

اصول و مبانی

تحلیل و طراحی روسازی دال خط راه آهن

تألیف

دکتر سید جواد میر محمد صادقی

استاد دانشگاه علم و صنعت ایران

دکتر فریدون نقاش نژاد

استاد دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک)

دکتر امین خواجه دزفولی

استادیار دانشگاه شهید چمران اهواز

سرشناسه	میرمحمدصادقی، جواد، ۱۳۴۲ -
عنوان و پدیدآور	اصول و مبنای تحلیل و طراحی روسازی دال خط راه آهن / تألیف سید جواد میرمحمدصادقی، امین خواجه دزفولی، فریدون مقدس نژاد.
مشخصات نشر	تهران: دانشگاه علم و صنعت ایران، ۱۳۹۸.
مشخصات ظاهری	۵۴۷ ص.
شابک	۹۷۸-۹۶۴-۴۵۴-۵۰۵-۴
وضعیت فهرست نویسی: فیپا	
یادداشت	کتابنامه: ص. ۵۲۱.
یادداشت	نمابه.
موضوع	راه آهن -- طراحی و ساخت
موضوع	Railroads -- Design and construction :
شناسه افزوده	خواجه دزفولی، امین، ۱۳۶۳ -
شناسه افزوده	مقدس نژاد، فریدون، ۱۳۳۸ -
شناسه افزوده	دانشگاه علم و صنعت ایران
شناسه افزوده	Iran University of Science and Technology:
رده بندی کنگره	TF۲۰۰:
رده بندی دیویی	۶۲۵/۱:
شماره کتابشناسی ملی	۶۱۰۴۲۶۱:

- مرکز انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران - تهران - یک صندوق پستی ۱۶۸۴۶۱۳۱۱۴
- تلفن: ۷۷۲۴۰۴۲۵ - دورنویس: ۷۷۲۴۰۲۲۵
- فروشگاه: میدان رسالت - خیابان هنگام - خیابان دانشگاه - دانشگاه علم و صنعت
- پست الکترونیک: Publication@sun.iust.ac.ir



دانشگاه علم و صنعت ایران

نام کتاب: اصول و مبنای تحلیل و طراحی روسازی دال خط راه آهن
تألیف: دکتر سید جواد میرمحمدصادقی، دکتر امین خواجه دزفولی، دکتر فریدون مقدس نژاد
چاپ اول: ۱۳۹۸
شمارگان: ۵۰۰ جلد
قیمت: ۸۰۰۰۰۰ ریال
لیتوگرافی، چاپ و صحافی: مرکز انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران
* حق چاپ برای دانشگاه علم و صنعت ایران محفوظ است *

پیشگفتار

حمل و نقل ریلی بطور گسترده‌ای در حال توسعه در جهان و بخصوص در ایران است. این در حالیست که روشهای کلاسیک و جامعی برای طراحی خطوط ریلی در قالب کتب و گزارشات رسمی بطور کافی در دسترس نبوده و صنعت ریلی از کمبود استانداردها، روشهای مدون و کاربردی در قالب کتب آموزشی و اجرایی در زمینه طراحی خطوط ریلی رنج میبرد.

در راستار جوابگویی به نیاز صنعت، تلاشهای قابل ملاحظه‌ای در دو دهه اخیر در دانشکده مهندسی راه‌آهن دانشگاه علم و صنعت ایران در زمینه تدوین و طراحی خطوط ریلی صورت گرفته است. از جمله می‌توان به تدوین و تالیف کتاب "اصول و مبانی طراحی ریلی راه‌آهن" اشاره نمود که شامل الگوریتم و روشهای طرح هندسی خطوط، ایستگاه‌ها، تقاطع‌ها و انشعاب‌ها در راه‌آهن است. در همین راستا، در سال ۱۳۸۷ کتاب جامع "اصول و مبانی تحلیل و طراحی خطوط بالاستی راه‌آهن" توسط دانشگاه علم و صنعت ایران منتشر شد که به بطور کامل الگوریتم و روشهای طراحی روسازی بالاستی را آه‌ن تشریح می‌کند. این کتاب هم‌اکنون به عنوان یک مرجع درسی برای طراحی خطوط بالاستی راه‌آهن در دانشگاه‌های کشور و مبنایی برای طراحی در مهندسين مشاور مورد استفاده می‌باشد.

