

# بررسی ضرایب بار و مقاومت جهت طراحی سازه های بتن آرمه بر مبنای شرایط کارگاهی در ایران

محمد صادق معرفت

استادیار گروه مهندسی عمران - دانشکده فنی - دانشگاه تهران

محمد رضا امیری شاهمیرانی

فارغ التحصیل کارشناسی ارشد سازه - دانشکده فنی - دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت ۷۹/۱۲/۱۳، تاریخ تصویب ۸۰/۷/۷)

## چکیده

تدوین آیین نامه آبا جهت طراحی سازه های بتن آرمه، یکی از پیشرفتهایی است که طی سالیان اخیر در مهندسی ساختمان ایران رخ داده است. از آنجاییکه ضرایب بار و مقاومت و حاشیه ایمنی آیین نامه آبا، از کشورهای مختلف و بطور عمده از آیین نامه بتن کانادا اقتباس شده است، سطح ایمنی آن در شرایط کارگاهی ایران باید مورد ارزیابی قرار گیرد. در این مقاله نتایج مطالعات میدانی بر روی ۵۳ کارگاه ساختمانی در محدوده شهر تهران و حومه، مورد بررسی قرار گرفته و توصیف آماری پارامترهای مقاطع بتن آرمه بدست آمده است. بر پایه این مطالعات، سطح ایمنی آیین نامه آبا محاسبه شده و نشان داده شده است که این سطح در شرایط کارگاهی ایران از مقدار مورد نظر آیین نامه ای کمتر است. این مطالعات نشان می دهد که با افزایش ضرایب بار<sup>۱</sup> و کاهش ضرایب مقاومت<sup>۲</sup> به مقادیر محاسبه شده در این مقاله، حاشیه ایمنی لازم برای طراحی در شرایط کارگاهی ایران فراهم می شود.

**واژه های کلیدی:** طراحی، سازه های بتن آرمه، ضرایب بار و مقاومت، شبیه سازی مونت کارلو<sup>۳</sup>، کنترل کیفیت کارگاهی

## مقدمه

نکته مهم در این خصوص تفاوت شرایط کارگاهی ایران با کشورهای توسعه یافته و وجود اختلاف چشمگیر در کنترل کیفیت مصالح، نیروی کار و عوامل اجرایی و محیطی می باشد. باید توجه داشت که استفاده از معادلات یکسان طراحی برای شرایط اجرایی متفاوت، منجر به سطوح ایمنی مختلف برای سازه می شود. از اینرو بررسی میدانی و توصیف آماری عدم قطعتهای موجود در کارگاههای ایران، ضروری به نظر می رسد. در این مقاله سعی شده است با بررسی میدانی ۵۳ کارگاه ساختمانی در محدوده شهر تهران و حومه، اطلاعات قابل اعتمادی در خصوص کیفیت اجرایی و دامنه تغییرات پارامترهایی همچون مقاومت بتن، میلگرد و ابعاد اعضا فراهم گردد. بر پایه اطلاعات بدست آمده، سطح ایمنی آیین نامه آبا

یکی از تحولات مثبت در مهندسی ساختمان ایران که در سالیان اخیر به انجام رسیده، تدوین آیین نامه ملی سازه های بتن آرمه (آبا) می باشد. طراحی در این آیین نامه به روش حالات حدی است<sup>۴</sup> که معرف یک روش نیمه احتمالاتی<sup>۵</sup> بوده و ضرایب ایمنی<sup>۶</sup> در آن بصورت جزئی اعمال می شوند. در این آیین نامه از ضرایب ۰/۱۶ و ۰/۸۵ به ترتیب برای مقاومت های بتن و فولاد، و از ضرایب ۱/۲۵ و ۱/۵ به ترتیب برای بارهای مرده و زنده استفاده می شود. معادلات طراحی و ضرایب مورد استفاده در آیین نامه آبا، بر گرفته از آیین نامه های مختلف بوده و بطور عمده از آیین نامه XΣA A23.3-M84 اقتباس شده است. بدین ترتیب سطح ایمنی مفروض در آیین نامه بتن ایران و آیین نامه های دیگر، یکسان به نظر می رسد. اما

جدول ۱: مشخصات آماری پارامترهای اعضای بتن آرمه در ایران.

ضریب تغییرات	انحراف معیار kg/cm <sup>2</sup> (MPa)	میانگین kg/cm <sup>2</sup> (MPa)	توزیع احتمال	مقادیر اسمی $f'_c$ kg/cm <sup>2</sup> (MPa)	کیفیت	عیار بتن، kg/m <sup>3</sup>
۰/۱۲	۱/۵۴(۱/۹۹) ۹	۱۶۴(۱۶/۷)	لگ نرمال	۲۱۰(۲۱/۴)	متوسط	۲۵۰
۰/۱۲	۲۲/۷(۲/۳۲)	۱۸۷(۱۹/۱)	نرمال	۲۱۰(۲۱/۴)	متوسط+	۲۵۰
۰/۱۶	۳۵/۰(۳/۵۷)	۲۱۶(۲۲/۰)	نرمال	۳۱۵(۳۲/۱)	ضعیف	۳۵۰
۰/۱۷	۵۰/۲(۵/۱۲)	۲۸۹(۲۹/۵)	لگ نرمال	۳۱۵(۳۲/۱)	متوسط-	۳۵۰
۰/۱۳	۳۷/۴(۳/۸۲)	۲۹۶(۳۰/۲)	نرمال	۳۱۵(۳۲/۱)	متوسط	۳۵۰
۰/۱۱	۳/۳۳(۳/۵۰) ۴	۳۱۵(۳۲/۱)	لگ نرمال	۳۱۵(۳۲/۱)	متوسط+	۳۵۰
۰/۱۷	۵/۱۳(۵/۵۲) ۴	۳۲۳(۳۳/۰)	لگ نرمال	۳۷۰(۳۷/۸)	ضعیف	۴۰۰
۰/۱۲	۳/۷۴(۳/۹۵) ۸	۳۳۶(۳۴/۳)	نرمال	۳۷۰(۳۷/۸)	متوسط+	۴۰۰
۰/۰۸	۲۴/۲(۲۴/۷) ۲	۳۲(۳۲۸/۰) ۱۴	نرمال	۳۰۰۰(۳۰۶/۱)	تنش تسلیم میلگرد AII	
۰/۰۶	۲۴/۸(۲۴/۸) ۲	۴۰(۴۱۶/۳) ۸۰	نرمال	۴۰۰۰(۴۰۸/۲)	تنش تسلیم میلگرد AIII	
۲/۰۸	۲/۱۸	۱۰/۵	نرمال	اختلاف عرض عملی و اسمی مقطع (mm)		
۵/۱۲	۱۷/۴	-۳/۴	نرمال	اختلاف ارتفاع عملی و اسمی مقطع (mm)		
۷/۵۱	۲/۷۸	۰/۳۷	نرمال	اختلاف قطر میلگرد عملی و اسمی (mm)		

می گذارد و توزیع احتمالاتی پارامترهای اعضای بتن آرمه ایران را ارائه می نماید. همچنین روشی برای اصلاح معادلات طراحی و مقادیری برای ضرایب بار و مقاومت در شرایط کارگاهی ایران پیشنهاد می کند.

### بررسیهای میدانی

توصیف آماری پارامترها، مستلزم تعیین توزیع

محاسبه شده و نشان داده شده است که شاخص ایمنی واقعی از مقدار مطلوب و مفروض آیین نامه های مرجع کوچکتر می باشد. با انجام آنالیز ریسک و تحلیل آماری داده ها، ضرایب بار و مقاومت آیین نامه ایران بگونه ای اصلاح شده که به شاخص ایمنی<sup>۷</sup> مطلوب برسد. این اصلاحات در مجموع به افزایش ضرایب بار و کاهش ضرایب مقاومت انجامیده است. این بررسی ها چشم اندازی از قابلیت اطمینان در آیین نامه آبا به نمایش

جدول (۲) می باشد. در این جدول،  $\mu$  میانگین مقاومت بتن آزمایش شده می باشد.

جدول ۲: معیار درجه بندی کیفیت بتن در ایالات متحده.

