

## مروری بر مقالات کاهش نویز موتور و عوامل ایجاد نویز در توربوشارژر خودرو

**چکیده:** امروزه با توجه به افزایش وزن خودروها، افزودن توربوشارژرها به موتورهای احتراق داخلی باعث افزایش توان عملکردی و در عین حال، تولید صدای زیاد در بازه ۷۲ دسی-بل تا ۱۵۴ دسی-بل در هنگام کار کردن موتور در دور بالا و در زمان شتابگیری ابتدایی یا حین حرکت شده است. برای کاهش اثرات بد این صداها و افزایش آرامش سرنشینان خودرو، روش های مختلفی از جمله تحلیل های اجزاء محدود و تحلیل های عددی پره های کمپرسور برای بهینه سازی ضرایب افت فشار (نسبت توان ورودی توربین به خروجی کمپرسور) و استفاده از پدهای صداگیر و مواد آکوستیک به دور قطعات موتور، از جمله قطعه توربوشارژر و منیفولد هوا، به کار برده شده است. هدف اصلی این مقاله بیان کردن و طبقه بندی پژوهش های صورت گرفته در زمینه کاهش صداها، مزاحم، حاصله از کار کردن موتور و توربوشارژر خودرو، می باشد. همچنین ارائه راهکار مناسب برای رفع نویزهای مزاحم از دیگر اهداف مد نظر در این مقاله است.

**واژه های راهنما:** موتور، توربو-شارژر، کمپرسور، صوت، نویز، آکوستیک، تراز شدت صوت

بردیا صالحی راد

دانشجوی کارشناسی ارشد

سلمان ابراهیمی نژاد\*

استادیار

مرتضی ملا جعفری

استادیار، دانشکده مهندسی خودرو،  
دانشگاه علم و صنعت ایران،  
تهران

مقاله ترویجی

دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۰۶

پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۰۳

**Bardia SalehiRad**  
M.Sc. Student

**Salman  
Ebrahimejad\***  
Assistant Professor

**Morteza  
Mollajafari**  
Assistant Professor,  
Department of  
Automotive Engineering,  
Iran University of Science  
and Technology, Tehran

## A review of articles on reducing engine noise and the causes of turbocharger noise

**Abstract:** Today, due to the increasing weight of cars, the addition of turbochargers to internal combustion engines increases performance and at the same time, produces high noise in the range of 72 dB to 154 dB when the engine is running at high speeds and during the initial acceleration. To reduce the negative effects of these noises and increase the comfort of the car occupants, various methods such as including finite element analysis and numerical analysis of compressor blades to optimize pressure drop coefficients (ratio of turbine input to compressor output), sound pads and acoustic materials around engine parts including turbocharger parts and air manifold, are used. The purpose of this article is to express and classify the research done in the field of reducing annoying noises resulting from the operation of the car engine and turbocharger.

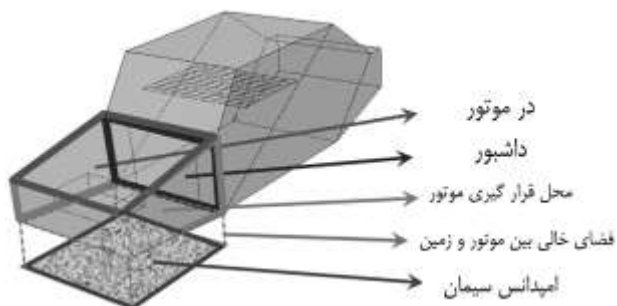
**Keywords:** Engine, Turbocharger, Compressor, Sound, Noise, Acoustics, Sound Pressure Level

## ۱- مقدمه

سازی در نرم‌افزارهای مختلف و تحلیل دینامیکی می‌توان پیدا کرد.

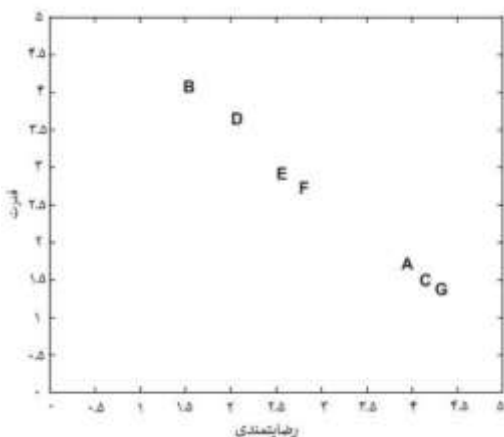
## ۲-۱- استفاده از مواد عایق بر روی سطوح

لی و همکاران [۶] با پخش صوت موتور از یک بلندگو، اثرات هفت عایق صوتی مختلف را بررسی کرد و این آزمایش با استفاده از هفت نوع مختلف مواد عایق و کنترل صوت ورودی موتور به کابین خودرو و پردازش سیگنال صوتی توسط آمپلی-فایر از طریق روش تجربی انجام شده است. لی تجهیزات مربوط به آزمایش را به صورت شکل ۱ طراحی و پیاده سازی کرده است.



شکل ۱ محل قرارگیری تجهیزات آزمایش لی و همکاران [۶]

بعد از بررسی ها، تحلیل هفت مدل مختلف عایق صوتی از نظر درجه احساس قدرت دهی و درجه خوشایندی برای سرنشینان به صورت شکل ۲ ارائه شده است. با مقایسه ی دو ماده عایق B و G، می‌توان نتیجه گرفت که به ازای افزایش ضریب جذب، رضایتمندی برای سرنشان نمایان می‌شود اما قدرت موتور خودنمایی نمی‌کند. اطلاعات این هفت مدل عایق صوتی که در آزمایش عملی استفاده شده، در جدول ۱ آورده شده است.



شکل ۲ میزان احساس رضایتمندی سرنشینان خودرو و احساس قدرتی که از خودرو می‌گیرند بر اساس نوع عایق استفاده شده [۶]

