



مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی



جمهوری اسلامی ایران

وزارت راه و شهرسازی

بررسی رفتار مصالح سرباره فولاد به عنوان بالاست و زیربالاست خطوط ریلی تحت شرایط بارگذاری دینامیکی و مونوتونیک

مجری:

عطاء آقایی آرابی

شماره نشر: گ- ۹۶۶

چاپ اول: ۱۴۰۰

سرشناسه	: آقای آرائی، عطاء، ۱۳۵۶ -
عنوان و نام پدیدآور	: بررسی رفتار مصالح سرباره فولاد به عنوان بالاست و زیربالات خطوط ریلی تحت شرایط بارگذاری دینامیکی و مونوتونیک / مجری عطاء آقای آرائی.
مشخصات نشر	: مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی ۱۴۰۰.
مشخصات ظاهری	: ۶۰۰ ص.
فروست	: مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، شماره نشر: گ-۹۶۶
شابک	: ۹۷۸-۶۰۰-۱۱۳-۳۷۵-۶
وضعیت فهرستویی	: فیا
یادداشت	: کتابنامه
موضوع	: سرباره فولادی
موضوع	: Steel slag*
موضوع	: سرباره فولادی -- آزمایش‌ها
موضوع	: Steel slag -- Testing*
موضوع	: راهسازی -- ایران -- مصالح -- آزمایش
موضوع	: Road materials -- Iran -- Testing
موضوع	: راه‌آهن -- ایران -- مهندسی
موضوع	: Railroad engineering-- Iran
شناسه افزوده	: مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی
شناسه افزوده	: Road, Housing and Urban Development Research Center
رده بندی کنگره	: TE۲۰۵
رده بندی دیویی	: ۶۲۵/۸۵
شماره کتابشناسی ملی	: ۷۰۷۱۳۷
وضعیت رکورد	: فیا

www.ketab.ir



مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

نام کتاب: بررسی رفتار مصالح سرباره فولاد به عنوان بالاست و زیربالات خطوط ریلی تحت شرایط بارگذاری دینامیکی و مونوتونیک

مجری: عطاء آقای آرائی

شماره نشر: گ-۹۶۶

ناشر: مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

نوبت چاپ: اول

تیراژ: ۲۰۰ جلد

قطع: وزیری

لیتوگرافی، چاپ و صحافی: اداره انتشارات و چاپ مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

قیمت: ۱۲۵۰۰۰۰ ریال

ISBN: 978-600-113-375-6

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۱۱۳-۳۷۵-۶

مسئولیت صحت دیدگاه‌های علمی بر عهده نگارندگان محترم می‌باشد.
کلیه حقوق چاپ و انتشار اثر برای مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی محفوظ است.

نشانی ناشر: تهران، بزرگراه شیخ فضل ... نوری، روبروی فاز ۲ شهرک فرهنگیان، خیابان نارگل، خیابان شهید علی مروی، خیابان حکمت صندوق پستی: ۱۳۱۴۵-۱۶۹۶ تلفن: ۸۸۲۵۵۹۴۲-۶ دورنگار: ۸۸۳۸۴۱۳۲
پست الکترونیکی: pub@bhrc.ac.ir فروش الکترونیکی: http://pub.bhrc.ac.ir

سخن مرکز

کشورمان ایران، برای تسریع در توسعه یافتگی نیازمند سیستم حمل و نقل ریلی به علت امکان دستیابی به سرعت‌های بالا (قابل رقابت با حمل و نقل هوایی)، افزایش ظرفیت حمل بار و مسافر، ایمنی و آلودگی زیست محیطی اندک می‌باشد. برای بیش از صدسال، طراحی خطوط راه‌آهن عملاً بدون تغییر باقیمانده است هرچند که ظرفیت حمل و سرعت هم برای قطارهای مسافری و باربری افزایش یافته است. اساساً قطار راه‌آهن دارای یک پی لایه‌ای شامل زیربالاست یا لایه بالایی روی سازند خاکی، مصالح متوسط دانه‌ای (معمولاً از قطعات سنگ شکسته سخت بالاستی) بالای مصالح زیربالاست می‌باشد. از طرفی دسترسی به مصالح طبیعی همیشه امکان‌پذیر نیست و در بعضی مناطق، منابع قرضه سنگی محدود بوده و تولید آنها خسارت جبران‌ناپذیری به محیط زیست وارد خواهد کرد. از این رو یافتن جایگزینی مناسب برای مصالح طبیعی الزامی به نظر می‌رسد. یکی از مصالحی که در سالهای اخیر مورد توجه قرار گرفته است، سرباره‌های فولاد می‌باشد. در این راستا شناخت رفتار، تحلیل و طراحی لایه‌های بالاست و زیربالاست خصوصاً از جنس سرباره کنورتور کارخانه فولاد (به علت مشکلات زیست محیطی حاصل از انباشت آن در محیط) از طریق انجام آزمایش‌های مختلف از پیش نیازهای اساسی دستیابی به این هدف مهم می‌باشد. با توجه به مشکلات نشست، لرزش انتقالی به محیط اطراف و هزینه‌های سرسام‌آور تمویض بالاست‌ها، شناخت رفتار نمونه‌های مختلف آنها تحت بارهای مختلف خصوصاً در تنش‌های محدودکننده پایین، فرکانس بارگذاری مناسب و تنش‌های تفاضلی مختلف ضروری می‌باشد. مقایسه رفتار مصالح بالاست BOF با بالاست معمول آهکی و دیگر سرباره‌ها از جمله مصالح EAF از دیگر اهداف این تحقیق است. با توجه به فراهم‌بودن دستگاه سه‌محوری قطر بزرگ در مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، امکان انجام آزمایش‌های مونوتونیک و سیکلی مختلف روی مصالح دانه‌ای و شنی در کشور فراهم شده است. لذا با توجه به نیاز ملی، انجام پروژه با عنوان "بررسی رفتار مصالح سرباره ذوب آهن به عنوان بالاست و زیربالاست خطوط ریلی تحت شرایط بارگذاری دینامیکی و مونوتونیک" در دستور کار قرار گرفت. از نتایج این آزمایش‌ها و مطالعات می‌توان به عنوان راهنمایی در طراحی آزمایش‌های تکمیلی آتی برای انواع مصالح مشابه بهره گرفت. امید است با انجام مطالعات بیشتر روی مصالح یاد شده، دانش و آگاهی در زمینه بهبود رفتار و عملکرد آنها افزایش یابد.

