

شکل ۹: ضریب تغییرات فرکانس طبیعی نخست با فرض عدم قطعیت در مدول در جهت الیاف

Fig. 9. COV of first natural frequency considering tensile modulus uncertainty

فرکانس طبیعی نخست، اثرات اعمال هم‌زمان و تک‌تک عدم قطعیت‌های فوق در ضریب تغییرات فرکانس طبیعی برای ورق با نسبت ضلع به ضخامت ۱۰ در شکل ۱۳ ارائه شده است.

با بررسی ضریب تغییرات مشاهده می‌شود در بین پارامترها، عدم قطعیت چگالی و مدول‌های اصلی بیشترین اثرات را در عدم قطعیت فرکانس طبیعی دارند و پارامتر G_{23} کمترین اثرگذاری را نسبت به دیگر پارامترها داراست؛ بنابراین نیاز است برای بررسی قابلیت اطمینان سازه‌های کامپوزیتی به پراکندگی در مدول‌های اصلی و چگالی توجه ویژه شود.

۷- نتیجه‌گیری و جمع‌بندی

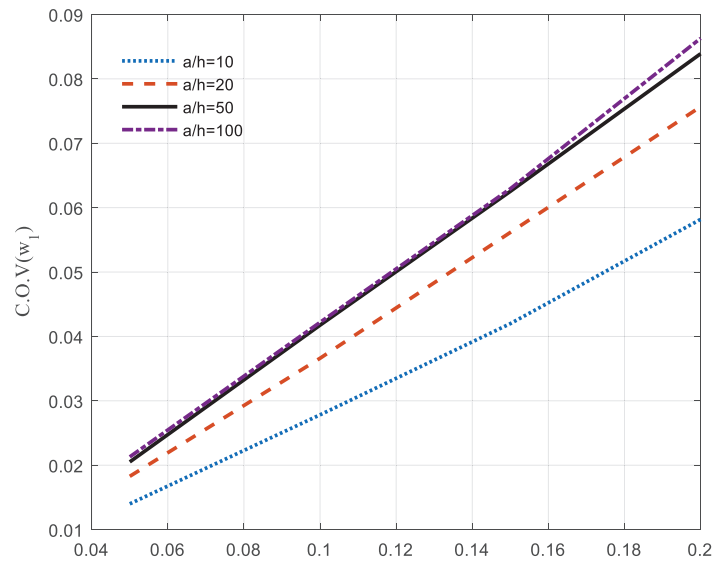
آنالیز عدم قطعیت در فرکانس طبیعی ورق کامپوزیتی با خواص تصادفی به‌صورت یک میدان تصادفی به کمک روش مونت‌کارلو بررسی شد. نتایج نشان می‌دهد رابطه‌ای خطی بین ضریب تغییرات فرکانس طبیعی و ضریب تغییرات متغیرهای تصادفی وجود دارد. حساسیت ضریب تغییرات فرکانس طبیعی نسبت به تغییرات در انحراف معیار پارامترهای تصادفی با کاهش ضخامت ورق، افزایش می‌یابد. همچنین اثرات عدم قطعیت در خواص فیزیکی و مکانیکی شامل چگالی، مدول کششی و مدول برشی بر عدم قطعیت در فرکانس طبیعی ورق، به‌صورت جداگانه و توأمان مطالعه شد.

مشاهده می‌شود که با کاهش ضخامت ورق، حساسیت اثرات عدم قطعیت در مدول کششی بر عدم قطعیت فرکانس طبیعی افزایش می‌یابد و این رفتار خطی است. در شکل ۱۰ پارامتر تصادفی مدول‌های برشی $G_{12} = G_{13}$ در نظر گرفته شده است.

