

روسازی های بتنی الیافی

*¹ پرهام حیاتی، ² عادل کاوولی حقیقی، ³ رضا بنی اردلان

¹ دانشگاه علم و صنعت ایران، Hayati@iust.ac.ir

² شرکت مهندسی مشاور ارکان راهان آریان، Adel.kavoli64@yahoo.com

³ شرکت مهندسی مشاور ارکان راهان آریان، Ardalanreza@yahoo.com

146C

چکیده

یکی از مصالحی که می تواند جایگزین میلگرد حرارتی در بتن های مسلح گردد، الیاف می باشد. مسلح کردن بتن با الیاف به جای میلگرد حرارتی سبب کاهش وزن بتن شده و آسیب های ناشی از خوردگی و فرسایش فولاد را به طور کامل حذف می نماید. امروزه کاربرد بتن الیافی به دلیل مزایای آن نسبت به بتن نرمال گسترش فراوانی یافته است. از جمله این مزایا می توان میزان جذب انرژی بالا، بهبود رفتار بتن در ناحیه بعد از ایجاد اولین ترک و جلوگیری از پیدایش و گسترش ترک های ناشی از جمع شدگی را نام برد. از طرفی مسلح سازی سازه های بتنی با الیاف یکی از روش های اصلاح خواص مکانیکی و بهبود عملکرد خمشی و کششی بوده که به واسطه آن مخلوط های شکننده تا حدی رفتار الاستیک از خود نشان می دهند. در این تحقیق عملیاتی، کاربرد انواع مختلف نمونه های الیاف موجود در ایران به صورت جایگزین برای میلگرد حرارتی در طرح اجرای پارکینگ بتنی فرودگاه مهرآباد تهران، مورد بررسی قرار گرفته و به صورت عملیاتی در دال های به طول 25 و عرض 5 متر اجرا شده است. کاربرد الیاف پلیمری باعث کاهش 43 درصدی هزینه ها و افزایش 15 درصدی مقاومت فشاری گردید و همچنین استفاده از الیاف فولادی کاهش 37 درصدی هزینه و افزایش 10 درصدی مقاومت فشاری شده است. با جایگزینی الیاف به جای میلگرد علاوه بر از بین رفتن کامل ترک ها و بهبود خواص مکانیکی، زمان و هزینه اجرای پروژه نیز به میزان قابل ملاحظه ای کاهش یافت.

واژه های کلیدی: بتن الیافی، الیاف فولادی، الیاف پلی اتیلن، روسازی بتنی، میلگرد حرارتی.

1- مقدمه

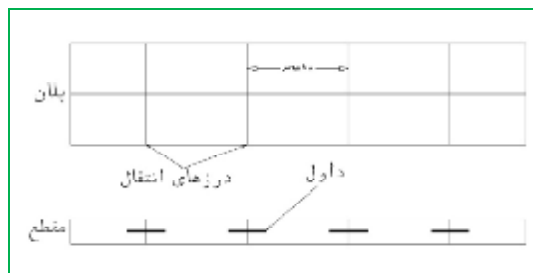
پارکینگ‌ها از جمله کاربری‌هایی هستند که امروزه و با توجه به افزایش سرانه مالکیت خودرو، نیاز به آن‌ها بیش از پیش احساس می‌شود. شرایط به گونه‌ای است که پارکینگ‌های عمومی در کمتر ساعتی از شبانه‌روز بدون استفاده می‌مانند. بنابراین روسازی این سطوح باید به نحوی باشد که دور عمر بهره‌برداری طولانی مدت با حداقل بهسازی در دوره خدمت‌دهی داشته باشد. دو نوع روسازی متداول که در این سطوح بکار می‌رود شامل روسازی‌های آسفالتی و بتنی می‌شوند. نشت احتمالی سوخت و روغن از خودروهای متوقف در پارکینگ باعث از بین رفتن روسازی‌های آسفالتی و در پی آن هزینه‌های بالای تعمیر و نگهداری و عدم امکان بهره‌برداری در طول مدت بهسازی را به دنبال دارد [1]. بنابراین گرایش به استفاده از سطوح بتنی در این چنین مکان‌هایی در حال افزایش است. انواع مختلفی از سطوح بتنی تعریف شده‌اند که پرکاربردترین آن‌ها عبارتند از:

- روسازی بتنی درزدار غیر مسلح¹
- روسازی بتن مسلح درزدار²
- روسازی بتن مسلح پیوسته³

اصول طراحی روسازی بتنی پارکینگ تا حد زیادی مشابه طراحی معابر شریانی و سطوح فرودگاهی است و فلسفه آن پخش بار در سطوحی بسیار بزرگتر نسبت به روسازی‌های آسفالتی است. در چنین سطوحی از روسازی بتنی غیرمسلح استفاده می‌شود. مزایای دیگر استفاده از روسازی بتنی در پارکینگ شامل موارد زیر است:

- مقاومت بالای سطوح بتنی در مقابل تغییر شکل ناشی از حرکات مانوری خودروها
- زهکشی نسبی مناسب در شیب‌های جزئی
- عدم تاثیرپذیری بتن از نشت مواد نفتی و روغنی
- سطح بازتابنده نور که مصرف انرژی را کاهش داده و در تابستان گرمای کمتری متصاعد می‌کند
- سطوح بتنی بزرگ با کاهش گرمای شهری از طریق ایجاد محیط‌های خنک‌تر، تاثیرات منفی بر اوزون را کاهش می‌دهند [1]

در سطوح بتنی پارکینگ با توجه به کنار هم بودن تعداد زیادی دال و حمایت از لبه‌های یکدیگر که بحرانی‌ترین موضع برای اعمال بار در دال‌ها محسوب می‌شود، در مقایسه با بزرگراه‌ها که دارای لبه‌های آزاد هستند و تنش و تغییر شکل بیشتری را تحمل می‌کنند، شرایط انتقال بار بهتری را دارا هستند. حداکثر تنش در دال‌های بتنی در قسمت لبه آن‌ها و محل درزها در هنگام انتقال بار چرخ از دالی به دال دیگر رخ می‌دهد چرا که در این حالت ضمن تغییر مکان قائم نامساوی دال‌ها، تمرکز تنش تا حد زیادی در این موقعیت افزایش یافته و موجب ترک خوردن دال در این قسمت‌ها می‌شود. در این حالت نیازی به میلگردهای طولی و عرضی نیست و برای پیوسته کردن قطعات بتنی مجاور هم و انتقال بار مناسب بین آن‌ها در درزهای عرضی و طولی به ترتیب از داول بار و تایل بار استفاده می‌شود. در مواردی که از میله‌های داول بار برای انتقال بار بین دال‌ها استفاده می‌شود، شبکه‌ای از آرماتورهای حرارتی به منظور کنترل ترک‌های سطحی استفاده می‌شود. نما و مقطع عرضی استفاده از دال در شکل شماره 1 نشان داده شده است.



شکل 1- روسازی‌های بتنی غیر مسلح بدون یا با داول بار JPCP

¹ Jointed Plain Concrete Pavement (JPCP)

² Jointed Reinforced Concrete Pavement (JRCP)

³ Continuously Reinforced Concrete Pavement (CRCP)

جایگزینی الیاف با آرماتورهای حرارتی مزایای فنی و اقتصادی زیادی دارد و موجب افزایش سرعت اجرا، کاهش هزینه‌های اجرا و دستمزد، کاهش عرض ترک‌های ناشی از جمع‌شدگی و کنترل عرض ترک‌های انقباضی و انبساطی افزایش مقاومت روسازی در برابر ضربه، خستگی و کاهش اثرات مخرب عوامل جوی خواهد شد. بتن معمولی که در روسازی‌ها به کار می‌رود، یک ماده ترد و شکننده است، در حالی که روسازی بتن الیافی به لحاظ مقاومت زیادتر و خاصیت کاهش جلوگیری از احتمال بروز ترک، نسبت به بتن معمولی برتری دارد.

