

## بررسی عملکرد افزودنی PG 06 بر اساس استاندارد ملی ایران ۲۹۳۰ با رویکرد استفاده در بتن آماده

### ۱- مقدمه

انجام آزمایش ها و ارائه نتایج آن در گزارش حاضر، در راستای اجرای متمم قرارداد به شماره ۸۲/پ/۵۷۹ مورخ ۷۹/۳/۱۸ با عنوان "بررسی عملکرد افزودنی PG 06 بر اساس استاندارد ملی ایران ۲۹۳۰ و تحلیل اقتصادی آن، با رویکرد استفاده در بتن آماده" که در تاریخ ۹۱/۳/۱ به امضا طرفین رسیده، صورت گرفته است. این گزارش شامل آزمایش ها و تفسیر نتایج به دست آمده از ماده افزودنی PG06 ارسالی از شرکت کیکو و بررسی عملکرد آن به عنوان روان کننده و کاهش آب و همچنین به عنوان فوق روان کننده- فوق کاهنده آب مطابق با استاندارد ملی ایران ISIRI 2930 می باشد. بر اساس بند ۳-۶-۷ استاندارد ۲۹۳۰، ماده افزودنی کاهنده آب-روان کننده، ماده ای افزودنی است که بدون تغییر روانی، مقدار آب مخلوط بتن را کاهش می دهد یا بدون تغییر مقدار آب، اسلامپ و روانی را افزایش دهد یا هر دو اثر را بطور همزمان ایجاد می کند. شایان ذکر است آزمایش های افزودنی به عنوان فوق روان کننده با توجه به استاندارد ملی ایران ۲۹۳۰ در دو حالت آب به سیمان برابر و در حالت روانی برابر انجام گرفته است. علاوه بر آن کارایی افزودنی فوق در طرح های اختلاط متداول بتن آماده بررسی و مقایسه تاثیر آن با افزودنی روان کننده (L1) ارسالی از آن شرکت بررسی شده است.

### ۲- مصالح مورد استفاده

#### ۲-۱- سیمان

طرح اختلاط و ویژگی های مصالح مصرفی بتن شاهد برای انواع افزودنی ها باید مطابق الزامات استاندارد ملی ایران ۸۱۱۷ باشد. بر اساس این استاندارد ویژگی های سیمان مصرفی برای ساخت مخلوط بتن شاهد باید الزامات جدول ۱ این استاندارد را تامین نماید. سیمان مصرفی در این بررسی، سیمان پرتلند تیپ ۲ کارخانه سیمان تهران می باشد. نتایج آنالیز شیمیایی سیمان مورد استفاده و الزامات استاندارد در جدول شماره ۱ خلاصه شده است. مقاومت فشاری سیمان نیز در جدول شماره ۲ ارائه شده است.



جدول شماره ۱ مقایسه نتایج آزمایش شیمیایی سیمان با الزامات استاندارد ملی ایران (برحسب MPa)

آنالیز شیمیایی	مقدار مجاز طبق استاندارد برای سیمان تیب ۲	مقادیر بدست آمده برای سیمان تیب ۲ تهران
$SiO_2$	حداقل ۲۰	۲۱/۲۵
$Al_2O_3$	حداکثر ۶	۳/۳۸
$Fe_2O_3$	حداکثر ۶	۳/۵۶
$CaO$	-	۶۳/۱
$MgO$	حداکثر ۵	-
$SO_3$	حداکثر ۳	۰/۷۱
$Na_2O$	-	۰/۲۱۶
$K_2O$	-	۰/۵۴
$C_3S$	-	۶۲/۷
$C_2S$	-	۱۳/۶
$C_3A$	حداکثر ۸	۲/۹
$C_4AF$	-	۱۰/۸
قلیایی معادل	حداکثر ۰/۶	۰/۵۷

جدول ۲- نتایج آزمایش مقاومت فشاری ملات سیمان با الزامات استاندارد ملی ایران (برحسب MPa)

آزمایش مقاومت فشاری ملات	مقاومت ۷ روزه (MPa)	مقاومت ۲۸ روزه (MPa)
استاندارد ملی ایران به شماره ۳۲۰۶	۲۲/۶	۳۴/۸

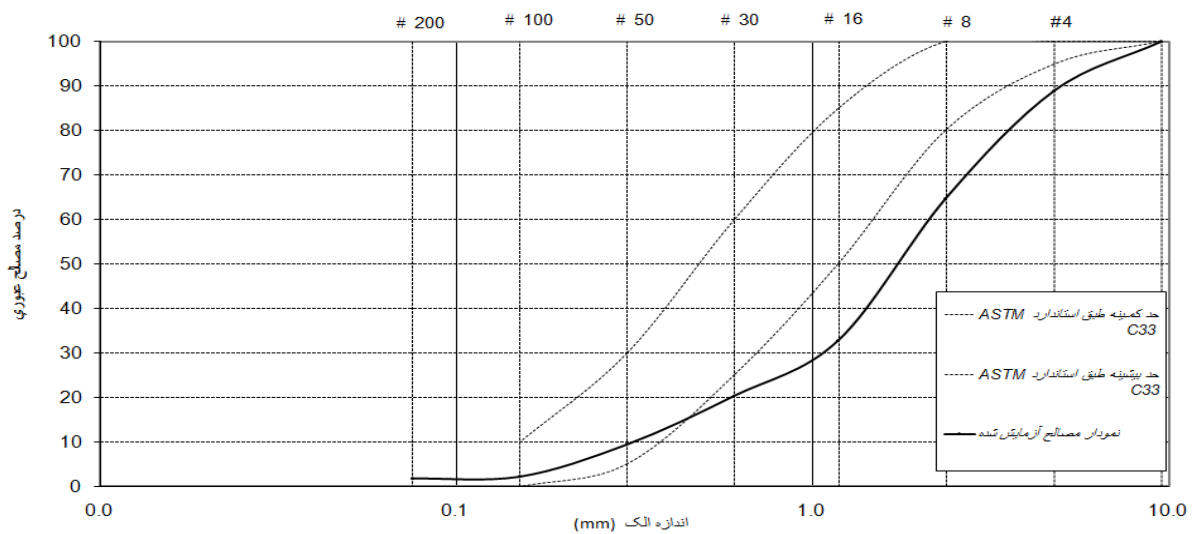
## ۲-۲-آب

آب مصرفی در پروژه آب شرب تهران بوده است.

