

بررسی پارامترهای مقاومتی و نفوذپذیری بتن پلاستیک مسلح به الیاف پلی پروپیلن

سعید سعیدی جم *

استادیار مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد همدان

آرزو عظیمی

دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد ملایر

چکیده

بتن پلاستیک نوعی بتن است که در آن علاوه بر اجزای اصلی تشکیل دهنده بتن، از خاک رس حاوی مونت موریلونیت نیز استفاده می‌شود. مقاومت فشاری بتن پلاستیک نسبت به بتن معمولی کمتر بوده و یکی از ویژگی‌های مهم آن شکل‌پذیری قابل توجه آن است. در این پژوهش با حفظ شکل‌پذیری بتن پلاستیک، با افزودن الیاف پلی پروپیلن مقاومت آن افزایش یافته و برای این منظور طرح اختلاط با نسبت آب به سیمان برابر ۱/۱۷ و نسبت بتنونیت به سیمان ۰/۱۲ و با درصد‌های مختلف الیاف شامل صفر، ۰/۲۵ و ۰/۵ درصد ساخته شده و نتایج آزمایش‌های مقاومت فشاری، کششی و نفوذپذیری با یکدیگر مقایسه شده است. نتایج به‌دست آمده حاکی از آن است که مقاومت در سن ۲۸ روز به‌طور چشمگیری افزایش یافته است در حالی که در سنین اولیه تا ۷ روز مقاومت در حدود بتن معمولی بوده است و تأثیر افزودن الیاف در محدوده اشاره شده بر مقاومت کششی بیش از مقاومت فشاری بوده است. با افزودن الیاف به بتن پلاستیک شکل‌پذیری و مقاومت طاقت بر طبق نمودارهای تنش - کرنش، به‌طور قابل ملاحظه‌ای بهبود یافته است. همچنین بر خلاف بتن معمولی با افزودن الیاف نفوذپذیری بتن افزایش یافته است.

واژه‌های کلیدی: بتن پلاستیک، الیاف پروپیلن، مقاومت فشاری، مقاومت کششی، نفوذپذیری.

۱- مقدمه

بتن تا سنین بالا همچنان ادامه داشته باشد و افزایش مقاومت در بتن تا یک سال ادامه پیدا کند [۳]. همچنین بتنونیت با خاصیت جذب آب بالا و خاصیت تیکروسکوپیک، آب را در داخل بتن نگه داشته و از خروج و از دست رفتن آب بتن تا حد بسیار زیادی جلوگیری خواهد کرد. این موضوع به دلیل نسبت آب به سیمان بالا و روانی زیاد بتن پلاستیک از اهمیت بالایی برخوردار بوده و باعث می شود که فرصت کافی برای تکمیل عمل هیدراتاسیون سیمان وجود داشته باشد. با توجه به حجم بالای بتن ریزی، عیار سیمان در بتن پلاستیک حدود ۲۰۰ تا ۲۵۰ انتخاب می شود و انتخاب این عیار سیمان جنبه اقتصادی نیز خواهد داشت. با توجه به تعریف بتن سازه ای (مقاومت فشاری بالای بیست مگا پاسکال)، نمی توان بتن پلاستیک را در این گروه برشمرد. به دلیل حضور این بتن در فضای خاک و فشارهای ناشی از خاک یا آب، لازم است که این بتن خواص شکل پذیری مطلوبی داشته و رفتار نرم تری از خود در برابر تنش های وارده نشان دهد [۴].

موضوع مورد بررسی تأثیر افزودن الیاف بر پارامترهای مختلف بتن پلاستیک می باشد. در تسلیح الیافی بتن در جریان عمل اختلاط الیاف در درون بتن به طور نامنظم و در جهات مختلف پخش می شوند [۵]. در بتن تازه، با تعیین مقدار، نوع و اندازه مناسب الیاف، جمع شدگی و به تبع آن ترک ها به میزان قابل توجهی کاهش می یابند و از طرفی در بتن سخت شده، الیافی که به طور نامنظم پخش شده اند با متوقف کردن رشد ترک های ریز و ممانعت از ائتلاف آن ها و پل زدن ترک های بزرگ و انتقال نیرو از عرض این ترک ها، مقاومت کششی و فشاری را افزایش و نفوذپذیری را به میزان قابل توجهی کاهش می دهند در واقع الیاف با ایجاد پیوندهای مختلف با اجزای بتن، موجب انسداد و یا حبس تخلخل بتن شده و موجب کاهش نفوذپذیری و تکمیل هیدراتاسیون آن می گردند [۶].

