

## گزارش بررسی ضوابط پذیرش مقاومت فشاری بتن فونداسیون

در اولین نوبت بتن ریزی بتن بر مبنای رده C25، عیار سیمان ۳۵۰ کیلوگرم در متر مکعب و حداکثر اسلامپ ۸۰ میلی‌متر پای کار سفارش داده شد و در پای کار، افزودنی فوق روان کننده خریداری شده از شرکت ..... به تراکم میکسرها با هدف رساندن اسلامپ به محدوده ۱۲۰ تا ۱۶۰ میلی‌متر توسط مهندسین پروژه افزوده شد. در هفت نوبت بتن ریزی بعدی، عیار بتن به ۳۷۵ کیلوگرم در متر مکعب افزایش داده شد و بقیه مشخصات بتن مانند اولین نوبت بتن ریزی در نظر گرفته شد.

بررسی نتایج مقاومت فشاری بتن بر مبنای نتایج آزمون‌های انجام شده توسط آزمایشگاه دارای صلاحیت نظام مهندسی ساختمان تهیه شده است.

برای بررسی ضوابط پذیرش مقاومت لازم است به مبحث نهم مقررات ملی ساختمان (ویرایش سال ۱۳۹۹)، بند ۹-۲۲-۱۱-۳، رجوع کرد. طبق این ضابطه باید:

الف- میانگین مقاومت فشاری هر سه نمونه متوالی برابر یا بیشتر از  $f'_c$  باشد.

ب- مقاومت هیچ یک از نمونه‌ها کمتر از  $0.9f'_c$  نباشد.

از آنجا که در پروژه مورد بررسی،  $f'_c$  برای بتن فونداسیون برابر ۲۵ مگاپاسکال است، باید:

- میانگین مقاومت فشاری هر سه نمونه متوالی برابر یا بیشتر از ۲۵ مگاپاسکال باشد.
- مقاومت هیچ یک از نمونه‌ها کمتر از ۲۲/۵ مگاپاسکال نباشد.

در جدول ۱، نتایج مقاومت فشاری ۲۸ روزه نمونه‌های اخذ شده پس از افزودن فوق روان کننده ارائه و همچنین ضوابط پذیرش مقاومت فشاری بتن فونداسیون بررسی شده است. طبق این جدول و بر اساس نتایج مقاومت فشاری گزارش شده توسط آزمایشگاه و ضوابط پذیرش مقاومت بتن در مبحث نهم مقررات ملی ساختمان (ویرایش سال ۱۳۹۹)، بند ۹-۲۲-۱۱-۳، مقاومت فشاری بتن‌های اجرا شده فونداسیون قابل پذیرش است. در شکل ۱ نیز نمودار نتایج به همراه میانگین متحرک سه تایی نتایج جهت بررسی ضوابط پذیرش قابل مشاهده است.

جدول ۱- بررسی ضوابط پذیرش مقاومت بتن فونداسیون

شرایط پذیرش:	میانگین مقاومت فشاری سه نمونه متوالی (مگاپاسکال)	مقاومت فشاری نمونه استوانه‌ای (مگاپاسکال)	شماره نمونه-ها	ترتیب سه نمونه-های متوالی
میانگین مقاومت فشاری سه نمونه متوالی $\leq 25$ مگاپاسکال مقاومت فشاری هر نمونه $\leq 22/5$ مگاپاسکال	۲۵,۷	۲۹,۱	۱	۱
		۲۲,۵	۲	
		۲۵,۴	۳	
قبول	۲۷,۷	۲۲,۵	۲	۲
		۲۵,۴	۳	
		۳۵,۲	۴	
قبول	۳۳,۳	۲۵,۴	۳	۳
		۳۵,۲	۴	
		۳۹,۴	۵	
قبول	۳۶,۹	۳۵,۲	۴	۴
		۳۹,۴	۵	
		۳۶,۰	۶	
قبول	۳۸,۴	۳۹,۴	۵	۵
		۳۶,۰	۶	
		۳۹,۷	۷	
قبول	۳۶,۵	۳۶,۰	۶	۶
		۳۹,۷	۷	
		۳۳,۷	۸	
قبول	۳۷,۶	۳۹,۷	۷	۷
		۳۳,۷	۸	
		۳۹,۵	۹	
قبول	۳۶,۹	۳۳,۷	۸	۸
		۳۹,۵	۹	
		۳۷,۶	۱۰	

