

# بررسی آزمایشگاهی مقاومت خزشی ریل با چهار نوع پابند تراورس بتنی

## خط ریلی بالاستی

جبار علی ذاکری\*، استاد، دانشکده مهندسی راه آهن، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران  
کاوه یوسفیان، دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی راه آهن، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

\*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: Zakeri@iust.ac.ir

دریافت: 1396/06/23 – پذیرش: 1396/12/15

صفحه 165-173

### چکیده

پابند به عنوان یکی از اجزای مهم روسازی خط ریلی بالاستی، نقش بسزایی در تامین ایمنی خطوط ریلی دارد. امروزه استفاده از سیستم‌های مختلف اتصال ریل به تراورس به منظور ارتقای سطح عملکرد خطوط ریلی رواج بسیار یافته است. با توجه به تنوع سیستم پابندها، ارزیابی عملکرد سیستم اتصالات ریل به تراورس در طراحی و ساخت خطوط ریلی بسیار حائز اهمیت است. در سیستم‌های ارتجاعی اتصالات ریل به تراورس، تغییر شکل به وجود آمده در پابندها هنگام حرکت قطار، پس از باربرداری به حالت اولیه خود باز می‌گردد. بنابراین خاصیت الاستیک این پابندها عملکرد بهتری را برای خطوط ریلی فراهم می‌نماید که این موضوع باعث می‌شود از پابندهای ارتجاعی در راه آهن‌های سریع‌السیار و باری با بار محوری بالا استفاده شود. در این مقاله به منظور بررسی عملکرد سیستم اتصالات ریل به تراورس و تغییر شکل‌های خزشی به وجود آمده در آن‌ها، مقاومت خزشی ریل با استفاده از انجام آزمایش مقاومت طولی پابند، مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است. مقاومت خزشی ریل تغییر مکان ریل نسبت به تراورس تحت بارگذاری طولی می‌باشد. به این منظور، با ایجاد تکیه‌گاه صلب برای تراورس، ریل در راستای محور خود به صورت طولی تحت بارگذاری قرار داده شده و مقادیر نیرو و تغییر مکان نظیر آن ثبت گردیده است. آزمایش مقاومت طولی بر روی پابندهای پاندول *e-Clip* و سلو، *K* و *KS* در شرایط یکسان انجام شده است. مشخص شد که پابند پاندول *e-Clip* بیشترین مقاومت طولی و کمترین کرنش پسماند را دارد و همچنین بیشترین تغییر شکل ماندگار را پابند صلب *K* از خود نشان داد.

واژه‌های کلیدی: راه آهن، سیستم اتصالات ریل به تراورس، مقاومت طولی پابند، مقاومت خزشی ریل

### 1- مقدمه

(Selig and Waters, 1994). سیستم پابند می‌بایست به گونه‌ای طراحی شود تا نیروهای اعمالی از ریل را به اندازه مناسب و به طور ایمن به تراورس منتقل کند. یکی از وظایف اصلی پابند نگه داشتن طولی ریل و یا در واقع کنترل خزش ریل

اتصال ریل به تراورس در خطوط ریلی توسط پابندها صورت می‌گیرد. مهم‌ترین نقش و وظیفه سیستم اتصال ریل به تراورس، ثابت نگه داشتن ریل بر روی تراورس‌ها و جلوگیری از حرکت و جابجایی طولی، عرضی و دورانی آن می‌باشد