قابلیت انعطاف‌پذیری بتن الیافی، همانند خواص مواد پلاستیکی باعث می‌شود که بتن الیافی گسیختگی ناگهانی نداشته باشد. از آنجا که الیاف فولادی در جسم بتن به طور سه بعدی و به بیانی بهتر چند بعدی پراکنده می‌شوند، در صورت تشکیل ترک الیاف در جهات مختلف، اتصالاتی را به وجود آورده و از گسترش ترک جلوگیری می‌نماید. بنابراین رشته‌های الیاف به طور فعال در محدود کردن عرض ترک‌ها وارد عمل شده و با تشکیل ریز ترک‌های زیاد همکاری می‌نماید [1 و 4].

2- برنامه آزمایشگاهی

2-1- مواد و مصالح

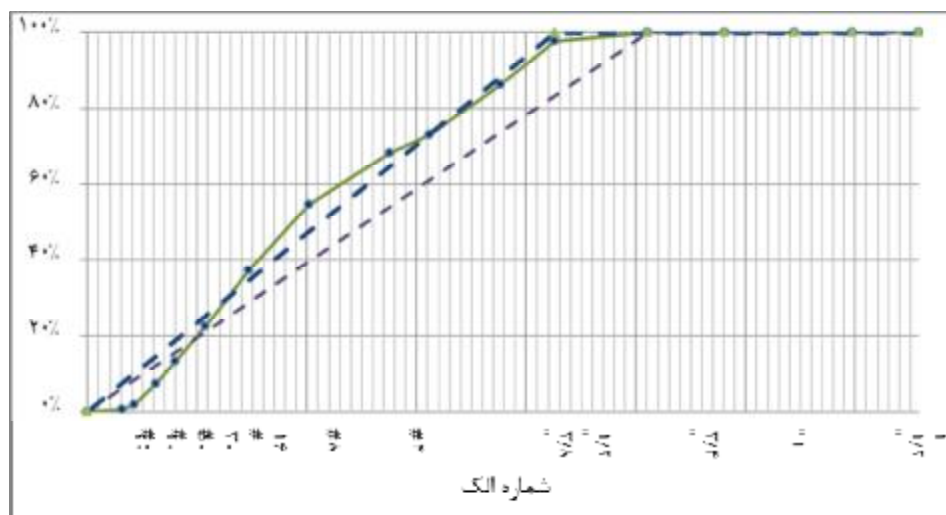
در این پروژه از مصالح سنگی شن و ماسه هر کدام در دو نوع درشت دانه و ریزدانه، سیمان پرتلند نوع 2 تهران و همچنین از روان کننده استفاده شده است. به منظور تأمین دانه‌بندی مورد نظر آئین نامه، شن و ماسه مصرفی به صورت نیمه شکسته و از معادن جنوب غرب تهران تأمین شده است. خصوصیات مصالح سنگی در جدول 1 و نمودار دانه‌بندی تجمعی در نمودار 1 نشان داده شده است. خواص فیزیکی و شیمیایی سیمان نیز در جدول 2 ارائه شده است. در این تحقیق برای ساخت بتن با مشخصات مکانیکی و رئولوژی، از روان کننده پایه پلی لیگنو استفاده شده است. این مایع قهوه‌ای رنگ دارای وزن مخصوص $1/13 \pm 0/01$ می‌باشد.

جدول 1- مشخصات مصالح سنگی کاربردی

مشخصات	شن بادامی	شن نخودی	ماسه طبیعی	ماسه ریز
وزن مخصوص اشباع با سطح خشک (gr/cm^3)	2/54	2/53	2/59	2/64
ظرفیت جذب آب (%)	1/9	2/2	2/9	3/16