با کاهش ضخامت ورق، حساسیت اثرات عدم قطعیت در مدول‌های برشی $G_{12} = G_{13}$ بر عدم قطعیت فرکانس طبیعی کاهش می‌یابد و رفتار نیز همچنان خطی است. با توجه به کاهش سهم انرژی پتانسیل ناشی از کرنش برشی با کاهش ضخامت ورق این مورد منطقی به نظر می‌رسد. در شکل ۱۱ پارامتر تصادفی مدول برشی G_{23} در نظر گرفته شده است.

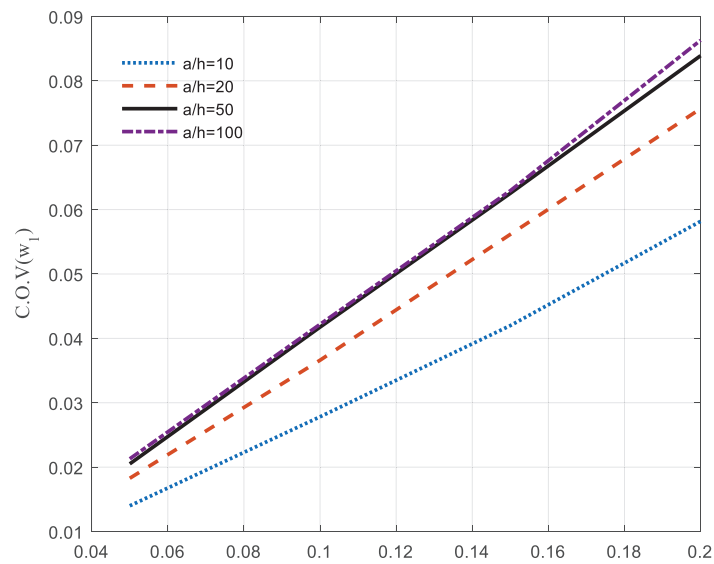
همان‌گونه که دیده می‌شود با کاهش ضخامت ورق، حساسیت اثرات عدم قطعیت بر عدم قطعیت فرکانس طبیعی کاهش می‌یابد و رفتار نیز همچنان خطی است در اینجا نیز می‌توان به کاهش سهم انرژی کرنشی برشی در ورق‌های نازک‌تر اشاره کرد. در شکل ۱۲ پارامتر تصادفی چگالی ورق در نظر گرفته شده است.

با تغییر ضخامت ورق، حساسیت اثرات عدم قطعیت در چگالی بر عدم قطعیت فرکانس طبیعی تغییر نمی‌کند و رفتار نیز همچنان خطی است. این موضوع به دلیل تناسب مستقیم ماتریس جرمی (انرژی جنبشی) با چگالی ورق است. به‌منظور مقایسه اثرگذاری هر یک از پارامترها در رشد عدم قطعیت



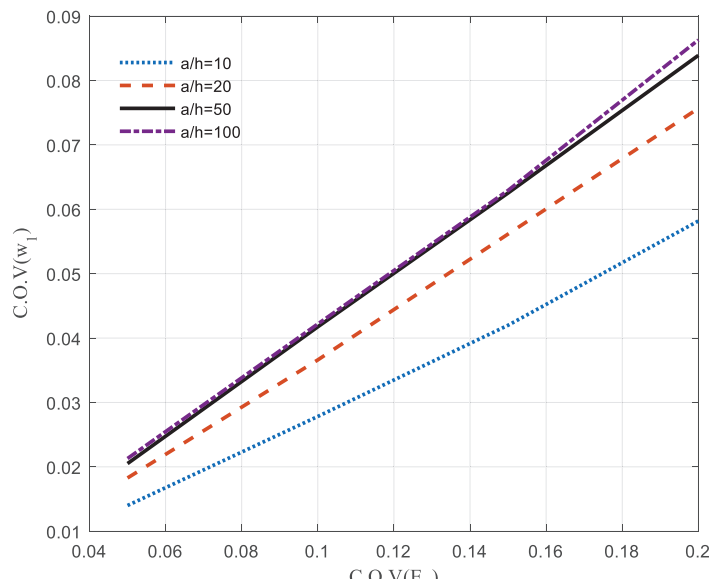
شکل ۱۰: ضریب تغییرات فرکانس طبیعی نخست با فرض عدم قطعیت در مدول برشی $G_{12} = G_{13}$

