



بررسی تاثیر جهت گیری هسته لانه زنبوری نسبت به صفحات جانبی بر قابلیت جذب انرژی پنل ساندویچی استفاده شده در چاله آسانسور

امیر غیاثوند^{1*}، حسین احمدی رشید^{2*}، سوران حسنی فرد²

1 و 2- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

3- دانشیار، گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

* تبریز، صندوق پستی 5166614766، Amir.Ghiasvand@tabrizu.ac.ir

چکیده	اطلاعات مقاله
پنل‌های ساندویچی دارای قابلیت و توان بالا در زمینه جذب انرژی و مستهلک سازی انرژی جنبشی حاصل از برخورد در مواجهه با موج‌های انفجاری می‌باشند. در پژوهش حاضر تاثیر جهت گیری هسته لانه زنبوری پنل ساندویچی نسبت به صفحات جانبی و راستای بارگذاری بر قابلیت جذب و مستهلک سازی انرژی ناشی از برخورد کابین آسانسور با پنل ساندویچی تعبیه شده در چاله آسانسور مورد بررسی قرار گرفته است. از شش زاویه 0، 5، 10، 20، 30 و 45 درجه بدین منظور استفاده گردید. مشاهده شد که با افزایش میزان زاویه جهت‌گیری هسته پنل نسبت به راستای ضربه میزان سختی پنل دچار افت خواهد شد و این افت با افزایش بیشتر زاویه جهت‌گیری هسته به صورت شدیدی اتفاق خواهد افتاد. با افزایش میزان زاویه هسته لانه زنبوری از حد بهینه، سازه به دلیل کرنش‌های پلاستیک بزرگ فشرده‌گی و مجالگی را تجربه خواهد نمود که این امر موجب افزایش شدید سختی پنل می‌گردد و پنل به دلیل عدم تراکم‌پذیری همانند یک جسم صلب عمل می‌نماید و قابلیت مستهلک سازی انرژی آن به شدت دچار کاهش می‌گردد.	مقاله پژوهشی کامل دریافت: 12 تیر 1397 پذیرش: 28 شهریور 1397 ارائه در سایت: 15 آبان 1397
	کلیدواژگان پنل ساندویچی برخورد شبیه‌سازی اجزاء محدود جذب انرژی آلیاژ آلومینیوم

Investigation on the effect of the honeycomb core orientation to lateral plates on the energy absorption capacity of the sandwich panel used in the elevator hole

Amir Ghiasvand^{1*}, Hossein ahamdi rashid², Soran Hasanifard³

1,2- Department of Mechanical Engineering, Tabriz University, Tabriz, Iran.

3- Department of Mechanical Engineering, Tabriz University, Tabriz, Iran.

* P.O.B. 5166614766 Tabriz, Iran, Amir.Ghiasvand@Tabrizu.ac.ir

Article Information

Original Research Paper

Received 3 July 2018

Accepted 19 September 2018

Available Online 6 November 2018

Keywords

Sandwich panel

Collision

Finite element simulation

Energy absorb

Aluminum alloy

ABSTRACT

Sandwich panels are used due to the ability of the core to absorb energy efficiently to Damped the kinetic energy from collision and exposure to the explosive wave. In the present study, the effect of the orientation of the core of honeycomb sandwich panel to the lateral plates and the loading direction on the absorption and dissipation of energy due to the cabin lift with a sandwich panel embedded in the elevator hole has been investigated. Six angles of 0, 5, 10, 20, 30 and 45 degrees were used for this purpose. It was observed that by increasing the angle of orientation of the panel core, the stiffness of the panel will fall, and this decrease will occur with a greater increase in the angle of the more orientation of the core strongly. By increasing the amount of honeycomb core angle from the optimal limit, the structure will experience compression and due to large plastic strains, which causes the stiffness of the panel to rise and the panel acts as a rigid body due to its incompressibility and its energy depreciation is severely reduced.

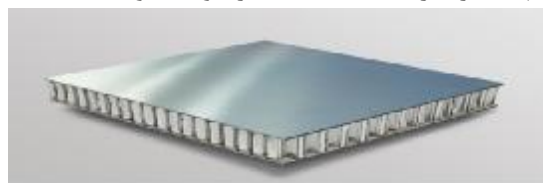
Please cite this article using:

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

A. Ghiasvand, H. Ahmadi Rashid, S. Hasanifard, The effect of the honeycomb core orientation to lateral plates on the energy absorption capacity of the sandwich panel used in the elevator hole, *Journal of Mechanical Engineering and Vibration*, Vol. 9, No. 3, pp. 56-63, 2018 (In Persian)

1- مقدمه

سازه‌های ساندویچی با هسته لانه زنبوری به دلیل خواص فوق-العاده خود به طور روزافزون در صنایع مختلف استفاده می‌گردند، این سازه‌ها به دلیل دارا بودن استحکام و سختی بالا نسبت به وزن خود از محبوبیت بالایی بین صنعتگران برخوردار هستند. با توجه به صلبیت و استحکام خمشی بالای پنل‌های ساندویچی، استفاده و بکارگیری آن‌ها در صنایع مختلف رو به افزایش است [1]. شاید بتوان مهم‌ترین خصوصیت سازه‌های ساندویچی را قدرت و ظرفیت جذب انرژی این سازه‌ها به عنوان میراکننده انرژی دانست که این ویژگی از قابلیت تغییر شکل پلاستیک بزرگ این چنین سازه‌هایی نشأت می‌گیرد و باعث می‌شود که در مکان‌ها و زمان‌هایی که نیاز به میراسازی انرژی‌های ناشی از برخورد وجود دارد مانند استفاده در چاله‌های آسانسور به عنوان میراگر بکار گرفته شوند. شکل 1 نمونه‌ای از این پنل‌های جاذب استفاده شده در چاله آسانسور را نمایش می‌دهد. سازه‌های ساندویچی از صفحات جانبی و هسته ساندویچی تشکیل شده‌اند که با توجه به جنس، هندسه، آرایش، ضخامت صفحات و هسته سازه دسته بندی، طراحی و ساخته می‌شوند [2-4]. با تغییر پهر یک از پارامترها خواص نهایی و رفتار مکانیکی این سازه‌ها در مواجهه با بارگذاری‌های مختلف تغییر خواهد نمود.



