

# مدل تحلیلی انتقال صوت از پوستههای استوانهای دو جداره مرکب جدار نازک، با طول بینهایت

نوری، علی<sup>۱</sup> ، مرادی، بهنام<sup>۲</sup> ۱و۲- دانشگاه هوایی شهید ستاری- مرکز تحصیلات تکمیلی (دریافت مقاله: ۱۳۸۸/۸/۳۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۹/۲/۲۸

#### چکیدہ

در این مقاله، افت انتقال صوت از یک پوسته استوانهای مرکب دو جداره نامحدود، به منظور مطالعه انتقال صوت به داخل محفظه بدنه هواپیما در شرایط پروازی بررسی می شود. سیال از داخل و خارج، پوسته ها را احاطه نموده و در فضای خالی بین دو پوسته نیز سیال قرار گرفته است. سیال خارجی با یک سرعت یکنواخت در امتداد محور طولی استوانه حرکت می کند. با استفاده از حل همزمان معادلات ارتعاشی پوسته های مرکب و معادلات موج آگوستیک، افت انتقال صوت (TL)<sup>1</sup> پوسته ها به صورت تحلیلی محاسبه گردید. افت انتقال صوت به دست آمده از حل عددی در مقاله حاضر، به منظور اعتبار سنجی، با نتایج به دست آمده توسط دیگر محققین برای پوسته مرکب یک جداره مقایسه گردیده است. مقایسه نتایج، همخوانی بسیار خوبی را نشان داد. در نهایت اثر هندسه سازه و محیط آکوستیکی و فضای خالی بین دو پوسته، همانند زاویه موج برخوردی، عدد ماخ، ارتفاع پروازی هواپیما، شعاع انحنا، ضخامت پوسته، ضخامت فضای خالی، چیدمان لایه ها و میرایی پوسته ها بر افت انتقال صوت بررسی شده است.

#### مقدمه

مواد مرکب بهدلیل بالا بودن نسبت استحکام به وزن در سازههای مدرن، خصوصا سازههای هوایی از اهمیت ویژهای برخوردار است. پوستههای مرکب در کاربردهای مهندسی مختلف شامل هوافضا، مکانیک، صنایع دریایی و خودرو بیش از پیش مورد استفاده قرار می گیرد. با استفاده از سازههای سبک وزن مرکب، خصوصاً در صنعت هوافضا، انتقال صوت به داخل این سازهها افزایش مییابد. بنابراین انتقال صوت بیشتر به داخل این سازهها باعث ایجاد معضلاتی برای مسافران و خدمه پروازی می گردد، بنابراین پیش بینی میزان نویز وارد شده به داخل این سازهها اهمیت زیادی دارد.

تمایل صنایع مختلف در جهت به دست آوردن قوانین طراحی پوستههای دوجداره، به ویژه سطوح جانبی

مافلرهای آ پیشرفته در صنایع خودرو و نیز در صنایع هواپیماسازی موجب شده که تحقیقات بیشتر بر روی مسئله ارتعاشات ناشی از آکوستیک پوستههای دو جداره انجام شود. انتقال صوت به داخل پوستههای استوانهای را بسیاری از محققین مطالعه نمودهاند. اسمیت آ [1] انتقال صوت در پوستههای استوانهای ایزوتروپیک نازک در اثر انتشار امواج صفحهای مایل را مورد مطالعه قرار داد. وایت <sup>4</sup> [7] انتقال صوت در پوستههای استوانهای محدود را مورد بررسی قرار داد، و دو مشخصه مهم بسامدهای حلقوی <sup>6</sup> و بسامد همزمان <sup>2</sup> را که در آنها بیشترین میزان انتقال صوت بسامد همزمان <sup>2</sup> را که در آنها بیشترین میزان انتقال صوت به داخل سازه صورت میگیرد، معرفی نمود. کوال <sup>7</sup> [۳،7] کارهای اسمیت را با ارائه یک مدل تحلیلی برای پیشبینی L در پوستههای ایزوتروپیک و ارتوتروپیک گسترش داد.

۱ – استادیار دانشگاه هوایی شهید ستاری

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، تلفن: ۰۹۱۴۱۵۸۴۲۴۳ آدرس پست الکترونیک:moradi.behnam57@gmail.com

پوستههای ارتوتروپیک و ارتوتروپیک چندلایه که در معرض امواج صفحهای مایل قرار گرفته است، توسعه دادند. کوال [۷] با استفاده از روش امپدانس مودال، یک مدل ریاضی برای محاسبه افت انتقال صوت پوسته استوانهای مرکب نامحدود ارائه نمود. آنها نشان دادند که در محدوده بسامد بالا، در سازههای مرکب، صوت بیشتری نسبت به سازههای ایزوتروپیک انتقال می یابد. روسو و همکارانش [۸] در مرکز تحقیقات ناسا، تحقیقات تجربی و نظری خود را در مورد انتقال صوت در صفحات مرکب ارائه دادند. تانگ <sup>۱۰</sup> و همکارانش [۹] یک پوسته ساندویچی استوانهای نامحدود را که در معرض امواج صفحهای مایل قرار گرفته بود، مورد بررسی قرار دادند. لی و کیم'` [۱۰] با استفاده از مدلهای تحلیلی و تجربی، افت انتقال صوت به داخل پوستههای استوانهای ایزوتروپیک تکجداره را با طول بینهایت محاسبه نمودند. دانشجو و همکارانش [۱۱] یک مدل تحلیلی برای محاسبه افت انتقال صوت پوستههای استوانهای مرکب ارائه نمودند. آنها همچنین افت انتقال صوت را برای پوستههای ارتوتروپیک دو جداره محاسبه نمودند [۱۲].

در این مقاله، مدلی تحلیلی برای محاسبه انتقال صوت در پوسته استوانهای مرکب دوجداره نامحدود، که در معرض امواج صفحهای مایل قرار دارد، ارائه شده است. بدین منظور همه متغیرهای آکوستیکی و جابجاییهای سازه توسط سریهای بینهایت بیان گردید. به منظور بهدست آوردن جواب تحلیلی دقیق، این سریها باید معین گردند. بنابراین فرض شد که پوسته در داخل یک سیال غوطهور و محفظه پوسته داخلی بدون انعکاس است و هیچ موج منعکس شدهای در داخل محفظه داخلی وجود ندارد. خواص سیال شدهای در داخل محفظه داخلی وجود ندارد. خواص سیال شدهای در داخل محفظه داخلی وجود ندارد. خواص سیال تارجی، بین دو پوسته و داخل پوسته ممکن است با مدیگر متفاوت باشند. پاسخ ارتعاش آکوستیکی سیستم به تغییر پارامترها، با حل هم<sub>ا</sub>زمان معادلات پوستهها و امواج آکوستیک بهدست خواهد آمد.

