



انستیتو مصالح ساختمانی پردیس دانشکده‌های فنی دانشگاه تهران



□ شماره قرارداد : متمم ۵۷۹/پ/۸۲

□ شماره گزارش : CMI-۹۱۱۱۷۸۱

□ تاریخ گزارش : ۱۳۹۱/۱۱/۲۱

□ عنوان گزارش :

بررسی عملکرد افزودنی **Plastit PG06**  
بر اساس استاندارد ملی ایران **ISIRI 2930**  
بارویکرد استفاده در بتن آماده

□ کارفرما:

**CNP CO**

شرکت همگرایان تولید

## ۱- مقدمه

انجام آزمایش‌ها و ارائه نتایج آن در گزارش حاضر، در راستای اجرای متمم قرارداد به شماره ۵۷۹/پ/۸۲ مورخ ۷۹/۳/۱۸ با عنوان "بررسی عملکرد افزودنی Plastit PG06 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 آزمایش‌ها و تفسیر نتایج به دست آمده از ماده افزودنی Plastit PG06 ارسالی از شرکت کپکو و بررسی عملکرد آن به عنوان روان کننده و کاهنده آب وهمچنین به عنوان فوق روان کننده- فوق کاهنده آب مطابق با استاندارد ملی ایران ISIRI 2930 می‌باشد. بر اساس بند ۳-۶-۷ استاندارد ۲۹۳۰، ماده افزودنی کاهنده آب- روان کننده، ماده‌ای افزودنی است که بدون تغییر روانی، مقدار آب مخلوط بتن را کاهش می‌دهد یا بدون تغییر مقدار آب، اسلامپ و روانی را افزایش دهد یا هر دو اثر را بطور همزمان ایجاد می‌کند. شایان ذکر است آزمایش‌های 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 طرح‌های اختلاط متداول بتن آماده بررسی و مقایسه تاثیر آن با افزودنی روان کننده (Plastit L1) ارسالی از آن شرکت بررسی شده است.

## ۲- مصالح مورد استفاده

### ۲-۱- سیمان

طرح اختلاط و ویژگی‌های مصالح مصرفی بتن شاهد برای انواع افزودنی‌ها باید مطابق الزامات استاندارد ملی ایران ۸۱۱۷ باشد. بر اساس این استاندارد ویژگی‌های سیمان مصرفی برای ساخت مخلوط بتن شاهد باید الزامات جدول ۱ این استاندارد را تامین نماید. سیمان مصرفی در این بررسی، سیمان پرتلند تپ ۲ کارخانه سیمان تهران می‌باشد. 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 تپ ۲ | مقادیر بدست آمده برای سیمان تپ ۲ تهران |
|--------------------------------|--|--|
| SiO <sub>2</sub>               | حداقل ۲۰                                 | ۲۱/۲۵                                  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | حداکثر ۶                                 | ۳/۳۸                                   |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | حداکثر ۶                                 | ۳/۵۶                                   |
| CaO                            | -  | ۶۳/۱                                   |
| MgO                            | حداکثر ۵                                 | -                                      |
| SO <sub>3</sub>                | حداکثر ۳                                 | ۰/۷۱                                   |
| Na <sub>2</sub> O              | -  | ۰/۲۱۶                                  |
| K <sub>2</sub> O               | -  | ۰/۵۴                                   |
| C <sub>3</sub> S               | -  | ۶۲/۷                                   |
| C <sub>2</sub> S               | -  | ۱۳/۶                                   |
| C <sub>3</sub> A               | حداکثر ۸                                 | ۲/۹                                    |
| C <sub>4</sub> AF              | -  | ۱۰/۸                                   |
| قلیایی معادل                   | حداکثر ۰/۶                               | ۰/۵۷                                   |

