



## بررسی اثر درصد و نسبت ظاهری ( $l/d$ ) الیاف فولادی بر مقاومت فشاری بتن پودری واکنشی (RPC)

کاظم یآوری نسب<sup>۱\*</sup>، امیر صادقی<sup>۲</sup>، محمد نام آور جهرمی<sup>۳</sup>، موسی رضایی<sup>۴</sup>

۱- گروه عمران، دانشگاه فنی و حرفه ای، دانشکده امام علی (ع) یزد، ایران، [Yavari\\_nasab@yahoo.com](mailto:Yavari_nasab@yahoo.com)

۲- گروه عمران، دانشگاه فنی و حرفه ای، دانشکده امام علی (ع) یزد، ایران، [Amirsadeghi@gmx.com](mailto:Amirsadeghi@gmx.com)

۳- گروه عمران، دانشگاه فنی و حرفه ای، دانشکده امام علی (ع) یزد، ایران، [Mnjahromi73@gmail.com](mailto:Mnjahromi73@gmail.com)

۴- گروه عمران، دانشگاه فنی و حرفه ای، دانشکده امام علی (ع) یزد، ایران، [Mosa.Rezaei71@gmail.com](mailto:Mosa.Rezaei71@gmail.com)

### چکیده:

در ساخت بتن پودری واکنشی (RPC) از مصالح پودری بسیار ریزدانه به عنوان مصالح سنگی علاوه بر سیمان، آب و مواد افزودنی در مخلوط بتن استفاده میشود و دارای مقاومت زیادتر نسبت به بتن معمولی می باشد. در بتن پودری واکنشی میتوان از رشته های الیاف بطور فعال برای محدود کردن عرض ترک ها که باعث افزایش قابلیت بهره برداری بتن میشود استفاده کرد، لذا نسبت به بتن معمولی برتری دارد. استفاده از الیاف در بتن پودری واکنشی باعث تغییراتی در مقاومت فشاری، مقاومت کششی، مقاومت خمشی، مقاومت برشی، مقاومت در برابر بارهای دینامیکی، مقاومت مقطع در قبال ترک خوردگی، میزان جذب انرژی، میزان انقباض، خزش و سایش سطحی میشود. در نتیجه رفتار مقاومتی بتن پودری واکنشی باید مورد مطالعه قرار گیرد. مقاله حاضر که حاصل تحقیقات آزمایشگاهی می باشد اثر درصد و نسبت طول به قطر الیاف فولادی ( $l/d$ ) بر مقاومت فشاری بتن پودری واکنشی (RPC) را مورد بررسی قرار میدهد.

واژگان کلیدی: بتن واکنش پذیر پودری، RPC، مقاومت فشاری، نسبت ظاهری، الیاف فولادی



## The Effect of the Apparent Ratio of Steel Fiber on the Compressive Strength Reactive Powder Concrete

### Abstract:

in concrete max and has excellent resistance than conventional concrete, in reactive powder concrete can be made in the field actively to limit the width o the left concrete can be used to increase capacity atilization the comparison with conventional concrete is saperior the use of fiber in RPC change in compressive strength tenile strength, flexaral strength shear strength, resistance to dynamic loads, cross resistance to cracking the rate of energy absorption, the rate of shrinkage, creep an wear of surface as a result resistant behavior RPC of concrete should be studied. this article is the result of laboratory research, the effect of and the ratio of length to diameter (l/d) steel fiber RPC compressive strength is examined.

**Keywords:** reactive powder concrete, compressive strength, ratio of length to diameter steel fiber

### ۱- مقدمه:

در جهان کنونی که سرعت تحولات بسیار چشم گیر است، تکنولوژی بتن نیز همسو با گذر زمان در حال توسعه و پیشرفت بوده و عطش سیری ناپذیر این جمعیت رو رشد برای ساخت و ساز عمرانی نیز بیشتر میگردد. اقتصادی بودن، آسانی دست رسی به اجزاء تشکیل دهنده، شکل پذیری و پایایی نسبتاً بالای این مخلوط (بتن) باعث توجه روز افزون آن شده است [۱]. بتن معمولی که از سیمان پرتلند و سنگدانه های طبیعی ساخته میشود، دارای نقاط ضعفی است که تلاش برای کاهش آنها، منجر به نوآوری در ساخت بتن های مخصوص شده است [۲]. به همین جهت محققان اقدام به جایگزین کردن بتن مقاوم تر به نام بتن با عملکرد بالا (HPC) نمودند، سپس بتن های با عملکرد فوق العاده (UHPC) طراحی شد و در نهایت تلاش دست اندرکاران دانش بتن منجر به ساخت بتن های پودری واکنش پذیر (RPC) گردید [۳]. بتن پودری جزو موادی است که قابلیت رقابت با بتن های با عملکرد بالا و فولاد را دارد، این بتن به مراتب گرانتر از بتن های با مقاومت معمولی و با عملکرد بالا، ولی در عین حال از فولاد ارزان تر می باشد که فولاد همان مقاومت فشاری را که بتن پودری ایجاد میکند را دارد، بر اساس خصوصیات و هزینه، این بتن می تواند جای فولاد را در بسیاری از موارد بگیرد که هم اکنون تحت مطالعه بسیاری از کشور ها نیز قرار گرفته است [۴].

