

# The Effect of Specimen Size on Compressive, Tensile and Flexural Strength of Steel Fiber Reinforced Concrete

Arman Ebrahimiyan

Civil Engineering Department, Semnan Branch, Islamic Azad University, Semnan, Iran

Alireza Mortezaei\*

Associate Professor, Seismic Geotechnical and High Performance Concrete Research Centre, Civil Engineering Department, Semnan Branch, Islamic Azad University, Semnan, Iran

## Abstract

The use of fiber in concrete has increased dramatically over the last few decades. The use of fiber in concrete causes the concrete to become ductile to a considerable extent. In this study, 160 samples of fiber concrete containing 64 cube samples with dimensions of  $5 \times 5 \times 5$ ,  $10 \times 10 \times 10$ ,  $15 \times 15 \times 15$ ,  $20 \times 20 \times 20$  cm for testing of compressive strength, 64 cylindrical cylinders with dimensions (diameter  $\times$  height) of  $15 \times 30$  and  $10 \times 20$  cm for compressive strength and tensile strength tests and 32 samples of beam with dimensions of  $10 \times 45 \times 10$  and  $15 \times 60 \times 15$  were used for flexural strength testing. Furthermore, in this study, 4 concrete strength ranges of 20MPa, 25MPa, 30MPa and 35MPa were tested. Of each concrete grade and each dimension, four samples were made; one of which was non-fibrous (as the original sample) and three samples with fibers. The steel fibers used were two-end hooks of 3.5 cm in length and 0.8 mm in thickness, with 0.5% of the volume of concrete used. The results showed that the flexural, tensile and compressive strength of concrete increased to about 35% in the presence of fibers, and new strength conversion coefficients were introduced for fiber-containing samples. The conversion coefficients of compressive strength of fibrous cubic specimens increased by 15% compared to the coefficients presented in Section 9 of the National Building Regulations, which is due to presence of fibers in concrete.

**Keywords:** Size effect, steel fiber, compression strength, tensile strength, flexural strength, conversion factor.

---

\* Corresponding Author

Ebrahimiyan, A., Mortezaei, A. The Effect of Specimen Size on Compressive, Tensile and Flexural Strength of Steel Fiber Reinforced Concrete. Journal of Concrete Structures and Materials, 2021; 6(2): 80-100.

<http://doi.org/10.30478/jcsm.2021.276570.1199>

2538-5828/© 2021 The Authors. Published by Iranian Concrete Society

This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

# اثر اندازه نمونه بر مقاومت فشاری، کششی و خمشی بتن‌های حاوی الیاف فولادی

دریافت مقاله: ۱۳۹۹-۱۲-۱۷

پذیرش مقاله: ۱۴۰۰-۱۱-۲۴

آرمان ابراهیمیان

کارشناس ارشد مهندسی سازه، گروه مهندسی عمران، واحد سمنان، دانشگاه آزاد اسلامی، سمنان، ایران

علیرضا مرتضایی

دانشیار، مرکز تحقیقات ژئوتکنیک لرزه‌ای و بتن توانمند، گروه مهندسی عمران، واحد سمنان، دانشگاه آزاد اسلامی، سمنان، ایران

(نویسنده مسئول)

## چکیده

استفاده از الیاف در بتن سبب کاهش قابل توجه تردی و شکنندگی بتن شده و بتن حاصله از همگنی بالایی برخوردار خواهد بود. در این تحقیق ۱۶۰ نمونه بتن الیافی شامل ۶۴ نمونه مکعبی برای آزمایش مقاومت فشاری، ۶۴ نمونه استوانه‌ای برای آزمایشات مقاومت فشاری و کششی و ۳۲ نمونه تیر برای آزمایش مقاومت خمشی مورد بررسی قرار گرفتند. همچنین در این پژوهش ۴ رده‌ی بتن مورد آزمایش قرار گرفتند که از هر رده بتن و هر ابعاد ۴ نمونه ساخته شد که ۱ نمونه بدون الیاف (به عنوان نمونه مبنا) و ۳ نمونه با الیاف فولادی دو انتها قلاب (۵/۵ درصد حجم بتن مصرفی) بود. نتایج نشان داد که مقاومت خمشی، کششی و فشاری بتن با حضور الیاف تا حدود ۳۵ درصد افزایش یافت و ضرایب تبدیل مقاومت جدیدی برای نمونه‌های حاوی الیاف ارائه گردید. ضرایب تبدیل مقاومت فشاری نمونه‌های مکعبی دارای الیاف نسبت به ضرایب ارائه شده در مبحث نهم مقررات ملی ساختمان، دارای ۱۵ درصد افزایش بود که این امر به دلیل حضور الیاف در بتن می‌باشد. کلمات کلیدی: اثر اندازه، الیاف فولادی، مقاومت فشاری، مقاومت کششی، مقاومت خمشی، ضریب تبدیل.

در سراسر دنیا برای تعیین مقاومت فشاری بتن، به طور کلی دو نوع نمونه‌گیری متداول است: نمونه مکعبی و نمونه استوانه‌ای. در کشورهای مختلف نمونه‌هایی با ابعاد و شکل‌های متفاوت مورد استفاده قرار می‌گیرد. به عنوان نمونه، در کشورهایی که استاندارد اروپایی حاکم است، مکعب‌های ۱۵ سانتیمتر و استوانه‌های ۳۰/۱۵ سانتیمتر (قطر/ارتفاع) بیشترین مصرف را دارند. از طرفی با پیشرفت و توسعه تکنولوژی بتن و استفاده بیشتر از بتن‌های الیافی و مقاومت بالا، استفاده از نمونه‌های کوچکتر، یعنی مکعب‌های ۱۰ سانتیمتر، اغلب مورد توجه قرار گرفته است. علت استفاده از نمونه‌های مکعبی به جای نمونه‌های استوانه‌ای را می‌توان در عدم نیاز به آماده‌سازی سطوح فوقانی و تحتانی نمونه دانست. تجهیزات مربوط به آماده‌سازی نمونه‌های استوانه‌ای گران‌قیمت بوده و یافتن مصالحی جهت آماده‌سازی سطوح فوقانی و تحتانی نمونه‌های بتن مقاومت بالا و الیافی بسیار مشکل است. همچنین نمونه‌های کوچکتر به سبب راحتی اجرا و مصرف کمتر مواد دارای مزایایی می‌باشند. همچنین استفاده از نمونه‌های مکعبی کوچکتر شرایط بکارگیری ظرفیت بالاتر دستگاه‌های آزمایشگاهی را فراهم می‌نماید.

به کارگیری بتن غیر مسلح به علت تردی آن به غیر از سازه‌های وزنی عملاً کاربرد چندانی ندارد. این عیب عمده بتن در عمل با مسلح کردن آن به وسیله میلگردهای فولادی برطرف می‌گردد. اما از آنجایی که آرماتور منحصراً بخش کوچکی از مقطع را تشکیل می‌دهد، تصور اینکه مقطع بتن یک مقطع ایزوتروپ و همگن است چندان صحیح نخواهد بود. به منظور ایجاد شرایط همگنی و نیز کاهش ضعف شکنندگی و تردی بتن تا حد ممکن، در چند دهه اخیر از رشته‌های نازک فولادی بنام الیاف، که در تمام حجم بتن به طور همگن پراکنده می‌گردد، استفاده شده است [۱]. کاربرد الیاف به منظور بهبود بخشیدن به خواص بتن کاربرد وسیعی در سازه‌های بتنی و بتن مسلح یافته است. دلیل کاربرد گسترده الیاف، مزایای بیشمار فنی و اقتصادی در جسم بتن می‌باشد. اثرات مثبت کاربرد الیاف در بتن شامل افزایش مقاومت‌های خمشی، برشی و کششی، افزایش مقاومت در برابر بارهای دینامیکی بویژه بارهای ضربه‌ای، افزایش میزان جذب انرژی، افزایش مقاومت مقطع در مقابل ترک‌خوردگی و کاهش در میزان انقباض، خزش و سایش سطحی می‌باشد [۲].

در این خصوص که نتایج مقاومت فشاری و خمشی نمونه‌ها متأثر از ابعاد و اندازه نمونه‌ها می‌باشد، یک اجماع کلی وجود دارد [۳-۱۱]؛ اما نظرات در خصوص میزان اثر اندازه نمونه متفاوت است. لذا در این مقاله به بررسی تاثیر اندازه نمونه بر مقاومت فشاری، خمشی و کششی بتن‌های حاوی الیاف فولادی پرداخته شده است. به همین منظور ۱۶۰ آزمونه بتن الیافی شامل ۶۴ آزمونه مکعبی با ابعاد ۵×۵×۵، ۱۰×۱۰×۱۰، ۱۵×۱۵×۱۵ و ۲۰×۲۰×۲۰ سانتیمتر برای آزمایش مقاومت فشاری، ۶۴ آزمونه استوانه‌ای با ابعاد (قطر×ارتفاع) ۳۰×۱۵ و ۲۰×۱۰ سانتیمتر برای آزمایشات مقاومت فشاری و کششی و ۳۲ آزمونه تیر با ابعاد ۱۰×۱۰×۴۵ و ۱۵×۱۵×۶۰ سانتیمتر برای آزمایش مقاومت خمشی مورد آزمایش و بررسی قرار گرفته‌اند.