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

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

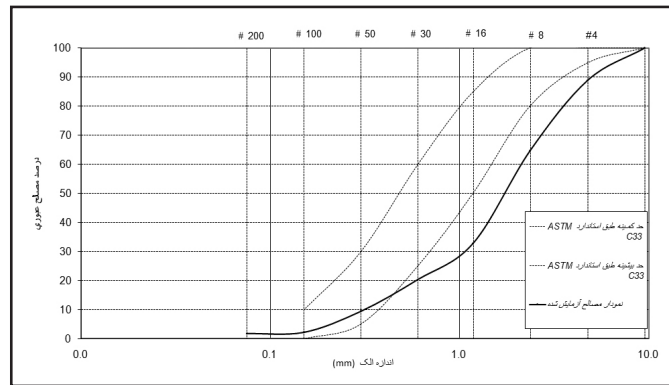
## ۲-۲- آب

آب مصرفی در پروژه آب شرب تهران بوده است.

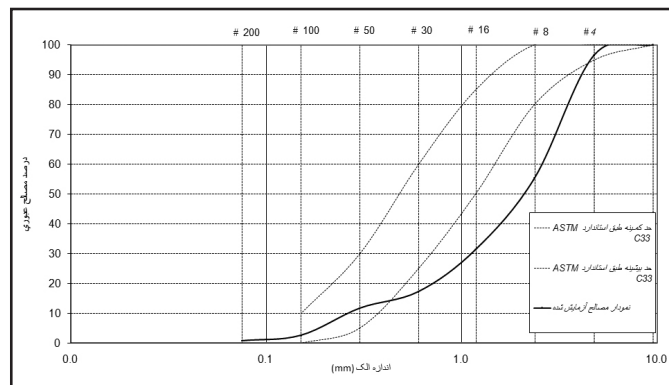
## ۲-۳- سنگدانه

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 سنگدانه‌های ریز و درشت براساس استاندارد شماره ۴۹۷۷ ایران و استاندارد ASTM-C 136 انجام گرفته است. نمودار دانه بندی مصالح مورد استفاده در شکل‌های ۱ تا ۴ نشان داده شده است. در این شکل‌ها منحنی‌های دانه بندی به طور جداگانه با محدوده‌های دانه بندی استاندارد ASTM-C 33 برای ریزدانه و درشت دانه مقایسه شده است.

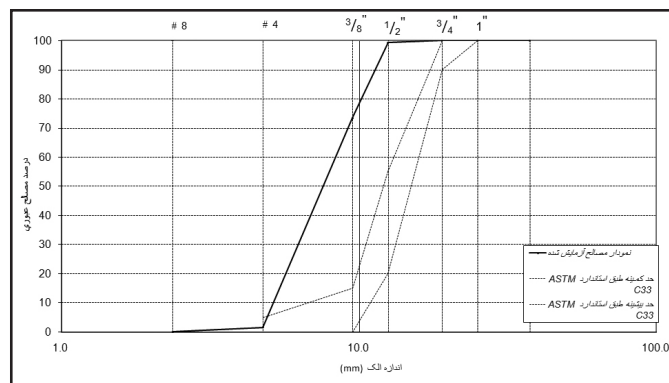
شکل ۱- نمودار دانه بندی مصالح سنگی الف- ماسه ۰-۶ نوع S1



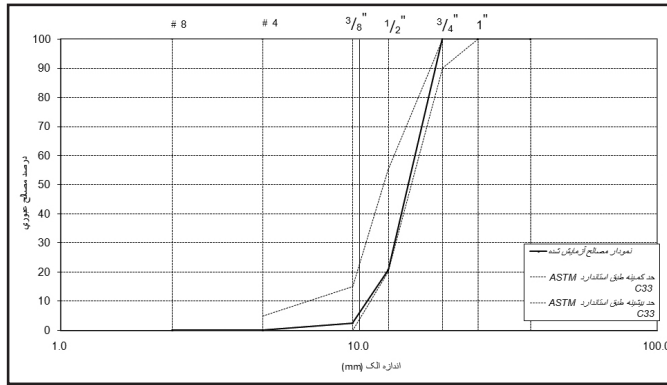
شکل ۲- نمودار دانه بندی مصالح سنگی ماسه ۰-۶ نوع S2



