

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

طراحی زیر ساخت، علائم و ارتباطات و سامانه های امنیتی در

## سیستم حمل و نقل ریلی

مؤلفین :

دکتر رضا مویدفر    مهندس مهدی رشیدی

تهران، ۱۳۹۵



انتشارات سها دانش

سرشناسنامه: موید فر ، رضا ، ۱۳۵۷  
عنوان و نام پدیدآورندگان: طراحی زیر ساخت، علائم وارتباطات و سامانه های امنیتی در سیستم حمل و نقل  
ریلی - رضا مویدفر(عضو هیات علمی دانشگاه اراک) - مهدی رشیدی(کارشناس ارشد حمل و نقل)  
مشخصات نشر: سپها دانش - ۱۳۹۵  
شناسه افزوده: رشیدی، مهدی، ۱۳۶۷  
شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۱۸۱-۱۷۰-۸  
مشخصات ظاهری: ۷۰۴ ص - وزیری  
موضوع: طراحی راه آهن  
رده بندی دیویی: ۳۸۵  
رده بندی کنگره: ۱۳۹۴ ط۸م/۱۰۳۱ HE  
کتابشناسی ملی: ۴۱۸۱۹۸۲

این اثر مشمول قانون حمایت مولفان و مصنفان و هنرمندان مصوب ۱۳۴۸ است هرکس تمام یا قسمتی از این اثر را بدون اجازه ناشر، نشر و یا پخش کند مورد پیگیری قانونی قرار خواهد گرفت.

تلفن و فکس : ۳-۶۶۵۶۹۸۸۱

۶۶۵۶۲۸۹۸ - ۶۶۵۶۳۱۷۷ - ۶۶۵۶۲۹۳۳

همراه : ۰۹۱۲۱۲۶۱۴۱۹



مرکز پخش : میدان انقلاب - اول کارگر جنوبی - کوچه رشتچی - روبروی دانشگاه علمی کاربردی - پلاک ۹

عنوان اصلی: ..... طراحی زیر ساخت، علائم وارتباطات و سامانه های امنیتی در سیستم حمل و نقل ریلی  
نویسنده ..... رضا مویدفر - مهدی رشیدی  
ناشر ..... انتشارات سپها دانش  
مدیر تولید و صفحه آرا ..... مهدی قرایی  
سال چاپ ..... ۱۳۹۶  
نوبت چاپ ..... اول  
تیراژ ..... ۲۰۰  
قیمت ..... ۵۰۰۰۰۰ ریال

ISBN: 978-600-181-170-8

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۱۸۱-۱۷۰-۸

فروشگاه اینترنتی شماره ۱ : [www.sohadanesh.ir](http://www.sohadanesh.ir)  
فروشگاه اینترنتی شماره ۲ : [www.books.eeshop.ir](http://www.books.eeshop.ir)

## فهرست مطالب

شماره صفحه

عنوان مطالب

|    |  |
|----|--|
| ۱۱ | پیشگفتار   |
| ۱۳ | فصل اول : نقش قطار سبک در انتقال نیشکر کشور مصر                          |
| ۱۴ | ۱: مقدمه   |
| ۱۷ | ۲: توسعه خطوط قطار سبک   |
| ۲۰ | ۳: المان‌های سیستم حمل و نقلی قطار سبک                                   |
| ۳۱ | ۴: بارگیری و عدم بارگیری واگن‌های قطار سبک                               |
| ۳۵ | ۵: مشکلات قطار سبک   |
| ۴۲ | ۶: ماندگاری سیستم حمل و نقل قطار سبک                                     |
| ۴۵ | ۷: قطار سبک در زمان آینده  |
| ۴۹ | فصل دوم : آنالیز مکان‌نگر سیستم راه‌آهن مادر شهر توکیو                   |
| ۵۰ | ۱: مقدمه   |
| ۵۹ | ۲: آنالیز سیستم خط آهن مادر شهر توکیو                                    |
| ۶۵ | ۳: پدیده‌های غیرخطی در جریان مسافر در سیستم خط آهن مادر شهر توکیو        |
| ۷۲ | ۴: «Tsubo» سیستم شبکه  |
| ۷۶ | ۵: نتیجه‌گیری  |
| ۷۶ | ۶: ضمیمه ۱ اصول ریاضی  |
| ۸۱ | ۷: ضمیمه ۲ تنوع پارامترهای مکان‌نگر در شبکه‌های خانواده                  |
| ۸۴ | ۸: ضمیمه ۳ چندحالتی بودن نامتوازن  |
| ۸۷ | ۹: ضمیمه ۴ مجموعه‌های شبکه خانواده به عنوان مرجع                         |
| ۹۱ | فصل سوم : خصوصی‌سازی در مقابل سرمایه‌گذاری عمومی در راه‌آهن کویر آناکاما |
|    | -تفسیر   |

