

کالج پروژه

www.collegeprozheh.ir



دانلود پروژه های دانشگاهی

بانک موضوعات پایان نامه

دانلود مقالات انگلیسی با ترجمه فارسی

آموزش نگارش پایان نامه ، مقاله ، پروپوزال





دانشگاه صنعتی ارومیه

دانشکده مهندسی معدن

گروه اکتشاف معدن

عنوان:

تعیین شعاع بهینه تزریق در تونل راه آهن کوهین

پژوهشگر:

علی صفدریان

استاد راهنما:

دکتر میکائیل

پروژه کارشناسی رشته مهندسی معدن گرایش اکتشاف

شهریور ماه ۱۳۹۳

باتشکر از جناب دکتر میکایل و دوست خوبم صلاح قادر نژاد که در تهیه این پایان نامه بسیار من را یاری

کردند.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول (مقدمه).....	۸
فصل دوم (معرفی پروژه کوهین).....	۱۲
فصل سوم (تحلیل عددی با استفاده از نرم افزار $FLAC^{2D}$).....	۱۴
۱-۳- معرفی نرم افزار $FLAC$	۱۵
۲-۳- مشخصات تونل کوهین.....	۱۶
۳-۳- نتایج حاصل از تحلیل عددی.....	۱۷
۱-۳-۳- جابه جایی قائم در تاج تونل.....	۱۸
۲-۳-۳- جابه جایی افقی در دیواره.....	۲۳
۳-۳-۳- جابه جایی قائم در کف.....	۲۸
۴-۳-۳- بار محوری روی سیستم نگهداری.....	۳۳
۵-۳-۳- بار برشی روی سیستم نگهداری.....	۴۰
۶-۳-۳- گشتاور خمشی روی سیستم نگهداری.....	۴۷
۷-۳-۳- نشست در سطح زمین.....	۵۲
۸-۳-۳- نتایج کلی.....	۵۷
فصل چهارم (تعیین شعاع بهینه تزریق با روش تصمیم گیری چند معیاره).....	۵۸
۱-۴- معرفی روش های تصمیم گیری چند معیاره.....	۵۹
۲-۴- روش ویکور (VIKOR).....	۶۰
۱-۲-۴- گامهای تصمیم گیری بر اساس روش ویکور.....	۶۱
۳-۴- کاربرد روش ویکور در تعیین شعاع بهینه تزریق.....	۶۶
۴-۴- فرآیند تحلیل سلسله مراتبی دلفی فازی (FDAHP).....	۶۷
۵-۴- مراحل ویکور جهت تعیین شعاع بهینه تزریق.....	۶۸
۱-۵-۴- تشکیل ماتریس تصمیم.....	۶۸
۲-۵-۴- تعیین بردار وزن معیارها.....	۷۲

۷۲.....۴-۵-۳- بی بعد ساختن ماتریس تصمیم گیری

۷۳.....۴-۵-۴- تعیین نقطه ایده آل مثبت و ایده آل منفی

۷۳.....۴-۵-۵- محاسبه مقدار سودمندی (S) و مقدار تأسف (R) برای هر گزینه

۷۴.....۴-۵-۶- محاسبه شاخص ویکور (Q) برای هر گزینه

۷۴.....۴-۵-۷- مرتب کردن گزینه ها بر اساس مقادیر S، R و Q

۷۷.....فصل پنجم (نتیجه گیری)

۷۹.....منابع

فصل اول

مقدمه

۱-۱- مقدمه

به طور کلی حفر تونل و فضاهای زیرزمینی باعث حذف توده‌ای از خاک می شود، که منجر به عدم تعادل تنش‌ها و تلاش برای وضعیت جدیدی از تعادل می شود. این وضعیت جدید باعث بروز برخی پدیده‌ها مانند نشست در سطح زمین، تغییر در سطح ایستایی و عدم پایداری در فضاهای حفر شده می‌شود. همچنین مواردی مثل حفر تونل در محیط‌های حاوی سنگهای سست و خاک، تونل‌هایی با مقطع بزرگ و حفر تونل‌های کم عمق به تشدید عوامل ذکر شده کمک می‌کند. جهت کاهش یا از بین رفتن اثرات نامطلوب حفر تونل، لازم است تا جهت بهسازی مشخصات زمین، روشهای لازم را به عمل آوریم. یک راه حل مناسب برای بهبود مشخصات زمین تزریق با فشار می‌باشد.

تزریق دوغاب (Grouting) عمدتاً جهت کنترل آب زیرزمینی می‌باشد، می توان تزریق را در حالت کلی به فرآیند تزریق سیالات که به سمت ترکها و فضاهای خالی توده سنگ سرازیر می شود تعریف کرد. تزریق در تونل معمولاً در سیستم درزه‌های سنگ از طریق تعدادی چال که در سینه کار تونل حفر می‌شود، انجام می‌شود. متداول‌ترین سیال مورد استفاده در تزریق، مخلوط آب و سیمان می باشد، که در فشار بالا به طور فشرده به سیستم‌های درزه از طریق پمپ فرستاده می شود. دوغاب می تواند در موقعیت‌های مختلف، فرمول شیمیایی خاصی داشته باشد.

به طور کلی پروسه تزریق را می توان با توجه به پروژهای متفاوت به ترتیب زیر بیان کرد.

- حفاری
- تزریق
- اندازه گیری نشست آب
- واریسی گمانه ها
- تزریق دوباره در صورت لزوم

هر کدام از پنج مرحله اصلی تزریق تحت تأثیر عواملی چون تعداد چالها، طول چالها و در طور کلی زمان آب بندی می باشد.

تزریق دوغاب (Grouting)، در شرایطی که زمین ضعیف باشد برای بهبود مشخصات زمین به کار می رود. مشکلات زمین ضعیف و ناپایدار برای حفر تونل، با تزریق با فشار و به وسیله‌ی پر کردن ناپیوستگی‌ها و درزه‌ها به وسیله‌ی دوغاب با مقاومت و چسبندگی مطمئن بهبود خواهد یافت.

جهت تزریق با فشار در سنگ، ابتدا گمانه‌هایی با قطر، طول، و جهت مناسب در درون سنگ حفر می شود. (برای بستن گمانه از پاکر استفاده می کنند) سپس با استفاده از لوله و شلنگ که رابط بین پمپ و گمانه است، دوغاب را فشار زیاد به درون گمانه و در نهایت ترکها و درزه‌های سنگ اطراف گمانه می‌فرستد.

تزریق با فشار در رنج وسیعی از سنگها شامل سنگهای رسوبی ضعیف تا سنگهای گرانیتی، در فشارهای بالای استاتیک آب های زیرزمینی و همچنین در تونل های سطحی شهری قابل استفاده و کاربردی است. برای محاسبه ی کیفیت و عملکرد تونل‌زنی و همچنین تحلیل پایداری تونل چندین پارامتر خاص وجود دارد، که مهم‌ترین این پارامترها شامل این موارد می باشد: جابه‌جایی عمودی در تاج و کف تونل، جابه‌جایی افقی در دیواره، نشست در سطح زمین، بیشترین ممان خمشی بر سیستم نگهداری، بیشترین نیروی برشی و محوری بر سیستم نگهداری، زمان و هزینه. عملیات تزریق می تواند بر برخی از پارامترهای نامبرده اثرات مطلوبی بگذارد. افزایش شعاع تزریق میتواند اکثر پارامترهای نامبرده همانند میزان نشست در سطح زمین را بهبود بخشد ولی از طرف دیگر هزینه و زمان عملیات را افزایش می دهد. بنابراین پارامترهای ذکر شده را می توان در دو گروه مثبت و منفی کلاس بندی کرد؛ پارامترهای مثبت شامل جابه جایی، نشست و بارهای وارد بر سیستم نگهداری و پارامترهای منفی شامل هزینه و زمان عملیات خواهند بود. از جنبه فنی اقتصادی پروژه ای موفق خواهد بود که بیشترین پایداری را در کمترین هزینه و زمان ممکن سازد که این امر مهم نیازمند محاسبه شعاع بهینه تزریق خواهد بود. برای نیل به این هدف در گام

نخست، بعد از مدلسازی پروژه در نرم‌افزار $FLAC^{2D}$ ، (بر پایه روش تفاضل محدود) سعی بر محاسبه‌ی پارامترهای ذکر شده در شعاع‌های مختلف تزریق شود، و در گام بعدی با استفاده از روش VIKOR که بر پایه روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره بنیان نهاده شده است، شعاع بهینه‌ی تزریق انتخاب خواهد شد. بخش‌های بعدی به این ترتیب خواهند بود: بخش دوم شامل معرفی پروژه است، در بخش سوم، مدل‌سازی و تحلیل عددی توضیح داده می‌شود. در بخش چهارم، پس از تبیین روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره، شعاع بهینه‌ی تزریق انتخاب خواهد شد، و بخش پنجم شامل نتیجه‌گیری خواهد بود.

فصل دوم

معرفی پروژه کوهین

۲-۱- معرفی پروژه کوهین

تونل کوهین قرار است در قطعه اول راه آهن قزوین-رشت در طولی معادل ۱۶۳۵ متر حفر شود. مطالعات انجام شده نشان می دهد که تونل در رسوبات سازند هزار دره قرار داشته و جنس زمین پوشاننده آن از تناوب لایه های مختلفی برخوردار می باشد. سست بودن ساختگاه تونل، قرار گیری بخش اعظم تونل در زیر سطح ایستابی و بزرگی مقطع تونل از مهمترین ویژگیهای این تونل می باشد.

برای شناسایی لایه های مختلف زمین ۴ گمانه ای اکتشافی حفر شده است و از این گمانه ها نمونه هایی گرفته شده و مشخصات ژئومکانیکی توده سنگ در بر گیرنده تونل تعیین شده است. نتایج حاصل از آزمایشهای انجام شده، نشان دهنده پائین بودن ویژگیهای ژئومکانیکی توده سنگی پوشاننده تونل می باشد به طوری که مقدار چسبندگی در حدود ۰/۲۷ مگاپاسکال، زاویه اصطکاک داخلی به طور متوسط ۳۱ درجه، مدول الاستیسیته ۰/۳۵ گیگاپاسکال و ضریب پواسون به طور متوسط ۰/۳۵ می باشد.

سطح مقطع تونل مورد نظر ۱۲۱ متر مربع می باشد که عملیات حفر آن در چهار مرحله انجام می شود:

۱. **حفر تونل پیشاهنگ:** در نخستین مرحله یک تونل پیشاهنگ به دهانه ۴ متر که کف آن منطبق بر کف قسمت فوقانی مقطع تونل می باشد توسط ردهدر یا چکشهای هیدرولیکی حفر می شود و پس از هر گام پیشروی تونل پیشاهنگ، نگهداری آن (قابهای فولادی) همزمان نصب می شود. پس از نصب سیستم نگهداری به منظور تقویت زمین در اطراف تونل می توان از طریق این تونل عملیات تزریق را انجام داد.
۲. **حفاری طاق:** پس از حداقل ۳۰ متر پیشروی در تونل پیشاهنگ، حفاری طاق و برداشتن سیستم نگهداری تونل پیشاهنگ، به کمک ردهدر یا چکشهای هیدرولیکی انجام می گیرد. پس از عملیات حفاری سیستم نگهداری مناسب نیز نصب می شود.

۳. **حفر بخش مرکزی و پا طاق ها:** پس از آن که جبهه کار نسبت به دهانه‌ی تونل به مقدار مناسب

پیشروی کرد، بخش مرکزی پائین مقطع و پا طاق تونل حفر می شوند و سیستم نگهداری نصب

می شود.

۴. **حفر قسمت کف تونل:** پس از آن که تونل پیشاهنگ، قسمت طاق تونل، بخش مرکزی و پا

طاق ها تا انتهای تونل حفر شوند، قسمت کف تونل حفر خواهد شد.

فصل سوم

تحلیل عددی با استفاده از

نرم افزار $FLAC^{2D}$

۳-۱- معرفی نرم افزار FLAC

نرم افزار FLAC، یک نرم افزار تفاضل محدود است که برای محاسبات مهندسی مورد استفاده قرار می گیرد. این برنامه رفتار سازه‌هایی که در آن خاک یا سنگ یا سایر مصالحی که ممکن است بعد از حد تسلیم به حالت پلاستیک برسند به خوبی مدل‌سازی می کند. نرم افزار FLAC در اصل برای مهندسين ژئوتکنیک و معدن طراحی شده است، با این حال این برنامه با توجه به توانایی‌ها و قابلیت‌های گسترده‌ای که دارد می تواند برای حل مسائل پیچیده‌ی مکانیکی در رشته‌های دیگر مهندسی نیز استفاده شود. مدل‌های رفتاری متنوعی که در این برنامه تعریف شده است به مهندسين اجازه می دهد که مسائل مختلفی را تحت تحلیل‌های غیر خطی مدل‌سازی و تحلیل کنند.

از جمله قابلیت های شایان توجه نرم افزار FLAC می توان به موارد زیر اشاره کرد.

- قابلیت مدل‌سازی المان‌های سطح مشترک که از طریق آن می توان صفحات لغزش یافته، درزه ها، لایه‌های خاک و اندرکنش خاک و سازه را به دقت شبیه‌سازی نمود.

- مدل های تحلیلی کرنش صفحه‌ای، تنش صفحه‌ای و تقارن محوری

- توانایی مدل‌سازی جریان آب زیرزمینی و تحکیم در خاک

- توانایی مدل‌سازی المان‌های سازه‌ای برای شبیه‌سازی حایل‌های تونل، سیستم‌های میخکوبی، راک‌بولت‌ها، شمع‌ها، ریزشمع‌ها و غیره.

- توانایی تحلیل دینامیکی مسائل ژئوتکنیکی جهت مدل‌سازی بارهای هارمونیک، بار زلزله و انفجار

- توانایی مدل‌سازی‌های ویسکوالاستیک و ویسکوپلاستیک (خزش)

- توانایی مدل‌سازی حرارتی و نیز مدل‌سازی توامان مدل‌های حرارتی و تنش مکانیکی و فشار آب‌منفذی

- توانایی مدل سازی جریان دوفازه برای شبیه سازی جریان های دوفازه در محیط های متخلخل (برای مثال شبیه سازی دو جریان مختلف آب و نفت یا آب و گاز)

- قابلیت اضافه نمودن مدل هایی که با استفاده از زبان برنامه نویسی C++ نوشته می شود.

برنامه ی FLAC، همچنین دارای یک زبان برنامه نویسی قوی به نام FISH می باشد که مخفف عبارت FLACish است. با استفاده از زبان برنامه نویسی FISH کاربر قادر است تا توابع مورد نظر خود را در نرم افزار مدل سازی نماید و یا حتی می تواند مدل های رفتاری دلخواه خود را به محیط های پیوسته معرفی کند. همچنین زبان برنامه نویسی FISH به کاربر این امکان را می دهد که مطالعات پارامتری و مطالعات مرحله ای را با سهولت بیشتری انجام داده و از اطباب کدنویسی در FLAC جلوگیری نماید.

۳-۲- مشخصات تونل کوهین

تونل راه آهن کوهین با طولی معادل ۱۶۳۵ متر و دهانه ای به قطر ۱۳/۵ متر و ارتفاع ۱۲/۵ متر و همچنین سطح مقطع تونل ۱۲۱ مترمربع و از جمله تونل های بزرگ مقطع در کشور می باشد.

مطالعات انجام شده نشان می دهد که تونل در رسوبات سازند هزار دره قرار داشته و جنس زمین پوشاننده ی آن از تناوب لایه های مختلفی برخوردار می باشد. سست بودن ساختگاه تونل، قرارگیری بخش اعظم تونل در زیر سطح ایستابی و بزرگی مقطع تونل از مهمترین ویژگی های این تونل می باشد.

برای شناسایی لایه های مختلف زمین ۴ گمانه ی اکتشافی حفر شده است و از این گمانه ها نمونه هایی گرفته شده و مشخصات ژئومکانیکی توده ی سنگ در بر گیرنده تونل، قبل و بعد از تزریق بتن در جداول زیر تعیین شده است.

جدول ۳-۱: مشخصات ژئومکانیکی محیط تونل قبل از تزریق بتن

مقدار	مشخصه ژئومکانیکی
۰/۳۵	ضریب پواسون
$3/5 \times 10^8$	مدول الاستیسیت $E(\text{Pa})$
۳۱	زاویه اصطکاک داخلی $f(^{\circ})$
۲۰۰۰	چگالی (Kg/m^3)
$3/89 \times 10^8$	مدول بالک (pa)
$1/29 \times 10^8$	مدول برشی $G(\text{Pa})$
$2/7 \times 10^5$	چسبندگی $C(\text{Pa})$

جدول ۳-۲: مشخصات ژئومکانیکی محیط تونل بعد از تزریق بتن

مقدار	مشخصه ژئومکانیکی
۰/۲۵	ضریب پواسون
7×10^8	مدول الاستیسیت $E(\text{Pa})$
۳۱	زاویه اصطکاک داخلی $f(^{\circ})$
$5/7 \times 10^5$	چسبندگی $C(\text{Pa})$

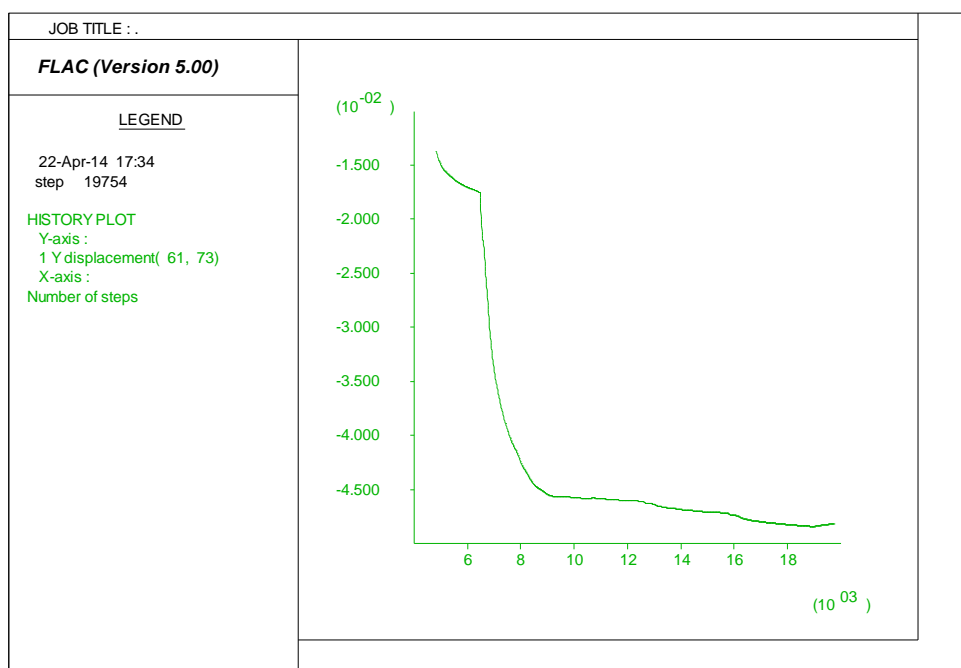
با استفاده از نرم افزار FLAC مدل سازی های مورد نیاز انجام شده که در این حالت ارتفاع روباره ۱۰۰ متر، ارتفاع سطح ایستابی ۴۰ متر، ارتفاع مقطع تونل پیشاهنگ ۴ متر و ارتفاع تونل اصلی ۱۱ متر در نظر گرفته شده است که عملیات حفر آن در چهار مرحله انجام می شود.

۳-۳- نتایج حاصل از تحلیل عددی

با استفاده از نرم افزار FLAC مقادیر پارامترهای موثر بر تونل زنی در شعاعهای مختلف تزریق به دست آمد، حال به شرح کامل پارامترهای فوق در جدول می پردازیم.

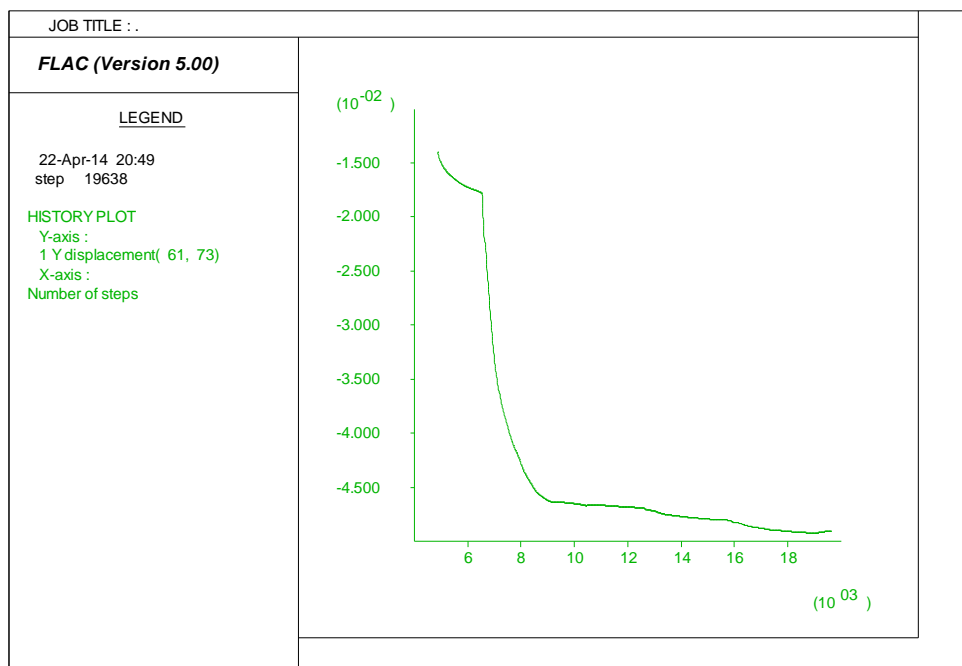
۳-۳-۱- جابه جایی قائم در تاج تونل

۳-۳-۱-۱- شعاع تزریق ۴ متری: در این شعاع تزریق طبق جدول فوق حداکثر جابه جایی ۴/۸۴ – سانتی متر به دست آمد.