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



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



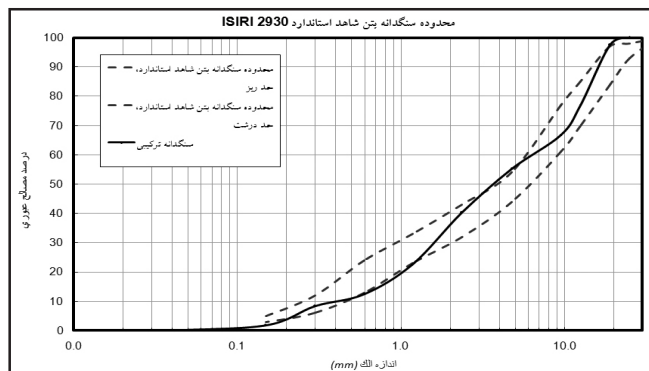
نکته مهم در انتخاب شن و ماسه، پیوستگی دانه بندی کلی آن و قرار گرفتن در محدوده مناسب پیشنهاد شده در طرح اختلاط شاهد (جدول شماره ۳) مطابق با استاندارد ISIRI 8117 می باشد. بر طبق این استاندارد منحنی دانه بندی کلی سنگدانه ها مورد استفاده در ساخت بتن شاهد باید در محدوده نشان داده شده در جدول شماره ۳ باشد. برای این کار باید نسبت های 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 زیر 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 دو بخش 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 8117 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

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

### 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)

شکل ۷- آزمایش اسلامپ

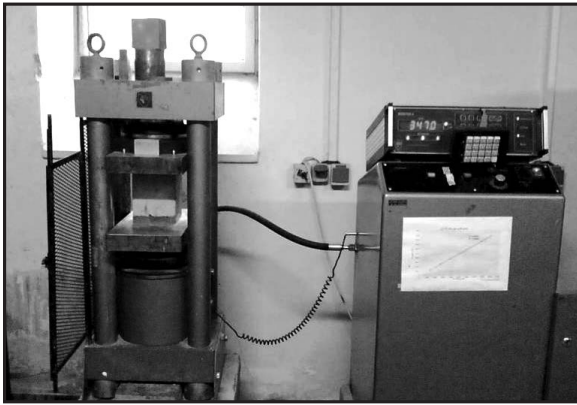


روانی یک معیار از کارایی بتن تازه است. روانی بتن تازه توسط آزمایش اسلامپ اندازه گیری می‌شود. این آزمایش در حال حاضر متداول ترین آزمایش شناخته شده به منظور پیش بینی سهولت جا دادن و تراکم بتن می‌باشد. آزمایش اسلامپ مطابق استاندارد ASTM C143 انجام شده است. در این آزمایش بتن در مخروط اسلامپ (به ارتفاع ۳۰۰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

#### 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

شکل ۸- دستگاه آزمایش تعیین مقاومت فشاری



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.

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

برای انجام این آزمایش، بتن را در دو لایه در دستگاه تعیین درصد هوای بتن تازه ریخته (۲)، 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 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 به خود بررسی می‌شود.



شکل ۹- دستگاه تعیین درصد هوای بتن تازه

### ۴-۳- تعیین طرح اختلاط و روش ساخت نمونه‌ها

طرح اختلاط و ویژگی‌های مصالح مصرفی بتن شاهد برای انواع افزودنی‌ها 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 می‌باشد:

ابتدا تمامی سنگدانه‌ها و نیمی از آب اختلاط در مخلوط کن ریخته می‌شود و بعد از ۲ دقیقه اختلاط اولیه و ۲ دقیقه انتظار برای جذب آب، سیمان در فاصله ۳۰ ثانیه و بقیه آب نیز طی ۳۰ ثانیه بعدی افزوده می‌گردد و سپس مخلوط بتن به مدت ۲ دقیقه به طور کامل مخلوط می‌گردد. 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           | $350 \pm 5$          | $70 \pm 10$  |
|          | فوق روان کننده / فوق کاهنده آب * |                      |              |
|          | کندگیرکننده                      |                      |              |
|          | تسریع کننده زمان سخت شدگی        |                      |              |
|          | تندگیر کننده                     |                      |              |
| ۲        | کاهنده جذب آب                    | $350 \pm 5$          | $120 \pm 20$ |
|          | نگهدارنده آب                     |                      |              |
| 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 Plastit PG06 به عنوان روان کننده-کاهنده آب

