تحقیقات بتن
سال چهاردهم، شمارهٔ اول
بهار ۱۴۰۰
ص ۹۵ – ۸۵
تاریخ دریافت: ۹۹/۰۸/۱۲
تاریخ پذیرش: ۹۹/۱۱/۲۰

بررسی پارامترهای آماری مقاومت فشاری بتن، مطالعه موردی: ساختمان‌های بتن مسلح شهر تبریز

رضا باغبانی‌جم
دانشجوی دکتری سازه، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی سهند تبریز، ایران.
مهدی پورشاء*
دانشیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی سهند تبریز، ایران.

چکیده

تخمین صحیح مقدار مقاومت فشاری بتن نقش کلیدی در ارزیابی عملکرد ساختمان‌های بتن مسلح تحت بارهای ثقلی و لرزه‌ای دارد. مطابق ضوابط مبحث نهم مقررات ملی ساختمان ایران، نمونه‌برداری و انجام آزمایش‌های مقاومت فشاری جهت تعیین مقاومت فشاری متوسط بتن براساس ضوابط آیین‌نامه و روابط آماری ارائه شده الزامی است. در این پژوهش با مطالعه آماری بر روی آرشیو نتایج حاصل از آزمایش‌های تعیین مقاومت فشاری نمونه‌های بتن استخراج شده از ساختمان‌های بتن مسلح ساخته شده طی ده سال اخیر در شهر تبریز، مقادیر پارامترهای آماری موثر بر مقاومت فشاری متوسط بتن نظیر ضریب تغییرات و انحراف استاندارد محاسبه شده است. تعیین پارامترهای فوق جهت بررسی عدم قطعیت‌ها در پاسخ‌های بدست آمده از تحلیل سازه‌های بتن مسلح تحت بارهای لرزه‌ای به‌ویژه در محدوده تغییرشکل‌های غیرخطی راهگشا خواهد بود. تابع چگالی احتمال و تابع توزیع تجمعی پارامترهای آماری بیان شده، جهت مقایسه با مقادیر ارائه شده در مقررات ملی ساختمان ایران و سایر استانداردهای بین‌المللی و نیز استفاده در مطالعات آتی تعیین شده است. نتایج نشان می‌دهد در ۳۰٪ از ساختمان‌های مورد مطالعه میزان انحراف استاندارد مقاومت فشاری بتن، فراتر از مقادیر ارائه شده در مبحث نهم مقررات ملی ساختمان ایران است. ضریب تغییرات مقاومت فشاری بتن در ۲۲٪ از ساختمان‌های مورد بررسی از مقادیر مجاز دستورالعمل FEMA356 (2000) بیشتر بوده و این مشکل در درصد بیشتری از ساختمان‌های کوتاه مرتبه مشاهده شده است.

واژه‌های کلیدی: **مقاومت فشاری بتن، ضریب تغییرات، انحراف استاندارد، تابع چگالی احتمال، تابع توزیع تجمعی.**

* نویسنده مسئول: poursha@sut.ac.ir

۱- مقدمه

ارزیابی صحیح عملکرد لرزه‌ای ساختمان‌های موجود موضوع مهمی است که در سال‌های اخیر توجه محققین و مهندسین را به خود معطوف کرده است. اولویت اول در تعیین ظرفیت ساختمان-های بتن مسلح، تخمین صحیح مشخصات مکانیکی بتن به‌کار رفته در این سازه‌ها می‌باشد.

آیین‌نامه‌ها و دستورالعمل‌های روز دنیا قوانین و ضوابط مشخصی جهت اعمال اصول ایمنی و تأمین حداقل‌های مورد نیاز در مشخصات بتن مصرفی در ساختمان‌ها در نظر گرفته‌اند. علاوه بر این، هر یک از دستورالعمل‌ها تمهیداتی را جهت در نظرگیری عدم قطعیت مشخصات مکانیکی بتن منظور می‌نمایند. دستورالعمل لرزه ای اروپا یوروکد۸[1]، از ضریب اطمینان[2] اعمالی به مقدار میانگین مقاومت فشاری بتن جهت درنظرگیری اثر عدم قطعیت‌ها بهره می برد. مقدار ضریب اطمینان هم از سطح آگاهی[3] مربوط به هر سازه که وابسته به تعداد آزمایش‌های مخرب و غیرمخرب انجام شده برای مصالح ساختمان مورد بررسی است، حاصل می شود. مقادیر ضریب اطمینان در دستورالعمل یوروکد۸ برای سطوح آگاهی مختلف ۱/۰، ۱/۲ و ۱/۳۵هستند[۱]. از دیدگاه محققین ضرایب اطمینان فوق برای دلایلی انتخاب مناسبی نیستند؛ اول اینکه عدم قطعیت‌ها در سازه صرفا ناشی از مشخصات مصالح و قابل حصول از آزمایش‌های انجام شده نیست[۲]، دوم اینکه سطوح آگاهی در یوروکد۸ صرفا به تعداد آزمایش انجام شده وابسته است و نتایج و پراکندگی پاسخ این آزمایش‌ها هیچ تاثیری در مقدار ضریب اطمینان پیشنهادی یوروکد۸ ندارد[۳].

از طرف دیگر، دستورالعمل FEMA356 (2000) به طور مستقیم مقاومت مشخصه طراحی را به پارامترهای حاصل از تحلیل آماری نتایج نمونه‌های کارگاهی نظیر ضریب تغییرات[4] وابسته کرده است.

مطابق ضوابط این دستورالعمل در صورت بالا بودن مقدار ضریب تغییرات پاسخ‌های حاصل از تعداد آزمایش‌های تعیین شده برای بتن از مقدار ۱۴ درصد، میزان مقاومت مشخصه به‌کار رفته در طراحی کاهش می‌یابد [۴]. مطالعات محققین حاکی از اطمینان بیشتر روش به‌کار رفته در این دستورالعمل نسبت به روش به‌کاررفته در یوروکد۸ در اعمال عدم قطعیت‌ها است[۵]. مبحث نهم مقررات ملی ساختمان ایران نیز مشابه سایر آیین‌نامه‌ها علاوه بر الزاماتی که جهت کنترل کیفی بتن تعیین کرده است، به‌طور مستقیم پارامتر آماری انحراف استاندارد[5] را در تعیین مقاومت مشخصه طراحی به منظور در نظر گیری عدم قطعیت‌ها دخیل کرده است [۶]. مبحث نهم نحوه انجام و تعداد آزمایش‌های لازم را جهت تعیین مقدار انحراف استاندارد مشخص کرده و همچنین جدولی را با طبقه‌بندی انواع ساختمان‌ها و رتبه‌بندی کارگاه ساختمان برای شرایطی که دسترسی به اطلاعات آماری نباشد، تعیین کرده است. رتبه بندی مجری بر اساس روش ساخت بتن، نظارت و کنترل کیفیت بتن در سه طبقه‌بندی انجام شده است (جدول۱).