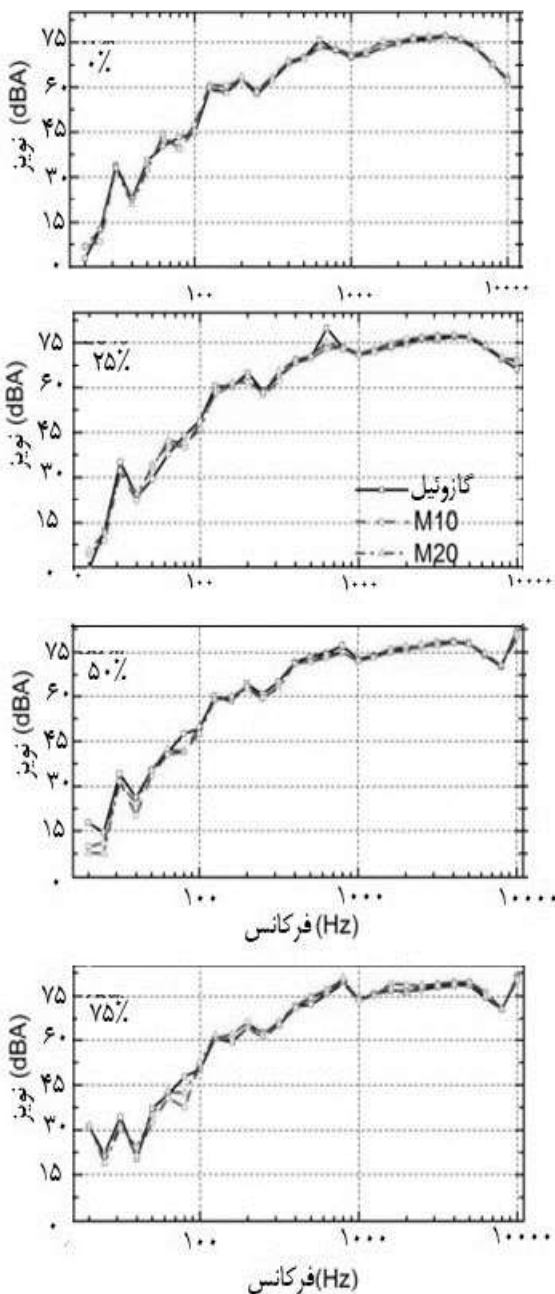
موتور خودرو از اجزای مختلفی که ساکن یا دارای حرکت هستند تشکیل شده است و اجزائی که دارای حرکت، حرکت های دورانی یا حرکت های رفت و برگشتی خطی دارند. علاوه بر صدای احتراق حاصله از سوختن سوخت های فسیلی [۱]، این حرکات رفت و برگشتی و دورانی، باعث ایجاد ارتعاشات در موتور می شوند و این ارتعاشات عامل ایجاد نویز در موتور می شوند. یکی دیگر از عوامل تولید نویز در موتور که دارای دورانی است، توربوشارژر نام دارد که اصلی ترین دلیل اختراع [۲] این تجهیز، تولید موتورهایی با ابعاد کوچک و وزن کمتر اما با قدرت بیشتر بود. در توربوشارژر حرکت دورانی توربین به کمپرسور منتقل و باعث کشیده شدن هوای بیشتر به داخل منیفولد ورودی هوا می‌شود و به این صورت بازده کلی خودرو با وجود این تجهیز افزایش می‌یابد اما این افزایش بازده با فعل و انفعالات سیالاتی همراه است که عامل اصلی نویز توربوشارژر می‌باشد. نویز به تعبیر فارسی، صدای مزاحم است و هم موتور و هم توربوشارژر، نویزهایی تولید می‌کنند که بالاتر از حد تحمل شنیدار انسان است و این مورد عامل اذیت سرنشینان خودرو می‌شود [۳].

در این مقاله مروری بر عوامل ایجاد صوت و نویز توسط موتور و توربوشارژر موتور انجام شده است. در بخش موتور، عوامل تولید نویز و تمهیداتی که به جهت کاهش آن صورت گرفته، درج شده است. در بخش توربوشارژر، عوامل اصلی تولید نویز یک به یک تشریح شده است. در نهایت، جمع بندی و پیشنهاداتی جهت بهبود نویز یا کاهش آن نوشته شده است. همچنین، تحقیقات پیش رو و در دست کار محققان این مقاله در انتهای جمع بندی آورده شده است.

## ۲- کاهش نویز موتور

از زمانی که موتورها بر روی خودروهای سواری قرار داده شد [۴]، تجهیزات آن نویز زیادی تولید می‌کنند. همچنین، با افزایش دمای ساطع شده از موتور، صدای تولیدی آن هم افزایش می‌یابد [۵]. روش های کاهش نویز تولیدی این موتورها در این بخش از مقاله ارائه می‌شود، همچنین در هر روش، تحقیقات پیشین و آزمایش های گوناگون که بر روی این مبحث انجام شده است، نوشته شده و نتایج آن ها برای درک بهتر روش ها، تشریح شده است. پیدا کردن نویز تولید شده توسط انجین از طریق کارهای آزمایشگاهی انجام می‌شود، البته این نویزها را نیز با شبیه

ناک هم از جمله نویزهای تولیدی موتور است و وقتی بوجود می آید که خود احتراقی قبل از جرقه زدن شمع انجام شود و باعث تولید نویز و ارتعاش زیاد در موتور است. پلا [۱۰] با آزمایش موتور در دور کم، آن نویز را آنالیز و فان [۱۱] با بهبود سازی میل لنگ نیز از تولید این نویز جلوگیری کرده است.



شکل ۳ مقایسه‌ی تراز نویز تولیدی موتور با انواع سوخت (سوخت M20 با داشتن ۲۰٪ متانول، سوخت M10 با داشتن نسبت ۱۰٪ متانول) [۷] در ۴ حالت درجه هوای کاملاً بسته (۰٪)، یک چهارم (۳۵٪)، نیمه باز (۵۰٪) و ۷۵٪ باز

جدول ۱ مواد استفاده شده در عایق های صوتی [۶]

ماده	تخلخل	پایداری جریان	چگالی جرمی	ضریب جذب
در ۲kHz (Kg/m <sup>3</sup> ) (Ns/m <sup>4</sup> )				
A	۰/۹۵۳	۳۶۴۸۳	۷۲/۹	۰/۸۵۴
B	۰/۹۷۳	۶۱۸۴۷۷	۱۹/۴	۰/۳۵۸
C	۰/۹۷	۱۰۳۵۷	۲۹/۸	۰/۵۸۳
D	۰/۹۴۸	۴۰۵۴۰	۵/۷	۰/۸۴۶
E	۰/۹۶۸	۱۶۲۲۷۳	۱۷/۱	۰/۵۰۴
F	۰/۹۹	۴۱۰۹۰۰	۸/۸	۰/۴۲۹
G	۰/۹۵۳	۳۵۴۸۳	۲۷/۱	۰/۹۰۹

هدف از انجام این آزمایش طراحی عایق های صوتی بهتر جهت بهبود سازی کیفیت صدای ورودی از محفظه موتور به کابین خودرو است [۷]. این تحقیق و تحقیق دیگری از مون [۸] با استفاده از پارامترهای آکوستیکی، در آینده برای طراحی عایق های صوتی بهینه جهت بهینه سازی کیفیت صدای ورودی از محفظه موتور به کابین سرنشین انجام شده است.

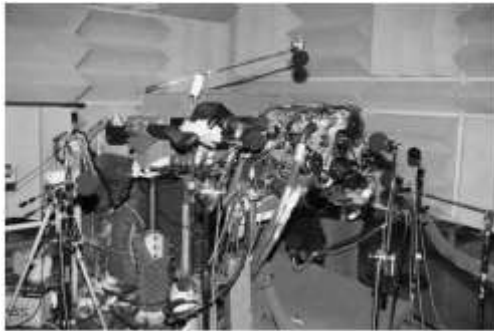
### ۲-۲- نوع سوخت مصرفی موتور

شارما [۱]، سعی به بررسی اثر تغییر سوخت موتور بر روی صوت آن شده است. به این منظور، یک موتور تک سیلندر پاشش مستقیم استفاده شده و دریافت که با افزایش درصد الکل موجود در سوخت، صدای تولیدی موتور کاهش می یابد. مشاهده می شود که سوخت M20 با داشتن ۲۰٪ متانول و ۸۰٪ بنزین، کمترین تراز شدت صوت را داشته است. همچنین سوخت M10 با داشتن نسبت ۱۰٪ و ۹۰٪ متانول و بنزین، صدای تولیدی کمتری در اکتاوندهای مختلف نسبت به سوخت تمام بنزینی داشته است.