در این بخش ویژگی‌های ماده افزودنی Plastit PG06 و تطابق آن به عنوان روان کننده-کاهنده آب با ملزومات استاندارد ملی ایران بررسی می‌شود.

### ۱-۴ ملزومات استاندارد:

ملزومات استاندارد ملی ایران ۲۹۳۰ برای افزودنی‌های 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<br>ISIRI 3203<br>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 می‌تواند حداکثر ۲ درصد حجمی بیش از مقدار هوای مخلوط کنترل باشد مگر اینکه تولید کننده مقدار دیگری را مشخص کرده باشد |

### ۲-۴ طرح اختلاط:

برای مطالعه خواص مورد نیاز افزودنی روان کننده-کاهنده آب دو طرح اختلاط مطابق آن چه در جدول ۷ نشان داده شده 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. طرح‌های اختلاط مورد استفاده در این آزمایش بر اساس استاندارد ملی ایران ۲۹۳۰ مطابق جداول ۳ و ۵ محاسبه شده است.

جدول ۷- طرح اختلاط

| کد نمونه | هدف       | افزودنی فوق روان کننده (گرم بر متر مکعب) | آب (کیلوگرم بر متر مکعب) | سیمان (کیلوگرم بر متر مکعب) | بادامی (کیلوگرم بر متر مکعب) | نخودی (کیلوگرم بر متر مکعب) | ماسه S1 (کیلوگرم بر متر مکعب) |
|----------|-----------|--|--------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| P1       | شاهد ۱    | ۰  | ۱۹۵                      | ۳۵۰                         | ۴۵۱                          | ۱۸۱                         | ۱۱۷۰                          |
| P2       | باافزودنی | ۱۷۵۰                                     | ۱۷۸                      | ۳۵۰                         | ۴۵۶                          | ۱۸۲                         | ۱۱۸۴                          |

### ۳-۴ 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 دانه‌ها را کم و یکنواختی و تراکم مخلوط را بهبود می‌بخشد. 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 آیین‌نامه را برآورده می‌کند.

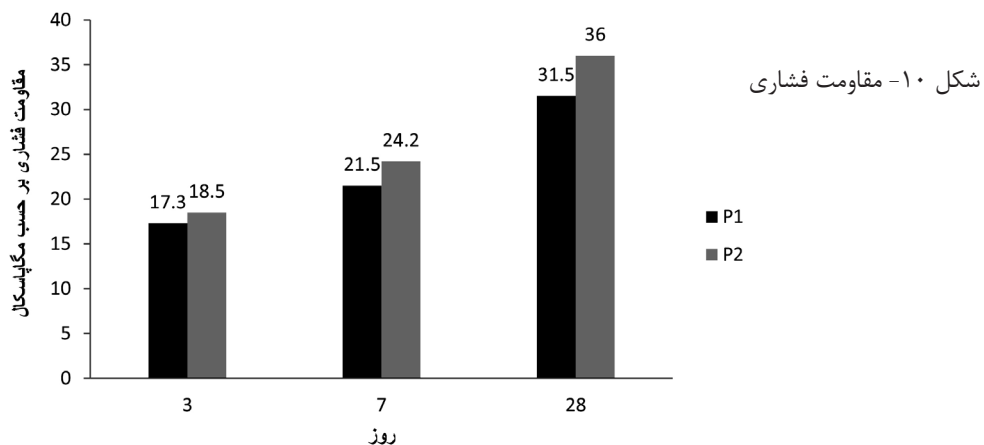
جدول ۸- میزان کاهش نسبت آب به سیمان با استفاده از افزودنی