جدول 2- خواص سیمان

سیمان	ترکیب شیمیایی / خواص
58/22	SiO_2 (%)
45/4	Al_2O_3 (%)
4	Fe_2O_3 (%)
05/3	MgO (%)
4/0	K_2O (%)
71/1	SO_3 (%)
68/61	CaO (%)
48/0	Na_2O (%)
74/0	Equivalent alkali ($\text{Na}_2\text{O} + 0,658 \text{K}_2\text{O}$)
2805	Specific surface area (m^2/g)
15/3	Specific gravity (g/cm^3)
2/26	7 day compressive strength, MPa
4/38	28 day compressive strength, MPa
164	Initial setting time, min
245	Final setting time, min



نمودار 1- نمودار دانه بندی

2-2- نسبت‌های مخلوط

یکی از ضرورت‌های طراحی روسازی پارکینگ، دوام است. شرایط محیطی، چرخه‌ی یخ‌زدن و آب شدن، بار ترافیک طراحی، خاک‌های سولفاته و پتانسیل فعالیت مجدد سیلیکای قلیایی هر کدام به تنهایی یا در کنار یکدیگر می‌توانند سبب زوال بتن شوند. در صورت رعایت دقیق سهم هر یک از اجزای بتن می‌توان میزان دوام را افزایش داد. حداقل مقاومت فشاری 28 مگاپاسکال جهت حفظ دوام و بالابردن توان باربری بتن در روسازی پارکینگ مورد نیاز است [1]. در این تحقیق طرح‌های نمونه آزمایشی، نسبت‌های اختلاط جدول شماره 3 به کار گرفته شد. در این طرح نسبت آب به سیمان 0,38 درصد، وزن مخصوص بتن 2430 kg/m^3 ، اسلامپ پس از 5 دقیقه 13 سانتی‌متر و اسلامپ پس از افزودن 0,7% روان‌ساز 16 سانتی‌متر بوده است.

جدول 3- نسبت‌های اختلاط

مصلح	وزن در متر مکعب بتن (kg)
سیمان تیپ دو تهران	330
شن	750
ماسه	1150
آب	110
روان کننده	3

3- استفاده از میلگرد حرارتی

در این پروژه دال‌های بتنی با ابعاد 5 در 25 متر و با ضخامت 15 سانتی‌متر اجرا می‌شوند. شبکه میلگردهای $\Phi 8$ در فواصل 15 سانتی‌متری به عنوان آرماتورهای حرارتی در این دال‌ها اجرا گردید. در نتیجه تعداد 168 عدد میلگرد عمود بر راستای طولی و 34 میلگرد عمود بر راستای عرضی در هر دال مورد نیاز است.

جدول 4- وزن و تعداد میلگردهای هر دال

تعداد میلگرد $\Phi 8$ با طول 5 متر	تعداد $\Phi 8$ با طول 25 متر	وزن واحد طول د $\Phi 8 \text{ Kg/m}$	وزن کل میلگردهای یک دال kg
166	33	0,42	695,1



شکل 2- تیپ آرماتورهای حرارتی دال های بتنی

3-1- مزایا و معایب استفاده از میلگرد

مهم ترین مزیت استفاده از میلگرد، کنترل ترکها و پیشگیری از ایجاد درز در دال است. اما معایب آن عبارتند از:

- هزینه بالا
- مشکلات اجرایی در بتن ریزی و پخش بتن در زیر سفره میلگرد
- نیاز به نیروی انسانی بیشتر برای آرماتوربندی
- صرف زمان بیشتر

3-2- هزینه میلگرد مصرفی در هر دال

یکی از پارامترهای مهم در تصمیم گیری عوامل فنی برای انتخاب نوع مصالح و نحوه کار فارغ از الزامات فنی، مسایل اقتصادی و اتمام کار با حداقل هزینه است. در این بخش از این تحقیق هزینه خرید و دستمزد اجرای میلگرد در یک دال محاسبه می شود و در بخش نتیجه گیری، این مقدار با هزینه استفاده از دو الیاف فولادی و الیاف پایه پلی اتیلن مقایسه می شود.

