

ارائه مدل تجربی تاثیر اندازه نمونه بتنی مسلح به الیاف ماکروسینتتیک بر عمر خستگی

محمد دانشفر^۱، ابوالفضل حسنی^{۲*}

۱. دکتری راه و ترابری دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست دانشگاه تربیت مدرس
۲. استاد و هیئت علمی دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست دانشگاه تربیت مدرس

*Hassani@modares.ac.ir

تاریخ پذیرش ۹۷/۴/۱۷

تاریخ دریافت ۹۶/۱۱/۲۶

چکیده

بتن به عنوان یکی از پرکاربردترین مصالح ساختمانی رفتاری شکننده دارد. افزودن الیاف به بتن بر رفتار شکل پذیری مقاومت کششی، مقاومت خمشی، مدول الاستیسیته، مقاومت ضربه و برخی مشخصات مکانیکی دیگر بتن اثر می‌گذارد. به همین منظور پژوهشی آزمایشگاهی برای ارائه مدل تجربی عمر خستگی خمشی بتن مسلح به الیاف ماکروسینتتیک با ساخت تیرچه‌های بتنی با سه ضخامت مختلف ۸۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌متر انجام شد و مدل‌های S-N (سطح تنش - بارگذاری) و H-N (ضخامت - بارگذاری) ارائه شد. نتایج نشان داد که با افزایش ضخامت نمونه‌های بتنی و با افزودن الیاف به مخلوط بتنی عمر خستگی خمشی افزایش می‌یابد. همچنین اضافه نمودن الیاف به نمونه‌های بتنی ضخامت نمونه را برای سطح تنش ۰/۷ تنش نهایی به میزان ۱۲/۴۵-۸/۲۴٪، برای سطح تنش ۰/۸ تنش نهایی به میزان ۲۲/۱۵-۵/۴۵٪ و برای سطح تنش ۰/۹ تنش نهایی به میزان ۲۲/۹۵-۱۰/۱۸٪ کاهش می‌یابد.

کلمات کلیدی: بتن مسلح به الیاف - عمر خستگی - ضخامت نمونه - اندازه نمونه - سطح تنش

۱- مقدمه

سختی بتن، افزایش مقاومت در برابر تنش‌های خستگی، افزایش دوام و طول عمر بتن، بهبود ویژگی‌های مکانیکی بتن (مقاومت کششی، خمشی و...)، کنترل ترک‌های ثانویه/حرارتی بتن، جلوگیری از گسترش ترک‌ها به عمق، قابلیت بارپذیری پس از ایجاد ترک، کاهش نفوذپذیری در مقابل یون‌های کلر و سولفات[2]. پژوهش‌های متعددی در زمینه بتن الیافی انجام گرفته است. در بیشتر این پژوهش‌ها

بتن الیافی یکی از انواع بتن است مانند الیاف شیشه، پلیمری، کربن و فولاد [1] که با الیاف ترکیب شده و از الیاف مختلفی برای تهیه این بتن استفاده می‌شود. در این پژوهش از الیاف پلیمری ماکروسینتتیک استفاده شد. کاربردهای الیاف ماکروسینتتیک در بتن عبارتند از: کاهش میزان جمع شدگی بتن تازه و سخت، افزایش شکل پذیری، ضربه پذیری و

بتن الیافی با استفاده از الیاف فولادی، پلیمری و یا ترکیبی از آنها ارزیابی شده است. آلبرتی و همکاران در سال ۲۰۱۷ روی بتن الیافی خود تراکم با ترکیب الیاف پلی اولفین و فلزی مطالعه کردند و گزارش دادند که ترکیب الیاف پلی اولفین و فلزی عملکرد بالاتری در زمینه خمش و چقرمگی شکست نسبت به استفاده از الیاف به صورت تکی دارد [3]. جمشیدی و همکاران در سال ۲۰۱۷ مرور منابعی در رابطه با استفاده از الیاف مرکب در بتن انجام دادند. ایشان گزارش کردند که ترکیب انواع مختلف الیاف نتایج بهتری در چقرمگی و جذب انرژی بتن به همراه دارد [4]. اسواری در سال ۲۰۱۵ عملکرد خمشی بتن مسلح به الیاف مرکب را بررسی آزمایشگاهی کرده و اثر مقادیر مختلف الیاف پلیمری و فلزی را در مقاومت و عملکرد خمشی نمونه‌های بتن الیافی مورد ارزیابی قرار داد و گزارش داد که اضافه نمودن الیاف پارامترهای مورد ارزیابی را به نسبت بتن معمولی بهبود می‌بخشند [5]. در سال ۲۰۱۰ سینگ و باجاج مقاومت و طاقت خمشی بتن مسلح شده با درصدهای متفاوت ترکیبی از الیاف پلی پروپیلن و فولادی و با درصد کل ۱٪ را مورد بررسی قرار داد و گزارش دادند که ترکیب ۷۵٪ الیاف فلزی و ۲۵٪ پلی پروپیلن نتایج بهتری در مقاومت فشاری، مقاومت خمشی و طاقت خمشی را نتیجه می‌دهد [6]. در سال ۲۰۱۴ رامن و همکاران عمر خستگی خمشی بتن پلیمری پلی پروپیلن را در سطوح مختلف تنش و با آنالیزهای عددی بررسی کردند و پارامترهای مدل‌های احتمالاتی را بدست آوردند. ایشان نمونه‌های بتن الیافی با درصدهای ۰/۵٪، ۱٪ و ۲٪ الیاف پلی پروپیلن را تحت آزمایش خستگی خمشی قرار دادند و گزارش کردند که افزایش مقدار درصد الیاف به عمر خستگی نمونه بتنی می‌افزاید [7]. کلی و راموجو در سال ۲۰۱۳ روی مشخصات مقاومت بتن الیافی با الیاف پلی پروپیلن مطالعاتی انجام دادند. در این پژوهش مشخصات مقاومت بتن با درصدهای مختلف مطالعه شد و درصد بهینه (۱/۵٪) نتایج بهتری را نسبت به سایر درصدها نشان داد [8]. جیابایو و همکاران در سال ۲۰۰۴ روی طاقت و کنترل ترک بتن الیافی و مزایا و ویژگی‌های اضافه کردن الیاف مصنوعی به بتن تحقیقات انجام دادند. اضافه کردن الیاف میکرو به میزان ۰/۱٪

