نظر بگیرد، جانسون، ۱۹۹۶، مدریاس و همکاران، ۲۰۰۲. کولیچکوفسکی، ۲۰۰۴ تفاوت عمده بین تجزیه و تحلیل یک پیوسته و یک ساختار قالب شده در این است که حتی اگر یک پیوسته فقط به عناصر مجاور در نقاط گره‌ای خود متصل است، لازم است سازگاری جابجایی بین عناصر مجاور حفظ شود. توابع شکل خاص برای ارتباط جابجایی‌ها در امتداد مرزهای عنصر به جابجایی گره‌ها و برای تعیین سازگاری جابجایی بین عناصر مجاور استفاده می‌شود. هنگامی که پیوستار ایده آل شد، یک تحلیل ساختاری دقیق از سیستم با استفاده از روش تحلیل سختی انجام می‌شود، Zienkiewicz، ۱۹۷۷ خروجی تجزیه و تحلیل اجزای محدود شامل تنش‌ها و کرنش‌ها در هر نقطه از سیستم و مهمتر از آن جابجایی، گشتاور، برش و رانش در هر نقطه از لوله مدفون است. قدرت استفاده از روش اجزای محدود این است که پس از راه‌اندازی مدل، می‌توان بسیاری از موارد را تحلیل کرد و حساسیت مفروضات را آزمایش کرد.

## ۲- روش تحقیق

در این پژوهش حاضر به بررسی لوله انتقال نفت مدفون در خاک تحت انفجار TNT و رفتار و لوله خاک و اثر آن بر گسیختگی خاک اطرافش و فشار ناشی بر لوله بر اثر موج انفجار و همچنان به بررسی بصورت عددی به میزان استحکام خاک در تقویت نشده (خاک ماسه‌ای) و رفتار دینامیکی لوله در برابر انفجار و پاسخ برگشتی نیز می‌پردازیم هدف اصلی در این پژوهش شنایی بهترین مدل خاک برای این نوع مسائل-شنایی و انتخاب متریال فولاد مقاوم در برابر انفجار سطحی- و استفاده از روش نوین کنوب برای تحلیل انفجار در اباکوس و جایگزین آن بر روش‌های قدیمی جهت کاهش زمان در مدل‌سازی و حداقل خطا در محاسبات پرداخته می‌شود.

برای بسیاری از کاربردهای لوله‌های مدفون که تجزیه و تحلیل آنها با استفاده از روش‌های مرسوم دشوار است، انجام شود. چندین لوله در یک اثر حفاری یک تراشه در مجاورت یک لوله موجود، و سایر کاربردها را می‌توان به راحتی با تجزیه و تحلیل اجزای محدود انجام داد. در استفاده از تحلیل المان محدود محدودیت‌هایی وجود دارد. مشکل معمولاً به عنوان یک مسئله دو بعدی تحلیل می‌شود، حتی اگر سیستم به وضوح سه بعدی باشد. برای کولورت‌های طولانی، درمان مشکل به عنوان یک مشکل دو بعدی کرنش صفحه معمولاً یک محدودیت جدی نیست، اما در برخی موارد نمی‌توان اثرات سه بعدی را نادیده گرفت. برنامه‌های تحلیل المان محدود سه بعدی موجود است، اما به طور کلی آنها رابطه سازنده مناسبی برای مدلسازی خاک ندارند و عناصر

رابطی را که اجازه لغزش بین خاک و لوله را می دهد، ارائه نمی دهند. در این موارد، ممکن است لازم باشد که راه حل های دو و سه بعدی را برای شرایطی که می توان مدل سازی کرد، مقایسه کرد و سپس به حالت واقعی برون یابی کرد. مقدس تفرشی و خلج، ۲۰۰۸، رفتار لوله های پلی اتیلن با چگالی بالا (HDPE) با قطر کوچک (قطر ۱۱۰ میلی متر و ضخامت دیواره ۴.۰۳ میلی متر) مدفون در ماسه تقویت شده را ارزیابی کردند که سپس تحت بارگذاری مکرر (با دامنه ۵۵۰ کیلو پاسکال) قرار گرفت. آنها تأثیر بین ۱ تا ۵ لایه آرماتور را در خاک با تراکم نسبی ۴۲٪، ۵۷٪، و ۷۲٪ بررسی کردند. لوله ها در اعماق ۱/۵ تا ۳ برابر قطر آنها تعبیه شده اند. آزمایش در یک ترانسه به عرض ۵۵۰ میلی متر انجام شد. گزارش شده است که نسبت تغییر قطر لوله عمودی و نشست سطح خاک را می توان به ترتیب تا ۴۰٪ و ۵۱٪ کاهش داد، در صورت استفاده از بیشترین آرماتور در پس پر کردن با بالاترین تراکم زمانی که لوله در عمیق ترین جاسازی خود قرار دارد. لی و همکاران، ۲۰۱۲ رفتار لوله مدفون را به روش عددی با روش اجزای محدود مورد مطالعه قرار دادند. نتایج آنها نشان داد که رفتار لوله تحت تأثیر شدت بار اضافی مانند انفجار است. جابجایی تنش در لوله ها به صورت خطی با افزایش بار اضافی افزایش می یابد. همچنین نتایج آنها نشان داد که با افزایش، جابجایی لوله کاهش می یابد. این رفتار را می توان با استفاده از رفتار تنش - جابجایی توضیح داد. تنش های عمودی با افزایش نسبت تعبیه کاهش می یابد. تغییر تنش عمودی با نسبت جاسازی از تجزیه و تحلیل PLAXIS رفتاری به طور کلی با نظریه بوسینسک نشان داد. رفتار لوله به شدت تحت تأثیر چگالی نسبی ماسه است. جابجایی لوله با افزایش چگالی نسبی ماسه کاهش می یابد. نتایج نشان می دهد که جابجایی لوله با افزایش صلیب لوله کاهش می یابد و جابجایی لوله بتنی کمتر از لوله پلی اتیلن است.

