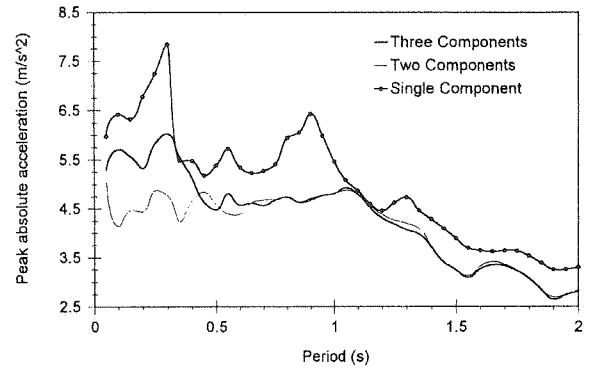
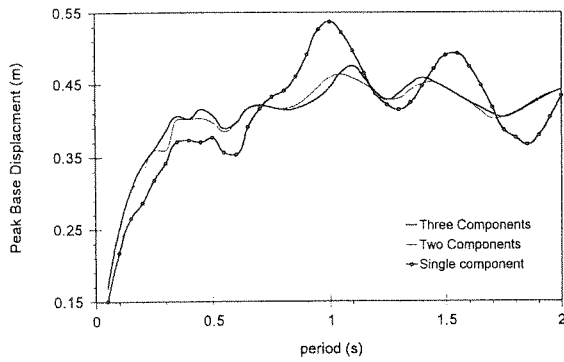


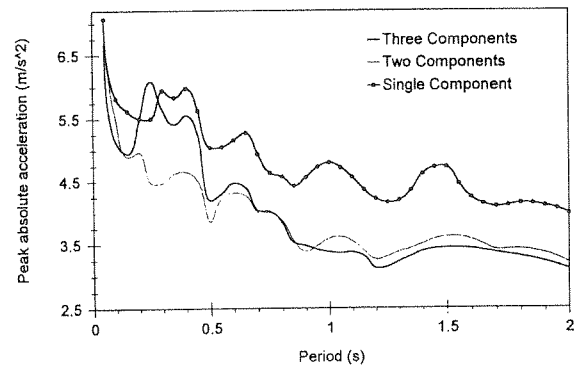
شکل (b-7) تغییرات تغییر مکان ماندگار پایه نسبت به پرورد سازه فوقانی برای مؤلفه های مختلف زلزله طیس.



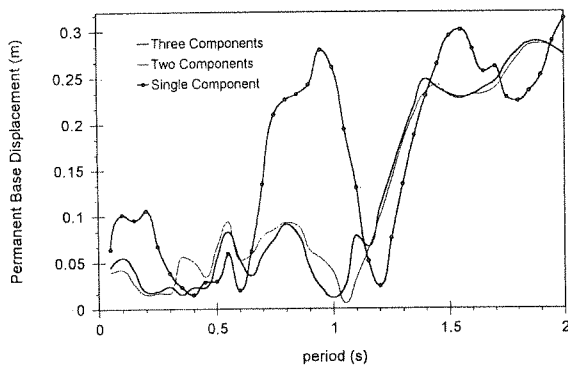
شکل (a-6) تغییرات بیشینه شتاب مطلق سازه فوقانی نسبت به پرورد برای مؤلفه های مختلف زلزله طیس.



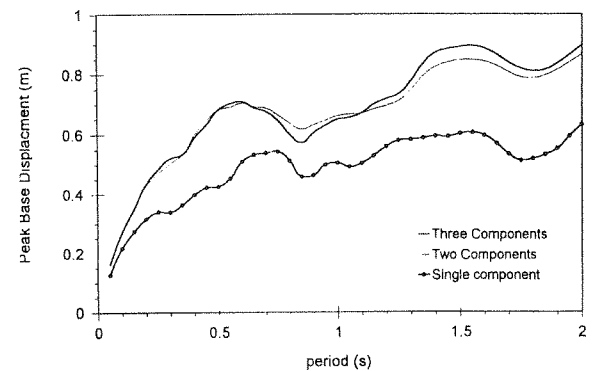
شکل (a-8) تغییرات بیشینه تغییر مکان پایه نسبت به پرورد سازه فوقانی برای مؤلفه های مختلف زلزله نورتریج.



شکل (b-6) تغییرات بیشینه شتاب مطلق سازه فوقانی نسبت به پرورد برای مؤلفه های مختلف زلزله نورتریج.



شکل (b-8) تغییرات تغییر مکان ماندگار پایه نسبت به پرورد سازه فوقانی برای مؤلفه های مختلف زلزله نورتریج.



شکل (a-7) تغییرات بیشینه تغییر مکان پایه نسبت به پرورد سازه فوقانی برای مؤلفه های مختلف زلزله طیس.

