



بررسی توزیع تنش، کرنش و جابه‌جایی برای مدهای مختلف کمانش با استفاده از نرم‌افزار امان محدود

ANSYS-Workbench

¹عزام ناظم الشیبانی؛ ^{2*}سید علیرضا موسوی شیرازی

¹دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب، دانشکده فنی، گروه مهندسی مکانیک- تبدیل انرژی (تحصیلات تکمیلی)

²دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب، دانشکده فنی، گروه فیزیک

چکیده

با توجه به اهمیت نانولوله‌های کربنی، در این تحقیق، پس از ورود به محیط نرم‌افزاری تحلیل کمانش، به بررسی توزیع تنش، کرنش، جابه‌جایی و بار بحرانی برای مدهای مختلف کمانش با استفاده از نرم‌افزار امان محدود ANSYS-Workbench پرداخته می‌شود. در این محیط نرم‌افزاری، می‌توان تعداد مدهای مورد نظر برای تحلیل را انتخاب نموده و توزیع تنش، کرنش و جابه‌جایی برای هر یک از این مدها را به صورت جداگانه مورد بررسی قرار داد. از این تحقیق نتیجه‌گیری می‌شود که با رخ دادن مود اول کمانش، در حالتیکه تکیه‌گاه‌ها همگی از نوع گیردار باشند، در صورت رخ دادن مود دوم کمانش، سازه می‌تواند به راحتی به مدهای دیگر برسد. همچنین با بررسی نتایج و مقایسه آن با حالت تکیه‌گاه ساده می‌توان پی برد که افزایش ضریب اطمینان بار برای حالت تکیه‌گاه گیردار نسبت به تکیه‌گاه ساده بیشتر است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که سازه در این حالت نسبت به کمانش مقاومتر است.

کلمات کلیدی: امان محدود، تنش، کرنش، کمانش، نانولوله کربنی.

۱- مقدمه

نانولوله‌های کربنی اساساً به دو دسته تقسیم می‌شوند: نانولوله‌های کربنی تک جداره و نانولوله‌های کربنی چند جداره. علیرغم اشتراک آشکار، این دو گروه، به دلیل تفاوت‌های ساختاری، خواص فیزیکی متفاوتی با یکدیگر دارند. مهمترین

¹دانشجوی کارشناسی ارشد

^{2*}استادیار و عضو هیات علمی

*Email: alireza.mousavishirazi@gmail.com

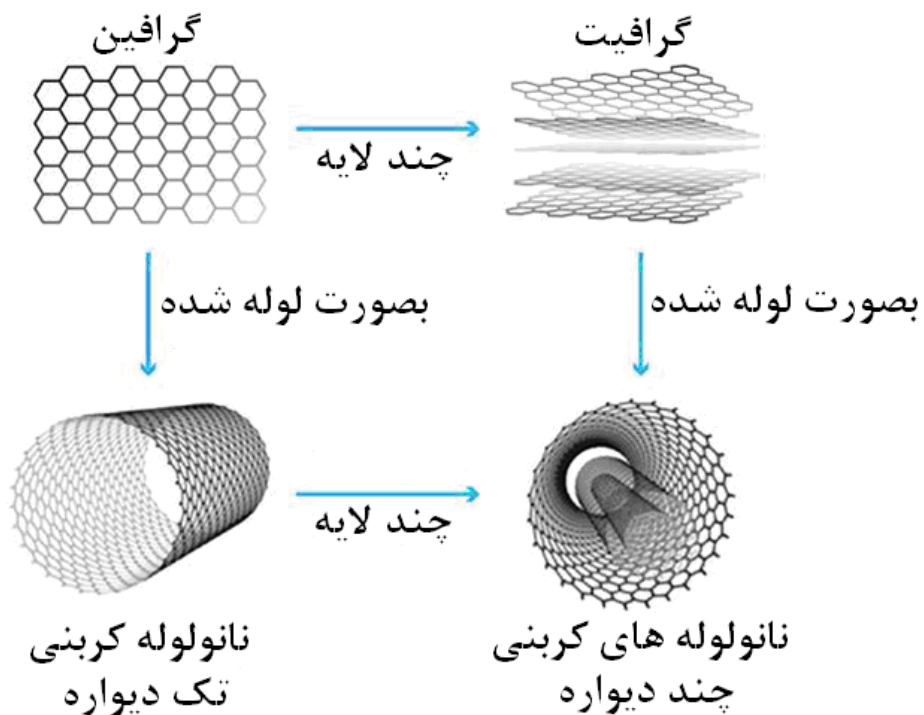
ویژگی که نانولوله‌های کربنی تک جداره را متمایز می‌کند این است که دیواره نانولوله تنها از یک لایه گرافین تشکیل شده است. به عبارت دیگر، نانولوله‌های کربنی تک جداره را می‌توان به صورت صفحات گرافین توصیف کرد که به طور یکپارچه به هم پیچیده شده و استوانه‌های توخالی را تشکیل می‌دهند. به همین دلیل است که اغلب از آنها به عنوان نانولوله‌های گرافین یاد می‌شود. کاهش مقاومت الکتریکی نانولوله‌ها به مواد بستگی به دوز، طول آنها و نسبت نانولوله‌های رسانا در بین مقدار کلی نانولوله‌ها دارد. تغلیظ با نانولوله کربنی تک جداره‌ها باعث می‌شود کسر نانولوله‌های رسانا تقریباً سه برابر افزایش یابد [۱]. برای کامپوزیت‌های جامد، ذرات نیتريد آلومینیوم به عنوان پرکننده برای افزایش هدایت حرارتی اپوکسی و ماتریس پلی آمید استفاده می‌شود [2].

