# الگوی تحلیلی انتقال صدا از پوسته های استوانه ای اِفجیاِم با طول بینهایت

**علی نوری\*، محمد کاظمی نصر آبادی، سهراب آسترکی** دانشکده مهندسی هوافضا، دانشگاه علوم و فنون هوایی شهید ستاری

## چکیدہ

مواد اف جی ام دسته ای از مواد مرکب (کامپوزیتها) هستند که خواص آن به صورت پیوسته در راستای ضخامت تغییر می مایند. بنابراین نسبت به مواد مرکب (کامپوزیتها)، تمرکز تنش بین لایه از بین رفته و قابلیت تحمل تغییرات شدید دمایی را دارند. این مواد در فضاپیماها، تراگذارهای (مبدلهای) حرارتی، صنایع نیروگاهی و اجزاء موتور کاربردهای زیادی دارند. در مقاله حاضر افت (هارمونیک) واقع شده، مورد تحلیل و بررسی قرار می گیرد؛ بدین منظور یک روش تحلیلی با استفاده از سریهای بی بهایت دقیق ارائه شده است. پوسته استوانهای ساخته شده از مواد اف جی ام نازک با طول بی نهایت که در معرض امواج صفحه ای هماهنگ (مارمونیک) واقع شده، مورد تحلیل و بررسی قرار می گیرد؛ بدین منظور یک روش تحلیلی با استفاده از سریهای بی نهایت دقیق ارائه شده است. پوسته در داخل محیط سیال غوطهور بوده و سیال خارجی با سرعت ثابت از روی آن عبور می کند. معادلات ارتعاشی پوسته در سه راستا و معادلات موج صوتی سیال داخل و خارج پوسته به صورت همزمان حل گشته و میزان افتهای محققین مورد مقایسه قرار گرفته است. مقایسه نتایج نشان می دهد که با یکدیگر هم خوانی بسیار خوبی دارند. چـون متغیره ای مانند جابه جایی پوسته و فشارهای صوتی به صورت سری های به بی می خوان می سیار خوبی دارند. چـون متغیرهایی انتقال صدا، هم گرایی سری ها هم مورد بررسی قرار گرفته است. هم چنین اثرات خواص سازه ای و شرای به دست آمده توسط سایر انتقال صدا، هم گرایی سریها هم مورد بررسی قرار گرفته است. هم چنین اثرات خواص سازه ی و شرایط پروازی نظیر عـدد مای انتقال صدا، هم گرایی سری ها موازی به صورت سری های بی می می بدان به می گردند، به منظور به دست آوردن میزان افت های انتقال صدا، هم گرایی سری ها هم مورد بررسی قرار گرفته است. هم چنین اثرات خواص سازه و شرایط پروازی نظیر عـدد مای انتقال صدا، هم گرایی سری ها هم مورد براسی قرار گرفته است. هم چنین اثرات خواص سازه و شرایط پروازی نظیر عـدد مای افزایش نسبت حجمی مواد آف جی آم و از تام هو نوازی بر افت انتقال صدا مورد بررسی قرار گرفته دند. نتایج نشان می ده در خان افزایش نسبت محمی مواد آف جی آم و از می هایت بی کنترل کاهش می یابد اما در بسامدهای بالاتر از بسامد حلقوی (ناحیه جرم

كليد واژهها: صوت، افت انتقال، پوسته استوانهاى افجى إم، ارتعاش

#### ۱. مقدمه

پیشرفتهای اخیر در زمینه مهندسی و مواد به همراه نیازمندی به ساخت سازههای با کیفیت به کلاس جدیدی از مواد به نام اف جی ام<sup>۱</sup> منتهی شد. این مواد به عنوان عایق حرارتی که قابلیت تحمل تغییرات شدید دمایی دارد، در فضاپیماها، توربوماشینها، صنایع نیروگاهی و شیمیایی کاربردهای زیادی دارند [1]. این مفهوم برای اولین بار در سال ۱۹۸۴ به نوع مواد از ترکیب مواد مختلف و با روش متالورژی پودر ساخته می شوند. مواد اف جی ام را می توان به صورت پیوسته با تغییر نسبت حجمی آنها ساخت. به دلیل تغییرات پیوسته در خواص این مواد در مقایسه