جدول۱- انحراف استاندارد بر اساس رتبه بندی کارگاه و مقاومت مشخصه بتن طبق مبحث نهم مقررات ملی ساختمان ایران[۶]

طبقه بندی کارگاه	مقاومت مشخصه بتن (MPa)			
	۱۶	۲۰	۲۵	۳۰و۳۵	۴۰ و بیشتر
۱	۲,۵	۳	۳,۵	۴	۴,۵
۲	۳,۵	۴	۴,۵	۵	۵,۵
۳	۴,۵	۵	۵,۵	۶	۶,۵

با وجود روش‌های بیان شده توسط آیین‌نامه‌ها و دستورالعمل‌های مختلف در اختیار داشتن پارامترهای حاصل از تحلیل آماری نتایج نمونه‌های اخذ شده از ساختمان‌های بتن مسلح می‌تواند در بررسی عدم قطعیت ناشی از مقاومت فشاری (و به طبع آن سایر مشخصات مکانیکی بتن نظیر مدول الاستیسیته، مقاومت برشی و ...) راهگشا باشد. همچنین پارامترهای مذکور می‌تواند جهت بررسی عدم قطعیت پاسخ‌های ساختمان‌های بتن مسلح بالاخص در ناحیه تغییرشکل‌های غیرخطی مورد استفاده باشند. تعدادی از محققین

[1] EuroCode8
[2] Confidence Factor
[3] Knowledge Level
[4] Coefficient of Variation
[5] Standard Deviation

نیز در تلاش برای ساخت بانک اطلاعاتی از مشخصات مصالح بکار رفته در ساختمان‌های موجود جهت استفاده در مطالعاتی نظیر ارزیابی عملکرد لرزه‌ای ساختمان‌های ساخته شده جدید و قدیمی و نیز ارائه طرح‌های بهسازی برای ساختمان‌های موجود هستند[۷]. تحقیقاتی در دانشگاه فلورنس بر روی نتایج آزمایش‌های مخرب (نظیر مغزه گیری) و نیز آزمایش‌های غیر مخرب (نظیر روش‌های فراصوت) بر روی ساختمان‌های مهم و همچنین ساختمان‌های قدیمی پیش از تخریب، مربوط به دهه‌های ۵۰، ۶۰ و ۷۰ میلادی انجام شده است[۷] و نتایج آن، که علاوه بر تحلیل‌های آماری (جدول۲) شامل مدل‌های پیش‌بینی کننده[۸] و تفاوت پاسخ آزمایش‌های مختلف نیز هستند[۹]، در ارزیابی عملکرد لرزه ای ساختمان‌های قدیمی توسط سایر محققین استفاده شده است[۱۰]. تحقیقی دیگر در دانشگاه باسیلیکاتا در ایتالیا (جدول ۳) بر روی نمونه‌های مغزه‌گیری شده از ۳۰۰ ساختمان بتنی مسلح مقدار انحراف استاندارد ۷/۹۸ مگاپاسکال و ضریب تغییرات ۳۲٪ را در ساختمان‌های مورد مطالعه ساخته شده پس از ۱۹۸۱ به‌دست آورده است[۱۱].

در مطالعه پیش‌رو تلاش شده است با استفاده از آرشیو نتایج حاصل از نمونه برداری‌های در حین ساخت مربوط به ساختمان‌های بتنی مسلح شهر تبریز در طی ده سال اخیر و انجام تحلیل‌های آماری و استخراج و طبقه‌بندی پارامترهای آماری، اطلاعات مورد نیاز جهت ارزیابی عملکرد ساختمان‌ها و نیز ارائه طرح‌های بهسازی ساختمان‌های موجود فراهم شود. همچنین پارامترهای آماری به دست آمده با مقادیر ارائه شده در مبحث نهم مقررات ملی ساختمان ایران مورد مقایسه قرار گرفته‌اند.

جدول۲- پارامترهای آماری نمونه‌های بتن ساختمان‌های دهه ۵۰ تا ۷۰ ایتالیا[۷]

Years '50			Years '60			Years '70		
Average	10.16	(MPa)	Average	10.13	(MPa)	Average	17.97	(MPa)
Median	9.29	(MPa)	Median	13.14	(MPa)	Median	16.38	(MPa)
Stand. Dev.	4.51	(MPa)	Stand. Dev.	6.43	(MPa)	Stand. Dev.	8.59	(MPa)
C.V.	44.38	%	C.V.	45.53	%	C.V.	48.00	%
Asymmetry	2.16		Asymmetry	1.25		Asymmetry	1.16	

جدول۳- پارامترهای آماری مقاومت فشاری بتن بر اساس سال ساخت[۱۱]

