

استفاده از روش محاسبه احتمالات بهینه شده مستقیم

مهلا شاه بخش^۱، پرهام مستوفی^۲

^۱ کارشناس ارشد آموزش ریاضی، ایران، سیستان و بلوچستان، چابهار (نویسنده مسئول)

^۲ کارشناس ارشد آموزش ریاضی، ایران، خوزستان، دهمز

چکیده

کاربرد روش های احتمالاتی در عملیات مهندسی این است که در زمانی که متغیرهای با کاراکتر تصادفی در مدل محاسباتی وارد شوند این روش ها قادر به حل وظایف هستند. روشی که جدیا ایجاد شده است همان محاسبه احتمالی بهینه سازی مستقیم DOProC - بوده و یک روش بسیار موثر برای یک خط از وظایف با توجه به زمان محاسبات، یا دقت راه حل است. روش محاسباتی از هیچ تکنیک شبیه سازی استفاده نمی کنند و صرفا عددی هستند. الگوریتم توصیف شده در برنامه های متعددی که به صورت موفقیت آمیزی در راه حل های وظایف احتمالاتی و ارزیابی قابلیت اطمینان احتمالی استفاده می شوند، مورد استفاده قرار گرفته است.

واژه های کلیدی: محاسبات احتمالی بهینه سازی مستقیم، روش های احتمالی، ارزیابی قابلیت اطمینان، متغیر تصادفی، احتمال شکست

۱. مقدمه

در حال حاضر، یک خط از روش های محاسباتی برای ارزیابی قابلیت اطمینان سازه های متحمل کننده بار استفاده می شود که از نظریه احتمالی و آمار ریاضی به دست آمده و به تازگی در حال رشد بوده است. این روش های محاسباتی به سطح بالایی از ارزیابی قابلیت اطمینان رسیده اند و همچنین تامین امنیت کاربران از شی طراحی شده کمک می کند [۱، ۸، ۲۳، ۲۴، ۲۶]. آنها برای طراحی عناصر ساختار تحمل کننده بار با سطح اطمینان مجموعه مناسب هستند، در حالی که حداقل برخی از متغیرهای طراحی دارای ویژگی تصادفی می باشند. در تعریف متغیرهای تصادفی ورودی آنها اغلب بر مبنای مقادیر به دست آمده از اندازه گیری های انجام شده با اشیاء واقعی و حتی در دراز مدت تعریف می شوند [۲، ۲۵].

فرایند ارزیابی احتمالاتی و طراحی سازه فقط در شیوه طراحی رایج وارد شده اند [۲۹]. از روشهای محاسبه ذکر شده در فوق در طراحی سیستم های تحمل کننده بار سازه ای [۹] یا زیرزمینی [۲۸] در زمانی که عمر مفید ساخت و ساز نیز می تواند علاوه بر قابلیت اطمینان آن برآورد شود استفاده می شود هم چنین از چنین روش ها برای تجزیه و تحلیل مقاومت سازه در برابر اثرات تخریبی [۲۷] و خوردگی [۲۲، ۳۰] نیز می توان بهره برد. این مقاله به استفاده از روش احتمالاتی اصلی و به تازگی توسعه یافته یعنی محاسبات احتمالی بهینه سازی شده مستقیم (به ترتیب DOProC) تمرکز دارد، که به طور عددی بدون استفاده از هر یک از تکنیک های شبیه سازی عمل می کند و نتیجه ای دقیق تر از وظایف احتمالاتی ارائه می دهد و در شرایط خاص نیز دارای محاسبه سریع تری است [۵، ۱۱].

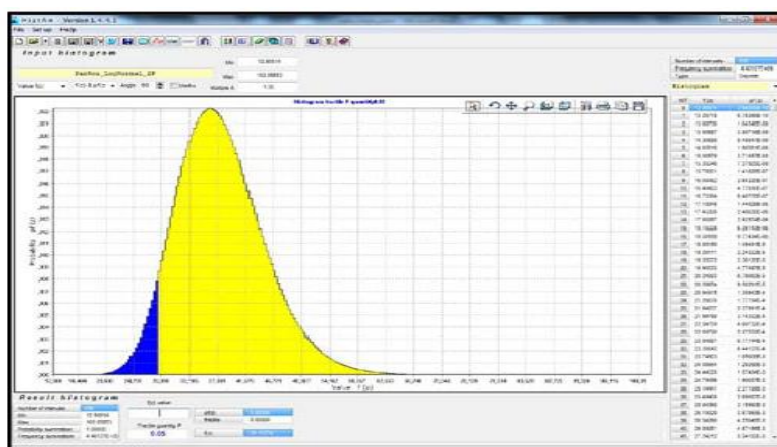
روش محاسبه با استفاده از روش DOProC از لحاظ نظری در چندین نشریه [۳، ۴] منتشر شده است. در حال حاضر یک خط از وظایف احتمالی را می توان با استفاده از روش DOProC حل کرد. برای این منظور چندین نرم افزار برای استفاده از روش DOProC توسعه داده شده اند.

۲. کاربرد روش DOProC برای استفاده جهانی

برای محاسبات احتمالاتی با امکان تعریف آزادانه مدل محاسبات و همچنین متغیرهای تصادفی ورودی، سیستم ProbCalc که به طور مداوم توسعه یافته است می تواند مورد استفاده قرار گیرد و این سیستم شامل چندین ماژول محاسباتی است [۵، ۱۴].