با مواد مرکب (کامپوزیتهای)<sup>۲</sup> تکینگی، تنش و ورقهای شدن لایه در این گونه مواد از بین میرود [۲]. بررسی رفتار ناشی از امواج صوتی این سازهها و تخمین میزان نوفه (نویز)<sup>۳</sup> وارد شده به آنها بهدلیل کاربرد آنها در صنایع فضایی و دیگر صنایع بسیار پر اهمیت است. اسمیت اولین کسی بود که در سال برداخت [۳]. وایت الگویی را برای محاسبه افت انتقال پرداخت [۳]. وایت الگویی را برای محاسبه افت انتقال محدود ارائه نمود [۴]. کوال از روش مقاومت ظاهری (امپدانس)<sup>۵</sup> مشخصه یک الگوی ریاضی برای محاسبه افت انتقال صدا پوسته استوانهای جدار نازک با طول بینهایت ارائه نمود [۵]. کیم و همکارانش یک الگوی

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Composite

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> Noise <sup>4</sup> Tl; Transmission loss

<sup>&</sup>lt;sup>5</sup> Impedance

<sup>&</sup>lt;sup>\*</sup> نویسنده پاسخگو: ali\_nori@iust.ac.ir <sup>1</sup> FGM: Functionally Gradient Materials

استوانهای اِفجیاِم با طول نامحدود برخورد میکند. چگالی و سرعت امواج صوتی در سیال خارج و داخل محفظه به ترتیب (, (, م) و (, , حر) میباشند و پوسته با سرعت ثابت V در راستای محور z حرکت میکند.



شکل ۱ پوسته استوانهای و امواج صوتی.

مواد اِفجیاِم از ترکیب دو یا چند ماده بدست میآیند. *V<sub>fi</sub> نسبت حجمی مو*اد تشکیل دهنده بوده که در راستای ضخامت Z به صورت پیوسته تغییر میکند و از رابطه زیر بدست میآید:

$$V_f = \left(\frac{\tau z + h}{h}\right)^N, \ \sum_{j=1}^k V_{f_i} = 1$$
(1)

که k نشاندهنده تعداد مواد تشکیلدهنده ماده اِفجیاِم و N توان نسبت حجمی میباشد. ضریب کشسانی (الاسیسیته)، چگالی و ضریب پواسون یک ماده اِفجیاِم ساخته شده از دو ماده مختلف بـه صورت زیر بیان میشوند.

$$E = \left(E_{\gamma} - E_{\gamma}\right) \left(\frac{\gamma z + h}{h}\right)^{N} + E_{\gamma}$$

$$\rho = \left(\rho_{\gamma} - \rho_{\gamma}\right) \left(\frac{\gamma z + h}{h}\right)^{N} + \rho_{\gamma}$$

$$\nu = \left(\nu_{\gamma} - \nu_{\gamma}\right) \left(\frac{\gamma z + h}{h}\right)^{N} + \nu_{\gamma}$$
(Y)

قابل ذکر است که شاخصهای (اندیسهای) ۱ و ۲ بـه ترتیب مربوط به سطح خارجی و سطح داخلی پوسـته میباشند.

۲-۲. معادلات ارتعاشات ناشی از صدا

فشار صوتی در بیرون پوسته خارجی، برابر با مجموع فشار موج برخوردی  $p^I$  و موج بازتابیده از پوسته خارجی  $p^R_{\gamma}$  است و معادله موج صوتی به صورت زیر در میآید: تحلیلی برای محاسبه انتقال نوفه (نویز) به داخل یک پوسته استوانهای به طول بینهایت را با استفاده از حل همزمان معادلات ارتعاش پوسته و موج صوتی توسعه دادند [۶]. در اکثر کارهای انجامشده در بالا که جملههای فشار و جابهجایی پوسته به صورت سریهای بینهایت نشان دادهاند، هم گرایی سریها مورد بررسی قرار نگرفته است. دانشجو و همکارانش یک الگوی تحلیلی برای محاسبه افت انتقال صدا پوستههای استوانهای مواد مرکب ارائه نمودند. آنها ههمچنین افت انتقال صدا را برای پوستههای

