

# Numerical investigation of the impact of rail seat abrasion on the performance of prestressed concrete railways

Seyed Mohammad Farnam

Assistant Professor, Department of Civil and Architect Engineering, Raja University, Qazvin, Iran.

Zahra Maleki\*

MS. graduated, Department of Civil Engineering, Parsian Institute of Higher Education, Qazvin, Iran.

Omid Bamshad

Expert of concrete and construction materials Lab., Department of Civil Engineering, Imam Khomeini International University (IKIU), Qazvin, Iran.

# بررسی عددی تاثیر سایش نشیمن گاه ریل بر عملکرد خط‌های بتنی پیش تنیده

سید محمد فرنام

استادیار، گروه مهندسی عمران و معماری، موسسه آموزش عالی رجا، قزوین، ایران

زهرا ملکی\*

کارشناسی ارشد، گروه مهندسی عمران، موسسه آموزش عالی پارسیان، قزوین، ایران

امید بامشاد

کارشناس آزمایشگاه بتن و مصالح ساختمانی، گروه مهندسی عمران، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران

\*Corresponding author's email address:

zahra.geotec@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۷/۲۵، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۸/۲۹

## How to cite this article:

Seyed Mohammad Farnam, Zahra Maleki, Omid Bamshad, Numerical investigation of the impact of rail seat abrasion on the performance of prestressed concrete railways, *Journal of Engineering and Construction Management (JECM)*, 2023; 7(2):61-67.

## ارجاع به مقاله:

سید محمد فرنام، زهرا ملکی، امید بامشاد، بررسی عددی تاثیر سایش نشیمن گاه ریل بر عملکرد خط‌های بتنی پیش‌تنیده، مهندسی و مدیریت ساخت، ۱۴۰۱؛ ۷ (۲): ۶۱-۶۷.

## Abstract

In addition to higher carrying capacity, ballastless railways require lower maintenance costs than ballasted ones. Nevertheless, the rail seat abrasion (RSA) is one of the most important factors of damage to the slab railways. In this study, the effect of RSA on the performance of prestressed concrete slabs has been investigated using finite element method. For this purpose, the loss of prestressing force without considering abrasion, abrasion of 5.12, 25 and 37.5 mm with different values of loss of prestressing force, abrasion of 5.37 mm with different values of compressive strength and different values of abrasion along with the removal of prestressing force in the longitudinal direction in the structure has been checked. The results showed that due to the linear behavior of concrete under the range of loading and the absence of cracks in the structure, changes in prestressing force, removal of prestressing force in the longitudinal direction have minor effect on the mid-span displacement (<2%). However, with increasing the prestressing force drop from 10% to 20%, the displacement is reduced by 50%. In general, it can be found that increased abrasion reduces the capacity of railway. The effect of increasing the abrasion on the maximum mid-span displacement in prestressed concrete slab line is not linear and the higher the amount of abrasion, the greater the amount of displacement increases.

## Keywords

Prestressed concrete slab, railway, finite element analysis, prestress loss.

## چکیده

خطوط راه‌آهن بدون بالاست علاوه بر ظرفیت باربری بیشتر، هزینه تعمیر و نگهداری کمتری نسبت به خطوط همراه با بالاست نیاز دارند. با این وجود، سایش نشیمن‌گاه ریل (RSA)، یکی از مهم‌ترین عوامل آسیب‌دیدگی دال خط‌ها می‌باشد. در این مطالعه به بررسی تأثیر RSA بر عملکرد دال‌های بتنی پیش‌تنیده بر پایه اصول اجزای محدود پرداخته شده است. به این منظور، افت نیروی پیش‌تنیدگی بدون در نظر گرفتن سایش، سایش ۱۲/۵، ۲۵ و ۳۷/۵ میلی‌متر با مقادیر مختلف افت نیروی پیش‌تنیدگی، سایش ۳۷/۵ میلی‌متر با مقادیر مختلف مقاومت فشاری و مقادیر مختلف سایش به‌همراه حذف نیروی پیش‌تنیدگی در جهت طولی در سازه بررسی شده است. نتایج نشان داد که به علت رفتار خطی بتن در محدوده بارگذاری و عدم بروز ترک در سازه، تغییرات نیروی پیش‌تنیدگی، حذف نیروی پیش‌تنیدگی در جهت طولی و مقاومت فشاری کمتر از دو درصد در جابجایی وسط دهانه تأثیر دارند. هر چند در همین بازه تغییرات اندک، با دو برابر شدن افت نیروی پیش‌تنیدگی از ۱۰ درصد به ۲۰ درصد، مقدار کاهش جابجایی نیز دو برابر می‌شود. به طور کلی، می‌توان گفت که افزایش سایش موجب کاهش ظرفیت قطعه می‌گردد. تأثیر افزایش مقدار سایش بر حداکثر جابجایی وسط دهانه در دال خط بتنی پیش‌تنیده به صورت خطی نمی‌باشد و هر چه مقدار سایش بیشتر باشد، مقدار جابجایی با ضریب بیشتری افزایش می‌یابد.

## کلمات کلیدی

دال خط بتنی پیش‌تنیده، راه‌آهن، تحلیل اجزای محدود، افت پیش‌تنیدگی.