اخیراً گزارش شده است که ذرات جامد کمتر ساینده (مانند نیتريد بور) هدایت حرارتی ماتریس پلیمری را به طور قابل توجهی افزایش می‌دهد [3]. به موازات توسعه در کامپوزیت‌های جامد، مایع پراکنده شده با نانوذرات جامد (که "نانو سیالات" نامیده می‌شوند) نشان داده شده است که رسانایی حرارتی بسیار بالاتری را در مقایسه با سیالات پایه حتی برای بارگذاری ذرات بسیار کم نشان می‌دهد [4]. نتایج نشان می‌دهد که نانولوله‌ها ممکن است در تعدادی از کاربردهای عملی مورد استفاده قرار گیرند. پیشرفت‌های زیادی در تکنیک‌های سنتز صورت گرفته است که اکنون می‌توانند نانولوله‌های خالص نسبتاً خالص را در مقادیر گرم تولید کنند [5]. مطالعات روابط ساختار-توپولوژی-ویژگی در نانولوله‌ها به شدت توسط مدلسازی نظری پشتیبانی شده و در برخی موارد قبل از آن انجام شده است که به گسترش سریع این زمینه کمک کرده است. نانولوله‌های کربنی شبه یک بعدی، لوله‌های کاملاً مستقیم با قطرهایی در اندازه نانومتر و خواص نزدیک به فیبر گرافیت ایده‌آل هستند [6].

مشاهدات و تجزیه و تحلیل او از ساختار نانولوله، مسیر جدیدی را در تحقیقات کربن آغاز کرد که تکمیل کننده فعالیت‌های رایج در تحقیقات فولرن بود. به نظر می‌رسد این لوله‌های کوچک کربنی با استحکام باورنکردنی و ویژگی‌های الکترونیکی شگفت‌انگیز، آماده سبقت گرفتن از فولرن‌ها در رقابت به بازار فناوری هستند. این ساختار، توپولوژی و اندازه نانولوله‌ها است که خواص آنها را در مقایسه با ساختارهای اصلی مرتبط با گرافیت مسطح، مانند نمونه‌هایی که در الیاف کربن یافت می‌شوند، متمایز می‌کند [7].

۲- مواد و روش ها

برخلاف نانولوله‌های تک جداره، نانولوله‌های کربنی چند جداره را می‌توان به‌عنوان یک آرایش متحدالمرکز از نانولوله‌های کربنی تک جداره در نظر گرفت، یعنی متشکل از لایه‌های متعدد گرافین (که از آن‌ها به‌عنوان گرافیت هم نام برده می‌شود) که مطابق با شکل ۱ به‌طور یکپارچه به شکل لوله‌ای در هم پیچیده شده‌اند.