حجم بتن بر جمع شدگی پلاستیک تاثیر گذار است و اضافه کردن به میزان ۱٪ حجم بتن بر طاقت خمشی، مقاومت ضربه و مقاومت خستگی بتن سخت شده تاثیر گذار است. همچنین مقاومت خمشی معادل را برای مقاومت پس از ترک خوردگی برای نمونه‌های مختلف را اندازه‌گیری کردند [9]. بردلن، رسلر در سال ۲۰۰۹ روی بتن مسلح به الیاف مطالعه انجام دادند. ایشان در این پژوهش الیاف فولادی، مصنوعی و شبکه مش فولادی را مورد بررسی قرار داده و گزارش کردند که استفاده از الیاف موجب کاهش ضخامت روسازی بتنی می‌شود [10]. کریگر در سال ۲۰۱۲ روی مدلی برای توضیح مد یک شکست بتن مسلح به الیاف فلزی بتن با عملکرد بالا مطالعه کرده و نشان داد که با افزایش درصد الیاف انرژی شکست افزایش می‌یابد. همچنین با افزایش نسبت طول دهانه به عمق تیر، ماکزیم نیروی شکست تیر کاهش می‌یابد [11]. در سال ۱۹۹۱ ژنک و همکاران تاثیر اندازه نمونه را بر شکست خستگی بتن الیافی بررسی کرده و نشان دادند که عمر خستگی نمونه بتنی به اندازه نمونه وابسته است [12]. لی و همکاران در سال ۲۰۱۷ روی مشخصات مکانیکی و سازوکار تقویت بتن مسلح به الیاف پلیمری مطالعه کردند و نشان دادند که وقتی مقدار الیاف بین $9-13 \text{ kg/m}^3$ باشد عمر خستگی در مقایسه با بتن معمولی ۱۰۰-۳۸۹٪ افزایش می‌یابد [13]. رسلر در سال ۲۰۰۶ مقاومت خستگی روسازی بتنی را بررسی کرد. آزمایش خستگی دال در اندازه بزرگ در آزمایشگاه نشان داد که عمر خستگی دال بتنی بسیار بیشتر از تیرچه بتنی است و به هندسه دال، ضخامت، بارگذاری، مصالح بتن و شرایط مرزی بستگی دارد. همچنین ظرفیت خمشی دال بتنی ۱/۳-۳/۵ برابر بیشتر از نمونه‌های تیرچه بتنی است [14]. گوئل و همکاران در سال ۲۰۱۲ عمر خستگی تیرچه‌های بتن خود تراکم معمولی و مسلح به الیاف فلزی را بررسی کردند و با ارائه پارامترهای توزیع ویبول نشان دادند عمر خستگی بتن خود تراکم معمولی و مسلح به الیاف فلزی از بتن معمولی و مسلح به الیافی که به طور معمولی ویبره شده‌اند عملکرد بهتری دارند [15]. ژانگ و همکاران روی تاثیر اندازه بر خستگی خمشی بتن مطالعه کردند. با بررسی نمودارهای S-N وابستگی قوی عمر

مصرف الیاف ماکروسیتنتیک پیشنهاد شده توسط ACI 360 انتخاب شده است [18]. الیاف ماکروسیتنتیک استفاده شده در پژوهش در شکل (۱) و در جدول (۱) مشخصات هندسی و فیزیکی الیاف مورد استفاده در این پژوهش نشان داده شده است [19].

شکل ۱. الیاف درهم تنیده



Fig. 1. Twisted fiber

در این پژوهش از سیمان تیپ ۱ استفاده شد که مشخصات فیزیکی و شیمیایی آن در جدول (۲) نشان داده شده است. همچنین مصالح سنگدانه‌ای درشت‌دانه و ریزدانه برای ساخت بتن از معادن رودخانه‌ای منطقه شهریار کرج تهیه شده و توسط سنگ‌شکن شکسته شده‌اند. شکل سنگ‌دانه‌ها به صورت نامنظم بوده و با وجود شکستگی آن‌ها حداقل در یک وجه، گوشه‌ها غالباً گرد گوشه است. مشخصات دانه‌بندی مصالح درشت‌دانه و ریزدانه در شکل (۲) ارائه شده است. سایر مشخصات الزام آور و مورد نیاز برای طرح اختلاط بتن در جدول (۳) مشخص شده است.