شکل 1 پیل ساندویچی به هسته لانه زنبوری

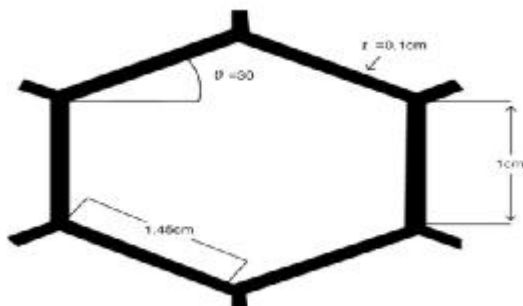
یکی از نگرانی‌های موجود در زمینه پیل‌های ساندویچی مقاومت پایین این سازه‌ها در مقابل ضربات و برخورد می‌باشد. با وجود خواص مکانیکی مناسب، کامپوزیت‌های صفحه‌ای مشابه با پیل‌های ساندویچی مقاومت پایینی در برابر ضربات را دارا می‌باشند. در سازه‌های ساندویچی با صفحات جانبی، آسیب ایجاد شده در صفحه فوقانی به طور تقریبی مشابه با رفتار لمینت‌های تک صفحه‌ای در هنگام بروز و شکل‌گیری آسیب می‌باشد [6].

پنل‌های ساندویچی به دلیل ضخامت اندک و نازک بودن در برابر بارگذاری به صورت محلی آسیب پذیر می‌باشند، بارگذاری‌های بزرگ محلی سبب ایجاد تغییر شکل‌های بزرگ پلاستیک به صورت محلی در سازه می‌گردد.

بسیاری از محققین به بررسی سازه‌های ساندویچی با جنس صفحات جانبی فولادی و هسته آلومینیومی بدون توجه به مکانیسم آسیب نسبتاً پیچیده‌ای این کامپوزیت‌ها پرداخته‌اند. بسیاری از تحقیقاتی که در زمینه سازه‌های ساندویچی با هسته لانه زنبوری صورت گرفته است به صورت مطالعه استاتیکی و شبه استاتیکی بر روی ورق ساخته شده از این نوع کامپوزیت‌ها می‌باشد و تقریباً مطالعات بسیار اندکی بر روی بارگذاری دینامیکی بر پیل‌های ساندویچی با هسته لانه زنبوری انجام شده است، علاوه بر این، مطالعات اندکی نیز بر روی قابلیت جذب انرژی و مستهلک‌کنندگی برخورد در این نوع پیل‌ها با آرایش-های هندسی و جهت‌گیری‌های ویژه صورت پذیرفته است [7-9]. به دلیل عدم بررسی تأثیر جهت‌گیری و آرایش هندسی هسته لانه زنبوری شش ضلعی بر رفتار سازه در مقابل بارگذاری‌های متفاوت در مطالعات پیشین صورت گرفته توسط محققین و فقدان مطالعات کافی در این زمینه، در پژوهش حاضر تأثیر زاویه جهت‌گیری هسته لانه زنبوری نسبت به صفحات جانبی پیل ساندویچی استفاده شده به عنوان جاذب در چاله آسانسور بر رفتار سازه در برابر ضربه وارده از طرف کابین آسانسور مورد بررسی قرار گرفته است. از شش زاویه و جهت‌گیری متفاوت استفاده شده است، شبیه سازی عددی همه حالات به واسطه کد تجاری اجزا محدود ABAQUS 2017 صورت پذیرفته است.

