



بهینه سازی رفتار ترمومکانیکی هورن فراصوت از طریق اصلاح هندسه

محمد ظهورمسگر^۱، حامد صفی خانی^{۲*}، محمدرضا شیخ الاسلامی^۳ و سیامک مزدک^۴

^۱ کارشناس ارشد مهندسی مکانیک، دانشگاه اراک
^۲ استادیار گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه اراک
^۳ دانشیار گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه اراک
^۴ استادیار گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه تفرش

مقاله مستقل، تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۶/۱۴؛ تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۰۶/۲۲؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۹/۰۹

چکیده

انتقال ارتعاشات ترانسدیوسر فراصوت به بار، توسط قطعه‌ای به نام هورن صورت می‌گیرد. بسته به کاربرد هورن، می‌توان ارتعاشات را متمرکز و یا پخش نمود. این قطعه در کاربردهای گوناگون همانند جوشکاری فراصوت مورد استفاده قرار می‌گیرد. محدودیت این قطعه، افزایش دمای آن است که در حین کارکرد به دلیل میرایی ساختاری و ارتعاشات در فرکانس تشدید، ایجاد می‌شود. به دنبال افزایش دمای هورن خواص مکانیکی آن تغییر کرده، که سبب تغییر فرکانس تشدید و افت شدید راندمان ارتعاشاتی در هورن می‌شود. در این مقاله با هدف کاهش دمای هورن، هندسه مطلوب جدید ارائه شده است. هندسه جدید از لحاظ انتقال حرارت بهینه است و به صورت هم زمان سعی شده تا کمترین مود جانبی ممکن به دست آید. به منظور بهبود این مشکل و مقابله با آن، مدل عددی رشد دمایی قطعه مورد نظر در حالت پایدار به دست آمده است و به علاوه با استفاده از الگوریتم ژنتیک بهینه سازی حرارتی هورن با ایده پره، در دو مرحله متوالی انجام شده است. در قسمت نتایج جزئیات هندسه جدید ارائه و به صورت مبسوط در مورد جوانب مختلف آن بحث شده و در نهایت، در این پروژه هندسه‌ای مطلوب از نظر ارتعاشات و حرارت برای هورن ترانسدیوسر فراصوت ارائه شده است.

کلمات کلیدی: هورن؛ ترانسدیوسر فراصوت؛ میرایی ساختاری؛ فرکانس تشدید؛ مود جانبی؛ رشد دمایی؛ بهینه سازی.

Thermomechanical Behavior Optimization of the Ultrasonic Horn Using the Geometrical Modification

M. Zohourmesgar¹, H. Safikhani^{2,*}, M.R. Sheykhosslami³, S. Mazdak⁴

¹ Master, Mech. Eng., Arak Univ., Arak, Iran .

² Assoc. Prof., Mech. Eng., Arak Univ., Arak, Iran.

³ Assis. Prof., Mech. Eng., Arak Univ., Arak, Iran.

⁴ Assis. Prof., Mech. Eng., Tafresh Univ., Tafresh, Iran.

Abstract

The ultrasonic transducer transmits vibrations to the load by the piece called Horn. Depending on the application of the horn, vibrations can be concentrated or propagated. It is used in various applications such as ultrasonic welding. limitation of a piece, the temperature rise during operation due to structural damping. Because horn is vibrating at resonant frequency in the axial mode, the temperature increases so its mechanical properties change and the frequency of resonance and vibration efficiency decreases sharply. In this paper, a new geometry has been presented to reduce the horn temperature. The new geometry is optimal in terms of heat transfer and at the same time try to minimize lateral mode may be achieved. In order to improve this problem, a numerical model of the temperature rise for desired piece in steady-state has been achieved. In addition, using the genetic algorithm, Horn thermal optimization is performed in two consecutive steps with the idea of fins. In the results section, the details of the new geometry are presented and discussed in detail in its various aspects. Finally, in this project, suitable geometry in terms of vibration and heat has been provided for the ultrasonic transducer horn.

Keywords: Horn; Ultrasonic Transducer; Structural Damping; Resonance Frequency; Lateral Mode; Temperature Rising; Optimization.

۱- مقدمه

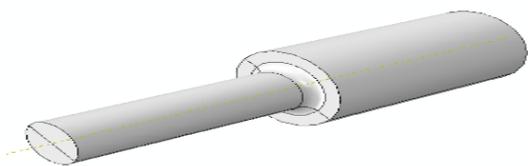
در کاربردهای مختلف فراصوت از جمله جوشکاری فراصوت، شکل دهی به کمک فراصوت و غیره، ارتعاشات ترانسدیوسر فراصوتی از طریق هورن به بار منتقل می‌شود. شکل ۱ نمونه‌ای از ترانسدیوسر فراصوت به همراه هورن را نمایش می‌دهد. فرکانس کاری ترانسدیوسر فراصوت و هورن متصل به آن برابر فرکانس تشدید در مود محوری آن‌ها است. در کنار مزایای بسیاری که هورن دارد، افزایش دمای آن در حین کارکرد مشکلی بزرگ بوده که دلیل آن، میرایی ساختاری هورن است. به دنبال افزایش دمای هورن خواص مکانیکی آن تغییر کرده که سبب تغییر فرکانس تشدید و افت راندمان ارتعاشاتی شدیدی در هورن می‌شود. تاکنون پژوهشگران زیادی در زمینه مذکور فعالیت‌های مؤثری داشته‌اند. لانگوین و همکاران در سال ۱۹۲۴ [۲] ترانسدیوسر فراصوتی را طراحی کرده و عملکرد آن را بهبود دادند. این ترانسدیوسر به ترانسدیوسر لانگوین نیز معروف است. آندو و کاگوا در سال ۱۹۹۲ [۳] پاسخ حرارتی گذرای ترانسدیوسر را با استفاده از روش المان محدود شبیه سازی کردند. در این مقاله محل بیشینه دمایی لایه داخلی حلقه‌های پیزوالکتریک به دست آمده و همچنین اختلاف دمای لایه داخلی حلقه پیزوالکتریک و لایه خارجی آن ۱ درجه سانتی‌گراد مشخص شده است که با توجه به مقدار کم ضریب هدایت حرارتی مواد پیزوالکتریک اشتباه به نظر می‌رسد. کاراناخوف و همکاران در سال ۱۹۹۶ [۴] مدل سازی عددی ارتعاشاتی - حرارتی ترانسدیوسر آلتراسونیک را انجام دادند و بیان کردند که بیشینه تنش محوری در محل اتصالات ترانسدیوسر و همچنین مقدار بیشینه تنش در لایه بیرونی حلقه‌های پیزوالکتریک و مقدار کمینه آن در لایه داخلی حلقه‌های پیزوالکتریک اتفاق می‌افتد. شریف و همکارانش در سال ۱۹۹۹ [۵] به مدل‌سازی هورن برای کاربردهای صوتی و فراصوتی پرداختند. جو و همکاران در سال ۲۰۰۶ [۶] رشد دمایی یک موتور فراصوت را با روش تحلیلی و شبیه سازی ارزیابی کرده و همچنین تغییرات فرکانس تشدید را در اثر افزایش دما با روش المان محدود مورد بررسی قرار دادند. در این مقاله تغییرات ضرایب دی الکتریک، ماتریس الاستیک، ضرایب پیزوالکتریک و فاکتور کیفیت مکانیکی در اثر افزایش دما ارزیابی شده و یک فرآیند مفید جهت طراحی موتورهای