از آنجا که امروزه یکی از پرکاربردترین روسازی‌های راه‌آهن، روسازی دال بتنی می‌باشد (بخصوص در زمینه راه‌آهن سریع السیر)، تدریس مبانی طراحی روسازی صلب بتنی راه‌آهن در سال ۱۳۸۴ در فهرست دروس دوره کارشناسی ارشد مهندسی راه‌آهن در دانشگاه علم و صنعت ایران قرار گرفت. از آنجا که هنوز فلوچارت و یا الگوریتم جامع و مدونی جهت تحلیل و طراحی روسازی دال خط راه‌آهن در دسترس نبوده است، ایجاد یک منبع معتبر و جامع آموزشی ضروری به نظر می‌رسد. این ضرورت عاملی بود که دکتر میرمحمدصادقی را برآن داشت تا در طول بیش از یک‌دهه (۱۳۸۴-۱۳۹۷) کلیه مبانی طراحی روسازی صلب را (با الهام از روش طراحی روسازی بالاستی و تحقیقات گسترده سازمان آشتو و موسسه بتن آمریکا در زمینه روسازی‌های صلب راه‌ها) تدوین و در قالب یک جزوه آموزشی تالیف نماید. این جزوه در طی ۱۳ سال گذشته توسط دکتر میرمحمدصادقی در دانشگاه

علم و صنعت ایران در دوره های کارشناسی ارشد و دکتری راه آهن تدریس گردیده است. حضور پررنگ دکتر امین خواجه دزفولی در سالهای ۱۳۹۱ تا ۱۳۹۷ (ابتدا به عنوان کمک مدرس و سپس به عنوان همکار) تکمیل و تنظیم این جزوه درسی را در قالب یک کتاب جامع میسر کرد. نظرات و تکمله دکتر فریدون مقدس نژاد از منظر تطبیق مفاهیم کتاب با مبانی طراحی روسازی های صلب راه ها، اطمینان از صحت روش بکارگیری مبانی روسازی های صلب راه ها در روسازی های دال خط راه آهن را ایجاد نمود.

کتاب حاضر که به مباحث تحلیل و طراحی کلیه اجزای خطوط دال خط راه آهن می پردازد، تلاشی است جهت برطرف نمودن کمبودهای موجود در زمینه راه آهن در عرصه جهانی. در این کتاب سعی گردیده تا حد ممکن به کلیه استانداردها، آیین نامه های موجود در زمینه تحلیل و طراحی خطوط دال خط راه آهن توجه شده و ضوابط آن ها در کنار تئوریات و نتایج تحقیقاتی دو دهه اخیر در عرصه بین المللی، مورد استفاده قرار گیرد. این کتاب اگرچه با دید جامع و جهانی نوشته شده است، لیکن نگاه اساسی خود را به امکانات و مشخصات راه آهن ایران معطوف داشته و نتایج تحقیقاتی در دو دهه اخیر در ایران به دست آمده، مورد تاکید قرار گرفته است.

این کتاب در ۹ فصل تنظیم شده است. در فصل اول به عنوان مقدمه، ضمن بیان مفاهیم کلی در مورد خطوط دال خط راه آهن، روش مرور طراحی این خطوط به همراه الگوریتم مربوط به آن، ارائه شده است. در فصل دوم، انواع روسازی های مسطح موجود در نقاط مختلف جهان مرور شده و سعی گردیده است تا با ارایه مشخصات فنی و عمومی انواع روسازی های دال خط در نقاط مختلف جهان، خواننده با جزئیات و اجزای روسازی دال خط راه آهن آشنا گردد. در فصل سوم، انواع گروه های وارد بر روسازی دال خط راه آهن دسته بندی شده و روش های محاسبه هر یک تشریح گردیده است. فصل های چهارم تا نهم به ترتیب، مبانی تحلیل و طراحی ریل، مبانی تحلیل و طراحی سیستم اتصالات فوق ارتجاعی، تحلیل و طراحی دال بتنی، تحلیل و طراحی فرش ارتجاعی و تحلیل و طراحی بستر بتنی را شامل می شود. در پایان هر فصل سعی شده تا با حل مثال های مختلف، خواننده با جزئیات تحلیل و طراحی اجزای مختلف روسازی دال خط راه آهن آشنا گردد. همچنین تعدادی تمرین جهت سنجش توانایی خواننده و ارزیابی وی از آموخته های کتاب، در نظر گرفته شده است.