خستگی به اندازه نمونه را نشان دادند. همچنین گزارش کردند با افزایش ضخامت و طول تیرها عمر خستگی کاهش می‌یابد [16].

در بیشتر مطالعات تاثیر اندازه نمونه، افزایش ضخامت نمونه بتنی تیرچه همراه با افزایش طول تیرچه است، در صورتی که در این پژوهش تنها ضخامت نمونه‌های تیرچه الیاف‌دار و بدون الیاف تغییر کرده و سایر ابعاد نمونه ثابت می‌ماند تا بتوان تنها تاثیر افزایش ضخامت را بررسی کرد. توسعه پژوهش حاضر منجر به ارائه مدل‌های طراحی ضخامت روسازی بتنی بر اساس عمر خستگی خمشی خواهد شد. به همین منظور در این پژوهش تاثیر اندازه نمونه بتن مسلح شده به الیاف ماکروسیتنتیک در ضخامت‌های مختلف با استفاده از تغییرات عمر خستگی مورد ارزیابی قرار گرفت. الیاف مورد استفاده از نوع درهم تنیده با مقدار مصرف $0/4$ درصد حجمی به مخلوط بتنی اضافه شد. از هر کدام از نمونه‌های مورد نظر سه نمونه ساخته شده و نتایج میانگین گیری و در جداول مربوطه درج شد.

۲- برنامه آزمایشگاهی

۲-۱- متغیرهای آزمایش و مصالح مصرفی

برای ارزیابی عمر خستگی، طراحی مخلوط بتنی بر مبنای استاندارد ACI 211 انجام شد [17]. برای ارزیابی تاثیر اندازه نمونه بتن الیافی بر عمر خستگی خمشی تمام نمونه‌های بتنی با یک طرح اختلاط یکسان و افزودن الیاف ماکروسیتنتیک درهم تنیده به میزان $0/4$ درصد حجمی ساخته شد. مقدار مصرف الیاف در این پژوهش با استناد به مقدار

جدول ۱. مشخصات هندسی و فیزیکی الیاف

Material	Shape	Resistance in acidic and alkaline environments	Water absorption	Melting point °C	Flash point °C	Modulus of elasticity GPa	Tensile strength MPa	Diameter Mm	Length Mm	Density Gr/cm3	Color
polyolefin	Macro a single strand of fine string sticking together	Excellent	does not have	≥ 120	≥ 590	≥ 4.2	570-660	≥ 0.3	38	0.91-0.96	gray

Table.1. Physical and geometrical properties of fibers

جدول ۲. مشخصات شیمیایی و فیزیکی سیمان تیپ ۱ مورد استفاده در پژوهش

ب. ترکیبات شیمیایی												الف. مقاومت فشاری	
Oxide	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	MnO	LOI	Compressive strength (MPa)	days
(%)	19.98	3.50	4.11	64.73	2.07	3.79	0.15	0.63	0.27	0.20	0.35	22.3	3
												25.6	7
												35.1	28
a. The chemical composition												b. the physical composition	