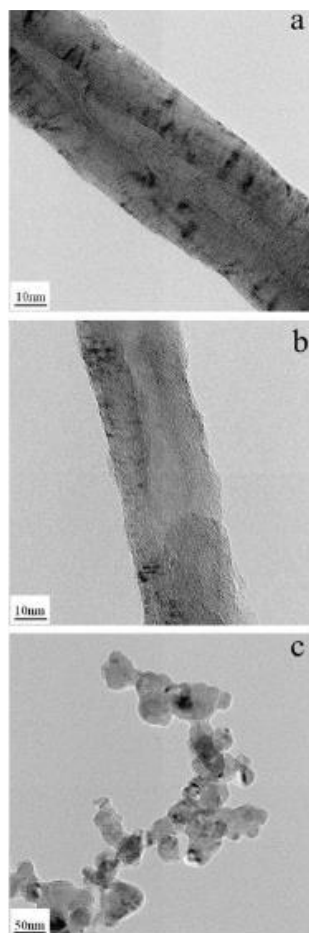


شکل ۱- مقایسه ساختارهای پایه ای تشکیل دهنده نانولوله های کربنی تک جداره و چند جداره

جدول ۱- مقایسه ساختارهای لایه‌ای کربنی [8]

نانولوله کربنی تک دیواره	گرافین	نانولوله کربنی چند دیواره	نانوگرافیت	گرافیت

مطابق شکل فوق، گرافیت مجموعه بزرگی از صفحات گرافین متعدد است و در واقع دانه های گرافین، پلاکت های کوچکی از گرافیت هستند. نانوغرافیت نیز گرافیت های چند لایه ای در مقیاس نانو هستند و دارای گروه های اکسیژن یا کاهش بیشتر شده اند. نانولوله کربنی چند جداره، یک آرایش متحدالمرکز از نانولوله های کربنی تک جداره هستند. این بدان معناست که لایه های متعدد گرافین به طور یکپارچه به یک ساختار لوله ای متحدالمرکز نورد شده است. گرافین در حقیقت یک ورقه یا تک لایه از اتم های کربن هستند که در یک شبکه لانه زنبوری شش ضلعی محکم شده اند. نانولوله کربنی تک جداره نیز یک لایه گرافین است که به طور یکپارچه به یک لوله تبدیل گردیده است.



شکل ۲- تصاویر میکروسکوپی شامل (a) نانولوله کربنی چند جداره، (b) نانولوله های کربنی چند جداره عامل دار شده با

پیوند تری اتیلن تترامین و (c) ذرات کربید سیلیکون اصلاح شده

ساختار یک نانولوله کربنی تک جداره ایده آل (بی‌نهایت طولانی) به شکل یک شبکه شش ضلعی منتظم است که روی یک سطح استوانه ای بی‌نهایت کشیده شده است، که رؤس آن موقعیت اتم های کربن است. از آنجایی که طول پیوندهای کربن و کربن نسبتاً ثابت است، لذا محدودیت‌هایی در قطر استوانه و آرایش اتم های بر روی آن وجود دارد. اولین داده‌ها برای رسانایی حرارتی لایه‌های نانوکامپوزیت نانولوله کربنی چند جداره مترکم و تراز شده برای طیفی از کسرهای حجمی نانولوله کربنی گزارش شده است [9].

