

مقدمه

پروژه فونداسیون برج توسعه غربی بازار ایران با سطحی بالغ بر ۴۲۰۰ متر مربع و عمقی معادل ۴ متر پیش بینی گردیده است. مقاومت مشخصه مکعبی بتن این فونداسیون معادل حداقل ۶۰ مگاپاسکال طراحی شده که موجب تبدیل این نوع بتن، به یک بتن خاص و با مقاومت بالا شده است. کمیته ACI 116 بتن حجیم را به عنوان یک بتن در یک سازه بزرگ تعریف کرده است، به گونه‌ای که حجم این بتن به اندازه‌ای است که نیاز به ابزار خاصی برای مقابله با تولید حرارت و در نتیجه تغییر حجم دارد. لذا علاوه بر مسئله خواص مکانیکی این بتن، مسئله تولید حرارت ناشی از هیدراسیون و ایجاد فضای بی در رو (آدیباتیک) به دلیل ضریب انتقال حرارت بسیار پایین بتن، لزوم در نظرگیری ضوابط مربوط به مقاطع بتن ریزی حجیم را ایجاب می‌نماید، چرا که در صورت عدم در نظرگیری مسئله کنترل حرارت در بتن، دما در هسته داخلی آن به مرور افزایش یافته و از طرفی دما در لایه سطحی بتن به دلیل مجاورت با هوای آزاد، کاهش می‌یابد. این انبساط در هسته مقطع فونداسیون و انقباض در لایه سطحی خارجی مقطع، موجب ایجاد تنش فشاری در هسته و تنش کششی در لایه سطحی خارجی بتن خواهد گردید که منجر به ایجاد ترکهای عمده حرارتی در بتن و همچنین در ریزساختار و ناحیه سطحی انتقالی (ITZ) خواهد شد که علاوه بر کاهش خواص مکانیکی در بتن، منجر به کاهش قابلیت بهره‌برداری و همچنین کاهش دوام آن در مقابل نفوذ یون کلر، نفوذ سولفات و ... خواهد شد، چرا که این ترکها منجر به افزایش نفوذپذیری در بتن گردیده است.

از طرفی شرایط اجرایی در مقطع فونداسیون فوق به دلیل وجود شمع‌ها، تراکم میلگردها، پیوسته بودن بتن‌ریزی، ارتفاع زیاد و حجم بالای بتن ریزی، یک شرایط خاص بوده و لذا لزوم در نظرگیری رتولوژی مناسب بتن اعم از سهولت بتن ریزی، تراکم پذیری، قابلیت پمپ پذیری، قابلیت پرکنندگی، قابلیت عبورپذیری، قابلیت مقاومت در برابر جداسازی و ... را ایجاب مینماید.

همان گونه که تاکنون بیان شد، به جهت مشکلات عدیده ناشی از طرح یک بتن حجیم دارای خواص رتولوژی مطلوب و همچنین دارای مقاومت بالا، استفاده از مواد افزودنی و مصالح خاص و در نظرگیری مسائل عمده حرارتی اجتناب ناپذیر خواهد بود. بنابراین یکی دیگر از فاکتورهای مهم در طراحی این نوع بتن خاص، لزوم در نظرگیری مسائل اقتصادی و انتخاب بهینه ترین گزینه بوده است. همچنین در طراحی این نوع بتن به تجهیزات، مصالح و امکانات موجود توجه شده است چرا که در نهایت تولید این بتن با توجه به تجهیزات و امکانات محدود کارگاههای ساخت بتن و مصالح موجود صورت خواهد گرفت.

لذا طراحی این بتن مستلزم در نظرگیری اهمیت تامین مطلوب و مناسب پایداری ابعادی، خواص دوام، خواص مکانیکی، خواص رتولوژی می باشد که این مهم، نیازمند انجام آزمایشات متعدد برای مصالح سنگی، مواد سیمانی، آب، مواد افزودنی، آزمایشات بتن تازه و سخت شده خواهد بود.