ارتوتروپیک<sup>'</sup> دو جداره محاسبه نمودند [ $\Lambda \in V$ ]. در مقالیه حاضر افت انتقال صدا از یک پوسته استوانهای ساخته شده از مواد افجیام با طول بینهایت که در معرض امواج صفحهای هماهنگ (هارمونیک) واقع شده، مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته است؛ بدین منظور معادلات تحلیلی با حل همزمان معادلات یوسته افجےام در سه راستا براساس معادلات لاو أو جفت (كوپل) نمودن أن ها با معادلات صوتی بدست آمده و افت انتقال صدا بر حسب بسامد محاسبه گردیده است. چون جابهجایهای پوسته و فشارهای صوتی به صورت سریھای بینھایت بیان می گردند، بنابراین ھے گرایے سریها نیز در این مقاله مـد نظـر قـرار گرفتـه اسـت. بهمنظور اعتبارسنجى الكو، نتايج بدست آمده از اين مقاله با نتایج سایر محققین در حالت خاص مورد مقایسه قرار گرفتهاند. همچنین، اثرات خواص سازهای و شرایط پروازی نظیر عدد ماخ، توان نسبت حجمی مواد افجی ام، جنس، ضخامت و شعاع یوسته و زاویه برخورد بر افت انتقال صدا مورد بررسی قرار گرفتهاند. بعلاوه افت انتقال صدا پوسته إفجى إم با پوسته آلومینیومی و مواد مرکب مورد مقایسه قرار گرفتهاند.

**۲. مواد و روشها** ۲-۱. تشریح مسأله شکل ۱ طرحواره<sup>۳</sup> مسأله مورد بحث را نشان میدهـد که در آن یک موج صفحهای با زاویه γ به یـک پوسـته

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Orthotropic <sup>2</sup> Love

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> Schematic

$$\{ N_{x}, \quad N_{\theta}, \quad N_{x\theta} \} = \int_{-h/\tau}^{h/\tau} \{ \sigma_{x}, \quad \sigma_{\theta}, \quad \sigma_{x\theta} \} dz$$

$$\{ M_{x}, \quad M_{\theta}, \quad M_{x\theta} \} = \int_{-h/\tau}^{h/\tau} \{ \sigma_{x}, \quad \sigma_{\theta}, \quad \sigma_{x\theta} \} z dz$$

$$(A)$$

که B<sub>ij</sub>،A<sub>ij</sub> و D<sub>ij</sub> به ترتیب سفتی کششی جفتشده (کوپل شده) و خمشی بوده و به صورت زیـر بدسـت میآیند:

$$\{A_{ij}, B_{ij}, D_{ij}\} = \int_{-h/r}^{h/r} Q_{ij} \{v, z, z^r\} dz \quad (\mathbf{1} \bullet)$$

معـادلات ارتعاشـاتی پوسـته اسـتوانهای در مختصـات استوانهای به صورت زیر نوشته میشوند [۸ و ۹]:

$$\begin{cases} -\frac{N_{\theta}}{R} + \frac{\partial^{\mathsf{v}} N_{z}}{\partial z^{\mathsf{v}}} + \frac{\mathsf{v}}{R} \frac{\partial^{\mathsf{v}} M_{z\theta}}{\partial z \partial \theta} + \frac{\mathsf{v}}{R} \left[ \frac{\mathsf{v}}{R} \frac{\partial^{\mathsf{v}} M_{\theta}}{\partial \theta^{\mathsf{v}}} + \mathsf{v} \frac{\partial^{\mathsf{v}} M_{\theta}}{\partial z \partial \theta} \right] \\ + q_{r} = -\overline{M} \frac{\partial^{\mathsf{v}} w}{\partial t^{\mathsf{v}}} \\ \frac{\mathsf{v}}{R} \frac{\partial N_{\theta}}{\partial \theta} + \frac{\partial N_{z\theta}}{\partial z} + \frac{\mathsf{v}}{R} \left[ \frac{\mathsf{v}}{R} \frac{\partial M_{\theta}}{\partial \theta} + \frac{\partial M_{z\theta}}{\partial z} \right] + q_{\theta} \qquad (11) \\ = -\overline{M} \frac{\partial^{\mathsf{v}} v}{\partial t^{\mathsf{v}}} \\ \frac{\partial N_{z}}{\partial z} + \frac{\mathsf{v}}{R} \frac{\partial N_{z\theta}}{\partial \theta} + q_{z} = -\overline{M} \frac{\partial^{\mathsf{v}} u}{\partial t^{\mathsf{v}}} \end{cases}$$

در معادلات بالا  $q_x q_\theta e_q p_q$  و  $q_r q_r$  به ترتیب نیروهای خارجی (بر واحد سطح) در جهات محوری، محیطی و شعاعی، t نشاندهنده متغیر زمان، (u,v,w) جابهجایی پوسته به ترتیب در راستاهای محوری، محیطی و شعاعی و  $\overline{M}$ جرم پوسته بر واحد سطح هستند.