## ۲- تئوری اثر اندازه

مقادیر مرتبط با خصوصیات مکانیکی نمونه‌های مختلف ساخته‌شده از مواد مشابه، با توجه به اندازه نمونه متفاوت خواهد بود. این پدیده معمولاً به نام "اثر اندازه" نامیده می‌شود که تئوری مرتبط با آن اولین بار به طور گسترده توسط بازان [۱۲ و ۱۳] مورد بررسی قرار گرفت. اگر چه تحقیق در خصوص اثر اندازه بر روی مقاومت بتن به مطالعه گونزمن در سال ۱۹۲۵ [۱۴] بر می‌گردد اما به دلیل ارتباط موضوعی، کارهای تحقیقاتی مربوط به ۲۰ سال اخیر مورد نقد و بررسی قرار می‌گیرند.

در استاندارد اروپا، ضریب تصحیح مورد استفاده قرار نمی‌گیرد و نمونه‌های مکعبی با ابعاد ۱۰۰، ۱۵۰ یا ۲۰۰ میلیمتر را می‌توان بدون تصحیح نسبت به مقاومت فشاری حاصل از آزمایش مورد استفاده قرار داد [۱۵].

زینچنگ [۱۶] تعدادی ضریب تصحیح جهت تبدیل مقاومت اندازه‌گیری شده بر روی نمونه مکعبی ۱۰۰ میلیمتر  $f_{c100}$  به مقاومت نمونه مکعبی ۱۵۰ میلیمتر  $f_{c150}$  پیشنهاد داد که در جدول (۱) ارائه شده است. مقدار پارامتر بستگی به مقاومت فشاری داشته و تفاوت با افزایش مقاومت، افزایش می‌یابد.

جدول ۱- ضرایب تصحیح پیشنهاد شده توسط زینچنگ جهت تبدیل  $f_{c150}$  به  $f_{c100}$

$f_{c100}$	K	$f_{c100}$	K
$\leq 55$	0.95	76-85	0.92
56-65	0.94	86-95	0.91
66-75	0.93	$\geq 96$	0.90

ژانگ [۱۷] بیان نمود که نتایج حاصل از نمونه مکعبی با ابعاد ۱۰۰ میلیمتر باید در ضریب ۰/۹۵ ضرب شده و نتایج حاصل از نمونه ۲۰۰ میلیمتر می‌بایست در ضریب ۱/۰۵ ضرب شود تا مقاومت نمونه مکعبی با ابعاد ۱۵۰ میلیمتر حاصل شود. ضرایب ارائه شده توسط ژانگ برای بتن معمولی بود.

مطالعه جامعی بر روی مقاومت فشاری بتن‌های مقاومت بالای الیافی توسط گراییل و داویس [۱۸] انجام شد. نتایج تحقیقات آنها نشان داد که برای طرح‌های اختلاط تا مقاومت ۱۵۵MPa، تقریباً مقاومت مستقل از اندازه نمونه است. برای طرح‌های با مقاومت بالاتر، نسبت بین مقاومت اندازه‌گیری شده بر روی نمونه مکعبی ۱۰۰ میلیمتر و دیگر نمونه‌ها تقریباً ۰/۹ بود.

آن و همکاران [۱۹] بر روی اثر اندازه مقاومت فشاری بتن ریزدانه متمرکز شدند. خروجی‌های آزمایشگاهی هیچ نتیجه‌گیری مشخصی را در خصوص رابطه بین سطح مقاومت فشاری و اثر اندازه نمونه نشان نمی‌داد.

دهستانی و همکاران [۲۰] اثر اندازه نمونه را بر روی بتن‌های خود تراکم مورد بررسی قرار دادند. آنها سه طرح اختلاط را مورد آزمایش قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که اهمیت اثر اندازه تقریباً برای تمامی طرح‌های اختلاط آزمایش شده یکسان است.

دل ویزو و همکاران [۲۱] مقاومت فشاری بتن‌های مقاومت بالا را اندازه‌گیری نمودند. نتایج تحقیق در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۲- نسبت مقاومت فشاری به  $f_{c100}$  بر اساس تحقیقات دل ویزو و همکاران

Mix no. $f_{c100}$ (MPa)	Cube size (mm)			
	33	50	67	100
D1(96.1)	1.144	1.085	1.066	1.000

وی و همکاران [۲۲] اثرات اندازه، شکل و راستای قرارگیری نمونه را بر روی مقاومت فشاری بتن مطالعه کردند. نتایج نشان داد که مقاومت فشاری با افزایش اندازه نمونه کاهش می‌یابد. توکیا و ازدیمیر [۲۳] کاهش مقاومت فشاری با افزایش ابعاد نمونه را تایید نکردند.

ذبیحی و ارن [۲۴] طرح‌های اختلاط بتن معمولی با دو سطح مقاومت را بررسی نمودند و دریافتند که مقاومت فشاری در بیشتر حالات متناسب با اندازه نمونه مکعبی افزایش است.

فلدر و بیلی [۲۵] به بررسی ارتباط بین اندازه نمونه و نتایج آزمایشات بتن الیافی مقاومت بالا با سنگدانه‌های درشت پرداختند. شش طرح اختلاط با مقاومت مشخصه بین ۱۰۰ الی ۱۷۵ مگاپاسکال و نمونه‌های با ابعاد ۴۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ میلیمتر مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج نشان دادند که وابستگی مقاومت فشاری به ابعاد نمونه با افزایش مقاومت بتن کاهش می‌یابد؛ به گونه‌ای که برای بتن‌های با مقاومت بسیار بالا (۱۳۰ مگاپاسکال) نتایج مستقل از ابعاد نمونه بودند.

نتایج تحقیقات مختلف، نشان‌دهنده پراکندگی تقریباً بالایی در بین نتایج است. بیشتر مطالعات تمایل مقاومت فشاری به کاهش با افزایش اندازه نمونه را تایید می‌کنند [۲۶-۲۸]، اما برخی از محققین رفتار مخالفی را گزارش کرده‌اند. از این رو رابطه بین سطح مقاومت فشاری و اهمیت اثر اندازه خصوصاً در بتن‌های ییافی همچنان جای بحث و بررسی دارد.

### ۳- برنامه آزمایشگاهی

برای محاسبه طرح اختلاط ابتدا حجم کلی نمونه‌ها محاسبه می‌گردد. در این تحقیق قالب‌های مکعبی با ابعاد ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ سانتیمتر و قالب‌های استوانه‌ای با ابعاد ۱۵/۳۰cm و ۱۰/۲۰cm و قالب‌های منشوری با ابعاد ۱۰×۱۰×۴۵ cm و ۱۵×۱۵×۶۰ cm تهیه شده است. حجم کلیه قالب‌ها با این فرض که از هر ابعاد برای هر آزمایش ۴ نمونه ساخته شود، برابر با ۰/۱۷۵ متر مکعب می‌باشد. برای اجتناب از هدر رفت بتن هنگام نمونه‌گیری، حجم قالب‌ها ۷ درصد اضافه‌تر در نظر گرفته می‌شود. به همین خاطر حجم بتن مورد نیاز ۰/۱۸ متر مکعب می‌باشد. با در نظر گرفتن نسبت آب به سیمان ۰/۴۵ و درصد الیاف ۰/۵ درصد، طرح اختلاط برای بتن رده ۲۰ به صورت جدول ۳ به دست می‌آید.

جدول ۳- طرح اختلاط بتن رده ۲۰

الیاف فلزی (kg/m <sup>3</sup> )	ماسه (kg/m <sup>3</sup> )	شن ریز (kg/m <sup>3</sup> )	شن درشت (kg/m <sup>3</sup> )	آب (kg/m <sup>3</sup> )	سیمان (kg/m <sup>3</sup> )
5.65	139.67	104.78	104.77	23.49	52.2

جدول ۴- طرح اختلاط بتن رده ۲۵

الیاف فلزی (kg/m <sup>3</sup> )	ماسه (kg/m <sup>3</sup> )	شن ریز (kg/m <sup>3</sup> )	شن درشت (kg/m <sup>3</sup> )	آب (kg/m <sup>3</sup> )	سیمان (kg/m <sup>3</sup> )
5.65	134.47	100.85	100.85	27.54	61.2

جدول ۵- طرح اختلاط بتن رده ۳۰

الیاف فلزی (kg/m <sup>3</sup> )	ماسه (kg/m <sup>3</sup> )	شن ریز (kg/m <sup>3</sup> )	شن درشت (kg/m <sup>3</sup> )	آب (kg/m <sup>3</sup> )	سیمان (kg/m <sup>3</sup> )
5.65	129.25	96.94	96.94	31.59	70.2

جدول ۶- طرح اختلاط بتن رده ۳۵

الیاف فلزی (kg/m <sup>3</sup> )	ماسه (kg/m <sup>3</sup> )	شن ریز (kg/m <sup>3</sup> )	شن درشت (kg/m <sup>3</sup> )	آب (kg/m <sup>3</sup> )	سیمان (kg/m <sup>3</sup> )
5.65	124.04	93.02	93.02	35.64	79.2

پس از ساخت نمونه‌ها با طرح اختلاط ارائه شده و قالب‌گیری و عمل‌آوری بتن، نمونه‌ها آماده آزمایش می‌باشند. پس از گذشت ۲۸ روز، نمونه‌ها از محیط عمل‌آوری خارج شده و به مدت ۲ الی ۳ ساعت در هوای محیط قرار می‌گیرند (شکل ۱). سپس ابعاد نمونه‌ها با کولیس اندازه‌گیری شده و وزن نمونه‌ها نیز یادداشت می‌شوند.