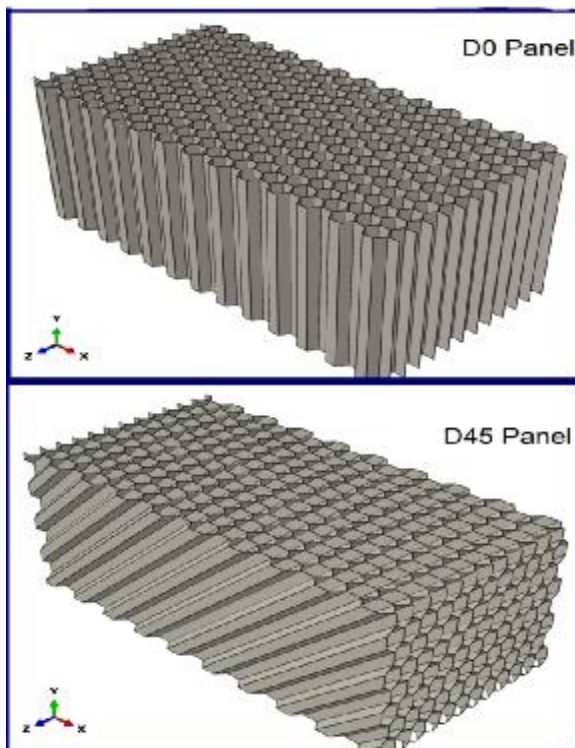
2- شبیه‌سازی عددی

روش‌ها و شیوه‌های متفاوتی مانند مطالعه تحلیلی، مطالعه تجربی و شبیه‌سازی عددی در بررسی این سازه‌ها وجود دارد که هر کدام از این موارد دارای مزایا و معایب مخصوص به خود می‌باشند. به طور معمول یک کار آزمایشگاهی نیازمند هزینه و زمان بسیار برای نتیجه‌گیری خواهد بود حال چنانچه بتوان با استفاده از شرایط آزمایشگاهی شبیه‌سازی عددی را صحت‌گذاری کرد می‌توان از این تکنیک عددی به طور مناسب همراه با دقت و صحت کافی در مطالعه رفتار سازه در برابر بارگذاری‌های متفاوت استفاده کرد و در هزینه و زمان طراحی صرفه‌جویی



شکل 2 ابعاد هندسی یک سلول لانه زنبوری

هسته لانه زنبوری به صورت ترکیبی از سلول‌های مشخص در سطرها و ستون‌های متفاوت ساخته شده است. تفاوت عمده میان شش مدل مختلف در زاویه و جهت‌گیری هسته لانه زنبوری نسبت به راستای ضربه و صفحات جانبی می‌باشد. بدین منظور از شش زاویه 0, 5, 10, 20, 30, 45 درجه استفاده گردید جهت سهولت در نامگذاری و بررسی مدل‌های متفاوت به ترتیب حالات ذکر شده با نام‌های D10, D20, D30, D45, D0 در نظر گرفته خواهد شد. در شکل 3 شماتیک دو حالت D0 و D45 به نمایش درآمده است.



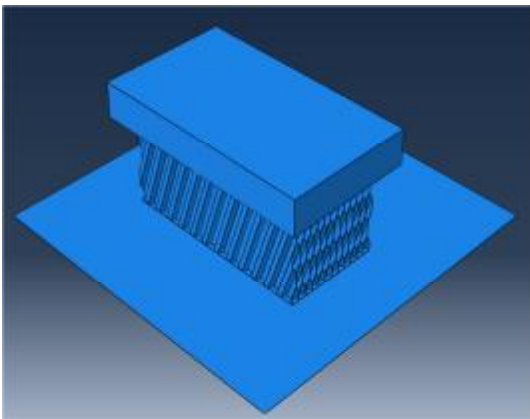
شکل 3 هسته پیل ساندویچی 0 و 45 درجه

جنس صفحات جانبی پیل ساندویچی از فولاد AISI 304 و جنس هسته لانه زنبوری از نوع آلیاژ آلومینیوم AA5083 در نظر

نمود. نکته قابل توجه در شبیه‌سازی عددی فرایندهای متفاوت مشاهده و توجه به روندهای حاصل در مسایل مختلف است که این موضوع در مقایسه با دقت جواب‌های عددی به پاسخ تجربی از اهمیت بالاتری برخوردار است و ابزاری راه‌گشا برای طراحی‌های بهینه خواهد بود. شبیه‌سازی عددی قادر به مدل‌سازی شرایط و بارگذاری‌های متفاوت از قبیل استاتیکی و دینامیکی می‌باشد و به راحتی می‌توان نتایج را در جزئیات وسیع‌تری حاصل نمود، با این وجود به دلیل دشواری‌های شبیه‌سازی عددی سازه‌های ساندویچی، همچنان محققین به ندرت از این ابزار حل استفاده می‌نمایند. روش‌های متفاوتی برای شبیه‌سازی پیل‌های ساندویچی لانه زنبوری وجود دارد. برخی از محققین از المان‌های پوسته‌ای برای شبیه‌سازی صفحات جانبی و هسته لانه زنبوری استفاده نموده‌اند و برخی دیگر برای حصول پاسخ کلی و محلی سازه از المان‌های پوسته‌ای در صفحات جانبی و المان‌های توپر و سالیید برای هسته استفاده کرده‌اند.

2-1- هندسه، خواص و مونتاژ مدل

با توجه به نسبت ضخامت هسته و صفحات جانبی مدل به ابعاد دیگر پیل، همه بخش‌های پیل ساندویچی به صورت پوسته‌ای در نظر گرفته و مدل گردید. ابعاد صفحات جانبی در همه حالات شبیه‌سازی ثابت و برابر با $60 \times 20 \times 0.1$ سانتیمتر و هسته لانه زنبوری برابر با $60 \times 20 \times 25$ سانتیمتر مدل شد و فقط جهت‌گیری هسته لانه زنبوری در هر مرحله دچار تغییر گردید. جهت ایجاد کابین آسانسور که به عنوان ضربه زننده عمل می‌نماید از بلوکی صلب با ابعاد $70 \times 40 \times 10$ سانتیمتر استفاده شده است و در ماژول پروپرتی جرمی معادل جرم کل کابین همراه با سرنشین برابر 500 کیلوگرم به صورت همگن به آن نسبت داده شد. هسته لانه زنبوری به صورت شش ضلعی و با ابعاد یکسان در همه نمونه‌ها در نظر گرفته شد. در شکل 2 ابعاد هندسی یک سلول از هسته لانه زنبوری به نمایش درآمده است.



