

تزریق با فشار بالا

(تزریق به روش جت)

تکنولوژی، طراحی، کنترل و روش اجرا

علیرضا خودسیانی

مهندس مشاور ژئوتکنیک

کارشناس ارشد زمین شناسی مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

کارشناس زمین شناسی مهندسی شرکت مهندسی مشاور مهتاب قدس

سال ۱۳۹۶

سرشناسه	خودسیانی، علیرضا، ۱۳۵۶ -
عنوان و نام پدیدآور	تزریق با فشار بالا (تزریق به روش جت): تکنولوژی، طراحی، کنترل و روش اجرا/ نویسنده علیرضا خودسیانی.
مشخصات نشر	اصفهان: سناگستر، ۱۳۹۶.
مشخصات ظاهری	۱۴۶ ص.
شابک	۹۷۸-۶۰۰-۸۷۳۶-۶۳-۹: ریال ۱۵۰۰۰۰
وضعیت فهرست نویسی	فیپا
موضوع	دوغاب زنی
موضوع	Grouting:
موضوع	خاک -- تثبیت
موضوع	Soil stabilization:
موضوع	خاک -- تحکیم
موضوع	Soil consolidation:
رده بندی کنگره	۱۳۹۶ ۴ت۹خ/۷۵۵TA:
رده بندی دیویی	۶۲۴/۱۵۱:
شماره کتابشناسی ملی	۴۷۷۰۵۱۴:

انتشارات سناگستر (۰۹۱۳۱۱۷۲۶۴۲)

نام کتاب:	تزریق با فشار بالا (تزریق به روش جت)
نویسنده:	علیرضا خودسیانی
مدیر تولید:	سیدمحمد رضا سمسارزاده
صفحه آرا:	سحر راد هوش
طراح جلد:	دانیال نصر اصفهانی
پایگاه اینترنتی:	
نوبت چاپ:	اول
سال چاپ:	۱۳۹۶
تیراژ:	۱۰۰۰ جلد
قیمت:	۱۵۰۰۰ تومان
شماره استاندارد بین المللی کتاب:	
	۹۷۸-۶۰۰-۸۷۳۶-۶۳-۹
	www.iranpub.com

سپاس خدای را که هر چه دارم از اوست

ضمن تشکر و سپاس بیکران و در کمال افتخار و امتنان این کتاب را

تقدیم می‌نمایم به:

همسر مهربانم فرزانه که سایه مهربانیش سایه سار زندگیم می‌باشد، او که اسوه صبر و تحمل بوده و مشکلات مسیر را برایم تسهیل نمود، دختر نازنینم و امید بخش جانم رونیکا که آسایش او آرامش من است و تقدیم به او که آموخت مرا تا بیاموزم.

تقدیر و تشکر:

به مصداق « من لم یشکر المخلوق لم یشکر الخالق » بسی شایسته است از استادان فرهیخته و فرزانه جناب آقایان دکتر خامه چیان، دکتر لیتکوهی، دکتر ارومیه ای و دکتر نیکودل به عنوان اساتید راهنما، تقدیر و تشکر نمایم.

شما روشنایی بخش تاریکی جان هستی و ظلمت اندیشه را نور می بخشی. چگونه سپاس گویم مهربانی و لطف شما را که سرشار از عشق و یقین است. چگونه سپاس گویم تأثیر علم آموزی شما را که چراغ روشن هدایت را بر کلبه ی محقر وجودم فروزان ساخته است. آری در مقابل این همه عظمت و شکوه شما مرا نه توان سپاس است و نه کلام وصف.

راز و رمز پویای علم و کشف معانی بدیع و تجلی جلوه های شهودی معرفت کیمیایی است که آسمان علم به برکت سیما و سیره ی نورانی نبی مکرم صلی الله علیه و آله و سلم، انسان دربند خاک را به معراج حضور می خواند و چه خرم علمی که از چشمه ی معارف سیراب شود و چه زیبا دانشی که قبای پرنیانش به عطر و بوی گلستان محمدی معطر شود و چه معماری باشکوهی، بنایی که سنگ هویت و فرهنگ آن ریشه درمدینه النبی بیابد. امروز کاخ آباد علم به سروش معنوی و مفهوم پیام او بیش از پیش محتاج راهنمایی است که علاوه بر حفظ آبادانی آن در راه اعتلای آن به فرزندان خویش محبت نمایند.

