هفتمین کنفرانس بین‌المللی
مهندسی قابلیت اطمینان و ایمنی

بررسی تاثیر عدم قطعیت پارامترهای یک سازه کامپوزیتی بر روی آنالیز ریسک آن به روش ترکیبی مونت کارلو و پاسخ سطح

امین قارایی[۱]، حسین نجات بخش[۲] ، علی ایروانی[۳] و حمید ربیعیان نجف آبادی[۴]

۱- کارشناس ارشد مکانیک، شرکت صنایع هواپیماسازی ایران، اصفهان، ایران، amingharaei@gmail.com

۲- کارشناس ارشد مکانیک، شرکت صنایع هواپیماسازی ایران، اصفهان، ایران، hnejat91@gmail.com

۳- کارشناس ارشد مکانیک، شرکت صنایع هواپیماسازی ایران، اصفهان، ایران، iravaniali@gmail.com

۴- کارشناس ارشد مکانیک، شرکت صنایع هواپیماسازی ایران، اصفهان، ایران، hamidrab@gmail.com

چکیده

استفاده از سازه های کامپوزیتی بجای سازه های فلزی به دلیل سهولت ساخت و نسبت استحکام به وزن مطلوب آنها به امری متداول در صنایع هوایی تبدیل شده است. یکی از مسائل مطرح در این جایگزینی که مورد غفلت قرار گرفته است، عدم قطعیت های سازه های کامپوزیتی در مقایسه با سازه های فلزی است. این عدم قطعیت ها منجر به ایجاد ریسک هایی می شود که طراح و سازنده باید همواره مورد توجه قرار دهد. در این مقاله به بررسی تاثیر عدم قطعیت های سازه های کامپوزیتی پرداخته و آنالیز ریسک مربوط به آنها محاسبه شده است. عدم قطعیت هایی مانند تلرانس های قابل دستیابی هندسی، توزیع آماری مشخصات مکانیکی مواد کامپوزیت و دقت لایه چینی ساخت از جمله موارد قابل بررسی در این تحقیق محسوب می شوند. این متغیرها و عوامل می‌توانند منجر به ریسک ایمنی و عدم اطمینان سازه‌های کامپوزیتی شوند. این مقاله، به ارائه چارچوب ارزیابی قابلیت اطمینان جامعی برای یک سازه کامپوزیت چند لایه تحت فشار هیدرواستاتیک می‌پردازد. توسعه و تأیید سطح پاسخ، تعیین تابع عملکرد از نظر متغیرهای ورودی و خروجی تصادفی و کاربرد تطبیقی الگوریتم‌های ترکیبی، همچون شبیه سازی مونت کارلو و روش پاسخ سطح در این تحقیق مورد توجه قرار گرفته است. نتایج این پژوهش نشان دهنده حساسیت و اهمیت دقت پارامترهای ورودی بر روی نتایج است به طوری که تاثیر عدم قطعیت پارامترهای ورودی بر روی تنش ها و تغییر شکل ها قابل ملاحظه است و ریسک شکست یک سازه را به شدت تحت تاثیر قرار می دهد. بررسی عدم قطعیت متغیرهای تصادفی موثر بر تنش های صفحات کامپوزیتی موجب می شود تا طراح بتواند اهمیت پارامتر های مختلف را درک و بدون اعمال ضرایب ایمنی تنش های واقعی را ارزیابی نمود و مشخص کرد کدام پارامتر ها بیشترین تاثیر را بر روی نتایج دارند.

واژه‌های کلیدی: روش مونت کارلو- پاسخ سطح- عدم قطعیت – آنالیز ریسک- سازه کامپوزیتی- قابلیت اطمینان

مقدمه

استفاده از مواد کامپوزیتی به دلیل سهولت ساخت، نسبت استحکام به وزن بالا، امکان طراحی توزیع تنش ها با تغییر لایه چینی و سهولت تعمیر و نگهداری در سال های اخیر به شدت افزایش یافته است. افزایش استفاده و توجه قابل توجه به این مواد منجر به جهت دهی تحقیقات بسیاری در این حوزه شده است. از آنجایی که کاهش وزن همواره جزء دغدغه‌های طراحی سازه های هوایی بوده است، استفاده از مواد کامپوزیت در صنعت هوایی از رشد قابل ملاحظه ای برخوردار بوده است. یکی از حوزه های تحقیقاتی مواد کامپوزیت، قابلیت اطمینان آنها است. به‌منظور محاسبه قابلیت اطمینان یک سازه کامپوزیتی ابتدا بایستی عدم قطعیت های پارامترهای آن را به دقت مطالعه و رفتار مکانیکی سازه را در شرایط مرزی مختلف مورد تجزیه و تحلیل قرار داد. مدل ها و معیارهای معتبری از جمله مدل های شکست تسای–وو، هاشین، تامادا–

سان برای پیش بینی شکست سازه های کامپوزیت معرفی شده است که هر کدام به توصیف بخشی از رفتار سازه های کامپوزیتی در بارگذاری های مختلف می پردازد.