- [1] Mostaghel, N., Hejazi, M. and Tanbakuchi, J. Response of sliding structure to harmonic support motion. Earthquake Engng and Structural Dynamics. 1983, 11.355-366.
- [2] Mostaghel, N. and Tanbakuchi, J. Response of sliding structure to earthquake support motion. Earthquake Engng and Structural Dynamics. 1983, 11.729-748.
- [3] Westermo, B. and Udawadia, F. Periodic response of a sliding oscillator system to harmonic excitation. Earthquake Engng and Structural Dynamics. 1983, 11.135-146.
- [4] Younis, C.J. and Tadjbakhsh, I.G. Response of sliding structure to base excitation. Engng Mech. ASCE. 1984, 110.417-432.
- [5] Li, Z., Rossow, E.C. and Shah, S.P. Sinusoidal forced vibration of sliding masonry system. Structural Engng. ASCE. 1989, 115.1741-1755.
- [6] Liba, Masanori; et al., "Shaking table tests on 'performance of isolators for houses subjected to three dimensional earthquake motions'", 12th world conference of Earthquake Engineering [Proceedings], Newzealand society for Earthquake Engineering, Upper Hutt, New Zealand, Paper No. 1765(2000).
- [7] Jangid, R.S. Seismic response of sliding structures to bidirectional earthquake Excitation. Earthquake Engng. And Structural Dynamics. 1996, 25.1301-1306.
- [8] Jangid, R.S. Response of pure-friction sliding structures to bidirectional harmonic ground motion. Engng Struct. 1997, 19.97-104.
- [9] Yang, Y.B., Lee, T.Y. and Tsai, I.C. Response of multi - degree-of-freedom structures with sliding supports', Earthquake Engng, and Structural Dynamics. 1990, 19.739-752.
- [10] Lin, B.C. and Tadjbakhsh, I.C. Effect of vertical motion on friction driven systems. Earthquake Engng and Structural Dynamics. 1986, 14.609-622.
- [11] Liaw, T.C., Tian, Q.L. and Cheung, Y.K. Structures on sliding base subjected to horizontal and vertical motions. Structural Engng. ASCE. 1988, 114(9) 2119-2129.
- [12] Mostaghel, N. and Khodaverdian, M. Dynamics of resilient-friction base isolator (R-FBI). Earthquake Eng. Struct. Dyn. 15(3), 379-390 (1987).
- [13] Mokha, A., Constantinou M.C. and Reinhorn, A.M. Verification of friction model of teflon bearings under triaxial load. Structural. Div. ASCE. 1993, 199, 240-261.
- [14] Clough R.W. and Penzien, J. Dynamics of Structures, McGraw-Hill, New York, 1993.
- [15] Krieg, R.D. and Krieg, D.N. Accuracy of numerical solution methods for the elastic perfectly plastic model', Trans. ASME, Pressure Vessel Tech. 1977, 99. 510-515.
- [۱۶] فلاح ن. و. م. ا. سعادتیور، «تحلیل دینامیکی سازه های نامتقارن متکی بر تکیه گاه لغزشی به کمک روش سطح تسلیم»، هشتمین سمینار بین المللی پیش بینی زلزله؛ تهران؛ ایران؛ مهر ۱۳۷۲، صص ۲۹۷-۳۲۱.
- [۱۷] محمدی تهرانی، ف. م. تهرانی زاده و ا. حسنی؛ «مطالعه سیستم پی لغزشی برای ایزوله کردن پی ساختمانهای کوچک»؛ هشتمین سمینار بین المللی پیش بینی زلزله؛ تهران؛ ایران؛ مهر ۱۳۷۲، صص ۱۷۶-۱۹۱.
- [۱۸] شکیب ح. س. ع. مذهب؛ «پاسخ لرزه ای ساختمان های نامتقارن متکی بر تکیه گاههای لغزشی به حرکات تصادفی زمین»؛ فنی و مهندسی مدرس؛ فصلنامه علمی؛ دانشکده فنی و مهندسی - دانشگاه تربیت مدرس؛ شماره سوم؛ زمستان ۱۳۷۶.

# حل الاستیسیته سه بعدی پانل استوانه‌ای ارتوتروپ تحت بار دینامیکی

محمد رضا اسلامی  
استاد

محمود شاکری  
استاد

اکبر علی بیگلو  
دانشجوی دکتری

دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

## چکیده

حل الاستیسیته سه بعدی برای پانل ارتوتروپ با طول محدود، تکیه گاه ساده و تحت بار قائم عرضی دینامیکی ارائه می‌گردد. تغییر مکان‌ها در قالب توابع سری‌های مثلثاتی در راستاهای محیطی و محوری فرض می‌شود. این توابع شرایط مرزی تکیه گاه‌ها را برآورده می‌کند. با این فرض معادلات مسئله مرزی به معادلات دیفرانسیل معمولی با ضرایب متغیر تبدیل می‌شود. معادلات حاصل با استفاده از روش المان محدود گلرکین حل می‌شود. نتایج عددی برای پانل با چیدمان‌های (درجه ۰)، (درجه ۰/۹۰) و (درجه ۰/۹۰/۰) ارائه گردیده است. نهایتاً تغییر مکان شعاعی حاصل از این روش با مقدار حاصل از روش تئوری کلاسیک پوسته (CST) مقایسه گردیده است.

## کلمات کلیدی

الاستیسیته، پانل، ارتوتروپیک، دینامیک، مواد مرکب.

