بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده مهندسی مکانیک

تحلیل ورق ساندویچی با هسته انعطاف‌پذیر و بستر الاستیک تحت بار ضربه‌ای با سرعت آرام

نگارش

منصور کاردان

استاد راهنما:دکتر غلامحسن پایگانه

استاد مشاور:دکتر کرامت ملک‌زاده

پایان‌نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی مکانیک - طراحی کاربردی

شهریور 1390

باسمه تعالی

تعهدنامه اصالت اثر

اینجانب منصور کاردان معتهد می‌شوم کـــه مطالب منـــدرج در ایـن پایان‌نامه حاصل کار پژوهشی اینجانب است و دستـاوردهای پژوهشی دیگـران که در این پژوهش از آن‌ها استفاده شده است، مطابق مقـررات ارجاع و در فهرست منـابع و مأخذ ذکر گردیده است. این پایان‌نامه/رساله قبلاً برای احراز هیچ مـدرک هم سطـح یا بالاتر ارایه نشده است. در صورت اثبات تخلف (در هر زمان) مدرک تحصیلی صادر شده توسط دانشگاه از اعتبار ساقط خواهد شد.

کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی می‌باشد.

نام ونام‌خانوادگی دانشجو

امضاء

تهران- لویزان- کدپستی ۱۶۷۸۸- صندوق پستی ۱۶۳- ۱۶۷۸۵ تلفن ۹-۲۲۹۷۰۰۶۰ (داخلی۲۳۴۷) نمابر ۲۲۹۷۰۰۱۱ پست الکترونیکی sru@sru.ac.ir

شماره: ۱۱/۹۰/۱۰۲۶۰
تاریخ: ۱۳۹۰/۱۲/۲۰
پیوست:

دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی

صورتجلسهٔ دفاع پایان‌نامه تحصیلی دوره کارشناسی ارشد

با تأییدات خداوند متعال و با استعانت از حضرت ولی عصر (عج) جلسه دفاع از پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد آقای **منصور کاردان** رشتهٔ **مهندسی‌مکانیک- طراحی‌کاربردی** تحت عنوان **تحلیل ورق ساندویچی با هسته انعطاف پذیر و بستر الاستیک تحت بار ضربه ای با سرعت آرام**، که در تاریخ ۹۰/۶/۲۸ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی برگزار گردید و نتیجه به شرح زیر اعلام گردید.

☐ قبول (بادرجه ...عالی... امتیاز ...۱۸/۵...) ☐ دفاع مجدد ☐ مردود.

۱ ـ عالی (۲۰ – ۱۸)

۲ ـ بسیار خوب (۱۷/۹۹ – ۱۶)

۳ ـ خوب (۱۵/۹۹ – ۱۴)

۴ ـ قابل قبول (۱۳/۹۹ – ۱۲)

اعضاء	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
استاد راهنما	دکتر غلامحسن پایگانه	استادیار	
استاد مشاور	دکتر کرامت ملک زاده	دانشیار	
استاد داور داخلی	دکتر مهرداد نوری‌خاجوی	استادیار	
استاد داور خارجی	دکتر حسن جلالی	استادیار	
نماینده تحصیلات تکمیلی	دکتر فرامرز آشنای قاسمی	استادیار	

دکتر غلامحسن پایگانه
رئیس دانشکده مهندسی مکانیک

تهران ،لویزان ،کدپستی :۱۵۸۱۱ – ۱۶۷۸۸
صندوق پستی :۱۶۳ – ۱۶۷۸۵
تلفن :۹- ۲۲۹۷۰۰۶۰ فکس :۲۲۹۷۰۰۳۳
Email:sru@sru.ac.ir
www.srttu.edu

تقدیم به

پدر و مادر مهربانم

و همسر عزیزم

با تقدیر و تشکر از:

آقای **دکتر غلامحسن پایگانـه** ، اسـتادیار ارجمنـد و بزرگـوار دانشـکده مهندسـی مکانیـک دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی و آقـای **دکتر کرامت ملک‌زاده** ، دانشـیار گرامـی دانشـکده مهندسی هوافضا دانشگاه صنعتی مالک اشتر به خاطر راهنمایی‌ها و کمک‌های مفید و ارزشمند علمـی و لحظاتی که برای پیشبرد این پایان‌نامه دلسوزانه صرف نمودند.