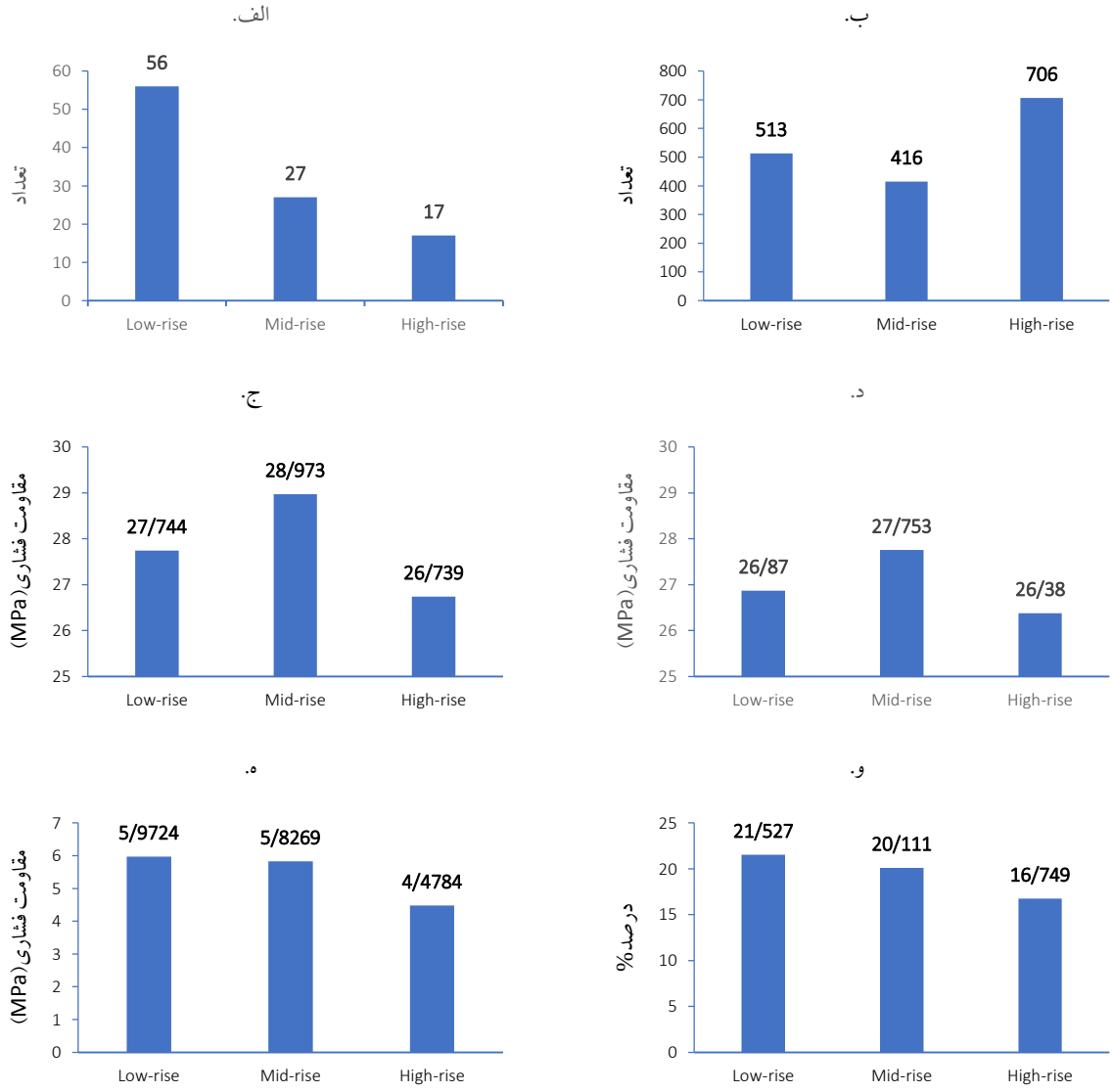
Statistical values	Construction period			
	<1961	1961 – 1971	1972 – 1981	>1981
Number of buildings	21	115	112	68
Number of specimens	129	556	553	208
Mean number of specimens per building	5.9	4.9	4.9	3.1
Mean value (N/mm^2)	16.23	19.53	21.03	24.96
Median value (N/mm^2)	15.57	18.63	20.26	23.95
Standard Deviation	6.27	7.29	9.06	7.98
C.V.	0.39	0.37	0.43	0.32

۲- جمعیت آماری و پارامترهای مورد مطالعه

در این تحقیق از نتایج مربوط به آزمایش تعیین مقاومت فشاری نمونه‌های بتن مربوط به ۱۰۰ ساختمان ساخته شده در بازه زمانی سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۸ در محدوده شهر تبریز استفاده شده است. تعداد ۱۶۳۴ نمونه شامل ۷۷۳ نمونه از بتن سقف و تیر، ۷۳۶ نمونه از بتن ستون و دیوارهای برشی و ۱۲۵ نمونه از بتن فونداسیون که همه آن‌ها مطابق ضوابط مقررات ملی ساختمان ایران نمونه‌برداری شده و در سه آزمایشگاه مجاز مورد آزمایش قرار گرفته‌اند، جهت انجام مطالعات آماری انتخاب شده‌اند. (شکل ۱)

تمامی نمونه‌ها مطابق بند ۹-۱۰-۸-۱ مبحث نهم مقررات ملی ساختمان ایران شامل حداقل ۲ آزمونه جهت تعیین مقاومت فشاری ۲۸ روزه و یک آزمونه شاهد بوده‌اند. همچنین تمامی نمونه‌ها توسط دستگاه نظارت مطابق شرایط بند ۹-۱۰-۸-۴-۱ مبحث نهم مقررات ملی ساختمان در رده قابل قبول شناخته شده‌اند. کلیه نمونه‌ها مربوط به بتن با عیار ۳۵۰ کیلوگرم سیمان در هر مترمکعب بوده و آزمونه‌ها مکعب ۱۵*۱۵*۱۵ سانتیمتر هستند که با ضرایب تعیین شده در مبحث نهم، نتایج به مقاومت آزمونه‌های استوانه‌ای استاندارد تبدیل شده است. طبقه‌بندی نتایج، بر مبنای اهمیت و

ارتفاع سازه با گروه‌بندی نتایج در سه گروه، کوتاه مرتبه[1] (ساختمان‌های یک تا پنج طبقه)، ارتفاع متوسط[2] (ساختمان‌های شش تا ده طبقه) و بلند مرتبه[3] (ساختمان‌های بیش از ده طبقه) انجام شده است. جهت تعیین میزان تاثیر نحوه بتن ریزی، نتایج در دو گروه بتن ریزی‌های دستی و آماده گروه‌بندی شده است. هدف از دسته‌بندی فوق امکان استفاده از پارامترهای به دست آمده در تحلیل لرزه‌ای، بررسی قابلیت اطمینان و تعیین عدم قطعیت پاسخ‌های لرزه‌ای ساختمان‌های بتن مسلح است. پارامترهای آماری نتایج نمونه‌های بتن سقف و تیر، ستون و دیوارهای برشی و فونداسیون نیز جداگانه دسته‌بندی شده است.