۱.۲. HistAn برنامه

ابزار برنامه HistAn (نگاه کنید به شکل ۱) برای تجزیه و تحلیل دقیق تر هیستوگرام های ورودی و استخراج نتایج استفاده می شود. با استفاده از این ابزار می توانیم ویژگی های پایه هیستوگرام را بدست آوریم و همچنین محاسبات ساده ای را انجام دهیم - مثلاً تنظیم مقدار عملکردی با چارک مربوطه و حتی عملیات معکوس - تنظیم چارک برای مقدار تابع متغیر مجموعه. با استفاده از این برنامه ما همچنین قادر به تعریف ترکیبی از چندین هیستوگرام ورودی و به اصطلاح خلاصه ای از هیستوگرام ها هستیم که می تواند برای محاسبات استفاده شود اما حداقل هیستوگرام ها با توزیع پارامتریک احتمالی، می تواند در برنامه پس از وارد کردن پارامترهای لازم اجرا شود که این پارامترها نیز وابسته به تقسیم احتمالی استفاده شده است. کاربر برنامه می تواند لیستی از بیست نوع توزیع پارامتریک احتمالی را انتخاب کند.

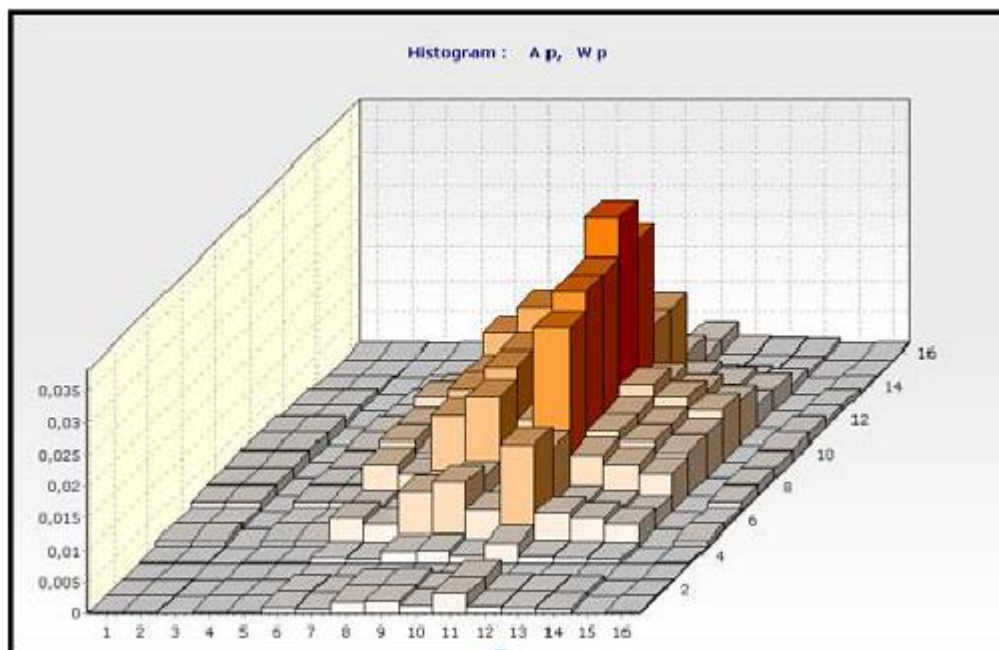


شکل ۱: دسکتاپ برنامه HistAn: هیستوگرام با توزیع پارامتریک احتمالی و محاسبه شده

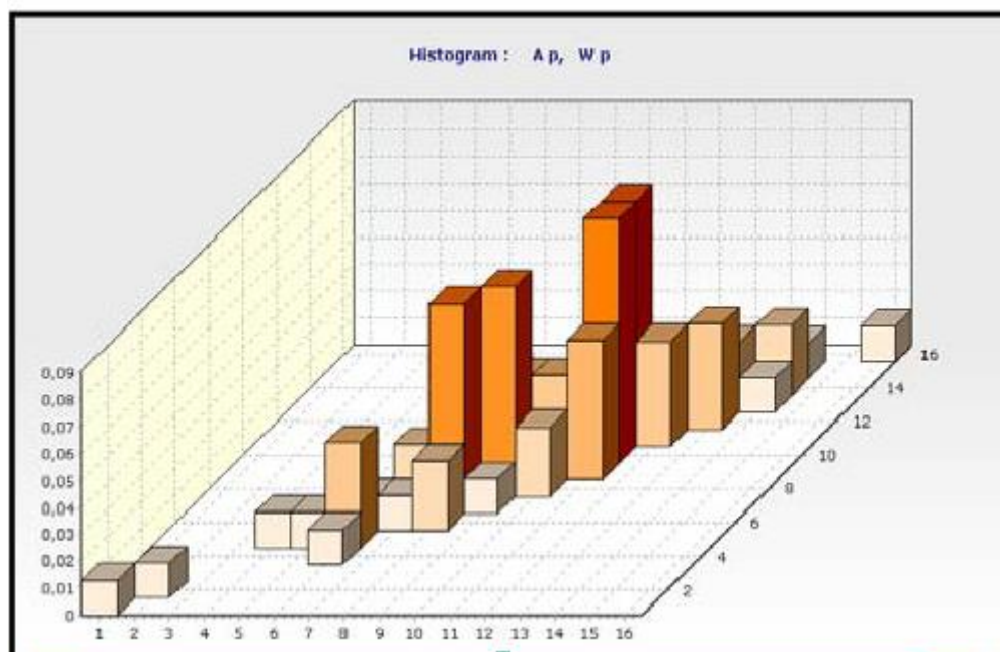
هیستوگرام های دارای توزیع پارامتری یا غیر پارامتری (تجربی) از احتمالات ممکن است حتی بر اساس داده های اندازه گیری شده که از لحاظ آماری مورد ارزیابی قرار گرفته اند و در کلاس هایی طبقه بندی شده اند، تشکیل شود. در مورد توزیع پارامتری احتمالی، مناسبترین نوع توزیع پارامتریک احتمال بر اساس ضریب تعیین برای داده های انتخاب شده، توصیه می شود. این عملیات محاسباتی را می توان در شکل متفاوتی حتی در سایر محاسبات از سیستم ProbCalc انجام داد.