Table 4. The chemical and physical composition of Type I Portland cement

شکل ۲. نمودار دانه‌بندی درشت‌دانه و ریزدانه

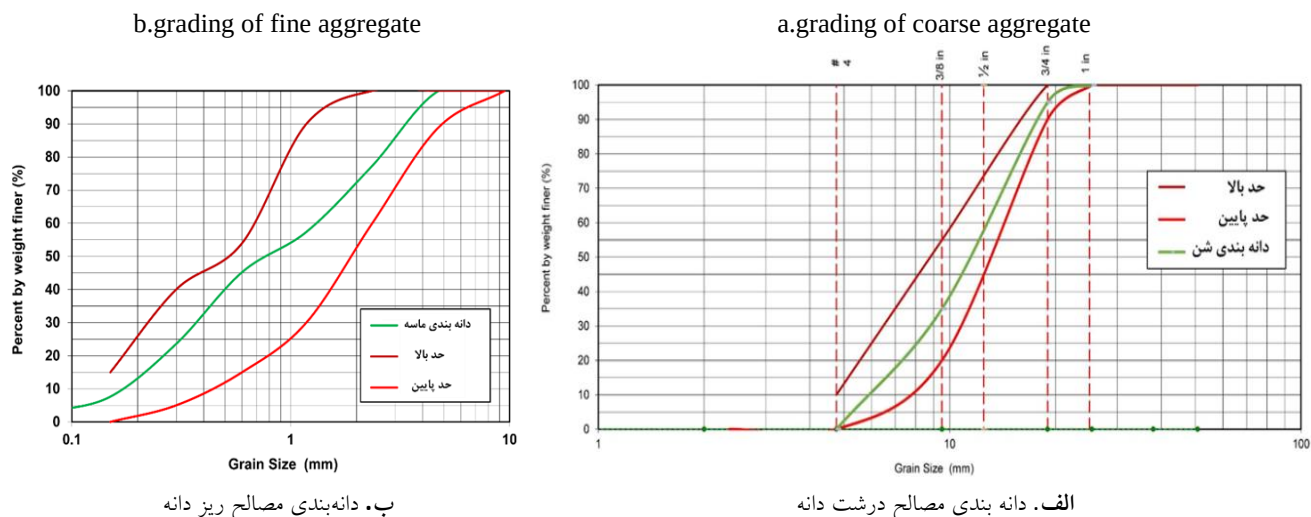


Fig. 2. Grading curve of fine and coarse aggregate

جدول ۳. مشخصات فیزیکی، دوام و مکانیکی مصالح درشت‌دانه و ریزدانه مصرفی در بتن

Nominal maximum aggregate size(mm)	19
Bulk specific gravity, g/cm ³ (ASTM C127)	2.59
Absorption fine aggregate/% (ASTM C127)	2.4
Absorption coarse aggregate/% (ASTM C127)	1.2
Los Angeles abrasion loss/% (ASTM C131)	11.3
Two fractured faces/% (ASTM D5821)	93
Soundness (ASTM C88)	1.7
Sand equivalent (ASTM D2419)	70

Table 3. physical, durability and mechanical Aggregate Properties of fine and coarse aggregate

جدول ۴. طرح اختلاط نمونه‌های بتنی

Materials	Coarse aggregate	Fine aggregate	Cement	Water	Super plasticizer	Fiber
Weight per unit volume (kg/m ³)	880	789	442	199	2.2	3.6

Table 4. Concrete mix design

مختلف و به دو حالت بتن معمولی و الیافی ساخته شده و آزمایش خستگی خمشی روی نمونه‌ها انجام شد. مشخصات طرح هندسی نمونه‌های پژوهش در جدول (۵) نشان داده شده است. شکل (۳) چگونگی ساخت و عمل آوری ۲۸ روزه نمونه‌های بتنی در حوضچه آب را نشان می‌دهد.

۲-۲- ساخت نمونه
طراحی مخلوط نمونه‌های بتنی بر مبنای استاندارد ACI 211 انجام شد که طرح اختلاط بدست آمده نمونه‌ها در جدول (۴) نشان داده شده است.
پس از طرح اختلاط، برای ارزیابی تاثیر اندازه نمونه بر عمر خستگی بتن الیافی، نمونه‌های تیرچه بتنی با سه ضخامت

جدول ۵. مشخصات نمونه‌ها

Specimens No.	Shape of fiber	Fiber Volume Fraction (%)	Specimens size(mm)
E1	Twisted	0.4	80*120*450
E2	Twisted	0.4	100*120*450
E3	Twisted	0.4	150*120*450
N1	-	0	80*120*450
N2	-	0	100*120*450
N3	-	0	150*120*450

Table.5. Specification of tested specimens

شکل ۳. چگونگی ساخت و عمل‌آوری نمونه‌های بتنی

b. 28 days curing of concret specimens

a. constructing concrete specimen



ب. عمل‌آوری ۲۸ روزه نمونه‌های بتنی



الف. ساخت نمونه بتنی

Fig. 3. Constructing and curing specimens concrete

جدول ۶. اطلاعات ورودی دستگاه یونیورسال برای نمونه‌های بتنی با ضخامت مختلف

Specimen	S	P _{Max} (Average)	P*S	Amplitude	Bios
D1	0.7	12211.5	8548.05	2137.01	6411.04
	0.8	12211.5	9769.2	2442.3	7326.9
	0.9	12211.5	10990.35	2747.59	8242.76
D2	0.7	17527.2	12269.04	3067.26	9201.78
	0.8	17527.2	14021.76	3505.44	10516.32
	0.9	17527.2	15774.48	3943.62	11830.86
D3	0.7	32420	22694	5673.5	17020.5
	0.8	32420	25936	6484	19452
	0.9	32420	29178	7294.5	21883.86
N1	0.7	9676.6	6773.62	1693.41	5080.22
	0.8	9676.6	7741.28	1935.32	5805.96
	0.9	9676.6	8708.94	2177.24	6531.71
N2	0.7	14301.8	10011.26	2502.82	7508.45
	0.8	14301.8	11441.44	2860.36	8581.08
	0.9	14301.8	12871.62	3217.91	9653.72
N3	0.7	29735.9	20815.13	5203.78	15611.35
	0.8	29735.9	23788.72	5947.18	17841.54
	0.9	29735.9	26762.31	6690.58	20071.73

Table.6. Input data for concrete samples with different thicknesses

شکل ۴: چگونگی تنظیم دستگاه یونیورسال و نمونه بتنی



Fig. 4. Test of fatigue life of concrete samples

۳-۲- تنظیمات آزمایشگاهی و اندازه گیری ها

۳-۲-۱- عمر خستگی

برای انجام آزمایش تعیین عمر خستگی خمشی نمونه‌های بتنی با مشخصات هندسی ذکر شده در جدول (۵) از دستگاه آزمایش یونیورسال (UTM) استفاده شده است. آزمایش به صورت بار ثابت و چگونگی بارگذاری به شکل سینوسی با تواتر ۱۰ هرتز انجام گرفت. اطلاعات ورودی برای آزمایش شامل شکل منحنی بارگذاری، مقادیر کمینه و بیشینه بارگذاری، فرکانس بارگذاری و بیشینه تعداد بارگذاری است که تمام موارد باید به عنوان ورودی نرم افزار دستگاه تعریف شود. برای اندازه‌گیری مقادیر سطوح تنش برای اندازه‌گیری مقادیر بارگذاری، قبل از انجام آزمایش خستگی باید میانگین مقاومت خمشی نمونه‌ها را تعیین و از نتایج بدست آمده سطوح تنش محاسبه شود. جدول (۶) اطلاعات ورودی به دستگاه UTM را نشان می‌دهد. در ستون سوم این جدول با عنوان p_{max} ، مقادیر نیروهای خمشی شکست نمونه‌های تیرچه بتنی از آزمایش مقاومت خمشی بدست آمده و با توجه به سطوح تنش انتخاب شده نیروی p به عنوان بارگذاری ورودی دستگاه بدست آمده و در ستون چهارم جدول (۶) درج شده است. چگونگی تنظیم دستگاه یونیورسال و نمونه تیرچه بتنی در شکل (۴) نشان داده شده است.