## Three-Dimensional Elasticity Solution of Orthotropic Cylindrical Panel Under Dynamic Load

M. Shakeri  
Professor

M. R. Eslami  
Professor

A. Alibiglu  
Ph.D Student

Department of Mechanical Engineering,  
Amirkabir University of Technology

## Abstract

*Three-Dimensional elasticity solutions are obtained for finite length, cross-ply cylindrical panels, simply supported at four edges and subjected to dynamic transverse loading. Displacements are assumed in the form of trigonometric function expansion in the circumferential and axial directions which satisfy the boundary conditions at each edges of panel. By these assumption the boundary value problem is reduced to a set of ordinary differential equations with variable coefficients. The resulting equations of motion are solved by using Galerkin finite element method. Numerical results are presented for [0 deg], [0/90 deg] and [0/90/0 deg] laminations. Finally radial displacement obtained by this method is compared with classic shell theory (CST) result.*

## Keywords

*Elasticity, Panel, Orthotropic, Dynamic, Composite*

## ۱- مقدمه

پانل های استوانه ای متشکل از مواد همگن پیشرفته و یا مواد مرکب چند لایه استفاده روز افزونی در مهندسی بخصوص در صنایع هوافضا، حمل و نقل، شیمیائی، راکتورها و غیره پیدا کرده است. در سال های اخیر روش های متعددی جهت مطالعه رفتار استاتیکی و دینامیکی این نوع از سازه ها ارائه شده است که اساس این ها بر پایه تئوری تقریب پوسته جدار نازک (فرضیه لاو - کیروشف). تئوری تغییر فرم برشی و یا تئوری الاستیسیته سه بعدی می باشد. بخاطر اثرات پیچیده نظیر تأثیر زیاد برش عرضی و تغییر فرم قائم عرضی، کولپینگ خمشی - کششی ناشی از انحناء پوسته، چند لایه بودن و غیره رفتار دینامیکی چنین سازه های پیشرفته ای خیلی پیچیده تر از سازه های ایزوتروپ می باشد. لذا برای پیشگویی دقیق رفتار دینامیکی نیاز به تحلیل براساس مدل سه بعدی بجای تئوری خمشی می باشد. بخاطر پیچیدگی ریاضی حل معادلات دیفرانسیل حرکت حاکم بر این سازه ها در حالت سه بعدی بخصوص با شرایط مرزی و بارگذاری عمومی حل های کمی در این مورد درمقالات وجود دارد.

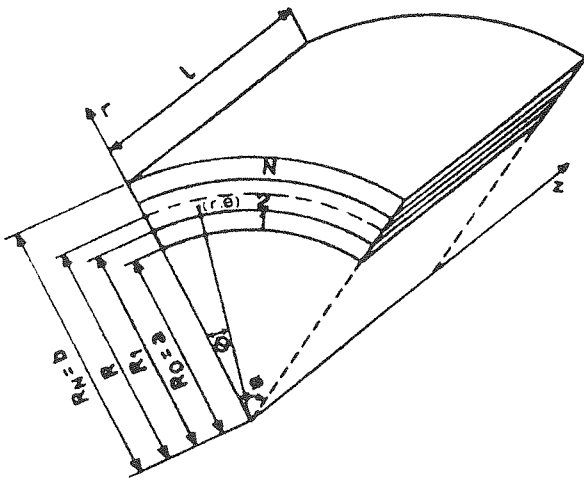
حل استاتیکی دقیق پانل استوانه ای با طول نامحدود و تکیه گاه ساده در سال ۱۹۸۷ توسط REN (۱) ارائه شد و سپس توسط همین محقق در سال ۱۹۸۹ رفتار استاتیکی پوسته ارتوتروپ با طول محدود بررسی گردید [2]. با استفاده از مدل الاستیسیته سه بعدی رفتار استاتیکی پانل استوانه ای کم عمق با طول محدود و تکیه گاه ساده در سال ۱۹۹۲ توسط Chandrashekhara [3] بررسی شد. پانل چند لایه غیر ایزوتروپ با طول محدود تحت بار استاتیکی با تکیه گاه ساده توسط Varadan در سال ۱۹۹۳ [4] ارائه گردید. حل تقریبی پوسته استوانه ای باز چند لایه با تکیه گاه ساده و تحت بار موضعی در سال ۱۹۹۳ توسط Kumar [5] بررسی شد. حل الاستیسیته پانل با طول نامحدود و غیر ایزوتروپ با تکیه گاه ساده در سال ۱۹۹۵ توسط Hung [6] ارائه گردید. حل الاستیسیته پانل با طول نامحدود از جنس ایزوتروپ عرضی (۵ ثابت الاستیک) تحت بار استاتیکی موضعی و تکیه گاه ساده در سال ۱۹۹۶ توسط Chandrashekhara و همکاران [7] ارائه گردید.

مروری بر مقالات انتشار یافته نشان داد که تحلیل دینامیکی پانل ارتوتروپ چند لایه با طول محدود و تکیه گاه ساده هنوز بررسی نشده است. اخیراً مؤلفین پاسخ دینامیکی پانل با طول محدود و غیر ایزوتروپ با تکیه گاه ساده را با استفاده از مدل الاستیسیته سه بعدی بررسی کرده اند [8,9].

## ۲- تشریح مسئله

پانل استوانه ای چند لایه متشکل از N لایه یکسان (شکل ۱) را با تکیه گاه ساده در نظر بگیرید. لایه ها طوری چیده شده اند که پوسته در حالت کلی ارتوتروپ می باشد. محورهای تقارن سازه موازی راستاهای r، θ و z بوده و معادلات تشکیل دهنده هر لایه بصورت زیر خواهد بود.

$$\begin{bmatrix} \sigma_z \\ \sigma_\theta \\ \sigma_r \\ \tau_{r\theta} \\ \tau_{rz} \\ \tau_{z\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} & 0 & 0 & 0 \\ C_{12} & C_{22} & C_{23} & 0 & 0 & 0 \\ C_{13} & C_{23} & C_{33} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & C_{44} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & C_{55} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & C_{66} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \epsilon_z \\ \epsilon_\theta \\ \epsilon_r \\ \gamma_{r\theta} \\ \gamma_{rz} \\ \gamma_{z\theta} \end{bmatrix} \quad (1)$$



شکل (۱) هندسه و سیستم مختصات پانل چند لایه.