مطالعات قبلی نشان می دهد که الیاف در نمونه های بتنی به صورت یک سری بست های کششی عمل می کنند و با بالا رفتن سن بتن نیز با تثبیت موقعیت شان در بتن عملکردشان بهتر می شود. الیاف بعد از ایجاد ترک نیز می توانند نقش پل را در ساختار بتن ایجاد نمایند و با عبور تنش کششی از عرضشان مقاومت کششی نهایی را بالا ببرند ولی باید توجه داشت که مقدار الیاف نباید از یک مقدار معین تجاوز نماید زیرا با افزایش درصد الیاف به ویژه در طول های بلندتر

با گسترش علم در زمینه تولید فرآورده های عمرانی رسیدن به بتنی با کاربرد ویژه جهت استفاده در دیوارهای آب بند سدها منجر به تولید بتن پلاستیک شده است. کاربرد اصلی بتن پلاستیک، استفاده در دیوارهای آب بند سدها و یا مخازن به دلیل نفوذپذیری کم آن بوده و با توجه به قرارگیری این بتن در محیط هایی مانند خاک و با هدف آب بند کردن محیط، طرح این بتن به گونه ای پیش رفته است که منجر به روانی بسیار بالا و مقاومت های کم شده است. تفاوت عمده در طرح اختلاط بتن پلاستیک با بتن معمولی نسبت آب به سیمان زیاد و افزوده شدن نوعی خاک رس (معمولاً از نوع بتنویت) به اجزای اصلی بتن می باشد [۱]. نوعی خاک رس که از هوازدگی شیمیایی سنگ ها حاصل شده است و کانی غالب در آن مونت موریلونیت است. از جمله کانی های دیگر در این نوع خاک کائولینیت است. از ویژگی های اصلی این خاک می توان به چسبندگی و خاصیت جذب آب بسیار زیاد و نیز خواص خمیری منحصربه فرد اشاره نمود. ذرات بتنویت کلئیدی بوده و در اثر اختلاط با آب ژلی با خاصیت تیکروسکوپیی تشکیل می دهند که در اثر تحریک مکانیکی به حالت ذرات معلق درمی آیند. در مخلوط های رس با سیمان، خاصیت تیکروسکوپیی باعث تعلیق دانه های سیمان شده و از آب انداختن بتن جلوگیری می کند. در حین سخت شدن بتن، رس کاری انجام نمی دهد و گیرش نهایی بیشتر متأثر از شرایط محیطی است. در بتن پلاستیک هر چه مقدار رس کمتر باشد مقاومت بتن بیشتر خواهد بود، از طرف دیگر به خواص تیکروسکوپیی رس ها نیاز است، به همین دلیل از رس های با خاصیت تیکروسکوپیی بالا استفاده می شود که بهترین آن ها مونت موریلونیت است.

نسبت آب به سیمان در طرح های مختلف بتن پلاستیک ممکن است بین ۱ تا ۲ متغیر باشد که حدود ۴ تا ۸ برابر بتن معمولی بوده و به دلیل استفاده از نسبت های آب به سیمان زیاد، مقاومت این نوع بتن مقدار کمی در حدود بیست درصد بتن معمولی خواهد بود. نسبت بتنویت به سیمان، پارامتر تأثیرگذار دیگری در طرح اختلاط بتن پلاستیک محسوب می شود و معمولاً میزان استفاده بتنویت بسته به طرح بین ۲۰ تا ۳۰ کیلوگرم در مترمکعب می باشد [۲]. بتنویت نقش چسبندگی در بتن پلاستیک ایفا نکرده و تنها عمل هیدراتاسیون را به تعویق انداخته و باعث می شود که رشد مقاومتی

۲- مصالح مصرفی

۲-۱- مصالح سنگی

سنگ دانه مورد استفاده از لحاظ شکل ظاهری شکسته بوده و از معادن سنگ اطراف همدان توسط شرکت مهر از بتن تهیه شده که ویژگی‌های آن در جدول‌های ۱ و ۲ ارائه شده است.

۲-۲- سیمان

در این پژوهش از سیمان تپ ۲ تولیدی کارخانه سیمان هگمتان استفاده شده است که مشخصات آن در جدول ۳ ذکر شده است.

جدول ۱- دانه‌بندی سنگ دانه‌های مورد استفاده (درصد تجمعی عبوری)

اندازه الک [mm]	نمره الک	شن بادامی	شن نخودی	ماسه
۱۹	۳/۴	۹۶/۴۵	۱۰۰	۱۰۰
۱۲/۵	۱/۲	۴/۶۴	۹۹/۹۴	۱۰۰
۹/۵	۳/۸	۰/۶۷۶	۸۶/۴۲	۱۰۰
۴/۷۵	۴	۰	۷/۴۲	۸۹/۶۸
۲/۳۶	۸	۰	۰	۶۴/۱۸
۱/۱۸	۱۶	۰	۰	۴۵/۸۵
۰/۶	۳۰	۰	۰	۲۱
۰/۳	۵۰	۰	۰	۱۰/۰۲
۰/۱۵	۱۰۰	۰	۰	۵/۵۹
۰/۰۷۵	۲۰۰	۰	۰	۰

جدول ۲- مشخصات فیزیکی مصالح سنگی

شن بادامی	شن نخودی	ماسه
۲/۷۱	۲/۶۶	۲/۵۵
۱	۱/۰۱	۳/۵۲
ρ _{ss0}	جذب آب (%)	

جدول ۳- مشخصات سیمان مصرفی

مشخصات	سطح ویژه مخصوص (cm ² /g)	زمان گیرش اولیه (دقیقه)	مقاومت فشاری (kg/cm ²)		
			زمان گیرش نهایی (دقیقه)	۳ روزه	۷ روزه
نتایج	۳۰۴۱	۱۱۰	۱۶۰	۲۷۰	۳۹۳

۲-۵- الیاف پروپیلن

الیاف مورد استفاده در این پژوهش از نوع پلی پروپیلن بوده و ویژگی‌های الیاف آن در جدول ۵ ارائه شده است.