شکل 4 چیدمان نهایی پیل ساندویچی و ضربه زننده D20

با توجه به ماهیت دینامیکی و گذرا مسأله از حل گر آباکوس صریح استفاده گردید، زمان حل مسأله به صورت تقریبی و نزدیک به محاسبات دینامیکی انجام گرفته مطابق با شرایط حل دینامیکی برخورد کابین به عنوان یک وزنه افتان، برابر با 0.006 ثانیه در نظر گرفته شد و تاریخچه‌های بارگذاری مد نظر در نرم-افزار تعریف و درخواست شد.

2-2- برهمکنش، بارگذاری و شبکه بندی مدل

با توجه به ماهیت مسأله و وجود تماس موجود بین بخش-های متفاوت پیل با یکدیگر و تماس پیل با وزنه افتان نیاز به تعریف شرایط بر هم کنش در سازه می‌باشد. مدل تماس اصطکاک خشک کولمب به صورت عمومی در شبیه‌سازی در نظر گرفته شد و ضرایب اصطکاک می‌مماسی مرتبط با جنس‌های مختلف موجود در پیل تعریف گردید. سطوح دو صفحه جانبی به هسته مشبک لانه زنبوری به واسطه قید Tie مرتبط گردید و شش درجه آزادی این صفحات با تیرانس 1 میلیمتری با هسته لینک و مرتبط گردید این قید مشابه حالت جوش و اتصال چسبی در شرایط واقعی عمل می‌نماید و توانایی مدل‌سازی مناسبی در جهت شبیه‌سازی این دست سازه‌ها را داراست. به منظور سهولت در شبیه‌سازی، کابین (وزنه افتان) مماس بر پیل قرار گرفت و سرعت اولیه‌ای معادل با 50 متر بر ثانیه به آن نسبت داده شد. شرایط مرزی مسأله از جنس جابجایی لحاظ گردید بدین صورت که سطح صلب تحتانی به صورت کاملاً مقید در نظر گرفته شد و سطوح جانبی پیل به صورت آزاد در شش درجه آزادی انتقالی و دورانی مدل گردید.

به منظور شبکه بندی مدل از المان‌های پوسته‌ای مرتبط با حل گر صریح دارای 4 گره استفاده گردید. دانه بندی هسته لانه زنبوری و صفحات جانبی در همه حالات با جهت‌گیری متفاوت

گرفته شد. با توجه به حادث شدن برخورد در زمان بسیار اندک و ایجاد تغییر شکل‌های ماندگار و پلاستیک در همین زمان کوتاه و زمان بارگذاری سازه، باید از مدل مادی مناسب جهت تعریف قسمت‌های متفاوت پیل استفاده شود. بدین منظور از مدل پلاستیسیته جانسون-کوک که یک مدل جهت تعریف تنش در فاز پلاستیک در مواد مهندسی می‌باشد استفاده گردید. این مدل رفتار ماده و تنش سیلان را به صورت تابعی از کرنش و نرخ کرنش و دما برآورد می‌کند و اثرات سرعت بارگذاری یا همان نرخ کرنش نیز به طور مناسب در نظر گرفته می‌شود. این رابطه در صورت استقلال از شرایط دمایی به صورت رابطه (1) خواهد بود.

$$s_0 = \left(A + B \bar{\epsilon}_{pl}^n \right) \left(1 + C \ln \frac{\dot{\bar{\epsilon}}_{pl}}{\dot{\epsilon}_0} \right) \quad (1)$$

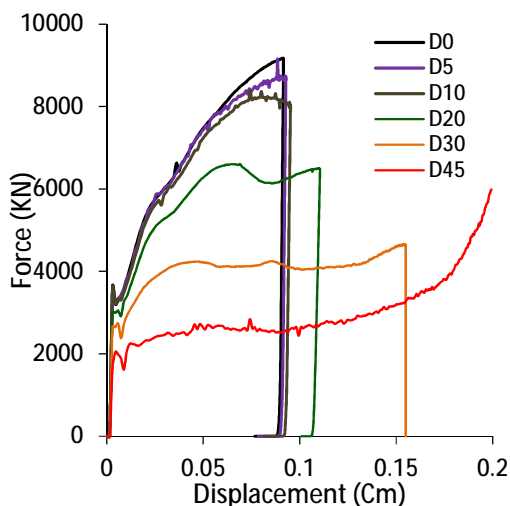
که در این رابطه σ_0 تنش تسلیم، $\bar{\epsilon}_{pl}$ کرنش پلاستیک موثر، $\dot{\bar{\epsilon}}_{pl}$ نرخ کرنش پلاستیک معادل و $\dot{\epsilon}_0$ نرخ کرنش نرمالایز شده است. A, B, C, n نیز ثابت‌های ماده هستند. خواص مکانیکی و ثوابت دو ماده متفاوت پیل در جدول 1 آورده شده است.

جدول 1 خواص مکانیکی و ثوابت معادله جانسون-کوک مواد

Material	Density (Kg/m ³)	E (Gpa)		Poisson Ratio
AISI 304	7850	200		0.3
AA 5083	2750	70		0.33
Material	A (Mpa)	B (Mpa)	C	n
AISI 304	310	441	0.057	0.1
AA 5083	167	596	0.001	0.551

با توجه به صلب در نظر گرفتن بودن قطعه و بلوک کابین آسانسور، سکشن سالیید همگن با چگالی متناسب با جرم 500 کیلوگرمی به آن تخصیص داده شد. در همه حالت شبیه‌سازی ضربه زننده در لحظه نخست مماس بر سطح جانبی فوقانی پیل قرار گرفت و سرعت اولیه مناسب به آن نسبت داده شد. همچنین به دلیل قرابت بالاتر شبیه‌سازی به شرایط واقعی از یک صفحه صلب جهت مدل‌سازی سطح زیرین پیل استفاده گردید. در شکل 4 شماتیک چیدمان و مونتاژ نهایی نمونه D20 نمایش داده شده است.

