



توسعه نرم‌افزار شبیه‌ساز تایپ تست برج‌های انتقال نیرو بر اساس تئوری قابلیت اعتماد سازه‌ها

شهرام اردبیلی^۱

پژوهشگاه نیرو - گروه سازه - تلفن ۸۸۰۷۹۳۵۸

sardabili@nri.ac.ir

خلاصه

در این مقاله ضمن بررسی اجمالی خطاهای بشری و تئوری حاکم بر مدلسازی آن بعنوان یک کمیت تصادفی در تحلیل قابلیت اعتماد سازه‌ها، روند شبیه‌سازی آن با استفاده از روش Latin Hypercube Sampling (LHS) بعنوان یکی از روش‌های شبیه‌سازی مبتنی بر اهمیت، معرفی شده است. در ادامه نیز، ضمن معرفی کمیت خروج از مرکزیت اعضای برج در محل اتصالات بعنوان یک خطای آگاهانه، نتایج شبیه‌سازی آن در روند طراحی، ساخت و تست یک برج انتقال نیرو، توسط نرم‌افزاری که بهمین منظور در محیط VB توسعه یافته است، بصورت گرافیکی نمایش داده شده است.

کلمات کلیدی: خطاهای بشری، قابلیت اطمینان سازه‌ها، احتمال خرابی، شبیه‌سازی عددی، برج‌های انتقال نیرو

۱- مقدمه

خطاهای انسانی یکی از دلایل مهم خرابی سازه‌ها به حساب می‌آید. قابلیت اعتماد یک سازه به مقدار زیادی بستگی به کنترل علل خطاها و کاهش پیامدهای آن دارد. خطاها (انحراف از روال قابل قبول) بخش غیر قابل تفکیکی از فعالیت‌های بشری هستند که باعث عدم قطعیت‌های قابل توجهی در پروسه طراحی و ساخت می‌شوند. در حقیقت، بررسی‌ها حاکی از آنست که خطاهای انسانی، علت غالب خرابی‌های سازه‌ای در ساختمانها و پل‌ها هستند. برای ارتقاء و افزایش قابلیت اطمینان سازه‌ها، شناسایی و کنترل خطاها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. خطاها را می‌توان متناظر با علتها و پیامدها دسته‌بندی کرد. برای کنترل خطاها دو رهیافت وجود دارد:

الف) کاهش فرکانس بروز خطا، ب) به حداقل رساندن پیامدهای بروز خطا

واریس محاسبات و بازیابی فعالیت‌ها باعث مهار تعداد خطاها می‌گردد. برای تشخیص شدت پیامدها نیز می‌توان آنالیز حساسیت انجام داد. در صورتیکه مطالعات آماری بر روی کمیت‌های متناظر با خطاهای بشری (نظیر خروج از مرکزیت اعضای یک برج انتقال نیرو در محل اتصالات) به انجام رسد، شبیه‌سازی و بررسی احتمالاتی آن بر مبنای تئوری قابلیت اعتماد سازه‌ها امکانپذیر خواهد بود.

روشهای اجرا زمانی غیر قابل قبول شناخته می‌شوند که تعداد قابل توجهی از مهندسين آنها غیر قابل قبول معرفی نمایند. روشهای معمول^۱ لزوماً قابل قبول نیستند. روشهای قابل قبول نیز لزوماً مرسوم و متداول نیستند. انحراف از روشهای قابل قبول خطاهای انسانی هستند.

۲- دسته بندی عدم قطعیت:

عدم قطعیت‌های موجود در روند ساخت را می‌توان بر اساس منبع آن دسته بندی نمود. دو منبع عمده عدم قطعیت عبارتند از پیشامدهای طبیعی^۲ و پیشامدهای بشری^۳. پیشامدهای طبیعی ناشی از باد، زلزله، ناهمسانی‌های دما، بار برف یا انباشتگی یخ و همچنین تغییرات طبیعی مشخصات مصالح ساختمانی (نظیر مقاومت، مدول ارتجاعی و ابعاد) و بارهایی نظیر وزن افراد، اثاثیه و یا بار وسایط نقلیه روی پلها هستند. پیشامدهای بشری را می‌توان

۱- مدیر پروژه توسعه نرم‌افزار شبیه‌ساز آزمون برج‌های انتقال نیرو - مربی پژوهشی گروه سازه

1-Common Practice
2-Natural Hazards
3-Man-made Hazards

به دو گروه تقسیم کرد: ۱- پیشامدهای حادث در طی روند ساخت نظیر نوآوریها، سازه های منحصر بفرد، استفاده از مصالح و سازه های جدید و موارد حاصل از انحراف از روشهای شناخته شده. ۲- پیشامدهای خارج از پروسه ساخت نظیر آتش سوزی، انفجار، تصادفها و موارد شبیه به آن.

