Archive of SID

دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی تکنیک تهران)

دوره ۴۸، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۵، صفحه ۳۸۷ تا ۳۹۴
Vol. 48, No. 4, Winter 2016, pp. 387-394

نشریه علمی پژوهشی امیرکبیر - مهندسی عمران و محیط زیست

**Amirkabir Jounrnal of Science and Research
Civil and Enviromental Engineering
(AJSR-CEE)**

بررسی شاخص قابلیت اعتماد تیر طراحی‌شده بر اساس آیین‌نامه طراحی ساختمان‌های بتنی ایران (مبحث نهم)

احسان جهانی*

استادیار، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه مازندران

(دریافت: ۱۳۹۲/۲/۲۹، پذیرش: ۱۳۹۳/۱۲/۱۶)

چکیده

آیین‌نامه طراحی ایران با اعمال ضرایب اطمینان جزئی در بار و مقاومت، درصدد آن است تا سازه‌های طراحی‌شده را در محدوده ایمنی مشخصی قرار دهد. با محاسبه شاخص قابلیت اعتماد می‌توان به بررسی میزان ایمنی سازه‌ها پرداخت. در این مقاله، شاخص قابلیت اعتماد تیر به عنوان عضو مهمی از سازه در نظر گرفته شده و چگونگی اثرگذاری مقادیر مختلف مؤلفه‌ها و ضرایب تغییرات آن‌ها بر شاخص قابلیت اعتماد تیر بررسی می‌شود. در انتها نیز ضرایب اطمینان جزئی برای حالات مختلف ارائه می‌شود. به منظور محاسبه شاخص قابلیت اعتماد، از یک روش جدید بر مبنای الگوریتم ژنتیک استفاده می‌شود. این روش جدید در مقایسه با روش‌های سنتی و روش‌های شبیه‌سازی مانند مونت‌کارلو کارایی بیشتری دارد. زیرا از یک طرف به فرم ریاضی تابع حالت حدی نیازی نداشته و از طرفی دیگر، زمان محاسباتی نسبتاً کمی دارد.

کلمات‌کلیدی:

نظریه قابلیت اعتماد، الگوریتم ژنتیک، شاخص قابلیت اعتماد، تابع حالت حدی

برای ارجاع به این مقاله از عبارت زیر استفاده کنید:

Please cite this article using:
Jahani, E., 2016. "Reliability-based Evaluation of Beams Designed in Accordance with Iranian Design Code". *Amirkabir Journal of Civil and Environmental Engineering*, 48(4), pp. 387-394.
DOI: 10.22060/ceej.2016.675
URL: http://ceej.aut.ac.ir/article_675.html

نویسنده مسئول و عهده‌دار مکاتبات: E-mail: e.jahani@umz.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

در ساخت هر عضو سازه‌ای، مؤلفه‌های مربوط به طراحی مطرح می‌شوند که دارای تغییرات نیز خواهند بود. بنابراین، برای هر یک از مؤلفه‌های طراحی می‌توان توزیع آماری در نظر گرفت که از این میان، برخی دارای ضریب تغییرات نسبتاً بزرگی بوده و از این رو، نمی‌توان از آن‌ها صرف‌نظر نمود. این مؤلفه‌های طراحی تصادفی را متغیرهای اصلی[1] می‌نامند. به دلیل رفتار تصادفی مؤلفه‌های طراحی، نمی‌توان سلامت یا خرابی سازه را به صورت قطعی بیان نمود و بر این اساس، احتمال خرابی سازه مطرح شود [۱]. برای محاسبه احتمال خرابی یک سازه، از نظریه قابلیت اعتماد استفاده می‌شود. روش‌های مختلفی برای تعیین شاخص قابلیت اعتماد وجود دارد. اولین روش تعیین شاخص قابلیت اعتماد توسط کرنل[2] [۲] و در سال ۱۹۶۹ تحت عنوان روش کرنل مطرح شد. در این روش، تابع حالت حدی توسط اولین جمله از سری تیلور در نقطه میانگین تقریب زده شده و به این ترتیب، تابع حالت حدی به تابعی خطی تبدیل می‌شود و با محاسبه میانگین و انحراف معیار تابع حالت حدی، شاخص قابلیت اعتماد با استفاده از رابطه (۱) بدست می‌آید.

$$\beta = \frac{\mu_m}{S_m} \qquad (۱)$$

که درآن، μ_m و S_m به ترتیب میانگین و انحراف معیار تابع حالت حدی هستند. با داشتن β (شاخص قابلیت اعتماد)، P_f (احتمال خرابی) از رابطه (۲) بدست می‌آید.

$$P_f = \Phi(-\beta) \qquad (۲)$$

که در آن، Φ تابع توزیع تجمعی نرمال است. اما این روش تنها برای توابع حالت حدی خطی پاسخ دقیقی را ارائه می‌دهد و بنابراین، اگر تابع حالت حدی خطی نباشد، پاسخ دقیقی از این روش بدست نمی‌آید. البته برای حل این مشکل می‌توان جملات بیشتری از بسط سری تیلور را برای تابع حالت حدی در نظر گرفت. اما نقطه ضعف دیگر روش کرنل این است که به ازای فرم‌های ریاضی مختلف برای تابع حالت حدی در یک مسئله مشخص و ثابت، مقادیر متفاوتی برای شاخص قابلیت اعتماد بدست می‌آید. برای حل این مشکل، هازوفر و لیند[3] [۳] در سال ۱۹۷۴ با نرمال‌کردن متغیرهای تصادفی، فضای مسئله را تبدیل به یک فضای نرمال‌شده کردند و در چنین فضایی، شکل تابع حالت حدی تأثیری بر مقدار شاخص قابلیت اعتماد نمی‌گذارد. تمامی این روش‌ها (که نیاز به شکل ریاضی تابع حالت حدی دارند) معروف به روش‌های تحلیلی هستند و همین نیاز به شکل ریاضی تابع حالت حدی، بزرگ‌ترین عیب این روش‌ها محسوب می‌شود.

