

مطالعه میدانی بمنظور بررسی اثرات روانکاری بر کنترل سایش فلنج چرخ های لکوموتیو شش محوره DF8Bi

مهدی ملاسلمانی^۱، محمدعلی رضوانی^۲، حسین شاهوردی^۳

^۱ کارشناس ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشکده مهندسی مکانیک و هوافضا، تهران، ایران؛ mm.salmani@yahoo.com

^۲ استادیار، دانشکده مهندسی راه آهن دانشگاه علم و صنعت ایران؛ rezvani@mail.iust.ac.ir

^۳ استادیار، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشکده مهندسی مکانیک و هوافضا، تهران، ایران؛ d.shahverdi@gmail.com

چکیده

هندسه چرخ یکی از مهم ترین عوامل تأثیر گذار در هدایت حرکت ناوگان ریلی و پیشگیری از بروز خطر خروج از خط وسایل نقلیه ریلی است. در صورت بالا بودن میزان سایش چرخ احتمال خروج از خط ماشین ریلی افزایش یافته و ایمنی سیر به خطر می افتد. ضخامت پروفیل یکی از موارد تأثیر گذار بر هندسه چرخ می باشد. به منظور کنترل نرخ سایش چرخ در لکوموتیوها معمولاً از سیستم روانکاری فلنج استفاده می نمایند که متأسفانه در ناوگان حمل و نقل ریلی ایران کمتر مورد توجه قرار می گیرد. در این تحقیق رفتار سایشی چرخ های لکوموتیو ۶ محوره مدل DF8Bi ساخت کشور چین با استفاده از اندازه برداری میدانی مورد بررسی قرار گرفته است. در این لکوموتیو محورهای ۱ و ۳ هر بوژی مجهز به سامانه روانکاری فلنج است. هرچند که محور ۲ این بوژی ها فاقد روانکار می باشد. اندازه گیری ها نشان می دهد بعد از پیمایش ۹۶۵۰۰ کیلومتر، میزان سایش در محورهای ۱ و ۳ که دارای سیستم روانکاری می باشند ۲.۶ میلی متر کمتر از محور ۲ که فاقد روانکار فلنج است، می باشد. در نتیجه استفاده از روانکار باعث سایش کمتر چرخ، بازدهی بیشتر آن، به تأخیر انداختن زمان تراش چرخ و در نهایت سیر ایمن ماشین ریلی خواهد شد. نتایج این پژوهش می تواند در قالب دستاوردهای علمی، در دستورالعمل های نگهداری و تعمیر ناوگان ریلی کشور مورد استفاده قرار گیرد. همچنین راهکارهایی برای افزایش ایمنی سیر و حرکت قطار در ارتباط با پروفیل چرخ ها آن ارائه می شود.