۳- نتایج آزمایشگاهی و تحلیل

۳-۱- عمر خستگی

در جدول (۷) عمر خستگی نمونه‌های مختلف بتنی در سه سطح تنش با سه ضخامت مختلف، با و بدون الیاف نشان داده شده است. طبق نتایج بدست آمده در جدول (۷) افزایش ضخامت نمونه‌های تیرچه بتنی و همچنین افزودن الیاف به مخلوط بتنی موجب افزایش عمر خستگی خمشی نمونه‌ها می‌شود. این نتایج نشان‌دهنده این است که با فرض ثابت نگه داشتن عمر خستگی خمشی، اضافه نمودن الیاف به مخلوط بتنی موجب کاهش ضخامت نمونه می‌شود. با توجه به نتایج جدول (۷)، منحنی‌های تعداد بارگذاری در مقابل سطح تنش برای نمونه‌های بتنی با ضخامت‌های مختلف رسم شده و نتایج در جدول (۷) و شکل‌های (۵ - ۷) نشان داده شده است.

جدول ۷. تغییرات تعداد بارگذاری با نسبت تنش

D3			D2			D1		
Number of loading -N	LOG N	Stress level(%)	Number of loading -N	LOG N	Stress level(%)	Number of loading -N	LOG N	Stress level(%)
1106515	6.04	0.7	286267.7	5.45	0.7	109969	5.04	0.7
30399.33	4.48	0.8	17579.67	4.24	0.8	12001.33	4.07	0.8
3194.66	3.5	0.9	2222.66	3.34	0.9	1657	3.21	0.9
N3			N2			N1		
Number of loading -N	LOG N	Stress level(%)	Number of loading -N	LOG N	Stress level(%)	Number of loading -N	LOG N	Stress level(%)
744276	5.87	0.7	179634.3	5.25	0.7	84271.67	4.92	0.7
24410.33	4.38	0.8	15058.33	4.17	0.8	9293	3.96	0.8
2677.66	3.42	0.9	14533.66	3.16	0.9	801	2.9	0.9

Table.7 Number of loading versus stress ratio

شکل ۶. منحنی S-N برای نمونه‌های با ضخامت ۱۰ سانتی‌متر

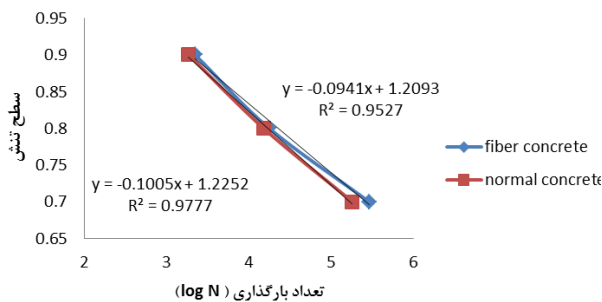


Fig. 6. S-N curve for specimens with D=10cm

شکل ۷. منحنی S-N برای نمونه‌های با ضخامت ۱۵ سانتی‌متر

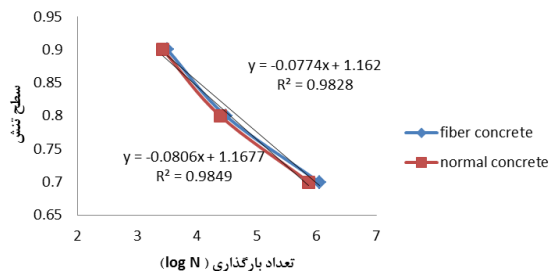


Fig. 7. S-N curve for specimens with D=15cm

جدول ۸. مدل‌های عمر خستگی نمونه‌های مختلف بتنی (S-N)

R ²	Fatigue equations	specimen
0.969	S= - 0.1097 Log(N) +1.2511	D1
0.9527	S= - 0.0941 Log(N) +1.2093	D2
0.9828	S= - 0.0774 Log(N) +1.162	D3
0.951	S= - 0.1062 Log(N) +1.2225	N1
0.977	S= - 0.0956 Log(N) +1.2013	N2
0.9849	S= - 0.0806 Log(N) +1.1677	N3

Table .8. Fatigue life models of concrete specimens

همانطور که در شکل‌های (۵ - ۷) نشان داده شد، افزودن الیاف به مخلوط بتنی به میزان ۰/۴ درصد حجمی افزایش عمر خستگی نمونه‌های بتنی را در پی دارد و نمودارهای مربوط به نمونه‌های بتنی مسلح به الیاف ماکروسینتتیک در سطح بالاتری از نمودارهای بتن معمولی قرار دارند. مدل‌های تجربی بدست آمده از منحنی‌های S-N در جدول (۸) نشان داده شده است.

