

افزایش ظرفیت باربری واگن لبه بلند با استفاده از فولادهای دومکس

نام محور مقاله: طراحی عمومی ناوگان ریلی

محمد جعفری نسب^۱

یعقوب محمدی^۲

چکیده

مزایای زیاد استفاده از حمل و نقل ریلی نسبت به دیگر سیستم‌های حمل و نقل موجب توجه فوق العاده به استفاده از این نوع سیستم‌ها جهت حمل بار در راه آهن‌های کشورهای پیشرفته و در حال توسعه شده است. با توجه به هزینه‌های قابل توجه سوخت همواره مبحث کاهش وزن و افزایش ظرفیت باربری یکی از نقاط مورد توجه کارشناسان می‌باشد. در این مقاله جایگزینی فولادهای مستحکم دومکس به جای ST 52 به عنوان ورق پوششی واگن‌های لبه بلند مورد بررسی قرار گرفته است. در ابتدا توضیحاتی در خصوص خواص مکانیکی این فولادها و کاربردهای آن‌ها در صنایع ریلی ارائه گردیده است. سپس با استفاده از فرمول‌های تجربی موجود پیشنهادی برای ضخامت‌های جایگزین ارائه شده و بر اساس آن‌ها هزینه‌های تحمیلی به بهره‌بردار برای سرمایه‌گذاری روی واگن‌های اصلاح شده محاسبه گردیده است. طبق بررسی‌های انجام شده این هزینه طی کمتر از سه سال مستهلک می‌گردد که در ازای آن مزایایی مانند کاهش ۱۲ درصدی وزن بدنه فلزی واگن، افزایش ۲ درصدی ظرفیت باربری، کاهش هزینه‌های تعمیر و نگهداری، افزایش ایمنی و طول عمر واگن را به دنبال خواهد داشت.

کلمات کلیدی

واگن لبه بلند، فولاد دومکس، افزایش ظرفیت باربری، خوردگی، کاهش وزن

۱- مقدمه

صنعت حمل و نقل در توسعه پایدار نقش بسیار روشن و انکارناپذیر داشته و سهم چشمگیری در تولید ناخالص داخلی کشورها دارد. در این میان حمل و نقل ریلی در جهان امروز بیشترین کارایی را در برابر انرژی مصرفی دارد. ضمن آنکه نسبت به دیگر صنایع حمل و نقل از جاده‌ای، دریایی و هوایی از حوادث کمتری برخوردار بوده و کمترین آسیب را به محیط زیست وارد می‌نماید. به عبارت دیگر صنعت راه آهن سازگارترین روش جابه جایی در ارتباط با محیط زیست است، به گونه ای که به صنعت جابه‌جایی سبز معروف شده است. در حال حاضر بیش از ۹ هزار کیلومتر خط ریلی در کشور وجود دارد که قرار است براساس برنامه چشم انداز ۲۰ ساله به ۳۶ هزار کیلومتر برسد. هم اکنون بخش حمل و نقل ریلی با وجود سهم ۱۶ درصدی از حمل و نقل بار و مسافر در کشور تنها ۲ درصد مصرف گازوئیل را به خود اختصاص می‌دهد. آمار بانک جهانی حاکی از آن است که میزان مصرف سوخت در راه آهن برای حمل هزار تن بار بالغ بر ۷/۶ لیتر و در حمل و نقل جاده ای شاخص مزبور برابر ۳۳ لیتر است. بر همین اساس برای جابه جایی هر یک هزار تن- کیلومتر بار توسط راه آهن ۲۶ لیتر سوخت صرفه جویی می‌شود [۱]. محدودیت‌های تولید در مقایسه با روند مصرف و ضرورت حفظ و حراست از منابع طبیعی، کاهش مصرف انرژی و

^۱ رئیس تحقیقات در تکنولوژی بدنه - شرکت توسعه صنایع ریلی ایرانیان (ایریکو) - آدرس: تهران، فلکه دوم صادقیه، خیابان آیت ... کاشانی، پلاک ۹۱ - تلفن: ۰۲۱-۴۴۰۳۳۶۷۷ پست الکترونیکی: rdcenter@iri.co.ir