برای حل این مشکل، روش ارزیابی مونت‌کارلو مطرح شده است [۴]. اما در روش مونت‌کارلو[4]، نقطه طراحی[5] (که در مباحثی مانند طراحی بر اساس قابلیت اعتماد مورد استفاده قرار می‌گیرد) را نمی‌توان بدست آورد. بنابراین، روش الگوریتم ژنتیک که هیچ‌یک از محدودیت‌های قبل را ندارد، می‌تواند به عنوان یک راه حل مناسب مطرح شود. در این مقاله، در ابتدا به معرفی کوتاهی از الگوریتم ژنتیک پرداخته و به دنبال آن، نظریه قابلیت اعتماد با استفاده از آن بیان می‌شود. سپس با استفاده از این روش، شاخص قابلیت اعتماد تیر بررسی می‌گردد. برای کسب اطلاعات بیشتر درباره نظریه قابلیت اعتماد، به مراجع [۷-۵] مراجعه شود.

۲- الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک به عنوان یک ابزار قدرتمند در جستجو و بهینه‌یابی، اولین بار در رساله دکترای هولند[6] در سال ۱۹۷۴ مطرح شد و بعدها توسط شاگردانش همچون گُلدبرگ[7] توسعه یافت [۸]. تا به امروز تحقیق بر روی این ابزار قدرتمند ادامه دارد و همچنان نیز گسترش می‌یابد. کلیت این روش به این‌گونه است که در ابتدا مجموعه‌ای از پاسخ‌ها به صورت تصادفی در نظر گرفته می‌شود و سپس با سه عملگر اساسی انتخاب، تبادل و جهش از نسلی به نسل بعدی به پاسخ‌های بهتری می‌رسد و در نهایت نیز با برآوردن شرط توقف (که می‌تواند یک شرط همگرایی باشد)، پاسخ مسئله ارائه می‌شود. در ادامه، سه عملگر اساسی الگوریتم ژنتیک معرفی می‌شوند.

۲- ۱- انتخاب[8]

کروموزوم‌ها بر اساس مقدار سازگاریشان از نسل قدیمی انتخاب می‌شوند. انتخاب به صورت تصادفی انجام می‌گیرد. اما شانس هر کروموزوم برای انتخاب‌شدن به مقدار سازگاریش وابسته است. بنابراین، کروموزوم‌های قوی‌تر (با سازگاری بیشتر) در تولید فرزندان نسل جدید با احتمال بیشتری شرکت می‌کنند.

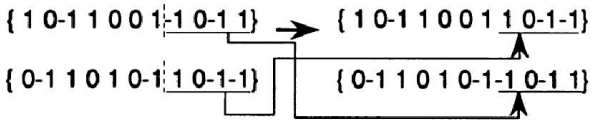
۲- ۲- تبادل[9]

در این عملگر، دو عضو از مجموعه اعضای انتخاب‌شده به صورت تصادفی انتخاب می‌شوند و سپس بخش‌هایی از این دو کروموزوم با هم عوض می‌گردند. در این روش، طرح‌های[10] مهم در رشته‌ها ترکیب و نگه داشته می‌شوند. شکل (۱) نحوه اجرای عملگر تبادل را نشان می‌دهد.

[1] Basic Variables
[2] A. C. Cornell
[3] Hasofer and Lind
[4] Monte Carlo
[5] Design Point
[6] John Holland
[7] David Goldberg
[8] Selection
[9] Crossover
[10] Schemata

www.SID.ir

Archive of SID



شکل (۱): نحوه اجرای تبادل

$$11001001 \Rightarrow 10001001$$

شکل (۲): نحوه اجرای عملگر جهش

۲- ۳- جهش[1]

بر اساس این عملگر، ارقام در هر کروموزوم به صورت تصادفی از یک به صفر یا ۱- و یا برعکس تغییر می‌کنند. البته این عملگر با احتمال بسیار کمی انجام می‌شود. شکل (۲) نحوه اجرای عملگر جهش را نشان می‌دهد.

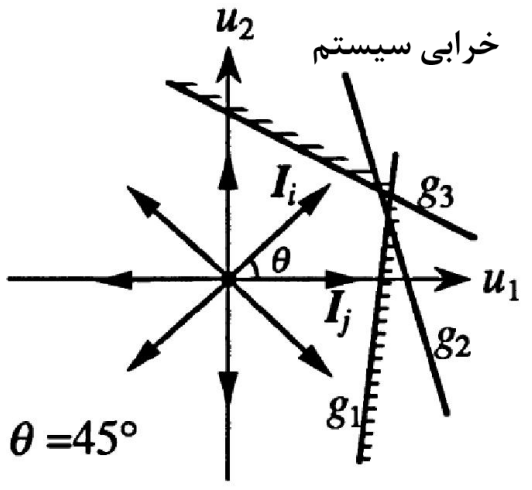
۳- نظریه قابلیت اعتماد با استفاده از الگوریتم ژنتیک

بنا بر تعریف هازوفر و لیند، شاخص قابلیت اعتماد کوتاهترین فاصله سطح گسیختگی تا مبدأ دستگاه مختصات نرمال‌شده است. بنابراین، تعیین شاخص قابلیت اعتماد تبدیل به یک مسئله کمینه‌یابی می‌شود و با استفاده از الگوریتم ژنتیک می‌توان کمترین فاصله را بدست آورد [۹،۱۰]. در ادامه، بخش‌های الگوریتم ژنتیک در مسئله نظریه قابلیت اعتماد بیان می‌شوند.