Kliszczewicz، ۲۰۱۳ تجزیه و تحلیل عددی سه بعدی از تعامل یک ساختار خط لوله با زیر خاک طبقه بندی شده در یک منطقه خاص را ارائه کرد. تجزیه و تحلیل قادر به ارزیابی وضعیت تلاش لوله و تغییرات در حال وقوع در توده خاک است. تأثیر بار به ویژه در لایه های خاک زیر سطحی بلافاصله در منطقه کار بار مشهود بود. یک ناحیه توزیع تنش برانگیخته شده توسط یک بار در کل توده خاک، به ویژه در اطراف مستقیم خطوط لوله، نیز قابل شناسایی است. با توجه به لایه بندی زیرزمینی با لایه ای از زمین کم بار با ضخامت های متنوع و وجود پارامترهای مواد متنوع در پهنه های خاک بکر، بستر و پس پری در حفاری، می توان اختلالات آشکاری را در توزیع تنش ها مشاهده کرد. اطراف مستقیم لوله (حفاری) و در مناطق بعدی خاک. از آنجایی که بار به طور خاص در رابطه با محور لوله جابجا می شود، تغییر شکل و وضعیت تلاش سطح سمت لوله غیر یکنواخت است. این به معنی توزیع نامنظم نیروهای داخلی تعمیم یافته در چنین ساختاری است. چنین نتایجی از فعالیت بارهای سطحی بر روی سازه لوله واقع در زیر خاک طبقه بندی شده تنها با ساخت مدل های عددی سیستم لوله-خاک و با تجزیه و تحلیل رفتار آنها هنگام شبیه سازی فعالیت بارها قابل شناسایی است. قابلیت اطمینان نتایج به دست آمده به ساخت صحیح مدل از جمله ابعاد مدل صحیح، چگالی گسسته سازی، انتخاب پارامترهای مصالح مناسب و یک مدل سازنده مناسب از خاک و ساختار مدل سازی شده مرتبط است. تحلیل های عددی را می توان به عنوان ابزاری جذاب برای بررسی حالت های حدی ظرفیت باربری و قابلیت سرویس دهی لوله های مدفون در نظر گرفت.

هدف از مطالعه حاضر بررسی اثرات ابعادی شبیه سازی عددی مسئله لوله فولادی مدفون تحت انفجار می باشد. این مشکل به طور معمول به عنوان تنش- کرنش صفحه دو بعدی تحلیل می شود. لایه تقویت کننده ژئوگرید در بالای لوله قرار می گیرد تا انتقال بار کاهش یابد. ۲. PLAXIS-3D راه حل غیرخطی استراتژی PLAXIS-3D از استراتژی راه حلی استفاده می کند که به روش تکراری مستقیم یا ساده تر آزمون و خطا نامیده می شود. این روش ثابت کرده است که قوی است و به راحتی انواع مدل های غیرخطی مانند ترک خوردگی کششی و رفتار الاستیک-پلاستیک مدل های لوله، قوانین ساختاری هذلولی برای مدل های خاک، لغزش اصطکاکی و جداسازی برای مدل های رابط، و غیرخطی بودن هندسی برای تغییر شکل های بزرگ را در بر می گیرد. تجزیه و تحلیل، کتابچه راهنمای Plaxis، ۲۰۱۳. هنگامی که دو تکرار متوالی ماتریس های سختی یکسانی را برای همه عناصر در محدوده های خطای کوچک ایجاد می کنند، آنگاه راه حل همگرا شده و به مرحله بارگذاری بعدی می روییم. هنگامی که یک

افزایش راه حل همگرا پیدا شد، تمام پاسخ های مکانیکی بر اساس آخرین راه حل تکرار، Plaxis Manual، ۲۰۱۳ به روز می شوند.

### ۳- تحلیل های انجام شده مدل لوله و خاک

راجکومار و ایلامپاروتی (۲۰۰۸) به صورت عددی و تجربی برهمکنش بین خاک و لوله های PVC انعطاف پذیر مدفون در بستر ماسه و تحت فشارهای سطحی را توصیف کردند. آزمایش ها با و بدون تقویت کننده نتلون ژئوگرید انجام شد. آنها رفتار اندرکنش خاک-لوله را با استفاده از نرم افزار تجزیه و تحلیل المان محدود ۲ بعدی PLAXIS مورد مطالعه قرار دادند. علاوه بر این، در حضور و عدم وجود آرماتور ژئوگرید، آنها تغییر انحراف تاج عمودی را به دلیل فشار سطح اعمال شده، با تفاوت محسوس بین نتایج عددی و تجربی برای هر دو مورد اندازه گیری کردند. جدول ۱ مقادیر خواص مواد را نشان می دهد که توسط Rajkumar و Ilamparuthi، 2008 استفاده شد. نرم افزار PLAXIS-2D توسط Rajkumar و Ilamparuthi، 2008 برای مدل سازی رفتار لوله های PVC مدفون در ماسه متراکم تحت بارهای سطحی استفاده شد. نتایج با نتایج اندازه گیری تجربی و عددی مورد انتظار توسط راجکومار و ایلامپاروتی، ۲۰۰۸ مقایسه شد.

این پژوهش، به معرفی ابزاری تجاری برای نرم افزار تحلیل المان محدود آباکوس، در زمینه تحلیل و طراحی لوله فولادی تحت انفجار با نام conwep پرداخته شده است. همچنین، با استخراج تنش های راستای اصلی ماده از نرم افزار آباکوس و کدنویسی روابط حاکم بر معیارهای شکست مواد فولادی، فشار ترکیبگی لوله و میزان آسیب ناشی از موج انفجار پیش بینی شده است که در پژوهشهای دیگر به آن پرداخته نشده است.

### ۴- مدل سازی اجزاء محدود

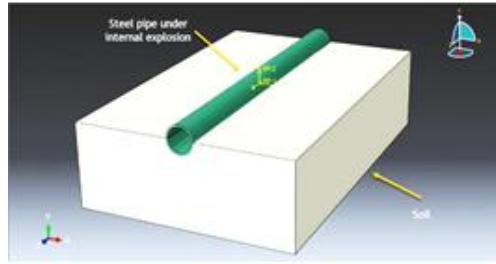
#### ۴-۱- بیان مسأله

- شرایط مرزی و مدل سازی انفجار
- مدل سازی عددی:

در این پژوهش، به شبیه سازی المان محدود لوله تحت فشار انفجاری به صورت conwep و فولادی نوع (ASTM-36) با استفاده از نرم افزار تجاری (ABAQUS) به منظور تعیین فشار ترکیبگی و تنش بر لوله و عوامل موثر بر آن در این نوع لوله ها، پرداخته شده است. در این شبیه سازی به منظور نزدیک شدن مدل ارائه شده برای این لوله به نمونه واقعی آن و نیز افزایش دقت مدل سازی، پیچیدگی های موجود در هندسی و جهت گیری انفجار، بخصوص در ناحیه لوله، با استفاده از روش CONWEP در نرم افزار آباکوس مدل سازی شده اند. در مدل سازی به فرایند تجزیه و تحلیل اجزای محدود برای مدل سازی پاسخ لوله های فولادی مدفون در خاک مختلف، تعبیه شده در سطوح مختلف و مقایسه رفتار با نتایج تجربی به دست آمده انجام شد.