۳- پژوهش های پیشین در مورد خطاهای بشری:

تحقیقات در زمینه خطاهای بشری بر مبنای دو رهیافت مطالعات بنیادین و چارچوب کاربردی انجام یافته است. در رهیافت مطالعات بنیادین، شناخت قوانین حاکم بر خطا از طریق مدل های پدیده شناسی و یا مدل های مبتنی بر آزمون و خطا انجام می گیرد. گستره این مطالعات شامل بررسی تجربی بروز خطاها، مدل های ریاضی ساده شده و حتی مدل های فرآیند تصادفی است. برای شناختن و توصیف کمی وقوع خطاهای انسانی در سازه ها، مطالعات بنیادین از طریق مشاهده رفتار بشری بصورت تجربی در حال انجام است. درک غایی مسأله خطاهای بشری در سازه ها در گرو پیشرفت علوم اجتماعی و روان شناسی است [1]. از سوی دیگر چارچوب کاربرد آن در مهندسی سازه یا ساخت و اجراء، در حیطه علوم مهندسی، تحقیقات اجرایی یا علوم مدیریتی قرار دارد. در این حیطه با یک نگرش عمل گرایانه، تأکید بیشتر بر کنترل مؤثر و کافی است تا درک جزئیات آن. بدیهی است در مطالعات بنیادین هر دوی این موارد بطور موازی و مستقل در حال بررسی بوده اند. در مطالعات پاگسلی (۱۹۷۳)، ایده سازه های مستعد خطا^۲ مطرح شده و چارچوبی برای شناخت چنین سازه هایی بتصویر کشیده شد. این مطالعات توسط براون^۳ (۱۹۷۹) با استفاده از مفاهیم مجموعه فازی توسعه یافت. چارچوبی برای تعیین مدت زمان تخصص یافته بهینه برای فعالیتهای مهندسی مرتبط با مدلسازی، طراحی، آزمون مصالح و بازرسی ساخت متناظر با تراز هدف اعتمادپذیری طراحی توسط لیند^۴ در سال ۱۹۸۳ ارائه شد. در سال ۱۹۷۹ نوک^۵ و در سال ۱۹۸۵ نوک و کار^۶ چارچوب سازمان یافته ای را که خطاهای بشری را به تأثیر آن بر قابلیت اعتماد سازه از طریق ضرائب حساسیت مرتبط می ساخت، تهیه کردند.

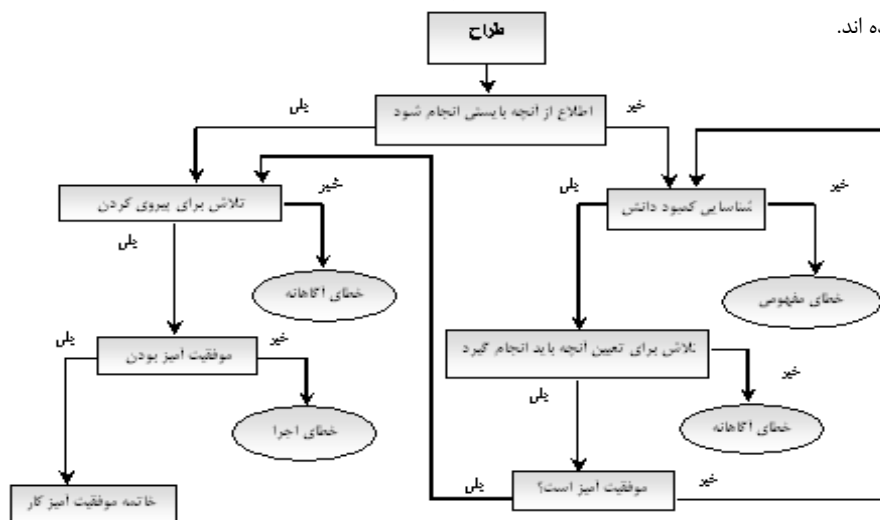
۴- دسته بندی خطاهای بشری :

دسته بندی خطاها بر اساس علتها و پیامدها می تواند در انتخاب اندازه گیری های مهار کننده آن مفید باشد. تحلیل علتها می تواند منجر به شناخت ساز و کار بروز خطا شده و به کاهش تعداد بروز خطا منتهی گردد. در مطالعه خطاها می توان موارد زیر را در نظر گرفت:

- افراد دست/اندر کار، بعنوان مثال: پیمانکار، مرحله مربوط به فرآیند ساخت، بعنوان مثال: تهیه کروکی، مکان، بعنوان مثال: اتاق کار یا محل اجراء، دلیل، بعنوان مثال: ناآگاهی یا فراموش کردن، فراوانی بروز خطا و ساز و کار بروز خطا.