$\mu \geq 280 \text{ kg/cm}^2$			
56	42	28	ضریب پراکندگی
$\mu$	$\mu$	$\mu$	
ضعیف	متوسط	عالی	درجه بندی کیفیت
$\mu < 280 \text{ kg/cm}^2$			
۲۰٪	۱۵٪	۱۰٪	ضریب پراکندگی
ضعیف	متوسط	عالی	درجه بندی کیفیت

$$1 \text{ kg/cm}^2 = 9.8 \text{ MPa}$$

جدول (۲) نشان می دهد که معیار اصلی طبقه بندی کیفیت بتن، ضریب پراکندگی و مقاومت فشاری بتن می باشد. بر این اساس، هرچه مقاومت بتن های ساخته شده در یک کارگاه به هم نزدیکتر باشد، ضریب پراکندگی کوچکتر است و کارگاه از کیفیت اجرایی بالاتری برخوردار است. به نظر می رسد که تکیه بر معیار پراکندگی برای طبقه بندی کارگاهها کفایت نمی کند. زیرا ممکن است یک کارگاه بتن هایی با مقاومت های بسیار نزدیک به هم تولید کند اما میزان مصرف سیمان بر واحد تولید بتن، عدد بزرگی باشد. بسیار دیده شده است که دو کارگاه بازای مصرف مساوی سیمان بر واحد حجم بتن، مقاومت های متفاوتی بدست آورده اند. این اختلاف به عواملی چون کیفیت و دانه بندی سنگدانه ها، نسبت آب به سیمان و نحوه ساختن و ریختن بتن بستگی پیدا می کند. کارگاهی که سیمان زیادی مصرف می کند ولی بتن های ساخته شده مقاومت نسبتا کمی دارند را نمی توان کارگاهی با کیفیت عالی طبقه بندی کرد، گرچه ضریب پراکندگی نمونه ها عدد کوچکی باشد. مطالعات انجام شده در مرجع [۲] صحت این مدعا را در ایران به اثبات می رساند.

از اینرو نویسندگان بر آن شدند که عیار سیمان را نیز به عنوان یک پارامتر در طبقه بندی دخالت دهند. بدین ترتیب با توجه به توصیه سازمان برنامه و بودجه [۵]، رابطه کیفیت بتن بر اساس عیار سیمان مصرفی مطابق

احتمال آنها به روش تجربی می باشد. اینگونه مطالعات شامل جمع آوری آمار و تحلیل آن با بکارگیری شیوه های احتمالاتی همچون استفاده از کاغذهای مقیاس دار، آزمون کای-اسکوئر و آزمون  $K-\Sigma$  می باشد [۱]. در این مطالعه، برای تعیین توزیع احتمال پارامترها، از هر سه روش استفاده شده است.

برای بررسی میدانی، پارامترهای اصلی مقاطع بتن آرمه، شامل مقاومت فشاری بتن، تنش تسلیم میلگرد، مساحت مقطع میلگرد، ابعاد مقطع (عمق، پهنا، عمق مؤثر) مورد مطالعه واقع شده اند. آمار لازم از ۵۳ کارگاه فعال ساختمانی در شهر تهران و حومه جمع آوری شده و مجموعا ۱۶۳۶ نمونه بتنی بررسی گردیده است [۲]. از آنجاییکه بعضی از نمونه های بتنی به شکل مکعب  $15 \times 15$  سانتیمتر و برخی استوانه ای شکل و به ابعاد  $15 \times 30$  سانتیمتر بودند، جهت یکسان سازی نتایج از رابطه (۱) استفاده شد و مقاومت نمونه مکعبی به نمونه هم ارز استوانه ای تبدیل شد.

$$f'_c = 0.72 f_{cu(15 \times 15)}$$

(۱)

از آنجاییکه اطلاعات موجود در برخی کارگاهها ناقص یا غیر دقیق بودند، تنها اطلاعاتی مورد استفاده قرار گرفت که تمامی مشخصات نمونه، تاریخ آزمایش و شیوه آزمایش به شکل قابل اعتمادی ارائه گردیده بود. جهت بررسی میدانی بر روی تنش تسلیم میلگرد و سطح مقطع آن، نتایج حاصل از ۱۰۶ کارگاه مختلف مورد بررسی قرار گرفت. از آنجاییکه انواع مختلفی میلگرد در بازار کار موجود است، تنها اطلاعاتی مورد استفاده قرار گرفت که تمامی مشخصات میلگرد بر پایه مشخصات کارخانه ای و نحوه آزمایش را به شکلی مستند ارائه داده بود. ابعاد و اندازه های مقاطع اعضا نیز با مراجعه به ۱۰ کارگاه فعال اندازه گیری شد. خلاصه ای از آمار جمع آوری شده و نتایج تحلیل آنها در جدول (۱) منعکس شده است.

مطالعات انجام شده در کشورهای مختلف نشان داده است که کیفیت بتن تولید شده در کارگاههای مختلف یکسان نیست [۲،۳] و کارگاهها را از این نظر می توان به سه دسته تقسیم کرد. معیار این تقسیم بندی [۲،۳]، مطابق

نگرفته اند و نشان می دهد که در کارگاهها یا میزان سیمان مصرفی بیش از نیاز واقعی است، یا بتن تولید شده از کیفیت متغیری برخوردار است و یا هر دو حالت وجود دارد.

جدول ۴: درجه بندی کارگاهها بر اساس معیار پراکندگی مقاومت فشاری و عیار سیمان مصرفی.

سیمان	سیمان	سیمان	
ضعیف	متوسط	عالی	
متوسط-	متوسط+	عالی	پراکندگی عالی
متوسط-	متوسط	متوسط+	پراکندگی متوسط
ضعیف	متوسط-	متوسط-	پراکندگی ضعیف

همانطور که بیان شد، قانون احتمال حاکم بر پارامترهای مقاومت فشاری بتن، مقاومت تسلیم میلگردها، اندازه سطح مقطع میلگردها و عمق و پهنا و ارتفاع اعضای بتنی با سه روش استفاده از کاغذهای احتمالاتی مقیاس دار، آزمون کای اسکوئر و آزمون  $K-\Sigma$  تعیین گردید.

جدول (۳) تعریف شد.

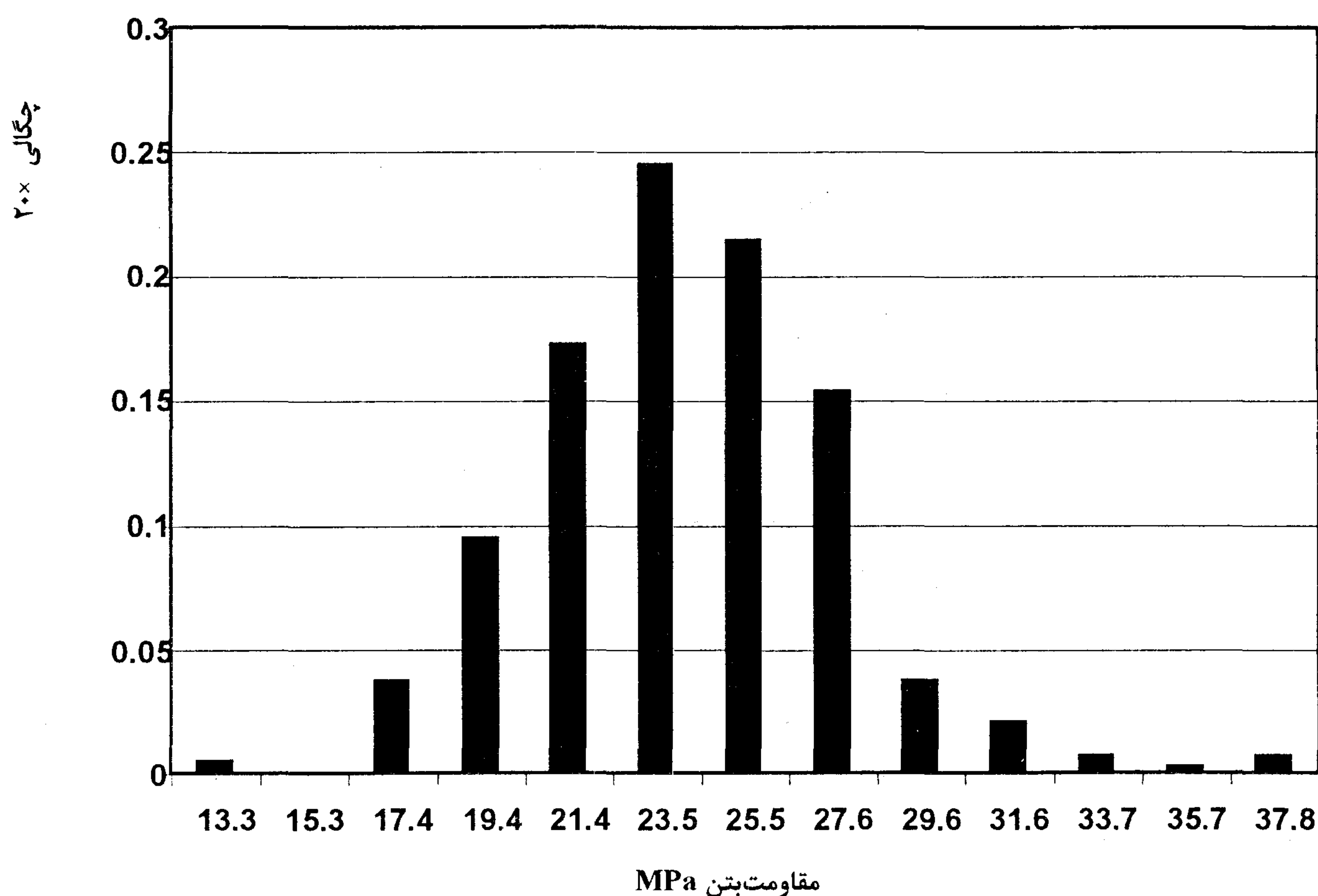
جدول ۳: درجه بندی کیفیت بتن بر پایه عیار سیمان.