معادلات حرکت سه بعدی حاکم بر مسئله مقدار مرزی نیز بصورت زیر می باشد:

$$\frac{\partial \sigma_r}{\partial z} + \frac{\partial \tau_{z\theta}}{r \partial \theta} + \frac{\partial \tau_{rz}}{\partial r} + \frac{\tau_{rz}}{r} = \rho \frac{\partial^2 U_z}{\partial t^2}$$

$$\frac{\partial \tau_{\theta z}}{\partial z} + \frac{\partial \sigma_\theta}{r \partial \theta} + \frac{\partial \tau_{r\theta}}{\partial r} + \frac{2\tau_{r\theta}}{r} = \rho \frac{\partial^2 U_\theta}{\partial t^2}$$

$$\frac{\partial \tau_{rz}}{\partial z} + \frac{1}{r} \frac{\partial \tau_{\theta r}}{\partial \theta} + \frac{\partial \sigma_r}{\partial r} + \frac{\sigma_r - \sigma_\theta}{r} = \rho \frac{\partial^2 U_r}{\partial t^2} \quad (2)$$

روابط کرنش - تغییر مکان در سیستم محورهای مختصات استوانه ای بگونه زیر است:

$$+ \frac{C_{55}^{(k)}}{r} \left( \frac{\partial U_z}{\partial r} + \frac{\partial U_r}{\partial z} \right) = \rho \frac{\partial^2 U_z}{\partial t^2} \quad (4)$$

شرایط مرزی پانل با تکیه گاه ساده عبارت است از:

$$U_r = \sigma_\theta = \tau_{\theta z} = 0 \quad \theta = 0, \phi \quad \text{در (5-a)}$$

$$U_r = \sigma_z = \tau_{z\theta} = 0 \quad z = 0, l \quad \text{در (5-a)}$$

شرایط پیوستگی بین لایه های پانل چند لایه متشکل از N لایه در K امین مرز مشترک بین لایه ها بگونه زیر است:

$$\sigma_r)_k = \sigma_r)_{k+1} \quad \tau_{r\theta})_k = \tau_{r\theta})_{k+1} \quad \tau_{rz})_k = \tau_{rz})_{k+1} \quad (6-a)$$

$$U_r)_k = U_r)_{k+1} \quad U_\theta)_k = U_\theta)_{k+1} \quad U_z)_k = U_z)_{k+1} \quad (6-b)$$

در پایان شرایط مرزی در سطوح داخلی و خارجی پانل عبارتند از:

$$\sigma_r = p(\theta, t), \tau_{rz} = \tau_{r\theta} = 0 \quad \text{در سطح خارجی (7-a)}$$

$$\sigma_r = \tau_z = \tau_{r\theta} = 0 \quad \text{در سطح داخلی (7-b)}$$

### ۳- حل معادلات حرکت

پاسخ زیر شرایط مرزی (5-a,b) را بر آورده می کند:

$$U_r = u_r(r, t) \sin \beta_m \theta, \sin p_n z$$

$$U_\theta = u_\theta(r, t) \cos \beta_m \theta, \sin p_n z$$

$$U_z = u_z(r, t) \sin \beta_m \theta, \cos p_n z \quad (8)$$

بطوریکه:

$$\beta_m = \frac{m\pi}{\theta_m}, \quad p_n = \frac{n\pi}{l}$$

بعد از جایگذاری معادله (8) در معادله (4)، معادلات دیفرانسیل پاره ای (P.D.E.) تبدیل به معادلات دیفرانسیل معمولی (O.D.E.) می شود. اعمال روش گلرکین به معادلات منجر به حصول معادلات دینامیکی برای هر المان (المان K ام) بصورت زیر خواهد شد:

$$[M]_k \{ \ddot{X} \}_k + [K]_k \{ X \}_k = \{ F(t) \}_k \quad (9)$$

$$\varepsilon_r = \frac{\partial U_r}{\partial r} \quad \varepsilon_\theta = \frac{U_r}{r} + \frac{\partial U_\theta}{r \partial \theta} \quad \varepsilon_z = \frac{\partial U_z}{\partial z}$$

$$\gamma_{rz} = \frac{\partial U_z}{\partial r} + \frac{\partial U_r}{\partial z} \quad \gamma_{r\theta} = \frac{-U_\theta}{r} + \frac{\partial U_\theta}{\partial r} + \frac{\partial U_r}{r \partial \theta}$$

$$\gamma_{z\theta} = \frac{\partial U_\theta}{\partial z} + \frac{\partial U_z}{r \partial \theta} \quad (3)$$

