



**اثر برگزیده‌ی "نهمین دوره جایزه کتاب سال
دانشگاهی" دانشگاه تهران، در زمینه‌ی مهندسی عمران در
سال ۱۳۷۸**



تونلسازی

(جلد اول)

حفاری و اجرا

تألیف:

حسن مدنی

استادیار دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)

تابستان ۱۴۰۴

سرشناسه	: مدنی، حسن، ۱۳۳۲-
عنوان و نام پدیدآور	: تونلسازی/تألیف حسن مدنی.
مشخصات نشر	: تهران: دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)، ۱۳۸۹.
مشخصات ظاهری	: ج.: مصور، جدول، نمودار.
شابک	: ۹۷۸-۹۶۴-۴۶۳-۰۱۹-۴ ریال: ۹۰۰۰۰
وضعیت فهرست‌نویسی	: فیبا
یادداشت	: چاپ ششم.
یادداشت	: چاپ قبلی: دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)، مرکز نشر، ۱۳۷۷-.
موضوع	: ج. ۱. حفاری و اجرا-- ج. ۲. خدمات فنی-- ج. ۳. تحلیل پایداری-- ج. ۴. طراحی و اجرای سیستم نگهداری.
شناسه افزوده	: تونل‌سازی.
شناسه افزوده	: دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران). مرکز نشر.
رده‌بندی کنگره	: ۱۳۸۹ ت ۹۱۳۸۹/م ۸۰۵/۴ TA
رده‌بندی دیویی	: ۶۲۴/۱۹۳
شماره کتابشناسی ملی	: ۲۲۴۰۶۸۷



انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی تکنیک تهران)

عنوان کتاب	: تونلسازی- جلد اول : حفاری و اجرا
تألیف	: حسن مدنی
ناشر	: انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)
لیتوگرافی، چاپ و صحافی	: انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)
چاپ نهم	: تابستان ۱۴۰۴
قیمت	: ۷۰۰,۰۰۰ تومان
تیراژ	: ۱۰۰
شابک	: ۹۷۸-۹۶۴-۴۶۳-۰۱۹-۴
	ISBN : 978-964-463-019-4

آدرس مرکز پخش: خیابان ولیعصر، روبروی خیابان بزرگمهر، فروشگاه کتاب مرکز نشر

دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران) - تلفن: ۶۶۴۹۸۸۶۸

وبسایت: <http://publication.aut.ac.ir>

حق چاپ برای ناشر محفوظ است.

این کتاب برای جلوگیری از انتشار غیر مجاز رمزگذاری شده است.

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

به نام خدا

پیشگفتار

فن تونلسازی سابقه دیرینه ای در کشور ما دارد. حدود ۳۰۰۰ سال پیش، نیاکان ما با حفر قنات‌ها که در واقع تونل‌های قدیمی هستند، به آب زیرزمینی دست می یافتند و به کمک آن، آبرا به سطح زمین هدایت می کردند. حفر قنات‌هایی به طول چند ده کیلومتر و در اعماق چند صد متر، نشان از قابلیت ایرانیان قدیم در این زمینه دارد. با وجود این سابقه طولانی، درباره حفر تونل و قنات، آثار زیادی منتشر نشده و تعداد کتاب‌های موجود در این زمینه، بسیار محدود است.

نگارنده از سال‌ها پیش، تدوین مجموعه ای درباره تونلسازی را جزو برنامه های خود قرار داده بود و از همان زمان مطالب و منابع مورد نیاز برای این مجموعه را تهیه کرد و کتابی که اکنون تقدیم علاقمندان می شود، اولین جلد از این مجموعه است. طبق برنامه ریزی انجام شده، قرار است که به یاری خداوند، مجموعه تونلسازی در چهار جلد به شرح زیر تدوین شود:

جلد اول: حفاری و اجرا

جلد دوم: خدمات فنی تونلسازی شامل تهویه، روشنایی و سایر خدمات

جلد سوم: تحلیل پایداری و طراحی سیستم نگهداری

جلد چهارم: تونل‌های ویژه و بررسی‌های موردی

برای تدوین این کتاب، از منابع مختلفی استفاده شده که فهرست آنها به ترتیب استفاده در متن در پایان کتاب آمده و در طول متن نیز منابع مورد استفاده با عددی در داخل [] مشخص شده است.