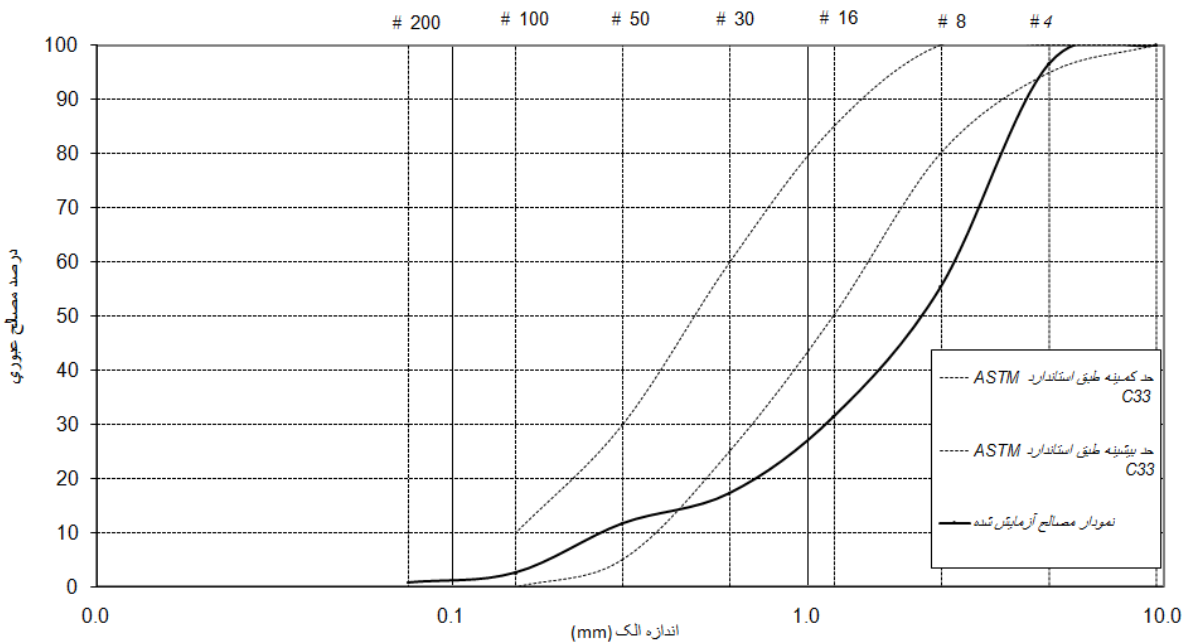


### ۳-۲- سنگدانه

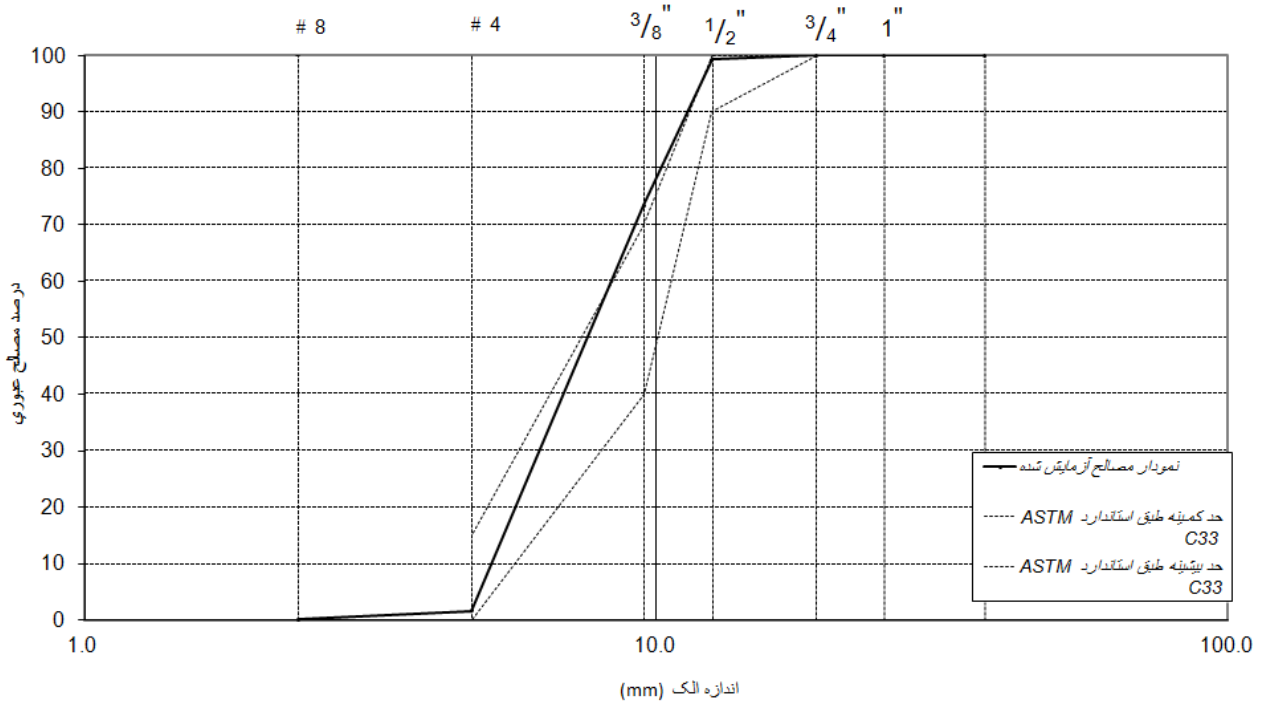
مصالح سنگی مورد استفاده در این پروژه، دو نوع ماسه طبیعی ۰-۶ که با S1 و S2 کدگذاری شده است، شن نخودی با حداکثر اندازه ۱۲/۵ میلیمتر و شن بادامی با حداکثر اندازه ۱۹ میلیمتر می‌باشد. آزمایش دانه بندی سنگدانه های ریز و درشت براساس استاندارد شماره ۴۹۷۷ ایران و استاندارد ASTM- C 136 انجام گرفته است. نمودار دانه بندی مصالح مورد استفاده در شکل های ۱ تا ۴ نشان داده شده است. در این شکل ها منحنی های دانه بندی به طور جداگانه با محدوده های دانه بندی استاندارد ASTM- C 33 برای ریزدانه و درشت دانه مقایسه شده است.



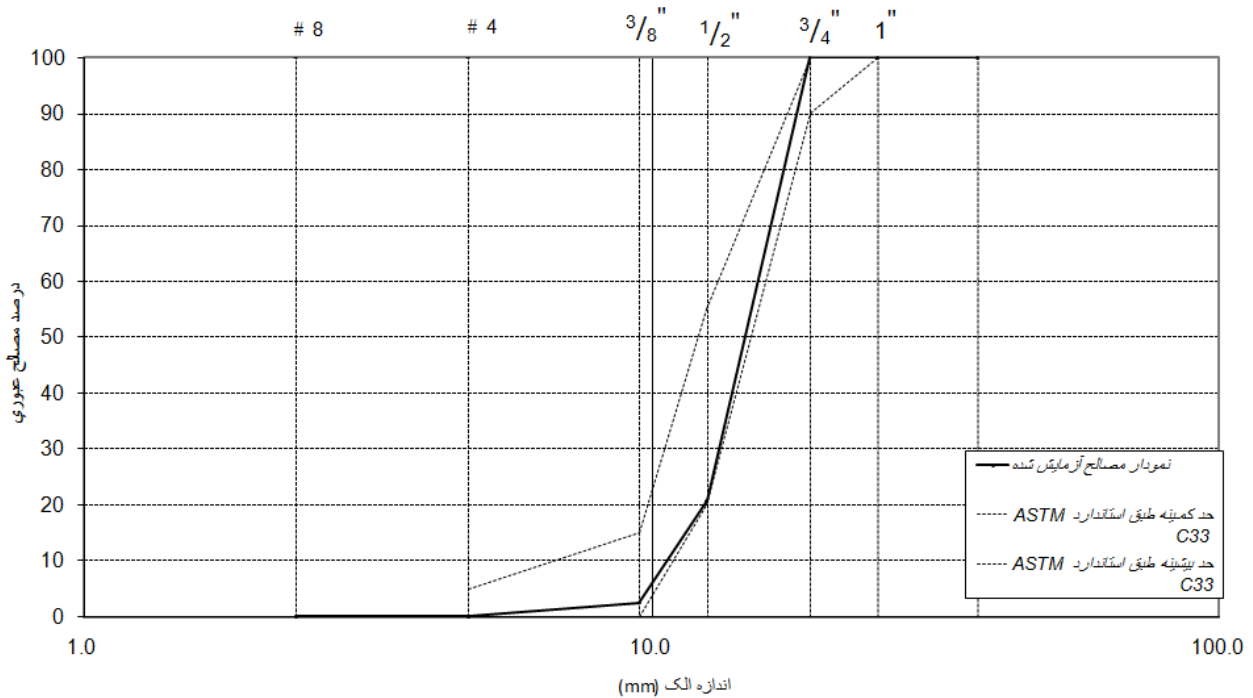
شکل ۱- نمودار دانه بندی مصالح سنگی الف-ماسه ۰-۶ نوع S1



