برای موضوع پیشنهادی پایان نامه، رفتار ارتعاشی یک میکروپانل ساندویچی میکرو مخروطی با هسته فوم و لایه‌های کامپوزیت پلاکتی گرافن تقویت‌شده در بالا و پایین که بر پایه‌های الاستیک بر اساس تئوری تنش زوج اصلاح‌شده قرار دارند، مورد بررسی قرار می‌گیرد. از اصل همیلتون برای تعیین معادلات حاکم بر حرکت استفاده می‌شود. این معادلات با روش ناویر برای به دست آوردن فرکانس های طبیعی حل می‌شوند. به منظور اعتبار سنجی نیز نتایج در صورت امکان با نتایج استخراج شده توسط سایر مقالات مقایسه می‌شوند. در غیر اینصورت، با استفاده از روش اجزا محدود و کمک گرفتن از نرم افزار انسیس[[1]](#footnote-1) یا آباکوس[[2]](#footnote-2) نیز مسئله شبیه سازی و تحلیل می شود و نتایج تحلیلی و عددی با هم مقایسه می گردند. با انجام یک مطالععه پارامتری، اثرات پارامترهای مختلف بر فرکانس‌های طبیعی بررسی می‌گرد. همین تحلیل زیر که برای ساندویچ پنل استوانه ای بوده برای یک میکروپانل ساندویچی میکرو مخروطی با هسته فوم و لایه‌های کامپوزیت پلاکتی گرافن تقویت‌شده در بالا و پایین که بر پایه‌های الاستیک بر اساس تئوری تنش زوج اصلاح‌شده قرار دارند در نظر گرفته شود.

یک ساندویچ پنل استوانه ای دارای دیواره ضخیم با هسته فومی و لایه های تقویت شده با GPL مورد بررسی قرار گرفت و به صورت شماتیک در شکل 1 نشان داده شدکه مبتنی بر فونداسیون ارتجاعی با Kw و KG است. شعاع لایه ها و هسته به ترتیب Ri و Rc ، طول پنل L، ضخامت لایه ها و هسته hi و hc، زاویه چرخشی پنل با f نمایش داده شده است. با استفاده از سیستم مختصات استوانه ای (x,f,z) ، مؤلفه های جابه جایی پنل پوسته استوانه ای مورد ملاحظه قرار گرفته است.



شکل 1-.شماتیک ساندویچ پانل میکرو استوانه ای تقویت شده توسط صفحات گرافنی که روی پایه های الاستیک قرار دارند.

2-1 خصوصیات مواد

بر اساس قانون اختلاط برای GPL، خواص مکانیکی پنل ساندویچی استوانه ای چند لایه در جدول 1 نشان داده شده است.

مدول یانگ معادل، مدول برشی، دانسیته و نسبت پواسون برای ترکیبی از سه فاز مختلف نانوکامپوزیت شامل GLP، ماتریس و فیبرهای مبتنی بر قاعده اختلاط تعمیم یافته به دست آمد.

 (1a)

 (1b)

 (1c)

 (2a)

 2

 (2c)

E11\_Gpl ، E22\_Gpl و G12\_Gpl به ترتیب مدول برشی و یانگ GPL هستند. Em و Gm مدول یانگ و برشی ماتریس هستند.

جدول 1- خواص مکانیکی لایه های مرکب پنل ساندویچی استوانه ای

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Carbon (فیبر کربنی) | Epoxy (ماتریس اپوکسی) | Graphene platelet(گرافن) |
|  |  |  |
|  GPa |  |  1807 GPa |
|  GPa |  1150 |  |
|  |  |  |
|  1750  |  |  |
|  |  |  14.76 nm |
|  |  | .188 nm |
|  |  |  I4.77 nm |

 Vf و Vmgpl کسر حجمی فیبر و ماتریس نانوکامپوزیت هستند که توسط فرمول مرتبط شده اند که در آن p دانسیته جرمی است، به ماتریس : Vm = 1 — VGpl — Vf اشاره دارد.hGpl ،  lGplwGplبه ترتیب ضخامت مؤثر، طول و عرض GPL را نشان می دهد.

که در آن η1 ، η2 و η3 پارامترهای مؤثر بر طبق جدول 2 هستند.

γ11 ، γ22، γ12 به صورت زیر تعریف می شوند:

 (3)

همچنین دانسیته جرمی و ضریب پواسون برای پنل ساندویچی تقویت شده با GPL به صورت زیر است:

 (4a)

 (4b)

دانسیته جرمی معادل و ضریب پواسون ᵥ به صورت زیر است:

 (4c)

 (4d)

2-2 تغییر شکل برشی مرتبه بالاتر ساندویچ پنل

به کار گیری HSDT برای ساندویچ پنل ضروری است که قادر است انعطاف پذیری هسته را مورد ملاحظه قرار دهد. بدین ترتیب میدان های جابه جایی HSDT برای پنل استوانه ای ساندویچی کوچک به صورت زیر بیان شده است.