۳- ۱- جمعیت الگوریتم ژنتیک[2]

شاخص قابلیت اعتماد در فضای نرمال استاندارد در راستاهای مختلف، برابر با فاصله سطح گسیختگی تا مبدأ دستگاه مختصات در آن راستا است و بنابراین، با الگوریتم ژنتیک به دنبال راستایی باید بود که کمترین فاصله سطح گسیختگی تا مبدأ را داشته باشد. شکل (۳) هشت راستای جستجو را در فضای نرمال استاندارد دو متغیره نشان می‌دهد.

بنابراین، هر عضو از جمعیت الگوریتم ژنتیک یک بردار جستجو در فضای نرمال‌شده است. برای یک مسئله با n متغیر تصادفی، فضای نرمال‌شده n بعدی بوده و از این رو، هر عضو دارای n مؤلفه است که هر یک از آن‌ها در کدگذاری دودویی[3] می‌توانند توسط چند بیت ارائه شوند.



شکل (۳): تعدادی از راستاهای جستجو در فضای نرمال استاندارد

۳- ۲- سازگاری[4]

اعضایی که در الگوریتم ژنتیک به پاسخ مسئله نزدیک‌تر هستند، احتمال بیشتری برای بقا در فرآیند تکامل تدریجی و ترکیب با دیگر اعضا را دارند و بر اساس همین اصل، تکامل تدریجی رو به بهبود الگوریتم ژنتیک شکل گرفته است. به منظور مقایسه نزدیکی اعضای جمعیت به پاسخ مسئله (که سازگاری اعضا نامیده می‌شود)، از تابعی به نام تابع سازگاری استفاده می‌شود و به گونه‌ای ارائه می‌گردد که اعضای نزدیک‌تر به پاسخ مسئله دارای سازگاری بیشتری هستند. از آن‌جایی که کمترین مقدار شاخص قابلیت اعتماد (β) در نظریه قابلیت اعتماد از بین شاخص‌های قابلیت اعتماد راستاهای مختلف مورد نظر است، بنابراین تابع سازگاری رابطه‌ای عکس با مقدار β خواهد داشت؛ به طوری که راستاهایی که دارای β کمتری هستند، سازگاری بیشتری دارند. به عنوان مثال، تابع $1/\beta$ را می‌توان به عنوان تابع سازگاری در نظر گرفت.

۳- ۳- محاسبه شاخص قابلیت اعتماد اعضای الگوریتم ژنتیک

به منظور محاسبه تابع سازگاری، هر عضو باید شاخص قابلیت اعتماد مرتبط با آن عضو را بیابد. به این منظور، در ابتدا طول بردار جستجو (عضو) را بدست آورده و سپس مؤلفه‌های بردار جستجو بر طول آن تقسیم می‌شوند. به این ترتیب، بردار واحدی در راستای جستجو مورد نظر حاصل خواهد شد. سپس مقدار هر متغیر تصادفی نرمال‌شده استاندارد از رابطه (۳) محاسبه می‌شود.

$$Z_i = \alpha_i \cdot \beta \qquad (۳)$$

که در آن، α_i مؤلفه iام از بردار یکه جستجو است. ابتدا مقدار صفر برای β در نظر گرفته شده و به تدریج افزایش می‌یابد تا تابع حالت حدی صفر شود. β بدست آمده، شاخص قابلیت اعتماد در این راستا است. برای محاسبه تابع حالت حدی به ازای هر مقدار از β، باید مقدار Z_i به مقدار X_i (که متغیر تصادفی غیراستاندارد است)، تبدیل شود و برای این تبدیل، از رابطه (۴) استفاده می‌شود.

$$X_i = \mu_i + S_i \cdot Z_i \qquad (۴)$$

که در آن، μ_i و S_i به ترتیب میانگین و انحراف معیار متغیر iام هستند.

[1] Mutation

[2] Population

[3] Binary

[4] Fitness

www.SID.ir

Archive of SID

جدول (۱): مؤلفه‌های طراحی یک تیر

نام عامل	بار مرده	بار زنده	مقاومت بتن	تنش تسلیم فولاد	عرض مقطع تیر	عمق مقطع تیر	مساحت فولاد مقطع	طول تیر	درصد فولاد
علامت عامل	DL	LL	f_c	f_y	b	d	A_s	L	r

٤- بررسی شاخص قابلیت اعتماد تیر

شاخص قابلیت اعتماد هر عضو سازه‌ای طراحی‌شده بر اساس آیین‌نامه‌های ایران، وابسته به مشخصات آماری مؤلفه‌های طراحی عضو سازه‌ای است. شاخص قابلیت اعتماد تیری با مشخصات بیان‌شده در جدول (۱) در وضعیت‌های مختلف مورد بررسی قرار می‌گیرد.