شکل ۱- آزمون‌های مورد بررسی در این تحقیق

پس از انجام مراحل فوق آزمون‌ها را درون دستگاه آزمایش قرار داده و آزمایش می‌شوند. نتایج حاصل از آزمایش در جدول ۷ و اشکال و جداول زیر ارائه گردیده است. لازم به ذکر است شماره‌گذاری آزمون‌ها بدین صورت می‌باشد که عدد بعد از C رده بتن، علائم CU، CY و FL به ترتیب نمونه مکعبی، نمونه استوانه‌ای و نمونه خمشی، عدد بعد از علائم نماینده ابعاد آزمون و شماره ۱ بدون الیاف بوده و به عنوان مبنا در نظر گرفته شده و آزمون‌های شماره ۲ و ۳ و ۴ حاوی الیاف می‌باشند. هر نمونه شامل تهیه دو آزمون و میانگین نتیجه دو آزمون نتیجه نمونه بتن است.

### ۱-۳- آزمایش مقاومت فشاری نمونه های مکعبی

نتایج حاصل از آزمایشات مقاومت فشاری آزمون‌های مکعبی در جداول ۷ الی ۱۰ و شکل ۲ آورده شده و همچنین نحوه انجام آزمایش در شکل ۳ نمایش داده شده است.

جدول ۷- نتایج مقاومت فشاری آزمون‌های مکعبی بتن ۲۰ مگاپاسکال

شماره آزمون	ابعاد cm		وزن kg	نیرو	مقاومت فشاری MPa
	طول	عرض			
C20-CU5.1	5.102	4.968	0.275	7690	30.34
C20-CU5.2	5.010	5.107	0.260	7680	30.02
C20-CU5.3	5.075	4.974	0.260	8610	34.11
C20-CU5.4	4.947	4.912	0.270	7770	31.98
C20-CU10.1	10.366	9.980	2.340	22540	21.78
C20-CU10.2	10.133	9.750	2.265	22800	23.07
C20-CU10.3	10.280	10.087	2.455	32550	31.39
C20-CU10.4	10.131	10.029	2.450	29720	29.25
C20-CU15.1	15.116	15.194	7.975	54340	23.65
C20-CU15.2	15.023	15.067	8.075	59610	26.33
C20-CU15.3	15.137	15.492	8.380	78980	33.67
C20-CU15.4	15.033	15.053	8.310	67070	29.63
C20-CU20.1	19.980	19.810	18.170	77400	19.55
C20-CU20.2	20.069	20.319	19.590	110600	27.12
C20-CU20.3	19.984	20.129	19.020	107500	26.72
C20-CU20.4	19.937	19.829	19.130	118000	29.84

جدول ۸- نتایج مقاومت فشاری آزمون‌های مکعبی بتن ۲۵ مگاپاسکال

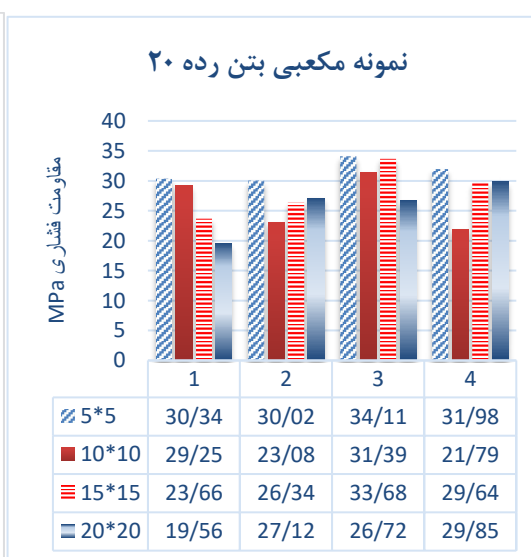
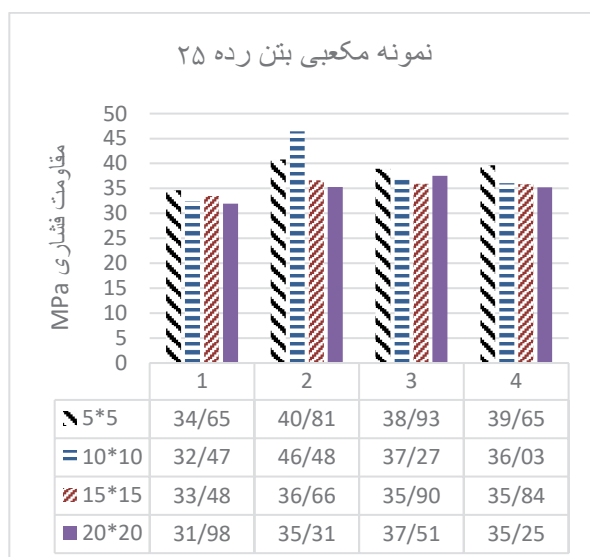
شماره آزمون	ابعاد (cm)		وزن (kg)	نیرو	مقاومت فشاری (MPa)
	طول	عرض			
C25-CU5.1	5.04	5.05	0.3	8820	34.65
C25-CU5.2	5.03	5.10	0.3	10470	40.81
C25-CU5.3	5.03	5	0.295	9790	38.93
C25-CU5.4	4.98	5.08	0.3	10030	39.65
C25-CU10.1	10.03	10.03	2.485	32670	32.47
C25-CU10.2	10.10	10.14	2.475	47600	46.48
C25-CU10.3	10.22	10.35	2.505	39420	37.27
C25-CU10.4	10.13	10.34	2.530	37740	36.03
C25-CU15.1	15.12	15.20	8.370	76950	33.48
C25-CU15.2	15.53	15.12	8.570	86080	36.66
C25-CU15.3	15.10	15	8.360	81320	35.90
C25-CU15.4	15.07	15.43	8.645	83330	35.84
C25-CU20.1	19.93	19.74	19.270	125800	31.98
C25-CU20.2	19.96	20.26	19.410	142800	35.31
C25-CU20.3	20	20.38	19.920	152900	37.51
C25-CU20.4	19.94	19.99	19.580	140500	35.25

جدول ۹- نتایج مقاومت فشاری آزمون‌های مکعبی بتن ۳۰ مگاپاسکال

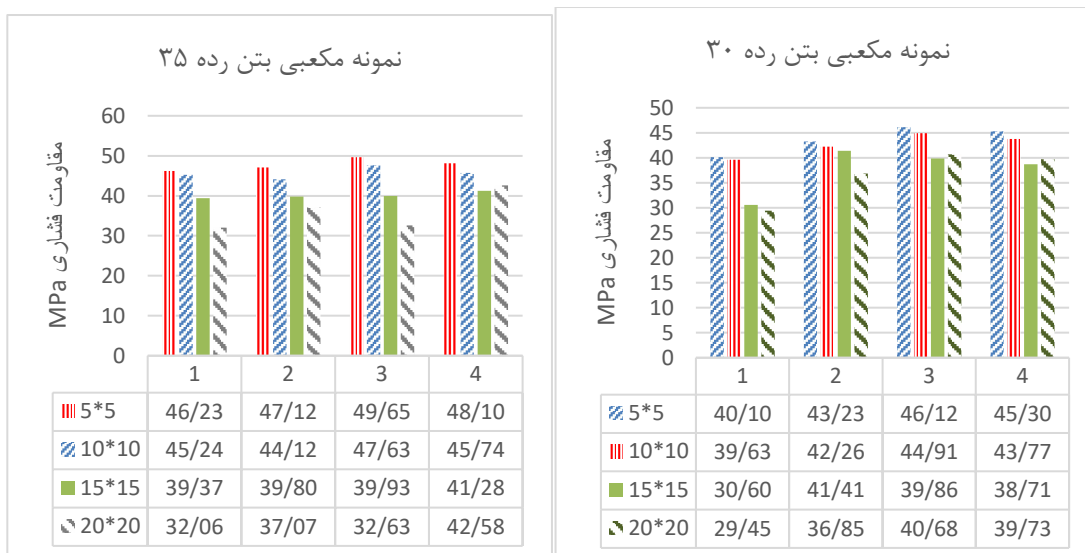
شماره نمونه	ابعاد (cm)		وزن (kg)	نیرو	مقاومت فشاری (MPa)
	طول	عرض			
C30-CU5.1	5.20	5.05	0.305	10530	40.10
C30-CU5.2	5.17	4.94	0.305	11040	43.23
C30-CU5.3	5	5.20	0.310	11990	46.12
C30-CU5.4	4.92	5.20	0.300	11590	45.30
C30-CU10.1	10.20	10.37	2.485	41920	39.63
C30-CU10.2	10.10	10.04	2.490	42850	42.26
C30-CU10.3	10.10	10	2.505	45360	44.91
C30-CU10.4	10.13	10.06	2.490	44600	43.77
C30-CU15.1	15.40	15.13	8.615	71310	30.60
C30-CU15.2	15.06	15.31	8.520	95470	41.41
C30-CU15.3	15.30	15.12	5.535	92210	39.86
C30-CU15.4	15.15	15.10	8.445	88550	38.71
C30-CU20.1	19.96	20.16	19.770	118500	29.45
C30-CU20.2	20	19.93	19.600	146900	36.85
C30-CU20.3	20.16	19.90	19.630	163200	40.68
C30-CU20.4	20.16	20.30	20.340	162600	39.73

