Archive of SID

مجله علمی – پژوهشی
مهندسی عمران مدرس
دوره بیستم، شماره ۵، سال ۱۳۹۹

تعیین مقاومت‌های فشاری و خمشی درجای بتن پوزولانی حاوی الیاف پلی‌پروپیلن و شیشه با به کارگیری روش "پیچش"

علی صابری ورزنه[۱]، محمود نادری[۲]

۱- دانشجوی دکتری، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)
۲- استاد، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)

*ali.saberi@edu.ikiu.ac.ir

تاریخ دریافت ۹۸/۰۲/۱۷ تاریخ پذیرش ۹۹/۰۳/۰۷

چکیده

برای تعیین مقاومت المان‌های بتنی در محل سرویس‌دهی سازه‌ها می‌توان از روش‌های متفاوت درجا استفاده نمود. کاربرد روش‌های درجای تعیین مقاومت بتن در مواردی مانند ارزیابی مقاومت فشاری موجود به کار گرفته می‌شود. در این مقاله برای تعیین مقاومت بتن، از روش "پیچش" استفاده شده و روابط بین مقاومت فشاری، مدول گسختگی و قرائت‌های به دست آمده از روش مذکور روی بتن‌های ساخته شده با سیمان پوزولانی، در سه حالت بدون الیاف، حاوی الیاف پلی‌پروپیلن و الیاف شیشه ارائه شده است. بدین منظور از ۸ طرح اختلاط مختلف با مقاومت فشاری مکعبی در محدوده ۱۵ تا ۵۰ مگاپاسکال برای ساخت بتن با سیمان پوزولانی استفاده شده است. برای بررسی تاثیر الیاف بر نتایج بدست آمده، مقدار ۰/۳ درصد حجم بتن، الیاف پلی‌پروپیلن و شیشه، به صورت جداگانه، به نمونه‌ها اضافه شد. نمونه‌های بتنی مکعبی و تیرها ابتدا به مدت ۲۸ روز به صورت غرقاب در آب، عمل آوری شدند و سپس تحت آزمایش قرار گرفتند. همچنین برای بررسی تاثیر سیمان پوزولانی بر مقاومت بتن، تعداد ۸ طرح اختلاط با سیمان تیپ ۲ ساخته و مقایسه شدند. نتایج به دست آمده نشانگر افزایش مقادیر به دست آمده از آزمون "پیچش"، مقاومت فشاری و مدول گسیختگی برای بتن‌های حاوی الیاف است. همچنین یک همبستگی قوی خطی و توانی بین نتایج به‌دست آمده از آزمون "پیچش" با مدول گسیختگی و مقاومت فشاری نمونه‌ها به دست آمد.

واژگان کلیدی: الیاف، مقاومت فشاری، مدول گسیختگی، آزمون "پیچش"، سیمان پوزولان

۱- مقدمه

با توجه به اینکه روش‌های آزمایشگاهی تعیین مقاومت فشاری بتن، بیشتر کیفیت مصالح استفاده شده در تهیه بتن را کنترل می‌نمایند و ارزیابی مناسبی از روند کسب مقاومت فشاری بتن در سازه ارائه نمی‌نمایند، انجام آزمون‌هایی برای ارزیابی مقاومت بتن سازه از اهمیت بالایی برخوردار است. کاربرد روش‌های درجای تعیین مقاومت فشاری بتن در مواردی مانند روند کسب مقاومت بتن، ارزیابی مقاومت فشاری موجود و... به کار گرفته می‌شود. پس گرایش به انجام آزمایش‌های درجا، در قالب روش‌های غیر مخرب یا نیمه مخرب روز به روز بیشتر می‌شود. روش‌های مختلفی برای پیش‌بینی مقاومت بتن به صورت درجا وجود دارد که عبارتند از مغزه‌گیری از محل مورد نظر [1] که در دسته روش‌های مخرب قرار داشته و نتایج به

www.SID.ir

Archive of SID

دست آمده از آن، کمتر از مقاومت فشاری واقعی بتن است [2] در ضمن امکان دارد در قسمت‌هایی از سازه، انجام مغزه‌گیری میسر نباشد. روش "بیرون کشیدن" روش درجای دیگری است [3] که در دسته روش‌های مخرب قرار دارد و باعث آسیب رساندن به المان بتنی می‌شود. از روش‌های غیر مخرب، آزمایش "اولتراسونیک" و "چکش اشمیت" است [4-5] که مقدار آرماتور، حفره و ترک می‌تواند در نتایج حاصل از این روش‌ها تاثیرگذار باشد. روش "کشش مستقیم" روش درجای دیگری برای اندازه‌گیری مقاومت بتن است [6]، پژوهش‌ها نشان داده این روش برای ارزیابی مقاومت بتن در محل سازه، مناسب است [7] اما قیمت دستگاه آن بسیار گران است. یکی دیگر از روش‌های درجا که توسط نادری [8] ایجاد شده، روش "پیچش" است که در قلمرو آزمون‌های با خرابی جزئی محسوب می‌شود. در این آزمون، یک استوانه فلزی به قطر ۵۰ میلی‌متر با استفاده از چسب رزین اپوکسی، به سطح محل انجام آزمون چسبانده می‌شود. سپس، با به کارگیری یک پیچش سنج دستی معمولی، به استوانه فلزی لنگر پیچشی وارد می‌شود تا جسم آزمایش شده دچار شکست شود. پژوهش‌های گذشته نشان می‌دهد که نتایج حاصل از آزمون‌های "پیچش" و مقاومت فشاری نمونه‌های بتنی با سیمان تیپ ۲، دارای ضریب همبستگی بالای ۹۳ درصد هستند [8]. همچنین ضریب همبستگی۹٤ درصد بین نتایج حاصل از آزمون "پیچش" و مقاومت فشاری نمونه‌های بتنی با سیمان تیپ ۲ تحت شرایط مختلف عمل آوری به دست آمده است [9]. در پژوهشی روی مقاومت فشاری المان‌های سازه‌ای در محل اصلی سازه و در هنگام بتن ریزی با استفاده از آزمون "پیچش" و مقایسه با مقاومت فشاری نمونه‌های مکعبی گرفته شده از بتن همان سازه‌ها مشاهده شد که ارتباط بالایی بین نتایج حاصل از آزمون "پیچش" و مقاومت فشاری نمونه‌های مکعبی قرار دارد [10]. در پژوهش دیگری که برای تعیین مقاومت فشاری پل‌های بتنی در استان هرمزگان صورت پذیرفت، نتایج به دست آمده حکایت از کارایی بالای آزمون "پیچش" برای تعیین مقاومت درجای بتن دارد [11].

با توجه به کاربرد آزمون "پیچش" در تعیین مقاومت درجای بتن، و نظر به اینکه پژوهش‌های گذشته روی بتن‌های بدون الیاف صورت پذیرفته است، پس در این پژوهش، آزمون "پیچش" روی بتن‌های الیافی حاوی الیاف پلی‌پروپیلن و شیشه، ساخته شده با سیمان پوزولانی انجام شده است. افزودن الیاف باعث بهبود رفتار بتن تحت تنش‌های فشاری شده [12-13] و تاثیر مثبت در نمودار تنش کرنش بتن می‌گذارد [14]. به دلیل وجود الیاف در این نوع بتن‌ها، باید روابط بین مقاومت فشاری، مدول گسیختگی و قرائت‌های به دست آمده از روش‌های درجای تعیین مقاومت بتن، بطور مستقل ارائه شود. بنابراین روابط بین نتایج حاصل از به کارگیری روش درجای "پیچش" که برای پیش‌بینی مقاومت فشاری و خمشی بتن الیافی تولید شده، ارائه شده است.