وزن کل میلگرد 8 در هر پارت 5x25	=	تعداد میلگرد در عرض 166 × 5 = 830	جمع تعداد میلگرد طولی و عرضی به متر طول (8MM) 1,655	وزن هر متر طول 0.42	=	695.1
وزن کل میلگرد 8 در هر متر مربع	=	تعداد میلگرد در طول 33 × 25 = 825	مساحت هر پارت 125		=	5.6
مبلغ آرماتور 8 در هر متر مربع (ریال)	=	وزن کل میلگرد 8 در هر پارت 5x25 695.1	وزن کل میلگرد 8 در هر متر مربع 5.6	هزینه خرید هر کیلو آرماتور 8 (ریال) 22,000	×	122,338
مبلغ اسپیسر در هر متر مربع (ریال)	=	مبلغ هر اسپیسر 2,000	تعداد اسپیسر در هر متر مربع 4		×	8,000
هزینه هر متر مربع آرماتوربندی به همراه اسپیسر و دستمزد (ریال)	=	هزینه خرید هر متر مربع آرماتور (ریال) 122,338	مبلغ اسپیسر در هر متر مربع (ریال) 8,000	هزینه هر متر مربع دستمزد آرماتوربندی (ریال) 12,000	+	142,338
هزینه هر متر پارت آرماتوربندی به همراه اسپیسر و دستمزد	=	هزینه هر متر مربع آرماتوربندی به همراه اسپیسر و دستمزد 142,338	یک پارت (متر مربع) 125		×	17,792,200

شکل 3- چارت محاسبه هزینه آرماتوربندی هر دال

4- استفاده از الیاف

با توجه به اینکه هدف تمامی پروژه های عمرانی اتمام کار با کیفیت و سرعت بیشتر است، به منظور تسریع در عملیات بتن ریزی پیشنهاد گردید تا با جایگزینی الیاف به جای میلگرد، مدت زمان مورد نیاز برای آرماتوربندی در کارگاه صرفه جویی گردد. در عین حال کیفیت بتن اجرا شده با قبل تفاوتی نداشته باشد. در این پروژه از الیاف فولادی و الیاف پلیمری استفاده شد.

4-1- الیاف پایه پلی اتیلن

مشخصات کلی این نوع الیاف در جدول شماره 5 ارائه شده است. این نوع الیاف متشکل از مواد ترکیبی مختلف، ساخته شده از کوپلیمر یا پلی اتیلن 100% خالص متشکل از رشته‌های بسیار نازک پیچ خورده در هم و به صورت گره در آمده و تارهای شبکه‌ای مانند می‌باشد که باعث ایجاد یک سیستم بتن مسلح با کارایی و کیفیت بسیار بالا می‌شود [6]. این الیاف باعث کاهش جمع‌شدگی بتن تازه و سخت، افزایش ضربه‌پذیری، مقاومت در برابر گسیختگی و سختی بتن می‌شود. این الیاف ترکیبی رشته‌ای، به وسیله در هم آمیختن یک شبکه منسجم الیاف باعث ایجاد دوام طولانی مدت، افزایش مشخصه‌های سازه‌ای و کنترل ترک‌های ثانویه یا حرارتی در بتن می‌شود که دستیابی به این محصول حاصل تلاش‌ها و طراحی‌های طولانی مدت بوده است.

جدول 5- مشخصات الیاف پایه پلی اتیلن

مواد سازنده	کوپلیمری از پلی اتیلن PE
طبقه‌بندی نوع الیاف	ماکروسینتتیک
شکل	تارهای درهم تابیده شده و شبکه‌ای
رنگ	توسی
طول	54 میلی‌متر
قطر	0,34 میلی‌متر
نسبت طول به قطر	159
مدول الاستیسیته	5 GPa
تعداد تارهای الیافی	220000 رشته در هر کیلوگرم
مقاومت کششی	570-660 MPa
وزن مخصوص	0,91 گرم در سانتی‌مترمکعب
میزان مصرف	1-4,5 کیلوگرم در مترمکعب

بطور کلی از این الیاف در پروژه‌های اجرای بتن مانند کف‌سازی‌های صنعتی، عرشه پل‌ها، شاتکریت، محصولات پیش-ساخته و یا هر جای دیگری که کاهش مصرف آرماتور و یا حذف آن مد نظر باشد، کاربرد دارد.