توجه در این بخش از نمودار همه پیل‌ها با زوایای جهت‌گیری متفاوت در نقطه تسلیم این سازه‌ها در برابر ضربه ناشی از کابین می‌باشد. با افزایش میزان زاویه جهت‌گیری هسته لانه زنبوری نسبت به راستای ضربه و صفحات جانبی نقطه تسلیم به شکل قابل توجهی افت پیدا کرده و در نیروهای پایین‌تری اتفاق خواهد افتاد. کمترین میزان نیروی عکس‌العمل در نقطه تسلیم سازه مربوط به پیل D45 می‌باشد که این نیروی تسلیم تقریباً 80 درصد کاهش را نسبت به پیل D0 تجربه می‌نماید. سه پیل D0، D5 و D10 تقریباً رفتار یکسانی را از خود در فاز الاستیک و پلاستیک نشان می‌دهند و در بازه زمانی نسبتاً مشابه‌ای قادر به توقف کامل و میرا نمودن انرژی حاصل از برخورد کابین می‌باشند و این مسئله به دلیل نزدیک بودن این سه حالت به یکدیگر از نظر جهت‌گیری هسته نسبت به صفحات جانبی می‌باشد. به منظور محاسبه سختی پیل‌های مورد بررسی نمودار نیروی جابجایی همه پیل‌ها در خروجی نرم‌افزار تعریف و درخواست گردید. شکل 6 نمودار سختی نمونه‌ها را نمایش می‌دهد.



شکل 6 نمودار سختی پیل‌ها با جهت‌گیری‌های مختلف

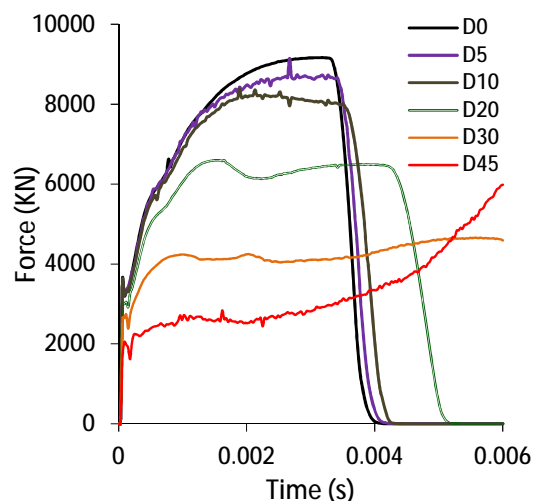
با توجه به شکل 5 (نمودار نیروی عکس‌العمل) و بررسی نمودار سختی پیل‌ها در شکل 6 مشخص گردید که از بین پیل‌های متفاوت تنها پیل D45 در بازه زمانی حل مسئله قادر به دمپ کامل ضربه نگردیده است. گرچه این پیل دارای پایین‌ترین سختی در بین دیگر پیل‌ها است اما اساساً و بر طبق بررسی تحلیلی انجام شده توسط سایر محققین کاهش در میزان سختی یک پیل ساندویچی لانه زنبوری به معنای افزایش قابلیت جذب انرژی این سازه در برابر بارهای حاصل از ضربه نمی‌باشد. پیل

برابر با 0.5 سانتیمتر در نظر گرفته شد و همچنین دانه بندی کابین برابر با 2 سانتیمتر برای همه حالات شبیه‌سازی لحاظ شد.

3- نتایج و بحث

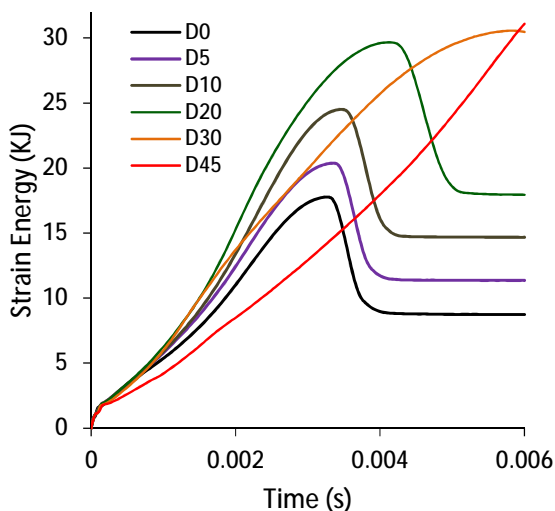
3-1- سختی نمونه‌ها

تحلیل بارگذاری ضربه‌ای برای نمونه‌های مختلف انجام گردید و تاریخچه نیروی عکس‌العمل وارده بر کابین آسانسور ضربه‌زننده در همه حالات شبیه‌سازی برای همه پیل‌های D45، D30، D20، D10، D5، D0 حاصل گشت. نمودار تاریخچه زمانی نیروی عکس‌العمل وارده از طرف پیل‌ها در شکل 5 نمایش داده شده است.