در این نوع بتن با بهره گیری از سیمان پرتلند معمولی [۳] [۸] [۹] و مصالح پودری بسیار ریزدانه شامل ماسه کوارتزی (با حداکثر ابعاد ۶۰۰ میکرو متر)، میکروسیلیس [۱۰]، مقادیر کم نسبت آب به سیمان (در حدود ۲۰ درصد) و استفاده فوق روان کننده (حدود ۳ درصد وزن سیمان)، تولید میگردد [۱۱] [۱۲]. بتن پودری واکنش پذیر دارای مقاومت فشاری بسیار بالا، مقاومت سیلیسی زیاد، شکل پذیری بالا، تخلخل پایین، نفوذپذیری کم و دوام زیادی می باشد [۱۳] [۱۴] [۱۵] [۱۶] که بدلیل تخلخل پایین خصوصیات بسیار خوبی از نظر دوام و حمل بدست می دهد که آن را برای انبار کردن ضایعات اتمی مناسب می سازد [۱۷]. در حالت کلی بتن ماده ای ترد با مقاومت کششی کم می باشد، افزودن الیاف فولادی به بتن موجب بهبود طاقت، شکل پذیری و ظرفیت جذب انرژی بتن تحت بار های ضربه ای می شو [۵]. با این وجود مشخص است که استفاده از الیاف فولادی در RPC منجر به رفع عیب اصلی آن یعنی تردی میگردد و در عین حال یک بتن با خواص عالی را ایجاد می کند. از دیدگاه مقاومت و سختی بتن ارجح آن است که نسبت ظاهر و مقدار الیاف افزایش یابد ولی از طرف دیگر افزایش این دو متغییر موجب کاهش کارایی می شوند. بنابراین نسبت ظاهر و مقدار الیاف باید به مقدار مطلوب انتخاب شود [۲].



## ۲- تاریخچه:

در چند دهه اخیر با توجه به پیشرفت های حاصل شده در زمینه تکنوژی بتن، انواعی از بتن های توانمند و فوق توانمند معرفی شده اند [۱۸]. بتن پودری واکنش پذیر (Reactive Powder Concrete) نوعی بتن جدید فوق توانمند با مقاومت بسیار بالا می باشد [۱۹] [۶] که بدلیل ریزی مواد پودری و پوزولانی مورد استفاده در آن و نیز مقدار زیاد موادی که به صورت هیدرولیکی فعال اند به آن بتن پودری واکنش پذیر میگویند [۲۰]. RPC در سال ۱۹۹۴ توسط یک شرکت ساختمانی فرانسوی به ثبت رسید و مقاومت فشاری این بتن در حدود ۲۰۰ مگاپاسکال می باشد که حتی تحت شرایط خاص مقاومت آن به ۸۰۰ مگاپاسکال نیز می رسد [۶]. که این امر باعث کاهش قابل توجه مقاطع بتنی از لحاظ ابعاد و وزن شده است [۱۷].

اولین کاربرد صنعتی بتن فوق توانمند تحت نام تجاری D.S.P در صنایع دفاع دانمارک برای پروژه های خاص و بصورت سری بود. تحقیقات با هدف کاربرد UHPC در صنعت ساختمان در حدود سال ۱۹۸۵ شروع شد. بعد از انجام تحقیقات اولیه در اوایل دهه ۹۰ بتن با عملکرد بالا با نام تجاری مختلف توسط چند شرکت بزرگ در اروپا تولید شد. معروف ترین آنها دو پیمانکار بزرگ فرانسوی بودند که محصولات خود را تحت نام های BSI و Ductal ارائه نمودند [۲].