فراصوت گسترش داده شده است. عبدالله و همکاران در سال ۲۰۰۸ [۷] روشی جامع برای طراحی و تحلیل یک بعدی ترانسدیوسر ارائه دادند و همچنین میزان پیش‌بار مناسب برای طراحی ترانسدیوسر و نحوه اعمال آن را مشخص کردند. پاک و عبدالله در سال ۲۰۰۸ [۸] با استفاده روش المان محدود و همچنین به وسیله المان‌های مختلف نرم افزار انسیس نحوه ارتعاش ترانسدیوسر لانگوین را پیشبینی و آن‌ها را با هم مقایسه کرده‌اند و در نهایت جدولی برای المان‌های دو بعدی و سه بعدی مختلف برای این کار ارائه دادند. گالگو-خوارز و همکاران در سال ۲۰۱۰ [۹] یک ساختار حرارتی با شیار طراحی کرده که به دنبال آن الگوی حرارتی مطلوب و همچنین توان آکوستیک و راندمان انرژی بالایی به دست آوردند. گانسان و مادوپاندیان در سال ۲۰۱۰ [۱۰] تولید حرارت ناشی از ارتعاشات یک تیر یک سر گیردار با نرم افزار کامسول شبیه سازی کردند و همچنین در این مقاله رابطه مناسبی برای تبدیل میرایی ساختاری یک ساختار در حال ارتعاش به توان حرارتی را مشخص کردند. پشکوفسکی و همکارش در سال ۲۰۱۰ [۱۱] خلاصه اصول طراحی هورن را بر مبنای ۵ تئوری انجام داده و یک هورن زنگوله‌ای^۱ با ضریب بهره بالا طراحی کردند. حسینی و همکاران در سال ۲۰۱۳ [۱۲] اثر اصطکاک، ضرایب آئیزوتروپی و توان کرنش سختی بر فرآیند کشش عمیق بررسی کردند و برای هر کدام سه مقدار به دست آوردند. عبدالله و ملکی در سال ۲۰۱۳ [۱۳] برای تحلیل میرایی ساختاری در مولفه‌های مختلف یک ترانسدیوسر فراصوت دو رابطه تجربی مشخص کردند که در آن‌ها با داشتن فرکانس مورد نظر میرایی متناسب با آن فرکانس به دست می‌آید. گروور و همکاران در سال ۲۰۱۵ [۱۴] چهار هورن تیتانیومی، آلومینیومی، فولاد ضد زنگ و فولاد کم کربن در نرم افزار کامسول به صورت کوپل حرارتی و مکانیکی شبیه سازی کرده و با نتایج تجربی مقایسه کردند. لو و همکاران در سال ۲۰۱۷ [۱۵] ساختار هندسی جدیدی برای ترانسدیوسرهای فراصوت ارائه دادند که در آن با اضافه کردن پره و کاهش جرم ترانسدیوسر افزایش دمای آن نسبت به مدل‌های قدیمی کنترل شده است. در این مقاله کنترل دما را برای ترانسدیوسرهای با توان پایین انجام

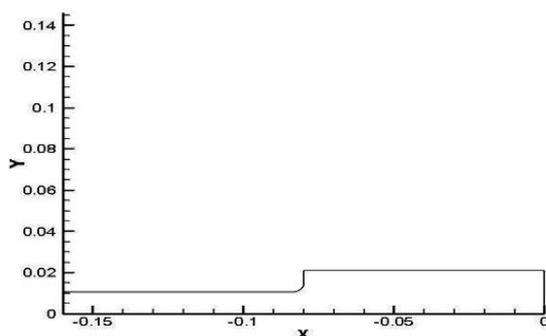
^۱ Bell

۲- جزئیات تحلیل عددی

هورن هم فرکانس با ترانسدیوسر فراصوت و معمولاً با یکی از هندسه‌های نمایی، مخروطی و پله‌ای طراحی می‌شود [۱۷]. هندسه‌های گوناگون هورن به جهت تمرکز یا پخش ارتعاشات مورد استفاده قرار می‌گیرند. هندسه هورن مورد نظر پله‌ای است. هندسه آن به صورت سه بعدی و تقارن محوری به همراه ابعاد هندسی به ترتیب در شکل های ۲ و ۳ مشخص شده است.



شکل ۲- هندسه هورن پله‌ای مورد استفاده در این مقاله



شکل ۳- ابعاد هورن مورد استفاده در این مقاله بر حسب متر

خواص هورن مورد استفاده در این مقاله در جدول ۱ مشخص شده است.

