

## بهینه‌سازی مصرف انرژی در تایر

محمدرضا روشندل، مهندس طراح شرکت سازه در پالایشگاه گاز فاز ۲۲، ۲۳، ۲۴ پارس جنوبی و مشاور

مهندسی بخش سیالات مجتمع فولاد هرمزگان

mo.roshandel@sazeh.co.ir

آرش بابایی جهرمی، سرپرست سیالات و گازهای صنعتی مجتمع فولاد هرمزگان و مدرس دانشکده فنی

مهندسی هرمزگان

حسن بصیرت تبریزی، استاد دانشکده مهندسی مکانیک - دانشگاه صنعتی امیرکبیر

حسین صمدی، لیسانس فیزیک - رئیس آزمایشگاه فیزیک شرکت کیان تایر

فریبرز تاجدینی، لیسانس فیزیک - مدیر واحد فنی ساخت، شرکت کیان تایر

### چکیده

بهبود کاهش مصرف انرژی در تایر که حدود ۳۰٪ از کار مکانیکی مفید حاصل از مصرف سوخت در نتیجه پدیده هیستریزیس در تایر حرارت تبدیل می‌شود، در این مقاله مورد بررسی قرار می‌گیرد. با بررسی پدیده هیستریزیس، تغییرات درجه حرارت و مصرف انرژی در تایر به دو روش تجربی و عددی بر روی تایرهای با ساختار (بایاس و رادیال) پرداخته شده است. شبیه سازی تجربی در آزمایشگاه شرکت کیان تایر توسط دستگاه تست ویل و پراب (سنجش دما) بر روی تایرهای با ساختار و کامپاند، ترکیبات و نوع پخت متفاوت تشکیل شده‌اند انجام می‌شود. شبیه سازی عددی تایر نیز توسط نرم افزار المان محدود در دو منطقه تماس تایر (منطقه لغزش) و (منطقه ایستایی) با جاده در بارگذاری متغیر و سرعت متغیر در حالت پایا پرداخته می‌شود. مقایسه نتایج عددی و تجربی تغییرات دما و انرژی در مقطع عرضی تایر در سرعت و بارگذاری معین نشان داده شده است. در انتها چگونگی تاثیر گذاری ساختار تایرها (رادیال و بایاس) و همچنین نوع آمیزهای لاستیکی، ساختمان منجید و کاربرد سیم در کاهش مصرف انرژی مورد بحث قرار گرفته است.

واژه‌های کلیدی: المان محدود، پایا، تایر رادیال و بایاس، هیستریزیس، تست ویل، کامپاند

### مقدمه

هیستریزیس به حرارت تبدیل می‌شود. یک ماده هاپیرالاستیک درحین بارگذاری و باربرداری نمودار تنش و کرنش، مسیری مطابق شکل (۱) را طی می‌کند.

در خودروهای سواری حدود ۳۰٪ از کار مکانیکی مفید حاصل از مصرف سوخت در نتیجه پدیده



اتلاف انرژی و حرارت‌زایی بیشتری در تایر بوجود می‌آورد. بطور کلی تایرها از لحاظ نوع ساختار به دو گروه اصلی بایاس و رادیال تقسیم می‌گردند (شکل ۲ و ۳). تایرهای بایاس که در این دسته از تایرها امتداد نخ‌های لایه با خط مرکزی تایر زاویه مورب می‌سازند و ترتیب قرارگیری لایه‌ها روی یکدیگر بصورت ضربدر می‌باشد. جنس نخ لایه‌ها از نوع نایلون است و در بدنه تایر بجز در ناحیه طوقه از سیم فولادی استفاده نمی‌شود. تایرهای رادیال که در این دسته از تایرها امتداد نخ‌های لایه با خط مرکزی تایر زاویه حدود ۹۰ درجه می‌سازد و بعبارت دیگر امتداد نخ‌ها در جهت شعاعی قرار گرفته‌اند.

یک تایر به سه ناحیه اصلی تقسیم می‌شود:

۱) رویه یا آج تایر، که مستقیماً با سطح جاده در تماس است و لذا می‌بایست ضمن حداکثر مقاومت ممکن در مقابل سایش، حداکثر کارایی در پیش بردن خودرو با کمترین انرژی ممکن را داشته باشد.

۲) بدنه یا منجید، تایر که از لایه‌های متعددی تشکیل می‌گردد و استحکام آن نقش تعیین‌کننده‌ای در دوام و بقای تایر دارد.