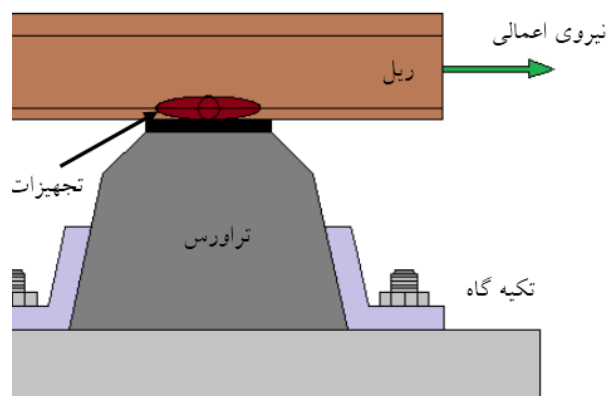
می‌باشد. خزش تغییر مکان ریل تحت اثر بار بعد از مدت زمان طولانی می‌باشد. مقاومت خزشی ریل یکی از پارامترهای تأثیرگذار بر عملکرد و ایمنی خطوط ریلی بالاستی است. دلایل اصلی ایجاد خزش را می‌توان انقباض و انبساط حرارتی ریل، عبور ترافیک و اعمال نیروهای طولی ناشی از کشش و ترمز و درز ریل نامناسب، بیان کرد (Ole, 2008, Esveld, 2001). پارامترهای زیادی چون نیروی گیرداری پابند، ضریب اصطکاک پد و ریل، ضریب اصطکاک پد و تراورس، تغییر شکل برشی پد تراورس و ادوات ضد خزش و اندرکنش مکانیکی بین پد تراورس و ادوات ضد سایش بر میزان خزش ریل تأثیر گذارند (Rhodes and Coats, 2008). در صورتی که پدیده خزش در ریل کنترل نشود و خزش‌های نامتقارن و ناشناخته در خط به وجود آید، خط دچار کمانش و یا انحراف عرضی از راستای خود می‌شود (موحدی، 1393). کمانش‌های ضعیف خود منجر به افزایش هزینه‌های ناشی از تعمیر و نگهداری، تاخیر در عبور و مرور و کاهش حاشیه اطمینان می‌گردد و در کمانش‌های بزرگ نیز خطر خروج از خط افزایش پیدا می‌کند (Ole, 2008). از طرفی در خطوط جوشکاری پیوسته به منظور جلوگیری از کمانش، جلوگیری از حرکت ریل تحت بار ترافیک، محافظت از ادوات متحرک خط چون سوزن‌ها و تقاطعات و همچنین محدود نمودن نیروی طولی منتقل شده به پل‌ها، می‌بایست خزش ریل کنترل شود (Rhodes and Coats, 2008). در یک تست میدانی آقای زین کریستین آل با پایش یک نقطه ثابت از ریل در طول یک بازه زمانی معین خزش ریل را پایش و انواع خزش به وجود آمده در خط را شناسایی و بررسی نمود (Ole, 2008). با توجه به مطالعات قبلی بررسی شده تاکنون مقاومت خزشی پابندهای مختلف بررسی و مقایسه نگردیده است لذا با توجه به اهمیت پدیده خزش در خطوط ریلی بالاستی، در این مقاله خزش ریل با استفاده از آزمایش مقاومت طولی سیستم اتصالات ریل به تراورس مطالعه شده است. آزمایش مقاومت طولی پابند بر روی انواع مختلف و مرسوم پابندهای خطوط ریلی بالاستی انجام شد. به همین منظور 4 نوع پابند KS، K، پاندرول e-Clip و وسلو با فنر SKL14 که بیشترین کاربرد در راه‌آهن ایران را دارند، مورد مطالعه قرار گرفته است. برای انجام آزمایش مقاومت طولی ابتدا

روشی انتخاب شد که تراورس در طول بارگذاری ریل کاملاً صلب و بی‌حرکت بماند و سپس ریل در راستای طولی مورد بارگذاری قرار گرفته و مقادیر نیرو و جابجایی متناظر ثبت شده است. پس از حذف بار نیز مقادیر کرنش طولی باقی‌مانده در اتصالات با اندازه‌گیری تغییر مکان ریل مشخص گردید. بارگذاری به صورت پیوسته با حداکثر ظرفیت 2 تن صورت گرفت و مقادیر نیرو به ازای هر 0/5 میلی‌متر تغییر مکان ثبت شده است.

## 2- مقاومت طولی پابند

در راستای اندازه‌گیری و بررسی مقاومت خزشی ریل، آزمایشی تحت عنوان آزمایش سنجش مقاومت طولی سیستم اتصالات ریل به تراورس که اصول کلی آن در تمامی آیین‌نامه‌ها، تقریباً مشابه یکدیگر می‌باشد، در نظر گرفته شده است. در این آزمایش یک قطعه ریل به طول تقریبی 60 سانتی‌متر در راستای طولی خود تحت بار کششی قرار می‌گیرد. این قطعه ریل توسط یک نوع سیستم اتصالات ریل مشخص، بر روی تراورس نصب و مقید شده و خود تراورس نیز به صورت کاملاً صلب به تکیه‌گاه متصل شده است. در طول آزمایش، با اعمال بارگذاری، جابجایی طولی ریل نسبت به تراورس به‌طور مستمر اندازه‌گیری می‌شود.

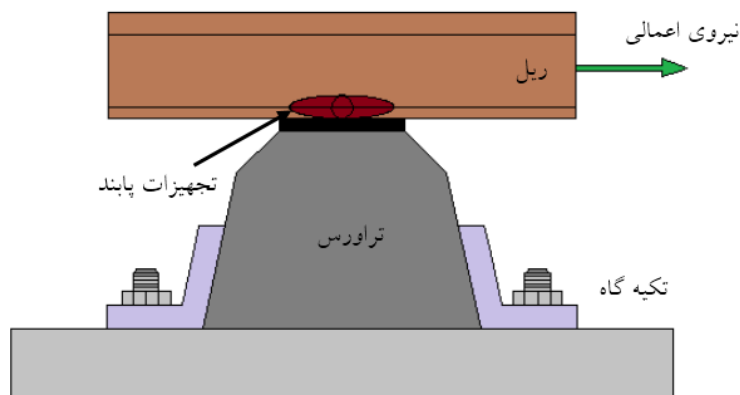
در صورت لغزش ریل بر روی تراورس، اندازه‌گیری تغییر مکان طولی متوقف شده و تست خاتمه می‌یابد. نیرو می‌بایست به‌گونه‌ای به ریل وارد شود که کمترین لنگر خمشی به پابند وارد گردد. سپس با ترسیم نمودارهای نیرو تغییر مکان مقاومت طولی اتصالات ریل به تراورس قابل اندازه‌گیری می‌باشد (EN-Standard, 2002, Australian-Standard, 2002,