- مدل سازی تجربی:

ابعاد مدل خاک اتخاذ شده توسط راجکومار و ایلامپاروتی، ۲۰۰۸ (۱۲۰۰ میلی متر  $\times$  ۶۰۰ میلی متر) است. سیستم مدل لوله توسط راجکومار و ایلامپاروتی، ۲۰۰۸ با عناصر ۱۵ گره، یک شرایط کرنش در نظر گرفته شده است. مدل پلاستیسیته Mohr-Columbe به عنصر جامد که نماد خاک اطراف لوله است، مشخص شد. لوله مورد استفاده در آنالیز دارای قطر ۴ متر و ضخامت دیواره ۲ متر است. برای شبیه سازی دقیق مدل تجربی، مرز دست راست در فاصله ۱.۵ بعدی از مرکز ترانشه با جابجایی افقی محدود انتخاب شد.



شکل ۱- محل قرار گیری خط لوله فولادی مدفون در خاک

البته تاثیر هندسه خاک، بر روی تغییر شکل این ناحیه و فشار ترکیدگی لوله، ناحیه انفجار را به چالشی اساسی در طراحی و مدلسازی این نوع از مدل تبدیل کرده است. در طراحی این لوله نکته و جابجایی عمودی آزاد. مرز پایین در ۱.۲ متر زیر سطح با جابجایی عمودی محدود و جابجایی افقی آزاد قرار داشت. شش عنصر بخش دایره ای برای نشان دادن لوله استفاده شد. راجکومار و ایلامپاروتی، ۲۰۰۸، از ۱۵ عنصر مثلثی کرنش هواپیمای تکان داده شده برای مدلسازی استفاده کردند. مدل شبیه سازی شده عددی همانطور که در شکل ۱ نشان داده شده است.

#### ۲-۴- تئوری و روابط حاکم

به منظور مدل سازی ماده انفجاره در اباکوس پس از ساختن مدل عددی، اثر پارامترهای مختلف ماده منفجره (جرم)، و این معادلات محیط Jones-Wilkins-Lee (JWL) معادله حالت انتشار موج (چگالی، مدول یانگ، زاویه اصطکاک داخلی و چسبندگی) و سازه مدفون (هندسه و جنس دیوار) بر پاسخ محیط و سازه به انفجار بررسی شده است در این پژوهش نیز از روش conwp استفاده شده است:

$$P = A \left( 1 - \frac{\omega \rho}{R_1 \rho_0} \right) e^{\left( -\lambda \frac{R}{r} \right)} + B \left( 1 - \frac{\omega \rho}{R_2 \rho_0} \right) e^{\left( -\lambda \frac{R}{r} \right)} + \frac{\omega \rho^2}{\rho_0} E_{m0} \quad (1)$$

در این رابطه، چگالی اولیه ماده منفجره، چگالی محصولات هستند ثابت های معادله  $\omega$ ،  $A, B$  انفجار و مقادیر انرژی اولیه بر واحد جرم است که در این معادله حالت، فشار تولید شده ناشی از آزاد شدن انرژی شیمیایی ماده منفجره است.

$$P(R, t) = P_a e^{\frac{t}{\tau}} = f \beta \rho_c \left( \frac{R}{W^{\frac{1}{3}}} \right)^{-n} e^{\frac{t}{\tau}} \quad (2)$$

#### ۳-۴- تغییر شکل پلاستیک

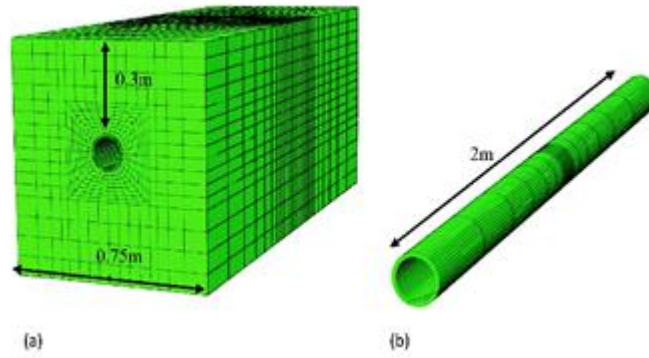
انحراف مرکزی صفحات تغییر شکل پلاستیک یافته به عنوان نشانه اندازه صدمه ناشی از انفجار در نظر گرفته می شود. جانسون برای ارزیابی رفتار فلزات تحت بارگذاری ضربه ای از یک عدد بدون بعد استفاده کرد. چگالی ماده سازنده صفحه و ماده تنش آسیب زننده است که برابر تنش تسلیم سازنده صفحه در نظر گرفته می شود. عدد آسیب جانسون تنها زمانی قابل بکار بردن است که صفحات دارای ابعاد مشابه می باشند. می توان عدد آسیب را بر حسب ضربه مطابق رابطه ۳ نوشت:

$$\alpha_j = \frac{I_{tp}^2}{A^2 t^2 \rho_p \sigma_Y} \quad (3)$$

این مطالعه شامل دو مرحله است، مرحله اول به انحراف تاج عمودی روی لوله تحت بارهای سطحی ۳۰۰ کیلو TNT با پوشش ۷۵۰۰ میلی متری ماسه می پردازد،

#### ۴-۴- نحوه مدلسازی عددی

مدلسازی لوله فولادی تحت انفجار از نوع (ASTM-A36) با مشخصات بیان شده در شکل ۲ نمایش داده شده است.