در این مقاله برای بهبود مشکل رشد دمایی هورن از آنالیز حرارتی، مودال و هارمونیک و کوپل حرارتی- مکانیکی استفاده شده است. به این صورت که در ابتدا فرکانس طبیعی در مود محوری با استفاده از آنالیز مودال مشخص شده و سپس با انجام آنالیز هارمونیک دامنه جابجایی در راستاهای x,y,z به دست آمده و همچنین با در نظر گرفتن توان کارکرد هورن که از کوپل حرارتی تعیین شده، کانتور دمایی آن مشخص شده است. رابطه مورد استفاده در کوپل حرارتی- مکانیکی به صورت رابطه (۱) است [۱۰]. فرکانس تشدید

داده در صورتی که اکثر مشکلات حرارتی مربوط به ترانسدیوسرهای فراصوت با توان بالا است. کرفی و خراسانی در سال ۲۰۱۹ [۱۶] به ارزیابی افت‌های مکانیکی و قدرت الکتریکی ترانسدیوسر پیزوالکتریک فراصوت پرداختند و در آن رشد دمایی روی سطح ترانسدیوسر فراصوت را به صورت تجربی و عددی مورد بررسی قرار داده و به عوامل مختلف رشد دمایی ترانسدیوسر اشاره کرده‌اند. در این مقاله کانتور دمایی برای ترانسدیوسر ارائه نشده و فقط افزایش دما روی سطح ترانسدیوسر مد نظر بوده و همچنین به رشد دمایی درون ترانسدیوسر اشاره نشده است.

در این مقاله افزایش دمای هورن در حالت پایدار به صورت عددی مورد تحلیل قرار گرفته و کانتور دمایی آن ترسیم شده و همچنین با انجام آنالیز هارمونیک، مورد ارزیابی ارتعاشاتی قرار گرفته است. سپس بر مبنای رشد دمایی به دست آمده برای هورن، با استفاده از ایده افزایش انتقال حرارت به وسیلهٔ پره، بهینه‌سازی حرارتی در چند مرحله انجام شده است به علاوه در هر مرحله بهینه‌سازی ویژگی‌های ارتعاشاتی تحلیل شده است. در نهایت هندسه به دست آمده برای هورن از لحاظ حرارتی بهینه و همچنین، از لحاظ کمینه بودن مود جانبی (مخرب) مطلوب است. لازم به ذکر است تحلیل حرارتی با نرم افزار انسیس - فلوئنت و تحلیل هارمونیک با نرم افزار آباکوس صورت گرفته است. همچنین اضافه کردن پره به هورن ترانسدیوسر از طرفی موجب کاهش رشد دمایی در ترانسدیوسر شده که بسیار مطلوب بوده و از طرفی دیگر موجب افزایش مود جانبی شده که مطلوب نیست. در این مقاله سعی شده تا هندسه‌ای مطلوب بین کاهش دما و مود جانبی مشخص شود. تفاوت این مقاله با مقالات مرور شده، بهینه‌سازی حرارتی هورن بوده و همچنین به دست آوردن هندسه‌ای که از لحاظ حرارتی و ارتعاشاتی مطلوب است.



شکل ۱- ترانسدیوسر فراصوت به همراه هورن [۱]

$$Q_{damp} = \frac{1}{2} * \omega * \zeta * Real[\varepsilon \cdot Conj(\varepsilon D)] \quad (1)$$

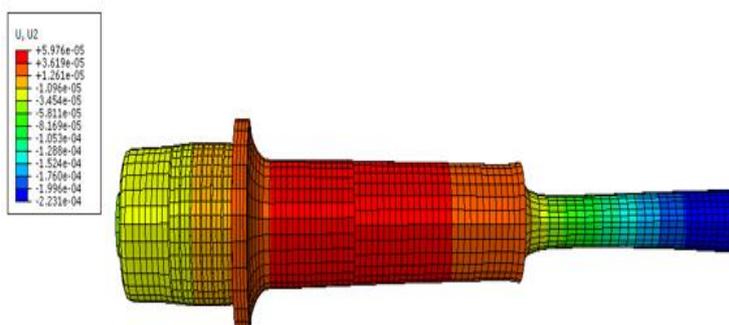
۳- صحت سنجی مدل

برای صحت سنجی مدل عددی حرارتی ایجاد شده از مقاله روپا رانی و همکاران در سال ۲۰۱۵ [۱۴] استفاده شده است. در این مقاله دمای نقطه گره در حالت پایدار حرارتی برای چهار هورن با ابعاد یکسان و جنس‌های مختلف به صورت تجربی اندازه گیری شده است. برای صحت سنجی مقاله

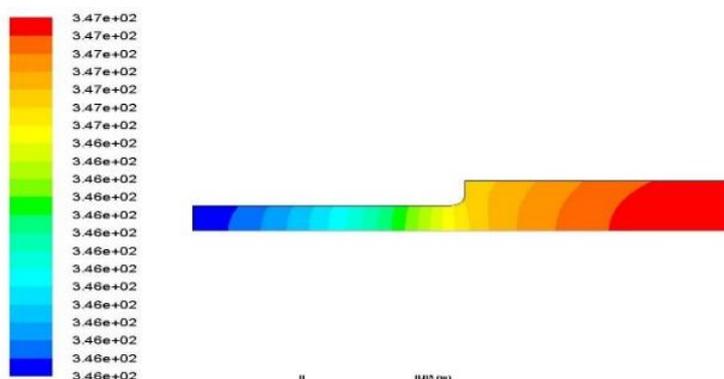
هورن مورد استفاده در این مقاله در اولین مود محوری برابر ۱۸ کیلوهرتز بوده و همچنین توان حرارتی اعمالی به هورن برابر ۷۱ وات است. که بر مبنای رابطه (۱) به دست آمده است. شکل ۴ و ۵ به ترتیب نمایی از آنالیز مودال ترانسدیوسر به همراه هورن و کانتور دمایی هورن را نشان می‌دهد. شرایط مرزی حرارتی در همه دیواره‌های هورن به صورت جابجایی با سیال ساکن پیرامون با دمای ۲۹۸ درجه کلوین بوده و در محل اتصال هورن به ترانسدیوسر شرط مرزی ایزوله در نظر گرفته شده است.

