

مقایسه تحلیلی و آزمایشگاهی عملکرد تایر خودرو با گاز نیتروژن و هوا

احسان حسن زعیم

استادیار دانشگاه صنعتی سیرجان

e.hasanzaim@gmail.com

◀ واژگان کلیدی

هوا
نیتروژن
لاستیک
خودرو
IPR

◀ تاریخچه مقاله

تاریخ دریافت ۱۳۹۷/۰۵/۱۲

تاریخ پذیرش ۱۳۹۷/۰۹/۲۰

◀ چکیده

استفاده از گاز نیتروژن بجای هوای معمولی در لاستیک خودروها، با وجود قیمت بالاتر، رو به افزایش است. علت آن، مزایای عنوان شده و ادعا شده برای آن است که در این میان می‌توان به کاهش مصرف سوخت، افزایش مقاومت در مقابل گرما، نرمی بیشتر لاستیک، کاهش خطر ترکیدگی لاستیک و سهولت استفاده از خودرو بدلیل عدم نیاز به تکرار تنظیم فشار گاز لاستیک‌ها، نسبت به استفاده از هوای معمولی در لاستیک خودرو اشاره کرد. در کار حاضر، صحت یا عدم صحت موارد فوق به صورت تحلیلی و آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفته است. بررسی تحلیلی با به‌کارگیری روابط ترمودینامیکی حاکم بر مسئله با در نظر داشتن تفاوت خواص فیزیکی دو سیال هوا و نیتروژن انجام پذیرفته است. بررسی آزمایشگاهی هم به صورت اندازه‌گیری فشار چند نوع لاستیک برای دو گاز هوا و نیتروژن و برآورد درصد هوای باقیمانده و یا به‌اصطلاح IPR در زمان‌بندی مختلف انجام شده است. نتایج نشان می‌دهند که تفاوت عملکرد لاستیک از نقطه‌نظرهای عنوان شده، برای زمانی که از نیتروژن بجای هوا در لاستیک استفاده شده باشد، به حدی ناچیز است که استفاده از نیتروژن را بجای هوا بدلیل قیمت بالاتر آن توجیه‌ناپذیر می‌کند.

۱ مقدمه

مقایسه با کاهش آن در اثر ساییش بسیار ناچیز باشد که این مورد بنا به تجربه روزمره، بسیار محتمل است.

یکی دیگر از مزیت‌های عنوان شده برای استفاده از نیتروژن در لاستیک، کاهش میزان نشی و در نتیجه عدم نیاز به تکرار تنظیم فشار لاستیک است بدلیل نفوذپذیری کمتر نیتروژن نسبت به هوا اعلام شده است [۳، ۴]. صحت این موضوع بسیار می‌تواند با اهمیت باشد چرا که کاهش نشی به معنی تنظیم بودن فشار لاستیک برای مدت طولانی‌تر است. تنظیم بودن میزان فشار گاز درون تایر خودرو تأثیر مستقیم روی تعادل خودرو، مصرف سوخت، نرمی خودرو، قدرت ترمزگیری، کاهش سروصدای منتقل شده به داخل اتاق و فرمان‌پذیری بهتر خودرو دارد [۵، ۶]. میزان افت فشار با شاخصی به نام IPR^۱ تعیین می‌گردد که نشان دهنده درصد فشار باقیمانده در تایر پس از گذشت زمان است. تحقیقات انجام شده در این زمینه [۳، ۴، ۷-۹]. برتری اندک نیتروژن را نسبت به هوا در مقدار IPR نشان می‌دهد؛ اما کماکان ایراد وارده به نتایج بدست آمده در این تحقیقات در رابطه با مورد مذکور، قرار نداشتن تایرها در شرایط کارکرد واقعی بدلیل جدا بودن از خودرو بوده است. در میان منابع اینترنتی در رابطه با فواید استفاده از نیتروژن بجای هوا در تایر خودرو، مطالب ضدونقیضی وجود دارد. برخی بر برتری نیتروژن نسبت به هوا صحه گذاشته و علاوه بر موارد ذکر شده قبلی بر موارد دیگری چون کاهش مصرف سوخت، کاهش استهلاک رینگ و لاستیک، نرمی بیشتر لاستیک و حتی افزایش شتاب خودرو نیز اشاره کرده‌اند [۱۰، ۱۱]؛ اما در این میان منابعی نیز وجود دارند که اعتقاد به عدم تفاوت چشمگیر میان نیتروژن و هوا در تایر دارند و استفاده از نیتروژن را بدلیل هزینه بالاتر آن تنها اتلاف هزینه