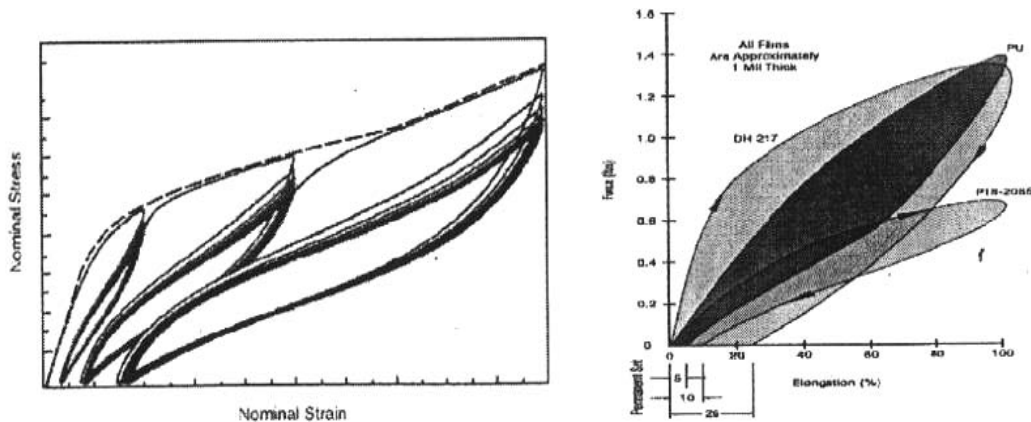
۳) طوقه یا بید، در داخل لبه‌های تایر که بر روی رینگ مستقر می‌شود سیم‌های حلقه‌ای شده‌ای قرار داده می‌شود. این حلقه‌ها از تعدادی سیم تک رشته‌ای فولادی با روکش مس یا برنز که دارای مقاومت کششی بالایی هستند ساخته شده است [۲].

### مروری بر کارهای انجام شده

زنگ و همکارانش [۳] از نرم افزار اجزای محدود انسیس برای بدست آوردن توزیع دمایی در حالت

همانطور که مشاهده می‌شود مسیر رفت (بارگذاری) بالاتر از مسیر بازگشت (باربرداری) است. از آنجایی که کار مربوط به هر نمودار باتوجه به رابطه کلی  $w = \frac{1}{2} \epsilon \sigma$  با سطح زیر نمودار متناسب است بنابراین با وجود اختلاف سطح بین دو مسیر رفت و برگشت می‌توان نتیجه‌گیری کرد که مقداری از کار به صورت انرژی حرارتی تلف شده است. حرارت هیستریزس تولید شده باتوجه به نمودار شکل ۱ ارتباط مستقیم با تنشها و تغییر طولهای ایجاد شده در مسیر بارگذاری و باربرداری دارد. این نکته را نشان می‌دهد که تغییرات ناگهانی در مقادیر تنش و کرنش که ناشی از عواملی نظیر شوک مکانیکی، ضربه، عبور از ناهمواری می‌باشد و باتوجه به زمان کوتاه اثر می‌تواند، حرارت زیادی را در المان لاستیک تولید کند. همچنین چون رابطه بین تنش و کرنش به جنس ماده بستگی دارد، این حرارت برای الاستومرهای مختلف در شرایط یکسان متفاوت است. از لحاظ تئوری مکانیکی مطابق آنچه در مرجع [۱] آمده، وقتی یک نیروی سینوسی بر روی یک ماده هایپرااستیک اثر نماید، پاسخ الاستیک باعث ایجاد یک اختلاف فاز در تغییر طول می‌گردد. این اختلاف فاز عامل اصلی اتلافات انرژی مکانیکی در هر دوره می‌باشد. منحنی‌های مربوط به بدنه تایر و دیواره در منحنی‌های کرنش یکسان شبیه است و منحنی مربوط به قسمت تاج بیشتر در نمودارهای تنش یکسان می‌باشد. تلفات پسماند علاوه بر جنس آمیزه‌های لاستیکی و ساختمان منجید تایر، تابع بار عمودی اعمال شده، سرعت فشار باد تایر نیز می‌باشد. طبعاً سرعت بالا و بار زیاد، شدت دامنه خمش‌ها و ارتعاشات ویسکوالاستیکی تایر را تشدید نموده و





شکل (۱) نمونه‌ای از نمودار تنش- کرنش یک ماده هایپیرالاستیک [۱]