ذرات در یک مدل eDPD موجودیت های دانه درشتی هستند که نشان دهنده تکه‌ای از مولکول‌ها هستند. این ذرات با جرم، موقعیت، سرعت، ظرفیت گرمایی و دما (انرژی داخلی) مشخص می‌شوند. برای سادگی ارائه، فرض می‌شود که همه ذرات دارای جرم و ظرفیت گرمایی یکسان هستند [10]. ذرات eDPD از طریق سه نوع نیرو با یکدیگر تعامل دارند. نیروی پایستار دافعه، نیروی اتلاف کننده که اختلاف سرعت بین ذرات را کاهش می‌دهد و نیروی تصادفی که در امتداد خط اتصال ذرات عمل می‌کند. علاوه بر این، ذرات eDPD انرژی را از طریق یک شار حرارتی تصادفی مبادله می‌کنند [11]. به منظور مدلسازی نانوکامپوزیت تقویت شده با نانولوله های کربنی که برای این پژوهش در نظر گرفته شده است، می‌بایست نخست، خواص ترمومکانیکی این نانوکامپوزیت مورد محاسبه قرار گیرد. پس از آن، با وارد کردن این خواص ترمومکانیکی در نرم افزار ANSYS-Workbench، می‌توان از آن‌ها به عنوان خواص ماده جدید برای انجام تحلیل استفاده کرد. برای محاسبه ویژگی‌های مکانیکی و حرارتی نانوکامپوزیت مورد نظر، تئوری‌های مختلفی توسط محققان ارائه شده است. از این میان، تئوری‌های هالپین تسای و چارپی اصلاح شده از معروفترین این تئوری‌ها هستند که مدول یانگ و ضریب انبساط طولی نانوکامپوزیت را به صورت زیر تعریف می‌کنند [12-14].

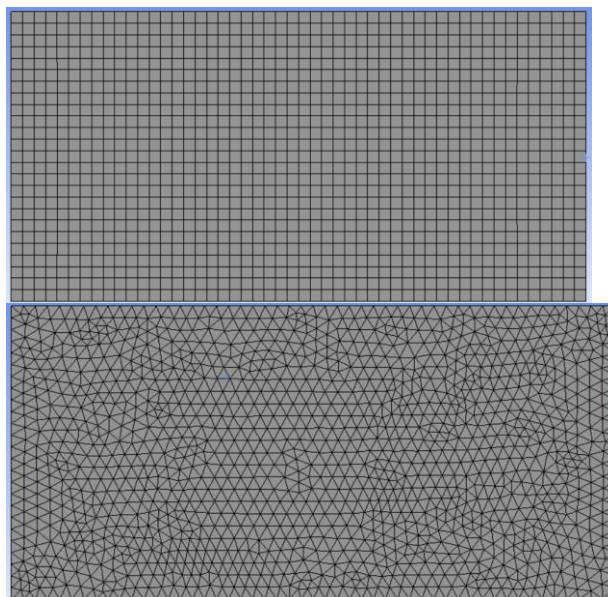
$$E_{CN} = E_m \left[\frac{3}{8} \left(\frac{1 + 2\xi\eta_L V_{CNT}}{1 - \eta_L V_{CNT}} \right) + \frac{5}{8} \left(\frac{1 + 2\eta_T V_{CNT}}{1 - \eta_T V_{CNT}} \right) \right]$$

$$\alpha_{NC} = \frac{1}{2} \left[\frac{E_{CNT} V_{CNT} \alpha_{CNT} + E_m V_m \alpha_m}{E_{CNT} V_{CNT} + E_m V_m} (1 - \nu_{CNT} V_{CNT} - \nu_m V_m) + (1 + \nu_m) \alpha_m V_m + (1 + \nu_{CNT}) \alpha_{CNT} V_{CNT} \right]$$

که در آن، E_{CN} عبارت است از مدول یانگ نانوکامپوزیت و E_m مدول یانگ فاز ماتریس را نمایش می‌دهد.

بطوریکه: ξ بیانگر نسبت طول به قطر نانولوله، η نشان دهنده ضریب بهره‌برداری، V_{CNT} تابع کسر حجمی نانولوله در کامپوزیت می‌باشد. ضریب انبساط طولی نانوکامپوزیت، α_{NC} نشان داده می‌شود در حالی که α_{CNT} بیانگر ضریب انبساط طولی نانولوله است. α_m نشان دهنده ضریب انبساط طولی فاز ماتریس هستند. همچنین V_{CNT} و ν_m به ترتیب ضریب پواسن نانولوله و فاز ماتریس می‌باشند.