شکل ۲- نمودار دانه بندی مصالح سنگی ماسه ۰-۶ نوع S2



شکل ۳- نمودار دانه بندی مصالح سنگی شن نخودی-FG



شکل ۴- نمودار دانه بندی مصالح سنگی شن بادامی-CG



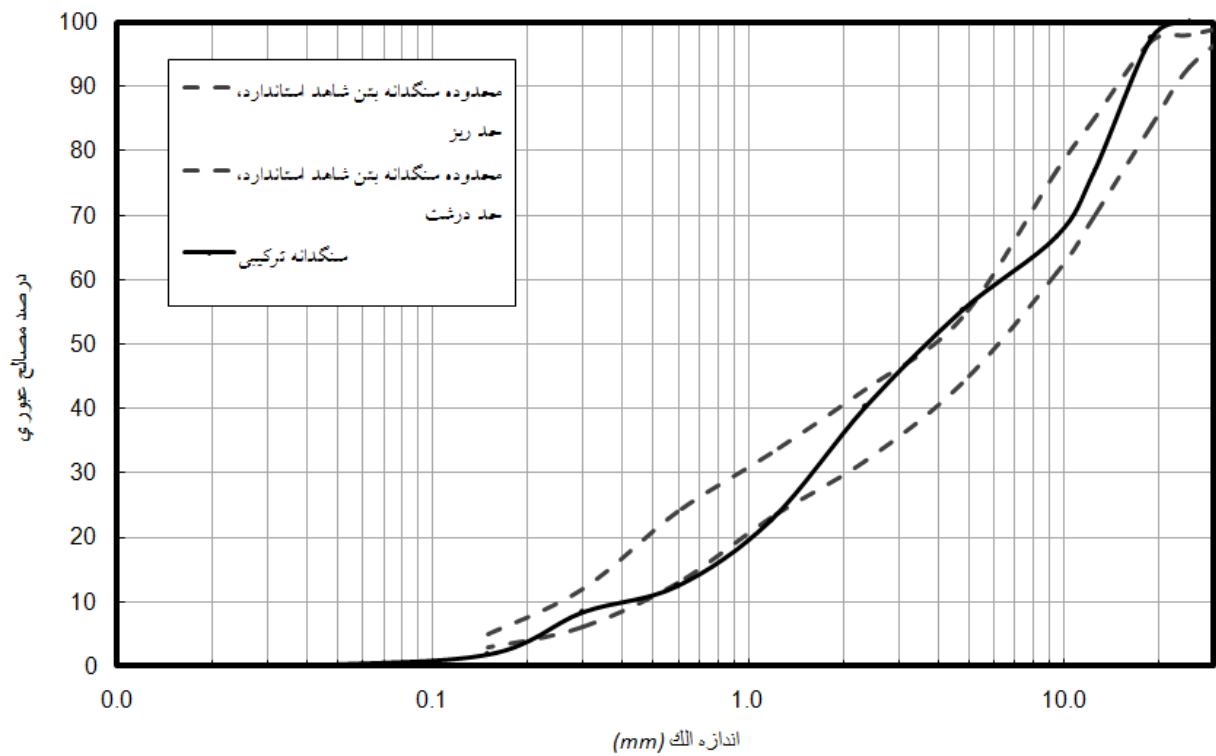
نکته مهم در انتخاب شن و ماسه، پیوستگی دانه بندی کلی آن و قرار گرفتن در محدوده مناسب پیشنهاد شده در طرح اختلاط شاهد ( جدول شماره ۳) مطابق با استاندارد ISIRI 8117 می باشد. برطبق این استاندارد منحنی دانه بندی کلی سنگدانه ها مورد استفاده در ساخت بتن شاهد باید در محدوده نشان داده شده در جدول شماره ۳ باشد. برای این کار باید نسبتهای شن نخودی، شن بادامی و ماسه به نحوی انتخاب گردد که دانه بندی در محدوده مورد نظر قرار گیرد.

جدول شماره ۳- محدوده دانه بندی سنگدانه مورد مصرف در بتن شاهد

اندازه الک (میلیمتر)	درصد عبوری از الک (وزنی)
۳۷,۵	۱۰۰
۲۵	۹۳ تا ۹۸
۱۹	۸۴ تا ۹۷
۱۲,۵	۷۰ تا ۸۵
۹,۵	۶۱ تا ۷۷
۴,۷۵	۴۴ تا ۵۵
۲,۳۶	۳۲ تا ۴۳
۱,۱۸	۲۳ تا ۳۳
۰,۶	۱۳ تا ۲۴
۰,۳	۶ تا ۱۲
۰,۱۵	۳ تا ۵

به دلیل نامناسب بودن دانه بندی ماسه و زبر بودن آن هیچ ترکیبی از شن نخودی، شن بادامی و ماسه در محدوده مذکور قرار نمی گرفت. بنابراین دانه بندی ماسه با عبور از الک شماره ۸ اصلاح گردید. (شکل شماره ۶) به این ترتیب ماسه S1 و S2 با استفاده از الک شماره ۸ به دویخش تقسیم شده سپس ماسه رد شده از الک شماره ۸ با نیمی از ماسه باقیمانده بر روی این الک ترکیب شده است. دانه بندی ترکیبی سنگدانه ها بر اساس ۵۵ درصد ماسه، ۱۵ درصد شن نخودی و ۳۰ درصد شن بادامی در شکل شماره ۵ نشان داده شده است. در شکل ۶ مراحل اصلاح دانه بندی نشان داده شده است.





شکل ۵- نمودار دانه بندی ترکیبی مصالح سنگی مطابق با استاندارد ۸۱۱۷ استاندارد ملی ایران



شکل ۶- اصلاح دانه بندی به وسیله الک

تعیین وزن مخصوص مصالح درشت دانه بر اساس استاندارد ASTM C127 و مصالح ریزدانه بر اساس استاندارد ASTM C128 انجام گرفته است. نتایج این آزمایش در جدول شماره ۴ ذکر شده است. همچنین نتایج جذب آب مصالح سنگی در این جدول آورده شده است.

جدول ۴ - نتایج وزن مخصوص و جذب آب مصالح سنگی

مصالح سنگی	وزن مخصوص (gr/cm <sup>3</sup> )			جذب آب (%)
	در حالت خشک	در حالت SSD	ظاهری	
ماسه S1	۲/۴۹	۲/۵۵	۲/۶۶	۲/۶
ماسه S2	۲/۴۸	۲/۵۶	۲/۶۷	۲/۶
شن نخودی FG	۲/۵۷	۲/۶۲	۲/۷	۱/۹
شن بادامی CG	۲/۵۳	۲/۵۸	۲/۶۵	۱/۸



### ۳- آزمایشهای انجام گرفته و روش ساخت

کلیه آزمایشهای انجام شده بر روی افزودنی PG 06 بر اساس استاندارد ملی ایران ۲۹۳۰ صورت گرفته است.

#### ۳-۱- آزمایش تعیین روانی (Slump)

روانی یک معیار از کارایی بتن تازه است. روانی بتن تازه توسط آزمایش اسلامپ اندازه گیری می شود. این آزمایش در حال حاضر متداول ترین آزمایش شناخته شده به منظور پیش بینی سهولت جا دادن و تراکم بتن می باشد. آزمایش اسلامپ مطابق استاندارد ASTM C143 انجام شده است. در این آزمایش بتن در مخروط اسلامپ (به ارتفاع ۳۰۰ میلیمتر، قطر تحتانی ۲۰۰ میلیمتر و قطر فوقانی ۱۰۰ میلیمتر) ریخته می شود و پس از ۲۵ بار کوبیدن به وسیله میله در سه لایه میزان مقدار افت سطح بتن پس از بلند کردن مخروط اندازه گیری می شود. میزان افت بتن بر حسب سانتیمتر به عنوان عدداسلامپ گزارش می شود. تصویر آزمایش تعیین اسلامپ در شکل ۷ نشان داده شده است.



شکل ۷- آزمایش اسلامپ



### ۳-۲- آزمایش تعیین مقاومت فشاری

مهمترین ویژگی که به عنوان مشخصات بتن بیان می‌شود مقاومت فشاری است. بسیاری از مشخصات بتن با مقاومت فشاری رابطه دارند. نتایج آزمایش مقاومت فشاری می‌تواند به عنوان پایه‌ای برای کنترل کیفیت بتن، نسبت‌های اختلاط آن، روش مخلوط کردن و ریختن بتن و مطابقت آن با مشخصات و همچنین ارزیابی اثرات مواد افزودنی و مواد مشابه دیگر روی بتن به کار برده شود. آزمایش مقاومت فشاری بتن مطابق استاندارد BS-1881 و ISIRI 3206 بر روی آزمون‌های مکعبی به ابعاد ۱۵۰ میلیمتر انجام گرفته است. در این روش بار محوری فشاری به نمونه‌های استوانه‌ای یا مکعبی با نرخی مشخص اعمال شده و تا گسیخته شدن نمونه ادامه می‌یابد. مقاومت فشاری از تقسیم حداکثر بار تحمل شده توسط نمونه بر سطح مقطع آن بدست می‌آید. این آزمایش بر روی بتن سخت شده برحسب توصیه آیین نامه در سنین یک، سه، هفت و ۲۸ روز انجام گرفته است. در شکل ۸ دستگاه آزمایش تعیین مقاومت فشاری بتن نشان داده شده است.