^۲ رئیس تحقیق و توسعه محصولات جدید - شرکت توسعه صنایع ریلی ایرانیان (ایریکو) - آدرس: تهران، فلکه دوم صادقیه، خیابان آیت ... کاشانی، پلاک ۹۱ - تلفن: ۰۲۱-۴۴۰۳۳۶۷۷ پست الکترونیکی: mohammadi.y@iri.co.ir

هزینه‌ها، بازنگری در رویه‌های فعلی تولید را اجتناب ناپذیر می‌نماید. به همین منظور هر گونه تلاش در جهت افزایش بهره‌وری از طریق کاهش وزن سازه‌های فلزی با استفاده از آلیاژهای سبک و یا طراحی نوین سازه‌ها با استفاده از دانش روز منجر به افزایش کارایی، کاهش هزینه و صرفه جویی در منابع غیر قابل تجدید می‌گردد. لذا در این مقاله با تمرکز بر کاهش وزن ناوگان باری رایج در کشور امکان افزایش ظرفیت‌های باربری این صنعت و کاهش هزینه‌های تمام شده بررسی گردیده است. امروزه صنایع حمل و نقل سه هدف اصلی را مدنظر داشته و به دنبال راه حل‌هایی برای رسیدن به آن‌ها هستند. این اهداف عبارتند از:

۱. کاهش وزن تجهیزات حمل و نقل برای کاهش مصرف انرژی، هزینه و آلودگی محیط زیست

۲. تضمین کلیه استانداردهای ایمنی با استفاده از مواد استحکام بالا

۳. تسهیل فرآیند ساخت و کاهش هزینه‌های تولید [۲]

استفاده از فولادهای مستحکم جهت کاهش وزن سازه‌ای با توجه به خواص این مواد در صنایع مختلف از جمله صنعت ریلی همواره مطرح بوده است. این مقاله با دو دیدگاه کاهش وزن این واگن که منتهی به افزایش ظرفیت باربری می‌گردد و کاهش زمان تعمیر و نگهداری این واگن‌ها با استفاده از فولادهای مستحکم ضد سایش و مقاوم در برابر خوردگی را در ورق‌های پوششی واگن‌های باری لبه بلند تولیدی شرکت ایریکو مورد بررسی قرار داده است.

۲- واگن‌های باری لبه بلند

این نوع واگن‌ها بیشتر برای حمل سنگهای معدنی استفاده می‌شود و به دو صورت چهار محوره و شش محوره ساخته شده و در راه آهن ایران مورد استفاده قرار می‌گیرد. در متداول ترین نوع آن، در هر طرف بدنه یک یا دو درب لولا دار (دو لنگه‌ای) نصب شده و دیواره انتهایی بعضی از واگن‌ها در حول لولای فوقانی قابل باز و بسته شدن می‌باشد تا در مواقعی تخلیه از طریق بلند کردن یک سر واگن انجام گیرد. در حال حاضر از واگن‌های لبه‌لند اتریشی، ایرانی، رومانی، روسی، اوکراینی و هندی استفاده می‌شود. که بیش از ۸۴ درصد از این واگن‌ها ۴ محوره می‌باشد. همچنین با توجه به تخلیه مواد این واگن با استفاده از واگن برگردان واگن‌های جدید فاقد درب لولا دار می‌باشند. [۳] با توجه به گستردگی‌های استفاده از واگن‌های لبه بلند ۴ محوره در این مقاله هدف کاهش وزن این واگن‌ها با جایگزینی ورق‌های پوششی این واگن با فولادهای دوامکس می‌باشد. لذا در این بخش اطلاعات اجمالی در خصوص واگن‌های باری لبه بلند ساخت شرکت ایریکو ارائه گردیده است.