با توجه به عوامل ذکر شده، مهمترین شاخص‌ها در طراحی این بتن، به ترتیب عبارتند از:

- ۱- حجم بودن بتن و شرایط گرم‌زایی هسته مرکزی بتن ویژه با گستره و ارتفاع زیاد
- ۲- شاخص‌های خواص مکانیکی بالای مورد نیاز در محدوده رده مقاومت فشاری مورد نیاز
- ۳- شاخص‌های رتولوژی و شرایط اجرایی ویژه با توجه به گستردگی، تراکم و چندلایه بودن شبکه‌ها و

عدم دسترسی به مقاطع

۴- بهینه سازی طرح مخلوط با توجه به شاخص های سهولت اجرا ، اقتصادی و کیفیت مناسب بتن سخت شده

۵- دوام و پایداری بتن ساخته شده

۶- استفاده از ظرفیت های بومی

۷- پایداری ابعادی

۸- بکارگیری کمترین اجزاء در ساخت بتن

۹- شاخصهای اقتصادی و بکارگیری بهینه امکانات موجود

۱۰- ضرورت های اجرایی و عملیاتی

۱۱- حصول اطمینان از سازگاری مواد افزودنی ، مواد سیمانی ، سنگدانه ، آب و دیگر اجزای بتن با یکدیگر

بر این اساس و با توجه به شاخص های گفته شده ، پیروی مطالعات فنی ، مهندسی و آزمایشگاهی انجام گرفته و، طرح مخلوط نهایی بر اساس این نتایج ارائه گردید.

با توجه به اهمیت ارائه طرح مخلوط این بتن ، به جهت ماهیت خاص و متناقض آن که علاوه بر حجیم بودن، مقاومت فشاری بالایی را مستلزم می باشد ، تاکنون آزمایشات بسیار زیادی طی مدت ۶ ماه انجام گردیده است ، که آمار زیر گویای گستردگی حجم کاری انجام شده است:

-انجام آزمایشات خواتص بیش از ۳۸۲۱ نمونه بتنی با ابعاد مختلف جهت انجام آزمایشات خواص مکانیکی

-ساخت بیش از ۳۱۶۸ نمونه بتنی با ابعاد مختلف جهت انجام آزمایشات خواص دوام

-ساخت بیش از ۱۰۵ نمونه بتنی با ابعاد مختلف جهت انجام آزمایشات خواص حرارتی و پایداری ابعادی

-انجام آزمایشات رئولوژی برای حدود ۲۲۰ طرح مخلوط بتن با مجموعا بیش از ۴۲۰۰ بار انجام آزمایشات

-انجام آزمایشات مواد سیمانی برای مجموعا بیش از ۱۳۱ نمونه مواد سیمانی و پوزولانی

-انجام آزمایشات مصالح سنگی برای بیش از ۱۲۶ نمونه مصالح سنگی ، ماسه ، شن و...

طرح مخلوط نهایی ، پس از انجام این آزمایشات و همچنین اصلاح جهت شرایط اجرایی جدید(مصالح ، نحوه تراکم ، ساخت ، دما)، مطابق جدول زیر ارائه گردید:

نام مصالح	مجموع مواد سیمانی (کیلوگرم)	سیمان تیپ ۱-۴۲۵ (کیلوگرم)	سرباره آهنگدازی (کیلوگرم)	ماسه (کیلوگرم)	شن نخودی (کیلوگرم)	آب	مواد افزودنی (کیلوگرم)
مقدار به ازای هر یک مترمکعب	۵۰۰	۳۲۵	۱۷۵	۱۱۵۰	۵۵۰	۱۵۰	۵,۵ با رواداری ±۰,۴

کلیه وزن های ارائه شده برای مصالح سنگی (ماسه و شن نخودی) با درصد رطوبت در حالت SSD گرفته شده است و با توجه به درصد رطوبت مصالح سنگی در زمان بتن ریزی توسط کارشناسان قابل تغییر و اصلاح می باشد. نسبت آب به سیمان این طرح بر اساس نتایج حاصله از آزمایش ها ، معادل ۰/۳۰ تعیین گردیده است.