درجه بندی	اختلاف عددی عیار مصرفی بتن ( $kg/cm^2$ ) با مقاومت فشاری ( $kg/m^3$ )
عالی	کمتر از ۵۰
متوسط	حدود ۵۰
ضعیف	بیشتر از ۵۰

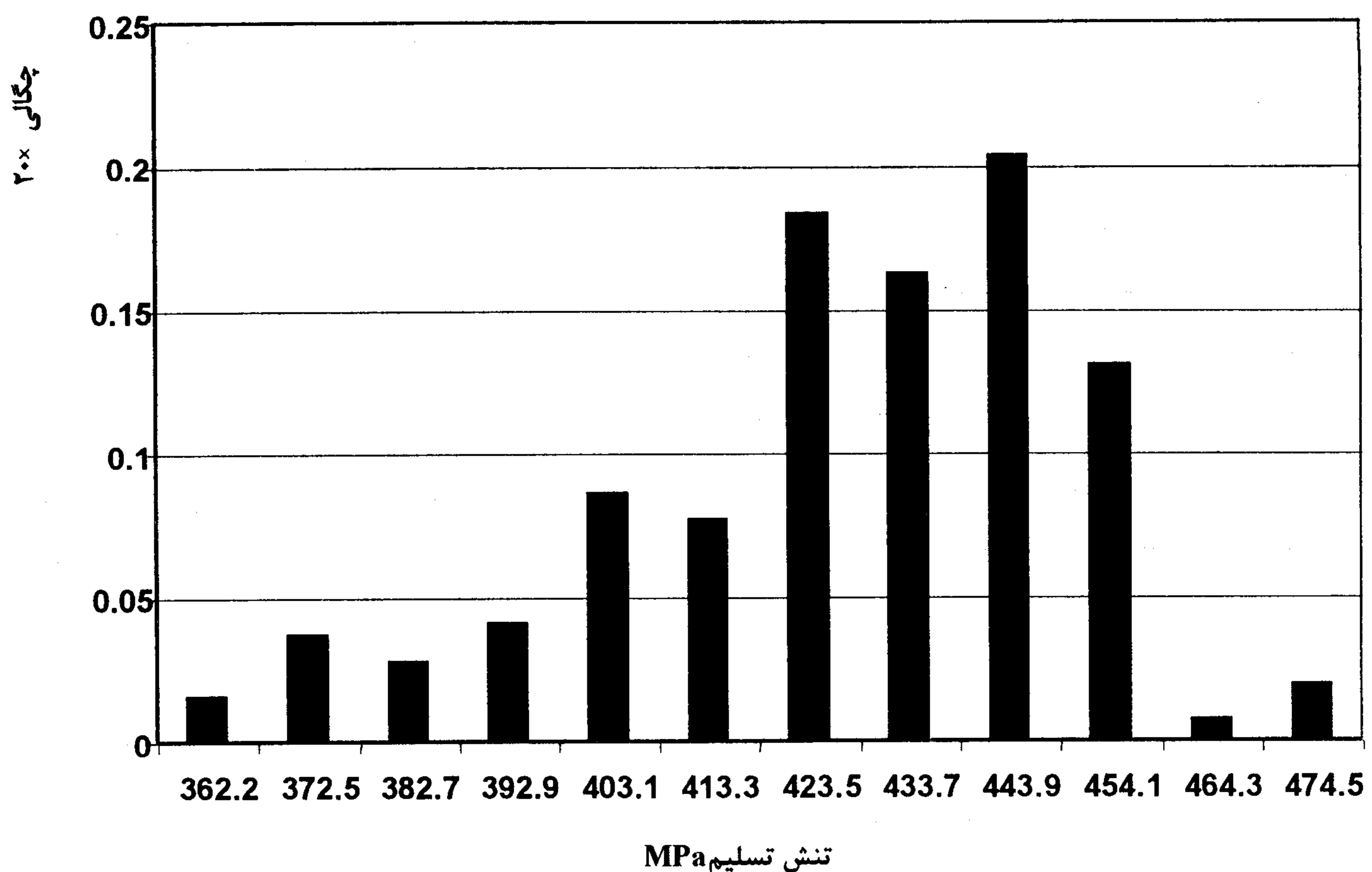
$$1kg/cm^2=9.8 MPa$$

جهت درجه بندی کلی کارگاهها از نظر کیفیت بتن جدولهای (۲) و (۳) را می توان ترکیب کرد تا طبقه بندی کاملتری بر اساس معیارهای سیمان مصرفی، مقاومت بتن و پراکندگی مقاومت فشاری بتن بدست آید. این درجه بندی در جدول (۴) نشان داده شده است.

طبقه بندی جدول (۴) در جدول (۱) مورد استفاده قرار گرفته است. بطوریکه در جدول (۱) دیده می شود، هیچکدام از کارگاههای مورد مطالعه در رده عالی قرار



شکل ۱: تابع چگالی احتمال بتن با عیار ۳۵۰ و کیفیت ضعیف.



شکل ۲: تابع چگالی احتمال تنش تسلیم میلگرد AIII.

جدول ۵: مشخصات آماری بتن و فولاد در امریکای شمالی (کیلوگرم بر سانتیمترمربع).

ضریب تغییرات	میانگین	تابع چگالی احتمال	مقاومت اسمی	
۰/۱۸	۱۹۳	نرمال	۲۱۰	مقاومت
۰/۱۸	۲۳۷	نرمال	۲۸۰	فشاری
۰/۱۵	۲۸۲	نرمال	۳۵۰	بتن
۰/۱۱۶	۳۱۷۰	نرمال	۳۰۰۰	تنش
۰/۰۹۸	۴۷۲۵	نرمال	۴۲۰۰	تسلیم فولاد

$1 \text{ kg/cm}^2 = 9.8 \text{ MPa}$

جزئی بار و مقاومت انجام می شود. حال این سؤال مطرح می شود که با توجه به شرایط خاص حاکم بر کارگاههای ایران، سطح ایمنی واقعی آیین نامه آبا چیست؟ برای پاسخ به این سؤال لازم است توصیف آماری عدم قطعیت ها در سازه های بتنی ساخته شده در ایران بدست آید. در قسمت پیشین خواص آماری پارامترهای دخیل در طراحی سازه های بتنی در ایران بدست آمد. حال با تکیه

در شکل های (۱) و (۲) توزیع آماری دو مورد از پارامترها ارائه شده است [۲]. جدول (۵) مشخصات آماری پارامترهای مقاومت فشاری بتن و تنش تسلیم فولاد را در ایالات متحده و کانادا [۴] نشان می دهد. با مقایسه جداول (۱) و (۵) می توان دریافت که مقادیر مقاومت فشاری بتن در شرایط کارگاهی ایران در مقاومت های اسمی پایین، مقاومت میانگین کمتری در مقایسه با شرایط امریکای شمالی ارائه می کند. ولی با افزایش مقاومت و در عیارهای سیمان بالا، این اختلاف کم می شود و در عیار سیمان ۴۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب، مقادیر میانگین در ایران از مقادیر متوسط ارائه شده در جدول (۵) فراتر می رود. ضرایب تغییرات بدست آمده از میلگرد در ایران برای هر دو نوع میلگرد AII و AIII، کمتر از ضرایب تغییرات ارائه شده در جدول (۵) می باشد. اما مقاومت متوسط ارائه شده در جدول (۵) بزرگتر از مقدار حاصل در شرایط کارگاهی ایران است.