از آنجا که در کشور ما بسیاری از تونل‌ها با روش سنتی آتشباری حفر میشوند لذا بخش عمده ای از کتاب به شناخت مواد منفجره، حفر چال و چگونگی حفر تونل‌ها به این شیوه، اختصاص یافته است. البته در بخش مهم دیگری از کتاب نیز روش‌های حفر تونل به وسیله ماشین را مورد بررسی قرار داده ایم.

در تهیه این کتاب، همکاران بسیاری نگارنده را یاری داده اند که جای تشکر و سپاسگذاری دارد. در ابتدا باید از مسئولین محترم مرکز نشر دانشگاه صنعتی امیرکبیر آقایان رضایی و توفیقی تشکر کنم که به چاپ این کتاب همت گماشتند. سرکار خانم منیرالسادت محمدی مثل سایر موارد، با مهارت تمام متن کتاب را حروفچینی کردند که جای سپاسگذاری دارد. خانمها مینو ربیعی و نادیا شفیعی زاده دانشجویان دانشکده مهندسی معدن و متالورژی دانشگاه صنعتی امیرکبیر در تصحیح و مقابله متن کتاب زحمات زیادی را کشیدند و آقای سالار باوند دانشجوی همین دانشکده بعضی از شکلها را رسم کردند که بدینوسیله از آنان تشکر می شود. آقای مصطفی خصالی صفحه آرائی کتاب را عهده دار بوده اند که سپاس خود را به ایشان تقدیم می دارم. سرانجام باید از آقای مهدی شهریاری تشکر کنم که مراحل مختلف چاپ کتاب را نظارت کرده اند.

حسن مدنی

بخش اول: مطالعه ساختگاه و طراحی تونل

۳	فصل ۱- کلیات
۳	۱-۱- آشنایی
۳	۱-۲- مراحل تونلسازی
۴	۱-۳- طبقه بندی تونلها
۶	۱-۴- تاریخچه تونلسازی
۷	۱-۵- تونلسازی در زمان حاضر
۱۱	فصل ۲- مطالعه ساختگاه تونل
۱۱	۲-۱- آشنایی
۱۳	۲-۲- جمع آوری اطلاعات
۱۵	۲-۳- بررسی نقشه های توپوگرافی و عکسهای هوایی
۱۷	۲-۴- مطالعات زمین شناسی سطحی
۱۹	۲-۵- مطالعات ژئوفیزیکی
۲۳	۲-۶- حفر گمانه های اکتشافی
۲۹	۲-۷- مطالعات آب شناسی
۳۲	۲-۸- حفر گمانه های افقی
۳۳	۲-۹- حفر گالریهای اکتشافی
۳۴	۲-۱۰- آزمایشهای برجا
۳۹	۲-۱۱- مطالعات آزمایشگاهی
۳۹	۲-۱۲- ارزیابی ساختگاه تونل
۴۱	۲-۱۳- پیش بینی نشست زمین
۴۲	۲-۱۴- بهسازی و آماده سازی زمین
۴۵	۲-۱۵- هزینه های نسبی مطالعه ساختگاه تونل

۴۹	فصل ۳- طراحی تونل
۴۹	۳-۱- آشنایی
۴۹	۳-۲- شکل و ابعاد مقطع تونل
۶۷	۳-۵- نقش شرایط زمین‌شناختی در طراحی تونل
۸۵	فصل ۴- تجهیز کارگاه
۸۵	۴-۱- آشنایی
۸۵	۴-۲- احداث جاده دسترسی
۸۶	۴-۳- تسطیح محل دهانه تونل
۸۶	۴-۴- احداث ترانشه جلو تونل
۸۶	۴-۵- احداث ایستگاههای نقشه‌برداری
۸۷	۴-۶- احداث اتاقک نگهداری دهانه تونل
۸۷	۴-۷- احداث تأسیسات صنعتی مورد نیاز
۸۸	۴-۸- احداث تأسیسات اداری و رفاهی
۸۹	۴-۹- انبار مواد منفجره
۸۹	۴-۱۰- تامین تجهیزات و وسایل لازم
۸۹	۴-۱۱- برنامه‌ریزی عملیات حفر تونل