۲-۳- طرح اختلاط و آماده‌سازی نمونه‌ها

در رابطه با طرح مخلوط بتن پلاستیک راهکار واحدی وجود ندارد و با توجه به نیازهای پروژه و خواسته‌های مدنظر نسبت‌های مصالح داده ارائه می‌شود و از طریق ساخت نمونه و آزمایش بر روی

الیاف، احتمال انباشتگی افزایش یافته و عمل انباشتگی موجب ضعف کشش می‌گردد لذا تعیین مقدار بهینه ضروری خواهد بود [۷].

از موارد قابل بررسی، درصد مناسب افزودن الیاف در انواع بتن، نحوه صحیح اختلاط و بررسی اقتصادی و کاربردی بودن این روش است. با توجه به حضور بتن پلاستیک در محیط خاکی و در معرض رطوبت بودن دائمی آن، لازم است تا در انتخاب نوع الیاف دقت شود. همچنین باید درصد و نوع الیاف به گونه‌ای انتخاب شوند که تأثیر منفی کمتری بر روی کارایی و روانی بتن گذاشته و از لحاظ اقتصادی نیز قابل توجه باشد. در بین الیاف‌های فلزی، شیشه‌ای و پروپیلن، الیاف پروپیلن بهترین عملکرد را برای افزودن به بتن پلاستیک خواهند داشت، چراکه علاوه بر خاصیت آب‌گریز بودن و تأثیر نامطلوب از حضور آب، دارای وزن مخصوص بسیار کم بوده و در وزن کم حجم زیادی از الیاف را تأمین می‌نماید، همچنین این الیاف به دلیل شکل‌پذیری بالا به خوبی در داخل بتن توزیع شده و در قرارگیری مصالح در کنار یکدیگر و تراکم، اثر نامطلوب کمی دارد [۸ و ۹]. استفاده اصلی از بتن پلاستیک در دیوار آب‌بند سدهای خاکی بوده و در دیوار آب‌بند خاک‌های شنی ریز، زمین‌های سست و اشیاع و خاک‌های ریزدانه، استفاده از بتن پلاستیک نتایج بهتری نسبت به روش‌های دیگر مانند تزریق داشته است [۱۰ و ۱۱ و ۱۲]. مطالعه کمی بر اثر حضور الیاف در بتن پلاستیک در ادبیات فنی موجود است لذا این تحقیق به این موضوع می‌پردازد.

۲-۳- بنتونیت

در جدول ۴ مشخصات و درصد مواد تشکیل دهنده بنتونیت مورد استفاده ذکر شده است.

۲-۴- آب

آب مورد استفاده در ساخت طرح‌های مخلوط از آب شرب شهر همدان تأمین شده است که میزان PH آن ۷/۵ و غلظت یون کلرید آن نیز ۰/۰۱۳۴ درصد گزارش شده است.

جدول ۶- مقدار مصالح مصرفی برای ساخت ۱ مترمکعب بتن پلاستیک

مصالح مصرفی	(Kg/m ³)
سیمان	۲۴۶
بتونیت	۲۹
آب	۲۸۷
ماسه	۸۱۰/۶۵
شن نخودی	۴۲۳/۸۷
شن بادامی	۳۳۰/۵۶

جدول ۷- مقدار مصالح مصرفی برای ساخت ۱ مترمکعب بتن معمولی

مصالح مصرفی	Kg/m ³
آب	۱۸۹
ماسه	۹۴۱/۶
شن نخودی	۲۲۰
شن بادامی	۵۹۸/۴

۴- نتایج آزمایش های مکانیکی

۴-۱- مقاومت فشاری

نتایج آزمایش های فشاری بتن معمولی همراه با الیاف در جدول ۸ ارائه شده است. کدهای catfnc به کار رفته در جدول ۸ به ترتیب بیانگر بتن معمولی، درصد الیاف، مقاومت کششی و مقاومت فشاری می باشد.

جدول ۸- مقاومت فشاری نمونه های بتن معمولی همراه با الیاف

ردیف	کد طرح	w/c=0.45		
		مقاومت فشاری ۷ روزه (MPa)	مقاومت فشاری ۲۸ روزه (MPa)	مقاومت فشاری ۴۲ روزه (MPa)
۱	ncf0c	۱۹	۲۸	۳۰
۲	ncf0.25c	۲۰	۳۴	۳۸
۳	ncf0.5c	۱۸	۳۳	۳۸

سپس نمونه های بتن پلاستیک بدون حضور الیاف، جهت تهیه نمونه نرمال برای مقایسه ساخته شدند. در ادامه با افزودن الیاف به طرح اولیه روند تغییرات مورد بررسی قرار گرفته است. نمونه ها

نمونه ها، ویژگی های بتن کنترل می شود. به طور مثال اگر در کاری محدوده معینی از اسلامپ مدنظر باشد با ساختن چند طرح مختلف به صورت آزمایشی و با تغییر مقادیر مصالح، طرح مخلوط مطلوب حاصل می شود. در این پژوهش هدف بررسی تغییرات مقاومتی نمونه ها بوده است و مقادیر انتخاب شده در جدول ۶ ارائه شده است. در طرح اختلاط بتن پلاستیک مورد بررسی در این پژوهش باهدف دستیابی به مقاومت بالا بر مبنای پیش ساخت های آزمایشی و کنترل مقادیر، نسبت آب به سیمان برابر ۱/۱۷ و مقادیر نسبت بتونیت به سیمان نیز ۰/۱۲ اختیار شده است. مقادیر انتخاب شده برای ساخت نمونه های بتن پلاستیک به شرح جدول ۶ گزیده شده اند.