| کد نمونه | هدف        | نسبت آب به سیمان | اسلامپ (CM) |
|----------|------------|------------------|-------------|
| P1       | شاهد ۱     | ۰/۵۶             | ۷           |
| P2       | با افزودنی | 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 نمونه به دست آمده است. بر مبنای نتایج به دست آمده مشاهده می‌شود که در سنین ۷ و ۲۸ روزه مقاومت فشاری بتن حاوی افزودنی بیش از ۱۱۰ درصد مقاومت فشاری بتن شاهد است. بنابراین افزودنی الزامات آیین‌نامه 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   | با افزودنی | ۳۶                       | ۲۴/۲   | ۱۸/۵   |
| نسبت مقاومت نمونه حاوی افزودنی به نمونه شاهد |            | ۱/۱۴                     | ۱/۱۲   | ۱/۰۷   |



**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 آیین‌نامه را تامین می‌نماید.

جدول ۱۰- میزان درصد هوا

| کد نمونه | هدف        | در صد هوای بتن تازه |
|----------|------------|---------------------|
| P1       | شاهد ۱     | ۱/۷                 |
| P2       | با افزودنی | 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 Plastit 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 Plastit 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<br>۴ | اسلامپ<br>ISIRI 3203<br>یا روانی<br>EN 12350-5 | افزایش نسبت به اسلامپ اولیه بیشتر از ۱۲۰ mm<br>(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 |

### ۲-۵ طرح 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 و طرح دوم (P4) به عنوان طرح حاوی افزودنی مورد نظر قرار گرفته است. طرح اختلاط‌های مورد استفاده در این آزمایش بر اساس استاندارد ملی ایران ۲۹۳۰ مطابق جداول ۳ و ۵ محاسبه شده است. در این آزمایش‌ها طرح اختلاط نمونه شاهد ۴ طبق جدول ۵ - با اسلامپ ۳ سانتیمتر ساخته شد.

جدول ۱۲- طرح اختلاط

| افزودنی فوق روان کننده (گرم بر متر مکعب) | آب (کیلوگرم بر متر مکعب) | سیمان (کیلوگرم بر متر مکعب) | بادامی (کیلوگرم بر متر مکعب) | نخودی (کیلوگرم بر متر مکعب) | ماسه SI (کیلوگرم بر متر مکعب) | هدف        | کد نمونه |
|--|--------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|------------|----------|
| ۰  | ۱۷۲                      | ۳۵۰                         | ۵۴۸                          | ۲۷۴                         | ۱۰۰۵                          | شاهد ۴     | P3       |
| ۳۵۰۰                                     | ۱۷۲                      | ۳۵۰                         | ۵۴۸                          | ۲۷۴                         | ۱۰۰۵                          | بالافزودنی | P4       |

### ۳-۵ 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 می‌باشد، می‌توان اظهار نمود افزودنی قسمت اول شرایط جدول ۱۱ را تامین نمی‌کند.

| کد نمونه | هدف        | (cm اسلامپ) |
|----------|------------|-------------|
| P3       | شاهد ۴     | ۳           |
| P4       | بالافزودنی | ۱۴          |