کلمات کلیدی: ایمنی سیر، روانکاری فلنج چرخ، رفتار سایشی، لکوموتیو

مقدمه

امروزه، حمل و نقل ریلی به منظور حفظ رقابت با سایر حمل و نقل ها مانند حمل و نقل زمینی و دریایی، نیازمند کاهش هزینه هاست. دو راه حل مهم برای رسیدن به این هدف، کاهش مصرف انرژی در بخش ریلی و کاهش استهلاک بین چرخ و ریل می باشد. برای دستیابی به این موضوع باید روش های اعمال روانکار بین سطح تماس ریل و چرخ و همچنین مکانیزم های انتقال ماده روانکار بطور صحیح مدیریت و تفهیم گردد. تاکنون تحقیقات زیادی در کشورمان به منظور مقابله با نرخ زیاد سایش در چرخ های قطار صورت گرفته که تا حدودی نیز توانسته به حل این مشکل کمک نماید اما توجه چندانی به امر روانکاری نشده است. شیوه های انجام مطالعه در این زمینه متفاوت بوده و شامل مدلسازی و بهینه سازی، شبیه سازی، آزمون های میدانی و تحلیل نظری می باشد. علی اسدی لاری و همکارانش [۱] به منظور کاهش سایش پروفیل چرخ، به مقایسه چرخ فولادی با گرید B2N و B5T پرداخته و با اندازه برداری های میدانی، نشان داده اند که فولاد گرید B5T در مسافت برابر دارای سایش کمتری بوده است. ایشان در تحقیق خود تنها به جنس فولاد چرخ توجه نموده اند و اثر روانکاری فلنج چرخ را مدنظر قرار نداده اند. کریمی و همکاران [۲] با هدف کاهش اصطکاک در ناحیه فلنج چرخ و در نتیجه کاهش میزان سایش، به بازرسی سیستم های روانکاری در ناحیه جنوب و راه کارهای رفع خرابی موجود در آن ها پرداختند اما در گزارش خود تنها به بررسی مشکلات دستگاه ها پرداخته و اشاره ای به تأثیر روانکاری فلنج در سایش چرخ نداشته اند. دسکارتس و همکاران [۳] در مقاله ای با عنوان "Wheel flange/ rail gauge corner contact lubrication: Tribological investigations" نکاتی به منظور بهبود نظریات در رابطه با مکانیزم های روانکاری بین ریل و چرخ ارائه داده اند تا بتوان از این نظریات برای ارزیابی و ایجاد سیستم های جدید روانکاری فلنج چرخ استفاده نمود. ایشان در تحقیق عملی خود در راه آهن اروپا اظهار داشته اند که ماده روانکار واقعی در حقیقت ترکیبی از ماده روانکار و مواد جدا شده از سطح ریل و چرخ می باشد. گرهارد تلن و همکاران [۴] در مقاله ای با عنوان "A parametric study of the lubrication transport mechanism at the rail-wheel interface" نتایج تحقیقات انجام شده بر روی بهبود مکانیزم های انتقال روانکار بین سطوح ریل و چرخ و فاکتورهایی که باعث کاهش روانکاری می شوند را ارائه نموده اند. ایشان با بررسی های میدانی پارامترهای مختلفی از جمله زبری سطوح چرخ و ریل، ابعاد چرخ و ریل، نوع دستگاه های روانکاری، تعداد و محل نصب

دستگاههای روانکار، دمای محیط، ویسکوزیته و نوع روانکار بروی روانکاری بین چرخ و ریل اثبات کرده‌اند که با بهبود روش‌های انتقال روانکار می‌توان تا حد زیادی از هزینه‌های حمل و نقل ریلی را کاهش داد. یینگ جین و همکاران [۵] با ارائه مقاله‌ای با عنوان "Experimental simulation and prediction of wear of wheel flange and rail gauge corner" با انجام تست‌های عملی با استفاده از دستگاه شبیه‌ساز تماس ریل و چرخ که با ابعاد واقعی چرخ و ریل ساخته شده اثر بار محوری، زاویه تماس، سختی ریل و روانکار را بر روی رفتار سایشی فلنج چرخ و سطح کناری ریل را بررسی نموده‌اند و با تطبیق نتایج تست و شرایط واقعی، نتایج تست‌های دیگر را به واقعیت بسط داده‌اند. ماسائو توموکا و همکاران [۶] با ارائه مقاله‌ای با عنوان "Friction control between wheel and rail by means of on-board lubrication" ابتدا با انجام تست‌هایی بروی دو رولر مدل‌سازی شده بعنوان چرخ و ریل، اصطکاک بین دو سطح را با روانکارهای مختلف ارزیابی و یک روانکار ایده‌آل بمنظور برقراری اصطکاک مطلوب بین چرخ و ریل را معرفی نموده‌اند. ماکسیم و همکاران [۷] در مقاله‌ای با عنوان "Numerical calculation of temperature in the wheel-rail flange contact and implications for lubricant choice" به مدل‌سازی عددی بمنظور پیش‌بینی دمای ایجاد شده از تماس چرخ و ریل پرداخته و از دمای محاسبه شده برای انتخاب نوع ماده روانکار استفاده نموده‌اند. کریستوف تومبرگر و همکاران [۸] در مقاله‌ای با عنوان "Friction in wheel-rail contact: A model comprising interfacial fluids, surface roughness and temperature" نوع روانکار را یکی از عوامل تأثیرگذار بر خزش کششی ریل دانسته‌اند. در این تحقیق به بررسی اثر روانکاری بروی فلنج چرخ لکوموتیو ۶ محوره مدل DF8Bi پرداخته شده که در این لکوموتیو محورهای ۱ و ۳ هر بوژی مجهز به سیستم روانکاری فلنج با کربن جامد می‌باشند و محور ۲ فاقد روانکار است. با اندازه‌برداری میدانی صورت گرفته اثرات روانکار بروی هر سه محور اندازه‌گیری و مورد تحلیل قرار گرفته است.