تحقیق درمورد کمّی‌سازی عدم قطعیت، بهینه‌سازی عملکرد ساختاری، و ارزیابی قابلیت اطمینان در پایش سلامت سازه‌ای امری ضروری و اجتناب ناپذیر است. ارزیابی قابلیت اطمینان مبتنی بر منطق فازی، برای تشخیص و ارزیابی آسیب بر اساس مدل‌های سازه‌ای موجود، توسعه داده شده است. بمنظور توسعه تکنیک ارزیابی قابلیت اطمینان برای تشخیص ترک در سازه‌های تحت بارهای خستگی تصادفی با زنجیره های مارکوف مرتبه اول، از یک استراتژی مبتنی بر روش آنتروپی متقاطع استفاده شد. برای ارزیابی عملکرد مواد در کاربردهای مهندسی، و حمایت از پایش وضعیت رفتار عملکردی مواد، روش‌هایی ایجاد شده‌اند[۱]. مشخص سازی قابلیت اطمینان مواد نیز، با ابزارهای آماری و استراتژی‌های آزمایش برای اجزای سازه‌ای و سیستم‌های مهندسی پیچیده ارائه شده‌اند. برای پیش‌بینی مقاومت فشاری نهایی صفحات کامپوزیت در فرآیند ارزیابی قابلیت اطمینان، از روش تحلیل شکست تدریجی استفاده شد. به منظور ایجاد تکنیک‌هایی برای مدل‌سازی استحکام براساس تنش و کرنش در توصیف رفتار چرخه‌ای بلندمدت، و شناسایی پارامترهای حاکم مبتنی بر داده‌های تجربی استاتیکی و خستگی بنیادین کامپوزیت‌ها، که قابلیت اطمینان با استفاده از آن‌ها پیش‌بینی می‌شد، آزمایشی صورت گرفت[۲].

در ارتباط با روش طراحی یکنواخت، برای پیش‌بینی احتمال شکست سازه‌ها، یک روش جدید پاسخ سطح مبتنی بر شبکه عصبی مصنوعی، ارائه شد. سطح پاسخ و شبکه عصبی مصنوعی برای تجزیه و تحلیل قابلیت اطمینان مورد استفاده قرار گرفتند، و با یک سری از رویکردهای سنتی دیگر مانند روش قابلیت اطمینان مرتبه اول*(FORM)، شبیه سازی مستقیم مونت کارلو و شبیه سازی مونت کارلو با تکنیک نمونه‌گیری تطبیقی با تابع حالت حدی دقیق، مقایسه شدند. سایر رویکردهای ترکیبی، مانند ترکیب روش‌های هوش مصنوعی در المان محدود نیز به کار رفته و اثربخشی خود را برای تجزیه و تحلیل قابلیت اطمینان ساختارهای کامپوزیت چند لایه نشان دادند[۳].

مشکل بهینه سازی ساختاری مواد کامپوزیتی چند لایه، با محدودیت قابلیت اطمینان، با استفاده از الگوریتم ژنتیک و شبکه‌های عصبی مورد بررسی قرار گرفت. با ادغام طراحی با الگوریتم ژنتیک مبتنی بر شبکه عصبی مصنوعی، تابع حالت حدی تقریب زده و احتمال شکست یک تیر کنسولی و یک سازه خرپایی تخمین زده شد. ماشین بردار پشتیبان برای رگرسیون مبتنی بر حداقل رسانی ریسک سازه‌ای، قابلیت‌های نویدبخشی همچون یادگیری نمونه کوچک و تعمیم و برتری نسبت به روش‌های سنتی را نشان داده، و برای طراحی قابلیت اطمینان در سازه‌های مهندسی اعمال شد[۴]. با بهینه‌سازی پارامترهای تابع حالت حد، و ایجاد یک مدل قابلیت اطمینان برای ماشینکاری NC، ماشین بردار پشتیبان برای تأیید اثربخشی آن مورد استفاده قرار گرفت. برای یک پل کابلی، یک روش رگرسیون بردار پشتیبان تطبیقی استفاده شد و قابلیت اطمینان آن مورد ارزیابی قرار گرفت. توابع اعداد فازی شهودی برای ایجاد تابع عضویت و تابع عدم عضویت قابلیت اطمینان سیستم فازی، محاسبه شد[۵]. برای ارزیابی قابلیت اطمینان یک شبکه توزیع، از یک رویکرد مبتنی بر دانش فازی استفاده شد. این رویکرد، ارزیابی مستقیمی از پیکربندی شبکه، پست توزیع، خط مشی تعمیر و نگهداری و آب و هوا انجام داد، و توانست با بیان این متغیرها به صورت ریاضی، با استفاده از منطق فازی، یک شاخص قابلیت اطمینان را به شبکه مورد نظر اختصاص دهد. یک مدل نامشخص ترکیبی، برای پرداختن به همه متغیرهای تصادفی پارامتر نامشخص ایجاد شده، و به بعضی از آن‌ها، به جای مقادیر دقیق، فواصل تغییرات داده شد. سپس همه استریپ‌های حالت حدی برای تجزیه و تحلیل قابلیت اطمینان در دو گروه مختلف خلاصه شدند[۶].

بعضی ابزارهای مفید در مرحله طراحی را می‌توان به عنوان ابزار اجتناب از خطا در نظر گرفت که به دو روش کلی زیر هستند: پایین به بالا و بالا به پایین. در روش‌های بالا به پایین، موفقیت رویداد واحد، یا سیستم نامطلوب باید در بالاترین سطح مورد نظر (رویداد برتر) تعریف شود، سپس، علل کمک‌کننده آن رویداد در همه سطوح، شناسایی و بررسی می‌شوند. روش رویداد محور، از بالاترین سطح مورد نظر تا سطوح متوالی پایین‌تر، شروع می‌شود. این روش در مرحله مفهومی اولیه طراحی سیستم، مفید است و برای ارزیابی خرابی‌های متعدد از جمله خرابی‌های متوالی مرتبط و رویدادهای علت مشترک به کار می‌رود، روش‌های بالا به پایین عبارتند از: آنالیز درخت عیب (FTA)؛ بلوک دیاگرام قابلیت اطمینان (RBD) و تحلیل مارکوف[۷].