نیتروژن بدلیل خنثی بودن آن مصارف زیادی در صنعت دارد. علت دیگر آن فروانی آن در جو است به‌طوری که تقریباً ۷۸٪ از جو را نیتروژن تشکیل می‌دهد. یکی دیگر از مصارف نیتروژن که به‌تازگی معمول شده است، استفاده از آن در تایر خودروها است. اگر چه استفاده از آن بجای هوای معمولی در تایر خودروهای نظامی و سنگین، هواپیماهای تجاری، خودروهای مسابقه‌ای و شاتل‌های فضایی، بدلیل کاهش خطر اشتعال لاستیک در اثر گرم شدن از دیرباز وجود داشته است [۱]؛ اما علت افزایش تمایل افراد به استفاده از گاز نیتروژن بجای هوای معمولی در تایر خودروهای معمولی، مزایای عنوان شده و ادعا شده برای آن است. در کمال تعجب، منابع علمی معتبر^۱ اندکی وجود دارند که تأثیر مثبت استفاده از گاز نیتروژن بجای هوا معمولی را تأیید کرده باشند. اولین تحقیقات معتبر انجام شده در این مورد به آزمایش‌های انجام شده توسط اسپربرگ در سال ۱۹۶۸ [۲] برمی‌گردد. او با انجام آزمایش روی لاستیک‌هایی که از نیتروژن بجای هوای معمولی در آن‌ها استفاده شده بود نشان داد که عمر لاستیک بدلیل کاهش اکسیداسیون سیم‌های داخلی لاستیک، افزایش می‌یابد. این مزیت در نگاه اول جالب به نظر می‌رسد اما در این رابطه دو نکته وجود دارد که اهمیت این مزیت را کم‌رنگ می‌کند: نخست آن که برای لاستیک‌های امروزی که سیم‌های داخلی تحت پوششی از خود لاستیک هستند اکسیداسیون چندان اتفاق نمی‌افتد. دوم این که آزمایش‌های انجام شده توسط اسپربرگ بر روی تایرهایی انجام شد که از خودرو جدا بوده و در نتیجه تأثیر ساییش سطح لاستیک در اثر حرکت روی جاده از نظر دور ماند. به عبارت دیگر، کاهش عمر لاستیک در اثر اکسیداسیون می‌تواند در

¹Rotating Stall ²Inflation Pressure Retention

صحت موضوع فوق را می‌توان با محاسبه نرخ تغییرات حجم با دما در حالتی که سایر خواص بخصوص فشار، ثابت در نظر گرفته شود برای دو گاز نیتروژن و هوای معمولی، بررسی کرد. با استفاده از رابطه گاز تراکم پذیر در حالت کلی رابطه (۱) و مشتق‌گیری از این رابطه نسبت به دما رابطه (۲) تغییرات حجمی گاز نیتروژن و هوا در مقابل دما بدست آمده است. برای محاسبه ضریب تراکم‌پذیری^۱ Z از رابطه (۳) استفاده شده است. مقادیر مربوط به ضرایب ثابت A_۱ تا A_۹ در جدول ۱ نشان داده شده است [۱۵].

$$PV = ZmRT \quad (۱)$$

$$V = \frac{ZmRT}{P} \Rightarrow \left\{ \frac{\partial V}{\partial T} \right\}_P = \frac{mR}{P} \left[\left(\frac{\partial Z}{\partial T} \right)_P T + Z \right] \quad (۲)$$

$$Z = A_1 + (A_2 + A_2 T_R + A_2 T_R^2 + A_5 T_R^{-6}) \times \left(\frac{A_6 + A_7 P_R^2 + P_R^3 + A_8 P_R}{T_R} + A_9 \left(\frac{P_R}{T_R} \right)^{A_{10}} \right) \quad (۳)$$

جدول ۱: مقادیر ضرایب ثابت رابطه (۳)

ضرایب	مقدار
A _۱	۱/۰۴۰
A _۲	-۴۴۰/۶۵۰
A _۳	۲۵۸/۴۵۸۵
A _۴	-۲۶/۴۲۳۵
A _۵	-۸۹/۴۹۳۶
A _۶	۳/۵ × ۱۰ ^{-۷}
A _۷	-۰/۰۰۰۰۵
A _۸	-۱/۵۷۸۴
A _۹	۱/۵۸۰۶
A _{۱۰}	-۰/۹۹۹۴

در رابطه (۳) T_R و P_R به ترتیب، دمای کاهیده^۲ $T_R = \frac{T}{T_C}$ و فشار کاهیده^۳ $P_R = \frac{P}{P_C}$ هستند که نسبت به دما و فشار بحرانی T_C و P_C تعریف می‌شوند.

تغییرات حجم مخصوص تایلر بر حسب دما با ثابت فرض کردن فشار با استفاده از روابط (۱) تا (۳)، محاسبه شده و در شکل ۱ نشان داده شده است. مقدار فشار در دو حالت ۲ bar برای خودروهای سواری و ۸ bar برای خودروهای سنگین) در نظر گرفته شده است. دامنه تغییرات دما از ۳۰۰ k تا ۴۰۰ k در نظر گرفته شده است. بیشترین تغییرات دما را می‌توان برای تایلر خودروهای رالی در نظر گرفت که دمای ثبت شده برای سطح لاستیک برای آن‌ها در بدترین شرایط ۲۰۰ °F (معادل ۴۰۰ k) گزارش شده است [۵]. مطابق شکل ۱ تغییرات دما و حجم با یکدیگر رابطه مستقیم و خطی دارند و میزان این تغییرات، از آنجا که دو نمودار با یکدیگر موازی هستند برای گاز نیتروژن و هوا کاملاً یکسان است. نرخ تغییرات حجم به دما $\left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_P$ در فشارهای مختلف تغییر می‌کند اما همچنان برای گاز نیتروژن و هوا یکسان بدست می‌آید؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که ادعای عنوان شده مبنی بر اینکه تغییرات حجمی نیتروژن در مقابل افزایش دما نسبت به هوا کمتر است نادرست است و هوا و نیتروژن در اثر افزایش دما از لحاظ حجمی رفتار کاملاً یکسانی را از خود بروز خواهند داد.