همچنین این موضوع برای خودروهای برقی سری (دارای جن-ست موتور<sup>۱</sup> است) هم بررسی شده است. پاتل [۵] با بررسی یک موتور تک سیلندر، دریافت که با تغییر نوع سوخت، می توان میزان حداکثر فشار تولید شده در محفظه سوخت موتور را افزایش یا کاهش داد. همچنین با استفاده از سوخت های با اکتان بالا [۹] و بیو می توان گرمای تولیدی و در نتیجه، گرمای ساطع شده را کاهش داد که این خود منجر به کاهش صوت تا ۲ دسی-بل می شود.

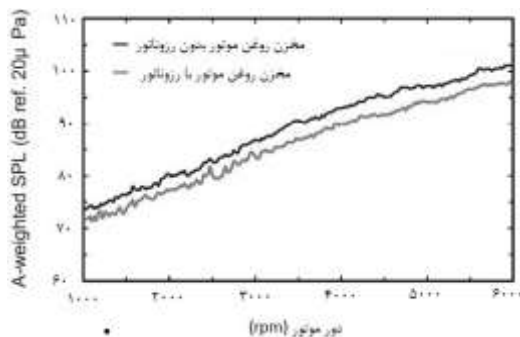
<sup>1</sup> GenSet engine (a generator and engine combined which the engine drives the generator)

و جن نشان داده است و از این تعداد میکروفون برای اندازه گیری و بررسی دقیق تر صوت و نویز تولیدی تجهیزات موتور استفاده شده است.



شکل ۶ محل قرارگیری میکروفون ها در آزمایش لو و جن [۸]

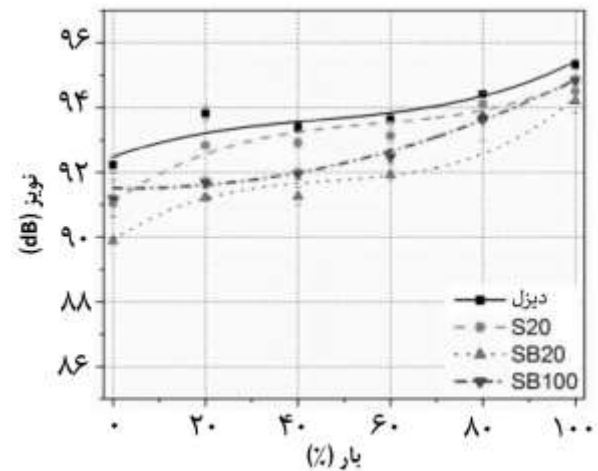
مطابق شکل ۷ با قرار دادن رزوناتور در ورودی فیلتر هوا و همچنین با استفاده از صداگیر فومی کف محفظه روغن موتور، صدای تولیدی در دوره های کاری مختلف موتور کاهش حدوداً ۳ دسی-بلی خواهد داشت. در حالتی که موتور حالت تحت بار است، در دوره های پایین تر، موتور صدای بیشتری نسبت به حالت بدون بار بودن دارد. مثلاً مشاهده می شود در دور کاری ۲۵۵۰ دور-بر-دقیقه و حالت با بار، با افزودن رزوناتور باعث کاهش صوت ۳۰ دسی-بلی شده است



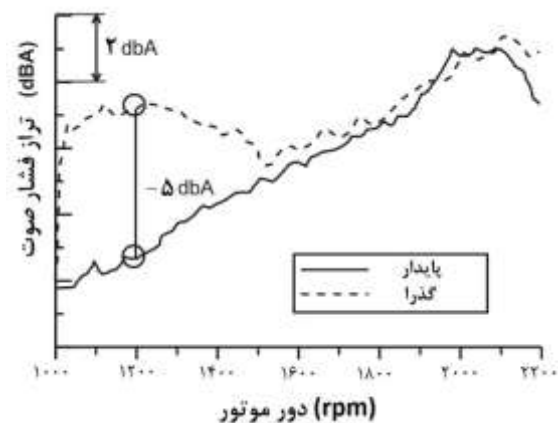
شکل ۷ اثر رزوناتور تجهیز شده در ورودی فیلتر هوای موتور و کاهش حدوداً ۳ دسی-بلی [۸] در حالت تحت بار، در دوره های پایین تر، موتور صدای بیشتری نسبت به حالت بدون بار دارد.



شکل ۸ رزوناتور هلمهولتزی [۹] برای قرار دادن بر سر فیلتر هوای موتور [۱۵] عامل کاهش نویز تا ۳ دسی-بلی



شکل ۴ تفاوت نویز ساطع شده از موتور با ۴ مدل سوخت مختلف [۱۲] (سوخت دیزل و سوخت های هسته سویا یا بیودیزل)



شکل ۵ تراز فشار صوت در حالت گذرا و پایدار [۱۳] در حالت گذرا هنوز تجهیزات موتور به پایداری حرکتی و ثبات نرسیده اند، در دوره های کاری پایین، تفاوت به حداکثر میزان خود می رسد که حدوداً ۲ تا ۲/۵ دسی بل است.

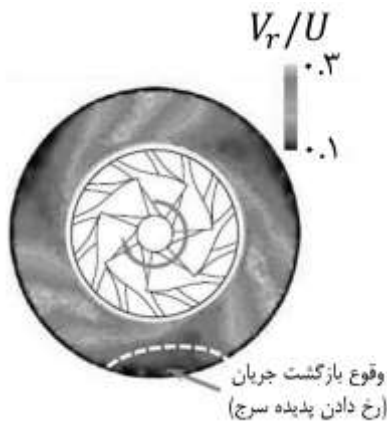
### ۲-۳- قرار دادن صدا خفه کن داخل تجهیزات موتور

لو و جن [۱۴] یک موتور دیزلی ۴ سیلندر را مورد بررسی قرار دادند. با اندازه گیری صوت های تولید شده در اجزاء متفاوت این موتور، قطعه های تمیزکننده هوا (فیلتر هوای خودرو) و محفظه روغن موتور برای تحلیل و بهینه شدن انتخاب شد. با قرار دادن رزوناتور و صداخفه کن های متعدد، اثر آن ها بر روی نویز تولیدی هر تجهیز بررسی شد. برای اینکار، ابتدا نویز تجهیز اندازه گیری شد، سپس راهکاری طراحی و در آخر اثر راهکار پیشنهادی بررسی شده است.

لو برای اندازه گیری نویز تولیدی تجهیز، با توجه به شکل ۶، هفت عدد میکروفون در مکان های مختلف در فضای اطراف موتور کار گذاشت. شکل ۶ محل قرارگیری سیستم میکروفون لو

برعکس شده و از خروجی به سمت ورودی تغییر می کند. به این پدیده جدایی جریان گفته می شود [۲۲].