بخش دوم: حفر تونل به روش آتشیاری

۹۳	فصل ۵- حفر چال
۹۳	۵-۱- آشنایی
۹۴	۵-۲- انواع ماشینهای حفر چال
۹۵	۵-۳- چالزن دورانی برقی
۱۰۰	۵-۴- چالزن دورانی - ضربه‌ای
۱۱۵	۵-۵- ارابه چالزنی
۱۲۵	۵-۶- چالزن ضربه‌زن در ته چال

۱۳۱	فصل ۶- مواد منفجره
۱۳۱	۱-۶- آشنایی
۱۳۲	۲-۶- تاریخچه مواد منفجره
۱۳۴	۳-۶- خواص مواد منفجره
۱۴۶	۴-۶- تقسیم بندی مواد منفجره
۱۴۹	۵-۶- انواع مواد منفجره
۱۵۰	۶-۶- چاشنی ها
۱۷۵	۷-۶- فتیله اطمینان
۱۷۷	۸-۶- فتیله انفجاری (کورتکس)
۱۷۹	۹-۶- سیستم نازل
۱۸۱	۱۰-۶- انبار کردن مواد منفجره
۱۸۷	فصل ۷- آتشباری
۱۸۷	۱-۷- آشنایی
۱۸۸	۲-۷- مراحل آماده کردن چال
۲۰۲	۳-۷- آتشباری به وسیله فتیله اطمینان
۲۰۶	۴-۷- آتشباری الکتریکی
۲۳۱	۵-۷- آتشباری به وسیله فتیله انفجاری
۲۳۵	۶-۷- آتشباری به وسیله باروت
۲۳۷	۷-۷- طرز عمل در مورد چالهای منفجر نشده
۲۳۷	۸-۷- آتشباری با سیستم نازل
۲۴۲	۹-۷- رعایت اصول ایمنی و مقررات آتشباری
۲۵۳	فصل ۸- مکانیسم و محاسبات آتشباری
۲۵۳	۱-۸- آشنایی
۲۵۳	۲-۸- مکانیسم آتشباری
۲۵۴	۳-۸- تاثیر آتشباری در اعماق زمین
۲۵۷	۴-۸- تاثیر آتشباری در نزدیکی سطح زمین

۲۵۹	۵-۸- استفاده از جبهه آزاد در آتشباری
۲۶۱	۶-۸- محاسبه مقدار ماده منفجره لازم
۲۶۳	۷-۸- محاسبات مربوط به آتشباری در تونلها
۲۷۳	فصل ۹- چگونگی حفر تونلها به روش آتشباری
۲۷۳	۱-۹- آشنایی
۲۷۵	۲-۹- انواع برش
۲۸۹	۳-۹- حفر تونلهای کوچک و متوسط در سنگ
۲۹۸	۴-۹- حفر تونلهای دنباله‌رو
۳۰۱	۵-۹- حفر تونلهای بزرگ

بخش سوم: کنترل مسیر تونل و حمل مواد حفاری شده

۳۱۳	فصل ۱۰- نقشه برداری و کنترل مسیر تونلها
۳۱۳	۱-۱۰- آشنایی
۳۱۴	۲-۱۰- شبکه اولیه نقشه برداری
۳۱۴	۳-۱۰- کنترل هندسه تونل
۳۱۷	۴-۱۰- توجیه امتداد محور تونل
۳۲۰	۵-۱۰- احداث ایستگاههای نقشه برداری در تونل
۳۲۱	۶-۱۰- برداشت تونل
۳۲۹	۷-۱۰- کنترل تونل به هنگام حفر
۳۳۹	فصل ۱۱- بارگیری و حمل مواد در تونلها
۳۳۹	۱-۱۱- آشنایی
۳۳۹	۲-۱۱- روشهای مختلف حمل مواد در تونلها
۳۴۳	۳-۱۱- بارگیری مواد در تونلها
۳۵۵	۴-۱۱- حمل مواد به وسیله راه آهن
۳۷۱	۵-۱۱- حمل مواد به وسیله نوار نقاله
۳۷۹	۶-۱۱- حمل مواد به وسیله کامیون