در ادامه از تمامی مهندسین و همکاران گرامی شرکت مهندسی مشاور مهتاب قدس و شرکت خدمات مهندسی مکانیک خاک که سبب شدند تا دانش و دانسته هایم افزایش یابد صمیمانه تشکر و قدردانی می نمایم.

فهرست مطالب

صفحه

پیش گفتار	۱۵
فصل اول	۱۷
۱- کلیات تزریق با فشار بالا	۱۹
۱-۱- بهسازی زمین و مهندسی ژئوتکنیک	۲۰
۱-۲- تاریخچه گسترش تزریق فشار بالا به روش جت	۲۰
۱-۳- دامنه کاربرد	۲۴
۱-۴- تأسیسات و تجهیزات مورد نیاز برای انجام تزریق جت	۲۵
فصل دوم	۲۷
۲- تکنولوژی تزریق با فشار بالا	۲۹
۲-۱- فرایند تزریق جت	۲۹
۲-۲- روش های تزریق جت	۳۲
۲-۲-۱- روش تزریق تک مایع یا سیستم یگانه (F ₁)(S)	۳۲
۲-۲-۲- روش تزریق دو مایع یا سیستم دوگانه (F ₂)(D)	۳۴
۲-۲-۳- روش تزریق سه مایع یا سیستم سه گانه (F ₃)(T)	۳۵
۲-۳- پارامترهای تزریق فشار بالا	۳۸
۲-۳-۱- پارامترهای تزریق جت برای سیستم F ₁	۳۸
۲-۳-۲- پارامترهای تزریق جت برای سیستم F ₂	۳۹
۲-۳-۳- پارامترهای تزریق جت برای سیستم F ₃	۳۹
۲-۴- تئوری تزریق جت	۴۲
۲-۴-۱- اثر فشار	۴۲
۲-۴-۲- اثر سرعت جریان (دبی)	۴۳
۲-۴-۳- اثر هوای فشرده	۴۴
۲-۴-۳-۱- اثر هوای فشرده دربر گیرنده	۴۴
۲-۴-۳-۲- سرعت و حجم هوای فشرده	۴۵
۲-۴-۴- دیگر عوامل	۴۶
۲-۵- ملاحظات عملی	۴۷

۴۸	۶-۲- همپوشانی ستون های خاک- سیمان
۴۹	۷-۲- قطر ستون های خاک- سیمان
۵۱	فصل سوم
۵۳	۳- اصول طراحی تزریق با فشار بالا
۵۷	۳-۱- پارامترهای طراحی برای مصالح تزریق جت
۵۸	۳-۲- دستورالعمل ها و استانداردهای اجرایی
۶۱	۳-۳- پارامترهای تعیین کننده خصوصیات دوغاب
۶۱	۳-۴- پارامترهای تعیین کننده خصوصیات خاک پیش از بهسازی
۶۱	۳-۵- کمیت های قابل اندازه گیری بعد از تزریق جت
۶۱	۳-۶- هندسه و خصوصیات خاکهای بهسازی شده
۶۹	۳-۷- خصوصیات زمین های بهسازی شده
۷۲	۳-۸- انرژی تزریق جت ویژه
۷۴	۳-۹- ارتباط سرعت بالا آوردن مانیتور با نوع خاک
۷۴	۳-۱۰- آرایش گمانه های تزریق با فشار بالا
۷۵	۳-۱۱- روش اجرای ساختاری ستونهای تزریق جت
۷۶	۳-۱۲- انحراف حفاری
۷۶	۳-۱۳- مطالعات صحرایی مقدماتی و آزمایشات
۷۹	فصل چهارم
۸۱	۴- کاربردهای تزریق جت در عملیات اجرایی
۸۱	۴-۱- کنترل آبهای زیرزمینی
۸۳	۴-۲- تقویت پی
۸۴	۴-۳- تونلها و شفتها
۸۶	۴-۴- پایداری شیب
۸۷	۴-۵- شمعهای خاک- سیمان
۸۷	۴-۶- بهسازی زمین، مسلح سازی برجا
۸۹	فصل پنجم
۹۱	۵- مزایا و معایب تزریق با فشار بالا
۹۱	۵-۱- مزایای تزریق به روش جت