جدول ۱- بررسی ضوابط پذیرش مقاومت بتن فونداسیون

شرایط پذیرش:	میانگین مقاومت فشاری سه نمونه متوالی (مگاپاسکال)	مقاومت فشاری نمونه استوانه‌ای (مگاپاسکال)	شماره نمونه-ها	ترتیب سه نمونه-های متوالی
میانگین مقاومت فشاری سه نمونه متوالی $\leq 25$ مگاپاسکال مقاومت فشاری هر نمونه $\leq 5/22$ مگاپاسکال	۳۷,۵	۳۹,۵	۹	۹
		۳۷,۶	۱۰	
		۳۵,۴	۱۱	
قبول	۳۷,۲	۳۷,۶	۱۰	۱۰
		۳۵,۴	۱۱	
		۳۸,۶	۱۲	
قبول	۳۷,۷	۳۵,۴	۱۱	۱۱
		۳۸,۶	۱۲	
		۳۹,۲	۱۳	
قبول	۳۷,۴	۳۸,۶	۱۲	۱۲
		۳۹,۲	۱۳	
		۳۴,۵	۱۴	
قبول	۳۵,۵	۳۹,۲	۱۳	۱۳
		۳۴,۵	۱۴	
		۳۲,۹	۱۵	
قبول	۳۵,۷	۳۴,۵	۱۴	۱۴
		۳۲,۹	۱۵	
		۳۹,۶	۱۶	
قبول	۳۴,۶	۳۲,۹	۱۵	۱۵
		۳۹,۶	۱۶	
		۳۱,۴	۱۷	
قبول	۳۱,۵	۳۹,۶	۱۶	۱۶
		۳۱,۴	۱۷	
		۲۳,۶	۱۸	

جدول ۱- بررسی ضوابط پذیرش مقاومت بتن فونداسیون

شرایط پذیرش:	میانگین مقاومت فشاری سه نمونه متوالی (مگاپاسکال)	مقاومت فشاری نمونه استوانه‌ای (مگاپاسکال)	شماره نمونه-ها	ترتیب سه نمونه-های متوالی
میانگین مقاومت فشاری سه نمونه متوالی $\leq 25$ مگاپاسکال مقاومت فشاری هر نمونه $\leq 5/22$ مگاپاسکال	۲۸,۷	۳۱,۴	۱۷	۱۷
		۲۳,۶	۱۸	
		۳۱,۰	۱۹	
قبول	۲۹,۴	۲۳,۶	۱۸	۱۸
		۳۱,۰	۱۹	
		۳۳,۵	۲۰	
قبول	۳۳,۳	۳۱,۰	۱۹	۱۹
		۳۳,۵	۲۰	
		۳۵,۵	۲۱	
قبول	۳۵,۶	۳۳,۵	۲۰	۲۰
		۳۵,۵	۲۱	
		۳۷,۸	۲۲	
قبول	۳۴,۱	۳۵,۵	۲۱	۲۱
		۳۷,۸	۲۲	
		۲۹,۱	۲۳	
قبول	۳۳,۲	۳۷,۸	۲۲	۲۲
		۲۹,۱	۲۳	
		۳۲,۸	۲۴	
قبول	۳۱,۵	۲۹,۱	۲۳	۲۳
		۳۲,۸	۲۴	
		۳۲,۶	۲۵	
قبول	۳۱,۸	۳۲,۸	۲۴	۲۴
		۳۲,۶	۲۵	
		۳۰,۰	۲۶	