$$\bar{M} = \int_{-h/\tau}^{h/\tau} \rho dz \tag{11}$$

### ۲-۴. حل معادلات

موج صفحهای مایل هماهنگ (هارمونیک) با فشار صوتی از موتی از محیط خارج به پوسته استوانهای

$$\frac{\partial \left(p^{I} + p_{\gamma}^{R}\right)}{\partial r} = -r_{\gamma} \frac{\partial^{\gamma} w}{\partial t^{\gamma}} \qquad (r = R_{\gamma}) \quad (\mathbf{\tilde{r}})$$

که w جابه جایی پوسته خارجی در راستای شعاعی میباشد. فرض می شود که فضای داخل پوسته کاملاً جاذب است بنابراین در فضای داخلی فقط فشار صوتی موج منتقل شده  $p_r^T$  وجود دارد. معادله موج صوتی به صورت زیر درمی آید:

$$\frac{\partial p_{\tau}^{T}}{\partial r} = -r_{\tau} \frac{\partial^{\tau} w}{\partial t^{\tau}} \qquad (r=R_{\tau})$$
 (\*)

۲-۳. معادلات حاکم بر پوسته برای پوسته استوانهای، مطابق با فرضیه کیرشهف با صرف نظر کردن از تغییر شکل برشی *ε<sub>z</sub>*، رابطه تنش-کرنش به صورت زیر میباشد:

$$\begin{bmatrix} \sigma_{1} \\ \sigma_{r} \\ \sigma_{r} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Q_{11} & Q_{1r} & \cdot \\ Q_{r1} & Q_{rr} & \cdot \\ \cdot & \cdot & Q_{rr} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_{1} \\ \varepsilon_{r} \\ \varepsilon_{r} \\ \varepsilon_{1r} \end{bmatrix}$$
( $\boldsymbol{\Delta}$ )

سفتی<sup>۱</sup> ،*Q*ij را میتوان به صورت زیر بیان نمود:

$$Q_{11} = Q_{\gamma\gamma} = \frac{E}{1 - v^{\gamma}}$$

$$Q_{1\gamma} = \frac{vE}{1 - v^{\gamma}}$$

$$Q_{\rho\rho} = \frac{E}{\gamma(1 + v)}$$
(9)

که E مدول کشسانی (الاسیسیته) و v ضریب پواسون هستند. با استفاده از نظریهٔ (تئوری) لاو [۹] مؤلفههای بردار کرنش به صورت زیر بیان می شوند:

$$\begin{cases} \varepsilon_{x} \\ \varepsilon_{\theta} \\ \varepsilon_{x\theta} \end{cases} = \begin{cases} e_{y} + zk_{y} \\ e_{y} + zk_{y} \\ \gamma + yz\tau \end{cases}$$
 (Y)

که <sub>e</sub>, e<sub>1</sub> و γ کرنشهای صفحه میانی پوسته و <sub>k</sub>, k<sub>1</sub> و ۲ انحنا سطح هستند [۱۰].

برای یک پوستـه استـوانهای جـدار نـازک، نیـروها و گشتاورهای (ممانهـای) منتجـه بـا انتگـرالگیـری از تنشها روی کل ضخامت پوسته به دست میآیند.

<sup>1</sup> Stiffness

سه مؤلفه جابهجایی پوسته به صورت زیر نوشته  
میشوند:  

$$u(z, \theta, t) = \sum_{n=\cdot}^{\infty} u_n \cos(n\theta) \exp\left[j(\omega t - k_{1z}z)\right]$$
  