با در نظر گرفتن ساز و کار بروز خطا، سه نوع بنیادین خطا، قابل شناسایی است:

خطاهای مفهومی، خطاهای اجرایی و خطاهای آگاهانه. خطای مفهومی یک انحراف ناخواسته و غیر عمدی از روال و شیوه قابل قبول و پذیرفته شده است که بدلیل فقدان دانش کافی روی می دهد. خطای اجرایی عبارتست از یک انحراف غیر عمدی از چیزی که شخص آنرا روال و شیوه قابل قبول می انگاشت. خطای آگاهانه عبارتست از یک انحراف عمدی از روالهای قابل پذیرش. مسیرهای مختلف موجود با در نظر گرفتن روالهای قابل پذیرش در شکل زیر نشان داده شده اند.



شکل (۱) - مسیرهای مختلف با توجه به روالهای قابل پذیرش

- 1-Pugsley
- 2-Error-Prone
- 3-Brown
- 4-Lind
- 5-Nowak
- 6-Carr

خطاهای اجرایی شامل مواردی می گردند که طراحی در خواندن، نوشتن، نتیجه گیری کردن، شنیدن، صحبت کردن و عمل کردن دچار اشتباه شود و یا اینکه چیزی را فراموش کند و یا گم کند و یا چیزی را در جای اشتباه قرار داده و یا از قلم بیاندازد و یا اینکه چیزی را نبیند یا نشنود و یا به آن فکر نکند. این خطاها حتی زمانی که شخص یک داده مناسب را می بیند و یا می شنود ولی آنرا تشخیص نمی دهد نیز بوقوع می پیوندد. پیامد خطاها طیف وسیعی از مسائل فرعی خدمت پذیری گرفته تا فرو ریختن کلی سازه را در بر می گیرد. خطاها بر عملکرد سازه ای بطور مستقیم یا غیر مستقیم (با افزایش احتمال خطاهای دیگر) تأثیر می گذارند. خرابی حاصل از یک خطا می تواند موضعی بوده و یا خرابی اعضاء دیگر را تا انهدام کلی سازه باعث گردد. یک خطا؛ باعث تغییر مدل تحلیلی سازه می گردد. بارها، ظرفیت باربری یا توضیح رفتار کلی سازه از خطاها تأثیر می پذیرند. خطاهای فاحش باعث انحراف شدید از مدل نظری مفروض می گردند (بعنوان مثال اشتباه در سمت بالا و پایین تیرهای بتن آرمه و یا فراموش کردن آرماتورهای تقویتی). در عمل، تعداد خطاهای ممکن بشمار است ولی با اینحال برای یک سازه بخصوص، می توان نسبت به بخش(های) مرتبط از مدل سازه ای، خطاها را دسته بندی نمود. خطاهای پارامتریک باعث تغییرات در توابع توزیع آماری پارامترهای بار و ظرفیت باربری می گردند بعنوان مثال میتوان از اشتباه در معرفی نوع مصالح و یا تخمین بیش از اندازه یا کمتر از واقع بارها نام برد. در اغلب کارهای مهندسی سازه، خطاهای طراحی و اجرا را می توان توسط دو پارامتر کثرت و پیامد(های) وقوع تشریح کرد.

۵- تحلیل قابلیت اعتماد با تکنیک های شبیه سازی مبتنی بر اهمیت [۳]:

جهت حل مسائل اعتماد پذیری از روشها و تکنیکهای مختلفی استفاده می شود. از جمله این تکنیکها، روشهای شبیه سازی می باشد. ایده اصلی در شبیه سازی عبارتست از شبیه سازی عددی برخی از پدیده ها و سپس مشاهده تعداد دفعاتی که پدیده مورد نظر بوقوع می پیوندد. روشهای مختلفی برای شبیه سازی عددی وجود دارد. از جمله این روشها می توان از روش مونت کارلو و روش لاتین هاپیرکیوب و روش روزن بلوت نام برد.

۵-۱- توابع حالات حدی: حالت حدی بیانگر مرز بین عملکرد مطلوب و نامطلوب سازه است که بطور معمول توسط یک تابع حالت حدی بیان می شود. در آنالیز اعتماد پذیری سازه بطور معمول سه نوع حالت حدی نهایی (ULS)، سرویس دهی (SLS)، و خستگی (FLS)، مورد توجه است [1]. در برج های انتقال نیرو، نیروهای کنترل کننده اعضا از نوع نیروی محوری و / یا لنگر خمشی است. بنابراین کلیه اعضا توسط این نیروها کنترل می شوند. هرگاه عبور از حالت الاستیک برای مقاطع بکار رفته بعنوان حالت حدی پذیرفته شود، روابط تسلیم اعضا بشرح زیر خواهد بود:

۵-۱-۱- تسلیم محوری: در حالتی که تنش محوری از مقادیر تسلیم و یا تنش محوری بحرانی بیشتر شود در عضو تسلیم محوری رخ می دهد.