جدول ۱۰- نتایج مقاومت فشاری آزمون‌های مکعبی بتن ۳۵ مگاپاسکال

شماره آزمون	ابعاد (cm)		وزن (kg)	نیرو	مقاومت فشاری (MPa)
	طول	عرض			
C35-CU5.1	5.02	5.08	0.295	11790	46.23
C35-CU5.2	5	5.03	0.300	11850	47.12
C35-CU5.3	5	5.14	0.310	12760	49.65
C35-CU5.4	5.02	5.14	0.300	12410	48.10
C35-CU10.1	9.84	10.17	2.465	45270	45.24
C35-CU10.2	10.16	10	2.485	44830	44.12
C35-CU10.3	10.03	10.05	2.400	48010	47.63
C35-CU10.4	10.06	10.24	2.480	47120	45.74
C35-CU15.1	15.10	15.30	8.470	90960	39.37
C35-CU15.2	15.10	15.14	8.480	90990	39.80
C35-CU15.3	15.11	15.44	8.515	93160	39.93
C35-CU15.4	15.11	15.16	8.310	94550	41.28
C35-CU20.1	19.95	20	19.360	127900	32.06
C35-CU20.2	20.02	19.90	19.210	147700	37.07
C35-CU20.3	20.06	20	19.310	130900	32.63
C35-CU20.4	19.96	19.85	19	168700	42.58







شکل ۲- نمودار مقاومت فشاری آزمونه‌های مکعبی بتن ۲۰ و ۲۵ و ۳۰ و ۳۵ مگاپاسکال



شکل ۳- نحوه آزمایش مقاومت فشاری

### ۳-۲- آزمایش مقاومت فشاری نمونه‌های استوانه‌ای

نتایج حاصل از آزمایشات مقاومت فشاری نمونه‌های استوانه‌ای در جداول ۱۱ الی ۱۴ و شکل ۴ آورده شده و همچنین نحوه انجام آزمایش در شکل ۵ نمایش داده شده است.

جدول ۱۱- نتایج آزمایش مقاومت فشاری آزمونه‌های استوانه‌ای بتن ۲۰ مگاپاسکال

شماره نمونه	ابعاد cm		وزن kg	نیرو	مقاومت فشاری MPa
	قطر	ارتفاع			
C20-CY10.1	10.128	20.222	3.615	10030	12.45
C20-CY10.2	10.192	20.317	3.850	15640	19.17
C20-CY10.3	10.182	20.218	3.815	16140	19.82
C20-CY10.4	10.185	20.308	3.750	15830	19.43
C20-CY15.1	15.416	30.760	12.515	16680	8.93
C20-CY15.2	15.357	30.720	13.720	29650	16.00
C20-CY15.3	15.332	30.638	12.710	35410	19.17
C20-CY15.4	15.221	30.741	12.630	34760	19.10

جدول ۱۲- نتایج آزمایش مقاومت فشاری آزمون‌های استوانه‌ای بتن ۲۵ مگاپاسکال

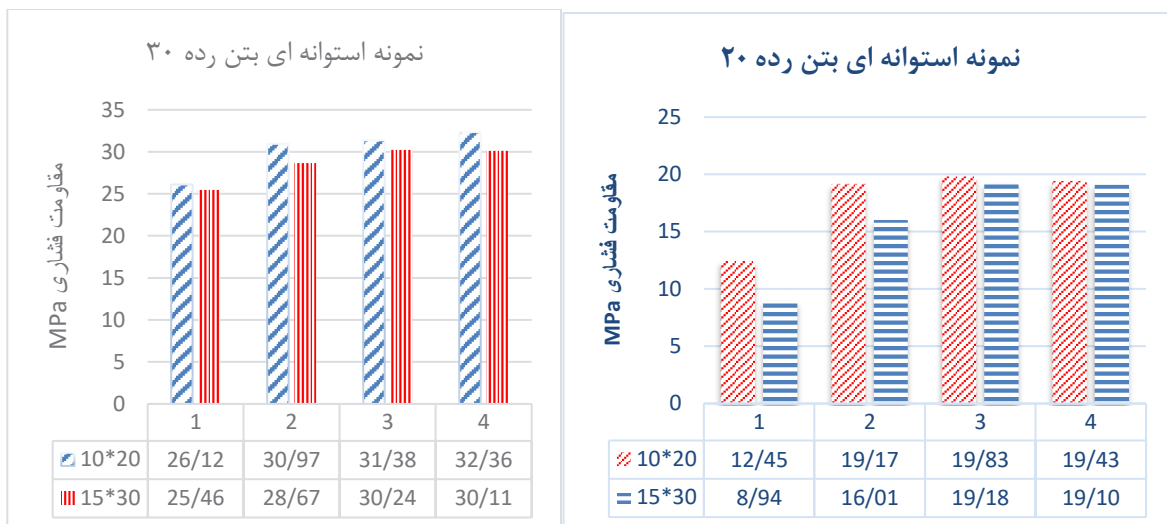
شماره نمونه	ابعاد cm		وزن kg	نیرو	مقاومت فشاری MPa
	قطر	ارتفاع			
C25-CY10.1	9.90	20.05	3.805	22820	29.65
C25-CY10.2	10	19.80	3.820	26030	33.14
C25-CY10.3	10	20.02	3.813	26820	34.15
C25-CY10.4	9.96	20	3.815	27250	34.98
C25-CY15.1	15.22	30.25	13.540	45480	25.00
C25-CY15.2	15.12	30.63	13.380	56230	31.32
C25-CY15.3	15.20	30.51	13.450	57340	31.60
C25-CY15.4	15.21	30.32	13.635	57810	31.82

جدول ۱۳- نتایج آزمایش مقاومت فشاری آزمون‌های استوانه‌ای بتن ۳۰ مگاپاسکال

شماره نمونه	ابعاد cm		وزن kg	نیرو	مقاومت فشاری MPa
	قطر	ارتفاع			
C30-CY10.1	9.95	20.18	3.885	20310	26.12
C30-CY10.2	9.94	20	3.880	24030	30.97
C30-CY10.3	9.97	20	3.895	24500	31.38
C30-CY10.4	10.10	20.12	3.900	25930	32.36
C30-CY15.1	15.24	30.76	13.885	46450	25.46
C30-CY15.2	15.20	30.73	13.840	52030	28.67
C30-CY15.3	15.21	30.71	13.831	54950	30.24
C30-CY15.4	15.20	30.56	13.805	54640	30.11

جدول ۱۴- نتایج آزمایش مقاومت فشاری آزمون‌های استوانه‌ای بتن ۳۵ مگاپاسکال

شماره نمونه	ابعاد cm		وزن kg	نیرو	مقاومت فشاری MPa
	قطر	ارتفاع			
C35-CY10.1	10.06	19.97	3.825	18620	23.43
C35-CY10.2	10.08	20.35	3.895	27820	34.86
C35-CY10.3	10.07	20.10	3.851	27030	33.94
C35-CY10.4	10.06	20.10	3.843	2740	34.53
C35-CY15.1	15.27	30.72	13.255	40070	21.88
C35-CY15.2	15.27	30.82	13.860	60120	32.83
C35-CY15.3	15.27	30.75	13.740	58320	31.85
C35-CY15.4	15.26	30.79	13.630	59140	32.34



شکل ۴- نمودار مقاومت فشاری آزمونه‌های استوانه‌ای بتن ۲۰ و ۲۵ و ۳۰ و ۳۵ مگاپاسکال



شکل ۵- نحوه قرارگیری آزمونه‌های استوانه‌ای درون دستگاه مقاومت فشاری

### ۳-۳- آزمایش مقاومت کششی نمونه‌های استوانه‌ای

نتایج حاصل از آزمایشات مقاومت کششی نمونه‌های استوانه‌ای در جداول ۱۵ الی ۱۸ و شکل ۶ آورده شده و همچنین نحوه انجام آزمایش در شکل ۷ نمایش داده شده است.

جدول ۱۵- نتایج آزمایش مقاومت کششی نمونه‌های استوانه‌ای بتن ۲۰ مگاپاسکال (آزمایش برزیلی)

شماره نمونه	ابعاد cm		وزن kg	نیرو	مقاومت کششی MPa
	قطر	ارتفاع			
C20-FL10.1	10.145	20.321	3.710	8130	25.10
C20- FL10.2	10.021	20.202	3.710	8680	27.29
C20- FL10.3	10.135	20.217	3.660	8910	27.69
C20- FL10.4	10.143	20.041	3.700	8330	26.10
C20- FL15.1	15.370	30.480	12.480	13120	17.82
C20- FL15.2	15.321	30.200	12.750	13960	19.20
C20- FL15.3	15.231	30.391	12.680	13540	18.62
C20- FL15.4	15.351	30.530	12.600	14490	19.69

جدول ۱۶- نتایج آزمایش مقاومت کششی نمونه‌های استوانه‌ای بتن ۲۵ مگاپاسکال (آزمایش برزیلی)

شماره نمونه	ابعاد cm		وزن kg	نیرو	مقاومت کششی MPa
	قطر	ارتفاع			
C25-FL10.1	10.06	20.10	3.875	10530	33.15
C25- FL10.2	10	20.10	3.875	12280	38.89
C25- FL10.3	10.05	20.08	3.861	12640	39.87
C25- FL10.4	10.06	20.11	3.869	12820	40.34
C25- FL15.1	15.26	30.90	13.670	19880	26.84
C25- FL15.2	15.24	30.57	13.575	22070	30.16
C25- FL15.3	15.25	30.61	13.450	22890	31.22
C25- FL15.4	15.26	30.81	13.610	23120	31.31

جدول ۱۷- نتایج آزمایش مقاومت کششی آزمون‌های استوانه‌های بتن ۳۰ مگاپاسکال (آزمایش برزیلی)