در بتن معمولی نیز نسبت آب به سیمان برابر ۰/۴۵ و مقدار عیار سیمان ۴۲۰ اختیار شده است. مقادیر انتخاب شده برای ساخت نمونه های بتن معمولی مطابق جدول ۷ می باشد.

جدول ۴- مشخصات بتونیت مصرفی

characteristic	Quantity measured
LL	۳۱۴/۵
PI	۲۸۳/۳
Gs	۲/۷۹
Classification	CH
Clay Fraction	۷۲
Silt Fraction	۲۳
Sand Fraction	۱
W _{Opt} %	۲۳
Dry density	۱/۵۶
SSA(m ² /gr)	۴۱۸
CEC(cmol/kg)	۶۸/۲

جدول ۵- مشخصات الیاف مورد استفاده

۱۵	درصد افزایش طول	-۳۵۰۰	مدول الاستیسیته (N/mm ²)	۳۹۰۰
۰	درصد جذب رطوبت	۰/۹۱	چگالی (kg/dm ³)	
۳۰۰	مقاومت کششی (N/mm ²)	۱۲	طول (mm)	
		۱۸	قطر اسمی (μm)	
۱۶۰-۱۶۵	دمای ذوب (°C)	۳۶۰	دمای احتراق (°C)	
بسیار پایین	هدایت الکتریکی	بالا	مقاومت در برابر حملات قلیایی	

مقاومت با افزایش سن نیز مربوط به تکمیل روند هیدراسیون و تشکیل چسب قوی تر در بین ذرات دیگر می باشد. حضور بنتونیت باعث کاهش سرعت هیدراسیون می شود. از دیگر دلایل مقاومت-های کم بتن پلاستیک همان طور که قبلاً اشاره شد نسبت آب به سیمان زیاد است. آنچه از تغییرات مقاومتی برمی آید این است که در سن ۷ روزه الیاف باعث کاهش اندکی در مقاومت شده اند و هرچه میزان الیاف افزایش یافته نیز مقاومت کم تر شده است. دلیل این امر را می توان در این موضوع بیان کرد که الیاف باعث حبس تخلخل در بتن و ممانعت از خروج آب شده و این باعث می شود بتن مدت بیشتری در حالت خمیری باقی بماند که در سنین اولیه تأثیر مقاومتی معکوس ممکن است نشان دهند ولی چون حضور آب در بتن به کامل شدن هیدراسیون کمک می کند در سنین بالاتر باید شاهد افزایش مقاومت در نمونه ها باشد. با افزایش سن تا ۲۸ روز شاهد تأثیر الیاف بر نمونه ها بوده و ملاحظه می شود در حضور ۰/۵ درصد الیاف بیشترین مقاومت حاصل شده است. البته فاصله بین ۰/۵ و ۰/۲۵ درصد الیاف در این سن کم بوده و نسبت به نمونه-های بدون الیاف شاهد رشد ۱۲ درصدی در مقاومت فشاری بوده است. با افزایش سن تا ۴۲ روز ملاحظه شد که تأثیر الیاف بیشتر شده و فاصله بین درصدهای مختلف افزایش یافته است. در این سن با افزایش ۰/۵ درصد الیاف شاهد رشد ۱۸ درصدی در مقاومت فشاری نسبت به نمونه بدون الیاف بوده است. همچنین اختلاف بین ۰/۲۵ و ۰/۵ درصد الیاف حدود ۵ درصد است. لذا به نظر می رسد الزاماً افزایش درصد الیاف نمی تواند روند رشد مقاومتی را افزایش دهد و این بیانگر آن است که به دلایل اجرایی و سهولت ترکیب استفاده از درصدهای پایین تر ممکن است در کارهای بزرگ منطقی تر باشد.

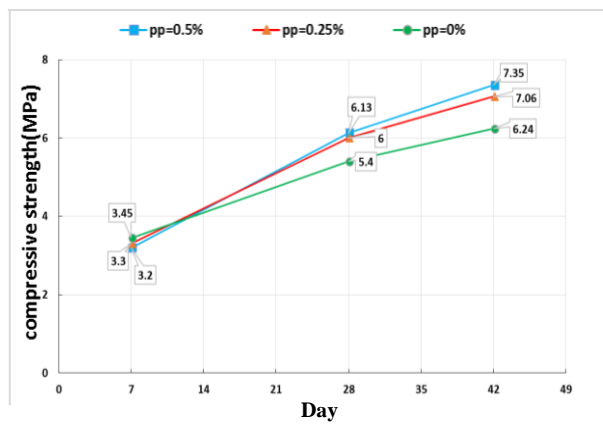
۴-۲- مقاومت کششی

برای مقاومت کششی بتن معمولی نتایج به صورت جدول ۱۰ گزارش شده است. همچنین نسبت مقاومت کششی به مقاومت فشاری بتن معمولی برای نمایش تأثیر الیاف ارائه شده است (جدول ۱۰). همان طور که ملاحظه می شود حضور الیاف باعث بهبود مقاومت ها و افزایش چشمگیر آن ها شده و ملاحظه می شود که الیاف باعث بهبود نقطه ضعف بتن در مقاومت کششی شده است و این موضوع می تواند در کاهش ترک های کششی تأثیر به سزایی