# مشخصات مدل

شکل ۱ طرح کلی مسئله مورد بحث را نشان میدهد که در آن یک موج صفحهای با زاویه  $\gamma_1$  به یک پوسته استوانهای مرکب دوجداره نامحدود با جداره نازک برخورد میکند. موج برخوردی یک موج صفحهای است که در صفحه موازی با صفحه X - X انتشار مییابد. موج صفحهای مایل از بیرون

به این استوانه نامحدود برخورد مینماید. محیط داخلی پوسته داخلی کاملا جاذب در نظر گرفته شده به طوری که فرض میشود فقط موجهای منتشر شده به داخل وجود دارد. هوا با سرعت یکنواخت V در محیط خارجی پوسته در جریان است.  $R_1$  و  $R_2$  و  $h_1$  و  $f_2$  شعاع و ضخامت پوسته را نشان میدهند که اندیسهای 1 و 2 به ترتیب نشان دهنده پوسته داخلی و خارجی است.



شکل۱- پوسته استوانهای دو جداره مرکب و موج برخوردی با زاویه 7<sub>1</sub>

چگالی و سرعت صوت سیال خارجی، سیال بین دو  $\{\rho_2 \ e_2\}$ ,  $\{\rho_2 \ e_2\}$ ,  $\{\rho_2 \ e_1\}$ ,  $\{c_2 \ e_2\}$ ,  $\{c_2 \ e_1\}$ ,  $\{c_2 \ e_2\}$ ,  $\{c_3 \ e_1\}$ ,  $\{c_2 \ e_2\}$ ,  $\{c_3 \ e_1\}$ ,  $\{c_3 \ e_2\}$ ,  $\{c_3 \ e_3\}$ ,  $\{c_3 \ e_3\}$ ,  $\{c_3 \ e_2\}$ ,  $\{c_4 \ e_1\}$ ,  $\{c_3 \ e_2\}$ ,  $\{c_4 \ e_1\}$ ,  $\{c_3 \ e_2\}$ ,  $\{c_4 \ e_1\}$ ,  $\{c_4 \ e_2\}$ ,  $\{c_4 \ e_2\}$ ,  $\{c_5 \ e_1\}$ ,  $\{c_6 \ e_2\}$ ,  $\{c_6 \ e_2\}$ ,  $\{c_6 \ e_2\}$ ,  $\{c_7 \ e_2\}$ ,  $\{c_8 \ e_1\}$ ,  $\{c_9 \ e_2\}$ ,  $\{c_1 \ e_2\}$ ,  $\{c_2 \ e_2\}$ ,  $\{c_1 \ e_2\}$ ,  $\{c_2 \ e_2\}$ ,  $\{c_1 \ e_2\}$ ,  $\{c_2 \ e_2\}$ ,  $\{c_2 \ e_2\}$ ,  $\{c_2 \ e_2\}$ ,  $\{c_3 \ e_2\}$ ,  $\{c_4 \ e_2\}$ ,  $\{c_4 \ e_2\}$ ,  $\{c_6 \ e_2\}$ ,  $\{c_6 \ e_2\}$ ,  $\{c_7 \ e_2\}$ ,  $\{c_7 \ e_2\}$ ,  $\{c_8\}$ ,  $\{c_8$ 

## معادلات ار تعاشات ناشی از آکوستیک فقل آکست کر در میرون سیته خارج میران

فشار آکوستیکی در بیرون پوسته خارجی، برابر با مجموع فشار موج برخوردی $P_1^R$ و موج منعکس شده از پوسته  $P_1^R$ 

میباشد و معادله موج آکوستیک به صورت رابطه ۱ بدست میآید:

$$\frac{\partial (P^{I} + P_{1}^{R})}{\partial r} = -\rho_{1} \left(\frac{\partial}{\partial t} + V \cdot \nabla\right)^{2} w_{2} \qquad r = R_{2} \quad (1)$$

در رابطه ۱،  $W_2 + P_2$  جابجایی پوسته خارجی در راستای شعاعی میباشد. در فضای میانی دو پوسته، فشار برابر شعاعی میباشد. در فضای میانی دو پوسته، فشار برابر  $P_2^T + P_2^R = P_2^T$  میباشد که  $P_2^T + P_2^R$  موج منعکس شده از پوسته داخلی پوسته خارجی و  $P_2^R$  موج منعکس شده از پوسته داخلی میباشد و معادله موج آکوستیک به صورت روابط ۲و ۳ بهدست میآید.

$$\frac{\partial (P_2^T + P_2^R)}{\partial r} = -\rho_2 \frac{\partial^2 w_2}{\partial t^2} \qquad r = R_2 \tag{(7)}$$

$$\frac{\partial (P_2^T + P_2^R)}{\partial r} = -\rho_2 \frac{\partial^2 w_1}{\partial t^2} \quad r = R_1 \tag{(7)}$$

در رابطه  $W_1$  ،  $W_1$  جابجایی پوسته داخلی در جهت شعاعی میباشد. در فضای داخلی که فقط فشار آکوستیک موج منتقل شده  $P_3^T$  وجود دارد، معادله موج آکوستیک به صورت رابطه ۴ بدست میآید:

$$\frac{\partial P_3^T}{\partial r} = -\rho_3 \frac{\partial^2 w_1}{\partial t^2} \qquad r = R_1 \qquad (f)$$

معادلات حاکم بر پوسته برای پوسته استوانهای، مطابق با فرضیه کیرشهف<sup>۱۲</sup> با صرف نظر کردن از تغییر شکل برشی <sub>2</sub> ج، معادله تنش- کرنش برای یک لایه ارتوتروپیک به صورت رابطه ۵ میباشد:

$$\begin{bmatrix} \sigma_{1} \\ \sigma_{2} \\ \sigma_{3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Q_{11} & Q_{12} & 0 \\ Q_{21} & Q_{22} & 0 \\ 0 & 0 & Q_{66} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_{1} \\ \varepsilon_{2} \\ \varepsilon_{12} \end{bmatrix}$$

که مختصات الیاف ارتوتروپیک به صورت 1 و 2 مشخص شده است که 1 موازی با الیاف و 2 عمود بر آن میباشد. ثابتهای ماد ه *Q*<sub>ij</sub> به صورت ترمهایی از خصوصیات ماده لایه ارتوتروپیک مطابق روابط ۶ تعریف میشود:

$$Q_{22} = E_{2} \frac{1}{\Delta} , Q_{11} = E_{1} \frac{1}{\Delta}$$

$$Q_{12} = E_{1} \frac{\upsilon_{21}}{\Delta} = E_{2} \frac{\upsilon_{12}}{\Delta}$$

$$\Delta = 1 - \upsilon_{12} \upsilon_{21} , G_{66} = G_{12}$$
(7)

در روابط  $\mathcal{F}_{I}$  و  $E_{2}$  به ترتیب مدول الاستیسیته در جهت 1 و 2 بوده و  $G_{12}$  سختی برشی و  $v_{ij}$  ضریب . $i \neq j$  و i, j=1,2 سختی برشی و i, j=1,2 و  $i \neq j$ . لایه چینی الیاف نسبت به محور z انجام می شود که با محور زاویه  $\theta_{k}$  می سازند (شکل ۱). تبدیل تنش ها از مختصات محلی به مختصات تعمیم یافته پوسته انجام می گیرد. بنابراین ثابتهای سختی تبدیل شده  $\overline{Q_{ij}}$  از لایه k ام به صورت رابطه ۷ نوشته می شود:

$$\left[\overline{Q}\right] = \left[T\right]^{-1} \left[Q\right] \left[T\right] \tag{Y}$$