علیرضا قاری‌قران

مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
سخن مرکز	ا
فهرست مطالب	ب
پیشگفتار مجری	ط
چکیده	ر
مقدمه	س
۱- مشخصات روسازی های راه آهن	۱
۱-۱-۱ مشخصات لایه های بالاست و زیر بالاست	۴
۲- پارامترهای موثر بر طبقه بندی خطوط راه آهن	۵
۱-۲-۱ طبقه بندی براساس بار محوری	۶
۲-۲-۱ طبقه بندی بر اساس بار ترافیکی	۶
۳-۲-۱ طبقه بندی بر اساس کاربرد و عملکرد	۷
۴-۲-۱ طبقه بندی بر اساس کیفیت و وضعیت فیزیکی	۸
۵-۲-۱ طبقه بندی بر اساس سرعت	۸
۳-۱ نیروهای وارد بر خطوط راه آهن	۸
۱-۳-۱ نیروهای قائم وارده	۹
۲-۳-۱ ضربه ضربه دینامیکی	۱۱
۳-۳-۱ سختی و مدول بستر ریل	۱۵
۱-۳-۳-۱ تخمین مدول بستر ریل بر اساس مدل هرمی	۱۶
۴-۳-۱ ضربه واکنش بستر	۲۱
۵-۳-۱ توزیع بار قائم چرخ بر روی تراورس ها	۲۴
۶-۳-۱ فشار تماسی بین تراورس و بالاست	۲۵
۱-۶-۳-۱ فشار تماسی بین تراورس چوبی و بالاست	۳۰
۲-۶-۳-۱ فشار تماسی بین تراورس بتنی و بالاست	۳۰
۳-۶-۳-۱ متوسط فشار بالاست در وجه تراورس به روش AREMA	۳۱
۷-۳-۱ توزیع تنش عمودی در لایه های بالاست و زیربالات به روش Talbot	۳۱
۸-۳-۱ بارهای افقی	۳۲
۹-۳-۱ بار جانبی وارد بر محل نشیمن گاه ریل بر روی تراورس	۳۳
۱۰-۳-۱ مقاومت جانبی بالاست	۳۳
۱-۱۰-۳-۱ تحت بار ضربه ای تراورسهای بتنی، چوبی و فولادی	۳۴
۲-۱۰-۳-۱ مخلوط آسفالتی گرم	۳۵