اولین سازه ساخته شده با RPC پلی است در شبروک کبک که در طراحی آن از بتن RPC استفاده شده است [۳] [۲۱]. نظارت در ساخت و مونتاژ این پل عابر پیاده توسط گروه تحقیقاتی از دانشگاه شبروک و بتن کانادا گرفته شدند. این پروژه یک آزمایش برای قضاوت این تکنولوژی جدید بود [۷]. همچنین اولین پل ساخته شده از بتن فوق توانمند، پل Bourg les valence به دهانه ۴۴ متر در فرانسه بود که در سال ۲۰۰۱ به بهره برداری رسید [۲۲]. با وجود الیاف فولادی مناسب، بتن پودری واکنش زا متواند به مقاومت قابل توجهی تا حدود ۵۰ مگاپاسکال دست یابد [۲۳]. مدول یانگ بتن RPC بیش از ۵۰ GPa و در دانسیته بالا به ۷۵ GPa نیز می رسد [۴] [۱۳] که بهبود اصلی RPC در ارتباط با همگن بودن اندازه ذرات، تخلخل و ساختار میکروسکوپی آن می باشد [۲۴].

## ۳- برنامه آزمایشگاهی

ماسه مصرفی در تهیه بتن RPC از نوع سیلیس با حداکثر قطر ۱۶۰ میکرون و سیمان مصرفی نیز از نوع پرتلند معمولی است. فوق روان کننده مصرفی بر پایه پلی کربوکسیلات بوده و پودر میکرو سیلیس مطابق با استاندارد های ASTM C۱۲۰۴ میباشد. مقدار مصالح سنگی، سیمان، آب، میکروسیلیس و فوق روان کننده در تهیه نمونه ها در جدول ۱ آورده شده است. وزن مخصوص ماسه ۱۴۹۰ کیلوگرم بر متر مکعب بود.

جدول (۱): مقدار مصالح و آب در نمونه های بتنی پودری واکنش پذیر

نسبت آب به سیمان	فوق روان کننده $li/m^3$	میکروسیلیس $kg/m^3$	ماسه $kg/m^3$	سیمان $kg/m^3$
۰/۲۳	۲۲	۱۶۵	۹۶۰	۳۵۰

برای تهیه بتن پودری واکنش پذیر، ماسه و سیمان و پودر میکرو سیلیس با توجه به نسبت های مربوطه توزین شده و سپس با هم مخلوط می شد و آنگاه الیاف مورد نیاز نیز با توجه به درصد مربوطه توزین و بر روی مخلوط مصالح سنگی، سیمان و میکرو سیلیس پاشیده می شد. بعد از اختلاط کامل و مجدد مخلوط، ۴/۵ آب مورد نیاز و تمامی فوق روان کننده به مخلوط اضافه شده و بعد از بهم زدن ۱/۵ آب باقیمانده بر روی مخلوط پاشیده می شد و دوباره مخلوط بهم زده می شد تا مخلوط از لحاظ رطوبت کاملا یکنواخت باشد. روش اختلاط در تمامی نمونه ها بصورت دستی است. عمل ویبره بتن در کلیه نمونه ها در روی میز ویبره انجام گرفته می شد. الیاف فولادی مورد استفاده در تحقیقات این مجموعه از تراشه های فولادی زائد می باشد که حداکثر قطر معادل این نوع الیاف ۱/۰ میلیمتر می باشد و طول الیاف با توجه به نیاز می تواند تهیه شود. از آنجا که قطر این نوع الیاف متفاوت و عملا قابل تفکیک نیست لذا بصورت در هم مورد تحقیق و آزمایش قرار گرفته است و لکن طول آن قابل تغییر و انتخاب است. نتایج مقاومت نمونه های فشاری استوانه ای  $\phi 152 \times 305mm$  بتن RPC بدون الیاف در جدول ۲ آورده شده است. عمل آوری نمونه ها در دو حالت تحت بخار و آب معمولی انجام شده است.