۲.۲. برنامه های D²HistAn و D³HistAn

برنامه های D²HistAn و D³HistAn برای ایجاد هیستوگرام های دوگانه و سه گانه [۷] ایجاد شده اند که قادر به بیان وابستگی آماری بین دو Res در میان سه مقدار متغیر تصادفی (به عنوان مثال ویژگی های مقاومتی مواد ساختمانی و یا ویژگی های، مقطع، شكا، ۳، ۲، ۱) هستند.



شکل ۲: دسکتاپ برنامه D²HistAn: رفتار دو مقادیر مستقل تصادفی - سطح مقطع A و سطح مقطع مدول Wy

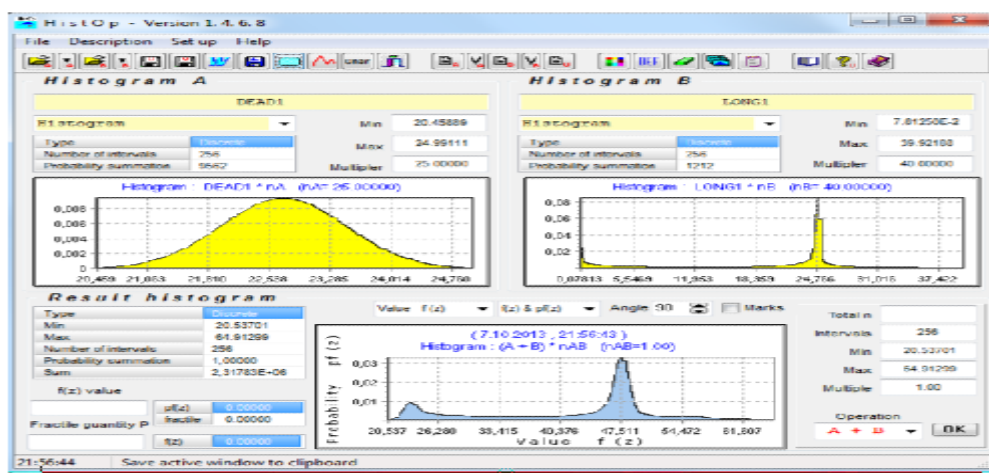


شکل ۳: خروجی برنامه HistAn ۲: هیستوگرام دوگانه برای دو مقدار آماری وابسته به مقدار - سطح مقطع A و سطح مقطع مدول Wy

سپس هیستوگرامهای چند بعدی به دست آمده می توانند در محاسبات احتمالی حل شده توسط روش DOPROC و با استفاده از ماژول های دیگر محاسباتی، به عنوان مثال برنامه [PropCalc ۲۰]، نیز وارد شوند.

۲.۳. برنامه HistOp

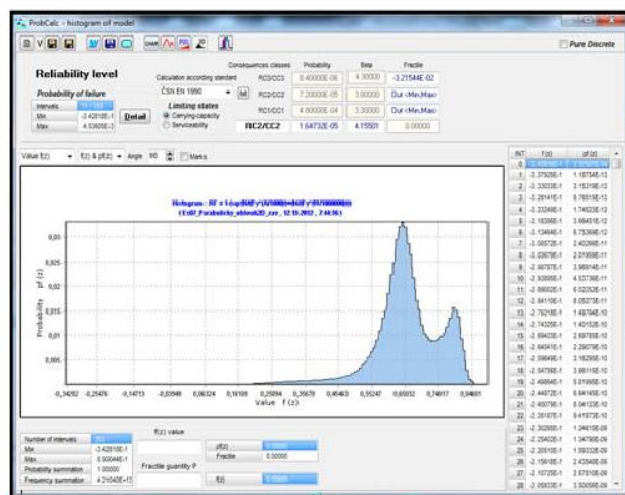
عملیات پایه ریاضی را می توان با هیستوگرام ها انجام داد. به عنوان مثال، در مورد ترکیب بارها، این عملیات ریاضی بیشتر برای جمع آوری هیستوگرام های انواع تجهیزات خاص استفاده می شود. برای انجام عملیات محاسباتی اساسی با هیستوگرام ها، ابزار برنامه (HistOp شکل ۴) توسعه داده شده است که این ابزار قادر به انجام عملیات ریاضی زیر با یک جفت هیستوگرام است: مجموع، تفاوت (اختلاف)، تولید و نسبت هر دو هیستوگرام، مجذور و مقدار مطلق هیستوگرام.