می‌دانند [۱۲-۱۴]؛ علت افزایش تمایل افراد به استفاده از گاز نیتروژن برای تایلر خودرو بجای هوای معمولی، شاید ریشه در تبلیغات سودجویانه موجود در فضای اینترنتی داشته باشد که احتمال می‌رود در این زمینه اغراق کنند و یا بعضاً به موارد نادرست و مغایر با اصول علمی در رابطه با مزایای استفاده از نیتروژن در تایلر خودرو اشاره کنند؛ بنابراین انجام یک تحقیق کامل مبتنی بر اصول علمی که تمام موارد ذکر شده برای استفاده از نیتروژن را بررسی نماید و راهنمای افراد برای یک تصمیم درست در راستای جلوگیری از اتلاف وقت و هزینه باشد، ضروری به نظر می‌رسد و تاکنون با توجه به بررسی انجام شده توسط نویسندگان مقاله حاضر، مورد بررسی قرار نگرفته است. به همین دلیل در کار حاضر، صحت یا عدم صحت اهم مزایای ذکر شده برای استفاده از نیتروژن به صورت تحلیلی و آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفته است. بررسی تحلیلی با استفاده از روابط ترمودینامیکی و در نظر داشتن تفاوت خواص فیزیکی دو سیال هوا و نیتروژن انجام شده است و نتایج مورد تحلیل قرار گرفته است. در بررسی آزمایشگاهی، مقدار IPR با اندازه‌گیری دوره‌ای فشار گاز درون لاستیک روی دو نوع خودرو معمول در کشور و برای دو سیال هوا و نیتروژن بدست آمده و نتایج جهت حصول نتیجه نهایی با هم مقایسه شده است.

۲ بررسی تحلیلی

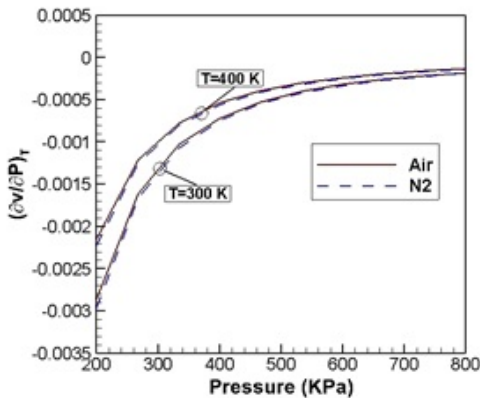
به منظور مقایسه عملکرد تایلر با گاز نیتروژن بجای هوای معمولی، نخست یک بررسی تحلیلی مبتنی بر روابط ترمودینامیکی صورت گرفته و پارامترهای اثرگذار در شرایط کاری مختلف بدست آمده‌اند. پارامترهای اثرگذار موارد زیر هستند و مبنای انتخاب آن‌ها، تأکید منابع مختلف و صحه گذاشتن طرفداران استفاده از گاز نیتروژن بر آن‌هاست:

۱. مقایسه نوسانات حجمی در مقابل افزایش دما
۲. مقایسه نوسانات فشار در اثر افزایش حجم
۳. مقایسه نوسانات دما در اثر حرارت
۴. مقایسه شتاب خودرو

۱.۲ مقایسه نوسانات حجمی در مقابل افزایش دما

یکی از باورهای موجود در رابطه با استفاده از گاز نیتروژن در تایلر این است که مقاومت تایلر در مقابل گرمای ایجاد شده در اثر وجود اصطکاک سطح آن با سطح آسفالت، افزایش یافته و کمتر دچار ترکیدگی می‌شود [۱۱، ۱۳]. در این رابطه عنوان شده است که: "هنگام تردد خودرو بر اساس سایش تایلر به سطح آسفالت، گرما ایجاد می‌شود و تایلرها را مستعد ترکیدن می‌کند. تغییرات حجمی نیتروژن در مقابل افزایش دما بسیار کمتر از هوای معمولی است. نیتروژن با دریافت دمایی برابر هوای معمولی کمتر افزایش حجم پیدا می‌کند و منبسط می‌شود. در زمان کارکرد خودرو در شرایط سخت مانند حرکت روی آسفالت بسیار گرم تایلرهایی که با گاز نیتروژن شده‌اند کمتر دچار افزایش فشار می‌شوند که همین امر ایمنی این تایلر را در مقایسه با تایلرهای عادی افزایش می‌دهد" [۱۱].

¹Compressibility factor ²Reduced Temperature ³Reduced Pressure



شکل ۳: نمودار نرخ تغییرات حجم مخصوص بر حسب فشار

همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود نرخ تغییرات در تمامی فشارها برای هر دو گاز تقریباً یکسان بوده و اختلاف بسیار ناچیزی بین آن‌ها وجود دارد؛ بنابراین درستی ادعای عنوان شده در ابتدای بحث کاملاً رد می‌شود؛ به عبارت دیگر هر دو گاز در اثر تغییر فشار از لحاظ حجمی رفتار یکسانی را نشان می‌دهند و خاصیت ارتجاعی مشابهی دارند.

۳.۲ مقایسه نوسانات دما در اثر حرارت

عنوان شده است که "گاز نیتروژن نسبت به هوا یا همان باد معمولی در مقابل گرما مقاوم‌تر است [۱۱]."