شماره نمونه	ابعاد cm		وزن kg	نیرو	مقاومت کششی MPa
	قطر	ارتفاع			
C30-FL10.1	10.05	19.90	3.840	10050	31.99
C30- FL10.2	9.91	20.46	3.730	11470	36.01
C30- FL10.3	10.03	20.09	3.835	12950	40.91
C30- FL10.4	9.96	19.96	3.800	12660	40.54
C30- FL15.1	15.20	30.67	13.795	23240	31.74
C30- FL15.2	15.25	30.75	13.835	26110	35.45
C30- FL15.3	15.20	30.70	13.695	25460	34.73
C30- FL15.4	15.27	30.53	13.810	25470	34.78



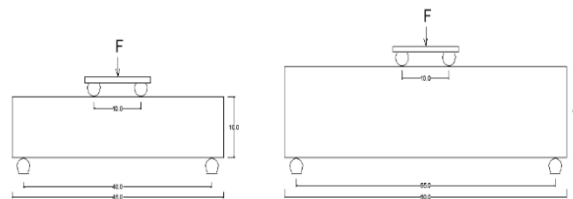
شکل ۶- نمودار مقاومت کششی آزمون‌های استوانه‌های بتن ۲۰، ۲۵، ۳۰ و ۳۵ مگاپاسکال



شکل ۷- نحوه قرار گیری نمونه درون دستگاه آزمایش برزیلی

#### ۳-۴- آزمایش مقاومت خمشی نمونه های تیر

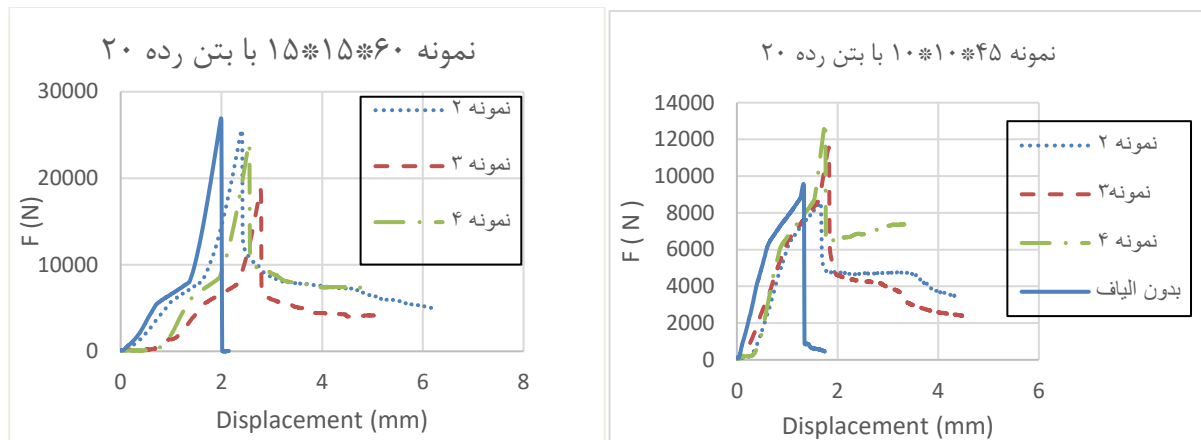
برای آزمایش مقاومت خمشی تیرها ابتدا ابعاد نمونه‌ها و وزن آنها یادداشت می‌شود. از دو انتهای تیر به اندازه ۲/۵ سانتی‌متر جدا کرده و خط‌کشی می‌گردد، سپس وسط دهانه تیر را مشخص کرده و از هر طرف ۵ سانتی‌متر جدا کرده و خط‌کشی می‌شود (شکل ۸). دو خط انتهایی مربوط به محل قرارگیری تکیه‌گاه‌ها و دو خط وسط مربوط به محل قرارگیری بارهای وارده می‌باشند. پس از خط‌کشی نمونه، نمونه را روی تکیه‌گاه‌های دستگاه قرار داده و بارگذاری انجام می‌گیرد. همچنین لازم به ذکر است سرعت بارگذاری  $1/3 \text{ mm/min}$  می‌باشد. نتایج حاصل از آزمایشات مقاومت خمشی نمونه های تیر در جداول ۱۹ الی ۲۲ و اشکال ۹ و ۱۱ و ۱۲ و ۱۳ آورده شده و همچنین نحوه انجام آزمایش در شکل ۸ و ۱۰ نمایش داده شده است.



شکل ۸- محل قرارگیری تکیه‌گاه‌ها و محل اعمال بار

جدول ۱۹- نتایج آزمایش مقاومت خمشی آزمون‌های تیر بتن ۲۰ مگاپاسکال

شماره نمونه	ابعاد cm			وزن Kg	فاصله تکیه‌گاه	فاصله بین نیروهای وارده	P حداکثر نیروی وارده	مقاومت خمشی
	عرض مقطع	ارتفاع مقطع	طول تیر					$\frac{PL}{bd^2}$
C20-FL10.1	10	10	45	11.185	40	10	9579	3.83
C20- FL10.2	10	10	45	10.915	40	10	8535	3.41
C20- FL10.3	10	10	45	10.855	40	10	11566	4.63
C20- FL10.4	10	10	45	11.240	40	10	12964	5.19
C20- FL15.1	15	15	60	30.210	55	10	26928	4.39
C20- FL15.2	15	15	60	30.700	55	10	25604	4.17
C20- FL15.3	15	15	60	32.460	55	10	18762	3.06
C20- FL15.4	15	15	60	31.510	55	10	24074	3.92



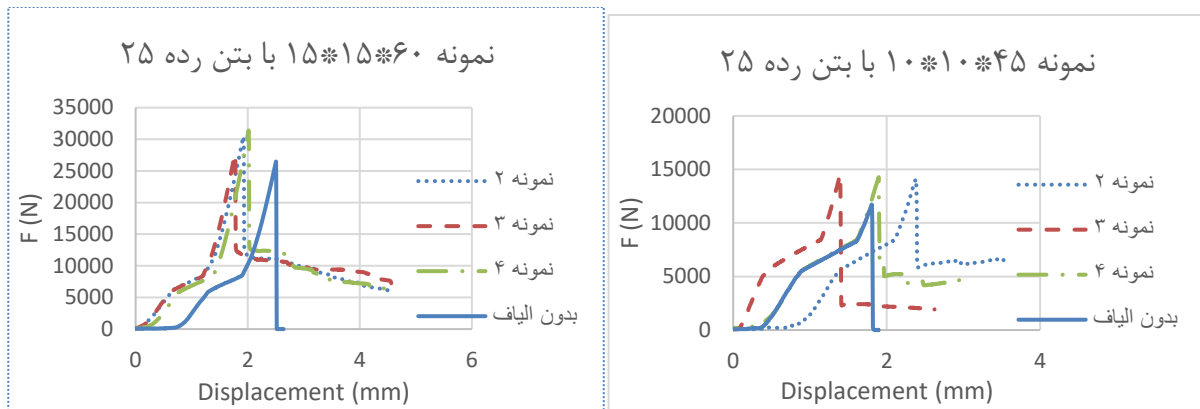
شکل ۹- نمودار مقاومت خمشی آزمون‌های تیر بتن ۲۰ مگاپاسکال



شکل ۱۰- نحوه قرارگیری آزمون‌های درون دستگاه آزمایش مقاومت خمشی

جدول ۲۰- نتایج آزمایش مقاومت خمشی آزمون‌های تیر بتن ۲۵ مگاپاسکال

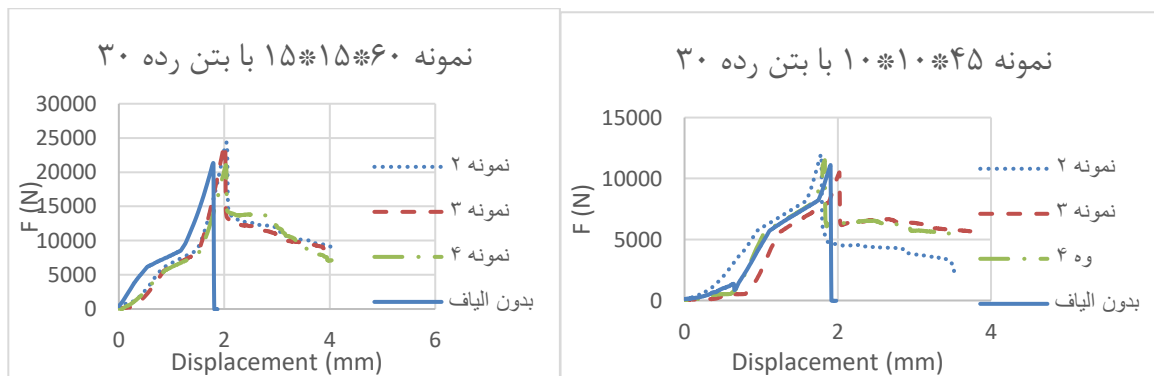
شماره نمونه	ابعاد cm			وزن Kg	فاصله تکیه گاه	فاصله بین نیروهای وارده	P حداکثر نیروی وارده	مقاومت خمشی
	عرض مقطع	ارتفاع مقطع	طول تیر					$\frac{PL}{bd^2}$
C25-FL10.1	10	10	45	11.390	40	10	11728	4.69
C25-FL10.2	10	10	45	11.675	40	10	14112	5.64
C25-FL10.3	10	10	45	11.835	40	10	14553	5.82
C25-FL10.4	10	10	45	11.743	40	10	14282	5.71
C25-FL15.1	15	15	60	33.620	55	10	26487	4.32
C25-FL15.2	15	15	60	34.520	55	10	30445	4.96
C25-FL15.3	15	15	60	33.610	55	10	27723	4.52
C25-FL15.4	15	15	60	34.220	55	10	31387	5.11