چکیده

در این پایان نامه، ابتدا مطالعات گذشته در زمینه ورقهای ساندویچی و ضربه سرعت آرام و بستر الاستیک مرور شده‌اند. سیستم معادلات حاکم بر ارتعاشات آزاد ورق ساندویچی از تئوری بهبود یافته مرتبه بالای ورقهای ساندویچی (IHSAPT) با استفاده از چندجمله‌ایهای با ضرایب نامعلوم برای جابجایی‌های هسته همگن با در نظرگرفتن تنشهای صفحه‌ای در هسته و تئوری برشی مرتبه اول (FSDT) برای رویه‌ها استخراج شده است. این معادلات در شرایط مرزی تکیه‌گاه ساده حل شده‌اند.

در ادامه پاسخ دینامیکی ورق چند لایه کامپوزیتی ساندویچی تحت بار ضربه‌ای عرضی با سرعت آرام بررسی شده و نیروی برخورد و خیز ورق در حین ضربه بدست آمده است. صحت نتایج بوسیله مقایسه با نتایج تحلیلی و عددی موجود در مراجع بررسی شده و سپس اثرات پارامترهای ورق مانند نسبت طول به عرض، ضخامت هسته به ضخامت ورق و طول به ضخامت کل ورق مطالعه گردیده است.

در نهایت با در نظر گرفتن معادلات مربوط به بستر الاستیک با استفاده از تئوری پاسترناک مجدداً معادلات ارتعاشات آزاد و ضربه آرام روی ورق ساندویچی حل شده است. فرکانسهای طبیعی ارتعاشات آزاد ورق ساندویچی، نیروی برخورد و خیز در حین ضربه در مدولهای مختلف فنری عمودی و برشی عرضی بستر الاستیک بررسی شده است.

کلمات کلیدی

ورق ساندویچی، هسته انعطاف پذیر، ضربه سرعت پایین، بستر الاستیک پاسترناک، ارتعاشات آزاد، تئوری مرتبه بالا.

فهرست مطالب

فصل اول

مقدمه و مروری بر کارهای انجام شده 1

1-1) مقدمه 2

2-1) مروری برکارهای انجام شده 7

1-2-1) تئوری ورقهای کامپوزیتی و ساندویچی 8

2-2-1) برخورد در سازه‌های کامپوزیتی و ساندویچی 14

3-2-1) تئوریهای بسترالاستیک 24

3-1) فرض‌های پژوهش حاضر 29

4-1) اهداف کلی مورد نظر در پژوهش حاضر 30

فصل دوم

معادلات حاکم بر ارتعاشات آزاد ورق ساندویچی با هسته انعطاف‌پذیر 31

1-2) مقدمه 32

2-2) تعریف مسأله 33

3-2) تئوری‌های مورد استفاده در رویه‌ها و هسته 34

4-2) روش انرژی و اصل همیلتون 35

1-4-2) معادله تغییرات مرتبه اول انرژی پتانسیل 36

2-4-2) معادله تغییرات مرتبه اول انرژی حاصل از نیروهای خارجی 37

3-4-2) معادله تغییرات مرتبه اول انرژی جنبشی 38

5-2) شرایط سازگاری 41

6-2) سیستم معادلات 43

7-2) روابط ساختاری بین نیروها و گشتاورها و کرنشهای در رویه‌ها و هسته میانی 47

8-2) پاسخ دینامیکی ارتعاشات آزاد برای ورق با تکیه گاه ساده 50

9-2) نتایج ارتعاشات آزاد صفحه ساندویچی 52

فهرست

2-9-1) مثال اول: ارتعاشات آزاد ورق ساندویچی پنج لایه با تکیه گاه ساده 52

2-9-2) مثال دوم: ارتعاشات آزاد ورق ساندویچی هفت لایه با تکیه گاه ساده 53

فصل سوم

پاسخ دینامیکی ورق ساندویچی تحت بار ضربه‌ای با سرعت آرام 57

3-1) مقدمه 58

3-2) مدل‌های ارائه شده برای آنالیز ضربه با سرعت پایین 59

3-2-1) مکانیک برخورد 59

3-2-2) مدل توازن انرژی 60

3-2-3) مدل جرم و فنر 61

3-2-4) مدل‌های کامل 62

3-3) مدل پیشنهاد شده در این رساله برای تحلیل ضربه با سرعت پایین 63

3-4) پاسخ دینامیکی ورق ساندویچی با هسته انعطاف‌پذیر تحت بار ضربه‌ای با سرعت پایین به کمک مدل معادل جرم – فنر دو درجه آزادی 64