برای بررسی تاثیر الیاف بر مقاومت‌های نمونه‌های بتنی ساخته شده با سیمان پوزولانی، ۳ سری نمونه شامل بتن بدون الیاف، بتن حاوی الیاف پلی‌پروپیلن و بتن حاوی الیاف شیشه تهیه شد. همچنین برای تعیین تاثیر نوع سیمان بر نتایج به دست آمده، ۱ سری نمونه شامل بتن ساده با سیمان تیپ ۲ ساخته و با نتایج حاصل از بتن‌های پوزولانی مقایسه شد. هر سری نمونه شامل ۸ طرح اختلاط است که دارای مقاومت فشاری مکعبی در محدوده ۱۵ تا ۵۰ مگاپاسکال است. برای انجام آزمون "پیچش" و تعیین مقاومت فشاری از نمونه‌های مکعبی به ابعاد ۱۵۰ میلی‌متر و برای تعیین مدول گسیختگی از نمونه‌های منشوری به ابعاد ۱۰۰ در ۱۰۰ در ۳۵۰ میلی‌متر استفاده شد. نتایج به دست آمده بیانگر وجود ضریب همبستگی خطی و توانی بالا بین نتایج حاصل از آزمون "پیچش" با مقاومت فشاری و مدول گسیختگی دارد. همچنین افزودن الیاف باعث افزایش مقاومت فشاری، مدول گسیختگی و مقاومت حاصل از آزمون "پیچش" شده است.

۲- کارهای آزمایشگاهی

۲-۱- مصالح مصرفی

در ساخت نمونه‌ها از شن و ماسه به ترتیب با اندازه حداکثر ۱۹ و ٤/۷۵ میلی‌متر استفاده شده است و دانه‌بندی آن‌ها مطابق

www.SID.ir

Archive of SID

با استاندارد شماره ٤٩٧٧ [15] انجام پذیرفت. میزان جذب آب شن و ماسه بر اساس استانداردهای شماره ٤٩٨٢ [16] و ٤٩٨٠ [17] به ترتیب برابر ٢/٦ و ٣/٢ درصد بدست آمد. چگالی شن و ماسه در حالت اشباع با سطح خشک برابر ٢٣٣٠ و ٢٥١٠ کیلوگرم بر متر مکعب است. نمودار دانه‌بندی شن و ماسه در اشکال (١ و ٢) نشان داده شده است.

شکل ١. نمودار دانه بندی درشت دانه‌ها

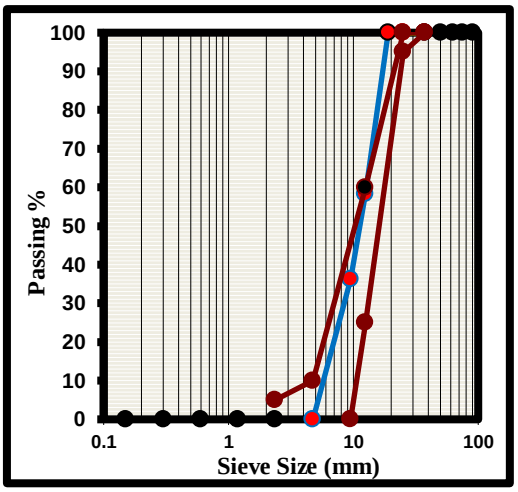

Fig. 1. Sieve Analysis of Coarse Aggregates.

شکل ٢. نمودار دانه بندی ریز دانه‌ها

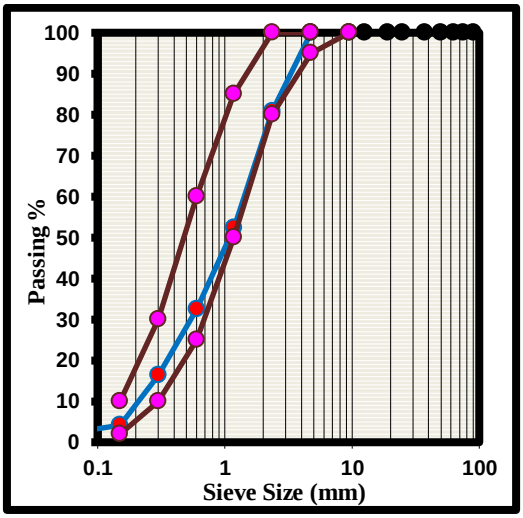

Fig. 2. Sieve Analysis of Fine Aggregates.

الیاف شیشه از نوع E و الیاف پلی‌پروپیلن با طول ١٢ میلی‌متر بوده و جاذب آب نیستند. مشخصات فوق روان‌کننده استفاده شده در ساخت بتن در جدول (١) نشان داده شده است.

همچنین مشخصات الیاف پلی پروپیلن و شیشه در جدول (٢) قابل مشاهده است.

جدول ١. مشخصات فوق روان‌کننده

Type	Color	Density	PH
Polycarboxylate	Brown	1.11 Kg/Lit	5

Table. 1. Super Plasticizer Specifications.

جدول ٢. مشخصات الیاف

Fiber	Diameter (mm)	Length (mm)	Elastic Modulus (GPa)	Tensile Strength (MPa)	Density (Kg/m^3)
Glass	0.014	12	72	2600	2.7
PP	0.022	12	7	380	0.91

Table. 2. Fibers Specifications.

٢-٢- نسبت‌های اختلاط

برای بررسی مقاومت‌های حاصل از آزمون "پیچش"، فشاری و مدول گسیختگی، اقدام به ساخت نمونه‌های بتنی مکعبی و منشوری با مقاومت‌های در محدوده ١٥ تا ٥٠ مگاپاسکال شد. برای طرح اختلاط بتن از روش گام به گام طرح مخلوط ملی بتن [18] استفاده شده است. نسبت‌های مخلوط نمونه‌های بتنی با سیمان پوزولانی در جدول (٣) ارائه شده است. درصد جذب آب سنگدانه‌ها نیز محاسبه و به آب طرح اختلاط‌ها اضافه شد. همچنین مقدار روانی و درصد هوای بتن‌های تازه در جدول فوق نشان داده شده است. برای ساخت بتن‌های حاوی الیاف، طبق روش گام به گام طرح مخلوط ملی بتن، الیاف شیشه و پلی‌پروپیلن به صورت جداگانه به مقدار ٠/٣ درصد حجم بتن به مخلوط اضافه شد. با توجه به اینکه افزودن الیاف به بتن باعث کاهش کارایی بتن می‌شود، پس مقدار کارایی بتن‌های الیافی با آزمایش ضریب تراکم به دست آمد که در جدول (٤) نشان داده شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۳. نسبت‌های مخلوط نمونه‌های بتنی با سیمان پوزولانی

Design Number	Compressive Strength (MPa)	Water ($\frac{Kg}{m^3}$)	Cement ($\frac{Kg}{m^3}$)	Water to Cement Ratio	Sand ($\frac{Kg}{m^3}$)	Gravel ($\frac{Kg}{m^3}$)	Super plasticizer ($\frac{Kg}{m^3}$)	Slump (mm)	Air Content (%)
1	15	221	328	0.67	901	716	0	4.7	3/2
2	20	215	356	0.6	888	707	0	4	3/1
3	25	211	381	0.55	879	699	0	3.1	2.8
4	30	206	416	0.49	864	687	0	2.5	2.6
5	35	198	440	0.45	862	686	1.17	6	2.7
6	40	195	476	0.41	851	677	1.61	5.7	2.6
7	45	191	516	0.37	838	667	2.12	5.5	2.4
8	50	187	534	0.35	835	664	2.61	5.3	2.3