شکل ۱- الف) تعداد ساختمان‌ها، ب) تعداد نمونه‌ها، ج) میانگین مقاومت فشاری نمونه‌ها، د) میانه مقاومت فشاری نمونه‌ها، ه) انحراف استاندارد و و) ضریب تغییرات مقاومت فشاری نمونه‌ها به تفکیک طبقه‌بندی ارتفاع

۳- مطالعات آماری

پارامترهای آماری محاسبه شده بر اساس میزان استفاده در آیین نامه‌های مختلف یا مطالعات اخیر محققین انتخاب شده و برای هر گروه مقادیر میانگین و میانه محاسبه شده است. میزان اختلاف این دو پارامتر بیانگر احتمال وجود داده‌های بسیار بزرگ یا بسیار کوچک به سبب عدم تقارن جامعه آماری است. انحراف استاندارد

[1] Low-rise
[2] Mid-rise
[3] High-rise

برای یک مجموعه متناهی، برابر است با جذر مقدار متوسط مربع اختلاف مقادیر داده‌ها از میانگین. انحراف معیار که معمولا با نماد (σ) نشان داده می شود، به‌عنوان شاخصی برای پراکندگی و نیز به‌عنوان پارامتر آماری استفاده شده در مبحث نهم مقررات ملی ایران، در این تحقیق استخراج شده است. میزان ضریب تغییرات که به اختصار با CV نشان داده می‌شود، یک معیار بهنجار است که برای اندازه گیری توزیع داده‌های آماری به‌کار می رود و از تقسیم انحراف معیار بر میانگین حاصل می‌شود.

این معیار میزان پراکندگی داده‌ها به ازای یک واحد از میانگین را به شرط صفر نبودن میانگین بیان می کند، این پارامتر بدون بعد بوده و به صورت درصد نیز بیان می‌شود. از پارامتر ضریب تغییرات به‌دلیل کاربرد آن در دستورالعمل FEMA356 (2000) در این تحقیق استفاده شده است.

میزان خطای استاندارد[1] از تقسیم انحراف معیار بر ریشه دوم تعداد داده‌ها حاصل می شود. میزان چولگی[2] بیانگر عدم تقارن توزیع داده‌ها است. در یک توزیع کاملا متقارن میزان چولگی صفر است و برای یک توزیع نامتقارن با کشیدگی به سمت مقادیر بالاتر چولگی مثبت و برای توزیع نامتقارن با کشیدگی به سمت مقادیر کوچکتر مقدار چولگی منفی است. در این پژوهش مقدار خطای استاندارد و چولگی یا همان عدم تقارن داده‌ها برای درک بهتر از توزیع نتایج ارائه شده است.

پارامترهای محاسبه شده برای داده‌ها، طبق طبقه‌بندی انجام شده برای سه گروه از ساختمان‌ها و به‌صورت جداگانه برای بتن سقف و تیر و همچنین ستون و دیوار برشی در جدول ۴ ارائه شده‌اند. انتخاب طبقه‌بندی فوق به معنای تأثیرگذاری پارامتر ارتفاع یا محل بتن‌ریزی بر مقاومت فشاری نیست و طبقه‌بندی برای استفاده موثر در تحلیل سازه انجام شده است. پارامترهای تأثیرگذاری نظیر دمای ساخت، حمل و بتن‌ریزی و نیز فاصله و زمان حمل و در کنار آن‌ها عدم قطعیت مشخصات مکانیکی مصالح سازنده بتن یقینا تاثیر اصلی را در ایجاد عدم قطعیت مقاومت فشاری داشته‌اند.

جدول ۴- پارامترهای آماری نتایج آزمایش مقاومت فشاری بتن به تفکیک گروه بندی ساختمانها

عضو	ارتفاع ساختمان	میانگین (MPa)	میانه (MPa)	انحراف استاندارد (MPa)	ضریب تغییرات ٪	خطای استاندارد	چولگی
تیر و سقف	بلند	۲۶/۶۹	۲۶/۴۷	۴/۱۵	۱۵/۵	۰/۲۱	۰/۳۹
	متوسط	۲۷/۶۱	۲۷/۰۶	۵/۲۹	۱۹/۱۸	۰/۳۷	۰/۶۹
	کوتاه	۲۷/۴۰	۲۶/۶۲	۵/۶۲	۲۰/۵	۰/۳۸	۰/۴۹
ستون و دیوار برشی	بلند	۲۶/۷۹	۲۶/۲۸	۴/۸۲	۱۸/۰۱	۰/۲۷	۱/۴۳
	متوسط	۳۰/۴۷	۲۹/۸۱	۶/۰۳	۱۹/۸۰	۰/۴۵	۰/۴۸
	کوتاه	۲۸/۰۵	۲۷/۱۶	۶/۲۶	۲۲/۳۳	۰/۴۰	۰/۴۱

نتایج ارائه شده در جدول ۴ نشان می‌دهد به‌طور کلی باوجود بالا بودن میانگین مقاومت فشاری بتن ستون‌ها و دیوارهای برشی به نسبت سایر اجزای سازه، میزان ضریب تغییرات و انحراف استاندارد در این اعضا بیشتر است، که بیانگر پراکندگی زیاد داده‌های این گروه است. در ساختمان‌های بلند مرتبه میزان ضریب تغییرات و انحراف استاندارد به طرز معناداری کمتر از دو گروه دیگر ساختمان‌ها است.در ادامه با بررسی نتایج مربوط به مجموع نمونه‌های هر سه نوع از ساختمان‌ها (جدول ۵)، بیشتر بودن قابل توجه مقادیر انحراف استاندارد و ضریب تغییرات در نمونه‌های مربوط به بتن به‌کار رفته در ستون‌ها و دیوارهای برشی دیده می شود. بررسی نتایج مربوط به نمونه‌های دو نوع روش بتن‌ریزی و اختلاط در کنار نتایج کلیه نمونه‌ها (جدول ۶)، نشان می‌دهد که باوجود بیشتر بودن مقادیر میانگین و میانه مقاومت فشاری نمونه‌های بتن‌های دستی ساخته شده در کارگاه، میزان انحراف استاندارد و ضریب تغییرات در بتن‌های دستی بالاتر از بتن آماده است. این امر دلالت بر پراکندگی بالای نتایج مقاومت فشاری بتن‌های ساخته شده در کارگاه در قیاس با بتن آماده دارد.