شکل ۲- مدل اجزا محدود و مش بندی مدل خاک و لوله فولادی

جدول ۱- مشخصات هندسی لوله فولادی تحت انفجار TNT

اندازه	کمیت
2	طول لوله (m)
40	عرض لوله
4	قطر داخلی لوله (m)
2	ضخامت لوله (m)
0.3	فاصله لوله از طرح خاک (m)

جدول ۲- خواص مکانیکی لوله فولادی [۲۴]

$P$ ( $kgm^2$ )	$\nu$	$E$ (GPa)	جنس	نام قطعه
2100	0.3	200	فولاد (ASTMA۳۶)	لوله
				گرنش 0.0005
				نرخ 30
				گرنش

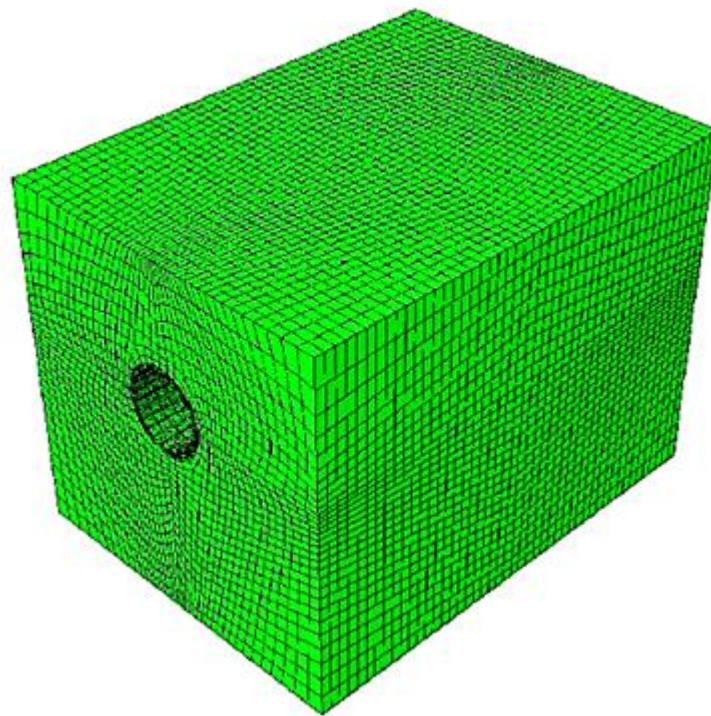
جدول ۳- مشخصات هندسی خاک تحت انفجار TNT

اندازه	کمیت
0,75	طول خاک (m)
0.70	عرض خاک (m)
0.5	عمق خاک (m)
TNT	نوع مواد متفجره روی سطح خاک
300kg	مقدار مواد متفجره
1s	زمان کل انفجار

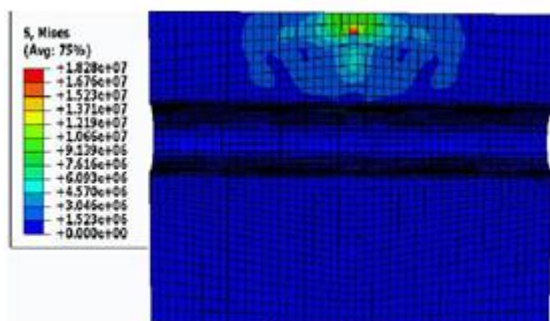
جدول ۴- خواص مکانیکی خاک

$P(kg)$	$\nu$	$E$ (GPa)
2000	0.3	30e6
زویه اصطکاک: 25	5000(pa)	مقدار چسبندگی

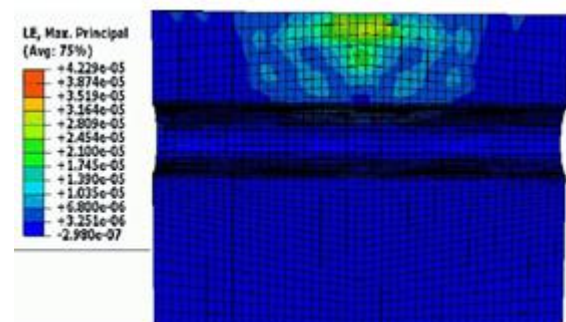
در شکل ۳ نمودار درختی مدل سازی شده لوله فولادی و خاک ماسه ای به روش conwep در نرم افزار اباکوس آورده شده است. در آباکوس روش های متعددی برای مدل سازی انفجار وجود دارد. برخی از این روش ها عبارتند از: مدل سازی انفجار به صورت فشار معادل و اعمال مستقیم آن بر سازه مدل سازی ماده منفجره به صورت JWL و استفاده از تکنیک های ALE و CEL مدل سازه انفجار با استفاده از روش کانوپ (conwep) در روش اول، فشار معادل وارده بر سازه به صورت تابعی از زمان با استفاده از تعریف امپلیتود از نوع tabular و یا تابعی از زمان و مکان با استفاده از سابروتین vload تعریف شده و مستقیماً بر سازه اعمال می گردد. در روش دوم، ماده منفجره به صورت ماده JWL مدل سازی می شود و هوا نیز با استفاده از تکنیک های ALE و یا CEL مدل سازی می شود. در این پژوهش، روش سوم مدل سازی انفجار در اباکوس، بطور مبسوطی مورد بحث و بررسی قرار می گیرد. در ابتدا نکات کلی و پیرامونی به همراه مزایا و معایب این تکنیک بیان می شود و سپس یک مثال از مدل سازی انفجار به روش کانوپ (conwep) حل می شود. خاطر نشان می شود که شما برای مدل سازی هر دو نوع انفجار های زمینی (surface blast) و انفجار های هوایی (air blast) می توانید از تکنیک کانوپ (conwep) استفاده کنید. در بخش معادلات حاکم نوع معادله اوایلر-لاگرانژی که در اباکوس برای انفجار به کار گرفته می شود آورده شده است.