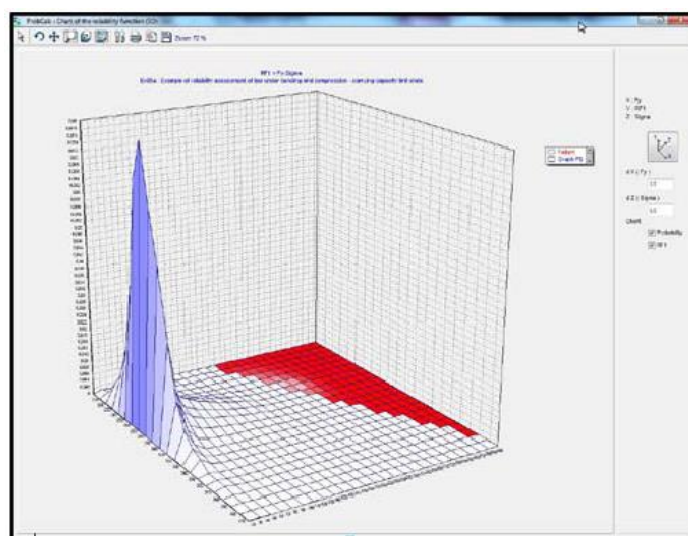
شکل ۴: دسکتاپ برنامه HistOp: محاسبه ترکیب بار مرده و دراز مدت

۲.۴. برنامه ProbCalc

ابزار محاسباتی اصلی سیستم ProbCalc (شکل ۵ و ۶) با یک نام برنامه مشابه تشکیل شده است که در آن مدل تحلیلی از وظیفه احتمالاتی حل شده با استفاده از یک ویرایشگر متنی، در سیستم گنجانده شده است.



شکل ۵: دسکتاپ برنامه ProbCalc: هیستوگرام تابع قابلیت اطمینان محاسبه شده تحت ارزیابی قابلیت احتمالی RF



شکل ۶: دسکتاپ برنامه ProbCalc: نمودار سه بعدی قابلیت اطمینان محاسبه شده تحت بررسی قابلیت اطمینان احتمالی RF

در میان موارد دیگر، فرایندهای بهینه سازی (فاصله، منطقه بندی و روند بهینه سازی) به نرم افزار توسعه یافته گنجانده شده که این نرم افزار می تواند مراحل محاسبه را به مقدار قابل توجهی کاهش دهد و در نتیجه زمان محاسبه نیز کاهش پیدا می کند. این تکنیک های بهینه سازی می تواند متقابلاً ترکیب شود.

راه دیگری برای کاهش شدت زمان وظایف احتمالی حل شده، همپوشانی آن است. عملیات محاسباتی که در حین حل وظایف سخت تر با استفاده از روش DOProC انجام می شود، می تواند به آسانی تغییر یابد به طوری که این عملیات به صورت موازی رخ در برنامه ProbCalc نیز اجرا شوند. اگر رایانه مورد استفاده دارای دو پردازنده یا دو هسته بیشتری باشد، زمان محاسبه می تواند به طور قابل توجهی کاهش یابد.

با استفاده از مدل های محاسباتی پیچیده عددی، امکان استفاده از روش برنامه ریزی شده کاربر در قالب کتابخانه پویا (فایل با پسوند DLL) نیز وجود دارد. بنابراین تعیین وظیفه احتمالی در سیستم برنامه ProbCalc نیاز به توانایی بسیار پیشرفته ماشین حساب دارد. حداقل الگوریتم پایه باید شناخته شود که این نیز بر روش تعریف مدل محاسباتی و انتخاب روش بهینه سازی مناسب تاثیر گذار است.

اگر ارزیابی قابلیت اطمینان ساختار حل شده، موضوع محاسبه احتمالی بر اساس نابرابری باشد در نتیجه داریم که:

در اینجا RF برابر عملکرد قابلیت اطمینان، R مقاومت ساختمان و E اثر بار است، محاسبه احتمال شکست PF برابر است با:

و همچنین در تبدیل به کدهای اروپایی داریم که:

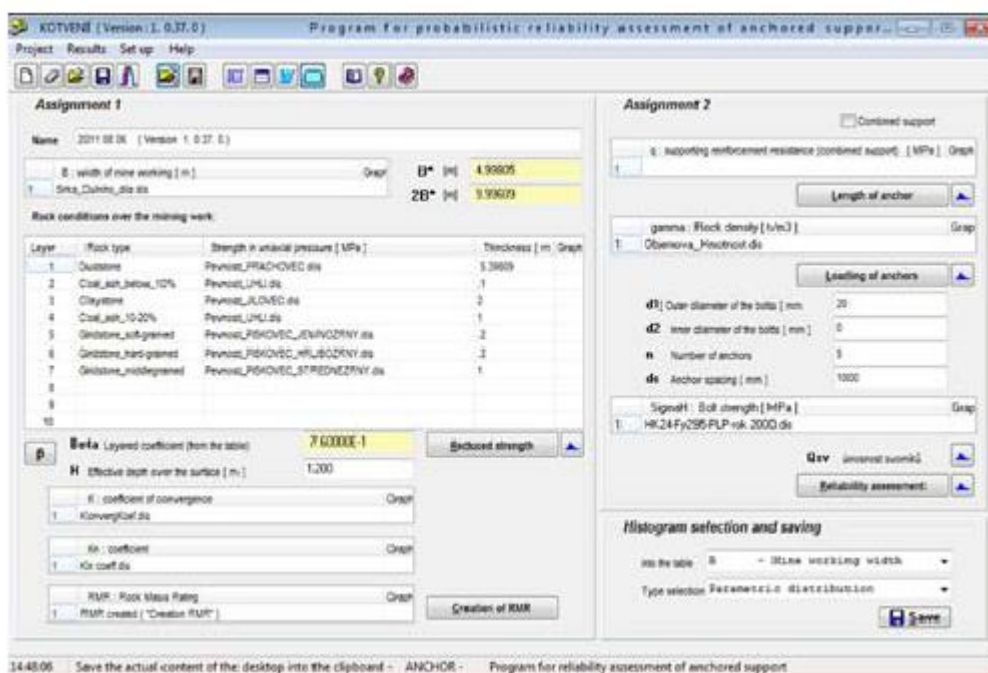
در این رابطه نیز pd برابر احتمال شکست طراحی شده در کد اروپایی است و سپس RF تابع قابلیت اطمینان بوده که می تواند به سادگی با هیستوگرام نهایی تجزیه و تحلیل شود [۱۳]. برای ویژگی های جالب برنامه همچنین تصویر D^3 از RF قابلیت اطمینان تعلق می گیرد که همین تصویر باعث ایجاد تجزیه و تحلیل دقیق تر از کار احتمالی حل شده می شود.

۳. نرم افزار پیشرفته با استفاده از روش DOProC

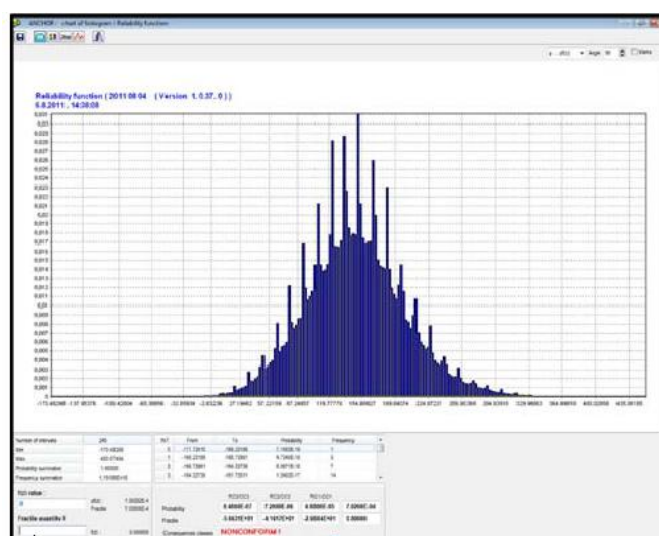
کمبود رابط کاربری که در برنامه ProbCalc (که توسط الزامات لازم برای برنامه جهانی داده می شود) وجود دارد، در صورت استفاده از نرم افزار کاربردی پیچیده که برای کار احتمالی خاصی نیز طراحی شده است، از بین می رود. بنابراین کاربر نیازی به تعریف پیچیدگی مدل محاسباتی ندارد و هم چنین نیازی به انتخاب نوع روش بهینه سازی نیز ندارد. کاربر تنها می تواند متغیرهای ورودی را وارد کرده و سپس شروع به محاسبه و تجزیه و تحلیل نتایج کار احتمالاتی کند.

۳.۱ برنامه Anchor (مهارى)

برنامه مهارى (شکل ۷ و ۸) قادر به طراحی و ارزیابی تکیه گاه های مهارى عملیات معدن است که در حال حاضر نشان دهنده بخش مهمی از روش تقویت در معدن، تونل زنی و مهندسی عمران زیرزمینی است [۶، ۱۷]. روش محاسباتی که در این نرم افزار پیچیده استفاده می شود، امکان طراحی و ارزیابی طول، تعداد و ظرفیت تحمل تقویت های مهارى را فراهم می کند.



شکل ۷: دسکتاپ برنامه مهاری با توضیحات تمام مقادیر ورودی که وارد سیستم می شوند

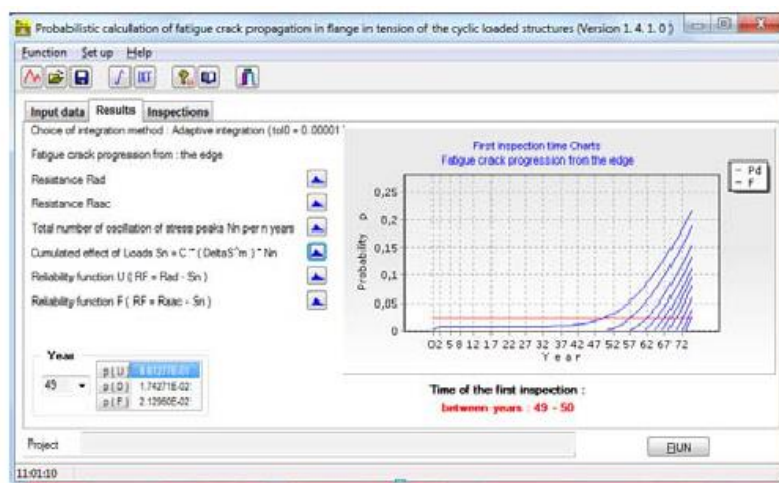


شکل ۸: دسکتاپ برنامه مهاری با هیستوگرام به دست آمده از عملکرد قابلیت اطمینان و ارزیابی قابلیت اطمینان تقویت مهاری