٤- ۱- بررسی تأثیر ضریب تغییرات عوامل طراحی بر شاخص قابلیت اعتماد تیر

در این بخش از مقاله، بار مرده و زنده، مقاومت فشاری بتن، تنش حد تسلیم فولاد و عمق مقطع تیر به عنوان مؤلفه‌های اصلی با توزیع نرمال در نظر گرفته می‌شوند و از تغییرات سایر مؤلفه‌های طراحی که دارای ضریب تغییرات کمتری نیز هستند، صرف‌نظر کرده و به عنوان عوامل قطعی در نظر گرفته می‌شوند. شاخص قابلیت اعتماد تیر به ازای تغییر ضریب تغییرات هر یک از عوامل اصلی بین صفر تا ۰/۴ محاسبه می‌گردد (به دلیل تغییرات کم عمق مقطع تیر، ضریب تغییرات عمق مقطع تیر بین صفر تا ۰/۲ در نظر گفته شده است)؛ به طوری که در هر یک از این وضعیت‌ها، ضریب تغییرات چهار عامل دیگر برابر با ۰/۱ است. جدول (۲) مقدار متوسط مؤلفه‌های طراحی را ارائه می‌کند (واحدهای بکار رفته در این مقاله، کیلوگرم و سانتی‌متر هستند).

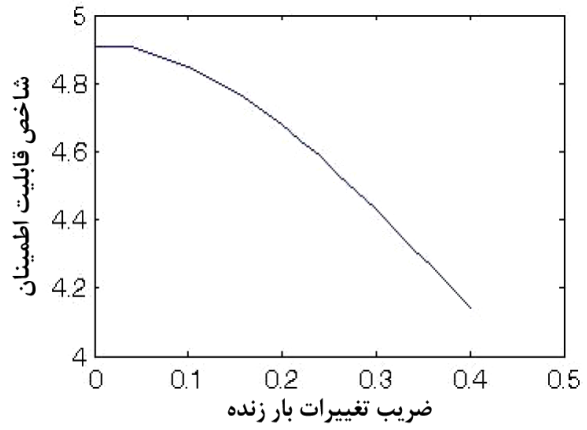
شکل‌های (۴) تا (۸)، به ترتیب تغییرات شاخص قابلیت اعتماد تیر را به ازای تغییر در ضریب تغییرات بار مرده، زنده، مقاومت فشاری بتن، تنش حد تسلیم فولاد و عمق مقطع تیر نشان می‌دهند.

٤- ۲- بررسی تأثیر تغییر مقدار مؤلفه‌های طراحی بر شاخص قابلیت اعتماد

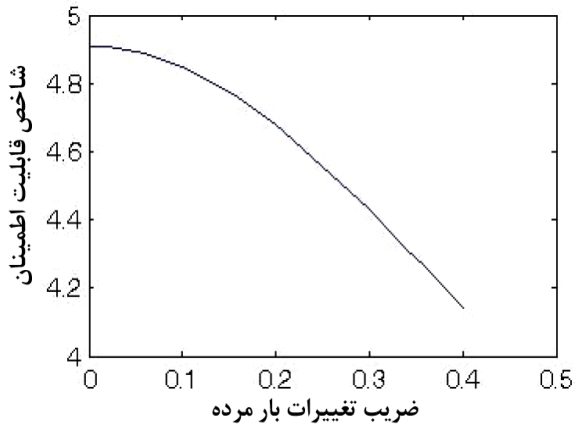
در این بخش از مقاله، مقدار شاخص قابلیت اعتماد تیر طراحی‌شده بر اساس آیین‌نامه ایران بدون تغییر در میزان ضریب تغییرات و تنها با تغییر در مقدار متوسط مؤلفه‌های طراحی به صورت مجزا محاسبه می‌گردد. مقدار ضریب تغییرات و مقدار متوسط مؤلفه‌های طراحی به صورت جدول (۳) در نظر گرفته می‌شود. در هر بار بررسی، هر یک از این

جدول (۲): مقدار متوسط مؤلفه‌های طراحی تیر

نام عامل	بار مرده (kg/cm)	بار زنده (kg/cm)	مقاومت بتن (kg/cm^2)	تنش تسلیم فولاد (kg/cm^2)	عرض مقطع تیر (cm)	عمق مقطع تیر (cm)	مساحت فولاد مقطع (cm^2)	طول تیر (cm)	درصد فولاد (٪)
علامت عامل	DL	LL	f_c	f_y	b	d	A_s	L	r
مقدار متوسط عامل	۱۰۰	۱۰۰	۲۰۰	۴۰۰۰	محاسبه می‌شود	۱/۲ عرض مقطع	محاسبه می‌شود	۳۰۰	۰/۸ درصد فولاد بالانس