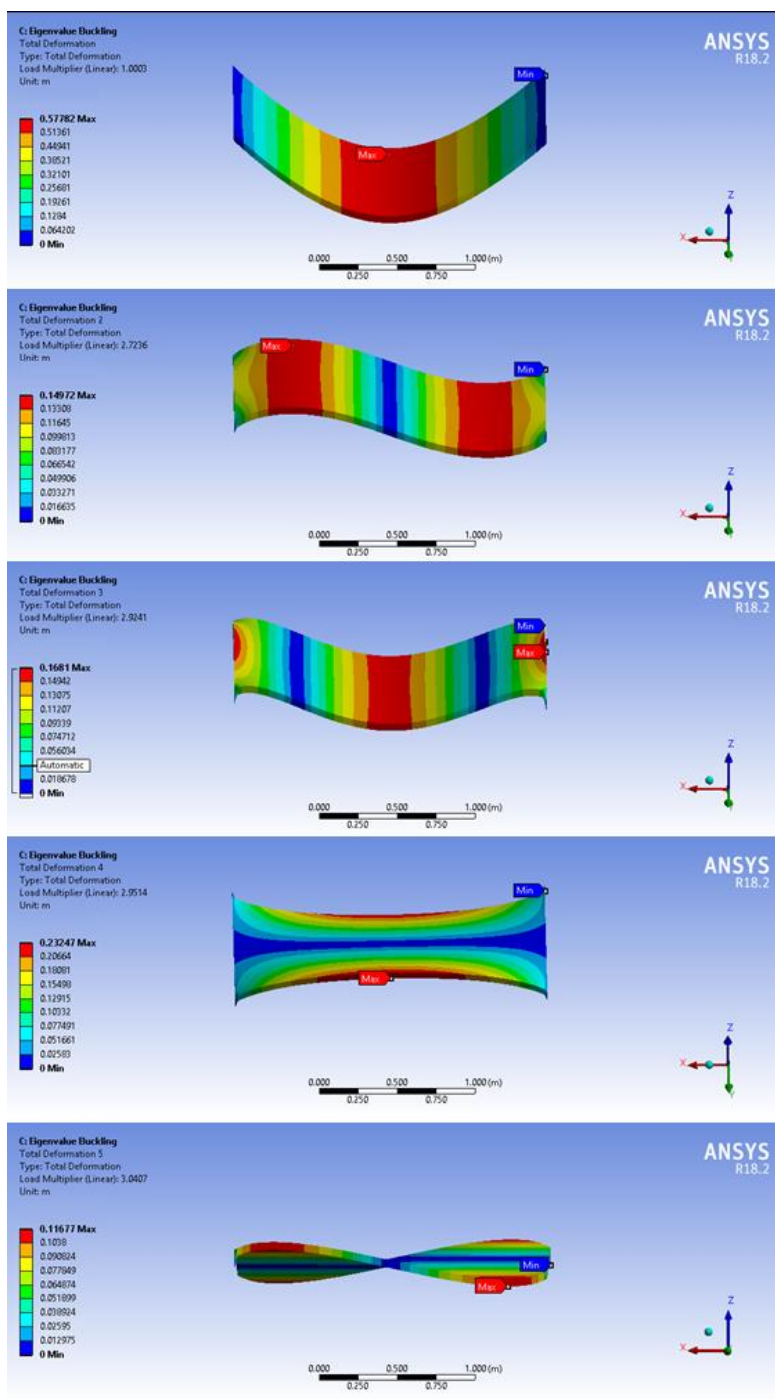
ابعاد ورق کامپوزیتی ۱۰۰۰×۵۰۰ میلیمتر و توزیع حرارت به صورت دوبعدی فرض شده است که اِمان مناسب جهت انجام تحلیل انتخاب خواهد شد.