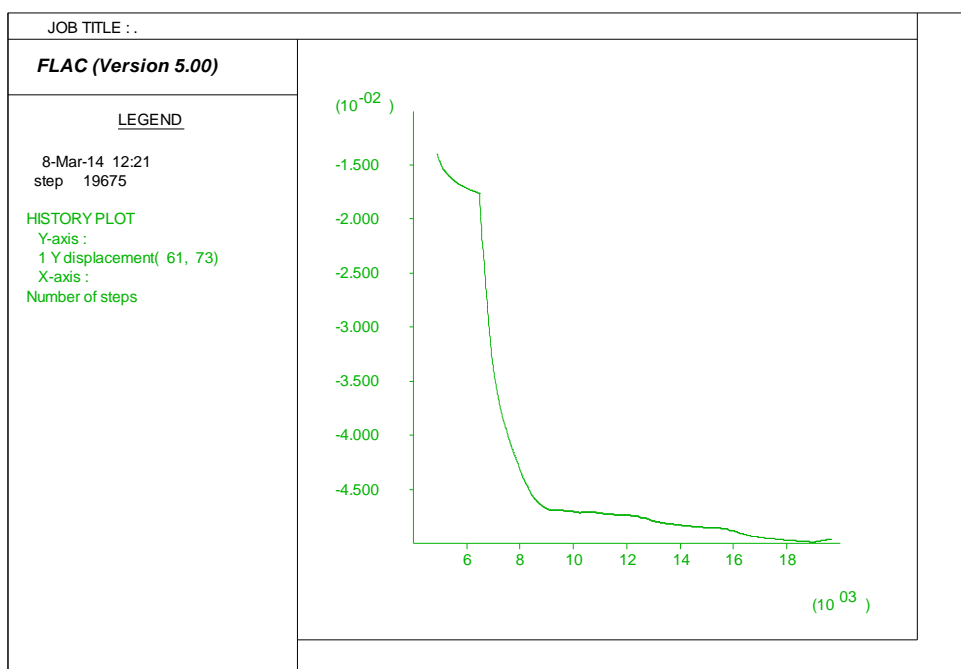
شکل ۳-۱: جابه جایی قائم در تاج تونل در شعاع تزریق ۴ متری

۳-۳-۱-۲- شعاع تزریق ۳/۵ متری: در این شعاع تزریق طبق جدول فوق حداکثر جابه جایی ۴/۹۲ – سانتی متر به دست آمد.



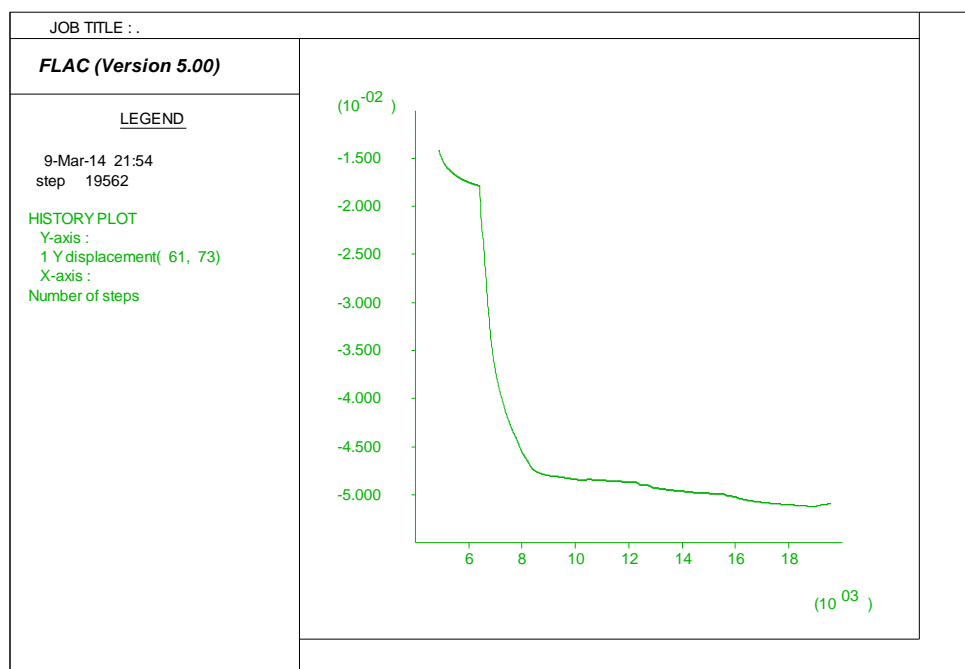
شکل ۳-۲: جابه جایی قائم در تاج تونل در شعاع تزریق ۳/۵ متری

۳-۳-۱-۳- شعاع تزریق ۳ متری: در این شعاع تزریق طبق جدول فوق حداکثر جابه جایی قائم ۴/۹۶- سانتی متر به دست آمد.



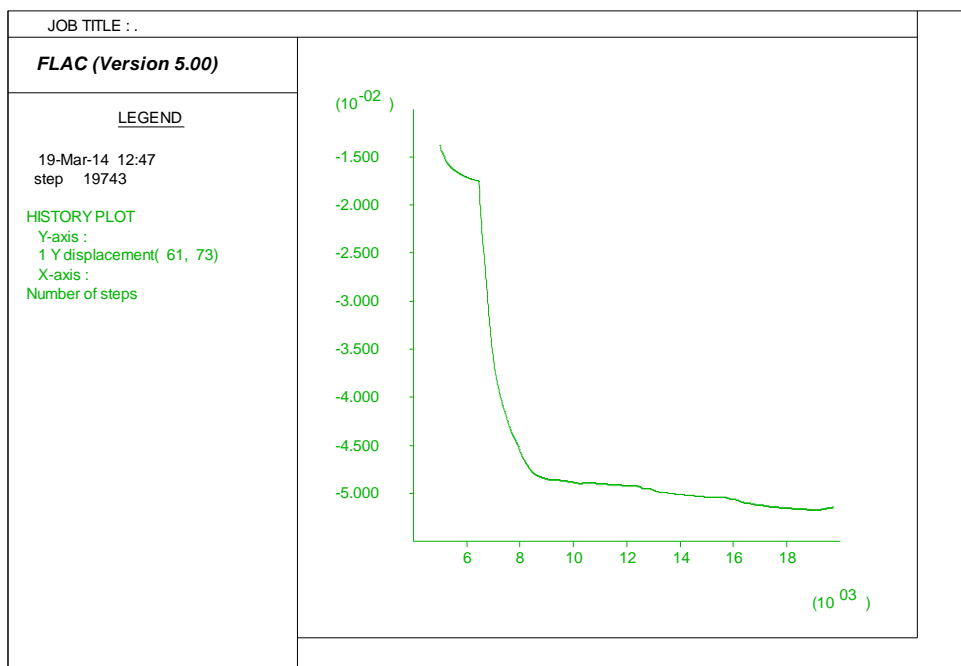
شکل ۳-۳: جابه جایی قائم در تاج تونل در شعاع تزریق ۳ متری

۳-۳-۱-۴- شعاع تزریق ۲/۵ متری: در این شعاع تزریق نیز طبق جدول فوق حداکثر جابه جایی قائم در تاج تونل ۵/۰۹- سانتی متر به دست آمد.



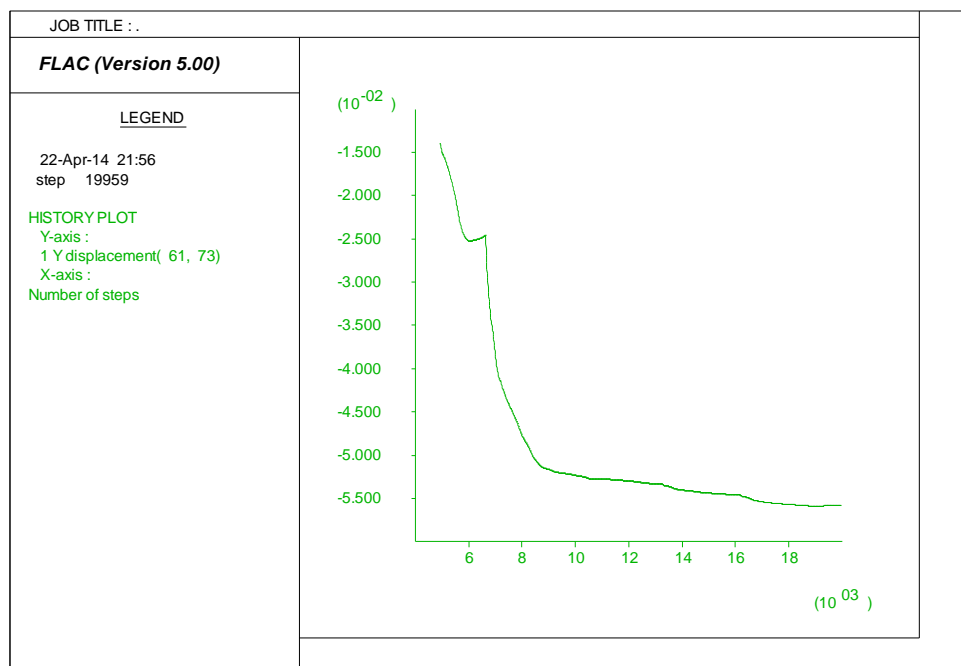
شکل ۳-۴: جابه جایی قائم در تاج تونل در شعاع تزریق ۲/۵ متری

۳-۳-۱-۵- شعاع تزریق ۲ متری: در این شعاع تزریق طبق جدول فوق حداکثر جابه جایی قائم در تاج تونل ۵/۱- سانتی متر به دست آمد ، و روند جابه جایی را مشاهده می کنید.



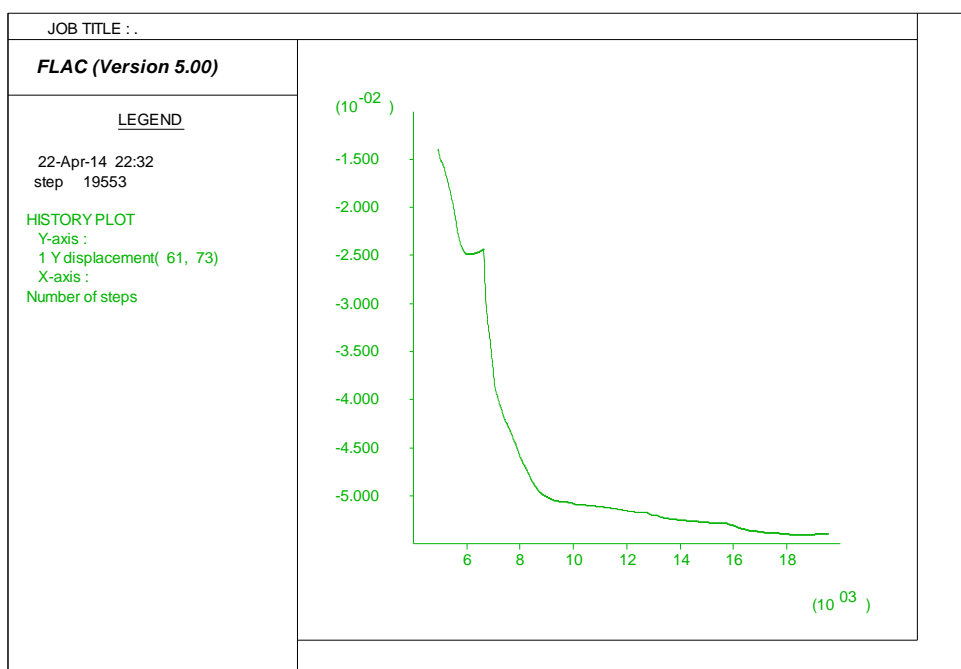
شکل ۳-۵: جابه جایی قائم در تاج تونل در شعاع تزریق ۲ متری

۳-۱-۳-۶- شعاع تزریق ۱/۵ متری: در این شعاع تزریق طبق جدول فوق حداکثر جابه جایی قائم ۵/۶- سانتی متر به دست آمد.



شکل ۳-۶: جابه جایی قائم در تاج تونل در شعاع تزریق ۱/۵ متری

۳-۳-۱-۷- شعاع تزریق ۱ متری: در این شعاع تزریق طبق جدول فوق حداکثر جابه جایی قائم ۵/۴- سانتی متر به دست آمد.



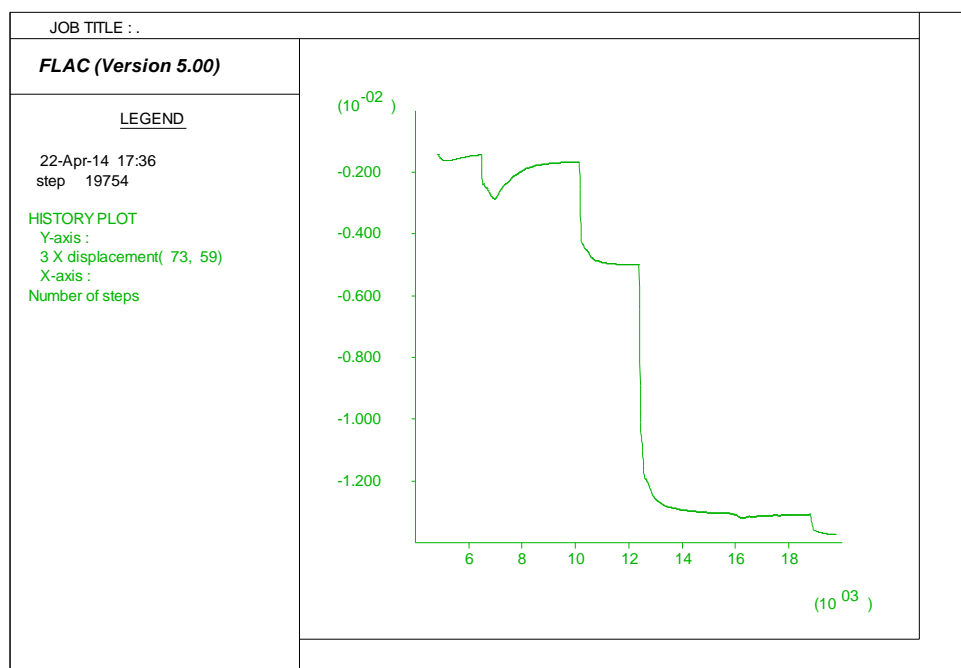
شکل ۳-۷: جابه جایی قائم در تاج تونل در شعاع تزریق ۱ متری

جدول ۳-۳: مقادیر حداکثر برای جابه جایی قائم در تاج تونل

۱	۱/۵	۲	۲/۵	۳	۳/۵	۴	شعاع	جابه جایی قائم
۵/۵	۵/۲۸	۵/۱	۵/۰۹	۴/۹۸	۴/۹۲	۴/۸۴	مقدار	در تاج تونل

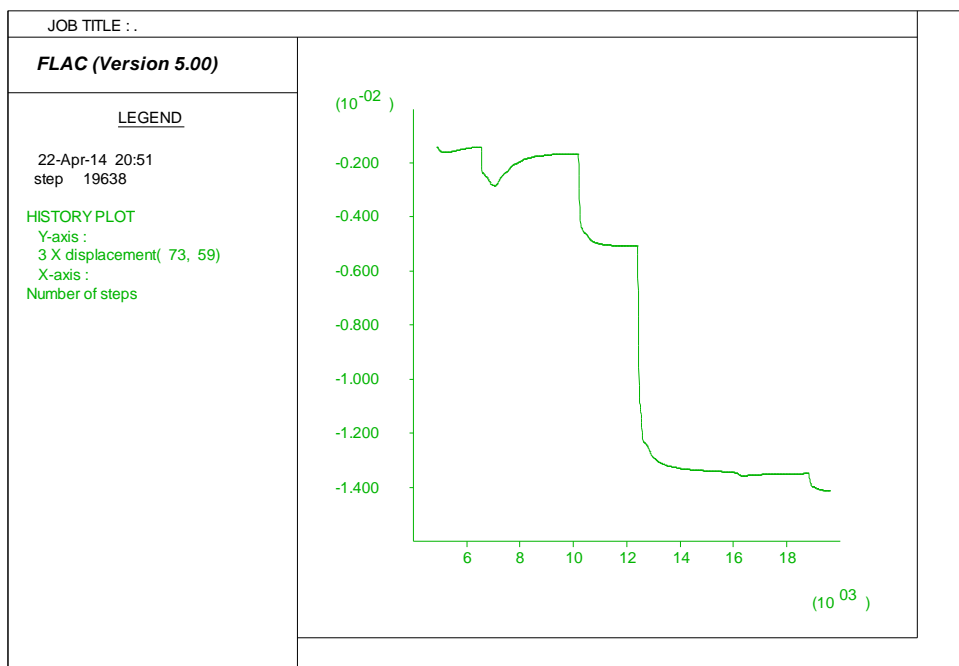
۳-۳-۲- جابه جایی افقی در دیواره

۳-۳-۲-۱- شعاع تزریق ۴ متری: در این شعاع تزریق طبق جدول فوق حداکثر جابه جایی افقی ۱/۳۷- سانتی متر به دست آمد.



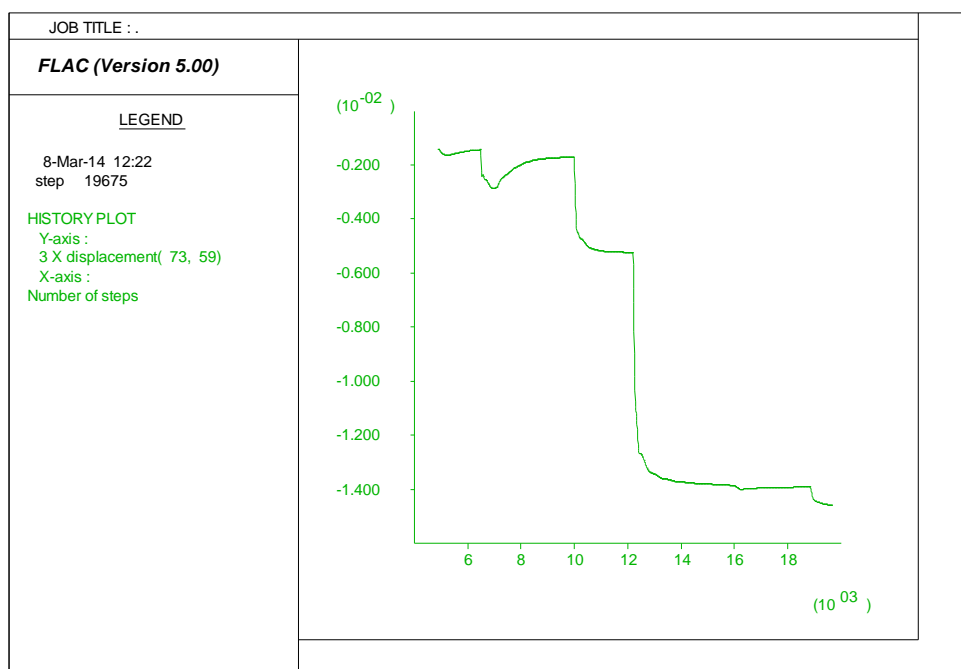
شکل ۳-۸: جابه جایی افقی در دیواره در شعاع تزریق ۴ متری

۳-۳-۲-۲- شعاع تزریق ۳/۵ متری: در این شعاع تزریق طبق جدول فوق حداکثر جابه جایی افقی - ۱/۴۱- سانتی متر به دست آمد.



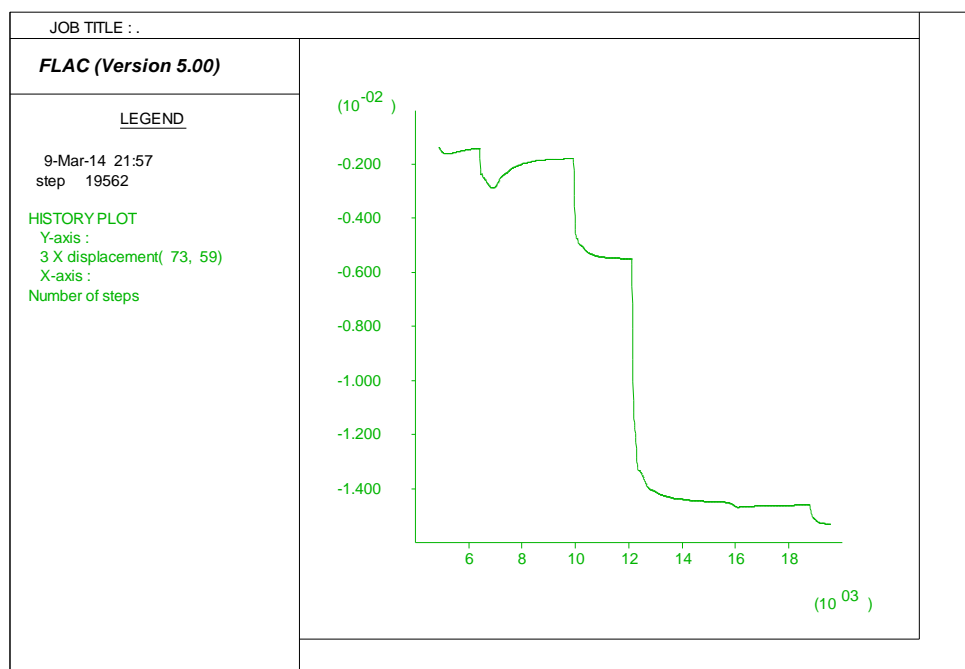
شکل ۳-۹: جابه جایی افقی در دیواره در شعاع تزریق ۳/۵ متری

۳-۳-۲-۳- شعاع تزریق ۳ متری: در این شعاع تزریق طبق جدول فوق حداکثر جابه جایی افقی در دیواره ۱/۴۶- سانتی متر به دست آمد.



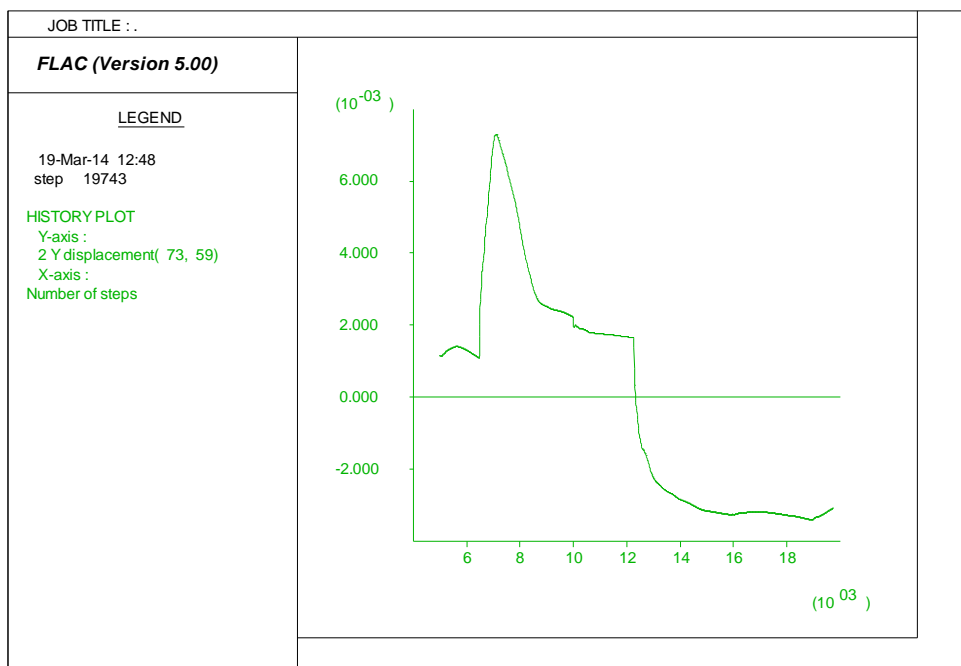
شکل ۳-۱۰: جابه جایی افقی در دیواره در شعاع تزریق ۳ متری

۳-۳-۲-۴- شعاع تزریق ۲/۵ متری: در این شعاع تزریق طبق جدول فوق حداکثر جابه جایی افقی در دیواره ۱/۵۳- سانتی متر به دست آمد.