|     |  |
|-----|--|
| ۹۲  | ۱ : مقدمه  |
| ۹۷  | ۲ : ظهور غول راه آهن کویر آتاکاما: آنتوفاگاستا و شرکت بولیوی راه آهن Ltd     |
|     | ۳ : خطوط راه آهن نیترات El Toco, Aguas Blancas و بخش های Talta؛              |
| ۱۰۶ | منافع شخصی   |
| ۱۱۰ | ۴ : راه آهن طولی شمالی؛ دخالت دولت   |
| ۱۱۲ | ۵ : راه آهن آنتوفاگاستا- سالتا: از ابتکار عمل شهروندی تا bi-state concretion |
| ۱۱۷ | <b>فصل چهارم : رقابت و ثبات در خطوط راه آهن</b>                              |
| ۱۱۸ | ۱: مقدمه   |
| ۱۲۰ | ۲ : موقعیت یابی خط آهن   |
| ۱۲۴ | ۳ : تطبیق سازی خط آهن؛ نمونه تحقیقی  |
| ۱۳۸ | ۴ : یافته ها   |
| ۱۵۵ | ۵ : چالش در تثبیت موقعیت ریل   |
| ۱۵۸ | ۶ : تحقیقات آتی  |
| ۱۵۹ | ۷ : نتیجه گیری   |
| ۱۶۱ | <b>فصل پنجم : تجزیه و تحلیل حرکتی و ساختاری قطار مگلو</b>                    |
| ۱۶۲ | ۱: مقدمه   |
| ۱۶۲ | ۲ : ساختار قطارهای مگلو  |
| ۱۶۸ | ۳: مشخصات حرکتی قطارهای مگلو EMS   |
| ۱۷۱ | ۴ : مدل حرکتی و تحلیل قطارهای مگلو (z.s. zhao and c. ren, 2009)              |
| ۱۸۱ | ۵ : نتیجه گیری   |
| ۱۸۲ | ۶ : تحلیل حرکتی سیستم توقف ثانویه قطارهای مگلو                               |
| ۱۸۹ | ۷ : تحقیق بر روی مکانیزم ها و حرکات بوژی های مگلو                            |
| ۱۹۵ | ۸: جنبه هایی برای ساختار و تحلیل حرکتی قطارهای مگلو                          |
| ۱۹۹ | <b>فصل ششم : قطارهای Maglev</b>  |