Fig. 10. COV of first natural frequency considering shear modulus ($G_{12} = G_{13}$) uncertainty



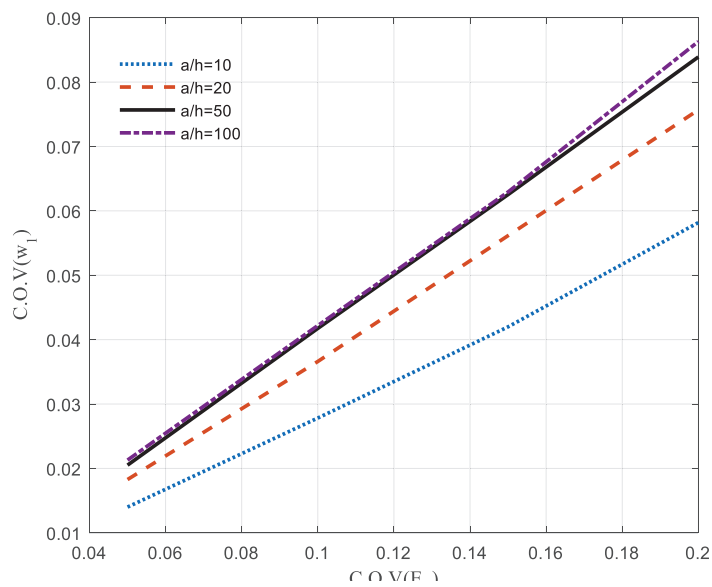
شکل ۱۱: ضریب تغییرات فرکانس طبیعی نخست با فرض عدم قطعیت در مدول برشی G_{23}

Fig. 11. COV of first natural frequency considering shear modulus (G_{23}) uncertainty



شکل ۱۲: ضریب تغییرات فرکانس طبیعی نخست با فرض عدم قطعیت در چگالی

Fig. 12. COV of first natural frequency considering density uncertainty



شکل ۱۳: مقایسه ضریب تغییرات فرکانس طبیعی نخست با فرض عدم قطعیت در متغیرهای تصادفی

Fig. 13. COV of first natural frequency considering uncertainty of random variables

x ، مشتق نسبت به x

بالانویس

E_1 وابستگی متغیر به مدول در جهت الیاف

مراجع

- [1] S. Salim, D. Yadav, N.J.M.R.C. Iyengar, Analysis of composite plates with random material characteristics, 20(5) (1993) 405-414.
- [2] B. Navaneetha Raj, N. Iyengar, D.J.A.C.M. Yadav, Response of composite plates with random material properties using FEM and Monte Carlo simulation, 7(3) (1998) 219-237.
- [3] A.K. Noor, J.H. Starnes Jr, J.M.J.C.S. Peters, Uncertainty analysis of stiffened composite panels, 51(2) (2001) 139-158.
- [4] A.K. Noor, J.H. Starnes Jr, J.M.J.C.m.i.a.m. Peters, engineering, Uncertainty analysis of composite structures, 185(2-4) (2000) 413-432.
- [5] C.C. António, L.N.J.R.E. Hoffbauer, S. Safety, Uncertainty analysis based on sensitivity applied to angle-ply composite structures, 92(10) (2007) 1353-1362.
- [6] P. Gayathri, K. Umesh, R.J.R.E. Ganguli, S. Safety, Effect of matrix cracking and material uncertainty on composite plates, 95(7) (2010) 716-728.
- [7] S.J.I.j.o.s. Lin, structures, Buckling failure analysis of random composite laminates subjected to random loads, 37(51) (2000) 7563-7576.
- [8] A. Lal, B. Singh, R.J.C. Kumar, Structures, Effects of random system properties on the thermal buckling analysis of laminated composite plates, 87(17-18) (2009) 1119-1128.
- [9] V.K. Verma, B.J.I.J.o.S.S. Singh, Dynamics, Thermal