در رابطه ۲، [T] ماتریس انتقال میباشد. رابطه تنش-کرنش برای یک جزء از ماده در لایه k ام به صورت رابطه ۸ محاسیه می گردد:

$$\begin{bmatrix} \sigma_{z} \\ \sigma_{y} \\ \sigma_{yz} \end{bmatrix}_{k} = \begin{bmatrix} \overline{Q}_{11} & \overline{Q}_{12} & \overline{Q}_{16} \\ \overline{Q}_{21} & \overline{Q}_{22} & \overline{Q}_{26} \\ \overline{Q}_{61} & \overline{Q}_{62} & \overline{Q}_{66} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_{z} \\ \varepsilon_{y} \\ \varepsilon_{yz} \end{bmatrix}_{k}$$
(A)  

$$B_{ij} = A_{ij} \text{ and } ij \text{ be a standard or } ij \text{ be a st$$

که در روابط ۹،  $h_{(k-1)}$  و  $h_k$  فاصله از سطح مرجع تا  $y = R\varphi$  ام صفحه میباشد (شکل ۱). با قراردادن در پوسته استوانهای، تغییرات کرنش و انحنا به صورت روابط ۱۰ به دست میآید:

$$k_{z\varphi} = \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{v}{R}\right) - \frac{2}{R} \frac{\partial^2 w}{\partial \varphi \partial z}$$
  

$$\varepsilon_z = \frac{\partial u}{\partial z} , \quad \gamma_{z\varphi} = \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{1}{R} \frac{\partial u}{\partial \varphi} \quad (1.)$$

$$L_{11}^{(1)}(u_1) + L_{12}^{(1)}(v_1) + L_{13}^{(1)}(w_1) = \overline{M}_i \frac{\partial^2 u_1}{\partial t^2} \qquad (1\%)$$

$$L_{21}^{(1)}(u_1) + L_{22}^{(1)}(v_1) + L_{23}^{(1)}(w_1) = \overline{M}_i \frac{\partial^2 v_1}{\partial t^2} \qquad (1\Delta)$$

$$L_{21}^{(1)}(u_1) + L_{22}^{(1)}(v_2) + L_{23}^{(1)}(w_1) + (P_2^T + P_2^R)$$

$$-P_{3}^{T} = -\overline{M}_{i} \frac{\partial^{2} w_{1}}{\partial t^{2}}$$
(19)

و برای پوسته خارجی:

$$L_{11}^{(2)}(u_2) + L_{12}^{(2)}(v_2) + L_{13}^{(2)}(w_2) = \overline{M}_e \frac{\partial^2 u_2}{\partial t^2} \quad (1Y)$$

$$L_{21}^{(2)}(u_2) + L_{22}^{(2)}(v_2) + L_{23}^{(2)}(w_2) = \overline{M}_e \frac{\partial^2 u_2}{\partial t^2} \qquad (1 \text{ A})$$

$$L_{31}^{(2)}(u_2) + L_{32}^{(2)}(v_2) + L_{33}^{(2)}(w_2) + (P^T + P_1^K) - (P_2^T + P_2^R) = -\overline{M}_e \frac{\partial^2 w_2}{\partial t^2}$$
(19)

با استفاده از روابط ۱۰، ۱۱ و ۱۲ و نیز 
$$\frac{\partial}{\partial eta} = \frac{1}{R} \frac{\partial}{\partial heta}$$
  
ضرایب  $L_{ij}$  برای هر دو پوسته به صورت روابط ۲۰ و ۲۱  
به دست میآید (۱۳، ۷]:

$$\begin{cases} L_{11}^{(i)} = A_{11}^{(i)} \frac{\partial^2}{\partial z^2} + 2 \frac{A_{16}^{(i)}}{R_{(i)}} \frac{\partial^2}{\partial z \partial \varphi} + \frac{A_{66}^{(i)}}{R_{2}^{(i)}} \frac{\partial^2}{\partial \varphi^2} \\ L_{12}^{(i)} = \overline{A}_{16}^{(i)} \frac{\partial^2}{\partial z^2} + \frac{\overline{A}_{12}^{(i)}}{R} \frac{\partial^2}{\partial z \partial \varphi} + \frac{\overline{A}_{26}^{(i)}}{R_{2}^{(i)}} \frac{\partial^2}{\partial \varphi^2} \\ L_{13}^{(i)} = A_{12}^{*(i)} \frac{\partial}{\partial z} + \frac{A_{26}^{*(i)}}{R_{(i)}} \frac{\partial}{\partial \varphi} - B_{11}^{(i)} \frac{\partial^3}{\partial z^3} - \\ 3 \frac{B_{16}^{(i)}}{R_{(i)}} \frac{\partial^2}{\partial z^2 \partial \varphi} - \frac{B_{17}^{(i)}}{R_{2}^{(i)}} \frac{\partial^3}{\partial z \partial \varphi^2} - \frac{B_{26}^{(i)}}{R_{3}^{(i)}} \frac{\partial^3}{\partial \varphi^3} \\ L_{22}^{(i)} = A_{66}^{*(i)} \frac{\partial^2}{\partial z^2} + 2 \frac{A_{26}^{*(i)}}{R_{(i)}^{2}} \frac{\partial^2}{\partial z \partial \varphi} + \frac{A_{22}^{*(i)}}{R_{20}^{2}} \frac{\partial^2}{\partial \varphi^2} \\ \\ L_{23}^{(i)} = \overline{A}_{26}^{*(i)} \frac{\partial}{\partial z} + \frac{\overline{A}_{22}^{*(i)}}{R_{(i)}^{2}} \frac{\partial}{\partial \varphi} - \overline{B}_{16}^{(i)} \frac{\partial^3}{\partial z^3} - \\ \frac{\overline{B}_{17}^{(i)}}{R_{(i)}} \frac{\partial^3}{\partial z^2 \partial \varphi} - 3 \frac{\overline{B}_{26}^{*(i)}}{R_{22}^{2}} \frac{\partial}{\partial \varphi} - \overline{B}_{16}^{(i)} \frac{\partial^3}{\partial z^3} - \\ \frac{\overline{B}_{17}^{(i)}}{R_{(i)}^{3}} \frac{\partial^3}{\partial z^2 \partial \varphi} - 3 \frac{\overline{B}_{26}^{(i)}}{R_{22}^{2}} \frac{\partial^3}{\partial z \partial \varphi^2} - \frac{\overline{B}_{22}^{(i)}}{R_{10}^{3}} \frac{\partial^3}{\partial \varphi^3} \\ L_{33}^{(i)} = \frac{A_{22}^{*(i)}}{R_{(i)}^{2}} - 2B_{12}^{*(i)} \frac{\partial^2}{\partial z^2} - \frac{4B_{26}^{*(i)}}{R_{20}^{2}} \frac{\partial^2}{\partial z^2 \partial \varphi} - \\ 2 \frac{B_{22}^{*(i)}}{R_{21}^{2}} \frac{\partial^2}{\partial \varphi^2} + D_{11}^{(i)} \frac{\partial^4}{\partial z^4} + 4 \frac{D_{16}^{(i)}}{R_{(i)}^{3}} \frac{\partial^4}{\partial z^3 \partial \varphi} + \\ 2 \frac{D_{17}^{(i)}}{R_{21}^{2}} \frac{\partial^4}{\partial z^2 \partial \varphi^2} + 4 \frac{D_{26}^{(i)}}{R_{3}^{3}} \frac{\partial^4}{\partial z \partial \varphi^3} \frac{D_{17}^{(i)}}{R^4} \frac{\partial^4}{\partial \varphi^4} \\ \end{array} \right$$

$$k_{z} = -\frac{\partial^{2} w}{\partial z^{2}}, \quad \varepsilon_{\varphi} = \frac{1}{R} \left( \frac{\partial v}{\partial \varphi} + w \right)$$
$$k_{\varphi} = \frac{1}{R^{2}} \left( \frac{\partial v}{\partial \varphi} - \frac{\partial^{2} w}{\partial \varphi^{2}} \right)$$