 $v(z, \theta, t) = \sum_{n=\cdot}^{\infty} v_{in} \sin(n\theta) \exp\left[j(\omega t - k_{1z}z)\right]$  (۱۷)  
 $u(z, \theta, t) = \sum_{n=\cdot}^{\infty} w_{in} \cos(n\theta) \exp\left[j(\omega t - k_{1z}z)\right]$   
 $u(z, \theta, t) = \sum_{n=\cdot}^{\infty} w_{in} \cos(n\theta) \exp\left[j(\omega t - k_{1z}z)\right]$   
 $u(z, \theta, t) = \sum_{n=\cdot}^{\infty} w_{in} \cos(n\theta) \exp\left[j(\omega t - k_{1z}z)\right]$   
 $u(z, \theta, t) = \sum_{n=\cdot}^{\infty} w_{in} \cos(n\theta) \exp\left[j(\omega t - k_{1z}z)\right]$   
 $du(z, \theta, t) = \sum_{n=\cdot}^{\infty} w_{in} \cos(n\theta) \exp\left[j(\omega t - k_{1z}z)\right]$   
 $du(z, \theta, t) = \sum_{n=\cdot}^{\infty} w_{in} \cos(n\theta) \exp\left[j(\omega t - k_{1z}z)\right]$   
 $du(z, \theta, t) = \sum_{n=\cdot}^{\infty} w_{in} \cos(n\theta) \exp\left[j(\omega t - k_{1z}z)\right]$   
 $du(z, \theta, t) = \sum_{n=\cdot}^{\infty} w_{in} \cos(n\theta) \exp\left[j(\omega t - k_{1z}z)\right]$   
 $du(z, \theta, t) = \sum_{n=\cdot}^{\infty} w_{in} \cos(n\theta) \exp\left[j(\omega t - k_{1z}z)\right]$   
 $du(z, \theta, t) = \sum_{n=\cdot}^{\infty} w_{in} \cos(n\theta) \exp\left[j(\omega t - k_{1z}z)\right]$   
 $du(z, \theta, t) = \sum_{n=\cdot}^{\infty} w_{in} \cos(n\theta) \exp\left[j(\omega t - k_{1z}z)\right]$   
 $du(z, \theta, t) = \sum_{n=\cdot}^{\infty} w_{in} \cos(n\theta) \exp\left[j(\omega t - k_{1z}z)\right]$   
 $du(z, \theta, t) = \sum_{n=\cdot}^{\infty} w_{in} \cos(n\theta) \exp\left[j(\omega t - k_{1z}z)\right]$   
 $du(z, \theta, t) = \sum_{n=\cdot}^{\infty} w_{in} \cos(n\theta) \exp\left[j(\omega t - k_{1z}z)\right]$   
 $du(z, \theta, t) = \sum_{n=\cdot}^{\infty} w_{in} \cos(n\theta) \exp\left[j(\omega t - k_{1z}z)\right]$   
 $du(z, \theta, t) = \sum_{n=\cdot}^{\infty} w_{in} \cos(n\theta) \exp\left[j(\omega t - k_{1z}z)\right]$   
 $du(z, \theta, t) = \sum_{n=\cdot}^{\infty} w_{in} \cos(n\theta) \exp\left[j(\omega t - k_{1z}z)\right]$   
 $du(z, \theta, t) = \sum_{n=\cdot}^{\infty} w_{in} \cos(n\theta) \exp\left[j(\omega t - k_{1z}z)\right]$   
 $du(z, \theta, t) = \sum_{n=\cdot}^{\infty} w_{in} \cos(n\theta) \exp\left[j(\omega t - k_{1z}z)\right]$   
 $du(z, \theta, t) = \sum_{n=\cdot}^{\infty} w_{in} \cos(n\theta) \exp\left[j(\omega t - k_{1z}z)\right]$   
 $du(z, \theta, t) = \sum_{n=\cdot}^{\infty} w_{in} \cos(n\theta) \exp\left[j(\omega t - k_{1z}z)\right]$   
 $du(z, \theta, t) = \sum_{n=\cdot}^{\infty} w_{in} \cos(n\theta) \exp\left[j(\omega t - k_{1z}z)\right]$   
 $du(z, \theta, t) = \sum_{n=\cdot}^{\infty} w_{in} \cos(n\theta) \exp\left[j(\omega t - k_{1z}z)\right]$   
 $du(z, \theta, t) = \sum_{n=\cdot}^{\infty} w_{in} \cos(n\theta) \exp\left[j(\omega t - k_{1z}z)\right]$   
 $du(z, \theta, t) = \sum_{n=\cdot}^{\infty} w_{in} \cos(n\theta) \exp\left[j(\omega t - k_{1z}z)\right]$   
 $du(z, \theta, t) = \sum_{n=\cdot}^{\infty} w_{in} \cos(n\theta) \exp\left[j(\omega t - k_{1z}z)\right]$   
 $du(z, \theta, t) = \sum_{n=\cdot}^{\infty} w_{in} \cos(n\theta) \exp\left[j(\omega t - k_{1z}z)\right]$   
 $du(z, \theta, t) = \sum_{n=\cdot}^{\infty} w_{in} \cos(n\theta) \exp\left[j(\omega t - k_{1z}z)\right]$   
 $du(z, \theta, t) = \sum_{n=\cdot}^{\infty} w_{in} \cos(n\theta) \exp\left[j(\omega t - k_{1z}z)\right]$   
 $du(z, \theta, t)$ 

۲–۵. افت انتقال

افت انتقال به صورت نسبت شدت صدای برخوردکننده به پوسته بیرونی به شدت صدای وارد شده به پوسته داخلی بر واحد طول استوانه تعریف می گردد [۳ و ۱۲].