شکل (۲) تایر بایاس خرابی تایر در اثر افزایش تولید حرارت در منطقه شاننه تایر



شکل (۳) تایر رادیال خرابی تایر در اثر افزایش تولید حرارت در منطقه شاننه تایر

پایدار، تغییر شکل و تنش در هر نقطه و برای محاسبه نرخ تولید حرارت برای تایر پلی اورتان استفاده کردند. در این تحقیق برای تحلیل حرارتی با فرض عدم وجود اختلاف دما در جهت دایره محیطی از یک مدل دو بعدی و برای تحلیل تنش و کرنش از یک مدل سه بعدی استفاده شده است. یونگ ژیی و شنج [۴] به بررسی توزیع دما در تاج نرم تایر که شرایط بارگذاری متفاوت و تحت سرعت و فشارهای مختلف فعالیت دارد، توسط نرم افزار انسیس توزیع دما را در دو حالت دینامیکی و پایدار در تایر در هنگام حرکت به دست آوردند. در مقاله‌ای دیگر [۵] با استفاده از نتایج تجربی توزیع دما داخلی یک تایر در حال چرخش را به کمک مدل سازی ریاضی، روشی سریع و عملی برای تعیین ضریب پخش حرارتی نسبی اجزا تایر و کنترل تایرهای تولیدی و اطمینان از نحوه پرداخت بهینه آنها ارائه شده است. در این مقاله میزان گرمای تولید شده با توجه به میزان بار اعمال شده، سرعت چرخش تایر و فشار تخمین زده می‌شود و سپس معادله حرارتی به صورت یک بعدی حل می‌گردد.



### ۳- تئوری و فرضیات مسئله

با صرف نظر کردن از اختلاف دما در دایره محیطی، معادله (۱) را برای تحلیل حرارتی مقطع عرضی تایر بصورت دو بعدی می توان نوشت.

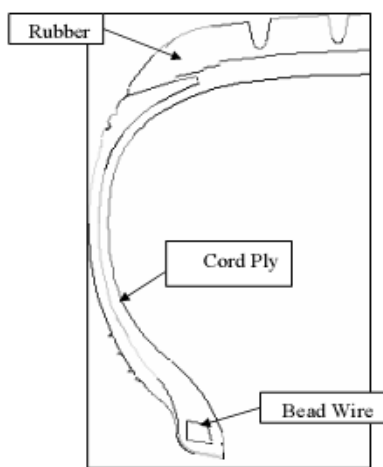
$$\frac{\partial T}{\partial x} + \frac{\partial T}{\partial y} + \frac{q}{k} = 0 \quad (1)$$

از آنجاییکه تایر از سه قسمت همگن و ایزوتروپیک به نام های لاستیک و نخ و سیم فولادی تشکیل شده است (شکل ۴).

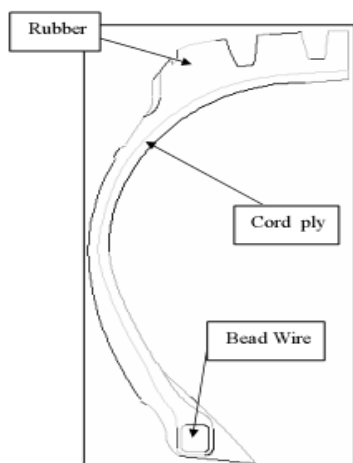
مقطع تایر را دو بعدی و متقارن فرض می کنیم. محور تقارن و سطح داخلی تایر که در تماس با تیوب هوا می باشد به دلیل پایین بودن قابلیت هدایت حرارتی تیوب هوا، عایق فرض گردید. کلارک و شارننگ [۶] با شرایط انتقال حرارت جابجایی در سطح داخل تایر مدلسازی ریاضی را برای پیدا کردن توزیع دمایی تایر انجام دادند که نتیجه مطالعات آنها نشان می دهد که شرط عایق بودن سطح داخل تایر فرض قابل قبولی است. مرز تماس با رینگ تایر، با توجه به ثابت ماندن نسبی دمای رینگ بصورت دما ثابت در نظر گرفته شده است. از دیواره جنبی و ناحیه شانه تایر بخشی از حرارت تولید شده در درون تایر، از طریق جابجایی و تابش به هوا انتقال می یابد. بخشی از ناحیه تاج که در یک لحظه در تماس با جاده قرار دارد در سطح جاپا در معرض یک جریان حرارتی رو به داخلناشی از رفتار اصطکاک لغزش تاج و همچنین انتقال حرارت با سطح جاده قرار دارد و بخشی از ناحیه تاج نیز که بصورت لحظه ای با هوا تماس دارد از طریق جابجایی و تابش با هوا در تبادل حرارت است (شکل ۵).

مسأله انتقال حرارت لاستیک شرط انتقال حرارت جابجایی از سطوح خاص لاستیک است. این شرط روی سطوح آزاد خارجی و داخلی تایر اعمال می شود.