در روابط ۱۰، {*u,v,w*} جابجایی پوسته به ترتیب در جهات محوری، محیطی و شعاعی میباشد. نیروی N و ممان M با انتگرالگیری از تنشها روی کل ضخامت پوسته به دست میآید که به صورت رابطه ۱۱ نشان داده شده است:

$$\begin{bmatrix} N_{z} \\ N_{\varphi} \\ N_{z\phi} \\ M_{z} \\ M_{\varphi} \\ M_{z\phi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & A_{66} & B_{11} & B_{12} & B_{16} \\ A_{12} & A_{22} & A_{26} & B_{12} & B_{22} & B_{66} \\ A_{16} & A_{26} & A_{66} & B_{16} & B_{26} & B_{66} \\ B_{16} & B_{12} & B_{16} & D_{11} & D_{12} & D_{16} \\ B_{12} & B_{22} & B_{26} & D_{12} & D_{22} & D_{26} \\ B_{16} & B_{26} & B_{66} & D_{16} & D_{26} & D_{66} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_{z} \\ \varepsilon_{\varphi} \\ \gamma_{z\varphi} \\ k_{z} \end{bmatrix}$$
(11)

معادلات ارتعاشاتی پوسته استوانهای مرکب یکجداره در  
مختصات استوانهای به صورت روابط ۱۲ نوشته میشود  
[۱۳]:  

$$(17)$$
  
 $\left[-\frac{N_{\varphi}}{R} + \frac{\partial^{2}N_{z}}{\partial z^{2}} + \frac{2}{R}\frac{\partial^{2}M_{z\varphi}}{\partial z\partial \varphi} + \frac{1}{R}\left[\frac{1}{R}\frac{\partial^{2}M_{\varphi}}{\partial \varphi^{2}} + 2\frac{\partial^{2}M_{z\varphi}}{\partial z\partial \varphi}\right]\right]$   
 $+q_{r} = -\overline{M}\frac{\partial^{2}w}{\partial t^{2}}$   
 $\left[\frac{1}{R}\frac{\partial N_{\varphi}}{\partial \varphi} + \frac{\partial N_{z\varphi}}{\partial z} + \frac{1}{R}\left[\frac{1}{R}\frac{\partial M_{\varphi}}{\partial \varphi} + \frac{\partial M_{z\varphi}}{\partial z}\right] + q_{\varphi} = -\overline{M}\frac{\partial^{2}v}{\partial t^{2}}$   
 $\left[\frac{\partial N_{z}}{\partial z} + \frac{1}{R}\frac{\partial N_{z\varphi}}{\partial \varphi} + q_{z} = -\overline{M}\frac{\partial^{2}u}{\partial t^{2}}\right]$ 

در روابط بالا $q_z$  و $q_{\varphi}$  و $q_r$  به ترتیب نیروهای خارجی (بر واحد سطح) در جهات محوری، محیطی و شعاعی و t نشاندهنده متغیر زمان است.

$$\overline{M} = \sum_{k=1}^{N} \rho_k \left( h_k - h_{k-1} \right) \tag{17}$$

در رابطه ۱۳،  $\rho_k$  چگالی جرم لایه k ام پوسته بر واحد سطح میانی، و N تعداد لایهها میباشد. معادلات حرکت را میتوان بر حسب عبارتهایی از جابجایی برای هر کدام از دو پوسته به صورت روابط ۱۴ تا ۱۹ نوشت [۲].

برای پوسته داخلی:

(۲۱)

www.SID.ir

چون موجهای پیشرونده در واسطه آکوستیک و داخل پوسته بهوسیله موج برخوردی پیشرونده بوجود میآید، عدد موج (یا سرعتهای) آن در جهت Z باید در سرتاسر سامانه مطابقت داشته باشد. بنابراین  $k_{1z} = k_{2z} = k_{3z}$ . عددهای موج در محیط خارجی، میانی و داخلی با توجه به روابط ۲۲ و ۲۴ میتواند به صورت رابطه ۲۵ نوشته شود:

$$k_{1} = \frac{\omega}{c_{1}} \left( \frac{1}{1 + M_{1} \cos \gamma} \right)$$

$$k_{1r} = k_{1} \sin \gamma \quad , \ k_{1z} = k_{1} \cos \gamma \text{ (Y \Delta)}$$

$$k_{3} = \frac{\omega}{c_{3}} \quad , \ k_{2} = \frac{\omega}{c_{2}}$$

$$k_{3r} = \sqrt{k_{3}^{2} - k_{1z}^{2}} \quad , \ k_{2r} = \sqrt{k_{2}^{2} - k_{1z}^{2}}$$

 $\kappa_{3r} - \sqrt{r_{3}}$  ...  $R_{3r} - \sqrt{r_{3}}$  ...  $P_{2}^{R} = P_{2}^{R} P_{2}^{R} P_{1}^{R}$  میتوانند به صورت روابط ۲۶ تا ختصات استوانهای ۲۹ نوشته شوند: ان داد [۱۵[و۱۰]:

$$P_{1}^{R}(r, z, \theta, t) = \sum_{n=0}^{\infty} \begin{pmatrix} p_{1n}^{R} H_{n}^{2}(k_{1r}r) \cos(n\theta) \\ \times \exp(j(\omega t - k_{1z}z)) \end{pmatrix}$$
(79)  
$$P_{2}^{T}(r, z, \theta, t) = \sum_{n=0}^{\infty} \begin{pmatrix} p_{1n}^{T} H_{n}^{1}(k_{2r}r) \cos(n\theta) \\ \times \exp(j(\omega t - k_{1z}z)) \end{pmatrix}$$
(79)

$$P_2^{R}(r, z, \theta, t) = \sum_{n=0}^{\infty} \begin{pmatrix} p_{2n}^{R} H_n^{2}(k_{2r}r)\cos(n\theta) \\ \times \exp(j(\omega t - k_{1z}z)) \end{pmatrix}$$
(YA)

$$P_3^T = (r, z, \theta, t) = \sum_{n=0}^{\infty} \begin{pmatrix} p_{3n}^T H_n^1(k_{3n}r)\cos(n\theta) \\ \times \exp(j(\omega t - k_{1z}z)) \end{pmatrix}$$
(Y9)

