Part B: Persian Edition

Journal of Textiles and Polymers

Vol. 9, No. 2, 15-25, 2021

RESEARCH PAPER

Reinforcing Concrete Columns with Winding Technique Using Weft Knitted Structure

Nastaran Hemmatinezhad, Ali-Asghar Asgharian Jeddi*, and Hossein Molavi

Department of Textile Engineering, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran

Received: 25 March 2020, Accepted: 25 September 2020

Abstract

Reinforcement of civil structures that do not have sufficient resistance to the applied loads is of particular importance. There are several ways to reinforce concrete structures so far. One of these methods is to use winding technique on a concrete structure with a fabric. In this study, first, rib knitted structures with and without weft inserted yarn were fabricated with two types of ordinary and high tenacity polyester yarn (with a low and high modulus). Then concrete columns were made and winded using produced fabrics with and without tension. The compression test was carried out on the winded columns. The results show that with increasing tensile modulus of the fabric (such as weft inserted rib fabric with high tenacity polyester yarn) the compressive strength of the concrete columns increases. Accordingly, while the sample had only 7.52% weight increase and 8.75% increase in diameter compared to the control sample, the bearing capacity of the column showed an increase of 88.55% compared to the control sample. Also, the compressive strength of concrete column is increased by increasing the number of layers winded around the concrete column.

Keywords: weft knitted fabric, winding, concrete column, high strength polyester yarn, compressive strength

(*) To whom correspondence should be addressed.
E-mail: ajeddi@aut.ac.ir

نشریه نساجی و پلیمر

سال ۹، شماره ۲، ۲۵-۱۵، بهار ۱۴۰۰

مقاله پژوهشی

تقویت ستون‌های بتنی با روش دورپیچی با استفاده از پارچه حلقوی پودی

نسترن همتی‌نژاد، علی‌اصغر اصغریان جدی*، حسین مولوی

تهران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشکده مهندسی نساجی

دریافت: ۱۳۹۹/۰۱/۰۶ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۷/۰۴

چکیده

مقاوم‌سازی سازه‌های عمرانی که در برابر بارهای واردشده دارای مقاومت کافی نیستند، از اهمیت خاصی برخوردار است. از روش‌های متعددی که تاکنون برای مقاوم‌سازی ساختمان‌های بتنی ارائه شده، استفاده از دورپیچی سازه بتنی با پارچه است. در این مطالعه، ابتدا پارچه با بافت ریب حلقوی پودی ساده و پودگذاری‌شده با دو نوع نخ پلی‌استر معمولی و با مدول زیاد تولید شد. سپس، ستون‌های بتنی ساخته‌شده با پارچه‌های تولیدی تحت کشش و بدون کشش دورپیچی شدند. آزمون‌های استحکام فشاری روی ستون‌های دورپیچی‌شده انجام گرفت. نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد، با افزایش مدول کششی در پارچه‌ها (مانند پارچه با ریب پودگذاری‌شده با نخ دارای مدول زیاد) استحکام فشاری ستون‌های بتنی افزایش می‌یابد. بر همین اساس، در حالی که نمونه تنها ۷/۵۲٪ افزایش وزن و ۸/۵۷٪ افزایش قطر نسبت به نمونه شاهد داشته، ظرفیت باربری ستون نسبت به نمونه شاهد ۸۸/۵۵٪ افزایش نشان داده است. همچنین، با افزایش تعداد لایه‌های دورپیچی به دور ستون بتنی نیز استحکام فشاری افزایش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: پارچه حلقوی پودی، دورپیچی، ستون بتنی، نخ پلی‌استر با استحکام زیاد، استحکام فشاری

۱ مقدمه

امروزه، بتن و فولاد مصرف زیادی در سازه‌های ساختمانی دارند و سازه‌های بتنی و فولادی بسته به نوع ساختمان و عملکرد سازه، ساخته می‌شوند. اما بتن به‌علت ویژگی‌های خاص و نیز در دسترس‌بودن مصالح آن، نسبت به فولاد ارجحیت دارد.

بتن یکی از پرمصرف‌ترین مصالح ساختمانی است که استحکام کششی، شکل‌پذیری و قابلیت جذب انرژی کم آن سبب شده است تا همواره به‌وسیله مصالحی با استحکام کششی مطلوب تقویت شود [۱]. استفاده از بتن در صد سال اخیر، در ساخت بناهای مسکونی و اداری، پیاده‌روها، راه‌ها و جاده‌ها و نیز انواع مختلف ساختمان‌های فنی از قبیل کارخانه‌ها، پارکینگ‌ها، متروها، فرودگاه‌ها، پل‌ها، سدها، سیلوها، سازه‌های دریایی، راکتورهای اتمی و سازه‌های مقاوم در برابر انفجار و زلزله، افزایش یافته است [۲]. بسیاری از سازه‌های بتن آرمه در ایران و سایر نقاط دنیا، عمری بیش از چند دهه دارند و به‌خاطر حوادث طبیعی از قبیل زلزله و باد یا بر اثر خستگی مصالح یا عوامل خورنده، آسیب دیده‌اند [۳]. از آنجا که این سازه‌ها عموما اهمیت زیادی داشته و بسیار متعدد هستند، جایگزینی آن‌ها با سازه‌های جدید، اکثرا فاقد توجیه

* مسئول مکاتبات، پیام‌نگار: ajeddi@aut.ac.ir

اقتصادی بوده و از نظر اجرایی غیرعملی است. در حالی که تعمیر و تقویت این سازه‌ها در بیشتر موارد امری ضروری و مقرون به‌صرفه است [۵،۶].