سطوحی از قبیل سطح تاج، سطح شانه، سطح دیواره تا محل اتصال به رینگ و همچنین تمام سطح داخلی تایر تحت انتقال حرارت جابجایی با سیال مجاور (هوای بیرون تایر) می باشند. مرجع [۷] ضرایب جابجایی را برای نقاط مختلف پیشنهاد می نماید (شکل ۶). این اعداد برای تایر با شعاع بیشینه ۱۳ اینچ مناسب است.



(الف)



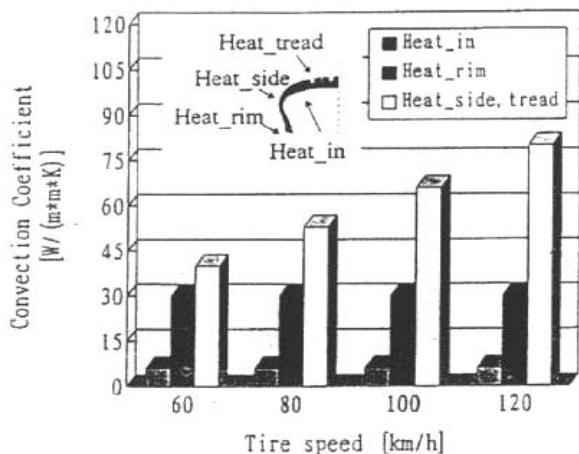
(ب)

شکل (۴) قسمتهای تفکیکی الف) تایر ۱۳-۱۶۵

ب) تایر ۱۳-۵۶۰

### ضریب انتقال حرارت جابجایی سطوح مختلف

همانطور که قبلاً نیز اشاره شد یکی از شرایط مرزی در



شکل (۶) ضرایب انتقال حرارت جابجایی برای نقاط مختلف تایر [۷]

جدول (۱) ضرایب هدایت حرارتی لایه‌های تایر [۸]

T C°	$K_c$ W/mk	T. P $K_e$ W/mk	S. P $K_e$ W/mk
۴۰	۲۲۳.۰	۱۹۵.۰	۱۹۸.۰
۶۰	۲۱۳.۰	۱۸۶.۰	۱۸۹.۰
۸۰	۱۹۷.۰	۱۷۳.۰	۱۷۵.۰
۱۰۰	۱۸۵.۰	۱۶۳.۰	۱۶۵.۰
۱۲۰	۱۷۶.۰	۱۵۳.۰	۱۵۷.۰

### ضریب انتشار تشعشع حرارتی

ضریب صدور تشعشع سطح لاستیک در مرجع [۹] بین ۰/۹۴ و ۰/۹۸ گزارش شده است. در اینجا با توجه به درصد پایین انتقال حرارت تشعشعی نسبت به دیگر موارد مقدار حدودی ۰/۹۶ اتخاذ شده است.

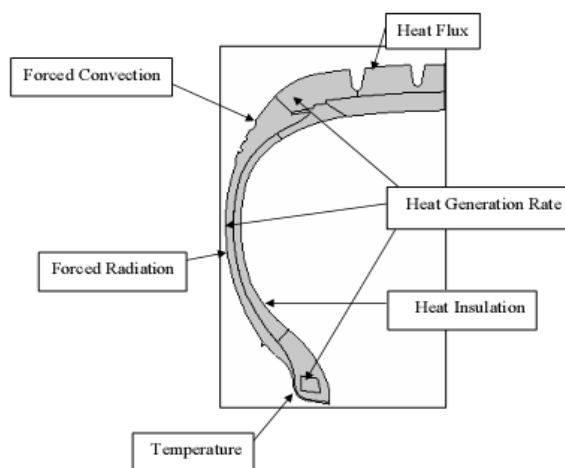
### حرارت توسط پدیده هیستریزیس

حرارت تولید شده بر اثر پدیده هیستریزیس از معادلات (۲ و ۳ و ۵) استفاده گردید [۵]. این معادلات با استفاده از آنالیز رگرسیون گرمای تولیدی در مناطق مختلف تایر را محاسبه می‌نماید.

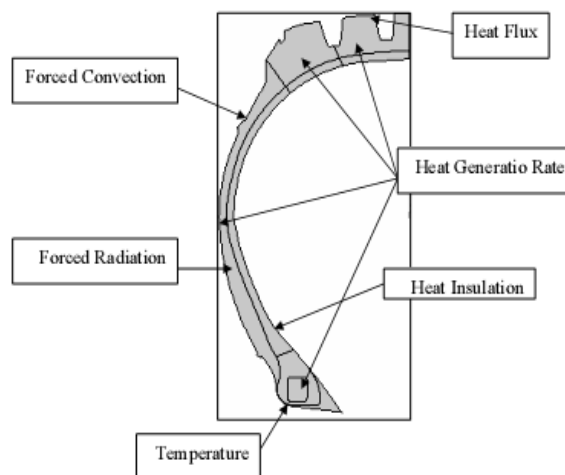
در ناحیه تاج:

### ضریب هدایت حرارتی لایه‌های تایر

تایر شامل دو لایه می‌باشد که هر لایه مرکب از آمیزه لاستیکی پوشش دهنده بعنوان جسم پایه و رشته‌های نخنایلونیا پلی استر، می‌باشد. ضریب هدایت حرارتی لایه‌های تایر در مرجع [۸] آمده است (جدول ۱). مقدار  $K_c$  و  $K_e$  بترتیب ضریب هدایت حرارتی آمیزه لاستیکی و ماده مرکب نخ است. ضریب هدایت حرارتی طوقه سیمی از جنس فولاد با استفاده از مرجع [۴] برابر  $60 \frac{W}{m \cdot K}$  در نظر گرفته شد.



الف) تایر ۱۳-۱۶۵ رادیال



ب) تایر ۱۳-۵۶۰ بایاس

شکل (۵) شرایط مرزی

تماس وارد تایر می شود و در مرجع [۱۱] میزان  $\mu$  ۰/۵۲ بدست می آید.

### بررسی تجربی دما در تایر

در این قسمت به بررسی درجه حرارت در مقطع عرضی تایر، که در حال حرکت در تماس با جاده های صاف ایجاد می شود پرداخته می شود. در این آزمایش شرایط به شکلی شبیه سازی شده که تایر به علت افزایش حرارت ناشی از مصرف سوخت، در لایه های شانه و ترد در تماس با جاده ایجاد می شود و نشان داده می شود که چگونه انرژی تولید شده در تایر منجر به گسیختگی لایه های تایر می گردد. قابل ذکر می باشد که در این قسمت بررسی حرارتی توسط دستگاه تست ویل و شرایط موجود در آزمایشگاه شرکت کیان تایر شبیه سازی شده است. دستگاه تست ویل (شکل ۷) دارای یک درام غلتک مانند به قطر ۱۷۰۰ mm با سطح صیقلی بوده که می تواند با سرعت معین و با اعمال بار مشخص با تایر بچرخد ماکزیمم سرعت ۲۰۰ Km/hr و ماکزیمم بار ۵۰۰۰ kg را به تایر اعمال می نماید و سپس توسط دستگاه پراب (شکل ۸) دما را در نقاط (تاج، شانه، طوقه و بدنه رینگ) می توان بدست آورد. دستگاه تست ویل آزمایشگاه فیزیک شرکت کیان تایر دارای چهار بخش است که توانایی انجام چهار آزمایش در یک زمان را دارد. شرایط محیطی در آزمایشگاه به گونه ای است که دمای محیط بین ۳۶ °C الی ۴۰ °C است و هر گاه دما از ۳۶ °C کاهش یابد سیستم گرم کننده روشن می گردد و اگر دما از ۴۰ °C درجه افزایش یابد سیم خنک سازی روشن می شود. بنابراین دمای محیط را به طور متوسط می توان ۳۸ در نظر گرفت. در این قسمت در دستگاه درام تایر در سرعت ۸۰ km/hr و بار ۳۳۰ یا ۳۴۰ کیلوگرم قرار

$$q_{Tread} = \frac{U}{V} (2.25 \times 10^6 - \frac{179.2 \times 10^6}{P} + 0.35v^3 + \frac{7.8 \times 10^4 \times L}{P} + 2.46 \times L \times v) \quad (2)$$

ناحیه شانه:

$$q_{Shoulder} = \frac{V}{V} (-6.3 \times 10^5 + 3.1 \times 10^2 \times L - \frac{1.03 \times 10^{10}}{P^2} + 7.5 \times 10^{-3} \times L^2 + 6.7 \times 10^3 \times v^3 + \frac{4.1 \times 10^4 \times L}{P}) \quad (3)$$

ناحیه دیواره:

$$q_{sidwall} = \frac{V}{V} (-1.23 \times 10^6 + 6.75 \times 10^2 \times L + \frac{1.24 \times 10^{10}}{P^2} + \frac{9.4 \times 10^4 \times L}{P} - 0.61 \times L \times v) \quad (4)$$

و در ناحیه طوقه:

$$q_{Bead} = \frac{V}{V} (-1.1 \times 10^6 + 4.75 \times 10^2 \times L + \frac{1.1 \times 10^8}{P} - 1.9 \times 10^2 \times L^2) \quad (5)$$

که  $q$  گرمای ناشی از تلفات مکانیکی،  $V$  حجم تایر بر حسب متر مکعب،  $v$  سرعت خطی وسیله نقطه بر حسب کیلومتر در ساعت و  $P$  بار عمودی بر حسب نیوتون و  $L$  ضخامت مقطع تایر بر حسب متر می باشد.