* First-Order Reliability Method
† Fault tree analysis
‡ Reliability block diagram

طراحی پایین به بالا، شروع به شناسایی حالت‌های خطا در سطح مؤلفه می‌کند، برای هر حالت خطا تأثیر مربوطه بر عملکرد سطح سیستم بالاتر بعدی، استنتاج شده، اثر خطای بدست آمده به حالت خطا در سطح سیستم بالاتر بعدی تبدیل می شود، و از این رو، در تکرارهای متوالی، منجر به شناسایی نهایی اثرات خطا در همه سطوح عملکردی تا سطح سیستم خواهد شد. روش‌های پایین به بالا که در شناسایی همه حالت‌های خطای واحد سخت‌گیرند و در ابتدا ممکن است کیفی باشند، عبارتند از: تحلیل درخت رویداد[§](ETA)؛ تجزیه و تحلیل حالت و اثر شکست*(FMEA)، مطالعه عملیات و خطر†(HAZOP)، سیستم‌های مکانیکی بار –ریسک و تجزیه و تحلیل شکست مقاومت تنش[۸].

ابزارهای فوق در چند برنامه واقعی به کار می‌روند تا نشان دهند که چگونه می‌توان از آن به عنوان تجزیه و تحلیل قابلیت اطمینان برای ضبط هولتر مصارف خانگی استفاده کرد، و همچنین، با استفاده از نرم‌افزار Relex ، یک تحلیل حالت شکست و اثر برای کمک به سازنده در طراحی محصولی بهتر ارائه شد. یک چارچوب مدل‌سازی و شبیه‌سازی بر اساس درخت هدف، درخت موفقیت و نمودار منطقی اصلی برای مدل سازی روابط بین اجزا و توابع در یک سیستم توربین بادی، و تأثیر عوامل و مکانیسم‌های مؤثر بر خرابی اجزا، پیشنهاد شده‌است[۹].

مفهوم تنش–مقاومت (S-S) در دستگاه‌های مهندسی، یکی از عوامل تعیین‌کننده خرابی دستگاه‌ها بوده است. تعریف عوامل و فاکتورهای ایمنی برای عمر طولانی‌تر سیستم‌ها بر حسب استحکام ذاتی آن‌ها، و تنش خارجی تجربه شده توسط سیستم‌ها، مرسوم بوده است. یکی از نقاط ضعف اصلی این است که در مورد تنش‌های متعدد، و به‌ویژه زمانی که بین دو یا چند تنش تعامل یا همبستگی وجود دارد، ریاضیات حل مسأله می‌تواند بسیار درگیر شود، و نیازمند ابزارهای کامپیوتری ریاضی حرفه‌ای است. نقطه ضعف دیگر، فرض اشتباه در مورد توزیع یک یا چند متغیر تصادفی است که به نوبه خود می‌تواند منجر به نتیجه‌گیری اشتباه گردد[۱۰].

همانطور که عنوان شد، شناسایی آسیب، شناسایی پارامتر و شناسایی سیستم مرتبط با قابلیت اطمینان با استفاده از رویکردهای مختلف مورد مطالعه قرار گرفته، و همه این تحقیقات به اهمیت تحلیل قابلیت اطمینان در زمینه‌های مختلف تحقیقاتی اشاره دارند. در بخش زیر نظریه پایه قابلیت اطمینان، و کاربرد آن در ساختار کامپوزیت چند لایه، تحت ساختار توزیع شده ارائه می شود، و رویکرد پاسخ سطحی برای ارائه تابع عملکرد معرفی خواهد شد، و بر اساس JC، شبیه‌سازی مونت کارلو، شبکه عصبی مصنوعی، و نظریه تصادفی فازی به کار رفته، و تجزیه و تحلیل قابلیت اطمینان انجام خواهد شد و از طریق آن نقاط ضعف روش S-S مورد پردازش قرار می‌گیرند. بررسی عدم قطعیت متغیرهای تصادفی موثر بر تنش های صفحات کامپوزیتی موجب می شود تا طراح بتواند اهمیت پارامتر های مختلف را درک و بدون اعمال ضرایب ایمنی تنش های واقعی را ارزیابی نماید. در این مقاله با استفاده از روشهای نمونه برداری و تحلیل عدم قطعیت، اهمیت و حساسیت پارامترهای مختلف ورودی مشخص گردید. با استفاده از نتایج مقاله میتوان مشخص نمود کدام پارامتر ها بیشترین تاثیر را بر روی نتایج دارند و با دقت بیشتر این پارامتر ها را تعیین نمود.

محاسبه قابلیت اطمینان سازه های کامپوزیتی

چنانچه پارامترهای تصادفی در تحلیل قابلیت اطمینان یک سازه را با $X=(X_1,X_2,\dots X_n)^T$ نشان دهیم، آنگاه می توان تابع عملکرد را به صورت رابطه (۱) نشان داد [۴]:

$$Z = g(X) = g(X_1.X_2 \dots X_n) = R - S \qquad (۱)$$

در این رابطه R متغیر مقاومت و S متغیر تنش سازه است. سازه هنگامی قابل اطمینان و ایمن است که $Z>0$ $(R>S)$ باشد و به همین ترتیب هنگامی که $Z<0$ $(R<S)$ باشد، سازه را نا ایمن و غیر قابل اطمینان توصیف می کنیم. برای حالتی که $Z=0$ باشد نیز سازه را در شرایط حد نهایی می دانیم. به همین ترتیب احتمال خرابی سازه را به صورت رابطه (۲) تعریف می کنیم [۴]:

$$P_f = P(Z < 0) \qquad (۲)$$

$$= \int_{Z<0} \int \dots \int f(x_1.x_2 \dots x_n) dx_1 dx_2 \dots dx_n$$

چنانچه دو تابع R و S دارای توزیع نرمال با میانگین μ_R و μ_S باشند و انحراف معیار استانداردشان نیز به ترتیب σ_R و σ_S باشد، روابط (۳) و (۴) را خواهیم داشت [۴].

$$f_R(r) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_R} \exp[\frac{(r-\mu_R)^2}{2\sigma_R^2}] \qquad (۳)$$