که در روابط ۲۶ تا ۲۹،  $H_n^1$  و  $H_n^2$  به ترتیب توابع هنکل نوع اول و دوم از مرتبه صحیح n می باشد. سه مولفه جابجایی پوسته داخلی و سه مولفه پوسته خارجی به صورت روابط ۳۰ تا ۳۲ نوشته می شود:

$$u_{i}(z,\theta,t) = \sum_{n=0}^{\infty} u_{in} \cos(n\theta) \exp(j(\omega t - k_{1z}z)) (\forall \cdot)$$
$$v_{i}(z,\theta,t) = \sum_{n=0}^{\infty} v_{in} \sin(n\theta) \exp(j(\omega t - k_{1z}z)) (\forall \cdot)$$
$$w_{i}(z,\theta,t) = \sum_{n=0}^{\infty} w_{in} \cos(n\theta) \exp(j(\omega t - k_{1z}z)) (\forall \cdot)$$

$$\begin{cases} L_{ij} = L_{ij} \\ \overline{A}_{12} = A_{12} + \frac{B_{12}}{R} + A_{66} + \frac{D_{66}}{R} \\ \overline{A}_{ij} = A_{ij} + \frac{B_{ij}}{R}, (ij = 16, 22, 26, 66) \\ B_{17} = B_{12} + 2B_{66} \\ D_{17} = D_{12} + 2D_{66} \\ \overline{B}_{ij} = B_{ij} + \frac{D_{ij}}{R}, (ij = 16, 17, 22, 26, 66) \\ A'_{ij} = \overline{A}_{ij} + \frac{\overline{B}_{ij}}{R}, (ij = 22, 26, 66) \\ (A^*_{ij}, B^*_{ij}) = \left(\frac{A_{ij}}{R}, \frac{B_{ij}}{R}\right); (\overline{A}^*_{ij}, \overline{B}^*_{ij}) = \left(\frac{\overline{A}_{ij}}{R}, \frac{\overline{B}_{ij}}{R}\right)$$

حل معادلات

$$P^{I}(r, z, \theta, t) = p_{0} \sum_{n=0}^{\infty} \begin{pmatrix} \varepsilon_{n}(-j)^{n} J_{n}(k_{1r}r) \times \cos(n\theta) \\ \times \exp[j(\omega t - k_{1z}z)] \end{pmatrix}$$
(YY)

که 
$$\mathcal{E}_n$$
 ضریب نیومن مطابق رابطه ۲۳ می  
باشد:  $\mathcal{E}_n$ 

$$\varepsilon_n = \begin{cases} 1, n = 0 \\ 2, n \ge 1 \end{cases}$$

$$k_{1x} = k_1 \sin(\gamma) , k_{1z} = k_1 \cos(\gamma)$$
(YY)

 $J_n$  که در رابطه ۲۳، ۲۳ عدد موج در محیط خارجی و  $p_0$  ،n=۱ و ...و۳و اول مرتبه صحیح n و ...و۳و او او  $p_0$  ،n=۱ و موج بسامد زاویه ی دامنه موج برخوردی،  $j = \sqrt{-1}$  و  $\omega$  بسامد زاویه ی میاشد. این موج برخوردی در محیط بیرونی مطابق با معادله موج انتقال یافته شده (رابطه ۲۴) منتشر می شود:

$$\left(\frac{\partial}{\partial t} + V \frac{\partial}{\partial z}\right)^2 p = c_1^2 \left(\frac{\partial^2 p}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial z^2}\right) \tag{(Tf)}$$

$$\begin{pmatrix} \mathfrak{(YF)} \\ \left\{ A_{i11}k_{1z}^2 + 2A_{i13}k_{1z}\frac{n}{R_i} + A_{i33}\frac{n^2}{R_i^2} - \overline{M}_i\omega^2 \right\} U_1 \\ + \left\{ \overline{A}_{i13}k_{1z}^2 + \overline{A}_{i12}k_{1z}\frac{n}{R_i} + \overline{A}_{i23}\frac{n^2}{R_i^2} \right\} V_1 + \\ \left\{ A_{i12}^*k_{1z} + A_{i23}^*\frac{n}{R_i} + B_{i11}k_{1z}^3 + 3B_{i13}k_{1z}^2\frac{n}{R_i} \right\} W_1 = 0$$

$$\begin{cases} \overline{A}_{i13}k_{1z}^{2} + \overline{A}_{i12}k_{1z} \frac{n}{R_{i}} + \overline{A}_{i23} \frac{n^{2}}{R_{i}^{2}} \\ V_{1} + (\Upsilon V) \\ \begin{cases} A_{i33}^{\prime}k_{1z}^{2} + 2A_{i23}^{\prime}k_{1z} \frac{n}{R_{i}} + A_{i22}^{\prime} \frac{n^{2}}{R_{i}^{2}} - \overline{M}_{i}\omega^{2} \\ V_{1} + \\ \\ \overline{A}_{i23}^{\ast}k_{1z} + \overline{A}_{i22}^{\ast} \frac{n}{R_{i}} + \overline{B}_{i13}k_{1z}^{3} + \overline{B}_{i14}k_{1z}^{2} \frac{n}{R_{i}} \\ + 3\overline{B}_{i23}k_{1z} \frac{n^{2}}{R_{i}^{2}} + \overline{B}_{i22} \frac{n^{3}}{R_{i}^{3}} \\ \end{cases} \\ \begin{cases} -H^{1}(k_{2r}R_{i}) \\ P_{2}^{T} - \left\{ H^{2}(k_{2r}R_{i}) \right\} P_{2}^{R} + \left\{ H^{1}(k_{3r}R_{i}) \right\} P_{3}^{T} \\ \end{cases}$$

$$+ \begin{cases} A_{i12}^{*}k_{1z} + A_{i23}^{*}\frac{n}{R_{i}} + B_{i11}k_{1z}^{3} \\ + 3B_{i13}k_{1z}^{2}\frac{n}{R_{i}} + B_{i14}k_{1z}\frac{n^{2}}{R_{i}^{2}} + B_{i23}\frac{n^{3}}{R_{i}^{3}} \end{cases} U_{1} \\ + \begin{cases} \overline{A}_{i23}^{*}k_{1z} + \overline{A}_{i23}^{*}\frac{n}{R_{i}} + \overline{B}_{i13}k_{1z}^{3} + \overline{B}_{i14}k_{1z}^{2}\frac{n}{R_{i}} + \\ 3\overline{B}_{i23}k_{1z}\frac{n^{2}}{R_{i}^{2}} + \overline{B}_{i22}\frac{n^{3}}{R_{i}^{3}} \end{cases} V_{1} \\ + \begin{cases} 2B_{i12}^{*}k_{1z}^{2} + 4B_{i23}^{*}k_{1z}\frac{n}{R_{i}} + 2B_{i22}^{*}\frac{n^{2}}{R_{i}^{2}} \\ + D_{i11}k_{1z}^{4} + 4D_{i16}k_{1z}\frac{n}{R_{i}} + \frac{A_{i22}^{*}}{R_{i}} \\ + 2D_{i14}k_{1z}^{2}\frac{n^{2}}{R_{i}^{2}} + D_{i22}\frac{n^{4}}{R_{i}^{4}} \\ + 4D_{i23}k_{1z}\frac{n^{3}}{R_{i}^{3}} - \overline{M}_{i}\omega^{2} \end{cases} \end{cases} W_{1} = 0 \\ \begin{cases} H^{2}(k_{1r}R_{e})k_{1r} \\ H^{2}(k_{1r}R_{e})k_{1r} \\ H^{2}(k_{1r}R_{e})k_{1r} \\ P_{2}^{T} + \left\{ H^{2}(k_{2r}R_{e})k_{2r} \right\} P_{2}^{R} \end{cases}$$
(\*9) \\ = -P\_{0}\varepsilon\_{n}(-j)^{n}J\_{n}'(k\_{1r}R\_{e}) \times k\_{1r} \\ \begin{cases} H^{1}(k\_{2r}R\_{i})k\_{2r} \\ P\_{2}^{T} + \left\{ H^{2}(k\_{2r}R\_{i})k\_{2r} \right\} P\_{2}^{R} \end{cases} (\*1) \\ - \left\{ \rho\_{2}\omega^{2} \right\} W\_{2} = 0 \\ \begin{cases} H^{1}(k\_{2r}R\_{i})k\_{2r} \\ P\_{2}\omega^{2} \right\} W\_{1} = 0 \end{cases}