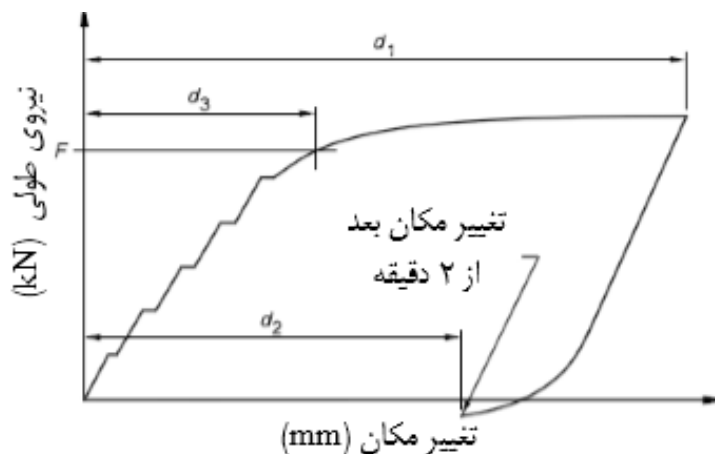
شکل 1 چیدمان آزمایش به صورت طرحواره نشان داده شده است. در این مقاله مقاومت طولی پابند مطابق آیین نامه استرالیا اندازه گیری شده است. مطابق با نمودار ارائه شده در این آزمایش، سه پارامتر حداکثر تغییر شکل طولی ریل ( $d_1$ )، تغییر شکل طولی ماندگار ریل پس از باربرداری ( $d_2$ ) و تغییر شکل خطی ریل در راستای طولی و پیش از لغزش ( $d_3$ ) مشخص

شده است (شکل 2). به منظور محاسبه مقاومت طولی بر اساس آیین نامه استرالیا می بایست مطابق روش زیر عمل شود (Australian-Standard, 2002).

1. مقادیر  $d_1$  و  $d_2$  از روی محور افقی نمودار تعیین می شود.
2. مقدار  $d_3$  اختلاف  $d_1$  و  $d_2$  خواهد بود.
3. مقدار نیروی متناظر با تغییر شکل طولی  $d_3$  از روی محور قائم، قرائت می شود.
4. اگر  $d_3$  از 0/5 میلی متر کمتر باشد نیروی متناظر با تغییر شکل 0/5 میلی متر از روی نمودار به دست می آید.
5. مقدار متوسط نیروی طولی متناظر با تغییر شکل  $d_3$  به عنوان مقاومت طولی نهایی سیستم اتصالات ریل به تراورس تعیین می شود.



شکل 1. نمایش طرحواره از تجهیزات آزمایش سنجش مقاومت طولی پابند



شکل 2. منحنی نیرو- تغییر شکل در آزمایش مقاومت طولی (Australian-Standard, 2002)

### 3- بررسی ساختار پابندها

سیستم اتصالات ریل به تراورس را می‌توان بر اساس میزان صلبیت، به دو گروه صلب و یا ارتجاعی تقسیم بندی نمود. سیستم‌های صلب اتصال ریل به تراورس معمولاً در تراورس‌های فلزی و چوبی و در راه‌آهن‌های قدیمی به کار می‌رود. مشکلی که این‌گونه پابندها دارند لقی اتصالات به دلیل بارگذاری تکراری حین عبور ترافیک قطار می‌باشد. در این ادوات به دلیل صلبیت بالایی که وجود دارد عملاً بعد از عبور قطار و باربرداری از خط کرنش پسماند ایجاد شده از بین نمی‌رود. پابند K یکی از پابندهای صلبی است که در این آزمایش مورد مطالعه قرار داده شده است. نوع دیگر پابندها، پابندهای ارتجاعی یا الاستیک می‌باشند. این پابندها به دلیل بالا بودن سطح ایمنی عملکردشان در راه‌آهن‌های سریع‌السیر بسیار پرکاربرد می‌باشند. در این نوع اتصالات کرنش پسماند به وجود آمده پس از باربرداری به حالت اولیه خود باز می‌گردد و عملاً مشکل لقی اتصالات تحت بارگذاری تکراری حذف شده است. پابندهای KS، پاندربول e-Clip و وسلو SKL14 از این قبیل می‌باشند. در شکل 3 انواع پابندهای استفاده شده در این مقاله نشان داده شده است.