 (5a)

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |
| 0.03 | 2.929 | 2.855 | 11.842 |
| 0.07 | 3.013 | 2.966 | 23.575 |
| 0.11 | 2.311 | 2.260 | 32.125 |

جدول 2- پارامترهای بازده η1، η2 و η3 پنل ساندویچی استوانه ای تقویت شده توسط صفحات گرافنی

در اینجا، i را می توان به صورت t، c و b برای بالا، هسته و پایین تعیین کرد.

در یک ناحیه کاملاً چسبیده، شرایط انطباق کامل بین ورقه های رویه و هسته طوری مقرر گردیده که به صورت زیر است.

(5b)

روابط سینماتیکی برای پنل ساندویچی به صورت زیر است:

(6)

,

روابط مرکب برای یک پنل ساندویچ استوانه ای به صورت زیر تعریف شده است:

(7a)

Cij ضرایب سختی هستند که می توان به صورت زیر نوشت:

 (7b)

معادلات حاکم بر پنل ساندویچی کوچک

اصل همیلتون برای پنل ساندویچی کوچک به صورت زیر تعریف شده است:

 (8)

که در آن U و T انرژی های جنبشی و کرنشی هستند. علاوه بر این، کار خارجی ناشی از فونداسیون ارتجاعی توسط W نشان داده شده است. انرژی کرنشی برای پنل ساندویچی استوانه ای کوچک مبتنی بر MCST به صورت زیر در نظر گرفته شده است:

 (9)

تغییر انرژی کرنشی برای پنل ساندویچی کوچک به صورت زیر است:

(10a)

تنسور تنش کوپل به صورت زیر است:

 (10b)

که در آن G و lm مدول تنشی و پارامتر مقیاس طول ماده هستند. تنسور تنش به صورت زیر تعریف شده است:

(10c)

با توجه به پنل ساندویچی نانوکامپوزیت، انرژی جنبشی به صورت زیر تعریف می شود:

dzdA (11)

که در آن u، v و w میدان های جابه جایی در این معادله هستند.

به سبب فونداسیون ارتجاعی، تغییر کار خارجی به صورت زیر حاصل می شود:

(12a)

که در آن:

 (12b)

که در آن kG و kW مدول برشیپاسترناک و وینکلر پایه ارتجاعی را نشان می دهد وعملگر لاپلاس به صورت ۲∇ بیان می شود.

بر اساس معادلات 10a و 11 و 12a و اصل همیلتون، معادلات حرکت در پیوست 1 نشان داده شده است.

I، N، M، G که در معادلات حرکت موجود در پیوست 1 مورد استفاده قرار گرفته به صورت زیر تعریف می شوند:

 (13a)

 (13b)

 (13c)

 (13d)

 (13e)

برای یک پنل ساندویچی کوچک استوانه ای، روش ناویر برای تعیین متغییرهای جابه جایی مورد استفاده قرار می گیرد تا به سهولت شرایط مرزی را تحت پشتیبانی قرار دهد. بنابراین، متغییرهای جابه جایی به صورت زیر تعریف شده اند:

 (14)

که در آن m و n به ترتیب اعداد موج پیرامونی بوده و U ، V، W و ω بیشینه مقادیر فرکانس جابه جایی و طبیعی هستند.

به منظور حصول فرکانس های طبیعی پنل استوانه ای، معادله (15) با جایگذاری معادله (14) حل می گردد.

همچنین M و K ماتریس های جرمی و سختی هستند که در پیوست 2 آورده شده اند.

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| حالت  | مقاله حاضر | پورمؤید و همکاران | خطا% | حالت  | مقاله حاضر | پورمؤید و همکاران | خطا% |
| 1, 2 | 16.11 | 16.39 | 1.708 | 1, 1 | 417 | 405 | 2.9629 |
| 1, 3 | 16. 14 | 16.44 | 1.824 | 1, 2 | 343 | 375 | 8.5333 |
| 1, 4 | 20.22 | 21 | 3.714 | 2, 3 | 619 | 680 | 8.9705 |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 1, 5 | 26.81 | 27.11 | I. I06 |

جدول 3- فرکانس طبیعی ابعادی و غیر ابعادی یک ساندویچ پانل استوانه ای

|  |
| --- |
|  |
|  |  | Barati and Zenkour (2019) | Loy et al. (I997) | Ke et al. (2014) | Present work |
| 0.05 | 1 |  |  |  |  |
|  | 2 | 0.00938 | 0.009382 |  | 0.0096 |
|  | 3 |  |  |  |  |
|  | 4 | 0.04208 | 0.042095 | 0.04209 | 0.0365 |

جدول 4- مقایسه پارامتر فرکانس برای پوسته استوانه ای ماکروسکوپی به سادگی پشتیبانی می شود.

 ).

|  |  |
| --- | --- |
| Core | Face sheet |
|  |  (GPa) |
|  |  (GPa) |
|  (GPa) |  |
|  |  (GPa) |
|  |  |
|  I 30  |  I.34 (GPa) |
|  |  |

1. Ansys [↑](#footnote-ref-1)
2. Abaqus [↑](#footnote-ref-2)