www.SID.ir

$$\left\{H^{1'}(k_{3r}R_{i})k_{3r}\right\}P_{3}^{T}-(\rho_{3}\omega^{2})W_{1}=0$$
(FY)

اندیس i برای پوسته داخلی و اندیس e برای پوسته خارجی میباشد. با حل این ده رابطه ده مجهول  $P_0$  . אין  $u_1, v_1, w_1, u_2, v_2, w_2$   $P_1^R, P_2^T, P_2^R, P_3^T$ به دست خواهد آمد.

# افت انتقال

افت انتقال به صورت نسبت شدت صوت برخورد کننده به پوسته بیرونی به شدت صوت وارد شده به پوسته داخلی بر واحد طول استوانه تعريف مي گردد (رابطه ۴۳) [18].

$$TL = 10\log_{10}\frac{W^{T}}{W^{T}} \tag{47}$$

در رابطه ۴۳،  $W^{T}$  شدت جریان منتقل شده و  $W^{T}$  شدت صوت برخوردی در واحد طول پوسته بوده و بهصورت رابطه ۴۴ و ۴۵ می باشد.

$$W^{I} = \frac{\cos(\gamma)P_{0}^{2}}{\rho_{1}c_{1}} \times 2R_{2}$$
 (ff)

$$W^{T} = \frac{1}{2} \operatorname{Re}\left\{\int_{0}^{2\pi} P_{3}^{T} \frac{\partial}{\partial t} \left(W_{1}\right)^{*} r d\varphi\right\} \qquad r = R_{1} \qquad (\$\Delta)$$

در رابطه ۴۵ نمایههای {.} Re و \* به ترتیب نشان-دهنده قسمت حقیقی و مزدوج مختلط متغیر میباشد. از جایگذاری روابط ۳۲ و ۲۹ برای  $W_1$  و  $W_1$  در معادله (۴۵)،  $W^T$  به صورت رابطه ۴۶ در می آید:  $W^T$ 

$$W^{T} = \frac{1}{2} \sum_{n=0}^{\infty} \begin{pmatrix} \operatorname{Re} \begin{cases} P_{3n}^{T} H_{n}^{1}(k_{3r}r) \\ \times (j\omega W_{1n})^{*} \end{cases} \\ \times \int_{0}^{2\pi} \cos[n\theta] r d\varphi \end{pmatrix} \quad r = R_{1}(\$)$$
$$= \sum_{n=0}^{\infty} \begin{pmatrix} \frac{\pi R_{1}}{\varepsilon_{n}} \times \operatorname{Re} \begin{cases} P_{3n}^{T} H_{n}^{1}(k_{3r}R_{1}) \\ \times (j\omega W_{1n})^{*} \end{cases} \end{pmatrix}$$

در نهایت، مقدار افت انتقال صوت در استوانه دو جداره مرکب شکل ۱ از قراردادن روابط ۴۴ و ۴۶ در رابطه ۴۳ بەدست مىآيد.

$$TL = -10 \log \sum_{n=0}^{\infty} \left( \frac{\operatorname{Re} \left\{ P_{3n}^{T} H_{n}^{1} \left( k_{3r} R_{1} \right) \right\} \times \rho_{1} c_{1} \pi}{\varepsilon_{n} \cos(\gamma) P_{0}^{2}} \right) \quad (\texttt{FY})$$

همگرایی

چنانچه در معادلات ۲۱، ۳۲ و ۲۶ مشاهده می شود، متغیرهای فشار و جابهجایی بهشکل سری بینهایت نشان داده شده است. بنابراین در تحلیل همگرایی، باید از تعداد مودهای کافی استفاده شود. وقتی که تعداد مودهای ناکافی در محاسبات استفاده می شود، نتایج به دست آمده برای TL بسیار زیاد برآورد می شود. TLهای بسیار بالایی برای یوستههای نسبتا نازک توسط تانگ و همکارانش [۱۷] به دلیل در نظر گرفتن تعداد مودهای ناکافی گزارش شده است. با بهدست آوردن همگرایی در یک بسامد مشخص، می توان فرض را بر آن داشت که در تمام بسامدهای پایین تر از آن همگرایی وجود دارد [۱۰]. روند همگرایی برای پوسته مرکب دو جداره، با توجه به دادههای جدول ۱ در شکلهای ۲ و ۳ در دو بسامد ۱KHz و ۱۰KHz برای زاویه برخورد ۴۵ درجه نشان داده شدهاند. مقایسه این دو نمودار نشان میدهد که با افزایش بسامد، تعداد مودهای لازم برای همگرایی نیز افزایش می یابد.

فضای پوسته فضاى پوسته داخلے داخلى خارجى بيرونى چگالی (kg/m<sup>3</sup>) ۱/۲۱ 2768 •/94 2768 1/.1 شعاع (m) 1/17 ۱/۸۲۸ \_ ضخامت (mm) · /۵ · /۵ ٠/۵ سرعت صوت ۳۷۳ 344 (m/s) 32 30 28 26 (80) 24 기나 22 20 sa<sub>sas</sub>sa Sasasas ...Sasas 18 16 14 10 20 30 Mode number شکل۲- نمودار همگرایی برای پوسته مرکب دوجداره در بسامد ۱KHz

جدول ۱- خواص محیطی و هندسی پوستهها

**اعتبارسنجی مدل تحلیلی ارائه شده** به منظور اعتبارسنجی مدل تحلیلی ارائه شده، حالت خاصی از پوسته استوانهای دو جداره مرکب که ضخامت فاصله بین دو پوسته در آن، نزدیک صفر (h<sub>g</sub> =1×10<sup>-4</sup> mm) میباشد، در نظر گرفته میشود.



بدین منظور نتایج بهدست آمده از این تحقیق با نتایج بهدست آمده توسط سایر محققین [۷،۱۲] مربوط به پوستههای مرکب مورد مقایسه قرار می گیرد که در شکل ۴ نشان داده شده است.