تحت آزمایش قرار گرفته و نتایج آزمایش های مقاومتی در سنین ۷، ۲۸ و ۴۲ روزه گزارش داده شدند (جدول ۹). البته نمونه ها تا سنین بالاتر نیز رشد مقاومت خواهند داشت که با توجه به ماهیت مقایسه-ای در تحلیل نتایج به همین مقدار قناعت شده است. لازم به ذکر است که طبق طرح اختلاط انتخابی، نسبت آب به سیمان و نسبت بنتونیت به سیمان انتظار بتنی با ویژگی های مقاومتی بالا می رفت. در واقع می توان بیان کرد که این طرح باهدف رسیدن به مقاومت-های بالا انتخاب شده است و سایر ویژگی ها مانند نفوذپذیری یا کارایی در اولویت های بررسی بعدی قرار داشته اند. در جدول ۹ کد طرح PC بیانگر بتن پلاستیک می باشد.

جدول ۹- نتایج مقاومت فشاری نمونه های بتن پلاستیک

کد طرح	w/c=1.17, B/C=0.12		
	مقاومت فشاری ۷ روزه (MPa)	مقاومت فشاری ۲۸ روزه (MPa)	مقاومت فشاری ۴۲ روزه (MPa)
۱ Pcf0c	۳/۴۵	۵/۴	۶/۲۴
۲ Pcf0.25c	۳/۳	۶	۷/۰۶
۳ Pcf0.5c	۳/۲	۶/۳	۷/۳۵



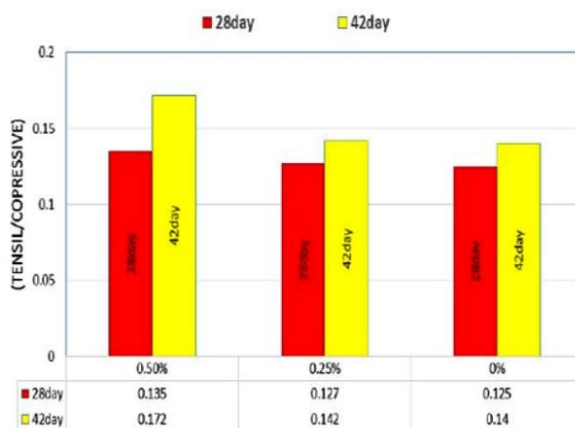
شکل ۱- نتایج مقاومت فشاری نمونه های بتن پلاستیک

همان طور که در شکل ۱ ملاحظه می شود در سنین پایین مقاومت فشاری بسیار اندکی از نمونه ها مشاهده شده است. با افزایش سن نمونه ها شاهد افزایش مقاومت فشاری بوده و نکته قابل توجه رشد مقاومت ۴۲ روزه نسبت به ۲۸ روزه می باشد. با توجه به نوع بهره وری بتن پلاستیک در درازمدت به نظر می رسد بررسی سنین بالاتر حتی تا یک سال نیز خالی از لطف نباشد. دلیل افزایش

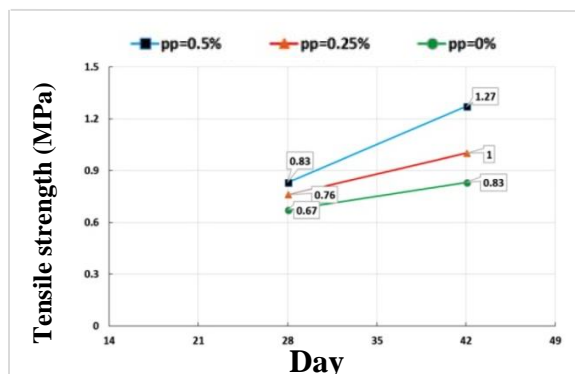
نمونه‌ها باشد. این نسبت در سن ۲۸ روزه حدود $(\frac{1}{8})$ می‌باشد و برای سن ۴۲ روزه به حدود $(\frac{1}{7})$ افزایش می‌یابد. در نمونه‌های پرالیاف (۵/۰ درصد) این نسبت بازهم افزایش یافته که این می‌تواند به دلیل تراکم الیاف و تحمل کششی آن‌ها در سنین بالا باشد، چراکه در این سن بیرون کشیدگی الیاف با مقاومت بیشتری مواجه خواهد شد.

جدول ۱۲- نتایج مقاومت کششی نمونه‌های بتن پلاستیک با ۰/۲۵ درصد الیاف

ردیف	کد طرح	w/c=1.17, B/C=0.12	
		مقاومت فشاری ۲۸ روزه (MPa)	مقاومت فشاری ۴۲ روزه (MPa)
۱	Pcf0t	۰/۶۷	۰/۸۳
۲	Pcf0.25t	۰/۷۶	۱
۳	Pcf0.5t	۰/۸۳	۱/۲۷



شکل ۲- روند رشد مقاومت کششی بتن پلاستیک با زمان (W/C=1.17, B/C=0.12)



شکل ۳- مقایسه بین نسبت مقاومت کششی به فشاری (W/C=1.17, B/C=0.12)

داشته باشد. با توجه به نتایج آزمایش مقاومت کششی که در جدول ۱۰ ارائه شده است، تأثیر مثبت الیاف بر مقاومت کششی مشهود بوده است و علت این امر نقش الیاف در حفظ انسجام و جلوگیری از ترک خوردگی بتن می‌باشد.