$$f_a = \left| \frac{P}{A} \right| \geq \text{Min}(F_y, F_{cr}) \quad (1-f)$$

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 E}{(KL/r)^2} \quad (1-b)$$

۵-۱-۲- تسلیم اندرکنش نیروی محوری و لنگر خمشی: در صورت وجود لنگر خمشی و نیروی محوری و یا لنگر خمشی خالص هرگاه تنش نهائی عضو از تنش تسلیم بیشتر شود در عضو تسلیم خمشی رخ می دهد. در برج های انتقال نیرو با توجه به اینکه از اعضای غیر متقارن نبشی استفاده می شود، بایستی تنشها در بالا و پائین مقطع کنترل شود.

$$f_{\text{Top}} = \left| \frac{P}{A} - \frac{M_{33}}{W_{33\text{Top}}} + \frac{M_{22}}{W_{22\text{Top}}} \right| \geq F_y \quad (2-f), \quad f_{\text{BOT}} = \left| \frac{P}{A} + \frac{M_{33}}{W_{33\text{BOT}}} - \frac{M_{22}}{W_{22\text{BOT}}} \right| \geq F_y \quad (2-b)$$

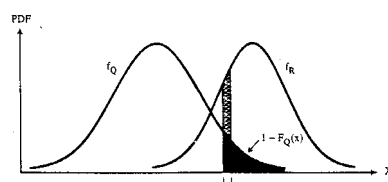
۵-۲- احتمال شکست: در تئوری قابلیت اعتماد سازه ها هرگاه تابع حالت حدی توسط رابطه زیر معرفی شود:

$$G(R, Q) = R - Q \quad (3)$$

احتمال شکست P_f توسط روابط زیر محاسبه می گردد:

$$P_f = 1 - \int_{-\infty}^{+\infty} F_Q(r_i) f_R(r_i) dr_i \quad (4-f)$$

$$P_f = \int_{-\infty}^{+\infty} F_R(q_i) f_Q(q_i) dq_i \quad (4-b)$$



شکل (۲): توابع چکالی احتمال بار Q و مقاومت R



در روش‌های شبیه‌سازی بطور معمول، احتمال خرابی بصورت نسبت تعداد دفعات مشاهده خرابی به تعداد کل مشاهده‌ها معرفی می‌گردد. در تحلیل قابلیت اعتماد برج‌های خطوط انتقال نیرو بروش نمونه‌گیری، با توجه به وجود ترکیبات بارگذاری مختلف خواهیم داشت:

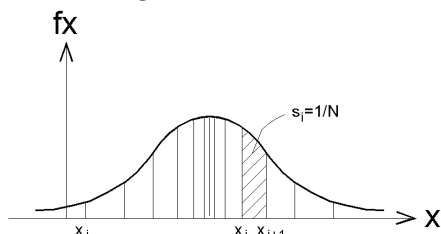
$$P_f = \frac{N_f}{N_{Tot}} \quad (\text{الف-۵}) \quad , \quad N_{Tot} = N_{xi} \times N_{LC} \quad (\text{ب-۵})$$

که در آن:

P_f : احتمال خرابی عضو (یا سازه) N_f : تعداد دفعات خرابی عضو (یا ناپایداری سازه) در نمونه‌گیری‌ها
 N_{Tot} : تعداد کل نمونه‌گیری‌ها N_{xi} : تعداد تولید شده از متغیرهای تصادفی موجود
 N_{LC} : تعداد ترکیب بارگذاری

۵-۳- روش نمونه‌گیری لاتین‌ها پیرکیوب (LHC):

روش‌هایی نظیر مونت کارلو براساس شبیه‌سازی عددی پدیده با تعداد زیاد استوار است. در این روش‌ها در صورت نیاز به جواب‌های با دقت قابل قبول گاه نیاز به شبیه‌سازی ده‌ها هزار نمونه شبیه‌سازی شده است. شبیه‌سازی این تعداد نمونه در مسائل پیچیده در عمل امکان پذیر نیست. روش LHC یکی از روش‌هایی است که برای کاهش تعداد شبیه‌سازی‌های لازم برای رسیدن به دقت مورد نظر استفاده می‌شود. مراحل اصلی روش LHC برای یک تابع قابل اندازه‌گیری $y = F(X_1, X_2, \dots, X_K)$ که لزوماً حل صریح ندارد و X_i ($i = 1, 2, \dots, k$) متغیرهای تصادفی ورودی آن هستند، بطور خلاصه به شرح زیر است:



شکل (۳): تقسیم منحنی تابع چگالی احتمال به N سطح برابر

الف: دامنه هر X_i به N بازه تقسیم می‌شود به نحوی که احتمال وقوع X_i در هر بازه $\frac{1}{N}$ باشد.

ب: برای هر X_i و برای هر بازه یک مقدار تصادفی از آن به عنوان معرف بازه انتخاب می‌شود.