شکل ۱۱- نمودار مقاومت خمشی آزمون‌های تیر بتن ۲۵ مگاپاسکال

جدول ۲۱- نتایج آزمایش مقاومت خمشی آزمون‌های تیر بتن ۳۰ مگاپاسکال

شماره نمونه	ابعاد cm			وزن Kg	فاصله تکیه گاه	فاصله بین نیرو وارده	P حداکثر نیروی وارده	مقاومت خمشی $\frac{PL}{bd^2}$
	عرض مقطع	ارتفاع مقطع	طول تیر					
C30-FL10.1	10	10	45	12	40	10	11110	4.44
C30-FL10.2	10	10	45	11.625	40	10	11993	4.80
C30-FL10.3	10	10	45	11.860	40	10	10507	4.20
C30-FL10.4	10	10	45	11.769	40	10	11507	4.60
C30-FL15.1	15	15	60	33.170	55	10	21351	3.48
C30-FL15.2	15	15	60	34.100	55	10	24353	3.97
C30-FL15.3	15	15	60	33.910	55	10	24074	3.92
C30-FL15.4	15	15	60	32.250	55	10	21042	3.43

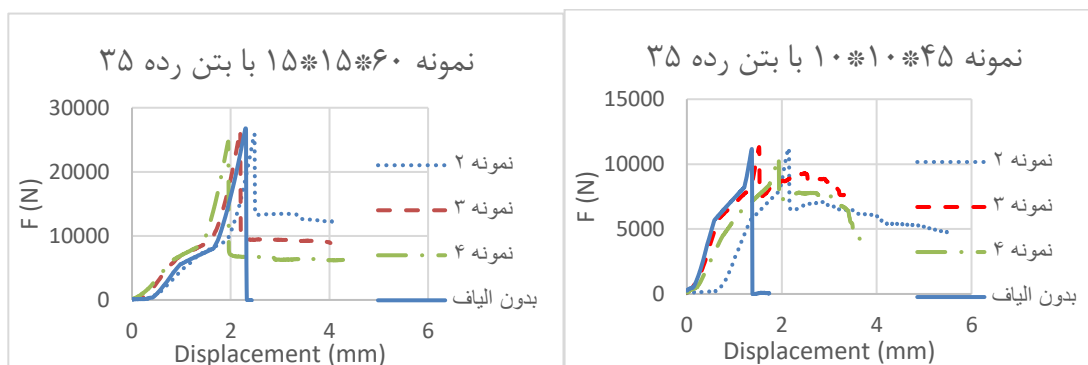


شکل ۱۲- نمودار مقاومت خمشی نمونه تیر بتن ۳۰ مگاپاسکال



جدول ۲۲- نتایج آزمایش مقاومت خمشی آزمون‌های تیر بتن ۳۵ مگاپاسکال

شماره نمونه	ابعاد cm			وزن Kg	فاصله تکیه گاه	فاصله بین نیروهای وارده	P حداکثر نیروی وارده	مقاومت خمشی
	عرض مقطع	ارتفاع مقطع	طول تیر					$\frac{PL}{bd^2}$
C35-FL10.1	10	10	45	11.535	40	10	11169	4.47
C35-FL10.2	10	10	45	11.680	40	10	11242	4.50
C35-FL10.3	10	10	45	11.685	40	10	11316	4.53
C35-FL10.4	10	10	45	11.610	40	10	10551	4.22
C35-FL15.1	15	15	60	33.300	55	10	26781	4.36
C35-FL15.2	15	15	60	34.200	55	10	25913	4.22
C35-FL15.3	15	15	60	34.030	55	10	26516	4.32
C35-FL15.4	15	15	60	33.380	55	10	24721	4.03



شکل ۱۳- نمودار مقاومت خمشی آزمون‌های تیر بتن ۳۵ مگاپاسکال

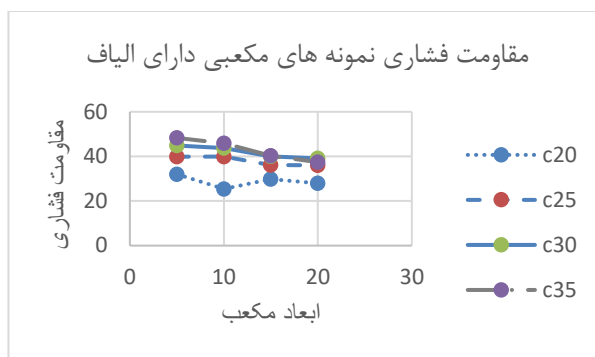
#### ۴- بحث و بررسی نتایج و ارائه ضرایب پیشنهادی

##### ۴-۱- بررسی نتایج مقاومت فشاری نمونه های مکعبی

در این مرحله مقاومت فشاری میانگین تمامی نمونه های مکعبی را برای تمام رده های بتن ساخته شده ، محاسبه گردیده و در جدول ۲۳ قرار داده و نمودار آنها رسم شده است.

جدول ۲۳- میانگین مقاومت فشاری آزمون‌های مکعبی دارای الیاف

رده بتن	ابعاد نمونه های مکعبی cm ( دارای الیاف )			
	۵	۱۰	۱۵	۲۰
C۲۰	32.03	25.42	29.88	27.9
C۲۵	39.80	39.93	36.13	36.02
C۳۰	44.88	43.67	39.99	39.09
C۳۵	48.29	45.83	40.34	37.43



شکل ۱۴- میانگین مقاومت فشاری آزمونه های مکعبی

در حالت کلی نمونه گیری از بتن با دو قالب استوانه ای و مکعبی انجام می شود. قالب های مورد استفاده در هر نوع دارای ابعاد مختلفی هستند. در نمونه های استوانه ای همواره ارتفاع مقطع دو برابر قطر آن می باشد. از بین آزمونه ها، آزمونه های استوانه ای با ابعاد ۱۵×۳۰ سانتی متر مطابق مبحث نهم مقررات ملی ساختمان، به عنوان نمونه استاندارد معرفی شده و تمام روابطی که در این آیین نامه برای تعیین مقاومت فشاری ( $f_c$ ) ارائه شده، بر اساس مقاومت فشاری ۲۸ روزه نمونه استوانه ای ۱۵×۳۰ سانتی متری می باشد. باید دقت شود که در بین نمونه های مکعبی نیز نمونه مکعبی با بعد ۱۵ سانتی متر به عنوان نمونه استاندارد محسوب می شود. در مبحث نهم مقررات ملی ساختمان نیز بیان شده است که در صورت استفاده از آزمونه های غیر، باید مقاومت آنها به مقاومت نظیر آزمونه های استوانه ای استاندارد تبدیل شود. برای تبدیل مقاومت نمونه های استوانه ای به یکدیگر، از جدول ۲۴ استفاده می شود.

جدول ۲۴- ضرایب تبدیل مقاومت آزمونه های استوانه ای

a×2a	۱۰۰×۲۰۰	۱۵۰×۳۰۰	۲۰۰×۴۰۰	۲۵۰×۵۰۰	۳۰۰×۶۰۰
$r_1$	1.02	1.00	0.97	0.95	0.91

برای تبدیل مقاومت نمونه های مکعبی به یکدیگر نیز از جدول ۲۵ استفاده می شود:

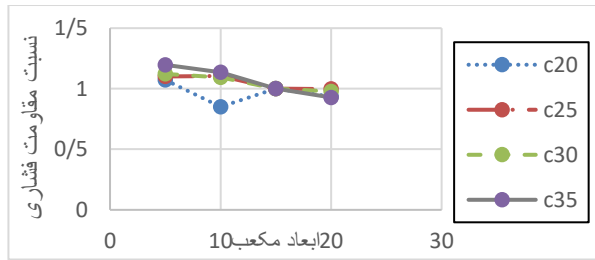
جدول ۲۵- ضرایب تبدیل مقاومت آزمونه های مکعبی

مکعبی b	۱۰۰	۱۵۰	۲۰۰	۲۵۰	۳۰۰
$r_2$	1.05	1.00	1.00	0.95	0.9

با توجه به مطالب ارائه شده، ضرایب تبدیل برای نمونه های مکعبی بتن الیافی ساخته شده با رده های مختلف بتن، طبق جدول ۲۶ به دست آمده است:

جدول ۲۶- ضرایب تبدیل مقاومت آزمونه های مکعبی دارای الیاف

رده بتن	ابعاد نمونه های مکعبی ( دارای الیاف ) cm			
	۵	۱۰	۱۵	۲۰
C۲۰	1.07	0.85	1.00	0.93
C۲۵	1.10	1.11	1.00	1.00
C۳۰	1.12	1.09	1.00	0.98
C۳۵	1.20	1.14	1.00	0.93



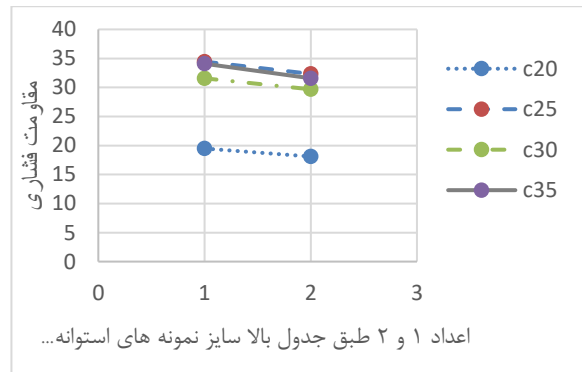
شکل ۱۵- ضرایب تبدیل مقاومت آزمون‌های مکعبی دارای الیاف

#### ۴-۲- بررسی نتایج مقاومت فشاری نمونه‌های استوانه‌ای

در این مرحله مقاومت فشاری میانگین تمامی نمونه‌های استوانه‌ای دارای الیاف را برای تمام رده‌های بتن ساخته شده، محاسبه گردیده و در جدول ۲۷ قرار داده و نمودار آنها رسم گردیده است.