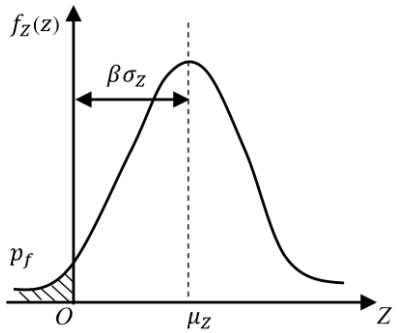
$$f_S(s) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_S} \exp[\frac{(s-\mu_S)^2}{2\sigma_S^2}] \qquad (۴)$$

§ Event tree analysis
* Failure mode and effect analysis*
† Hazard and operability study †

براساس روابط فوق برای تابع عملکرد می توان مقدار میانگین و انحراف معیار را به صورت روابط (۵) نوشت[۴].

$$\mu_Z = \mu_R - \mu_S \ . \sigma_Z = \sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_S^2} \qquad (۵)$$

در شکل (۱) شاخص قابلیت اطمینان با توجه به تابع عملکرد نشان داده شده است. در این شکل، ناحیه هاشور خورده نشان دهنده احتمال خرابی سازه و ناحیه هاشورنخورده احتمال ایمنی سازه را نشان می دهد.



شکل ۱: نمودار شاخص قابلیت اطمینان

احتمال خرابی و احتمال ایمنی سازه در روابط (۶) و (۷) نشان داده شده است[۶].

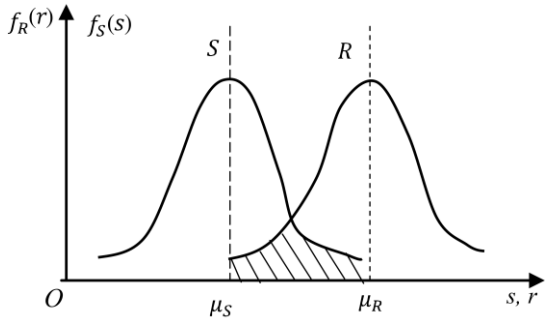
$$P_f = \int_{-\infty}^{0} f_Z(z)dz = \int_{-\infty}^{0} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_Z} \exp[\frac{(z-\mu_Z)^2}{2\sigma_Z^2}]dz \qquad (۶)$$

$$P_r = \int_{0}^{\infty} f_Z(z)dz = \int_{0}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_Z} \exp[\frac{(z-\mu_Z)^2}{2\sigma_Z^2}]dz \qquad (۷)$$

و شاخص قابلیت اطمینان از رابطه (۸) بدست می آید[۶].

$$\beta = \frac{\mu_Z}{\sigma_Z} = \frac{\mu_R - \mu_S}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_S^2}} \qquad (۸)$$

در شکل (۲) توزیع احتمال خرابی و احتمال قابلیت اطمینان نشان داده شده است.



شکل ۲: نمودار توزیع احتمال خرابی و قابلیت اطمینان

روش پاسخ سطح

ایده اولیه روش پاسخ سطح آن است که برای یک تابع عملکرد ضمنی که به زمان زیادی برای حل نیاز دارد، آن را با یک سطح منحنی (سطح پاسخ) جایگزین شود که حل ان ساده تر است. از جمله مزایای تابع پاسخ این است که یک تقریب خوب از نقاط نمونه خصوصا نزدیک به نقاط حساس ایجاد می کند. برای سازه ای دارای برخی متغیرهای تصادفی مهم، تابع پاسخ سطح را می توان به صورت رابطه (۹) نوشت[۶]:

$$Z = g(X) \approx Z_r = \hat{g}(X) \qquad (۹)$$
$$= a + \sum_{i=1}^{n} b_i X_i + \sum_{i=1}^{n} c_i X_i^2 + \sum_{1 \le i < j \le n} d_{ij} X_i X_j$$

به دلیل سهولت در استفاده از رابطه (۹) از عبارت ضرب ترکیبی صرفه نظر می کنیم و رابطه (۱۰) را مبنای محاسبات قرار می دهیم[۶].

$$Z \approx Z_r = \hat{g}(X) = a + \sum_{i=1}^{n} b_i X_i + \sum_{i=1}^{n} c_i X_i^2 \qquad (۱۰)$$

در این رابطه ضرایب a, b_i, c_i ضرایب نامعین هستند.

شبیه سازی مونت کارلو

احتمال خرابی را می توان با استفاده از شبیه سازی مونت کارلو به صورت رابطه(۱۱) نوشت[۶]:

$$P_f = \int_{\Omega_f} fX(x)dx = \int_{-\infty}^{\infty} \delta[g(x)]fX(x)dx \qquad (۱۱)$$
$$= E\{\delta[g(x)]\}$$

$$\hat{P}_f = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} \delta[g(\hat{X}_i)] \qquad (۱۲)$$

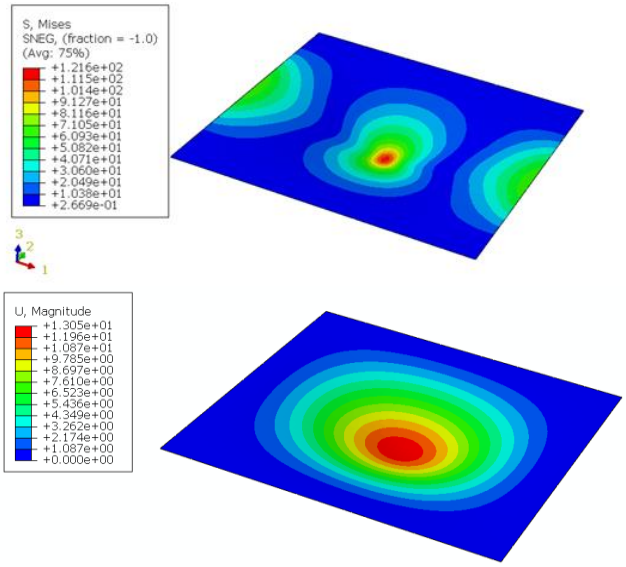
که $\hat{P}_f$ نتیجه محاسبه آماری احتمال خرابی است و g تابع عملکرد سازه و $\hat{X}_i$ نیز مقدار نمونه iام است. زمانی که $g(\hat{X}_i) < 0$ باشد، سازه ناایمن است و دچار خرابی می شود و بالعکس اگر تابع عملکرد بزرگتر از صفر باشد سازه ایمن است. چنانچه مقدار N به اندازه کافی بزرگ در نظر گرفته شود، تابع $\hat{P}_f$ به مقدار واقعی احتمال خرابی سازه میل خواهد کرد.