Table. 3. Mix Design for Normal Concrete Samples

جدول ٤. ضریب تراکم بتن الیافی+ فوق روان کننده

Design Number	CF**		SP* ($\frac{Kg}{m^3}$)
	Concrete+ PP	Concrete+ Glass	
1	0.93	0.92	0
2	0.92	0.92	1.62
3	0.92	0.9	2.05
4	0.91	0.88	2.43
5	0.89	0.88	2.97
6	0.90	0.89	3.41
7	0.88	0.87	4.02
8	0.88	0.86	4.45

Table. 4. Super Plasticizer Specifications.
*Super Plasticizer **Compacting Factor

۲-۳- روش‌ها

۲-۳-۱-آزمون "پیچش"

در این آزمون، یک استوانه فلزی به قطر ۵۰ میلی‌متر با استفاده از چسب رزین اپوکسی، به سطح محل انجام آزمون چسبانده می‌شود. پس از چسباندن استوانه یاد شده، همان‌گونه که در شکل (۳) نشان داده شده است، با به کارگیری یک پیچش سنج دستی معمولی، به استوانه فلزی لنگر پیچشی وارد می‌شود تا جسم مورد آزمایش دچار شکست شود. لوازم به کار گرفته شده در آزمون "پیچش" در مقایسه با دیگر آزمون‌های متناظر، بسیار ساده، ارزان و قابل دسترس است. آسیب وارد شده از آزمون "پیچش" بسیار جزئی و سطحی بوده و با ایجاد شکست در خود جسم مورد آزمایش، مقاومت آن را به طور مستقیم و بدون ربط به عامل دیگری تعیین می‌نماید.

شکل ۳. آزمون درجای "پیچش"

Fig. 3. "Twist-off" in-situ Test.

برای انجام آزمون "پیچش" در کل تعداد ٦٤ عدد آزمونه بتنی مکعبی با ابعاد ۱۵۰ میلی‌متر ساخته شد. به عبارتی ١٦ آزمونه مکعبی بتن با سیمان پوزولانی، ١٦ آزمونه مکعبی بتن با سیمان تیپ ۲، ١٦ آزمونه مکعبی بتن با سیمان پوزولانی حاوی الیاف پلی‌پروپیلن و ١٦ آزمونه مکعبی بتن با سیمان پوزولانی حاوی الیاف شیشه تهیه شد.

در آزمون "پیچش" ممان پیچشی T به صورت پیوسته افزایش می‌یابد تا جسم دچار شکست شود. با فرض رفتار الاستیک خطی، رابطه بین تنش برشی و ممان پیچشی می‌تواند توسط رابطه (۱) محاسبه شود.

$$\tau = \frac{Tr}{J} = \frac{2T}{\pi r^3} \qquad (۱)$$

که در آن J ممان قطبی دوم سطح و r قطر هسته است.

برای مصالح پلاستیک، رابطه بین تنش برشی و ممان پیچشی طبق رابطه (۲) است.

$$\tau = 0.75\frac{Tr}{J} = \frac{1.5T}{\pi r^3} \qquad (۲)$$

برای یک ممان پیچشی ثابت، تنش برشی در حالت پلاستیک، ۲۵ درصد کمتر از مقدار متناظر در حالت الاستیک

www.SID.ir

Archive of SID

است. مصالح با دیگر مشخصات دارای رابطه‌ای بین این دو هستند. با توجه به اینکه بتن عضو مصالح شکننده است بنابراین رابطه الاستیک خطی (رابطه ۱)، استفاده شد. هنگامی که ممان پیچشی T به ممان شکست T_{max} برسد، تنش برشی τ مساوی مقاومت برشی τ_{max} می‌شود.

۲-۳-۲-آزمون "مدول گسیختگی"

برای تعیین مدول گسیختگی نمونه‌ها با استفاده از استاندارد شماره ۱۷۷۳۱ [19] اقدام به ساخت تعداد ۹۶ عدد تیر بتنی با ابعاد ۱۰۰ در ۱۰۰ در ۳۵۰ میلی‌متر شد. به عبارتی ۲۴ آزمونه تیر بتنی با سیمان پوزولانی، ۲۴ آزمونه تیر بتنی با سیمان تیپ ۲، ۲۴ آزمونه تیر بتنی با سیمان پوزولانی حاوی الیاف پلی-پروپیلن و ۲۴ آزمونه تیر بتنی با سیمان پوزولانی حاوی الیاف شیشه تهیه شد. نمونه‌ها مطابق شکل (٤) در زیر جک قرار گرفت و آزمایش شدند.

شکل ٤. آزمون "مقاومت خمشی"

Fig. 4."Flexural Strength" Test.

۲-۳-۳-آزمون "مقاومت فشاری"

برای تعیین مقاومت فشاری نمونه‌ها با استفاده از استاندارد شماره BS 1881-116:1983 [20] اقدام به ساخت تعداد ۹۶ عدد آزمونه مکعبی بتنی با ابعاد ۱۵۰ میلی‌متر شد. به عبارتی ۲۴ آزمونه مکعبی بتنی با سیمان پوزولانی، ۲۴ آزمونه مکعبی بتنی با سیمان تیپ ۲، ۲۴ آزمونه مکعبی بتنی با سیمان پوزولانی حاوی الیاف پلی‌پروپیلن و ۲۴ آزمونه مکعبی بتنی با سیمان پوزولانی حاوی الیاف شیشه تهیه شد.

٤- نتایج به دست آمده و تحلیل آن‌ها

در ادامه برای بررسی رابطه بین نتایج حاصل از آزمون "پیچش" با مقاومت فشاری و مدول گسیختگی بتن از تحلیل آماری رگرسیون استفاده شده است.

در ابتدا ضرایب همبستگی و تعیین بین آزمون "پیچش" و مقاومت فشاری بتن با رگرسیون خطی به دست آمده است. سپس با توجه به فرضیه تحقیق، مبنی بر اینکه خط رگرسیون باید از محور مختصات عبور نماید و معادله کالیبراسیون به صورت y=ax انتخاب و تحلیل رگرسیون صورت پذیرد، پس ضریب تعیین در این حالت نیز به دست آمده است. در انتها اگر اختلافی بین ضریب تعیین در دو حالت فوق وجود داشته باشد می‌توان از تحلیل رگرسیون به صورت منحنی استفاده نمود.

همچنین با توجه به اینکه رابطه مدول گسیختگی و مقاومت فشاری بتن معمولا به صورت رگرسیون توانی بیان می‌شود [21]، برای به دست آوردن ضرایب همبستگی و تعیین بین آزمون "پیچش" و مدول گسیختگی بتن از تحلیل آماری رگرسیون به صورت توانی استفاده شده است.

٤-۱- نتایج حاصل برای بتن پوزولانی

در این قسمت، با انجام تحلیل آماری رگرسیون، روابط بین نتایج حاصل از آزمون "پیچش" با مقاومت فشاری و مدول گسیختگی بتن پوزولانی ارائه شده است.

٤-۱-۱- رابطه بین نتایج حاصل از آزمون "پیچش" و مقاومت فشاری

در شکل (۵) نتایج حاصل از انجام آزمون "پیچش" و مقاومت فشاری نمونه‌های بتنی مکعبی ساخته شده با سیمان پوزولانی نشان داده شده است. با انجام تحلیل رگرسیون خطی، رابطه (۳) به دست می‌آید که دارای همبستگی خطی با شدت ۰/۹۹ و ضریب تعیین ۰/۹۸ هستند.

$$y = 8.596x - 15.211 \qquad (۳)$$

اما چنانچه معادله رگرسیون در حالت خطی به صورت y=ax انتخاب و تحلیل همبستگی صورت پذیرد، مقدار ضریب تعیین به ۰/۹ کاهش می‌یابد. پس می‌توان از منحنی توانی که تا حدود زیادی با منحنی خطی ساده هماهنگی دارد استفاده کرد. نتایج حاصل از تحلیل همبستگی نشان می‌دهد که شدت همبستگی در یک مدل توانی برابر ۰/۹۹ است. رابطه رگرسیون توانی در این حالت برابر است با (رابطه ٤)

www.SID.ir

Archive of SID

$$y = 2.6366x^{1.4542} \quad (٤)$$

پس می‌توان با به‌کارگیری آزمون "پیچش"، مقدار مقاومت برشی به دست آمده از این آزمون را برای تبدیل به مقاومت فشاری نمونه بتن ساخته شده با سیمان پوزولانی، با استفاده از منحنی کالیبراسیون توانی شکل (٥) و در محدوده اطمینان بالا محاسبه نمود.