پ: به ازای N مقدار معرف حاصل، N^k ترکیب ممکن موجود است که از آن میان N ترکیب به نحوی انتخاب می‌شود که هر یک از معرف‌ها تنها یک بار در این N ترکیب ظاهر شود.

ت: معادله y به ازای هر یک از N ترکیب متغیرهای ورودی ارزیابی شده و در نتیجه N مقدار y برای کل ترکیبات بدست می‌آید.

برای انتخاب مقدار معرف می‌توان از نقطه میانگین بازه یا روش انتخاب تصادفی یکنواخت درباره‌ی مورد نظر و یا روش انتخاب تصادفی با تابع توزیع واقعی متغیر مورد نظر استفاده نمود [1].

۶- مدل‌سازی خطاهای بشری:

هرگاه بتوان پدیده خطای بشری را توسط یک متغیر تصادفی با یک تابع چگالی احتمال مشخص توصیف نمود، تحلیل قابلیت اعتماد سازه و محاسبه احتمال خرابی P_f با در نظر گرفتن این متغیر پایه جدید امکان‌پذیر خواهد بود. فرض کنید که مقاومت سازه بعنوان یک کمیت تصادفی با R و اصلاح یافته آن بازای خطای بشری E با R_m نمایش داده شوند. در عمل ممکن است دلیل اثر احتمالی دخالت بشر، اصلاح بیشتری مورد نیاز باشد. تابع چگالی احتمال R_m در ناحیه دنباله ابتدایی مطابق روابط زیر به R_1 اصلاح می‌گردد [2]:

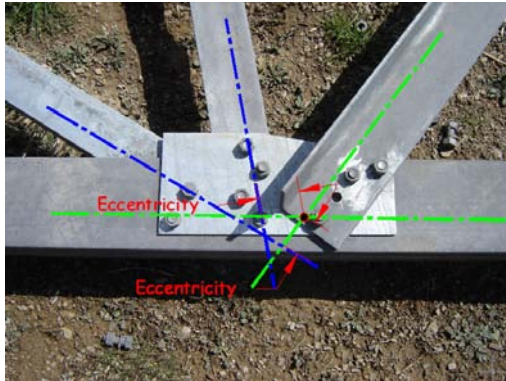
$$f_{R_1}(r) = K(r)f_{R_m}(r) \quad r \leq r_d \quad (\text{الف-۶})$$

$$K(r) = \exp\left[A(r - r_d)\right] \quad (\text{ب-۶})$$

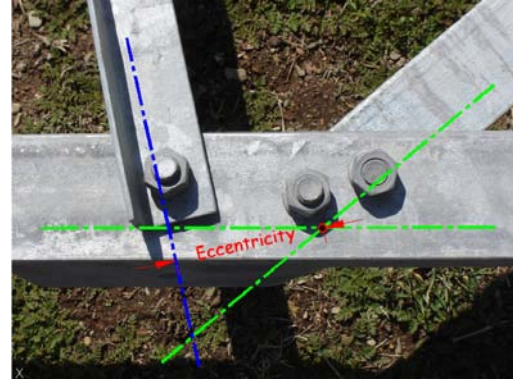
که در آن r_d یک مقدار مقاومت است که برای اولین بار در آن تراز خطاها مشاهده می‌شوند و A یک مقدار ثابت است. تابع PDF فوق در مراحل بعدی در ناحیه $r > r_d$ نیز اصلاح می‌گردد تا سطح زیر منحنی تابع چگالی احتمال R واحد باقی بماند.

۸- معرفی خروج از مرکزیت اعضای سازه ای برج:

در فایل سازه‌ای بطور معمول، هر المان نبشی توسط یک پاره خط که بیانگر تار خنثی آن است مدلسازی می شود. موقعیت این تار خنثی در روی المان با توجه به شماره نبشی از روی جدول مقاطع استاندارد قابل تشخیص است. در شکل‌های زیر موقعیت تار خنثی و خروج از مرکزیت اعضاء بصورت شماتیک نشان داده شده اند.



شکل (۶) - موقعیت تار خنثی و خروج از مرکزیت

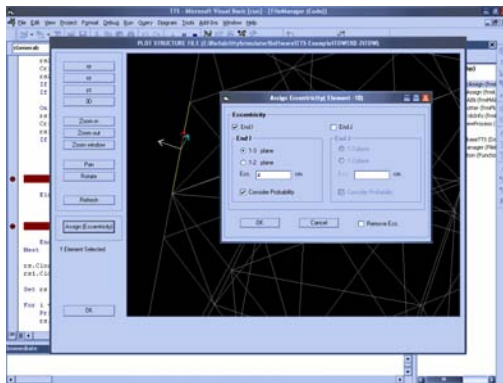


شکل (۵) - موقعیت تار خنثی و خروج از مرکزیت

همانگونه که در شکلها مشخص شده است، برای اندازه گیری این کمیت باید محورهای اصلی اعضاء تعیین گردند. سپس موقعیت گره اتصال با مرتب نمودن اعضاء بر حسب ظرفیت باربری نسبی آن (و اتصال نظیر آن) حاصل می شود. اندازه گیری این کمیت با توجه به تعداد اتصالات و جزئیات هر اتصال بسادگی امکانپذیر نیست. و از آنجاییکه برای تحلیل آماری این کمیت، بایستی داده کافی ذخیره شده باشد، یک روش گرافیکی برای اندازه گیری و ثبت این کمیت ابداع شده است.