مدل هندسی

مدل هندسی مورد مطالعه در این مقاله شامل یک صفحه مربعی کامپوزیتی تحت فشار هیدرواستاتیکی ثابت و دارای لایه چینی نامتقارن با ۵ لایه کامپوزیت کربن اپوکسی و با آرایش [45-/45+/45-/45+/0] است. این هندسه و لایه چینی به دلیل استفاده بسیار زیاد آن در پوسته های جدار خارجی هواپیماهای فوق سبک انتخاب شده است. ضخامت هر لایه ۰,۲۵ میلیمتر و ابعاد صفحه ۵۰۰ میلیمتر است و مشخصات

کامپوزیت کربن اپوکسی انتخاب شده با استفاده از تست کشش و فشار به شرح جدول (۱) است. شرایط تکیه گاهی این صفحه در چهار لبه به صورت تکیه گاه گیردار در نظر گرفته شده است.

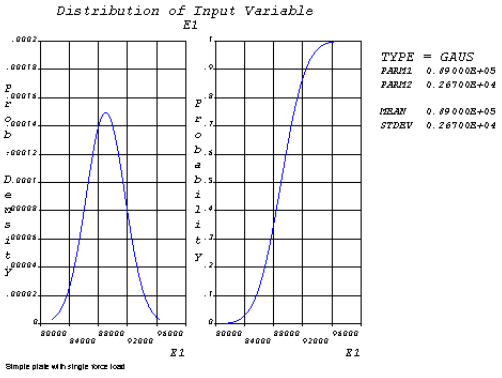
در ابتدا تحلیل تنش- جابجایی بدون در نظر گرفتن توزیع آماری پارامترهای ورودی انجام شد که نتایج تنش و کرنش آن در شکل (۳) ارائه شده است.



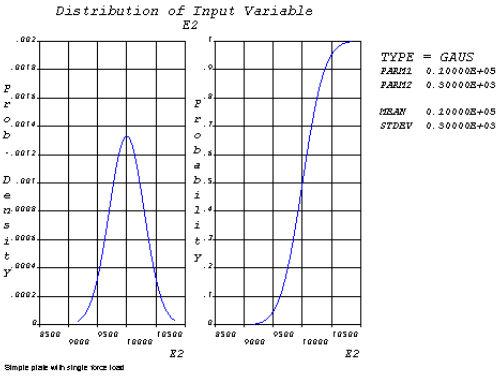
شکل ۳: نتایج تنش و جابجایی حاصل از تحلیل المان محدود

همانطور که در شکل (۳) دیده می شود، حداکثر تنش در صفحه کامپوزیتی با داده های متعین برابر با ۱۲۱٫۶ مگاپاسکال و حداکثر جابجایی برابر با ۱۳٫۱ میلیمتر است.

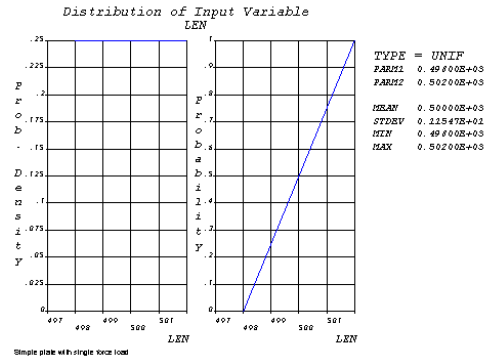
در شکل های (۴) تا (۹) نمودارهای توزیع آماری پارامترهای ورودی نشان داده شده است.



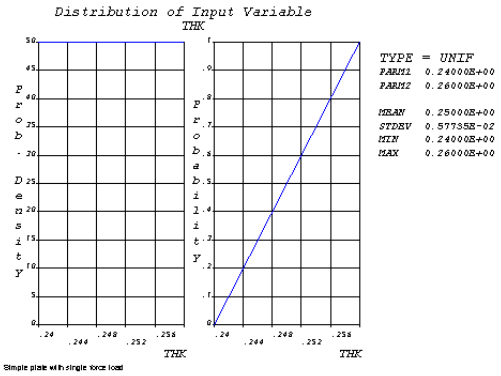
شکل ۴: نمودار توزیع آماری مشخصات مکانیکی ماده- E1



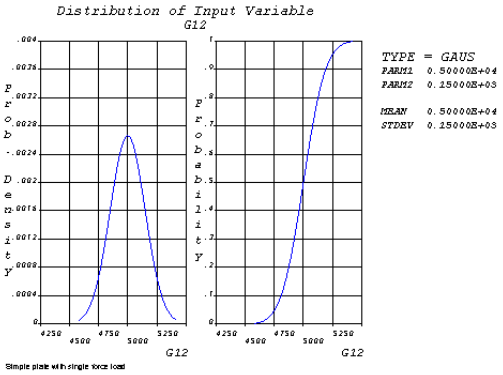
شکل ۵: نمودار توزیع آماری مشخصات مکانیکی ماده- E2