### شاخص ایمنی در آیین نامه بتن ایران (آبا)

تضمین ایمنی در آیین نامه آبا به روش ضرایب

بکمک روابط (۲) تا (۶) طراحی خمشی یک مقطع بتن آرمه زیر اثر بارهای وارده انجام پذیر است. پارامترهای مربوط به بارهای مرده و زنده و مقامتهای بتن و فولاد دارای مقادیر اسمی بر مبنای آبا می باشند. تعیین سطح ایمنی طراحی بکمک تحلیل ریسک به روش مونت کارلو و با استفاده از معادلات بدون ضریب و بکارگیری مقادیر تصادفی پارامترها انجام می پذیرد. تولید تصادفی پارامترهای  $f_c'$ ،  $f_y$ ،  $d$ ،  $b$ ،  $A_s$  با توجه به مشخصات ارائه شده در جدول (۱) صورت می گیرد. لنگر تصادفی مقاوم مقطع بکمک رابطه (۷) محاسبه می شود:

$$M_R = 1.01 A_s f_y d \left[ 1 - 0.59 \frac{A_s f_y}{f_c' b d} \right] \quad (7)$$

ضریب ۱/۰۱ در رابطه (۷)، ضریب خطای مدل و  $M_R$  مقاومت خمشی واقعی مقطع بازای مقادیر واقعی پارامترها می باشد. لنگر بار مرده از توزیع احتمال نرمال و لنگر بار زنده از توزیع احتمال گمبل پیروی میکنند [۲]. میانگین بار مرده (رابطه ۸) و انحراف از معیار آن (رابطه ۹)، میانگین بار زنده (رابطه ۱۰) و انحراف از معیار آن (رابطه ۱۱) عبارتست از [۶ و ۲]:

$$\mu_{M_D} = 1.05 \times \mu_{Dead} \quad (8)$$

$$\sigma_{M_D} = 0.1 \times \mu_{M_D} \quad (9)$$

$$\mu_{M_L} = \mu_{M_D} \times \frac{L}{D} \times \frac{1}{1.05} \quad (10)$$

$$\sigma_{M_L} = 0.31 \times \mu_{M_L} \quad (11)$$

$$M_T = M_D + M_L \quad (12)$$

که  $\mu_{M_D}$  میانگین بار مرده،  $\sigma_{M_D}$  انحراف معیار بار مرده،  $\mu_{M_L}$  میانگین بار زنده،  $\sigma_{M_L}$  انحراف معیار بار زنده،  $M_T$  لنگر کل،  $M_D$  لنگر بار مرده و  $M_L$  لنگر بار زنده می باشد.

بر اطلاعات بدست آمده از کارگاههای ایران، شاخص ایمنی آبا را محاسبه می کنیم. چگونگی محاسبه شاخص ایمنی ( $\beta$ ) در مراجع [۶ و ۲] بیان شده است. در صورتیکه  $\Delta$  و  $\Lambda$  مبین مقادیر اسمی بار گسترده زنده و مرده وارد بر یک تیر بتن آرمه باشد، لنگر حاصل از بار زنده را می توان بکمک رابطه (۲) محاسبه کرد.

$$M_{Live} = \frac{L}{D} \times M_{Dead} \quad (2)$$

که  $M_{Live}$  لنگر ناشی از بار زنده، و  $M_{Dead}$  لنگر ناشی از بار مرده می باشد. لنگر کلی با ضریب مقطع مطابق رابطه (۳) محاسبه می گردد.

$$M_{Total} = \gamma_D \times M_{Dead} + \gamma_L \times M_{Live} \quad (3)$$

که  $M_{Total}$  بیانگر لنگر کلی با ضریب،  $\gamma_D$  نشانگر ضریب بار مرده و  $\gamma_L$  نشانگر ضریب بار زنده است. در آیین نامه آبا، ضریب بار مرده ۱/۲۵ و ضریب بار زنده ۱/۵ می باشد. مقدار فولاد خمشی لازم بکمک رابطه (۴) محاسبه می شود.

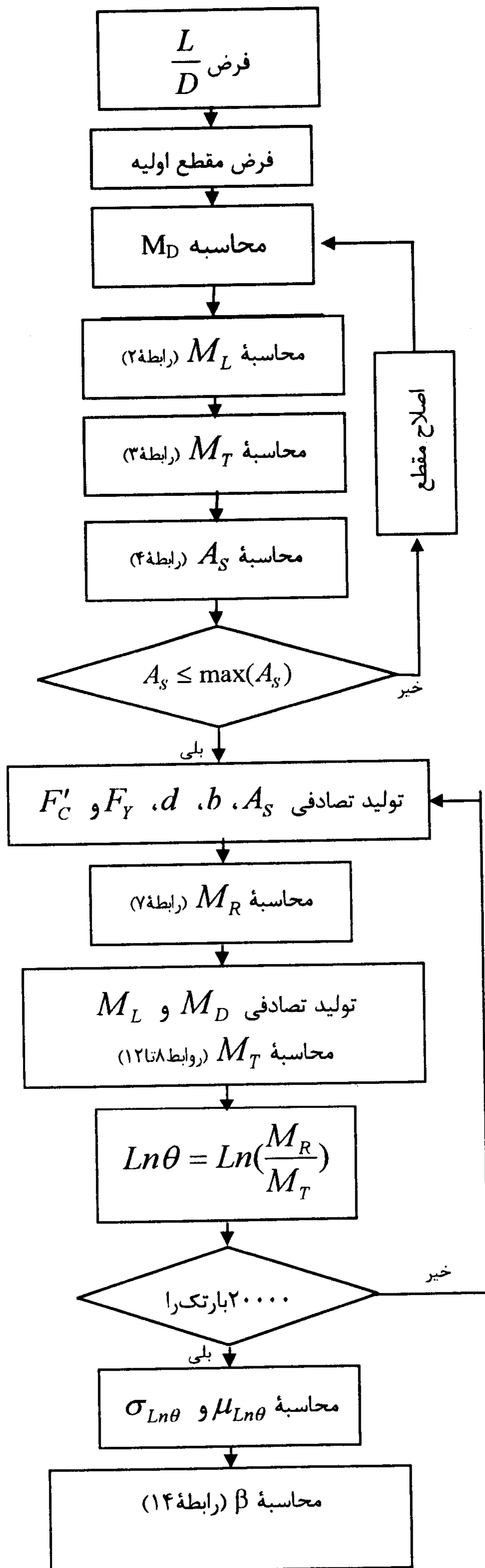
$$M_{Total} = A_s \phi_s f_y \left[ d - \frac{A_s \phi_s f_y}{10^6 \phi_c f_c' d} \right] \quad (4)$$

که  $A_s$ ،  $\phi_s$ ،  $d$ ،  $f_y$ ،  $\phi_c$ ،  $f_c'$  به ترتیب عبارتند از مساحت فولاد کششی، ضریب کاهش مقاومت فولاد (۰/۸۵)، تنش تسلیم میلگرد، عمق مؤثر مقطع، ضریب مقاومت بتن (۰/۶) و مقاومت فشاری بتن. مساحت فولاد کششی ( $A_s$ ) نباید از مقادیر حداکثر (رابطه ۵) و حداقل (رابطه ۶) آیین نامه تجاوز کند.

$$A_{s,max} = b.d \left[ \frac{0.85 \beta_1 \phi_c f_c'}{\phi_s f_y} \right] \left[ \frac{600}{600 + f_y} \right] \quad (5)$$

$$A_{s,min} = \frac{1.4}{f_y} b.d \quad (6)$$

متناسب با شرایط کارگاهی ایران به عنوان یک ضرورت مطرح می شود.



شکل ۳: فلوجارت محاسبه  $\beta$  به روش مونت کارلو.