۹- نحوه عملکرد و بلوک دیاگرام نرم افزار :

برای شبیه سازی تست برج های انتقال نیرو نرم افزاری در محیط VB توسعه یافته است که در آن اطلاعات آماری در محیط Access تولید و ذخیره شده و از نرم افزار sap برای تحلیل سازه مورد نظر با اصلاحات مربوط به تعبیه مفصل خمیری در گره و / یا حذف عضو (بدلیل گذر از تابع حالات حدی)، استفاده می شود. خروجی این نرم افزار شامل احتمال خرابی اعضاء و مددهای خرابی سازه در یک محیط گرافیکی و احتمال خرابی کل سازه است. در این نرم افزار فایل های سازه، متغیرهای تصادفی تولید شده و مشخصات کامل مقاطع، توسط کاربر وارد شده و با دستور Assign Eccentricity وارد محیط گرافیکی می شود که برای تعریف خروج از مرکزیت اعضا توسعه یافته است.

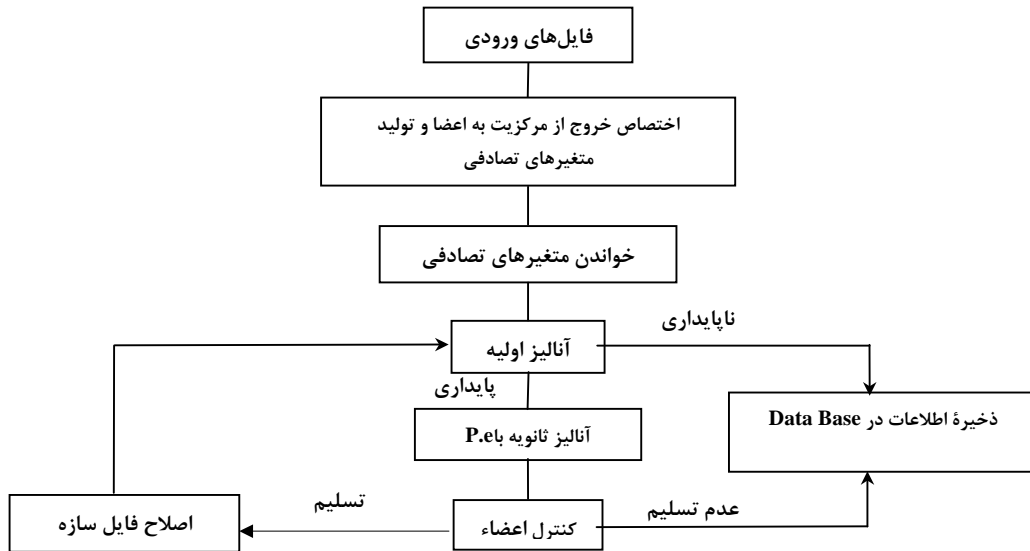


شکل (۸): صفحه گرافیکی تخصیص خروج از مرکزیت



شکل (۷): صفحه منوهای نرم افزار

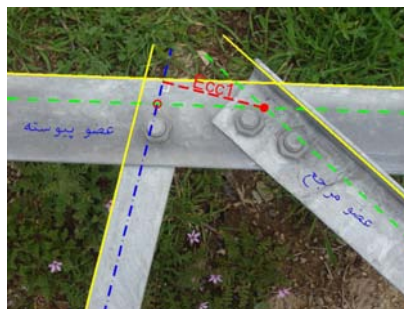
نرم افزار در این مرحله با دستور Start وارد روند تکراری پردازش داده ها و آنالیز و کنترل تنش اعضا می شود. در هر مرحله تحلیل، پس از محاسبه نیروهای داخلی، در گره های اعضائی که خروج از مرکزیت دارند، مولفه های بردار لنگر خمشی ثانویه ناشی از خروج از مرکزیت را محاسبه نموده و به فایل سازه موجود اضافه می نماید.