3-4-1) محاسبه مقادیر سفتی و جرم مدل دو درجه آزادی 67

3-4-2) روابط تکمیلی برای ضربه با جرم کوچک 70

3-5) نتایج حاصل از آنالیز دینامیکی ورق ساندویچی تحت بار ضربه‌ای با سرعت پایین 70

3-5-1) مثال اول: پاسخ دینامیکی ورق ساندویچی با رویه‌های کامپوزیتی و با هسته میانی الاستیک و انعطاف پذیر تحت بار ضربه‌ای با جرم بزرگ 71

3-5-2) مثال دوم: تاثیر پارامترهای ضربه‌زننده بر نیروی برخورد 74

3-5-2-1) پارامتر سرعت اولیه ضربه‌زننده 74

3-5-2-2) پارامتر جرم ضربه زننده 76

3-5-2-3) پارامتر شعاع کره ضربه‌زننده 76

3-5-3) مثال سوم: بررسی تاثیر تغییرات پارامترهای مختلف ورق روی پاسخ دینامیکی ورق ساندویچی تحت بار ضربه ای با سرعت پایین 79

فهرست

3-5-1) تأثیر تغییرات a/h ورق بر روی F_{max} و W_{max} 79

3-5-2) تأثیر تغییرات h_c/h ورق بر روی F_{max} و W_{max} 81

3-5-3) تأثیر تغییرات a/b ورق بر روی F_{max} و W_{max} 83

فصل چهارم

بررسی اثر بستر الاستیک برپاسخ دینامیکی ورق ساندویچی تحت بار ضربه‌ای با سرعت آرام 86

4-1) مقدمه 87

4-2) مدل های ارائه شده برای بستر الاستیک 87

4-2-1) مدل یک پارامتری وینکلر 88

4-2-2) مدل دو پارامتری پاسترناک 88

4-2-3) مدل غیر خطی 89

4-3) مدل پیشنهاد شده در این رساله برای بستر الاستیک 89

4-3-1) تأثیر بستر الاستیک در معادلات حاکم ورق ساندویچی 90

4-3-2) مقادیر بی بعد مدول عمودی و برشی بستر الاستیک 93

4-4) نتایج حاصل از آنالیز دینامیکی ورق ساندویچی با بستر الاستیک 93

4-4-1) مثال اول: بررسی ارتعاشات آزاد یک ورق از جنس مس با بستر الاستیک 93

4-4-2) مثال دوم: بررسی تغییرات $\overline{\omega_{11}}$ یک ورق با بسترالاستیک با تغییر K_w و K_g 96

4-4-3) مثال سوم: بررسی تغییرات Fmax و Wmax یک ورق با بسترالاستیک با تغییر K_w و K_g 98

نتیجه‌گیری و پیشنهاد ادامه کار 104

پیوست ها 108

پیوست الف 109

پیوست ب 111

مراجع و منابع 135

فهرست جداول

جدول 2-1 : مقایسه فرکانس‌های طبیعی مربوط به ورق پنج لایه 53

جدول 2-2 : فرکانس‌های طبیعی بی بعد مربوط به ورق ساندویچی هفت لایه کامپوزیتی [0/90/0/core/0/90/0] 55

جدول 2-3 : فرکانس‌های طبیعی بی بعد مربوط به ورق ساندویچی هفت لایه کامپوزیتی [45/-45/45/core/-45/45/-45] 55

جدول 3-1: خواص هندسی و مکانیکی ورق ساندویچی 72

جدول 3-2: اثر نسبت طول به ضخامت ورق (a/h) روی فرکانس طبیعی پایه، بیشینه نیرو زمان برخورد و بیشینه خیز ورق ساندویچی 79

جدول 3-3: اثر نسبت ضخامت هسته به ضخامت ورق $\left(h_c/h\right)$ روی فرکانس طبیعی پایه، بیشینه نیرو زمان برخورد و بیشینه نفوذ ضربه زننده در وسط رویه بالایی 82

جدول 3-4: اثر نسبت طول به عرض ورق $\left(a/b\right)$ روی فرکانس طبیعی پایه، بیشینه نیرو و زمان برخورد و بیشینه نفوذ ضربه زننده در وسط رویه بالایی 84