- ۴-۱ ضوابط خاص تراورس در خطوط راه آهن سریع السیر ۳۵
- ۵-۱ مشخصات مصالح مصرفی بالاست و زیربالات ۳۷
- ۱-۵-۱ محدوده دانه بندی مصالح بالاست ۳۷
- ۲-۵-۱ محدوده دانه بندی مصالح زیربالات ۴۰
- ۳-۵-۱ آزمایش کنترل کیفیت و معیار پذیرش مصالح بالاست ۴۳
- ۱-۳-۵-۱ مقاومت در برابر یخبندان ۴۴
- ۲-۳-۵-۱ آزمایش سلامت مصالح ۴۵
- ۳-۳-۵-۱ آزمایش های سایش ۴۵
- ۱-۳-۳-۵-۱ آزمایش سایش میل ۴۵
- ۲-۳-۳-۵-۱ آزمایش سایش دوال ۴۷
- ۳-۳-۳-۵-۱ آزمایش سایش میکرو دوال ۴۸
- ۵-۵-۱ آزمایش های کنترل کیفیت و معیارهای پذیرش مصالح زیربالات ۵۰
- ۵-۵-۱ زهکشی بالاست ۵۱
- ۶-۵-۱ ضخامت لایه بالاست ۵۲
- ۱-۶-۵-۱ محاسبه ضخامت بالاست و زیر بالاست به روش AREMA ۵۳
- ۷-۵-۱ نشست خط راه آهن بالاستی ۵۴
- ۱-۷-۵-۱ کنترل جابه جایی قائم ریل ۵۶
- ۸-۵-۱ تنظیم خط ۵۸
- ۶-۱ کاربرد ژنوستتیک ها در خطوط راه آهن ۵۸
- ۱-۷-۱ رفتار بالاست تحت اثر بار مونوتونیک ۶۰
- ۱-۱-۷-۱ مدول الاستیسیته اولیه و نسبت پواسن تحت بار مونوتونیک ۶۳
- ۲-۱-۷-۱ رفتار مونوتونیک بالاست نازه و بازیافتی ۶۴
- ۳-۱-۷-۱ رفتار پسا سیکلی بالاست/زیربالات ۶۴
- ۴-۱-۷-۱ رفتار بالاست در حالت بحرانی ۶۵
- ۵-۱-۷-۱ شکست دانه ها و فاکتور شکست ۶۵
- ۲-۷-۱ رفتار بالاست تحت اثر بارگذاری سیکلی ۶۵
- ۱-۲-۷-۱ مشخصات کرنش ۶۹
- ۱-۱-۲-۷-۱ نتایج فاکتور شکست مارشال برای آزمایش جعبه بالاست ۶۹
- ۲-۲-۷-۱ اثر تنش محدود کننده ۷۱
- ۳-۲-۷-۱ اثر اندازه دانه ها ۷۳
- ۴-۲-۷-۱ اثر تاریخچه بارگذاری ۷۶
- ۶-۲-۷-۱ اثر فرکانس بارگذاری تغییرشکلهای دائمی و زایل شدگی بالاست ۷۹
- ۱-۶-۲-۷-۱ اثر فرکانس بارگذاری تنش های دینامیکی ۸۴

- ۸۴-۱-۲-۲-۲-۲ اثر فرکانس بارگذاری شکست دانه ها ۸۴
- ۸۵-۱-۲-۲-۷ دامنه بارگذاری ۸۵
- ۸۶-۱-۲-۲-۷-۱ تعیین حداکثر تنش قابل اعمال در آزمایش سیکلی ۸۶
- ۹۰-۱-۲-۷-۸ رفتار خستگی مصالح بالاست و زیر بالاست ۹۰
- ۹۱-۱-۲-۷-۹ زایل شدگی دانه ای ۹۱
- ۹۱-۱-۲-۷-۸ رفتار بالاست با و بدون ژنوستیکها در جعبه بالاست و سه محوری ۹۱
- ۹۴-۱-۸-۱ محل مناسب قرار گیری ۹۴
- ۹۷-۱-۸-۲ نسبت اندازه سوراخ ژنوگرید به اندازه اسمی دانه ها ۹۷
- ۹۸-۱-۸-۳ مزایای استفاده ژنوکمپوزیت ۹۸
- ۹۹-۱-۸-۴ اثر شکل ژنوگرید بر رفتار زیربالاست ۹۹
- ۹۹-۱-۹-۱ کثیفی بالاست ۹۹
- ۱۰۱-۱-۹-۱ نسبت کثیفی نسبی بالاست (R_{b-f}) ۱۰۱
- ۱۰۲-۱-۹-۲ تخمین عمر بالاست ۱۰۲
- ۱۰۳-۱-۹-۳ مدول برشی بالاست کثیف شده با ذغال و ماسه رسदार ۱۰۳
- ۱۰۴-۱-۱۰-۱ مدول برجهندگی تحت بارگذاری تکواری ۱۰۴
- ۱۰۶-۱-۱۰-۱ مطالعه اثر دانه بندی بر مدول برجهندگی ۱۰۶
- ۱۱۲-۱-۱۱-۱ رفتار بالاست تعمیری به روش سنگ پاشی ۱۱۲
- ۱۱۳-۱-۱۱-۱ آزمایشهای مونوتونیک ۱۱۳
- ۱۱۴-۱-۱۱-۲ آزمایشهای بارگذاری سیکلی ۱۱۴
- ۱۱۷-۱-۱۱-۳ رفتار پساسیکلی مونوتونیک ۱۱۷
- ۱۱۹-۱-۱۲ بررسی صحرایی طرح جعبه بالاست فلزی **Gehring** و همکاران ۱۱۹
- ۱۲۲-۱-۱۲-۱ بررسی آزمایشگاهی طرح جعبه بالاست فلزی **Gehring** و همکاران ۱۲۲
- ۱۲۵-۱-۱۳ موارد استفاده از سرباره فولاد به عنوان بالاست و زیربالاست ۱۲۵
- ۱۲۵-۱-۱۳-۱ مشخصات سرباره فولاد ۱۲۵
- ۱۲۷-۱-۱۳-۲ مقاومت الکتریکی ۱۲۷
- ۱۲۸-۱-۱۳-۳ مشخصات سایشی سرباره فولاد ۱۲۸
- ۱۲۸-۱-۱۳-۴ فرایند تولید کارخانه ذوب آهن اصفهان ۱۲۸
- ۱۲۸-۱-۱۳-۵ مقاومت جانبی بالاست EAF و آهکی با استفاده از اندازه گیری صحرایی ۱۲۸
- ۱۳۱-۱-۱۳-۶ مقایسه توزیع بارعمودی زیر تراورس مستقر روی بالاست EAF و آهک ۱۳۱
- ۱۳۴-۱-۱۴ رفتار بالاست معمول مخلوط با خرده لاستیک و کثیف با ماسه بادی ۱۳۴
- ۱۳۵-۱-۱۵ رفتار مخلوط بالاست سرباره، ذغال و خرده لاستیک ۱۳۵
- ۱۳۷-۱-۱۶ بهبود عملکرد بالاست با استفاده از بالشتک ضربه گیر ۱۳۷
- ۱۴۰-۱-۱۶-۱ شرایط بارگذاری ضربه ای ۱۴۰