به روش مونت کارلو و بوسیله معادلات (۷) تا (۱۲) مقاومت خمشی  $M_R$  و لنگر خمشی وارده  $M_T$  شبیه سازی شده و بازای ۲۰۰۰۰ دور تکرار، شاخص ایمنی مطابق روابط (۱۳) و (۱۴) محاسبه می شود [۶].

$$\ln(\theta) = \ln\left(\frac{M_R}{M_T}\right)$$

(۱۳)

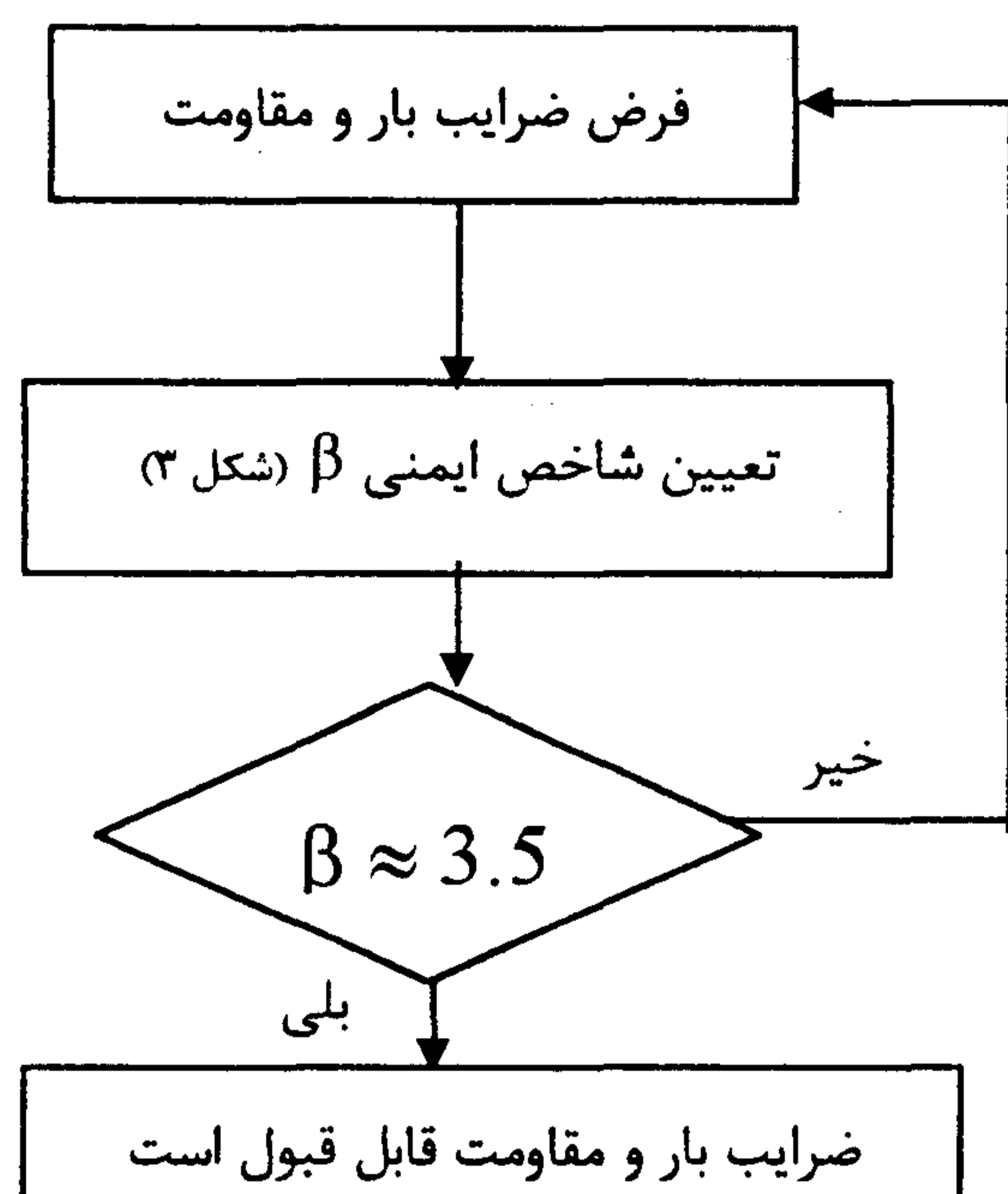
$$\beta = \frac{\mu_{\ln\theta}}{\sigma_{\ln\theta}}$$

(۱۴)

که  $\theta$  بیانگر نسبت  $M_R$  به  $M_T$  می باشد و  $\mu_{\ln\theta}$  میانگین و  $\sigma_{\ln\theta}$  انحراف معیار  $\ln\theta$  می باشد.  $\beta$  نیز شاخص ایمنی متناظر با مقادیر اسمی طراحی آبا است. با استفاده از روابط فوق شاخص ایمنی بازای هر مقدار اسمی بار و مقاومت یا  $L/D$  قابل محاسبه است. در شکل (۳) مراحل مختلف عملیات شبیه سازی و محاسبه شاخص ایمنی نشان داده شده است.

منحنی تغییرات  $\beta - (L/D)$  برای میلگردهای AII و AIII و بتن با عیارهای ۲۵۰، ۳۰۰، ۳۵۰ و ۴۰۰ کیلوگرم سیمان بر متر مکعب و کیفیت های متوسط و ضعیف در مرجع [۲] ترسیم شده است. بعنوان نمونه نمودار تغییرات  $\beta$  بازای نسبت های مختلف بارزنده به مرده  $(L/D)$  در شکل های (۴) و (۵) رسم شده است.

بررسی منحنی های تغییرات  $\beta$  بازای  $(L/D)$  نشان می دهد که مقدار  $\beta$  بین ۲/۳۲ تا ۳/۶۸ در نوسان است و میانگین آن ۳/۱ می باشد [۲]. این بدان معنا است که شاخص ایمنی مقاطع خمشی ای که مطابق آیین نامه آبا طراحی و در شرایط کارگاهی ایران ساخته شده اند، بطور متوسط دارای شاخص ایمنی ۳/۱ می باشند. از آنجاییکه شاخص ایمنی مطلوب آبا ۳/۵ است [۲، ۶]، ملاحظه می شود که آبا با ضرایب بار و مقاومت موجود، شاخص ایمنی مطلوب را برآورده نمی کند و این ضرایب عدم قطعیت های کارگاهی ایران را به نحو مطلوب منعکس نمی سازد. از اینرو بازنگری در ضرایب بار و مقاومت آبا