شاسی

شاسی واگن از پروفیل‌ها و ورق‌های استاندارد ساخته شده که شامل سرشاسی، تیرهای طولی و میانی، سپری‌های عرضی، نیم‌کاسه‌ها و بالشتک‌های کناری می‌باشد. ورق‌ها و پروفیل‌های باربر در شاسی از جنس ST 52-3 در نظر گرفته شده است. طراحی سرشاسی بصورتی انجام شده که استفاده از کوپلینگ SA3 امکان پذیر می‌باشد. همچنین واگن مجهز به ۲ قلاب کششی می‌باشد. بعلاوه سرشاسی بنحوی تولید شده، که قابلیت بلند کردن از انتهای یک سمت سرشاسی، در حالت با بار مطابق دستور العمل‌های UIC را دارا می‌باشد. جهت جلوگیری از Deflection در زیر تیرهای طولی، طرح تیر عرضی اصلی در نظر گرفته شده است. با توجه به طرح تقویت شاسی در این واگن، در صورت خوردگی حدود ۲ میلیمتر از ورق دیواره و کف همچنان از استحکام بالایی برخوردار می‌باشد.

بدنه

بدنه واگن از فولاد ساخته شده است و متشکل از دو دیواره نیمه مونتاژی و دو دیواره انتهایی می‌باشد. اتصال دیواره‌های جانبی و انتهایی به ورق کف و ستون‌ها به تیر طولی کناری بوده و در ضمن قابلیت قرارگیری در تیپلر را نیز دارا می‌باشد. در این تیپ از واگن لبه بلند، دیواره‌های جانبی و انتهایی به گونه‌ای طراحی شده‌اند که ضخامت ورق‌های آنها از دو ضخامت ۶ و ۴ میلیمتر تشکیل شده است. این بدین معنی است که ۱۱۰۰ میلیمتر از بالای ورق به علت عدم خوردگی با ضخامت ۴ میلیمتر و الباقی، با ضخامت ۶ میلیمتر و از جنس ST 52-3 ساخته شده است. [۶]

مشخصات فنی واگن لبه بلند ایریکو

UIC 505-1	گاباری
1435 mm	عرض خط
4	تعداد محور
22.5 ± 3%	وزن خالی واگن
22.5	بار محوری
120 km/hr	ماکزیمم سرعت مجاز (بدون بار)
100 km/hr	ماکزیمم سرعت در حالت با بار
14240 mm	طول واگن
2950 mm	عرض واگن
3200 mm	ارتفاع واگن از ریل
9000 mm	فاصله بین دو مرکز بوژی
Y25 LSD1	بوژی
Automatic SA3	نوع قلاب
~ 67.5 ton	وزن بارگیری مجاز
KE-GP-(A) KNORR	نوع سیستم ترمز
920/840 mm	قطر چرخ
1800 mm	فاصله مراکز محورها
75 m	حداقل شعاع قوس در کارگاه

۳- خواص مکانیکی فولادهای دومکس ساخت شرکت فولاد سوئد [۵]

دومکس، نوعی از فولادهای پیشرفته با استحکامی خارق العاده می باشد که با قطعاتی به وزن کمتر و استحکامی بیشتر برای صنعت حمل و نقل سنگین طراحی و تولید شده است. مزایای فولادهای دومکس استحکام بالا، شکل پذیری عالی، مقاومت در برابر ضربه های شدید، جوش پذیری و در نتیجه بازده بالا می باشد. همچنین این نوع فولاد در مقایسه با فولادهای سنتی، دربرگیرنده مزایای زیست محیطی ناشی از کاهش وزن کلی، افزایش ظرفیت و کارایی، و عمر طولانی تر می باشد. خواص مکانیکی برخی از انواع فولادهای دومکس به شرح زیر می باشد:

خواص مکانیکی و ضربه پذیری فولادهای سازه ای دومکس MC:

Steel grade	Yield strength	Tensile strength	Elongation min. (%)		Bending radius min. 123 mm	Bending radius min. 3-126 mm	Bending radius min. 1-6 mm
	R_{eH} (N/mm ²) min.	R_m (N/mm ²) min.-max.	A_{e1} 1-3	A_1 123			
Domex 460 MC	460	520-670	15	19	0.5 x t	0.7 x t	0.9 x t
Domex 500 MC	500	550-700	14	18	0.6 x t	0.8 x t	1.0 x t
Domex 550 MC	550	600-750	14	17	0.6 x t	1.0 x t	1.2 x t
Domex 600 MC	600	650-820	13	16	0.7 x t	1.1 x t	1.4 x t
Domex 650 MC	650*	700-880	12	14	0.8 x t	1.2 x t	1.5 x t
Domex 700 MC	700*	750-950	10	12	0.8 x t	1.2 x t	1.6 x t
Designation suffix	Test temperature	Energy level	Grades				
B	Not impact tested		Domex 460 MC B-Domex 650 MC B				
D	-20°	50 J/cm ²	Domex 460 MC D-Domex 700 MC D				
E	-40°	34 J/cm ²	Domex 460 MC E-Domex 700 MC E				

خواص مکانیکی فولادهای دومکس ضد سایش و ضد خوردگی:

دومکس ضد سایش علاوه بر کاهش وزن تجهیزات، عمر قطعات و وسائلی را که در معرض فرسودگی قرار دارند افزایش می‌دهد. این نوع فولاد از ضخامت‌های ۳ الی ۶ میلیمتر در دسترس می‌باشد. در فرآیند تولید فولاد دومکس ضد خوردگی لایه‌ای از اکسید متراکم همگن سطح آن را پوشانده و مانع نفوذ رطوبت و خوردگی می‌گردد. این نوع فولاد در ساختار تجهیزاتی چون کانتینرها که استحکام و پایداری در برابر خوردگی نیاز به عملیات و هزینه‌های نگهداری را کاهش می‌دهد پر کاربرد می‌باشند.

Steel grade	Yield strength $R_{0.2}$ (N/mm ²) min.	Tensile strength R_m (N/mm ²) min.	Hardness: Typical values	Bending radius: min. ts 3 mm (*)	Bending radius: min. 3x ts 6 mm (*)
Domex Wear Resistant					
Domex Wear 400	400 typical value	520 typical value	min. 360 – max. 420 HBW	3x t	3x t
Domex Weather Resistant					
Domex 550 W	550	600		1x t	1x t
Domex 700 W	700	750		2x t	2x t

۴- کاربرد فولادهای دومکس در صنعت ریلی

از فولادهای دومکس با توجه به شرایط اقلیمی و نیازهای حمل و نقل در ساخت بدنه واگن‌های باری و یا مسافری استفاده می‌گردد.

الکاب سوئد [۵]

در واگن حمل سنگ آهن الکاب سوئد از فولاد Domex MC 650 استفاده گردیده است که مزایای آن بدین شرح می‌باشد:

- افزایش ۲۰ درصدی ظرفیت وزنی
- افزایش ۲۵ درصدی ظرفیت حجمی
- کاهش سایش و خوردگی بدنه واگن‌ها
- افزایش عمر کفید واگن‌ها
- افزایش قابلیت دسترسی واگن
- کاهش هزینه‌های تعمیراتی
- افزایش مقاومت در برابر تنش‌های شدید هنگام تخلیه و بارگیری



(ب)



(الف)

شکل شماره ۱- (الف) واگن الکاب سوئد، (ب) واگن حمل کویل ساخت شرکت تاتراواگونکا

واگن‌های حمل کویل ساخت شرکت تاتراواگونکا [۵]

با استفاده از فولادهای دومکس MC500 و MC650 در سازه شاسی این واگن ۱۵ درصد وزن واگن کاهش یافته و در نتیجه ظرفیت بارگیری و شرایط کار بهبود یافته است.