|     |   |
|-----|---|
| ۲۰۰ | ۱: مقدمه  |
| ۲۰۳ | ۲: وسایط نقلیه  |
| ۲۰۹ | ۳: شیار هدایت‌کننده   |
| ۲۳۸ | ۴: ایستگاه  |
| ۲۴۱ | ۵: عملیات   |
| ۲۴۹ | ۶: ایمنی و ارزیابی ریسک   |
| ۲۵۸ | ۷: مقایسه فنی HSR , maglev  |
| ۲۷۳ | ۸: نتیجه‌گیری   |
| ۲۷۷ | <b>فصل هفتم: مدل‌سازی سیستم نیرو در سیستم‌های</b>                     |
| ۲۷۸ | ۱: مقدمه  |
| ۲۷۹ | ۲: تخمین تقاضای انرژی سیستم‌های الکتریکی                              |
| ۲۸۰ | ۳: مدل مصرف سوخت یک قطار شهری   |
| ۲۸۱ | ۴: نیروی خالص جابه‌جایی قطار  |
| ۲۸۳ | ۵: برآورد متغیرهای دینامیک  |
| ۲۸۳ | ۶: تخمین مصرف انرژی   |
| ۲۸۴ | ۷: مدل شبیه‌سازی  |
| ۲۸۸ | ۸: تعیین محل قرارگیری و اندازه رکتیفایرهای تعویضی در سیستم‌های ریلی   |
| ۲۸۸ | ۹: تعویض قطعات جابه‌جایی  |
| ۲۸۹ | ۱۰: مسائل بهینه‌سازی  |
| ۲۹۱ | ۱۱: محدودیت‌های فنی   |
| ۲۹۳ | ۱۲: مطالعه موردی  |
| ۲۹۴ | ۱۳: اثرات کیفیت انرژی سیستم‌های حمل و نقل ریلی شهری بر توزیع سیستم‌ها |
| ۲۹۴ | ۱۴: پدیده کیفیت انرژی و مولفه‌های الکتریکی سیستم ریلی                 |
| ۲۹۵ | ۱۵: تحلیل اعوجاج هارمونیک   |

|     |  |
|-----|--|
| ۲۹۵ | ۱۶ : مدل احتمالی   |
| ۲۹۸ | ۱۷ : روش تخصیص فیلتر انرژی فعال  |
| ۳۰۰ | ۱۸ : مکان‌یابی مناسب برای سیستم‌های ریلی شهری                                  |
| ۳۰۲ | ۱۹ : عمومی کردن مدل در EMRTS   |
| ۳۰۲ | ۲۰ : ارائه الگوریتم مدل مکان‌یابی DC   |
| ۳۰۵ | ۲۱ : جمع‌بندی  |
|     | <b>فصل هشتم : مدل بهینه‌سازی شده آخرین اطلاعات از یک پل راه‌آهن با بیشترین</b> |
| ۳۰۷ | <b>دقت در شبیه‌سازی‌های بار متحرک</b>  |
| ۳۰۸ | ۱: مقدمه   |
| ۳۱۰ | ۲ : بهینه‌سازی مدل FE  |
| ۳۱۴ | ۳: آزمایش محک‌زنی  |
| ۳۱۵ | ۴ : مطالعه موردی   |
| ۳۲۷ | ۵ : نتایج مطالعه و بحث   |
| ۳۳۷ | ۶ : نتایج  |
|     | <b>فصل نهم : کنترل و شبیه‌سازی توسط توان الکتریکی جریان‌های سرگردان</b>        |
| ۳۳۹ | <b>DC در راه‌آهن با توجه به اثرات جریان</b>                                    |
| ۳۴۰ | ۱: مقدمه   |
| ۳۴۲ | ۲ : یک introduction از خط ۴ متروی تهران  |
| ۳۴۶ | ۳: مدل‌سازی جریان سرگردان کنونی  |
| ۳۴۸ | ۴ : مدل‌سازی خط و تعیین پارامترها  |
| ۳۵۲ | ۵ : نتایج شبیه‌سازی و تحلیل  |
| ۳۷۶ | ۶ : نتیجه‌گیری   |
| ۳۷۷ | <b>فصل دهم : مدل‌سازی ماشین سلولی سیستم حمل و نقل مسافر</b>                    |
| ۳۷۸ | ۱: مقدمه   |
| ۳۸۰ | ۲ : نمودارهای بنیادی و ماشین سلولی اتفاقی                                      |
| ۳۸۶ | ۳: مدل حمل و نقل عمومی برای سیستم مسیر اتوبوس                                  |