7 (2), 2023

دوره ۷، شماره ۲

زمستان ۱۴۰۱

فصلنامه پژوهشی



روسازی مرسوم در خطوط راه آهن، روسازی بالاستی بوده که شامل ریل، پابند، تراورس، بالاست، زیربلاست و سابگرید می باشد و از آنجا که این خطوط دارای معایبی از جمله هزینه های تعمیر و نگهداری بالا، قابلیت باربری پائین، ضخامت زیاد روسازی و... می باشد، در اوایل قرن بیستم بسیاری از کشورهای اروپایی و آمریکایی روسازی هایی را طرح نمودند که در آن لایه بالاست حذف شده بود. با این اقدام هزینه های تعمیر و نگهداری خطوط راه آهن با این سیستم، نسبت به خطوط با روسازی بالاستی کاهش چشمگیری پیدا نمودند. در مورد سیستم روسازی بالاستی تحقیقات نشان می دهد که ترک خوردگی و سایش از مهم ترین عوامل آسیب دیدگی تراورس ها می باشد. تعداد زیادی از تراورس های پیش تنیده در اثر سایش نشیمن گاه ریل (RSA) دچار خرابی می شوند. RSA یک تخریب سایشی در زیر ریل است که منجر به مشکلات مختلف از جمله شل شدگی در پابند، چرخش ریل و در نهایت موجب از دست دادن اتصال ریل می شود. به علاوه RSA موجب کاهش ظرفیت تراورس ها نیز می شود. عمق RSA در یک تراورس پیش تنیده می تواند به میزان بارگذاری، حجم ترافیک عبوری از روی ریل، میزان انحنای نوع ریل، موقعیت قرارگیری تراورس در خطوط راه آهن و عوامل آب و هوایی اشاره نمود. با توجه به مطالعات انجام شده در آمریکای شمالی، بارگذاری محوری سنگین، رطوبت و حرکت های ریل عوامل اصلی در RSA می باشند [1].

نیروی پیش تنیدگی به دلایل مختلفی می تواند کاهش یابد. به طور کلی دلایل افت پیش تنیدگی را می توان به دو دسته افت های کوتاه مدت و بلند مدت تقسیم نمود. افت های کوتاه مدت شامل کوچک شدن ارتجاعی بتن، افت مهارها (گیره ها) و افت اصطکاکی می باشد. افت های بلند مدت نیز در اثر مواردی همچون خزش و انقباض بتن اثرات حرارتی و وارفتگی فولاد پدید می آید [2]. حسینی و مدح خوان (۱۳۹۲) مطالعه ای درباره ی تحلیل اسلب تراک بتنی راه آهن در دو حالت پیش ساخته و درجا انجام دادند. آن ها دریافتند که جنس خاک و ابعاد (طول، عرض و ضخامت) اسلب تراک بتنی دو عامل مهم در تعیین میزان تنش ها و تغییرشکلهای بتن می باشند [3].

زمان و همکاران (۲۰۰۹) پژوهشی درباره مکانیزم RSA در تراورس بتنی توسط انجام دادند. طبق نتایج این پژوهش ترک های ناشی از فرآیند یخ زدگی و آب شدن مجدد، ترک های ناشی از تنش های همه جانبه، و خوردگی ناشی از کلوئیدهای سیمان از مکانیزم های بالقوه RSA می باشند [4]. کرنس و همکاران (۲۰۱۴) مکانیک زوال نشیمن گاه ریل و راه حل های بهبود اثر سایش ریل در نشیمن گاه ریل را به صورت آزمایشگاهی مورد مطالعه قرار دادند. طبق نتایج، هندسه و مشخصات پابند ریل از جمله مدول برشی آن تأثیر مستقیم بر نرخ سایش ریل در نشیمن گاه دارد [5]. پاروز (۲۰۱۵) رفتار تراورس های بتنی پیش تنیده مسلح شده با الیاف فولادی را به روش آزمایشگاهی و عددی بررسی نمود. طبق نتایج، افزودن ۰/۵ درصد الیاف D۴ موجب افزایش قابل ملاحظه مقاومت تراورس در برابر خستگی خواهد شد و رفتار آن به تیرهای بتنی SFRC بسیار شبیه خواهد شد. به علاوه افزودن ۰/۲۵ درصد الیاف D۴ باعث کاهش عملکرد تراورس ها شد [6]. مطالعات آزمایشگاهی تریفا و همکاران (۲۰۱۵) درباره اثر خستگی بر دال خط پیش تنیده شینکانسن، در خطوط پرسرعت انجام

شده است. در این پژوهش یک نمونه با ابعاد واقعی ساخته شد و ترک های ایجاد شده در طی یک میلیون بار، بارگذاری ردگیری و دنبال شد [7]. نتایج تحلیل استاتیکی مینورا و همکاران (۲۰۱۷) نشان می دهد که سایش سطح زیرین تراورس به میزان زیادی بر ظرفیت باربری در مرکز تراورس پیش تنیده تأثیر می گذارد. از طرف دیگر، در مقطع عرضی در موقعیت ریل، تأثیر کاهش تعداد رشته های فولادی پیش تنیدگی و همچنین افت نیروی پیش تنیدگی نسبت به سایش تراورس تأثیر بیشتری بر روی ظرفیت باربری تراورس پیش تنیده خواهند داشت. نتایج تحلیل دینامیکی آنها نشان داد که سایش سطح زیرین تراورس پیش تنیده حداکثر گشتاور را کاهش می دهد و سبب تفاوت فاز در شکل موج گشتاور تولید شده در مرکز تراورس پیش تنیده و موقعیت ریل می شود. علاوه بر این، گشتاور خمشی با کاهش نیروی پیش تنیدگی به علت وقوع ترک در موقعیت ریل کاهش می یابد [8].