جدول ۱۳- افزایش روانی



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

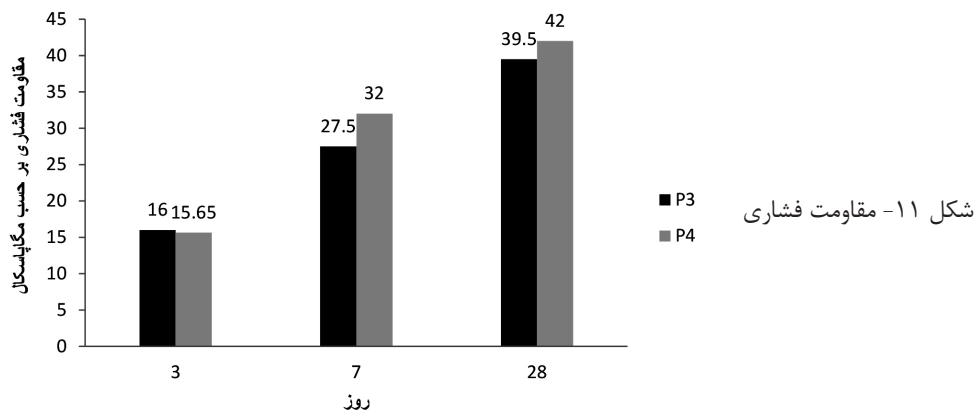
جدول ۱۴- روانی تاخیری

| 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) |        |         |
|--|-----------|--------------------------|--------|---------|
|  |           | ۳ روزه                   | ۷ روزه | ۲۸ روزه |
| P3   | شاهد ۴    | ۱۶                       | ۲۷/۵   | ۳۹/۵    |
| P4   | باافزودنی | ۱۵/۶                     | ۳۲     | ۴۲      |
| نسبت مقاومت نمونه حاوی افزودنی به نمونه شاهد |           | ۰/۹۷                     | ۱/۱۶   | ۱/۰۶    |



**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 می تواند 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 می نماید.

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 آزمایش های انجام شده بر روی بتن تازه و سخت شده (در شرایط 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 Plastit 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.



## ۶-۱- بررسی عملکرد اقتصادی افزودنی Plastit PG06 به عنوان فوق روان کننده-کاهنده قوی آب (باروانی برابر)

### ۶-۱- 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<br>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<br>مقاومت فشاری مخلوط کنترل باشد<br>مقاومت فشاری ۲۸ روزه مخلوط آزمایشی نباید کمتر از ۱۱۵ درصد<br>مقاومت فشاری مخلوط کنترل باشد. |
| ۴    | مقدار هوای بتن | بتن شاهد ۱ | 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   |

### 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 شاهدها بر اساس جدول ۵ بوده است) و طرح دوم (P9) به عنوان طرح حاوی افزودنی مورد نظر قرار گرفته است. طرح‌های اختلاط مورد استفاده در این آزمایش بر اساس استاندارد ملی ایران ۲۹۳۰ مطابق جداول ۳ و ۵ محاسبه شده است. در این آزمایش‌ها طرح اختلاط نمونه شاهد ۱ طبق جدول ۵ - با اسلامپ ۷ سانتیمتر ساخته شد.

جدول ۱۸- طرح اختلاط

| کد نمونه | هدف       | ماسه S1<br>(کیلوگرم<br>بر مترمکعب) | نخودی<br>(کیلوگرم<br>بر مترمکعب) | بادامی<br>(کیلوگرم<br>بر مترمکعب) | سیمان<br>(کیلوگرم بر<br>مترمکعب) | آب<br>(کیلوگرم<br>بر مترمکعب) | افزودنی فوق<br>روان کننده (گرم<br>بر مترمکعب) |
|----------|-----------|------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|---|
| P8       | شاهد ۱    | ۱۰۰۵                               | ۲۷۴                              | ۵۴۸                               | ۳۵۰                              | ۱۹۵                           | .   |
| P9       | بالفزودنی | 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       | بالفزودنی | ۰/۴۶             | ۷           |