امروزه نگه‌داری از سازه‌ها به‌دلیل هزینه ساخت و تعمیر، بسیار حائز اهمیت است. مطالعه سازه‌های بتنی نشان می‌دهد، با توجه به عوامل متعدد مانند برخی از بارهای استثنایی (از قبیل ضربه، انفجار یا بارهای لرزه‌ای)، افزایش بار و تغییر در تقاضای ظرفیت بار به‌دلیل خطای طراحی یا ساخت، افزایش کاربری یا تغییر کاربری سازه‌ای، تغییر در آیین‌نامه‌های طراحی و نارسایی‌های ناشی از فرسایش سازه (خوردگی میلگرد و واکنش قلیایی سنگ‌دانه)، نیاز به تقویت و تعمیر اجزای این سازه‌ها، احساس می‌شود. ستون‌ها در ساختمان‌های بتن مسلح، اهمیت به‌سزایی دارند، زیرا استحکام، سختی، شکل‌پذیری و اتلاف انرژی آن‌ها در عملکرد سازه بسیار مهم هستند [۴،۷]. یک‌پارچگی و ثبات یک ساختار بتنی به هنگام آسیب‌دیدگی، مشکل‌ساز است. اقدام‌های فوری برای جلوگیری از خرابی، آسیب و شکست نهایی کل سازه مورد نیاز است [۸]. برای مقابله با آسیب‌های موجود، راه‌های مختلف مانند کاهش عملکرد سازه، تخریب، بازسازی بخشی از سازه یا کل آن یا جلوگیری از خرابی بیشتر با استفاده از فن‌های تعمیر سریع وجود دارد [۶]. پژوهش‌های گذشته ثابت کرده‌اند، تعمیرات بتن آسیب‌دیده با استفاده از محصورشدگی خارجی در بازگرداندن ظرفیت حمل بار اصلی ستون‌های بتنی مؤثر است [۹،۱۰]. افزون بر این، گزارش شده است که محصوریت می‌تواند انعطاف‌پذیری عناصر بتنی آسیب‌دیده را نیز بازگرداند [۱۱]. این روش افزون بر جلوگیری از کمانش آرماتورهای طولی ستون، با به تعویق‌انداختن جداشدگی پوسته بتنی، انهدام ستون را به تعویق می‌اندازد [۱۲]. روش‌های گوناگونی برای تقویت ستون‌ها با مصالح پلاستیک تقویت‌شده با الیاف (FRP) ارائه شده است که می‌توان به سه گروه دورپیچی مقطع ستون، رشته‌پیچی (filament winding) و پوشش‌های پیش‌ساخته (prefabricated shell jacketing) دسته‌بندی کرد.

۱-۱ دورپیچی مقطع ستون

افزایش مقاومت سازه‌ای بتنی با استفاده از لایه‌های محصورکننده خارجی FRP در سال‌های ۱۹۸۱ و ۱۹۸۳ ارائه و در نیمه‌های دهه ۱۹۸۰ برای ستون‌های واقعی اجرا شد. دورپیچی، متداول‌ترین روش تقویت ستون‌ها با مصالح FRP است. در این روش، صفحه‌ها یا نوارهای FRP یک‌جهتی یا پارچه‌های بافته‌شده به رزین آغشته شده و با روش چسباندن تر به دور ستون پیچیده می‌شوند. لایه‌های دورپیچی می‌توانند یک‌لایه یا چندلایه روی هم یا به حالت مارپیچی باشند. روش دیگر انجام این کار، استفاده از حلقه‌های مجزایی است که از نوارهای FRP ساخته شده‌اند [۱۳].

۱-۲ رشته‌پیچی

اصول این روش مشابه دورپیچی است، با این تفاوت که به جای استفاده از نوار و صفحه‌های FRP از الیاف یکسره استفاده می‌شود. فرایند پیچیدن الیاف به دور ستون با دستگاه انجام می‌شود، در نتیجه پوشش FRP با ضخامت و حجم کنترل‌شده دور ستون پیچیده می‌شود. ایده محصورکردن ستون با الیاف یکسره را اولین بار فردیس و خلیلی در سال ۱۹۸۱ ارائه دادند [۱۴].

۱-۳ پوشش‌های پیش‌ساخته

در این روش، پوشش‌ها را پیش از حمل به محل اجرا آماده می‌کنند و آن‌ها را به شکل نیم‌دایره، مستطیل یا دایره‌ای با یک شکاف در طول می‌سازند. Nanni و Norris [۱۲]، Ohno و همکاران [۱۳] و Xiao و Ma [۱۵]، ایده‌هایی برای ساخت پوشش ارائه دادند. موضوع مهم در نصب پوشش‌های پیش‌ساخته این است که باید از تماس و فشار کامل در تمام سطوح تماس مطمئن بود و پوشش دور ستون را با چسب یا در فاصله بین پوسته و ستون با ملات پر کرد. از کاربردهای این پوشش، اصلاح شکل مقطع ستون بتنی است.

به‌طور کلی، بتن و ساختمان‌های بتنی از جمله سازه‌هایی هستند که در ایران به‌وفور استفاده می‌شوند. بتن عمدتا به‌دلیل استحکام فشاری آن به‌کار می‌رود. ساختمان‌های بتنی ممکن است در اثر ضعف سازه، و همچنین اشکال‌های اجرایی به مرور زمان شکست خورده و نتایج فاجعه‌بار ایجاد کنند. یک راه حل، تخریب ساختار قدیمی و ایجاد ساختار جدید است. در حالی که ساخت و ساز جدید معمولا گران، وقتگیر و در برخی موارد غیرممکن است. مثلا توقف رفت‌وآمد در یک پل تقویت‌نشده، اما حیاتی در بزرگ‌راه برای جایگزینی، باعث مشکلات زیادی می‌شود. راه حل دوم، ترمیم و بهسازی ساختار قدیمی است. در حال حاضر، روش‌های مختلفی برای ترمیم سازه‌های بتنی به‌منظور افزایش باربری ستون‌های ساختمان‌ها و پل‌های موجود در دسترس است.

در این مطالعه، اثر روش دورپیچی ستون برای افزایش باربری، تحت عنوان پوشش‌های تقویت‌کننده بتن با پارچه‌های تقویت‌کننده بررسی شده است. در این روش، از پارچه حلقوی پودی با نخ پلی‌استر معمولی و نخ پلی‌استر با استحکام زیاد در بستری از رزین، برای افزایش ظرفیت باربری ستون‌ها استفاده شده است.

جدول ۱- مشخصات مکانیکی نخ‌های استفاده‌شده.