شکل (٤): شاخص قابلیت اعتماد بر حسب ضریب تغییرات بار زنده

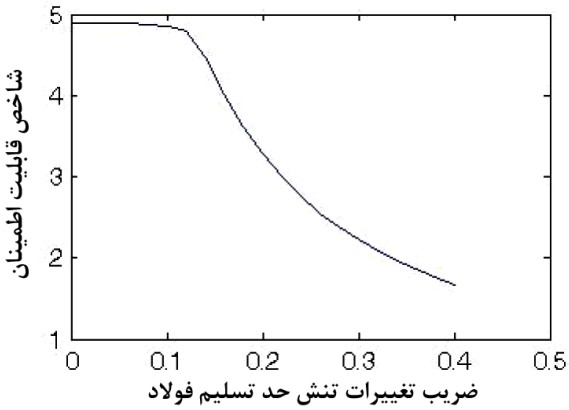


شکل (٥): شاخص قابلیت اعتماد بر حسب ضریب تغییرات بار مرده

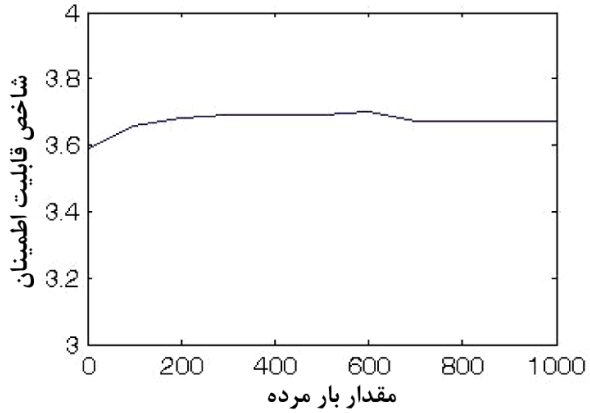
www.SID.ir

Archive of SID

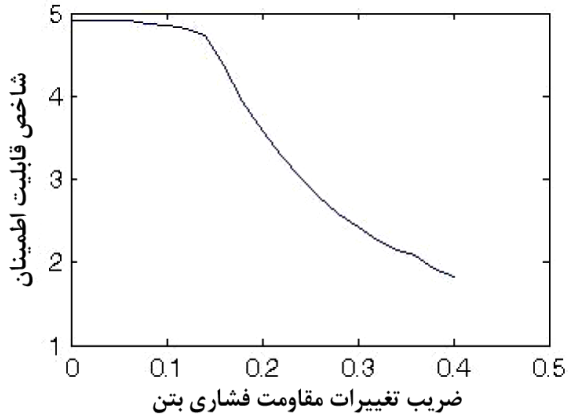
مؤلفه‌های طراحی در یک بازه تغییر می‌کند و مقدار شاخص قابلیت اعتماد محاسبه می‌گردد. شکل‌های (۹) تا (۱۴) مقدار شاخص قابلیت اعتماد تیر را به ازای تغییر در مقدار مؤلفه‌های طراحی نشان می‌دهند. در هر یک از این شکل‌ها، تنها مقدار متوسط یکی از این مؤلفه‌های طراحی تغییر می‌کند. اگرچه دیگر مؤلفه‌های طراحی به صورت متغیرهای تصادفی در نظر گرفته می‌شوند. اما مقدار متوسط آن‌ها تغییر نمی‌کند. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، مقدار متوسط مؤلفه‌های طراحی در میزان شاخص قابلیت اعتماد تیر تأثیری ندارند. اما بر اساس شکل (۱۴)، مقدار شاخص



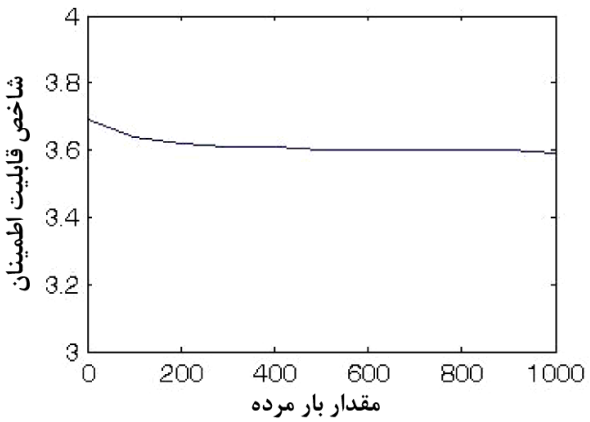
شکل (٦): شاخص قابلیت اعتماد بر حسب ضریب تغییرات تنش حد تسلیم فولاد



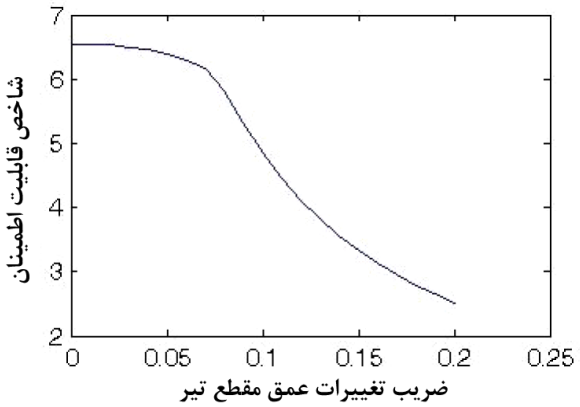
شکل (۹): شاخص قابلیت اعتماد بر حسب مقدار بار مرده



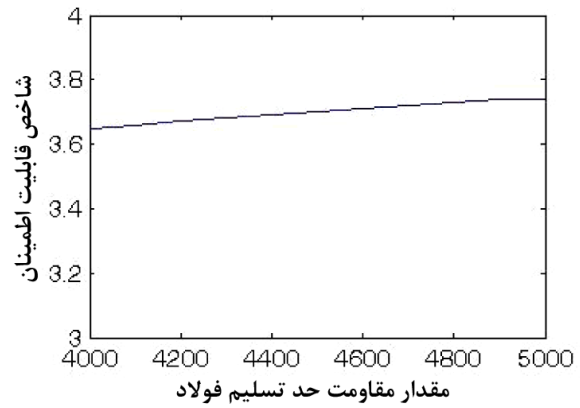
شکل (۷): شاخص قابلیت اعتماد بر حسب ضریب تغییرات مقاومت فشاری بتن