اهمیت روانکاری سطح تماس چرخ و ریل و انواع آن

هندسه (پروفیل) چرخ یکی از عوامل رفتار سایشی به ویژه در ناحیه‌های لبه^۱ و غلتشگاه^۲ بوده و در تعیین شرایط خروج از خط تأثیرگذار است [۱]. در صورت بالا بودن میزان سایش چرخ‌ها احتمال خروج از خط ماشین ریلی افزایش یافته و ایمنی سیر قطار به مخاطره می‌افتد. میزان زیاد سایش چرخ‌های قطار برای یک ناوگان محدود، یکی از مهمترین مشکلاتی است که راه‌آهن ایران همواره در سال‌های گذشته با آن رو به رو بوده، و عمدتاً به لحاظ اقتصادی و به ندرت از نظر ایمنی هزینه‌های هنگفتی را در پی داشته است. این میزان زیاد سایش که در برخی موارد به چند برابر نرخ سایش در خطوط ریلی اروپا می‌رسد (پنج‌هزار کیلومتر در مقایسه با یک میلیون کیلومتر کارکرد [۹])، به ویژه در مسیرهایی از شبکه ریلی مطرح است که دارای قوس‌های تند و به تعداد زیاد می‌باشد.

روانکاری فلنج در موارد زیر تأثیر بسزایی خواهد داشت:

۱. کاهش سایش فلنج چرخ
۲. صرفه‌جویی در انرژی/سوخت
۳. صدای کمتر فلنج هنگام عبور از قوس
۴. افزایش زمان فاصله بین دو تراش چرخ
۵. کاهش تنش خستگی تماسی روی ریل و چرخ

روانکاری سطح تماس بین ریل و چرخ تنها زمانی مؤثر خواهد بود که مکانیزم انتقال به درستی انتخاب شده باشد. شرایط بهره‌برداری از روانکار، نوع قطار، لغزش چرخ، آلودگی‌های محیطی مانند وجود گازوئیل یا روغن روی سطح ریل یا چرخ، و عوامل انسانی بطور غیر مستقیم، مکانیزم انتقال روانکار را تحت تأثیر قرار می‌دهند. عموماً از دو نوع سیستم روانکار استفاده می‌شود:

۱. روانکاری مستقیم: روانکاری چرخ از طریق روانکاری سطح تماس چرخ و ریل با استفاده از تجهیزات نصب شده بروی ریل، نوعی انتقال مستقیم روانکار محسوب می‌شود که همچنان وابستگی قابل توجهی به پارامترهایی همچون تعداد قطارها و نوع روانکار اعمال شده و همچنین میزان روانکار دارد که می‌توانند باعث کاهش بازدهی روانکار گردند.

دستگاه روانکار در خطوطی که دارای قوس تند می‌باشند بروی ریل نصب شده و با حرکت چرخ از روی دستگاه، گریس یا روغن به سطح تماسی ریل و چرخ اسپری می‌شود. بدین ترتیب از اثر نیروهای سایشی بین چرخ و ریل کاسته می‌شود. یکی از عیوب این سیستم چرب شدن ریل در منطقه قوس است که باعث درجا زدن چرخ لکوموتیو هنگام عبور از منطقه خواهد شد.

۲. روانکاری غیر مستقیم: لکوموتیوهای نسل جدید مجهز به سیستم روانکاری فلنج اتوماتیک می‌باشند. این سیستم‌ها به دو دسته روانکاری پیوسته (میله روانکار) و روانکاری مقطعی (اسپری رغن) تقسیم بندی می‌شوند که ماده روانکار را به فلنج چرخ اعمال نموده و در اثر گردش چرخ بروی ریل، ماده روانکار به سطح تماسی ریل و چرخ منتقل می‌شود.