همچنین مقدار ضریب تغییرات در محاسبه نتایج حاصل از آزمون "پیچش" برای بتن‌های ساخته شده با سیمان پوزولانی بدون الیاف برابر ۳ درصد است که مقدار کمی بوده و نشانگر قابل اعتماد بودن داده‌های اندازه گیری شده دارد.

شکل ٥. رابطه بین نتایج حاصل از آزمون "پیچش" با مقاومت فشاری برای بتـن ساخته شده با سیمان پوزولانی

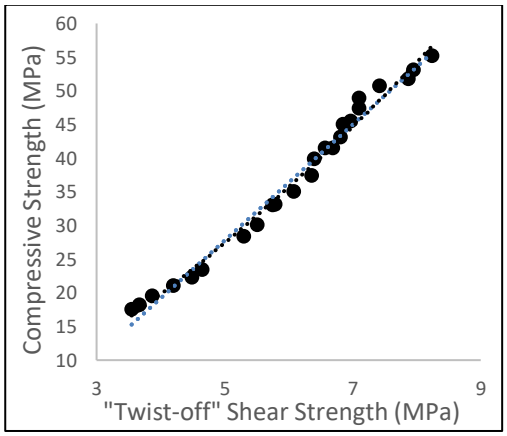

Fig. 5. Compressive Strength-"Twist-off" Shear Strength.

٤-٢-١- رابطه بین نتایج حاصل از آزمون "پیچش" و مدول گسیختگی

در شکل (٦) نتایج حاصل از انجام آزمون "پیچش" و مدول گسیختگی تیرهای بتنی منشوری ساخته شده با سیمان پوزولانی نشان داده شده است. با توجه به شکل (٦) نتایج به دست آمده از تحلیل همبستگی نمایانگر یک همبستگی توانی با شدت ۰/۹۸٤ میان نتایج حاصل از آزمون "پیچش" با مدول گسیختگی تیر بتنی است. رابطه توانی به دست آمده از این تحلیل برابر است با (رابطه ٥):

$$y = 1.0557x^{0.8756} \quad (٥)$$

بنابراین می‌توان با به کارگیری آزمون "پیچش"، مقدار مقاومت برشی به دست آمده از این آزمون را برای تبدیل به مدول گسیختگی تیر بتنی ساخته شده با سیمان پوزولانی، با استفاده از منحنی کالیبراسیون توانی شکل (٦) و در محدوده اطمینان بالا محاسبه نمود.

شکل ٦. رابطه بین نتایج حاصل از آزمون "پیچش" با مدول گسیختگی برای بتـن ساخته شده با سیمان پوزولانی

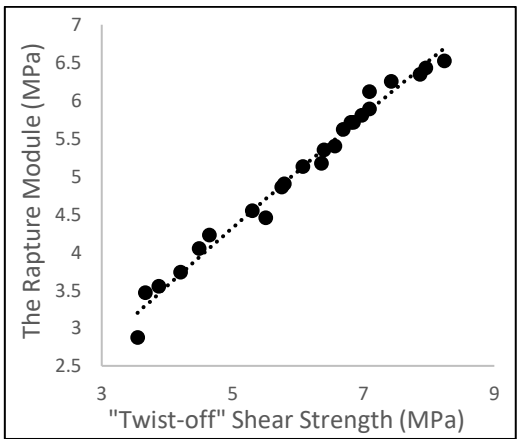

Fig. 6. The Rupture Module of the Beam- "Twist-off" Shear Strength.

٤-٢- نتایج حاصل برای بتن پوزولانی حاوی الیاف پلی‌پروپیلن

در این قسمت، با انجام تحلیل آماری رگرسیون، روابط بین نتایج حاصل از آزمون "پیچش" با مقاومت فشاری و مدول گسیختگی بتن پوزولانی حاوی الیاف پلی‌پروپیلن ارائه شده است.

٤-٢-١- رابطه بین نتایج حاصل از آزمون "پیچش" و مقاومت فشاری

در شکل (٨) نتایج حاصل از انجام آزمون "پیچش" و مقاومت فشاری نمونه‌های بتنی مکعبی ساخته شده با سیمان پوزولانی و حاوی الیاف پلی‌پروپیلن نشان داده شده است. با انجام تحلیل رگرسیون خطی، رابطه (٦) به دست می‌آید که دارای همبستگی خطی با شدت ۰/۹۷ و ضریب تعیین ۰/۹٦ است.

$$y = -.9785x - 26.885 \quad (٦)$$

اما چنانچه معادله رگرسیون در حالت خطی به صورت y=ax انتخاب و تحلیل همبستگی صورت پذیرد، مقدار ضریب تعیین به ۰/۸۲ کاهش می‌یابد. پس می‌توان از منحنی توانی که تا حدود زیادی با منحنی خطی ساده هماهنگی دارد استفاده نمود. نتایج حاصل از تحلیل همبستگی نشان می‌دهد که شدت همبستگی در یک مدل توانی برابر ۰/۹۸ است. رابطه رگرسیون توانی در این حالت برابر است با (رابطه ۷)

$$y = 1.4892x^{1.720} \quad (٧)$$

www.SID.ir

Archive of SID

بنابراین می‌توان با به‌کارگیری آزمون "پیچش"، مقدار مقاومت برشی به دست آمده از این آزمون را برای تبدیل به مقاومت فشاری نمونه بتن ساخته شده با سیمان پوزولانی حاوی الیاف پلی‌پروپیلن، با استفاده از منحنی کالیبراسیون توانی شکل (۸) و در محدوده اطمینان بالا محاسبه نمود.

شکل ۸. رابطه بین نتایج حاصل از آزمون "پیچش" با مقاومت فشاری برای بتـن پوزولانی حاوی الیاف پلی‌پروپیلن

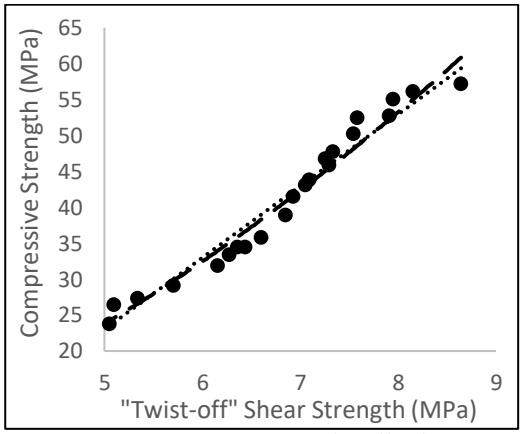

Fig. 8. Compressive Strength-"Twist-off" Shear Strength

٤-٢-٢- رابطه بین نتایج حاصل از آزمون "پیچش" و مدول گسیختگی

در شکل (۹) نتایج حاصل از انجام آزمون "پیچش" و مدول گسیختگی تیرهای بتنی منشوری ساخته شده با سیمان پوزولانی حاوی الیاف پلی‌پروپیلن نشان داده شده است. با توجه به شکل (۹) نتایج به دست آمده از تحلیل همبستگی نمایانگر یک همبستگی توانی با شدت ۰/۹۹ میان نتایج حاصل از آزمون "پیچش" با مدول گسیختگی تیر بتنی است. رابطه توانی به دست آمده از این تحلیل برابر است با (رابطه ۸):

$$y = 0.4527x^{1.313} \quad (۸)$$

پس می‌توان با به کارگیری آزمون "پیچش"، مقدار مقاومت برشی به دست آمده از این آزمون را برای تبدیل به مدول گسیختگی تیر بتنی ساخته شده با سیمان پوزولانی حاوی الیاف پلی‌پروپیلن، با استفاده از منحنی کالیبراسیون توانی شکل (۹) و در محدوده اطمینان بالا محاسبه نمود.