جدول ۱- خواص هورن مورد استفاده [۱۳، ۱۴]

ضریب هدایت حرارتی $\frac{w}{m \cdot k}$	ضریب حرارتی مخصوص $\frac{j}{kg \cdot k}$	چگالی $\frac{kg}{m^3}$	ضریب پواسون	مدول یانگ (pa)	جنس
۱۳۰	۹۶۰	۲۸۱۰	-۰/۳۳	۷۱/۷E9	آلومینیوم ۷۰۷۵



شکل ۴- نمایی از آنالیز مودال انجام شده برای هورن و ترانسدیوسر



شکل ۵- کانتور دمایی هورن تقارن محوری در حالت پایدار بر حسب کلوین

جدول ۲- مقایسه نتایج تجربی و عددی

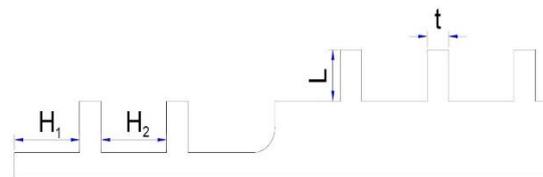
شماره	جنس	نتایج عددی (°C)	نتایج تجربی [۱۴] (°C)	مقدار قدر مطلقى خطا (درصد)
۱	آلومینیوم	۹۷/۳۳	۱۰۵/۸۰	۸
۲	تیتانیوم	۷۳/۸۰	۶۰/۵	۲۲
۳	فولاد کم کربن	۷۶/۷۰	۸۴/۹	۹
۴	فولاد ضدزنگ	۷۹/۳۰	۷۸/۸	۰/۶

حاضر هندسه هورن مقاله [۱۴] با روند شبیه سازی مورد استفاده در مقاله حاضر شبیه سازی شده و نتایج به دست آمده با نتایج تجربی مقاله [۱۴] در جدول ۲ مقایسه شده است. تطابق مناسب نتایج تجربی و عددی در جدول ۲ صحت مدل عددی ارائه شده را مشخص می‌کند.

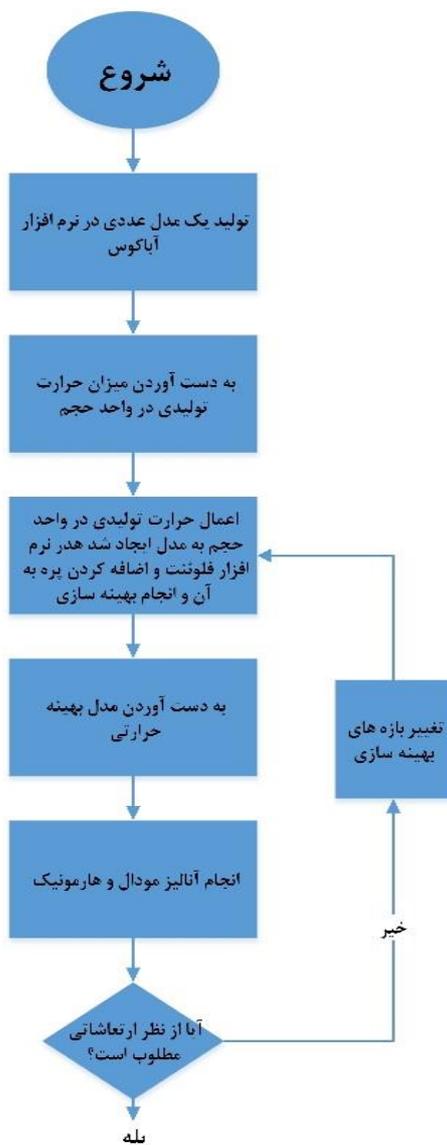
۴- بهینه‌سازی

در این مقاله بهینه سازی تک هدفی عملکرد حرارتی هورن با استفاده از الگوریتم ژنتیک صورت گرفته و همچنین تابع هدف در این بهینه‌سازی کمینه شدن متوسط دمایی هورن است. متغیرهای طراحی مورد استفاده در بهینه سازی عبارتند از طول پره، ضخامت پره، فاصله پره از انتها و فاصله بین پرها که در شکل ۶ مشخص شده است. با توجه به کاهش دمای مطلوب و کاهش هزینه‌های ساخت هورن، در نظر گرفتن ۵ پره حلقوی مطلوب بوده است.

در این مقاله دو مرحله بهینه سازی حرارتی صورت گرفته و بازه‌های پارامترهای طراحی بر اساس محدودیت‌های هندسی به دست آمده است. در هر مرحله بازه‌های پارامترهای طراحی مطابق جداول ۳ و ۴ هستند. مراحل بهینه سازی به صورت فلوجارت در شکل ۷ مشخص شده است.



شکل ۶- پارامترهای بهینه سازی حرارتی هورن با پنج پره



شکل ۷- فرآیند بهینه سازی به صورت فلوجارت

جدول ۳- بازه پارامترهای بهینه‌سازی هورن در مرحله اول

شماره	تعریف متغییر	عنوان متغییر	حد پایینی (متر)	حد بالایی (متر)
۱	طول پره	L	۰/۰۰۵	۰/۰۲
۲	ضخامت پره	t	۰/۰۰۳	۰/۰۰۸
۳	فاصله پره از انتها هورن	H ₁	۰/۰۱	۰/۰۲
۴	فاصله بین پرها	H ₂	۰/۰۱	۰/۰۲

جدول ۴- بازه پارامترهای بهینه‌سازی هورن در مرحله دوم

شماره	تعریف متغییر	عنوان متغییر	حد پایینی (متر)	حد بالایی (متر)
۱	طول پره	L	۰/۰۰۵	۰/۰۱۲
۲	ضخامت پره	t	۰/۰۰۴	۰/۰۰۶
۳	فاصله پره از انتها هورن	H ₁	۰/۰۱	۰/۰۲
۴	فاصله بین پرها	H ₂	۰/۰۱	۰/۰۲