### 4- روش تحقیق

در این مقاله به منظور بررسی مقاومت طولی انواع مختلف پابندهای ذکر شده آزمایش مقاومت طولی پابند انجام شد. در این آزمایش قطعه 60 سانتی‌متری ریل که با استفاده از پابندها به تراورس محکم شده، مورد بارگذاری محوری قرار گرفته است (یوسفیان، 1393). بارگذاری به صورت فشاری و با استفاده از جک هیدرولیکی تا حداکثر تغییر مکان 3 میلی‌متر ادامه داده شده است. در حین بارگذاری مقادیر نیرو به ازای تغییر مکان 0/5 میلی‌متر ثبت و گزارش شد. پس از لغزش ریل، نیرو قطع شده و در نهایت کرنش باقی‌مانده در پابند پس از 2 دقیقه از باربرداری، ثبت گردید. در شکل 4 نحوه اعمال نیرو و ثبت تغییر مکان نشان داده شده است. در این آزمایش مدت زمان تقریبی بارگذاری بین 1 تا 2 دقیقه در نظر گرفته شده و افزایش مقادیر نیرو به صورت پیوسته صورت گرفته است. در نهایت با رسم نمودارهای نیرو- تغییر شکل مقادیر مقاومت طولی پابندهای مختلف براساس روش مذکور تعیین گردید. در هر یک از آزمایش‌ها پس از بارگذاری کلیه اجزای پابند باز شده و دوباره بسته شده است. این کار باعث شد تا کرنش‌های پسماند بیشتر از مقادیر واقعی به دست آید تا نتایج محسوس‌تر باشد چرا که در عمل پس از چندین سیکل بارگذاری کرنش باقی‌مانده در ادوات پابند کاهش می‌یابد.



شکل 3. انواع مختلف پابندهای آزمایش شده، (1) پابند وسلو، (2) پابند KS، (3) پابند K، (4) پاندرول e-Clip

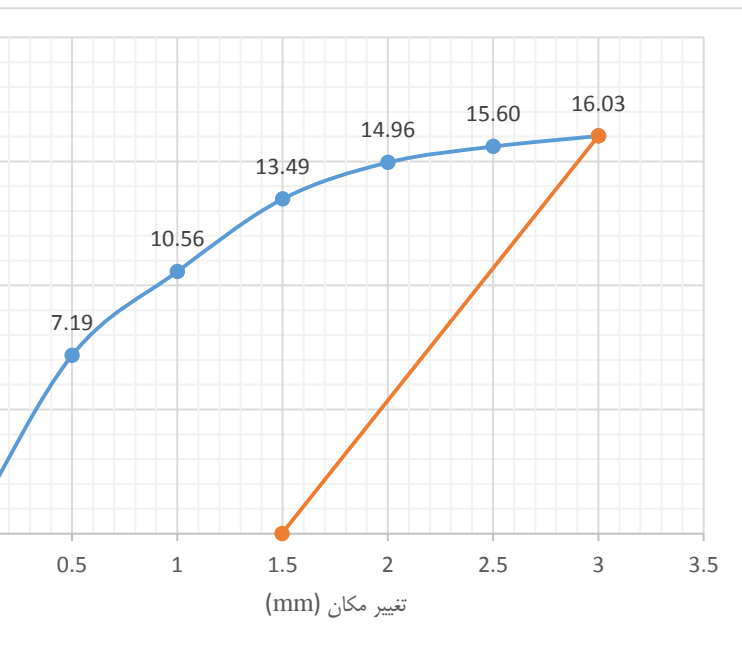


شکل 4. چیدمان جک هیدرولیکی و تغییر مکان سنج در آزمایش مقاومت طولی پابند (یوسفیان، 1393)

## 5- نتایج آزمایش‌ها

### 1-5- پابند پاندرول e-Clip

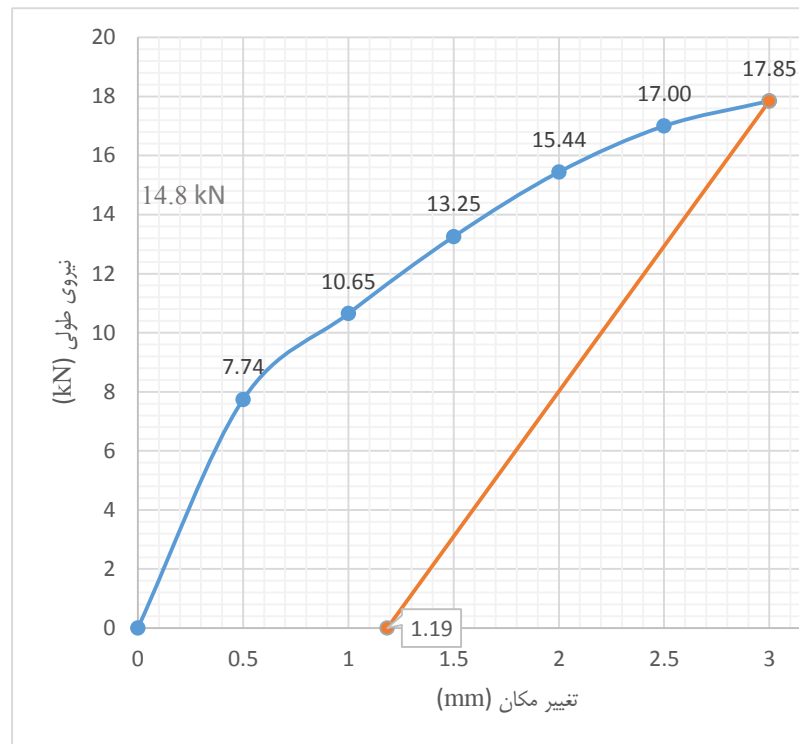
آزمایش مقاومت طولی سیستم اتصالات ریل به تراورس بر روی انواع مختلف پابندهای ذکر شده در این تحقیق انجام شد. در ادامه نتایج مربوط به هر یک جداگانه ارائه شد و مقاومت طولی پابند در هر حالت مشخص گردید. هر یک از آزمایشات صورت گرفته بر روی اتصالات سه مرتبه تکرار شده و میانگین آن‌ها در نهایت در ترسیم نمودار و محاسب مقادیر مقاومت طولی در نظر گرفته شده است.