در اغلب پژوهش‌های صورت گرفته گذشته مدل‌های عمر خستگی به صورت مدل سطح تنش - تعداد بارگذاری ارائه شده‌اند. در این پژوهش شکل جدیدی از مدل عمر خستگی به صورت تغییرات تعداد بارگذاری با تغییرات ضخامت در سه سطح تنش مختلف در جدول ۹ و شکل‌های ۸ تا ۱۰ نشان داده شده است.

شکل ۵. منحنی S-N برای نمونه‌های با ضخامت ۸ سانتی‌متر

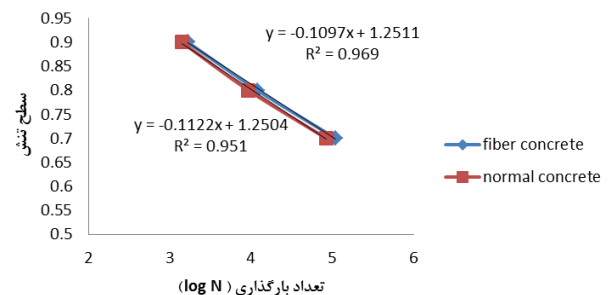


Fig. 5. S-N curve for specimens with D=8cm

جدول ۹. تغییرات تعداد بارگذاری با ضخامت

Fibrous concrete s=0.9			Fibrous concrete s=0.8			Fibrous concrete s=0.7		
N	LOG N	D	N	LOG N	D	N	LOG N	D
1657	3.22	8	12001.33	4.08	8	109969	5.04	8
2222.67	3.35	10	17479.67	4.25	10	286267.67	5.46	10
3194.67	3.5	15	30399.33	4.48	15	1106514.67	6.04	15
normal concrete s=0.9			normal concrete s=0.8			normal concrete s=0.7		
N	LOG N	D	N	LOG N	D	N	LOG N	D
1102.33	3.04	8	9293	3.97	8	84271.67	4.93	8
1453.67	3.16	10	15058.33	4.18	10	179634.33	5.25	10
2677.67	3.43	15	24475.67	4.39	15	744276	5.87	15

TABLE .9. Number of loading versus thickness

جدول ۱۱. ضخامت‌های معادل بتن الیافی و بتن معمولی برای سطح تنش‌های مختلف

S=0.9			S=0.8			S=0.7		
Percentage change(%)	H'(cm)	H(cm)	Percentage change(%)	H'(cm)	H(cm)	Percentage change(%)	H'(cm)	H(cm)
-22.95	6.16	8	-22.15	6.23	8	-12.45	7	8
-18.7	8.13	10	-16.58	8.34	10	-11.05	8.9	10
-13.02	13.05	15	-9.16	13.63	15	-9.17	13.62	15
-10.18	17.96	20	-5.45	18.91	20	-8.24	18.35	20

Table 11. Equivalent thickness of fibrous and normal concretes for different stress levels

می‌دهد. با استفاده مدل‌های عمر خستگی ارائه شده در جدول (۱۰)، می‌توان با فرض سطح تنش مشخص، برای هر ضخامت، عمر خستگی خمشی نمونه را بدست آورد. با استفاده از نتایج جدول (۱۰) و با فرض یکسان بودن عمر خستگی نمونه‌ها، ضخامت‌های معادل بتن الیافی و بتن معمولی برای سطوح تنش مختلف بدست آمده و در جدول (۱۱) نشان داده شده است. همانطور که در جدول (۱۱) نشان داده شد با ثابت نگه داشتن عمر خستگی نمونه بتنی، افزودن الیاف به مخلوط بتنی موجب کاهش ضخامت به میزان ۵/۴۵- درصد می‌شود. همچنین نتایج نشان داد که با اضافه شدن ضخامت تاثیر افزودن الیاف بر عمر خستگی کاهش یافته و تاثیر ضخامت بر عمر خستگی افزایش می‌یابد.

جدول ۱۰. مدل‌های تجربی ضخامت-تعداد بارگذاری (H-N)

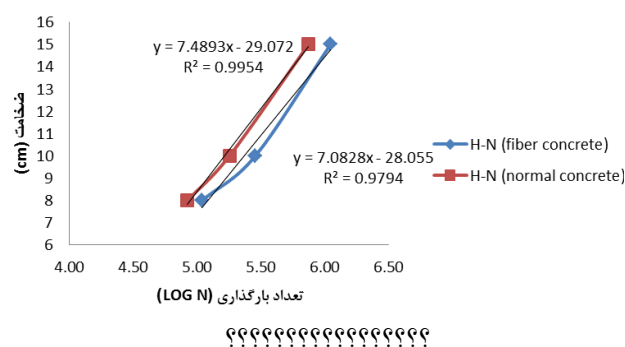
R ²	Fatigue equations	Stress Level	Specimen
0.9794	H= 7.0828 Log(N) - 28.055	0.7	Fibrous Concrete
0.9806	H= 17.598 Log(N) - 64.126	0.8	
0.9673	H= 24.83 Log(N) - 72.351	0.9	
0.9954	H= 7.4893 Log(N) - 29.072	0.7	Normal Concrete
0.9432	H= 16.651 Log(N) - 58.573	0.8	
0.9735	H= 25.249 Log(N) - 71.84	0.9	

Table 10. Experimental models of thickness-number of loading

۴- خلاصه و نتیجه گیری

در این پژوهش عمر خستگی برای نمونه‌های بتن مسلح به الیاف ماکروسیستیک با یک طرح اختلاط مشترک و با سه ضخامت مختلف اندازه‌گیری و مدل تجربی تغییرات آن ارائه شد.