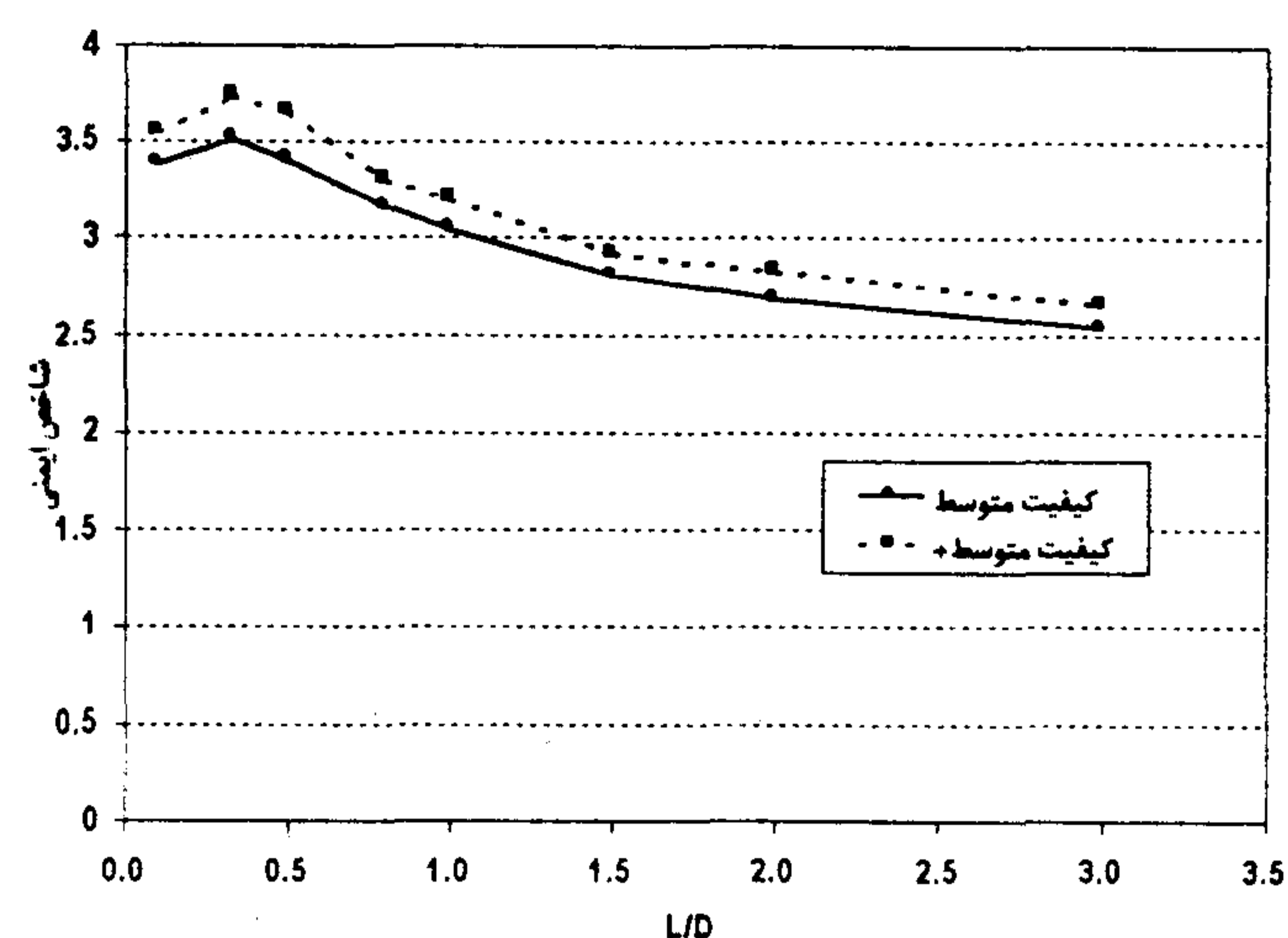
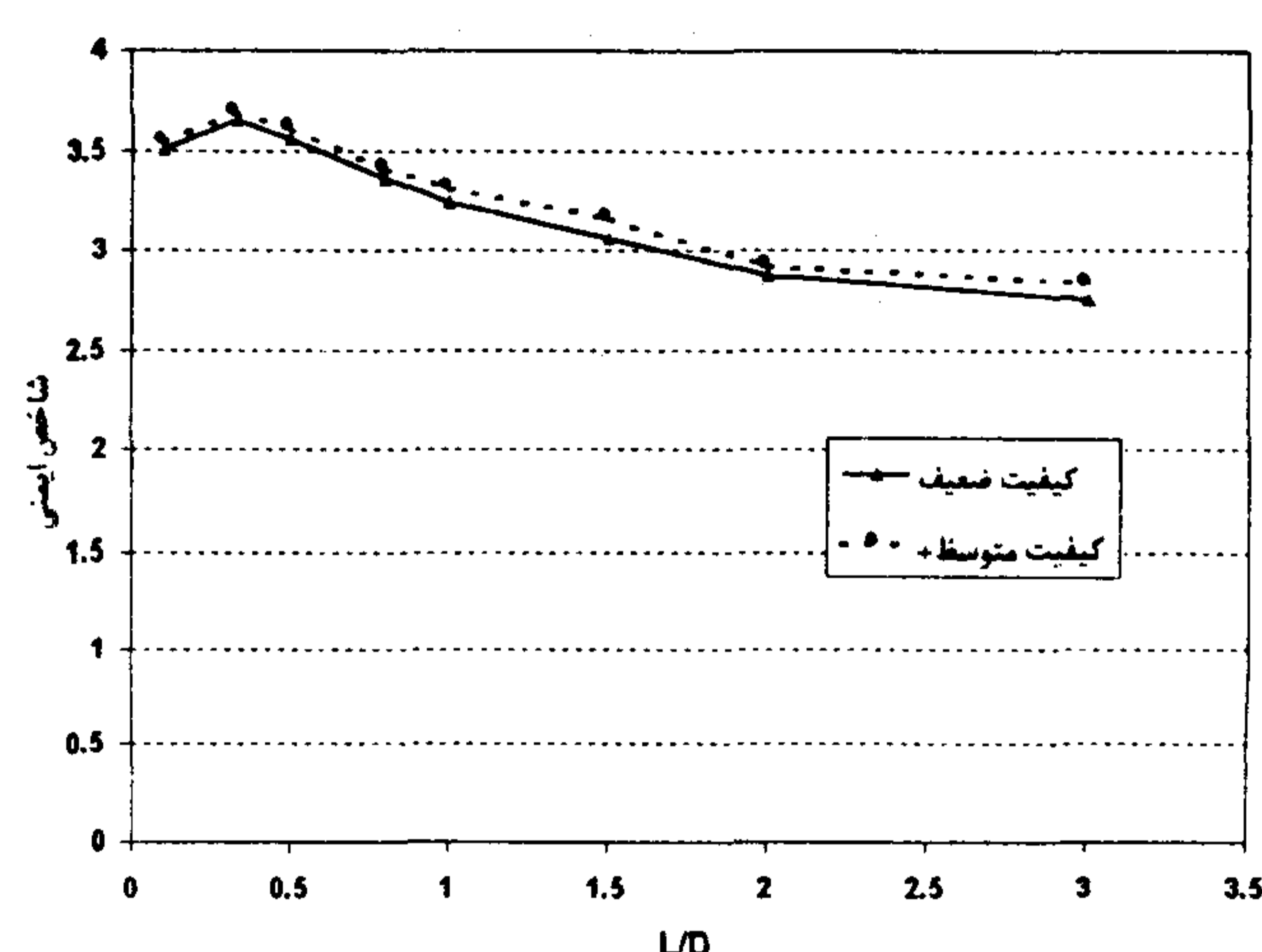


شکل ۶: فلوجارت محاسبه ضرایب بار و مقاومت.

همانطور که در شکل (۶) ملاحظه می شود، این روش شامل تحلیل ریسک به روش مونت کارلو برای محاسبه  $\beta$  و تغییر ضرایب تا رسیدن به  $\beta$  مطلوب است [۷ و ۸]. بکمک این روش ضرایب جزئی بار و مقاومت برای بتنهای با مقاومت های مختلف و کیفیتهای متفاوت و انواع میلگرد AII و AIII تعیین شده است [۲].

مطالعه مزبور در هر حالت منجر به رسم منحنی تغییرات ضرایب بار و مقاومت بازای مقادیر مختلف  $(\frac{L}{D})$  شده است. دو نمونه از این منحنی ها در شکلهای (۷) و (۸) ملاحظه می گردد.