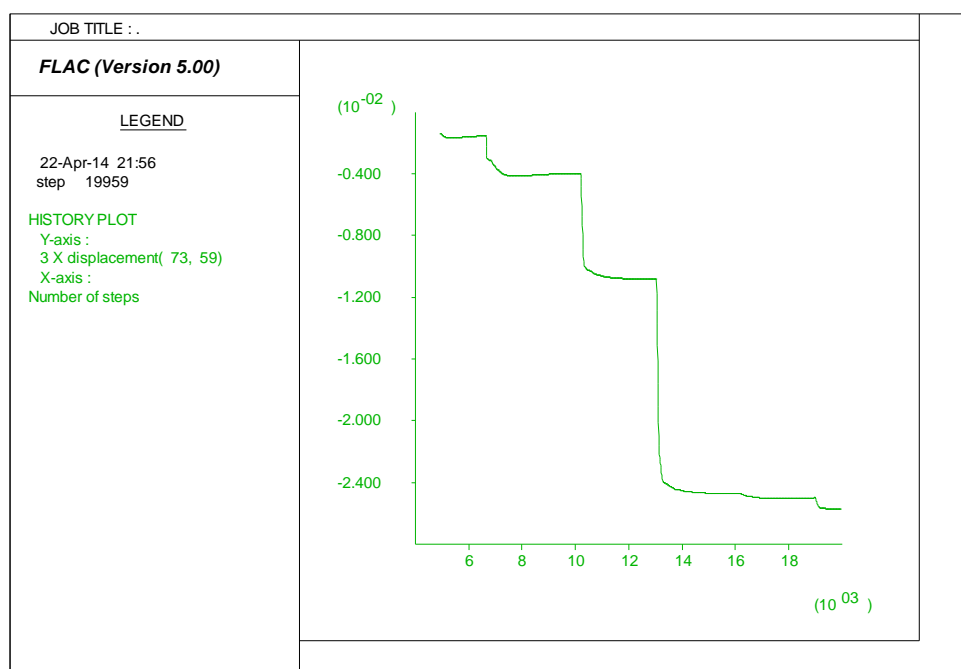
شکل ۳-۱۱: جابه جایی افقی در دیواره در شعاع تزریق ۲/۵ متری

۳-۳-۲-۵- شعاع تزریق ۲ متری: در این شعاع تزریق طبق جدول فوق حداکثر جابه جایی افقی در دیواره ۱/۶۵- سانتی متر به دست آمد که روند جابه جایی در شکل زیر معلوم است.



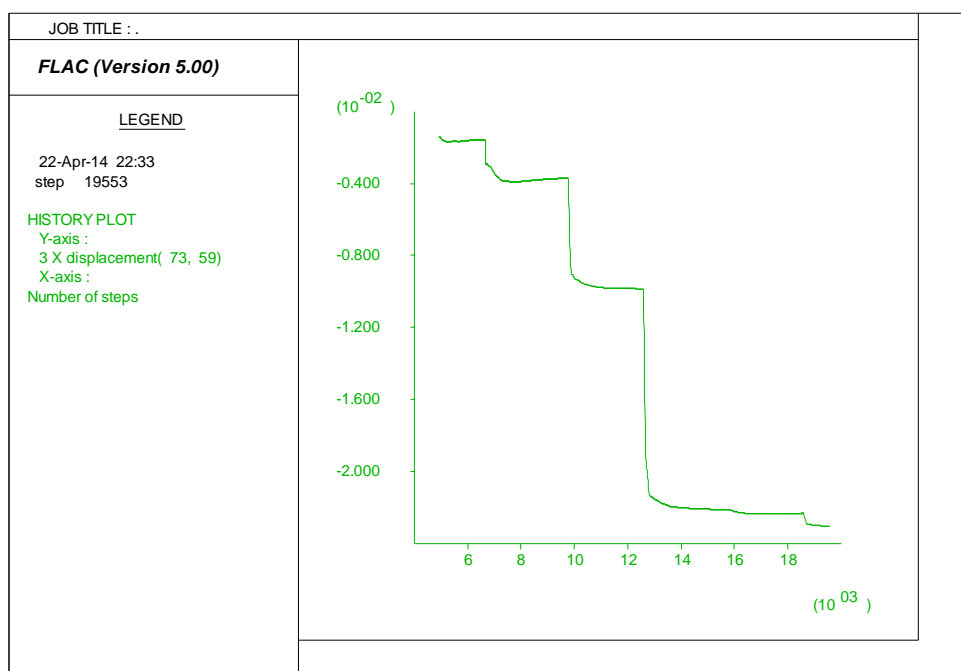
شکل ۳-۱۲: جابه جایی افقی در دیواره در شعاع تزریق ۲ متری

۳-۳-۲-۶- شعاع تزریق ۱/۵ متری: در این شعاع تزریق طبق جدول فوق حداکثر جابه جایی افقی در دیواره ۱/۸۲- سانتی متر حاصل شد.



شکل ۳-۱۳: جابه جایی افقی در دیواره در شعاع تزریق ۱/۵ متری

۳-۲-۷- شعاع تزریق ۱ متری: در این شعاع تزریق طبق جدول فوق حداکثر جابه جایی افقی در دیواره ۲/۱- سانتی متر به دست آمد.



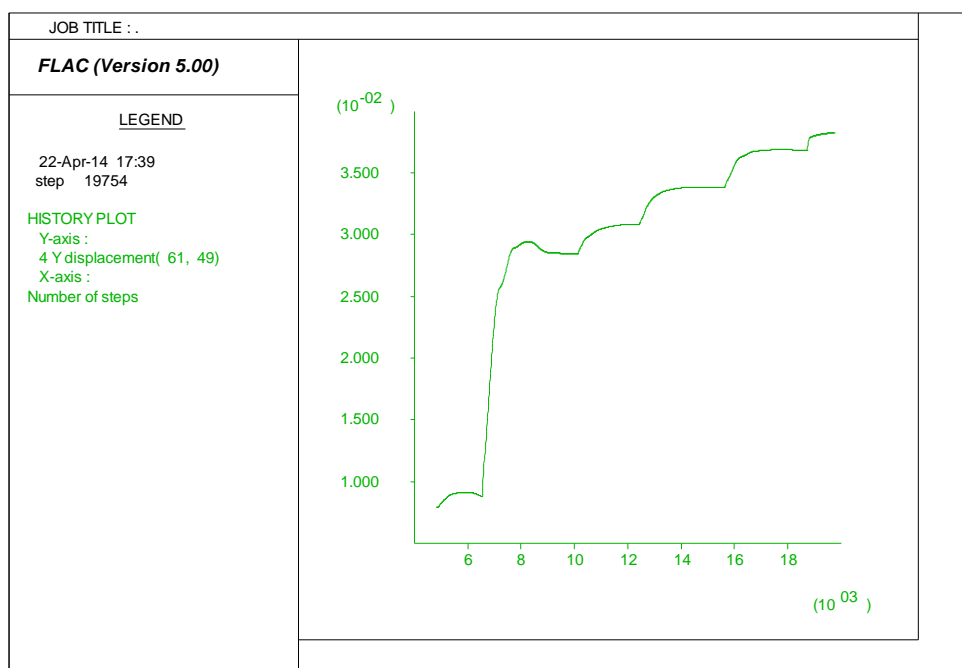
شکل ۳-۱۴: جابه جایی افقی در دیواره در شعاع تزریق ۱ متری

جدول ۳-۴: مقادیر حداکثر برای جابه جایی افقی در دیواره تونل

۱	۱/۵	۲	۲/۵	۳	۳/۵	۴	شعاع	جابه جایی افقی در
-۲/۵	-۱/۸۲	-۱/۶۵	-۱/۵۳	-۱/۴۶	-۱/۴۱	-۱/۳۷	مقدار	دیواره

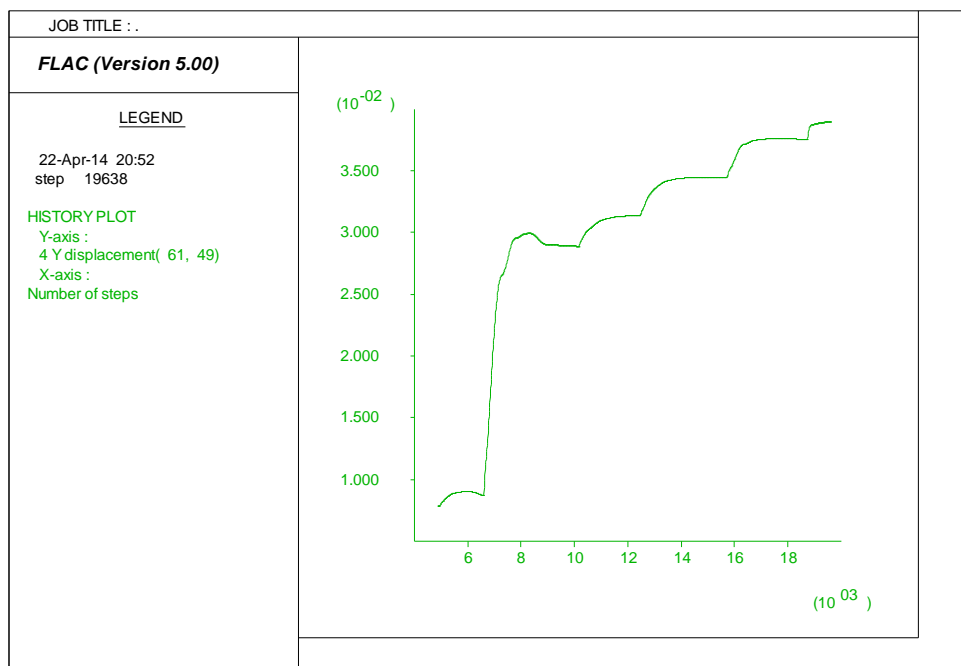
۳-۳-۳- جا به جایی قائم در کف

۳-۳-۳-۱- شعاع تزریق ۴ متری: در این شعاع تزریق طبق جدول شماره ۲ حداکثر جابه جایی قائم در کف ۳/۸ سانتی متر به دست آمده است.



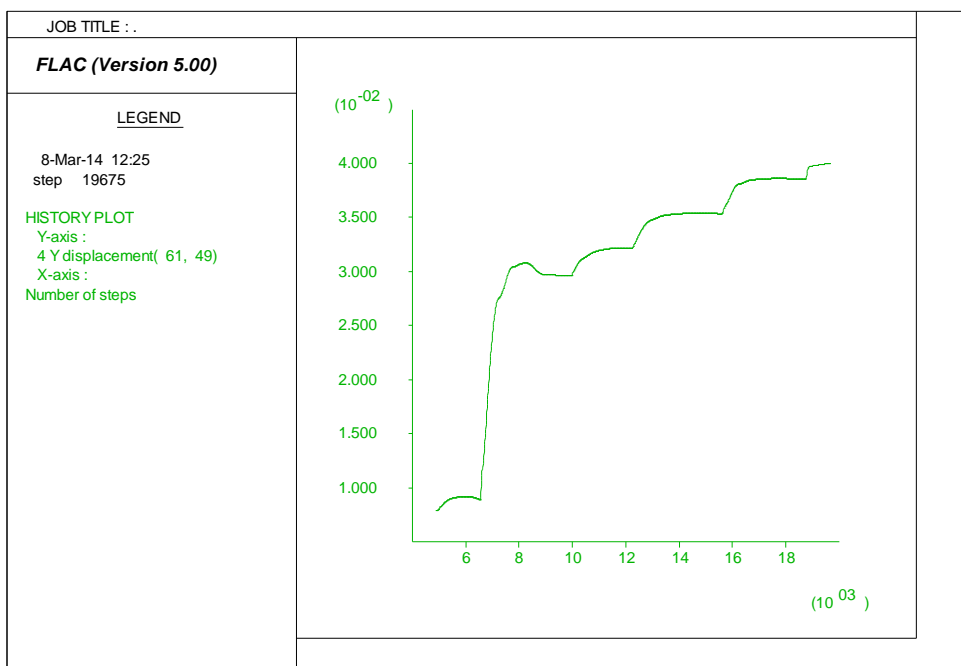
شکل ۳-۱۵: جابه جایی قائم در کف در شعاع تزریق ۴ متری

۳-۳-۳-۲- شعاع تزریق ۳/۵ متری: در این شعاع تزریق طبق جدول شماره ۲ حداکثر جابه جایی قائم در کف ۳/۸۹- سانتی متر به دست آمد.



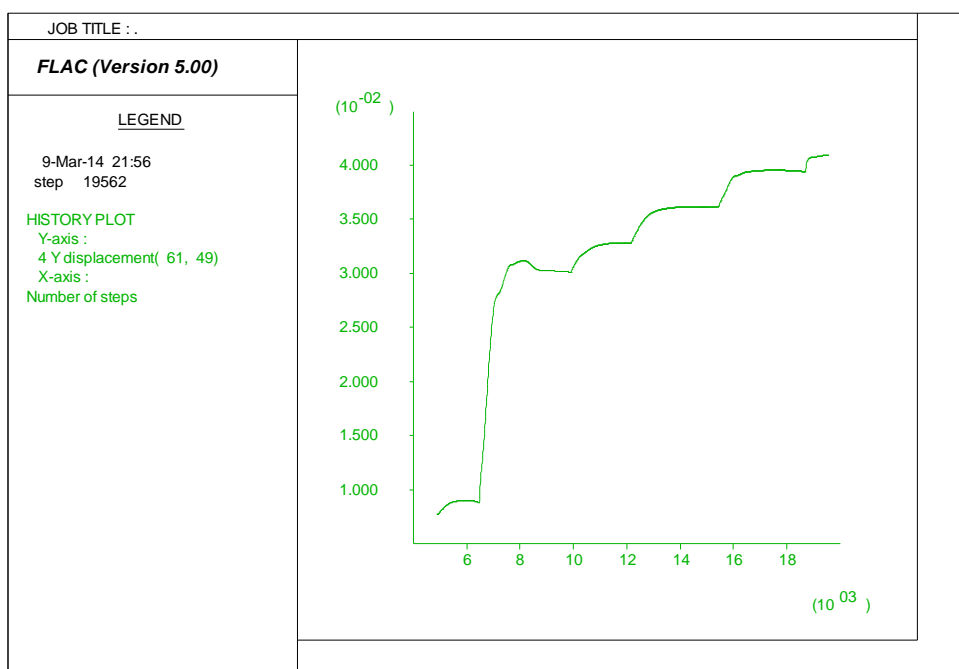
شکل ۳-۱۶: جابه جایی قائم در کف در شعاع تزریق ۳/۵ متری

۳-۳-۳-۳- شعاع تزریق ۳ متری: در این شعاع تزریق طبق جدول شماره ۲ حداکثر جابه جایی قائم در کف ۴ سانتی متر به دست آمد.



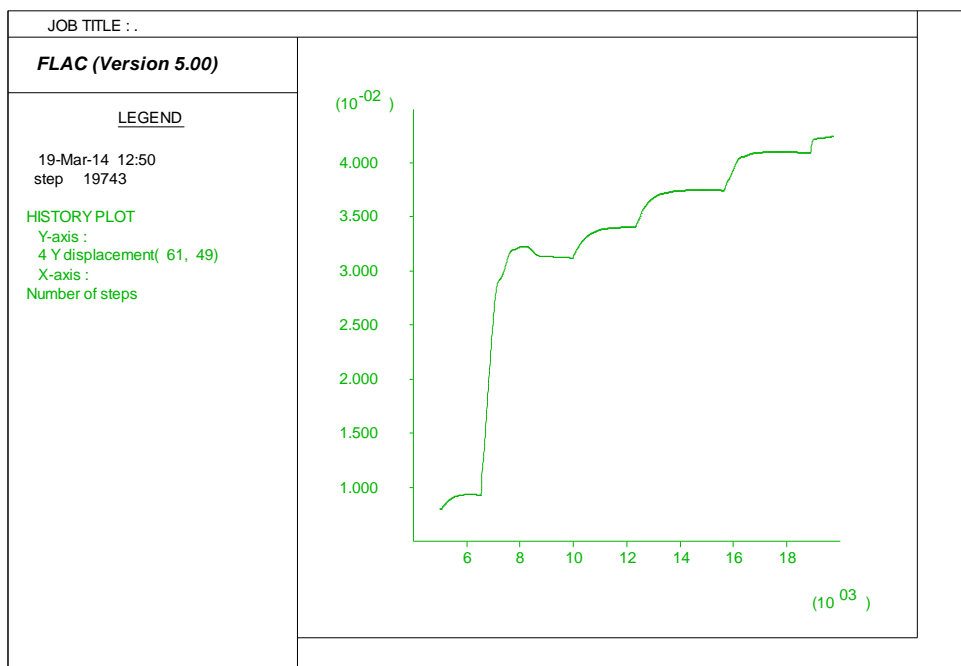
شکل ۳-۱۷: جابه جایی قائم در کف در شعاع تزریق ۳/۵ متری

۳-۳-۳-۴- شعاع تزریق ۲/۵ متری: در این شعاع تزریق طبق جدول شماره ۲ حداکثر جابه جایی قائم در کف ۴/۱ سانتی متر به دست آمد.



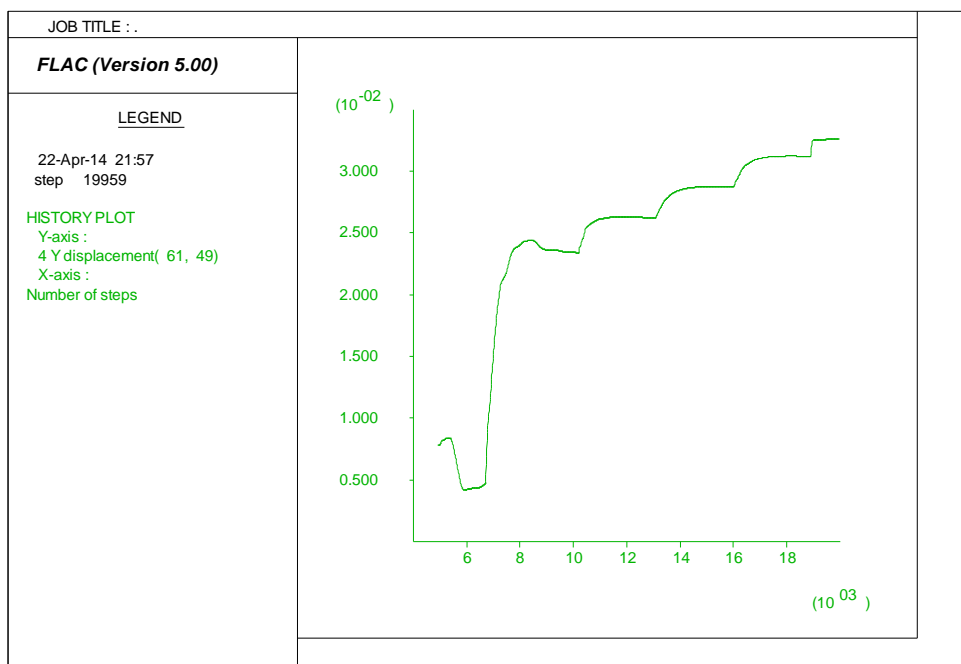
شکل ۳-۱۸: جابه جایی قائم در کف در شعاع تزریق ۲/۵ متری

۳-۳-۳-۵- شعاع تزریق ۲ متری: در این شعاع تزریق طبق جدول شماره ۲ حداکثر جابه جایی قائم در کف ۴/۲۵ سانتی متر به دست آمد.



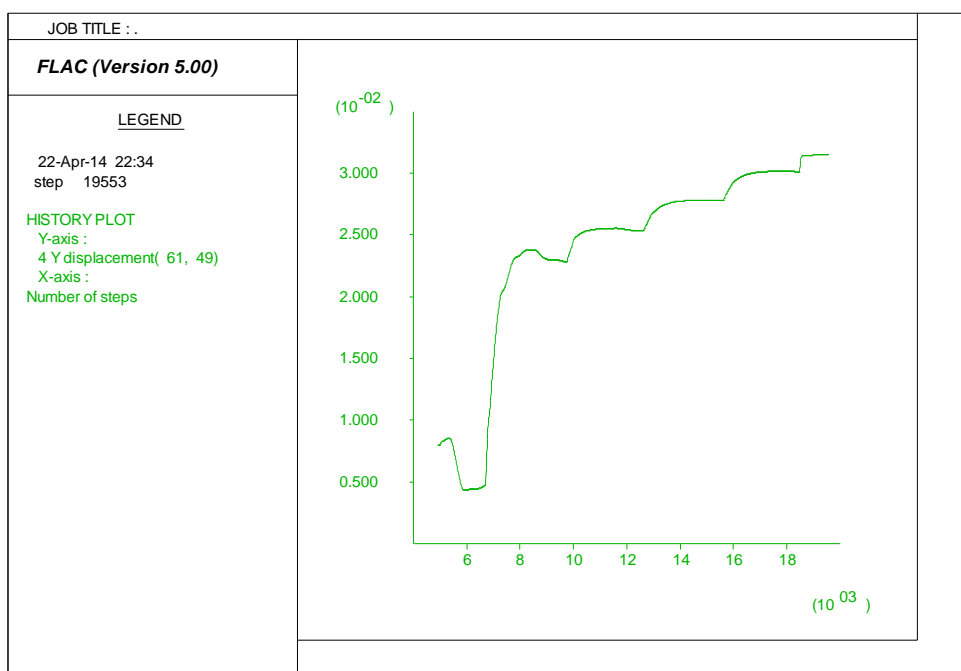
شکل ۳-۱۹: جابه جایی قائم در کف در شعاع تزریق ۲ متری

۳-۳-۳-۶- شعاع تزریق ۱/۵ متری: در این شعاع تزریق طبق جدول شماره ۲ حداکثر جابه جایی قائم در کف ۴/۳۹ سانتی متر به دست آمد.