¹ Flange

² Tread

انواع سیستم‌های روانکاری غیرمستقیم

میزان موفقیت آمیز بودن روانکاری، وابسته به مکانیزم انتقال روانکار می‌باشد که تحت تأثیر پارامترهای مختلفی همچون پروفیل چرخ و ریل، ابعاد ریل، خصوصیات دینامیکی وسیله نقلیه ریلی، شرایط سطوح ریل و چرخ، ویسکوزیته و میزان چربی روانکار، دمای کاری چرخ و ریل و شرایط محیطی شامل دما و رطوبت هوا می‌باشد [۳]. یکی از مهم‌ترین سطوح سایشی، سطح تماس بین چرخ و ریل می‌باشد. سایش در این منطقه به علت حرکت وسیله نقلیه ریلی در قوس، درجا زدن چرخ، ترمزگیری یا وسایل نقلیه ریلی پرسرعت بوجود می‌آید [۷]. کنترل اصطکاک بین ریل و چرخ راه‌گشای بسیاری از مشکلات تماس چرخ و ریل مانند: درج‌زدن چرخ، بریدگی ریل، صدای ناهنجار حرکت چرخ بروی ریل و سایش چرخ و ریل خواهد بود [۶].

در لکوموتیو از سیستم انتقال غیر مستقیم روانکار به دو روش بهره‌گیری می‌شود. تفاوت این دو روش در نوع روانکار و نحوه اعمال روانکار است.

۱. اسپری روغن (یا گریس): در این روش، زمانیکه لکوموتیو وارد قوس می‌شود از طریق ارسال سیگنال به سیستم روانکار، روغن (یا گریس) از مخزن ذخیره، و از طریق نازل سیستم به سمت پروفیل چرخ به شکل اسپری پاشیده می‌شود. شرایط کاری این سیستم در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱: شرایط کاری دستگاه روغنکاری اسپری فلنج [۱۰]

فشار منبع هوایی مورد نیاز	Max.10 bars	
فشار کاری	4 to 10 bars	
ظرفیت مخزن روغن	4/6.5/10/13/18 L (بر اساس نیاز قابل افزایش است)	
سطح اسپری شده	0.1 cm ²	
مدت زمان اسپری	قابل تنظیم	
روانکار	روغن	ویسکوزیته ۲۰ mm ² /s تا ۲۵۰ mm ² /s
	گریس مایع	مدل NLGI کلاس 000
دمای کاری	تجهیزات مکانیکی	-30 °C to +70 °C
	تجهیزات الکترونیکی	-30 °C to +70 °C
ولتاژ	24 V DC / 110 V DC (بر اساس درخواست قابل تغییر)	

۲. میله روانکار^۱: در این روش یک میله کربنی روانکار دائماً از طریق فشار فنر با فلنج چرخ در تماس است. به موجب حرکت لکوموتیو، میله کربنی در اثر اصطکاک ساییده شده و ماده روانکار به فلنج چرخ منتقل می‌شود. بدین ترتیب لایه‌ای با ضخامت یکنواخت از ماده روانکار در محل فلنج چرخ ایجاد و هنگام تماس چرخ با ریل، به سطح مشترک تماسی چرخ و ریل منتقل می‌شود. در شکل ۱ نحوه استفاده از این روش نشان داده شده است.

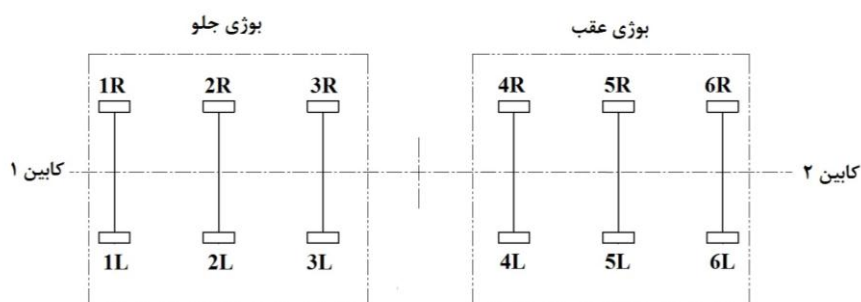


شکل ۱: روانکاری با استفاده از میله کربنی [۱۱]

¹ Lubricating bar (Stock)