منظور از عبارت فوق این است که نرخ تغییرات دما برای گاز نیتروژن در اثر حرارت یکسان در مقایسه با هوای معمولی کمتر است. با توجه به مفاهیم انتقال حرارت، نرخ تغییرات دما در اثر حرارت بستگی مستقیم به خاصیتی به نام ضریب پخش گرما^۱ دارد که مطابق رابطه (۵) با α نشان داده می‌شود. مقدار α تابعی از مقدار ضریب هدایت K و چگالی ρ و حرارت مخصوص فشار ثابت C_P است. با توجه به توضیحات قبل دامنه تغییرات دما می‌تواند حداکثر بین ۳۰۰-۴۰۰ K باشد. در این دامنه تغییرات، مقدار C_P از رابطه (۶) بدست آمده است. مقادیر ثابت در این رابطه در جدول ۲ نشان داده شده است. پارامترهای K و ρ از جداول مخصوص انتقال حرارت [۱۶] استخراج شده و در نهایت مقدار α از رابطه (۵) برای گاز نیتروژن و هوا بدست آمده است.

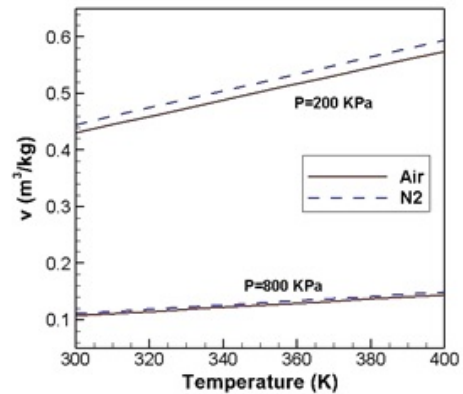
$$\alpha = \frac{K}{\rho C_P} \quad (5)$$

$$C_P = C_0 + C_1\theta + C_2\theta^2 + C_3\theta^3 \quad (6)$$

$$\theta = \frac{T}{1000} \quad (7)$$

جدول ۲: مقادیر ضرایب ثابت رابطه (۶)

نیتروژن	هوا	ضرایب
۱/۱۱	۱/۰۵	C_0
-۰/۴۸	-۰/۳۵۶	C_1
۰/۹۶	-۰/۳۹	C_2
-۰/۴۲	۰/۸۵	C_3



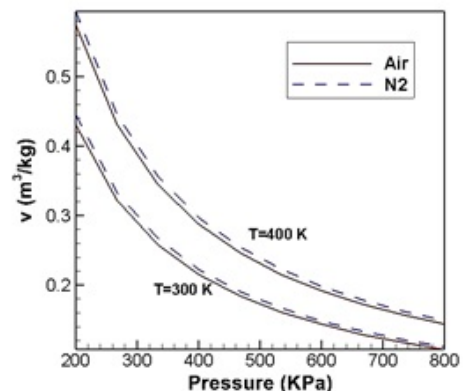
شکل ۱: نمودار تغییرات حجم مخصوص بر حسب دما

۲.۲ مقایسه نوسانات فشار در اثر افزایش حجم

یکی دیگر از مزیت‌های عنوان شده برای استفاده از نیتروژن این است که وقتی از نیتروژن در لاستیک استفاده شود بدلیل نوسانات کمتر فشار در اثر تغییرات حجم تیر، ارتعاش کمتری به سرنشین خودرو وارد می‌شود [۱۱، ۱۳]. برای بررسی صحت این موضوع کافی است نرخ تغییرات حجم بر حسب فشار محاسبه شود. هر چقدر نرخ تغییرات حجم بر حسب فشار بیشتر باشد، گاز خاصیت ارتجاعی بیشتری داشته و در نتیجه ارتعاش کمتری به سرنشین خودرو وارد می‌شود. با استفاده از رابطه (۱)، نخست تغییرات حجم بر حسب فشار برای دو گاز نیتروژن و هوا مطابق رابطه (۴) محاسبه شده و در شکل ۲ نشان داده شده است.

$$V = \frac{ZmRT}{P} \Rightarrow \left\{ \frac{\partial V}{\partial P} \right\}_T = mRT \left[\frac{1}{P} \frac{\partial Z}{\partial P} - \frac{Z}{P^2} \right] \quad (4)$$

مطابق شکل ۲ تغییرات حجم درون لاستیک با تغییر فشار داخل لاستیک رابطه معکوس دارد و با افزایش فشار نرخ تغییرات کاسته می‌شود. نرخ تغییرات حجم در شکل ۳ با وضوح بیشتری قابل مشاهده است. در این شکل، با استفاده از رابطه (۴) نرخ تغییرات حجم بر حسب فشار در دما ثابت، برای هر دو گاز در فشارهای مختلف و دماهای مختلف محاسبه شده است.



شکل ۲: نمودار تغییرات حجم مخصوص بر حسب فشار

¹Thermal Diffusivity factor

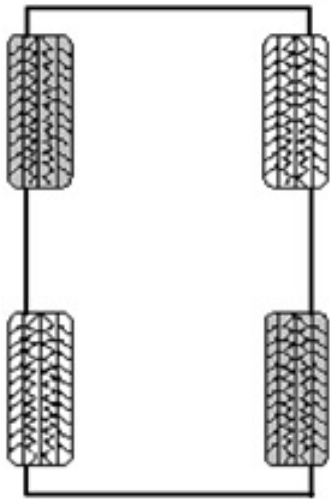
که تایر با نیتروژن با همان فشار پر شود ۱۱۹/۴ گرم بدست می‌آید یعنی تنها حدود ۴ گرم کمتر که بدیهی است این مقدار ناچیز نمی‌تواند تأثیری روی شتاب خودرو داشته باشد.