جدول ۱- بررسی ضوابط پذیرش مقاومت بتن فونداسیون

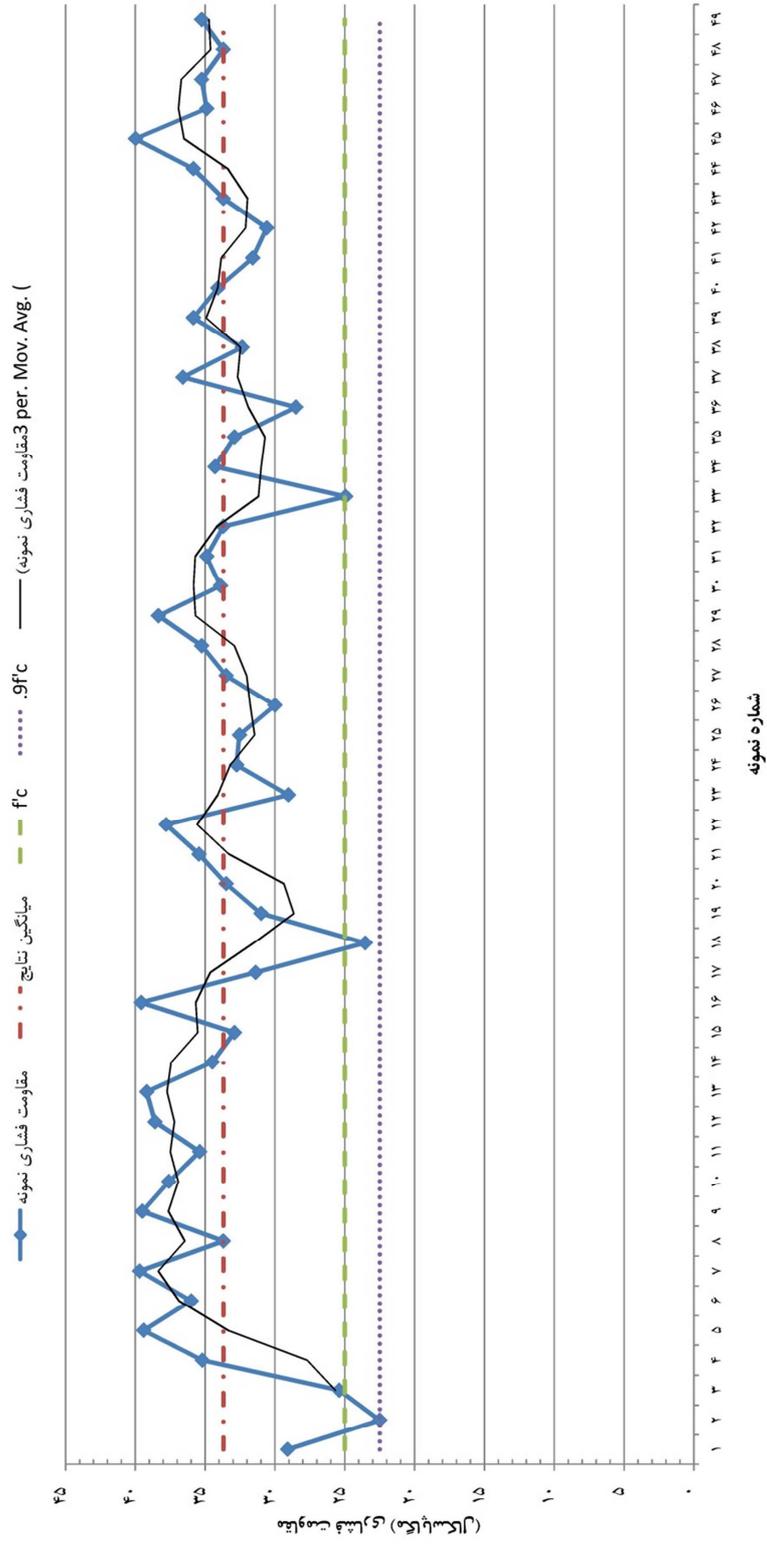
شرایط پذیرش:	میانگین مقاومت فشاری سه نمونه متوالی (مگاپاسکال)	مقاومت فشاری نمونه استوانه‌ای (مگاپاسکال)	شماره نمونه-ها	ترتیب سه نمونه-های متوالی
میانگین مقاومت فشاری سه نمونه متوالی $\leq 25$ مگاپاسکال مقاومت فشاری هر نمونه $\leq 22/5$ مگاپاسکال	۳۲,۰	۳۲,۶	۲۵	۲۵
		۳۰,۰	۲۶	
		۳۳,۵	۲۷	
قبول	۳۲,۹	۳۰,۰	۲۶	۲۶
		۳۳,۵	۲۷	
		۳۵,۳	۲۸	
قبول	۳۵,۷	۳۳,۵	۲۷	۲۷
		۳۵,۳	۲۸	
		۳۸,۴	۲۹	
قبول	۳۵,۸	۳۵,۳	۲۸	۲۸
		۳۸,۴	۲۹	
		۳۳,۹	۳۰	
قبول	۳۵,۷	۳۸,۴	۲۹	۲۹
		۳۳,۹	۳۰	
		۳۴,۹	۳۱	
قبول	۳۴,۲	۳۳,۹	۳۰	۳۰
		۳۴,۹	۳۱	
		۳۳,۷	۳۲	
قبول	۳۱,۲	۳۴,۹	۳۱	۳۱
		۳۳,۷	۳۲	
		۲۵,۰	۳۳	
قبول	۳۱,۰	۳۳,۷	۳۲	۳۲
		۲۵,۰	۳۳	
		۳۴,۳	۳۴	