[1] Standard Error

[2] Skewness

جدول ۵- پارامترهای آماری نتایج آزمایش مقاومت فشاری بتن برای تمامی ساختمانها بدون تفکیک

عضو	میانگین (MPa)	میانه (MPa)	انحراف استاندارد (MPa)	ضریب تغییرات ٪	خطای استاندارد	چولگی
تیر و سقف	۲۷/۱۲	۲۶/۶۷	۴/۹۱	۱۸/۱۲	۰/۱۷	۰/۵۹
ستون و دیوار برشی	۲۸/۱۱	۲۷/۱۱	۵/۸۰	۲۰/۶۶	۰/۲۱	۰/۷۶
فونداسیون	۲۶/۷	۲۶/۳۸	۴/۳۱	۱۶/۱۵	۰/۳۸	۰/۳۷

جدول ۶- پارامترهای آماری نتایج آزمایش مقاومت فشاری بتن به تفکیک نوع ساخت بتن

نوع ساخت بتن	میانگین (MPa)	میانه (MPa)	انحراف استاندارد (MPa)	ضریب تغییرات ٪	خطای استاندارد	چولگی
تمامی ساختمان‌ها	۲۷/۵۳	۲۶/۸۲	۵/۳۲	۱۹/۳۲	۰/۱۳	۰/۷۴
بتن ساخته شده در کارگاه	۲۹/۰۸	۲۸/۱۹	۶/۲۷	۲۱/۵۶	۰/۳۱	۰/۳۹
بتن آماده	۲۷/۰۳	۲۶/۴۸	۴/۸۸	۱۸/۰۹	۰/۱۴	۰/۸۳

نتایج نشان می‌دهد که ضریب تغییرات برای تمام نمونه‌های مورد بررسی ۱۹/۳۲٪ است. برای طبقه‌بندی ساختمان‌ها در سه گروه ارتفاعی، ضریب تغییرات در محدوده ۱۸٪ الی ۲۲/۳۳٪ قرار دارد(جدول ۴). همچنین در بررسی ضریب تغییرات در تک تک ساختمان‌ها مقدار حداقل ضریب تغییرات ۰/۴٪ و مقدار حداکثر ضریب تغییرات در یک ساختمان ۳۹/۷٪ مشاهده شده است. این مقادیر در مقایسه با نتایج تحقیق مشابه انجام شده در دانشگاه فلورانس برای ساختمان‌های ساخته شده در دهه‌های ۵۰ تا ۷۰ میلادی(جدول ۶) که مقادیر ۴۴٪ تا ۴۸٪ برای ضریب تغییرات در تحقیق فوق حاصل شده است[۷]، مقادیر بسیار کمتری است.

همچنین مقایسه نتایج به‌دست آمده با تحقیق انجام شده در دانشگاه باسیلیکاتا که مقادیر ضریب تغییرات از ۳۲٪ تا ۴۳٪ گزارش شده است[۱۱]، حاکی از پایین بودن مقادیر ضریب تغییرات مقاومت فشاری بتن در ساختمان‌های مورد بررسی در مقایسه با ساختمان-های تحقیق مذکور دارد. این تفاوت می‌تواند نشان دهنده تاثیر زمان ساخت ساختمان‌ها، بر پارامترهای آماری مقاومت فشاری نمونه‌های مورد بررسی باشد؛ زیرا همه ساختمان‌های مورد بررسی در این تحقیق در طول ۱۰ سال اخیر ساخته شده‌اند، در حالی که در تحقیق‌های مورد مقایسه ساختمان‌ها مربوط به دهه‌های ۵۰ تا ۸۰ میلادی هستند. مشابه چنین نتیجه‌گیری در مورد پارامتر انحراف استاندارد نیز با اختلاف کمتری صادق است؛ نتایج بررسی‌ها برای انحراف استاندارد حاکی از مقدار ۵/۳۲ مگاپاسکال برای تمامی نمونه‌های مورد بررسی است.

برای طبقه‌بندی ساختمان‌ها در سه گروه ارتفاعی انحراف استاندارد در محدوده ۴/۱۵ الی ۶/۲۶ مگاپاسکال قرار دارد(جدول ۴). همچنین در بررسی انحراف استاندارد به صورت تکی در ساختمان‌ها مقدار حداقل انحراف استاندارد ۱ مگاپاسکال و مقدار حداکثر انحراف استاندارد ۱۰/۵۷ مگاپاسکال است. پارامتر انحراف استاندارد در تحقیق انجام شده در دانشگاه فلورانس در بازه ۴/۵۱ تا ۸/۵۹ مگاپاسکال [۷] و در مطالعه انجام شده در دانشگاه باسیلیکاتا در بازه ۶/۲۷ تا ۷/۹۸ مگاپاسکال [۱۱] بیان شده است.

در ادامه، نظر به اینکه ضریب تغییرات در دستورالعمل FEMA356 (2000) مورد استناد بوده و در معدود تحقیقات مشابه در سایر کشورها[۷] نیز قبلا استفاده شده است و به دلیل مشابهت مفاهیم ضریب تغییرات و انحراف استاندارد و همچنین کاربرد انحراف استاندارد در مبحث نهم مقررات ملی ساختمان ایران، بررسی توزیع آماری این دو پارامتر که تا حد زیادی مستقل از میزان مقاومت فشاری مشخصه طراحی می‌باشند، ارائه خواهد شد.

به جهت پرکاربرد بودن توزیع نرمال[1] از این تابع در بررسی دو پارامتر مورد بحث استفاده شده است.

[1] Normal distribution

$$f(x)=\frac{\exp(-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2)}{\sigma\sqrt{2\pi}} \quad (۱)$$