جدایی جریان در نهایت باعث ایجاد جریان های گردابی، کاهش بازده کمپرسور و افزایش نویز می شود [۲۳]. جریان برعکس شده سبب می شود که فشار خروجی کمپرسور افت کند. با افت فشار خروجی کمپرسور، کمپرسور به شرایط کارکرد اولیه برمی گردد. اگر دبی جریان بیشتر نشود، این پدیده در یک دبی مشخص برای هر کمپرسور بصورت سیکل اتفاق می افتد [۴]. پدیده سرچ پدیده ای مخرب است که باعث خرابی های مکانیکی در دراز مدت است. در سرعت های زیاد دوران کمپرسور، خرابی این پدیده محسوس می شود. تحقیقات انجام شده در زمینه ی این پدیده [۴] در کمپرسورها نشان می دهد که پدیده سرچ و جریان های گردابی از عوامل اصلی تولید نویز در کمپرسورها با دبی های کم، حدودا ۵۹ تا ۷۷ گرم بر ثانیه، است.

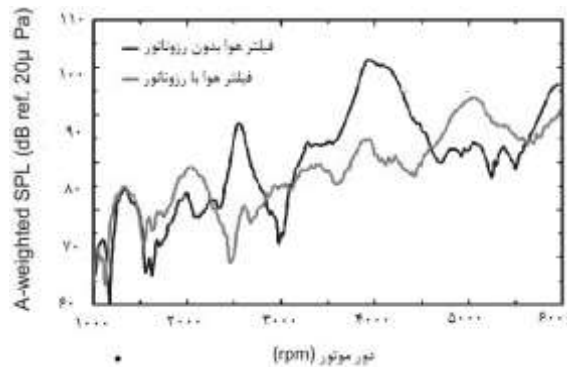


شکل ۱۰ محل وقوع سرچ و جریان بازگشتی [۴] کانکتور تیره تر نسبت سرعتی کمتر از ۰/۱ را نشان می دهد.

پاورز [۲۲] جریان بازگشتی دیگری به غیر از سرچ را در کمپرسور مشاهده نمود. این جریان را recirculation نامید، بدین معنی که جریان چرخیده در کمپرسور، بدون خروج از آن، با جریان ورودی جدید ادغام و دوباره کمپرس بشود. پاورز پره های کمپرسوری با توابع درجه ۵ طراحی نمود و مورد آزمایش تجربی در آزمایشگاه و همچنین حل کامپیوتری قرار داد. این طرح جدید برای جلوگیری از ایجاد سرچ زود هنگام پیشنهاد شده است.

### ۳-۲- بارگذاری بر روی پره های کمپرسور

صدای اصلی کمپرسورها به دلیل بارگذاری روی پره های آنهاست که منظور از بارگذاری، همان دبی در حال جریان بر روی پره ها می باشد. ضخامت پره های کمپرسور روی صدای تولیدی آن اثر



شکل ۹ صوت وزن دهی شده موتور در دوره های کاری مختلف [۸] نمایان کننده ی اثر رزوناتور بر روی تجهیز فیلترهوا خودرو است.

همچنین، مطابق شکل ۹ با تجهیز شدن فیلتر هوا به رزوناتور، صوت وزن دهی شده موتور کاهش پیدا کرده است. این کاهش در دوره های کاری ۲۵۰۰ و ۴۰۰۰ دور در دقیقه که دوره های عمومی تعویض دنده است، بسیار بخصوص می باشد. بدین معنی که راننده در حد بالای دور موتور، جهت تعویض دنده، نویز کمتری از موتور می شوند و این موجب آسایش او و سرنشینان خودرو شده است.

### ۳- عوامل ایجاد نویز در توربوشارژر

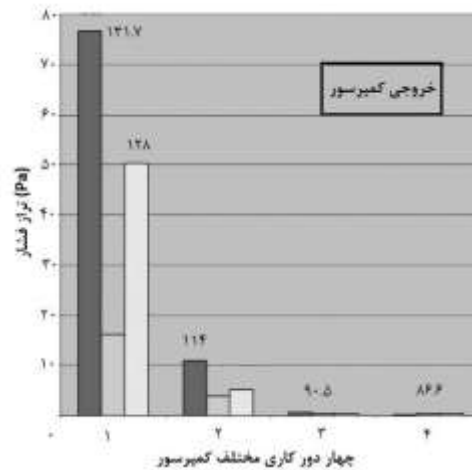
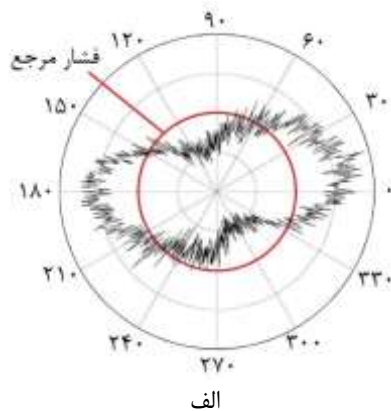
در این بخش عوامل متعدد در تولید نویز [۱۶] توربوشارژر معرفی، بررسی، آزمایش و تحلیل شده است که تحلیل ها توسط دو روش مدلسازی و تحلیل کامپیوتری یا آزمایش و تحلیل تجربی است [۱۷]، [۱۸]، [۱۹]. روش کامپیوتری زمانبر و روش تجربی [۲۰] هزینه بر است [۲۱]. از جمله این عوامل می توان به رخ دادن پدیده سرچ (جدایش جریان)، بارگذاری روی تیغه های کمپرسور، تعداد پره های مناسب، زبری سطوح مختلف کمپرسور، اختلاف فشار سطح رویی و سطح زیرین هر پره و در نهایت هندسه ورودی کمپرسور اشاره کرد.

### ۳-۱- عوامل ایجاد نویز در توربوشارژر

زمانی که پروانه کمپرسور با سرعت ثابت در حال دوران است، اگر دبی جریان سیال عبوری از آن کاهش پیدا کند، فشار خروجی افزایش پیدا می کند. با ادامه یافتن کاهش دبی، فشار خروجی از کمپرسور تا حدی بالا می رود. این فشار از فشار داخل کمپرسور و میان پره ها بیشتر شده و بر آن غلبه می کند. در نتیجه، با توجه به اینکه سیال تمایل دارد از فشار بیشتر به کمتر جاری شود، جهت جریان در بعضی از نقاط داخل کمپرسور

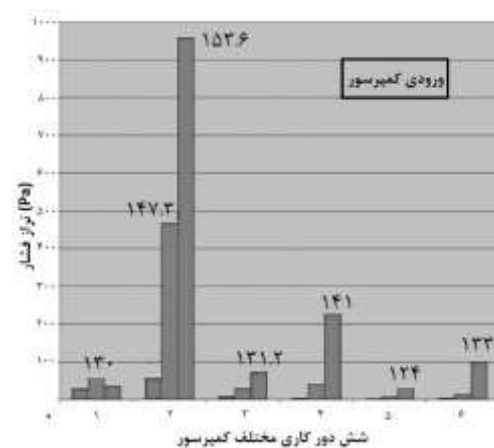
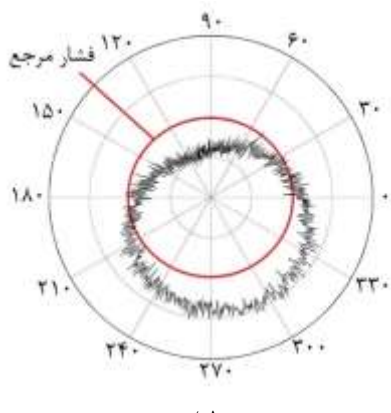
کاهش نباشند، با تعبیه کردن جاذب های صوتی، از نشت این نویزها جلوگیری کرد.