شکل 5 تاریخچه زمانی نیروی عکس‌العمل وارده بر کابین

بر اساس شکل 5 با افزایش میزان زاویه جهت‌گیری هسته مشبک شش ضلعی لانه زنبوری نسبت به صفحات جانبی پیل و راستای ضربه وارده از طرف کابین آسانسور میزان نیروی عکس‌العمل وارده بر کابین به طور قابل توجهی کاهش می‌یابد، و این کاهش نیرو با افزایش هرچه بیشتر میزان زاویه مذکور به صورت شدیدتری اتفاق خواهد افتاد. همچنین با افزایش میزان زاویه پیل شیب بخش سخت شوندهگی پلاستیک نمونه‌ها کاهش می‌یابد. در نمونه D30 پس از گذر از بخش الاستیک سازه و عبور از نقطه تسلیم، پیل با شیب اندک سخت شوندهگی به تنش مسطح خود خواهد رسید و این تنش مسطح و نیروی وارده تا لحظه میرایی نهایی انرژی ناشی از ضربه وارده ثابت باقی خواهد ماند. با توجه به نتایج حاصل از شبیه‌سازی و بر اساس نمودار شکل 5 سختی هر شش پیل ساندویچی لانه زنبوری در ابتدای سیکل جابجایی یکسان و به صورت الاستیک می‌باشد و تنها تفاوت قابل



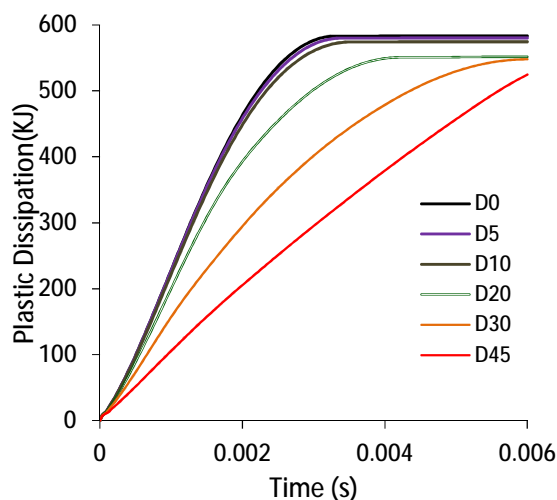
شکل 8 نمودار تاریخچه زمانی انرژی کرنشی

با توجه به نمودار، شکل 7 و 8 پیل D30 بالاترین میزان انرژی ذخیره شده را پس از اصابت کابین و ضربه حاصل از آن داراست و با توجه به جذب کامل انرژی جنبشی حاصل از سقوط کابین در طی بازه زمانی حل مسأله و متوقف سازی کامل آن و عدم ایجاد بازگشت فنری در کابین می‌توان این پیل را با این جهت-گیری و راستا پیل بهینه در بین سایر پیل‌ها در زمینه مستهلک-سازی انرژی جنبشی و کنترل حرکتی عامل برخورد در بازه زمانی کوتاه برخورد دانست. پیل D45 نیز میزان انرژی بالایی را به صورت انرژی کرنشی در خود ذخیره نموده است اما در مقایسه با پیل D30 تفاوت قابل توجهی نداشته و از طرفی دیگر این پیل در طی بازه زمانی 0.006 موفق به توقف و جذب کامل انرژی نشده است و همچنین به دلیل فشردگی نهایی خود رفتاری صلب مانند را در انتهای بازه زمانی برخورد بروز می‌دهد و این رفتار صلب سبب ایجاد بازگشت فنری کابین با یک سرعت نسبتاً بزرگ خواهد شد. شکل 9 کانتور کرنش پلاستیک معادل برای چهار پیل D0, D20, D30, و D45 را در بازه و نمو زمانی پایانی مسأله نمایش می‌دهد.

D45 با وجود سختی پایین دچار تغییر شکل‌های پلاستیک بزرگ در زمان‌های کوتاه می‌گردد و این کرنش‌های پلاستیک بسیار بزرگ سبب مچالگی و فشردگی پیل خواهد شد و موجب خواهد گردید از لحظه فشردگی کامل به بعد پیل همانند یک سازه صلب در برابر ضربه عمل نماید به همین دلیل نمودار سختی پیل D45 پس از عبور از بخش مسطح خود و به محض فشردگی کامل پیل بر اثر کرنش‌های پلاستیک بزرگ و مچالگی آن شروع به افزایش به صورت شدیدی خواهد نمود و این بدان معناست که پیل رفتاری شبه صلب در ادامه بارگذاری از خود بروز خواهد داد و این امر باعث افت شدید در قابلیت جذب و مستهلک سازی انرژی پیل گردد.