همچنین مقدار ضریب تغییرات در محاسبه نتایج حاصل از آزمون "پیچش" برای بتن‌های ساخته شده با سیمان پوزولانی حاوی الیاف پلی‌پروپیلن برابر ۳/٦ درصد بوده که مقدار کمی هست و نشانگر قابل اعتماد بودن داده‌های اندازه گیری شده است.

شکل ۹. رابطه بین نتایج حاصل از آزمون "پیچش" با مدول گسیختگی برای بتـن پوزولانی حاوی الیاف پلی‌پروپیلن

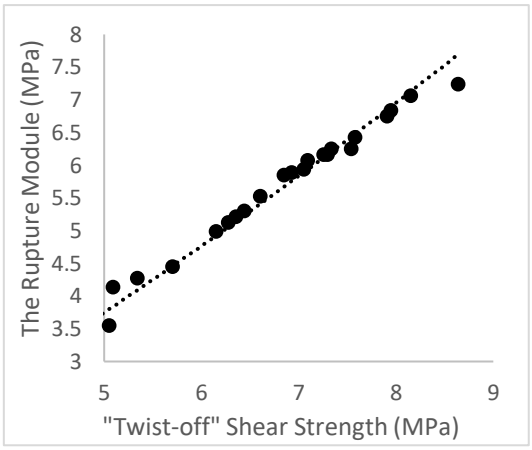

Fig. 9. The Rupture Module of the Beam- "Twist-off" Shear Strength.

٤-٣- نتایج حاصل برای بتن پوزولانی حاوی الیاف شیشه

در این قسمت، با انجام تحلیل آماری رگرسیون، روابط بین نتایج حاصل از آزمون "پیچش" با مقاومت فشاری و مدول گسیختگی بتن پوزولانی حاوی الیاف شیشه ارائه شده است.

٤-٣-١- رابطه بین نتایج حاصل از آزمون "پیچش" و مقاومت فشاری

در شکل (۱۱) نتایج حاصل از انجام آزمون "پیچش" و مقاومت فشاری نمونه‌های بتنی مکعبی ساخته شده با سیمان پوزولانی و حاوی الیاف شیشه نشان داده شده است. با انجام تحلیل رگرسیون خطی، رابطه ۹ به دست می‌آید که دارای همبستگی خطی با شدت ۰/۹۷ و ضریب تعیین ۰/۹۵ است.

$$y = 10.303x - 30.15 \quad (۹)$$

اما چنانچه معادله رگرسیون در حالت خطی به صورت y=ax انتخاب و تحلیل همبستگی صورت پذیرد، مقدار ضریب تعیین به ۰/۷۹ کاهش می‌یابد. پس می‌توان از منحنی توانی که تا حدود زیادی با منحنی خطی ساده هماهنگی دارد استفاده نمود. نتایج حاصل از تحلیل همبستگی نشان می‌دهد که شدت همبستگی در یک مدل توانی برابر ۰/۹۷ است. رابطه رگرسیون توانی در این حالت برابر است با (رابطه ۱۰)

www.SID.ir

Archive of SID

$$y = 0.966x^{1.759} \quad (10)$$

بنابراین می‌توان با به‌کارگیری آزمون "پیچش"، مقدار مقاومت برشی به دست آمده از این آزمون را برای تبدیل به مقاومت فشاری نمونه بتن ساخته شده با سیمان پوزولانی حاوی الیاف شیشه، با استفاده از منحنی کالیبراسیون توانی شکل(۱۱) و در محدوده اطمینان بالا محاسبه نمود.

شکل ۱۱. رابطه بین نتایج حاصل از آزمون "پیچش" با مقاومت فشاری برای بتـن پوزولانی حاوی الیاف شیشه

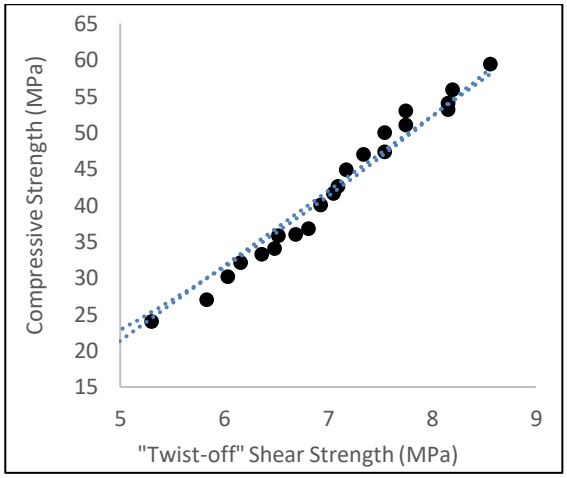

Fig. 11. Compressive Strength-“Twist-off” Shear Strength

٤-٣-٢- رابطه بین نتایج حاصل از آزمون "پیچش" و مدول گسیختگی

در شکل (۱۲) نتایج حاصل از انجام آزمون "پیچش" و مدول گسیختگی تیرهای بتنی منشوری ساخته شده با سیمان پوزولانی حاوی الیاف شیشه نشان داده شده است. با توجه به شکل (۱۲) نتایج به دست آمده از تحلیل همبستگی نمایانگر یک همبستگی توانی با شدت ۰/۹۹ میان نتایج حاصل از آزمون "پیچش" با مدول گسیختگی تیر بتنی است. رابطه توانی به دست آمده از این تحلیل برابر است با (رابطه ۱۱):

$$y = 0.683x^{1.113} \quad (11)$$

بنابراین می‌توان با به کارگیری آزمون "پیچش"، مقدار مقاومت برشی به دست آمده از این آزمون را برای تبدیل به مدول گسیختگی تیر بتنی ساخته شده با سیمان پوزولانی حاوی الیاف شیشه، با استفاده از منحنی کالیبراسیون توانی شکل (۱۲) و در محدوده اطمینان بالا محاسبه نمود.

همچنین مقدار ضریب تغییرات در محاسبه نتایج حاصل از آزمون "پیچش" برای بتن‌های ساخته شده با سیمان پوزولانی حاوی الیاف شیشه برابر ۳/۳ درصد است که مقدار کمی بوده و نشانگر قابل اعتماد بودن داده‌های اندازه گیری شده را دارد.

شکل ۱۲. رابطه بین نتایج حاصل از آزمون "پیچش" با مدول گسیختگی برای بتـن پوزولانی حاوی الیاف شیشه

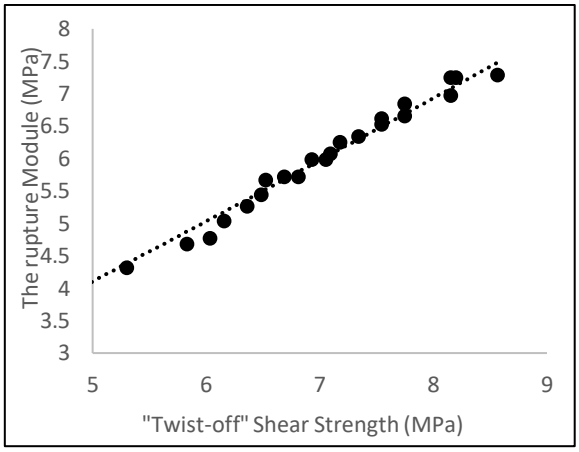

Fig. 12. The Rupture Module of the Beam- “Twist-off” Shear Strength.