شکل ۱۳ اختلاف فشار کمپرسور توربوشارژر را هنگامی که سرعت خطی نوک پره ها به ترتیب ۰/۸۵، ۰/۵ و ۰/۶۵ ماخ است، با فشار مرجع نشان می دهد [۴]، [۲۵]. در نواحی که فشار کمتر از فشار مرجع است، سرچ رخ داده. مشاهده می شود که سرچ هم در سرعت های کاری بالا (دبی زیاد) و هم در سرعت های کاری پایین (دبی کم) اتفاق می افتد و کمینه ترین حالت ممکن برای رخ ندادن سرچ، بارگذاری مناسب، با تنظیم دبی ورودی، بر روی پره های کمپرسور است.

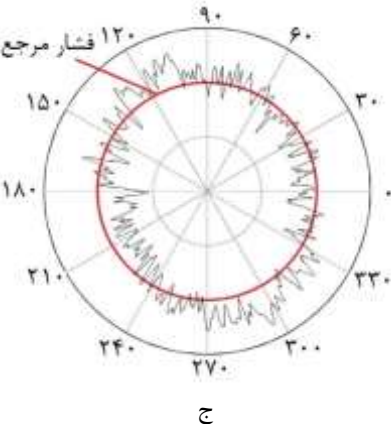


شکل ۱۱ تراز فشار صوت در خروجی کمپرسور [۴]

همانطور که در دو شکل ۱۱ و ۱۲ مشاهده می شود، ترازهای صوتی در طول ورودی و خروجی کمپرسور اندازه گیری شده است و همانطور که می توان دید، نویز بیشتری در ورودی کمپرسور نسبت به خروجی کمپرسور ایجاد می شود [۴]؛ هنگام مکش هوا از ورودی کمپرسور توسط پره های به گردش درآمده، تراز صوتی حدود ۱۵۴ دسی-بل است [۴] در حالی که در خروجی ۱۳۱/۷ دسی-بل است.



شکل ۱۲ تراز فشار صوت در ورودی کمپرسور [۴]

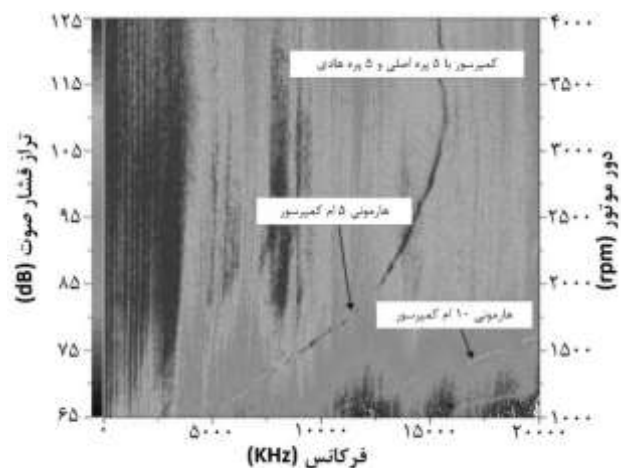


شکل ۱۳ فشار تولیدی در سطح داکت ورودی کمپرسور [۲۰] - الف - در دور کاری ۰/۸۵ ماخ ب - در دور کاری ۰/۶۵ ماخ و ج - در دور کاری ۰/۵ ماخ

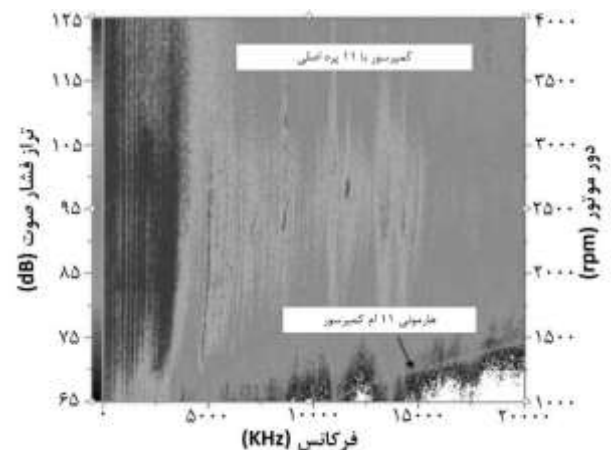
با توجه به اینکه بازه ی راحتی شنیداری انسان در محدوده ی صفر دسی-بل تا ۶۰ دسی-بل است [۲۴]، این اعداد بسیار بالا هستند و باید به طریقی برای آرامش سرنشینان و افراد حاضر در اطراف خودرو، این مقادیر را کاهش داد یا در صورتی که قابل

### ۳-۳- تعداد نامناسب پره های کمپرسور

از دلایل دیگری که می توان برای تولید نویز در توربوشارژر نام برد، کمبود پره های اصلی و هادی است و از دلایل استفاده از پره های هادی، علاوه بر هدایت جریان های بین پره ای، می توان به منظم سازی این جریان ها و جلوگیری از تولید نویز، به دلیل تولید جریان های گردابه ای اشاره کرد. برای بهبود مشکل و کاهش نویز تولید شده توسط پره های کمپرسور (ایمپلر)، یکی از روش ها، افزایش تعداد پره های موجود روی ایمپلر است. شکل زیر کاهش تراز صوتی تولید شده در اثر اضافه شدن پره های کمپرسور را در دورهای مختلف کارکرد موتور نشان می دهد. شکل ۱۴ و ۱۵ تفاوت نویز دو کمپرسور با تعداد پره های مختلف را نشان داده اند. مشاهده می شود که کمپرسور با تعداد پره اصلی بیشتر، نویز کمتری تولید می کند.



شکل ۱۴ تراز فشار صوت کمپرسور با ۱۰ پره شامل ۵ پره اصلی و ۵ پره هادی [۴] تراز فشار صوت تولیدی هنگامی که تعداد پره کم است، بیشتر می شود.



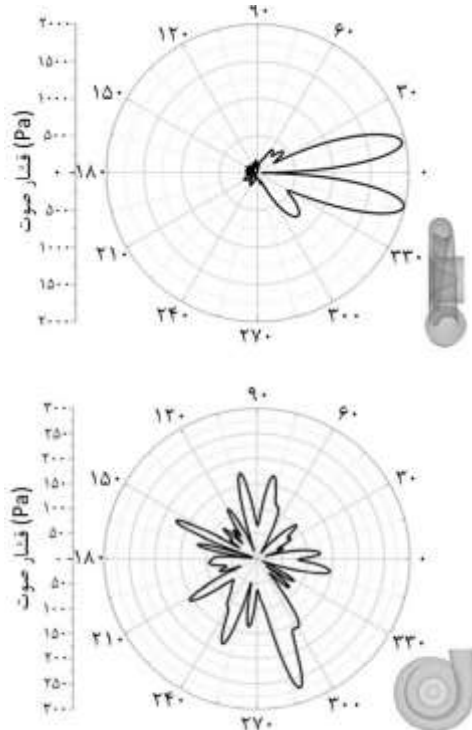
شکل ۱۵ تراز فشار صوت کمپرسور با ۱۱ پره شامل ۶ پره اصلی و ۵ پره هادی [۴]

### ۳-۴- زبری سطوح مختلف کمپرسور

زبری سطح از عواملی است که می تواند باعث آشفته گی جریان بشود. لیو [۲۶] اثر زبری سطح پره های کمپرسور بر روی صدای تولیدی و عملکرد آن را بررسی کرده و عملکرد تحت سرعت دورانی و صوت تولیدی تحت شرایط مختلف کارکرد کمپرسور سنجیده است. لیو با قرار دادن میکروفون در اطراف کمپرسور در نقاط مختلف (با توجه به شکل ۱۵)، اثر ۶ مدل متفاوت از زبری سطح بر روی نویز تولیدی را بررسی کرد. در شکل ۱۵، محل قرار گرفتن ۵ میکروفون برای اندازه گیری نویز تولیدی توسط کمپرسور در آزمایش لیو نمایش داده شده است.