نتایج نشان می‌دهد حساسیت فرکانس طبیعی به عدم قطعیت در پارامترهای تصادفی برای خواص مکانیکی در ضخامت‌های مختلف متفاوت است اما برای چگالی حساسیت یکسانی دیده می‌شود. همچنین در بین پارامترهای تصادفی چگالی و مدول کششی بیشترین تأثیر را در رشد عدم قطعیت فرکانس طبیعی دارند درحالی‌که مدول برشی G_{23} کمترین اثرگذاری را در عدم قطعیت در فرکانس طبیعی نشان می‌دهد بنابراین به‌منظور بررسی قابلیت اطمینان دینامیکی ورق‌های کامپوزیتی نیاز است عدم قطعیت در خواص خصوصاً چگالی و مدول کششی موردتوجه قرار گیرد.

تشکر و قدردانی

لازم می‌دانیم از حمایت‌های پژوهشگاه فضایی ایران به‌منظور انجام این تحقیق سپاسگزاری نماییم.

۸- فهرست علائم

علائم انگلیسی

E	مدول الاستیسیته، N/m^2
C	کرنل تابع خود ارتباطی
G	مدول برشی، N/m^2
H	همیلتونی
h	ضخامت ورق، m
I	ممان اینرسی، $m.kg^2$
l	طول خود ارتباطی، m
N	تابع درون‌یابی
Q	درایه ماتریس سفتی
q	مختصات تعمیم‌یافته
T	انرژی جنبشی
U	انرژی پتانسیل
u	جابجایی در راستای طول
v	جابجایی در راستای عرض
w	جابجایی در راستای ضخامت

علائم یونانی

γ	کرنش برشی برون صفحه‌ای
ξ	متغیر تصادفی استاندارد
ε	کرنش
Λ	درجات آزادی المان
ρ	چگالی، kg/m^3
σ	انحراف معیار
φ	دوران