### حرارت تولید شده در اثر اصطکاک

برای محاسبه گرمای ایجاد شده در اثر اصطکاک بین سطح تایر و جاده معادله (۶) ارائه گردیده که [۷]:

$$Q = \alpha \cdot \mu \cdot V \cdot P \quad (6)$$

در این رابطه  $Q$  جریان حرارتی وارد شده به ناحیه تاج،  $\alpha$  درصد حرارت جذب شده توسط این ناحیه،  $\mu$  ضریب اصطکاک لغزشی لاستیک با آسفالت و  $P$  فشار ظاهری تایر و جاده است، بدست می آید [۱۰]. سپس شار ورودی به تایر با توجه به اینکه در مرجع [۱۰] میزان  $\alpha$  برابر ۱/۲ در نظر گرفته است و یا به عبارت دیگر ۵۰٪ از شار تولید شده در منطقه





شکل (۸) دستگاه اندازه گیری دما (پراب)

قسمت به سه نوع جنس نخ و لاستیک، سیم فلز تقسیم می شود. برای اعمال شرط مرزی انتقال حرارت جابجایی با محیط اطراف اطلاعات مربوط به ضریب انتقال حرارت جابجایی نسبت به سرعت را از شکل (۶) وارد می گردد. شار حرارتی ورودی بر واحد سطح (اصطکاک) و نرخ تولید حرارت بر واحد حجم در هر قسمت از تایر بر حسب سرعت و در قسمت ثوری و آزمایشات محاسبه شده وارد می گردد. شرط مرزی تشعشع با محیط اطراف با در نظر گرفتن دمای محیط که در شرایط آزمایشگاهی آن  $38^{\circ}\text{C}$  در نظر گرفته اعمال می گردد. آنالیز گرمایی پایا در بار گزاری و در سرعت های متغیر، فشار تورم که نسبت به سرعت تغییر می کند انجام می شود.

### نتایج

شکل (۹) و (۱۰) توزیع دما در مقطع عرضی تایر را توسط شبیه سازی عددی نشان می دهد. شبیه سازی عددی بالاترین درجه حرارت را که مشخصه مصرف انرژی است در منطقه شانه تایر که بیشترین ضخامت لاستیک دارا می باشد، در دو ساختار تایر پیش بینی می کند. شکل (۱۱) و (۱۲) مقایسه بررسی

می گیرد. در پایان دو ساعت اول دما در مقطع عرضی تایر (شانه، مرکز ترد یا تاج، دیواره، طوقه) توسط دستگاه اندازه گیری اندازه گیری می شود، سپس دما در مقطع عرضی تایر بدست می آید.

### شبیه سازی عددی

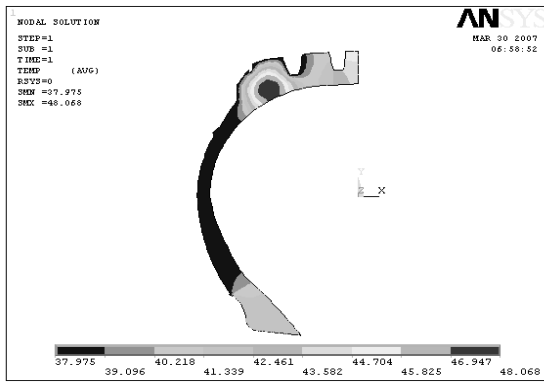
جهت شبیه سازی و آنالیز عددی از روش المان محدود و با استفاده از نرم افزار تجارتي انسیس با ویرایش ۱۰ استفاده می گردد. در اولین قدم برای تحلیل تایر نیمی از مقطع عرضی دو بعدی تایر را به دلیل تقارن محوری در نظر گرفته شده است. سپس مدل سازی و مش بندی صورت می گیرد. المان سطحی ۷۷ که یک المان چهارضلعی و مطابق شکل (۳) تایر را از سه قسمت همگن ایزوتروپ در نظر می گیرد و سپس ضرایب حرارتی متفاوت (لایه ها، طوقه، تاج و دیواره) که مطابق جدول (۱) تعریف شده برای تایر تعریف می گردد.