شکل ۳- نمای ظاهری اِمان‌های مربعی و مثلثی

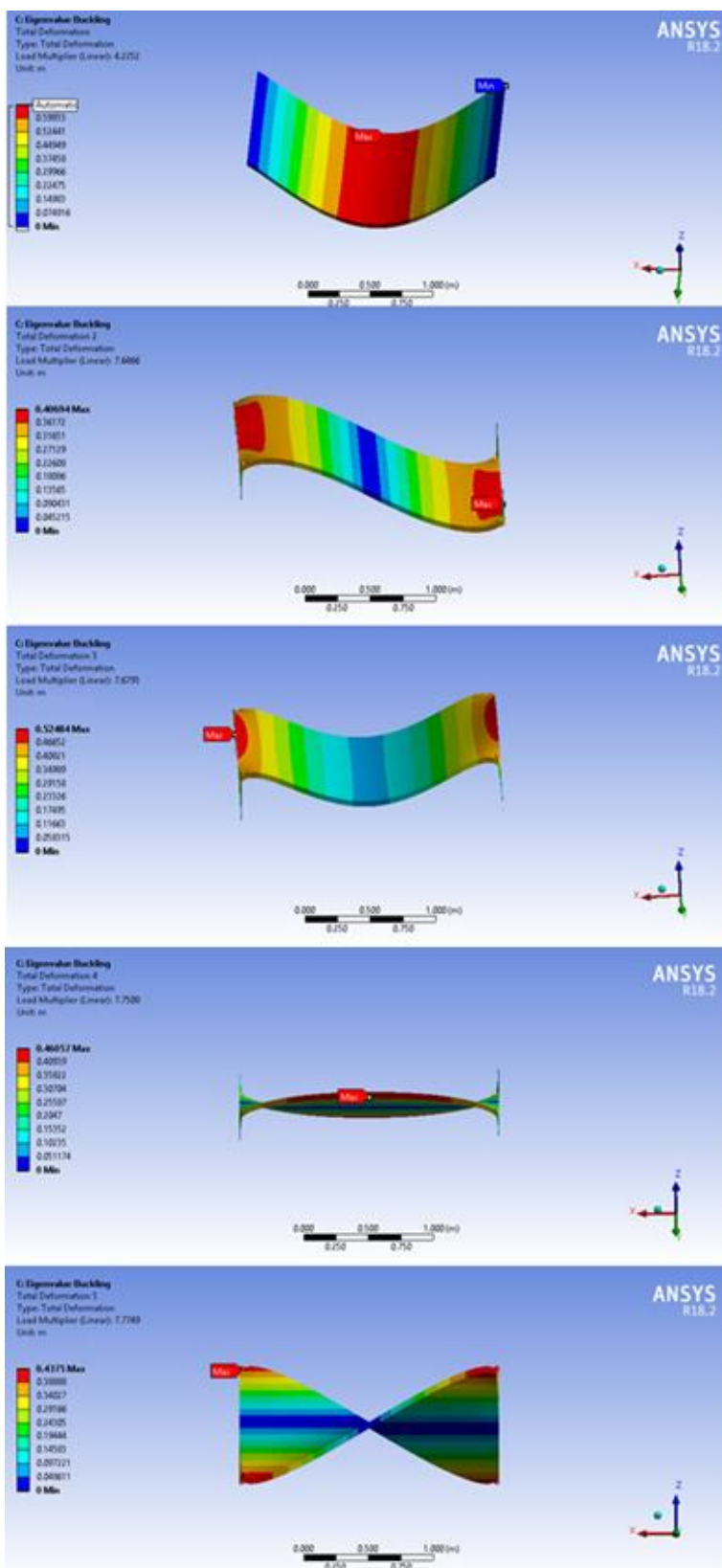
۳- نتایج و بحث

پس از ورود به محیط تحلیل کمانش، می‌توان به بررسی توزیع تنش، کرنش، جابه‌جایی و بار بحرانی برای مودهای مختلف کمانش با استفاده از نرم‌افزار ANSYS-Workbench پرداخت. در این محیط می‌توان تعداد مودهای مورد نظر برای تحلیل را انتخاب نموده و توزیع تنش، کرنش و جابه‌جایی برای هر یک از این مودها را به صورت جداگانه مطابق شکل ۴ مورد بررسی قرار داد. لذا توزیع جابه‌جایی و تغییر شکل ورق در مودهای اول تا پنجم کمانش در تحلیل اولیه و تحت شرایط تکیه گاهی ساده در شکل ۴ نشان داده شده است.