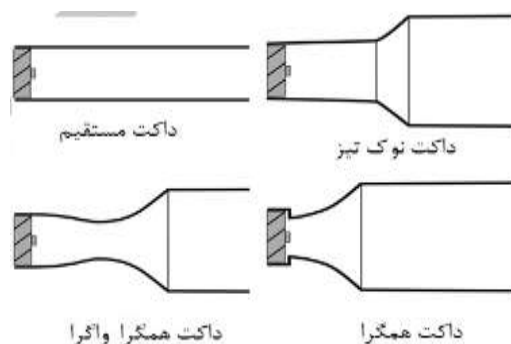
لیو ۶ پره با جنس های مختلفی که در جدول ۲ آورده شده را بررسی کرد و نتایج آزمایش ها را به صورت زیر بیان کرد: ۱- با افزایش زبری سطح پره های کمپرسور، فشار حداکثری و بازده آیزنتروپیک کاهش پیدا کردند. ۲- ضریب فشار حداکثری ۲/۵٪ و ضریب بازده کاهش اکپوننشیالی داشتند. لیو ۶ حالت مختلف که در جدول ۲ تشریح شده را بررسی کرد و نتایج آزمایش ها به صورت زیر بیان شدند: ۱- با افزایش زبری سطح پره های کمپرسور، فشار حداکثری و بازده آیزنتروپیک کاهش پیدا کردند. ۲- ضریب فشار حداکثری ۲/۵٪ و ضریب بازده کاهش اکپوننشیالی داشتند. ۳- به دلیل زبری سطح، جریان های توربولانسی باعث ایجاد بازگشت جریان کلی در نزدیک حلزونی می شود که این باعث کاهش توانایی هواکشی کمپرسور می شود. ۴- نوسان فشار حداکثری به خاطر زبری سطح زیاد شد (ناپایداری جریان)؛ هرچند تا تغییرهای زبری در بازه ۲۵ میکرومتر اثری نداشت. ۵- تغییر بسیار محسوسی در تراز-فشار-صوتی ایجاد شد که با زبری سطح پره ها رابطه مستقیم دارد. ۶- تراز-صوت در کل با افزایش زبری ۱۵۰ میکرومتری، ۲ دسی-بل افزایش داشت (اثر اکپوننشیالی دارد) ولی بر روی جهت صدا اثری نداشت. بازده حداکثری ۲/۴۷٪ کاهش داشت.

مانند می شود که آزاد دهنده است. این صدا به مقدار دبی جریان ورودی هم بستگی دارد؛ اگر دور کارکرد موتور بالا باشد، تراز صوتی بیشتر از حالتی خواهد بود که دور کارکرد موتور پایین باشد.



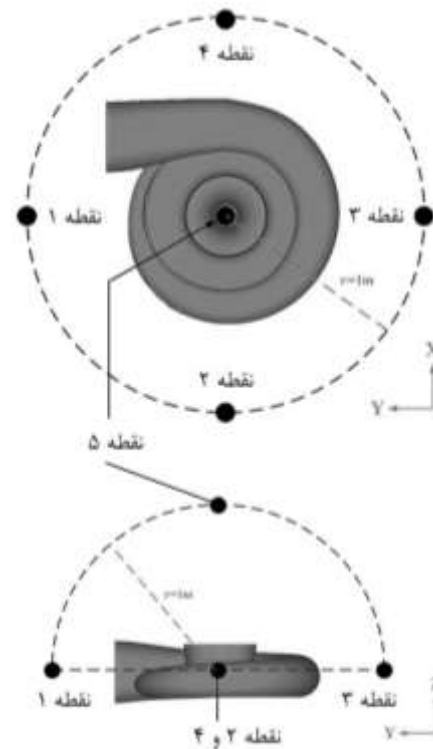
شکل ۱۷ فشار آکوستیکی تولیدی در محل ورودی کمپرسور [۲۷]

گالیندو [۲۹] در راستای نویز کمپرسور توربوشارژر، اثر شکل ورودی هوا به کمپرسور بررسی کرده است (شکل ۱۸). بیشترین نویز تولیدی مربوط به داکت مستقیم بود. داکت همگرا-واگرا با آنکه این نویز را کاهش داد، اما سبب کاهش نسبی دبی ورودی شد اما بیشترین کاهش نویز را داکت همگرا داشت.



شکل ۱۸ هندسه های مورد بررسی گالیندو [۲۹]

کریم و همکاران [۳۰] داکت های ورودی متعددی را بر روی کمپرسور، که دارای ۶ پره اصلی و ۶ پره هادی بود، آزمایش کردند.



شکل ۱۶ محل قرار گیری میکروفون ها در آزمایش لیو و همکاران [۲۶]

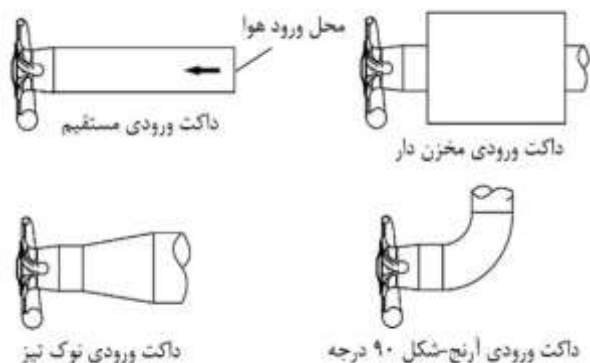
جدول ۲ جنس های مختلف پره [۲۰]

حالت	سطح پره	$R_k$	$R_a(\mu m)$	$k_s(\mu m)$
۱	نرم	۰	۰	۰
۲	نرم	۲۰/۵۸	۰/۱۶	۱
۳	زیر	۱۰۲/۸۹	۰/۸۱	۵
۴	زیر	۲۰۵/۷۹	۱/۶۱	۱۰
۵	زیر	۵۱۴/۴۷	۴/۰۳	۲۵
۶	زیر	۱۰۲۸/۹۴	۸/۰۶	۵۰
۷	زیر	۱۵۴۳/۴۱	۱۲/۱۰	۷۵
۸	زیر	۲۰۵۷/۸۸	۱۶/۱۳	۱۰۰
۹	زیر	۳۰۸۶/۸۲	۲۴/۱۹	۱۵۰