جدول (۲): نتایج مقاومت نمونه های فشاری استوانه ای  $\phi 152 \times 305mm$  بتن RPC بدون الیاف

مقاومت فشاری متوسط $kg/cm^2$	مقاومت فشاری $kg/cm^2$	مبناء نمونه
۷۱۰/۸	۷۱۷/۵ و ۷۰۹/۶ و ۷۰۵/۴	فشاری با عمل آوری در آب
۹۴۴/۵	۹۴۳/۵ و ۹۴۳/۶ و ۹۴۶/۴	فشاری با عمل آوری در بخار

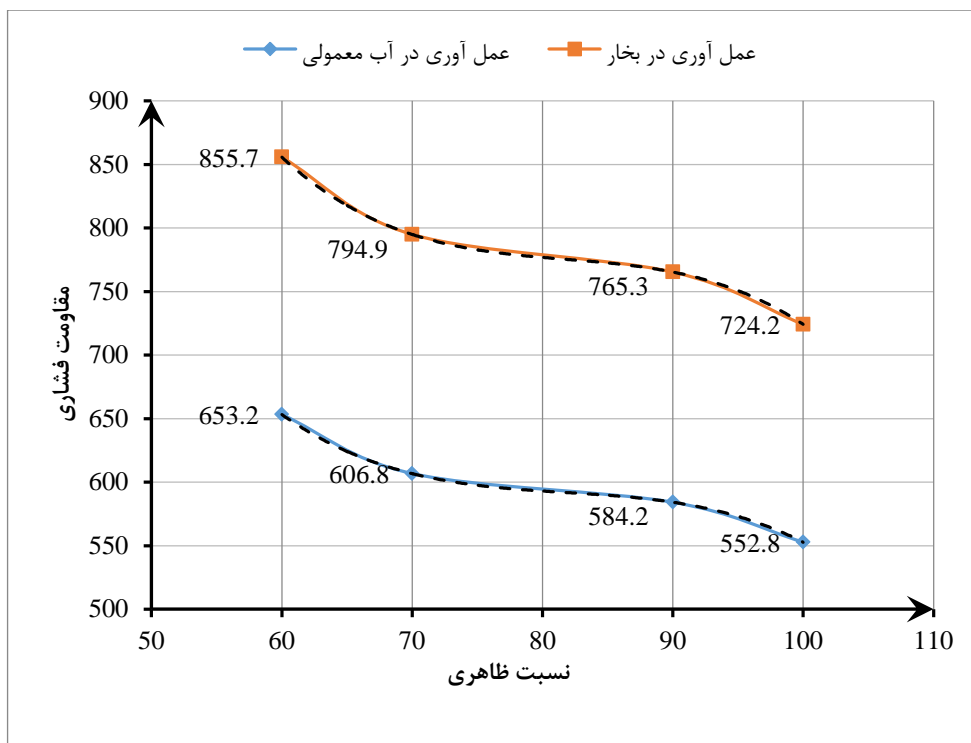
#### ۴- بررسی نتایج

نمونه های آزمایشی برای تعیین مقاومت فشاری بتن پودری واکنش پذیر بر اساس آئین نامه JSCE ژاپن بوده است که ارتفاع آن دو برابر اندازه قطرش می باشد. دو سطح بالا و پائین نمونه فشاری که در دو فک دستگاه فشار قرار می گیرد، ضرورت دارد به منظور پرهیز از بروز تمرکز تنش، کاملا صاف باشد. بر اساس توصیه آئین نامه JSCE، حداکثر زبری سطح باید ۰/۲ میلی متر باشد. از این رو قالب های استوانه ای مورد استفاده برای این امر از نوع مخصوص است که دو سطح بالا و پائین آن به سطوحی که کاملا صاف و پرداخت شده هستند، منتهی می شود. حداقل تعداد نمونه های فشاری طبق این آئین نامه ۳ عدد است که میانگین مقاومت سه نمونه بیانگر مقاومت فشاری هر سری می باشد. مقاومت فشاری نمونه های RPC بر اساس رابطه ۱ تعیین می شود که در این رابطه :