شکل (۱۰): شاخص قابلیت اعتماد بر حسب مقدار بار مرده



شکل (۸): شاخص قابلیت اعتماد بر حسب ضریب تغییرات عمق مقطع تیر

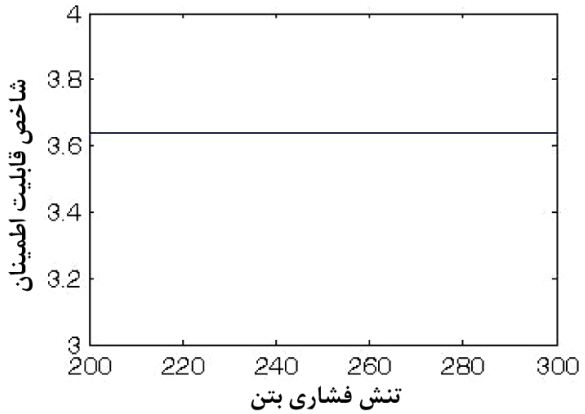


شکل (۱۱): شاخص قابلیت اعتماد بر حسب مقدار مقاومت حد تسلیم فولاد

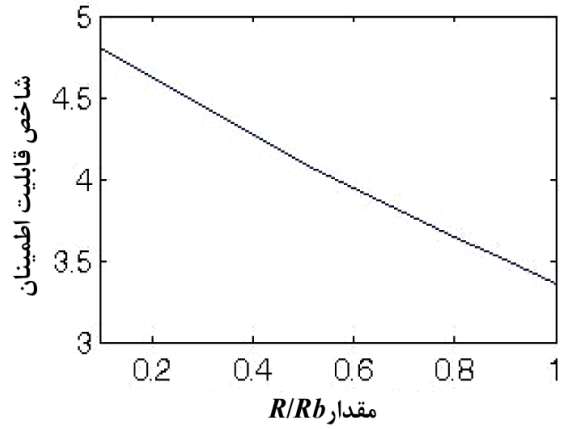
www.SID.ir

Archive of SID

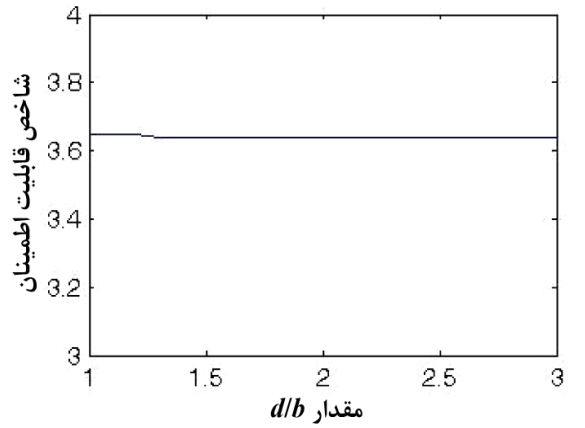
قابلیت اعتماد تیر به نسبت فولاد کششی مقطع به فولاد کششی مقطع متعادل (R/Rb) وابسته است؛ به طوری‌که با افزایش R مقدار شاخص قابلیت اعتماد کاهش می‌یابد.



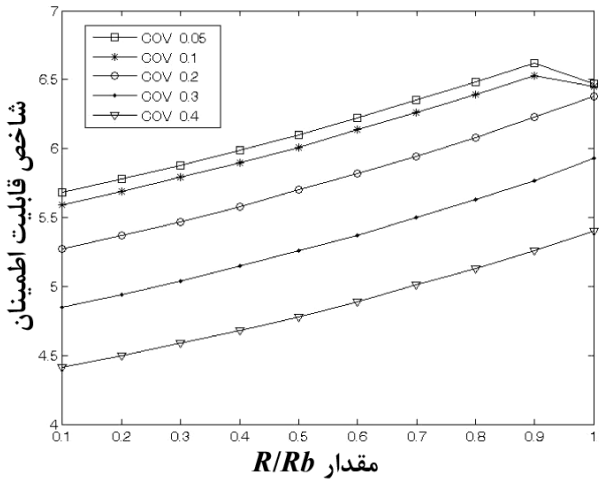
شکل (۱۲): شاخص قابلیت اعتماد بر حسب مقدار تنش فشاری بتن



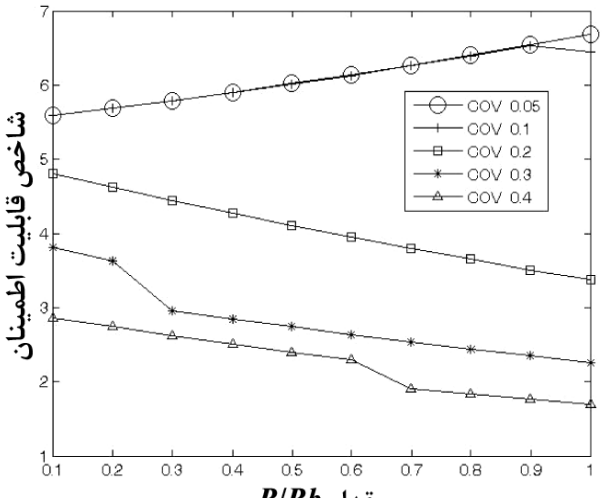
شکل (۱۳): شاخص قابلیت اعتماد بر حسب مقدار R/Rb