جدول ۱۰- مقاومت کششی نمونه‌های بتن معمولی همراه با الیاف

ردیف	کد طرح	w/c=0.45	
		مقاومت فشاری ۷ روزه (MPa)	مقاومت فشاری ۲۸ روزه (MPa)
۱	ncf0t	۲/۱	۳/۸
۲	ncf0.25t	۲/۲	۴/۹
۳	ncf0.5t	۲/۲	۴/۷۵

جدول ۱۱- نسبت مقاومت کششی به مقاومت فشاری نمونه های

بتن معمولی سن ۲۸ روزه

کد طرح	ncf0	ncf0.25	ncf0.5
نسبت (ratio)	$(\frac{1}{7/4})$	$(\frac{1}{6/9})$	$(\frac{1}{6/8})$

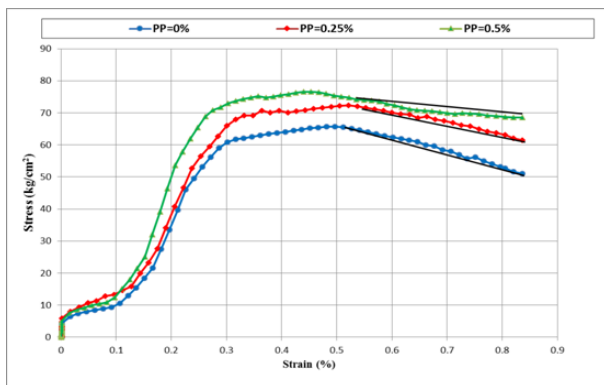
برای بررسی پارامتر مقاومت کششی بتن پلاستیک از سنین ۲۸ و ۴۲ روز استفاده شده است. البته انتظار می‌رود نمونه‌های بتن پلاستیک چندان مقاومت کششی از خود نشان ندهند. در رابطه با تغییرات مقاومت کششی از نمودار شکل ۲ برمی‌آید که با افزایش الیاف این مقاومت افزایش یافته است. در سنین بالاتر تأثیر الیاف بیشتر شده است، به نحوی که در سن ۴۲ روزه با افزودن ۰/۵ درصد الیاف شاهد رشد ۵۰ درصدی مقاومت کششی نسبت به نمونه بدون الیاف بوده است.

افزایش مقاومت فشاری و کششی با افزودن الیاف (در صورت اختلاط و تراکم مطلوب) امری بدیهی می‌باشد. در بتن پلاستیک این که بتوان با حفظ شکل پذیری، مقاومت را بالا برد از اهمیت بسیاری برخوردار است. این موضوع در نمودارهای تنش - کرنش بیشتر مشهود خواهد بود.

مقایسه بین نسبت تنش فشاری به کششی در سنین مختلف در قالب نمودار شکل ۳ ارائه شده است.

مقایسه نتایج مقاومت فشاری و کششی حاکی از آن است که در سنین بالاتر مقاومت کششی رشد بیشتری نسبت به مقاومت فشاری دارد و این می‌تواند به دلیل حضور الیاف و همچنین نقش بتونیت در

۵- نتایج آزمایش‌های تنش - کرنش



شکل ۴- مقایسه بین نمودار تنش - کرنش و ناحیه نرم شونده گی نمونه‌های بتن پلاستیک با درصد مختلف الیاف

در رابطه با قسمت نرم شونده گی نمودار، یعنی قسمتی که با کاهش مقاومت شاهد افزایش کرنش‌ها بوده است، نیز ملاحظه شد که نمونه‌های حاوی الیاف شیب ملایم تری را در بازگشت طی می‌کنند و هرچه درصد الیاف افزایش یابد این شیب نیز کم خواهد شد. این موضوع می‌تواند روند شکست نمونه‌ها را تحت تأثیر قرار داده و در هنگام شکست ملاحظه شد نمونه‌ها با تحمل کرنش‌های زیاد به نرمی دچار شکست می‌شوند. این رفتار شکل پذیر در رابطه با دیوارهای آب بند که در داخل خاک قرار دارند و ممکن است دستخوش تنش‌های ناهمسان و کرنش‌های مختلف در قسمت‌های مختلف دیوار باشند می‌تواند بسیار مورد توجه قرار گیرد.

۶- نفوذپذیری

در این قسمت نتایج آزمایش‌های نفوذپذیری ارائه شده است. با توجه به نوع استفاده بتن پلاستیک، این پارامتر از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در جدول ۱۳ نتایج نفوذپذیری نمونه‌ها ارائه شده است.