$$\sigma_c = \frac{4P}{\pi D^2} \quad (1)$$

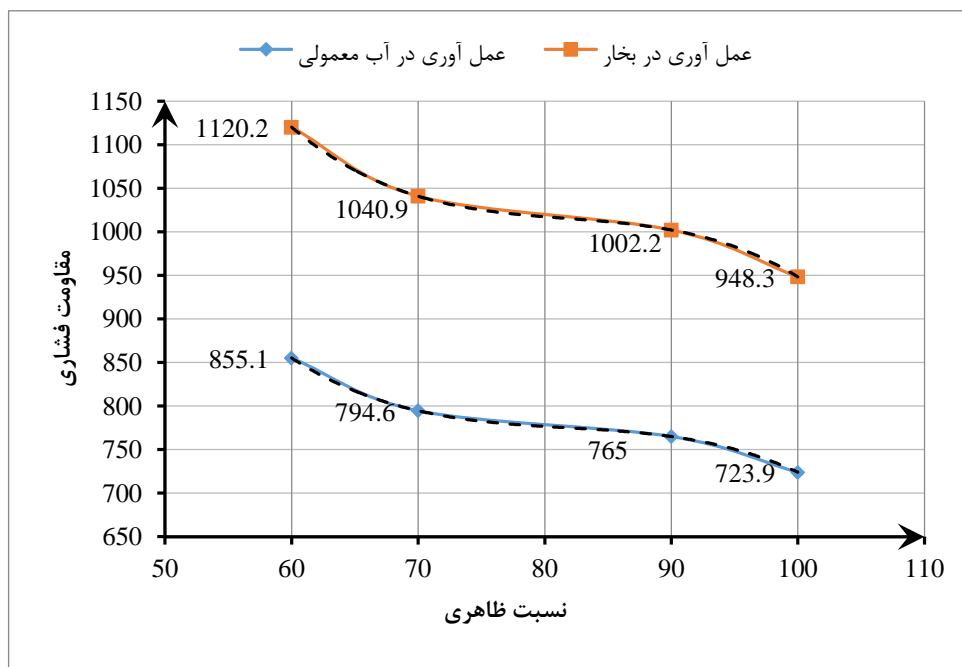
$\sigma_c$ : مقاومت فشاری بر حسب  $kg/cm^2$   
 $P$ : حداکثر نیروی وارده تا گسیختگی نمونه بر حسب  $kg$   
 $D$ : قطر استوانه بر حسب  $cm$

در نمودار ۲ و ۱ نتایج آزمایشات مربوط به مقاومت فشاری بتن پودری واکنش پذیر مسلح به الیاف فولادی در مقابل نسبت ظاهری برای ۸۰ و ۱۲۰ کیلو گرم الیاف در متر مکعب آورده شده است. در نمودار ۳ نتایج آزمایشات مربوط به مقاومت فشاری بتن پودری واکنش پذیر مسلح به الیاف فولادی مقابل درصد حجمی الیاف با  $\ell/d = 60$  با  $\phi 152 \times 305mm$  آورده شده است. در نمودار ۴ نسبت مقاومت فشاری بتن پودری واکنش پذیر مسلح به الیاف فولادی با  $\ell/d = 60$  به بتن پودری واکنش پذیر بدون الیاف آورده شده است.



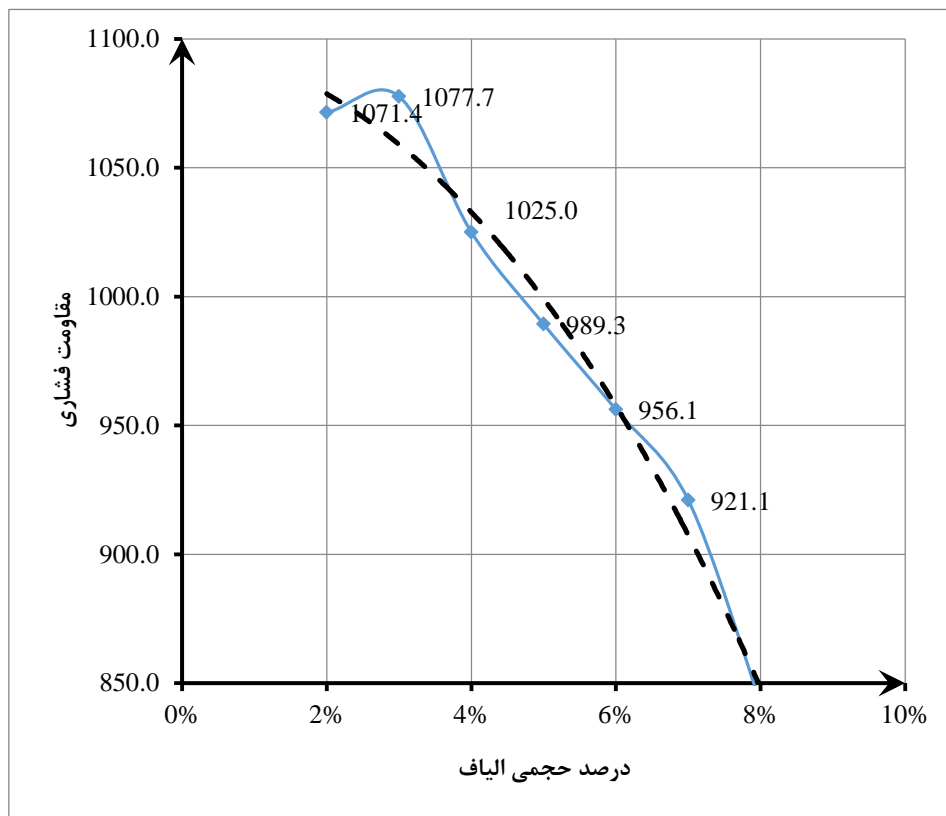
نمودار (۱): مقاومت فشاری بتن RPC مسلح به الیاف فولادی با  $\phi 152 \times 305 \text{mm}$  در مقابل نسبت ظاهري (مقدار الیاف