بخش چهارم: حفر تونل به وسیله ماشین

۳۸۷	فصل ۱۲- حفر تونل به کمک سپر
۳۸۷	۱-۱۲- آشنایی
۳۸۸	۲-۱۲- شرایط استفاده از سیستم سپر
۳۸۹	۳-۱۲- انواع سپر
۳۹۹	۴-۱۲- متعلقات سپر
۴۰۲	۵-۱۲- سیستم حفاری
۴۰۶	۶-۱۲- سیستم نگهداری اولیه
۴۱۱	۷-۱۲- سیستم نگهداری دائمی
۴۱۱	۸-۱۲- شیوه‌های ویژه تونلسازی به کمک سپر
۴۳۱	۹-۱۲- تونلسازی با رانش لوله
۴۳۷	فصل ۱۳- حفر تونل به وسیله ماشینهای بازویی
۴۳۷	۱-۱۳- آشنایی
۴۳۸	۲-۱۳- اجزای دستگاه
۴۵۰	۳-۱۳- مشخصات دستگاه
۴۵۹	۴-۱۳- شیوه حفاری دستگاههای بازویی
۴۵۹	۵-۱۳- حفاری با استفاده از جت آب
۴۵۹	۶-۱۳- قابلیت حفاری دستگاههای بازویی
۴۶۲	۷-۱۳- انعطاف‌پذیری دستگاه برای حفر تونل در شرایط مختلف
۴۶۸	۸-۱۳- مزایا و معایب دستگاههای بازویی
۴۶۹	۹-۱۳- خواص سنگها از نظر حفاری با ماشین
۴۸۲	۱۰-۱۳- عملکرد ماشین در شرایط مختلف
۴۸۳	فصل ۱۴- حفر تونل به وسیله ماشینهای تمام مقطع
۴۸۳	۱-۱۴- آشنایی
۴۸۵	۲-۱۴- انواع ماشینهای تمام مقطع

۴۸۶	۳-۱۴- قسمت‌های مختلف ماشین
۵۰۷	۴-۱۴- نحوه کار ماشین
۵۱۳	۵-۱۴- مشخصات ماشینها و عملکرد آنها
۵۲۵	۶-۱۴- مکانیسم حفاری با ماشین
۵۳۱	۷-۱۴- عملکرد ماشین در دستگاه‌های مختلف
۵۴۵	۸-۱۴- کاربرد ماشین در تونل‌های کوچک
۵۴۸	۹-۱۴- ماشینهای ویژه زمینهای نرم
۵۵۹	۱۰-۱۴- داده‌های زمین‌شناختی لازم برای انتخاب ماشین
۵۶۲	۱۱-۱۴- کنترل مسیر ماشین
۵۶۳	۱۲-۱۴- نگهداری تونل
۵۶۳	۱۳-۱۴- هزینه حفر تونل با ماشینهای تمام مقطع
۵۶۵	۱۴-۱۴- ماشینهای ویژه
۵۶۷	فصل ۱۵- احداث تونل به روش کندوپوش
۵۶۷	۱-۱۵- آشنایی
۵۶۸	۲-۱۵- موارد کاربرد
۵۷۳	۳-۱۵- روش حفاری
۵۷۴	۴-۱۵- روشهای اجرا
۵۷۴	۵-۱۵- روش گودبرداری با دیواره شیروانی
۵۷۴	۶-۱۵- روش میخ‌کوبی دیواره
۵۷۶	۷-۱۵- روش نگهداری دیواره با سپر فولادی
۵۷۷	۸-۱۵- روش استفاده از پایه‌های فولادی
۵۸۲	۹-۱۵- روش دیوارسازی بتنی
۵۸۹	۱۰-۱۵- روش استفاده از دیواره پیش‌ساخته
۵۹۳	۱۱-۱۵- کنترل آب زیرزمینی
۵۹۴	۱۲-۱۵- غیرقابل نفوذ کردن تونل