بعد از جایگذاری معادلات (1) و (3) در معادله (2)، معادلات حاکم بر هر لایه پانل در قالب تغییر مکان بصورت زیر در می آید:

$$C_{66}^{(k)} \left( \frac{\partial^2 U_\theta}{\partial z^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial^2 U_z}{\partial \theta \partial z} \right) + \frac{C_{12}^{(k)}}{r} \frac{\partial^2 U_z}{\partial z \partial \theta} + \frac{C_{22}^{(k)}}{r^2}$$

$$\left( \frac{\partial U_r}{\partial \theta} + \frac{\partial^2 U_\theta}{\partial \theta^2} \right) + \frac{C_{23}^{(k)}}{r} \frac{\partial^2 U_r}{\partial r \partial \theta} + C_{44}^{(k)}$$

$$\left( \frac{-\partial U_\theta}{r \partial r} + \frac{U_\theta}{r^2} + \frac{\partial^2 U_\theta}{\partial r^2} - \frac{\partial U_r}{r^2 \partial \theta} + \frac{1}{r} \frac{\partial^2 U_r}{\partial \theta \partial r} \right) + \frac{2C_{44}^{(k)}}{r}$$

$$\left( \frac{-U_\theta}{r} + \frac{\partial U_\theta}{\partial r} + \frac{\partial U_r}{r \partial \theta} \right) = \rho \frac{\partial^2 U_\theta}{\partial t^2}$$

$$(C_{55}^{(k)} + C_{13}^{(k)}) \frac{\partial^2 U_z}{\partial r \partial z} + \frac{C_{44}^{(k)}}{r} \left( \frac{\partial U_\theta}{r \partial \theta} + \frac{\partial^2 U_\theta}{\partial r \partial \theta} + \frac{\partial^2 U_r}{r \partial \theta^2} \right)$$

$$C_{23}^{(k)} \left( \frac{-U_r}{r^2} + \frac{\partial U_r}{r \partial r} - \frac{\partial U_\theta}{r^2 \partial \theta} + \frac{\partial^2 U_\theta}{r \partial \theta \partial r} \right) + C_{55}^{(k)} \frac{\partial^2 U_r}{\partial z^2} +$$

$$C_{33}^{(k)} \frac{\partial^2 U_r}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \left[ (C_{13}^{(k)} - C_{12}^{(k)}) \frac{\partial U_z}{\partial z} + (C_{23}^{(k)} - C_{22}^{(k)}) \right.$$

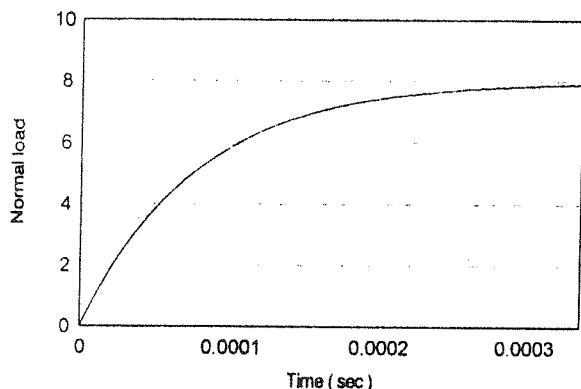
$$\left. \left( \frac{U_r}{r} + \frac{\partial U_\theta}{r \partial \theta} \right) + (C_{33}^{(k)} - C_{23}^{(k)}) \frac{\partial U_r}{\partial r} \right] = \rho \frac{\partial^2 U_r}{\partial t^2}$$

$$C_{11}^{(k)} \frac{\partial^2 U_z}{\partial z^2} + \frac{C_{12}^{(k)}}{r} \left( \frac{\partial U_r}{\partial z} + \frac{\partial^2 U_\theta}{\partial \theta \partial z} \right) + C_{13}^{(k)} \frac{\partial^2 U_r}{\partial r \partial z} + \frac{C_{66}^{(k)}}{r}$$

$$\left( \frac{\partial^2 U_z}{\partial r \partial \theta} + \frac{1}{r} \frac{\partial^2 U_z}{\partial \theta^2} \right) + C_{55}^{(k)} \left( \frac{\partial^2 U_z}{\partial r^2} + \frac{\partial^2 U_r}{\partial r \partial z} \right)$$

## ۴- نتایج عددی و بحث

مسئله فوق برای پانل دو لایه (0/90) و سه لایه (0/90/0) تحت بارگذاری شعاعی بصورت شکل (۱) و رابطه (14) زیر بررسی گردیده است:



شکل (۲) دامنه بارگذاری قائم.

$$p(\theta, t) = p_0(1 - e^{-13100t}) \sin \beta_m \theta \quad (14)$$

ضخامت لایه ها برابر بوده و جنس پوسته دارای خواص مکانیکی بصورت زیر می باشد:

$$E_1 = 85 \text{ Mpa} \quad E_2 = 2.125 \text{ Mpa}$$

$$G_{12} = 1.0625 \text{ Mpa} \quad G_{22} = 0.425 \text{ Mpa}$$

$$\nu_{12} = \nu_{22} = 0.25 \quad \rho = 1408 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

بطوریکه 1 موازی راستای الیاف و 2 عمود بر آن بوده و زاویه دهانه پانل برابر ۳ رادیان می باشد. نتایج عددی در قالب مقادیر تنش ها و تغییر مکان های ماکزیمم بی بعد زیر بیان می شود:

$$\bar{U}_r = \frac{100E_T U_r}{P_0 h s^4}, \quad (\bar{U}_x, \bar{U}_\theta) = \frac{100E_T}{P_0 h s^3} (U_x, U_\theta),$$

$$\bar{\sigma}_r = \frac{\sigma_r}{P_0}, \quad S = \frac{R_0}{h}$$

$$(\bar{\sigma}_\theta, \bar{\sigma}_x, \bar{\tau}_{x\theta}) = (\sigma_\theta, \sigma_x, \tau_{x\theta}) / P_0 S^2,$$

$$(\bar{\tau}_{r\theta}, \bar{\tau}_{rx}) = (\tau_{r\theta}, \tau_{rx}) / P_0 S$$