واگن لبه بلند [۵]

شرکت تاتراواگونکای اسلواکی و شرکت IRS رومانی از فولادهای دومکس 700MC در واگن‌های لبه بلند خود استفاده نموده است. این امر موجب ایجاد کانتینری مستحکم تر و سبک تر گردیده است و ضربه پذیری این واگن‌ها را نسبت به حمل آهن آلات قراضه و سنگ‌های معدنی بیشتر نموده و زمان و هزینه عملیات تعمیر و نگهداری را کاهش داده است.

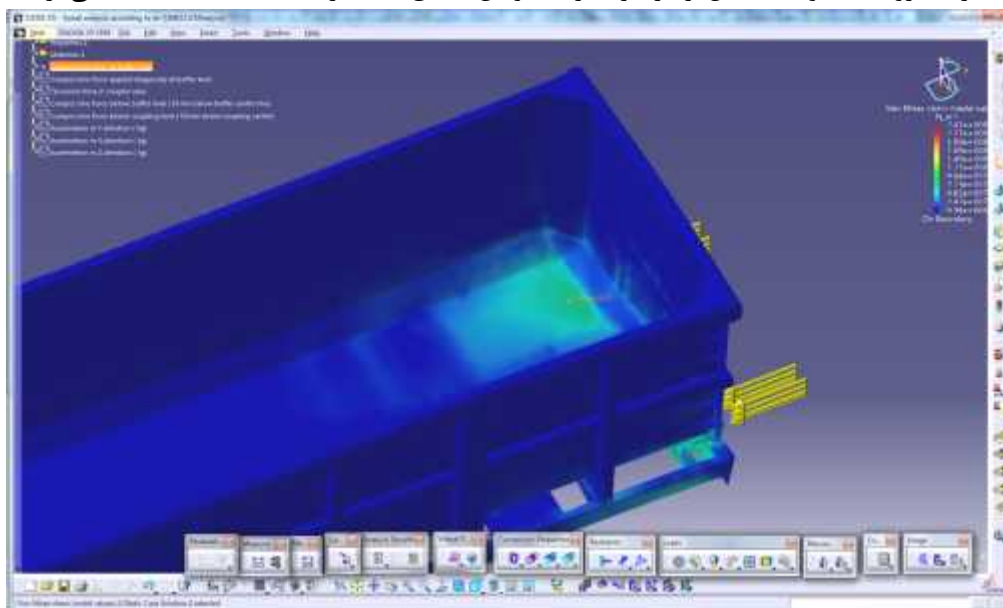


شکل شماره ۲- واگن‌های لبه بلند ساخت شرکت های تاتراواگونکای اسلواکی و شرکت IRS رومانی