جدول ۱- بررسی ضوابط پذیرش مقاومت بتن فونداسیون

شرایط پذیرش:	میانگین مقاومت فشاری سه نمونه متوالی (مگاپاسکال)	مقاومت فشاری نمونه استوانه‌ای (مگاپاسکال)	شماره نمونه-ها	ترتیب سه نمونه-های متوالی
میانگین مقاومت فشاری سه نمونه متوالی $\leq 25$ مگاپاسکال مقاومت فشاری هر نمونه $\leq 22/5$ مگاپاسکال	۳۰,۷	۲۵,۰	۳۳	۳۳
		۳۴,۳	۳۴	
		۳۲,۹	۳۵	
قبول	۳۱,۹	۳۴,۳	۳۴	۳۴
		۳۲,۹	۳۵	
		۲۸,۵	۳۶	
قبول	۳۲,۷	۳۲,۹	۳۵	۳۵
		۲۸,۵	۳۶	
		۳۶,۶	۳۷	
قبول	۳۲,۵	۲۸,۵	۳۶	۳۶
		۳۶,۶	۳۷	
		۳۲,۴	۳۸	
قبول	۳۴,۹	۳۶,۶	۳۷	۳۷
		۳۲,۴	۳۸	
		۳۵,۹	۳۹	
قبول	۳۴,۱	۳۲,۴	۳۸	۳۸
		۳۵,۹	۳۹	
		۳۴,۱	۴۰	
قبول	۳۳,۹	۳۵,۹	۳۹	۳۹
		۳۴,۱	۴۰	
		۳۱,۶	۴۱	
قبول	۳۲,۱	۳۴,۱	۴۰	۴۰
		۳۱,۶	۴۱	
		۳۰,۶	۴۲	

جدول ۱- بررسی ضوابط پذیرش مقاومت بتن فونداسیون

شرایط پذیرش:	میانگین مقاومت فشاری سه نمونه متوالی (مگاپاسکال)	مقاومت فشاری نمونه استوانه‌ای (مگاپاسکال)	شماره نمونه-ها	ترتیب سه نمونه-های متوالی
میانگین مقاومت فشاری سه نمونه متوالی $\leq 25$ مگاپاسکال مقاومت فشاری هر نمونه $\leq 22/5$ مگاپاسکال	۳۲,۰	۳۱,۶	۴۱	۴۱
		۳۰,۶	۴۲	
		۳۳,۷	۴۳	
قبول	۳۳,۴	۳۰,۶	۴۲	۴۲
		۳۳,۷	۴۳	
		۳۵,۹	۴۴	
قبول	۳۶,۵	۳۳,۷	۴۳	۴۳
		۳۵,۹	۴۴	
		۴۰,۰	۴۵	
قبول	۳۶,۹	۳۵,۹	۴۴	۴۴
		۴۰,۰	۴۵	
		۳۴,۹	۴۶	
قبول	۳۶,۷	۴۰,۰	۴۵	۴۵
		۳۴,۹	۴۶	
		۳۵,۳	۴۷	
قبول	۳۴,۶	۳۴,۹	۴۶	۴۶
		۳۵,۳	۴۷	
		۳۳,۷	۴۸	
قبول	۳۴,۷	۳۵,۳	۴۷	۴۷
		۳۳,۷	۴۸	
		۳۵,۳	۴۹	



شکل ۱- نتایج مقاومت فشاری ۲۸ روزه فونداسیون

در جدول ۲، خلاصه نتایج بتن فونداسیون قابل مشاهده است. لازم به ذکر است که این نتایج مربوط به نمونه گیری پس از افزودن روان کننده است.