همچنین یک پایگاه داده از متغیرهای تصادفی ورودی وجود دارند که بخشی از ماژول محاسباتی که بر روی اندازه گیری ها در تولید کنندگان المان های تقویتی مهاری و در فعالیت های معدن در منطقه زغال سنگ اتراوا-کاروینا که در آن تقویت پیچ و مهره استفاده می شود، را تشکیل می دهد.

۳.۲. برنامه FCProbCalc

در برنامه FCProbCalc (شکل ۹، [۱۱، ۱۵]) روش های محاسباتی برای محاسبه احتمال رخ دادن ترک های ناشی از خستگی که از لبه و سطح سازه سیلیکونی فولادی ایجاد می شوند، وجود دارد که این روش ها نیز بر اساس مدل محاسباتی و مکانیک شکست خطی است [۱۲، ۱۸، ۱۹]. با استفاده از این برنامه، احتمال ارزیابی قابلیت اطمینان ساخت و ساز را می توان بر اساس تعریف دقیق اندازه قابل قبول ترک خستگی و تعریف احتمال وقوع سه واقعیت اساسی در ارتباط با گسترش ترک های خستگی که منجر به محاسبه احتمال شکست برای هر سال از عملیات می شود، وجود دارد [۱۰، ۱۶].



شکل ۹: دسکتاپ برنامه FCPro Calc با نتایج مدلسازی احتمالاتی از انتشار ترک خستگی از لبه

در تنظیم قابلیت اطمینان مورد نیاز، نرخ زمان بازرسی اولیه از ساخت و ساز می تواند تنظیم شود که بر آسیب خستگی و استفاده از شرایط احتمالی و همچنین زمان بازرسی زیر، تمرکز خواهد داشت. بدین ترتیب روش پردازش شده همراه با کاربردهای اعلان شده ممکن است به طور قابل ملاحظه ای باعث بهبود برآورد هزینه های صرف شده برای نگهداری سازه ها و پل ها در براگذاری سیکلی شود.

۴. نتیجه گیری

توسعه روشهای احتمالاتی و کاربرد آن در ارزیابی قابلیت اطمینان ساختاری در این مقاله با توجه به روش احتمالاتی جدید DOProC مورد توجه قرار گرفت. روش DOProC یک ابزار بسیار موثر برای به دست آوردن راه حل وظایف احتمالی بوده و تنها با یک خطای عددی و خطا ایجاد شده از تفکیک سازی متغیرهای ورودی و خروجی تامین می شود. همچنین ابزارهای برنامه ای توسعه یافته برای اجرای روش DOProC اعلام شدند که در حال حاضر قادر به حل یک محاسبات احتمالی هستند. روش DOProC نه تنها برای وظایف ارزیابی قابلیت اطمینان مناسب هستند بلکه برای سایر محاسبات احتمالی نیز مفید است و همچنین می توان از نرم افزار ProbCalc یا دیگر برنامه های پیشرفته توصیف شده نیز استفاده کرد.