شکل 3- الیاف پایه پلی اتیلن

4-2- الیاف فولادی

الیاف فولادی یکی از مصالح نوینی است که باعث ارتقاء برخی خواص مکانیکی بتن و کنترل ترک‌های ناشی از جمع‌شدگی بتن می‌گردد. الیاف فولادی بکار گرفته شده در این پروژه تولیدی از نوع Type I (Cold-drawn wire) مطابق استاندارد ASTM A^{۸۲۰} می‌باشد. این نوع شکل الیاف باعث توزیع یکنواخت‌تر الیاف در مخلوط بتن و حین اختلاط آن می‌شوند و اتصال

بهبتر اجزاء بتن سخت شده شامل سنگدانه‌ها و خمیر سیمان را در هنگام بارگذاری فراهم می‌کنند [7]. مشخصات کلی الیاف فولادی در جدول شماره 6 ارائه شده است.

جدول 6- مشخصات کلی الیاف فولادی

نوع الیاف	قطر (میلی‌متر)	نسبت طول بر سطح (میلی‌متر مربع)	مقاومت کششی (مگاپاسکال)
الیاف با قطر 0/8 میلی‌متر	0,82	0,51	1220
الیاف با قطر 1/0 میلی‌متر	0,99	0,79	1201



شکل 4- الیاف فولادی

تاثیر الیاف فولادی بر ویژگی‌های بتن تازه از جمله مواردی است که در اجرا می‌بایست مد نظر باشد. بتن باید کارپذیری کافی داشته باشد تا بتن‌ریزی، تراکم و پرداخت سطح بتن به خوبی انجام شود و در عین حال الیاف نیز به شکل یکنواخت توزیع شده و آب انداختگی و جداسدگی به حداقل برسد. مساحت سطح بالای الیاف فولادی باعث محدود شدن سیالیت و قابلیت حرکت مخلوط بتن می‌گردد. قفل‌شدگی این الیاف در یکدیگر و به دنبال آن تشکیل گلوله‌های الیاف و سنگدانه‌ها عامل دیگری است که موجب کاهش کارایی بتن حاوی الیاف فولادی می‌گردد.

4-2-1- نحوه اختلاط الیاف فولادی

افزودن الیاف باید در هنگام پیمانته کردن و یا اختلاط صورت گیرد. الیاف فولادی با نسبت طول به قطر کمتر از 50 را می‌توان بدون نگرانی از مشکلات مربوط به گلوله‌ای شدن و توزیع یکنواخت الیاف به مخلوط سیال بتن اضافه نمود. این در حالی است که در مورد الیاف فولادی با نسبت طول به قطر بیش از 60 بهتر است برای جلوگیری از گلوله‌ای شدن، الیاف به صورت بسته‌های الیافی بهم چسبیده مورد استفاده قرار گیرند. با توجه به اینکه الیاف مورد استفاده در این پروژه دارای نسبت طول به قطر بیشتر از 60 بود، الیاف در مرحله آخر پس از اختلاط تمام اجزای تشکیل‌دهنده بتن به کامیون مخلوط‌کن اضافه شد. اسلامپ بتن پیش از افزودن الیاف باید 25 الی 76 میلیمتر با توجه به مقدار الیاف مصرفی بیشتر از اسلامپ نهایی مورد نظر باشد. در این حالت الیاف باید با نرخ تقریبی 45 کیلوگرم در دقیقه به داخل قیف مخلوط‌کن در حالی که با سرعت حداکثر می‌چرخد، اضافه

شوند. باید دقت گردد الیاف فولادی به صورت توده نبوده تا تیغه‌های مخلوط‌کن آسیب نبیند. سپس سرعت مخلوط‌کن باید به همان سرعت توصیه شده برای اختلاط کاهش یافته و 40 الی 50 دور با این سرعت بچرخد [2].