نوع نخ	نمره نخ (den)	بیشینه نیرو (N)	ازدیاد طول در بیشینه نیرو (٪)	حداکثر استحکام (gf/den)	مدول کشسانی، ۲٪-۴٪ (gf/den)
پلی‌استر با مدول زیاد	۱۰۰۰	۷۱/۱۹	۲۳/۶۵	۷/۱۱	۶۰/۸۴
پلی‌استر معمولی	۱۷۰۰	۹۷/۴۵	۱۸/۳۲	۷۳/۵	۲۱/۶

۲ تجربی

۲-۱ تولید پارچه

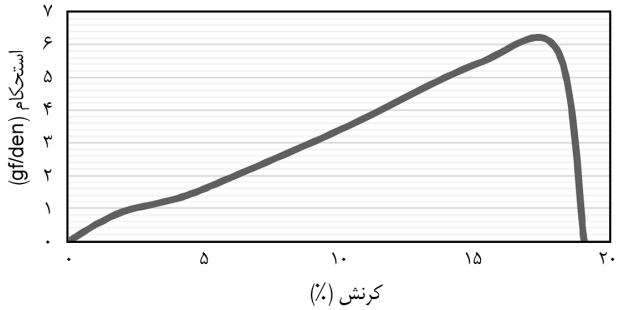
در این مطالعه، اثر ساختار بافت و مقدار کشش پارچه‌های حلقوی پودی با روش دورپیچی بر افزایش ظرفیت باربری ستون‌های بتنی بررسی شد. بر این اساس، دو نوع پارچه و با توجه به تعداد لایه‌های دورپیچی، پنج نمونه ستون با دورپیچ‌های مختلف از پارچه تهیه شد. آزمون استحکام فشاری مطابق با استاندارد ASTM C39-05 برای هر نمونه ۳ بار تکرار شد. بنابراین، با توجه به نمونه شاهد (تقویت‌نشده) تعداد ۱۸ ستون و به‌دنبال آن ۱۸ قالب ساخته شد.

در این بررسی، پارچه حلقوی پودی با نخ‌های پلی‌استر معمولی و با استحکام زیاد، با ماشین تخت‌باف الکترونیکی ساخت شرکت Stoll (اشتول) گیج ۷ با سه ابزار تولید شد. ویژگی‌های نخ‌های استفاده‌شده در جدول ۱ و نمودار استحکام-ازدیاد طول در شکل‌های ۱ و ۲ آمده است.

۲-۲ ابعاد پارچه

به‌منظور دورپیچی ستون‌ها، برای ریب ساده از تعداد دورپیچی ۱، ۳ و ۵ دور و برای ریب با پودگذاری ۱ و ۲ دور استفاده شد. در پارچه با بافت ریب پودگذاری‌شده، به‌دلیل وجود نخ پود با استحکام زیاد، کشش عرضی پارچه ناچیز بود. اما، پارچه‌های با بافت ریب ساده با ٪۵۰ کشش در جهت عرض پارچه به دور ستون‌ها پیچیده شدند.

شکل ۱- نمودار استحکام-کرنش نخ پلی‌استر با مدول زیاد.



شکل ۲- نمودار استحکام-کرنش نخ پلی‌استر معمولی.

همچنین، برای پیچش پارچه‌ها به دور ستون، cm ۵ هم‌پوشانی لازم بود. بدین منظور، مقدار عرض لازم برای پارچه بافته‌شده را با استفاده از معادله زیر می‌توان محاسبه کرد:

$$\Delta L = \frac{L_2 - L_1}{L_1} \times 100 = 50\%$$

در این معادله، L_1 عرض پارچه بافته‌شده با ماشین و L_2 عرض پارچه لازم برای پیچیدن به دور ستون است. کلیه نمونه‌های اندازه‌گیری‌شده با طول cm ۲۵ بافته شد. ابعاد پارچه‌های بافته‌شده در جدول ۲ نشان داده شده‌اند.

۲-۳ ضخامت پارچه

برای بررسی ضخامت پارچه‌ها، ضخامت نمونه‌ها با دستگاه Digital

جدول ۲- ابعاد و نوع پارچه‌های بافته‌شده.

نوع پارچه	تعداد دور	ابعاد نمونه، عرض×طول (cm)
ریب ساده	۱	۲۵×۲۵
ریب ساده	۳	۲۵×۶۹
ریب ساده	۵	۲۵×۱۱۳
ریب پودگذاری‌شده	۱	۲۵×۳۸
ریب پودگذاری‌شده	۲	۲۵×۷۱

جدول ۳- مقادیر وزن، ضخامت و تراکم پارچه‌ها.

کد نمونه[الف]	ابعاد نمونه، عرض×طول (cm)	وزن (g)			ضخامت (mm)			تراکم، wpc×cpc
		میانگین	انحراف معیار، SD	ضریب تغییرات، CV (٪)	میانگین	انحراف معیار، SD	ضریب تغییرات، CV (٪)	
CR1	۲۵×۲۵	۵۰/۵۳	۳/۶	۷/۱۲	۱/۸۷	۰/۰۴	۲/۳	۸/۸×۴/۸
CR3	۲۵×۶۹	۱۲۳/۹۸	۱/۴۶	۱/۱۸	۱/۸۱	۰/۰۳	۱/۹	۹/۴×۳/۸
CR5	۲۵×۱۱۳	۲۰۱/۳۰	۰/۶۶	۰/۳	۱/۸۸	۰/۰۱	۰/۸	۹/۲ ×۳/۹
CRW1	۲۵×۳۸	۵۶/۴	۰/۲۸	۰/۵	۲/۲۳	۰/۱۱	۵/۳	۵/۱×۳/۲
CRW2	۲۵×۷۱	۱۰۶/۲۷	۰/۲۶	۰/۲	۲/۲۸	۰/۰۴	۱/۹	۵/۰×۳/۳

[الف]در کد نمونه‌ها، C ستون بتنی، R ریب ساده، RW ریب پودگذاری‌شده و اعداد ۱ تا ۵ نشانگر تعداد دورپیچ هستند.

جدول ۴- خواص مکانیکی پارچه‌ها.