جدول 4-1: تغییرات فرکانس طبیعی پایه بی‌بعد با تغییرات مدول‌های عمودی و برشی فونداسیون پاسترناک 94

جدول 4-2: تغییرات فرکانس طبیعی پایه بی‌بعد با تغییرات مدول‌های عمودی و برشی بی‌بعد 95

فهرست شکل‌ها

شکل 2-1 : ورق ساندویچی مستطیلی با دو رویه چند لایه کامپوزیتی و هسته میانی انعطاف-پذیر 33

شکل 3-1: مدل جرم و فنر دو درجه آزادی 64

شکل 3-2: ورق ساندویچی تحت بار ضربه‌ای آرام 65

شکل 3-3: اثر انرژی ضربه زننده روی تابع نیروی برخورد 73

شکل 3-4 :اثر انرژی ضربه زننده روی خیز در وسط رویه بالایی 73

شکل 3-5: تأثیر سرعت اولیه ضربه زننده بر نیروی برخورد 75

شکل 3-6: تأثیر سرعت اولیه ضربه زننده بر خیز در وسط رویه بالایی 75

شکل 3-7: تأثیر جرم ضربه زننده بر نیروی برخورد 77

شکل 3-8: تأثیر جرم ضربه زننده بر خیز در وسط رویه بالایی 77

شکل 3-9: تأثیر تغییر شعاع ضربه زننده بر تابع نیروی برخورد 78

شکل 3-10: تأثیر تغییر شعاع ضربه زننده بر خیز در وسط رویه بالایی 78

شکل 3-11: اثر نسبت طول به ضخامت ورق (a/h) روی بیشینه نیروی برخورد 80

شکل 3-12: اثر نسبت طول به ضخامت ورق (a/h) روی بیشینه خیز در وسط رویه بالایی 80

شکل 3-13: اثر نسبت ضخامت هسته به ضخامت ورق $\left(h_c/h\right)$ روی بیشینه نیروی برخورد 82

شکل 3-14: اثر نسبت ضخامت هسته به ضخامت ورق $\left(h_c/h\right)$ روی بیشینه خیز در وسط رویه بالایی 83

شکل 3-15: اثر نسبت طول به عرض ورق $\left(a/b\right)$ روی تابع نیروی برخورد 84

شکل 3-16: اثر نسبت طول به عرض ورق $\left(a/b\right)$ روی بیشینه خیز در وسط رویه بالایی 85

شکل 4-1: مدل پاسترناک برای نمایش ورق روی بستر الاستیک 90

شکل4-2: تغییرات فرکانس طبیعی پایه بی‌بعد ورق ساندویچی با تغییرات مدول برشی عرضی بستر الاستیک 97

شکل4-3: تغییرات فرکانس طبیعی پایه بی‌بعد ورق ساندویچی با تغییرات مدول برشی عمودی بستر الاستیک 97
شکل 4-4: تأثیر تغییرات مدول برشی K_g بر نیروی برخورد (K_w = 100) 98
شکل 4-5: تأثیر تغییرات مدول برشی K_g بر خیز در مرکز ورق ساندویچی K_w = 100 99
شکل 4-6: تأثیر تغییرات K_g درK_wهای مختلف بر بیشینه نیروی برخورد 99
شکل4-7: تأثیر تغییرات K_g در K_w های مختلف بر بیشینه خیزدر مرکز ورق ساندویچی 100
شکل 4-8: تأثر تغییرات مدول عمودی K_w بر نیروی برخورد (K_g = 100) 101
شکل 4-9: تأثیر تغییرات مدول عمودی K_w بر خیز مرکز ورق ساندویچی K_g = 100 101
شکل 4-10: تأثیر تغییرات K_w در K_gهای مختلف بر بیشینه نیروی برخورد 102
شکل 4-11: تأثیرتغییرات K_w در K_gهای مختلف بر بیشینه خیزدرمرکز ورق ساندویچی 103