شکل ۳- نمایی از پوسته لوله و خاک ماسه ای مدل شده در اباکوس

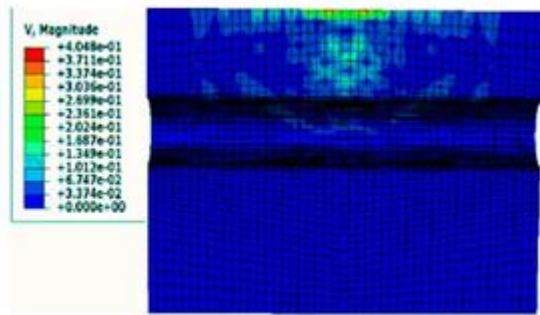


شکل ۴- مدل 2D توزیع تنش بر روی سطح خاک در حالت اول

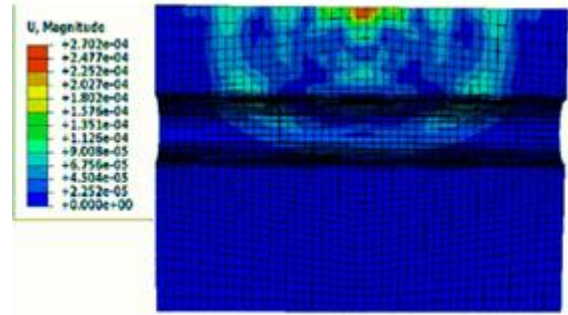


شکل ۵- مدل 2D توزیع کرنش روی سطح خاک در حالت دوم

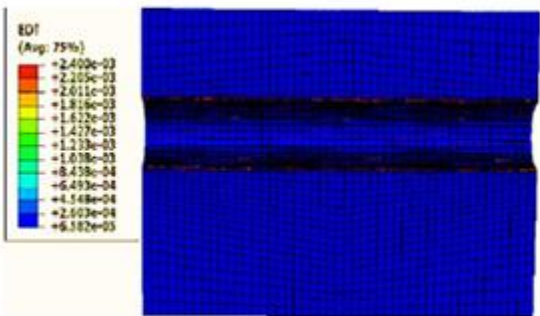




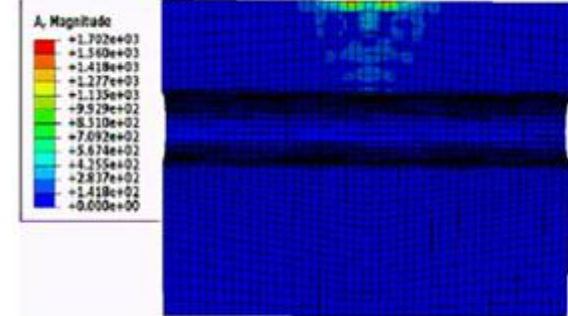
شکل ۶- مدل 2D توزیع انرژي بر روی سطح خاک



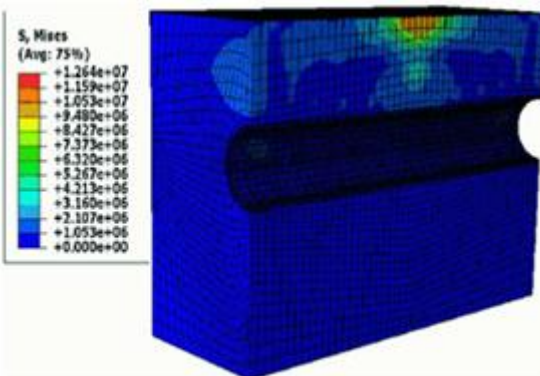
شکل ۷- مدل 2D مقدار جابجایی بر روی سطح خاک



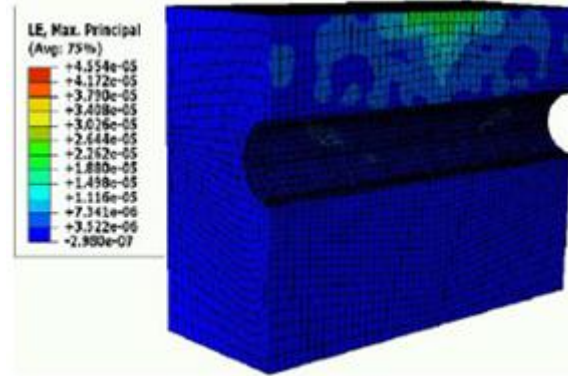
شکل ۸- مدل 2D میزان EDT تنش آسیب بر روی سطح لوله



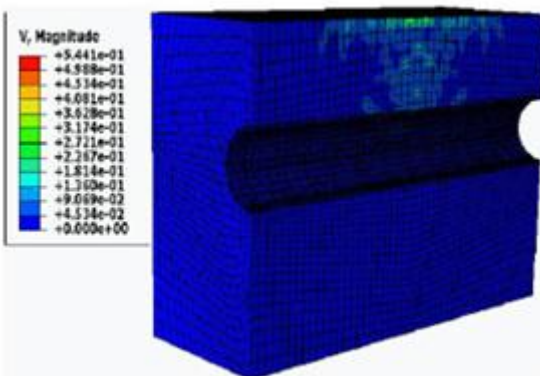
شکل ۹- مدل 2D توزیع A بر روی سطح خاک



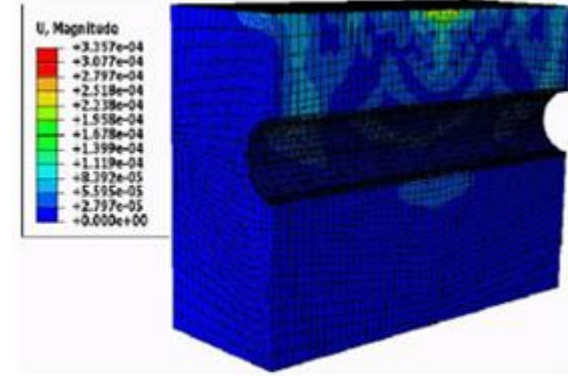
شکل ۱۰- مدل 3D توزیع تنش بر روی سطح خاک در حالت اول



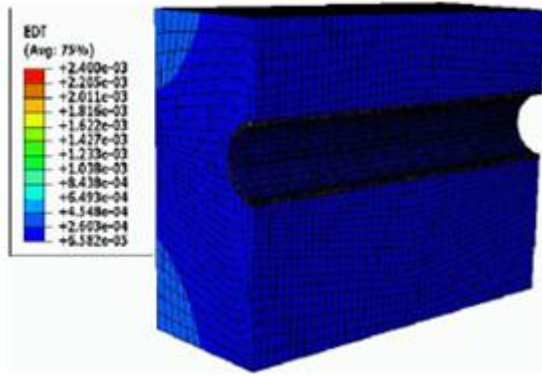
شکل ۱۱- مدل 3D توزیع کرنش بر روی سطح خاک در حالت دوم



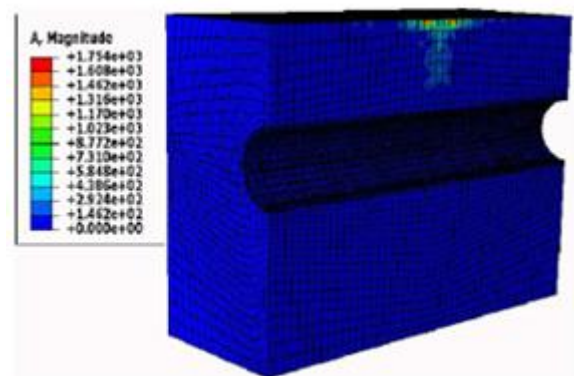
شکل ۱۲- مدل 3D توزیع انرژي بر روی سطح خاک