**شکل 6** نمودار نیرو-تغییر مکان برای پابند پاندرول وسلو نشان داده شده است. تغییر شکل ماندگار در این پابند 1/5 میلی‌متر به دست آمده است که با توجه به حداکثر تغییر شکل طولی ریل در 3 میلی‌متر، مقاومت طولی ریل نیز در جابجایی 1/5 میلی‌متر رخ می‌دهد. مقدار میانگین مقاومت طولی به دست آمده در این حالت 13/5 kN می‌باشد. در این پابند حداکثر نیرو در جابجایی 3 میلی‌متر به طور میانگین 16/03 kN به دست آمده است که از پابند پاندرول e-Clip کمتر می‌باشد.

### 3-5- پابند K

همانطور که عنوان شد پابند K یکی از پابندهای صلب در راه‌آهن است که در راه‌آهن‌های قدیمی بسیار مرسوم می‌باشد و تغییر شکل ماندگار زیادی از خود نشان می‌دهد که می‌تواند یکی از معایب استفاده از این پابندها باشد. میزان کرنش پسماند در این پابند مطابق نمودار شکل 7 برابر 2/31 میلی‌متر اندازه‌گیری شده است که در مقایسه با سایر پابندها بالاترین مقدار به دست آمده، می‌باشد. البته در این نوع پابند میزان نیروی پاشنه ممکن است به دلیل کم و زیاد سفت نمودن پیچ‌ها متغیر باشد که در این آزمایش به جهت رفع شدن این مشکل از دستگاه پیچ‌بند با گشتاور استاندارد برای محکم نمودن پیچ

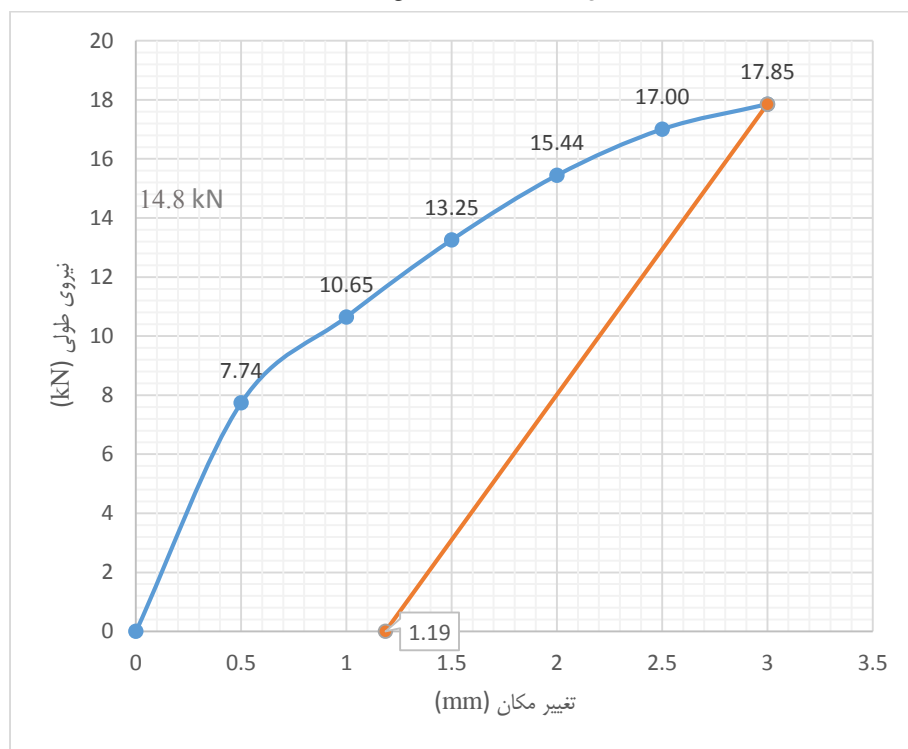


**شکل 5** نشان داده شده است. در تمامی نمودارها قسمت اول مربوط به بارگذاری و تغییر مکان ناشی از آن و قسمت دوم مربوط به قسمت باربرداری و کرنش پسماند در پابند می‌باشد. مقدار نیروی نظیر اختلاف حداکثر تغییر شکل طولی ریل از تغییر شکل طولی ماندگار ریل پس از باربرداری، مقاومت طولی پابند را نشان می‌دهد. در این نمودار همان‌طور که نشان داده شده مقاومت طولی متوسط پابند 14/8 kN به دست آمده است. کرنش پسماند باقی مانده در پابند نیز 1/19 میلی‌متر ثابت گردیده است. این کرنش در مراحل بعدی بارگذاری کاهش می‌یابد به طوری که در صورت باز و بسته نکردن پابند، مقدار کاهش کرنش پسماند کمتر خواهد بود. مقدار نیرو در حداکثر جابجایی 3 میلی‌متر به طور متوسط برابر 17/85 kN اندازه‌گیری شده است.