فهرست علائم و اختصارات

طول و عرض ورق ساندویچی	a,b
ضرایب سری فوریه	Cmn
مدول الاستیک مؤثر ضربه زننده	E_I
دانسیته نیروی عکس العمل فونداسیون بر واحد سطح	f_{e}
تابع نیروی برخورد	$F(t)$
ماکزیمم نیروی برخورد	F_{max}
ضخامت رویه‌های بالایی، پایینی، هسته میانی و کل ورق ساندویچی	h_t,h_b,h_c,h
سفتی قانون برخورد خطی و غیر خطی هرتز	K_c, K_c^*
سفتی جایگزین قانون برخورد خطی برای جرم کوچک	K_c^{**}
سفتی مربوط به تغییر شکل کلی سازه	K_g
مدول برشی عرضی بستر الاستیک	k_{g}
مدول فنری عمودی بستر الاستیک	k_{w}
ماتریس سفتی ورق ساندویچی	$[K]$
جرم ضربه زننده	m_I
ممانهای برشی و خمشی در واحد طول لبه	M_{xx},M_{yy},M_{xy}
جرم مؤثر پنل	M_{eff}^{p}
جرم کل پنل	M_{tot}
ماتریس جرمی ورق	$[M]$
نیروهای صفحه‌ای بر واحد طول لبه	N_{xx},N_{yy},N_{xy}
نیروهای برشی در واحد طول	Q_{xz},Q_{yz}
شعاع ضربه زننده	R_I
بازه زمانی	t_2-t_1
انرژی جنبشی	T

مولفه‌های تغییر مکان در هسته میانی	u_c,v_c,w_c
مولفه‌های تغییر مکان در رویه بالایی	u_t,v_t,w_t
مولفه‌های تغییر مکان در رویه پایینی	u_b,v_b,w_b
مولفه‌های شتاب در هسته میانی	$\ddot{u}_c, \ddot{v}_c, \ddot{w}_c$
مولفه‌های شتاب در رویه بالایی	$\ddot{u}_t, \ddot{v}_t, \ddot{w}_t$
مولفه‌های شتاب در رویه پایینی	$\ddot{u}_b, \ddot{v}_b, \ddot{w}_b$
انرژی پتانسیل داخلی	U
انرژی کرنشی فونداسیون الاستیک	U_{f}
انرژی خارجی	V
سرعت اولیه ضربه‌زننده	V_0
مختصات قائم در رویه‌ها و هسته میانی	z_t,z_b,z_c
تغییر شکل نسبی در محل برخورد	$\alpha(t)$
حداکثر تغییر شکل تماس برای جرم کوچک	δ_m
توابع تغییر مکان عرضی در مدلهای جرم - فنر	Δ_1, Δ_2
ضریب پواسون عرضی ورق در جهت ضخامت	ν_2
ضریب پواسون ضربه زننده	ν_1
دانسیته رویه‌ها و هسته میانی	ρ_t , ρ_b , ρ_c
تنشهای نرمال در هسته میانی	σ_{zz}^c
تنشهای نرمال صفحه‌ای در هسته میانی	$\sigma_{xx}^c, \sigma_{yy}^c$
تنشهای برشی در هسته میانی	τ_{xz}^c, τ_{yz}^c
تنش برشی صفحهای در هسته میانی	τ_{xy}^c
سرعت زاویه‌ای مربوط به فرکانس طبیعی اول ورق	ω_{11}
چرخشهای مقاطع عرضی حول محورهای طول و عرض ورق ساندویچی	ψ_x, ψ_y

فصل اول

مقدمه و مروری بر کارهای انجام شده

1-1)مقدمه

صفحات ساندویچی جدید سبک هستند و دارای استحکام بالایی به نسبت وزن آنها می‌باشند و امروزه در صنایع هوا و فضا، دریایی، حمل و نقل و مهندسی عمران و غیره کاربرد دارند. سازه ساندویچی شامل دو رویه نازک، سفت و محکم است که به هسته‌ای سبک و ضخیم با مدول کوچک بوسیله اتصالات چسبی محکم شده‌اند تا سازه‌ای خیلی سبک و مستحکم بدست آید . در بیشتر موارد رویه‌ها بارهای صفحه‌ای و خمشی را تحمل می‌کنند، در حالیکه هسته در برابر بارهای برشی مقاومت می‌کنند.

یک سازه ساندویچی مانند یک تیر I شکل عمل می‌کند با این تفاوت که هسته سازه ساندویچی از ماده‌ای متفاوت است و همانند تکیه‌گاه پیوسته‌ای برای صفحات رویه‌ها می‌باشد. مهمترین مزیت یک سازه ساندویچی نسبت سفتی خمشی به وزن بالا در مقایسه با دیگر سازه‌ها است. در نتیجه سازه‌های ساندویچی تغییر شکلهای جانبی کمتر، مقاومت کمانشی بیشتر و فرکانسهای طبیعی بزرگتر نسبت به سایر سازه‌ها دارا می‌باشند. معایب سازه‌های ساندویچی مواردی چون روشهای ساخت، کنترل کیفیت و دشواری‌های مربوط به اتصال دادن لایه‌ها می‌باشند.