در تألیف کتاب سعی شده تا مفاهیم حتی المقدور روشن و دقیق ارائه گردد. با این حال مؤلفین از نظرات

تکمیلی و اصلاحی صاحب نظران سپاسگزار خواهند بود.

مؤلفین

زمستان ۱۳۹۸

فصل اول: کلیات

۱-۱- مقدمه	۳
۱-۲- ساختار سازه‌های روسازی دال خط راه‌آهن	۳
۱-۳- الگوریتم تحلیل و طراحی خطوط دال خط راه‌آهن	۵
۱-۴- آرایش مطالب کتاب	۹

فصل دوم: انواع روسازی دال خط از دیدگاه ساختار سازه‌ای و بهره‌برداری

۱-۲- مقدمه	۱۳
۱-۲-۱- طبقه‌بندی روسازی دال خط	۱۳
۱-۲-۲- سیستم‌های با تکیه‌گاه مجزا	۱۴
۱-۲-۲-۱- سیستم‌های دال خط	۱۴
۱-۲-۲-۲- سیستم‌های دال برآورس (دال - بلوک)	۲۰
۱-۲-۲-۳- سیستم‌های با تکیه‌گاه روستا	۲۴

فصل سوم: بارگذاری روسازی دال خط راه‌آهن

۱-۳- مقدمه	۳۱
۲-۳- بار قائم	۳۱
۳-۳- بار جانبی	۳۵
۱-۳-۳- نیروی جانبی ناشی از کمبود دور	۳۵
۲-۳-۳- نیروی جانبی ناشی از تغییر درجه حرارت ریل در محل قوس	۳۶
۴-۳- نیروی طولی	۳۸
۱-۴-۳- نیروی طولی ایجاد شده ناشی از تغییر درجه حرارت ریل	۳۸
۲-۴-۳- نیروی طولی ناشی از شتاب‌گیری قطار	۴۰
۳-۴-۳- نیروی طولی ناشی از شیب و فراز	۴۱
۴-۴-۳- نیروی طولی ناشی از مقاومت آیرودینامیک در مقابل حرکت قطار	۴۲
۵-۴-۳- نیروی طولی ناشی از اثرات قوس در مسیر	۴۳
مسائل نمونه	۴۴
تمرین‌های فصل	۶۱

فصل چهارم: تحلیل و طراحی ریل در روسازی دال خط راه‌آهن

۶۵	۱-۴- مقدمه
۶۷	۲-۴- تحلیل ریل
۶۸	۱-۲-۴- بارگذاری ریل
۶۸	۱-۱-۲-۴- بار قائم
۶۸	۲-۱-۲-۴- بار جانبی
۶۹	۳-۱-۲-۴- بار طولی
۷۰	۲-۲-۴- مدل نظری تحلیل ریل
۷۰	۱-۲-۲-۴- مدل نظری تیر بر روی بستر ارتجاعی
۷۵	۲-۲-۲-۴- مدل نظری تیر دو گانه بر روی بستر ارتجاعی
۷۹	۳-۲-۴- روش‌های تعیین مدول بستر ریل
۸۰	۱-۳-۲-۴- روش سیستم چند لایه‌ای
۸۳	۳-۲-۴- روش تعیین نامه راه‌آهن آمریکا
۸۴	۴-۲-۴- تحلیل نسبی دایمی ریل
۸۴	۱-۴-۲-۴- تنش در تاج ریل: تنش لهیدگی بین چرخ و ریل
۸۵	۲-۴-۲-۴- تنش در تاج ریل: تنش غلشی بین چرخ و ریل
۸۶	۳-۴-۲-۴- تنش در تاج ریل: تنش کششی
۸۷	۴-۴-۲-۴- تنش خمشی در مسطح ریل
۹۲	۵-۴-۲-۴- تنش طولی در مقطع ریل
۹۳	۶-۴-۲-۴- تنش پسماند در مقطع ریل
۹۳	۳-۴- طراحی ریل
۹۴	۱-۳-۴- معیارهای سازه‌ای (مقاومت و پایداری)
۹۴	۱-۱-۳-۴- کنترل تنش‌های لهیدگی، غلشی و برشی در تاج ریل
۹۵	۲-۱-۳-۴- کنترل تنش خمشی ریل
۹۶	۳-۱-۳-۴- کنترل تنش طولی ناشی از تغییر دمای ریل
۹۶	۴-۱-۳-۴- کنترل تنش پسماند ریل
۹۶	۲-۳-۴- معیارهای بهره‌برداری
۹۷	۱-۲-۳-۴- کنترل جابجایی قائم ریل
۹۷	۲-۲-۳-۴- کنترل جابجایی جانبی ریل
۹۸	۳-۲-۳-۴- کنترل جابجایی طولی ریل
۹۸	۴-۲-۳-۴- کنترل سایش ریل
۱۰۲	مسائل نمونه
۱۲۲	تمرین‌های فصل