تغییرات تنش شعاعی ( $\sigma_r$ ) در زمان های ۰/۹، ۰/۶ و ۰/۰

با استفاده از معادلات (6-a) در قالب تغییر مکان و اعمال روش محدود پیشرو و پسرو برای ترم های مشتق در لایه K ام و (K+1) ام می توان تغییر مکان های مرز مشترک (KI) ام را بر حسب تغییر مکان های گره های مجاور نوشت:

$$U_{rk1}^k = U_{rk1+1}^{k+1} = A \cdot U_{rk1-1}^k + B \cdot U_{rk1+2}^{k+1} + C \cdot U_{\theta k1-1}^k +$$

$$D \cdot U_{\theta k1+2}^{k+1} + E \cdot U_{zk1-1}^k + F \cdot U_{zk1+2}^{k+1}$$

$$U_{\theta k1}^k = U_{\theta k1+1}^{k+1} = A' \cdot U_{rk1-1}^k + B' \cdot U_{rk1+2}^{k+1} + C' \cdot U_{\theta k1-1}^k +$$

$$D' \cdot U_{\theta k1+2}^{k+1} + E' \cdot U_{zk1-1}^k + F' \cdot U_{zk1+2}^{k+1}$$

$$U_{zk1}^k = U_{zk1+1}^{k+1} = A'' \cdot U_{rk1-1}^k + B'' \cdot U_{rk1+2}^{k+1} + C'' \cdot U_{\theta k1-1}^k +$$

$$+ D'' \cdot U_{\theta k1+2}^{k+1} + E'' \cdot U_{zk1-1}^k + F'' \cdot U_{zk1+2}^{k+1} \quad (10)$$

معادلات تعادل دینامیکی المان محدود برای دو المان مجاور در مرز مشترک بین دو لایه K ام و K+1 ام را می توان بصورت زیر نوشت:

$$[M]_k \{ \ddot{X} \}_k + [K]_k \{ X \}_k = \{ 0 \} \quad (11-a)$$

$$[M]_{k+1} \{ \ddot{X} \}_{k+1} + [K]_{k+1} \{ X \}_{k+1} = \{ 0 \} \quad (11-b)$$

با اعمال معادله (9) برای المان های اول و آخر، معادلات دینامیکی این المان ها بترتیب بصورت زیر خواهد بود:

$$[M]_1 \{ \ddot{X} \}_1 + [K]_1 \{ X \}_1 = \{ 0 \} \quad (12-a)$$

$$[M]_{MI} \{ \ddot{X} \}_{MI} + [K]_{MI} \{ X \}_{MI} = \{ P(+) \} \quad (12-b)$$

با برهم نهادن معادلات دینامیکی (9)، (11-a, b) و (12-a, b)، معادلات تعادل دینامیکی المان محدود عمومی بصورت زیر در می آید:

$$[M] \{ \ddot{X} \} + [K] \{ X \} = \{ F(t) \} \quad (13)$$

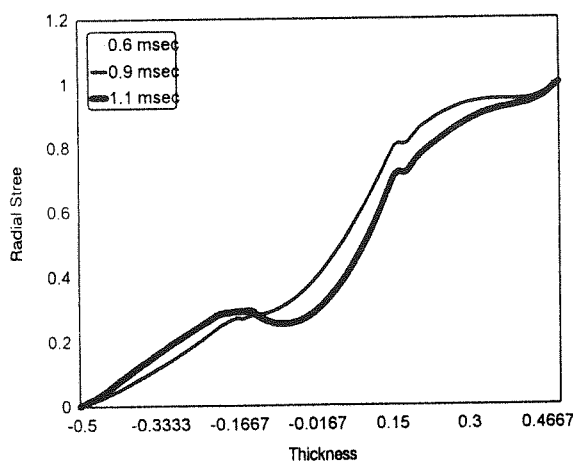
معادله عمومی حاصل توسط روش انتگرال گیری نیومارک با انتخاب مناسب بازه زمانی حل شده و سپس تنش ها و تغییر مکان ها در نقاط مختلف را می توان بدست آورد.

است. مطابق این اشکال شرایط مرزی برآورده شده و توزیع تنش برشی  $\tau_{r\theta}$  دارای شکل سهی می باشد.