شکل ۸- دستگاه آزمایش تعیین مقاومت فشاری

### ۳-۴- آزمایش تعیین درصد هوای بتن تازه

برای انجام این آزمایش، بتن را در دو لایه در دستگاه تعیین درصد هوای بتن تازه ریخته (شکل ۹)، در هر لایه ابتدا ۲۵ بار میله زده و پس از آن از چهار جهت جانبی ۴ بار با چکش به دیواره ظرف ضربه وارد می‌شود. سپس مقداری آب روی سطح بتن ریخته، در ظرف را بسته و فشار داخل محفظه بالا برده می‌شود تا مقدار درصد هوای بتن تازه قرائت گردد. طبق استاندارد ۲۹۳۰ ملی ایران مقدار هوای مخلوط آزمایشی می‌تواند حداکثر ۲ درصد حجمی بیش از مقدار هوای مخلوط کنترل باشد، مگر اینکه تولید کننده مقدار دیگری را مشخص کرده باشد. با توجه به آزمایش صورت گرفته شده افزایش درصد هوا ۰/۳ درصد افزایش داشته که قابل تایید می‌باشد. جزئیات نتایج به دست آمده در فصل مربوط بررسی می‌شود.



شکل ۹- دستگاه تعیین درصد هوای بتن تازه

### ۳-۵- تعیین طرح اختلاط و روش ساخت نمونه ها

طرح اختلاط و ویژگی های مصالح مصرفی بتن شاهد برای انواع افزودنی ها باید طبق استاندارد ISIRI 8117 باشد. محدوده دانه بندی طرح شاهد در جدول شماره ۳ آمده است. مقدار سیمان مصرفی و مشخصات طرح اختلاط بتن شاهد بنا بر نوع آزمایش و کاربرد در جدول شماره ۵ آمده است. طریقه ساخت مخلوط بتن شاهد طبق ISIRI 8117 به شرح زیر می باشد: ابتدا تمامی سنگدانه ها و نیمی از آب اختلاط در مخلوط کن ریخته می شود و بعد از ۲ دقیقه اختلاط اولیه و ۲ دقیقه انتظار برای جذب آب، سیمان در فاصله ۳۰ ثانیه، بقیه آب به همراه ماده افزودنی طی ۳۰ ثانیه بعدی افزوده می گردد و سپس مخلوط بتن به مدت ۲ دقیقه به طور کامل مخلوط می گردد. دمای مصالح قبل از اختلاط باید  $20 \pm 2$  درجه سانتیگراد باشد.

جدول ۵- مشخصات طرح اختلاط بتن شاهد مطابق استاندارد ملی ایران ۸۱۱۷

بتن شاهد	نوع ماده افزودنی مورد آزمایش	مقدار سیمان $kg/m^3$	اسلامپ (mm)
۱	روان کننده / کاهنده آب فوق روان کننده / فوق کاهنده آب* کندگیرکننده تسریع کننده زمان سخت شدگی تندگیر کننده کاهنده جذب آب	$350 \pm 5$	$70 \pm 10$
۲	نگهدارنده آب	$350 \pm 5$	$120 \pm 20$
۳	حباب هواساز	$350 \pm 5$	$50 \pm 10$
۴	فوق روان کننده / فوق کاهنده آب*	$350 \pm 5$	$30 \pm 10$

\* لازم به توضیح است بر اساس استاندارد ملی ایران ۲۹۳۰ در حالت استفاده از فوق روان کننده (با روانی برابر) باید از بتن شاهد ۱ و در حالت آب به سیمان برابر باید از بتن شاهد ۴ استفاده شود.



#### ۴- بررسی ماده افزودنی PG06 به عنوان روان کننده - کاهنده آب

در این بخش ویژگیهای ماده افزودنی PG06 و تطابق آن به عنوان روان کننده-کاهنده آب با الزامات استاندارد ملی ایران بررسی می-شود.

##### ۴-۱ الزامات استاندارد

الزامات استاندارد ملی ایران ۲۹۳۰ برای افزودنی های روان کننده-کاهنده آب در جدول شماره ۶ نشان داده شده است.

جدول شماره ۶- ویژگیهای مواد افزودنی کاهنده آب/ روان کننده (با روانی برابر)

ردیف	خواص	بتن شاهد	روش آزمون	الزامات
۱	کاهش آب	بتن شاهد ۱	اسلامپ ISIRI 3203 یا روانی EN12350-5	میزان کاهش آب مخلوط آزمایشی نباید کمتر از ۵ درصد میزان آب مخلوط کنترل باشد.
۲	مقاومت فشاری	بتن شاهد ۱	ISIRI 3206	مقاومت فشاری ۷ روزه و ۲۸ روزه مخلوط آزمایشی نباید کمتر از ۱۱۰ درصد مقاومت فشاری مخلوط کنترل باشد.
۳	مقدار هوای بتن	بتن شاهد ۱	ISIRI 3520	مقدار هوای مخلوط آزمایشی می تواند حداکثر ۲ درصد حجمی بیش از مقدار هوای مخلوط کنترل باشد، مگر اینکه تولید کننده مقدار دیگری را مشخص کرده باشد

##### ۴-۲ طرح اختلاط

برای مطالعه خواص مورد نیاز افزودنی روان کننده-کاهنده آب دو طرح اختلاط مطابق جدول ۷ مورد بررسی قرار گرفته است. طرح اول (P1) به عنوان شاهد و طرح دوم (P2) به عنوان طرح حاوی افزودنی مورد نظر قرار گرفته است. طرح-های اختلاط مورد استفاده در این آزمایش بر اساس استاندارد ملی ایران ۲۹۳۰ مطابق جداول ۳ و ۵ محاسبه و به دست آمده است.

جدول ۷- طرح اختلاط

کد نمونه	هدف	افزودنی فوق روان کننده (گرم بر مترمکعب)	آب (کیلوگرم بر مترمکعب)	سیمان (کیلوگرم بر مترمکعب)	بادامی (کیلوگرم بر مترمکعب)	نخودی (کیلوگرم بر مترمکعب)	ماسه S1 (کیلوگرم بر مترمکعب)
P1	شاهد	۰	۱۹۵	۳۵۰	۴۵۱	۱۸۱	۱۱۷۰
P2	بالفرونی	۱۷۵۰	۱۷۸	۳۵۰	۴۵۶	۱۸۲	۱۱۸۴



#### ۴-۵- نتایج و تفسیر

**کاهش آب اختلاط:** کم کردن آب همراه با ثابت نگهداشتن کارایی به طور محسوسی مقاومت مکانیکی بتن را افزایش داده، خطر جداسدگی دانه ها را کم و یکنواختی و تراکم مخلوط را بهبود می بخشد. میزان کاهش آب در اثر کاربرد مواد افزودنی روان کننده حداقل ۵ درصد است. در این آزمایش ابتدا طرح شاهد ۱ طبق جدول ۵ بر اساس اسلامپ ۷ سانتی متر ساخته شد. در نمونه بعدی با افزودن (۵/۰ درصد وزن سیمان طرح) افزودنی (بنا بر توصیه کارفرما)، میزان آب مصرفی در طرح اختلاط، با ثابت نگاه داشتن اسلامپ اندازه گرفته شده است. نتایج در جدول شماره ۸ نشان داده شده است. بر مبنای این نتایج میزان کاهش آب ۵ درصد محاسبه شده است که الزامات آیین نامه را برآورده می کند.