۱۴۰.....	۱-۱۶-۲ نتایج بارگذاری ضربه ای.....
۱۴۴.....	۱-۱۶-۳ پارامترهای مدل سازی عددی.....
۱۴۵.....	۱-۱۶-۴ ضریب میرایی رالی.....
۱۴۷.....	۱-۱۶-۳ اثرات بالشتک ضربه بر رفتار سیکلی خط بالاست در جعبه بالاست.....
۱۴۸.....	۱-۱۶-۳ رفتار تغییر شکل محوری و حجمی.....
۱۴۹.....	۱-۱۶-۳ رفتار میرایی و مدول برجهندگی.....
۱۵۰.....	۱-۱۶-۳ شکست دانه ها.....
۱۵۰.....	۱-۱۶-۴ تنش عمودی.....
۱۵۲.....	۱-۱۶-۵ ضریب ضربه دینامیکی.....
۱۵۲.....	۱-۱۶-۶ محل مناسب نصب بالشتک ضربه.....
۱۵۳.....	۱۷-۱ نتایج صحرایی بکارگیری ژئوگرید و ژئوکمپوزیت در خطوط بالستی روی بسترهای مختلف.....
۱۵۶.....	۱-۱۷-۱ تنشهای عمودی و ضریب ضربه دینامیکی.....
۱۵۷.....	۱-۱۷-۲ مدول دینامیکی خط.....
۱۶۱.....	۱-۱۷-۳ شکست بالاست.....
۱۶۲.....	۱۸-۱ جابجایی، سرعت و شتاب در اطراف خطوط بالستی.....
۱۶۳.....	۱-۱۸-۱ مدل سازی خط و خاکریز با تمرکز بر کاهیدگی سرعت.....
۱۶۵.....	۱-۱۸-۲ روش مدل سازی بالاست.....
۱۶۵.....	۱-۱۸-۳ تخمین فرکانس و شتاب.....
۱۶۷.....	۱-۱۸-۴ طول موج بوزی.....
۱۶۹.....	۱-۱۸-۵ دامنه سرعت دانه هادر اثر عبور قطار.....
۱۷۱.....	۱-۱۸-۶ پاسخ دینامیکی خاکریز در اندرکنش با روسازی.....
۱۷۴.....	۱۹-۱ تعیین تنشهای محدود کننده و تفاضلی براساس اندازه گیری صحرایی.....
۱۷۷.....	۲۰-۱ تعیین تعداد سیکل بارگذاری و تنش محدود برای دوره بهره برداری.....
۱۷۸.....	۲۱-۱ مدل سازی رفتار تنش-کرنش-تغییر حجم بالاست.....
۱۷۸.....	۲۲-۱ نتیجه گیری.....
۱۸۳.....	فصل دوم: آزمایش های آزمایشگاهی.....
۱۸۳.....	۱-۲ مقدمه.....
۱۸۳.....	۲-۲ دستگاه سه محوری سیکلی قطربزرگ و قابلیت های آن.....
۱۸۶.....	۱-۲-۲ اعمال تنش محدود کننده و غرقاب نمونه ها در دستگاه سه محوری مورد استفاده.....
۱۸۶.....	۲-۲-۲ بررسی میزان دقت اندازه گیری در کرنش های کوچک.....
۱۹۳.....	۳-۲ نتایج آزمایش های اولیه زیربالست و بالاست های سرباره ای.....
۲۰۰.....	۴-۲ آزمایش های اندازه گیری مدول و میرایی.....
۲۰۰.....	۱-۴-۲ نتایج آزمایشها روی نمونه آزمایشی.....