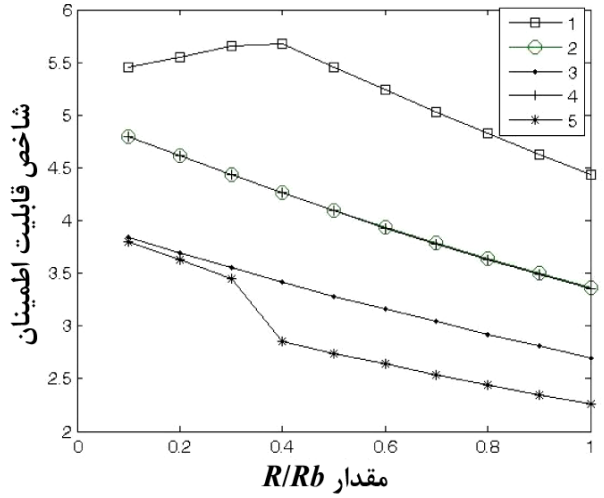
شکل (۱٤): شاخص قابلیت اعتماد بر حسب مقدار d/b



شکل (۱۵): شاخص قابلیت اعتماد بر حسب مقدار R/Rb به ازای ضریب تغییرات مختلف بار زنده



شکل (۱٦): شاخص قابلیت اعتماد بر حسب مقدار R/Rb به ازای ضریب تغییرات مختلف مقاومت فشاری بتن



شکل (۱۷): شاخص قابلیت اعتماد بر حسب مقدار R/Rb به ازای ضریب تغییرات مختلف بار زنده و مقاومت بتن (ارائه‌شده در جدول (٤))

www.SID.ir

Archive of SID

جدول (۳): مقدار متوسط مؤلفه‌های طراحی تیر و ضریب تغییرات آن‌ها

نام عامل	بار مرده (kg/cm)	بار زنده (kg/cm)	مقاومت بتن (kg/cm^2)	تنش تسلیم فولاد (kg/cm^2)	عرض مقطع تیر (cm)	عمق مقطع تیر (cm)	مساحت فولاد مقطع (cm^2)	طول تیر (cm)	نسبت فولاد مقطع
علامت عامل	DL	LL	f_c	f_y	b	D	A_s	L	R/Rb
مقدار متوسط عامل	۱۰۰	۱۰۰	۲۰۰	۴۰۰۰	محاسبه می‌شود	۱/۲ عرض مقطع	محاسبه می‌شود	۳۰۰	۰/۸ درصد فولاد بالانس
ضریب تغییرات	۰/۱	۰/۲	۰/۲	۰/۱	۰	۰/۰۵	۰	۰	۰

٤- ۳- بررسی تأثیر تغییر R/Rb بر شاخص قابلیت اعتماد تیر

ضریب تغییرات عوامل طراحی و مقدار R/Rb بر شاخص قابلیت اعتماد تیر تأثیر می‌گذارند و بنابراین در این بخش از مقاله، شاخص قابلیت اعتماد تیر بر حسب مقدار R/Rb به ازای ضریب تغییرات مختلف بار زنده و مقاومت فشاری بتن محاسبه می‌گردد. همان‌طور که اشاره شد، R و Rb به ترتیب مقدار درصد فولاد کششی موجود و مقدار درصد فولاد کششی حالت متعادل هستند. در این بررسی، مشخصات آماری مؤلفه‌های طراحی برابر با مقادیر جدول (۲) هستند. شکل‌های (۱۵) و (۱۶)، مقدار شاخص قابلیت اعتماد را برحسب مقدار R/Rb به ازای مقادیر مختلف ضریب تغییرات بار زنده و مقاومت فشاری بتن در حالتی که ضریب تغییرات (COV) عمق مقطع برابر با ۰/۰۵ و ضریب تغییرات مابقی مؤلفه‌های طراحی برابر با ۰/۱ است را نشان می‌دهند. شکل (۱۷) مقدار شاخص قابلیت اعتماد را برحسب مقدار R/Rb به ازای پنج وضعیت جدول (۴) نشان می‌دهد.

همان‌گونه که در شکل (۱۵) مشاهده می‌شود، به ازای ضریب تغییرات زیاد بار زنده، مقدار شاخص قابلیت اعتماد با افزایش مقدار درصد فولاد کششی به صورت خطی افزایش می‌یابد. با توجه به شکل (۱۶)، مقدار شاخص قابلیت اعتماد به ازای ضریب تغییرات زیاد مقاومت فشاری بتن، با افزایش مقدار درصد فولاد کششی کاهش می‌یابد. در ترکیب هر دو وضعیت بر اساس شکل (۱۷)، می‌توان نتیجه گرفت که در ترکیب این دو وضعیت، مقاومت فشاری بتن تأثیر بیشتری را می‌گذارد؛ به طوری که با افزایش ضریب تغییرات در هر دو وضعیت، شاخص قابلیت اعتماد کاهش می‌یابد.

ضرایب اطمینان جزئی چهار مؤلفه طراحی تصادفی بار مرده، بار زنده، مقاومت فشاری بتن و تنش حد تسلیم فولاد در پنج وضعیت بیان‌شده در جدول (۵) محاسبه می‌شوند. فرض می‌شود که سایر مؤلفه‌های دارای مقادیر قطعی باشند. مقدارهای متوسط مؤلفه‌ها در جدول (۲) بیان شده‌اند. مقادیر بدست آمده برای ضرایب اطمینان جزئی در جدول (۶) ارائه شده‌اند. جدول (۷) مقدار عمق و عرض مقطع تیر و همچنین مقدار مساحت سطح مقطع فولاد را برای مقطع تیر به ازای پنج وضعیت جدول (۶) نشان می‌دهد.