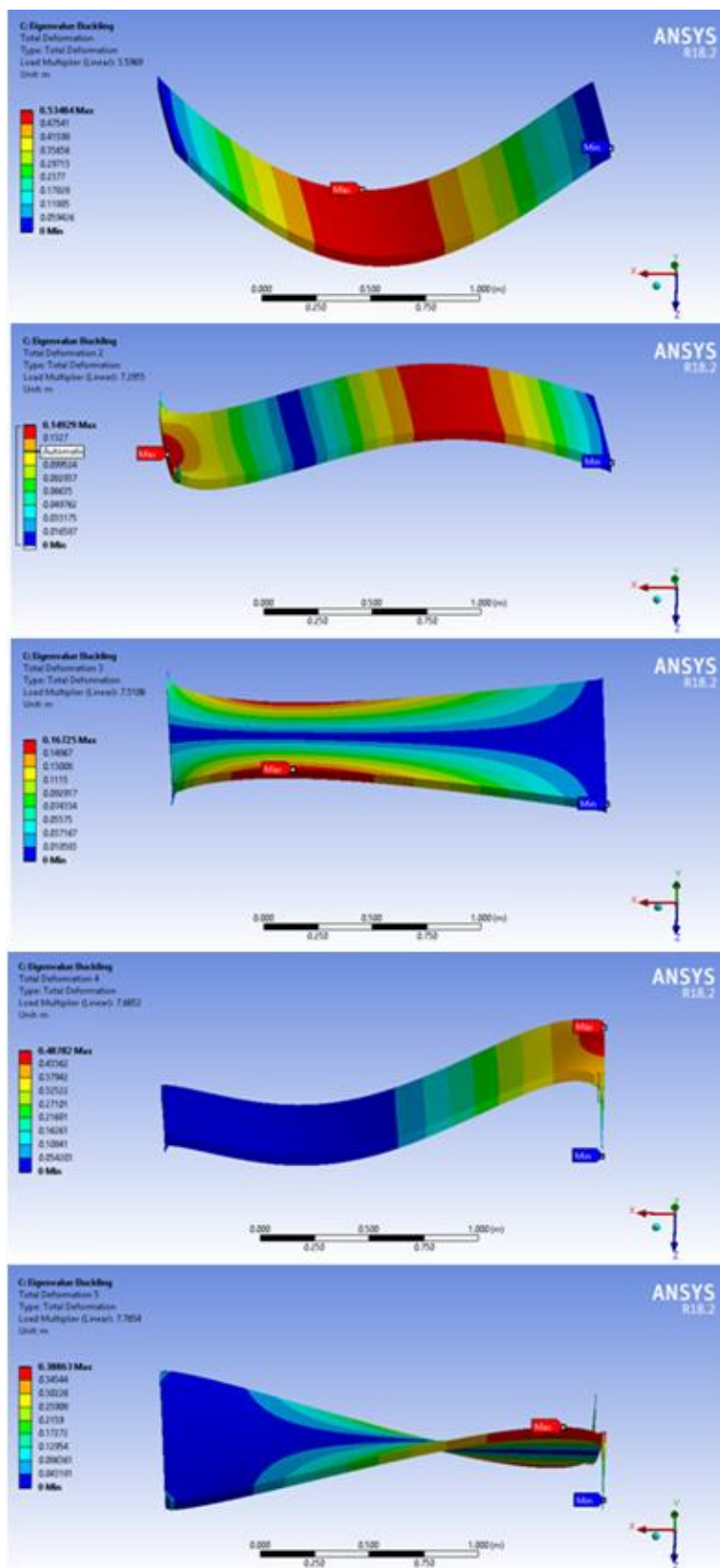


شکل ۴- نحوه تغییر شکل و جابجایی در مودهای اول تا پنجم کمانش تحت تکیه گاه ساده

همچنین در شکل ۵، مودهای اول تا پنجم ورق با تکیه گاه گیردار نمایش داده شده است.