اولین بار در اوایل قرن 19 ایده‌ی استفاده از دو رویه که با فاصله‌ای جدا شده‌اند بوجود آمد. این روش ابتدا در هنگام جنگ جهانی دوم بصورت تجاری در هواپیماها به کار برده شد. تعدادی

از اولین کارهای آزمایشگاهی و تئوری روی سازه‌های ساندویچی در دهه‌ی 1940 چاپ شدند. پس از آن کاربرد و استفاده از سازه‌های ساندویچی به سرعت افزایش یافت. نیاز به سازه‌های با وزن کم و عملکرد بالا باعث شد که مطالعه در مورد ساختارهای ساندویچی ادامه یابد. با افزایش کاربرد و استفاده از سازه‌های ساندویچی در صنعت، موضوعاتی مهمی نظیر مقاومت ضربه، بهینه سازی، خستگی و شکست باید مورد بررسی قرار گیرد. بخاطر دشواری بدست آوردن راه‌حلهای فرم بسته برای معادلات دیفرانسیل حاکم بر ورقهای ساندویچی، روش المان محدود نیز بعنوان ابزاری که در تحلیل ورق کاربرد زیادی دارد، مورد استفاده قرار می‌گیرد.

مهمترین جزء سازه ساندویچی، هسته آن می‌باشد. ماده هسته باید خصوصیاتی نظیر چگالی کم برای هرچه کمترکردن وزن سازه و مدول یانگ عمودی بالا برای ممانعت از تغییر شکل بیش از اندازه در راستای ضخامت و کاهش سریع سفتی خمشی داشته باشد. اگرچه نیروی عرضی، تنشهای نرمال عمود بر هسته که معمولاً کوچک هستند را تولید می‌کند، حتی کاهش کوچکی در ضخامت هسته می‌تواند کاهش زیادی در سفتی خمشی بوجود آورد. در مورد بارهای ضربه‌ای در جاییکه نیروی برخورد روی ناحیه کوچک عمل می‌کند، این مورد می‌تواند تعیین کننده باشد. هسته معمولا تحت تنشهای برشی عرضی قرار می‌گیرد. کرنشهای برشی هسته به تغییر شکل کلی و تنشهای برشی هسته کمک می‌کند. بنابراین یک هسته باید طوری انتخاب شود که تحت بار عرضی وارده وامانده نشود و مدول برشی به حد کافی بزرگ داشته باشد تا سفتی برشی مورد نیاز را تأمین کند. عملکردهای دیگر نظیر عایق حرارتی و صوتی بیشتر وابسته به ماده هسته و ضخامت آن است.

مواد هسته در شکلهای مختلف برای کاربردهای مختلف تولید می‌شوند. برخی نمونه‌های رایج شامل هسته‌های فومی یا فلزی[1]، هسته‌های لانه زنبوری[2]، هسته‌های بافته شده[3] و هسته‌های از

1- Metalic Foam
2- Honeycomb
3- Web Cores

شبکه‌های خرپایی[4] و هسته‌های منشوری[5] می‌باشد. هسته‌های لانه زنبوری استحکام برشی و نسبت سختی به وزن بالاتری دارند، اما باید از چسبیدن آن به رویه‌ها اطمینان کافی بدست آورد. فرم‌های ترموپلاستیک متخلخل با چگالی بالا نظیر پلی‌وینیل‌کلراید (PVC) و پلی اورتان (PUR) نسبت سختی به وزن بالایی در حد هسته‌های لانه زنبوری ندارند، اما مزایایی همچون ارزان‌تر بودن، پیوستگی در مقیاس ماکروسکوپیک، ساده‌تر بودن چسبانیدن سطح فوم به رویه‌ها و عایق صوتی و حرارتی بسیار مناسب دارند. سازه ساندویچی با هسته فوم فلزی نیز مزایای متعددی دارد. آنها می‌توانند با سطح کامل ساخته شوند، نیاز برای لایه چسبنده از بین می‌رود، می‌توانند به اشکال منحنی درآیند و خواص آنها نزدیک به ایزوتروپیک است.