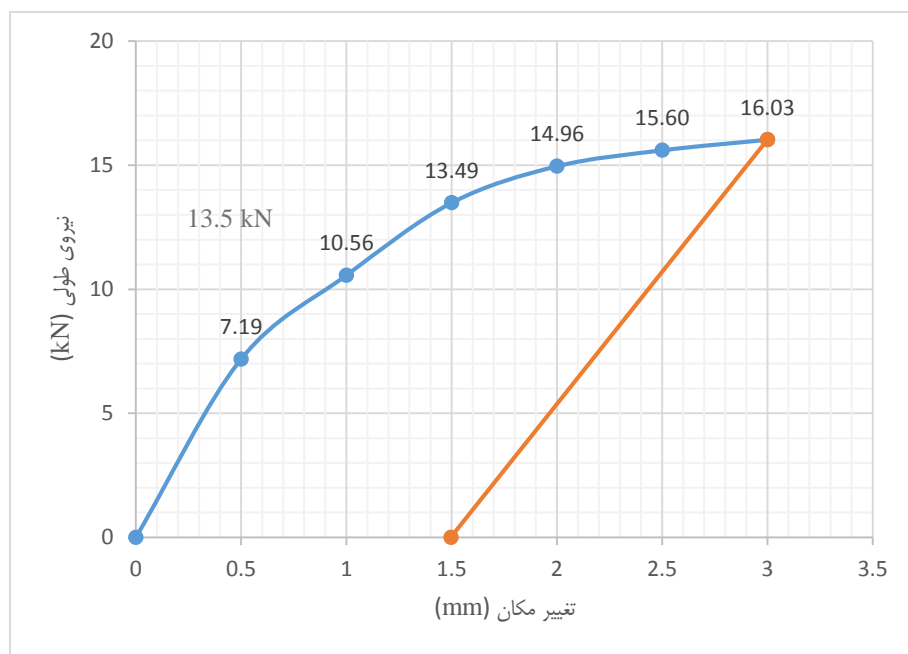
### 2-5- پابند وسلو با فنر SKL 14

نیروی ثبت شده در تغییر مکان 3 میلی متر برابر 11/18 kN می باشد.

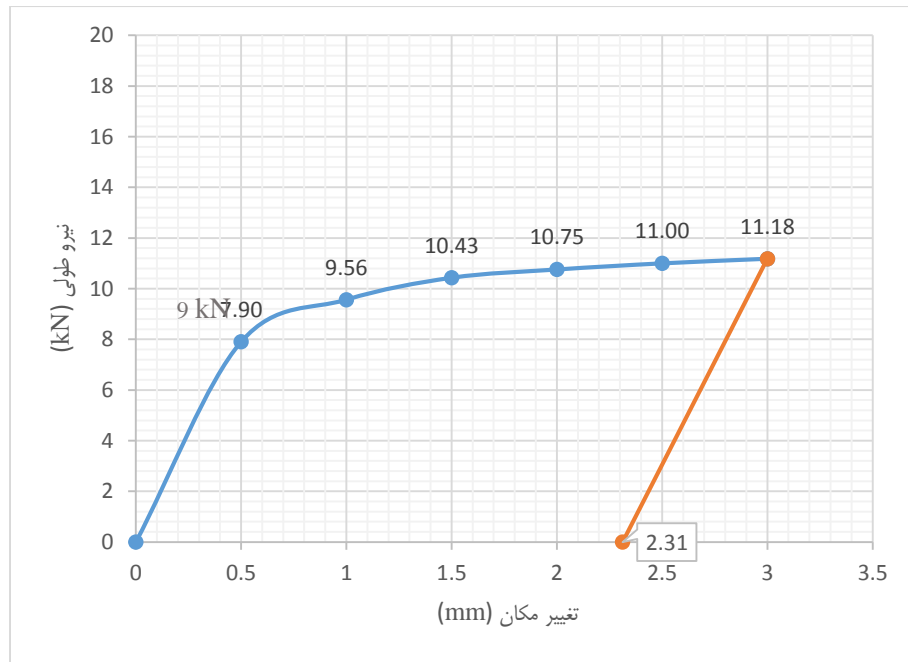
استفاده شده است. مقاومت طولی متوسط پابند در تغییر مکان نظیر 0/7 میلی متر، 9 kN به دست آمده است همچنین حداکثر