شکل ۳-۲۰: جابه جایی قائم در کف در شعاع تزریق ۱/۵ متری

۳-۳-۳-۷- شعاع تزریق ۱ متری: در این شعاع تزریق طبق جدول شماره ۲ حداکثر جابه جایی قائم در کف ۴/۵ سانتی متر به دست آمد.



شکل ۳-۲۱: جابه جایی قائم در کف در شعاع تزریق ۱ متری

جدول ۳-۵: مقادیر حداکثر برای جابه جایی قائم در کف تونل

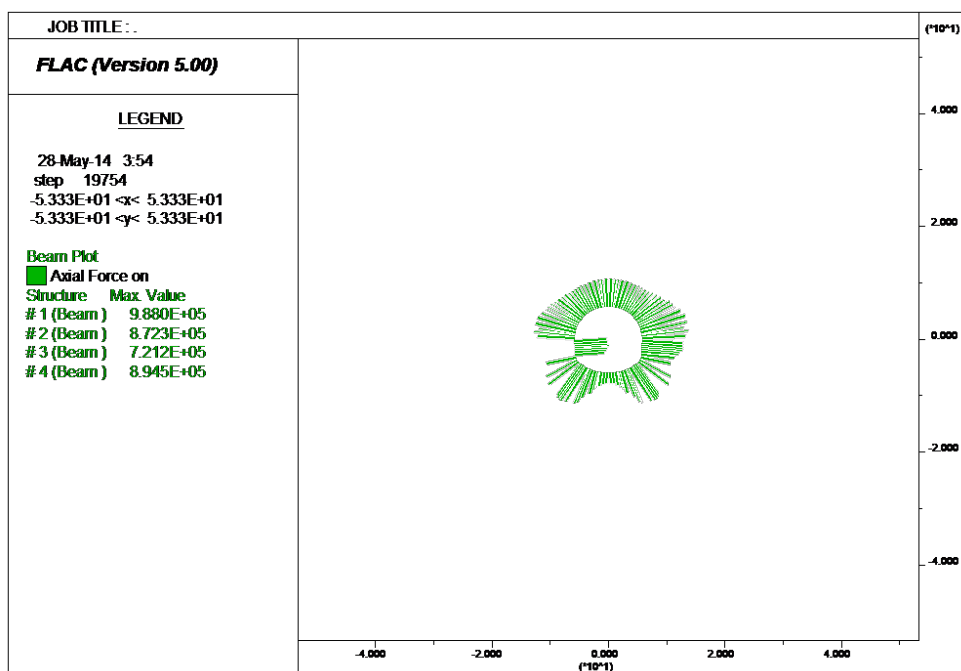
۱	۱/۵	۲	۲/۵	۳	۳/۵	۴	شعاع	جابه جایی قائم
۴/۵	۴/۳۹	۴/۲۵	۴/۱	۴	۳/۸۹	۳/۸	مقدار	در کف

۳-۳-۴- بار محوری روی سیستم نگهداری

۳-۳-۴-۱- شعاع تزریق ۴ متری: نیروی محوری بر روی سیستم نگهداری در شعاع تزریق ۴

متری طبق جدول نتایج شماره ۲، به شرح زیر است.

مقدار بیشترین نیروی محوری ۹۹۱۷۰۰ نیوتون می باشد.

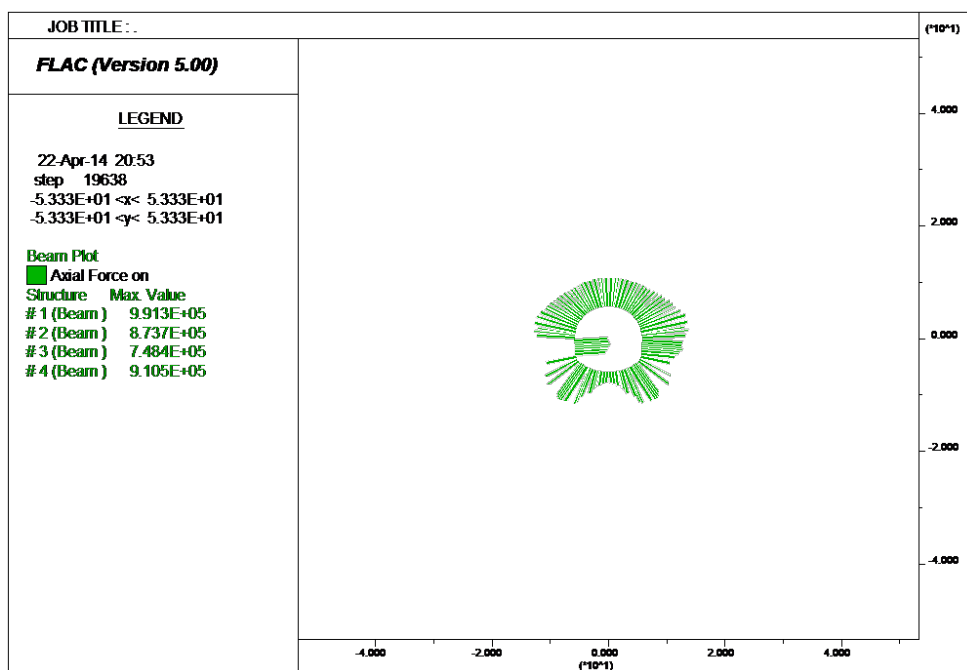


شکل ۳-۲۲: نیروی محوری بر سیستم نگهداری در شعاع تزریق ۴ متری

۳-۳-۴-۲- شعاع تزریق ۳/۵ متری: نیروی محوری بر روی سیستم نگهداری در شعاع تزریق ۳/۵

متری طبق جدول نتایج شماره ۲، به شرح زیر است.

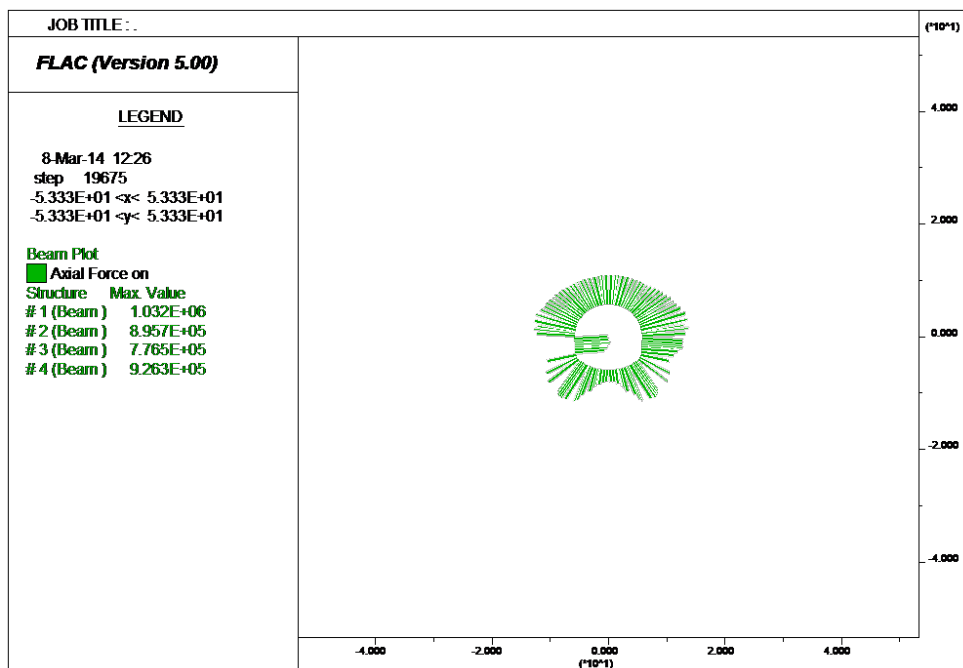
مقدار بیشترین نیروی محوری ۹۱۱۱۰۰ نیوتون می باشد.



شکل ۳-۲۳: نیروی محوری بر سیستم نگهداری در شعاع تزریق ۳/۵ متری

۳-۳-۳-۴-۳ شعاع تزریق ۳ متری: نیروی محوری بر روی سیستم نگهداری در شعاع تزریق ۳ متری طبق جدول نتایج شماره ۲، به شرح زیر است.

مقدار بیشترین نیروی محوری ۱۰۴۲۰۰۰ نیوتون می باشد.

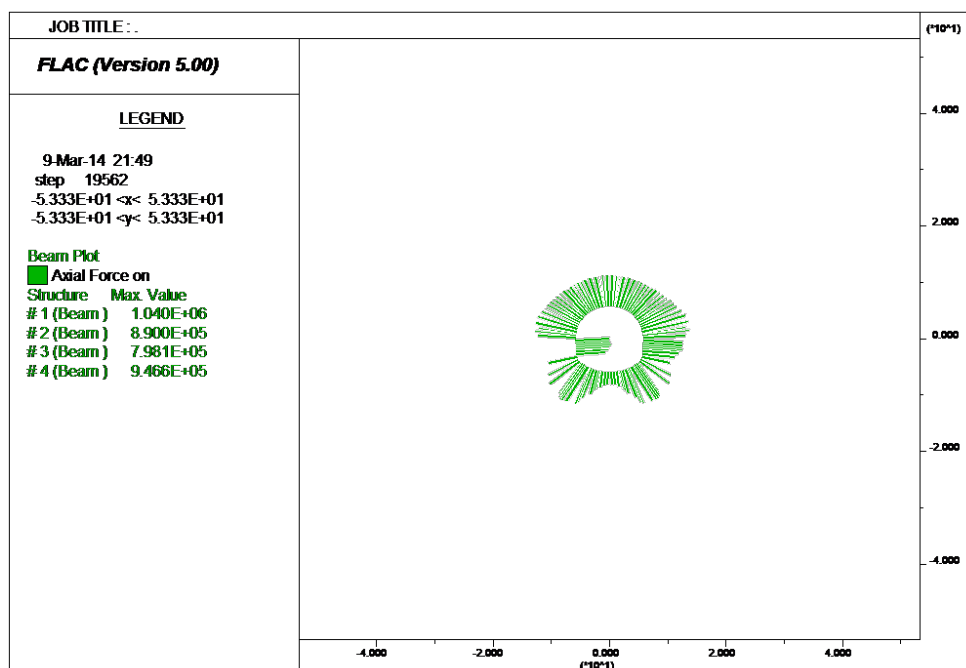


شکل ۳-۲۴: نیروی محوری بر سیستم نگهداری در شعاع تزریق ۳ متری

۳-۳-۴- شعاع تزریق ۲/۵ متری: نیروی محوری بر روی سیستم نگهداری در شعاع تزریق ۲/۵

متری طبق جدول نتایج شماره ۲، به شرح زیر است.

مقدار بیشترین نیروی محوری ۹۵۰۴۰۰ نیوتون می باشد.

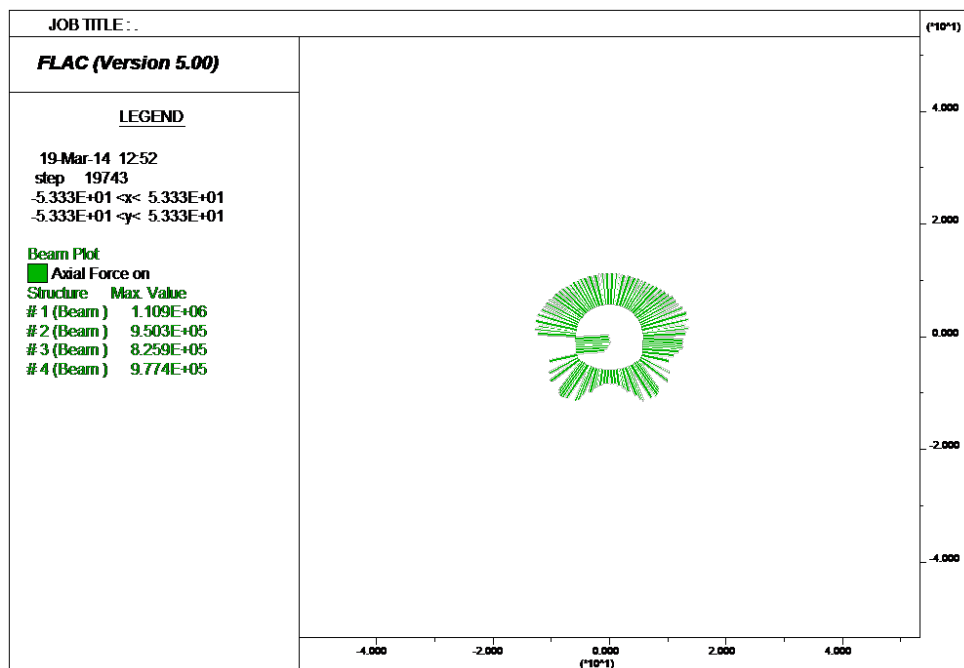


شکل ۳-۲۵: نیروی محوری بر سیستم نگهداری در شعاع تزریق ۲/۵ متری

۳-۳-۴-۵- شعاع تزریق ۲ متری: نیروی محوری بر روی سیستم نگهداری در شعاع تزریق ۲

متری طبق جدول نتایج شماره ۲، به شرح زیر است.

مقدار بیشترین نیروی محوری ۱۰۸۶۰۰۰ نیوتون می باشد.

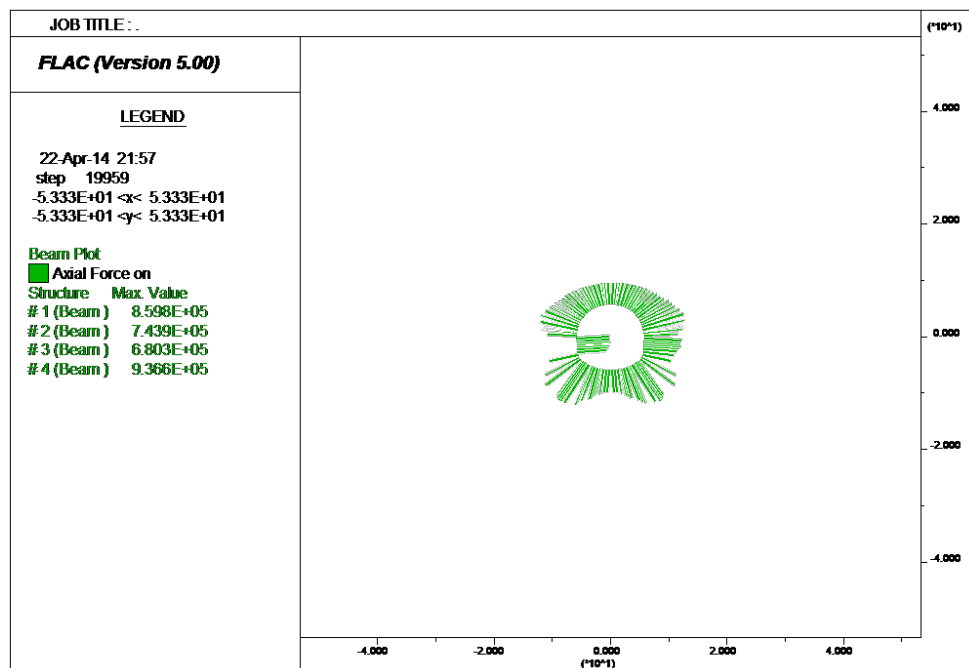


شکل ۳-۲۶: نیروی محوری بر سیستم نگهداری در شعاع تزریق ۲ متری

۳-۳-۴-۶- شعاع تزریق ۱/۵ متری: نیروی محوری بر روی سیستم نگهداری در شعاع تزریق ۱/۵

متری طبق جدول نتایج شماره ۲، به شرح زیر است.

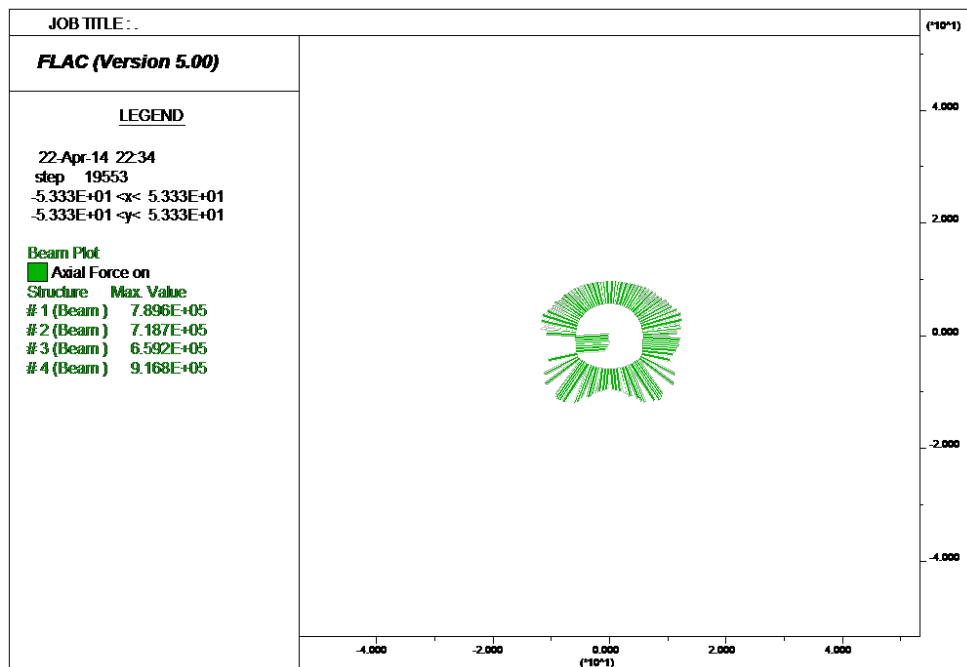
مقدار بیشترین نیروی محوری ۱۱۷۸۰۰۰ نیوتون می باشد.



شکل ۳-۲۷: نیروی محوری بر سیستم نگهداری در شعاع تزریق ۱/۵ متری

۳-۳-۴-۷- شعاع تزریق ۱ متری: نیروی محوری بر روی سیستم نگهداری در شعاع تزریق ۱/۵ متری طبق جدول نتایج شماره ۲، به شرح زیر است.

مقدار بیشترین نیروی محوری ۱۳۱۸۰۰۰ نیوتون می باشد.



شکل ۳-۲۸: نیروی محوری بر سیستم نگهداری در شعاع تزریق ۱ متری

جدول ۳-۶: مقادیر حداکثر برای نیروی محوری بر روی سیستم نگهداری

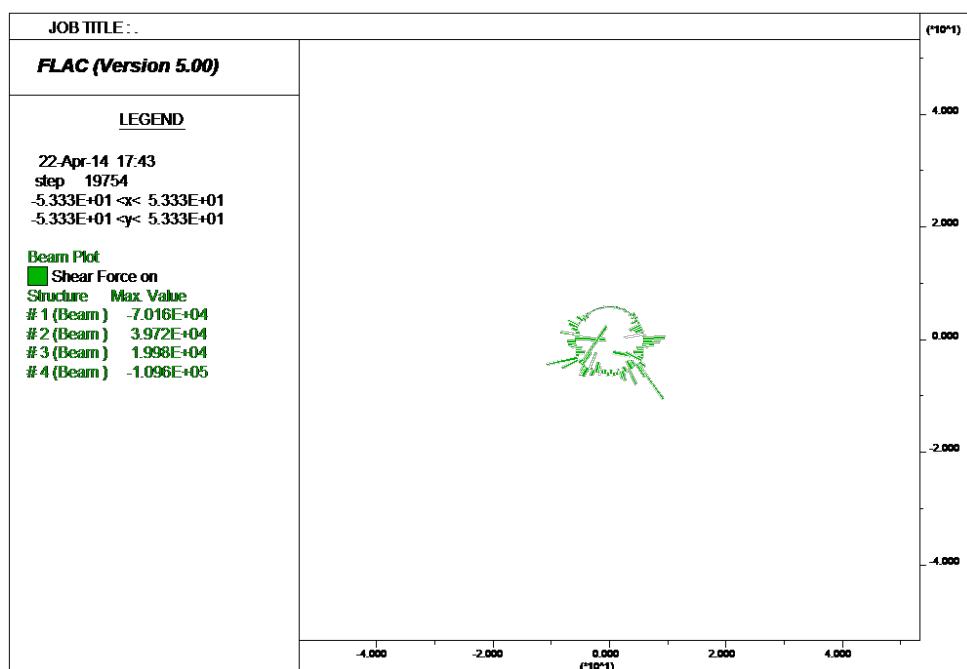
۱	۱/۵	۲	۲/۵	۳	۳/۵	۴	شعاع	نیروی محوری وارد
۱۳۱۸۰۰۰	۱۱۷۸۰۰۰	۱۰۸۶۰۰۰	۹۵۰۴۰۰	۱۰۴۲۰۰۰	۹۱۱۱۰۰	۹۹۱۷۰۰	مقدار	بر سیستم نگهداری

۳-۳-۵- بار برشی روی سیستم نگهداری

۳-۳-۵-۱- شعاع تزریق ۴ متری: نیروی برشی بر روی سیستم نگهداری در شعاع تزریق ۴ متری

طبق جدول نتایج شماره ۲، به شرح زیر است.

مقدار بیشترین نیروی برشی ۱۱۰۳۰۰ نیوتون می باشد.