۲۰۱	۲-۴-۲ نتایج آزمایشهای اندازه گیری مدول و میرایی
۲۰۷	۲-۴-۲-۱ نتایج آزمایشها روی بالاست BOF تک لایه
۲۱۶	۲-۴-۲-۲ نتایج آزمایشها روی زیربالات BOF تک لایه
۲۲۵	۲-۴-۲-۳ نتایج آزمایشها روی بالاست EAF تک لایه
۲۳۶	۲-۴-۲-۴ نتایج آزمایشها روی بالاست/زیربالات BOF
۲۶۰	۲-۴-۲-۵ نتایج آزمایشها روی بالاست+ژئوگرید (B)/زیربالات BOF
۲۷۶	۲-۴-۲-۶ نتایج آزمایشها روی بالاست/زیربالات+ژئوگرید (B) BOF
۲۹۲	۲-۴-۲-۷ نتایج آزمایشها روی نمونه شامل ژئوگریدها، بالاست (B)/زیربالات BOF (W)
۳۱۷	۲-۴-۲-۸ نتایج آزمایشها روی نمونه بالاست/زیربالات BOF تحت $\sigma'_3 = 0.1 \text{ kg/cm}^2$
	۲-۴-۲-۹ نتایج آزمایشهای نمونه ژئوگریدها، بالاست (B)/زیربالات BOF (W) تحت kg/cm^2
۳۴۲	$\sigma'_3 = 0.1$
	۲-۴-۲-۱۰ نتایج آزمایشهای نمونه تسلیح شده با ژئوگریدها، بالاست (B)/زیربالات BOF (W)
۳۵۵	تحت $\sigma'_3 = 0.1 \text{ kg/cm}^2$
۳۶۳	۲-۴-۲-۱۱ نتایج آزمایشهای نمونه با دانه مرطوب با سطح خشک بالاست/زیربالات BOF
۳۷۲	۲-۴-۲-۱۲ نتایج آزمایشها روی بالاست آهکی تک لایه
۳۸۶	۲-۴-۲-۱۳ نتایج آزمایشها روی بالاست ۱/۴ خرد شده لاستیک/زیربالات BOF
۳۹۹	۵-۲ جمع بندی
۴۰۱	فصل سوم : نتایج آزمایشهای سیکلی مقاومتی
۴۰۱	۱-۳ مقدمه
۴۰۱	۲-۳ برنامه آزمایشها
۴۰۴	۲-۳-۱ نتایج آزمایشها روی نمونه آزمایشی
۴۰۶	۲-۳-۲ نتایج آزمایشها روی نمونه شماره ۲
۴۱۰	۲-۳-۳ نتایج آزمایشها روی نمونه شماره ۳
۴۱۴	۲-۳-۴ نتایج آزمایشها روی نمونه شماره ۴
۴۱۸	۲-۳-۵ نتایج آزمایشها روی نمونه شماره ۵
۴۲۲	۲-۳-۶ نتایج آزمایشها روی نمونه شماره ۶
۴۲۶	۲-۳-۷ نتایج آزمایشها روی نمونه شماره ۷
۴۳۰	۲-۳-۸ نتایج آزمایشها روی نمونه شماره ۸
۴۳۴	۲-۳-۹ نتایج آزمایشها روی نمونه شماره ۹
۴۳۸	۲-۳-۱۰ نتایج آزمایشها روی نمونه شماره ۱۰
۴۴۲	۲-۳-۱۱ نتایج آزمایشها روی نمونه شماره ۱۱
۴۴۶	۲-۳-۱۲ نتایج آزمایشها روی نمونه شماره ۱۲
۴۵۰	۲-۳-۱۳ نتایج آزمایشها روی نمونه شماره ۱۳

۴۵۴.....	۱۴-۲-۳ نتایج آزمایشها روی نمونه شماره ۱۴.....
۴۵۸.....	۱۵-۲-۳ نتایج آزمایشها روی نمونه شماره ۱۵.....
۴۶۱.....	۱۶-۲-۳ نتایج آزمایشها روی نمونه شماره ۱۶.....
۴۶۵.....	۱۷-۲-۳ نتایج آزمایشها روی نمونه شماره ۱۷.....
۴۶۹.....	۱۸-۲-۳ نتایج آزمایشها روی نمونه شماره ۱۸.....
۴۷۳.....	۱۹-۲-۳ نتایج آزمایشها روی نمونه شماره ۱۹.....
۴۷۷.....	۲۰-۲-۳ نتایج آزمایشها روی نمونه شماره ۲۰.....
۴۸۱.....	۳-۳ جمع بندی.....
۴۸۳.....	فصل چهارم: نتایج آزمایشهای مونوتونیک پسا سیکلی.....
۴۸۳.....	۱-۴ مقدمه.....
۴۸۳.....	۲-۴ برنامه آزمایشها و نتایج.....
۴۸۳.....	۱-۲-۴ نتایج آزمایشهای نمونه شماره ۱.....
۴۸۵.....	۲-۲-۴ نتایج آزمایشهای نمونه شماره ۲.....
۴۸۷.....	۳-۲-۴ نتایج آزمایشهای نمونه شماره ۳.....
۴۸۸.....	۴-۲-۴ نتایج آزمایشهای نمونه شماره ۴.....
۴۹۰.....	۵-۲-۴ نتایج آزمایشهای نمونه های شماره ۵ و ۶.....
۴۹۱.....	۶-۲-۴ نتایج آزمایشهای نمونه شماره ۷.....
۴۹۳.....	۷-۲-۴ نتایج آزمایشهای نمونه شماره ۸.....
۴۹۴.....	۸-۲-۴ نتایج آزمایشهای نمونه شماره ۹.....
۴۹۵.....	۹-۲-۴ نتایج آزمایشهای نمونه شماره ۱۰.....
۴۹۶.....	۱۰-۲-۴ نتایج آزمایشهای نمونه شماره ۱۱.....
۴۹۷.....	۱۱-۲-۴ نتایج آزمایشهای نمونه شماره ۱۲.....
۴۹۸.....	۱۲-۲-۴ نتایج آزمایشهای نمونه شماره ۱۳.....
۴۹۹.....	۱۳-۲-۴ نتایج آزمایشهای نمونه شماره ۱۴.....
۵۰۰.....	۱۴-۲-۴ نتایج آزمایشهای نمونه شماره ۱۷.....
۵۰۲.....	۱۵-۲-۴ نتایج آزمایشهای نمونه شماره ۱۸.....
۵۰۳.....	۱۶-۲-۴ نتایج آزمایشهای نمونه شماره ۱۹.....
۵۰۵.....	۱۷-۲-۴ نتایج آزمایشهای نمونه شماره ۲۰.....
۵۰۷.....	۳-۴ جمع بندی.....
۵۰۹.....	فصل پنجم: تجزیه و تحلیل نتایج.....
۵۰۹.....	۱-۵ مقدمه.....
۵۰۹.....	۲-۵ مدول برجهندگی تحت کرنشهای کوچک و بزرگ.....
۵۱۶.....	۳-۵ نسبت میرایی تحت کرنشهای کوچک و بزرگ.....