۳ بررسی آزمایشگاهی

در این تحقیق مواردی که امکان بررسی صحت آن‌ها به صورت تحلیلی وجود ندارد یا بسیار مشکل است، به صورت آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفته‌اند. این موارد شامل پارامتر مهم و اثرگذار بنام IPR می‌شود که نشان دهنده میزان افت فشار دوره‌ای گاز درون لاستیک است. همچنین تأثیر استفاده از گاز نیتروژن بر روی کاهش مصرف سوخت نیز بررسی شده است.

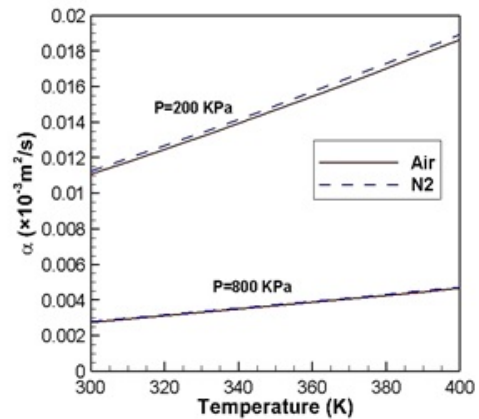
۱.۳ اندازه‌گیری و مقایسه میزان IPR

جهت اندازه‌گیری IPR چهار تایر دو دستگاه خودرو پژو ۲۰۶ و سمند به صورت ضربدری مطابق شکل ۵ از گاز نیتروژن و هوا پر شده و با گیج فشار میزان فشار تایرها با دقت به مدت سه ماه با فاصله دو هفته یکبار اندازه‌گیری و ثبت گردیده است. در شکل ۵ تایرهای نشان داده شده با رنگ خاکستری، تایرهای پر شده با گاز نیتروژن هستند و دو تایر دیگر با هوای معمولی پر شده‌اند. علت ضربدری انتخاب کردن آن‌ها، ایجاد شرایط نسبتاً یکسان برای تایرها و افزایش دقت نتایج است. نکته‌ای که در تحقیق حاضر به آن توجه شده است این است که برای داشتن خلوص نیتروژن بین ۹۵% تا ۹۹% (در تایرهایی که از گاز نیتروژن می‌بایست پر شوند) باید تایر دو تا سه مرتبه با گاز نیتروژن شارژ شود. به همین سبب برای انجام این آزمایش در آغاز تایرها برای سه مرتبه شارژ شده است. بعد از تنظیم فشار تایرها روی فشار فشار Psi ۳۴، فشار تایرها به مدت سه ماه با فاصله دو هفته یکبار با گیج فشار روغنی مطابق شکل ۶ به طور دقیق اندازه‌گیری و ثبت گردیده است. جهت افزایش دقت نتایج، این آزمایش‌ها با جابه‌جا کردن گاز درون لاستیک‌ها، یک دوره دیگر تکرار شده است. مشخصات گیج فشار استفاده شده در جدول ۳ قابل مشاهده است.



شکل ۵: نحوه انتخاب تایرها برای انجام آزمایش با گاز نیتروژن و هوا (تایرهای نشان داده شده با رنگ خاکستری با گاز نیتروژن پر شده‌اند)

مقادیر بدست آمده α در نمودار شکل ۴ بر حسب دما و در دو فشار متفاوت، قابل مشاهده است. هر چه ضریب α مقدار کوچک‌تری باشد دما گاز در اثر انتقال حرارت افزایش دمای کمتری خواهد داشت که مطابق شکل ۴ برای هر دو گاز نیتروژن و هوا در دمای پایین و در فشار بالا اتفاق می‌افتد. مقادیر α با تغییر دما و فشار تغییر می‌کند اما مقدار آن برای هر دو گاز نیتروژن و هوا تقریباً یکسان است و تفاوت بسیار ناچیزی بین آن‌ها وجود دارد؛ بنابراین ادعای صورت گرفته در رابطه با اختلاف گاز نیتروژن با هوای معمولی در مقابل حرارت کاملاً نادرست و بی‌اساس است.



شکل ۴: نمودار تغییرات ضریب پخش حرارتی بر حسب دما

۴.۲ مقایسه شتاب خودرو

یکی دیگر از مزیت‌های عنوان شده است برای استفاده از گاز نیتروژن این است که "خودروهایی که تایر آن‌ها با گاز نیتروژن پر شده است، بدلیل سبک‌تر بودن گاز نیتروژن نسبت به هوا از وزن لاستیک‌ها کاسته شده و در نتیجه شتاب خودرو افزایش یافته و در مقابل میزان مصرف سوخت کمتر می‌شود [۱۱، ۱۳]