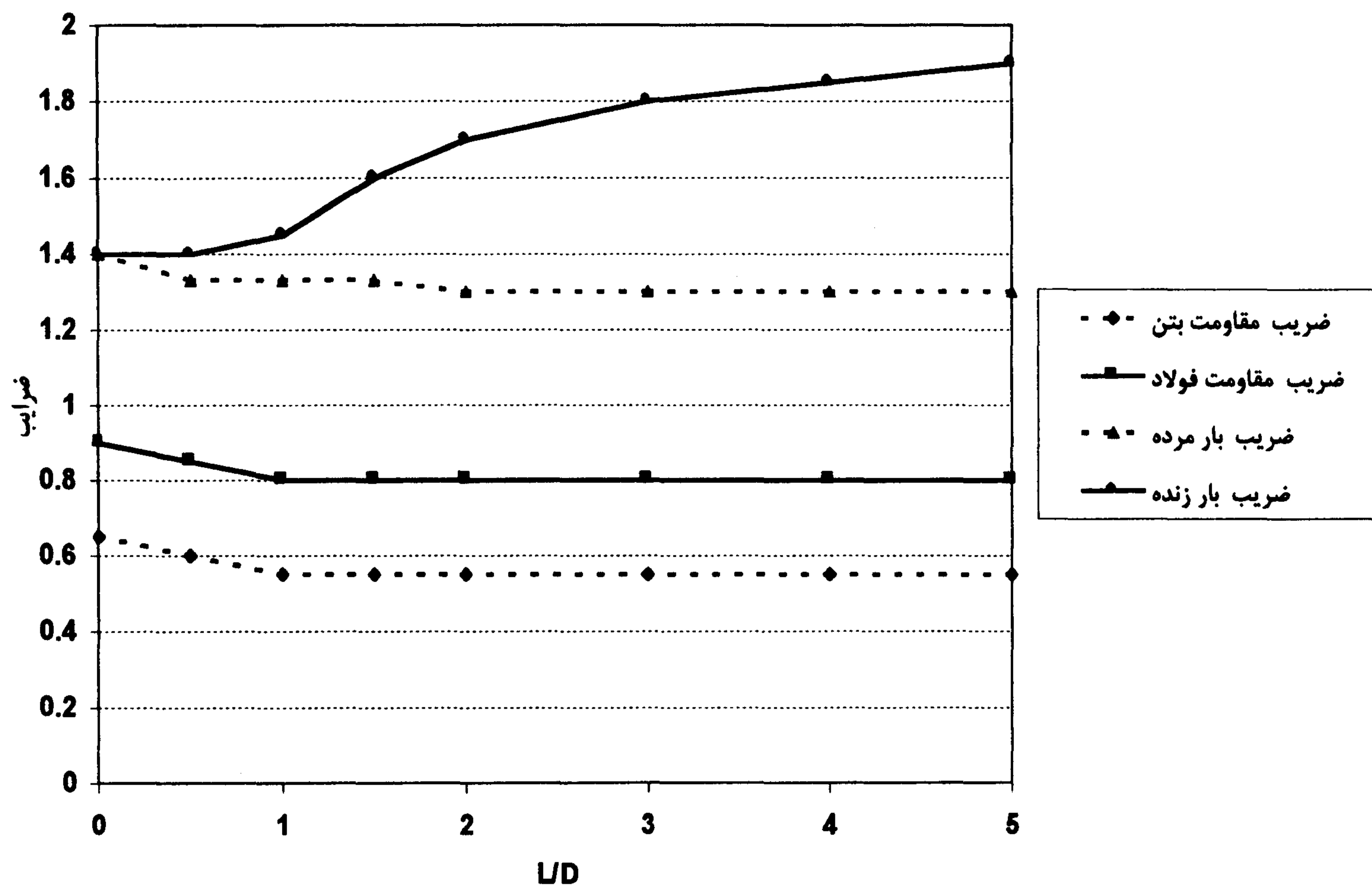
مطالعات مزبور نشان داد که بتنهای با عیار سیمان کمتر نسبت به بتنهای با عیار بیشتر، دارای ضرایب مقاومت کوچکتر و ضرایب بار بزرگتر می باشند. علت این امر بهبود کیفیت و کاهش پراکندگی نتایج آزمایش بتنهای با عیار بیشتر در مقایسه با بتنهای با عیار کمتر است. همچنین بررسی انجام گرفته نشان داد که بتن های مسلح شده با میلگرد AII نسبت به بتنهای مسلح شده با میلگرد AIII، دارای ضرایب مقاومت بزرگتر و ضرایب بار کوچکتر می باشند. دلیل این امر اینست که اختلاف میانگین تجربی تنش تسلیم با مقدار اسمی آن در میلگردهای AII بیشتر از همین اختلاف در میلگردهای AIII است و مقاومت ذخیره میلگردهای AII بیشتر است. ضرایب بار و مقاومت بازای عیارهای مختلف سیمان و کیفیت های

شکل ۴: تغییرات  $\beta$  (بتن با عیار ۲۵۰ و میلگرد AIII).شکل ۵: تغییرات  $\beta$  (بتن با عیار ۴۰۰ و میلگرد AII).

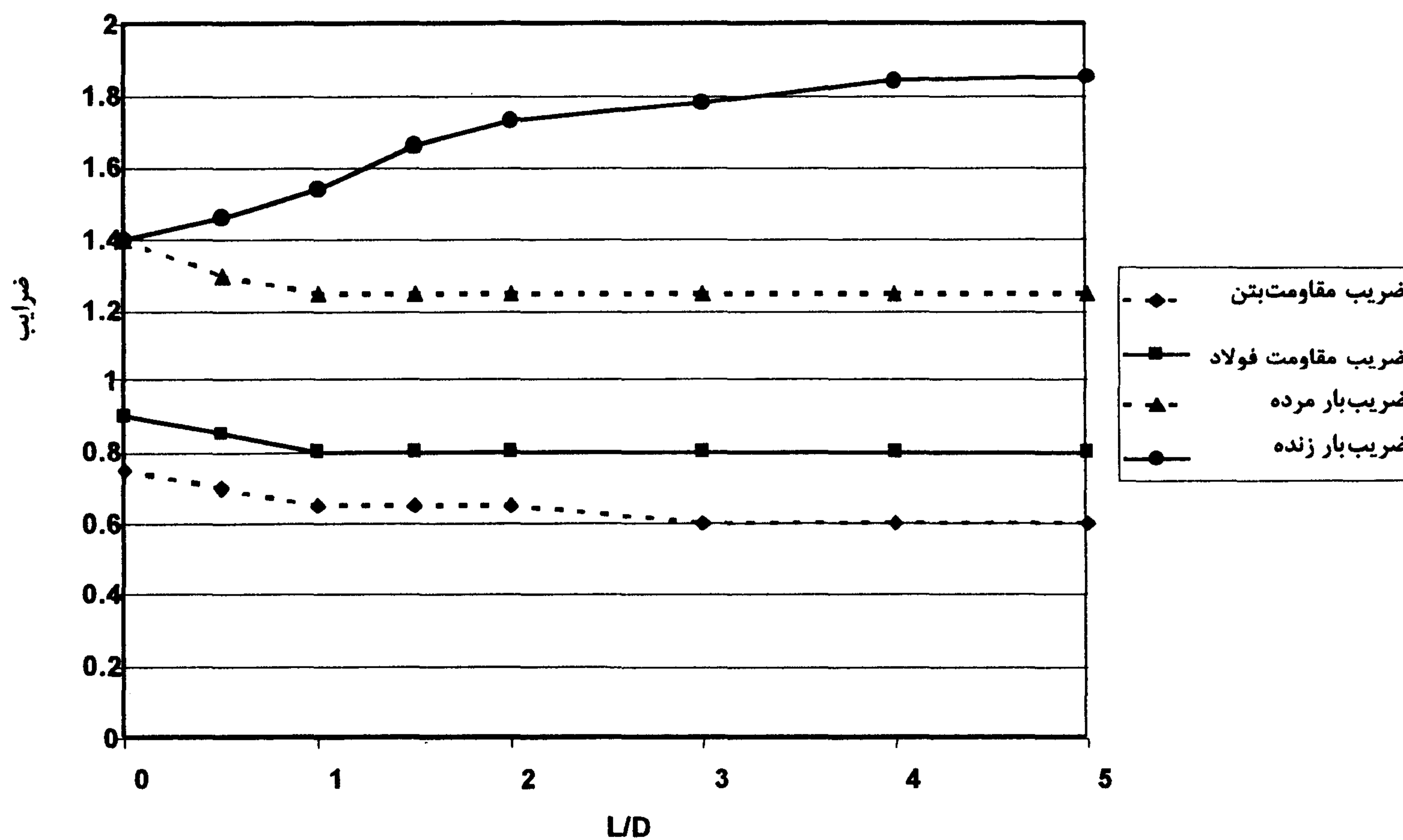
## پیشنهاد ضرایب بار و مقاومت بر اساس شرایط کارگاهی ایران

به منظور نیل به شاخص ایمنی ۳/۵، لازم است ضرایب ایمنی آبا اصلاح شود. برای آنکه تغییرات اعمال شده به حداقل محدود گردد و شکل کلی رابطه طراحی خمش ثابت نگه داشته شود، تنها ضریب مقاومت بتن  $(\phi_c)$ ، ضریب مقاومت فولاد  $(\phi_s)$ ، ضریب بار مرده  $(\gamma_D)$  و ضریب بار زنده  $(\gamma_L)$  در محدوده توصیه شده آبا تغییر داده می شود و از تغییر شکل کلی رابطه اجتناب می گردد. بدیهی است جهت افزایش میانگین شاخص ایمنی از ۳/۱ به ۳/۵، لازم است ضرایب کاهش مقاومت  $(\phi_c = 0.6)$  و  $(\phi_s = 0.85)$  به مقادیری کوچکتر و ضرایب افزایش بار  $(\gamma_D = 1.25)$  و  $(\gamma_L = 1.5)$  به مقادیری بزرگتر تغییر داده شوند. نحوه تغییر این ضرایب در شکل (۶) نشان داده شده است.





شکل ۷: ضرایب بار و مقاومت بازای  $\beta \sim 3.5$  برای بتن با عیار سیمان ۲۵۰ و کنترل کیفیت متوسط و میلگرد AIII.