۵-۴	مدول برجستگی، میرایی و جایجایی قائم تحت تعداد سیکل‌های زیاد	۵۲۲
۵-۵	رفتار تنش تفاضلی/جایجایی محوری تجمعی-کرنش محوری	۵۳۰
	فصل ششم : جمع بندی و نتیجه گیری	۵۴۳
۱-۶	جمع بندی ادبیات فنی	۵۴۳
۲-۶	جمع بندی نتایج آزمایشها	۵۵۷
۳-۶	نتیجه گیری	۵۷۹
۴-۶	پیشنهادهات	۵۸۶
	منابع و مأخذ	۵۸۷

پیشگفتار مجری

امکان سنجی استفاده و بررسی رفتار سرباره های فولاد تحت بارهای دینامیک و مونوتونیک پساایکلی برای کاربرد به عنوان مصالح خاکریزهای مهندسی راه، بالاست و زیربلاست راه آهن از جمله اهدافی است که این تحقیق دنبال شده است. روش انجام انواع آزمایشهای مورد نیاز و معیارهای پذیرش طبق استانداردهای بین المللی برای سرباره های کارخانه های داخلی مورد مطالعه، بررسی شده است. امید است با مطالعات بیشتر و تهیه راهنما و دستورالعملهای لازم الاجرای کشور، زمینه ورود استفاده از سرباره های فولاد به فهرست بهاء راه، باند و ابنیه کشور، استفاده از سرباره ها به عنوان یک محصول جانبی قابل رقابت با مصالح طبیعی در کشور فراهم شود.