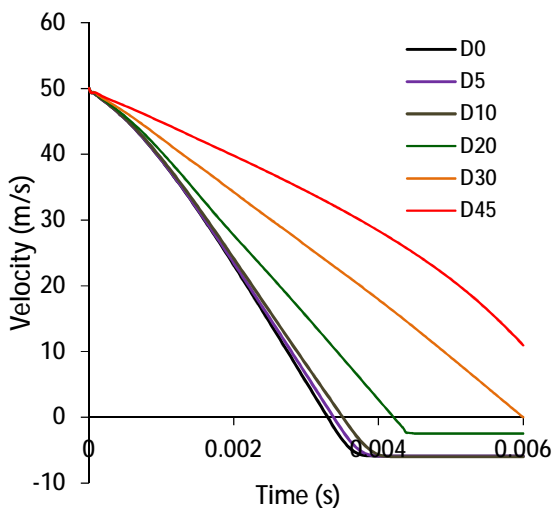
3-2- کرنش پلاستیک

جابجایی و کرنش پلاستیک ایجاد شده در سازه‌های ساندویچی به طور عمده در هسته پیل ایجاد می‌گردد و سهم صفحات جانبی از کرنش‌های پلاستیک در مقایسه با هسته سازه بسیار اندک و قابل اغماض می‌باشد، این موضوع به دلیل استحکام و سختی پایین تر هسته نسبت به سطوح جانبی پیل می‌باشد. این جابجایی پلاستیک بزرگ موجود در هسته پیل سبب میراسازی انرژی جنبشی حاصل از ضربه به صورت کار پلاستیک می‌گردد و این انرژی به صورت انرژی کرنشی در پیل ذخیره خواهد شد. شکل 7 و شکل 8 نمودارهای مربوط به انرژی کرنش ذخیره شده در سازه و انرژی پراکنندگی پلاستیک مدل‌ها را در طی بازه زمانی ضربه را بررسی می‌کند و پلاستیک‌سازی هسته لانه زنبوری را برای همه جهت‌گیری‌های مختلف نمایش می‌دهد.

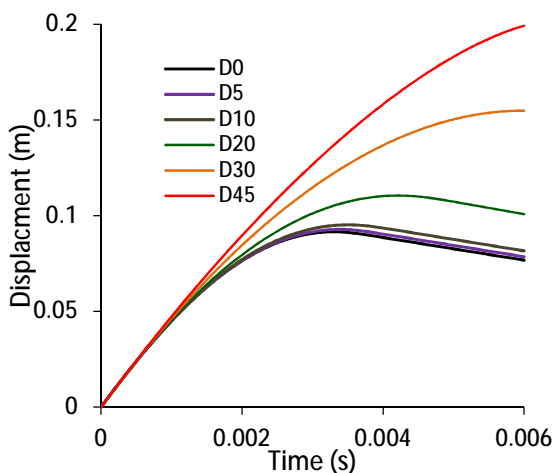


شکل 7 نمودار تاریخچه زمانی انرژی پراکنندگی پلاستیک

با افزایش زاویه جهت‌گیری هسته پیل نسبت به راستای بارگذاری میزان جذب انرژی و کاهش بازگشت فنری نیز در پیل‌ها افزایش یافته است که این مورد به دلیل افزایش کار پلاستیک در این پیل‌ها با جهت‌گیری با زاویه بزرگتر می‌باشد، از بین پیل‌های مورد بررسی تنها پیل D45 به دلیل افت شدید سختی و فشردگی متعاقب آن قادر به این مورد نگردید. در شکل 10 و 11 نمودار سرعت و جابجایی کابین در طی مدت زمان برخورد به نمایش درآمده است.

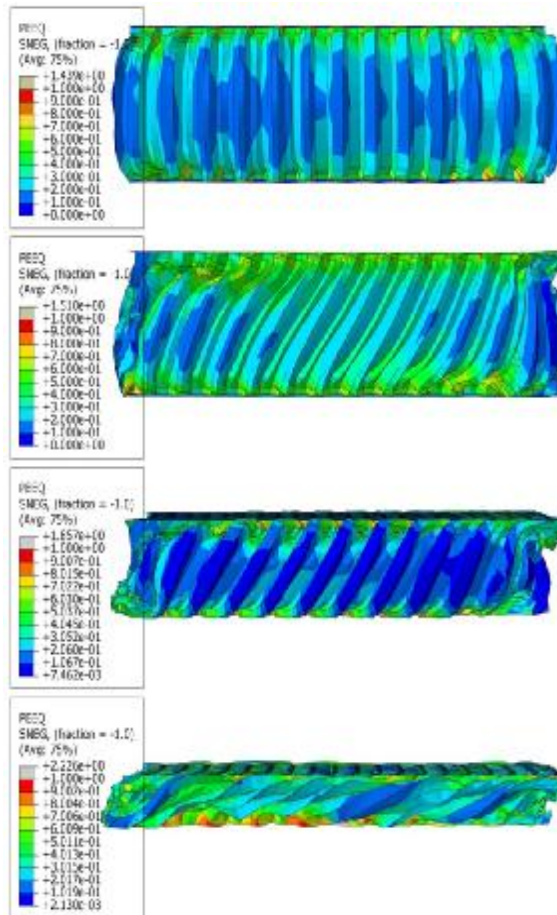


شکل 10 نمودار تغییرات سرعت کابین



شکل 11 تغییرات جابجایی کابین در پیل‌های مختلف

با افزایش میزان زاویه جهت‌گیری هسته لانه زنبوری نسبت به صفحات جانبی پیل مطابق شکل 11 جابجایی و فشردگی پیل افزایش یافته اما پس از عبور از یک حد زاویه‌ای، شیب این افزایش جابجایی کاهش نخواهد یافت و جابجایی‌های بسیار



شکل 9 کرنش پلاستیک معادل پیل‌های D0, D20, D30, D45 مطابق کانتور کرنش پلاستیک معادل نشان داده شده در شکل 9 بالاترین میزان کرنش پلاستیک در نمونه‌هایی با زاویه جهت‌گیری بزرگتر اتفاق خواهد افتاد و این موضوع به دلیل افت میزان سختی نمونه‌ها و شیب سخت‌شوندگی در این پیل‌ها می‌باشد، هر چند کاهش میزان سختی در یک جرم ثابت از سازه در جذب هر چه بالاتر انرژی و میرایی آن حایز اهمیت است اما با کاهش این مقدار از یک حد مشخص سازه پس از تحمل کرنش‌های پلاستیک بزرگ موضعی به وضعیت فشردگی و مچالگی خواهد رسید و این موضوع سبب خواهد شد از این بازه زمانی به بعد به طور تقریبی جسم مانند یک جسم صلب عمل نماید.