نوع پارچه	میانگین نیروی گسیختگی (N)	میانگین ازدیاد طول (٪)	میانگین مدول کشسانی (MPa)	میانگین استحکام (MPa)
ریب ساده در جهت عرضی	۱۳۰۵	۳۲۶	۰/۳۰۴	۱۰/۶۵
ریب پودگذاری‌شده در جهت عرضی	۱۴۹۴	۳۴/۸۳	۳۱/۹۷	۱۲/۴۶

Thickness Gauge SDL ATLAS اندازه‌گیری شد. فشار واردشده به‌وسیله دستگاه بر تمام نمونه‌ها به مقدار یکسان (۲۰ gf/cm^2) تنظیم شد. نتایج در جدول ۳ نشان داده شده است.

۲-۴ تراکم بافت

به‌منظور مشخص‌کردن هندسه بافت، اندازه‌گیری تراکم عرضی (تعداد حلقه‌ها در ۱ cm عرض) و تراکم طولی (تعداد حلقه‌ها در ۱ cm از طول) انجام گرفت (جدول ۳).

۲-۵ وزن پارچه

پس از بافت نمونه‌ها در ۵ حالت مختلف و از هر یک ۳ تکرار، وزن نمونه‌ها به نسبت ابعاد آن‌ها اندازه‌گیری شدند. بدین صورت که پارچه‌ها با هر طول و عرضی که بافته شدند با همان طول و عرض به‌وسیله ترازو با دقت دو رقم اعشار اندازه‌گیری شدند (جدول ۳).

۲-۶ آزمون استحکام کششی پارچه‌ها

بررسی خواص کششی پارچه‌ها، با دستگاه کشش Instron 5566 براساس استاندارد ISO 13934-1 انجام گرفت. نتایج در جدول ۴ آورده شده‌اند.

۲-۷ آماده‌سازی قالب‌ها

قالب‌های آزمون طبق استاندارد ASTM C470-02a به‌شکل استوانه‌هایی از لوله‌های PVC (پلیکا) با قطر ۱۰/۵ cm و طول ۲۰ cm تهیه شدند. برای ایجاد سطح صاف و یکنواخت در زیر قالب‌ها از ورقه‌های پارکت استفاده شد. درز بین قالب و ورقه پارکت به‌کمک چسب لاتکس درزگیری شد تا آب ملات از زیر قالب نشت نکند. همچنین، برای جلوگیری از چسبیدن بتن به قالب، دیواره قالب با لایه‌ای از روغن آغشته شد (شکل ۳).

۲-۸ اختلاط مواد

ابتدا مطابق با طرح اختلاط تعیین‌شده (جدول ۵) مصالح و آب توزین شدند. سپس طبق استاندارد ساخت ملات ایران (ISIRI 393) مصالح و آب مخلوط شدند. ملات آماده‌شده و مخلوط‌شده در سه مرحله داخل قالب ازپیش‌آماده ریخته شدند. در این مرحله، برای

شکل ۳- درزگیری قالب‌ها.

جدول ۵- طرح اختلاط نمونه‌های آزمون (در قالبی به حجم $1730/92\ cm^3$).

نوع مصالح مصرفی	سیمان تیپ دو تهران	ماسه سیلیسی (ریزدانه ۰/۴-۰/۲)	پودر سنگ (کربنات کلسیم)	آب	نسبت آب به سیمان
مقدار (g)	۱۵۰۰	۲۰۰۰	۳۰۰	۸۱۵	۰/۵

حذف هوای محبوس و اعمال نیرو به ذرات برای قرارگیری در کنار یکدیگر، به مخلوط ارتعاش داده شد. به‌علت دردسترس‌نبودن دستگاه ویبراتور برقی، از نوع دستی استفاده شد. بدین صورت که یک میله برای کوبیدن درون بتن به‌کار گرفته شد. در آخر سطح رویی قالب، که از ملات لبریزشده با کاردک کاملا صاف شد. برای دست‌یابی به بتنی با کیفیت خوب، عملیات بتن‌ریزی مخلوط همراه با عمل‌آوری در محیطی مناسب طی مراحل اولیه سخت‌شدن دنبال شد. روش‌های عمل‌آوری برای افزایش استحکام، دما و انتقال رطوبت از داخل به خارج بتن کنترل شد. برای دست‌یابی به این شرایط باید از تبخیر آب از سطح بتن جلوگیری کرد. برای این کار می‌توان از پارچه‌های کنفی یا کتانی استفاده کرد که به‌طور متناوب مرطوب می‌شوند و روی سطح قالب‌ها را با آن‌ها پوشاند. شرایط عمل‌آوری نمونه‌های استوانه‌ای در دستور کار استاندارد ASTM C192-06 آمده است. برای تعیین کیفیت واقعی سازه، از استوانه‌هایی با استاندارد ASTM C31-03a استفاده شد که در معرض شرایط مشابه با سازه قرار دارند. به‌منظور عمل‌آوری ملات در آزمون، یک پارچه کنفی خیس به‌مدت ۲۴ h روی سطح قالب گذاشته شد.

۲-۹ رزین

در این کار، از رزین اپوکسی شرکت سازه مرکب استفاده شد. نوع رزین EPL 1012 و نوع سخت‌کننده EPH 112 بود. نسبت اختلاط سخت‌کننده به رزین بر حسب وزن ۱۲ به ۱۰۰ بود. مشخصات مکانیکی رزین و مخلوط رزین و سخت‌کننده در جدول‌های ۶ و ۷ آمده است. برای آغشته‌سازی کامل پارچه‌های حلقوی پودی، به‌دلیل داشتن منافذ و حلقه‌های زیاد، رزین زیادی لازم است. وزن رزین مصرفی در آزمون‌ها با توجه به تعداد دور و نوع بافت در جدول ۸ آمده است.

۲-۱۰ دورپیچی ستون‌ها

در این مرحله، ابتدا سطح بتن کاملا تمیز شد، به‌طوری که هرگونه برآمدگی یا فرورفتگی، گرد و غبار، روغن، چسب یا هر چیز دیگری که بتواند در چسبندگی بین پارچه و بتن خللی ایجاد کند، از سطح آن زدوده شد. این کار با استفاده از سمباده یا استون انجام می‌شود. همچنین لازم است، سطح بتن کاملا خشک باشد و سپس عملیات دورپیچی روی آن انجام شود. زیرا وجود آب در خلل و فرج، می‌تواند نفوذ رزین را تحت تأثیر قرار دهد. نمونه‌های ستون

جدول ۶- خواص مکانیکی رزین.