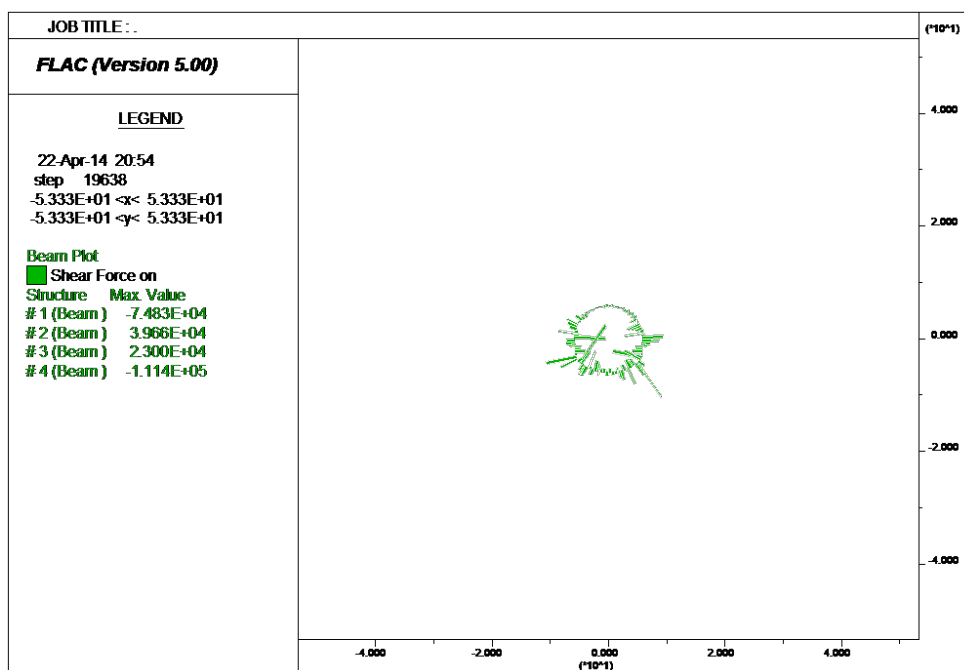


شکل ۳-۲۹: نیروی برشی بر روی سیستم نگهداری در شعاع تزریق ۴ متری

۳-۳-۵-۲- شعاع تزریق ۳/۵ متری: نیروی برشی بر روی سیستم نگهداری در شعاع تزریق ۳/۵

متری طبق جدول نتایج شماره ۲، به شرح زیر است.

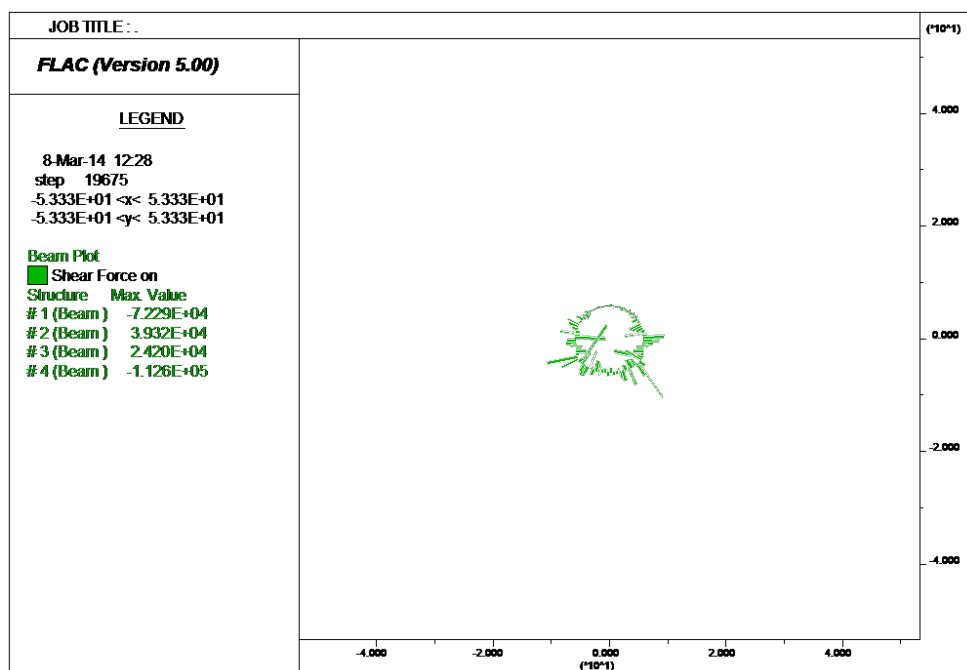
مقدار بیشترین نیروی برشی ۱۱۱۸۰۰ نیوتون می باشد.



شکل ۳-۳: نیروی برشی بر روی سیستم نگهداری در شعاع تزریق ۳/۵ متری

۳-۳-۵-۳ شعاع تزریق ۳ متری: نیروی برشی بر روی سیستم نگهداری در شعاع تزریق ۳ متری طبق جدول نتایج شماره ۲، به شرح زیر است.

مقدار بیشترین نیروی برشی ۱۱۰۷۰۰ نیوتون می باشد.

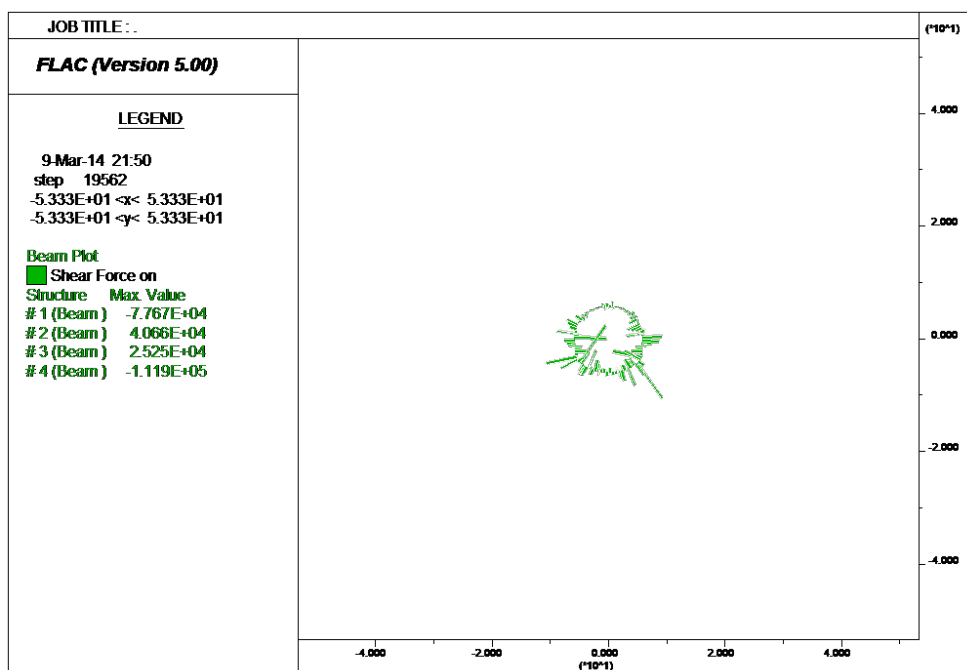


شکل ۳-۳۱: نیروی برشی بر روی سیستم نگهداری در شعاع تزریق ۳ متری

۳-۳-۴-۵- شعاع تزریق ۲/۵ متری: نیروی برشی بر روی سیستم نگهداری در شعاع تزریق ۲/۵

متری طبق جدول نتایج شماره ۲، به شرح زیر است.

مقدار بیشترین نیروی برشی ۱۱۸۰۰۰ نیوتون می باشد.

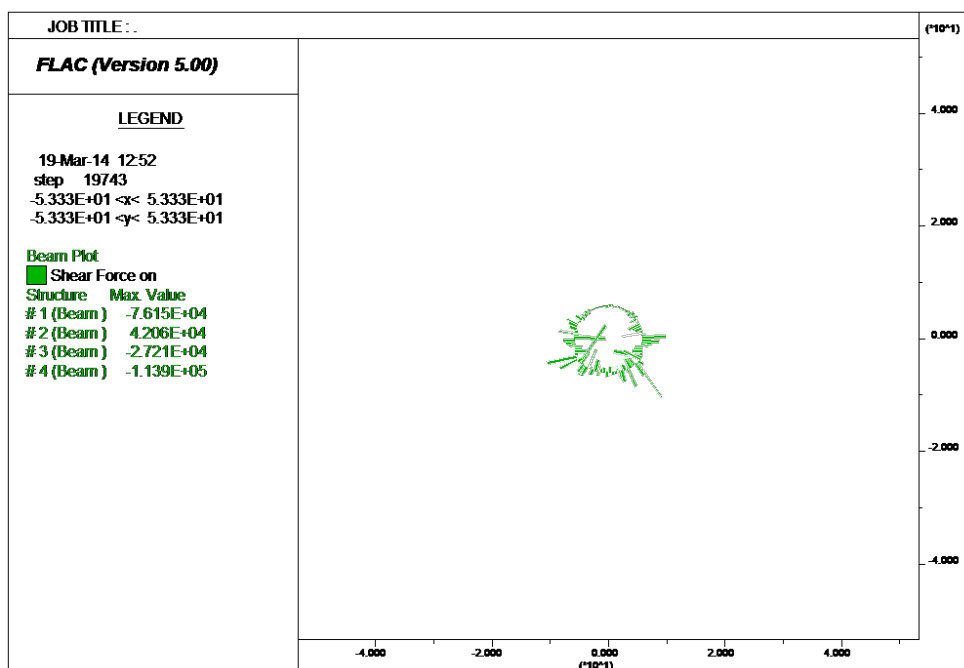


شکل ۳-۳: نیروی برشی بر روی سیستم نگهداری در شعاع تزریق ۲/۵ متری

۳-۳-۵-۵- شعاع تزریق ۲ متری: نیروی برشی بر روی سیستم نگهداری در شعاع تزریق ۲ متری

طبق جدول نتایج شماره ۲، به شرح زیر است

مقدار بیشترین نیروی برشی ۱۱۳۷۰۰ نیوتون می باشد.

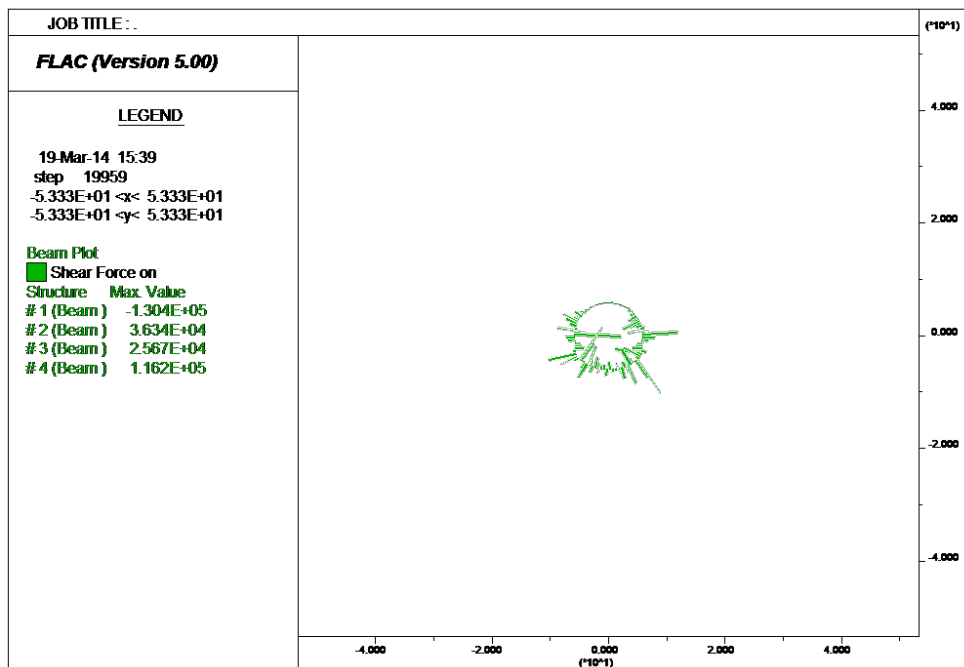


شکل ۳-۳: نیروی برشی بر روی سیستم نگهداری در شعاع تزریق ۲ متری

۳-۳-۵-۶- شعاع تزریق ۱/۵ متری: نیروی برشی بر روی سیستم نگهداری در شعاع تزریق ۱/۵

متری طبق جدول نتایج شماره ۲، به شرح زیر است.

مقدار بیشترین نیروی برشی ۱۱۵۴۰۰ نیوتون می باشد.

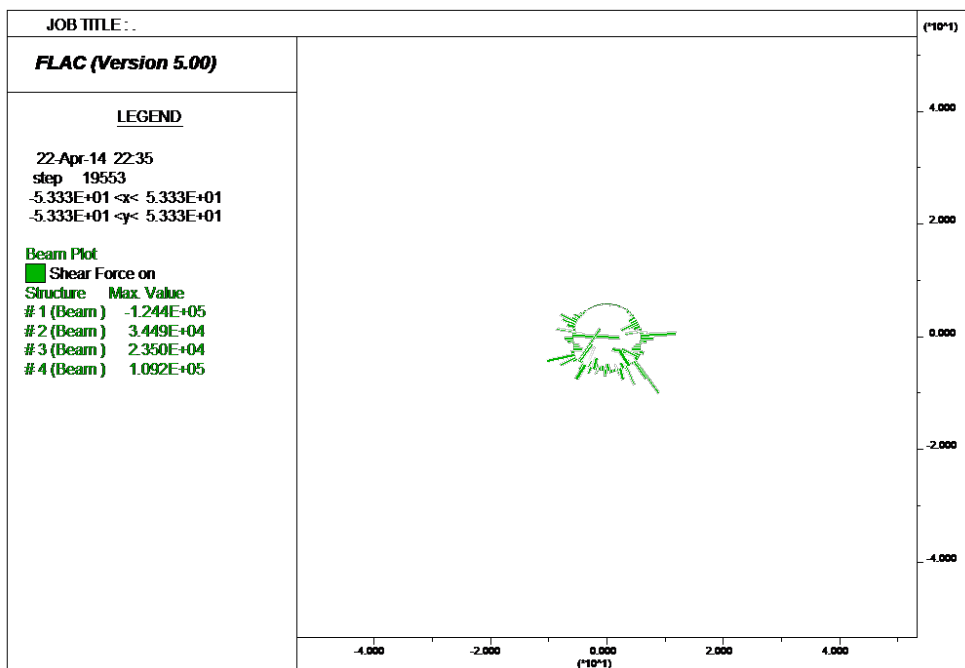


شکل ۳-۲۴: نیروی برشی بر روی سیستم نگهداری در شعاع تزریق ۱/۵ متری

۳-۳-۵-۷-شعاع تزریق ۱ متری: نیروی برشی بر روی سیستم نگهداری در شعاع تزریق ۱/۵

متری طبق جدول نتایج شماره ۲، به شرح زیر است.

مقدار بیشترین نیروی برشی ۱۱۸۹۰۰ نیوتون می باشد.



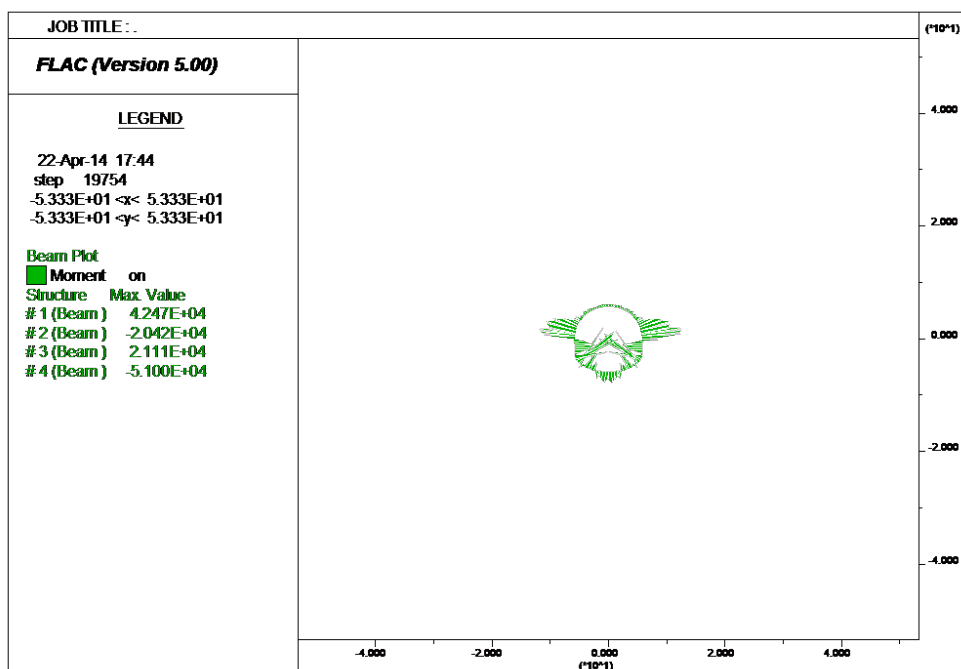
شکل ۳-۳: نیروی برشی بر روی سیستم نگهداری در شعاع تزریق ۱ متری

جدول ۳-۷: مقادیر حداکثر برای نیروی برشی بر روی سیستم نگهداری

۱	۱/۵	۲	۲/۵	۳	۳/۵	۴	شعاع	نیروی محوری
-۱۱۸۹۰۰	-۱۱۵۴۰۰	-۱۱۳۷۰۰	-۱۱۸۰۰۰	-۱۱۰۷۰۰	-۱۱۱۸۰۰	-۱۱۰۳۰۰	مقدار	وارد بر سیستم نگهداری

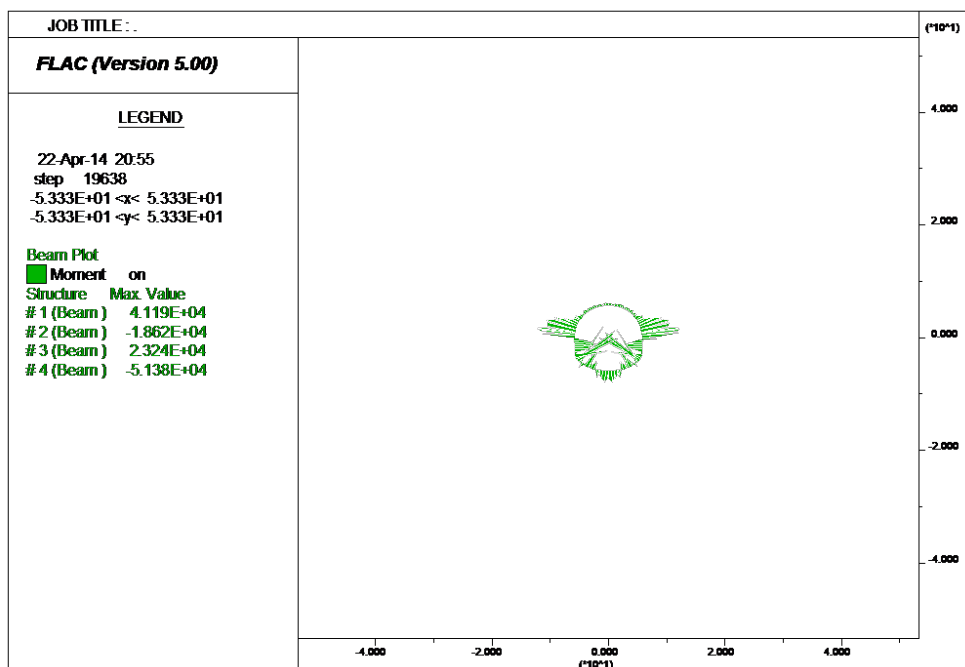
۳-۳-۶- گشتاور خمشی روی سیستم نگهداری

۳-۳-۶-۱- شعاع تزریق ۴ متری: ممان برشی یا گشتاور خمشی وارد شده بر روی سیستم نگهداری در شعاع تزریق ۴ متری طبق جدول شماره دو، ۵۰۸۹۰ نیوتون می باشد.



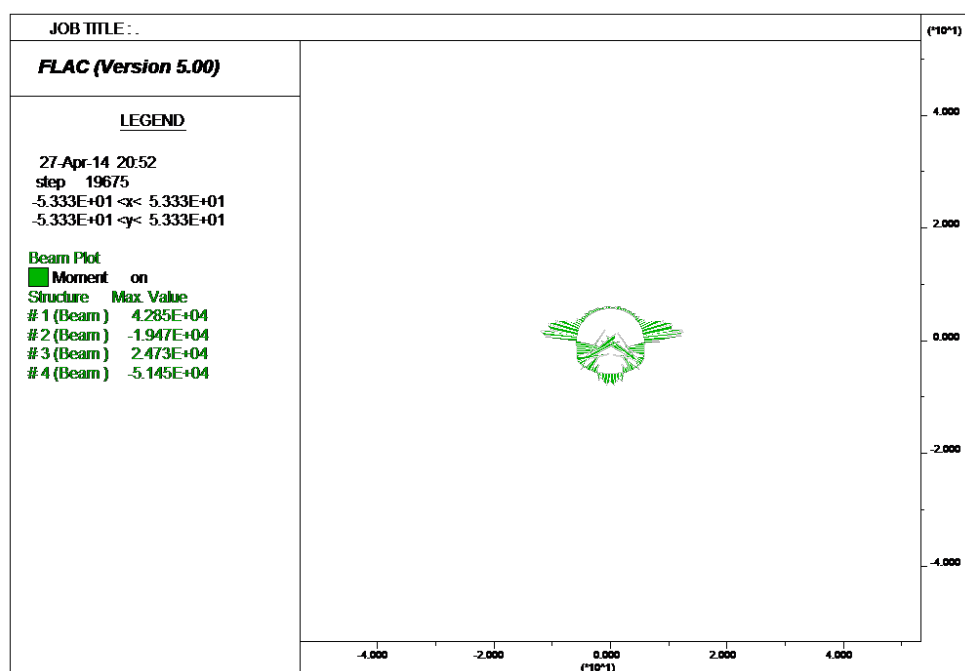
شکل ۳-۳۶: گشتاور خمشی بر روی سیستم نگهداری در شعاع تزریق ۱ متری

۳-۳-۶-۲- شعاع تزریق ۳/۵ متری: ممان برشی یا گشتاور خمشی وارد شده بر روی سیستم نگهداری در شعاع تزریق ۳/۵ متری طبق جدول شماره دو، ۵۱۴۱۰ نیوتون می باشد.



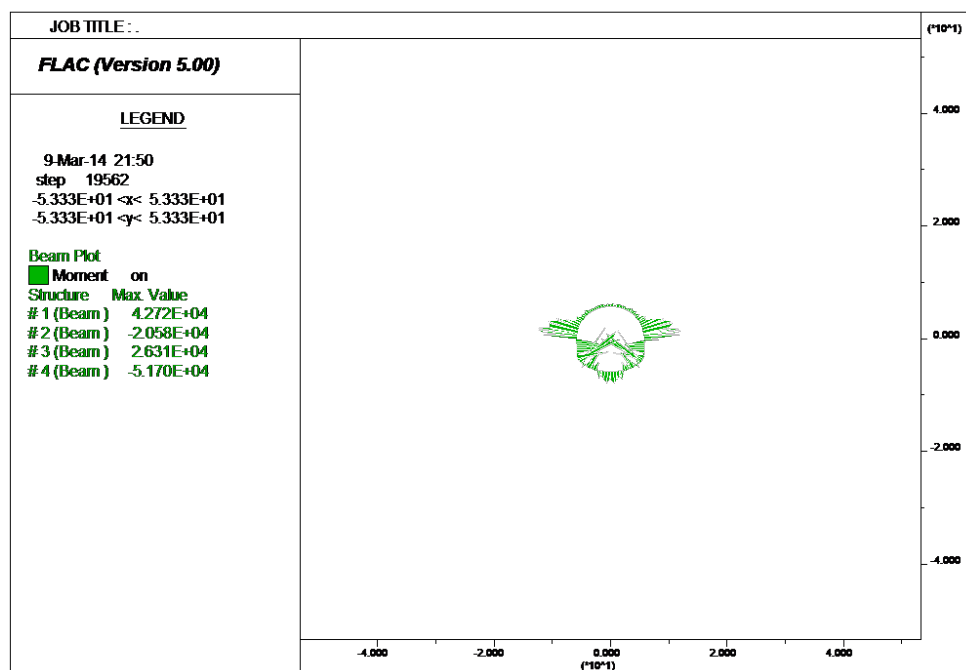
شکل ۳-۳۷: گشتاور خمشی بر روی سیستم نگهداری در شعاع تزریق ۳/۵ متری

۳-۳-۶-۳- شعاع تزریق ۳ متری: ممان برشی یا گشتاور خمشی وارد شده بر روی سیستم نگهداری در شعاع تزریق ۳ متری طبق جدول شماره دو، ۵۱۹۶۰ نیوتون می باشد.