|     |   |
|-----|---|
| ۳۹۴ | ۴ : مدل حمل و نقل عمومی برای شبکه مترو توکیو  |
| ۴۰۴ | ۵ : نتیجه‌گیری  |
| ۴۰۷ | فصل یازدهم : شبیه‌سازی‌های بازی برای خطوط ریلی؛ درس‌های آموخته شده از مدل‌سازی شش بازی برای مدیریت زیرساخت هلند |
| ۴۰۸ | ۱: مقدمه  |
| ۴۰۹ | ۲: تعریف مسئله  |
| ۴۱۱ | ۳: شبیه‌سازی بازی برای نوآوری فرآیند  |
| ۴۱۳ | ۴: چالش‌های مدل‌سازی در شبیه‌سازی بازی برای خطوط ریلی   |
| ۴۱۷ | ۵: مدل‌سازی شبیه‌سازی‌های بازی برای پروژه‌های نوآوری در راه‌آهن   |
| ۴۲۹ | ۶: چالش‌های روش‌شناختی  |
| ۴۳۱ | ۷: نتیجه‌گیری   |
|     | فصل دوازدهم : کاربرد روش‌های شبیه‌سازی سه‌بعدی در فرآیند ایجاد گرما در راه‌آهن                                  |
| ۴۳۳ | ۱: مقدمه  |
| ۴۳۴ | ۲: روش‌های کنونی ایجاد گرما در قطعات  |
| ۴۳۵ | ۳: مقایسه استفاده از روش‌های گرمایش در حال و گذشته  |
| ۴۴۰ | ۴: معیارهای مورد نظر در مقابل حرارت   |
| ۴۴۳ | ۵: نتیجه‌گیری   |
| ۴۵۴ | فصل سیزدهم : تحلیل EMC (سازگاری الکترومغناطیسی) مدل‌سازی و جنبه‌های محاسباتی ایستگاه‌های انرژی راه‌آهن (ریلی)   |
| ۴۵۵ | ۱: مقدمه  |
| ۴۵۶ | ۲: منابع EMI در سیستم راه‌آهن   |
| ۴۴۵ | ۳: زیرساخت‌های توان ریلی  |
| ۴۶۰ |   |

|     |  |
|-----|--|
| ۴۶۰ | ۴ : مشکل EMC (سازگاری الکترومغناطیسی) در راه آهن |
| ۴۶۲ | ۵ : ایستگاه تجهیز توان                           |
| ۴۶۳ | ۶ : مدل فرکانس بالای ترانسفورماتور (تبدیل گر)    |
| ۴۶۸ | ۷ : تعیین عناصر مختلف از مدل ترانسفورماتور       |
| ۴۷۳ | ۸ : بررسی خصوصیات ترانسفورماتور در حوزه فرکانس   |
| ۴۷۳ | ۹ : بررسی خصوصیات در حوزه زمان                   |
| ۴۷۷ | ۱۰ : میزکار آزمون (کاربرد آزمایش)                |
| ۴۷۹ | ۱۱ : نتیجه                                       |

#### فصل چهاردهم : معیار بهینه سازی طراحی ساختار خاکریزی

|     |  |
|-----|--|
| ۴۸۱ | ۱ : مقدمه  |
| ۴۸۲ | ۲ : پایه ی تئوریک رفتار خاکریز - ساختار            |
| ۴۸۴ | ۳ : هدف فصل  |
| ۴۸۶ | ۴ : توصیف مدل عددی و فرضیات اساسی                  |
| ۴۹۶ | ۵ : نتایج حاصله از مدل سازی؛ ارائه و آنالیز بحرانی |
| ۵۰۱ | ۶ : توصیه های طرح پیشنهادی                         |
| ۵۰۶ | ۷ : نتایج  |

#### فصل پانزدهم : تاثیر سطح ایستایی آب بر پایداری

|     |                |
|-----|----------------|
| ۵۰۸ | ۱ : مقدمه      |
| ۵۱۰ | ۲ : روش شناسی  |
| ۵۱۹ | ۳ : نتایج      |
| ۵۲۷ | ۴ : نتیجه گیری |