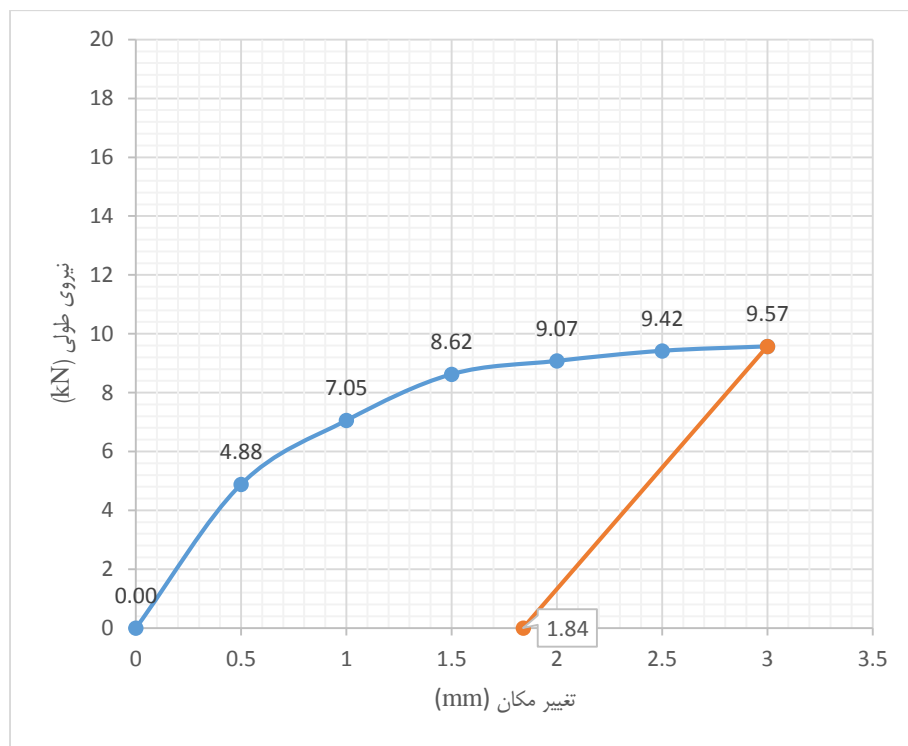
شکل 5. نمودار نیرو-تغییر مکان پابند الاستیک پاندرول e-Clip



شکل 6. نمودار نیرو-تغییر مکان پابند الاستیک وسلو

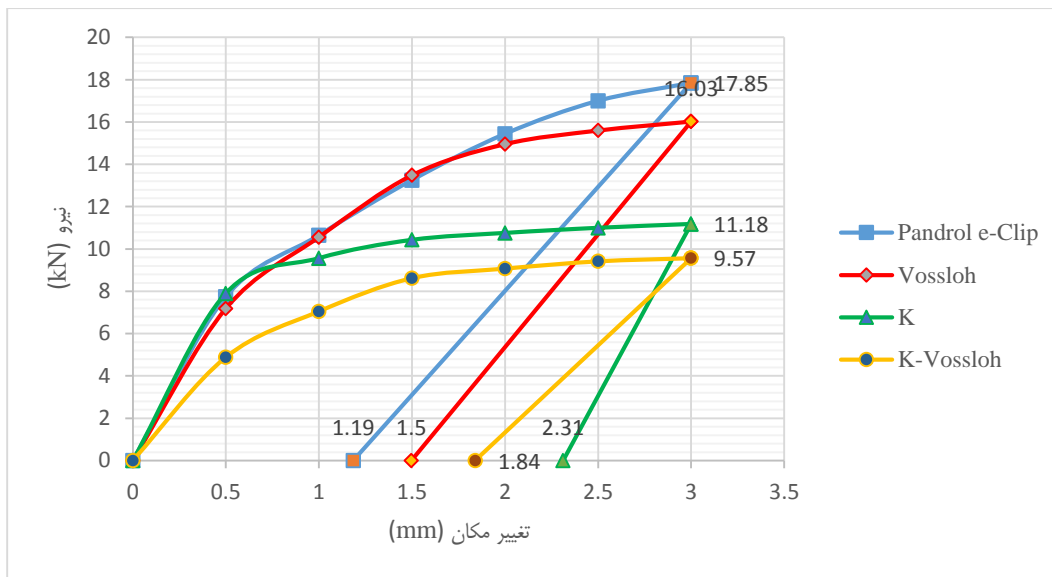


شکل 7. نمودار نیرو-تغییر مکان پابند صلب K



شکل 8. نمودار نیرو-تغییر مکان پابند ارتجاعی KS





شکل 9. نتایج حاصل از انجام آزمایش مقاومت طولی بر پابندهای K، KS، e-Clip و وسلو

#### 4-5- پابند KS

در پابند KS، پیچ پابند صلب K با فنر الاستیک پابند وسلو ریل را به تراورس متصل می‌کند. وجود فنر ارتجاعی باعث می‌شود تا پابند KS رفتار الاستیک از خود نشان دهد. همان‌طور که در شکل 8 مشاهده می‌شود حداکثر نیروی طولی در این پابند به طور متوسط برابر 9/57 kN به دست آمده است. میزان کرنش پسماند ثبت شده برای این پابند برابر 1/84 میلی‌متر می‌باشد. در این پابند کرنش پسماند از پابند K کمتر به دست آمده است. مقدار متوسط مقاومت طولی ریل در تغییر مکان 1/16 میلی‌متر برابر 7/6 kN می‌باشد.