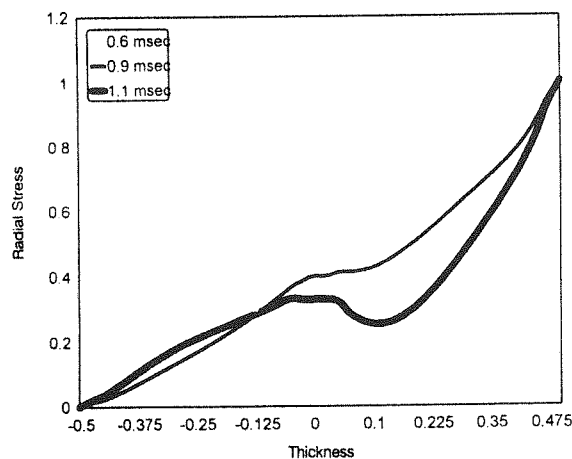
### فهرست علائم

A, B, ..., F''	ضرائب ثابت
$C_{ij}$ (i, j = 1, 2, ..., 6)	ثابت های الاستیک
$E_1, E_2, G_{12}, G_{23}, \nu$	ثابت های الاستیک مهندسی
h	ضخامت پانل
L	طول پانل
$\{F(t)\}_k$	ماتریس ۶*۱ نیروی لایه K ام
N	تعداد لایه ها
MI	تعداد المان ها
$[M]_k, [K]_k$	ماتریس های ۶*۶ جرم و سختی لایه K ام
$[M], [K], \{F(t)\}$	ماتریس های کلی جرم و سختی ونیرو
$r_0$	شعاع میانی پانل
$\phi$	زاویه دهانه پانل
r, $\theta$ , z	محورهای مختصات
S	نسبت شعاع متوسط به ضخامت پانل
$U_r, U_\theta, U_z$	مؤلفه های تغییر مکان
$U_r^k, U_\theta^k, U_z^k$	مؤلفه های تغییر مکان لایه K ام
$U_{rkl}^k, U_{\theta kl}^k, U_{zkl}^k$	تغییر مکان های گره KI ام از لایه K ام
$\sigma_r, \sigma_\theta, \tau_{r\theta}, \tau_{rz}, \tau_{r\theta}$	مؤلفه های تنش
$\epsilon_r, \epsilon_\theta, \epsilon_x, \gamma_{r\theta}, \gamma_{rz}, \gamma_{r\theta}$	مؤلفه های کرنش
$\rho$	دانسیته جرمی

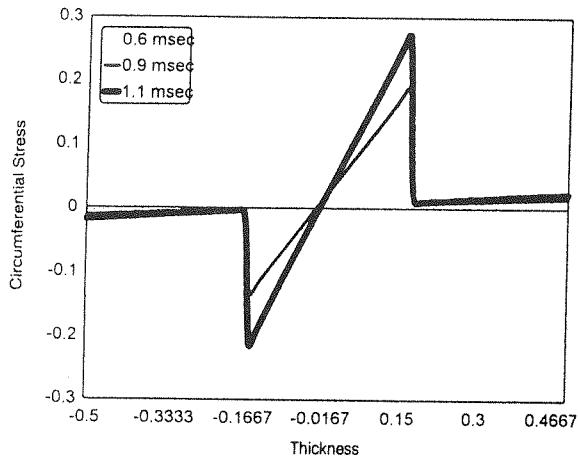
میلی ثانیه در امتداد ضخامت در شکل (۳) برای دو لایه (درجه ۹۰/۰) و در شکل (۴) برای سه لایه (درجه ۹۰/۰/۰) آمده است. بطوریکه از شکل ها پیداست شرایط مرزی و بین لایه ای برآورده شده است. تغییرات تنش قائم محیطی ( $\sigma_\theta$ ) در شکل (۵) برای دو لایه و در شکل (۶) برای سه لایه نشان داده شده است. با توجه به این شکل ها همانطوریکه انتظار می رود این تنش در مرز بین لایه ها پیوسته نمی باشد. توزیع تنش برشی  $\tau_{r\theta}$  در شکل های (۷) و (۸) آمده است. همانطور که انتظار می رود توزیع تنش برشی در این دو شکل بصورت سهمی بوده و شرایط مرزی و بین لایه ای برآورده شده است. حداکثر این مقدار در سه لایه در مرکز پانل بوده و در دو لایه بطرف وسط لایه دوم انتقال یافته است. تغییرات تغییر مکان شعاعی ( $U_{r0}$ ) بین لایه ای برحسب S در شکل (۹) آورده شده است. بطوریکه از شکل پیداست مقدار آن با افزایش S بتدریج کاهش یافته و به یک مقدار ثابتی می رسد. بعبارت دیگر با افزایش S پوسته دارای رفتار جدار نازک بوده و این تغییر مکان مستقل از شعاع می باشد. در این شکل حل الاستیسیته با حل تئوری کلاسیک پوسته [10] (CST) مقایسه گشته است. و طبق این مقایسه تئوری کلاسیک در S های بزرگ از دقت خوبی برخوردار می باشد. تاریخچه زمانی تغییر مکان شعاعی در شکل (۱۰) آمده است. بخاطر ثابت ماندن بار بعد از ۰/۰۱۱ ثانیه این تغییر مکان ها همانطوریکه انتظار می رود حول مقدار متوسط خود در حال نوسان می باشد. در اشکال (۱۱-۱۳) توزیع تنش های قائم شعاعی، محیطی و برشی نشان داده شده



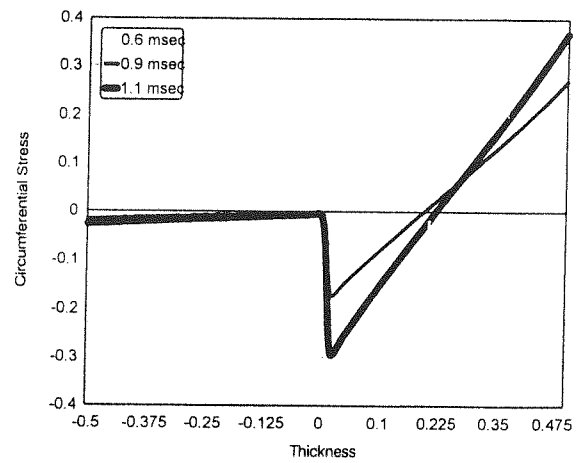
شکل (۴) تغییرات  $\sigma_r$  برحسب شعاع  $\bar{r}$  (سه لایه ۹۰/۰/۰ و  $S=10$ ).