استحکام فشاری (kgf/cm^2)	مدول فشاری (kgf/cm^2)	استحکام کششی (kgf/cm^2)	مدول کششی (kgf/cm^2)	درجه سختی (Shore D)
۹۷۴	۹۳۷۱	۷۶۱	۲۷۸۹۰	۸۲

جدول ۷- ویژگی‌های پخت مخلوط رزین و سخت‌کننده.

خواص	در مخلوط با	
	حجم کم	حجم زیاد
زمان اختلاط (min)	۲۵	۲۰
زمان رسیدن به حالت ژل (min)	۶۰	۲۴
زمان آماده‌شدن مخلوط (min)	۹۰	۲۵
زمان آماده‌شدن کامل (تا رسیدن به بیشترین استحکام) (day)	۷	۷

جدول ۸- وزن رزین و سخت‌کننده مصرفی.

نوع ماده	ریب ساده			ریب پودگذاری‌شده	
	یک دور	سه دور	پنج دور	یک دور	دو دور
رزین (g)	۱۳۰	۲۲۰	۴۰۰	۱۳۰	۲۰۰
سخت‌کننده (g)	۱۵/۶	۲۶/۴	۴۸	۱۵/۶	۲۴

بتنی دورپیچی‌شده با بافت ریب ساده به سه حالت و بافت ریب پودگذاری‌شده به دو حالت آماده شدند. دورپیچی با بافت ریب ساده تحت کشش ٪۵۰ انجام گرفت.

برای دورپیچی و رزین‌زنی ستون‌ها، رزین و سخت‌کننده برای هر نمونه پس از توزین، مخلوط شدند. پس از آن قلم مو را آغشته به رزین کرده و سطح ستون به لایه کاملی از رزین آغشته شد. در نمونه‌های با بافت ریب ساده پارچه‌ها روی سطح میز و تحت کشش ٪۵۰ قرار گرفتند تا به طول لازم برای دورپیچی ۱، ۳ و ۵ دور برسد. در حین پیچیدن پارچه‌ها در راستای رج به دور ستون‌ها، روی سطح آن‌ها نیز رزین زده شد. به‌طوری که رزین حلقه‌ها و منافذ بافت را پر کرده و از بین آن‌ها عبور کند و به لایه قبلی هم برسد. در نمونه‌های با بافت ریب پودگذاری‌شده نیز پارچه روی میز قرار گرفت و مانند نمونه‌های قبل به دور ستون پیچیده شد. با این تفاوت که پارچه تحت کشش قرار داده نشد. پارچه‌ها در حین پیچیدن دور ستون به تعداد دور معین، به اندازه ۵ cm هم‌پوشانی شدند. تصویر فرایند دورپیچی ستون‌ها در شکل ۴ نشان داده شده است.

پس از رزین‌زنی و دورپیچی ستون‌ها، نمونه‌ها به‌طور عمودی روی سطوحی قرار داده شدند تا خشک شوند (شکل ۵). برای جلوگیری از چسبیدن ستون‌ها به سطح زیرین، سطوح تماس آن‌ها واکس زده شدند. نمونه‌ها تا پیش از پخت کامل رزین، هر چند دقیقه یک بار سروته شدند تا رزین‌ها در پایین بتن جمع نشوند و به‌طور یکنواخت سطح ستون را بپوشانند. پس از مرحله پخت کامل رزین، حداقل ۷۲ h به نمونه‌ها زمان داده شد تا کاملا خشک شوند.

شکل ۴- رزین‌زنی و دورپیچی ستون‌های بتنی.

زمان خشک‌شدن نمونه‌ها ۷ روز به‌طول انجامید.

۲-۱۱ آزمون استحکام فشاری

پس از خشک‌شدن کامل نمونه‌ها، دو سطح انتهایی نمونه‌ها صاف شدند. زیرا، برای آزمون استحکام فشاری به‌منظور جلوگیری از تمرکز تنش لازم است، سطح دو انتهای ستون که زیر فک دستگاه قرار می‌گیرند، کاملا صاف باشد. به‌طوری که به‌هنگام قرارگیری کاغذ روی سطح ستون، هیچ‌گونه نوری از زیر آن عبور نکند. برای صاف‌کردن و تراشیدن انتهای ستون‌ها روش‌های مختلفی وجود دارد. ناصافی سطوح طبق استاندارد ASTM C617-98 تعیین می‌شود. عملی‌ترین و البته گران‌ترین راه، کلاهک‌گذاری با مواد شیمیایی است. راه مقرون به‌صرفه‌تر، تراشیدن و ساییدن سطح ستون است. برای این کار می‌توان از دستگاه پروفیل‌بر با تیغه سرامیک‌بر یا مینی‌فرز سرامیک‌بر استفاده کرد. با استفاده از دستگاه پروفیل‌بر دو سطح انتهایی ستون بریده و کاملا صاف شدند.

استحکام فشاری استوانه‌ها مطابق استاندارد ASTM C39-05 با دستگاه استحکام فشاری (بتن‌شکن Servoteronic) کاملا خودکار شرکت آزمون اندازه‌گیری شد. صفحه بالایی جک (ثابت) طبق استاندارد ASTM C39 به‌صورتی است که قطر آن حداقل ٪۳ بزرگ‌تر از بزرگ‌ترین نمونه بتن ساخته‌شده و فاصله بین صفحات بالا و پایین حداقل ۲۵ mm پیشنهاد شده است. تصویری از قرارگیری نمونه‌ها در بین دو فک در شکل ۶ نشان داده شده است.

فاصله اولیه بین فک بالا و پایین ۳۲ cm است که ۱۷ cm از این فاصله به‌وسیله فاصله‌گذارها پر می‌شود. برای پرکردن این

شکل ۵- قراردادن نمونه‌ها روی سطوح به‌طور عمودی.