۵- بررسی ارتعاشاتی هندسه بهینه سازی شده

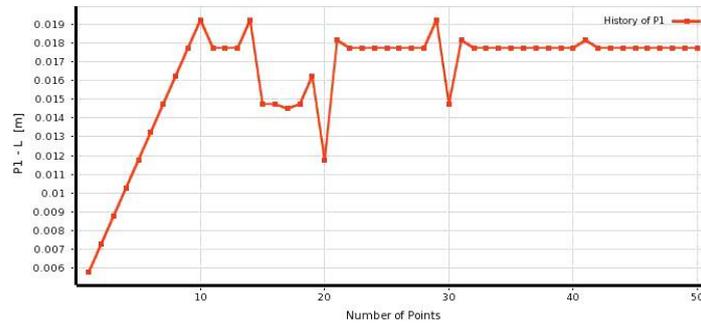
هدف از بازطراحی هورن رسیدن به کمترین دمای عملکرد با توجه به تعبیه پره بر روی هورن است. مشکل طراحی پره ایجاد مود جانبی است که عملکرد هورن را دچار اختلال می‌کند و موجب کاهش بازدهی هورن می‌شود. در این مقاله هدف ارائه هندسه‌ای با بیشترین تبادل حرارتی است که مود جانبی کمی داشته باشد. لذا معیار مقایسه برای بهینه سازی، متوسط دما و برای مود جانبی، سطح زیر نمودار جابجایی جانبی است که در ادامه به صورت دقیق بیان شده است. در این قسمت ابتدا هندسه ترانسدیوسر و هورن بدون پره از لحاظ ارتعاشاتی با استفاده از آنالیز هارمونیک تحلیل شده است و با استفاده از حرارت ایجاد شده در اثر ارتعاشات هارمونیک، در هر مرحله بهینه سازی حرارتی صورت گرفته تا هندسه بهینه سازی شده با هندسه بدون پره از لحاظ مود محوری و مود جانبی مقایسه شود و هندسه نهایی مطلوب به دست آید. معیارهای مورد استفاده برای مقایسه ارتعاشاتی هر هندسه با هندسه دیگر عبارتند از سطح زیر نمودار برآیند مود جانبی در راستای z, x به سطح زیر نمودار

جابجایی کل در خط مرکزی ترانسدیوسر و هورن $(\frac{A_{xz}}{A})$ ، سطح زیر نمودار جابجایی کل در قطعه پشت‌بند ترانسدیوسر و هورن (A_B) ، سطح زیر نمودار جابجایی در راستای y به سطح زیر نمودار جابجایی کل در خط مرکزی ترانسدیوسر و هورن $(\frac{A_y}{A})$ و همچنین تغییرات فرکانس مد نظر قرار گرفت و نتایج حاصل از این معیارها در قسمت نتایج ارائه شده است.

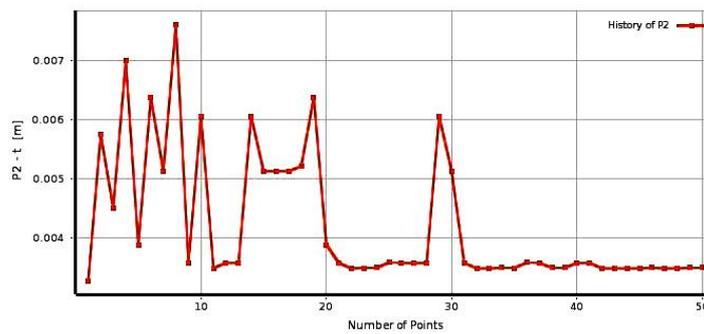
۶- بحث و نتایج

روند همگرایی هر یک از پارامترهای طراحی و تابع هدف بهینه‌سازی به صورت نموداری در شکل ۸ تا شکل ۱۲ مشخص شده است.

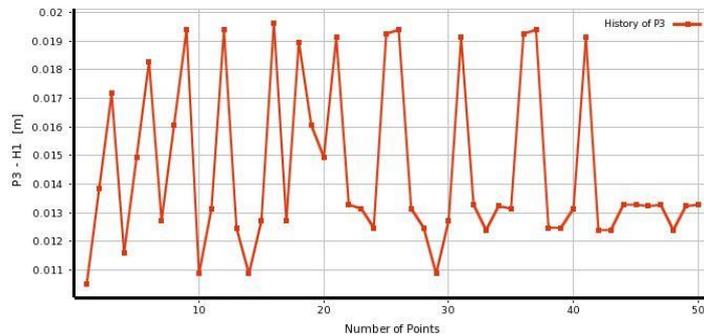
شکل ۱۲ تغییرات تابع هدف بهینه سازی را نشان می‌دهد که در انتها تقریباً به مقدار ۳۲۳ درجه کلون همگرا شده و مقادیر پارامترهای بهینه مطابق جدول ۵ به دست آمده است. کانتور دمایی هندسه مورد نظر در شکل ۱۳ ترسیم شده است. همچنین شکل ۱۴ هندسه سه بعدی هورن در بهینه سازی مرحله اول را نشان می‌دهد.



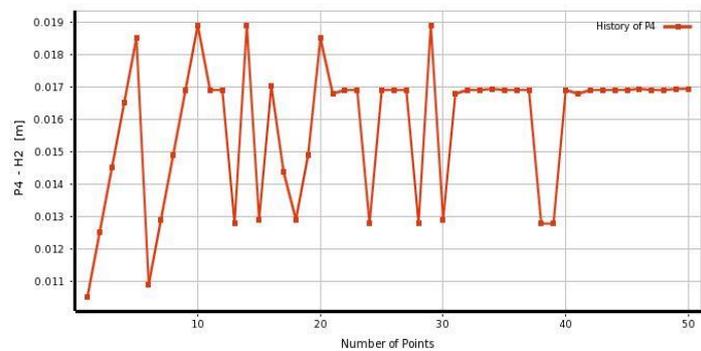
شکل ۸- تغییرات پارامتر طول پره هورن با پنج پره در مرحله اول