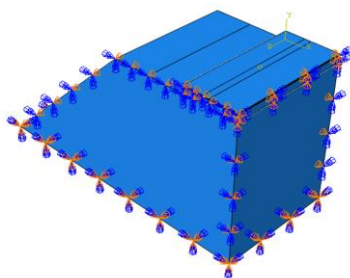
پژوهش آزمایشگاهی مارلوت و همکاران (۲۰۱۸) درباره بارگذاری استاتیکی و چرخه ای سیستم بالاستی با سه عدد تراورس بر روی سابگرید با ارتفاع ۱/۲ متر و دال خط بتنی با مقیاس واقعی نشان داد که دامنه تغییر مکان تراورس ها در سیستم بالاستی ۲۰ برابر سیستم دال خط بتنی در بارهای چرخه ای می باشد [9]. توسط یانگ و همکاران (۲۰۱۸) مطالعه ای درباره لرزش دال خط بتنی تحت سرعت بحرانی انجام دادند. نتایج نشان داد محدودیت لرزش با افزایش زاویه اصطکاک خاک زیر دال خط بتنی افزایش می یابد و وقتی سرعت قطار به سرعت موج ریلی نزدیک می شود تقریباً لرزش به صفر نزدیک می شود [10]. فرنام و رضائی (۲۰۱۸) مطالعات عددی بر روی گسترش ترک در تراورس های پیش تنیده B70 بر اساس مکانیک شکست انجام دادند و کلیه پارامترها از جمله طول ترک و KIC و CMOD محاسبه شد [11]. در تحقیق انجام شده توسط یو و همکاران (۲۰۱۹) به صورت آزمایشگاهی و عددی بر روی تراورس های پیش تنیده با اعمال افت های مختلف و میزان سایش های مختلف در تراورس میزان کاهش باربری تراورس پیش تنیده بدست آمده است [12]. در این مطالعه تأثیر RSA بر عملکرد دال خط های بتنی پیش تنیده بر پایه اصول اجزای محدود بررسی شده است. به این منظور، تأثیر مواردی همچون ساده سازی محل بارگذاری، افت نیروی پیش تنیدگی بدون در نظر گرفتن سایش، سایش ۱۲/۵، ۲۵ و ۳۷/۵ میلی متر با مقادیر مختلف افت نیروی پیش تنیدگی، سایش ۳۷/۵ میلی متر با مقادیر مختلف مقاومت فشاری و مقادیر مختلف سایش به همراه حذف نیروی پیش تنیدگی در جهت طولی در سازه بررسی شده است.

## ۲- مدل سازی عددی

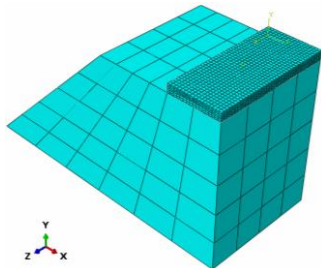
### ۲-۱- جزئیات مدل عددی

برای مدل سازی عددی و تحلیلی از نرم افزار ABAQUS/CAE 6.14-4 استفاده شد [13]. ابعاد و اندازه ها بر اساس نمونه های ساخته شده توسط بانوکن و همکاران [14] برای CRTS III انتخاب شده است. در تصویر ۱، مدل CRTS III به همراه ابعاد هندسی مدل پایه نشان داده شده است.

به طول ۲/۸ متر (نصف عرض ریل) در دو طرف محل ریل اعمال شده است.



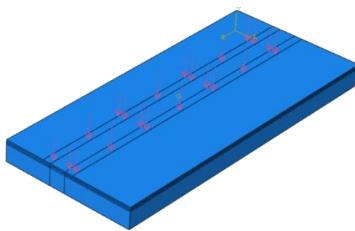
(الف)



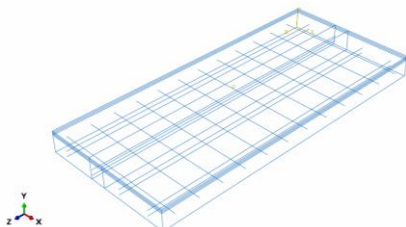
(ب)

شکل ۲ مدل سه بعدی دال خط پیش تنیده بتنی (الف) شرایط تکیه گاهی (ب) شبکه بندی مدل

نحوه بارگذاری مدل و چیدمان استرندهای فولادی در داخل خط دال در تصویر ۳ نشان داده شده است. لازم به ذکر است که در صورتی که اثر طولانی مدت بارهای اعمالی به سازه مطلوب باشد، استفاده از تحلیل استاتیکی کفایت می کند. در این مطالعه برای رسیدن به هدف مطلوب از روش تحلیل استاتیکی استفاده شده است. در مدل اجزای محدود دال خط بتنی بار پیش تنیدگی در مجموعه ثابت باقی می ماند. همچنین تنش های ایجاد شده در محل ریل به صورت ثابت تحلیل می شود.

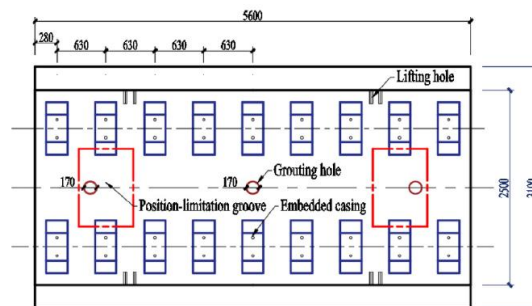
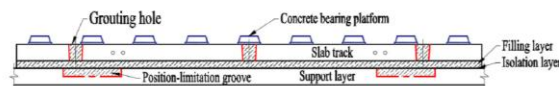


(الف)



(ب)

شکل ۳ مدل سه بعدی دال خط پیش تنیده بتنی (الف) اعمال بار در اطراف محل ریل (ب) چیدمان استرندهای فولادی در داخل دال خط