مطالعه میدانی اثرات روانکاری بر سایش فلنچ چرخ

به منظور بررسی اثرات روانکاری بروی سایش فلنچ چرخ، جهت کنترل سایش فلنچ در لکوموتیوهای مدل DF8Bi، اندازه‌برداری میدانی صورت گرفت. در این لکوموتیو، محورهای ۱ و ۳ بوژی مجهز به سیستم روانکاری غیر مستقیم از نوع میله کربنی روانکار هستند و محور ۲ فاقد سیستم روانکار است. در آغاز اندازه‌برداری، کیلومترژ و ضخامت اولیه پروفیل چرخ‌های لکوموتیو نمونه (شماره ۳۰۵۶-۶۰) ثبت شده و برای اندازه‌گیری ضخامت پروفیل از کولیس مرکب استفاده شد. چرخ‌های یک سمت لکوموتیو با شماره‌های 1L تا 6L و چرخ‌های سمت دیگر با شماره‌های 1R تا 6R همانطور که در شکل ۲ نشان داده شده نامگذاری و ثبت شده است. بمنظور کاهش خطای اندازه‌گیری توسط کولیس مرکب، هر چرخ به چهار قسمت برابر تقسیم و در هر بار اندازه‌گیری هر چهار منطقه اندازه‌گیری شده و میانگین چهار عدد بعنوان ضخامت پروفیل ثبت می‌شود. در شکل ۳ نحوه شماره‌گذاری چرخ در لکوموتیو ۳۰۵۶-۶۰ نشان داده شده است.



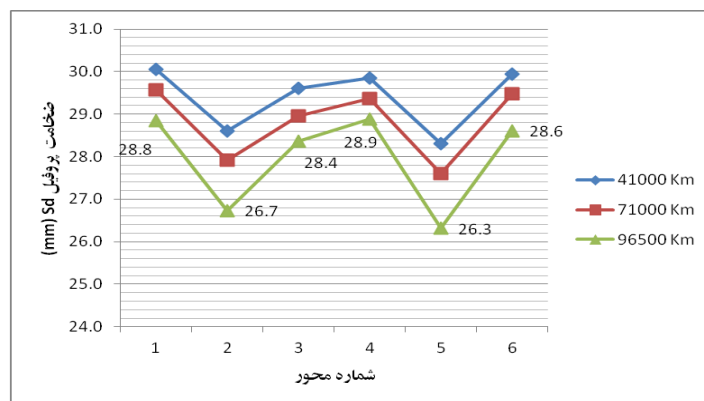
شکل ۲: نحوه نامگذاری چرخ‌های لکوموتیو بمنظور ثبت ارتفاع پروفیل [۱۲]



شکل ۳: شماره‌گذاری چرخ (1R) و تقسیم آن به ۴ قسمت [۱۲]

نتایج اندازه‌برداری میدانی

نتایج اندازه‌برداری میدانی میانگین ضخامت پروفیل هر محور در کیلومترژهای متفاوت در شکل ۴ و ضخامت پروفیل چرخ در کیلومترژهای متفاوت در جدول ۲ آورده شده است.



شکل ۴: ضخامت پروفیل چرخ در هر محور، نسبت به مسافت طی شده

جدول ۲: اندازه‌گیری میدانی ارتفاع ضخامت چرخ در کیلومترهای متفاوت

S _d ضخامت پروفیل			
Mileage (Km) wheel No.	41000	71000	96500
1R	30.1	29.6	28.8
1L	30.0	29.6	28.9
2R	28.6	28.0	26.8
2L	28.6	27.9	26.6
3R	29.7	29.2	28.8
3L	29.6	28.7	27.9
4R	29.8	29.4	28.8
4L	29.9	29.4	29.0
5R	28.2	27.6	26.2
5L	28.4	27.6	26.4
6R	29.9	29.5	28.8
6L	30.0	29.5	28.5
Average			
Axle No.	41000	71000	96500
1	30.1	29.6	28.8
2	28.6	27.9	26.7
3	29.6	29.0	28.4
4	29.9	29.4	28.9
5	28.3	27.6	26.3
6	29.9	29.5	28.6

نتیجه‌گیری و جمع‌بندی

بر اساس اندازه‌برداری میدانی (جدول ۲) نتایج زیر قابل ذکر است:

۱. با استفاده از روانکاری چرخ و ریل، می‌توان به میزان قابل توجهی از هزینه‌های تعمیر و نگهداری چرخ و ریل را کاهش داد.
۲. با مقایسه نرخ سایش ضخامت پروفیل محوره ۱ (یا ۳) با محور ۲ و همچنین محور ۴ (یا ۶) با محور ۵ (نمودار شکل ۴) لکوموتیو DF8Bi، محورهایی که مجهز به سیستم روانکاری فلنج بوده است (محورهای ۴، ۳، ۱ و ۶) دارای نرخ سایش ضخامت پروفیل کمتری نسبت به محورهایی هستند که فاقد سیستم روانکار فلنج بوده‌اند (محورهای ۲ و ۵).
۳. در نمودار شکل ۴ و در کیلومترهای ۹۶۵۰۰ Km، دو محور ۴ و ۵ دارای بیشترین اختلاف ضخامت پروفیل چرخ برابر ۲.۶ میلی‌متر هستند.
۴. استفاده از روانکاری فلنج، باعث کاهش نرخ سایش ضخامت پروفیل چرخ و افزایش سیر ایمن قطارها خواهد شد.

مراجع

- [۱] علی اسدی لاری، جواد علیزاده کاکلر، "تأثیر بهبود رفتار سایشی چرخ‌های فولادی بر ایمنی سیر قطار، مطالعه موردی: واگن مسافری مسیر تهران-میانه"، مجله مهندسی حمل و نقل، سال اول، شماره اول، پاییز ۱۳۸۸
- [۲] محمد کریمی، دانیال فرجی، وهاب فضلی، "گزارش بازدید از خط جنوب"، معاونت فنی شرکت رجا، فروردین ۱۳۸۵
- [3] S. Descartes, A. Saulot, C. Godeau, S. Bondeux, C. Dayot, Y. Berthier, "Wheel flange/rail gauge corner contact lubrication: Tribological investigations", Wear, Volume 271, Issues 1–2, 18 May 2011, Pages 54-61, ISSN 0043-1648, 10.1016/j.wear.2010.10.019
- [4] Gerhard Thelen, Michael Lovette, A parametric study of the lubrication transport mechanism at the rail-wheel interface, Wear, Volume 191, Issues 1–2, January 1996, Pages 113-120, ISSN 0043-1648, 10.1016/0043-1648(95)06701-9.
- [5] Ying Jin, Makoto Ishida, Akira Namura, Experimental simulation and prediction of wear of wheel flange and rail gauge corner, Wear, Volume 271, Issues 1–2, 18 May 2011, Pages 259-267, ISSN 0043-1648, 10.1016/j.wear.2010.10.032.
- [6] Masao Tomeoka, Naoji Kabe, Masuhisa Tanimoto, Eiji Miyauchi, Machi Nakata, "Friction control between wheel and rail by means of on-board lubrication", Wear, Volume 253, Issues 1–2, July 2002, Pages 124-129, ISSN 0043-1648, 10.1016/S0043-1648(02)00091-1.

[7] Maksym Spiryagin, Kwan Soo Lee, Hong Hee Yoo, Oleksandr Kashura, Sergey Popov, "Numerical calculation of temperature in the wheel-rail flange contact and implications for lubricant choice", *Wear*, Volume 268, Issues 1-2, 4 January 2010, Pages 287-293, ISSN 0043-1648, 10.1016/j.wear.2009.08.014.

[8] Christoph Tomberger, Peter Dietmaier, Walter Sextro, Klaus Six, "Friction in wheel-rail contact: A model comprising interfacial fluids, surface roughness and temperature", *Wear*, Volume 271, Issues 1-2, 18 May 2011, Pages 2-12, ISSN 0043-1648, 10.1016/j.wear.2010.10.025.

[9] Asadi Lari A., and Kapoor A., (2008) "An investigation to the influence of bogie direction reversal on equalizing rail vehicle wheel wear", *Wear*, Vol. 265, No. 1-2, pp. 65-71.

[10] Delimon LTD. Co., "Wheel/Flange lubrication system: Railjet Catalogue", 2011

[11] LBFoster Rail Technologies LTD. Co., "KELSAN Wheel Flange Lubrication Catalogue", 2012

[۱۲] مهدی ملاسلمانی، " مطالعه میدانی جهت بهبود سیستم ترمز JZ-7 لکوموتیوهای مدل DF8Bi و تحلیل نتایج آن"، رساله مقطع کارشناسی ارشد، به راهنمایی دکتر محمدعلی رضوانی، ۱۳۹۱