شکل ۸. تغییرات تعداد بارگذاری با ضخامت نمونه‌های بتنی برای سطح تنش ۰/۷



شکل ۹. تغییرات تعداد بارگذاری با ضخامت نمونه‌های بتنی برای سطح تنش ۰/۸

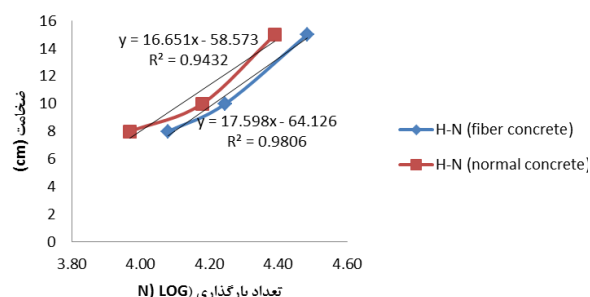


Fig. 9. H-N curve for specimens with S=0.8

همانطور که در شکل‌های (۸ - ۱۰) نشان داده شد افزایش ضخامت نمونه‌های بتنی و همچنین افزودن الیاف به بتن به میزان ۰/۴ درصد موجب افزایش تعداد بارگذاری شده و نمونه در مقدار عمر خستگی بالاتری می‌شکند. جدول (۱۰) مدل‌های تجربی ضخامت - تعداد بارگذاری برای نمونه‌های بتن معمولی و بتن مسلح به الیاف ماکروسیستیک را نشان

- polypropylene fibre on the free and restrained shrinkage of mortars at early age. 1999. 29(10): p. 1597-1604.
3. Alberti, M., A. Enfedaque, and J.J.C.S. Gálvez, Fibre reinforced concrete with a combination of polyolefin and steel-hooked fibres. 2017. 171: p. 317-325.
 4. Pakravan, H., et al., Hybrid short fiber reinforcement system in concrete: A review. 2017. 142: p. 280-294.
 5. Eswari, S.J.Y., Experimental investigation on flexural performance of hybrid fibre reinforced concrete. 2015. 10: p. 3.
 6. Singh, S., A. Singh, and V. Bajaj, Strength and flexural toughness of concrete reinforced with steel-polypropylene hybrid fibres. 2010.
 7. Bedi, R., et al., Design Fatigue Lives of Polypropylene Fibre Reinforced Polymer Concrete Composites. 2014. 1(2): p. 99-109.
 8. Ramujee, K.J.I.J.o.I.R.i.S., Engineering and Technology, Strength properties of polypropylene fiber reinforced concrete. 2013. 2(8): p. 3409-3413.
 9. Jiabiao, J., S. Loh, and T. Gasho, Synthetic structure fibers for toughness and crack control of concrete. in 29th conference on our world in concrete and structures. 2004.
 10. Bordelon, A. and J.R. Roesler, Fiber-reinforced concrete pavement design and material requirements. in Bearing Capacity of Roads, Railways and Airfields. 8th International Conference (BCR2A'09) University of Illinois, Urbana-Champaign. 2009.
 11. Kreiger, E.L., Model to describe the mode I fracture of steel fiber reinforced ultra-high performance concrete. 2012.
 12. Bazant, Z.P. and K.J.A.M.J. Xu, Size effect in fatigue fracture of concrete. 1991. 88(4): p. 390-399.
 13. Shao, Y.J.R.d.I.F.d.I., Research on Mechanical Properties and Strengthening Mechanism of Coarse Synthetic Fiber Reinforced Concrete. 2017.
 14. Roesler, J. Fatigue resistance of concrete pavements. in 6th International DUT-Workshop on Fundamental Modelling of Design and Performance of Concrete Pavements. 2006.
 15. Goel, S., S.P. Singh, and P.J.P.o.t.I.o.C.E.-C.M. Singh, Fatigue
- نتایج اصلی این پژوهش به شرح ذیل است:
- نتایج جدول (۷) نشان داد که با افزودن الیاف و افزایش ضخامت نمونه‌های بتنی، عمر خستگی خمشی افزایش می‌یابد.
- مدل‌های تجربی عمر خستگی سطح تنش- بارگذاری (S-N) برای نمونه‌هایی با سه ضخامت مختلف و برای بتن مسلح به الیاف و بتن معمولی در جدول (۸) ارائه شد.
- در این پژوهش نوع جدیدی مدل‌های تجربی ضخامت نمونه- عمر خستگی (H-N) برای نمونه‌هایی با سه سطح تنش مختلف و برای بتن مسلح به الیاف و بتن معمولی ارائه و در جدول (۱۰) نشان داده شد.
- نتایج جدول (۱۱) نشان داد که اضافه نمودن الیاف به نمونه‌های بتنی، ضخامت نمونه را برای سطح 0.7 به میزان $12/45$ - $8/24$ %، برای سطح تنش 0.8 به میزان $22/15$ - $5/45$ % و برای سطح تنش 0.9 به میزان $22/95$ - $10/18$ % کاهش می‌دهد.
- نتایج جدول (۱۰) نشان داد که با افزایش ضخامت افزودن الیاف بر عمر خستگی کاهش یافته و تاثیر تغییرات ضخامت افزایش می‌یابد. با رویکرد روسازی بتنی و با استفاده از این نتایج می‌توان در پروژه‌هایی که کاهش ضخامت از نظر فنی و اقتصادی توجیه دارد نسبت به استفاده از الیاف ماکروسیستتیک استفاده کرد.
- با توجه به نتایج بدست آمده استفاده از الیاف برای سازه‌هایی که مقاومت خمشی و کششی در آنها از اهمیت بالایی برخوردار است مانند روسازی بتنی (که معیار طراحی آن مقاومت خمشی است)، بسیار کاربردی بوده و لحاظ نمودن تاثیر الیاف در طراحی سازه‌های بتنی موجب افزایش دوام، ظرفیت باربری و طول عمر سازه و دستیابی به یک طراحی با هزینه فایده بالا خواهد شد.
- ### ۵- منابع و مراجع
1. Zongjin, L.J.H., New Jersey: John Wiley and I. Sons, Advanced concrete technology. 2011.
 2. Toledo Filho, R., M.J.C. Sanjuan, and C. Research, Effect of low modulus sisal and