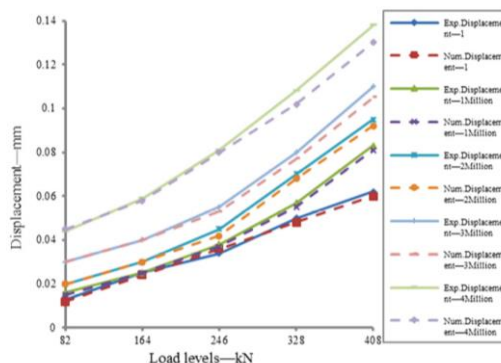


شکل ۱ پلان و نمای جانبی دال خط بتنی پیش تنیده CRTS III (ژی) - پینگ، ۲۰۱۹

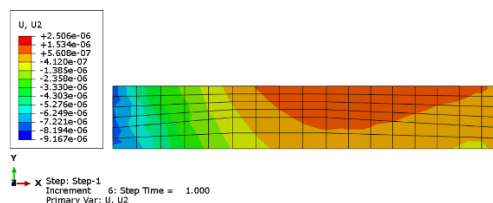
جهت مدل سازی دقیق تر و کالیبره کردن نتایج، خاک بستر و لایه های بتنی زیر دال خط بتنی پیش تنیده به صورت یک لایه با سختی معادل در نظر گرفته شده است. به منظور سادگی در مدل سازی و امکان مدل کردن سایش در محل نشیمن گاه ریل، فرض شده است که ریل مستقیماً در تماس با دال خط می باشد. همچنین با توجه به وجود تقارن در دو جهت طولی و عرضی و نیز به منظور کاهش زمان تحلیل داده ها، یک چهارم سازه مدل سازی شده است. در جهت محورهای طولی و عرضی شرایط تقارن به صورتی لحاظ شده است که درجه آزادی حرکتی در جهت X، درجه آزادی حرکتی در جهت Y، درجه آزادی حرکتی در جهت Z، درجه آزادی دورانی حول محور X و درجه آزادی دورانی حول محور Y مقید باشند. در مرحله ی اعمال نیروی پیش تنیدگی، با توجه به ایجاد تغییر شکل در راستای محور طولی و محور قائم دال خط بتنی، جابه جایی در صفحه ی XY باید آزاد باشد. در این مرحله، یک چهارم دال خط بتنی بر روی یک بستر الاستیک با سختی معادل برابر نیوتن بر مترمربع قرار داده شده است. این مقدار سختی معادل با استفاده از روش سعی و خطا، و با توجه به مدل صحت سنجی شده و مقادیر حداکثر جابجایی لحاظ شده است. همچنین به منظور در نظر گرفتن شرایط واقعی بین دال خط بتنی و بستر ضریب اصطکاک برابر ۰/۳ و کف بستر بصورت کاملاً گیردار در نظر گرفته شده است.

در شبکه بندی مدل، اندازه شبکه ها با سعی و خطا به گونه ای انتخاب شده است تا در عین داشتن دقت مناسب، زمان حل مسئله حداقل گردد. به این ترتیب، تعداد المان ها برابر با ۴۰۸۰ انتخاب شده است. در تصویر ۲ شرایط تکیه گاهی و مدل شبکه بندی نشان داده شده است. در این مطالعه فرض شده است که کل سازه تحت بار متمرکز ۴۰۸ کیلونیوتن قرار دارد [12]. با توجه به تقارن در مدل سازی، ۱۰۲ کیلونیوتن باید در محل ریل به صورت خطی اعمال گردد. قابل ذکر است که به دلیل یکسان بودن محل اعمال بار و محل ایجاد سایش در قطعه امکان اعمال بار در محل ریل امکان پذیر نمی باشد، زیرا با حذف المان های زیر محل ریل، بار اعمال شده به آن ها نیز حذف می گردد. بنابراین بار مورد نظر به صورت بار گسترده فشاری برابر ۰،۲۴۳ کیلونیوتن بر مترمربع در دو نوار ۷/۵ سانتی متری

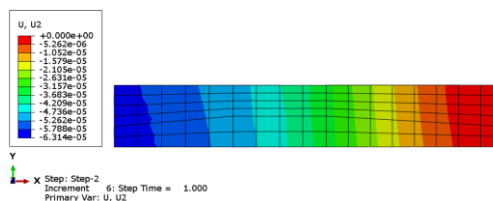
همچنین میزان جابه جایی بعد از اعمال بار پیش تنیدگی و بعد از اعمال بار استاتیکی در وسط دهانه در تصویر ۵ نشان داده شده است.



شکل ۴ نمودار نیرو-جابجایی در وسط دهانه برای بار استاتیک و دینامیک [12]



(الف)



(ب)

شکل ۵ کانتور جابجایی (الف) بعد از اعمال پیش تنیدگی در وسط دهانه (ب) بعد از اعمال بار استاتیک در وسط دهانه

همانطور که مشاهده می شود، حداکثر مقدار جابجایی در مدل ساخته شده بعد از اعمال نیروی پیش تنیدگی برابر ۰/۰۰۷ میلی متر و پس از اعمال اثر بار چرخها برابر ۰/۰۶۳ میلی متر است. بنابراین جابجایی نسبی حاصل از بارگذاری برابر ۰/۰۵۶ میلی متر بدست می آید، که در مقایسه با نمونه ساخته شده توسط یو و همکاران [12] اختلاف بسیار ناچیز است. بدین ترتیب، با توجه به اختلاف کم نتایج مدل عددی ساخته شده مورد قبول می باشد.

### ۲-۲- مدل های عددی

به منظور مطالعه رفتار دال خط بتنی پیش تنیده مدل های مندرج در جدول ۱ مورد بررسی و تحلیل قرار خواهند گرفت. لازم به ذکر است همانگونه که پیشتر اشاره گردید، با توجه به اینکه محل اعمال بار و محل ایجاد سایش هر دو در یک محل می باشند، امکان اعمال هم زمان هر دو شرط در مدل عددی نمی باشد. زیرا با حذف المان های

زیر محل ریل که عرض آن ۱۵ سانتی متر می باشد، بار اعمال شده به آن ها نیز حذف می گردد. بنابراین، به منظور ایجاد سهولت در مدل سازی بار اعمال شده در محل ریل ها به دو نوار ۷/۵ سانتی متری در اطراف محل ریل تقسیم شده است.