چکیده

در این تحقیق آخرین پیشرفتهای علمی با تمرکز بر رفتار مصالح سرباره ای به عنوان بالاست و زیربالات خطوط ریلی تحت بارگذاری دینامیکی و مونوتونیک بررسی می شود. آزمایشها با دستگاه سه محوری قطر بزرگ با قطر ۳۰cm و ۶۰cm ارتفاع انجام شد. آزمایشهای مونوتونیک تحت سرعت ۰/۵ mm/min انجام شده است. مقادیر زاویه اصطکاک مونوتونیک پساسیکلی لایه بالاست، بالاست/زیربالات همراه با ژنوگرید و خرده لاستیک بین ۵۷° تا ۶۵° متغیر است. نمونه ها تحت غیرهمسانی (σ'_3/σ'_1) از ۲/۷ تا ۱۴/۳۳ برای $\sigma'_3 = ۰/۳ \text{ kg/cm}^2$ و غیرهمسانی ۱/۸۳ تا ۷/۷ برای $\sigma'_3 = ۰/۶ \text{ kg/cm}^2$ قرار گرفتند. فرکانس بارگذاری ۲، ۵ و ۱۰Hz و تعداد سیکل بارگذاری بین ۲۵۰۰۰ تا ۵۰۰۰۰۰ می باشد. در مصالح بالاست BOF تک لایه تحت فرکانس ۱۰Hz و ۵Hz به ترتیب تمام و بخش عمده ای از نشست محوری بعد از قطع بارگذاری برگشت پذیر می باشد. مقادیر نشست قائم نمونه بالاست/زیربالات سرباره های BOF و EAF برای ۵۰۰۰۰۰ سیکل بارگذاری در محدوده اندازه گیری شده ۱۰ تا ۲۵ mm برای خطوط بالاستی دیگر کشورها قرار دارد. وجود لایه های ژنوگرید در لایه های بالاست و زیربالات، تعداد سیکل نظیر جابجایی محوری ناگهانی و تحمل بار سیکلی تحت غیرهمسانی بیشتر را نسبت به نمونه مشابه بدون ژنوگریدها بیشتر می کند. لذا زمان تعمیر و نگهداری را برای کرنش مشابه به نسبت ۱۸۰۰۰۰ به ۱۲۰۰۰۰ کاهش می دهد. افزایش ناگهانی تغییر شکل محوری برای نمونه بالاست/زیربالات بعد کرنش ۱۰٪ مشاهده شده که قابل مقایسه با مقادیر نمونه ژنوگرید در لایه بالاست (۶/۷٪) و ژنوگرید در لایه زیربالات (۳/۳٪) می باشد. اثر لایه ژنوگرید در کاهش نشست لایه ها خصوصاً در غیرهمسانی های کم در مقایسه با لایه های بدون ژنوگرید مشهود است. برای حالت تسلیح تک لایه، بهتر است ژنوگرید در پایین لایه بالاست قرار داده شود. تا تنش متوسط ۱ و $۱/۷ \text{ kg/cm}^2$ به ترتیب تحت σ'_3 برابر ۰/۳ و $۰/۶ \text{ kg/cm}^2$ ، مقادیر مدول برجهندگی افزایشی و سپس مقدار مدول تقریباً ثابت است. با افزایش غیرهمسانی تا تنش متوسط حدود $۱/۶ \text{ kg/cm}^2$ مقادیر نسبت میرایی حداکثر ثابت و یا دارای روند کاهشی بسیار جزئی است و سپس با افزایش تنش متوسط، مقادیر نسبت میرایی افزایش می یابد. مقادیر مدول برجهندگی در کرنشهای کوچک در برابر تنش متوسط مصالح BOF تک لایه زیربالات بیش از مقادیر نظیر بالاست می باشد. مقادیر مدول

برجهندگی حداکثر در کرنشهای کوچک بالاست EAF به طور متوسط کمتر از مقادیر نظیر BOF می باشد. مقادیر متوسط مدول برجهندگی حداکثر مصالح سنگ آهک در سطح تنشهای محدود کننده کم و در حالت همسان بیش از مقادیر مصالح BOF و EAF می باشد. اما با افزایش غیرهمسانی مقادیر به هم نزدیک می شود. مقادیر مدول و نسبت میرایی بالاست BOF به ترتیب کمتر و بیشتر از مقادیر نظیر زیربالاست BOF می باشد. مقادیر مدول برشی بالاست EAF بیش از مقادیر نظیر BOF می باشد. مصالح BOF دارای بیشترین و مصالح آهک دارای کمترین مقدار نسبت میرایی می باشد. در تعداد سیکل برابر، میزان جابجایی محوری بالاست آهکی کمتر از مقادیر نظیر بالاست BOF و EAF است، اما مقادیر مدول برجهندگی بالاست آهکی کمتر از مقادیر نظیر بالاست BOF اما بیشتر از مقادیر نظیر بالاست EAF است. در کل تفاوت فاحشی بین رفتار بالاست BOF و بالاست آهکی وجود ندارد. هرچند فاکتور شکست مارشال بالاست آهکی تقریباً نصف مقادیر نظیر بالاست BOF می باشد. استفاده از مخلوط BOF با خرده لاستیک به عنوان بالاست خصوصاً تحت تنشهای مخلوط کننده کم توصیه نمی شود. استفاده از BOF به عنوان زیربالاست با توجه به سختی زیاد باعث شکست دو برابری دانه های بالاست می شود. حساسیت رفتار مصالح EAF به تنشهای سیکلی بالا و نشست های شدید، انتخاب آن به عنوان مصالح بالاست مناسب را مشکل می کند. بعلاوه مصالح EAF با توجه به مدول زیاد، آسیب بیشتری به تراورسها و روسازه در مقایسه با مصالح معمول وارد می کند. افزایش فرکانس باعث افزایش میرایی و مدول می شود. تفاوت چندانی بین مدول و میرایی تحت شکل موجهای مختلف برای فرکانسهای بیش از ۲۰ هرتز وجود ندارد. افزایش رطوبت اندکی سبب کاهش مدول می شود.

کلید واژه ها: بالاست، زیربالاست، سرباره فولاد، BOF، EAF، سنگ آهک، سه محوری، فرکانس، نسبت میرایی، مدول برشی، نشست، مدول برجهندگی، مونوتونیک پسا سیکلی، شکست، ژئوگرید، خرده لاستیک.