مقایسه نتایج به دست آمده از تحقیق حاضر با نتایج بهدست آمده از روش امپدانس مدال [۷] و روش تحلیلی ارائه شده در مرجع [۱۲] نشان میدهد که نتایج باهم همخوانی بسیار خوبی خصوصاً در ناحیه سختی کنترل (کمتر از بسامد حلقوی) دارند. در بسامدهای بالا (مخصوصاً بالاتر از بسامد همزمان) LTهای محاسبه شده در این مقاله تفاوت اندکی با پوسته استوانهای تکجداره مرکب دارد. این اختلاف در بسامدهای بالا، به دلیل تاثیر فاصله بین دو پوسته، در نتیجه کوتاه شدن طول موج و نیز به دلیل تشدید این فاصله حلقوی می باشد.



شکل ۴– مقایسه نتایج حاصل از روش ارائه شده با روشهای 'کوال' و 'دانشجو' برای پوسته مرکب یک جداره

#### تحليل نتايج عددى

تحلیل عددی افت انتقال TL برای پوستههای استوانهای دو جداره مرکب که مشخصات آن در جدول ۱ نشان داده شده است، در یک بازه بسامدی گسترده انجام می گیرد.

## اثر زاويه برخورد امواج

شكل ۵ تغييرات TL را در  $60°, 45°, 60° = \gamma$  نشان میدهد. بررسیها شكل نشان میدهد كه كاهش زاویه برخورد، باعث بالا رفتن TL استوانه در ناحیه سختی كنترل (پایین تر از بسامد حلقوی)، و ناحیه همزمانی (بالاتر از بسامد همزمان یا بحرانی) میشود، چون عدد موج شعاعی كاهش مییابد. به علاوه بسامد همزمان به بالا انتقال پیدا میكند.



اثر اندازه فاصله بین دو پوسته

شکل ۶، TTهای محاسبه شده در پوستههای مرکب دو جداره با اندازههای مختلف فاصله بین دو پوسته ۱، ۲، ۱، می می مایستر را باهم مقایسه می نماید. این نمودار نشان می دهد که اندازههای کوچک فاصله بین دو پوسته (به غیر از ۱۰mm) بر روی TT در محدوده بسامد کمتر از بسامد حلقوی تاثیر نمی گذارد. این امر بدین دلیل است که طول موجها بزرگتر از اندازه فاصله بین دو پوسته می باشند. به عبارت دیگر طول موجها نمی توانند فاصله بین دو پوسته را عبارت دیگر طول موجها نمی توانند فاصله بین دو پوسته را می کند. به عبارت دیگر، در محدوده بسامد بالاتر، بزرگتر شدن اندازه فاصله بین دو پوسته، مقدار TT را افزایش شدن اندازه فاصله بین دو پوسته، مقدار TT را افزایش

پوسته، بسامد هم<sub>ا</sub>زمان به طرف پایین انتقال پیدا می *ک*ند (یعنی محدوده جرم کنترل که در واقع ناحیه بین بسامد حلقوی و بسامد همزمان است کاهش پیدا می کند).



تاثير ارتفاع مختلف پروازي

در شکل ۷ اثر شرایط محیطی مختلف پروازی مطابق با جدول ۲ مورد بررسی قرار گرفته است. ارتفاع پروازی بالاتر بر روی چگالی و سرعت صوت سیال تاثیر میگذارد. بنابراین مقاومت آکوستیک سیال خارجی (۵٫۱۲) کاهش خواهد یافت. در نتیجه اختلاف بین مقاومتهای آکوستیکی سیالهای داخلی و خارجی پوسته باعث بیشتر شدن ناهمگونی امپدانس آکوستیکی میشود. چنانچه در شکل ۷ نشان داده شده است، افزایش ناهمگونی امپدانس آکوستیکی، باعث بالا رفتن TL در کل بازه بسامد میشود. ولی محل بسامد حلقوی و بسامد همزمان تغییر نمی کند.

| مختلف پروازی | جدول ۲- شرایط |
|--------------|---------------|
|              |               |

|                           | شرايط اول | شرايط دوم | شرايط سوم |
|---------------------------|-----------|-----------|-----------|
| ارتفاع(ft)                | 1         | ۲۵۰۰۰     | ۳۵۰۰۰     |
| چکالی(kg/m <sup>3</sup> ) | •/9•41    | •/۵۴۸٩    | ٠/٣٧٩۵    |
| سرعت<br>صوت(m/s)          | TTN/001   | ۳۰۹/۹۶۶   | 298/008   |



اثر سرعت هوای خارجی

جریان هوای خارجی میتواند بر روی عدد موج محوری و شعاعی تاثیر بگذارد. شکل ۸ تاثیر عددهای ماخ صفر، ۲، و ۲/۴ را بر روی TL نشان میدهد. با افزایش عدد ماخ، مقدار TL در ناحیه سختی کنترل (پایینتر از بسامد حلقوی) کاهش یافته، در حالیکه در بسامدهای بالاتر از بسامد حلقوی افزایش مییابد.



اثر جنس مواد كاميوزيت

شکل ۹ تاثیر جنس ماده مرکب پوسته استوانهای مورد نظر را بر روی مقادیر TL نشان میدهد. مشخصههای مواد انتخاب شده جهت مقایسه، در جدول ۳ نشان داده شده است.

| جدول۳- خواص مواد مرکب       |       |          |        |  |
|-----------------------------|-------|----------|--------|--|
|                             | Gr/Ep | Glass/Ep | Br/Ep  |  |
| Density(kg/m <sup>3</sup> ) | 18    | ۱۹۰۰     | 18     |  |
| E <sub>1</sub> (Gpa)        | ١٣٧٫٩ | ۳۵ ٫۷۷   | ۲۰۶,۸۴ |  |
| E <sub>2</sub> (Gpa)        | ۶۶, ۸ | ١٢ ,٩٢   | ۶۰ ٫۶۸ |  |
| Poisson ratio               | ۲ ,۱  | ۶۶, ۸    | ۶ ٫۸۹  |  |
| G <sub>12</sub> (Gpa)       | ۳, ۰  | ۰ ,۲۵    | ۳, ۰   |  |

نمودار شکل ۹ نشان میدهد که برای بالا رفتن TL در ناحیه سختی کنترل، مواد باید به درستی انتخاب شوند. بهترین نتایج برای پوسته برم / اپوکسی بهدست میآید، که مقدار قابل قبولی را برای TL در ناحیه سختی کنترل نشان



#### اثر تغيير ضخامت پوستهها

همانطور که در شکل ۱۰ مشاهده می شود، تغییر در ضخامت دو پوسته، تاثیر زیادی را بر روی مقادیر TL در سرتاسر محدوده بسامد می گذارد. در کل، مقدار افت انتقال، با افزایش ضخامت افزایش یافته و ناحیه جرم کنترل کاهش می افزایش ضخامت افزایش یافته و ناحیه جرم کنترل کاهش می می بد. در شرایط عملی، بهتر است پوسته ها تا حدی که ممکن باشد و محدودیت وزنی نداشته باشد ضخیم تر در ممکن باشد و محدودیت وزنی نداشته باشد ضخیم نظر گرفته شوند. تحلیل انجام شده در این مقاله، برای نظر گرفته شوند. تحلیل انجام شده در این مقاله، برای چنین شرایطی بسیار مفید می باشد. برای مثال اگر برای جلوگیری از ورود مقدار صوت مشخص، مقدار LT مشخص باشد، مقدار ضخامت قابل قبول برای پوسته را به راحتی



## اثر تغيير شعاع پوستهها

چنانچه در شکل ۱۱ نشان داده شده است، شعاعهای کوچکتر باعث افزایش TL می گردد که به دلیل اثر انحنای پوسته بر روی سختی آن میباشد. در ناحیه جرم کنترل، تمامی منحنیها نتایج یکسانی را نشان میدهند.