فصل پنجم: تحلیل و طراحی سیستم اتصالات روسازی دال خط راه‌آهن

۱۲۷	۱-۵- مقدمه
۱۳۰	۲-۵- نیروهای وارد بر سیستم اتصالات فوق ارتجاعی
۱۳۰	۱-۲-۵- بار قائم
۱۳۱	۲-۲-۵- بار جانبی
۱۳۲	۳-۲-۵- بار طولی
۱۳۲	۳-۵- تحلیل سیستم اتصالات فوق ارتجاعی
۱۳۳	۱-۳-۵- تحلیل سیستم اتصالات فوق ارتجاعی ناشی از اعمال نیروی پیش فشردگی
۱۳۵	۲-۳-۵- تحلیل سیستم اتصالات فوق ارتجاعی ناشی از اعمال نیروی قطار
۱۳۵	۱-۲-۳-۵- تحلیل بخش تحتانی (بخش کاهنده ارتعاشات)
۱۳۷	۲-۲-۳-۵- تحلیل بخش فوقانی (بخش اتصالات ارتجاعی مرسوم)
۱۴۰	۴-۵- طراحی سیستم اتصالات فوق ارتجاعی
۱۴۱	۱-۴-۵- طراحی سر تحتانی (بخش کاهنده ارتعاشات)
۱۴۳	۴-۵- ۱- طراحی ارتعاشاتی بخش تحتانی (بخش کاهنده ارتعاشات)
۱۴۶	۴-۵- ۱-۱- طراحی سازه ای بخش تحتانی (بخش کاهنده ارتعاشات)
۱۵۰	۲-۴-۵- طراحی بخش فوقانی (بخش اتصالات ارتجاعی مرسوم)
۱۵۰	۱-۲-۴-۵- کنترل مقاومت بولی تأمین شده توسط بخش فوقانی
۱۵۳	۲-۲-۴-۵- کنترل تغییرمکان قائم پیر (تعیین نیروی پیش فشردگی فنر)
۱۵۴	۳-۲-۴-۵- کنترل زاویه پیش‌کش و محور طولی
۱۵۵	۴-۲-۴-۵- کنترل کرنش قائم صفحه لاستیکی زیر ریل (پد ارتجاعی زیر ریل)
۱۵۵	۵-۲-۴-۵- کنترل مقاومت جانبی بخش فوقانی سیستم اتصالات فوق ارتجاعی
۱۵۶	۶-۲-۴-۵- کنترل تنش کششی ایجاد شده در پیچ بخش فوقانی سیستم اتصالات فوق ارتجاعی
۱۵۷	مسائل نمونه
۱۸۶	تمرین‌های فصل

فصل ششم: تحلیل دال بتنی در روسازی دال خط راه‌آهن

۱۹۱	۱-۶- مقدمه
۱۹۲	۲-۶- تنش‌های ایجاد شده ناشی از اختلاف درجه حرارت لبه‌های بالا و پایین دال بتنی
۱۹۶	۳-۶- تنش و جابجایی‌های ایجاد شده در دال بتنی ناشی از عبور ناوگان
۱۹۶	۱-۳-۶- روش نیمه تجربی وسترگارد
	۱-۱-۳-۶- حداکثر تنش‌ها، جابجایی‌ها و لنگرهای ایجاد شده در دال بتنی ناشی از عبور یک
۱۹۶	محور ناوگان
۲۰۳	۲-۱-۳-۶- تنش‌ها، جابجایی‌ها و لنگرهای ایجاد شده در دال بتنی ناشی از عبور ناوگان