جدول ۸- میزان کاهش نسبت آب به سیمان با استفاده از افزودنی

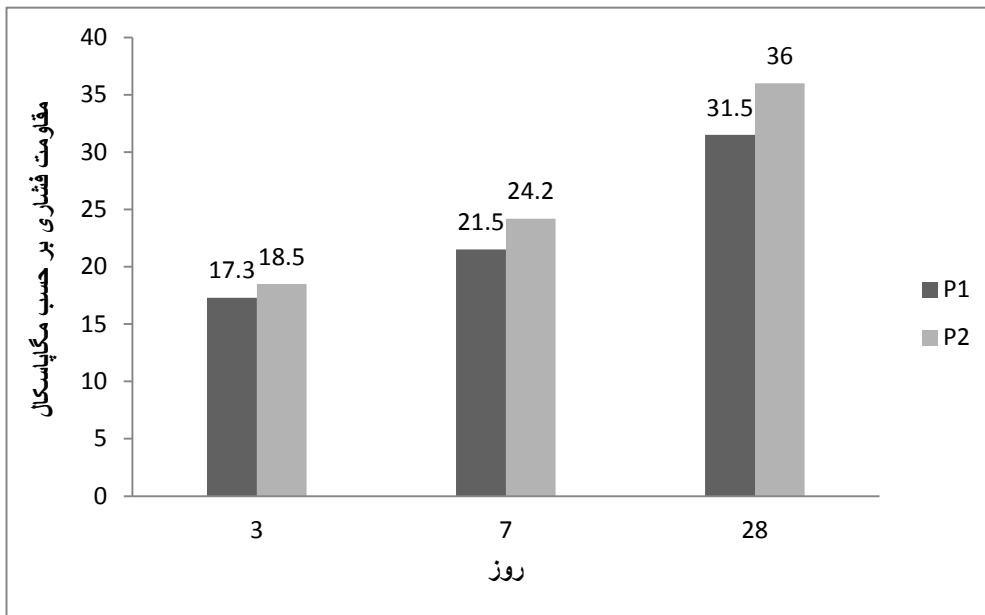
کد نمونه	هدف	نسبت آب به سیمان	اسلامپ (cm)
P1	شاهد ۱	۰/۵۶	۷
P2	باافزودنی	۰/۵۱	۷

**مقاومت فشاری:** نتایج مقاومت فشاری بتن حاوی افزودنی و بتن شاهد در جدول شماره ۹ نشان داده شده است. به صورت مشابه نمودار نتایج مقاومت فشاری در شکل شماره ۱۰ نشان داده شده است. لازم به ذکر است نتایج نشان داده شده در هر سن از میانگین آزمایش بر روی دو آزمون به دست آمده است. بر مبنای نتایج به دست آمده مشاهده می شود که در سنین ۷ و ۲۸ روزه مقاومت فشاری بتن حاوی افزودنی بیش از ۱۱۰ درصد مقاومت فشاری بتن شاهد است. بنابراین افزودنی الزامات آیین نامه را تامین کرده است.

جدول ۹- نتایج آزمایش مقاومت فشاری

کد نمونه	هدف	مقاومت فشاری (مگاپاسکال)		
		۲۸ روزه	۷ روزه	۳ روزه
P1	شاهد ۱	۳۱/۵	۲۱/۵	۱۷/۳
P2	باافزودنی	۳۶	۲۴/۲	۱۸/۵
نسبت مقاومت نمونه حاوی افزودنی به نمونه شاهد		۱/۱۴	۱/۱۲	۱/۰۷





شکل ۱۰- مقاومت فشاری

**درصد هوا:** نتایج آزمایش تعیین درصد هوای بتن در نمونه حاوی افزودنی و بتن شاهد در جدول شماره ۹ نشان داده شده است. با توجه به اینکه در نمونه مورد بررسی میزان افزایش هوای بتن ۰/۳ درصد ثبت شده است، بنابراین افزودنی مورد آزمایش الزامات آیین نامه را تامین می نماید.

جدول ۱۰- میزان درصد هوا

کد نمونه	هدف	در صد هوای بتن تازه
P1	شاهد	۱/۷
P2	بالفزودنی	۲

**جمع بندی:** با توجه به آزمایش‌های انجام شده بر روی بتن تازه و سخت شده و مقایسه نتایج آن با الزامات استاندارد ملی ایران به شماره ۲۹۳۰ (جدول ۵)، در نهایت با در نظر گرفتن معیارهای مختلفی شامل میزان کاهندگی آب، درصد هوا و مقاومت فشاری، روان کننده PG06 تولیدی شرکت کپکو بر اساس استاندارد ملی ایران ۲۹۳۰ به عنوان ماده افزودنی کاهنده آب و روان کننده مورد تایید است.



## ۵- بررسی ماده افزودنی PG06 به عنوان فوق روان کننده-کاهنده قوی آب

(در نسبت آب به سیمان برابر)

۱-۵- الزامات استاندارد:

در این دوره از آزمایشها روان کننده با مقدار ۱٪ (بنا بر توصیه کارفرما) برای بررسی افزودنی به عنوان فوق روان کننده-کاهنده قوی آب مورد آزمایش قرار گرفت. آزمایشهای انجام شده بر طبق جدول شماره ۱۱ و بر طبق استاندارد ملی ایران ۲۹۳۰ صورت گرفته است. در جدول شماره ۱۱ الزامات استاندارد برای فوق روان کننده ذکر شده است. مصالح مصرفی در این دوره از آزمایشها همانند مصالح مصرفی به کار رفته در قسمت ۴ گزارش بوده است.

جدول ۱۱ - ویژگی‌های مواد افزودنی فوق کاهنده آب/فوق روان کننده (در نسبت آب به سیمان برابر)

ردیف	خواص	بتن شاهد	روش آزمون	الزامات
۱	افزایش روانی	بتن شاهد ۴	اسلامپ ISIRI 3203 یا روانی EN 12350-5	افزایش نسبت به اسلامپ اولیه بیشتر از ۱۲۰ mm (اسلامپ اولیه $30 \pm 10$ mm)
۲	روانی تاخیری	بتن شاهد ۴	"	۳۰ دقیقه پس از اختلاط روانی مخلوط آزمایشی نباید کمتر از روانی اولیه مخلوط کنترل باشد
۳	مقاومت فشاری	بتن شاهد ۴	ISIRI 3206	مقاومت فشاری ۲۸ روزه مخلوط آزمایشی نباید کمتر از ۹۰ درصد مقاومت فشاری مخلوط کنترل باشد.
۴	مقدار هوای بتن تازه	بتن شاهد ۴	ISIRI 3520	مقدار هوای مخلوط آزمایشی می‌تواند حداکثر ۲ درصد حجمی بیش از مقدار هوای مخلوط کنترل باشد. مگر تولید کننده مقدار دیگری را مشخص کرده باشد

## ۵-۲- طرح های اختلاط:

برای بررسی خواص مورد نیاز افزودنی فوق روان کننده-کاهنده قوی آب دو طرح اختلاط مطابق آن چه در جدول ۱۲ نشان داده شده مورد بررسی قرار گرفته است. طرح اول (P3) به عنوان شاهد (انتخاب شده‌ها بر اساس جدول ۵ بوده است) و طرح دوم (P4) به عنوان طرح حاوی افزودنی مورد نظر قرار گرفته است. طرح های اختلاط مورد استفاده در این آزمایش بر اساس استاندارد ملی ایران ۲۹۳۰ مطابق جداول ۳ و ۵ محاسبه شده است. در این آزمایش ها طرح اختلاط نمونه شاهد ۴ طبق جدول ۵ - با اسلامپ ۳ سانتیمتر ساخته شد.