۹۱	۵-۲- معایب تزریق به روش جت
۹۳	فصل ششم.....
۹۵	۶- روش اجرای تزریق با فشار بالا- مطالعه موردی سد شهریار.....
۹۶	۶-۱- موقعیت جغرافیایی ساختگاه سد شهریار
۹۶	۶-۲- اهداف تزریق آزمایشی.....
۹۷	۶-۳- انتخاب محل تزریق آزمایشی.....
۹۷	۶-۴- تزریق آزمایشی به روش تزریق جت.....
۹۸	۶-۴-۱- تزریق آزمایشی مرحله اول
۱۰۰	۶-۴-۲- تزریق آزمایشی مرحله دوم.....
۱۰۰	۶-۵- کنترل کیفیت
۱۰۱	۶-۶- برنامه تزریق آزمایشی
۱۰۱	۶-۶-۱- عملیات صحرائی
۱۰۳	۶-۶-۱-۱- اندازه گیری قطر ستونها.....
۱۱۳	۶-۶-۱-۲- نمونه گیری
۱۱۶	۶-۶-۲- آزمایشهای آزمایشگاهی.....
۱۱۶	۶-۶-۲-۱- مقاومت فشاری محدود نشده
۱۲۵	۶-۶-۲-۲- آزمایش برش مستقیم
۱۲۵	۶-۶-۲-۳- آزمایش برزیلین
۱۲۶	۶-۶-۲-۴- آزمایش چکش اشمیت
۱۲۷	۶-۷- تجزیه و تحلیل نتایج
۱۲۷	۶-۸- پارامترهای تزریق با فشار بالا در ساختگاه اصلی سد
۱۲۹	۶-۹- مشکلات موجود در اجرای تزریق جت در ساختگاه اصلی سد.....
۱۳۱	۶-۱۰- برآورد مقدار سیمان مصرفی.....
۱۳۲	۶-۱۱- تزریق فوم افزایش حجم دهنده پلی اورتان
۱۳۲	۶-۱۱-۱- اجرای متداول تزریق پلی اورتان.....
۱۳۳	۶-۱۲- تحلیل‌های گودبرداری سد
۱۳۳	۶-۱۳- استخراج پارامترهای طراحی
۱۴۰	منابع فارسی

منابع لاتین ۱۴۲

فهرست شکل ها

صفحه

- شکل ۱-۱- توسعه روشهای تزریق با فشار بالا در ژاپن ۲۲
- شکل ۱-۲- نمایی از دستگاه تزریق با فشار بالا ۲۳
- شکل ۱-۳- محدوده کاربرد روشهای مختلف تزریق ۲۵
- شکل ۱-۴- شمای کلی دستگاهها و ماشین آلات موجود برای عملیات تزریق ۲۶
- شکل ۲-۱- مراحل اجرای ستون خاک-سیمان با استفاده از سیستم سه مایع ۳۰
- شکل ۲-۲- نمایی از مانیتور F۱ به همراه مته حفاری ۳۱
- شکل ۲-۳- سیستم های تزریق تک مایع، دو مایع و سه مایع ۳۳
- شکل ۲-۴- نمایی از مانیتور F۲ ۳۵
- شکل ۲-۵- نمایی از مانیتور F۳ ۳۶
- شکل ۲-۶- نمای جت آب برای تخریب بافت خاک ۳۷
- شکل ۲-۷- نمایی از آرایش جت متقاطع ۳۸
- شکل ۲-۸- نمایی از نحوه تخریب و اختلاط دوغاب ۴۰
- شکل ۲-۹- رابطه بین فاصله تخریب و فشار جت ۴۲
- شکل ۲-۱۰- ارتباط فشار دینامیکی آب و دبی هوای فشرده با فاصله ۴۴
- شکل ۲-۱۱- ارتباط فشار دینامیکی دبی ها و فاصله از نازل در محیط های مختلف ۴۵
- شکل ۲-۱۲- نتایج تجربی برای فرکانس تکرار بهینه فرسایش جت ۴۷
- شکل ۲-۱۳- روش های بالا آوردن مانیتور و رادهای تزریق جت ۴۷
- شکل ۲-۱۴- نمایی از اجرای ستون های خاک سیمان با سکانس متوالی ۴۸
- شکل ۲-۱۵- نمایی از قطر ستون های خاک-سیمان ۴۹
- شکل ۳-۱- نمایی از المانهای دو و سه بعدی تزریق با فشار بالا ۵۶
- شکل ۳-۲- مقاومت فشاری محصور نشده تجربی از زمین بهسازی شده ۵۷
- شکل ۳-۳- فلوجارت طراحی پیشنهاد شده برای تزریق با فشار بالا ۶۰
- شکل ۳-۴- تغییرات قطر ستون حاصل از تزریق در مقابل تغییرات نرخ بالا کشیدن مانیتور ۶۲
- شکل ۳-۵- نمونه هایی از تشکیل ستون توسط تزریق با فشار بالا ۶۳