در دیگر پژوهشهای انجام شده برای تعیین مقاومت فشاری بتن‌های معمولی، با به کارگیری روش "پیچش" نیز نتایج مشابه به دست آمده است به گونه‌ای که ضریب همبستگی بین نتایج حاصل از آزمون "پیچش" و مقاومت فشاری نمونه‌های بتنی ساخته شده با سیمان تیپ ۲ دارای همبستگی بالای ۹۳ است [8] همچنین در پژوهش دیگری برای تعیین مقاومت فشاری نمونه های بتنی تحت عمل آوری‌های مختلف، با استفاده از آزمون "پیچش" ضریب همبستگی ۹٤ درصد به دست آمد [9].

٤-٤- تاثیر الیاف بر مقاومت فشاری و مدول گسیختگی و نتایج حاصل از آزمون "پیچش" برای بتن ساخته شده با سیمان پوزولانی

در شکل (١٤) مقادیر مقاومت فشاری نمونه‌های مکعبی بتنی ساخته شده با سیمان پوزولانی در سه حالت بدون الیاف، حاوی الیاف پلی‌پروپیلن و حاوی الیاف شیشه نشان داده شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

شکل ۱۴. مقاومت فشاری نمونه‌های بتنی

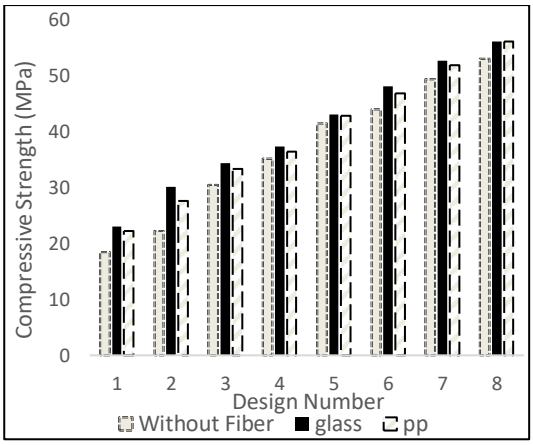

Fig. 14. Compressive Strength

از شکل (۱۴) مشاهده می‌شود مقاومت فشاری بتن برای نمونه‌های حاوی الیاف، بیشتر از مقاومت فشاری نمونه‌های بدون الیاف است که دلیل آن به علت وجود الیاف در داخل ماتریس بتن و در بین ترک‌ها هست که مانند یک پل عمل نموده و مانع از باز شدن ترک‌های ریز داخل بتن می‌شود. همچنین از شکل (۱۴) ملاحظه می‌شود که تاثیر الیاف شیشه بر مقاومت فشاری بتن‌ها، به مقدار اندکی بیشتر از تاثیر الیاف پلی-پروپیلن است. به طور میانگین الیاف شیشه و پلی‌پروپیلن باعث افزایش مقاومت فشاری نمونه‌های مکعبی به مقدار ۱۳/۱ و ۹/۷ درصد شده‌اند. در شکل (۱۵) نیز مشاهده می‌شود که بتن حاوی الیاف، پس از شکست نیز همبستگی کلی خود را حفظ نموده و دچار از هم گسیختگی نشده است در حالیکه نمونه‌های بتنی بدون الیاف پس از رسیدن به بار نهایی، دچار از هم گسیختگی شده و حتی در مقاومت‌های بالا، شاهد شکست بتن به صورت انفجاری بودیم.

شکل ۱۵-الف. شکست نمونه بتنی مکعبی حاوی الیاف

Fig. 15.a. Fracture of concrete containing fibers

شکل ۱۵-ب. شکست نمونه بتنی مکعبی بدون الیاف

Fig. 15.b. Fracture of concrete Without fibers

در شکل (۱۶) مقادیر مدول گسیختگی نمونه‌های تیر بتنی ساخته شده با سیمان پوزولانی در سه حالت بدون الیاف، حاوی الیاف پلی‌پروپیلن و حاوی الیاف شیشه نشان داده شده است.

شکل ۱۶. مدول گسیختگی نمونه‌های تیر بتنی

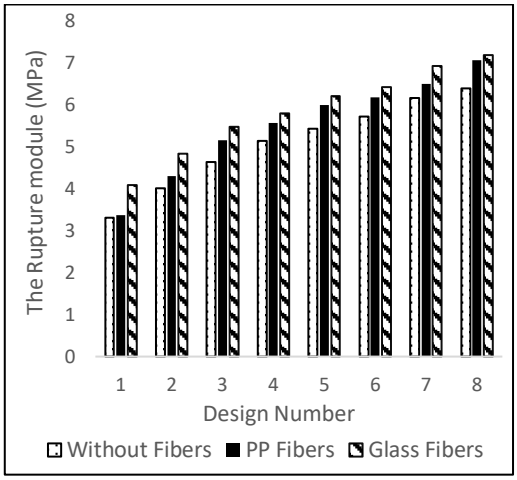

Fig. 16. The Rupture Module

از شکل (۱۶) مشاهده می‌شود که افزودن الیاف به بتن باعث افزایش مدول گسیختگی تیرهای بتنی شده که این افزایش برای نمونه‌های حاوی الیاف شیشه بیشتر از نمونه‌های حاوی الیاف پلی‌پروپیلن است. به طور میانگین الیاف شیشه و پلی‌پروپیلن باعث افزایش مدول گسیختگی تیرهای بتنی به مقدار ۱۵/۹ و ۷/۸ درصد شده‌اند. همچنین همان‌گونه که در شکل (۱۷) نشان داده شده است، شکست دو نمونه تیر بتنی بدون الیاف و حاوی الیاف قابل مشاهده است. از شکل (۱۷) ملاحظه می‌شود که الیاف از جدا شدن اجزای بتنی از یکدیگر جلوگیری نموده و نیمه‌های تیر را بعد از شکست در کنار یکدیگر نگه داشته است.

www.SID.ir

Archive of SID

شکل ۱۷-الف. شکست نمونه تیر بتنی حاوی الیاف

Fig. 17.a. Fracture of concrete containing fibers

شکل ۱۷-ب. شکست نمونه تیر بتنی بدون الیاف

Fig. 17.a. Fracture of concrete Without fibers

در شکل (۱۸) نتایج حاصل از آزمون "پیچش" بر نمونه-های مکعبی بتنی ساخته شده با سیمان پوزولانی در سه حالت بدون الیاف، حاوی الیاف پلی‌پروپیلن و حاوی الیاف شیشه نشان داده شده است. از شکل (۱۸) ملاحظه می‌شود افزودن الیاف به بتن باعث افزایش مقاومت حاصل از آزمون "پیچش" می‌شود. همچنین تاثیر الیاف شیشه بیشتر از الیاف پلی‌پروپیلن است. تاثیر الیاف بر نمونه‌های بتنی با مقاومت پایین‌تر، بیشتر از نمونه‌های بتنی با مقاومت بالاتر است به گونه‌ای که در مقاومت‌های پایین‌تر، افزودن الیاف شیشه و پلی‌پروپیلن به ترتیب باعث افزایش ۲٤/۳ و ۱۸/۵ درصد نتایج حاصل از آزمون پیچش شده در حالی که برای نمونه‌های با مقاومت بیشتر باعث افزایش نتایج به مقدار ۷/٤ و ۵/٦ درصد شده است.