شکل ۶- قرارگیری نمونه‌ها میان دو فک.

فاصله سعی شده است از تعداد فاصله‌گذار کمتری استفاده شود. ظرفیت دستگاه ۲۰۰۰ kN و دارای دیواره مدار فرمان مجزا با نمایشگر (LCD) و قابلیت نمایش نیرو برحسب kgf.N.Ibf است.

کنترل خودکار سرعت بارگذاری با سرعت ازپیش‌معین به‌وسیله سامانه Step Motor انجام می‌شود. بدین صورت که دستگاه لحظه به لحظه سرعت بارگذاری را با سرعت ازپیش‌معین مقایسه کرده و فشار روغن ورودی را به‌طور خودکار کم و زیاد می‌کند تا طی آزمون سرعت کاملا واقعی و یکنواخت به‌دست آید. این دستگاه با سرعت ثابت، نیروی اعمالی بر سطح ستون را افزایش می‌دهد. هنگامی که دستگاه اولین ترک ایجادشده را با کاهش بار ناگهانی حس کند، آزمون را متوقف می‌کند. بدین ترتیب، ۱۸ نمونه مورد آزمون قرار گرفتند و نیرو در هنگام گسیختگی و همچنین تغییرات ظاهری ایجادشده در نمونه‌ها، ثبت شد. مقدار استحکام فشاری نمونه‌های بتنی مختلف در جدول ۹ آمده است. این مقادیر میانگین نتایج آزمون‌ها برای ۶ نمونه ساخته‌شده ستون بتنی با دورپیچی و بدون آن است.

۳ نتایج و بحث

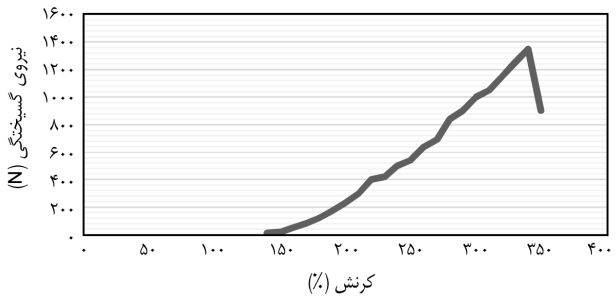
همان‌طور که گفته شد، برای دورپیچی ستون‌ها از دو نوع پارچه استفاده شد. هر یک از انواع پارچه با طول یکسان ۲۵ cm و عرض متفاوت بافته شدند که عرض به تعداد لایه‌های دورپیچی بستگی دارد. وزن هر کدام از پارچه‌ها با توجه به ابعاد آن اندازه‌گیری شد. از هر یک از پارچه‌ها سه نمونه اندازه‌گیری و میانگین، انحراف معیار و ضریب تغییرات آن‌ها ثبت شد. طبیعتا با افزایش تعداد دورپیچی، نمونه‌ها افزایش وزن می‌یابند. وزن نمونه‌های CRW1 در مقایسه با نمونه‌های CR1 حدود ۶ g بیشتر است. ضخامت پارچه‌ها نیز در پارچه‌های با بافت ریب ساده تقریبا یکسان و در حدود ۱/۸ mm بود. در حالی که در پارچه‌های ریب پودگذاری‌شده، به‌علت استفاده از نخ تابدار برای بافت ریب و همچنین قرارگیری نخ پود بین حلقه‌های ریب، بافت توپرتر و ضخیم‌تر شده است.

۳-۱ خواص کششی پارچه

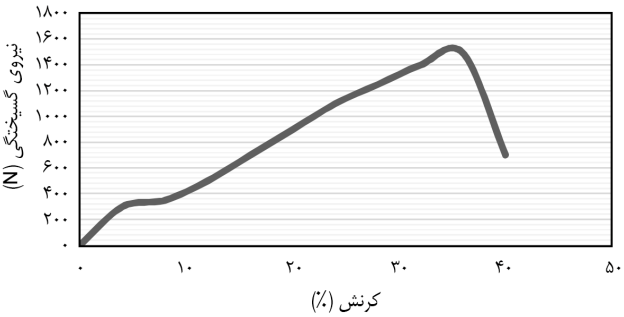
با توجه به نتایج جدول ۴ در شکل‌های ۷ و ۸ مشاهده می‌شود، در بافت ریب ساده، با اعمال بار بسیار ناچیز، پارچه تا حدود ٪۱۵۰ ازدیاد طول می‌یابد. تا این مرحله، بار اعمالی صرف صاف‌کردن حلقه‌ها می‌شود. یعنی حلقه‌ها رفته رفته در راستای نیروی کشش، صاف می‌شوند. پس از این مرحله، اثر استحکام و کشسانی نخ به‌تدریج ظاهر می‌شود. بیشترین نیرویی که نخ پلی‌استر با استحکام زیاد می‌تواند تحمل کند، به‌طور میانگین ۱۳۰۵ N است و تا حدود ٪۳۴۰ ازدیاد طول دارد. در ریب پودگذاری‌شده، در راستای عرضی با اعمال بار تا حدود ۳۰ N نمودار خطی است. پس از آن شیب نمودار کاهش می‌یابد و باری که قابلیت تحمل آن را داشته، به‌طور میانگین ۱۴۹۴ N است. در مقایسه با پارچه ریب ساده، پارچه ریب

جدول ۹- استحکام فشاری نمونه‌ها.

کد نمونه	استحکام فشاری (kgf/cm^2)			افزایش ظرفیت باربری نسبت به نمونه شاهد (٪)
	میانگین	انحراف معیار، SD	ضریب تغییرات، CV (٪)	
C	۲۳۷۰۰	۲۸۱۶/۰۲	۱۱/۸۸	-
CR1	۳۲۶۰۰	۱۹۹۷/۴۹	۶/۱۲	۳۷/۵۵
CR3	۳۴۹۰۰	۲۶۴/۵۷	۰/۷۵	۴۷/۲۵
CR5	۳۷۲۶۶	۱۷۰۹/۷۷	۴/۵۸	۵۲/۲۴
CRW1	۳۲۶۰۰	۲۱۶۵/۶۴	۶/۶۴	۳۷/۵۵
CRW2	۴۳۲۶۶	۱۹۵۵/۳۳	۴/۵۱	۸۲/۵۵



شکل ۷- نمودار نیرو-کرنش بافت ریب ساده در جهت عرضی.