#### فصل شانزدهم : الگوریتم های ارزیابی در اسباب و لوازم هوشمند جاسازی شده با

|     |   |
|-----|---|
| ۵۳۱ | استفاده از هدایت ماهواره ای برای حمل و نقل راه آهنی |
| ۵۳۲ | ۱ : مقدمه   |



|     |   |
|-----|---|
| ۵۳۳ | ۲: فرمول بندی مسئله   |
| ۵۳۷ | ۳: ساختار سیستم هدف یافته برای وظایف ایمنی راه آهن                |
| ۵۴۰ | ۴: روش های ریاضیاتی برای حل مسئله                                 |
| ۵۴۸ | ۵: ارزیابی الگوریتم ها برای راه حل مسئله                          |
| ۵۵۳ | ۶: آزمایشات کامپیوتری   |
| ۵۶۲ | ۷: آزمایش پیش نمونه در شرایط واقعی                                |
| ۵۶۴ | ۸: نتیجه گیری   |
| ۵۶۵ | <b>فصل هفدهم: بررسی و طراحی دستگاه فنی الکتریکی برای امنیت در</b> |
| ۵۶۶ | ۱: مقدمه  |
| ۵۶۹ | ۲: دستگاه پیشنهادی  |
| ۵۷۲ | ۳: روش مدل سازی   |
| ۵۸۲ | ۴: سازه آزمایشی   |
| ۵۸۶ | ۵: نتایج  |
| ۵۹۷ | ۶: نتیجه گیری   |
| ۵۹۹ | <b>فصل هجدهم: اصول کلی تقویت پل های ریلی</b>                      |
| ۶۰۰ | ۱: مقدمه  |
| ۶۰۲ | ۲: وضعیت فنی پل های موجود   |
| ۶۱۰ | ۳: مشخصات مواد  |
| ۶۲۰ | ۴: مفهوم تحقیق (تمرین) حاضر                                       |
| ۶۲۴ | ۵: مطالعات موردی  |
| ۶۴۱ | ۶: نتیجه گیری   |
| ۶۴۳ | <b>فصل نوزدهم: تکنیک های انفجاری مخصوص تونل برای</b>              |

|     |  |
|-----|--|
| ۶۴۴ | ۱: مقدمه   |
| ۶۴۵ | ۲: مکانیسم‌های انفجار  |
| ۶۴۶ | ۳: پارامترهای موثر بر نتایج حاصل از انفجار تونل                                |
| ۶۴۶ | ۴: مدل‌هایی برای پیش‌بینی نتایج حاصل از انفجار تونل                            |
| ۶۴۷ | ۵: خرابی صخره‌ها   |
| ۶۵۰ | ۶: انفجار کانتور   |
| ۶۵۴ | ۷: تکنیک‌های مخصوص انفجار تونل   |
| ۶۶۵ | ۸: دستگاه بندآورنده‌ی شنی برای سوراخ‌های انفجاری افقی                          |
| ۶۶۶ | ۹: طراحی انفجار با مساعدت کامپیوتر   |
| ۶۷۲ | ۱۰: نتیجه‌گیری   |
| ۶۷۵ | <b>فصل بیستم: آمادگی انتقال‌های GSM-R به محیط راه‌آهن الکترومغناطیسی پروژه</b> |
| ۶۷۶ | ۱: مقدمه   |
| ۶۷۷ | ۲: نقطه نظرات کلی  |
| ۶۸۰ | ۳: مدیریت و سیگنال‌دهی شبکه‌ی راه‌آهن اروپا                                    |
| ۶۸۲ | ۴: کنترل انتشار تشعشعات EM در راه‌آهن  |
| ۶۸۵ | ۵: ایمنی EM تجهیزات و سیستم‌های راه‌آهن  |
| ۶۸۶ | ۶: سیستم ارتباطی GSM-R   |
| ۶۸۸ | ۷: منابع نویز EM موثر بر سیگنال‌های GSM-R                                      |
| ۶۹۳ | ۸: تست امنیتی سیگنال‌های GSM-R در آزمایشگاه                                    |
| ۶۹۸ | ۹: نتایج حاصل از تست‌های ایمنی EM بر انتقال‌های GSM-R                          |
| ۷۰۳ | ۱۰: نتیجه‌گیری   |