شکل ۱۸. نتایج حاصل از آزمون پیچش روی نمونه‌های بتنی مکعبی

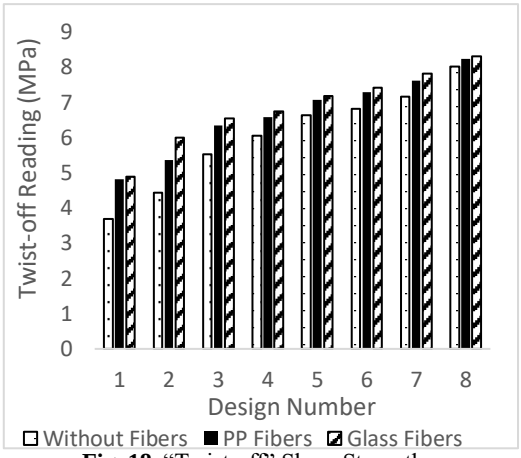

Fig. 18. "Twist-off" Shear Strength

٤-۵- تاثیر نوع سیمان بر نتایج حاصل از مقاومت فشاری، مدول گسیختگی و آزمون "پیچش"

برای بررسی تاثیر نوع سیمان بر نتایج به دست آمده از مقاومت فشاری، مدول گسیختگی و آزمون "پیچش"، اقدام به ساخت یک سری نمونه با سیمان تیپ ۲ شد که نتایج در ادامه گفته شد.

در شکل (۱۹) نتایج حاصل از مقاومت فشاری نمونه‌های بتنی مکعبی ساخته شده با سیمان پوزولانی و سیمان تیپ ۲ نشان داده شده است. از شکل (۱۹) مشاهده می‌شود مقاومت فشاری نمونه‌های مکعبی ساخته شده با سیمان تیپ ۲ به طور میانگین به مقدار ٦/۲ درصد بیشتر از نمونه‌های ساخته شده با سیمان پوزولانی می‌باشد. علت این امر به دلیل وجود پوزولان در داخل سیمان است زیرا پوزولان باعث کاهش حرارت هیدراسیون در بتن در سنین اولیه شده و سبب می‌شود مقاومت فشاری ۲۸ روزه بتن‌های ساخته شده با سیمان تیپ ۲ بیشتر از بتن‌های ساخته شده با سیمان پوزولانی باشد.

در شکل (۲۰) نتایج حاصل از مدول گسیختگی تیرهای بتنی ساخته شده با سیمان پوزولانی و سیمان تیپ ۲ قابل مشاهده است.

از شکل (۲۰) مشاهده می‌شود مدول گسیختگی تیرهای بتنی ساخته شده با سیمان تیپ ۲ به طور میانگین ٦/۹ درصد بیشتر از مدول گسیختگی تیرهای ساخته شده با سیمان پوزولانی است که دلیل این اختلاف به علت کسب مقاومت

www.SID.ir

Archive of SID

بیشتر توسط نمونه‌های ساخته شده با سیمان تیپ ۲ در سن ۲۸ روز هست.

شکل ۱۹. مقاومت فشاری نمونه‌های ساخته شده با سیمان پوزولانی و تیپ ۲

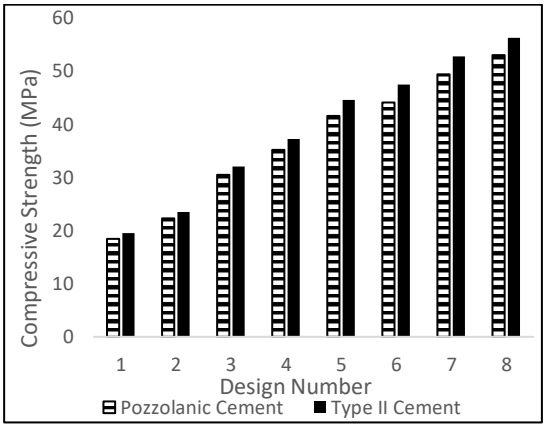

Fig. 19. Compressive Strength-Different Cements

شکل ۲۰. مدول گسختگی نمونه‌های ساخته شده با سیمان پوزولانی و تیپ ۲

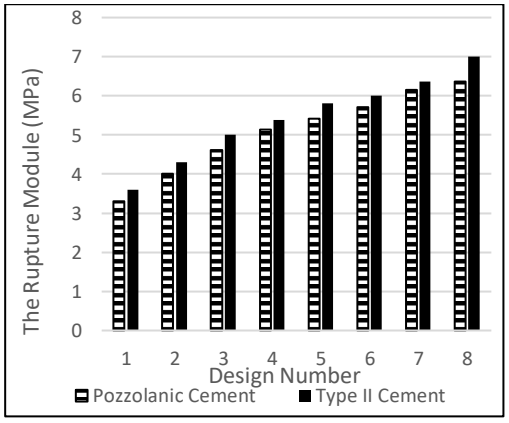

Fig. 20. The Rupture Module-Different Cements

در شکل (۲۱) نتایج حاصل از انجام آزمون "پیچش" نشان داده شده است.

از شکل (۲۱) مشاهده می‌شود که مقاومت حاصل از انجام آزمون "پیچش" روی نمونه‌های مکعبی ساخته شده با سیمان تیپ ۲ به طور میانگین ۷/۵ درصد بیشتر از نمونه‌های ساخته شده با سیمان پوزولانی است که علتش بالاتر بودن مقاومت فشاری نمونه‌های ساخته شده با سیمان تیپ ۲ نسبت به نمونه-های ساخته شده با سیمان پوزولانی هست.

شکل ۲۱. نتایج حاصل از آزمون "پیچش" بر نمونه‌های ساخته شده با سیمان پوزولانی و تیپ ۲

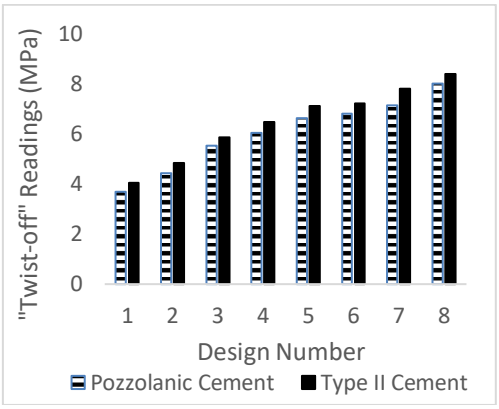

Fig. 21. "Twist-off" Shear Strength-Different Cements

۵- نتیجه گیری

با توجه به آزمایش‌های صورت پذیرفته و تحلیل نتایج به دست آمده می‌توان نتیجه گرفت که:

۱- آزمون "پیچش" می‌تواند به عنوان روشی دقیق با کاربری گسترده، برای ارزیابی مقاومت بتن پوزولانی به کار گرفته شود. این آزمون دارای خرابی سطحی بوده و خرابی حاصل از انجام آن بسیار جزئی است.

۲- در صورت به کارگیری روش "پیچش" می‌توان برای تعیین مقاومت فشاری و مدول گسیختگی تیر بتنی پوزولانی از معادله کالیبراسیون مربوطه به هر بتن استفاده نموده و مقدار مورد نظر را بر حسب مگاپاسکال و در محدوده اطمینان ۹۷ درصد به‌دست آورد که و این مقدار در مقایسه با سایر آزمون‌ها، بسیار قابل توجه است.

۳- افزودن ۰/۳ درصد حجمی الیاف به بتن پوزولانی، باعث افزایش مدول گسیختگی، مقاومت فشاری و نتایج حاصل از آزمون "پیچش" شده و مقدار این افزایش برای الیاف شیشه بیشتر از الیاف پلی‌پروپیلن است.

٤- الیاف باعث همبستگی بین اجزای تشکیل دهنده بتن شده و در هنگام شکست، باعث جلوگیری از هم پاشیدگی بتن می-شود در صورتی که بتن بدون الیاف پس از شکست، اجزای کناری آن خورد شده و از بتن جدا می‌شوند.