برخورد اجسام خارجی نظیر افتادن ابزار، برخورد پرندگان، تگرگ و سنگریزه‌های باند فرودگاه می‌توانند باعث به وجود آمدن خسارت شوند و به طور قابل ملاحظه‌ای استحکام سازه ساندویچی را کاهش دهند. برخلاف ورقهای فلزی، پیش‌بینی اثرات خسارت ضربه با سرعت پایین بر ساختارهای ساندویچی دشوار است، زیرا سطوح انرژی ضربه کمتر از مقدار لازم جهت بوجود آوردن خسارت قابل رویت سطح خارجی است، اما خسارت داخلی قابل توجهی بوجود می‌آید.

در پژوهش حاضر ضربه با سرعت آرام بوسیله ضربه زننده با سرعت پایین بررسی می‌شود. در اینجا رفتار سازه با درنظر گرفتن اینکه سازه تحت بارگذاری شبه استاتیکی است، تحلیل می‌شود. ضربه هم باعث تغییر شکل کلی و هم تغییر شکل موضعی در ورق می‌شود. معمولا اگر بار روی رویه بالا وارد شود، رویه تحتانی تغییر شکل کلی را تحمل می‌کند، بنابراین مدلهای زیادی برای از بین بردن تغییر فرم کلی و تمرکز تحقیق روی اثرات موضعی، فرض می‌کنند رویه پایینی ثابت شده است.

عوامل مختلفی می‌توانند روی اثر موضعی میدان تنش نفوذ[6] تأثیر بگذارند. مواردی چون مدول الاستیسته و ضخامت ورق رویه، چگالی و ضخامت هسته از این عوامل هستند. یکی از

4- Lattice Truss Cores
5- Prismatic Cores
6- Indentation

عوامل که بر رفتار سازه تحت ضربه زننده تاثیر می‌گذارد سختی رویه است. برای رویه‌های انعطاف‌پذیر تغییر فرم موضعی در زیر ناحیه ضربه‌زننده یا بار وجود دارد، در حالیکه رویه‌های خیلی سخت و محکم بار را پخش می‌کنند، معمولا واماندگی موضعی در هسته شروع می‌شود و باعث فشرده شدن یا خردشدن هسته، جدایی و در نتیجه کاهش قابل توجه استحکام سازه ساندویچی می‌شود.

قوانین تماس یا رابطه بین نیروی تماس و نفوذ یا فشردگی هسته یا جابجایی نسبی ضربه زننده و ورق برای نفوذ سازه ساندویچی بطور قابل توجهی از قوانین موجود برای لمینیت‌های یکپارچه متفاوت و معمولا غیرخطی می‌باشند. در سازه ساندویچی نفوذ بوسیله رفتار ماده‌ی هسته کنترل می‌شود. به طوریکه با افزایش تنشهای برشی و فشاری، پدیده خرد شدن رخ می‌دهد. تنش فشاری در جهت عرضی در تمام ضخامت یکنواخت نیست و نباید فقط این تنش برای تخمین شروع واماندگی هسته درنظر گرفته شود. یکی از دشواری‌های مساله برخورد، جابجایی سطح تحت نیرو یا سطح تماس نامعلوم اولیه توزیع فشاری می‌باشد.

از مشکلات اساسی در سازه‌های ساندویچی، می‌توان به مقاومت کم محل اتصال و استحکام پایین در سطوح اتصال اشاره کردکه در اکثر موارد سبب بوجود آمدن پدیده جدایش بین رویه‌ها و هسته خواهد شد. همچنین به علت اختلاف زیاد در سختی بین رویه‌ها و هسته این بارگذاری‌ها تنش‌های برشی عرضی متمرکزی را تولید می‌کند که به تشکیل تورق[7] در وجه مشترک رویه و هسته کمک می‌کند و در نهایت منجر به واماندگی سازه می‌شود.

یک راه کاهش تمرکز تنش در وجه مشترک ، تغییر تدریجی خواص سختی در وجه مشترک هسته و رویه با به کارگیری FGM[8]ها به جای هسته ایزوتروپیک است.

استفاده از ورقهای مختلف بر روی بسترالاستیک با شکلها و اندازه‌ها و ضخامت‌ها و شرایط مرزی مختلف کاربرد بسیاری در مهندسی دارند. این نوع ساختارها نقش مهمی در صنایع هوا

[7]-Delamination
[8]-Functionally Graded Material