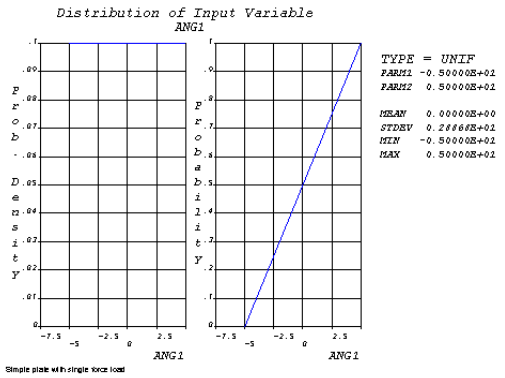
شکل ۶: نمودار توزیع آماری تغییرات طول صفحه کامپوزیت



شکل ۷: نمودار توزیع آماری تغییرات ضخامت صفحه کامپوزیت



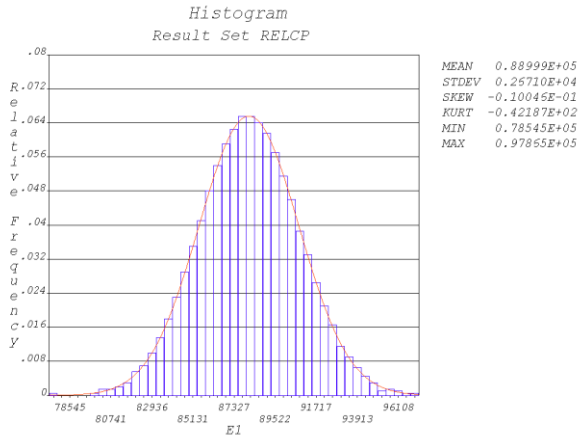
شکل ۸: نمودار توزیع آماری مشخصات مکانیکی ماده- G12



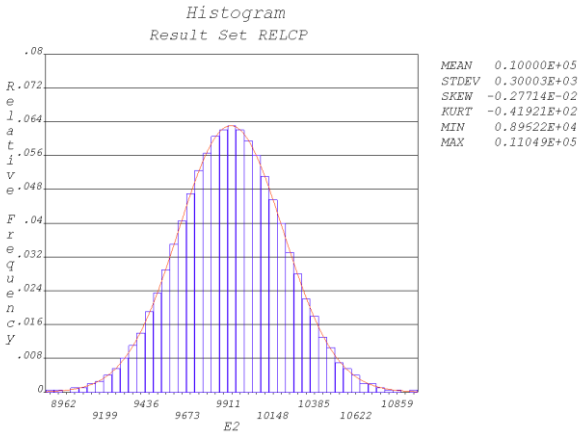
شکل ۹: نمودار توزیع آماری تغییرات زاویه لایه چینی

نتایج

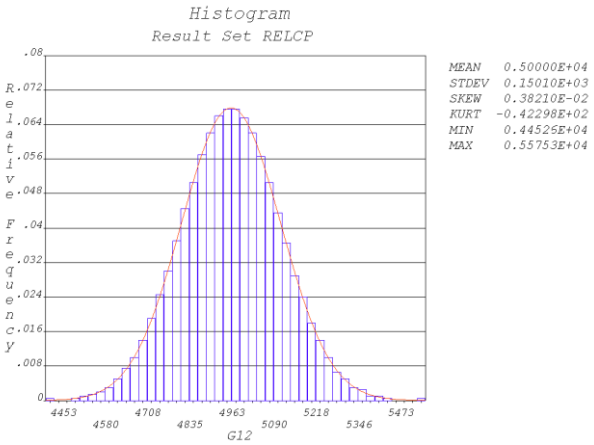
با استفاده از روش ترکیبی مونت کارلو و پاسخ سطح، تحلیل المان محدود با در نظر گرفتن عدم قطعیت در پارامترهای ورودی انجام شد و نتایج آن به صورت حداکثر تنش و حداکثر جابجایی استخراج گردید. در شکل های (۱۰) تا (۱۸) نشان دهنده تغییرات نتایج خروجی نسبت به پارامترهای ورودی است.



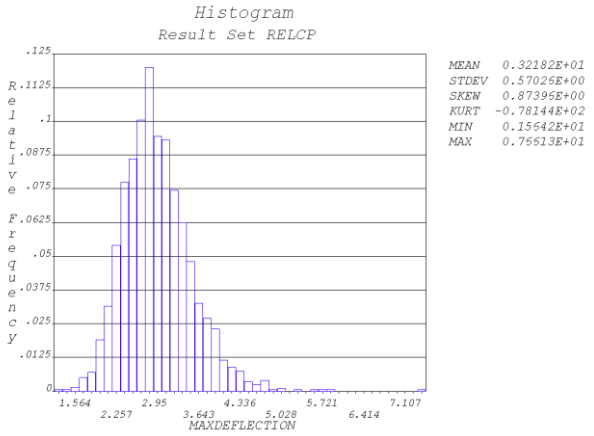
شکل ۱۰: نمودار توزیع آماری تغییرات مشخصات مکانیکی ماده- E1



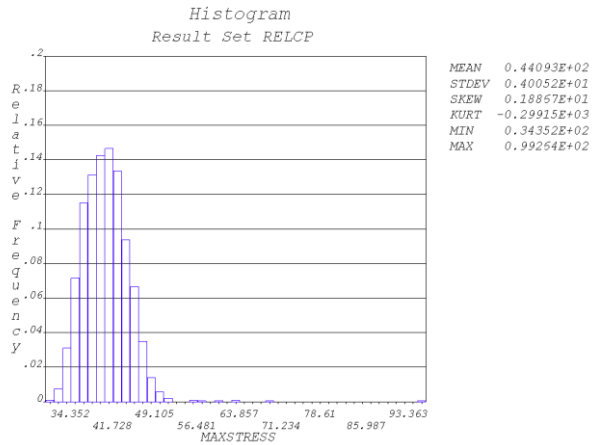
شکل ۱۱: نمودار توزیع آماری تغییرات مشخصات مکانیکی ماده- E2