شکل (۹): بلوک دیگرام نرم افزار شبیه ساز آزمون

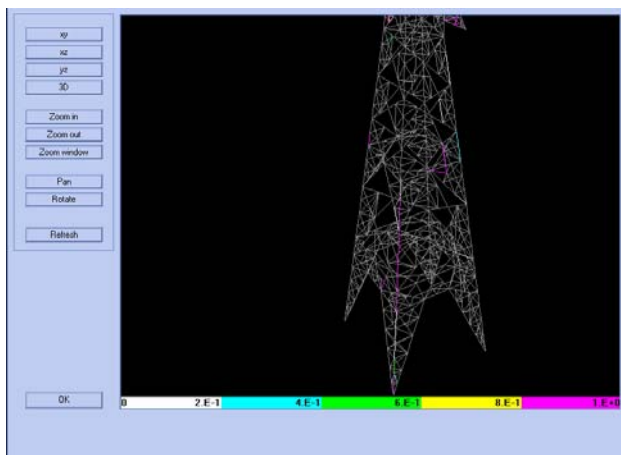
۱۰- شبیه سازی تایپ تست یک دکل ۴۰۰ کیلوولت دو مداره :

همانطور که ملاحظه گردید، بهنگام تست نمونه واقعی (Full scale) یک برج انتقال نیرو، کمیته بنام خروج از مرکزیت اعضا، بعنوان یکی از خطاهای بشری (و از نوع خطای آگاهانه) در نتیجه تست تأثیر بسزائی دارد که برای حل این مسأله، آماربرداری از کمیت فوق در محل ایستگاه آزمون برج های انتقال نیرو واقع در شهرستان اراک در حال انجام است.

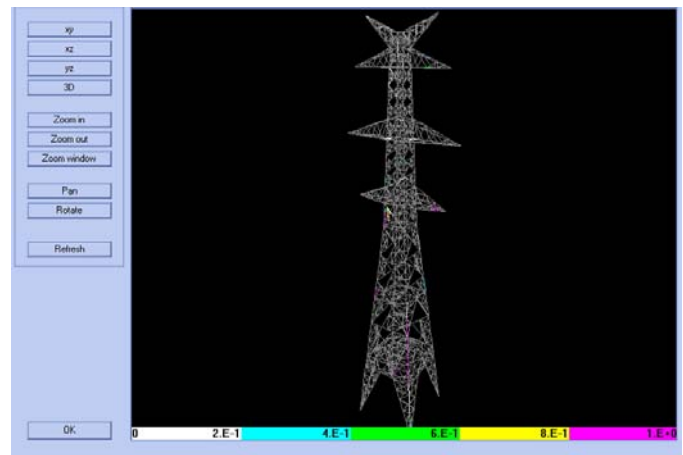


شکل (۱۰) - خروج از مرکزیت اعضا در محل اتصال

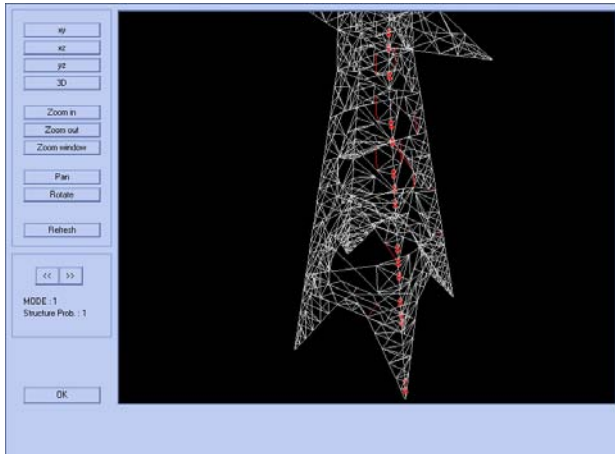
براساس اطلاعات جمع آوری شده، تاکنون چند نمونه شبیه سازی آزمون برج به انجام رسیده است که در شکل های زیر نمونه ای از خروجی های نرم افزار ملاحظه می گردند.



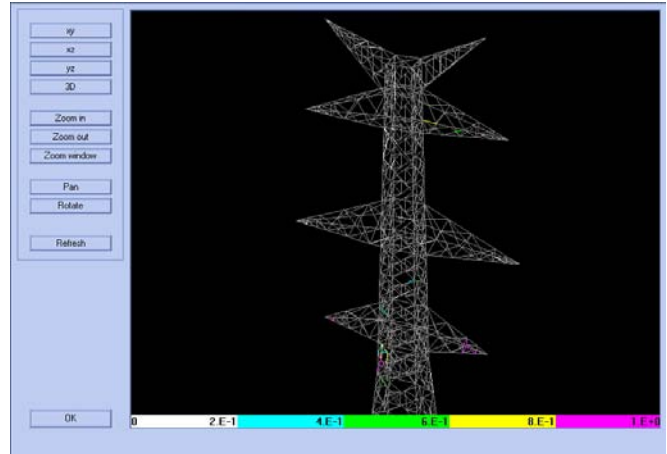
شکل (۱۲): احتمال خرابی اعضا دکل در ناحیه پایه