جدول ۱۲- طرح اختلاط

کد نمونه	هدف	ماسه S1	نخودی	بادامی	سیمان	آب	افزودنی فوق روان کننده
		(کیلوگرم بر مترمکعب)	(کیلوگرم بر مترمکعب)	(کیلوگرم بر مترمکعب)	(کیلوگرم بر مترمکعب)	(کیلوگرم بر مترمکعب)	(گرم بر مترمکعب)
P3	شاهد ۴	۱۰۰۵	۲۷۴	۵۴۸	۳۵۰	۱۷۲	۰
P4	بالفرونی	۱۰۰۵	۲۷۴	۵۴۸	۳۵۰	۱۷۲	۳۵۰۰



### ۵-۳- نتایج و تفاسیر:

**افزایش روانی:** آزمایش اسلامپ مطابق استاندارد ASTM C143 انجام شده است. برای این منظور طرح شاهد (P3) با اسلامپ ۳ سانتی متر طبق جدول ۱۲ ساخته شد. در طرح (P4) با افزودن ۱ درصد مقدار وزنی سیمان به بتن روانی آن اندازه گرفته شد که نتایج آن در جدول ۱۳ آمده است. با توجه به افزایش ۱۱ سانتی متری اسلامپ نسبت به اسلامپ اولیه مقدار آن کمتر از ۱۲ سانتی متر می باشد، می توان اظهار نمود افزودنی قسمت اول شرایط جدول ۱۱ را تامین نمی کند.

جدول ۱۳- افزایش روانی

کد نمونه	هدف	اسلامپ (cm)
P3	شاهد ۴	۳
P4	باافزودنی	۱۴

**روانی تاخیری:** در قسمت دوم شرایط ذکر شده در جدول ۱۱ روانی نمونه P4، ۳۰ دقیقه پس از اختلاط ، اندازه گرفته می شود و روانی مخلوط آزمایشی نباید کمتر از روانی اولیه مخلوط کنترل باشد. بر اساس نتایج به دست آمده افزودنی مورد آزمایش قسمت دوم شرایط ذکر شده را تامین می کند و نتایج مذکور در جدول ۱۴ آمده است.

جدول ۱۴- روانی تاخیری

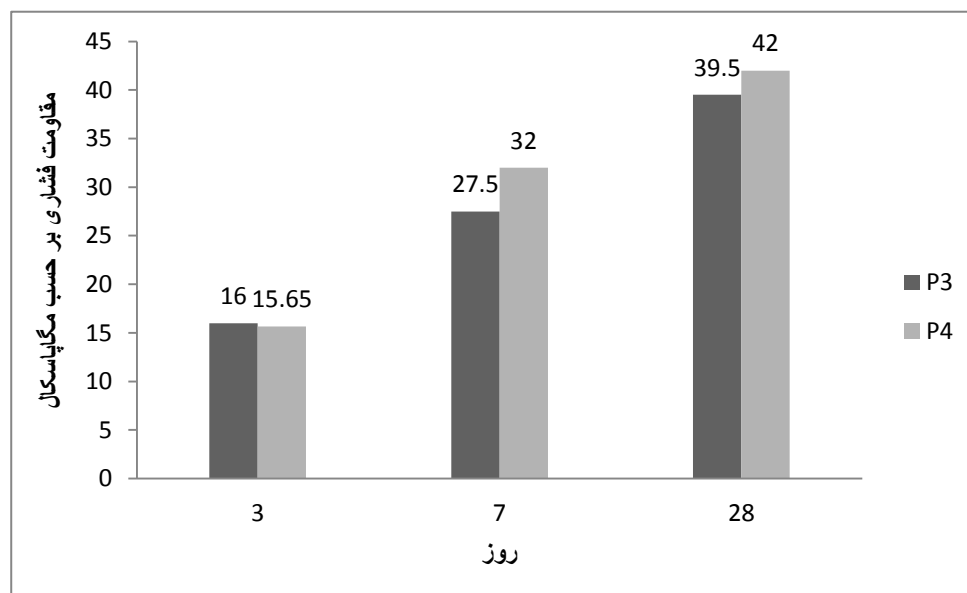
کد نمونه	هدف	اسلامپ اولیه (cm)	اسلامپ بعد از ۳۰ دقیقه (cm)	اسلامپ نمونه شاهد (cm)
P4	بتن با افزودنی	۱۴	۷	۴



**مقاومت فشاری:** نتایج مقاومت فشاری بتن حاوی افزودنی و بتن شاهد در جدول شماره ۱۵ نشان داده شده است. به صورت مشابه نمودار نتایج مقاومت فشاری در شکل شماره ۱۱ نشان داده شده است. لازم به ذکر است نتایج نشان داده شده در هر سن از میانگین آزمایش بر روی دو نمونه به دست آمده است. با توجه به جدول ۱۱ مقاومت فشاری ۲۸ روزه مخلوط آزمایشی نباید کمتر از ۹۰ درصد مقاومت فشاری مخلوط کنترل باشد. که با توجه به مقاومت به دست آمده در جدول ۱۵ افزودنی مذکور شرایط مقاومتی آمده در آیین نامه را تامین می کند.

جدول ۱۵- نتایج آزمایش مقاومت فشاری

کد نمونه	هدف	مقاومت فشاری (مگاپاسکال)		
		۲۸ روزه	۷ روزه	۳ روزه
P3	شاهد	۳۹/۵	۲۷/۵	۱۶
P4	بالفردنی	۴۲	۳۲	۱۵/۶
نسبت مقاومت نمونه حاوی افزودنی به نمونه شاهد		۱/۰۶	۱/۱۶	۰/۹۷



شکل ۱۱- مقاومت فشاری





**درصد هوا:** نتایج آزمایش تعیین درصد هوای بتن در نمونه حاوی افزودنی و بتن شاهد در جدول شماره ۱۶ نشان داده شده است. مطابق شرط چهارم جدول ۱۱ مقدار هوای مخلوط آزمایشی می‌تواند حداکثر ۲ درصد حجمی بیش از مقدار هوای مخلوط کنترل باشد. با توجه به اینکه در نمونه مورد بررسی میزان افزایش هوای بتن ۰/۴ درصد ثبت شده است، بنابراین افزودنی مورد آزمایش شرط چهارم را تامین می‌نماید.

جدول ۱۶- میزان درصد هوا

کد نمونه	هدف	در صد هوای بتن تازه
P3	شاهد ۴	۱/۸
P4	باافزودنی	۲/۲

**جمع بندی:** با توجه به آزمایش‌های انجام شده بر روی بتن تازه و سخت‌شده (درشرایط آب به سیمان برابر) و مقایسه نتایج آن با الزامات استاندارد ملی ایران به شماره ۲۹۳۰ (جدول ۱۱)، در نهایت با در نظر گرفتن معیارهای مختلفی شامل میزان کاهندگی آب، درصد هوا و مقاومت فشاری، روان کننده های PG06 تولیدی شرکت کپکو بر اساس استاندارد ملی ایران ۲۹۳۰ از حیث بند ۱ افزایش روانی به عنوان ماده افزودنی فوق روان کننده-کاهنده قوی آب مورد تایید نمی باشد.



## ۶- بررسی ماده افزودنی PG06 به عنوان فوق روان کننده-کاهنده قوی آب ( باروانی برابر)

۱-۶- الزامات استاندارد:

در این دوره از آزمایشها روان کننده با مقدار ۱٪ (بنا بر توصیه کارفرما) برای بررسی افزودنی به عنوان فوق روان کننده-کاهنده قوی آب مورد آزمایش قرار گرفت. آزمایشهای انجام شده بر طبق جدول شماره ۱۷ و بر طبق استاندارد ملی ایران ۲۹۳۰ صورت گرفته است. در جدول شماره ۱۷ الزامات استاندارد برای فوق روان کننده با روانی برابر ذکر شده است. مصالح مصرفی در این دوره از آزمایشها همانند مصالح مصرفی به کار رفته در قسمت ۴ گزارش بوده است.