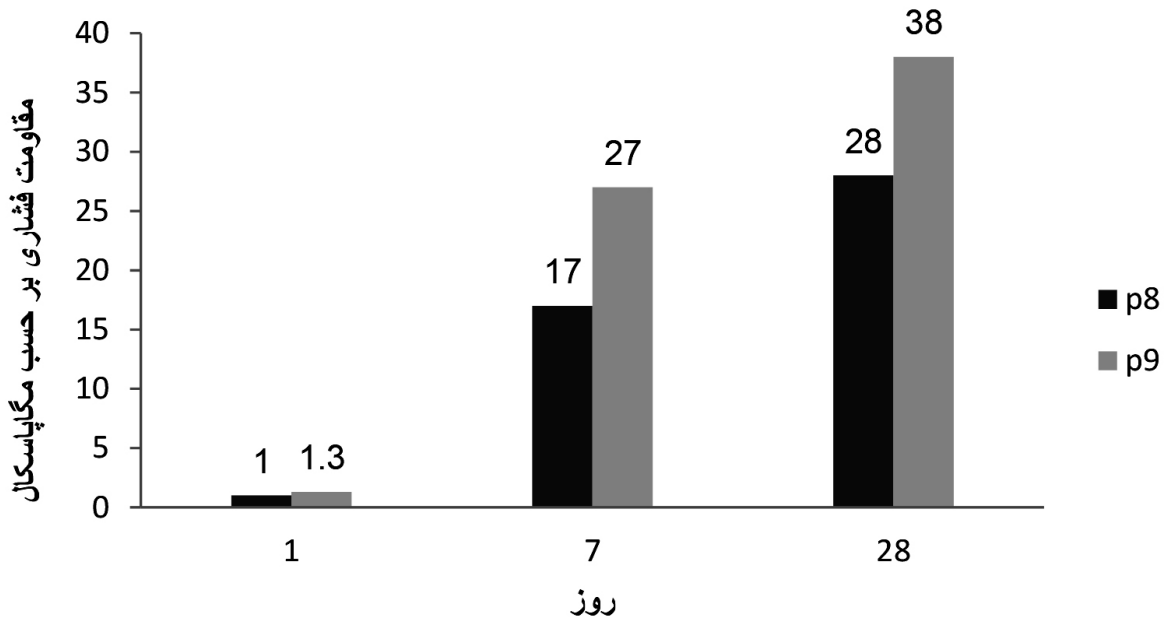
مقاومت فشاری: نتایج مقاومت فشاری بتن حاوی افزودنی و بتن شاهد در جدول شماره ۲۰ نشان داده شده است. به صورت مشابه نمودار نتایج مقاومت فشاری در شکل شماره ۱۲ نشان داده شده است. لازم به ذکر است نتایج نشان داده شده در هر سن از میانگین آزمایش بر روی دو نمونه به دست آمده است. بر مبنای نتایج به دست آمده مشاهده 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   | بالفزودنی | 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 ۰/۶ درصد ثبت شده است بنابراین افزودنی الزامات آیین نامه را تامین می‌نماید.

جدول ۲۱ - میزان درصد هوا

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

**جمع بندی:** با توجه به آزمایش‌های انجام شده بر روی بتن تازه و سخت شده (درحالت 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 Plastit PG06 تولیدی شرکت کپکو بر اساس استاندارد ملی ایران ۲۹۳۰ به عنوان ماده افزودنی کاهنده آب و روان کننده مورد تایید نمی‌باشد.

## ۷- بررسی عملکرد اقتصادی افزودنی Plastit 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 آزمایش‌های انجام گرفته با نظر کارفرما به صورت مقایسه ای با یکی دیگر از محصولات شرکت کپکو با نام تجاری 1L نیز انجام گردیده است.

### طرح آزمایش:

در این طرح برای بررسی عملکرد اقتصادی افزودنی Plastit 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 طرح‌های بعدی (P6 و P7) از مقدار سیمان مصرفی کاسته شد و به منظور جبران کارایی و مقاومت نمونه‌ها از افزودنی‌های مورد آزمایش به میزان ۰/۵ درصد وزنی سیمان طرح استفاده گردید. اسلامپ‌های اندازه‌گیری شده در هر طرح در جدول ۲۳ آمده است.