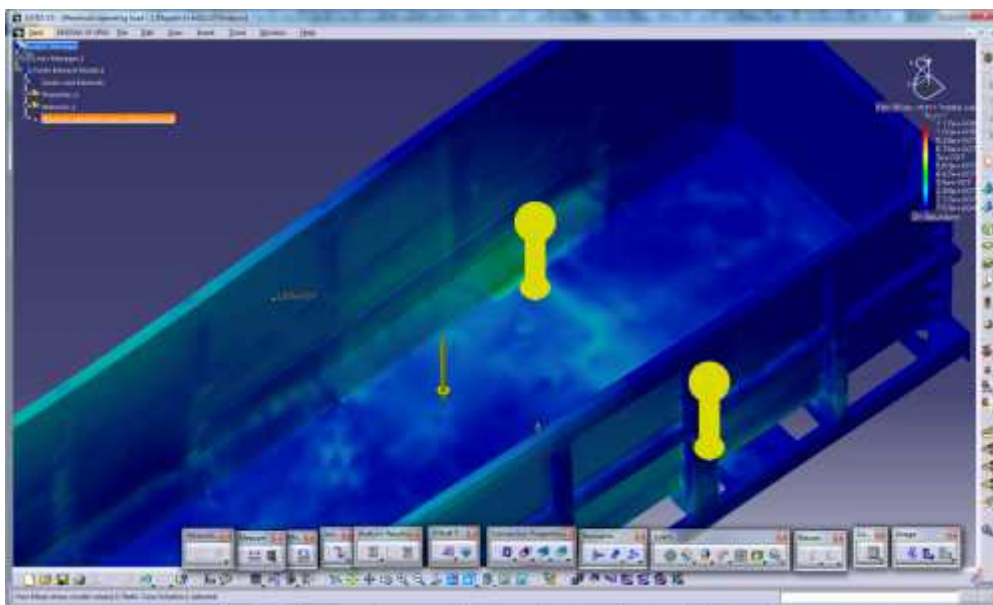
۵- تغییر ورق‌های پوششی واگن لبه بلند

ضخامت ورق‌های واگن لبه بلند ساخت شرکت ایریکو در کف واگن ۶ میلیمتر و دیواره‌های واگن ۴ میلیمتر می‌باشد. با توجه به تحلیل‌های صورت پذیرفته بر روی بدنه این واگن به وسیله نرم افزار CATIA در بارگذاری‌های مختلف مطابق با استانداردهای طراحی بدنه از جمله EN 12663 تنش‌های وارد شده بر ورق‌های کف در بحرانی‌ترین حالت معادل ۷۵ مگاپاسکال و تنش‌های وارد شده بر ورق‌های دیواره معادل ۲۰ مگاپاسکال می‌باشد. همان گونه که مشاهده می‌شود مقادیر ذکر شده نسبت به تنش تسلیم فولادهای ST 52 فاصله زیادی دارد اما به علت بارهای ضربه‌ای که در حین بارگیری و تخلیه به این ورق‌ها اعمال می‌گردد و همچنین بحث‌های مربوط به سایش و خوردگی ضخامت‌های در نظر گرفته شده برای ورق‌های پوششی این واگن در برخی موارد منجر به تعمیرات زود هنگام خواهد شد.

در شکل شماره ۳ نتایج حاصل از تحلیل واگن لبه بلند ساخت ایریکو را در حالت بارگذاری فشاری در محل تامپون و در شکل شماره ۴ بارگذاری نیروهای عمودی حاصل از بارگیری بر کف واگن مطابق استاندارد EN 12663 مشاهده می‌گردد.



شکل شماره ۳- بارگذاری فشاری در محل تامپون



شکل شماره ۴ - بارگذاری نیروهای عمودی حاصل از بارگیری بر کف واگن

شرکت فولاد سوئد یک فرمول تجربی جهت تخمین ضخامت ورق جایگزین با تنش تسلیم بالاتر ارائه نموده است. بدین منظور با انتخاب فولاد دومکس 700MC به جای فولاد ST 52 با استفاده از مقادیر ارائه شده در بخش سوم برای تنش تسلیم این نوع فولاد و فرمول زیر [۵] می توان مقادیر اولیه ای برای ورق های جایگزین پیشنهاد نمود. لازم بذکر است مقادیر محاسبه گردیده نهایی نبوده و تحلیل های انجام شده بر روی واگن باری مجدداً می بایست با جنس های جدید در تمام حالت های بارگذاری انجام گیرد.

$$t_{HS} = \sqrt{\frac{R_{eMS}}{R_{eHS}}} \cdot t_{MS}$$

که در آن:

t_{MS} : ضخامت ST 52

t_{HS} : ضخامت دومکس

R_{eMS} : تنش تسلیم ST 52

R_{eHS} : تنش تسلیم دومکس

بدین ترتیب از فولادهای دومکس 700MC با ضخامت ۴ میلیمتر برای کف و ۳ میلیمتر برای دیوارها می توان استفاده نمود. با توجه به جدول خواص ضربه پذیری این نوع فولاد و جذب انرژی بالاتر به نسبت فولاد ST 52 این ضخامت ها نه تنها منجر به کاهش وزن واگن خواهند شد بلکه بارهای ضربه ای زمان بارگیری و تخلیه را نیز راحت تر دفع می نمایند و در نتیجه عمر مفید استفاده از این واگن ها و هزینه های تعمیر و نگهداری آن را کاهش می دهد.