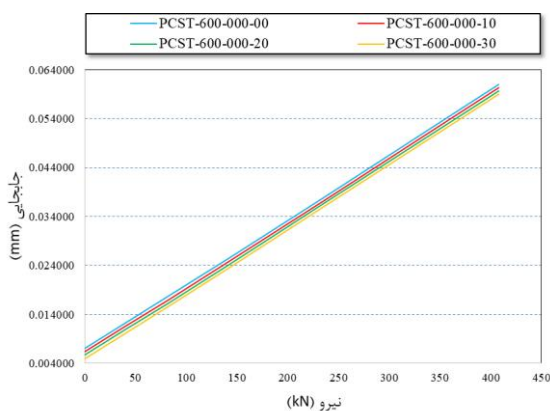
### ۳- بحث و نتایج

#### ۳-۱- تأثیر افت نیروی پیش تنیدگی بر جابجایی وسط دهانه

##### بدون سایش

در این قسمت نتایج تأثیر افت نیروی پیش تنیدگی بدون در نظر گرفتن اثر سایش در محل ریل ها مورد بررسی قرار گرفته است. در تصویر ۶، تغییرات جابجایی در وسط دهانه برای سه مدل با ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد افت نیروی پیش تنیدگی با مدل بدون افت مقایسه شده است.

همانطور که در نمودار تصویر ۶ مشاهده می شود، با افزایش افت نیروی پیش تنیدگی در دال خط بتنی پیش تنیده، به ازای نیروی یکسان مقدار حداکثر جابجایی دال در وسط دهانه کاهش اندکی می یابد. همانطور که مشخص است، نسبت تغییرات نیروی پیش تنیدگی و تغییرات جابجایی رابطه ای تقریباً خطی دارند. این در حالی است که خود مقدار جابجایی به همان نسبت تغییر نمی کند. به عنوان مثال با دو برابر شدن افت نیروی پیش تنیدگی از ۱۰ درصد به ۲۰ درصد، با توجه به موازی بودن خطوط و فاصله تقریباً یکسان آن ها، مقدار کاهش جابجایی نیز دو برابر می شود.



شکل ۶ تغییرات جابجایی در وسط دهانه با میزان افت نیروی پیش تنیدگی مختلف بدون سایش

#### ۳-۲- تأثیر افت نیروی پیش تنیدگی بر جابجایی وسط دهانه بدون سایش

در این قسمت نتایج تأثیر افت نیروی پیش تنیدگی با در نظر گرفتن اثر سایش ۱۲/۵ میلی متر در محل ریل ها مورد مقایسه قرار گرفته است. در تصویر ۷، تغییرات جابجایی در وسط دهانه با در نظر گرفتن ۱۲/۵ میلی متر سایش برای سه مدل با ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد افت نیروی پیش تنیدگی با مدل بدون افت مقایسه شده است.

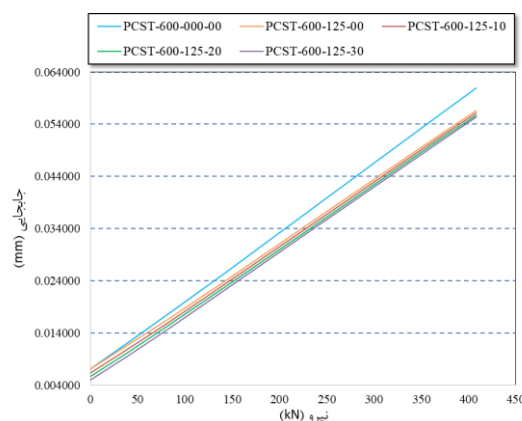
جدول ۱ مشخصات مدل‌های دال خط بتنی پیش‌تنیده