## پیش‌گفتار

سیستم‌های حمل و نقل ریلی یکی از فن‌آوری‌های پیشرفته در جوامع محسوب می‌شوند. از سال‌های اولیه شکل‌گیری این فن‌آوری (۱۶۰۰ میلادی) یعنی آن زمانی که برای حمل زغالسنگ از معادن مورد استفاده قرار می‌گرفت، تلاش‌های وسیعی به‌منظور پیشرفت و توسعه این سیستم انجام گرفته است. یکی از نقاط عطف در پیشرفت این فن‌آوری اختراع لکوموتیو بخار بوده است. ولیکن توسعه سفرهای تجاری و انبوه نزدیک به ۲۰۰ سال بعد از شکل‌گیری این سیستم آغاز گردید. درحال حاضر قطارهای برقی سریع‌السير دارای بهره‌وری بسیار بالاتری نسبت به سیستم‌های سنتی (لکوموتیوهای دیزلی و بخار) می‌باشند. قطارهای برقی سریع‌السير دارای نسبت قدرت موتور به وزن بالاتر، نرخ شتابگیری سریعتر و تلاش کششی بیشتر در شیب‌های طولانی خاص می‌باشند. از دیگر مزیت‌های این نوع از سیستم‌های حمل و نقل ریلی می‌توان به آلودگی صوتی کمتر، پایین بودن هزینه‌های نگهداری، کاهش مصرف سوخت و اثرات زیست‌محیطی اشاره نمود. تنها عیب اصلی این سیستم، هزینه بالای برقی کردن خطوط بسته به فاصله مابین محور خطوط رفت و برگشت و حجم ترافیک بار و مسافر در خطوط تحت بهره‌برداری می‌باشند. در حقیقت می‌توان گفت پیشرفت و توسعه سیستم‌های حمل و نقل ریلی باید همزمان با توسعه سایر بخش‌های سیستم اعم از زیرساختها، علائم و ارتباطات و سیستم‌های امنیتی باشد.

در این کتاب، ابتدا مقدمه‌ای درخصوص بررسی انواع سیستم‌های ریلی در برخی از کشورهای جهان، برخی از جزئیات مدلسازی و طراحی زیرساخت‌های حمل و نقل ریلی و درنهایت نحوه اجرای روش‌های سیگنالینگ (علائم و ارتباطات)، پروتکل‌های امنیتی و ... ارائه گردیده است. کتاب پیش‌رو به‌طور کلی به ۳ بخش تقسیم‌بندی گردیده است. بخش اول شامل ۶ فصل درخصوص روند توسعه سیستم‌های حمل و نقل ریلی در کشورهای مختلف اعم از پیشرفته و درحال توسعه، بخش دوم شامل ۷ فصل درخصوص مسائل مربوط به ایمنی و قابلیت اطمینان در حمل و نقل ریلی و بخش سوم مشتمل بر ۷ فصل درمورد تدوین سناریوهای توسعه‌ای به‌منظور دستیابی به اهداف ایمنی و قابلیت اطمینان می‌باشد. امیدواریم این کتاب بتواند تا اندازه‌ای نیازهای مهندسان، طراحان، محققین و شرکتهای مشاور را در ارتباط با مسائل مربوط به طراحی زیرساختها، علائم و ارتباطات، سیستم‌های امنیتی در حمل و نقل ریلی و ... مرتفع نماید.

رضا مؤیدفر

مهدی رشیدی

زمستان ۱۳۹۴