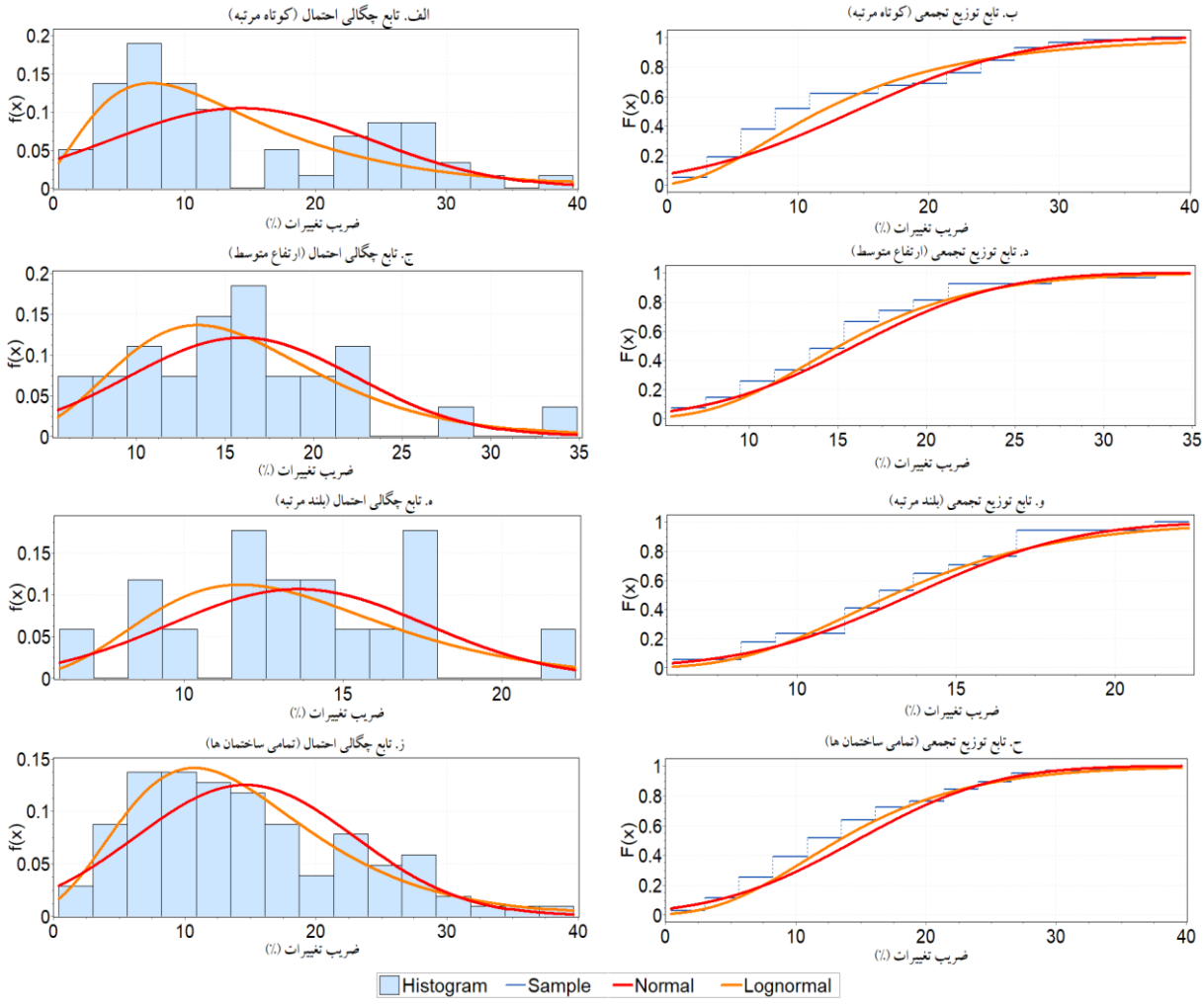
$$F(x)=\Phi(\frac{x-\mu}{\sigma}) \quad (۲)$$

رابطه (۱) تابع چگالی احتمال[1] (PDF) و رابطه (۲) تابع توزیع تجمعی[2] (CDF) را نشان می دهد. σ مقدار انحراف استاندارد داده ها و μ مقدار میانگین است. □ هم بیانگر انتگرال لاپلاس می‌باشد. توزیع لگ-نرمال[3] هم توزیع پرکاربرد دیگری است که در این مطالعه به کار رفته است. روابط (۳) و (۴) توابع توزیع مذکور را نشان می دهند.

$$f(x)=\frac{exp(-\frac{1}{2}\left(\frac{ln(x)-\mu}{\sigma}\right)^2)}{x\sigma\sqrt{2\pi}} \quad (۳)$$

$$F(x)=\Phi(\frac{ln(x)-\mu}{\sigma}) \quad (۴)$$

تابع چگالی احتمال و تابع توزیع تجمعی در کنار نمودارهای هیستوگرام پارامتر ضریب تغییرات مقاومت فشاری بتن به کار رفته در سیستم باربر جانبی ساختمان‌ها به تفکیک گروه‌های ارتفاعی در شکل ۲ ارائه شده است. همانگونه که از نمودار توزیع تجمعی داده‌ها مشخص است، در ۶۰٪ ساختمان‌های مورد بررسی میزان ضریب تغییرات از ۱۴٪ کمتر است. این نتیجه‌گیری بدین معنا است که در ۴۰٪ سایر ساختمان‌ها مطابق دستورالعمل FEMA356 (2000) می‌بایست از مقاومت فشاری میانگین منهای یک انحراف استاندارد به عنوان مقاومت مشخصه بهره برد و نه مقاومت فشاری میانگین. همچنین این دستورالعمل میزان پراکندگی نتایج آزمایش-های مصالح مورد استفاده در ساختمان‌ها را به حد بالای ضریب تغییرات ۲۰٪ محدود کرده است.



شکل ۲- تابع چگالی احتمال و تابع توزیع تجمعی ضریب تغییرات مقاومت فشاری بتن اجزای سیستم باربر جانبی الف و ب) ساختمان‌های کوتاه مرتبه، ج و د)ساختمان‌های با ارتفاع متوسط، ه و و)ساختمان‌های بلند مرتبه و ز و ح)تمامی ساختمان‌ها

[1] Probability density function
[2] Cumulative distribution function
[3] Log-Normal