- proportions for normal, heavyweight, and mass concrete. 1996. 1: p. 211.1-1.
18. Sorelli, L.G., A. Meda, and G.A.J.A.S.J. Plizzari, Steel fiber concrete slabs on ground: a structural matter. 2006. 103(4): p. 551.
 19. Sposito, T., Steel Deck Institute Standards for Composite Steel Floor Deck-slabs. 2012.
 - lives of self-compacting concrete and self-compacting fibre-reinforced concrete beams. 2012. 166(3): p. 141-151.
 16. Zhang, J., V.C. Li, and H.J.J.o.m.i.c.e. Stang, Size effect on fatigue in bending of concrete. 2001. 13(6): p. 446-453.
 17. Standard, A.J.A.M.o.C.P., Part, 211.1, Standard practice for selecting

Presenting an experimental model for the effect of specimen size on Flexural Fatigue Life of macro-synthetic-fiber-reinforced concretes

M. Daneshfar¹, A. Hassani^{2*}

1. PhD, school of civil and environmental engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

2. professor, school of civil and environmental engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

*hassani@modares.ac.ir

Abstract

The unexpected increase in the price of bitumen and production capacity of cement have provided the tendency to replace Asphalt pavements with concrete. Considering the high cost of material supply and the implementation of pavement and despite the limitations of construction credits, there must be serious thought and comprehensive planning to improve the quality and increase the durability of pavement roads, which will consequently reduce maintenance costs. One of the most important breakdown of concrete pavement is cracking. Also one of the most widely used building materials, concrete has a brittle behavior. Adding fibers to concrete affect its tensile strength ductility behavior, flexural strength, elastic modulus, impact resistance as well as some mechanical properties. Fiber-reinforced concrete is a type of concrete that is mixed with fiber. Various types of fibers are used to produce fiber-reinforced concrete, which include glass, polymer, carbon and steel. In the present research, macro-synthetic polymer fibers with twisted shape were used. According to the past studies Some of the consequences of applying macro-synthetic fibers in concrete include reduced shrinkage of fresh and hardened concrete, increased ductility, increased strength against fatigue stresses, increased durability and lifetime of concrete, improved concrete mechanical properties (tensile strength, flexural strength, etc.), control of secondary/thermal cracks of concrete, preventing the in-depth propagation of cracks, post-cracking chargeability and reduced permeability against chloride and sulfate ions. In most of the studies, the concrete sample's thickness is increased along with the increase in the beam's length; however, in the present work, only thickness of the beam samples with and without fibers was changed and other dimensions of the samples were kept constant in order to investigate merely the effect of increased thickness. Accordingly, effect of the size of macro-synthetic fiber-reinforced concrete sample at different thicknesses was assessed via fatigue life variations. The intertwisted fibers were added to the concrete mixture by 0.4 vol.%. Then, from each sample, three specimens were made. The obtained results were averaged and, then, recorded in the relevant tables. The cases considered as the research objectives are Effect of sample size on fatigue life of concrete samples and Effect of adding macro-synthetic fibers on fatigue life. In order to evaluate the flexural fatigue life of concrete beams, the concrete mixture was designed based on ACI 211 Standard. All the concrete samples were made with the same mix design and 0 and 0.4 volume percentages twisted fibers were used for the fibrous mixtures. Hence, an experimental study was conducted to provide an experimental model of the flexural fatigue life of macro-synthetic fiber-reinforced concrete by constructing concrete beams with three different thicknesses of 80, 100 and 150 cm. S-N models (Stress level – Number of loading) and H-N (Thickness-Number of loading) models were presented. The obtained results showed that increasing the thickness of the concrete samples and adding fibers to the concrete mixture would lead to the increased fatigue life. Also, the addition of fibers to concrete specimens showed the thickness of the specimen decreased for the stress level of 0.7, 0.8 and 0.9 by 8.24-12.45%, 5.5- 22.5% and 10- 22.95% Respectively.

Keyword: Fibrous Concrete –Flexural Fatigue Life -Thickness– Size Effect- Stress level