3-4- هزینه استفاده از الیاف در هر دال

مقدار مصرف الیاف پایه پلی‌پروپیلن در هر متر مکعب بتن 0,5 کیلوگرم و مقدار مصرف الیاف فولادی در هر متر مکعب بتن 15 کیلوگرم است. با توجه به حجم 18,75 متر مکعبی در هر دال، مقدار 9,4 کیلوگرم الیاف پلی‌پروپیلن و 281 کیلوگرم الیاف فولادی در هر دال مورد استفاده قرار می‌گیرد.

حجم بتن هر پارت (متر مکعب)	=	مساحت هر پارت (متر مربع)	×	ارتفاع هر پارت (سانتی متر)	=	18.75
		125		0.15		
نسبت الیاف در هر پارت (کیلو گرم متر مکعب)	=	حجم بتن هر پارت (متر مکعب)	/	الیاف مورد نیاز در هر متر مکعب (کیلو گرم متر مکعب)	=	12.5
		18.75		1 + 0.5 = 1.5		
هزینه الیاف در هر پارت (ریال)	=	نسبت الیاف در هر پارت (کیلو گرم متر مکعب)	×	هزینه الیاف مورد نیاز در هر متر مکعب (ریال)	=	10,250,000
		12.5		450,000 + 370,000 = 820,000		

شکل 5- چارت محاسبه هزینه الیاف پلی‌اتیلن در هر دال

حجم بتن هر پارت (متر مکعب)	=	مساحت هر پارت (متر مربع)	×	ارتفاع هر پارت (سانتی متر)	=	18.75
		125		0.15		
الیاف فولادی در هر پارت (کیلو گرم)	=	حجم بتن هر پارت (متر مکعب)	×	الیاف مورد نیاز در هر متر مکعب (کیلو گرم متر مکعب)	=	281.3
		18.75		15		
هزینه الیاف فولادی در هر پارت (ریال)	=	وزن الیاف در هر پارت (کیلو گرم)	×	هزینه الیاف مورد نیاز در هر متر مکعب (ریال)	=	11,250,000
		281.3		40,000		

شکل 6- چارت محاسبه هزینه الیاف فولادی در هر دال

5- مقایسه فنی و اقتصادی

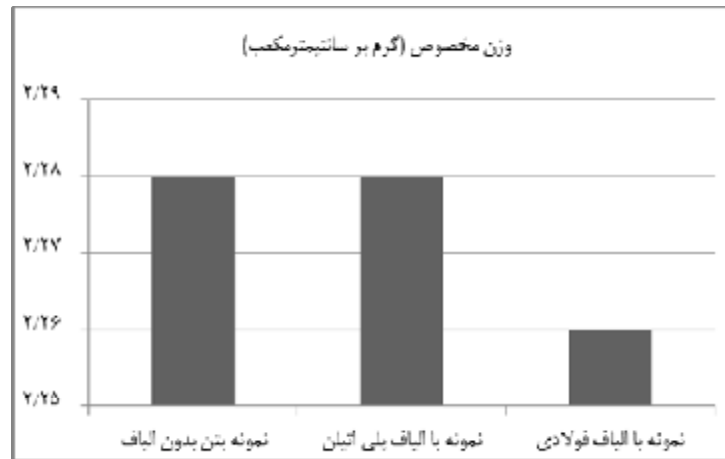
در این بخش، مشخصات فیزیکی و مکانیکی نمونه‌هایی که در آن‌ها از هر سه روش مورد بحث در این تحقیق استفاده شده، به همراه موارد اقتصادی اجرای آن‌ها با یکدیگر مقایسه می‌شوند.