زیرنویس

x در جهت x

1 جهت الیاف

2 جهت عمود بر الیاف

- S.J.C.P.B.E. Adhikari, Thermal uncertainty quantification in frequency responses of laminated composite plates, 80 (2015) 186-197.
- [20] A. Lal, B.J.C.M. Singh, Stochastic nonlinear free vibration of laminated composite plates resting on elastic foundation in thermal environments, 44(1) (2009) 15-29.
- [21] A. Lal, M.V. Tadvi, R. Kumar, Stochastic Thermal Free Vibration Response of Laminated Composite Plates Resting on Elastic Foundation with Uncertain Material Properties, in: 2008 First International Conference on Emerging Trends in Engineering and Technology, IEEE, 2008, pp. 754-757.
- [22] A. Lal, B. Singh, R.J.I.J.o.M.S. Kumar, Nonlinear free vibration of laminated composite plates on elastic foundation with random system properties, 50(7) (2008) 1203-1212.
- [23] K. Sepahvand, S. Marburg, On uncertainty quantification in sandwich structures with spatial random damping behavior, in: International Conference on Structural Dynamic, EURO DYN, 2014.
- [24] S. Adhikari, A.S.J.A.J. Phani, Random eigenvalue problems in structural dynamics: experimental investigations, 48(6) (2010) 1085-1097.
- [25] S. Adhikari, Free vibration analysis of angle-ply composite plates with uncertain properties, in: 17th AIAA Non-Deterministic Approaches Conference, 2015, pp. 1146.
- [26] S. Murugan, D. Harursampath, R.J.A.j. Ganguli, Material uncertainty propagation in helicopter nonlinear aeroelastic response and vibratory analysis, 46(9) (2008) 2332-2344.
- [27] S. Murugan, R. Chowdhury, S. Adhikari, M.J.A.S. Friswell, Technology, Helicopter aeroelastic analysis buckling of laminated composite plates with random geometric and material properties, 9(02) (2009) 187-211.
- [10] P.M. Pawar, S. Nam Jung, B.P.J.A.E. Ronge, A. Technology, Fuzzy approach for uncertainty analysis of thin walled composite beams, 84(1) (2012) 13-22.
- [11] B.N. Singh, N. Iyengar, D.J.J.o.e.m. Yadav, Effects of random material properties on buckling of composite plates, 127(9) (2001) 873-879.
- [12] P. Sasikumar, R. Suresh, S.J.A.M. Gupta, Stochastic finite element analysis of layered composite beams with spatially varying non-Gaussian inhomogeneities, 225(6) (2014) 1503-1522.
- [13] R. Rafiee, F. Reshadi, S.J.M. Eidi, Design, Stochastic analysis of functional failure pressures in glass fiber reinforced polyester pipes, 67 (2015) 422-427.
- [14] A.K. Onkar, D.J.C.S. Yadav, Forced nonlinear vibration of laminated composite plates with random material properties, 70(3) (2005) 334-342.
- [15] B. Singh, A. Bisht, M. Pandit, K.J.J.o.s. Shukla, vibration, Nonlinear free vibration analysis of composite plates with material uncertainties: A Monte Carlo simulation approach, 324(1-2) (2009) 126-138.
- [16] M.T. Piovan, J.M. Ramirez, R.J.C.S. Sampaio, Dynamics of thin-walled composite beams: Analysis of parametric uncertainties, 105 (2013) 14-28.
- [17] M.K. Pandit, B.N. Singh, A.H.J.J.o.A.E. Sheikh, Stochastic free vibration response of soft core sandwich plates using an improved higher-order zigzag theory, 23(1) (2009) 14-23.
- [18] S. Dey, T. Mukhopadhyay, H.H. Khodaparast, S.J.A.M. Adhikari, Stochastic natural frequency of composite conical shells, 226(8) (2015) 2537-2553.
- [19] S. Dey, T. Mukhopadhyay, S. Sahu, G. Li, H. Rabitz,

- 580-591.
- [32] S. Sriramula, M.K.J.S.S. Chryssanthopoulos, An experimental characterisation of spatial variability in GFRP composite panels, 42 (2013) 1-11.
- [33] R.G. Ghanem, P.D. Spanos, Stochastic finite element method: Response statistics, in: Stochastic finite elements: a spectral approach, Springer, 1991, pp. 101-119.
- [34] J.N. Reddy, Mechanics of laminated composite plates and shells: theory and analysis, CRC press, 2004.
- [35] H.-S. Shen, J.-J. Zheng, X.-L.J.C.S. Huang, Dynamic response of shear deformable laminated plates under thermomechanical loading and resting on elastic foundations, 60(1) (2003) 57-66.
- [36] B. Singh, D. Yadav, N.J.A.C.M. Iyengar, AC^o element for free vibration of composite plates with uncertain material properties, 11(4) (2002) 331-350.
- with spatially uncertain rotor blade properties, 16(1) (2012) 29-39.
- [28] A. Shaker, W.G. Abdelrahman, M. Tawfik, E.J.C.M. Sadek, Stochastic finite element analysis of the free vibration of laminated composite plates, 41(4) (2008) 493-501.
- [29] K. Sepahvand, S. Marburg, H.-J.J.J.o.S. Hardtke, Vibration, Stochastic free vibration of orthotropic plates using generalized polynomial chaos expansion, 331(1) (2012) 167-179.
- [30] K. Sepahvand, M. Scheffler, S.J.A.A. Marburg, Uncertainty quantification in natural frequencies and radiated acoustic power of composite plates: Analytical and experimental investigation, 87 (2015) 23-29.
- [31] K. Umesh, R.J.M.o.A.M. Ganguli, Structures, Material uncertainty effect on vibration control of smart composite plate using polynomial chaos expansion, 20(7) (2013)