۵- نتایج حاصل از آزمون "پیچش"، مقاومت فشاری و مدول گسیختگی در بتن‌های ساخته شده با سیمان تیپ ۲ به ترتیب

www.SID.ir

Archive of SID

به مقدار ۷/۵، ٦/۲ و ٦/۹ درصد بیشتر نتایج حاصل از نمونه های ساخته شده با سیمان پوزولانی است.

٦- مراجع References

[1] ACI Committee 214, Report 214.4R-03. 2003 Guide for Obtaining Cores and Interpreting Compressive Strength Results, American Concrete Institute.
[2] Masi. A., Digrisolo. A., Santarsieo. G. 2013. arsiero, "Experimental evaluation of drilling damage on the strength of cores extracted from RC buildings. in Proceedings of World Academy of Science, Engineering and Technology, 7(7). p. 749.
[3] ASTM C900-15. 2015 Standard Test Method for Pullout Strength of Hardened Concrete, ASTM International, West Conshohocken, PA.
[4] ASTM C597-16. 2016 Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete, ASTM International, West Conshohocken, PA.
[5] ASTM C808/C805M-18. 2018 Standard Test Method for Rebound Number of Hardened Concrete, ASTM International, West Conshohocken, PA.
[6] ASTM C1583/C1583M-13. 2013 Standard Test Method for Tensile Strength of Concrete Surfaces and the Bond Strength or Tensile Strength of Concrete Repair and Overlay Materials by Direct Tension (Pull-off Method), ASTM International, West Conshohocken, PA.
[7] Kakooei S., Mdakil H., Jamshidi M., & Rouhi J. 2012 The Effects of Polypropylene Fibers on The Properties of Reinforced Concrete Structures. Construction and Building Materials Journal, Vol 27, 73-7. Pereira. E., Medeiros. M.H.F. 2012 Pull off Test to Evaluate the Compressive Strength of Concrete: an Alternative to Brazilian Standard Techniques. Ibracon Structures and Materials Journal. 5(6). p. 757-780.
[8] Naderi M. 2007 New Twist-Off Method for the Evaluation of In-Situ Strength of Concrete, Journal of Testing and Evaluation. 35(6). ISSN: 0090-3973.
[9] Naderi. M., Shibani. R. 2013 New Method for Nondestructive Evaluation of Concrete Strength. Australian Journal of Basic Applied Sciences. 7(2). p. 438-447.
[10] Naderi. M., Musavi. M. 2013 Comparison of In situ Concrete Strength of Structural Elements with Strength ofTtheir Cubic Laboratory Samples Using "Twist-off" Method. International Conference on Civil Engineering Architecture & Urban Sustainable Development. (in Persian).
[11] Naderi. M., SheikhAleslami. A., Mohsenzadeh. R. 1391 Case studies to determine the concrete strength of damaged structures using in situ methods. National Conference on Transport Infrastructure. (in Persian).
[12] Alsadey. S., Salem. M. 2016 Influence of Polypropylene Fiber on Strength of Concrete. American Journal of Engineering Research. 5(7). p. 223-226.
[13] Alam. M., Ahmad. I., Rehman. F. 2015 Experimental Study on Properties of Glass Fiber Reinforced Conrete. International Journal of Engineering Trends and Technology. 24(6). p. 297-301.
[14] ACI Committee 544, Report 544.1R-96. 2009 State-of-the-Art Report on Fiber Reinforced Concrete, Concr. Int., ACI Manual of Concrete Practice, Part 5.
[15] Iranian National Standardization Organization (INSO). Number 4977. 2015. Aggregates-Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates- Test Method. (in Persian).
[16] Iranian National Standardization Organization (INSO). Number 4982. 2017. Aggregate-Determination of Density, Relative Density (Specific Gravity) and Water Absorption of Coarse Aggregate- Test Method. (in Persian).
[17] Iranian National Standardization Organization (INSO). Number 4982. 2017. Aggregate-Determination of Density, Relative Density (Specific Gravity) and Water Absorption of Coarse Aggregate- Test Method. (in Persian).
[18] Building and Housing Research Center (BHRC). 2008 The National Method for Concrete Mix Design. (in Persian).
[19] Iranian National Standardization Organization (INSO). Number 17731. 2014. Flexural Strength of Concrete Using Simple Beam With Center-Point Loading- Test Method. (in Persian).
[20] British Standard 1881-118. 1983 Methods of Testing concrete, Method for determination of compressive strength of concrete cubes, British Standards Institution, Londen.
[21] ACI Committee 318, Report 318R-14. 2014 Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary. American Concrete Institute. (Part 19.2.3)

www.SID.ir

Archive of SID

Determination of Compressive and Flexural Strengths of In-situ Pozzolanic Concrete Containing Polypropylene and Glass Fibers Using "Twist-off" Method

Ali Saberi Varzaneh[*1], Mahmood Naderi[2]

1. Ph.D. student, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran, ali.saberi@edu.ikiu.ac.ir
2. Professor, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.

***ali.saberi@edu.ikiu.ac.ir**

Abstract

Fibers incorporated in concrete, have different shapes and sizes. The main reasons for incorporating fibers in concrete, are to prevent cracking, disintegration of concrete and to increase its resistance to dynamic loading and explosion. As for ordinary concrete, pozzolanic materials can be used along with the fibers. In this paper, the effect of the incorporation of polypropylene and glass fibers in concrete is investigated using the newly developed "Twist-off" method. The "Twist-off" method developed by Naderi is a partially destructive method with high accuracy and very low cost and negligible surface damage. In this method, a metallic disc with 25mm height and 40mm diameter is attached to the surface of concrete under test, using epoxy adhesive. After the setting and hardening of the glue, an ordinary torque-meter is used to apply a torque until the metallic disc is separated from the surface of the concrete. Since the adhesional strength of the epoxy resin to concrete surface is much higher than the strength of the concrete, the failure is bound to happen at the concrete surface. Therefore, the failure measured torque is used to estimate the concrete strength. In order to estimate the compressive strength of the concrete by the method of "Twist-off", a calibration graph is prepared by employing concrete cubes with different strength. The "Twist-off" strength of these cubes were measured and they are related to their compressive strengths, using ordinary compressive testing machine. Therefore, compressive strength of pozzolanic concrete containing glass and polypropylene fibers were also measured, using 150 mm concrete cubes. The surface strength of the fiber concrete cubes was measured using the "Twist-off" method. The results obtained in this research, show that, addition of glass and polypropylene fibers to pozzolanic concrete increases the surface strength, compressive strength, modulus of rapture of concrete and the load bearing capacity of concrete beams. The random distribution of fibers in concrete beams, increases its ductility and at the failure load, pull out of the fibers are predominant compared to their breakage. The results tend to show that the addition of two percent fibers tend to increase the strength, ductility and the modulus of the elasticity of the pozzolanic concrete. It was also observed that while the addition of glass fibers increases the surface strength of the low strength concrete (40 MPa or less), its addition to the concrete reduces its strength. Compared with the effect of the polypropylene fibers, it was seen that, the increase in the surface strength of concrete with glass fibers is more pronounced. Examination of the results presented in this paper tend to indicate that the "Twist-off " method can be used for the determination of the surface strength of concrete as well as its compressive strength, with acceptable accuracy and very little surface damage to tested area. Compared with other in-situe methods for concrete strength assessment, the "Twist-off" method is much cheaper and needs no expert operators. Statistical analysis of the comparative results of the "Twist-off" and the ordinary compressive testing method indicates that the torque obtained in the "Twist-off" method, can be directly related to the compressive strength of the concrete without the need to calculate stress intensities. The relation between the "Twist-off" and compressive strength tests is seen to be linear.

Keywords: Fibers, Compressive Strength, Flexural Strength,"Twist-off" Method, Pozzolanic Cement.

www.SID.ir