جدول ۲- خلاصه نتایج بتن ریزی فونداسیون\*

۲۴۰۰	حجم بتن ریزی (متر مکعب)
۱۳۹۹/۱۲/۰۲ الی ۱۳۹۹/۱۰/۱۸	محدوده زمانی بتن ریزی
۸	تعداد نوبت های بتن ریزی
۴۹	تعداد نمونه اخذ شده برای مقاومت فشاری ۲۸ روزه
۲	تعداد آزمون های هر نمونه برای مقاومت فشاری ۲۸ روزه
۳۳/۸	میانگین مقاوت فشاری ۲۸ روزه نمونه ها (مگاپاسکال)
۴۰/۰	حداکثر مقاوت فشاری ۲۸ روزه نمونه ها (مگاپاسکال)
۲۲/۵	حداقل مقاوت فشاری ۲۸ روزه نمونه ها (مگاپاسکال)
۰	تعداد موارد مرودی مطابق مبحث نهم مقررات ملی ساختمان
۲	تعداد نمونه هایی که مقاومت ۲۸ روزه آن کمتر از ۴'c شده است
۴۸	تعداد نمونه اخذ شده برای مقاومت فشاری ۷ روزه
۱	تعداد آزمون های هر نمونه برای مقاومت فشاری ۷ روزه
۲۵/۳	میانگین مقاوت فشاری ۷ روزه نمونه ها (مگاپاسکال)
۳۴/۳	حداکثر مقاوت فشاری ۷ روزه نمونه ها (مگاپاسکال)
۱۶/۰	حداقل مقاوت فشاری ۷ روزه نمونه ها (مگاپاسکال)
۱/۳۶	میانگین نسبت مقاومت فشاری ۲۸ روزه به ۷ روزه
۱/۹۹	حداکثر نسبت مقاومت فشاری ۲۸ روزه به ۷ روزه
۱/۰۹	حداقل نسبت مقاومت فشاری ۲۸ روزه به ۷ روزه

\*نمونه گیری ها بعد از افزودن فوق روان کننده انجام شده است.

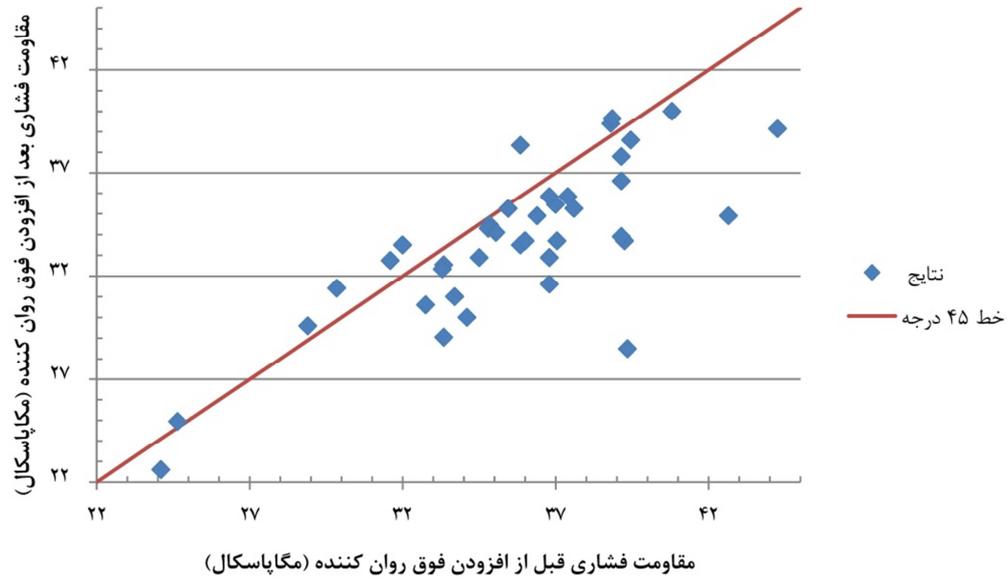
در جدول ۳، خلاصه نتایج مقاومت فشاری به تفکیک کارخانه‌های بتن آماده که در پروژه از آنها بتن خریداری شده است، ارائه شده است. لازم به ذکر است که نتایج این جدول مربوط به نمونه‌گیری‌های قبل از افزودن فوق روان‌کننده می‌باشد. همچنین باید توجه نمود که نتایج اولین نوبت بتن ریزی که بتن با عیار ۳۵۰ کیلوگرم در متر مکعب از کارخانه پاسارگاد خریداری شده بود در این جدول نیامده است تا بتوان مقایسه بهتری انجام داد. طبق نتایج این جدول بهترین عملکرد مربوط به شرکت ۳ و ضعیف‌ترین عملکرد مربوط به شرکت ۱ بوده است، هر چند که نتایج بتن ریزی هر سه شرکت قابل قبول بوده است.