- شکل ۳-۶- نمایش از اشکال هندسی ایجاد شده توسط تزریق با فشار بالا ۶۴
- شکل ۳-۷- نمایش از ایجاد پانلهای متقارن توسط تزریق با فشار بالا ۶۴
- شکل ۳-۸- نمایش از ایجاد پانل و قسمتی از ستون توسط تزریق جت ۶۵
- شکل ۳-۹- نمایش از همپوشانی ستونهای تزریق ۶۶
- شکل ۳-۱۰- اثر تغییر قطر و پارامترهای تزریق با فشار بالا در خاکهای لایه ای ۶۷
- شکل ۳-۱۱- ارتباط بین قطر موثر ستون و عدد نفوذ استاندارد ۶۸
- شکل ۳-۱۲- تاثیر نسبت آب به سیمان و سن بر مقاومت دوغابهای سیمانی پرتلند در دمای ۸ درجه سانتی گراد ۷۲
- شکل ۳-۱۳- کاهش فشار جت آب در امتداد محور جت ۷۳
- شکل ۳-۱۴- ارتباط قطر ستون با فشار تزریق جت در سیستم F1 ۷۳
- شکل ۳-۱۵- ارتباط بین سرعت بالا آوردن مانیتور و نوع خاک ۷۴
- شکل ۳-۱۶- آرایش گمانه های تزریق جت جهت همپوشانی ستونها ۷۵
- شکل ۳-۱۷- روش اجرای ساختاری ستونهای تزریق جت ۷۵
- شکل ۳-۱۸- اثر انحراف حفاری گمانه در اجرای ستون خاک- سیمان ۷۶
- شکل ۴-۱- کاربرد تزریق با فشار بالا برای ایجاد دیوار آبنند ۸۱
- شکل ۴-۲- جانمایی پانلهای و ستونهای حاصل از تزریق با فشار بالا ۸۳
- شکل ۴-۳- پی بندی به کمک ستونهای حاصل از تزریق با فشار بالا ۸۴
- شکل ۴-۴- پایدارسازی تونل با استفاده از ستونهای تزریق با فشار بالای نیمه افقی ۸۵
- شکل ۴-۵- پایدارسازی شیب به کمک ایجاد ستونهای تزریق با فشار بالا ۸۶
- شکل ۵-۱- خروج ذرات و مصالح حاصل تزریق جت از گمانه ۹۲
- شکل ۶-۱- نمایش از ساختگاه سد شهریار ۹۵
- شکل ۶-۲- مقطع عرضی پی سد شهریار ۹۶
- شکل ۶-۳- جانمایی گمانه های تزریق آزمایشی مرحله اول ۱۰۲
- شکل ۶-۴- قطر ستونهای تزریق با فشار بالا در گمانه های T۲، T۳ و T۵ ۱۰۲
- شکل ۶-۵- قطر ستونهای تزریق با فشار بالا در گمانه های T۱، T۴ و T۶ ۱۰۳
- شکل ۶-۶- گودبرداری اطراف ستونهای حاصل از تزریق جت در خاکهای درشت دانه ۱۰۴
- شکل ۶-۷- نمای ستون T۱، حاصل از تزریق جت در خاکهای درشت دانه ۱۰۵