### ۳-۴- داکت ورودی کمپرسور

شارما [۲۷] در مقاله خود نمودارهای مربوط به تراز فشار صوتی یک کمپرسور موتور دیزلی را رسم کرده و وجود فشار صوتی بالای ۲۰۰ پاسکال را در ورودی کمپرسور را صحت داده است. شکل ۱۷ یکی از چندین نمودار شارما برای اثبات وجود نویز توربوشارژر را نشان می دهد در ورودی کمپرسور توربوشارژر [۲۸] به دلیل سرعت بالای سیال، فلذا کاهش فشار در ورودی، اختلاف فشار با محیط [۲۷] اطراف باعث تولید صدایی ووش

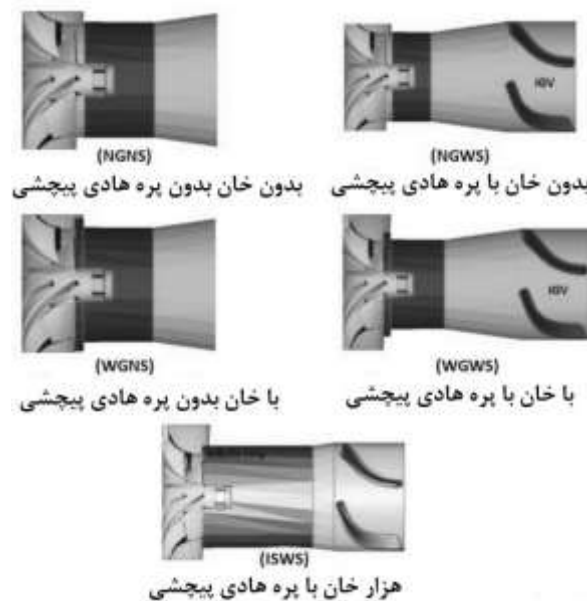




شکل ۲۱ هندسه داکت ورودی آزمایش بروآچ [۳۱]

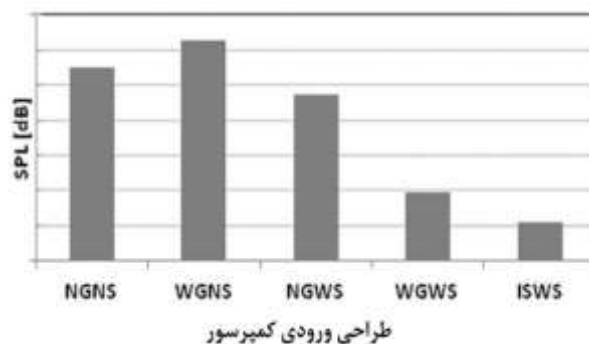
### ۳-۵- روغن کاری و جلوگیری از اتلاف توان کمپرسور

با توجه به آنکه بازده توربوشارژر به روغنکاری یاتاق‌های آن مرتبط است، می‌توان از هدررفت انرژی با بهینه‌سازی مواد تشکیل‌دهنده‌ی روغن و هم‌زمان توانایی ساخت و کارکرد توربوشارژر با آن مواد جلوگیری کرد. نووتنی [۳۲] با استفاده از الگوریتم ژنتیک و مدلسازی روغن یاتاقان برای بهینه‌سازی یاتاقان استفاده کرده است. حالت گذرا با توربوشارژر غیر فیزیکی و حالت پایدار با محاسبات پیشرفته CFD حل شده است. این استراتژی باعث کاهش اصطکاک و در حالت عملکردی مطلوب، باعث ۳۵٪ کاهش اتلاف مکانیکی شده است. این دو کاهش در اتلاف، ۲۰٪ افزایش ذخیره انرژی در سیستم روغنکاری بدون افزایش دبی روغن شده است. به همراه داشته است. این نتایج از طریق کاهش اتلاف‌های اصطکاکی یاتاقان پیش‌برنده میسر شد هرچند این استراتژی باعث کاهش تحمل و بد شدن طراحی این یاتاقان شد که اثر آن بد شدن عملکرد آن است. خوبی این استراتژی شامل بودن تعداد زیادی شرایط عملکردی بوده است. شرایط عملکردی تاثیر بسزایی روی طراحی یاتاقان دارند. در آینده باید روی عمق شیارهای یاتاقان و حالت گذرای دینامیک برای بهینه‌سازی استفاده شود.



شکل ۱۹ طرح‌های مختلف ورودی کمپرسور [۳۰] بهترین نوع داکت ورودی برای کمپرسور، ورودی کمپرسور با هادی<sup>۱</sup> ها و خان<sup>۲</sup>ها برای کاهش نویز تولیدی پیشنهاد شده است.

میزان نویز تولیدی طرح‌های مختلف داکت ورودی به صورت شکل ۲۰ توسط کریم نشان داده شده است که بهترین طرح برای تولید کمترین نویز را می‌توان هزار خان با پره پیچشی تصور کرد.



شکل ۲۰ تراز فشار صوت تولیدی داکت‌های ورودی کمپرسور آزمایش کریم [۳۰]

بروآچ [۳۱] در ارتباط با هندسه داکت ورودی، چهار هندسه را بررسی نمود. بهترین هندسه از جهت کاهش نویز برای داکت ورودی نوک تیز بود. همچنین بهترین داکت برای جلوگیری از سرچ را داکت ورودی مخزن دار داشت، هرچند کاهش نویز آن به اندازه‌ی داکت مخزن دار نبود.

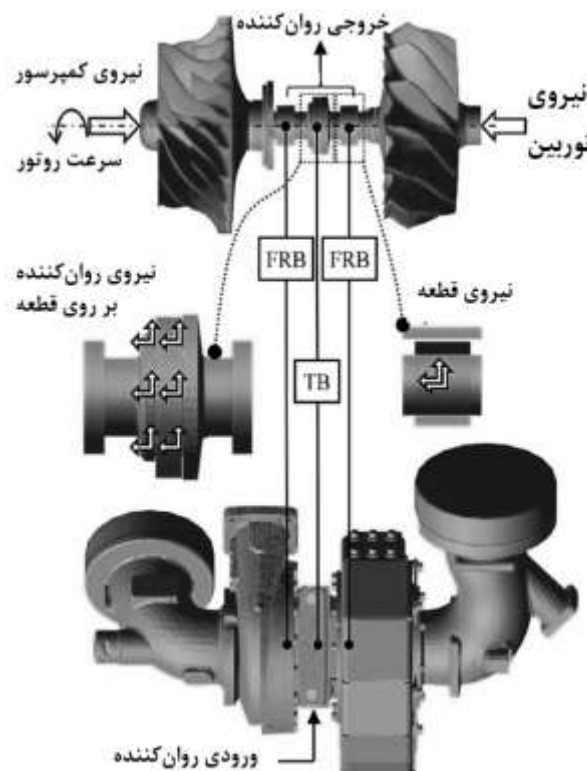
<sup>۲</sup> Inlet guide vane

<sup>۱</sup> Leading-edge step

نزدیک، مقاله علمی-پژوهشی در همین راستا از آن ها منتشر خواهد شد.