شکل ۸: ضرایب بار و مقاومت بازای  $\beta \sim 3.5$  برای بتن با عیار سیمان ۴۰۰ و کنترل کیفیت متوسط + و میلگرد AIII.

جدول ۶: پیشنهاد ضرایب بار و مقاومت در شرایط کارگاهی ایران.

عیار سیمان	کیفیت بتن	نوع میلگرد	$(\phi_c)$	$(\phi_s)$	$(\gamma_D)$	$(\gamma_L)$	
۴۰۰	متوسط+	AII	۰.۱۶۵	۰.۱۸۰	۱/۲۵	۱/۵۹	
		AIII	۰.۱۶۵	۰.۱۸۰	۱/۲۵	۱/۶۶	
	ضعیف	AII	۰.۱۶۲	۰.۱۸۳	۱/۲۵	۱/۶۷	
		AIII	۰.۱۶۰	۰.۱۸۰	۱/۲۵	۱/۶۵	
۲۵۰	متوسط+	AII	۰.۱۶۶	۰.۱۸۲	۱/۲۰	۱/۶۴	
		AIII	۰.۱۶۲	۰.۱۸۰	۱/۲۰	۱/۶۲	
	متوسط	AII	۰.۱۶۵	۰.۱۸۰	۱/۲۰	۱/۶۱	
		AIII	۰.۱۶۵	۰.۱۸۰	۱/۲۰	۱/۶۷	
	متوسط-	AII	۰.۱۷۰	۰.۱۸۰	۱/۲۵	۱/۶۳	
		AIII	۰.۱۶۵	۰.۱۸۰	۱/۲۵	۱/۶۶	
	ضعیف	AII	۰.۱۶۰	۰.۱۷۵	۱/۲۰	۱/۷۰	
		AIII	۰.۱۵۷	۰.۱۷۷	۱/۲۵	۱/۷۲	
	۲۵۰	متوسط+	AII	۰.۱۶۰	۰.۱۸۰	۱/۲۲	۱/۵۷
			AIII	۰.۱۶۰	۰.۱۸۰	۱/۲۵	۱/۶۱
متوسط		AII	۰.۱۶۳	۰.۱۸۰	۱/۳۵	۱/۵۷	
		AIII	۰.۱۶۵	۰.۱۸۰	۱/۲۵	۱/۷۰	

معنادار و عملی ندارد و تغییر چندانی بر طرح نهایی ایجاد نمی کند، شرایط کارگاهی را می توان فقط به دو دسته متوسط و ضعیف تقسیم کرد. با این تقسیم بندی و با توجه به جدول (۶)، فقط دو سری ضریب ایمنی توصیه می شود که در جدول (۷) ملاحظه می شود.

جدول ۷: پیشنهاد عملی برای ضرایب بار و مقاومت در شرایط کارگاهی ایران و مقایسه با ضرایب آبا.

شرایط کارگاهی	$(\phi_c)$	$(\phi_s)$	$(\gamma_D)$	$(\gamma_L)$
آبا	۰.۱۶۰	۰.۱۸۵	۱/۲۵	۱/۵
متوسط	۰.۱۶۰	۰.۱۸۰	۱/۲۵	۱/۶۵
ضعیف	۰.۱۵۵	۰.۱۷۵	۱/۲۵	۱/۷۰

همانطور که در جدول (۷) ملاحظه می شود، در شرایط کارگاهی متوسط، تفاوت عمده با آبا در ضریب بار زنده است. اما در شرایط کارگاهی ضعیف، تفاوت در ضرایب

گوناگون و فولاد مصرفی متفاوت در جدول (۶) آورده شده است [۲].

### توصیه عملی و جمع بندی

آنچه در جدول (۶) به عنوان ضرایب بار و مقاومت پیشنهادی به ازای کنترل کیفیت های مختلف بتن، مقاومت های مختلف فشاری بتن و انواع میلگرد ارائه شده است، تضمین می نماید که ضریب اطمینان طراحی در حد قابل قبول، یعنی  $\beta \sim 3.5$  باقی بماند. در جدول (۶) ضرایب کاهش مقاومت بتن و فولاد در مقایسه با مقادیر آیین نامه آبا، کوچکتر شده و ضرایب افزایش بارهای مرده و زنده بزرگتر شده است که این تغییرات با توجه به شرایط کارگاهی ایران، دور از انتظار نمی باشد. از نظر عملی استفاده از ۱۶ دسته ضریب برای شرایط مختلف اجرایی مشکل است. به منظور ساده سازی و پرهیز از ارائه ضرایب مختلف و با توجه به اینکه در محدوده طراحی ساختمانهای بتنی، تغییرات کوچک ضریب ایمنی اثر

خواهد بود. اما از آنجاییکه استفاده از ضرایب حالت ضعیف برای حالت‌های متوسط و عالی به معنی افزایش ابعاد اعضا و مقدار مصالح مصرفی و در نتیجه افزایش هزینه می‌گردد، استفاده از دسته بندی منطقی تر و اقتصادی تر به نظر می‌رسد. باید توجه داشت که آمار جمع آوری شده در این مطالعه مربوط به تهران و حومه می‌باشد. همچنین، ارائه توصیه نامه های آیین نامه ای انجام مطالعات تکمیلی را طلب می‌کند، لکن به نظر می‌رسد که بررسی های انجام شده می‌تواند الگویی برای اصلاح روابط آیین نامه ای بر مبنای شرایط داخلی فراهم نماید.

کاهش مقاومت نیز چشمگیر است. دلیل عدم ذکر شرایط کارگاهی عالی اینست که هیچکدام از کارگاه‌های مورد بررسی واجد شرایط عالی نبوده‌اند. لکن با توجه به نزدیکی ضرایب پیشنهادی شرایط متوسط با ضرایب آبا، توصیه ضرایب آبا برای شرایط کارگاهی عالی منطقی به نظر می‌رسد.

بدین ترتیب ارائه سه دسته ضریب برای سه حالت عالی، متوسط و ضعیف برای در نظرگرفتن شرایط کارگاهی ایران توصیه می‌گردد. در صورتیکه ضرورت یابد تنها یک دسته ضریب مورد استفاده قرار گیرد، بدیهی است که ضرایب مربوط به شرایط کارگاهی ضعیف حاکم

## مراجع

- 1 - Ang, A. H-S. and Tang, W. H. (1975). *Probability concepts in engineering planning and design*. John Willy & Sons.
- ۲ - امیری شاهرانی، م. "بررسی عدم قطعیت‌های موجود در پارامترهای مقاطع بتن آرمه و تعیین ضرایب بار و مقاومت برای شرایط کارگاهی ایران." پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده فنی دانشگاه تهران، (۱۳۷۸).
- ۳ - وفایی، م. "مقایسه طراحی مقاطع بتن آرمه به دو روش اعمال مستقیم شاخص ایمنی  $\beta$  و روش استفاده از ضرایب آیین نامه ای." پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده فنی دانشگاه تهران، (۱۳۷۶).
- ۴ - سازمان برنامه و بودجه. "مشخصات فنی عمومی کارهای ساختمانی." نشریه شماره ۵۵، چاپ سوم، (۱۳۷۵).
- 5 - Mirza, S. A. and MacGregor, J. G. (1979). "Variability of mechanical properties of reinforcing bars." *ASCE, J. of Structural Engineering, ST5*, PP. 921-937.
- ۶ - معرفت، م. ص. و وفایی، م. "طرح خمشی تمام احتمالاتی مقاطع بتن آرمه به کمک شبیه سازی." استقلال، نشریه مهندسی دانشگاه صنعتی اصفهان، سال ۱۸، شماره ۲، (۱۳۷۸).
- 7 - Galambas, T. V., Ellingwood, B. and Macgregor, J. G. (1982). "Probability based load criteria, assessment of current design practice." *ASCE, J. of Structural Engineering, ST5*, PP. 959-991.
- 8 - Ayyub, B. M. and McCuen, R. H. (1997). *Probability, Statistics and Reliability for Engineers*. CRC Press LLC.

## واژه های انگلیسی به ترتیب استفاده در متن

- 1 - Load Factors
- 2 - Resistance Factors
- 3 - Monte-Carlo Simulation
- 4 - Limit State Method
- 5 - Semi Probabilistic Approach
- 6 - Safety Factors
- 7 - Safety Index