جدول ۲۷- میانگین مقاومت فشاری آزمون‌های استوانه‌ای دارای الیاف

	۱	۲
رده بتن	۱۰×۲۰	۱۵×۳۰
C۲۰	19.48	18.1
C۲۵	34.45	32.34
C۳۰	31.57	29.68
C۳۵	34.09	31.58

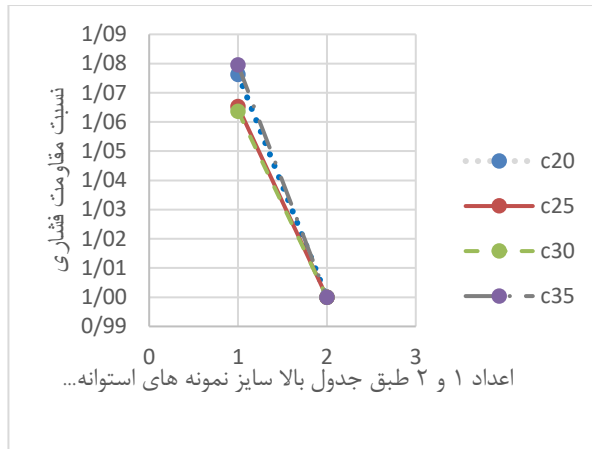


شکل ۱۶- مقاومت فشاری آزمون‌های استوانه‌ای دارای الیاف

با توجه به مباحث ارائه شده، مقاومت فشاری نمونه استوانه‌ای ۱۵×۳۰ را به عنوان نمونه استاندارد در نظر گرفته و ضریب تبدیل مقاومت فشاری نمونه‌ها را طبق جدول ۲۸ بدست می‌آید:

جدول ۲۸- ضرایب تبدیل مقاومت آزمون‌های استوانه‌ای با الیاف

	۱	۲
رده بتن	۱۰*۲۰	۱۵*۳۰
C۲۰	1.08	1.00
C۲۵	1.07	1.00
C۳۰	1.06	1.00
C۳۵	1.08	1.00



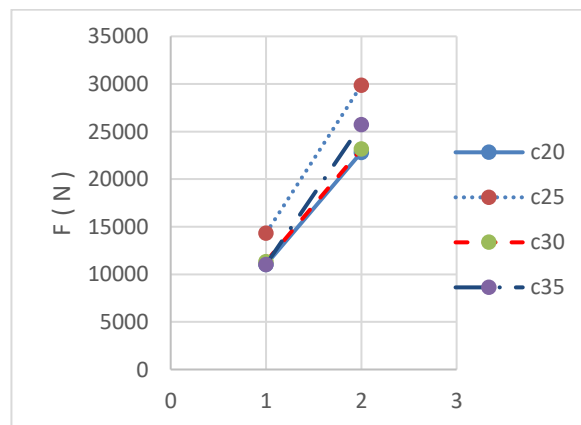
شکل ۱۷- ضرایب تبدیل مقاومت آزمونه‌های استوانه‌ای دارای الیاف

### ۴-۳- بررسی نتایج مقاومت خمشی نمونه های تیر

در این مرحله میانگین نیروی حداکثر تمامی نمونه های تیر دارای الیاف را برای تمام رده های بتن ساخته شده، به دست آورده و در جدول ۲۹ قرار داده و نمودار آنها رسم گردیده است.

جدول ۲۹- میانگین نیروی حد اکثر تیر های دارای الیاف

	۱	۲
رده بتن	۱۰×۱۰×۴۵	۱۵×۱۵×۶۰
C۲۰	11021.67	22813.33
C۲۵	14315.67	29851.67
C۳۰	11335.67	23156.33
C۳۵	11036.33	25716.67



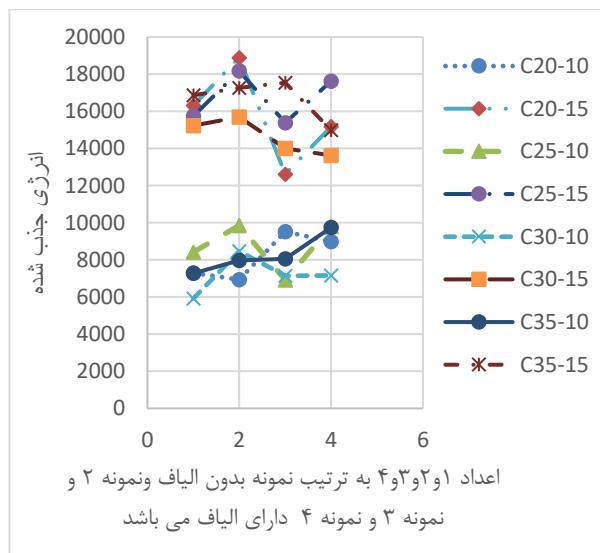
شکل ۱۸- حد اکثر نیرو تحمل شده توسط تیر دارای الیاف

### ۴-۴- انرژی جذب شده توسط تیر

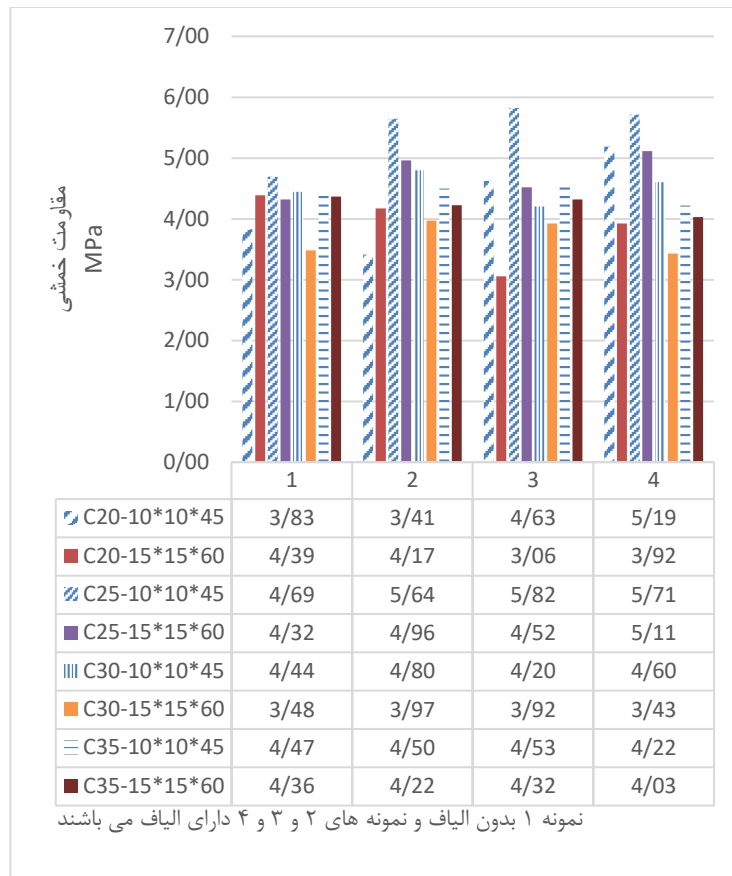
سطح زیر نمودار تا لحظه نیروی حداکثر، محاسبه گردیده که نشانگر نیروی جذب شده توسط تیر تا لحظه تحمل نیروی حد اکثر می باشد.

جدول ۳۰- انرژی جذب شده توسط تیر تا لحظه نیروی حد اکثر

سایز نمونه و رده بتن	بدون الیاف	نمونه ۲	نمونه ۳	نمونه ۴
C۲۰ ۱۰×۱۰×۴۵	7303.26	6930.22	9519.81	8977.77
C۲۰ ۱۵×۱۵×۶۰	16318.28	18888.74	12614.93	15174.99
C۲۵ ۱۰×۱۰×۴۵	8414.24	9850.79	6914.58	9801.19
C۲۵ ۱۵×۱۵×۶۰	15748.89	18169.4	15384.43	17623.85
C۳۰ ۱۰×۱۰×۴۵	5919.68	8462.35	7147.91	7164.44
C۳۰ ۱۵×۱۵×۶۰	15226.77	15694.5	13995.47	13621.75
C۳۵ ۱۰×۱۰×۴۵	7271.96	7969.99	8051.90	9744.07
C۳۵ ۱۵×۱۵×۶۰	16872.56	17257.09	17540.7	14979.16