- شکل ۶-۸- نمای ستون T_۴ ، حاصل از تزریق جت در خاکهای درشت دانه..... ۱۰۵
- شکل ۶-۹- نمای ستون T_۶ ، حاصل از تزریق جت در خاکهای درشت دانه..... ۱۰۶
- شکل ۶-۱۰- گودبرداری اطراف ستونهای T_۲، T_۳ و T_۵ حاصل از تزریق جت در خاکهای ریز دانه..... ۱۰۶
- شکل ۶-۱۱- نمای ستون T_۲ ، حاصل از تزریق جت در خاکهای ریز دانه..... ۱۰۷
- شکل ۶-۱۲- نمای ستون T_۳ ، حاصل از تزریق جت در خاکهای ریز دانه..... ۱۰۷
- شکل ۶-۱۳- نمای ستون T_۵ ، حاصل از تزریق جت در خاکهای ریز دانه..... ۱۰۸
- شکل ۶-۱۴- گودبرداری اطراف ستونهای T_۱، T_۴ و T_۶ حاصل تزریق جت در خاکهای ریز دانه..... ۱۰۸
- شکل ۶-۱۵- نمای ستون T_۱ ، حاصل تزریق جت در خاکهای ریز دانه..... ۱۰۹
- شکل ۶-۱۶- نمای ستون T_۴ ، حاصل تزریق جت در خاکهای ریز دانه..... ۱۰۹
- شکل ۶-۱۷- نمای ستون T_۶ ، حاصل تزریق جت در خاکهای ریز دانه..... ۱۱۰
- شکل ۶-۱۸- متوسط قطر ستونها در مقابل فشار جت آب در خاکهای ریز دانه..... ۱۱۱
- شکل ۶-۱۹- متوسط قطر ستونها در مقابل دبی دوغاب در خاکهای ریز دانه..... ۱۱۱
- شکل ۶-۲۰- متوسط قطر ستونها در مقابل فشار دوغاب در خاکهای ریز دانه..... ۱۱۲
- شکل ۶-۲۱- متوسط قطر ستونها در مقابل سرعت چرخش راد در خاکهای ریز دانه..... ۱۱۲
- شکل ۶-۲۲- متوسط قطر ستونها در مقابل سرعت بالا آوردن مانیتور در خاکهای ریز دانه..... ۱۱۳
- شکل ۶-۲۳- تهیه نمونه های مکعبی ۳۰*۳۰*۳۰ سانتیمتر از ستونها..... ۱۱۴
- شکل ۶-۲۴- تهیه نمونه های مکعبی ۳۰*۳۰*۳۰ سانتیمتر از ستونها..... ۱۱۴
- شکل ۶-۲۵- تهیه مغزه از نمونه های کنده شده و مکعبی..... ۱۱۵
- شکل ۶-۲۶- مغزه های حاصل از نمونه های مکعبی..... ۱۱۵
- شکل ۶-۲۷- نتایج مقاومت تک محوری در مقابل عمق ستون T_۲..... ۱۱۶
- شکل ۶-۲۸- نتایج مقاومت تک محوری در مقابل عمق ستون T_۳..... ۱۱۷
- شکل ۶-۲۹- نتایج مقاومت تک محوری در مقابل عمق ستون T_۴..... ۱۱۷
- شکل ۶-۳۰- نتایج مقاومت تک محوری در مقابل عمق ستون T_۵..... ۱۱۸
- شکل ۶-۳۱- نتایج مقاومت تک محوری در مقابل عمق ستون T_۶..... ۱۱۸