شکل ۵- موده‌های اول تا پنجم کمانش ورق نانوکامپوزیتی تحت تکیه گاه گیردار



شکل ۶- موده‌های اول تا پنجم کمانش ورق نانوکامپوزیتی تحت تکیه گاه ساده-گیردار SCCS

۴- نتیجه گیری

از شکل‌های مستخرج نتیجه گیری می‌شود که با رخ دادن مود اول کمانش، در حالتیکه تکیه گاه‌ها همگی از نوع گیردار باشند، در صورت رخ دادن مود دوم کمانش، سازه می‌تواند به راحتی به مودهای دیگر برسد. همچنین با بررسی نتایج و مقایسه آن با حالت تکیه‌گاه ساده می‌توان پی برد که افزایش ضریب اطمینان بار برای حالت تکیه‌گاه گیردار نسبت به تکیه‌گاه ساده است و بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که سازه در این حالت نسبت به کمانش مقاومتر است.

مراجع

- [1] Incropera, Frank P., David P. DeWitt, Theodore L. Bergman, and Adrienne S. Lavine. *Fundamentals of heat and mass transfer*. Vol. 6. New York: Wiley, 1996.
- [2] Li, Lin, and D. D. L. Chung. "Thermally conducting polymer-matrix composites containing both AlN particles and SiC whiskers." *Journal of Electronic Materials* 23 (1994): 557-564.
- [3] Xu, Yunsheng, D. D. L. Chung, and Cathleen Mroz. "Thermally conducting aluminum nitride polymer-matrix composites." *Composites Part A: Applied science and manufacturing* 32, no. 12 (2001): 1749-1757.
- [4] Ng, Hsiao Yen, Soo Khim Lau, and Xuehong Lu. "Thermal conductivity, thermo-mechanical and rheological studies of boron nitride-filled polybutylene terephthalate." In *Materials Science Forum*, vol. 437, pp. 239-242. Trans Tech Publications Ltd, 2003.
- [5] Eastman, Jeffrey A., S. R. Phillpot, S. U. S. Choi, and P. Keblinski. "Thermal transport in nanofluids." *Annu. Rev. Mater. Res.* 34, no. 1 (2004): 219-246.
- [6] Keblinski, Pawel, Jeffrey A. Eastman, and David G. Cahill. "Nanofluids for thermal transport." *Materials today* 8, no. 6 (2005): 36-44.
- [7] Iijima, Sumio, M. Yudasaka, R. Yamada, S. Bandow, K. Suenaga, F. Kokai, and K. Takahashi. "Nano-aggregates of single-walled graphitic carbon nano-horns." *Chemical physics letters* 309, no. 3-4 (1999): 165-170.
- [8] Sinnott, Susan B., and Rodney Andrews. "Carbon nanotubes: synthesis, properties, and applications." *Critical reviews in solid state and materials sciences* 26, no. 3 (2001): 145-249.
- [9] Marconnet, Amy M., Namiko Yamamoto, Matthew A. Panzer, Brian L. Wardle, and Kenneth E. Goodson. "Thermal conduction in aligned carbon nanotube-polymer nanocomposites with high packing density." *ACS nano* 5, no. 6 (2011): 4818-4825.
- [10] Kim, Jin Ah, Dong Gi Seong, Tae Jin Kang, and Jae Ryoung Youn. "Effects of surface modification on rheological and mechanical properties of CNT/epoxy composites." *Carbon* 44, no. 10 (2006): 1898-190.
- [11] Mohammadimehr, Mehdi, H. B. Zarei, Ali Parakandeh, and Ali Ghorbanpour Arani. "Vibration analysis of double-bonded sandwich microplates with nanocomposite facesheets reinforced by symmetric and un-symmetric distributions of nanotubes under multi physical fields." *Struct. Eng. Mech* 64, no. 3 (2017): 361-379.

- [12] Ghasemi, Ahmad Reza, and Mohammad Mohammadi-Fesharaki. "Influence of different parameters on cured shapes and residual stresses of unsymmetric composite laminate reinforced by multi-wall carbon nanotubes." *Polymer Bulletin* 76, no. 11 (2019): 5751-5771.
- [13] Srivastava, V. K., and Shraddha Singh. "A micro-mechanical model for elastic modulus of multi-walled carbon nanotube/epoxy resin composites." *composites* 10 (2012): 12.
- [14] Hirsch, Teddy J. "Modulus of elasticity of concrete affected by elastic moduli of cement paste matrix and aggregate." In *Journal proceedings*, vol. 59, no. 3, pp. 427-452. 1962.