روند رسیدن به طرح های مخلوط برتر

رسیدن به یک طرح مخلوط مطمئن و با قابلیت اجرا که تمام شاخص های گفته شده را داشته باشد ، نیازمند انجام آزمایشات متعدد و برنامه ریزی شده است. آن چه تاکنون و در قالب مدارک مهندسی های قبلی ارائه شد ، روند رسیدن به طرح های مخلوط برتر را نشان داده است.

در فاز اول مطالعات و آزمایشات، حدود ۵۵ طرح مخلوط برای تعیین مناسبترین میزان و نوع مواد سیمانی و مصالح سنگی با توجه به تامین خواص رئولوژی ، مکانیکی ، اجرایی و دیگر شاخص های اشاره شده انجام شد.

آنچه در این مرحله از آزمایشات، بر روی مصالح مختلف و درصد های جایگزینی مختلف از پوزولان های گوناگون انجام شد، برای رسیدن به طرح های مخلوطی بوده که حداقل نیاز های ما را در فاکتور مقاومت فشاری مناسب برآورده نمایند. پس از آن و با توجه به پارامتر هایی همچون میزان عیار سیمان ، میزان حرارت زایی معادل و خواص رئولوژی بهترین طرح های مخلوط برای انجام آزمایشات بیشتر و همچنین کار بر روی جزییات انتخاب شدند.

در این بین پوزولان سرباره به دلیل تولید انبوه در کشور ، خواص رئولوژی و پوزولانی مناسب و مقاومت های فشاری خوب و همچنین به دلیل توانایی کنترل بر روی کیفیت تولیدی آن و ترکیب آن به سیمان در کارخانه سیمان سپاهان به عنوان یکی از اصلی ترین پوزولان ها برای ادامه راه انتخاب گردید. همچنین پوزولان خاکستر بادی به دلیل خواص مکانیکی بسیار مناسب طرح های مخلوط حاوی این پوزولان و همچنین حرارت زایی کمتر از سرباره جهت بررسی بیشتر مورد نظر کارشناسان کارگروه قرار گرفت.

مهمترین نتایج این پوزولان عبارتند از:

- سرباره با توجه به مشخصات فیزیکی، شیمیایی و مورفولوژی مناسب، توانایی جایگزینی تا نسبتهای وزنی بالایی را بجای سیمان در بتن دارد. استفاده از سرباره تا درصد های بالای جایگزینی سبب بهبود خواص رئولوژی در بتن میشود که این ویژگی باتوجه به هدف طرح بتن با کارایی بالا، قابل توجه میباشد.
- این پوزولان به دلیل داشتن سطح ویژه بالاتر از سیمان سبب کاهش آب انداختگی در بتن شده و تاثیر منفی در جداسدگی ندارد.
- یکی از مهمترین خاصیت های سرباره، ایجاد تاخیر در گیرش اولیه و نهایی بتن است که در کنترل حرارت بتن موثر خواهد بود.
- این پوزولان قابلیت استفاده در درصدهای بالای جایگزینی با سیمان (تا ۶۵ درصد) را داراست که منجر به کاهش بسیار چشمگیر حرارت هیدراسیون و دمای حداکثر بتن خواهد شد و همچنین منجر به بهبود رئولوژی بتن و حفظ کارایی مناسب در بتن خواهد شد.
- سرباره باعث جلوگیری از آب انداختگی و جداسدگی در بتن به دلیل افزایش لزجت و پیوستگی در بتن خواهد شد.
- نتایج مقاومت فشاری بتن های تولید شده با این نوع پوزولان در تحقیقات کارگروه تخصصی تکنولوژی بتن مورد رضایت بوده و قابل اعتماد میباشد.