جدول ۱۷ - ویژگیهای مواد افزودنی فوق کاهنده آب/فوق روان کننده (با روانی برابر)

ردیف	خواص	بتن شاهد	روش آزمون	الزامات
۱	کاهش آب	بتن شاهد ۱	اسلامپ ISIRI 3203 یا روانی EN 12350-5	میزان کاهش آب مخلوط آزمایشی نباید کمتر از ۱۲ درصد کاهش آب مخلوط کنترل باشد.
۲	مقاومت فشاری	بتن شاهد ۱	ISIRI 3206	مقاومت فشاری ۱ روزه مخلوط آزمایشی نباید کمتر از ۱۴۰ درصد مقاومت فشاری مخلوط کنترل باشد
۳	مقاومت فشاری	بتن شاهد ۱	ISIRI 3206	مقاومت فشاری ۲۸ روزه مخلوط آزمایشی نباید کمتر از ۱۱۵ درصد مقاومت فشاری مخلوط کنترل باشد.
۴	مقدار هوای بتن	بتن شاهد ۱	ISIRI 3520	مقدار هوای مخلوط آزمایشی می تواند حداکثر ۲ درصد حجمی بیش از مقدار هوای مخلوط کنترل باشد. مگر تولید کننده مقدار دیگری را مشخص کرده باشد

## ۶-۲- طرح های اختلاط:

برای بررسی خواص مورد نیاز افزودنی فوق روان کننده-کاهنده قوی آب دو طرح اختلاط مطابق آن چه در جدول ۱۸ نشان داده شده مورد بررسی قرار گرفته است. طرح اول (P8) به عنوان شاهد (انتخاب شده بر اساس جدول ۵ بوده است) و طرح دوم (P9) به عنوان طرح حاوی افزودنی مورد نظر قرار گرفته است. طرح های اختلاط مورد استفاده در این آزمایش بر اساس استاندارد ملی ایران ۲۹۳۰ مطابق جداول ۳ و ۵ محاسبه شده است. در این آزمایش ها طرح اختلاط نمونه شاهد ۱ طبق جدول ۵ - با اسلامپ ۷ سانتیمتر ساخته شد.

جدول ۱۸- طرح اختلاط

کد نمونه	هدف	ماسه S1 (کیلوگرم بر مترمکعب)	نخودی (کیلوگرم بر مترمکعب)	بادامی (کیلوگرم بر مترمکعب)	سیمان (کیلوگرم بر مترمکعب)	آب (کیلوگرم بر مترمکعب)	افزودنی فوق روان کننده (گرم بر مترمکعب)
P8	شاهد ۱	۱۰۰۵	۲۷۴	۵۴۸	۳۵۰	۱۹۵	۰
P9	بالافزودنی	۱۰۰۵	۲۷۴	۵۴۸	۳۵۰	۱۷۸	۳۵۰۰



### ۳-۶- نتایج و تفاسیر:

**کاهش آب اختلاط:** در این آزمایش ابتدا طرح (P8) شاهد طبق جدول ۵ بر اساس اسلامپ ۷ سانتی متر ساخته شد. در نمونه بعدی (P9) با افزودن (۱ درصد وزن سیمان طرح) افزودنی (بنا بر توصیه کارفرما)، میزان آب مصرفی در طرح اختلاط، با ثابت نگاه داشتن اسلامپ اندازه گرفته شده است. نتایج در جدول شماره ۱۹ نشان داده شده است. بر مبنای این نتایج میزان کاهش آب ۱۰ درصد محاسبه شده است (الزامات آیین نامه حداقل ۱۲ درصد را مشخص نموده است) که با توجه به نتایج به دست آمده در جدول ۱۹ الزامات آیین نامه بر آورده نمی شود.

جدول ۱۹- میزان کاهش نسبت آب به سیمان با استفاده از افزودنی

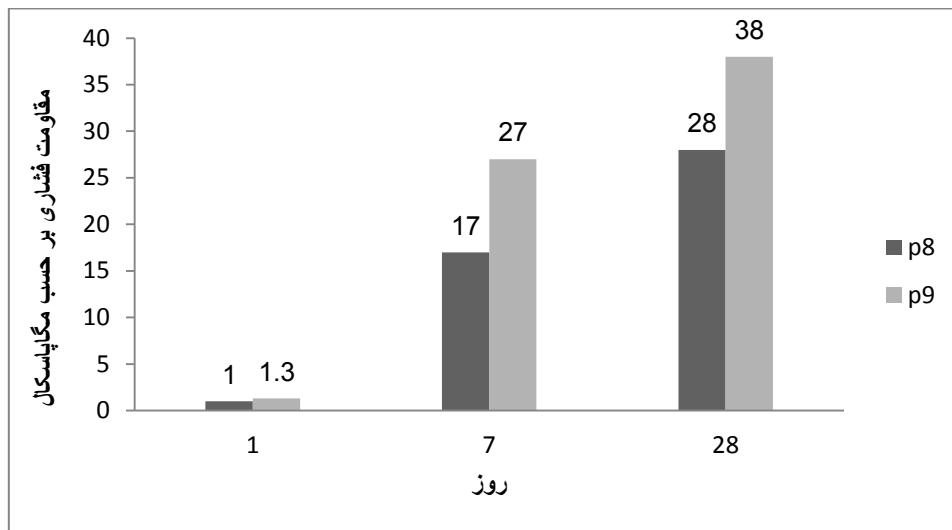
کد نمونه	هدف	نسبت آب به سیمان	اسلامپ (cm)
P8	شاهد ۱	۰/۵۶	۷
P9	بالافزودنی	۰/۴۶	۷

**مقاومت فشاری:** نتایج مقاومت فشاری بتن حاوی افزودنی و بتن شاهد در جدول شماره ۲۰ نشان داده شده است. به صورت مشابه نمودار نتایج مقاومت فشاری در شکل شماره ۱۲ نشان داده شده است. لازم به ذکر است نتایج نشان داده شده در هر سن از میانگین آزمایش بر روی دو آزمون به دست آمده است. بر مبنای نتایج به دست آمده مشاهده می شود که در سنین ۱ روزه مقاومت فشاری بتن حاوی افزودنی کمتر از ۱۴۰ درصد مقاومت فشاری بتن شاهد است. بنابراین افزودنی الزامات آیین نامه را تامین نکرده است.

جدول ۲۰- نتایج آزمایش مقاومت فشاری

کد نمونه	هدف	مقاومت فشاری (مگاپاسکال)		
		۱ روزه	۷ روزه	۲۸ روزه
P8	شاهد ۱	۱	۱۷	۲۸
P9	بالافزودنی	۱/۳	۲۷	۳۸
نسبت مقاومت نمونه حاوی افزودنی به نمونه شاهد		۱/۳	۱/۵۹	۱/۳۶





شکل ۱۲- مقاومت فشاری

**درصد هوا:** نتایج آزمایش تعیین درصد هوای بتن در نمونه حاوی افزودنی و بتن شاهد در جدول شماره ۲۱ نشان داده شده است. با توجه به اینکه در نمونه مورد بررسی میزان افزایش هوای بتن  $0/6$  درصد ثبت شده است بنابراین افزودنی الزامات آیین نامه را تامین می نماید.

جدول ۲۱ - میزان درصد هوا

کد نمونه	هدف	در صد هوای بتن تازه
P8	شاهد	۱/۷
P9	بالفودنی	۲/۳

**جمع بندی:** با توجه به آزمایش‌های انجام شده بر روی بتن تازه و سخت شده (در حالت روانی برابر) و مقایسه نتایج آن با الزامات استاندارد ملی ایران به شماره ۲۹۳۰ (جدول ۵)، در نهایت با در نظر گرفتن معیارهای مختلفی شامل میزان کاهندگی آب، درصد هوا و مقاومت فشاری، روان کننده PG06 تولیدی شرکت کپکو بر اساس استاندارد ملی ایران ۲۹۳۰ به عنوان ماده افزودنی کاهنده آب و روان کننده مورد تایید نمی باشد.



## ۷- بررسی عملکرد اقتصادی افزودنی PG06

### هدف از طرح:

برای بررسی تاثیر افزودنی در شرایط آب به سیمان مساوی با مقاومت برابر و کارایی یکسان طرح پیش رو انجام گرفته است.

شایان ذکر است آزمایش های انجام گرفته با نظر کارفرما به صورت مقایسه ای با یکی دیگر از محصولات شرکت کپکو با نام تجاری L1 نیز انجام گردیده است.