$$80 \text{ kg/m}^3$$

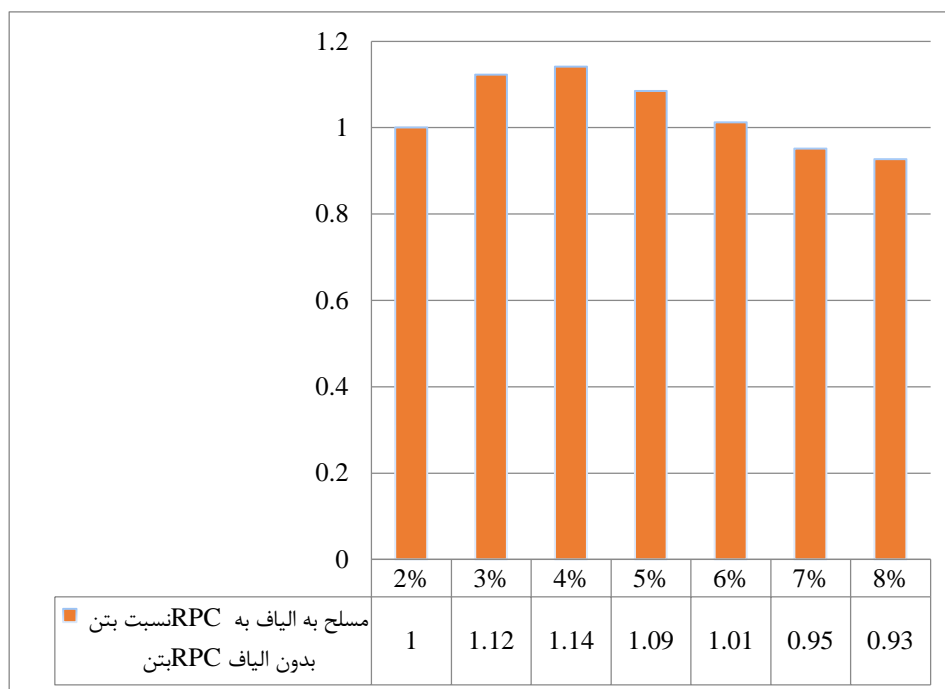


نمودار (۲): مقاومت فشاری بتن RPC مسلح به الیاف فولادی با  $\phi 152 \times 305 \text{mm}$  در مقابل نسبت ظاهري (مقدار

$$120 \text{ kg/m}^3 \text{ الیاف}$$



نمودار (۳) : مقاومت فشاری بتن RPC مسلح به الیاف فولادی با  $\phi 152 \times 305mm$  در مقابل درصد حجمی الیاف





نمودار (۴): نسبت مقاومت فشاری بتن RPC مسلح به الیاف فولادی به بتن RPC بدون الیاف

#### ۵- نتیجه گیری

آزمایش‌های صورت گرفته در این پژوهش تحت دو نوع عمل آوری بخار و در آب معمولی بررسی شده است. پر واضح است که مقاومت فشاری در عمل آوری تحت بخار به نسبت آب معمولی بیشتر می‌گردد. نتایج این پژوهش حاکی از کاهش مقاومت فشاری بتن پودری واکنش پذیر در درصد‌های بالاتر الیاف است که با توجه به نمودار‌های بدست آمده این نتایج حاصل می‌شوند:

اگر  $\sigma$  معرف تنش فشاری بر حسب  $kg/cm^2$  و  $\frac{l}{d}$  معرف نسبت ظاهری الیاف مصرفی باشد با  $R^2 = 1$  روابط زیر در بتن‌پودری واکنش پذیر مطابق با طرح اختلاط ارائه شده برقرار است.