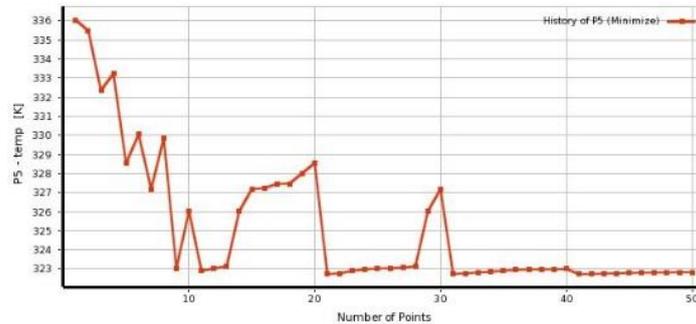
شکل ۹- تغییرات پارامتر ضخامت پره هورن با پنج پره در مرحله اول



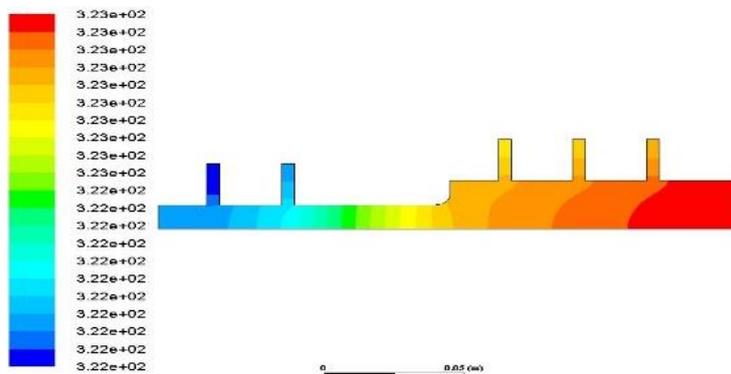
شکل ۱۰- تغییرات پارامتر فاصله پره از انتهای هورن با پنج پره در مرحله اول



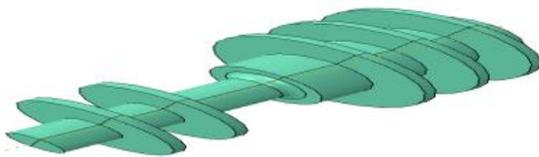
شکل ۱۱- تغییرات پارامتر فاصله بین پره‌ها هورن با پنج پره در مرحله اول



شکل ۱۲- تغییرات تابع هدف هورن با پنج پره در مرحله اول



شکل ۱۳- کانتور دمایی هورن بهینه شده با پنج پره به صورت تقارن محوری بر حسب کلونین در مرحله اول



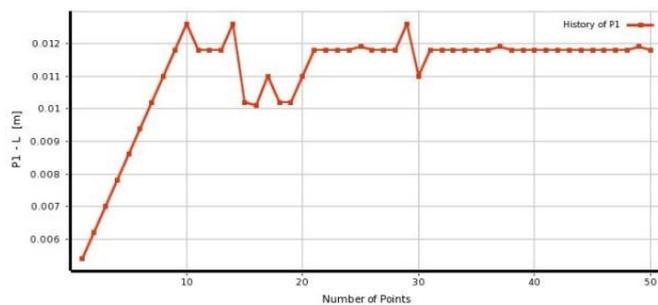
شکل ۱۴- هندسه هورن بهینه شده با پنج پره در مرحله اول

شکل ۱۷ تغییرات فاصله انتهای هورن تا اولین پره را نشان می‌دهد که تقریباً در انتهای فرآیند بهینه سازی به مقدار خاصی همگرا نشده که بیانگر این موضوع است که مقدار آن را در بازه مورد نظر هر مقداری می‌توان اختیار کرد. شکل ۱۹ تغییرات تابع هدف بهینه سازی را نشان می‌دهد که در انتها تقریباً به مقدار ۳۲۸ درجه کلونین همگرا شده است. هندسه سه بعدی بهینه سازی شده هورن به صورت شکل ۲۰ و همچنین کانتور دمایی هندسه بهینه به صورت شکل ۲۱ مشخص شده که مقدار پارامترهای آن در جدول ۶ آمده است.

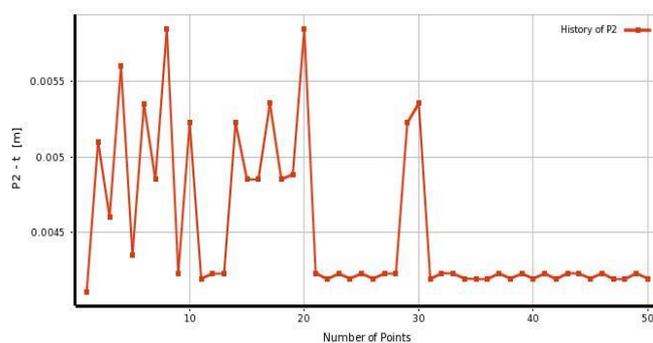
جدول ۵- مقدار پارامترهای بهینه شده هندسه هورن با پنج پره در مرحله اول

شماره	پارامتر بهینه سازی	مقدار پارامتر (متر)
۱	L	۰/۰۱۸
۲	t	۰/۰۰۴
۳	H ₁	۰/۰۱۹
۴	H ₂	۰/۰۱۷

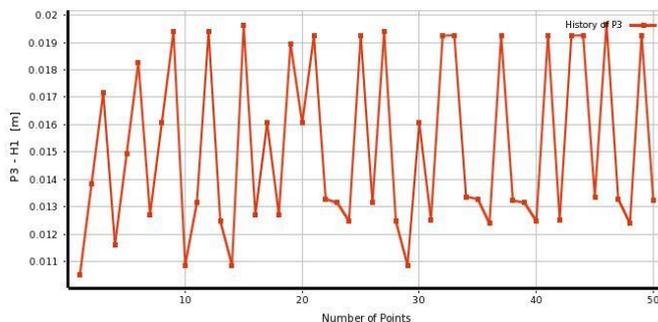
با توجه به نتایج به دست آمده در مرحله اول بهینه سازی حرارتی و تحلیل ارتعاشاتی هندسه که در جدول ۵ گزارش شده مجدد با تغییر بازه‌های پارامترهای طراحی مطابق جدول ۴ بهینه سازی حرارتی مرحله دوم با همان فرضیات و شرایط حاکم بر مرحله اول صورت گرفته و نمودارهای همگرایی در شکل ۱۵ تا شکل ۱۹ مشخص شده است.