جدول (٤): پنج وضعیت مختلف از ضریب تغییرات بار زنده و مقاومت بتن

متغیرهای اصلی	وضعیت ۱	وضعیت ۲	وضعیت ۳	وضعیت ۴	وضعیت ۵
f_s	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱
f_c	۰/۱۵	۰/۲	۰/۲۵	۰/۲	۰/۳
DL	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱
LL	۰/۱۵	۰/۲	۰/۲۵	۰/۳	۰/۲
d	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵

جدول (۵): پنج وضعیت مختلف از ضریب تغییرات بار زنده و مقاومت بتن

متغیرهای اصلی	وضعیت ۱	وضعیت ۲	وضعیت ۳	وضعیت ۴	وضعیت ۵
f_s	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱
f_c	۰/۱	۰/۱	۰/۲	۰/۱	۰/۲
DL	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱
LL	۰/۱	۰/۲	۰/۲	۰/۴	۰/۴

جدول (٦): ضرایب اطمینان جزئی در پنج وضعیت مختلف از ضریب تغییرات مؤلفه‌های طراحی که در جدول (۵) ارائه شده است.

متغیرهای اصلی	وضعیت ۱	وضعیت ۲	وضعیت ۳	وضعیت ۴	وضعیت ۵
f_s	۰/۶۶	۰/۶۸	۰/۷۲	۰/۷	۰/۷۴
f_c	۰/۹۳	۰/۹۳	۰/۶۵	۰/۹۳	۰/۶۸
DL	۱/۰۵	۱/۰۵	۱/۰۵	۱/۰۵	۱/۰۵
LL	۱/۰۶	۱/۲۲	۱/۲	۱/۶۸	۱/۶۵

www.SID.ir

Archive of SID

جدول (۷): مقدار عمق و عرض مقطع تیر و مساحت سطح مقطع فولاد

مشخصات مقطع تیر	وضعیت ۱	وضعیت ۲	وضعیت ۳	وضعیت ۴	وضعیت ۵
b (سانتی‌متر)	۲۵/۴	۲۶/۲	۳۳/۳	۲۸	۳۴/۴
d (سانتی‌متر)	۳۰/۶	۳۱/۴	۴۰	۳۳/۵	۴۱/۲۵
A_s (سانتی‌متر مربع)	۲۶/۴	۲۶/۷	۲۸	۲۹/۲	۳۰/۱۵

۵- نتیجه‌گیری

همان‌گونه که مشاهده شد، برای طراحی بهینه یک تیر به ازای وضعیت‌های مختلف اطلاعات آماری مؤلفه‌های طراحی، ضرایب اطمینان جزئی متفاوتی بدست می‌آیند؛ در صورتی که آیین‌نامه طراحی ایران مانند سایر آیین‌نامه‌ها، ضرایب اطمینان ثابتی را در تمام شرایط آماری مطرح می‌کند. بنابراین، در صورتی که اطلاعات آماری دقیق و مشخصی از مؤلفه‌های طراحی در دست باشد، برای رسیدن به طرحی بهینه با یک شاخص قابلیت اعتماد مشخص می‌توان از تحلیل قابلیت اعتماد استفاده نمود. هر چند که با جمع‌آوری داده‌های آماری در هر کشوری می‌توان اطلاعات آماری مؤلفه‌های طراحی را برای آن کشور یافت و بر اساس آن، آیین‌نامه‌ای مطمئن بر اساس نظریه قابلیت اعتماد تدوین نمود. به دلیل عدم وجود اطلاعات آماری برای مؤلفه‌های طراحی در ایران، پنج وضعیت متداول از اطلاعات آماری مؤلفه‌های طراحی بیان‌شده در نظر گرفته شد و بر اساس آن، مقدار ضرایب اطمینان جزئی محاسبه گردیدند.

٦- مراجع

[1] Kiureghian, A. D. and Ditlevsen, O.; "Aleatory or Epistemic? Does it Matter?," *Structural Safety*, Vol. 31, No. 2, pp. 105–12, 2009.

[2] Cornell, A. C.; "A Probability Based Structural Code," *ACI Journal*, Vol. 66, pp. 975–985, 1969.

[3] Hasofer, A. M. and Lind, N.; "An Exact and Invariant First Order Reliability Format," *Journal of the Engineering Mechanics Division, ASCE*, Vol. 100, pp. 111–121, 1974.

[4] Jahani, E.; Shayanfar, M. A. and Barkhordari, M. A.; "A New Adaptive Importance Sampling Monte Carlo Method for Structural Reliability," *KSCE Journal of Civil Engineering*, Vol. 17, No. 1, pp. 210–215, 2013.

[5] Ditlevsen, O. and Madsen, H. O.; "Structural Reliability Methods," *John Wiley and Sons*, New York, 1996.

[6] Melchers, R. E.; "Structural Reliability Analysis and Prediction," *John Wiley and Sons*, 2nd Edition, 1999.

[7] Madsen, H. O.; Krenk, S. and Lind, N. C.; "Methods of Structural Safety," *International Series in Civil Engineering and Engineering Mechanics*, Prentice-Hall, 1986.

[8] Goldberg, D. E.; "Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning," *Addison-Wesley*, New York, 1989.

[9] Shao, S. and Murotsu, Y.; "Approach to Failure Mode Analysis of Large Structures," *Probabilistic Engineering Mechanics*, Vol. 14, No. 1, pp. 169–77, 1999.

[10] Deng, L.; Ghosn, M. and Shao, S.; "Shredding Genetic Algorithm for Reliability Analysis of Structural Systems," *Journal of Structural Safety*, 2004.

www.SID.ir