جدول ۲۲- طرح اختلاط مقایسه اقتصادی

| 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) |
|----------|---------------|---|-------------------------|----------------------------|-----------------------------|----------------------------|------------------------------|
| 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

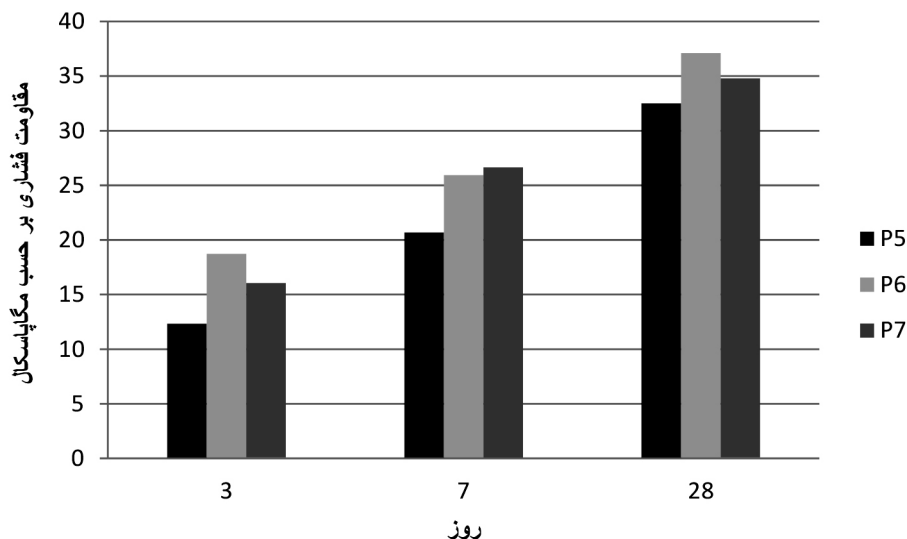
| عیار سیمان | اسلامپ (cm) | نسبت آب به سیمان (%) |                     |
|------------|-------------|----------------------|---------------------|
| ۴۰۰        | ۶           | ۰/۵۵                 | بتن شاهد            |
| ۳۶۰        | ۱۴          | ۰/۵۵                 | بتن با افزودنی PG06 |
| ۳۶۰        | 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 می‌شود 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. درنتیج ۳ روزه نمونه P6 مقاومت بیشتری نسبت به دو نمونه دیگر دارد. ولی در نتایج ۷ روزه مقاومت نمونه P7 حاوی افزودنی L1 بیشتر از دو نمونه دیگر شده است. و در نهایت در مقاومت ۲۸ روزه بتن حاوی افزودنی Plastit PG06 مقاومت بیشتری نسبت به دو نمونه دیگر کسب کرده است. با توجه به نتایج به دست آمده چنین نتیجه می‌شود 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.

$\beta$ : قیمت هر کیلو روان کننده PG 06

$\alpha$ : قیمت هر کیلو سیمان

هزینه کاسته شده به دلیل صرفه جویی در مصرف سیمان:  $40 \alpha$

هزینه افزودنی در طرح P6:  $1/8 \beta$

کاهش هزینه‌ها در طرح P6:  $40 \alpha - 1/8 \beta$

برای مثال اگر:

$\beta$  = قیمت هر کیلو روان کننده PG06: ۱۲۰۰۰ ریال

$\alpha$  = قیمت هر کیلو سیمان: ۱۲۰۰ ریال

به این ترتیب:

هزینه کاسته شده به دلیل صرفه جویی در مصرف سیمان  $40 \times 1200 = 48000$  ریال

هزینه افزودنی در طرح P6  $1/8 \times 12000 = 21600$  ریال

کاهش هزینه‌ها در طرح P6  $48000 - 21600 = 26400$  ریال

در این صورت نشان داده میشود که استفاده از افزودنی PG06 صرفه جویی اقتصادی قابل توجهی دارد.

در مثالی دیگر: اگر قیمت هر کیلو روان کننده L1: ۲۵۰۰۰ ریال باشد

هزینه افزودنی در طرح P7  $1/8 \times 25000 = 45000$  ریال

کاهش هزینه‌ها در طرح P7  $48000 - 45000 = 3000$  ریال

به این ترتیب استفاده از هر دو روان کننده صرفه جویی اقتصادی خواهد داشت.

شایان ذکر است مثال مذکور بر اساس قیمت‌های روز محاسبه شده است و در صورت تغییر قیمت با فرمول‌های ذکر شده به راحتی می‌توان قیمت‌های تمام شده به دست آورد.