منابع

- [1] Cajka, R., Accuracy of stress analysis using numerical integration of elastic half-space. *Applied Mechanics and Materials*, vol. 300-301 (2013), pp. 1127-1135 (9 p). ISSN: ۱۶۶۰۹۳۳۶, ISBN: ۹۷۸-۳-۰۳۷۸۵۶۵۱-۲, DOI: ۱۰,۴۰۲۸/www.scientific.net/AMM.۳۰۰-۳۰۱,۱۱۲۷.
- [2] Gocal, J., Vican, J., Hlinka, R., Jost, J., Laboratory tests of a typical fatigue prone riveted steel railway bridge structural detail. *Procedia Engineering*, vol. 2, issue 1 (2010), pp. 1761-1766 (6 p). ISSN: 18777058, DOI: ۱۰,۱۰۱۶/j.proeng.۲۰۱۰,۰۳,۱۸۹.
- [3] Janas, P., Krejsa, M., Krejsa, V., Assessment Using Direct Determined Probabilistic Calculation. *Proceedings of the Twelfth International Conference on Civil, Structural and Environmental Engineering Computing: CC 2009*, Civil-Comp Press (2009), 20 p, ISBN ۹۷۸-۱-۹۰۵۰۸۸-۳۱-۷. Elsevier B.V. (۲۰۱۲), ISBN 978-190508830-0, DOI: ۱۰,۴۲۰۳/ccp.۹۱,۷۲.
- [4] Janas, P., Krejsa, M., Krejsa, V., Using the Direct Determined Fully Probabilistic Method (DDFPM) for determination of failure. *Proceedings of European Safety and Reliability Conference (ESREL 2009): Reliability, Risk and Safety: Theory and Applications, Vols 1-3*, London: Taylor & Francis Group (2010), pp. ۱۴۶۷-۱۴۷۴ (۸ p), ISBN ۹۷۸-۰-۰۱۵-۵۵۵۰۹-۸, WOS 000281188500203.
- [5] Janas, P., Krejsa, M., Krejsa, V., Software Package ProbCalc from the Poin of View of a User. *Transactions of the VSB – Technical University of Ostrava: Construction Series*. Versita (2010), vol. 10, Issue 1, pp. 1-11. ISSN ۱۸۰۴-۴۸۲۴, DOI: ۱۰,۲۴۷۸/v۱۰۱۶۰-۰۱۰-۰۱۰-۷.
- [6] Janas, P., Snupárek, R., Krejsa, M., Krejsa, V., Designing of Anchoring Reinforcement in Underground Workings Using DOProC Method. *Transactions of the VSB – Technical University of Ostrava: Construction Series*. Versita (2010), vol. 10, Issue 2, pp. 1-13. ISSN 1804-4824, DOI: 10.2478/v10160-010-0020-5.
- [7] Janas, P., Krejsa, M., Krejsa, V., Statistical Dependence of Input Variables in DOProC Method. *Transactions of the VSB – Technical University of Ostrava: Construction Series*. Versita (2012), vol. 12, Issue 2, pp. 48-58 (11 p). ISSN 1804-4824. DOI: ۱۰,۲۴۷۸/v۱۰۱۶۰-۰۱۲-۰۰۱۷-3.
- [8] Kala, Z., Kala, J., Lateral-torsional buckling analysis of I-beams using shell finite elements and nonlinear computation methods. In *Proceedings of AIP Conference of Numerical Analysis and Applied Mathematics (ICNAAM ۲۰۱۲)*, vol. ۱۴۷۹, Issue ۱ (۲۰۱۲), pp. ۲۰۶۶-۲۰۶۹ (4 p). ISSN: 0094243X ISBN: 978-073541091-۶, DOI: ۱۰,۱۰۶۳/۱,۴۷۵۶۵۹۶.
- [9] Kralik, J., Kralik Jr, J., Probability assessment of analysis of high-rise buildings seismic resistance. *Advanced Materials Research*, vol. ۷۱۲-۷۱۵ (۲۰۱۳), pp. ۹۲۹-۹۳۶, ISSN ۱۰۲۲-۶۶۸۰, DOI: ۱۰,۴۰۲۸/www.scientific.net/AMR.۷۱۲-۷۱۵,۹۲۹.
- [10] Krejsa, M., Tomica, V., Determination of Inspections of Structures Subject to Fatigue. *Transactions of the VSB - Technical University of Ostrava: Construction Series*. Versita (2011), vol. ۱۱, Issue ۱, pp. ۱-۱۱. ISSN ۱۸۰۴-۴۸۲۴. DOI: ۱۰,۲۴۷۸/v۱۰۱۶۰-۰۱۱-۰۰۷-x.
- [11] Krejsa, M., Probabilistic Calculation of Fatigue Crack Progression Using FCProbCalc Code. *Transactions of the VSB - Technical University of Ostrava: Construction Series*. Versita (2012), vol. 12, Issue 1, pp. 1-11. ISSN 1804-۴۸۲۴. DOI: ۱۰,۲۴۷۸/v۱۰۱۶۰-۰۱۲-۰۰۳-۹.
- [12] Krejsa, M., Stochastic Modelling of Fatigue Crack Progression using the DOProC Method. In *Proceedings of the Eleventh International Conference on Computational Structures Technology*,

Civil-Comp Press (2012), pp. 1- ۱۸, ISBN ۹۷۸-۱-۹۰۵۰۸۸-۵۴-۶, ISSN ۱۷۵۹-۳۴۳۳, DOI: ۱۰,۴۲۰۳/ccp.۹۹,۱۱۳.

[13] Krejsa, M., Janas, P., Cajka, R., Using DOProC method in structural reliability assessment. *Applied Mechanics and Materials: Mechatronics and Applied Mechanics II*. Trans Tech Publications, vol. 300-301 (2013), pp. ۸۶۰-۸۶۹ (۱۰ p), ISSN ۱۶۶۰-۹۳۳۶, ISBN ۹۷۸-۳۰۳۷۸۵۶۵۱-۲, DOI: ۱۰,۴۰۲۸/www.scientific.net/AMM.۳۰۰-۳۰۱,۸۶۰.

[14] Krejsa, M., Janas, P., Krejsa, V., Direct Optimized Probabilistic Calculation. In: *Recent Advances in Systems Science & Mathematical Modelling: Proceedings of the 3rd International Conference on Mathematical Models for Engineering Science (MMES '12)*. WSEAS Press (2012), pp. 216-221 (6 p). ISBN ۹۷۸-۱-۶۱۸۰۴-۱۴۱-۸.

[15] Krejsa, M., The Probabilistic Calculating of Fatigue Crack Propagation Using FCProbCalc Program. In: *Proceedings of 18th International Conference Engineering Mechanics 2012*. ITAM AS CR, Prague (2012), pp. 745-754 (10 p). ISBN 978-80-86246-39-0.