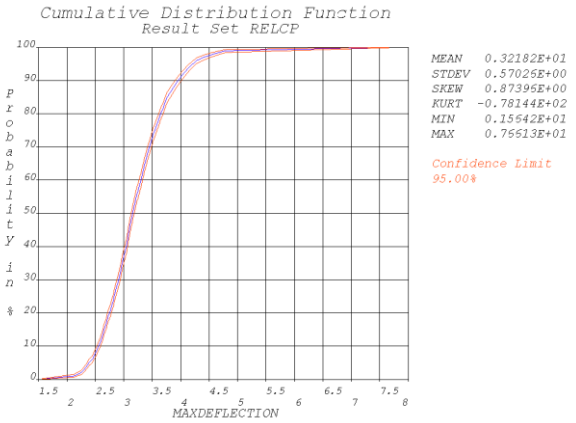
شکل ۱۲: نمودار توزیع آماری تغییرات مشخصات مکانیکی ماده- G12



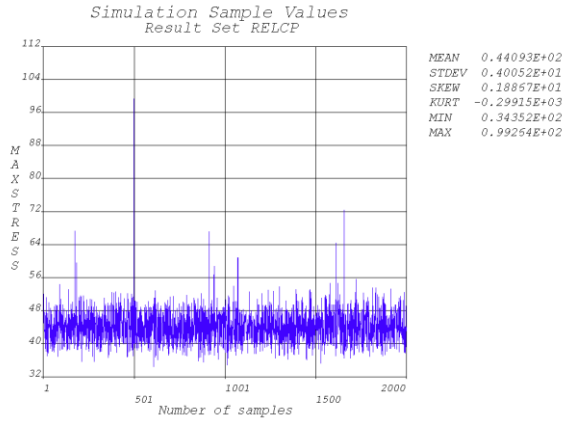
شکل ۱۳: نمودار توزیع آماری تغییرات جابجایی بیشینه صفحه کامپوزیتی



شکل ۱۴: نمودار توزیع آماری تغییرات تنش بیشینه صفحه کامپوزیتی

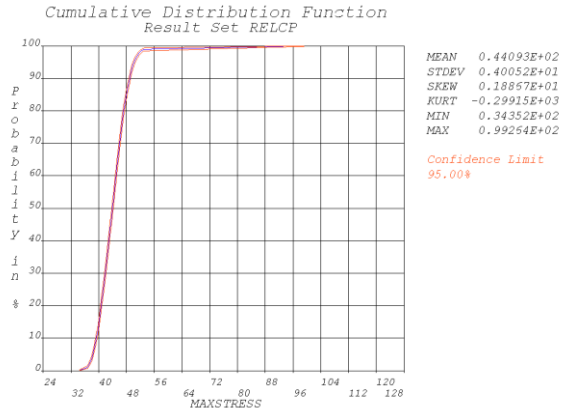


شکل ۱۵: نمودار درصد احتمال جابجایی بیشینه صفحه کامپوزیتی

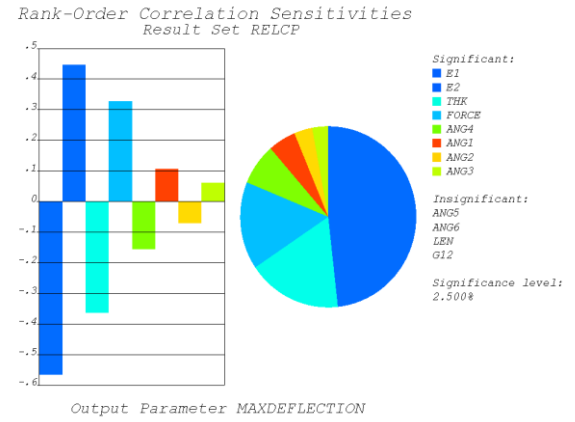


شکل ۱۸: نمودار میزان تنش بیشینه در تعداد نمونه

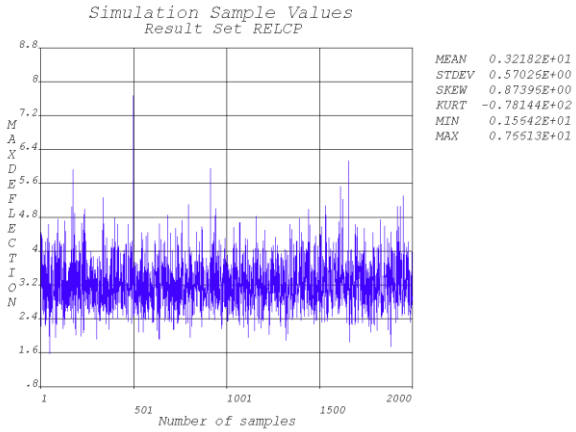
در شکل های (۱۹) و (۲۰) میزان حساسیت نتایج نسبت به پارامترهای ورودی مختلف ارائه شده است.



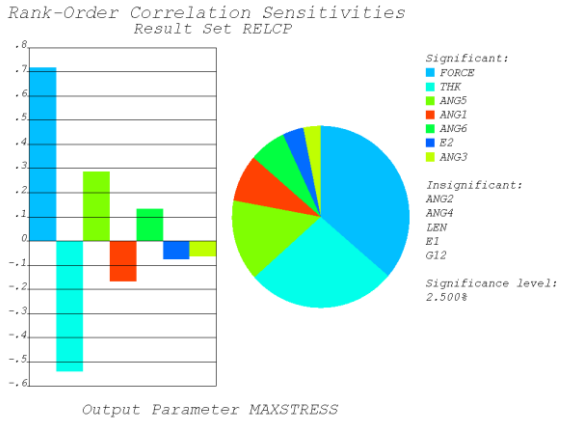
شکل ۱۶: نمودار درصد احتمال تنش بیشینه صفحه کامپوزیتی