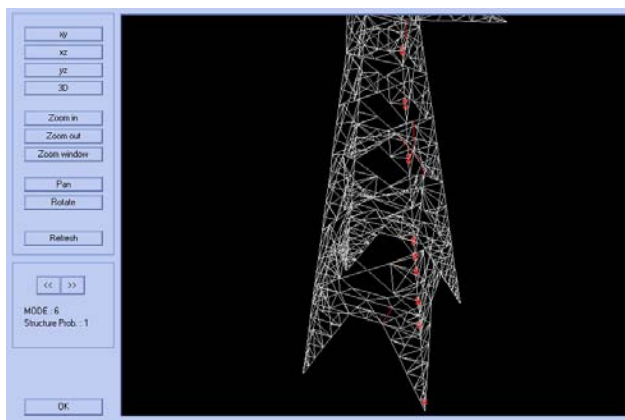
شکل (۱۱) - احتمال خرابی اعضا دکل بصورت طیف رنگی



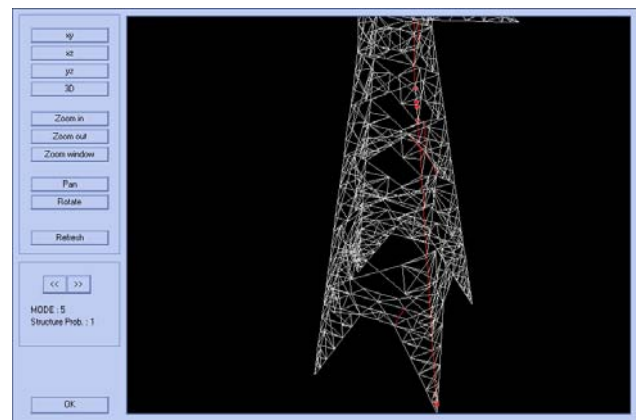
شکل (۱۴): مود خرابی اول



شکل (۱۳) - احتمال خرابی اعضاء در ناحیه کراس آرم



شکل (۱۶): مود خرابی ششم



شکل (۱۵) - مود خرابی پنجم

۱۱- نتیجه گیری :

در این مقاله ضمن ارائه اجمالی تئوری حاکم بر مدلسازی خطاهای بشری بعنوان یک کمیت تصادفی، کمیت خروج از مرکزیت اعضای سازه‌ای برج‌های انتقال نیرو بعنوان یکی از مصادیق خطاهای آگاهانه معرفی شد. نتیجه تحلیل قابلیت اعتماد سازه یک برج انتقال نیرو نیز با در نظر گرفتن مدل احتمالاتی کمیت خروج از مرکزیت (خطای بشری) که توسط شبیه‌سازی بروش نمونه‌گیری لاتین‌هایپرکیوب به انجام رسیده بود بصورت گرافیکی ارائه گردید. این نتایج جملگی در فضای گرافیکی بوده و شامل احتمال خرابی اعضای برج بصورت طیف رنگی، احتمال خرابی کلی برج و مودهای خرابی کل برج است.

بدین ترتیب ملاحظه می‌گردد که در صورت داشتن اطلاعات آماری کافی از مصادیق خطاهای بشری و استخراج توابع توزیع احتمال (و یا تابع چگالی احتمال) مربوطه و همچنین انتخاب توابع حالات حدی که بیانگر مرز بین حالات مطلوب (قابل قبول) و نامطلوب (و یا غیر قابل قبول) موجود برای وقوع پیشامد مورد نظر هستند، براساس روش‌های شبیه‌سازی در تئوری قابلیت اعتماد، امکان مدلسازی مساله و اخذ پاسخ احتمالاتی وجود دارد.

۱۲- مراجع :

- 1- Nowak A. S., Collins K.R. "Reliability of Structures", Mc Graw- Hill Co., 2000
- 2- R. E. Melchers, "Structural Reliability Analysis and Prediction", 2nd Edition, John Wiley & Sons, 1999.
- ۳- اردبیلی، شهرام و جمشیدی، مژده «مطالعه و بررسی در مورد روش تعیین شاخص اعتمادپذیری اجزاء»، گزارش مرحله اول از پروژه «تعیین و ارزیابی قابلیت اطمینان سازه‌های خطوط انتقال نیرو»، پژوهشگاه نیرو، گروه سازه، ۱۳۸۳.
- ۴- اردبیلی، شهرام «مراحل مطالعاتی توسعه نرم‌افزار شبیه‌ساز آزمون برج‌های انتقال نیرو»، گزارش مرحله اول پروژه PCVFN08/T1، پژوهشگاه نیرو، گروه سازه، مرداد ۱۳۸۶.
- ۵- اردبیلی، شهرام و شعبی، شاهرخ؛ «مراحل توسعه و تکمیل نرم‌افزار شبیه‌ساز آزمون برج‌های انتقال نیرو»، گزارش مرحله دوم پروژه PCVFN08/T2، پژوهشگاه نیرو، گروه سازه، بهمن ماه ۱۳۸۵.