| کد                      | قطعه  | مقاومت فشاری<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | سایش نشیمن‌گاه<br>ریل (mm) | افت نیروی<br>پیش‌تنیدگی (%) |
|-------------------------|---|---------------------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| PCST-600-000-00         | دال خط بتنی پیش‌تنیده شده در دو طرف                           | ۶۰۰                                   | ۰                          | ۰                           |
| PCST-600-TEST           | دال خط بتنی پیش‌تنیده شده در دو طرف و اعمال بار در محل ریل‌ها | ۶۰۰                                   | ۰                          | ۰                           |
| PCST-600-000-10         | دال خط بتنی پیش‌تنیده شده در دو طرف                           | ۶۰۰                                   | ۰                          | ۱۰                          |
| PCST-600-000-20         | دال خط بتنی پیش‌تنیده شده در دو طرف                           | ۶۰۰                                   | ۰                          | ۲۰                          |
| PCST-600-000-30         | دال خط بتنی پیش‌تنیده شده در دو طرف                           | ۶۰۰                                   | ۰                          | ۳۰                          |
| PCST-600-125-00         | دال خط بتنی پیش‌تنیده شده در دو طرف                           | ۶۰۰                                   | ۱۲/۵                       | ۰                           |
| PCST-600-125-10         | دال خط بتنی پیش‌تنیده شده در دو طرف                           | ۶۰۰                                   | ۱۲/۵                       | ۱۰                          |
| PCST-600-125-20         | دال خط بتنی پیش‌تنیده شده در دو طرف                           | ۶۰۰                                   | ۱۲/۵                       | ۲۰                          |
| PCST-600-125-30         | دال خط بتنی پیش‌تنیده شده در دو طرف                           | ۶۰۰                                   | ۱۲/۵                       | ۳۰                          |
| PCST-600-250-00         | دال خط بتنی پیش‌تنیده شده در دو طرف                           | ۶۰۰                                   | ۲۵                         | ۰                           |
| PCST-600-250-10         | دال خط بتنی پیش‌تنیده شده در دو طرف                           | ۶۰۰                                   | ۲۵                         | ۱۰                          |
| PCST-600-250-20         | دال خط بتنی پیش‌تنیده شده در دو طرف                           | ۶۰۰                                   | ۲۵                         | ۲۰                          |
| PCST-600-250-30         | دال خط بتنی پیش‌تنیده شده در دو طرف                           | ۶۰۰                                   | ۲۵                         | ۳۰                          |
| PCST-600-375-00         | دال خط بتنی پیش‌تنیده شده در دو طرف                           | ۶۰۰                                   | ۳۷/۵                       | ۰                           |
| PCST-600-375-10         | دال خط بتنی پیش‌تنیده شده در دو طرف                           | ۶۰۰                                   | ۳۷/۵                       | ۱۰                          |
| PCST-600-375-20         | دال خط بتنی پیش‌تنیده شده در دو طرف                           | ۶۰۰                                   | ۳۷/۵                       | ۲۰                          |
| PCST-600-375-30         | دال خط بتنی پیش‌تنیده شده در دو طرف                           | ۶۰۰                                   | ۳۷/۵                       | ۳۰                          |
| PCST-500-375-00         | دال خط بتنی پیش‌تنیده شده در دو طرف                           | ۵۰۰                                   | ۳۷/۵                       | ۰                           |
| PCST-550-375-00         | دال خط بتنی پیش‌تنیده شده در دو طرف                           | ۵۵۰                                   | ۳۷/۵                       | ۰                           |
| PCST-600-000-00 one-way | دال خط بتنی پیش‌تنیده شده در جهت عرضی                         | ۶۰۰                                   | ۰                          | ۰                           |
| PCST-600-125-00 one-way | دال خط بتنی پیش‌تنیده شده در جهت عرضی                         | ۶۰۰                                   | ۱۲/۵                       | ۰                           |
| PCST-600-250-00 one-way | دال خط بتنی پیش‌تنیده شده در جهت عرضی                         | ۶۰۰                                   | ۲۵                         | ۰                           |
| PCST-600-375-00 one-way | دال خط بتنی پیش‌تنیده شده در جهت عرضی                         | ۶۰۰                                   | ۳۷/۵                       | ۰                           |

۴۰۰ کیلو نیوتن می‌رسد. همانند قسمت قبل، با به وجود آمدن افت نیروی پیش‌تنیدگی در دال خط بتنی پیش‌تنیده، به ازای نیروی یکسان مقدار حداکثر جابجایی دال در وسط دهانه کاهش بسیار اندکی می‌یابد. همانطور که مشخص است، نسبت تغییرات نیروی پیش‌تنیدگی و تغییرات جابجایی رابطه‌ای تقریباً خطی دارند.

### ۳-۳- تأثیر افت نیروی پیش‌تنیدگی بر جابجایی وسط دهانه با سایش ۲۵ میلی‌متر

نتایج تأثیر افت نیروی پیش‌تنیدگی بر جابجایی وسط دهانه با در نظر گرفتن اثر سایش ۲۵ میلی‌متر در محل ریل‌ها در این قسمت مورد بررسی قرار گرفته است. در تصویر ۸ تغییرات جابجایی وسط دهانه با در نظر گرفتن سایش ۲۵ میلی‌متر برای سه مدل با ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد افت نیروی پیش‌تنیدگی با مدل بدون افت مقایسه شده است. همانطور که در نمودار تصویر ۸ مشاهده می‌شود، با ایجاد سایش ۲۵ میلی‌متر و بدون در نظر گرفتن افت نیروی پیش‌تنیدگی، به ازای جابجایی یکسان مقدار نیروی مورد نیاز نسبت به حالت بدون سایش افزایش می‌یابد و این بدان معناست که ظرفیت قطعه کاهش یافته است و این کاهش نسبت به حالت ۱۲/۵ بیشتر است. به عنوان مثال برای رسیدن به جابجایی ۰/۰۴۴ میلی‌متر در حالت بدون افت و بدون سایش حدود ۲۸۰ کیلو نیوتن نیرو و برای حالت ۱۲/۵ میلی‌متر سایش حدود ۳۰۰ کیلو نیوتن نیرو لازم است.



شکل ۷ تغییرات جابجایی در وسط دهانه با میزان افت نیروی پیش‌تنیدگی مختلف با سایش ۱۲/۵ میلی‌متر

همانطور که در نمودار تصویر ۷ مشاهده می‌شود، با ایجاد سایش ۱۲/۵ میلی‌متر و بدون در نظر گرفتن افت نیروی پیش‌تنیدگی، به ازای جابجایی یکسان مقدار نیروی مورد نیاز نسبت به حالت بدون سایش افزایش می‌یابد و این بدان معناست که ظرفیت قطعه کاهش یافته است. به عنوان مثال برای رسیدن به جابجایی ۰/۰۶ میلی‌متر در حالت بدون افت و بدون سایش حدود ۳۷۰ کیلو نیوتن نیرو لازم است. درحالی که با ایجاد سایش ۱۲/۵ میلی‌متر نیروی مورد نیاز برای ایجاد جابجایی یکسان حدود ۸ درصد افزایش می‌یابد و به عدد