۲-۳-۶	روش نظری تیر دو گانه بر روی بستر ارتجاعی	۲۰۶
۴-۶	تنش‌های ایجاد شده ناشی از وجود اصطکاک بین دال خط بتنی معمولی و بستر آن	۲۱۱
۵-۶	شرایط خاص در تحلیل دال بتنی پیش‌تنیده	۲۱۲
	مسائل نمونه	۲۱۴
	تمرین‌های فصل	۲۴۷

فصل هفتم: طراحی دال بتنی در روسازی دال خط راه‌آهن

۱-۷	مقدمه	۲۵۳
۲-۷	طراحی دال بتنی قرار گرفته بر روی بستر سخت (دال بتنی معمولی)	۲۵۷
۱-۲-۷	تعیین ضخامت دال بتنی براساس معیار بهره‌برداری	۲۵۸
۷-۱-۱	تعیین ضخامت دال بتنی با کمک روش آیین‌نامه‌ای	۲۶۰
۷-۲-۱	تعیین ضخامت دال بتنی به کمک روش مکانیستیک کالیبره شده	۲۸۷
۲-۲-۷	کنترل ضخامت دال بتنی براساس معیار سازه‌ای	۳۰۶
۳-۲-۷	کنترل طول دال بتنی	۳۰۷
۷-۳-۲-۱	تأثیر من انحراف بر طول دال بتنی	۳۰۷
۷-۳-۲-۲	تأثیر فاصله درزهای عرضی بر طول دال بتنی	۳۰۸
۴-۲-۷	تعیین درصد میلگردهای حرارتی لازم	۳۰۹
۷-۴-۱-۲	تعیین درصد میلگردهای حرارتی لازم براساس کنترل تنش اصطکاکی	۳۱۰
۷-۴-۲-۲	تعیین درصد میلگردهای حرارتی لازم براساس روش آشتو	۳۱۰
۳-۷	طراحی دال بتنی قرار گرفته بر روی بستر نرم (دال بتنی مسلح)	۳۱۷
۱-۳-۷	کنترل معیارهای سازه‌ای	۳۲۰
۷-۱-۱-۳	تعیین درصد میلگردهای خمشی مورد نیاز	۳۲۰
۷-۳-۱-۲	کنترل تنش کششی ایجاد شده در میلگردها و تنش فشاری در بتن	۳۲۳
۷-۳-۱-۳	کنترل تنش قائم رسیده به بستر دال بتنی	۳۲۵
۷-۳-۲	کنترل معیارهای بهره‌برداری	۳۲۸
۷-۱-۲-۳	کنترل عمر خستگی بتن	۳۲۸
۷-۳-۲-۲	کنترل عمر خستگی میلگردهای خمشی	۳۳۱
۴-۷	ضوابط خاص در طراحی دال بتنی پیش‌تنیده	۳۳۳
	مسائل نمونه	۳۳۴
	تمرین‌های فصل	۳۹۳