$$TL = \gamma \cdot \log_{\gamma} \cdot \frac{W^T}{W^T}$$
(14)

که  $W^T$  شدت جریان منتقل شده و  $W^T$  شدت صوت برخوردی در واحد طول پوسته میباشند. افت انتقال صدای پوسته استوانهای دوجداره از رابطه زیر به دست میآید [۱۲]:

$$TL = -1 \cdot \log \sum_{n=.}^{\infty} \left( \frac{Re \left\{ p_{\tau,n}^{T} H_{n}^{\dagger} \left( k_{\tau,r} R_{1} \right) \right\} \times \rho_{1,c_{1},n}}{\times \left( j \omega W_{1,n} \right)^{*}} \right)}$$
(**Y** • )

که نمایههای {.}Re و \* به ترتیب نشاندهنده قسمت حقیقی و مزدوج مختلط متغیر میباشند.

$$p^{I}(r,z,\theta,t) = \tag{11}$$

$$P_{\cdot} \sum_{n=\cdot}^{\infty} \varepsilon_n (-j)^n J_n \left( k_{1r} r \right) cosn\theta exp \left[ j(\omega t - k_{1z} z) \right]$$

$$P_{\cdot} \sum_{n=\cdot}^{\infty} \varepsilon_n (-j)^n J_n \left( k_{1r} r \right) cosn\theta exp \left[ j(\omega t - k_{1z} z) \right]$$

$$P_{\cdot} \sum_{n=\cdot}^{\infty} \varepsilon_n (-j)^n J_n \left( k_{1r} r \right) cosn\theta exp \left[ j(\omega t - k_{1z} z) \right]$$

$$P_{\cdot} \sum_{n=\cdot}^{\infty} \varepsilon_n (-j)^n J_n \left( k_{1r} r \right) cosn\theta exp \left[ j(\omega t - k_{1z} z) \right]$$

$$P_{\cdot} \sum_{n=\cdot}^{\infty} \varepsilon_n (-j)^n J_n \left( k_{1r} r \right) cosn\theta exp \left[ j(\omega t - k_{1z} z) \right]$$

$$P_{\cdot} \sum_{n=\cdot}^{\infty} \varepsilon_n (-j)^n J_n \left( k_{1r} r \right) cosn\theta exp \left[ j(\omega t - k_{1z} z) \right]$$

$$P_{\cdot} \sum_{n=\cdot}^{\infty} \varepsilon_n (-j)^n J_n \left( k_{1r} r \right) cosn\theta exp \left[ j(\omega t - k_{1z} z) \right]$$

$$P_{\cdot} \sum_{n=\cdot}^{\infty} \varepsilon_n (-j)^n J_n \left( k_{1r} r \right) cosn\theta exp \left[ j(\omega t - k_{1z} z) \right]$$

$$P_{\cdot} \sum_{n=\cdot}^{\infty} \varepsilon_n (-j)^n J_n \left( k_{1r} r \right) cosn\theta exp \left[ j(\omega t - k_{1z} z) \right]$$

$$P_{\cdot} \sum_{n=\cdot}^{\infty} \varepsilon_n (-j)^n J_n \left( k_{1r} r \right) cosn\theta exp \left[ j(\omega t - k_{1z} z) \right]$$

$$P_{\cdot} \sum_{n=\cdot}^{\infty} \varepsilon_n (-j)^n J_n \left( k_{1r} r \right) cosn\theta exp \left[ j(\omega t - k_{1z} z) \right]$$

$$P_{\cdot} \sum_{n=\cdot}^{\infty} \varepsilon_n (-j)^n J_n \left( k_{1r} r \right) cosn\theta exp \left[ j(\omega t - k_{1z} z) \right]$$

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

$$M_{1} = \frac{V}{c_{1}}$$
(1f)

$$k_{1r} = k_1 \sin\gamma, k_{1z} = k_1 \cos\gamma$$
 که  $p_1$  ضریب نیومن،  $k_1$  عدد موج در محیط خارجی،  $\mathcal{E}_n$  خ  
  $\mathcal{E}_n$  تابع بسل نوع اول،  $P_1$  دامنه موج برخوردی و  $\mathcal{D}_n$  تابع بسل نوع اول، مواج صوتی منعکس شدہ از روی بسامد زاویه ای است. امواج صوتی منعکس شدہ از روی پوسته و منتقل شدہ به داخل آن  $p_1^R$  و  $p_7^R$ , به صورت زیر بیان می گردند:

$$p_{\lambda}^{R}(r,z,\theta,t) = p_{\lambda}^{R}(r,z,\theta,t) = \sum_{n=0}^{\infty} p_{\lambda n}^{R} H_{n}^{Y}(k_{\lambda r}r) cos[n\theta] exp\left[j\left(\omega t - k_{\lambda z}z\right)\right]$$

$$p_{\gamma}^{T}(r,z,\theta,t) = \qquad (1\Delta)$$

$$\sum_{n=0}^{\infty} p_{\gamma n}^{T} H_{n}^{\lambda}(k_{\gamma r}r) cos[n\theta] exp\left[j(\omega t - k_{\gamma z}z)\right]$$

$$p_{\gamma n}^{T}$$

$$p_{\gamma n$$

$$k_{r} = \frac{\omega}{c_{r}}$$

$$k_{rr} = \sqrt{k_{r}^{r} - k_{rz}^{r}}$$
(19)

خارج پوسته	داخل پوسته	پوسته		
هوا	هوا	نيكل	فولاد	مادہ
۱ ۲ ۱	1,71	٨٩٠٠	۸186	چگالی (kg/m <sup>r</sup> )
-	-	۲۰۵	۲۰۷	مدول كشساني (الاسيسيته) (GPa)
-	-	• ۳ ۱	۰,۳۱۷۷	ν
۳۴.	۳۴.	-	-	سرعت صدا (متر بر ثانیه)

جدول ۱ خواص محیطی و جنس پوسته.

## ۳. نتايج

۳-۱. نتایج عددی

برای بدست آوردن نتایج عددی یک پوسته افجی م با شعاع ۱٬۰ متر و ضخامت ۲ میلیمتر در نظر گرفته شده است. پوسته استوانهای اِفجی از جنس فولاد و نیکل است که نیکل سطح خارجی و فولاد سطح داخلے آن را تشکیل مےدھند. خواص محیطے و خواص مکانیکی یوسته در جدول ۱ آمدهاند.

#### ۳-۲. اعتبارسنجي الگوي تحليلي

به منظور اعتبار سنجى الكو، افت انتقال صدا به دست آمده در این مقاله در حالت همسانگرد (ایزوتروپیک) با نتایج بدست آمدہ توسط دیگر محققان [۶] مورد مقایسه قرار گرفته است. این مقایسه در شکل ۲ نشان داده شده است. بررسی نتایج بدست آمده نشان میدهد که این دو با یکدیگر همخوانی بسیار خوبی دارند.



شکل ۲ مقایسه نتایج بدست آمده با نتایج دیگر محققین.

<sup>1</sup> Isotropic

# ۳-۳. هم گرایی

چنانچه در معادلات ۱۱ و ۱۷–۱۳ مشاهده میشود، متغیرهای فشار و جابه جایی به شکل سری بینهایت نشان داده شدهاند. بنابراین، در تحلیل هم گرایی، باید از تعداد مُدهای کافی استفاده شود. الگوریتم هم گرایی در شکل ۴ نشان داده شده است. روند هم گرایی برای پوسته افجیام، با توجه به دادههای جدول ۱ در اشــکال ۴ و ۵ در بسـامدهای ۱ کیلـوهرتز و ۱۰ کیلوهرتز برای زاویه برخورد ۴۵ درجه نشان داده شده است. مقایسه اشکال ۴ و ۵ نشان میدهد که با افزایش بسامد تعداد مُدهای مورد نیاز جهت هم گرایی نیز بیشتر می شود.





**شکل ۴** نمودار هم گرایی برای پوسته اِفجیاِم در بسامد ۱۰۰۰ هرتز.

Downloaded from joasi.ir on 2025-05-24

۴–۴. تأثیر ارتفاع مختلف پروازی در شکل ۶ اثر شرایط محیطی مختلف پروازی مطابق با جـدول ۲ مـورد بررسـی قـرار گرفتـه اسـت. ارتفاع پروازی بالاتر بر روی چگالی و سـرعت صـدا در سـیال تأثیر میگذارد. بنابراین مقاومت صوتی سیال خـارجی مقاومتهای صوتی سیالهای داخلی و خارجی پوسـته مقاومتهای صوتی سیالهای داخلی و خارجی پوسـته (امپدانس) صوتی میشود. چنانچه در این شکل نشان داده شده است، افـزایش نـاهمگونی مقاومـتظـاهری (امپدانس) صوتی، باعث بالا رفتن افت انتقـال صـدا در کل بازه بسامد میشود. ولـی محـل بسـامد حلقـوی و بسامد همزمان تغییر نمیکند.