۶- افزایش ظرفیت باربری و بررسی کاهش هزینه های بهره برداری

با توجه به این که وزن ورق های کف این واگن ۲.۵ تن و وزن ورق های دیواره ۲.۲ تن می باشد با کاهش ۳۳ درصدی ضخامت ورق های کف و کاهش ۲۵ درصدی ضخامت ورق های دیواره وزن بدنه فلزی واگن در حدود ۱.۴ تن کاهش می یابد که معادل ۱۲ درصد از وزن بدنه فلزی واگن می باشد.

در نتیجه کاهش وزن ۱.۴ تنی واگن ظرفیت بارگیری این نوع از واگن‌ها به همین مقدار افزایش می‌یابد که معادل ۲ درصد افزایش ظرفیت بارگیری خواهد بود. این بدین معنی می‌باشد که شرکت‌های بهره‌بردار با سرمایه‌گذاری بیشتر در زمینه تامین ناوگان خود ۲ درصد افزایش درآمد خواهند داشت که در ادامه توضیحات بیشتر ارائه می‌گردد.

با توجه به قیمت‌های اخذ شده در خصوص هزینه خرید فولادهای ST 52 با ضخامت‌های مورد نظر در حال حاضر نرخ این نوع فولاد به طور میانگین کیلویی ۱۲۰۰ تومان می‌باشد که با در نظر گرفتن وزن ۴.۷ تنی برای ورق‌های پوششی هزینه خرید این ورق‌ها معادل ۵۶/۴۰۰/۰۰۰ ریال می‌باشد. قیمت اخذ شده برای فولادهای دومکس نوع 700MC معادل ۱.۹۳۵ یورو به ازای هر کیلوگرم می‌باشد. با در نظر گرفتن وزن ۳.۳ تنی برای این ورق‌ها هزینه خرید معادل ۶۵۰۰ یورو خواهد بود که با در نظر گرفتن هر یورو معادل ۱۵۴۱۵ ریال این مبلغ معادل ۱۰۰/۱۹۷/۵۰۰ ریال می‌باشد. بدین ترتیب با افزایش سرمایه‌گذاری تامین ناوگان به مبلغ ۴۳/۷۹۷/۵۰۰ ریال که حدود ۳ درصد از قیمت یک واگن لبه بلند می‌باشد می‌توان امکان افزایش ۲ درصدی حمل بار را برای واگن مذکور تامین نمود.

با توجه به جدول ارائه شده توسط مدیریت بازرگانی راه آهن هزینه‌های حمل با واگن لبه بلند مطابق تعرفه‌های زیر می‌باشد.

[۴]

موضوع	تعرفه دسترسی هر محور کیلومتر خالی (ریال)	تعرفه دسترسی هر محور کیلومتر باردار (ریال)	فشار محوری مجاز در یک مسیر کامل
تعرفه دسترسی پایه (واگن‌های لبه بلند ، شنکش ، مخزن‌دار حامل مواد نفتی و غیر نفتی)	۹۶۵.۴	۲۸۹۵.۲	مسیر ۲۰ تن
	۱۱۴۱.۳	۳۴۲۰.۵	مسیر ۲۲/۵ تن
تعرفه حمل واگن‌های لبه کوتاه ، مسطح ، لبه بلند ، و مخزن‌دار راه آهنی و واگن‌های پاکستانی حامل محمولات عادی و محمولات اداری راه آهن	از قرار هر تن کیلومتر ۳۸۱ ریال		