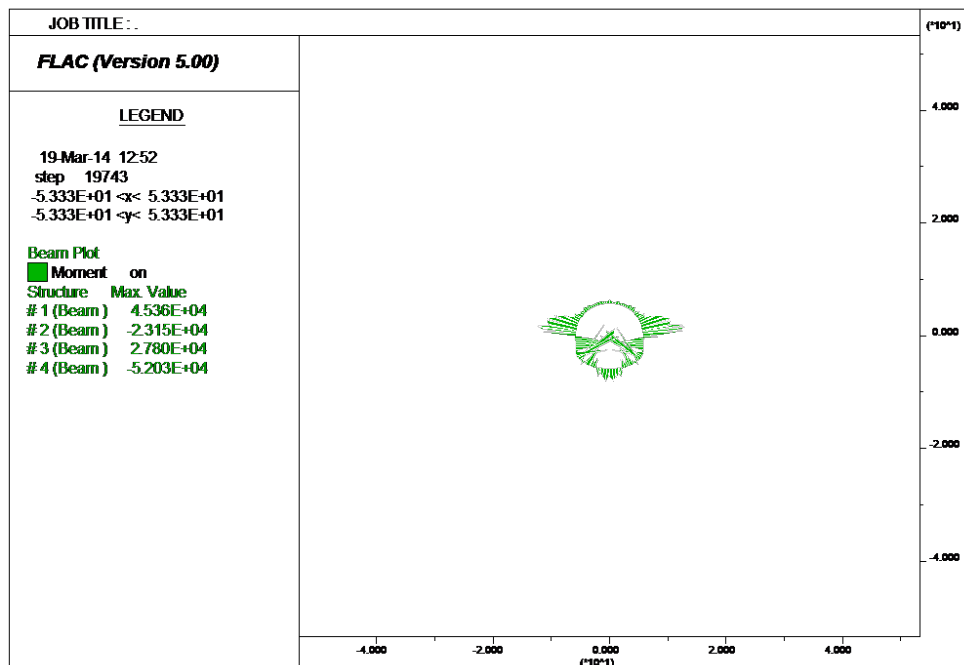
شکل ۳-۳۸: گشتاور خمشی بر روی سیستم نگهداری در شعاع تزریق ۳ متری

۳-۳-۶-۴- شعاع تزریق ۲/۵ متری: ممان برشی یا گشتاور خمشی وارد شده بر روی سیستم نگهداری در شعاع تزریق ۲/۵ متری طبق جدول شماره دو، ۵۱۸۲۰ نیوتون می باشد.



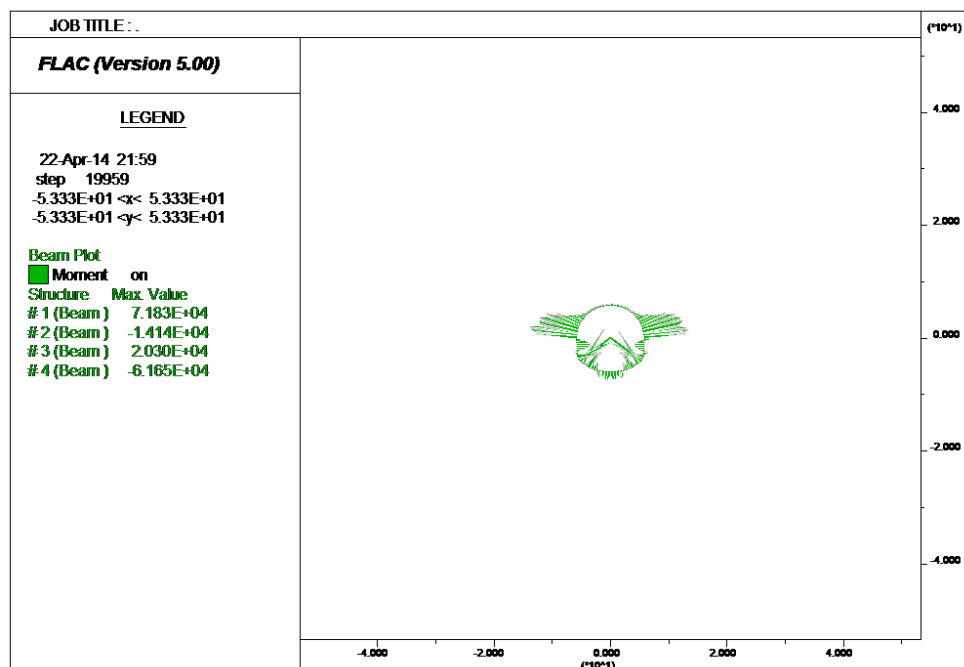
شکل ۳-۳۹: گشتاور خمشی بر روی سیستم نگهداری در شعاع تزریق ۲/۵ متری

۳-۳-۶-۵- شعاع تزریق ۲ متری: ممان برشی یا گشتاور خمشی وارد شده بر روی سیستم نگهداری در شعاع تزریق ۲ متری طبق جدول شماره دو ، ۵۲۱۱۰ نیوتون می باشد.



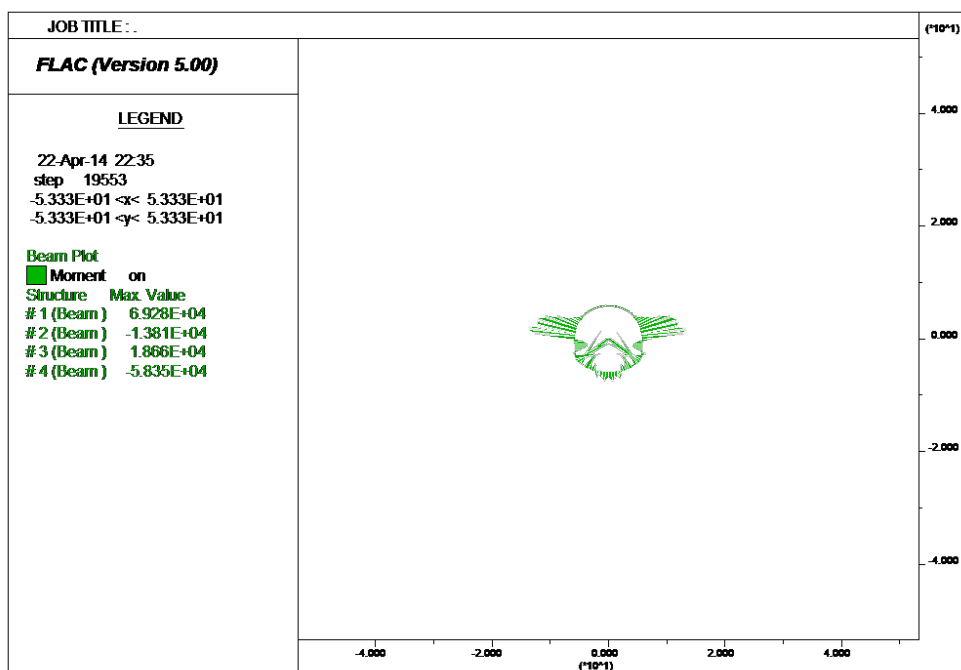
شکل ۳-۴۰: گشتاور خمشی بر روی سیستم نگهداری در شعاع تزریق ۲ متری

۳-۳-۶-۶- شعاع تزریق ۱/۵ متری: ممان برشی یا گشتاور خمشی وارد شده بر روی سیستم نگهداری در شعاع تزریق ۱/۵ متری طبق جدول شماره دو، ۵۳۸۵۰ نیوتون می باشد.



شکل ۳-۴۱: گشتاور خمشی بر روی سیستم نگهداری در شعاع تزریق ۱/۵ متری

۳-۳-۶-۷- شعاع تزریق ۱ متری: ممان برشی یا گشتاور خمشی وارد شده بر روی سیستم نگهداری در شعاع تزریق ۱ متری طبق جدول شماره دو ، ۵۴۸۴۰ نیوتون می باشد.



شکل ۳-۴۲: گشتاور خمشی بر روی سیستم نگهداری در شعاع تزریق ۱ متری

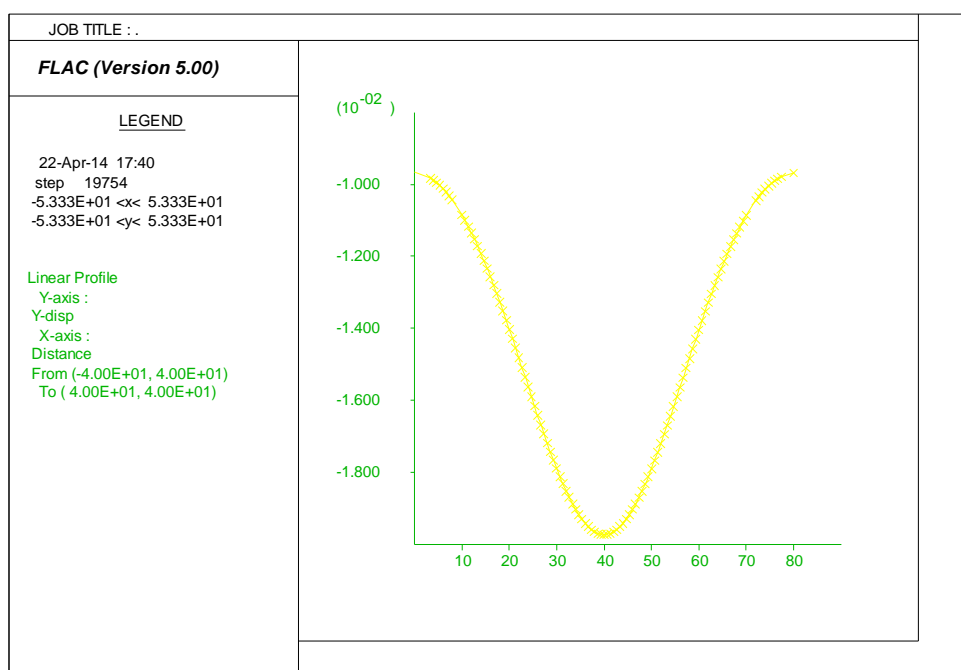
جدول ۳-۸: مقادیر حداکثر برای گشتاور خمشی بر روی سیستم نگهداری

گشتاور خمشی وارد بر سیستم نگهداری	شعاع	۴	۳/۵	۳	۲/۵	۲	۱/۵	۱
مقدار		-۵۰۸۹۰	-۵۱۴۱۰	-۵۱۹۶۰	-۵۱۸۲۰	-۵۲۱۱۰	-۵۳۸۵۰	-۵۴۸۴۰

۳-۳-۷- نشست در سطح زمین

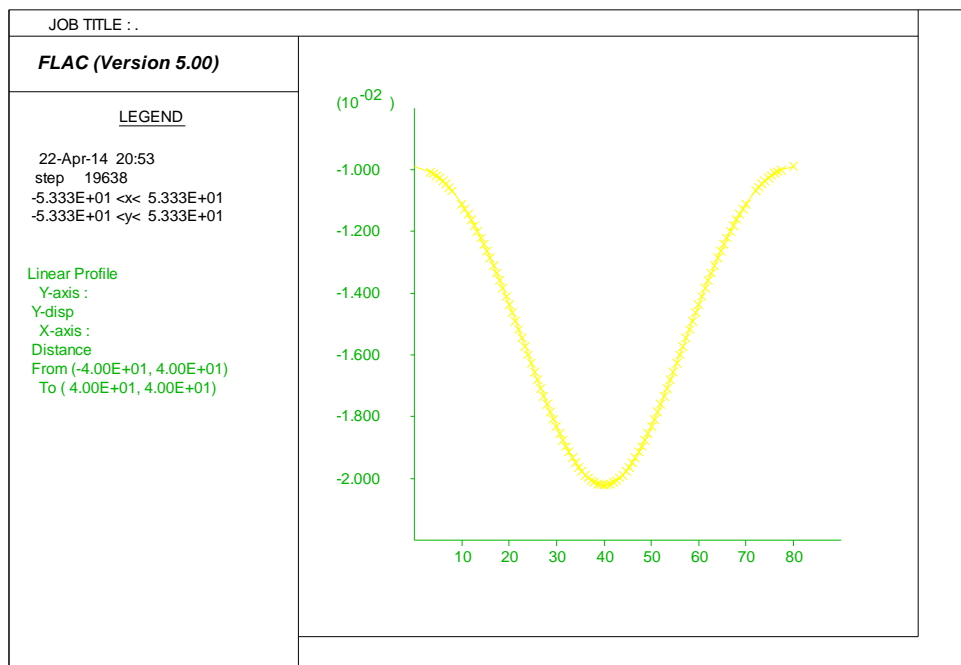
مقدار نشست در سطح زمین از اهمیت بالایی در تونل سازی برخوردار می باشد که در ادامه به شرح مقدارهای نشست در شعاع های تزریق ۱ تا ۴ متری داده می شود.

۳-۳-۷-۱- شعاع تزریق ۴ متری: مقدار نشست در سطح زمین در شعاع تزریق ۴ متری ۱/۹۹- سانتی متر می باشد ، و پروفیل نشست معلوم می باشد.



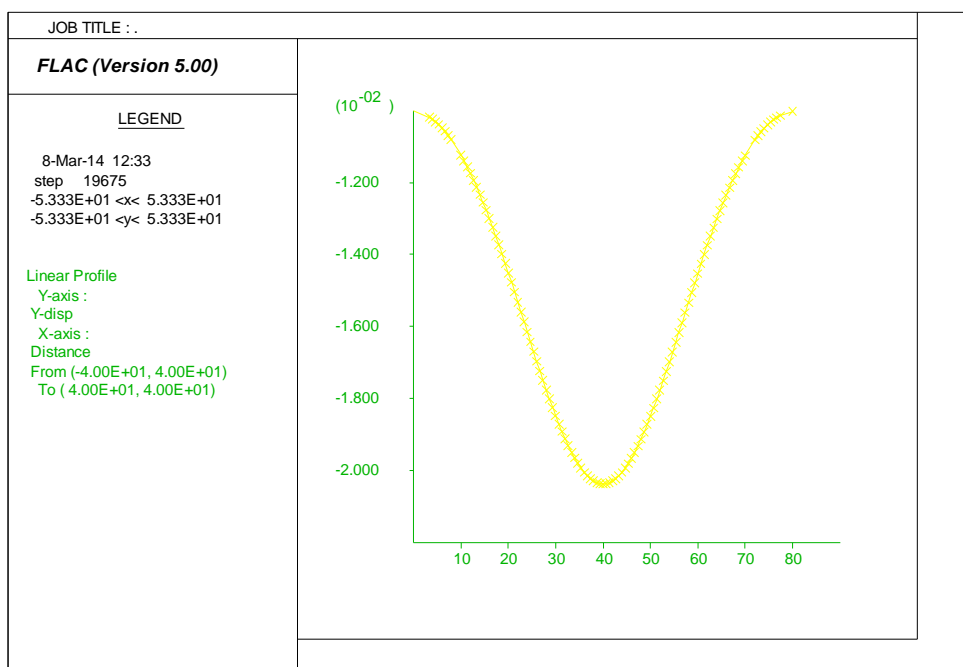
شکل ۳-۴: پروفیل نشست در سطح زمین در شعاع تزریق ۴ متری

۳-۳-۷-۲- شعاع تزریق ۳/۵ متری: مقدار نشست در سطح زمین در شعاع تزریق ۳/۵ متری ۲/۰۲- سانتی متر می باشد ، و پروفیل نشست معلوم می باشد.



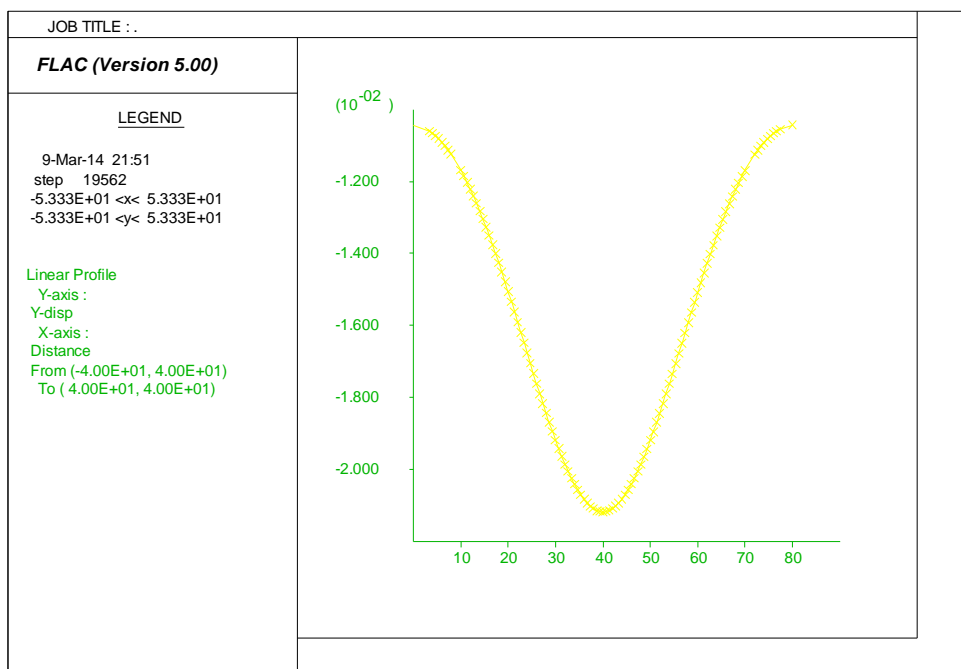
شکل ۳-۴۵: پروفیل نشست در سطح زمین در شعاع تزریق ۳/۵ متری

۳-۳-۷-۳- شعاع تزریق ۳ متری: مقدار نشست در سطح زمین در شعاع تزریق ۳ متری ۲/۰۴- سانتی متر می باشد ، و پروفیل نشست معلوم می باشد.



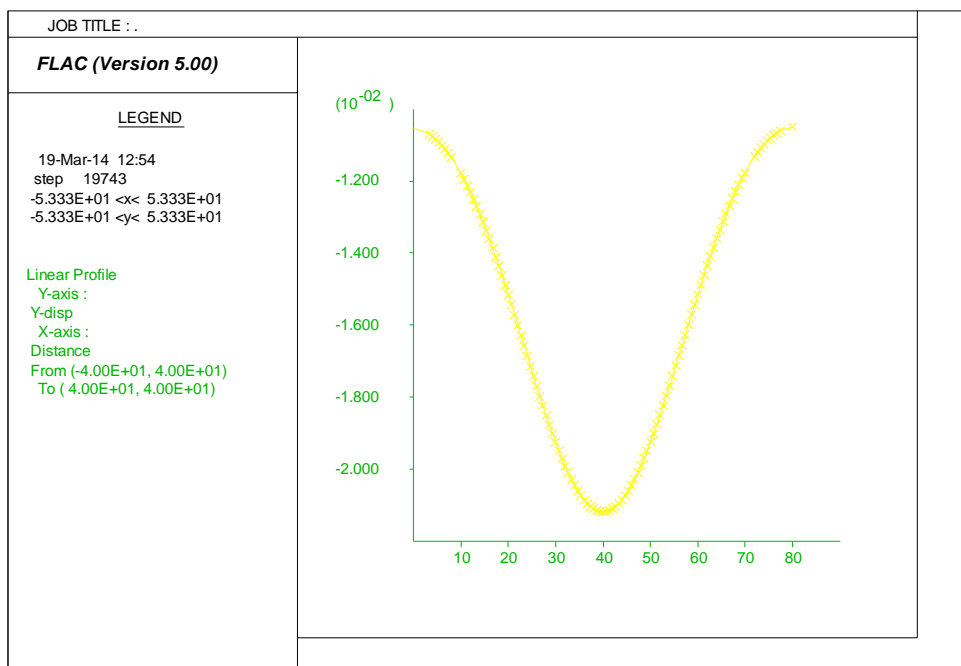
شکل ۳-۴۶: پروفیل نشست در سطح زمین در شعاع تزریق ۳ متری

۳-۳-۷-۴- شعاع تزریق ۲/۵ متری: مقدار نشست در سطح زمین در شعاع تزریق ۲/۵ متری ۲/۰۹- سانتی متر می باشد، و پروفیل نشست معلوم می باشد.



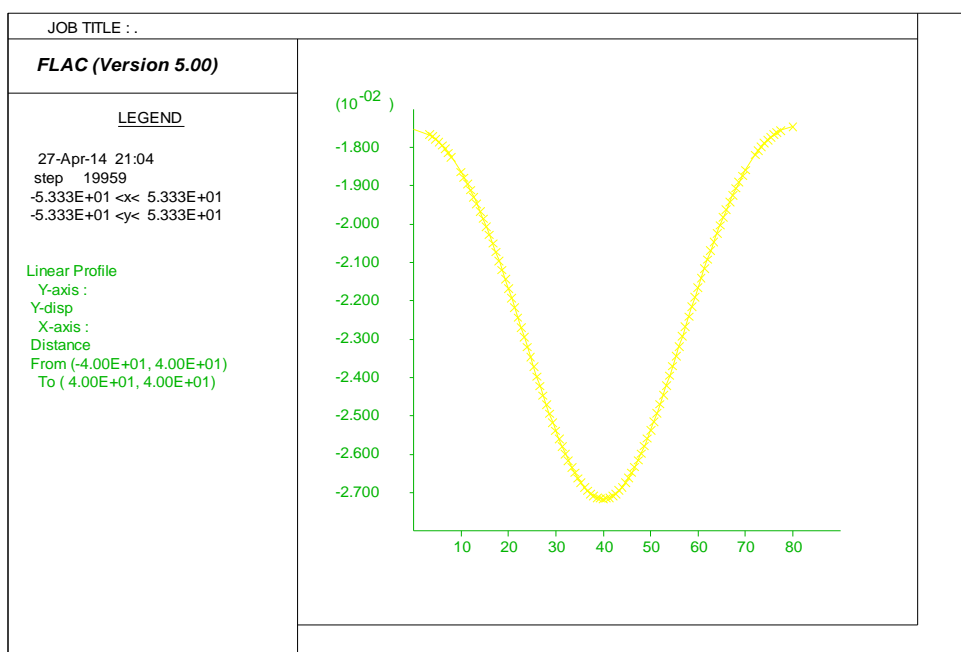
شکل ۳-۴۷: پروفیل نشست در سطح زمین در شعاع تزریق ۲/۵ متری

۳-۳-۷-۵- شعاع تزریق ۲ متری: مقدار نشست در سطح زمین در شعاع تزریق ۲ متری ۲/۱- سانتی متر می باشد، و پروفیل نشست معلوم می باشد.