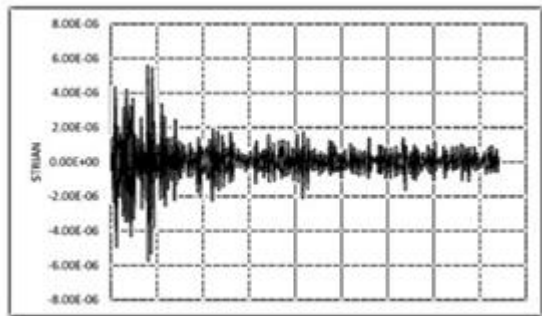
شکل ۱۳- مدل 3D مقدار جابجایی بر روی سطح خاک



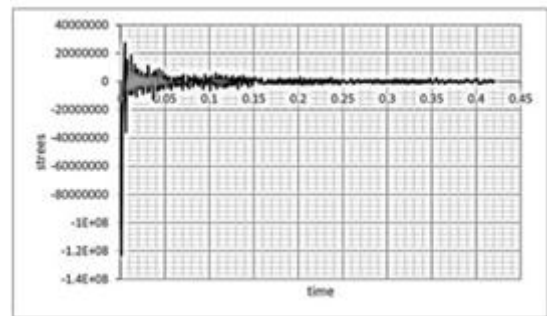
شکل ۱۴- مدل 3D میزان EDT تنش آسیب بر روی سطح لوله



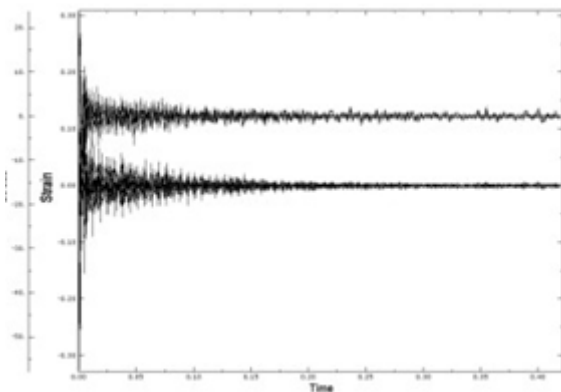
شکل ۱۵- مدل 3D توزیع A بر روی سطح خاک



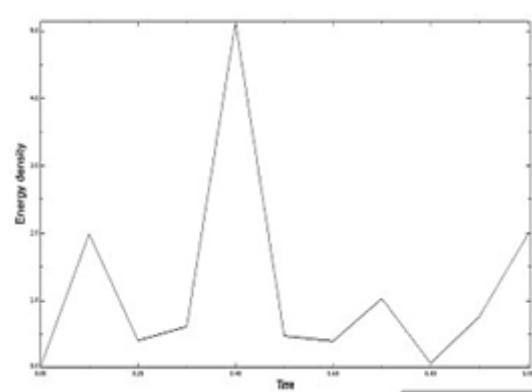
شکل ۱۶- تغییرات کرنش حاصل از انفجار خاک ماسه ای



شکل ۱۷- تغییرات تنش حاصل از انفجار خاک ماسه ای



شکل ۱۸- تغییرات تنش-کرنش حاصل از انفجار خاک ماسه ای



شکل ۱۹- تغییرات انرژی حاصل از انفجار خاک ماسه ای

جدول ۵- مقایسه نتایج حاصل از انفجار بر روی سطح خاک

مقدار	مقدار	مقدار	مقدار	مقدار
تنش	توزیع	توزیع	جابه جایی	مقدار
کرنش	انفجار	انرژی	جایی	انفجار
1.825e4	4.000e6	2.464e4	2.7024e4	6.268e2
1.110e5	1.310e5	1.024e4	1.024e4	1.045e2

## ۵- نتایج و بحث

تحلیل عددی: یک تحلیل گذرا در نرم افزار اباکوس انجام شد و نتایج حاصل با نتایج به دست آمده از تحلیل های مشابه ایجاد شده در نرم افزار های دیگر مانند اباکوس و نتایج تجربی مورد مقایسه قرار گرفت. شکل های تغییرات کرنش تنش و انرژی

جابه‌جایی را که از تحلیل های موج انفجار در مدل برای حالات مختلف به دست آمده است، نمایش می دهند. این تحلیل ها در نرم افزار اباکوس انجام شده است.

## ۶- نتیجه گیری

۱- نتایج انحراف تاج عمودی حاصل راجکومار و ایلامپاروتی، ۲۰۰۸ برای مدل بدون ژئوگرید به دست آمده از PLAXIS-3D نسبت به کرنش صفحه دوبعدی حدود ۲۱.۴ درصد بیشتر است در حالی که این درصد برای مدل طبق تحلیل های انجام شده و همکاران در آزمایش های مختلف با ژئوگرید به ۲۱.۱ می‌رسد، که به طور کلی، درصد با ژئوگرید کمتر است و مقاومت بیشتری نسبت به بدون ژئوگرید دارد.

۲- با توجه به تحلیل های بالا پاسخ لوله به فشار اعمال شده (کرنش) هم در تحلیل 2d و هم در 3d خطی است که منجر به عدم تغییر شکل شکل لوله می شود. بیشترین تغییر شکل قطر و تخریب لوله به صورت عمودی در زمان ابتدایی انفجار است و زمانی که بیشترین میزان تنش و انرژی درون خاک توزیع میشود می باشد در این حالت تنش به قسمت های ابتدایی و انتهایی لوله به صورت میرسد اما در آن حالت کاملاً مطلوب است و از تخریب کامل لوله چیزی یافت نشده است.

۳- در این پژوهش مهم ترین نتایج مربوط به مقدار تنش وارد بر سطح لوله انتقال نفت مقدار کمی بوده است و آسیبی به سطح لوله نرسیده است.

۴- با توجه به فاصله ۳ متر لوله از سطح خاک آن نشان میدهد که لوله با این مشخصات در زمانی که تحت انفجار 150kg, 200kg, 250kg, 300kg، تی ان تی قرار می گیرد کم ترین میزان موج انفجار و انرژی آن به سطح لوله میرسد.

۵- میزان تغییر شکل صفحه ایی لوله میزان کمتری بوده است

۶- میزان توزیع تنش در این نوع انفجار مقاومتی خوبی از خود نشان داده است.

۷- میزان چسبندگی خاک که حدودا 5000(pa) در نظر گرفته شده با توجه به نتایج مقاومت خوبی از خود نشان می دهد و برای این نوع خاک و متریال این میزان چسبندگی می تواند تنش ها و موج های حاصل از انفجار تا حد زیادی در خود خنثی کند.

۸- این نوع متریال لوله با توجه به موج انفجار مقاومت خوبی از خود نشان میدهد.