معادلات مقاومت فشاری بتن RPC مسلح به الیاف فولادی در مقابل نسبت ظاهری در عمل آوری تحت بخار آب

$$\sigma = -0.006\left(\frac{l}{d}\right)^3 + 1.479\left(\frac{l}{d}\right)^2 - 121.82\frac{l}{d} + 4142 \xrightarrow{\text{if}} \frac{l}{d} = 80 \frac{kg}{m^3} \quad (۲)$$

$$\sigma = -0.0079\left(\frac{l}{d}\right)^3 + 1.9288\left(\frac{l}{d}\right)^2 - 158.84\frac{l}{d} + 5404.9 \xrightarrow{\text{if}} \frac{l}{d} = 120 \frac{kg}{m^3} \quad (۳)$$

معادلات مقاومت فشاری بتن RPC مسلح به الیاف فولادی در مقابل نسبت ظاهری در عمل آوری در آب معمولی

$$\sigma = -0.0046\left(\frac{l}{d}\right)^3 + 1.129\left(\frac{l}{d}\right)^2 - 92.99\frac{l}{d} + 3161.8 \xrightarrow{\text{if}} \frac{l}{d} = 80 \frac{kg}{m^3} \quad (۴)$$

$$\sigma = -0.006\left(\frac{l}{d}\right)^3 + 1.4723\left(\frac{l}{d}\right)^2 - 121.25\frac{l}{d} + 4125.9 \xrightarrow{\text{if}} \frac{l}{d} = 120 \frac{kg}{m^3} \quad (۵)$$

با توجه به نمودار ۳ اگر  $\sigma$  معرف تنش فشاری بر حسب  $kg/cm^2$  و  $\xi$  معرف درصد الیاف در حجم بتن باشد رابطه زیر با  $R^2 = 0.9819$  در بتن پودری واکنش پذیر مطابق با طرح اختلاط ارائه شده برقرار است.

$$\sigma = -105778\xi^3 - 23787\xi^2 - 574.76\xi + 1100.5 \quad (۶)$$

با توجه به نمودار شماره ۴ بهترین نتیجه از اختلاط ۳ درصد الیاف فولادی حاصل می‌گردد. در رابطه با نقش الیاف فولادی در مقاومت فشاری بتن و نتایج حاصل از تحقیقات انجام یافته شاید بتوان گفت که بهتر است از کاربرد الیاف فولادی در مقاطع فشاری پرهیز گردد چرا که با توجه به کاهش اتفاقی مقاومت فشاری، ضرورتی بر این کاربرد نیست، مگر اینکه هدف خاصی از کاربرد الیاف فولادی مد نظر باشد.

#### تشکر و قدردانی

در انتها لازم است از دانشکده فنی امام علی (ع) یزد که آزمایشگاه بتن را در اختیار ما قرار دادند کمال تشکر و قدردانی را داشته باشیم.