شکل ۱۱– تغییر مقادیر TL با توجه به ضخامت پوسته

اثر تغییر جنس سیال بین دو پوسته

برای تحلیل تاثیر خصوصیات سیال بین دو پوسته بر روی مقادیر TL (جدول ۴)، از سیالهای هوا و دی اکسید کربن استفاده شده است. چنانچه در شکل ۱۲ مشاهده میشود، در بسامدهای پایین هیچ تفاوتی در مقادیر TL وجود ندارد ولی در بسامدهای بالا، به دلیل بالا بودن ناهمگونی امپدانس، مقدار TL در استفاده از دی اکسید کربن، بالاتر از مقدار آن در مقایسه با هوا میباشد.



اثر چیدمان لایه ها اثر ترتیب لایه چینی در شکل ۱۳ نشان داده شده است. دو نمونه چیدمان لایه [°0, °00, °0, °00, °0] [ °00, °0, °0, °00] برای تعیین ترتیب لایه چینی [ مولا انتخاب می گردد. چون نمونه اولی دارای لایه با زاویه صفر بیشتری می باشد، باعث بالا رفتن استحکام محوری و سختی خمشی می شود، و مقدار TL آن در ناحیه سختی کنترل بیشتر می باشد.



**اثر میرایی سازهای** اثر ضرایب میرایی مختلف سازه بر روی تغییرات TL در شکل ۱۴ نشان داده شده است. میرایی سازه فقط در بسامدهای تشدید باعث افزایش افت انتقال صوت می گردد.



### نتيجهگيرى

در این مقاله، انتقال صوت از پوسته استوانهای دوجداره مرکب با طول بینهایت که این پوسته با یک سرعت یکنواخت در هوا حرکت میکند، مورد بررسی قرار گرفته

است. معادلات موج آکوستیک و معادلات پوسته برای محاسبه TL، به صورت همزمان حل می شوند. تاثیر پارامترهای مختلف بر روی TL مورد بررسی قرار گرفته است. از این بررسی های عددی می توان به نتایج زیر دست پیدا کرد:

- ۱- مقایسه مستقیم بین نتایج به دست آمده از این
   تحقیق با نتایج کوال (روش امپدانس) و دانشجو
   (روش تحلیلی) انجام شده است. مقایسه نتایج در
   شکل ۴ نشان داده شده است که همخوانی بسیار
   خوبی را نشان میدهد.
- ۲- کاهش زاویه برخورد باعث افزایش TL استوانه در ناحیه سختی کنترل و ناحیه همزمانی میشود.
- ۳- در ارتفاع بالا در کل ناحیه بسامد TL افزایش
   می یابد.
- ۴- در تمام محدوده بسامد در نظر گرفته شده،
   افزایش اندازه فاصله بین دو پوسته باعث افزایش
   TL می شود.
- ۵- افزایش عدد ماخ مقدار TL را در ناحیه سختی کنترل پایین میآورد، در حالیکه در بسامدهای بالاتر از بسامد حلقوی، افزایش میدهد.
  ۶- میرایی سازه به جز در بسامدهای تشدید، در سایر نقاط بر روی TL بی تاثیر میباشد.
  ۷- با کاهش شعاع پوسته، افت انتقال صوت (TL) در ناحیه سختی کنترل افزایش مییابد.
  ۸- در لایه چینی لایههای کامپوزیت بهتر است تعداد لایههای بیشتری در راستای طولی قرار بگیرند.

پی نوشت

- ۱- Transmission Loss(TL)
- ۲- Mufflers
- ۳-Smith
- ۴- White
- ۵-Ring Frequency
- ۶-Coincidence Frequency
- ۲- Koval
- ∧-Blaise
- ۹- Roussos
- ۱۰-Tang

shells and plates. Elsevier Academic", Amsterdam, 2004.

- [14] Reddy, J.N., "Mechanics of laminated composite plates and shells: theory and Analysis", 2<sup>nd</sup> end. CRC press, Boca Raton, 2004.
- [15] Mclachlan, N.W., "Bessel functions for engineers", 2<sup>nd</sup> edn. Oxford university press, oxford, 1955.
- [16] Pierce, A.D., "Acoustics", New York, McGraw-Hill, 1981.
- [17] Tang, Y.Y., Silcox, R.J., Robinson, J.H., "sound transmission through two concentric cylindrical sandwich sells", proceedings of the 14<sup>th</sup> international modal Analysis conference Japan, 1996, pp. 1488-1492.

11- Lee and Kim

۱۲-Kirchhoff

مراجع

- [1] Smith, P.W., "Sound transmission through thin cylindrical shells", J. Acoustic Soc. Am. 29, 1957, pp. 721-729.
- [2] White, P., "Sound transmission through a finite, closed, cylindrical shell", J. Acoust. Soc. 40, 1966.
- [3] Koval, L.R., "On sound transmission into an orthotropic shell", J. sound Vib., 1979, pp. 51-59.
- [4] Koval, L.R., "On sound transmission into a thin cylindrical shell under flight conditions", J. sound Vib., 1976, pp. 265-275.
- [5] Blaise, A., Lesueur, C., "Acoustic transmission through a 2-D orthotropic multi-layers infinite shell", J . sound Vib., 1992.
- [6] Blaise, A., Lesueur, C., Gottelande, M., Barbe, M. "On sound transmission into an orthotropic infinite shell comparison with Koval result and understanding the phenomena", J. sound Vib. 150.
- [7] Koval, L.R., "On sound transmission into a laminated composite cylindrical shell", J. sound Vib., 1980, pp. 523-530.
- [8] Roussos, L.A., Owell, C.R., Grosveld, F.W., Koval, L.R., "Noise transmission characteristics of advanced composite structure materials", J. Aircraft, 1984, pp. 528-535.
- [9] Tang, Y.Y., Robison, J.H., Silcox, R.J., "Sound transmission through a cylindrical sandwich shell with honeycomb core", In 34<sup>th</sup> AIAA Aerospace Science Meeting and Exhibit, 1996.
- [10] Lee, J.H., Kim, J., "Study on sound transmission characteristics of a cylindrical shell using analytical and experimental models", Appl. Acoust 64, 2003, pp. 611-632.
- [11] K., Daneshjou, A., Nouri, R., Talebitooti, "Analytical model of sound transmission through orthotropic double-walled cylindrical shells", Trans. CSME. 32(1), 2008, pp. 43-66.
- [12] K., Daneshjou, A., Nouri, R., Talebitooti, "Sound transmission through laminated composite cylindrical shells using analytical model", Arch Appl Mech.77, 2007, pp. 363-379.
- [13] Qatu, M.S., "Vibration of laminated