۹- با توجه به نتایج عددی جواب های بسیار قابل خوبی از نظر فشار - توزیع تنش و انرژی بر طرح خاک و مقاومت لوله در برابر انفجار و میزان چسبندگی خاک نشان می دهد.

۱۰- در این پژوهش رفتار خاک لوله رو بدون ژئوگرید بررسی شده است که مقاومت نسبتاً خوبی نشان داد اما در حالت ها دیگر و فشار های بالاتر با توجه به نتایج راجکومار و ایلامپاروتی، ۲۰۰۸ پیشنهاد می شود بهترین راه برای تقویت خاک استفاده از خاک تقویت شده با ژئوگرید قوی تر و سفت تر است و نسبت به خاک معادل بدون تقویت ژئوگرید استحکام بیشتری می دهد ان صحت سنجی با توجه به نتایج دو پژوهشگر بدست آمده است. ژئوشبکه‌ها در تثبیت زیرساخت‌های جاده‌ای از طریق تقویت خاک، مصالح را بهبود می‌بخشند. تقویت ژئوگرید بین لایه های خاک، تنش برشی ناشی از بارهای وسیله نقلیه را تحمل می کند. و نیز تنش ها و امواج در خود را خنثی کند.

۱۱- با توجه به نمودار ها نشان می دهد میزان تنش توزیع در خاک بیشتر از انرژی آن بوده اما میزان چسبندگی خاک مقاومت خوبی از خود نشان می دهد.

۱۲- این لوله با نوع متریال فولاد کربنی با ضخامت یاد شده استحکام بالا که دارد تحت انفجار خاصیت خنثی سازی خوب را از خود نشان داده و تخریب نشده است بنا بر این می توان از این نوع لوله ها برای انتقال نفت نیز بهره گرفت.

۱۳- به کار گیری روش conwep نیز در اباکوس نشان می دهد که نرم افزار اباکوس برای مدل سازی انفجار از این روش مناسب تر است و نسب به روش های یاد شده و خطای کمتری نسبت به روش لاگرانژی دارد زیرا از این معادلات برای مدل سازی انواع

انفجار که بصورت کد نویسی پایتون وارد اباکوس می شوند ممکن است خطای داده ای رخ دهد و در نهایت نتایج قابل قبولی ندهد.

۱۴- برای مدل سازی هر دو نوع انفجار های زمینی (surface blast) و انفجار های هوایی (air blast) می توانید از تکنیک کانوپ (conwep) همانند شکل ۴ استفاده شود.

۱۵- فولاد کربنی ASTM A36 پرکاربردترین محصول نورد گرم است. محصولات نسبی آن به عنوان نوعی فولاد سازه ای کربنی، فولاد میله ای گرد، میله زاویه ای و مقاطع فولادی مانند پرتوهای I، تیرهای H، زاویه ها و کانال ها هستند. فولاد ASTM A36 روی محصول نهایی سطح ناصافی دارد، برای پردازش بیشتر مانند ماشینکاری آسان است. فولاد کربنی ASTM A36 را می توان به قطعات مختلف فولادی ساختاری تولید کرد، در بسیاری از صنایع مختلف برای کاربردهای مختلف بسیار مورد استفاده قرار می گیرد، این ویژگی مکانیکی خوبی را فراهم می کند و هزینه کمتری دارد. به عنوان مثال در بسیاری از ساخت و سازهای پل نیز استفاده می شود. ساختمانها به دلیل مقاومت و مقاومت بالا، غالباً با فولاد A36 ساخته می شوند. علاوه بر این فولاد ASTM A36 همچنین در زمینه های خودرو، ساخت و ساز، تجهیزات سنگین و صنایع نفت و گاز مورد استفاده قرار می گیرد.

ASTM A36 متعلق به فولاد کم کربن است، محصول فولادی با محتوای کم کربن کمتر از ۰.۳٪ برای شکل دهی آسان، ماشینکاری، جوشکاری بسیار نرم است. عملیات حرارتی تأثیر کمتری بر روی مواد فولادی ASTM A36 دارد. این شامل برخی عناصر دیگر از جمله عنصر آلیاژ: منگنز، گوگرد، فسفر و سیلیسیم است. آهن و این عناصر با هم خاصیت مکانیکی منحصر به فرد ASTM A36 را تشکیل می دهند، برخلاف فولاد ضد زنگ با عنصر نیکل و کروم، مقاومت خوبی در برابر خوردگی نشان نمی دهد. اگر به خاصیت مقاوم در برابر خوردگی نیاز دارید، رنگ آمیزی آن با لایه ای از آبکاری انتخاب خوبی است به علاوه در این پژوهش، نتایج تحلیل تنش حاصل از شبیه سازی فشار انفجار لوله در نرم افزار آباکوس، با استفاده از کدنویسی روابط معیارهای تخریب مواد در این لوله پرداخته شده است. به این منظور، برای تشخیص شکست در هر قسمت لوله، کمیتی به نام شاخص آسیب برای هر معیار تعریف می گردد.

#### ۷- فهرست علائم

E	مدول یانگ
PI	شاخص ضریب
X	میزان چسبندگی خاک در راستای X
Y	میزان چسبندگی خاک در راستای Y
علائم یونانی	
V	ضریب پواسون

#### ۸- مراجع

1. Arockiasamy, M., Chaallal, O., Limpeteeparakarn, T., 2006, Full-Scale Field Tests on Flexible Pipes under Live Load Application, Journal of Performance of Constructed Facilities", ASCE, Vol. 20, No. 1, pp. 21-27.
2. Bashir R., 2000, Analysis and Design of Buried Pipelines, M.Sc. Thesis, King Fahd University of Petroleum and Minerals, Dhahran, Saudi Arabia.
3. Bildik, S., Laman, M. and Suleiman, M.T., 2012, Parametric Studies of Buried Pipes Using Finite Element Analysis, 3rd International Conference on New Developments in Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Near East University, Nicosia, North Cyprus.
4. Byrne J. H., 1987, Analysis of a Corrugated Steel Box-Type Culvert, M.Sc. Thesis, Ohio University.
5. Gerscovich, D.M.S., Sieira A.C.C.F., 2008, Ferreira A.M., Numerical Simulation of the Mechanical Behavior of Buried Pipes in Trench, The 12th International Conference of International Association for Computer Methods and Advances in Geomechanics (IACMAG).