#### ۵- مراجع

- [1] Sharma, N., et al., "Experimental investigations of noise and vibration characteristics of gasoline-methanol blend fuelled gasoline direct injection engine and their relationship with combustion characteristics", *Applied Thermal Engineering*, 158: pp. 113754, (2019).
- [2] Backhaus, R., "Innovative Concepts for Higher Efficiency and Performance", *MTZ industrial*, 8(2): pp. 12-13, (2018).
- [3] Atarod, P., et al., "Soft computing-based modeling and emission control/reduction of a diesel engine fueled with carbon nanoparticle-dosed water/diesel emulsion fuel", *Journal of Hazardous Materials*, 407: p. 124369, (2021)
- [4] Chen, H. "Noise of Turbocharger Compressors. in 17th International Symposium on Transport Phenomena and Dynamics of Rotating Machinery", (*ISROMAC2017*). (2017).
- [5] Patel, C., N. Tiwari, and A.K. Agarwal, "Experimental investigations of Soyabean and Rapeseed SVO and biodiesels on engine noise, vibrations, and engine characteristics", *Fuel*, 238: pp. 86-97, (2019).
- [6] Lee, S.-K., G.-H. Lee, and J. Back, "Development of sound-quality indexes in a car cabin owing to the acoustic characteristics of absorption materials", *Applied Acoustics*, 143: pp. 125-140, (2019).
- [7] Lee, S.-K., et al., "A new method for active cancellation of engine order noise in a passenger car", *Applied Sciences*, 8(8): pp. 1394, (2018).
- [8] Moon, S., et al., "A study on affective dimensions to engine acceleration sound quality using acoustic parameters", *Applied Sciences*, 9(3): pp. 604, (2019).
- [9] Kumar, T., et al., "Experimental study of the anti-knock efficiency of high-octane fuels in spark ignited aircraft engine using response surface methodology", *Applied Energy*, 259: p. 114-150, (2020).
- [10] Pla, B., et al., "Knock analysis in the crank angle domain for low-knocking cycles detection", *SAE Technical Paper*, (2020).
- [11] Fan, F., et al. "Experimental Study on the Vehicle Knocking Noise Based on Crankshaft Angle", *China SAE Congress 2020: Selected Papers*, Springer, (2022).



شکل ۲۲ سیستم طراحی شده برای روان کاری [۳۰]

#### ۴- نتیجه گیری

در این مقاله بررسی نویز و صوت تولید شده از موتور خودرو و همچنین یکی از مهم ترین تجهیزات آن، توربوشارژر، مورد هدف بود. با بررسی های انجام شده، دریافته شد که نویز عضو جدایی ناپذیر اجسام در حال دوران و دارای جریان است. این نویزها با طراحی بهتر و مهندسی شده تر، قابل کاهش هستند تا بتوان موجب آرامش سرنشینان خودرو را فراهم کرد. روش های کاهش نویز موتور، استفاده از مواد جاذب مانند صدا خفه کن ها و عایق های صوتی بود. برای کاهش نویز تجهیز توربوشارژر نیز می توان با بهره گیری از روش های تجربی و کامپیوتری، ابتدا این نویزها و عوامل آن ها را پیدا کرد، سپس به بررسی روش کاهش آن از طریق بهبود هندسه کمپرسور و پره ها و ورودی آن پرداخت. همچنین، با استفاده از کنترلر ها می توان دبی ورودی و خروجی از کمپرسور را تحت نظارت و کنترل قرار داد تا باعث بازگشت جریان و ایجاد پدیده سرج نشود. با توجه به بخش ۵/۳، می توان برای هندسه داکت ورودی طراحی بهینه انجام داد.

نویسندگان این مقاله در حال حاضر در حال انجام پژوهش بر روی هندسه داکت ورودی و بهینه سازی آن هستند و در آینده

- [23] Darbyshire, J.L. and J.D. Young, "An investigation of sound levels on intensive care units with reference to the WHO guidelines", *Critical Care*, 17(5): pp. 1-8, (2013).
- [24] Bianchini, A., et al. "Some guidelines for the experimental characterization of vaneless diffuser rotating stall in stages of industrial centrifugal compressors. in Turbo Expo: Power for Land, Sea, and Air", *American Society of Mechanical Engineers*, (2014).
- [25] Liu, C., et al., "Effects of blade surface roughness on compressor performance and tonal noise emission in a marine diesel engine turbocharger", *Journal of Automobile Engineering*, 2020. 234(14): pp. 3476-3490, (2020).
- [26] Faßbender, A., M. Enneking, and P. Jeschke., "Rotor-Alone Tones in the Outflow Noise of a Centrifugal Compressor. in Turbo Expo: Power for Land, Sea, and Air", *American Society of Mechanical Engineers*, (2019).
- [27] Wu, G., J.C. Ge, and N.J. Choi, "A comprehensive review of the application characteristics of biodiesel blends in diesel engines", *Applied Sciences*, 10(22): pp. 8015, (2020)
- [28] Galindo, J., et al., "Effect of the inlet geometry on performance, surge margin and noise emission of an automotive turbocharger compressor", *Applied Thermal Engineering*, 110: pp. 875-882, (2017).
- [29] Karim, A., et al., "Computational aero-acoustics simulation of compressor whoosh noise in automotive turbochargers", *SAE Technical Paper*, (2013).
- [30] Broatch, A., et al., "Impact of simple surge-enhancing inlet geometries on the acoustic behavior of a turbocompressor", *International Journal of Engine Research*, 21(5): pp. 794-800, (2020).
- [31] Novotný, P., J. Vacula, and J. Hrabovský, "Solution strategy for increasing the efficiency of turbochargers by reducing energy losses in the lubrication system", *Energy*, 236: pp. 121402, (2021).
- [12] Wu, G., J.C. Ge, and N.J. Choi, "A comprehensive review of the application characteristics of biodiesel blends in diesel engines", *Applied Sciences*, 10(22): pp. 8015, (2020).
- [13] Giakoumis, E.G., D.C. Rakopoulos, and C.D. Rakopoulos, "Combustion noise radiation during dynamic diesel engine operation including effects of various biofuel blends: A review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54: pp. 1099-1113 (2016).
- [14] Gallo, M. and M. Marinelli, "Sustainable mobility: A review of possible actions and policies", *Sustainability*, 12(18): pp. 7499, (2020).
- [15] Barron, R.F., "Industrial noise control and acoustics", *CRC Press*, (2002).
- [16] Liu, C., et al., "Numerical investigation of marine diesel engine turbocharger compressor tonal noise", *Journal of Automobile Engineering*, 234(1): pp. 71-84, (2020).
- [17] Sharma, S., et al., "Acoustic characteristics of a ported shroud turbocompressor operating at design conditions", *International Journal of Engine Research*, 21(8): pp. 1454-1468, (2020).
- [18] Pištěk, V., et al., "Acoustic Identification of Turbocharger Impeller Mistuning—A New Tool for Low Emission Engine Development", *Applied Sciences*, 10(18): pp. 6394, (2020).
- [19] Mohamad, B.A., "Modeling and Testing of Advanced Intake and Exhaust System Components for Race Car Engines", *Design of Machines and Structures*, University of Miskolc, pp. 125632, (2021).
- [20] Blackstock, D.T., "Fundamentals of physical acoustics", *Acoustical Society of America*, (2001).
- [21] Powers, K., et al., "A new first-principles model to predict mild and deep surge for a centrifugal compressor", *Energy*, pp. 123050, (2022).
- [22] Perreault, D.J., K.K. Afridi, and I.A. Khan, "Automotive applications of power electronics, in Power Electronics Handbook", *Elsevier*, pp. 1067-1090, (2018).