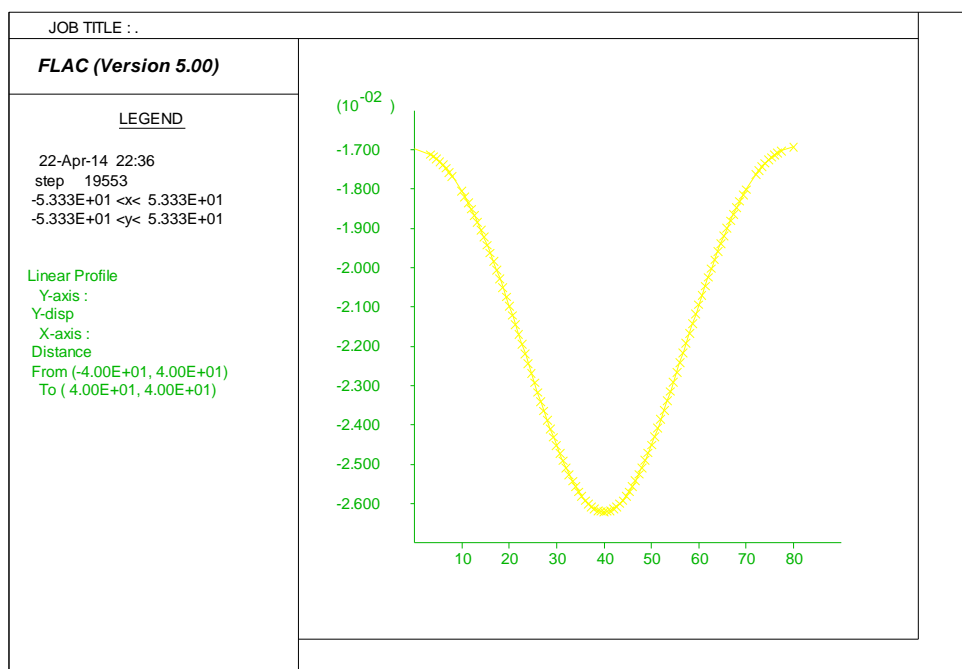


شکل ۳-۴۸: پروفیل نشست در سطح زمین در شعاع تزریق ۲ متری

۳-۳-۷-۶- شعاع تزریق ۱/۵ متری: مقدار نشست در سطح زمین در شعاع تزریق ۱/۵ متری ۲/۱۸- سانتی متر می باشد، و پروفیل نشست معلوم می یابد.



۳-۷-۷-۷-۷-۷-۷: مقدار نشست در سطح زمین در شعاع تزریق ۱ متری ۲/۳- سانتی متر می باشد، و پروفیل نشست معلوم می باشد.



جدول ۳-۹: مقادیر حداکثر برای نشست در سطح زمین

۱	۱/۵	۲	۲/۵	۳	۳/۵	۴	شعاع	نیروی محوری بر
-۲/۳	-۲/۱۸	-۲/۱	-۲/۰۹	-۲/۰۴	-۲/۰۲	-۱/۹۹	مقدار	روی سیستم نگهداری

۳-۳-۸- نتایج کلی

اگر بخواهیم نتایج بالا را به طور کلی در یک جدول مشاهده کنیم جدول ۳-۱۰ حاصل خواهد شد.

جدول ۳-۱۰: نتایج کلی حاصل از نرم افزار $FLAC^{2D}$

شعاع تزریق	جا به جایی قائم در تاج تونل	جا به جایی قائم در کف	جا به جایی افقی در دیواره	بار محوری وارد بر سیستم نگهداری	بار برشی وارد بر سیستم نگهداری	گشتاور خمشی وارد بر سیستم نگهداری	نشست در سطح زمین
m	Cm	Cm	Cm	N	N	Pa	Cm
۱	-۵/۵	۴/۵	-۲/۱	۱۳۱۸۰۰۰	-۱۱۸۹۰۰	-۵۴۸۴۰	-۲/۳
۱/۵	-۵/۲۸	۴/۳۹	-۱/۸۲	۱۱۷۸۰۰۰	-۱۱۵۴۰۰	-۵۳۸۵۰	-۲/۱۸
۲	-۵/۱	۴/۲۵	-۱/۶۵	۱۰۸۶۰۰۰	-۱۱۳۷۰۰	-۵۲۱۱۰	-۲/۱
۲/۵	-۵/۰۹	۴/۱	-۱/۵۳	۹۵۰۴۰۰	-۱۱۸۰۰۰	-۵۱۸۲۰	-۲/۰۹
۳	-۴/۹۸	۴	-۱/۴۶	۱۰۴۲۰۰۰	-۱۱۰۷۰۰	-۵۱۹۶۰	-۲/۰۴
۳/۵	-۴/۹۲	۳/۸۹	-۱/۴۱	۹۱۱۱۰۰	-۱۱۱۸۰۰	-۵۱۴۱۰	-۲/۰۲
۴	-۴/۸۴	۳/۸	-۱/۳۷	۹۹۱۷۰۰	-۱۱۰۳۰۰	-۵۰۸۹۰	-۱/۹۹

از جدول بالا به این نتیجه می‌رسیم که هرچه شعاع تزریق بیشتر شود. مقدار پارامترهای منفی (جابه‌جایی، نیروها، نشست) کاهش می‌یابد. از طرفی با محدودیت‌های هزینه و زمان در افزایش شعاع تزریق مواجه هستیم. در فصل بعد به چگونگی انتخاب بهترین شعاع تزریق خواهیم پرداخت.

فصل چهارم

تعیین شعاع بهینه تزریق با

روش تصمیم‌گیری چند

معیاره

۴-۱- معرفی روشهای تصمیم‌گیری چند معیاره

امروزه بشر در گذران زندگی خود با مسائل مختلفی روبه‌روست که دقت عمل مناسب در این مسائل برای بقا و یا بهبود شرایط او بسیار حیاتی می‌باشد. این امر باعث می‌شود تصمیم‌گیری نقش اساسی در زندگی بشر داشته و انسان همیشه دنبال راه‌حلهایی باشد که با تبدیل مسائل انتزاعی به مدل‌های ریاضی و حل این مدل‌ها، به افراد مختلف در تصمیم‌گیری درست کمک شایانی می‌کنند. حال با گذشت زمان و تأثیر عوامل مختلف حتی متناقض، نیاز به مدل‌های پیچیده‌تری که بتواند شاخص‌های مختلف را در نظر بگیرد، بیشتر احساس می‌شود.

در ابعاد شخصی، مسکن یا اتومبیلی که برای خرید مدنظر قرار گرفته است، ممکن است تأثیرپذیر از شاخص‌های مختلفی از قبیل قیمت، اندازه، شکل، ایمنی، راحتی و غیره باشد. در ابعاد تجاری، مسائل تصمیم‌گیری چند معیاره دارای حجم بزرگتر و پیچیدگی بیشتری هستند. به طور مثال، بسیاری از شرکتهای تجاری در ایجاد خط تولید جدید و یا ورود به یک صنعت جدید با شاخص‌های مختلفی برخورد می‌کنند که به جز تبدیل و حل آنها از طریق مدل‌های تصمیم‌گیری نمی‌توانند به گونه‌ی دیگری، تصمیم مناسبی بگیرند.

از طرفی نکته‌ی جالب در این است که با وجود عمر سی ساله‌ی این مدل‌ها، مدل‌های تصمیم‌گیری جای مناسبی در رویکردهای تصمیم‌گیری برای خود باز کرده‌اند. استفاده از رایانه و پیشرفت فناوری اطلاعات نیز بازده این گونه مدل‌ها را بالا برده و باعث شده است مدل‌های تصمیم‌گیری به ابزاری رو به توسعه و مناسب در روبرویی با مسائل پیچیده‌ی تصمیم‌گیری تبدیل شوند.

وسعت مدل‌های تصمیم‌گیری باعث شده است که دسته‌بندی‌های مختلفی برای آنها ارائه شود و شناخت ساختارهایشان را ساده‌تر کند. این دسته‌بندی‌ها بیشتر بر ماهیت و همچنین کارکرد مدل‌های مختلف تکیه دارند و بر اساس همین شاخص‌ها، آنها را در دسته‌های مختلف جای می‌دهند.

۴-۲- روش ویکور (VIKOR)

روش ویکور در سال ۱۹۹۸ توسط اپریکوویک ابداع شد. عبارت VIKOR در واقع برگرفته از عبارت صربستانی ViseKriterijumska Optimizacija I Kompronsino Resenje و به معنی جواب سازشی و بهینه تصمیم‌گیری چند معیاره است. این روش در سال ۲۰۰۴ توسط اپروکویک و تزنگ برای بهینه‌سازی تصمیم‌گیری‌های چند معیاره در سیستم‌های پیچیده توسعه یافت.

این روش روی دسته‌بندی و انتخاب از میان گروهی از گزینه‌ها تمرکز و جواب سازشی برای یک مسأله را با یک معیار متناقض مشخص می‌کند، به طوری که قادر است تصمیم‌گیرندگان را برای دستیابی به یک تصمیم نهایی یاری دهد. در اینجا جواب سازشی جواب موجهی است که به ایده‌آل نزدیکتر است که کلمه سازش به یک توافق متقابل اطلاق می‌گردد. این جواب سازشی یک شاخص رتبه بندی چند معیاره بر اساس نزدیکی به جواب ایده آل را مطرح می‌سازد.

مدل ویکور از سه سطح اصلی تشکیل شده است:

الف) سطح اول موضوع یا هدف مورد مطالعه است.

ب) سطح دوم معیارهای ارزیابی گزینه‌ها است.

ج) سطح سوم گزینه‌ها می‌باشد.

در واقع مدل ویکور از طریق ارزیابی گزینه‌ها بر اساس معیارها، گزینه‌ها را اولویت‌بندی یا رتبه‌بندی می‌کند. در این مدل معیارها وزن‌دهی نمی‌شوند بلکه معیارها از طریق روش‌های دیگر ارزیابی می‌شود و سپس گزینه‌ها بر اساس معیارها و با ترکیب در ارزش معیارها، ارزیابی شده و رتبه‌بندی می‌شوند.

مزیت مدل ویکور در این است که الزاما در این مدل جهت ارزیابی گزینه‌ها بر اساس معیارها، نیازی به استفاده از نظرات کارشناسان نیست بلکه می‌توان از داده‌های خام استفاده کرد. برای مثال در معیار «راه ارتباطی» برای اینکه ارزیابی شود مثلا کدام روستا از شرایط مطلوبی برخوردار است به جای نمره‌دهی توسط کارشناسان، می‌توان فاصله راه ارتباطی تا روستا سنجید و آنرا در مدل وارد کرد بدون اینکه نیازی به ارزیابی کارشناسی داشته باشد. این تفاوت اصلی این مدل با روش‌های تحلیل سلسله‌مراتبی و تحلیل شبکه‌ای می‌باشد که بر اساس مقایسات زوجی معیارها و گزینه‌ها طراحی شده بود در حالیکه در این مدل مقایسات زوجی بین معیارها و گزینه‌ها صورت نمی‌گیرد بلکه هر گزینه به صورت مستقل بر اساس هر معیار ارزیابی می‌شود. این ارزیابی می‌تواند بر اساس داده‌های خام یا بر اساس نظر کارشناس باشد. بنابراین هدف اصلی این مدل تعیین وزن و ارزش هر گزینه و رتبه‌بندی آنها است.

از مدل ویکور در موضوعات مختلف جغرافیا مثل تعیین مکان بهینه احداث هتل، رتبه‌بندی شهرها بر اساس خدمات، اولویت‌بندی الگوهای پراکنش سکونت‌گاه‌های شهری، اولویت بندی مناطق نمونه گردشگری و ... استفاده می‌گردد.

۴-۲-۱- گامهای تصمیم‌گیری بر اساس روش ویکور

اگر در یک مسأله تصمیم‌گیری چند معیاره، n معیار و m گزینه وجود داشته باشد، به منظور انتخاب بهترین گزینه با استفاده از این روش، مراحل روش به شرح ذیل می‌باشد.

۱- تشکیل ماتریس تصمیم

۲- تعیین بردار وزن معیارها

۳- بی بعد ساختن ماتریس تصمیم‌گیری

۴- تعیین نقطه‌ای ایده‌آل مثبت و ایده‌آل منفی

۵- محاسبه‌ی مقدار سودمندی (S) و مقدار تأسف (R) برای هر گزینه

۶- محاسبه‌ی شاخص ویکور (Q) برای هر گزینه

۷- مرتب کردن گزینه‌ها بر اساس مقادیر S, R و Q

۴-۲-۱-۱- تشکیل ماتریس تصمیم

با توجه به تعداد معیارها، تعداد گزینه‌ها و ارزیابی همه گزینه‌ها برای معیارهای مختلف، ماتریس تصمیم به صورت زیر تشکیل می‌شود که در آن X_{ij} عملکرد گزینه (i) در رابطه با معیار (j) می‌باشد.

$$X = \begin{bmatrix} X_{11} & \cdots & X_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ X_{m1} & \cdots & X_{mn} \end{bmatrix}$$

۴-۲-۱-۲- تعیین بردار وزن معیارها

در این مرحله با توجه به ضریب اهمیت معیارهای مختلف در تصمیم‌گیری، با استفاده از روش‌هایی مانند آنتروپی یا AHP و ... بردار وزن تعریف می‌شود.

$$W = (w_1, w_2, \dots, w_n)$$

۴-۲-۱-۳- بی بعد ساختن ماتریس تصمیم‌گیری

با استفاده از رابطه‌ی (۴-۱) اقدام به بی بعد ساختن ماتریس تصمیم‌گیری می‌کنیم.

$$f_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m X_{ij}^2}} \quad (1-4)$$

با اعمال رابطه (۱-۴)، ماتریس زیر تشکیل می شود:

$$F = \begin{bmatrix} f_{11} & \cdots & f_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ f_{m1} & \cdots & f_{mn} \end{bmatrix}$$

۴-۲-۱-۴- تعیین نقطه‌ی ایده آل مثبت و ایده آل منفی

مقادیر ایده آل مثبت و منفی را بر اساس روابط زیر تعیین می کنیم.

$$f^* = \begin{cases} f_j \rightarrow \text{جنبه مثبت} & f^* = \max_i \{f_{ij}\} \\ f_j \rightarrow \text{جنبه منفی} & f^* = \min_i \{f_{ij}\} \end{cases}$$

$$f^- = \begin{cases} f_j \rightarrow \text{جنبه مثبت} & f^- = \min_i \{f_{ij}\} \\ f_j \rightarrow \text{جنبه منفی} & f^- = \max_i \{f_{ij}\} \end{cases}$$

۴-۲-۱-۵- محاسبه‌ی مقدار سودمندی (S) و مقدار تأسف (R) برای هر گزینه

پس از تعیین نقطه‌ی ایده آل مثبت و منفی، باید مطلوبیت و عدم مطلوبیت گزینه‌ها، با استفاده از روابط

زیر محاسبه شود.

که در اینجا S_i بیانگر فاصله‌ی نسبی گزینه λ_m از راه حل ایده‌آل مثبت (بهترین ترکیب) و R_i بیانگر حداکثر ناراحتی گزینه‌ی λ_m از دوری از راه حل ایده‌آل مثبت می‌باشد. w_j نیز مقدار وزن مورد نظر برای معیار λ_m می‌باشد.

$$S_i = \sum_j^n \left(w_j \times \frac{(f_j^* - f_{ij})}{(f_j^* - f_j^-)} \right) \quad (2-4)$$

$$R_i = \text{Max}_j \left(w_j \times \frac{(f_j^* - f_{ij})}{(f_j^* - f_j^-)} \right) \quad (3-4)$$

در روش برنامه‌ریزی توافقی اگر پارامتر P مساوی یک باشد، همان مقدار S_i به دست می‌آید.

$$L(A_i) = \sum_{j=1}^n w_j \cdot \frac{f_j^* - f_{ij}}{f_j^* - f_j^-} = S_i$$

در روش برنامه‌ریزی توافقی اگر پارامتر P مساوی ∞ باشد، همان مقدار R_i به دست می‌آید.

$$L_{\infty}(A_i) = \text{Max} \left[w_j \cdot \frac{(f_j^* - f_{ij})}{(f_j^* - f_j^-)} \right] = R_i$$

۴-۲-۱-۶- محاسبه‌ی شاخص ویکور (Q) برای هر گزینه

حال برای ارزیابی نهایی گزینه‌های مسئله‌ای که با آن مواجه هستیم، نیاز به یک شاخص داریم که شاخص ویکور، این کار را برای ما انجام می‌دهد. طبق رابطه‌ی (۴-۴) شاخص ویکور را محاسبه می‌کنیم.

$$Q_i = \left(v \times \frac{(S^* - S_i)}{(S^* - S^-)} \right) + \left((1-v) \times \frac{(R^* - R_i)}{(R^* - R_i^-)} \right) \quad (۴-۴)$$

$$S^- = \text{Max}\{S_i\}$$

$$R^- = \text{Max}\{R_i\}$$

$$S^* = \text{Min}\{S_i\}$$

$$R^* = \text{Min}\{R_i\}$$

$\frac{S^* - S^-}{S_i - S^-}$ بیان کننده نرخ فاصله از حل ایده آل و $\frac{R^* - R^-}{R_i - R^-}$ بیان کننده نرخ فاصله از حل ضد ایده آل است.

پارامتر v ، عددی بین صفر تا یک است. تعیین آن بستگی به نظر تصمیم گیرنده دارد که آن را معمولاً ۰/۵ در نظر می گیرند. هر چه مقدار v به یک نزدیک باشد، نشان دهنده این است که تصمیم گیرنده علاقه مندی بیشتری نسبت به استفاده از مقدار موزون مطلوبیت و دخالت تمام معیارها نسبت به بیشینه مطلوبیت دارد.

۴-۲-۱-۷- مرتب کردن گزینه ها بر اساس مقادیر S ، R و Q

گزینه ها بر اساس مقادیر S ، R و Q و به صورت نزولی مرتب می شوند. هر یک از گزینه ها که از مقدار Q_i کمتری برخوردار باشند، از اولویت بیشتری برای انتخاب برخوردار خواهند بود. گزینه a' به عنوان یک حل توافقی به گونه ای که با توجه به مقدار Q مینیمم و با در نظر گرفتن دو شرط زیر، به عنوان بهترین، رتبه بندی شده است پیشنهاد می شود.

شرط اول: مزیت قابل قبول

$$Q(a'') - Q(a') \geq \frac{1}{i-1} \quad (۵-۴)$$

a'' گزینه با موقعیت دوم در لیست رتبه بندی Q .

شرط دوم: ثبات قابل قبول در تصمیم گیری

گزینه a'' همچنین باید دارای بالاترین رتبه در لیست رتبه بندی S یا R یا هر دو باشد. چنین حل توافقی در فرایند تصمیم گیری ثابت باقی می ماند.

اگر یکی از دو شرط برقرار نشود، مجموعه‌ای از راه‌حلهای توافقی پیشنهاد می گردد:

۱- گزینه های a'' و a' ، اگر فقط شرط دوم برقرار نباشد.

۲- گزینه های $a', a'', a''', \dots, a^m$ اگر شرط اول برقرار نباشد.

a^m به کمک رابطه‌ی زیر برای بیشترین مقدار m تعیین می شود:

$$Q(a^m) - Q(a') < \frac{1}{i-1} \quad (۶-۴)$$

۴-۳- کاربرد روش ویکور در تعیین شعاع بهینه تزریق

پس از تعیین مقدار هر پارامتر در هریک از شعاع های تزریق در فصل سوم، محاسبه شعاع بهینه تزریق به وسیله روش تصمیم‌گیری چند معیاره عملی خواهد بود. برای این منظور کاربرد دو روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی دلفی فازی و ویکور الزامی است. در گام اول با استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی دلفی فازی، به وزن دادن هر یک از معیارها منطبق با نظر تصمیم گیرندگان اقدام کرده و سپس در گام دوم به محاسبه شعاع بهینه تزریق با استفاده از روش ویکور می پردازیم.

۴-۴- فرآیند تحلیل سلسله مراتبی دلفی فاز (FDAHP)

روش AHP یک تکنیک ساختار یافته است که در سال ۱۹۷۰ توسط توماس ال. ساعتی به جهان معرفی شد و بعد از آن گسترش زیادی پیدا کرد. این روش بر پایه ی یک ساختار ریاضی محکم ماتریسی و همچنین مؤلفه هایی که یک تخمین نزدیک از اوزان معیارها می دهند (مارکین در سال ۱۹۷۹ و توماس ساعتی در سال ۱۹۹۴) بنا شده است و قابلیت بسیار زیادی در مباحث تصمیم گیری دارد و در مسائلی از قبیل تجارت، صنعت، سلامت و آموزش می توان از آن استفاده کرد. در اصل این روش کمک می کند تا مسائل ذهنی را به کمک مباحث عددی حل کنیم.

این روش زمینه‌ای را برای تحلیل و تبدیل مسائل پیچیده به یک سلسله مراتب منطقی و ساده تر فراهم می آورد تا در چارچوب آن برنامه ریز بتواند ارزیابی گزینه ها را با کمک معیارها و زیر معیارها به راحتی انجام دهد. در اصل استفاده کنندگان روش AHP، مسئله‌ی تصمیم‌گیری مورد نظرشان را در اول کار، در قالب یک سلسله مراتب قرار می دهند. به صورتی که بتوانند هر کدام از شاخه های آن را به طور مستقل (با فرض عدم وجود همبستگی بین معیارها) بررسی کنند و سپس از طریق گام‌های روش با شیوه‌ای بسیار ساده‌تر به نتیجه‌ی مطلوب برسند.