شکل ۱۹: نمودار میزان حساسیت جابجایی بیشینه نسبت به پارامترهای ورودی

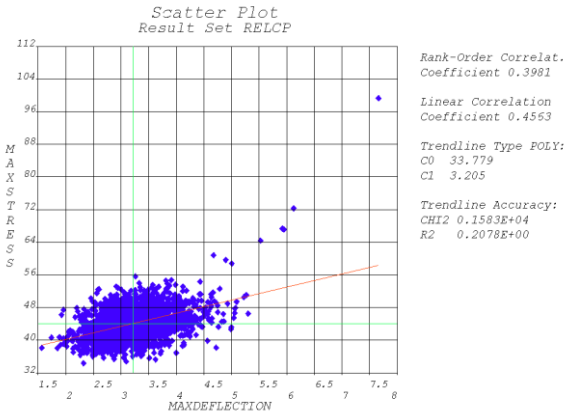


شکل ۱۷: نمودار میزان جابجایی بیشینه در تعداد نمونه



شکل ۲۰: نمودار میزان حساسیت تنش بیشینه نسبت به پارامترهای ورودی

در شکل های (۲۱) پراکندگی نتایج حداکثر تنش نسبت به حداکثر جابجایی نشان داده شده است.



شکل ۲۱: نمودار پراکندگی نتایج حداکثر تنش نسبت به حداکثر جابجایی

نتیجه‌گیری و جمع‌بندی

هدف از انجام این تحقیق بررسی تاثیر عدم قطعیت پارامترهای ورودی یک سازه کامپوزیتی بر روی تحلیل ریسک و قابلیت اطمینان آن بود. به عنوان یک مورد مطالعاتی، بخشی از سازه که بیشترین درصد وزنی را دارد انتخاب شد. این بخش به صورت یک صفحه مربعی کامپوزیتی مدلسازی و مورد تحلیل قرار گرفت. به روش ترکیبی مونت کارلو و پاسخ سطح، تحلیل المان محدود آماری انجام و نتایج بدست آمده ارائه گردید. برای یک طراح سازه های کامپوزیتی دانستن اینکه کدام پارامترهای ورودی بیشترین تاثیر را بر روی نتایج دارد از اهمیت زیادی برخوردار است. نتایج تحلیل حساسیت این تحقیق نشان می دهد مدول یانگ در راستای طولی(E1) و مدول یانگ در راستای عرضی (E2) و نیز ضخامت لایه چینی و تغییرات نیروی وارد بر سازه بیشترین تاثیر را بر روی حداکثر جابجایی دارند. همچنین پارامترهای نیرو، ضخامت و زاویه لایه های رویین و زیرین بیشترین تاثیر را بر روی حداکثر تنش صفحه دارد. بنابراین کاهش خطای این پارامترها بسیار حائز اهمیت است و می تواند دقت طراحی و ساخت را تضمین نماید و ریسک افزایش تنش و جابجایی را از مقدار پیش بینی شده در اسناد طراحی را کاهش دهد. توجه به این مسئله که در سازه های فلزی پارامترهای مدول یانگ و ضخامت را می توان با دقت بالاتری کنترل نمود، باعث می شود تا ریسک سازه های فلزی نسبت به سازه های کامپوزیتی در خصوص پارامتر حداکثر جابجایی به شدت کاهش داشته باشد. همچنین به دلیل مشابه می توان اذعان کرد در خصوص حداکثر تنش نیز سازه های فلزی ریسک کمتری دارند.

روش پاسخ سطح عموما ویژگی های خوبی برای انطباق داده های غیر خطی ایجاد می کند لذا با استفاده از آن می توان موارد غیر خطی پیچیده را مورد بررسی قرار داد. به همین دلیل روش پاسخ سطح نقش مهمی را در تحلیل های قابلیت اطمینان سازه ای می تواند برعهده بگیرد. چنانچه این روش با شبیه سازی مونت کارلو ترکیب شود می توان احتمال خرابی و شاخص قابلیت اطمینان را به خوبی محاسبه نمود.

مراجع

[1] J.Yao, H.Natake," Damage detection and reliability evaluation of existing structures", J.Struct.Saf. 15(1);1994.

[2] J.M.Bourinet, C.Mattrand,"Damage tolerance and reliability assessment under random markovian loads", Proc.IUTAM 6;2013.

[3] A.Behnia, N.Ranjbar, H.K.Chai, M.Masaeli," Failure prediction and reliability analysis of ferrocement composite structures by incorporating machine learning into acoustic emission monitoring technique", J.Const.Build.Mater. 122; 2016.

[4] W.Zhao, W.Liu, Q.Yang,"Reliability analysis of ultimate compressive strength for stiffened composite panels", J.Reinf.Plast.Compos. 35(11); 2016.

[5] Y.F.Li, S.Valla, E.Zio," Reliability assessment of generic geared wing turbines by GTST-MLD model and Monte Carlo simulation", Renew.Energy, 83; 2015

[6] P.A.Lopes, H.M.Gomes, A.M.Awruch," Reliability analysis of laminated composite structures using finite elements and neural networks", J.Compose.Struct. 92;2010.

[7] T.Kroupa, V.Las, R.Zemcik," Improved nonlinear stress-strain relation for carbon-epoxy composites and identification of material parameters", J.Compose.Mater.45; 2011.

[8] L.Yang, Z.K.Ma," A method of reliability analysis and enumeration of significant failure modes for a composite structural system", J.Comput.Struct. 32; 1989.

[9] S.Klinge," Parameter identification for two-phase nonlinear composites", J.Comput.Struct, 108;2012.

[10] J.Shi, Z.Wu, X.Wang, M.Noori, " Reliability analysis of intermediate crack-induced debonding failure in FRP strenghenedconcrete members, J.Struct.Infrastruct.Eng. 11;2015.