جدول ۱۳- نتایج نفوذپذیری نمونه‌های بتن پلاستیک

نمونه	کد نمونه	نفوذپذیری (cm/sec)
صفر درصد الیاف	pcf0p	2×10^{-9}
۰/۲۵ درصد الیاف	pcf0.25p	5×10^{-8}
۰/۵ درصد الیاف	pcf0.5p	7×10^{-8}
بتن معمولی	Ncf0p	2×10^{-10}

در بتن پلاستیک سعی می‌شود نمونه‌ها تا رسیدن به خرابی، تغییرشکل‌های زیادی را تحمل کنند. در واقع در این نوع بتن‌ها صرفاً داشتن مقاومت برای کاربرد اهمیتی ندارد و اگر سختی دیوار آب‌بند بتنی نسبت به محیط اطراف خیلی زیاد باشد، بتن قادر نیست در هنگام وارد شدن بار، خود را با خاک هماهنگ سازد و همین امر موجب شکست‌های ترد در بتن خواهد شد. در این دیوارها لازم است تا حد ممکن سختی دیوار را پایین آورده تا بتواند رفتار بهتری را در هنگام اعمال تغییرشکل در خاک از خود نشان دهد. در بتن پلاستیک هرچه مقدار بنتونیت افزایش یابد سختی بتن کاهش خواهد یافت. انتظار می‌رود با افزودن الیاف به نمونه‌ها میزان کرنش قابل تحمل افزایش یابد. نقش اصلی الیاف پل زدن در عرض ترک‌هایی است که در بتن بارگذاری شده، توسعه یافته‌اند. اگر الیاف از مقاومت و سختی کافی برخوردار باشند و اگر آن‌ها بتوانند پیوستگی کافی با ماتریس کسب کنند، تمایل خواهند داشت که عرض ترک‌ها را کوچک نگه دارند و اجازه می‌دهند که بتن الیافی توسط ظرفیت کرنش به نسبت زیاد، در مرحله بعد از ترک خوردگی (یا نرم شدگی کرنش) در مقابل تنش‌های قابل توجه مقاومت کنند. به این ترتیب الیاف می‌توانند مقدار چشمگیری از انعطاف پذیری پس از ترک خوردگی را مهیا کنند. به عبارت دیگر الیاف مقاومت طاق را افزایش می‌دهند. منظور از مقاومت طاق، سطح زیر نمودار تنش - کرنش تا تغییرشکل معین است که در واقع انرژی جذب شده توسط بتن الیافی را مشخص می‌کند. با اندازه گیری این سطح مشخص می‌شود الیاف باعث افزایش با ارزشی در مقاومت طاق نمونه‌ها می‌شوند. همچنین هرچه درصد الیاف افزایش یابد این تأثیر بیشتر خواهد بود.

همان‌طور که از شکل ۴ مشخص است با افزودن الیاف به نمونه‌ها مقاومت طاق افزایش یافته است و هرچه درصد الیاف بیشتر بوده این مقاومت نیز رشد نموده است.

نکته دیگر در رابطه با رفتار نمونه‌ها در مقاومت بیشینه است. از نمودارها برمی‌آید که نمونه‌های حاوی الیاف در این ناحیه کرنش بیشتری را تحمل کرده و تا لحظه شروع نرم شونده گی ادامه می‌یابد. همان‌طور که ذکر شد دلیل این امر پل زدن الیاف بین ترک‌ها و تأخیر در روند گسترش ترک‌ها می‌باشد که تا لحظه گسیختگی یا بیرون کشیدگی الیاف ادامه می‌یابد.

بر خلاف نتایج موجود در ادبیات بتن الیافی، در رابطه با نفوذپذیری، اثر مطلوبی از افزودن الیاف در بتن پلاستیک مشاهده نشد بلکه الیاف تا حدودی نفوذپذیری را افزایش می دهد. به نظر می رسد چنانچه مشکلات اجرایی و روانی بتن در میان نباشد، بتوان ۰/۵ درصد الیاف را به عنوان درصد بهینه افزودن الیاف به بتن پلاستیک در این پژوهش انتخاب نمود.

۸- مراجع

- [۱]. باقلانی، مصطفی، ناظری، محمد، جهانپور، جعفر، "ارزیابی اثر الیاف پلی پروپیلن بر رفتار بتن"، اولین همایش معماری، عمران و محیط زیست شهری، ۱۳۹۳.
- [۲]. رمضانیان پور، علی اکبر، اعرابی، نادر، "آزمایش های سیمان و بتن"، انتشارات نگارنده دانش، ۱۳۹۰.
- [۳]. خزائی، جواد، نیلی، محمود، "بررسی آزمایشگاهی اثر تغییرات طرح مخلوط بتن پلاستیک روی خصوصیات آن"، دومین کنفرانس بین المللی بتن و توسعه تهران، ۱۳۸۴.
- [4]. Mahboubi, A., Ajourloo, A., "Experimental study of the mechanical behavior of plastic concrete in triaxial compression", *Cement and Concrete Research* 35, pp 412– 419, 2005.
- [5]. Song, P.S., Hawng, S. and shue, B.S., "Strength properties of Nylon-and polypropylene fiber reinforced concretes", *Cement and Concrete research*, 35, pp 1546-1550, 2005.
- [6]. Passuello, A., Moriconi, G. And Shah, Surendra p., "Cracking behavior of concrete with shrinkage reducing admixtures and PVA fibers", *Cement and Concrete Composites*, 31, pp. 699-704, 2009.
- [7]. Soutsos M. N., Le T. T. and Lampropoulos A. P., "Flexural Performance of fiber reinforced concrete made with steel and synthetic fibers", *Construction and Building Materials*, pp. 704-710, 2012.
- [8]. Zhong and Yao., "Effect of polypropylene fibers on the long-term tensile strength of concrete"; *Journal of Wuhan University of Technology- Mater. Sci. Ed.*, 22, No.1, pp. 62-73, 2007.
- [9]. Nili. M, Afroughsabet. V., "The effects of silica fume and polypropylene fibers on the impact resistance and mechanical properties of concrete", *Construction and Building Materials*, 24, 6, pp. 927-933, 2010.