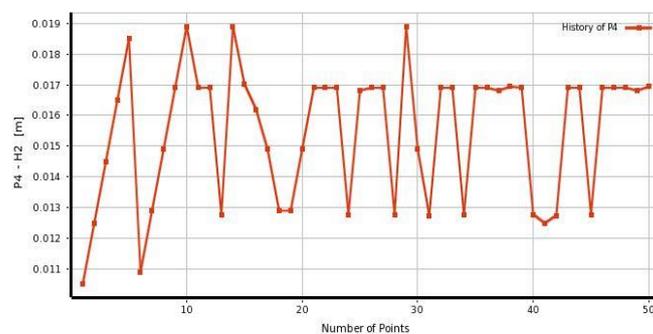
شکل ۱۵- تغییرات پارامتر طول پره هورن در مرحله دوم



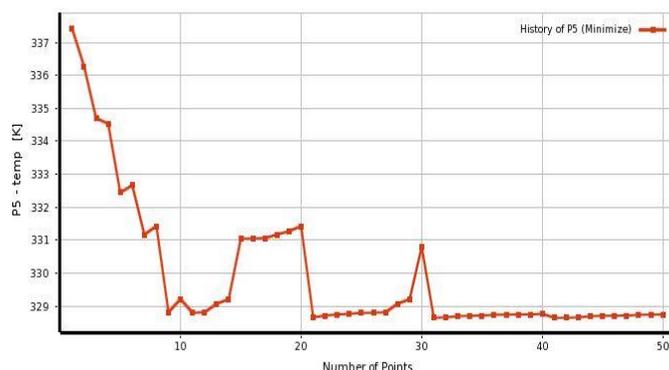
شکل ۱۶- تغییرات پارامتر ضخامت پره هورن در مرحله دوم



شکل ۱۷- تغییرات پارامتر فاصله اولین پره از انتهای هورن در مرحله دوم



شکل ۱۸- تغییرات پارامتر فاصله بین پره‌های هورن در مرحله دوم



شکل ۱۹- تغییرات تابع هدف هورن در مرحله دوم

شده مود جانبی ترانسدیوسر و هورن پره‌دار را افزایش داده است.

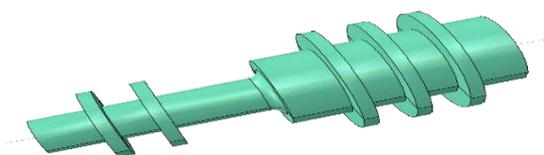
ولی از طرفی جابجایی کل در قطعه پشتی ترانسدیوسر کاهش یافته که بسیار مطلوب بوده و همچنین با توجه به این که مود جانبی نسبت کوچکی از جابجایی کل را تشکیل داده مدل به دست آمده قابل قبول است. نمای سه بعدی ترانسدیوسر و هورن پره‌دار در شکل ۲۲ مشخص است. در این پژوهش حرارت تولید شده در هورن ترانسدیوسر فراصوت با روش المان محدود در نرم افزار آباکوس به دست آمده است و سپس با استفاده روش حجم محدود در نرم افزار انسیس مدل حرارتی به دست آمده و بهینه سازی حرارتی آن صورت گرفته است. تمایز کار حاضر با کارهای ارائه شده در مقدمه بهینه سازی حرارتی هورن ترانسدیوسر و اضافه کردن پره به آن است.

۷- نتیجه گیری

در این مقاله با ایده محوری اضافه کردن پره به هورن فراصوتی، هندسه جدیدی برای هورن ارائه شده است. در هندسه ارائه شده سعی بر این بوده تا با استفاده از الگوریتم ژنتیک کمترین دمای ممکن در هورن ایجاد شود به علاوه هندسه به دست آمده کمترین اختلال را بر مود محوری هورن ایجاد کند و هندسه‌ای مطلوب از نظر حرارتی و ارتعاشاتی ارائه شود. در این کار با استفاده الگوریتم ژنتیک دو مرحله بهینه سازی حرارتی تک هدفی با هدف کمینه دمای متوسط هورن انجام شده و از طرفی هندسه به دست آمده در مراحل بهینه سازی از طریق آنالیز هارمونیک مورد ارزیابی

جدول ۶- مقدار پارامترهای بهینه شده هندسه هورن با پنج پره در مرحله دوم

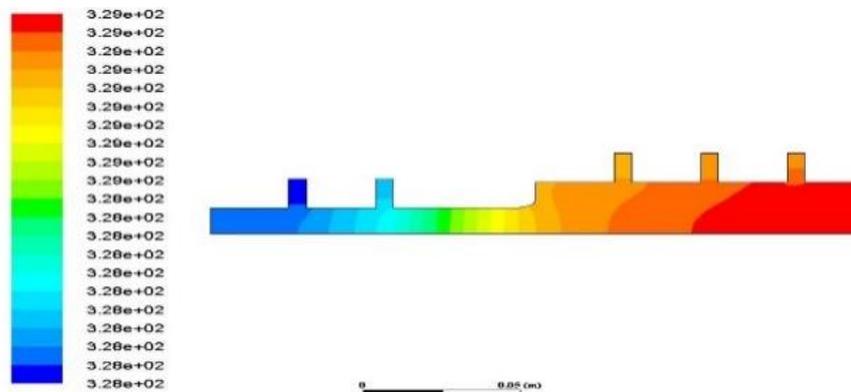
شماره	پارامتر بهینه سازی	مقدار پارامتر (متر)
۱	L	۰/۰۱۱
۲	t	۰/۰۰۴۵
۳	H ₁	۰/۰۱۹
۴	H ₂	۰/۰۱۳



شکل ۲۰- هندسه بهینه شده هورن با پنج پره در مرحله دوم

برای مقایسه معیارهای گفته شده در قبل و بررسی مود جانبی جدول ۷ تشکیل شده است. لازم به ذکر است که فرکانس تشدید در اولین مود محوری در مرحله اول بهینه سازی ۱۷۲۸۰ هرتز و در مرحله دوم بهینه سازی ۱۶۵۶۰ هرتز در ترانسدیوسر و هورن پره دار به دست آمده است.