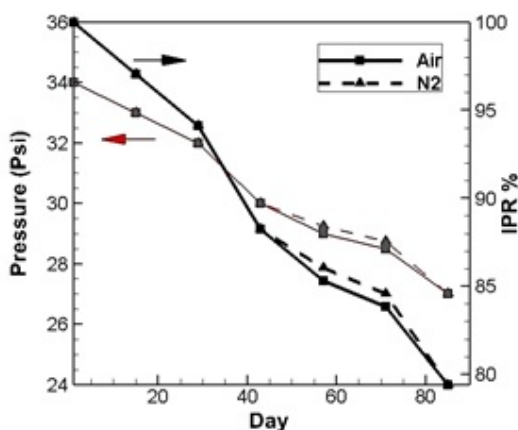
گاز درون لاستیک از چند طریق می‌تواند بر شتاب خودرو اثرگذار باشد. نخست، تنظیم بودن فشار آن که مستقیماً میزان اصطکاک سطح لاستیک با سطح جاده را تا تغییر داده و از این طریق بر میزان شتاب خودرو اثر می‌گذارد. عامل دوم می‌تواند طبق ادعای صورت گرفته ناشی از وزن گاز موجود در لاستیک باشد. عامل اول که به تنظیم بودن فشار بستگی دارد و ارتباطی به نوع گاز داخل لاستیک ندارد اما اگر تغییرات فشار نسبت به یک دوره زمانی در لاستیک یا همان IPR مدنظر باشد، می‌تواند تغییر نوع گاز داخل لاستیک، عاملی تأثیرگذار باشد و به همین دلیل بعداً در این مقاله به آن پرداخته خواهد شد؛ اما در رابطه با وزن گاز، اغراق صورت گرفته کاملاً روشن است و نیاز به بررسی دقیق وجود ندارد زیرا وزن گاز داخل لاستیک بدلیل حجم کم گاز و چگالی کم آن اساساً در مقابل وزن کل خودرو بسیار ناچیز است. از سوی دیگر، مقدار اختلاف چگالی برای هوا و نیتروژن از آنجا که تقریباً ۷۸% حجم هوا را نیتروژن تشکیل می‌دهد، بسیار ناچیز است و در عمل هوا و نیتروژن تقریباً هم‌وزن هستند. به عنوان مثال وزن هوای داخل یک تایر خودرو سمند با توجه به ابعاد آن حدود ۱۲۳/۵ گرم است، حال آنکه این میزان برای حالتی

مقادیر فشار اندازه‌گیری شده در زمان‌های مختلف در جدول ۵ قابل مشاهده است.

جدول ۵: مقادیر متوسط فشار اندازه‌گیری شده تایرهای خودرو سمن در زمان‌های مختلف

تایر عقب هوا	تایر جلو نیتروژن	تایر جلو هوا	تایر عقب نیتروژن	فشار (Psi) روز
۳۴	۳۴	۳۴	۳۴	یکم
۳۳	۳۳	۳۳	۳۳	پانزدهم
۳۲	۳۲	۳۲	۳۲	بیست و نهم
۳۱	۲۹	۲۹	۳۰	چهل و سوم
۲۹	۲۹	۲۹	۲۹	پنجاه و هفتم
۲۸	۲۹	۲۸	۲۸	هفتاد و یکم
۲۷	۲۶	۲۶	۲۷	هشتاد و پنجم

مقادیر جدول ۵ نیز نتایج بدست آمده در آزمایش قبل را تأیید می‌کند؛ به عبارت دیگر، هیچ‌گونه اختلاف معناداری میان مقادیر فشار تایرهایی که با نیتروژن پر شده‌اند با هوا وجود ندارد و تنها می‌توان گفت فشار تایرهای سمت جلو اندکی کمتر از تایرهای عقب هستند. جهت وضوح بیشتر و انجام یک مقایسه کلی، مقادیر فشار اندازه‌گیری شده در جدول ۴ و ۵ متوسط‌گیری شده و نتایج در نمودار شکل ۷ خلاصه شده است. مطابق شکل ۷ میزان فشار گاز درون تایر با گذشت زمان مطابق انتظار کاهش می‌یابد و از مقدار اولیه ۳۴ Psi پس از گذشت ۸۵ روز به ۲۷ Psi می‌رسد. این میزان افت فشار نسبت به زمان تقریباً خطی بوده و برای تایرهای نیتروژنی با هوا تقریباً یکسان است. از آنجا که نمودارها برای مراحل اولیه و پایانی کاملاً بر هم منطبق هستند، تفاوت ناچیز ایجاد شده در مراحل میانی می‌تواند ناشی از خطاهای اندازه‌گیری باشد. هر چند با پذیرفتن تفاوت بین آن‌ها، مقدار اختلاف به قدری ناچیز است که نمی‌تواند دال بر ارجحیت استفاده از گاز نیتروژن بجای هوا در تایر باشد.



شکل ۷: نمودار تغییرات فشار متوسط‌گیری شده تایرها و تغییرات IPR بر حسب روز

در شکل ۷ مقادیر IPR نیز قابل مشاهده است. مقدار IPR با مشخص شدن میزان فشار از رابطه (۸) بدست می‌آید:

$$IPR = \frac{P}{P_i} \times 100 \quad (8)$$



شکل ۶: گیج فشار استفاده شده برای اندازه‌گیری فشار تایرها

جدول ۳: مشخصات گیج فشار استفاده شده برای اندازه‌گیری فشار

توضیحات	آیتم
آنالوگ لوله بوردون، روغنی- مدل اورجینال (ORIGINAL)	نوع و برند
به دو صورت Psi و Bar	نحوه نمایش فشار
۰/۲ - ۱۶ Bar (۰ - ۲۳۰ Psi)	محدوده اندازه‌گیری
±۰/۲۵%	خطا

مقادیر فشار اندازه‌گیری شده تایرهای خودرو ۲۰۶ در زمان‌های مختلف مطابق جدول ۴ است. این مقادیر با متوسط‌گیری دو مقدار بدست آمده از اندازه‌گیری فشار در دو دوره بدست آمده‌اند به این صورت که ابتدا مطابق شکل ۵ یکی از تایرهای جلو و یکی از تایرهای عقب با گاز نیتروژن پر شده‌اند و مقادیر فشار در زمان‌های مختلف اندازه‌گیری شده است. پس از اتمام دوره سه‌ماهه آزمایش، تایرهایی که با نیتروژن پر شده بودند با هوا و تایرهایی که با هوا پر شده بودند با نیتروژن پر شده و آزمایش تکرار شده است.