با انتخاب خط هایی که هر لایه تایر را در بر می گیرد می توان سطح مورد نظر را با توجه به جنس مواد به کار رفته ایجاد کرد. به این ترتیب تایر وابسته به جنس های مختلف و همچنین تولید حرارت متفاوت در هر



شکل (۷) دستگاه تست ویل





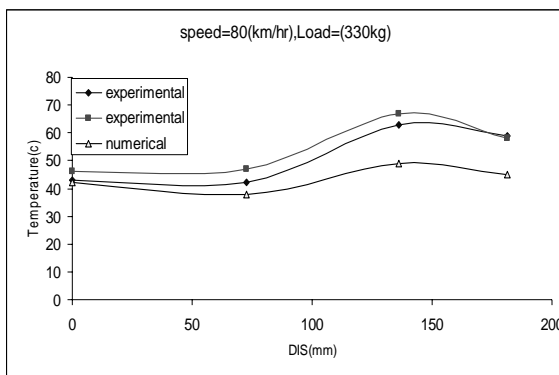
شکل (۱۰) توزیع دما درون تایر ۱۳-۵۶۰ در سرعت ۸۰ km/hr و بار ۳۴۰ kg

### نتیجه‌گیری و پیشنهادات

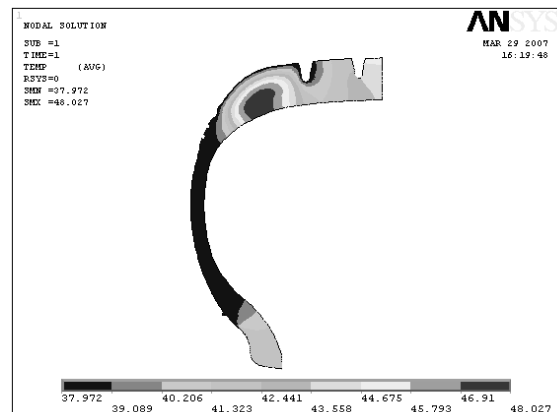
پایین بودن مصرف انرژی در خودروهای که تایرهای رادیال استفاده می‌کنند به دلیل افزایش پایین دما در تایر در سرعت و بارگذاری یکسان نسبت به دیگر نمونه‌ها است. از جمله قسمت‌های حساس و بحرانی تایر که حداکثر مصرف انرژی (ماکزیمم دما) در آن ایجاد می‌شود ترد و شانه تایر است که ماکزیمم ضخامت را در بر دارد. در شانه تایر ماکزیمم درجه حرارت در مکانی در بالای منجید و در منطقه لاستیکی روی می‌دهد. جهت کاهش مصرف انرژی در تایر می‌توان در طراحی حتی الامکان از تایر با مقطع ضخیم اجتناب کرد. استفاده از سیم (بالت) در نواحی

عددی و تجربی حرارت در مقطع عرضی تایر بایاس رادیال را نشان می‌دهد. همانطور که در شکل مشاهده می‌گردد منطقه بحرانی تایر شانه و مرکز ترد است. به علت بالا بودن ضخامت متریال در این نواحی، دما در اکثر موارد در شانه که از لحاظ تئوری قابل بیان است، افزایش می‌یابد که باعث خرابی تایر و بیشترین مصرف انرژی می‌شود. ولی در بعضی از موارد، دما در تاج تایر بیشتر از شانه تایر افزایش می‌یابد که علت آن افزایش ضخامت در منطقه فوق است.

شکل (۱۳) و (۱۴) نمودار افزایش دما در مقطع عرضی شانه تایر رادیال و بایاس (A-B) در شرایط متفاوت می‌باشد. شکل (۱۳) و (۱۴) نتیجه شبیه سازی عددی تایرهای متفاوت در بارگذاری و سرعت‌های متفاوت است. مشاهده می‌شود که ماکزیمم دما در منطقه لاستیکی تایر اتفاق می‌افتد و دمای کمتری از ماکزیمم دما در ناحیه کارکس (نخ) ایجاد می‌شود. بنابراین می‌توان پیش بینی نمود که دمای ماکزیمم در منطقه‌ای در بالای سطح کارکس رو به بیرون تایر ایجاد می‌شود.



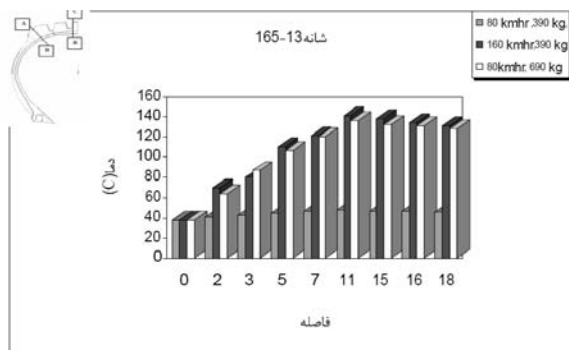
شکل (۱۱) مقایسه بررسی عددی و آزمایشگاهی تغییرات دما در مقطع عرضی تایر ۱۳-۵۶۰