6. Goltabar, A. M, Shekarachi M., 2010, Investigation of Traffic Load on the Buried Pipeline by Using Real Scale Experiment and Plaxis-3D Software , Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology 2(2), pp.107-113.
7. Hosseini, M. M., S.M. and Moghddas Tafreshi, S. N., 2002, Soil-Structure Interaction of Embedded Pipes under Cyclic Lo.15, No. 2, July 2002, pp. 117-124.
8. Janson, L. E., 1996, Plastic Pipes for Water Supply and Sewage Disposal, Published by Borealis.
9. Madryas, C., Kolonko A., Wysocki L., 2002, Constructions of Sewage Pipes, Publishing .House of Wroclaw University, Wroclaw.
10. Moghaddas Tafreshi, S. N., and Khalaj, O, 2008, Laboratory Tests of Small-Diameter HDPE Pipes Buried in Reinforced Sand under Repeated-Load, Geotextiles and Geomembranes, 26, pp. 145–163.
11. Plaxis 3D Manual, Geotechnical Finite Element Software, Delft University of Technology & PLAXIS bv, The Netherlands.
12. Rajkumar, R. and Ilamparuthi, K., 2008, Experimental Study on the Behaviour of Buried Flexible Plastic Pipe, Electronic Journal of Geotechnical Engineering EJGE, Vol. 13, pp. 1-10.
13. Zienkiewicz O. C., 1977, The Finite Element Method, McGraw Hill Book Company
14. Tong Wa Chao. "Gaseous Detonation Driven Fracture of Tubes". Ph. D. thesis, California Institute of Technology, Pasadena, California, March 2004.
15. T. Chao and J. E. Shepherd. "Detonation loading of tubes in the modified shear wave regime" In Z. Jiang, editor, Proceedings of the 24th International Symposium on Shock Waves, volume 2, pages 865-870.
16. International Journal of Fracture Mechanics, 1, pp. 104–113.
17. Maxey, W. A., Kiefner, J. F., Eiber, R. J., and Duffy, A. R., 1971. "Ductile fracture initiation, propagation, and arrest in cylindrical vessels". In ASTM STP 514, Fracture Toughness, Proceedings of the 1971 National Symposium on Fracture Mechanics PART II.
18. Kiefner, J. F., Maxey, W. A., Eiber, R. J., and Duffy, A. R., 1973. "Failure stress levels of flaws in pressurized cylinders". in ASTM STP 536, Progress in Flaw Growth and Fracture Toughness Testing, Proceedings of the 1972 National Symposium on Fracture Mechanics.
19. Ives, K., Shoemaker, A., and McCartney, R., 1974. "Pipe deformation during a running shear fracture in line pipe". Journal of Engineering Materials and Technology, 96 (4), pp. 309–317.
20. Emery, A. F., Kobayashi, A. S., Love, W. J., Place, B. W., Lee, C., and Chao, Y. H., 1986. "An experimental and analytical investigation of axial crack propagation in long pipes". Engineering Fracture.
21. Kobayashi, A. S., Emery, A. F., Love, W. J., and Chao, Y. H., 1988. "Subsize experiments and numerical modeling of axial rupture of gas transmission lines". Journal of Pressure Vessel Technology, 110, pp. 155–160
22. Tang, S., 1965. "Dynamic response of a tube under moving pressure". In Proceedings of the American Society of Civil Engineers, vol. 5, Engineering Mechanics Division, pp. 97–122.
23. Reismann, H., 1965. "Response of a prestressed cylindrical shell to moving pressure load". In Eighth Midwest Mechanics Conference, S. Ostrach and R. Scanlon, Eds., Pergamon Press, pp. 349–363.
24. de Malherbe, M., Wing, R., Laderman, A., and Oppenheim, A., 1966. "Response of a cylindrical shell to internal blast loading". Journal of Mechanical Engineering Science, 8 (1), pp. 91–98.
25. Simkins, T., 1987. "Resonance of flexural waves in gun tubes". Tech. Rep. ARCCB– TR–87008, US Army Armament Research, Development and Engineering Center.
26. Thomas, G., 2002. "The response of pipes and supports generated by gaseous detonations". Journal of Pressure Vessel Technology, 124, pp. 66–73.
27. Beltman, W., Burcsu, E., Shepherd, J., and Zuhail, L., 1999. "The structural response of cylindrical shells to internal shock loading". Journal of Pressure Vessel Technology, 121, pp. 315–322
28. Beltman, W., and Shepherd, J., 2002. "Linear elastic response of tubes to internal detonation loading". Journal of Sound and Vibration, 252 (4), pp. 617–655.
29. W. M. Beltman, J. E. Shepherd, The Structural Response of Tubes to Detonation and Shock Loading, Parts I and II, Technical Report FM98-3, California Institute of Technology, Pasadena, CA. April, 1998.
30. Mirzaei, M., Mazaheri, K., Biglari, H., 2005. "Analytical Modeling of the Elastic Response of Tubes to Internal Detonation Loading, "International Journal of Pressure Vessels and Piping", Vol. 82, No. 12, pp. 883-895.
31. Mirzaei, M. K., Biglari, H. M. Salavatian, Analytical and Numerical Modeling of the Transient Elastio-Dynamic Response of a Cylindrical Tube to Internal Gaseous Detonation, International Journal of Pressure Vessels and Piping, 2006; 83 (7): 531-9.

# Numerical and Experimental Modeling of Steel Pipe for Transfer of Oil Fluid Buried in Sandy Soil under Explosion in a New CONWEP Method and Investigation of Stress Distribution on the Pipe Surface in Abaqus Software

Hamid-Farhani<sup>\*1</sup>, Gholamreza –Rashed<sup>2</sup>

1- M.s, mechanical engineering, University of Petroleum Industry-Abadan Faculty of Petroleum-Iran

2- Associate Professor, Mechanical Engineer, University of Petroleum Industry - Abadan Faculty of Petroleum - Iran

\*h.farhani242@gmail.com

## Abstract

In this article, the numerical model in Oil fluid transfer (steel) ASTM-A36 under conditions capability of explosion modeling in Abaqus is discussed in detail and in condition. The paper is presented with the advantages and disadvantages of this technique, and an example of explosion modeling is solved by the CONWEP method. Note then that you can use the CONWEP technique to model both surface (blast) and air blast explosions in condition. One of the types of problems in the analysis of structures is pipelines for the transmission – of oil fluid.

Explosion by CONWEP method: Explosion by CONWEP method causes a compressive front of air that strikes the structures.

**Keywords:** Finite element modeling, Oil fluid transfer, Maximum stress, Strain of steel pipe buried in the soil.