**شکل ۵** نمودار هم گرایی برای پوسته اِفجیاِم در بسامد ۱ کیلوهر تز.



جدول ۲ شرایط مختلف پروازی.

#### شرايط سوم شرايط دوم شرايط اول ۳۵۰۰۰ ۲۵۰۰۰ ۱۰۰۰۰ ار تفاع (ft) .,9.41 · / WY90 · , 3419 چگالی (kg/m<sup>r</sup>) سرعت صدا 8.9,988 598,008 371,001 (m/s)

### ۳-۵. اثر سرعت هوای خارجی

جریان هوای خارجی می تواند بر روی عدد موج محوری و شعاعی اثر بگذارد. شکل ۸ تأثیر عددهای ماخ ۰ و ۲٫۲ و ۲٫۴ را بر روی تی ال نشان میدهد. با افزایش عدد ماخ، مقدار افت انتقال صدا در ناحیه سفتی کنترل (پایین تر از بسامد حلقوی) مقداری کاهش یافته، در حالی که در بسامدهای بالا از بسامد حلقوی افزایش می یابد.





- [9] M.S. Qatu, "Vibration of Laminated Shells and Plates," Elsevier Academic Press, 2004.
- [10] J.N. Reddy, "Mechanics of Laminated Composite Plates and Shells, Theory and Analysis," CRC Press, second edition, 2004.
- [11] A.W. Leissa, "Vibration of Shells," Scientific and Technical Information Center NASA, Washington D. C., 1973.
- [12] M.S. Howe, "Acoustics of Fluid Structure Interaction," Cambridge University Press, 2000.

مقایسه نمودارها نشان میدهد که با افزایش نسبت حجمی، افت انتقال صدا در ناحیه سفتی کنترل کاهش مییابد، اما در بسامدهای بالاتر از بسامد حلقوی (ناحیه جرم کنترل)، افت انتقال صدا مربوط به نسبت حجمی بالاتر، بیشتر است.

# ۴. نتیجهگیری

- ۱. افت انتقال صدا به دست آمده از این تحقیق در حالت خاص با نتایج سایر محققان مقایسه شده که با هم همخوانی بسیار خوبی دارند.
- ۲. با افزایش بسامد، تعداد مُدهای لازم برای هم گرایی نیز افزایش مییابد.
- ۳. با افزایش عدد ماخ، مقدار افت انتقال در ناحیه سفتی کنترل (پایینتر از بسامد حلقوی) مقداری کاهش یافته، اما در بسامدهای بالاتر از بسامد حلقوی افزایش مییابد.
- ۴. با افزایش نسبت حجمی افجی ام، افت انتقال صدا در ناحیه سفتی کنترل بیشتر شده، اما در بسامدهای بالاتر از بسامد حلقوی باعث افزایش افت انتقال صدا می گردد.

#### ۵. فهرست منابع

- C.T. Loy, K.Y. Lam, J.N. Reddy, "Vibration of functionally graded cylindrical shells," International Journal of Mechanical Sciences, vol. 41, pp. 309-324, 1999.
- [2] B.P. Patel, S.S. Gupta, M.S. Loknath, C.P. Kadu, "Free vibration analysis of functionally graded elliptical cylindrical shells using higher-order theory," Composite Structures, vol. 69, pp. 259-270, 2005.
- [3] P.W. Smith, "Sound transmission through thin cylindrical shells," Journal of the Acoustical Society of America, vol. 29, pp. 721-729, 1957.
- [4] P. White, "Sound transmission through a finite, closed, cylindrical shell," Journal of the Acoustical Society of America, vol. 40, pp. 1124- 1130, 1966.
- [5] L.R. Koval, "Sound transmission into a laminated composite cylindrical shell," Journal of Sound and Vibration, vol. 71, pp. 523-530, 1980.
  [6] J.H. Lee, J. Kim, "Study on sound transmission
- [6] J.H. Lee, J. Kim, "Study on sound transmission characteristics of a cylindrical shell using analytical an experimental models," Applied Acoustics, vol. 64, pp. 611-632, 2003.
- [7] K. Daneshjou, A. Nouri, R. Talebitooti, "Sound transmission through laminated composite cylindrical shells using analytical model," Archive of Applied Mechanics, vol. 77, pp. 363-379, 2007.
- [8] K. Daneshjou, A. Nouri, R. Talebitooti, "Analytical model of sound transmission through orthotropic double-walled cylindrical shells," Transactions CSME Canadian Society for Mechanical Engineering, vol. 32, pp. 43-66, 2008.