مقدمه

قطعات سنگ شکسته (بالاست) یکی از مصالح معمول مورد استفاده در ساخت راه آهن می باشد. بالاست ها مرتباً تحت بارگذاری بزرگ استاتیکی و دینامیکی و همچنین تحت تغییرات محیطی قرار دارند. از جنبه های بسیار مهم موثر بر پایداری و عملکرد مهندسی سازه راه آهن، تعیین درست شرایط محلی و همچنین رفتار بالاست در دراز مدت می باشد. در حال حاضر با توجه به نیاز خطوط راه آهن کشورمان به افزایش سرعت، وزن و حتی طول قطارها، بررسی دقیق رفتار بالاست ها و شناخت رفتار نمونه های مختلف آنها تحت بارهای دینامیکی و مونوتونیک با توجه به مشکلات نشست، لرزش های ایجاد شده و همچنین هزینه های تعویض بالاست ها، ضروری می باشد. برای انجام آزمایش های دینامیکی روی مصالح بالاست، در انتخاب تنش های محدودکننده، تنش های تفاضلی اعمالی و فرکانس بارگذاری رویه های مختلفی توسط محققین دنبال می شود. از سرباره ذوب آهن و سرباره های فولاد هم به عنوان بالاست و زیربالاست در خطوط ریلی دنیا استفاده می شود. با توجه به فراهم بودن دستگاه سه محوری قطر بزرگ در مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، امکان انجام آزمایش های مونوتونیک و دینامیکی مختلف روی مصالح دانه ای و شنی در کشور فراهم شده است. لذا با توجه به نیاز ملی و همچنین سابقه قبلی در سال ۱۳۸۸، انجام و ابلاغ این تحقیق با عنوان "بررسی رفتار مصالح سرباره های فولاد به عنوان بالاست و زیربالاست خطوط ریلی تحت شرایط بارگذاری دینامیکی و مونوتونیک" از سال ۱۳۹۲، در دستور کار قرار گرفت. پس ابلاغ پروژه و پیشرفت ۳۰٪ اولیه، متأسفانه به علت انجام تعمیرات دوره ای دستگاه سه محوری، انتقال آن به سوله جدید بخش و همچنین لزوم اتمام هرچه سریعتر پروژه های درآمدی مرتبط با دستگاه، ادامه انجام آزمایشها به بعد سال ۱۳۹۵ موکول شد. براساس اطلاعات نگارنده در کشورمان هیچ آزمایش سه محوری دینامیکی حتی روی مصالح معمول مورد استفاده در خطوط ریلی کشور (مصالح بالاست سنگ آهکی) انجام نشده است. لذا مقایسه رفتار بالاست سرباره ای (BOF و EAF) با مصالح مورد استفاده فعلی (بالاست

سنگ آهکی) از نظر شناخت محدودیت‌ها و محل کاربرد مناسب با توجه به آزمایش‌های مکانیک خاک، میزان نشست و مقدار مدول برجهندگی در دراز مدت تحت بارهای دینامیکی در شرایط خشک و غرقاب به صورت تک لایه و دولایه از اهداف این تحقیق می‌باشد. اثرات ژنوگرید بر رفتار مصالح از جنبه‌های مختلف مدول، میرایی و نشست نمونه بالاست/زیربالات بررسی خواهد شد. آزمایش‌هایی روی مصالح بالاست سرباره مخلوط با خرده لاستیک جهت درک بهتر رفتار آنها و همچنین امکان استفاده از آنها انجام خواهد شد. در پایان با انجام آزمایش مونوتونیک پساسیکلی و اندازه‌گیری میزان شکست دانه‌ها، مقایسه‌ای بین مصالح مختلف صورت خواهد گرفت. از نتایج این تحقیق می‌توان در طرح آزمایش‌های روی بالاست و زیربالات، امکان استفاده از مصالح سرباره‌ای به عنوان بالاست و زیربالات استفاده کرد. ساختار این تحقیق به شرح زیر است:

فصل اول به بررسی ادبیات فنی موضوع می‌پردازد. در فصل دوم به جمع‌آوری و انجام آزمایش‌های اولیه مکانیک خاک شامل برش مستقیم بزرگ مقیاس، سایش، شاخص بار نقطه‌ای، آزمایش‌های شیمیایی، دوام و کیفیت روی مصالح بالاست سرباره‌ای، سنگ آهکی پرداخته شده و در پایان فصل نتایج آزمایش‌های تعیین مدول برشی و میرایی مصالح بالاست و زیربالات سرباره‌های فولاد و آهک ارائه خواهد شد. فصل سوم به آزمایش‌های سیکلی مقاومتی مصالح بالاست، زیربالات، بالاست/زیربالات با و بدون تسلیح‌کننده می‌پردازد. نتایج آزمایش‌های سیکلی با تعداد تکرار زیاد روی مخلوط بالاست و خرده لاستیک هم در این فصل ارائه می‌شود. فصل چهارم: آزمایش‌های مونوتونیک پساسیکلی مصالح بالاست و زیربالات سرباره فولاد و آهک ارائه می‌شود. فاکتور شکست دانه‌ها، مقادیر زاویه اصطکاک در این فصل ارائه می‌شود. در فصل پنجم تجزیه و تحلیل نتایج ارائه خواهد شد. در فصل ششم جمع‌بندی و نتیجه‌گیری و نتیجه‌گیری و پیشنهادات ارائه خواهد شد.