## منابع و مراجع

- [۱] نوبل، آدام؛ تکنولوژی بتن؛ ایران: انتشارات علم و صنعت؛ تابستان ۱۳۷۶.
- [۲] مهتا، کومار؛ مونته ئیرو، پئولو؛ ریز ساختار، خواص و اجزای بتن (تکنولوژی بتن پیشرفته)؛ ایران: انتشارات دانشگاه صنعتی امیر کبیر (پلی تکنیک تهران)؛ بهار ۱۳۹۱.
- [۳] خالو، علیرضا؛ خداویردی زنجانی، محمد مهدی؛ عزیز، خلیل؛ "مطالعه آزمایشگاهی تاثیر مقدار دوده سیلیسی روی عملکرد بتن پودری واکنشی (RPC)"; "تحقیقات بتن؛ بهار و تابستان ۱۳۹۱.
- [۴] معصومی، حسن؛ زهنتی، سعید؛ معصومی، حسین؛ نجاتی فائزه؛ "بررسی ویژگی ها و مزایای بتن پودری واکنش زا".
- [۵] Concrete Society Technical Report No. ۶۳; Concrete; Guidance for the design of steel Fiber Reinforced; camberley; Surrey; ۲۰۱۱.
- [۶] معراجی، لیلیا؛ افشین، حسن؛ عابدی، کریم؛ "آشنایی با بتن پودری واکنش پذیر به عنوان نوعی بتن جدید"; "اولین همایش منطقه ای مصالح ساختمانی و تکنولوژی های نوین در مهندسی عمران؛ اسفند ماه ۱۳۹۰.
- [۷] Marco Couture; Pieree Y. Blais; "Precast, Prestressed Pedestrian Bridge — World's First Reactive Powder Concrete Structure"; PCI Journal; ۱۹۹۹.
- [۸] Wille, Kay; Naaman, Antoine E.; Parra-Montesinos, Gustavo J. (۲۰۱۱). Ultra-High Performance Concrete with Compressive Strength Exceeding ۱۵۰ MPa (۲۲ ksi): A Simpler Way. ۱۰۸ (۱).
- [۹] Cwirzen, A.; Penttala, V.; Vornanen, C. (۲۰۰۸). Reactive powder based concretes: Mechanical properties, durability and hybrid use with OPC. ۳۸ (۱۰).
- [۱۰] Yazıcı, Halit; Yardımcı, Mert Yücel; Aydın, Serdar; Karabulut, Anıl Ş. (۲۰۰۹). Mechanical properties of reactive powder concrete containing mineral admixtures under different curing regimes. ۲۳ (۳).
- [۱۱] Chan, Yin-Wen; Chu, Shu-Hsien;. (۲۰۰۴). Effect of silica fume on steel fiber bond characteristics in reactive powder concrete. ۷ (۳۴).
- [۱۲] دشتی رحمت آبادی، محمدعلی؛ شهبابیان، فرزاد؛ حاجی کاظمی، حسن. (۱۳۹۲). بررسی خواص بتن پودری واکنشی (RPC) به منظور استفاده در مقاوم سازی سازه ها. دانشگاه فردوسی مشهد: مشهد.
- [۱۳] Yunsheng, Zhang; Wei, Sun; Sifeng, Liu; Chujie, Jiao; Jianzhong, Lai;. ( ). Preparation of C۲۰ green reactive powder concrete and its static-dynamic behaviors. ۳۰ (۹).
- [۱۴] Pierre, R., & Cheyrezy, M. (۱۹۹۵). Composition of reactive powder concretes. ۲۵ (۷).
- [۱۵] Cheyrezy, Marcel; Maret, Vincent; Frouin, Laurent;. (۱۹۹۵). Microstructural analysis of RPC (Reactive Powder Concrete). ۲۵ (۷).
- [۱۶] Roux, N., Andrade, C., & Sanjuan, M. (۱۹۹۶). Experimental Study of Durability of Reactive Powder Concretes. ۸ (۱).
- [۱۷] Bonneau, Olivier; Lachemi, Mohamed; Dallaire, Eric; Dugat, Jerome; Aitecin, Pierre-Claude. (۱۹۹۷). Mechanical Properties and Durability of Two Industrial Reactive Powder Concretes. ۹۴ (۴).
- [۱۸] Grote, D.L.; Park, S.W.; Zhou, M.;. (۲۰۰۱). Dynamic behavior of concrete at high strain rates and pressures: I. experimental characterization. ۲۵ (۹).
- [۱۹] معراجی، لیلیا؛ افشین، حسن؛ عابدی، کریم؛. (۱۳۹۲). اثر الیاف مختلف بر خواص بتن پودری واکنش پذیر. پنجمین کنفرانس ملی سالیانه بتن ایران. تهران: نچمن بتن ایران.
- [۲۰] اله وردی، علی؛ سیدی، میر محمد؛. (۱۳۹۰). بتن پودری واکنش زا. ۱۶.
- [۲۱] Tam, C.M.; Tam, Vivian W.Y.; Ng, K.M.;. (۲۰۱۲). Assessing drying shrinkage and water permeability of reactive powder concrete produced in Hong Kong. ۲۶ (۱).





[۲۲] Bornemann, R.; Schmidt, M.; Vellmer, C.;. (۲۰۰۲). feuerwiderstand ultra-hochfester beton. ۵۲ (۹).

[۲۳] شربتدار، محمد کاظم؛ کرمی، محمد؛. (۱۳۸۷). بررسی آزمایشگاهی پانل های بتنی انعطاف پذیر تحت اثر بارهای ضربه ای. چهاردهمین کنفرانس دانشجویان مهندسی عمران سراسر کشور . سمنان: دانشگاه سمنان.

[۲۴] Kosmatka, Steven H.; Kerkhoff, Beatrix; Panarese, C.;. (۲۰۰۲). *Design and Control of Concrete Mixtures*. : portland cement Association.