با توجه به این که تعرفه‌های دسترسی پایه بر اساس تن محور محاسبه می‌گردد افزایش ظرفیت بارگیری در هزینه‌های شرکت بهره‌بردار بی‌تاثیر می‌باشد و می‌توان کل افزایش ظرفیت بارگیری را برای بهره‌بردار به عنوان سود در نظر گرفت. بدین ترتیب می‌توان میزان سیر لازم برای جبران افزایش سرمایه بهره‌بردار را به شرح زیر محاسبه نمود:

$$\text{میزان سیر برای جبران هزینه افزایش سرمایه} = \text{میزان افزایش سیر} / \text{مقدار افزایش ظرفیت باربری}$$

بدین ترتیب با ۸۲۰۰۰ کیلومتر سیر سود حاصل از این افزایش ظرفیت بارگیری میزان افزایش سرکایه را مستهلک خواهد نمود که با در نظر گرفتن سیر روزانه ۱۰۰ کیلومتر برای هر واگن در کمتر سه سال این اتفاق محقق می‌گردد.

۷- خوردگی در واگن‌های لبه بلند

با توجه به شرایط به کارگیری واگن‌های باری در خط آهن کشور و مشکلات موجود از جمله مهمترین آن‌ها مسئله خوردگی و استحکام پایین در بدنه واگن‌های لبه بلند ساخته شده توسط فولادهای سازه ای می‌باشد. شکل شماره --- خوردگی را در بدنه واگن‌های لبه بلند نشان می‌دهد. با توجه به اطلاعات و خواص مندرج در خصوص فولادهای ضد سایش و ضد خوردگی ارائه شده در این مقاله کاهش ۲ الی ۳ درصدی هزینه‌های تعمیر و نگهداری این واگن‌ها نیز مورد استقبال بهره‌برداران قرار خواهد گرفت. استفاده از فولادهای دومکس 700W با استفاده از خواص لایه اکسیدی متراکمی که به عنوان پوشش روی آن قرار

می‌گیرد مانع نفوذ رطوبت گردیده و علاوه بر کاهش وزن، افزایش مقاومت در برابر ضربه پذیری و ضد خوردگی مزایایی از قبیل افزایش کارایی، عمر و ایمنی واگن، و کاهش هزینه‌های تعمیر و نگهداری را بدنبال خواهد داشت. متأسفانه با توجه به این که قیمت این نوع فولادها در حال حاضر در دسترس نمی‌باشد امکان محاسبه و مقایسه مزایای این طرح وجود ندارد.



شکل شماره ۵ - خوردگی در واگن های لبه بلند

۸- نتیجه گیری

در این مقاله جایگزینی فولادهای مستحکم دومکس به جای ST 52 به عنوان ورق پوششی واگن‌های لبه بلند مورد بررسی قرار گرفت. این طرح مزایای زیر را دارا می‌باشد:

۱. کاهش ۱۲ درصدی وزن بدنه فلزی واگن
۲. افزایش ۲ درصدی ظرفیت باربری
۳. مستهلک شدن افزایش هزینه‌های سرمایه گذاری طی کمتر از ۳ سال
۴. کاهش هزینه‌های تعمیر و نگهداری
۵. کارایی بهتر
۶. افزایش ایمنی
۷. طول عمر بیشتر
۸. منافع زیست محیطی

۹- مراجع

۱. ابوالحسن شریعتی روزنامه کیهان، شماره ۱۹۴۱۱ به تاریخ ۸۸/۴/۲۴، صفحه ۶ (اقتصادی)
۲. بررسی فنی و اقتصادی جایگزینی ورق و پروفیل آلومینیومی به جای فولاد در ساخت بدنه واگن های باری شش محوره فولاد مبارکه، دکتر بهنام داوودی، مرکز تحقیقات راه آهن
۳. سایت رسمی واگن های باری راه آهن جمهوری اسلامی <http://wagonbari.rai.ir>
۴. سایت رسمی بازرگانی راه آهن جمهوری اسلامی <http://bazargani.rai.ir>
۵. گزارش های ارائه شده از سوی شرکت فولاد ساب کاران در خصوص کاربرد های فولادهای مستحکم در صنایع ریلی
۶. کاتالوگ ها و مشخصات فنی واگن های باری شرکت ایریکو