برای تشکیل ماتریس‌های مقایسه‌ی زوجی در حل مسائل سلسله‌مراتبی، باید تعاریفی را به عنوان اصول در نظر داشت.

اصل معکوس: در صورتی که بخواهیم گزینه‌ی A را با عنصر B در رابطه با شاخص خاصی مقایسه کنیم، اگر ترجیح گزینه‌ی A به گزینه‌ی B برابر با n باشد، باید ترجیح گزینه‌ی B نسبت به A را برابر با $1/n$ قرار دهیم.

اصل همگنی: این اصل به این تعریف اشاره دارد که وقتی در رابطه با یک شاخص معین دو گزینه را با هم مقایسه می کنیم مقدار ترجیح این دو گزینه باید قابل قیاس باشد و هنگام مقایسه کمی آن‌ها نباید به مقادیری از قبیل صفر و به تبع آن بی‌نهایت برسیم.

خلاصه‌ی فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی به شرح زیر می باشد.

۱- توسعه‌ی درخت تصمیم

۲- مقایسه‌ی فاکتورهای تصمیم‌گیری با یکدیگر

۳- مقایسه‌ی هر یک از گزینه‌ها نسبت به هر فاکتور

۴- استخراج اولویت‌ها از جدول‌های مقایسه‌ای

۵- نتیجه‌گیری

۴-۵- مراحل ویکور جهت تعیین شعاع بهینه‌ی تزریق

هدف اصلی از این طرح، تعیین شعاع بهینه‌ی تزریق است، که ابتدا در فصل پیش به مطالعات عددی، مدلسازی عددی و در نهایت، نتایج حاصل از آن را بررسی کردیم. حال در این فصل با استفاده از نتایج عددی به دست‌آمده و استفاده از مراحل روش ویکور به این هدف می‌رسیم.

۴-۵-۱- تشکیل ماتریس تصمیم

ماتریس تصمیم با توجه به معیارها و گزینه‌ها، با استفاده از روش عددی تفاضل محدود در نرم افزار $FLAC^{2D}$ مورد ارزیابی قرار گرفت. اطلاعات مورد نیاز جهت تشکیل ماتریس تصمیم برای مسأله موردنظر به صورت زیر می‌باشد. (جدول ۴-۱)

جدول ۴-۱: نتایج حاصل از تحلیل عددی

شعاع تزریق	جا به جایی قائم در تاج تونل	جا به جایی قائم کف	جا به جایی افقی در دیواره	بار محوری وارد بر سیستم نگهداری	بار برشی وارد بر سیستم نگهداری	گشتاور خمشی وارد بر سیستم نگهداری	نشست در سطح زمین
m	Cm	Cm	Cm	N	N	Pa	Cm
۱	-۵/۵	۴/۵	-۲/۱	۱۳۱۸۰۰۰	-۱۱۸۹۰۰	-۵۴۸۴۰	-۲/۳
۱/۵	-۵/۲۸	۴/۳۹	-۱/۸۲	۱۱۷۸۰۰۰	-۱۱۵۴۰۰	-۵۳۸۵۰	-۲/۱۸
۲	-۵/۱	۴/۲۵	-۱/۶۵	۱۰۸۶۰۰۰	-۱۱۳۷۰۰	-۵۲۱۱۰	-۲/۱
۲/۵	-۵/۰۹	۴/۱	-۱/۵۳	۹۵۰۴۰۰	-۱۱۸۰۰۰	-۵۱۸۲۰	-۲/۰۹
۳	-۴/۹۸	۴	-۱/۴۶	۱۰۴۲۰۰۰	-۱۱۰۷۰۰	-۵۱۹۶۰	-۲/۰۴
۳/۵	-۴/۹۲	۳/۸۹	-۱/۴۱	۹۱۱۱۰۰	-۱۱۱۸۰۰	-۵۱۴۱۰	-۲/۰۲
۴	-۴/۸۴	۳/۸	-۱/۳۷	۹۹۱۷۰۰	-۱۱۰۳۰۰	-۵۰۸۹۰	-۱/۹۹

سپس به تعریف کردن معیارها و گزینه ها در جدول (۲-۴) می کنیم .

جدول ۲-۴: معیارها و گزینه های مورد نظر

معیار	گزینه
C1 جابه جایی عمودی در تاج تونل	A1 شعاع تزریق ۱
C2 جابه جایی عمودی در کف تونل	A2 شعاع تزریق ۱/۵
C3 جابه جایی افقی در دیواره	A3 شعاع تزریق ۲
C4 نیروی محوری بر سیستم نگهداری	A4 شعاع تزریق ۲/۵
C5 نیروی برشی بر سیستم نگهداری	A5 شعاع تزریق ۳

A6	شعاع تزریق ۳/۵	C6	ممان خمشی بر سیستم نگهداری
A7	شعاع تزریق ۴	C7	نشست در سطح زمین
		C8	هزینه
		C9	زمان

در نهایت ماتریس تصمیم گیری تشکیل می شود. (جدول ۴-۳)

جدول ۴-۳: تشکیل ماتریس تصمیم گیری

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
A1	-۵/۵	۴/۵	-۲/۱	۱۳۱۸۰۰	-۱۱۸۹۰۰	-۵۴۸۴۰	-۲/۳	خیلی خوب	خیلی خوب
A2	-۵/۲۸	۴/۳۹	-۱/۸۲	۱۱۷۸۰۰	-۱۱۵۴۰۰	-۵۳۸۵۰	-۲/۱۸	نسبتا خوب	نسبتا خوب
A3	-۵/۱	۴/۲۵	-۱/۶۵	۱۰۸۶۰۰	-۱۱۳۷۰۰	-۵۲۱۱۰	-۲/۱	خوب	نسبتا خوب
A4	-۵/۰۹	۴/۱	-۱/۵۳	۹۵۰۴۰۰	-۱۱۸۰۰۰	-۵۱۸۲۰	-۲/۰۹	متوسط	خوب
A5	-۴/۹۸	۴	-۱/۴۶	۱۰۴۲۰۰۰	-۱۱۰۷۰۰	-۵۱۹۶۰	-۲/۰۴	ضعیف	متوسط
A6	-۴/۹۲	۳/۸۹	-۱/۴۱	۹۱۱۱۰۰	-۱۱۱۸۰۰	-۵۱۴۱۰	-۲/۰۲	خیلی ضعیف	ضعیف
A7	-۴/۸۴	۳/۸	-۱/۳۷	۹۹۱۷۰۰	-۱۱۰۳۰۰	-۵۰۸۹۰	-۱/۹۹	خیلی ضعیف	خیلی ضعیف

همان طور که در این ماتریس مشاهده می شود تعدادی از معیارها بصورت کیفی به ارزیابی گزینه ها

پرداخته اند به منظور یکسان سازی (کمی کردن ماتریس تصمیم) از مقیاس ساعتی (saaty 1980) در این

بخش استفاده شده است. سپس در جدول (۴-۶) ماتریس نهایی تصمیم گیری را داریم.

جدول ۴-۴: تبدیل معیارهای کیفی به کمی (ساعتی ۱۹۸۰)

خیلی خوب	خوب	متوسط	ضعیف	خیلی ضعیف
۹	۷	۵	۳	۱

در واقع جدول بالا، تبدیل قضاوت زبانی به قضاوت عددی است که برای مقایسه گزینه i با معیار j و تعیین اهمیت i بر j می باشد.

جدول ۴-۵: نحوه تبدیل قضاوت زبانی به قضاوت عددی

اصطلاح زبانی فارسی	اصطلاح زبانی لاتین	عدد متناظر
ترجیح کامل	Extremely preferred	۹
ترجیح خیلی قوی	Very strongly preferred	۷
ترجیح قوی	Strongly preferred	۵
ترجیح کم	Moderately preferred	۳
ترجیح یکسان	Equally Preferred	۱
ترجیح بین فواصل		۲، ۴، ۶، ۸

جدول ۴-۶: ماتریس نهایی تصمیم گیری

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
A1	۵/۵	۴/۵	۲/۱	۱۳۱۸۰۰۰	۱۱۸۹۰۰	۵۴۸۴۰	۲/۳	۹	۹
A2	۵/۲۸	۴/۳۹	۱/۸۲	۱۱۷۸۰۰۰	۱۱۵۴۰۰	۵۳۸۵۰	۲/۱۸	۸	۸
A3	۵/۱	۴/۲۵	۱/۶۵	۱۰۸۶۰۰۰	۱۱۳۷۰۰	۵۲۱۱۰	۲/۱	۷	۸
A4	۵/۰۹	۴/۱	۱/۵۳	۹۵۰۴۰۰	۱۱۸۰۰۰	۵۱۸۲۰	۲/۰۹	۵	۷
A5	۴/۹۸	۴	۱/۴۶	۱۰۴۲۰۰۰	۱۱۰۷۰۰	۵۱۹۶۰	۲/۰۴	۳	۵
A6	۴/۹۲	۳/۸۹	۱/۴۱	۹۱۱۱۰۰	۱۱۱۸۰۰	۵۱۴۱۰	۲/۰۲	۱	۳
A7	۴/۸۴	۳/۸	۱/۳۷	۹۹۱۷۰۰	۱۱۰۳۰۰	۵۰۸۹۰	۱/۹۹	۱	۱

۴-۵-۲- تعیین بردار وزن معیارها

در این مرحله با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی AHP، اقدام به تعیین اوزان مورد نظر خواهیم کرد. با توجه به ضریب اهمیت معیارهای مختلف در تصمیم‌گیری، برداری به صورت زیر تعریف می‌شود.

در این تحقیق تعیین وزن، با استفاده از نرم‌افزار Expert Choice انجام شده است.

$$W = [0.49, 0.49, 0.33, 0.11, 0.68, 0.91, 0.23, 0.288, 0.288]$$

جدول ۴-۷: جدول وزن دهی به پارامترها

وزن هر	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
پارامتر	۰/۰۴۹	۰/۰۴۹	۰/۰۳۳	۰/۱۱۱	۰/۰۶۸	۰/۰۹۱	۰/۰۲۳	۰/۲۸۸	۰/۲۸۸

۴-۵-۳- بی بعد ساختن ماتریس تصمیم‌گیری

در این مرحله اقدام به بی‌بعد ساختن ماتریس تصمیم‌گیری می‌کنیم، که از رابطه ی (۴-۱) استفاده می‌شود.

جدول ۴-۸: ماتریس تصمیم‌گیری بدون بعد

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
A1	۰/۴۰۷۱۵	۰/۴۱۰۸۵	۰/۴۸۴۵۶	۰/۴۶۲۹۰	۰/۳۹۳۶۶	۰/۳۹۵۳۶	۰/۴۱۲۹۴	۰/۵۹۳۴۴	۰/۵۲۵۷۸
A2	۰/۳۹۰۸۷	۰/۴۰۰۸۱	۰/۴۱۹۹۵	۰/۴۱۳۷۳	۰/۳۸۲۰۷	۰/۳۸۸۲۹	۰/۳۹۱۴۰	۰/۵۲۷۵۰	۰/۴۶۷۳۷
A3	۰/۳۷۷۵۴	۰/۳۸۸۰۲	۰/۳۸۰۷۲	۰/۳۸۱۴۲	۰/۳۷۶۴۴	۰/۳۷۵۶۷	۰/۳۷۷۰۳	۰/۴۶۱۵۷	۰/۴۶۷۳۷
A4	۰/۳۷۶۸۰	۰/۳۷۴۳۳	۰/۳۵۳۰۳	۰/۳۳۳۸۰	۰/۳۹۰۶۸	۰/۳۷۳۵۸	۰/۳۷۵۲۴	۰/۳۲۹۶۹	۰/۴۰۸۹۴
A5	۰/۳۶۸۶۶	۰/۳۶۵۲۰	۰/۳۳۶۸۸	۰/۳۶۵۶۰	۰/۳۶۶۵۱	۰/۳۷۴۶۰	۰/۳۶۶۲۶	۰/۱۹۷۸۱	۰/۲۹۲۱۰
A6	۰/۳۶۴۲۲	۰/۳۵۵۱۶	۰/۳۲۵۳۴	۰/۳۱۹۹۹	۰/۳۷۰۱۵	۰/۳۷۰۶۰	۰/۳۶۲۶۷	۰/۰۶۵۹۴	۰/۱۷۵۲۶
A7	۰/۳۵۸۳۰	۰/۳۴۶۹۴	۰/۳۱۶۱۱	۰/۳۴۸۳۰	۰/۳۵۵۱۹	۰/۳۶۶۸۸	۰/۳۵۷۲۸	۰/۰۶۵۹۴	۰/۰۵۸۴۲

۴-۵-۴- تعیین نقطه ی ایده آل مثبت و ایده آل منفی

بهترین معیار (f^*) و بدترین معیار (f^-) برای معیارهای مثبت و منفی به شرح زیر است.

$$f^* = \begin{cases} C_j \rightarrow \text{جنبه مثبت} & | f^* = \max_i \{f_{ij}\} \\ C_j \rightarrow \text{جنبه منفی} & | f^* = \min_i \{f_{ij}\} \end{cases}$$

$$f^- = \begin{cases} C_j \rightarrow \text{جنبه مثبت} & | f^- = \min_i \{f_{ij}\} \\ C_j \rightarrow \text{جنبه منفی} & | f^- = \max_i \{f_{ij}\} \end{cases}$$

با استفاده از دستور بالا در جدول (۹-۴) نقطه ی ایده آل مثبت و منفی تعریف می شود.

جدول ۹-۴: تعیین نقطه ی ایده آل مثبت و ایده آل منفی

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
f^*	۰/۳۵۸۳۰	۰/۳۴۶۹۴	۰/۳۱۶۱۱	۰/۳۱۹۹۹	۰/۳۵۵۱۹	۰/۳۶۶۸۸	۰/۳۵۷۲۸	۰/۵۹۳۴۴	۰/۵۲۵۷۸
f^-	۰/۴۰۷۱۵	۰/۴۱۰۸۵	۰/۴۸۴۵۶	۰/۴۶۲۹۰	۰/۳۹۳۶۶	۰/۳۹۵۳۶	۰/۴۱۲۹۴	۰/۰۶۵۹۴	۰/۰۵۸۴۲

۴-۵-۵- محاسبه ی مقدار سودمندی (S) و مقدار تأسف (R) برای هر گزینه

در این مرحله اقدام به محاسبه ی مقدار مطلوبیت یا سودمندی گزینه ها (S) و مقدار عدم مطلوبیت یا

تأسف برای گزینه ها (R) با استفاده از روابط (۴-۲) و (۴-۳) می پردازیم.

جدول ۱۰-۴: محاسبه سودمندی (S) و تأسف (R) برای هر یک از گزینه ها

S1	۰/۴۲۴	R1	۰/۱۱۱
S2	۰/۳۶۱۷۳۲۶۹	R2	۰/۰۷۲۸۰۸۸

S3	۰/۲۸۲۳۲۳۶۳	R3	۰/۰۷۲
S4	۰/۳۶۳۲۴۲۶۹	R4	۰/۱۴۴
S5	۰/۴۵۵۶۹۴۳۱	R5	۰/۲۱۶
S6	۰/۵۴۴۱۱۳۶۳	R6	۰/۲۸۸
S7	۰/۵۹۷۹۸۷۲۲	R7	۰/۲۸۸

۴-۵-۶- محاسبه ی شاخص ویکور (Q) برای هر گزینه

برای ارزیابی نهایی گزینه‌ها، با استفاده از رابطه‌ی (۴-۴) اقدام به محاسبه‌ی شاخص ویکور می‌کنیم.

جدول ۴-۱۱: محاسبه مقدار شاخص ویکور (Q) برای هر یک از گزینه‌ها

Q1	۰/۳۱۴۶۸۸
Q2	۰/۱۲۷۶۳۳
Q3	۰
Q4	۰/۱۴۷۴۲
Q5	۰/۶۰۷۹۴۶
Q6	۰/۹۱۴۶۶۶
Q7	۱

۴-۵-۷- مرتب کردن گزینه‌ها بر اساس مقادیر S، R و Q

در این مرحله با توجه به مقادیر S، R و Q گزینه‌ها در سه گروه، از کوچکتر به بزرگتر مرتب می‌شوند. در نهایت گزینه‌ای به عنوان گزینه برتر انتخاب می‌شود که در هر سه گروه به عنوان گزینه برتر شناخته شود.

جدول ۴-۱۲: مرتب کردن صعودی گزینه‌ها بر اساس مقادیر S، R و Q

S3	۰/۳۶۱۷۳۲۶۹	R3	۰/۰۷۲	Q3	۰
----	------------	----	-------	----	---

S2	۰/۳۶۱۷۳۲۶۹	R2	۰/۰۷۲۸۰۸۸	Q2	۰/۱۲۷۶۳۳
S4	۰/۳۶۳۲۴۲۶۹	R1	۰/۱۱۱	Q4	۰/۱۴۷۴۲
S1	۰/۴۲۴	R4	۰/۱۴۴	Q1	۰/۳۱۴۶۸۸
S5	۰/۴۵۵۶۹۴۳۱	R5	۰/۲۱۶	Q5	۰/۶۰۷۹۴۶
S6	۰/۵۴۴۱۱۳۶۳	R6	۰/۲۸۸	Q6	۰/۹۱۴۶۶۶
S7	۰/۵۹۷۹۸۷۲۲	R7	۰/۲۸۸	Q7	۱

رتبه بندی گزینه ها بر اساس شاخص ویکور عبارت است از:

$$A3 > A2 > A4 > A1 > A5 > A6 > A7$$

با توجه به اینکه گزینه ی A3 در هر سه مقدار S، R و Q، گزینه ای برتر است. این گزینه به عنوان گزینه ی برتر انتخاب می شود.

فصل پنجم

نتیجه‌گیری

در این پروژه، تونل راه آهن کوهین محور قزوین-رشت مورد مطالعات عددی و مدیریتی قرار گرفت. از آن جایی که تونل مذکور در شرایط سنگهای سست و ناپایدار قرار گرفته، تزریق به عنوان یکی از راههای مناسب بهسازی زمین مورد توجه قرار گرفته است. لذا، هر پروژه باید از دو جنبه ایمنی و اقتصادی مورد قبول باشد. بنابراین اقدام به بررسی شعاع بهینه تزریق شده است. جهت نیل به این هدف ابتدا مدل سازی عددی در نرم افزار تفاضل محدود $FLAC^{2D}$ انجام گرفت، سپس نتایج حاصل از مدل سازی عددی که شامل موارد زیر است در شعاعهای متفاوت تزریق حاصل شد.

۱- جابه جایی عمودی در تاج تونل

۲- جابه جایی عمودی در کف

۳- جابه جایی افقی در دیواره

۴- نیروی محوری وارد بر سیستم نگهداری

۵- نیروی برشی وارد بر سیستم نگهداری

۶- ممان خمشی وارد بر سیستم نگهداری

۷- نشست در سطح زمین

سپس این داده های عددی ابتدا با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتب فازی و استفاده از نرم افزار Expert Choice تعیین وزن شد. سپس با استفاده از روش تصمیم گیری چند معیاره (که در اینجا روش ویکور مورد استفاده قرار گرفت) اقدام به بررسی شعاع بهینه تزریق شد.

در مطالعه موجود، برای ارزیابی شعاع بهینه تزریق با استفاده از معیار موثر و ملاحظه رای تصمیم گیرندگان، یک مدل سلسله مراتبی گسترش یافت. این هدف بر مبنای ترکیب دو روش تحلیل عددی و متد تصمیم گیری چند معیاره تحقق یافت. تحلیل عددی با استفاده از نرم افزار $FLAC^{2D}$ عملی شد، در این مرحله، مقدار عددی معیار اصلی در شعاعهای مختلف عملیات تزریق محاسبه شد.

معیار اصلی برای بررسی پایداری تونل شامل جابه‌جایی در کف، تاج و دیواره ی تونل، نشست در سطح زمین، بارهای وارد بر سیستمهای نگهداری، زمان عملیات و هزینه می باشد. در مرحله ی بعد برای تعیین شعاع بهینه تزریق، اطلاعات مشخص شده در روش تصمیم‌گیری چند معیاره استفاده شد. در این مرحله از ترکیب دو روش فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی دلفی فازی و ویکور استفاده شد. فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی دلفی فازی برای محاسبه وزن معیارها مطابق با نظر تصمیم‌گیرندگان استفاده شد، سپس رتبه‌بندی گزینه‌ها با متد ویکور محقق شد. روش ارائه شده، جهت محاسبه شعاع بهینه تزریق و بهسازی زمین برای تونل راه آهن کوهین محور قزوین-رشت مورد کاربرد قرار گرفت. بنا بر نتیجه به دست آمده مطابق با تکنیک ویکور و نکات فنی اقتصادی تزریق در ۲ متر، تحت عنوان شعاع بهینه عملیات تزریق انتخاب شد.

منابع

۱. عطائی، محمد؛ بهنام فردوسی و رضا میکائیل، (۱۳۸۵)، "نقش عملیات تزریق در کاهش نشست

حاصل از حفر تونل‌های بزرگ"، ششمین همایش ایمنی، بهداشت و محیط زیست در معادن و

صنایع معدنی، تهران، شرکت معدنی و صنعتی چادرملو

۲. سیاوش ضمیران (۱۳۹۰)، "مدلسازی و تحلیل سازه‌های خاکی و سنگی در FLAC"، انتشارات

نشر نوآور

۳. مقصود امیری، احمد دارستانی فراهانی (۱۳۹۲)، "تصمیم‌گیری با معیارهای چند گانه"،

انتشارات دانشگاهی کیان

4. "User's Guide", FLAC, Fast Fast Lagrangian Analysis of Continua, ITASKA Consulting Eng, Minnesota

5. Jih-Jeng Huang, Gwo-Hshiung Tzeng and Hsiang-Hsi Liu, (2009) "A Revised VIKOR Model for Multiple Criteria Decision Making – The Perspective of Regret Theory", Communications in Computer and Information Science, 35, 761-768

6. Serafim Opricovic, Gwo-Hshiung Tzeng, (2004) "Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS", European Journal of Operational Research, 156, 445–455

7. Knut F. Garshol, (2003) "Pre-Excavation Grouting in Tunneling" , MBT International Underground Construction Group
8. Thomas Dalmalm, (2004) "Choice of Grouting Method for Jointed Hard Rock based on Sealing Time Predictions", Department of Civil and Architectural Engineering Royal Institute of Technology