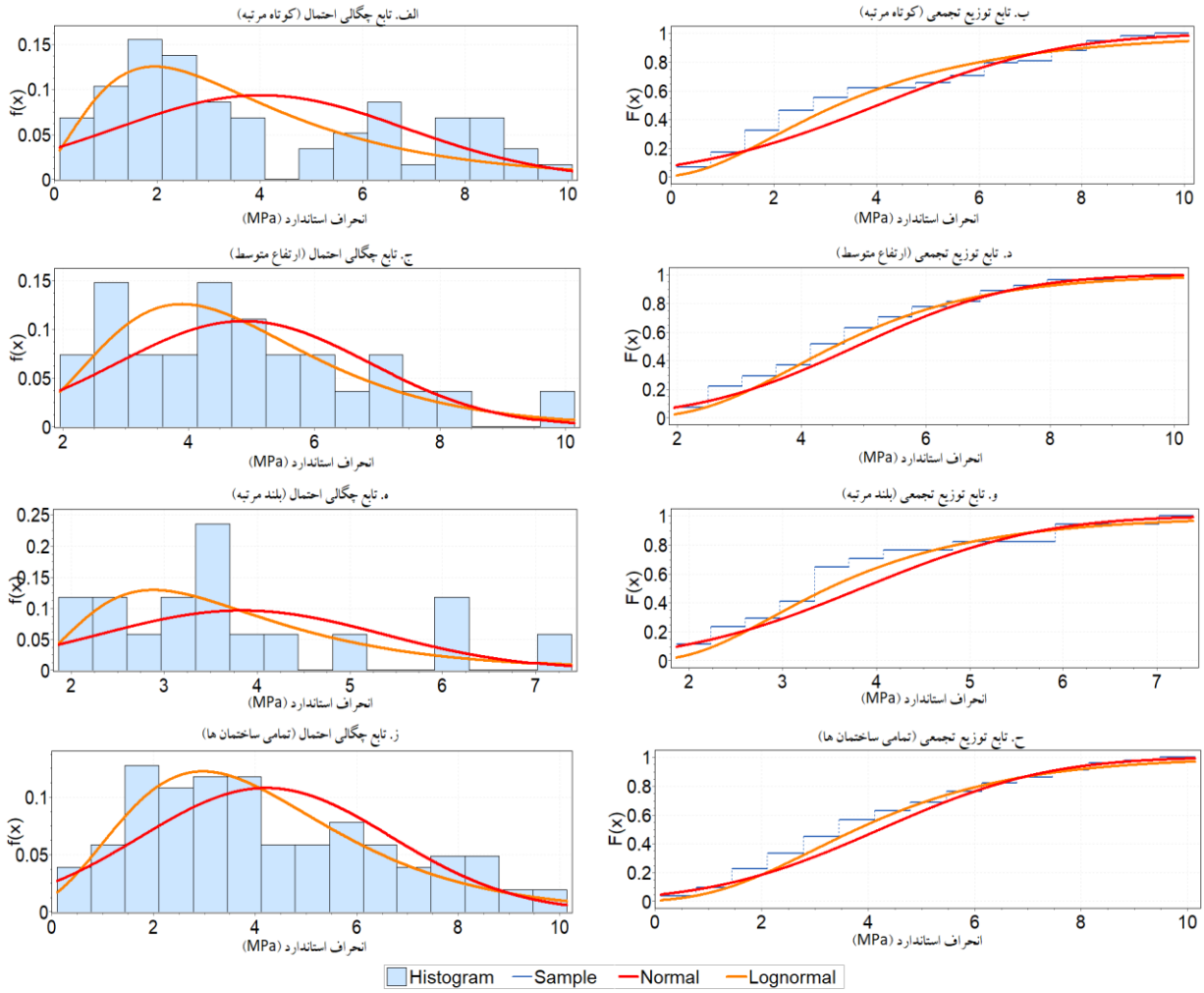
بنابراین، ۲۲٪ از ساختمان‌های مورد بررسی در این تحقیق که دارای ضریب تغییرات بیشتر از ۲۰٪ در مقاومت فشاری بتن هستند، از دیدگاه این دستورالعمل قابل قبول شناخته نمی‌شوند.

با توجه به شکل ۲ در ساختمان‌های بلند مرتبه تنها در کمتر از ۵٪ ساختمان‌ها مقادیر ضریب تغییرات مقاومت فشاری بتن از مقدار آستانه‌ی ۲۰٪ فراتر رفته است. در حالی که در ساختمان‌های کوتاه مرتبه در بیش از ۳۰٪ و در ساختمان‌های با ارتفاع متوسط در بیش از ۲۰٪ ساختمان‌ها مقدار ضریب تغییرات مقاومت فشاری بتن از حد ۲۰٪ فراتر رفته است.

نمودارهای هیستوگرام، تابع چگالی احتمال و تابع توزیع تجمعی پارامتر انحراف استاندارد مقاومت فشاری بتن به کار رفته در سیستم باربر جانبی ساختمان‌ها به تفکیک گروه‌های ارتفاعی در شکل ۳ ارائه شده است.

ب‌ررسی این نمودار و اعداد ارائه شده در جدول ۴-۵-۹ مبحث نهم مقررات ملی ساختمان ایران (جدول ۱) با در نظر گرفتن این موضوع که مقاومت مشخصه بتن تمامی ساختمان های مورد بررسی در بازه‌ی ۲۰ تا ۲۵ مگاپاسکال می‌باشد، نشان می‌دهد در بیش از ۳۰٪ ساختمان‌های مورد بررسی مقدار انحراف استاندارد از حداکثر مقدار پیشنهادی مبحث نهم یعنی ۵/۵ مگاپاسکال بیشتر است. حتی در ساختمان‌های بلند مرتبه‌ی مورد بررسی نیز در حدود ۲۰٪ ساختمان‌ها انحراف استاندارد از مقدار ۵/۵ مگاپاسکال بیشتر است.

در بیش از ۳۰٪ ساختمان‌های کوتاه مرتبه و با ارتفاع متوسط مقدار انحراف استاندارد مقاومت فشاری بتن از ۵/۵ مگاپاسکال فراتر رفته است. نظر به اینکه مقادیر ارائه شده در مبحث نهم مربوط به شرایط عدم دسترسی به اطلاعات آماری است، انتظار بر محافظه‌کارانه بودن اعداد جدول ارائه شده در مبحث نهم است.



شکل ۳- تابع چگالی احتمال و تابع توزیع تجمعی انحراف استاندارد مقاومت فشاری بتن اجزای سیستم باربر جانبی الف و ب) ساختمان‌های کوتاه مرتبه، ج و د)ساختمان‌های با ارتفاع متوسط، ه و و)ساختمان‌های بلند مرتبه و ز و ح)تمامی ساختمان‌ها

٤- نتیجه‌گیری

در این تحقیق با بررسی آرشیو نتایج آزمایشات مقاومت فشاری بتن مربوط به یکصد ساختمان جدیدالاحداث یا در حال ساخت در شهر تبریز مشتمل بر ۱۶۳۴ نمونه تلاش شد تا پارامترهای آماری مربوط به این نتایج جهت استفاده آتی در ارزیابی و بهسازی لرزه‌ای ساختمان ها استخراج شود.

پارامترهای استخراج شده بیانگر عدم قطعیت در مقاومت فشاری بتن و نتیجتا سایر مشخصات مکانیکی بتن اعم از مدول الاستیسیته، مقاومت برشی و ... است. استفاده از پارامترهای مذکور در تعیین عدم قطعیت پاسخ‌های لرزه‌ای ساختمان‌های بتن مسلح به‌ویژه در محدوده تغییرشکل‌های غیرخطی بزرگ راهگشا خواهد بود. همچنین پارامترهای مورد بررسی به منظر بهره‌جویی در آیین نامه‌ها و دستورالعمل‌های ملی و بین‌المللی انتخاب شده‌اند.