جدول ۴: مقادیر متوسط فشار اندازه‌گیری شده تایرهای خودرو ۲۰۶ در زمان‌های مختلف

تایر عقب هوا	تایر جلو نیتروژن	تایر جلو هوا	تایر عقب نیتروژن	فشار (Psi) روز
۳۴	۳۴	۳۴	۳۴	یکم
۳۳	۳۳	۳۳	۳۳	پانزدهم
۳۲	۳۲	۳۲	۳۲	بیست و نهم
۳۱	۳۰	۲۹	۳۱	چهل و سوم
۳۰	۲۹	۲۸	۳۰	پنجاه و هفتم
۳۰	۲۹	۲۸	۲۹	هفتاد و یکم
۲۹	۲۷	۲۶	۲۸	هشتاد و پنجم

مطابق مقادیر نشان داده شده در جدول ۴ هیچ‌گونه اختلاف معناداری میان مقادیر فشار تایرهایی که با نیتروژن پر شده‌اند با تایرهای پر شده با هوای معمولی وجود ندارد. به نظر می‌رسد میزان فشار بیشتر به محل تایر بستگی دارد تا به نوع گاز درون تایر. علت کمتر بودن فشار گاز تایرهای جلو، می‌تواند بدلیل بیشتر بودن وزن خودرو روی تایرهای جلو باشد. جهت افزایش دقت نتایج، آزمایشی مشابه برای تایرهای خودرو سمن انجام شده و

در رابطه (A)، فشار اولیه تاثیر است. مطابق شکل ۷، پس از گذشت ۸۵ روز، مقدار IPR برای تایرهای نیتروژنی و هوای معمولی، ۲۰ درصد کاهش و به ۸۰ درصد می‌رسد و این بدان معنی است که فشار تایر پس از گذشت ۸۵ روز، ۲۰ درصد کاهش یافته است. میزان افت فشار ماهیانه نیز مطابق نمودار تقریباً ۷ درصد است.

۲.۳ تأثیر استفاده از گاز نیتروژن بر روی کاهش مصرف سوخت

یکی دیگر از مزایای عنوان شده برای استفاده از نیتروژن بجای هوای معمولی کاهش مصرف سوخت خودرو است [۱۰، ۱۱، ۱۳]. مقدار فشار داخل لاستیک جدا از اینکه از هوا یا نیتروژن استفاده شده باشد، تأثیر زیادی بر مصرف سوخت و عمر لاستیک دارد [۴، ۵]. بنا به اطلاعات منتشر شده توسط آژانس حفاظت محیط زیست ایالات متحده به نقل از مرجع [۱۱]، اگر فشار هوای هر چهار تایر به اندازه یک پوند بر اینچ مربع افت کند، مصرف سوخت می‌تواند تا ۳/۰ درصد افزایش یابد. با کاهش فشار داخل تایر، میزان سطح تماس لاستیک با سطح جاده و میزان چسبندگی لاستیک با سطح جاده افزایش یافته و در نتیجه این افزایش نیروی اصطکاک، میزان مصرف سوخت و سایش سطح لاستیک افزایش می‌یابد.

با توجه به نتایج بدست آمده در قسمت قبل، میزان فشار پس از گذشت ۸۵ روز مطابق نمودار شکل ۷ حدود ۷ Psi کاهش یافته و به مقدار ۲۷ Psi می‌رسد بنابراین بنا به گزارش آژانس حفاظت محیط زیست ایالات متحده می‌توان انتظار داشت که مصرف سوخت در حدود ۲ درصد افزایش یابد؛ اما از آنجا که مطابق نتایج بدست آمده، تفاوت چشمگیری میان استفاده از نیتروژن در لاستیک با هوای معمولی در میزان افت فشار و مقدار IPR مشاهده نگردید این افزایش سوخت برای زمانی که نیتروژن بجای هوا در تایر استفاده شود نیز وجود خواهد داشت؛ بنابراین عدم صحت ادعای فوق به‌سادگی رد می‌شود. مضاف بر این که اگر میزان فشار لاستیک به صورت ماهیانه تنظیم گردد، میزان افت فشار در این مدت به حدی خواهد بود که میزان افزایش مصرف سوخت عملاً کمتر از ۱٪ شود و استفاده از نیتروژن را به کل توجیه‌ناپذیر می‌کند زیرا هزینه‌ای که بابت استفاده از نیتروژن پرداخت می‌گردد بسیار بیشتر از کاهش هزینه ناچیزی است که از کاهش مصرف سوخت حاصل می‌شود.