افزودن الیاف به نمونه ها منجر به افزایش در نفوذپذیری شده است و کمترین نفوذپذیری مربوط به نمونه بدون الیاف بوده است. با افزودن ۰/۲۵ درصد الیاف به بتن، نفوذپذیری ۵۰ برابر و با افزودن ۰/۵ درصد الیاف، نفوذپذیری نسبت به حالت افزودن ۰/۲۵ الیاف، هفتاد و پنج درصد کاهش یافته است. با افزودن الیاف حفرات مویینه داخل بتن که نفوذپذیری ناشی از آنها می باشد، افزایش یافته و از طرفی منافذ ایجاد شده به دلیل تراکم نامناسب در مجاورت الیاف و همچنین به خاطر فیزیک حضور الیاف در آن نواحی، نیز تأثیر منفی بر روی نفوذپذیری داشته است. دلیل اختلاف زیاد بین بتن پلاستیک و بتن معمولی نیز مربوط به حفرات مویینه می باشد. در بتن پلاستیک به دلیل نسبت آب به سیمان بالا و همچنین حضور بنتونیت در بین ذرات سیمان میزان نفوذپذیری اختلاف مشهودی با بتن معمولی دارد. البته برای مقایسه بهتر است بتن پلاستیک را با سایر مصالح که برای دیوار آب بند استفاده می - شوند مقایسه کرد. میزان نفوذپذیری در دیوارهای آب بند گروت حدود 10^{-6} است که بین ۱۰ تا ۱۰۰ برابر بتن پلاستیک می باشد. البته در این پژوهش با توجه به این که نسبت آب به سیمان کم اختیار شده است و همچنین نسبت بنتونیت به سیمان نیز کوچک است این اختلاف به حدود ۵۰۰ برابر افزایش یافته است. همان طور که اشاره شد بیشترین تأثیر را در نفوذپذیری، نسبت آب به سیمان و میزان بنتونیت دارد.

۷- نتیجه گیری

نتایج به دست آمده از آزمایش های انجام گرفته به شرح زیر است: حضور الیاف پروپیلن در بتن پلاستیک با ۰/۲۵ تا ۰/۵ درصد حجمی بتن، سبب افزایش مقاومت های فشاری و کششی می شود و در حضور ۰/۵ درصد الیاف بیشترین مقاومت ها حاصل شده است. نتایج به دست آمده از آزمایش ها حاکی از آن است که با افزودن الیاف، رفتار تنش کرنش نمونه ها با افزایش سطح زیر منحنی تنش - کرنش و نرم شوندگی کرنش بهبود یافته است. این به معنی افزایش شکل پذیری، مقاومت طاقت و جذب انرژی بیشتر توسط نمونه ها می باشد.

[۱۰]. ترابی، غلامرضا، "روش طرح اختلاط بتن پلاستیک با اسلامپ ثابت"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران (سازه)، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ۱۳۸۲.

[11]. Xanthakos, Petros., Slurry Walls, Mc Graw-Hill Book Company, New York, 1979.

[12]. Qizheng, W., Qingyou, W. and Jialiu, P., "Mechanical properties of plastic concrete and nonlinear structural analyses of plastic concrete cut-off wall", J. of Computational Mechanics in Structural, pp 273- 285, 1992.

Assessing of Strength Parameters and Permeability of Polypropylene Fiber Reinforced Plastic Concrete

Saeid Saeidijam *

Assistant Professor, Faculty of Engineering, Islamic Azad University, Hamadan Branch

Arezoo Azimi

Graduate Student, Faculty of Civil Engineering, Islamic Azad University, Malayer Branch

Abstract

Plastic concrete is a kind of concrete that contains montmorillonite, which is the soil containing clay in addition to ordinary concrete materials. This concrete has lower compressive strength in compare with normal one, but has higher plasticity as a specification of ability to give higher ductility. In this study, the plastic concrete strength was increased by adding polypropylene fiber while maintaining ductility constant, and for this purpose, a concrete mixture was made, in which ratio of water to cement was considered 1.17 and ratio of bentonite to cement was considered 0.12. The plastic concrete was made by adding 0, 0.25 and 0.5 percent of polypropylene fiber, on which tensile strength, compressive strength and permeability tests were done. The results show that, the strength at 28 day increased significantly while the strength is about ordinary concrete at early age to 7 day and the effect of adding fiber on tensile strength is more than the compressive strength of concrete. The ductility and toughness strength have improved to a significant level based on stress-strain diagrams. Permeability of plastic concrete was increased by adding fiber in spite of the usual behavior for fiber reinforced concrete.

Keywords: Plastic Concrete, Polypropylene Fiber, Compressive Strength, Tensile Strength, Permeability.

* Corresponding Author: saeidijam@iust.ac.ir