شکل ۱۹- انرژی جذب شده توسط تیر تا لحظه نیروی حد اکثر



شکل ۲۰- نمودار مقاومت خمشی تیرها

## ۵. نتیجه گیری

- ۱- با مقایسه نتایج مقاومت فشاری آزمونه های مکعبی دارای الیاف با آزمونه های بدون الیاف این نتیجه حاصل گردید که مقاومت فشاری آزمونه های دارای الیاف دارای مقاومت بیشتری نسبت به آزمونه های بدون الیاف بوده و این نشان دهنده تاثیر مثبت حضور الیاف در بهبود مقاومت فشاری می باشد.
- ۲- در آزمایش مقاومت فشاری نمونه های مکعبی، در اکثر موارد آزمونه های ۵ سانتی متری، مقاومت فشاری بیشتری نسبت به سایر ابعاد آزمونه ها داشته و مقاومت فشاری نمونه های ۱۰ و ۱۵ و ۲۰ سانتی متری به ترتیب دارای مقاومت کمتری نسبت به آزمونه های ۵ سانتی متری می باشند.
- ۳- ضرایب تبدیل مقاومت فشاری آزمونه های مکعبی دارای الیاف نسبت به ضرایب ارائه شده در مبحث نهم مقررات ملی ساختمان، دارای مقادیر بالاتری بوده، و این امر به خاطر حضور الیاف در بتن می باشد.
- ۴- با بررسی نتایج مقاومت فشاری آزمونه های استوانه ای دارای الیاف و بدون الیاف، این نتیجه حاصل گردید که آزمونه های استوانه ای ۱۰×۲۰ دارای مقاومت بیشتری نسبت به آزمونه های ۱۵×۳۰ می باشند و همچنین آزمونه های دارای الیاف، دارای مقاومت بیشتری نسبت به آزمونه های بدون الیاف بوده که این امر حاکی از تاثیر مثبت الیاف بر مقاومت فشاری آزمونه های استوانه ای دارد.
- ۵- ضرایب تبدیل مقاومت فشاری آزمونه های استوانه ای دارای الیاف نسبت به ضرایب ارائه شده در مبحث نهم مقررات ملی ساختمان، دارای مقادیر بیشتری می باشند.
- ۶- با بررسی نتایج مقاومت کششی آزمونه های استوانه ای دارای الیاف و بدون الیاف این نتایج حاصل گردید که در اکثر موارد، آزمونه های استوانه ای ۱۰×۲۰ دارای مقاومت بیشتری نسبت به آزمونه های ۱۵×۳۰ می باشند و همچنین

آزمونه‌های دارای الیاف، دارای مقاومت بیشتری نسبت به آزمونه‌های بدون الیاف بوده که این امر حاکی از تاثیر مثبت الیاف بر مقاومت کششی آزمونه‌های استوانه‌ای دارد.

۷- با بررسی نتایج مقاومت خمشی نمونه‌های تیر با ابعاد  $10 \times 10 \times 45$  و  $15 \times 15 \times 60$  این نتایج حاصل گردید که در اکثر موارد آزمونه‌های دارای الیاف دارای مقاومت خمشی بالاتری نسبت به آزمونه‌های بدون الیاف داشته و در بین آزمونه‌های ساخته شده، بتن رده ۲۵ دارای بالاترین مقاومت خمشی می‌باشد. زیرا با توجه به نتایج، بهترین نسبت الیاف و سنگدانه‌ها در طرح اختلاط این رده بتن حاصل گردیده است. در رده بتن‌های ۳۰ و ۳۵ برای رسیدن به مقاومت خمشی بالاتر به مقدار بیشتری سنگدانه نیاز می‌باشد که با توجه به درصد ثابت الیاف و همچنین افزایش مقدار سیمان و آب، مقدار سنگدانه کاهش یافته است که این امر باعث کاهش مقاومت خمشی تیرهای رده ۳۰ و ۳۵ نسبت به تیر با بتن رده ۲۵ گردیده است.

۸- در تمامی موارد به جز بتن رده ۲۰ بدون الیاف، تمامی نمونه‌های تیر  $10 \times 10 \times 45$ ، اعم از الیاف‌دار و بدون الیاف دارای مقاومت خمشی بالاتری نسبت به تیر  $15 \times 15 \times 60$  می‌باشند.

۹- الگوی ترک تمامی تیرها بدین صورت مشاهده گردید که تمام تیرها در ناحیه گشتاور ثابت خود که ناحیه بین محل اعمال ۲ بار می‌باشد، ترک خورده و با افزایش نیرو، یک ترک باز شده و همان ترک تا انتها ادامه پیدا می‌کند.

## ۶. قدردانی

مولفین بر خود لازم می‌دانند از کلیه مسئولین و پرسنل محترم آزمایشگاه سازه دانشگاه آزاد اسلامی واحد سمنان که کمال همکاری را در جهت پیشبرد این پژوهش داشته‌اند صمیمانه تقدیر و تشکر نمایند.

## ۷. مراجع

- [1] M. Di Prisco, G. Plizzari, L. Vandewalle, "Fibre reinforced concrete: new design perspectives." *Materials and Structures* 42 (9) (2009): 1261-1281.
- [2] M.G. Alberti, A. Enfedaque, J.C. Gálvez, "Fibre reinforced concrete with a combination of polyolefin and steel-hooked fibres." *Composite Structures* 171 (2017) 317-325.
- [3] Chen, Hui, Wei-Jian Yi, and Zhongguo John Ma. "Shear size effect in simply supported RC deep beams." *Engineering Structures* 182 (2019): 268-278.
- [4] Fládr, Josef, and Petr Bily. "Specimen size effect on compressive and flexural strength of high-strength fibre-reinforced concrete containing coarse aggregate." *Composites Part B: Engineering* 138 (2018): 77-86.
- [5] Gortsas, Theodore V., Stephanos V. Tsinopoulos, Dimitrios Rodopoulos, and Demosthenes Polyzos. "Strain gradient elasticity and size effects in the bending of fiber composite plates." *International Journal of Solids and Structures* 143 (2018): 103-112.
- [6] Xie, Yongping, Zhenbao Li, Lei Jia, Hongyu Zhou, Wenting Bai, and Yuan Li. "Flexural behavior and size effect of normal-strength RC columns under monotonic horizontal loading." *Engineering Structures* 166 (2018): 251-262.
- [7] Li, M., Hao, H., Shi, Y. and Hao, Y., "Specimen shape and size effects on the concrete compressive strength under static and dynamic tests." *Construction and Building Materials* 161 (2018): 84-93.
- [8] Nouali, Abdelhafid, and Mohammed Matallah. "A simplified approach to assess the size effect on the shear-flexure interaction in RC elements." *Engineering Structures* 144 (2017): 151-162.

- [9] Jin, Liu, Xiuli Du, Dong Li, and Xiao Su. "Seismic behavior of RC cantilever beams under low cyclic loading and size effect on shear strength: An experimental characterization." *Engineering Structures* 122 (2016): 93-107.
- [10] Wang, D. Y., Z. Y. Wang, Scott T. Smith, and Tao Yu. "Size effect on axial stress-strain behavior of CFRP-confined square concrete columns." *Construction and Building Materials* 118 (2016): 116-126.
- [11] Sobhani Kavkani H.R., Mortezaei A., Naghizadeh R. 2016. The effect of metakaolin, silica fume and nanosilica on the mechanical properties and microstructure of cement mortar, *Iranian Journal of Materials Science and Engineering*, 13(2): 50-61.
- [12] Bažant ZP. Size effect. *International Journal of Solids and Structures* 3 (2000): 69–80.
- [13] Bažant ZP. Size effect on structural strength: a review. *Archive of Applied Mechanics* 69 (1999): 703–25.
- [14] Gonnermann HF. Effect of size and shape if test specimen on compressive strength of concrete. *Proc ASTM* 1925; 25(2):237–50.
- [15] The Concrete Society: <http://www.concrete.org.uk/fingertips-print.asp?docid=918>.
- [16] Xincheng P. *Super-high-strength high performance concrete*. Boca Raton, Florida, USA: CRC Press (2013).
- [17] Zhang H. *Building materials in civil engineering*. Sawston, UK: Woodhead Publishing Limited (2011).
- [18] Graybeal B, Davis M. Cylinder and cube: strength testing of 80 to 200 MPa (11.6 to 29 ksi) ultra-high-performance fiber-reinforced concrete. *ACI Material Journal* November-December (2008): 603–609.
- [19] An M, Zhang L, Yi Q. Size effect on compressive strength of reactive powder concrete. *Journal of China University of Mining and Technology* 18 (2008): 279–82.
- [20] Dehestani M, Nikbin IM, Asadollahi S. Effects of specimen shape and size on the compressive strength of self-consolidating concrete (SCC). *Construction and Building Materials* 66 (2014): 685–691.
- [21] Del Viso JR, Carmona JR, Ruiz G. Shape and size effects on the compressive strength of high-strength concrete. *Cement and Concrete Research* 38 (2008): 386–395.
- [22] Yi S-T, Yang E-I, Choi J-C. Effect of specimen sizes, specimen shapes, and placement directions on compressive strength of concrete. *Nuclear Engineering and Design* 23 (2006): 115–127.
- [23] Tokyay M, Özdemir M. Specimen shape and size effect on the compressive strength of higher strength concrete. *Cement and Concrete Research* 27 (1997): 1281–1289.
- [24] Zabihi N, Eren Ö. Compressive strength conversion factors of concrete as affected by specimen shape and size. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology* 7 (2014): 4251–4257.
- [25] Fládr, Josef, and Petr Bilý. "Specimen size effect on compressive and flexural strength of high-strength fibre-reinforced concrete containing coarse aggregate." *Composites Part B: Engineering* 138 (2018): 77-86.
- [26] Shirin Jafari, mohammadtaghi ahmadi. Effect of Tensile Strength Considering Size Effect and Loading Rate on Optimum Design of Arch Dam. *Sharif Journal*, 10.24200/J30.2018.1899.2001.
- [27] Khaloo, A., Molaei Raisi, E., Hosseini, P., Tahsiri, H. Mechanical performance of self-compacting concrete reinforced with steel fibers, *Construction and Building Materials*, 51 (2014): 179-186,
- [28] Khaloo, A., Afshari, M. Flexural behaviour of small steel fibre reinforced concrete slabs. *Cement and concrete composites*, 27(1), 2005: 141-149.