۴ نتیجه‌گیری

در کار حاضر، عملکرد تایر خودروهایی که در آن‌ها از گاز نیتروژن بجای هوای معمولی استفاده شده است مورد بررسی تحلیلی و آزمایشگاهی قرار گرفته است و با تایرهای معمولی مقایسه شده است. مقایسه بر اساس مزایای ادعا شده در منابع مختلف برای استفاده از گاز نیتروژن بجای هوا در تایر است که عبارتند از:

۱. نوسانات حجمی کمتر در مقابل افزایش دما
۲. نوسانات کمتر فشار در اثر تغییرات حجم
۳. نوسانات دمایی کمتر در اثر حرارت

۴. مقایسه شتاب خودرو
۵. افزایش شتاب خودرو
۶. افت فشار کمتر و کاهش نیاز به تکرار تنظیم فشار لاستیک
۷. کاهش مصرف سوخت

با بررسی تحلیلی و آزمایشگاهی صورت گرفته، مشخص گردید که هیچ‌گونه برتری چشمگیری برای استفاده از گاز نیتروژن در مقابل هوا وجود ندارد. بنا بر محاسبات و نتایج تحلیلی، عملکرد هر دو نوع گاز در مقابل نوسانات حجم، فشار و دما نه‌تنها نزدیک به هم بلکه در مواردی منطبق بر یکدیگر بوده و تفاوتی بین آن‌ها مشاهده نگردید؛ بنابراین استفاده از نیتروژن در تایرها، به هیچ عنوان باعث نرم‌تر شدن لاستیک نمی‌گردد و یا احتمال ترکیدگی لاستیک کاهش نمی‌دهد و یا تأثیری در شتاب خودرو نخواهد داشت. اطلاعات بدست آمده از نتایج آزمایشگاهی هم نشان می‌دهند که تغییرات فشار و مقدار IPR تایر برای گاز نیتروژن و هوا یکسان است و مزیت ادعا شده برای گاز نیتروژن مبنی بر این که افت فشار کمتری نسبت به هوا در طول زمان دارد با توجه به مقادیر اندازه‌گیری شده از عدم صحت برخوردار است.

با جمع‌بندی نتایج بدست آمده از این تحقیق، می‌توان به این نکته رسید که استفاده از نیتروژن بجای هوای معمولی در تایر خودروهای معمولی نه تنها سودمند نخواهد بود بلکه دلیل قیمت بالای آن و همچنین عدم دسترسی آسان نسبت به هوای معمولی، باعث هدر رفت منابع مالی می‌گردد.

۵ نمادها

C_P	حرارت مخصوص ($KJKg^{-1}K^{-1}$)
IPR	درصد فشار باقیمانده
K	ضریب هدایت حرارتی ($Wm^{-2}K^{-1}$)
m	جرم (m^3)
P	فشار ($Kgm^{-1}s^{-2}$)
R	ثابت گاز ($KJKg^{-1}K^{-1}$)
T	دما (K)
V	حجم (m^3)
Z	ضریب تراکم‌پذیری گاز
علائم یونانی	
α	ضریب پخش حرارتی (m^2s^{-1})
ρ	چگالی (kgm^{-3})

مراجع

- [1] J. M. Baldwin, D. R. Bauer, K. R. Ellwood, *Effects of Nitrogen Inflation on Tire Aging and Performance*. Rubber & Plastics News, Vol. 34, No. 4, pp. 14-19, 2004.
- [2] L. Sperberg *Tire Durability with Nitrogen Inflation*, *Rubber Chemistry and Technology*. Vol. 41, No. 4, pp. 1065-1071, 1968.
- [3] W. H. Waddell, R. C. Napier, D. S. Tracey, *Nitrogen Inflation of Tires*. Rubber Chemistry and Technology, Vol. 82, No. 2, pp. 229-243, 2009.

- [4] W. H. Waddell, C. Sacramento *Inflation pressure retention effects on tire rolling resistance and vehicle fuel economy*. California energy commission, ExxonMobil Chemical Company, 2008.
- [5] D. Coddington *Inflation Pressure Loss in Tubeless Tires—Effects of Tire Size Service, and Construction*, Rubber Chemistry and Technology, Vol. 52, No. 5, pp. 905-919, 1979.
- [6] J. Daws, *Nitrogen Inflation for Passenger Car and Light Truck Tires*. Tire Science and Technology, Vol. 39, No. 2, pp. 125-160, 2011.
- [7] L. Evans, J. Harris, E. Terrill, J. MacIsaac Jr, *Effects of Varying the Levels of Nitrogen in the Inflation Gas of Tires on Laboratory Test Performance*,. in National Highway Traffic Safety Administration, San Francisco, 2008.
- [8] J. W. Daws, *Practical Aspects of Nitrogen Tire Inflation, in International Tire Exhibition and Conference*. Cleveland, 2010.
- [9] J. W. Daws, *Nitrogen Tire Inflation: When Does the Tire Really Need it*, . in International Tire Exhibition and Conference, Cleveland, 2012.
- [10] M. Allen, *Is Nitrogen Better than Air in Car Tires*. Accessed 1 February, 2009; <https://www.popularmechanics.com/cars/how-to>.
- [11] Cargeek, *Advantages and disadvantages of using nitrogen for car's tire*, . Accessed 1 January, 2015; <http://www.cargeek.ir>. (in Persian)
- [12] R. Montoya, *Should You Fill Your Car's Tires With Nitrogen*,. Accessed 30 May, 2014; <https://www.edmunds.com/car-care>.
- [13] Nitrofill. *The Benefit of Nitrogen in Car, Auto, and Truck Tires*,. Accessed 14 July, 2017; <http://www.nitrofill.com/nitrogen-in-tires.aspx>.
- [14] Wheels, *Why nitrogen in your tires is a waste of money*, . Accessed 31 AUGUST 2011; <https://www.wheels.ca/news>.
- [15] Y. Cengel, M. Boles, *Thermodynamics*, . An Engineering Approach, Fifth ed., pp. 139-144: McGraw-Hill, 2006.
- [16] T. L. Bergman, F. P. Incropera, D. P. DeWitt, A. S. Lavine *Fundamentals of heat and mass transfer*, . pp. 995-999: John Wiley & Sons, 2011.