شکل ۸- نمودار نیرو-کرنش بافت ریب پودگذاری‌شده.

پودگذاری‌شده ازدیاد طول و کشسانی کمتری حدود ٪۳۲ دارد.

۳-۲ خواص فیزیکی نمونه‌های بتنی تولیدشده

مقدار وزن و قطر نمونه‌های بتنی مختلف در جدول ۱۰ آمده است. این مقادیر، میانگین نتایج آزمون‌ها برای ۶ نمونه ساخته‌شده ستون بتنی با و بدون دورپیچی است. همان‌طورکه مشاهده می‌شود، میانگین وزن ستون بتنی g ۳۴۱۴ است. با دورپیچی ستون‌ها وزن آن‌ها افزایش یافته است. به‌طور میانگین برای نمونه‌های CR1 ٪۵/۰۷، CR3 ٪۸/۶۵، CR5 ٪۱۱/۶۲، CRW1 ٪۵/۰۹ و CRW2 ٪۷/۵۲ افزایش وزن مشاهده می‌شود. قطر نمونه‌ها نیز با افزایش تعداد دور پارچه، افزایش پیدا می‌کند. قطر نمونه‌ها بر حسب میلی‌متر

شکل ۹- نحوه شکست نمونه‌ها.

اندازه‌گیری شد تا اثر ضخامت پارچه بر قطر بتن تقویت‌شده دقیق‌تر بررسی شود. براساس نتایج جدول ۱۰ به‌طور میانگین نمونه‌های CR1 ٪۳/۸۰، CR3 ٪۸/۵۷، CR5 ٪۱۳/۳۳، CRW1 ٪۵/۷۱ و CRW2 ٪۸/۵۷ افزایش قطر داشته‌اند. افزایش قطر نمونه CRW1 نسبت به نمونه CR1 به ضخامت بیشتر پارچه پودگذاری مربوط است.

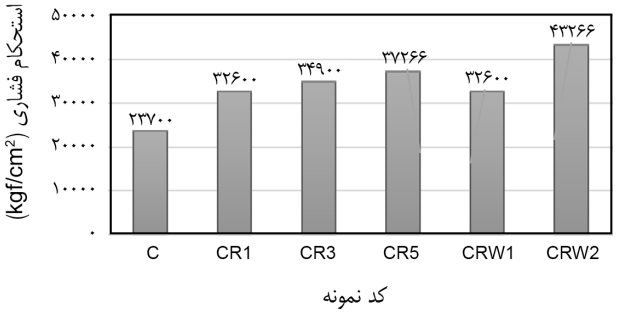
۳-۳ استحکام فشاری نمونه‌ها

همان‌طور که در جدول ۹ مشاهده می‌شود، استحکام نمونه C یعنی نمونه شاهد، از کلیه نمونه‌های دیگر که با پارچه دورپیچی شده‌اند، به‌طور درخور ملاحظه‌ای کمتر است (به‌طور میانگین kg ۲۳۷۰۰). گرچه دورپیچی با یک دور پارچه، اثر کمتری بر افزایش باربری داشته است. همان‌گونه که در شکل ۹ نیز مشاهده می‌شود، شکست برای این نمونه در نقاط درز عمودی پارچه رخ داده است، یعنی محلی که دو پارچه روی هم قرار گرفته‌اند. این موضوع می‌تواند احتمالا به‌دلیل cm ۵ هم‌پوشانی پارچه باشد که نیاز به مقدار هم‌پوشانی بیشتری دارد.

از برابری استحکام فشاری دو نمونه CR1 و CRW1 نمی‌توان

جدول ۱۰- وزن و قطر نمونه‌های بتنی پیش و پس از فرایند دورپیچ.

کد نمونه	وزن (g)			تغییرات وزن پس از دورپیچی (٪)	قطر (cm)
	میانگین (g)	انحراف معیار، SD	ضریب تغییرات، CV (٪)		
C	۳۴۱۴	۱۲/۸۵	۰/۳	۰	۱۰/۵
CR1	۳۵۸۸	۳/۴۶	۰/۰۹	۵/۰۷	۱۰/۹
CR3	۳۷۱۰	۸/۳۸	۰/۲	۸/۶۵	۱۱/۴
CR5	۳۸۱۱	۱۳/۸۶	۰/۳	۱۱/۶۲	۱۱/۹
CRW1	۳۵۸۸	۱۳/۶۵	۰/۳	۵/۰۹	۱۱/۱
CRW2	۳۶۷۱	۷/۶۳	۰/۲	۷/۵۲	۱۱/۴



شکل ۱۰- نمودار استحکام فشاری نمونه‌های تقویت‌شده.

نتیجه گرفت که اثر دورپیچی پارچه تحت کشش با دورپیچی پارچه پودگذاری‌شده برابر است. زیرا این برابری، می‌تواند ناشی از مسئله هم‌پوشانی و شکست از ناحیه درز باشد. اما مشاهده می‌شود، با افزایش تعداد لایه‌های پیچیده‌شده به دور ستون، استحکام فشاری ستون بتنی افزایش یافته است. در ریب ساده مشاهده می‌شود، با افزایش هر دو دور استحکام حدود kg/cm^2 ۲۳۰۰ افزایش پیدا کرده است. افزون بر این، با مقایسه نمونه‌های CR5 و CRW2 مشاهده می‌شود، پارچه ریب پودگذاری‌شده نسبت به پارچه ریب بدون پود، استحکام فشاری بتن را به مقدار بیشتری افزایش می‌دهد. این موضوع می‌تواند به‌دلیل افزایش استحکام پارچه پودگذاری‌شده باشد. پارچه پودگذاری‌شده به‌دلیل وجود نخ پود که در بافت ریب به‌صورت نبافته اعمال شده، از دو طرف پارچه به‌وسیله ریب نگه داشته شده است. این موضوع سبب عدم کشش در پارچه و افزایش استحکام و ثبات آن شده است. درنتیجه بهتر است کشسانی پارچه تا حد امکان کمتر باشد.