است. به عنوان مثال برای رسیدن به جابجایی  $0.34/0$  میلی‌متر در حالت بدون افت و بدون سایش حدود  $135$  کیلو نیوتن نیرو، برای حالت  $12/5$  میلی‌متر سایش حدود  $240$  کیلو نیوتن نیرو و برای حالت  $25$  میلی‌متر سایش حدود  $200$  کیلو نیوتن نیرو لازم است. در حالی که با ایجاد سایش  $37/5$  میلی‌متر نیروی مورد نیاز برای ایجاد جابجایی یکسان حدود  $296$  درصد (نسبت به مدل پایه) افزایش می‌یابد و به عدد  $400$  کیلو نیوتن می‌رسد. همانند قسمت قبل، با به وجود آمدن افت نیروی پیش‌تنیدگی در دال خط بتنی پیش‌تنیده، به ازای نیروی یکسان مقدار حداکثر جابجایی دال در وسط دهانه کاهش بسیار اندکی می‌یابد.

#### ۴- نتیجه‌گیری

در این مطالعه به بررسی تأثیر سایش نشیمن گاه ریل بر عملکرد دال‌های بتنی پیش‌تنیده بر پایه اصول اجزای محدود پرداخته شده است. به این منظور، تأثیر افت نیروی پیش‌تنیدگی بدون در نظر گرفتن سایش، سایش  $12/5$ ،  $25$  و  $37/5$  میلی‌متر با مقادیر مختلف افت نیروی پیش‌تنیدگی، سایش  $37/5$  میلی‌متر با مقادیر مختلف مقاومت فشاری و مقادیر مختلف سایش به همراه حذف نیروی پیش‌تنیدگی در جهت طولی در سازه بررسی شده است و نتایج زیر بدست آمده است:

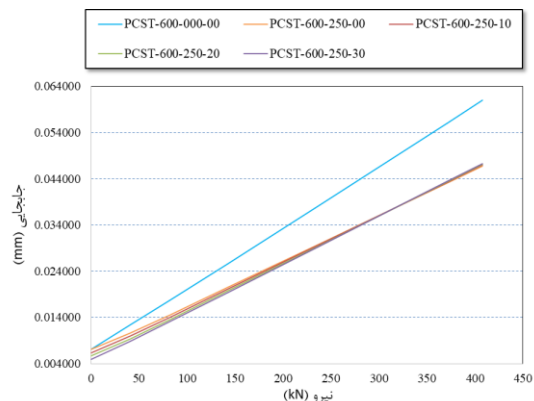
مدل صحت‌سنجی شده با نمونه‌ی آزمایشگاهی نشان‌دهنده خطای کمتر از دو درصد می‌باشد. در هر دو نمونه‌ی آزمایشگاهی و عددی مقدار نیروی حداکثر اعمال شده به محل ریل برابر بوده است و خطای کم در تحلیل نشان‌دهنده صحت مدل ساخته شده می‌باشد.

به منظور سهولت در انجام تحلیل و با توجه به حذف شدن المان‌های محل بارگذاری، محل اعمال بار ریل‌ها با دو بار نواری به موازات هم در اطراف محل ریل ساده‌سازی شد. نتایج نشان داد که اختلاف خروجی‌های بدست آمده کمتر از  $0.5$  درصد می‌باشد و این ساده‌سازی قابل قبول می‌باشد.

به علت رفتار خطی بتن در محدوده‌ی بارگذاری و عدم بروز ترک در سازه، تغییرات نیروی پیش‌تنیدگی تأثیر چندانی در جابجایی وسط دهانه ندارد (کمتر از دو درصد). هر چند در همین بازه تغییرات اندک، با دو برابر شدن افت نیروی پیش‌تنیدگی از  $10$  درصد به  $20$  درصد، با توجه به موازی بودن خطوط و فاصله‌ی تقریباً یکسان آن‌ها، مقدار کاهش جابجایی نیز دو برابر می‌شود، در حالی که خود مقدار جابجایی کمتر از دو درصد تغییر می‌کند.

با ایجاد سایش  $37/5$  میلی‌متر و بدون در نظر گرفتن افت نیروی پیش‌تنیدگی، به ازای جابجایی یکسان مقدار نیروی مورد نیاز نسبت به حالت بدون سایش افزایش می‌یابد و این بدان معناست که ظرفیت قطعه کاهش یافته است و این کاهش نسبت به حالت  $12/5$  و  $25$  میلی‌متر بیشتر است.

تأثیر افزایش مقدار سایش بر حداکثر جابجایی وسط دهانه در دال خط بتنی پیش‌تنیده به صورت خطی نمی‌باشد و هر چه مقدار سایش بیشتر باشد، مقدار جابجایی با ضریب بیشتری افزایش می‌یابد.

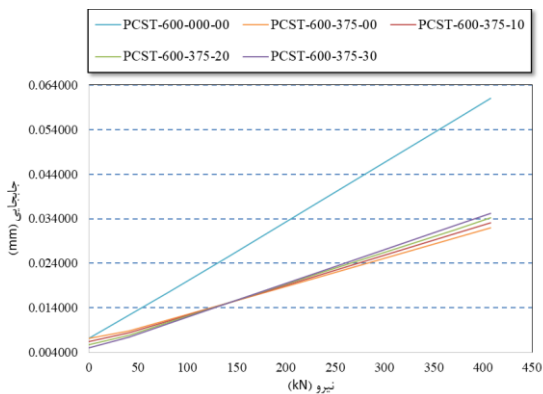


تصویر ۸ تغییرات جابجایی در وسط دهانه با میزان افت نیروی پیش‌تنیدگی مختلف با سایش  $25$  میلی‌متر

در حالی که با ایجاد سایش  $25$  میلی‌متر نیروی مورد نیاز برای ایجاد جابجایی یکسان حدود  $34$  درصد (نسبت به مدل پایه) افزایش می‌یابد و به عدد  $375$  کیلو نیوتن می‌رسد. همانند قسمت قبل، با به وجود آمدن افت نیروی پیش‌تنیدگی در دال خط بتنی پیش‌تنیده، به ازای نیروی یکسان مقدار حداکثر جابجایی دال در وسط دهانه کاهش بسیار اندکی می‌یابد.