#### 5-5- مقایسه حالات مختلف

نتایج مربوط به هر یک از 4 نوع پابند در شکل 9 نشان داده شده است. با توجه به این نمودار بیشترین نیرو برای حداکثر جابجایی مربوط به پابند پاندرول e-clip به دست آمده است که این مقدار برابر با 17/85 کیلو نیوتن می‌باشد و پس از آن بیشترین نیرو مربوط به پابند وسلو با مقدار 15/03 کیلو نیوتن می‌باشد. کمترین کرنش پسماند به دست آمده نیز مربوط به پابند پاندرول به میزان 1/19 میلی‌متر می‌باشد. با توجه به نتایج به دست آمده پابند پاندرول e-clip بهترین عملکرد مطلوب

یعنی بیشترین مقاومت طولی و کمترین کرنش پسماند را از خود نشان داده است. بیشترین کرنش پسماند نیز مربوط به پابند k با مقدار 2/31 میلی‌متر می‌باشد. همان‌طور که در این نمودار مشاهده می‌شود پابند KS به دلیل استفاده از فنر ارتجاعی در اجزای خود کرنش پسماند کمتری را نسبت به پابند صلب K از خود نشان داده است.

#### 6- نتیجه گیری

در این مقاله مقاومت خزشی ریل از طریق انجام آزمایش مقاومت طولی پابند بر روی چهار نوع پابند مرسوم در آزمایشگاه دانشکده مهندسی راه‌آهن انجام شد. بدین منظور پس از ایجاد تکیه‌گاه صلب برای تراورس و فراهم نمودن شرایط بارگذاری، مقادیر نیروی طولی وارد به ریل و تغییر مکان نظیر آن، در آزمایشات متعددی به دست آمد. در نهایت با ثبت مقادیر نیرو و تغییر مکان مقادیر مقاومت طولی برای هر حالت محاسبه گردید. مهم‌ترین نتایج به دست آمده به شرح زیر می‌باشد:

1- با توجه به نتایج مشخص گردید که پابند پاندرول e-Clip دارای بیشترین مقاومت طولی و همچنین کمترین کرنش ماندگار در سیستم خود می‌باشد که مقادیر آنها به ترتیب

## 7- مراجع

- موحدی جم، ع. (1393)، "مقاومت طولی در خطوط ریلی"، پایان‌نامه کارشناسی، دانشکده مهندسی راه‌آهن، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران.

- یوسفیان، ک. (1393)، "بررسی آزمایشگاهی مقاومت خزشی ریل با انواع تراورس‌های خط بالاستی"، پایان‌نامه کارشناسی، دانشکده مهندسی راه‌آهن، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران.

-AREMA (2006), Chapter 3, "Ties & Wood Preservation," and Chapter 10, "Concrete Ties". American Railway Engineering and Maintenance of Way Association, Vol.1.

-AUSTRALIAN-STANDARD (2002), "Resilient Fastening Assemblies". Australian Standard, AS 1085.19.

-EN-STANDARD (2002), "Railway Applications – Track – Test Method for Fastening", Determination of Longitudinal Rail Restraint. En Standard, 13146, Part 1.

-ESVELD, C., (2001), "Modern railway track".

-OLE, Z. K., (2008), "Track stability and buckling-rail stress management". University of Southern Queensland.

-RHODES, D. & COATS, B., (2008), "Resistance to rail creep—what do rail fastenings really have to do"? AREMA, adapted on 6th February.

-SELIG, E. T. & WATERS, J. M., (1994), "Track geotechnology and substructure management", Thomas Telford.

برابر 14/8 و 1/19 میلی‌متر به دست آمده است. همانطور که مشاهده شد، افزایش مقاومت طولی در پابندها منجر به افزایش مقاومت خزشی ریل می‌شود و در نتیجه کرنش پسماند و تغییر مکان تدریجی ریل در پابند را کاهش می‌دهد. با کاهش تغییر مکان ریل نسبت به تراورس، عملکرد پابند تحت بارگذاری بهبود یافته که این خود منجر به افزایش ایمنی خط شده و مقادیر خزش ناشی از بارگذاری را کاهش می‌دهد. جلوگیری و کنترل خزش از وقوع تغییرشکل در هندسه خط و در شرایط بحرانی‌تر، از کماتش خط جلوگیری می‌کند.

2- کمترین مقاومت طولی نظیر جابجایی 3 میلی‌متر در پابند KS به دست آمده است که میزان آن برابر 7/6 kN می‌باشد. در پابند KS به دلیل استفاده از فنر ارتجاعی با بهره‌گیری از پیچ پابند K میزان کرنش پسماند کاهش یافته است که یکی از مزایای این سیستم نسبت به پابند صلب K می‌باشد.

3- بیشترین کرنش پسماند برای پابند K به دست آمد که برابر 2/31 میلی‌متر می‌باشد. افزایش کرنش پسماند در پابندهای صلب منجر به لقی اتصالات شده و ایمنی خطوط ریلی را کاهش می‌دهد. از پابند K در خطوط ریلی قدیمی استفاده شده است که بر همین اساس استفاده از این نوع پابندها در راه‌آهن‌های با سرعت و بار محوری بالا، کاهش یافته است.

4- با توجه به نتایج به دست آمده مشخص شد که در صورت باز و بسته نکردن اجزای پابند پس از بارگذاری، مقادیر کرنش پسماند در اجزای سیستم اتصالات ریل به تراورس کاهش می‌یابد که این امر نشان می‌دهد عملکرد ادوات اتصالات ریل به تراورس با گذشت زمان در شرایط واقعی بهبود می‌یابد.