### طرح آزمایش:

در این طرح برای بررسی عملکرد اقتصادی افزودنی PG06 ابتدا یک طرح اختلاط با عیار سیمان ۴۰۰ مطابق جدول ۲۲ به عنوان نمونه شاهد (P5) ساخته شد. سپس با حفظ نسبت آب به سیمان در طرح های بعدی (P6 و P7) از مقدار سیمان مصرفی کاسته شد و به منظور جبران کارایی و مقاومت نمونه ها از افزودنی های مورد آزمایش به میزان ۰/۵ درصد وزنی سیمان طرح استفاده گردید. اسلامپ های اندازه گیری شده در هر طرح در جدول ۲۳ آمده است.

جدول ۲۲- طرح اختلاط مقایسه اقتصادی

کد نمونه	هدف	افزودنی فوق روان کننده (گرم برترمکعب)	آب (کیلوگرم برترمکعب)	سیمان (کیلوگرم برترمکعب)	بادامی (کیلوگرم برترمکعب)	نخودی (کیلوگرم برترمکعب)	ماسه S1 (کیلوگرم برترمکعب)
P5	شاهد	۰	۲۲۰	۴۰۰	۴۳۳	۱۷۳	۱۱۲۵
P6	بافزودنی PG06	۱۸۰۰	۱۹۸	۳۶۰	۴۴۸	۱۷۹	۱۱۶۵
P7	بافزودنی L1	۱۸۰۰	۱۹۸	۳۶۰	۴۴۸	۱۷۹	۱۱۶۵

جدول ۲۳- مقایسه نسبت آب به سیمان و عیار سیمان دو افزودنی

عیار سیمان	اسلامپ (cm)	نسبت آب به سیمان (%)	نتیجه
۴۰۰	۶	۰/۵۵	بتن شاهد
۳۶۰	۱۴	۰/۵۵	بتن با افزودنی PG06
۳۶۰	۱۳	۰/۵۵	بتن با افزودنی L1

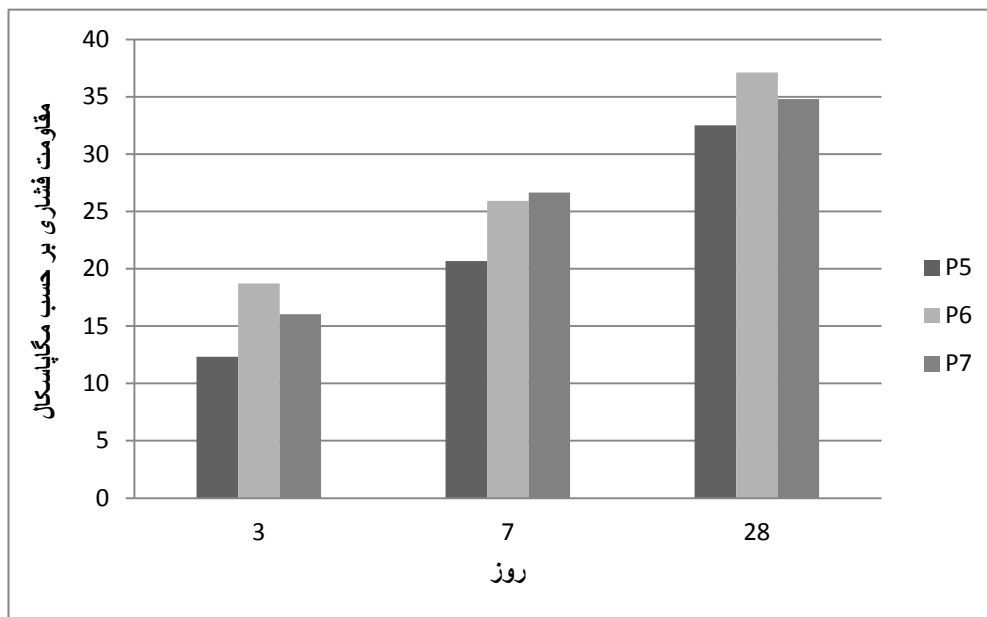


**مقاومت فشاری:** نتایج مقاومت فشاری بتن حاوی افزودنی و بتن شاهد در جدول شماره ۲۴ نشان داده شده است. به صورت مشابه نمودار نتایج مقاومت فشاری در شکل شماره ۱۳ نشان داده شده است. لازم به ذکر است نتایج نشان داده شده در هر سن از میانگین آزمایش بر روی دو نمونه به دست آمده است. بر مبنای نتایج به دست آمده مشاهده می شود که در تمامی سنین مورد آزمایش مقاومت فشاری بتن حاوی افزودنی بیش از مقاومت فشاری بتن شاهد است بنابراین کاهش سیمان با استفاده از افزودنی جبران شده است و به مقاومتی بالاتر از نمونه شاهد P5 رسیده است. در نتایج ۳ روزه نمونه P6 مقاومت بیشتری نسبت به دو نمونه دیگر دارد. ولی در نتایج ۷ روزه مقاومت نمونه P7 حاوی افزودنی L۱ بیشتر از دو نمونه دیگر شده است. و در نهایت در مقاومت ۲۸ روزه بتن حاوی افزودنی PG06 مقاومت بیشتری نسبت به دو نمونه دیگر کسب کرده است. با توجه به نتایج به دست آمده چنین نتیجه می شود که کاهش سیمان با استفاده از افزودنی جبران شده است و به مقاومتی بیشتر از نمونه شاهد P5 رسیده است.

جدول ۲۴- نتایج آزمایش مقاومت فشاری

کد نمونه	هدف	مقاومت فشاری (مگاپاسکال)		
		۳ روزه	۷ روزه	۲۸ روزه
P5	شاهد	۱۲/۳	۲۰/۶	۳۲/۵
P6	با افزودنی PG06	۱۸/۷	۲۵/۹	۳۷/۱
P7	با افزودنی L1	۱۶/۰	۲۶/۶	۳۴/۸





شکل ۱۳- تغییرات مقاومت فشاری بر حسب زمان

#### بررسی عملکرد اقتصادی:

برای بررسی عملکرد اقتصادی استفاده از این نوع افزودنی در طرح اختلاط مورد آزمایش می توان با کاهش ۴۰ کیلوگرم سیمان در هر متر مکعب با توجه به عیار سیمان و افزودن ۱/۸ کیلوگرم افزودنی، به روانی برابر یا بیشتر از نمونه شاهد با مقاومت یکسان یا بیشتر رسید. برای این منظور اگر قیمت واحد سیمان =  $\alpha$  و قیمت واحد افزودنی =  $\beta$  فرض شود. برای مثال اگر:

$\beta$  = قیمت هر کیلو روان کننده PG06: ۱۱۰۰۰ ریال

$\alpha$  = قیمت هر کیلو سیمان : ۹۵۰ ریال

#### به این ترتیب:

هزینه کاسته شده به دلیل صرفه جویی در مصرف سیمان  $۴۰ \times ۹۵۰ = ۳۸۰۰۰$  ریال

هزینه افزودنی در طرح P6  $۱۱ \times ۱۱۰۰۰ = ۱۹۸۰۰$  ریال

کاهش هزینه ها در طرح P6  $۳۸۰۰۰ - ۱۹۸۰۰ = ۱۸۲۰۰$  ریال

در این صورت نشان داده می شود که استفاده از افزودنی PG06 صرفه جویی اقتصادی دارد.

در مثالی دیگر: اگر قیمت هر کیلو روان کننده L1: ۲۱۰۰۰ ریال باشد

هزینه افزودنی در طرح P7  $۸ \times ۲۱۰۰۰ = ۳۷۸۰۰$  ریال

کاهش هزینه ها در طرح P7  $۳۸۰۰۰ - ۳۷۸۰۰ = ۲۰۰$  ریال

به این ترتیب استفاده از این نوع روان کننده تفاوت اقتصادی قابل ملاحظه ای ندارد. با این وجود در شرایط برابر می تواند خواص بتن در شرایط تازه و سخت شده را بهبود بخشد.

شایان ذکر است نتایج مذکور بر اساس قیمت های روز محاسبه شده است و با گذشت زمان متفاوت می باشد.