جدول ۳- خلاصه نتایج بتن ریزی فونداسیون\*

۳	۲	۱	کارخانه بتن آماده
۱	۴	۲	تعداد مرتبه بتن ریزی
۶	۲۰	۱۱	تعداد نمونه اخذ شده
۳۵/۶	۳۶/۸	۳۵/۲	میانگین مقاومت فشاری نمونه‌ها (مگاپاسکال)
۳۹/۲	۴۴/۳	۴۲/۷	حداکثر مقاومت فشاری نمونه‌ها (مگاپاسکال)
۳۲/۸	۳۱/۶	۲۴/۷	حداقل مقاومت فشاری نمونه‌ها (مگاپاسکال)
۲/۴	۳/۱	۴/۹	انحراف معیار مقاومت فشاری نمونه‌ها (مگاپاسکال)
۰	۰	۰	تعداد موارد مرودی مطابق استاندارد ملی ۶۰۴۴

\*نمونه‌گیری‌ها قبل و بعد از افزودن فوق روان‌کننده انجام شده است.

در شکل ۲، نتایج نمونه‌گیری‌ها قبل و بعد از افزودن فوق روان‌کننده با هم مقایسه شده است. نقاطی که پایین‌تر از خط ۴۵ درجه قرار گرفته‌اند نشان می‌دهد که افزودن روان‌کننده سبب کاهش مقاومت در نسبت آب به سیمان برابر شده است و بالعکس. به طور متوسط نتایج مقاومت فشاری ۲۸ روزه نمونه‌ها بعد از افزودن فوق روان‌کننده به قبل از افزودن آن برابر ۹۵ درصد است. در استاندارد اروپایی EN 934-2 معادل استاندارد ملی ۲-۲۹۳۰، در آب به سیمان برابر، حداقل این نسبت برای ارزیابی فوق‌روان‌کننده‌ها برابر ۹۰ درصد است. باید توجه نمود که استفاده از فوق روان‌کننده در پای کار سبب کاهش آب مصرفی در بتن می‌شود زیرا اصولاً بتن‌های با اسلامپ کمتر از ۸۰ میلی‌متر، قابلیت پمپ شدن ندارد و در صورت عدم استفاده از فوق روان‌کننده و تأمین روانی لازم با آب، مقاومت فشاری بتن به شدت کاهش می‌یابد (بسیار بیشتر از ۵ درصد کاهش مقاومت ناشی از افزودن فوق روان‌کننده). پس می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از فوق روان‌کننده در مجموع باعث دستیابی به بتن قابل اجرا با مقاومت فشاری بیشتر می‌شود.



شکل ۲- مقایسه نتایج مقاومت فشاری ۲۸ روزه قبل و بعد از افزودن فوق روان کننده

در انتها باید متذکر شد که نتایج به دست آمده تاکنون مربوط به فصل زمستان است و می توان انتظار داشت که مقاومت فشاری بتن با گرم تر شدن هوا کاهش یابد. در این خصوص، تمهیداتی مانند استفاده از یخ در بتن و استفاده از فوق روان کننده با کیفیت دارای قابلیت حفظ اسلامپ در بچینگ لازم به انجام است.

**بابک احمدی**  
مشاور تکنولوژی بتن