#### ۳-۴- تأثیر افت نیروی پیش‌تنیدگی بر جابجایی وسط دهانه با سایش $37/5$ میلی‌متر

نتایج تأثیر افت نیروی پیش‌تنیدگی بر جابجایی وسط دهانه با در نظر گرفتن اثر سایش  $37/5$  میلی‌متر در محل ریل‌ها در این قسمت مورد بررسی قرار گرفته است. در تصویر ۹، تغییرات جابجایی وسط دهانه با در نظر گرفتن سایش  $37/5$  میلی‌متر برای سه مدل با  $10$ ،  $20$  و  $30$  درصد افت نیروی پیش‌تنیدگی با مدل بدون افت مقایسه شده است.



تصویر ۹ تغییرات جابجایی در وسط دهانه با میزان افت نیروی پیش‌تنیدگی مختلف با سایش  $37/5$  میلی‌متر

همانطور که در نمودار تصویر ۹ مشاهده می‌شود، با ایجاد سایش  $37/5$  میلی‌متر و بدون در نظر گرفتن افت نیروی پیش‌تنیدگی، به ازای جابجایی یکسان مقدار نیروی مورد نیاز نسبت به حالت بدون سایش افزایش می‌یابد و این بدان معناست که ظرفیت قطعه کاهش یافته است و این کاهش نسبت به حالت  $12/5$  و  $25$  میلی‌متر بیشتر

#### ۵- تعارض منافع

نویسندگان هیچ گونه تضاد منافی ندارند.

#### ۶- حمایت مالی

این تحقیق از هیچگونه حمایت مالی ای برخوردار نبوده است.

#### ۷- مراجع

- [7] Tarifa, M., Zhang, X.X., Ruiz, G., Poveda, E., October 2015, "Full-scale fatigue tests of precast reinforced concrete slabs for railway tracks", *Engineering Structures*, vol. 100, pp. 610-621.
- [8] Minoura S., Watanabe, T., Sogabe M., Goto, K., September 2017, "Analytical Study on Loading Capacity of Prestressed Concrete Sleeper", *Procedia Engineering*, vol. 199, pp. 2482-2487.
- [9] Marolt, T., Esen, A.F., Woodward, P.K., Laghrouche, O., Connolly, D.P., December 2018, "Full scale laboratory testing of ballast and concrete slab tracks under phased cyclic loading", *Transportation Geotechnics*, vol. 17, pp. 33-40 .
- [10] Yang, X., Shu, Y., Zhou, S., He, C., D, H., February 2019, "An implicit periodic nonlinear model for evaluating dynamic response of damaged slab track involving material nonlinearity of damage", *Construction and Building Materials*, vol. 197, pp. 559-575.
- [11] Farnam, S.M., Rezaie, F., February 2019, "Simulation of crack propagation in prestressed concrete sleepers by fracture mechanics" *Engineering Failure Analysis*, vol. 96, pp. 109-117.
- [12] Yu, R., Goto, K., Ngamkhanong, C., Kaewunruen, S., January 2019, "Nonlinear finite element analysis of structural capacity of railway prestressed concrete sleepers with rail seat abrasion", *Engineering Failure Analysis*, vol. 95, pp. 47-65.
- [13] ABAQUS, 2018, "Analysis User's Manual", USA .
- [14] Baoqun, W., Lei, P., Qikai, A., Hongbin, Z., & Wei, S. (2017, September). Key innovative technology of CRTS III type pretensioning ballastless track slab by unit serial method. In 2017 2nd IEEE International Conference on Intelligent Transportation Engineering (ICITE) (pp. 103-107). IEEE.
- [1] Publication 301, 1384, "General Technical Specifications of Railways", National Management and Planning Organization (In persian)
- [2] Mirghafari, R., 2017, "Numerical modeling of deep prestressed beams", Tarbiat Modares University, Tehran (In persian)
- [3] Hosseini, S. H., Madhkhwan, M., 2013, "Analysis of concrete railway track slabs in both prefabricated and in-situ conditions", 5th annual national conference on concrete in Iran, Tehran (In persian)
- [4] Zeman, John C., Edwards, J. R., Lange, D., Barkan, C., November 2009, "Investigation of Potential Concrete Tie Rail Seat Deterioration Mechanisms", In Transportation Research Board 89th Annual Meeting, Washington, DC
- [5] Kernes, R.G., Shurpali, A.A., Edwards J.R., Dersch M.S., Lange D.A., Barkan C.P., April 2014, "Investigation of the mechanics of rail seat deterioration and methods to improve the abrasion resistance of concrete sleeper rail seats", *Rail and Rapid Transit*, vol. 228, no. 6, pp. 581-589, USA.
- [6] Parvez A., 2015, "Fatigue behaviour of steel-fibre-reinforced concrete beams and prestressed Sleepers", Ph.D. dissertation, dept. Civil. Eng., UNSW Univ., Sydney.



7 (2) , 2023

دوره ۷، شماره ۲

زمستان ۱۴۰۱

فصلنامه پژوهشی



بررسی عددی تاثیر سایش نشیمن گاه ریل بر عملکرد خطهای بتنی پیش-تنبیده

تنبیده

#### COPYRIGHTS

©2023 by the authors. Published by **Journal of Engineering & Construction Management (JECM)**. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)