3-3- تغییرات سرعت و جابجایی

از بین شش پیل مورد بررسی در بازه زمانی 0.006 ثانیه‌ای پنج پیل نخست D0 و D30, D20, D10, D5 توانستند کابین آسانسور 500 کیلوگرمی با سرعت لحظه برخورد 50 متر بر ثانیه را در طول بازه حل مسأله به طور کامل متوقف کنند، همچنین

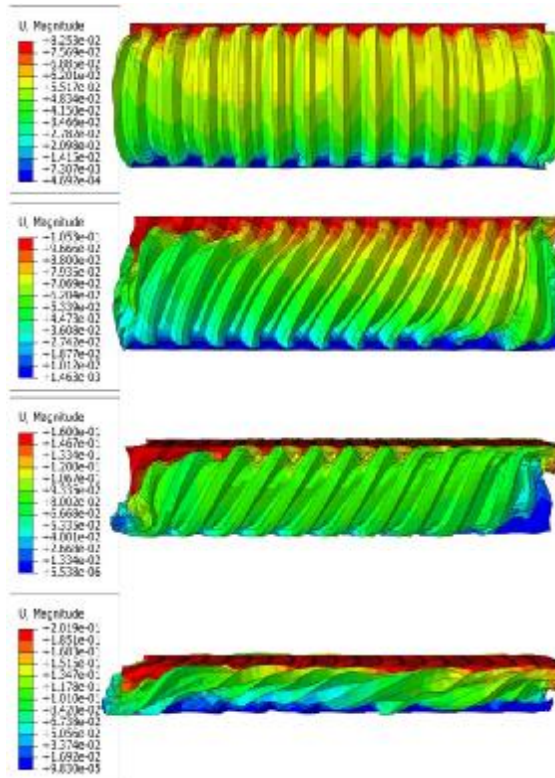
بیشتر این جهت گیری میزان کرنش پلاستیک و کار پلاستیک حادث در پل رشد شدیدتری را تجربه خواهد نمود.

- در پل D30 به دلیل میراسازی کامل انرژی جنبشی ناشی از برخورد کابین و عدم بازگشت فنی آن بهترین شرایط میرایی حاصل شد. بنابراین این پل با این زاویه بهترین پل و حالت بهینه می باشد.
- با افزایش زاویه پل از 30 درجه، افزایش کرنش پلاستیک و جابجایی در پل سبب فشردگی و مچالگی ضربه گیر ساندویچی می گردد که این افزایش شدید سبب رفتار صلب مانند پل در انتهای بازه زمانی برخورد خواهد شد و موجب بازگشت فنی و وارد شدن نیروی بزرگ عکس العمل از پل به کابین و سرنشینان آن خواهد گردید.

5- مراجع

- [1] Yu SD, Cleghorn WL. Free flexural vibration analysis of symmetric honeycomb panels. *J Sound Vib* 2005;284:189-204.
- [2] wang B, Yang M. Damping of honeycomb sandwich beams. *J Mater Process Technol* 2000;105:67-72.
- [3] Kim Hyeung-Yun, Hwang Woonbong. Effect of debonding on natural frequencies and frequency response functions of honeycomb sandwich beams. *Compos Struct* 2002;55:51-62).
- [4] Petras A, Sutcliffe MPF. Failure mode maps for honeycomb sandwich panels. *Compos Struct* 1999;44:237-52.
- [5] Renji K, Nair PS, Narayanan S. Modal density of composite honeycomb sandwich panels. *J Sound Vib* 1996;195(5):687-99.
- [6] H Paik Jeom Kee, Thayamballi Anil K, Kim Gyu Sung. The strength characteristics of aluminum honeycomb sandwich panels. *Thin Wall Struct* 1999;35:205-31.
- [7] Cunningham PR, White RG, Aglietti GS. The effects of various design parameters on the free vibration of doubly curved composite sandwich panels. *J Sound Vib* 2000;230:617-48.
- [8] Cunningham PR, White RG. A new measurement technique for the estimation of core shear strain in closed sandwich structures. *Compos Struct* 2001;51:319-34.
- [9] Khatua TP, Cheng YK. Bending and vibration of multiplayer sandwich beams and plates. *Int J Numer Meth Eng* 1973;6:11-24.

بزرگ در سازه اتفاق خواهد افتاد، این مورد را می توان در کانتور جابجایی پل D45 مشاهده نمود. در شکل 12 کانتور جابجایی پلها D0, D20, D30, D45 به نمایش در آمده است.



شکل 12 کانتور جابجایی پل های D0, D20, D30, D45

4- نتیجه گیری

بررسی عددی تأثیر زاویه جهت گیری هسته لانه زنبوری پل ساندویچی مورد استفاده در چاله آسانسور جهت جذب انرژی ناشی از برخورد کابین آسانسور به پل در شش زاویه و جهت گیری متفاوت 0, 5, 10, 20, 30, 45 درجه در بازه زمانی 0.006 با استفاده از حل گر ABAQUS/Explicit صورت پذیرفت و نتایج زیر حاصل گشت:

- سختی و تنش تسلیم کلی پل های ساندویچی لانه زنبوری با افزایش زاویه جهت گیری هسته نسبت به راستای ضربه به شدت کاهش می یابد و این افت سختی در زاویه های بزرگ تر نمود بیشتری را داراست.
- با افزایش میزان زاویه جهت گیری میزان کرنش پلاستیک هسته پل افزایش می یابد و با افزایش