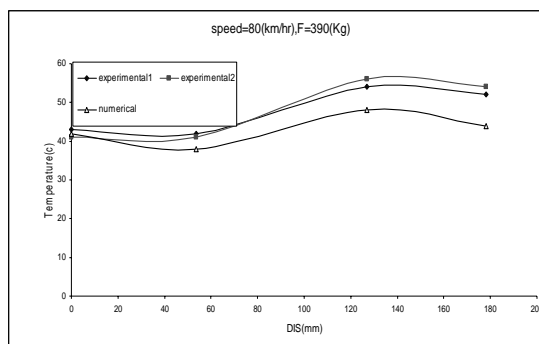
شکل (۹) توزیع دما درون تایر ۱۳-۱۶۵ در سرعت ۸۰ km/hr و بار ۳۳۰ kg







شکل (۱۴) نمودار تغییرات دما نسبت به ضخامت در شانه تایر ۱۳-۱۶۵ (A-B) در حالت‌های گوناگون



شکل (۱۲) مقایسه بررسی عددی و آزمایشگاهی تغییرات دما در مقطع عرضی تایر ۱۳-۱۶۵

[4] Jyhlin, Y, Hwang,S, "Temperature of rolling tires by computer simulation", Mathematics Computers in Simulation 67,2004 235-249

[5] هاشم آبادی، س. حسن، حبیب نیا، م.، غلامحسین پور، س. "روش تعیین ضریب پخش حرارتی نسبی اجزاء تایر"، دومین سمینار ملی لاستیک ایران، تهران، اسفند، ۱۳۷۷

[6] تبری، آ، بصیرت تبریزی، حسن، تاجدینی، ف، "بررسی و ارزیابی مدل انتقال حرارت در تایر"، هفتمین کنفرانس ملی لاستیک ایران، کرمان، آذر، ۱۳۸۳

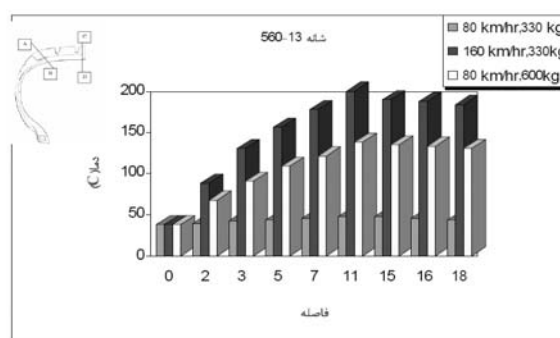
[7] Park ,H. C, Youn, S. K, Song, T. S. , Kim, N. J, "Analysis of temperature distribution in a reolling tire due to strain energy dissipation",Tire Science and Technology, (TSTCA) Vol. 25,3, 1997,PP214-228

[8] رضوانی، ع، یعقوبی، م، کرمی، ق، "ضریب هدایت حرارتی آمیزه‌ها و ترکیبات لاستیکی به کار رفته در تایر"، اولین سمیناری ملی لاستیک ایران، کرمان، اسفند، ۱۳۷۶

[9]Chung, B. T. F, Yang, P. C, Naraghi, M. H. N, Scharing, D. J, "Heat transfer in tire", Proceeding of the Third international Conference, Seattle, U. S. A. ,1983

[۱۰] روشندل، م، "بررسی حرارت در تایر خودرو در تماس با جاده"، پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک تبدیل انرژی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد دزفول، ۱۳۸۶

[11] Lacombe, J,"Tire model for simulations of vehicl on high and low friction road surfaces", Simulation Conference,USA, 2000.



شکل (۱۳) نمودار تغییرات دما نسبت به ضخامت در شانه تایر ۱۳-۵۶۰ (A-B) در حالت‌های گوناگون

تاج تایر می‌تواند حرکت رفت و برگشتی تنش کرنش تایر را کاهش داده و باعث جلوگیری از مصرف بیش از حد انرژی تولید شده در تایر شود. در بعضی از موارد می‌توان از نخ‌های ابریشم مصنوعی به جای سیم استفاده کرد.

## مراجع

- [1]Clark, S. K. , "Mechanics of Pneumatic Tires",office of vehicle systems research, Institute for Applied Technology and National Bureau of Standard , Washington D. C. , USA, 1971, PP23-32,44-54,596-602
- [۲] نوایی، س. م.، مقدمیان، ک.، حبیب نیا، م.، "تایر، انتخاب، استفاده و نگهداری"، انتشارات خانه چاپ، ۱۳۸۳
- [3] Zheng, M, Libiao, Y. U. , Ying,Z, "Finite element analysis of strees and temperature field of PUE Solid" Tire 2002