نتایج حاصل در مقایسه با نتایج تحقیق‌های مشابه حاکی از ارتقای کیفی بتن و کاهش پارامترهایی نظیر انحراف استاندارد و ضریب تغییرات مقاومت فشاری بتن در ساختمان‌های جدیدالاحداث در مقایسه با ساختمان‌های قدیمی بررسی شده در مراجع [۷و۱۱] است. با این حال بررسی الزامات دستورالعمل FEMA356 (2000) نشان از عدم کفایت ضریب تغییرات مقاومت فشاری بتن در ۲۲٪ ساختمان‌های مورد بررسی بر اساس ضوابط دستورالعمل فوق، دارد. بزرگی پارامتر ضریب تغییرات مقاومت فشاری بتن نسبت عکس با ارتفاع و تعداد طبقات ساختمان‌های مورد بررسی دارد و با افزایش تعداد طبقات درصد بیشتری از ساختمان‌ها در محدوده‌ی قابل قبول دستورالعمل FEMA356 (2000) قرار می‌گیرند.

بررسی اعداد جدول ۴-۵-۹ مبحث نهم مقررات ملی ساختمان ایران مربوط به تعیین انحراف استاندارد مقاومت فشاری بتن در شرایط عدم دسترسی به اطلاعات آماری، نشان می‌دهد که در ۳۰٪ ساختمان‌های مورد بررسی، انحراف استاندارد از حداکثر میزان پیشنهادی مبحث نهم بیشتر است. رعایت استانداردهای حین ساخت، حمل و بتن‌ریزی و نیزکنترل پارامترهای تاثیرگذار خارج از کارگاه از جمله دما، زمان و شرایط حمل بتن با افزایش کیفیت بتن مورد استفاده در ساختمان‌ها سبب کاهش عدم قطعیت در پارامترهای آماری موثر بر پاسخ لرزه‌ای سازه‌ها نظیر انحراف استاندارد و ضریب تغییرات مقاومت فشاری بتن خواهد بود.

٥- قدردانی

بدین‌وسیله از آقایان مهندس حسن پناهپور مدیریت شرکت خاک آژند تحکیم آران، مهندس علی عبدلی‌نژاد و مهندس هادی آهنگرپروین مدیران شرکت مهندسین مشاور شهرآیند تبریز و مهندس رضا صباغ کرمانی مدیر شرکت تایماز طرح تحکیم که جمع آوری داده‌های این تحقیق بدون کمک ایشان مقدور نبود، کمال تشکر و قدردانی به‌عمل می‌آید.

٦- مراجع

[1]. CEN., Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance. Part 3: Assessment and retrofitting of buildings. 2005: Brussels, Belgium.

[2]. Jalayer, F., Iervolino, I. and Manfredi, G. Structural modeling uncertainties and their influence on seismic assessment of existing RC structures. Structural Safety, 2010. 32(3): p. 220-228.

[3]. Franchin, P., Pinto, P.E. and Rajeev, P. Confidence Factor?. Journal of Earthquake Engineering, 2010. 14(7): p. 989-1007.

[4]. BSSC., Prestandard and commentary for the seismic rehabilitation of buildings. Report FEMA-356, Washington, DC, 2000.

[5]. Cimellaro, G.P., Nagarajaiah, S. and Kunnath, S.K. Computational Methods, Seismic Protection, Hybrid Testing and Resilience in Earthquake Engineering: A Tribute to the Research Contributions of Prof. Andrei Reinhorn. Vol. 33. 2014: Springer.

[۶]. مقررات ملی ساختمان ایران.، مبحث نهم: طرح و اجرای ساختمان‌های بتن آرمه.، ویرایش چهارم.، ۱۳۹۲

[7]. Cristofaro, M., D'Ambrisi, A., De Stefano, M., Tanganelli, M. Concrete compressive strength extracted from existing buildings. Proc. The New Boundaries of Structural Concrete, Università Politecnica delle Marche–ACI Italy, 2011.

[8]. D'Ambrisi, A., Cristofaro, M. and De Stefano, M. Predictive models for evaluating concrete compressive strength in existing buildings. in 14th world conf on earthquake eng. 2008. Beijing, China.

[9]. Cristofaro, M.T., Nudo, R., Tanganelli, M., D'Ambrisi, A., De Stefano, M. and Pucinotti, R. Issues concerning the assessment of concrete compressive strength in existing buildings: Application to a case study. Structural Concrete, 2018. 19(3): p. 795-805.

[10]. De Stefano, M., Tanganelli, M. and Viti, S. Effect of the variability in plan of concrete mechanical properties on the seismic response of

existing RC framed structures. Bulletin of Earthquake Engineering, 2013. 11(4): p. 1049-1060.
[11]. Masi, A., Digrisolo, A. and Santarsiero, G. Concrete strength variability in Italian RC buildings: analysis of a large database of core tests. Applied Mechanics and Materials, 2014. 597: p. 283-290.

Statistical evaluation of concrete compressive strength, a case study: reinforced concrete (RC) buildings constructed in Tabriz

Reza Baghbanijam
PhD student, Faculty of Civil Engineering, Sahand University of Technology, Tabriz, Iran.
Mehdi Poursha *
Associate professor, Faculty of Civil Engineering, Sahand University of Technology, Tabriz, Iran.

Abstract

The correct estimation of compressive strength of concrete plays a key role in evaluating the performance of reinforced concrete (RC) structures under gravity and seismic loads. According to the provisions of Chapter 9 of the Iranian National Building Regulations, sampling and performing compressive strength tests are required to determine the average compressive strength of concrete. In this study, by statistically studying the results derived from analyzing the archive of the compressive strength of concrete samples extracted from reinforced concrete (RC) buildings constructed over the past ten years in Tabriz, the values of statistical parameters affecting the average compressive strength of concrete such as the coefficient of variation (COV) and the standard deviation were calculated. The probability density function (PDF) and the cumulative distribution function (CDF) of the above-mentioned statistical parameters were determined for the purpose of comparison with the values provided in the Iranian National Building Regulations and other international standards as well as for use in future studies. The results show that in 30% of the buildings studied, the standard deviation of compressive strength of concrete exceeds the amounts presented in Chapter 9 of the Iranian National Building Regulations. A similar result is obtained in 18% of the high-rise buildings studied. The coefficient of variation of compressive strength of concrete in approximately 22% of the buildings examined is higher than the allowable values of FEMA356 (2000) and this problem was observed in a higher percentage of the low-rise buildings.

Keywords: Compressive strength of concrete, coefficient of variation (COV), standard deviation, probability density function (PDF), cumulative distribution function (CDF).

* Corresponding Author: poursha@sut.ac.ir