فصل هشتم: تحلیل و طراحی لایه‌های ارتجاعی قرار گرفته در زیر دال خط

۱-۸	مقدمه	۴۰۱
-----	-------	-----

۴۰۳	۲-۸- مشخصات فنی و عمومی لایه‌های ارتجاعی
۴۰۴	۱-۲-۸- نحوه نامگذاری
۴۰۴	۲-۲-۸- تکنولوژی ساخت
۴۰۵	۳-۲-۸- ضخامت لایه ارتجاعی
۴۰۶	۴-۲-۸- تنش استاتیکی قابل تحمل لایه ارتجاعی
۴۰۶	۵-۲-۸- تنش دینامیکی قابل تحمل لایه ارتجاعی
۴۰۶	۶-۲-۸- فاکتور افت مکانیکی لایه ارتجاعی
۴۰۷	۷-۲-۸- ضریب شکل لایه ارتجاعی
۴۱۰	۸-۲-۸- مدول ارتجاعی استاتیکی لایه ارتجاعی
۴۱۰	۹-۲-۸- مدول ارتجاعی دینامیکی لایه ارتجاعی
۴۱۱	۱۰-۲-۸- تاثیر بار رفتار لایه ارتجاعی
۴۱۴	۱-۲-۸- بار لایه ارتجاعی در کشش
۴۱۴	۱۲-۲-۸- مدول بیش لایه ارتجاعی
۴۱۴	۱۳-۲-۸- منحن بار- تغییر مکان لایه ارتجاعی
۴۱۵	۱۴-۲-۸- منحنی تنش-تغییر مکان لایه ارتجاعی
۴۱۶	۳-۸- تحلیل لایه ارتجاعی قرار گرفته در زیر روسازی دال خط
۴۱۷	۱-۳-۸- تعیین تنش لهیدگی از روی شرایط استای قائم دال خط
۴۲۱	۲-۳-۸- تغییر شکل ایجاد شده در لایه ارتجاعی در راستای قائم دال خط
۴۲۳	۳-۳-۸- جابجایی ایجاد شده در لایه ارتجاعی در راستای جانبی دال خط
۴۲۴	۴-۸- طراحی لایه ارتجاعی
۴۲۶	۱-۴-۸- انتخاب نوع شناورسازی دال خط و خصوصیات لایه ارتجاعی
۴۲۶	۲-۴-۸- کنترل تنش لهیدگی لایه ارتجاعی
۴۲۷	۳-۴-۸- کنترل میزان کاهش ارتعاشات لایه ارتجاعی
۴۲۸	۱-۳-۴-۸- تعیین میزان کاهش ارتعاشات
۴۳۵	۲-۳-۴-۸- محاسبه میزان کاهش ارتعاشات لایه ارتجاعی
۴۴۱	۴-۴-۸- کنترل تغییر شکل قائم لایه ارتجاعی
۴۴۲	۵-۴-۸- کنترل تغییر شکل جانبی لایه ارتجاعی
۴۴۳	مسائل نمونه
۴۵۹	تمرین‌های فصل

فصل نهم: تحلیل و طراحی بستر بتنی روسازی دال خط راه‌آهن

۴۶۳	۱-۹- مقدمه
۴۶۵	۲-۹- بارگذاری بستر بتنی

۴۶۶	۱-۲-۹- عدم وجود لایه ارتجاعی میان دال بتنی و بستر بتنی
۴۶۷	۲-۲-۹- وجود لایه ارتجاعی میان دال و بستر بتنی
۴۶۸	۳-۹- تحلیل بستر بتنی
۴۶۸	۱-۳-۹- عدم وجود لایه ارتجاعی میان دال بتنی و بستر بتنی
۴۶۹	۱-۱-۳-۹- تعیین حداکثر لنگر خمشی بستر بتنی
۴۷۱	۲-۱-۳-۹- تعیین حداکثر تنش کششی میلگردها و حداکثر تنش فشاری بستر بتنی
۴۷۳	۳-۱-۳-۹- محاسبه تنش قائم رسیده به بستر بستر بتنی
۴۷۳	۴-۱-۳-۹- تقریب نمودار تنش خمشی تقریبی بستر بتنی ناشی از عبور یک محور
۴۷۴	۲-۳-۹- وجود لایه ارتجاعی میان دال بتنی و بستر بتنی
۴۷۵	۱-۲-۳-۹- تعیین حداکثر لنگر خمشی بستر بتنی
۴۷۵	۱-۲-۳-۹- تعیین حداکثر تنش کششی میلگردها و حداکثر تنش فشاری بستر بتنی
۴۷۷	۳-۱-۳-۹- محاسبه تنش قائم رسیده به بستر بستر بتنی
۴۷۷	۴-۱-۳-۹- تقریب نمودار تنش خمشی تقریبی بستر بتنی ناشی از عبور یک محور
۴۷۸	۴-۹- طراحی بستر بتنی
۴۷۸	۱-۴-۹- کنترل معیارهای زهاد طراحی بستر بتنی
۴۷۹	۲-۴-۹- کنترل معیارهای بهره‌رسانی طراحی بستر بتنی
۴۸۰	مسائل نمونه
۵۱۸	تمرین‌های فصل
۵۲۱	منابع و مراجع
۵۳۳	نمایه