[16] Krejsa, M., Inspection Based Probabilistic Modeling of Fatigue Crack Progression. In: *Recent Advances in Mechanical Engineering & Automatic Control: Proceedings of the 3rd European Conference of Mechanical Engineering (ECME' 12)*. WSEAS Press (2012), pp. 104-109 (6 p). ISBN 978-1-61804- ۱۴۲-۵.

[17] Krejsa, M., Janas, P., Yilmaz, I., Marschalko, M., Bouchal, T., The Use of the Direct Optimized Probabilistic Calculation Method in Design of Bolt Reinforcement for Underground and Mining Workings. *The ScientificWorld Journal*, vol. 2013, Article ID 267593, 13 p (2013). doi:10.1155/2013/267593.

[18] Krejsa, M., Probabilistic Failure Analysis of Steel Structures Exposed to Fatigue. *Key Engineering Materials*. Vol. 577-578 (2013), pp. 101-104 (4 p), ISSN 1662-9795, DOI: 10.4028/www.scientific.net/KEM.577-578.101.

[19] Krejsa, M., Probabilistic reliability assessment of steel structures exposed to fatigue. *Proceedings of Conference ESREL 2013: Safety, Reliability and Risk Analysis: Beyond the Horizon, Amsterdam, Nederland, 2013*, London: Taylor & Francis Group (2014), pp. 2671-2679 (9 p), ISBN 978-1-138-00123-7.

[20] Krejsa, M., Janas, P., Krejsa, V., Probabilistic calculation using DOProC method with statistically dependent input variables. In *Proceedings of the 11th International Probabilistic Workshop*, Brno (2013), pp. 203-218 (16 p), ISBN 978-80-214- ۴۸۰۰-۱.

[21] Krejsa, M., Cajka, R., The foundations lab monitoring of the National Supercomputing Center - IT4Innovations during construction. In *Proceedings of the 11th International Probabilistic Workshop*, Brno (2013), pp. 219- ۲۳۴ (۱۶ p), ISBN ۹۷۸-۸۰-۲۱۴-۴۸۰۰-۱.

[22] Krivy, V., Fabian, L., Calculation of corrosion losses on weathering steel structures. *Applied Mechanics and Materials*, vol. 188 (2012) pp. 177-182 (6 p). ISSN: 16609336, ISBN: ۹۷۸-۳۰۳۷۸۵۴۵۲-۵, DOI: ۱۰,۴۰۲۸/www.scientific.net/AMM.۱۸۸,۱۷۷.

[23] Lajcakova, G., Melcer, J., Dynamic effect of moving vehicles on the road concrete slabs. *Komunikacie*, vol. 13, issue 3 (2011), pp. 14-18 (5 p). ISSN: 13354205.

[24] Leoveanu, I. S., Taus, D., Kotrasova, K., Kormanikova, E., Computer fluid dynamics application for establish the wind loading on the surfaces of tall buildings. In *Proceedings of*

۱۳th WSEAS International Conference on Automatic Control, Modelling and Simulation, ACMOS'11 (2011), pp. 433-438 (6 p). ISBN: ۹۷۸-۱۶۱۸۰۴۰۰۴-۶.

[25] Lokaj, A., Vavrusova, K., Rykalova, E., Application of laboratory tests results of dowel joints in cement-splinter boards VELOX into the fully probabilistic methods (SBRA method). *Applied Mechanics and Materials*, vol. 137 (2012), pp. 95-99 (5 p). ISSN: ۱۶۶۰۹۳۳۶, ISBN: ۹۷۸-۳۰۳۷۸۵۲۹۱-۰, DOI: ۱۰,۴۰۲۸/www.scientific.net/AMM.۱۳۷,۹۵.

[26] Mikolasek, D., Sucharda, O., Brozovsky, J., Analysis of composite timber-concrete ceiling structure by finite element method. *Applied Mechanics and Materials*, vol. 351-352 (2013), pp. 254-259 (6 p). ISSN: 16609336, DOI: ۱۰,۴۰۲۸/www.scientific.net/AMM.۳۵۱-۳۵۲,۲۵۴.

[27] Novak, D., Vorechovsky, M., Teply, B., FReET: Software for the statistical and reliability analysis of engineering problems and FReET-D: Degradation module. *Advances in Engineering Software* (2013). ISSN: 09659978, DOI: 10.1016/j.advengsoft.2013.06.011.

[28] Spacková, O., Sejnoha, J., Straub, D., Probabilistic assessment of tunnel construction performance based on data. *Tunnelling and Underground Space Technology*, vol. 37 (2013), pp. 62-78 (17 p). ISSN: 08867798, DOI: 10.1016/j.tust.2013.02.006.

[29] Sykora, M., Holicky, M., Markova, J., Verification of existing reinforced concrete bridges using the semi-probabilistic approach. *Engineering Structures*, vol. 56 (2013), pp. ۱۴۱۹-۱۴۲۶ (۸ p). ISSN: ۰۱۴۱۰۲۹۶, DOI: ۱۰,۱۰۱۶/j.engstruct.۲۰۱۳,۰۷,۰۱۵.

[30] Vorechovska, D., Teply, B., Chroma, M., Probabilistic assessment of concrete structure durability under reinforcement corrosion attack. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, vol. 24, issue 6 (2010), pp. 571-579 (9 p). ISSN: 08873828, DOI: 10.1061/(ASCE)CF.1943-5509.0000130.