به‌طور کلی نتیجه‌گیری می‌شود، با افزایش تعداد لایه‌های پارچه دورپیچی‌شده، استحکام فشاری و ظرفیت باربری ستون بتنی افزایش می‌یابد. همچنین، پارچه ریب پودگذاری‌شده در مقایسه با ریب ساده (با ٪۵۰ کشش دورپیچی) از استحکام بیشتری برخوردار است. شکل ۱۰ نمودار استحکام فشاری نمونه‌ها را به‌طور اجمالی نشان می‌دهد.

۴ نتیجه‌گیری

هدف از این پژوهش، ارائه روشی برای افزایش ظرفیت باربری ستون‌های بتنی استوانه‌ای است. بر این اساس، پژوهشگران تحقیقات فراوانی انجام داده و روش‌هایی را ارائه کرده‌اند. در نوآوری‌های جدید، پارچه‌های تاری-پودی جایگزین الیافی شدند که به‌طور منظم یا نامنظم در بستری از رزین قرار می‌گیرند و به دور ستون‌ها پیچیده می‌شوند. در پژوهش حاضر، به اثر استفاده از پارچه حلقوی پودی بر افزایش ظرفیت باربری این ستون‌ها پرداخته شده است. در این روش، پس از ساخت ۱۸ ستون بتنی و بافت دو نوع پارچه حلقوی پودی (با مدول کششی کم و زیاد) پارچه‌ها به دور ستون‌ها دورپیچی شدند. نتایج ظرفیت باربری ستون‌ها به شرح زیر است:

- با افزایش تعداد لایه‌های دورپیچی، ظرفیت باربری ستون‌های بتنی افزایش می‌یابد.
- با دورپیچی ستون‌های بتنی با پارچه ریب ساده با نخ پلی‌استر معمولی تحت کشش ٪۵۰ می‌توان ظرفیت باربری ستون‌ها را افزایش داد.
- استحکام کششی پارچه‌های ریب ساده را می‌توان با پودگذاری به‌طور درخور توجهی افزایش داد. درنتیجه با دورپیچی ستون‌ها با پارچه پودگذاری‌شده، ظرفیت باربری ستون‌ها نسبت به نمونه شاهد افزایش بسیار زیادی می‌یابد.
- در آزمون استحکام فشاری ستون‌ها پیش و پس از دورپیچی این نتیجه حاصل شد که ستون‌های دورپیچ‌شده با بافت ریب پودگذاری‌شده (با مدول کششی زیاد) با دو لایه پارچه، بیشترین استحکام را در برابر فشار و بیشترین ظرفیت باربری را در میان نمونه‌ها دارند و ظرفیت باربری ستون نسبت به نمونه شاهد به مقدار ٪۸۸/۵۵ افزایش یافته است، در حالی که تنها ٪۷/۵۲ افزایش وزن و ٪۸/۵۷ افزایش قطر نسبت به نمونه شاهد داشته است.

مراجع

[1] Y. Wang, "Toughness characteristics of synthetic fiber reinforced cementitious composites", *Fatigue Fract. Eng. Mater. Struct.*, vol. 21, no. 4, pp. 521-532, 1998.

[2] D. Mostofinejad, *Concrete Technology and Mix Design (Persian)*, Isfahan: Arkan Danesh, 2003.

[3] A.M. Neville and J.J. Brooks, *Concrete Technology*, Traslated by: A.A. Ramezanpour and N. Arabi, Tehran: Negarandeh Danesh, 2011.

[4] J.D. Gaitan, "Retrofit of reinforced concrete columns", Undergraduate Program in Civil Engineering, The Ohio State University, 2017.

[5] A. Parghi and M.S. Alam, "A review on the application of sprayed-FRP composites for strengthening of concrete and masonry structures in the construction sector", *Compos. Struct.*, vol. 187, pp. 518-534, 2017.

[6] A.A. Ramezanpour, *Concrete Mix Design (Persian)*,

Teran: Sanat Gostar, 2003.

[7] Z. Yan and C. Pantelides, "Fiber-reinforced polymer jacketed and shape-modified compression members: ii-model", *ACI Struct. J.*, vol. 103, no. 6, pp. 894-903, 2006.

[8] C.-K. Ma, N.M. Apandi, S.C.S. Yung, N.J. Hau, L.W. Haur, A.Z. Awang, and W. Omar, "Repair and rehabilitation of concrete structures using confinement: a review", *Construct. Build. Mater.*, vol. 133, pp. 502-515, 2016.

[9] Y.F. Wu, Y. Yun, Y. Wei, and Y. Zhou, "Effect of predamage on the stress-strain relationship of confined concrete under monotonic loading", *J. Struct. Eng.*, vol. 140, no. 12, 2014.

[10] A. Ilki, O. Peker, E. Karamuk, C. Demir, and N. Kumbasar, "FRP retrofit of low and medium strength circular and rectangular reinforced concrete columns", *J. Mater. Civ. Eng.*, vol. 20, no. 2, pp. 169-188, 2008.

[11] Y. Xiao and H. Wu, "Retrofit of reinforce concrete columns using partially stiffened steel jackets", *J. Struct. Eng.*, vol. 129, no. 6, pp. 725–732, 2003.

[12] A. Nanni and M.S. Norris, "FRP jacketed concrete under flexure and combined flexure-compression", *Constr. Build. Mater.*, vol. 9, no. 5, pp. 273-281, 1995.

[13] S. Ohno, Y. Miyauchi, T. Kei, and Y. Higashibata, "Bond properties of CFRP plate joint, non-metalic (FRP) reinforcement for concrete structures", In: *Proceedings of the Third International Symposium,* Sapporo, Japan, 1997.

[14] M. Fardis and H. Khalili, "Concrete encased in fiberglass-reinforced plastic", *J. Am. Concrete Inst.*, vol. 78, no. 6, pp. 440-446, 1981.

[15] Y. Xiao and R. Ma, "Seismic retrofit of RC circular columns using prefabricated composite jacketing", *J. Struct. Eng., ASCE*, vol. 123, no. 10, pp. 1357-1364, 1997.