1-5- مقایسه مشخصات فیزیکی و مکانیکی

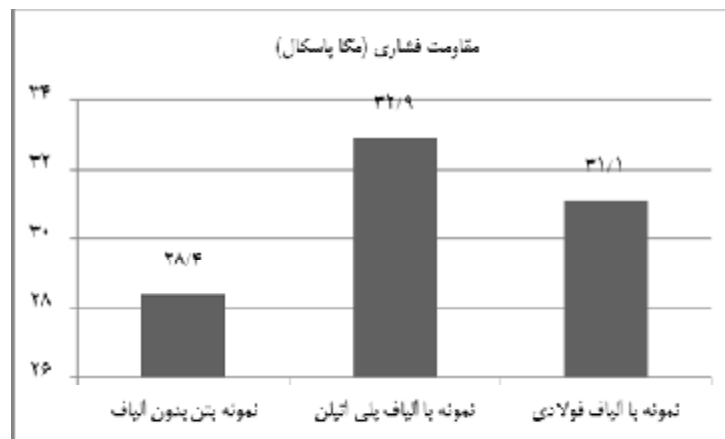
آزمایش مقاومت فشاری، مطابق استاندارد BS1881-116 [3] انجام شده است. همه آزمایش‌های مذکور در سنین 28 و 90 روزه نمونه‌ها انجام شده است. مقاومت فشاری نمونه‌های کارگاهی ملاک مقایسه مشخصات فیزیکی و مکانیکی سه نمونه بوده است. حداقل مقاومت فشاری 28 مگاپاسکال در این پروژه مد نظر بوده است.



نمودار 5- مقایسه نیروی کسیختگی سه نمونه



نمودار 6- وزن مخصوص سه نمونه



نمودار 7- مقایسه مقاومت فشاری سه نمونه

5-2- مقایسه اقتصادی

محاسبه هزینه‌ها برای هر سه نمونه ذکر شده در این تحقیق بر اساس قیمت‌های نیمه اول سال 93 انجام شده است.



نمودار 8- مقایسه هزینه‌های سه نمونه

6- نتیجه گیری

با توجه به نتایجی که در بالا به دست آمد، استفاده از الیاف و جایگزینی آن با میلگرد در دال‌های بتنی پارکینگ از نظر فنی و اقتصادی کاملاً قابل توجیه خواهد بود. مشخصاً نتایج به دست آمده از الیاف پلی‌اتیلن مقدار کمی نسبت به الیاف فولادی شرایط فنی و اقتصادی بهتری را دارا می‌باشد. اما انتخاب استفاده از هر کدام از این دو الیاف به مسئله دسترسی به آن‌ها با توجه به مکان و زمان اجرای پروژه متفاوت است. خلاصه نتایج تحقیق شرح زیر است:

- استفاده از الیاف پلی‌اتیلن باعث کاهش 43 درصدی هزینه‌ها نسبت به استفاده از میلگرد برای هر دال شده است.
- استفاده از الیاف پلی‌اتیلن سبب افزایش 15 درصدی مقاومت نمونه بتنی دال شده است.
- استفاده از الیاف فولادی باعث کاهش 37 درصدی هزینه‌ها نسبت به استفاده از میلگرد برای هر دال شده است.
- استفاده از الیاف فولادی سبب افزایش 10 درصدی مقاومت نمونه بتنی دال شده است.

7- مراجع

- [^۱].Guide for Design and Construction of Concrete Parking Lots, ACI 330R-01 Report.
- [^۲].ASTM C1116-10,Standard Specification for Fiber-reinforced Concrete.
- [^۳].BS 1881-116. British Standard. Testing concrete Method for determination of compressive strength of concrete cubes;1983.
- [^۴].Naaman, A.E. (1985). Fiber reinforcement for concrete, *Concrete International : Design and Construction*, 7(3), 21-25.
- [^۵].Majumdar, A.J. (1976). Properties of fiber cement composites, *proceedings of the RILEM Symposium on the Fiber Reinforced Cement and Concrete*, 279-314, London.
- [^۶].Krenchel, H., and Shah, S.P. (1985). Application of polypropylene fibers in Scandinavia, *Concrete International : Design and Construction*, 7(3), 32-34.
- [^۷].Bayasi, Z., and Soroushian, P. (1992). Effect of steel fiber reinforcement on fresh mix properties of concrete, *ACI Materials Journal*, 89(4),369-374.