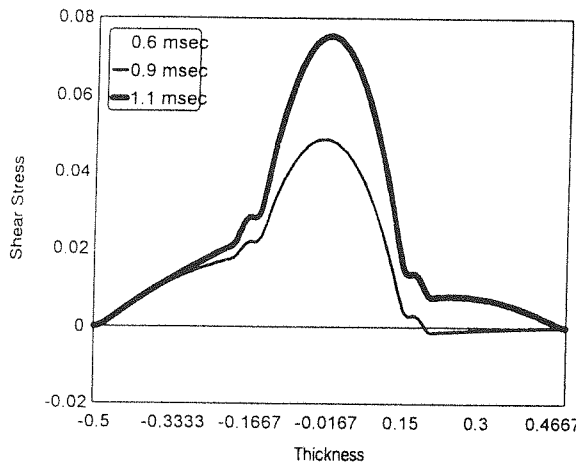
شکل (۳) تغییرات  $\sigma_r$  برحسب شعاع  $\bar{r}$  (دو لایه ۹۰/۰ و  $S=10$ ).



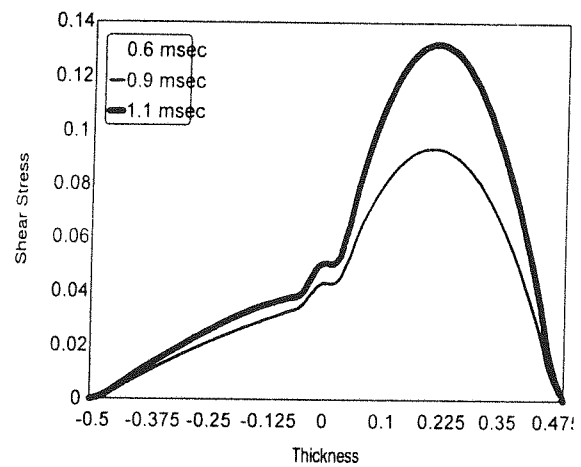
شکل (۶) تغییرات  $\bar{\sigma}_\theta$  بر حسب شعاع  $\bar{r}$  (سه لایه 0/90/0 و  $S=10$ ).  
 (سه لایه 0/90/0 و  $S=10$ )



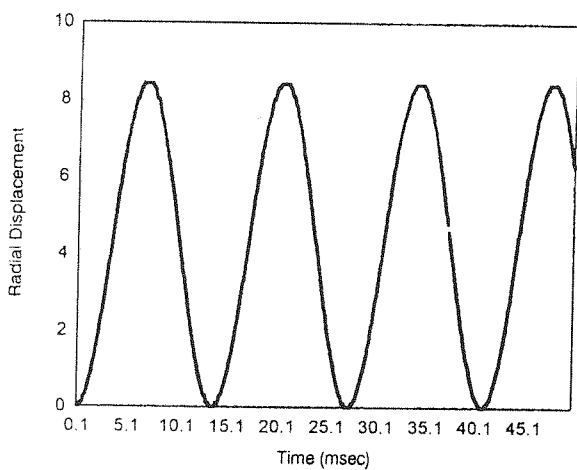
شکل (۵) تغییرات  $\bar{\sigma}_\theta$  بر حسب شعاع  $\bar{r}$  (دو لایه 0/90 و  $S=10$ ).  
 (دو لایه 0/90 و  $S=10$ )



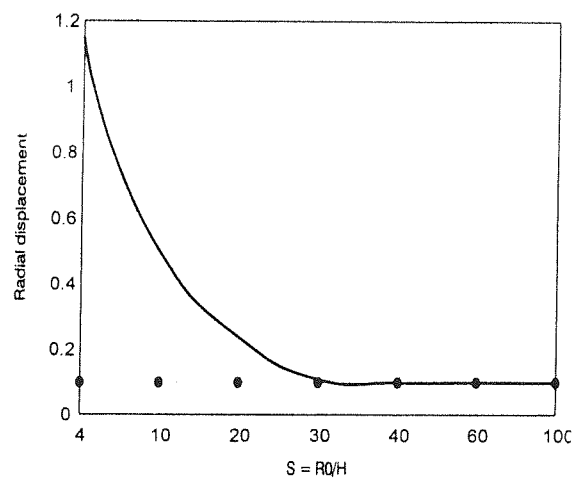
شکل (۸) تغییرات  $\bar{\tau}_{r\theta}$  بر حسب شعاع  $\bar{r}$  (سه لایه 0/90/0 و  $S=10$ ).  
 (سه لایه 0/90/0 و  $S=10$ )



شکل (۷) تغییرات  $\bar{\tau}_{r\theta}$  بر حسب شعاع  $\bar{r}$  (دو لایه 0/90 و  $S=10$ ).  
 (دو لایه 0/90 و  $S=10$ )



شکل (۱۰) تغییرات  $\bar{u}_{r0}$  بر حسب زمان (دو لایه 0/90 و  $S=10$ ).  
 (دو لایه 0/90 و  $S=10$ )



شکل (۹) تغییرات  $\bar{u}_{r0}$  بر حسب  $S$  (دو لایه 0/90) (الاستیسیته CST) (\*-\*-\*-\*).  
 (دو لایه 0/90) (الاستیسیته CST) (\*-\*-\*-\*).