- شکل ۶-۳۲- اثر فاصله مغزه گیری از مرکز به سمت پیرامون بر مقدار مقاومت تک محوری در ستون T۲ ۱۱۹
- شکل ۶-۳۳- اثر فاصله مغزه گیری از مرکز به سمت پیرامون بر مقدار مقاومت تک محوری در ستون T۳ ۱۱۹
- شکل ۶-۳۴- اثر فاصله مغزه گیری از مرکز به سمت پیرامون بر مقدار مقاومت تک محوری در ستون T۴ ۱۲۰
- شکل ۶-۳۵- اثر فاصله مغزه گیری از مرکز به سمت پیرامون بر مقدار مقاومت تک محوری در ستون T۵ ۱۲۰
- شکل ۶-۳۶- اثر فاصله مغزه گیری از مرکز به سمت پیرامون بر مقدار مقاومت تک محوری در ستون T۶ ۱۲۱
- شکل ۶-۳۷- متوسط مقاومت تک محوری در مقابل فشار جت آب ۱۲۲
- شکل ۶-۳۸- متوسط مقاومت تک محوری در مقابل فشار دوغاب ۱۲۲
- شکل ۶-۳۹- متوسط مقاومت تک محوری در مقابل دبی دوغاب ۱۲۳
- شکل ۶-۴۰- متوسط مقاومت تک محوری در مقابل سرعت چرخش راد تزریق ۱۲۳
- شکل ۶-۴۱- متوسط مقاومت تک محوری در مقابل سرعت بالا آوردن راد تزریق .. ۱۲۴
- شکل ۶-۴۲- متوسط مقاومت تک محوری در مقابل نسبت آب به سیمان ۱۲۴
- شکل ۶-۴۳- خروج آب از داخل لوله جدار و اطراف آن در زمان حفاری گمانه ۱۲۹
- شکل ۶-۴۴- خروج آب از داخل لوله جدار بعد از حفاری گمانه ۱۳۰
- شکل ۶-۴۵- آرایش ستونهای خاک- سیمان در الگوی مثلثی ۱۳۵
- شکل ۶-۴۶- بدست آوردن ضریب ایمنی حاصل از تحلیل پایداری پیش از بهسازی خاک ۱۳۷
- شکل ۶-۴۷- بدست آوردن ضریب ایمنی حاصل از تحلیل پایداری بعد از بهسازی خاک ۱۳۷
- شکل ۶-۴۸- مدل فراز بند پیاده شده در نرم افزار Plaxis پیش از بهسازی ۱۳۸
- شکل ۶-۴۹- نمای مش های تغییر شکل یافته بعد از بهسازی خاک ۱۳۸

فهرست جدول ها

صفحه

جدول ۱-۲- گستره نوعی از پارامترهای تزریق جت و قطر ستونهای تشکیل شده با استفاده از سیستم تک مایع، دو مایع و سه مایع	۴۱
جدول ۱-۳- نیازمندیها و ارزیابی کاربردی تزریق جت معمولی	۵۳
جدول ۲-۳- مقاومت های استاندارد در طراحی ها	۵۸
جدول ۳-۳- لیست پیشنهادی از فعالیت ها به منظور طراحی و اجرای تزریق با فشار بالا	۵۹
جدول ۳-۴- محدوده مقاومت تک محوری و نفوذپذیری در خاکهای بهسازی شده توسط تزریق با فشار بالا	۷۰
جدول ۱-۶- سرعت بالا آوردن و دوران در تزریق آزمایشی مرحله اول	۹۸
جدول ۲-۶- پارامترهای فنی اصلی تزریق آزمایشی مرحله اول	۹۹
جدول ۳-۶- مشخصات گمانه های تزریق آزمایشی مرحله اول	۱۰۱
جدول ۴-۶- متوسط قطر ستونها در بخش های درشت دانه و ریز دانه	۱۰۴
جدول ۵-۶- متوسط مقاومت تک محوری برای ستون های تشکیل شده	۱۲۱
جدول ۶-۶- نتایج آزمایش برش مستقیم	۱۲۵
جدول ۷-۶- نتایج آزمایش برزیلین بر روی تعدادی از مغزه ها	۱۲۶
جدول ۸-۶- نتایج آزمایش چکش اشمیت	۱۲۶
جدول ۹-۶- پارامترهای تزریق جت در تزریق آزمایشی گمانه ها و نتایج متوسط قطر ستون و مقاومت تک محوری	۱۲۷
جدول ۱۰-۶- پارامترهای فنی تزریق با فشار بالا برای عملیات اجرایی در ساختگاه اصلی سد	۱۲۸
جدول ۱۱-۶- دانسیته دوغاب با توجه به نسبت آب به سیمان	۱۳۱