ارقام به دست آمده در جدول ۷ بیانگر این موضوع است که در کنار این که پره موجب کاهش دمای هورن



شکل ۲۱- کانتور دمایی هندسه بهینه شده هورن با پنج پره در مرحله دوم

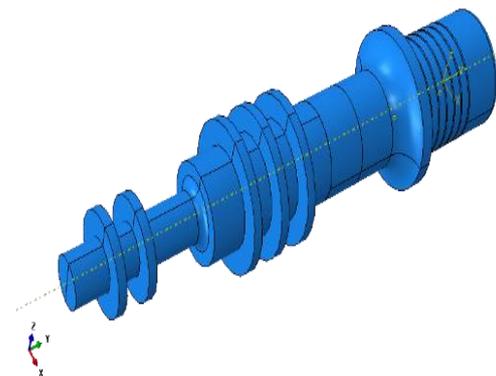
جدول ۷- مقایسه نتایج به دست آمده در ترانسدیوسر و هورن بدون پره و پره‌دار بهینه شده در مرحله اول و دوم

تغییرات فرکانس (درصد)	مینیمم دمای متوسط کل جسم (K)	سطح زیر نمودار جابجایی کل قطعه پشتی (A_b)	$\frac{A_y}{A}$	$\frac{A_{xz}}{A}$	سطح زیر نمودار جابجایی کل (A)	مساحت زیر نمودار جابجایی مود محوری (A_y)	مساحت زیر نمودار جابجایی مود جانبی (A_{xz})	ترانسدیوسر و هورن
-	۳۴۶	۰/۰۰۳۶۲۶	۰/۲۴۴۰۳۲	۰/۰۲۰۶۵۴	۰/۰۹۰۱۵۲	۰/۰۲۲	۰/۰۰۱۸۶۲	هورن بدون پره
۴-%	۳۲۳	۰/۰۰۶۳۲۱	۰/۲۲۱۸۱۰	۰/۰۰۶۳۱۰	۰/۰۹۰۱۶۷	۰/۰۲۰	۰/۰۰۰۵۶۹	هورن پنج پره در مرحله اول
۸-%	۳۲۸	۰/۰۰۲۸۹۳	۰/۲۰۰۵۰۹	۰/۰۶۱۸۷۱	۰/۰۹۰۱۶۷	۰/۰۱۴	۰/۰۰۴۳۲	هورن پنج پره در مرحله دوم

گرفته است. در انتها می توان گفت که هندسه ارائه شده در نقطه‌ای قابل قبول از نظر حرارتی و ارتعاشاتی قرار گرفته است.

۸- مراجع

- [1] http://www.imajeenyus.com/electronics/20110514_power_ultrasonic_driver/index.shtml @ 2019/08/14.
- [2] P. Langevin, French Patents Nr. 575435 (1924).
- [3] Ando E, Kagawa Y (1992) Finite-element simulation of transient heat response in ultrasonic transducers. IEEE Trans Ultrason Ferroelectr Freq Control 39.
- [4] Karnaukhov VG, Senchenkov IK, Mikhailenko VV, Dyachenko SM (1996) Numerical modeling of vibrational heating and thermal stresses in a Lagrangian piezoelectric rod transducer. Int Appl Mech 32.
- [5] Sherrit S, Dolgin BP, Bar-Cohen Y, Pal D, Kroh J, Peterson T (1999) Modeling of horns for



شکل ۲۲- نمایی سه بعدی از ترانسدیوسر و هورن پره‌دار در حالت مونتاژ

قرار گرفته است. برای مقایسه ارتعاشاتی نتایج سه معیار سطح زیر نمودار برآیند جابجایی جانبی به سطح زیر نمودار جابجایی کل، سطح زیر نمودار جابجایی محوری به سطح زیر نمودار جابجایی کل و جابجایی کل قطعه پشتی مد نظر قرار

- for industrial applications of high-intensity ultrasound. Nova Science Publishers.
- [12] Hosseini R, Ebrahimi Mamaghani A, Asa A (2013) An investigation into the effects of friction and anisotropy coefficients and work hardening exponent on deep drawing with FEM. *Adv Mater Process* 1(2): 39-50.
- [13] Abdullah A, Malaki M (2013) On the damping of ultrasonic transducers' components. *Aerosp Sci Technol* 28: 31-39.
- [14] Rani MR, Prakasan K, Rudramoorthy R (2015) Studies on thermo-elastic heating of horns used in ultrasonic plastic welding. *Ultrasonics* 55: 123-132.
- [15] Lu X, Hu J, Peng H, Wang Y (2017) A new topological structure for the Langevin-type ultrasonic transducer. *Ultrasonics*. 75: 1-8.
- [16] Karafi MR, Khorasani F (2019) Evaluation of mechanical and electric power losses in a typical piezoelectric ultrasonic transducer. *Sensor Actuat A-Phys* 288: 156-164.
- [17] <http://www.sonicsystems.co.uk/page/power-ultrasonics-a-guide/39/@2019/08/13>.
- sonic/ultrasonic applications. *IEEE Int Ultrason Symp* 647-651.
- [6] Joo H, Lee C, Rho J, Jung H (2006) Analysis of temperature rise for piezoelectric transformer using finite-element method. *IEEE Trans Ultrason Ferroelectr Freq Control* 53.
- [7] Abdullah A, Shahini A, Pak A (2008) An approach to design a high power piezoelectric ultrasonic transducer. *Electroceram* 22: 369-382.
- [8] Pak A, Abdullah A (2008) Correct prediction of the vibration behavior of a high power ultrasonic transducer by FEM simulation. *Adv Manuf Technol* 39: 21-28.
- [9] Gallego-Juárez JA, Rodriguez G, Acosta V, Riera E (2010) Power ultrasonic transducers with extensive radiators for industrial processing. *Ultrason Sonochem* 17: 953-964.
- [10] Ganesan R, Muthupandian A (2010) Simulation of heat generation from vibration in COMSOL multiphysics. Excerpt from the Proceedings of the COMSOL Conference India.
- [11] Peshkovsky AS, Peshkovsky SL (2010) Acoustic cavitation theory and equipment design principles