- توانایی تولید بتن با کارایی بالا با این نوع پوزولان به جهت بهبود نرخ افزایش مقاومت در نسبت‌های آب به سیمان بالا بیشتر از سایر پوزولانها میباشد.
- مورفولوژی این پوزولان آمورف و سوزنی شکل و به صورت مخلوط بوده و برخی از دانه‌های آن خواص پوزولانی نخواهند داشت و صرفاً به عنوان فیلر در بتن موجب بهبود خواص مکانیکی کمک خواهند نمود. بنابراین مکانیزم عملکردی این پوزولان، فقط به صورت واکنش پوزولانی و پرکنندگی خواهد بود که علاوه بر خواص مکانیکی مناسب، منجر به بهبود خواص دوامی و رئولوژی بتن خواهد گردید.
- در عیار مجموع ۴۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب مواد سیمانی، جایگزینی سرباره ۴۵ درصد برای هرسه خواص رئولوژی، مکانیکی و حرارتی مناسب بوده است.
- در عیار مجموع ۵۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب مواد سیمانی، جایگزینی سرباره ۵۵ درصد برای هرسه خواص رئولوژی، مکانیکی و حرارتی مناسب بوده است.
- در عیار مجموع ۵۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب مواد سیمانی، جایگزینی سرباره ۶۵ درصد برای هرسه خواص رئولوژی، مکانیکی و حرارتی مناسب بوده است.

همان گونه که گزارش تحقیقات فاز اول بیان شد، خواص رئولوژی و خواص کاهش حرارت تولیدی برای مجموع عیار ۴۵۰ کیلوگرم مواد سیمانی در متر مکعب، برای درصد های جایگزینی سرباره مناسب بوده است. البته در درصد های جایگزینی بالاتر به دلیل کم بودن مجموع مواد سیمانی خواص رئولوژی صرفاً با سرباره بهبود خواهد یافت ولی از طرفی مقاومت های فشاری کمتری نتیجه خواهد شد. بنابر این در این عیار درصد های جایگزینی ۲۵ الی ۴۵ درصد برای کار بیشتر در طرح های مخلوط نهایی انتخاب گردید.

در عیار ۵۰۰ کیلوگرم مواد سیمانی در متر مکعب، برای درصد های جایگزینی ۳۵ الی ۵۵ درصد سرباره علاوه بر خواص رئولوژی خوب، خواص مقاومتی خوبی شاهد بودیم. نتایج تحقیقات در این مرحله حاکی از آن بود که در درصد جایگزینی ۳۵ درصد سرباره بجای سیمان، در طرح های مخلوط مختلف مقاومت فشاری مناسبی نتیجه شد. همچنین در درصد جایگزینی ۵۵ درصد، علاوه بر خواص مکانیکی و رئولوژی مناسب، شاهد رفتار حرارتی بسیار مناسبی هستیم. بنابر این در این عیار سیمان، درصد جایگزینی ۳۵ الی ۵۵ درصد در نظر گرفته شد.

پس از بررسی موارد زیر در مورد بیش از ۱۰۰ کارخانه تولید سیمان در کشور، نهایتاً با توجه به این موارد چند کارخانه منتخب برگزیده و طرح های مخلوطی برای مقایسه نتایج خواص رئولوژی و مقاومت فشاری آن ها ساخته شد. مواردی از قبیل:

- تجهیزات تولید سیمان
- محل و نحوه تامین برای این پروژه
- تعداد سیلو های دپوی سیمان
- تیپ های تولید سیمان
- کیفیت ساخت و کنترل کیفی سیمان
- ثبات در کیفیت
- امکان تولید میزان سیمان مورد نیاز برای بتن ریزی این فونداسیون در این حجم

در نهایت کارخانه های سیمان سپاهان ، یاسوج ، سامان غرب و بجنورد از بین تمام شرکت های تولید سیمان برگزیده شدند. نتایج انجام آزمایشات گوناگون در یک طرح مخلوط ثابت حاکی از آن بود که سیمان سپاهان به علت خواص رئولوژی و مقاومت فشاری مناسب و همچنین نزدیک بودن و امکان تولید انبوه سیمان با مشخصات مورد نیاز و تجهیزات تولید سیمان حاوی پوزولان نسبت به دیگر سیمان ها انتخاب مناسب تری است. با توجه به تفاسیری که ارائه شد، پوزولان سرباره و همچنین سیمان سپاهان برای طرح های مخلوط مورد مطالعه در فاز دوم انتخاب شدند.

در فاز دوم مطالعات و آزمایشات، حدود ۳۵ طرح مخلوط دیگر با در نظر گیری جزئیات بیشتر در میزان مجموع عیار و همچنین استفاده از میزان و نوع سیمان ، پوزولان و مصالح بهینه مشخص شده در مرحله قبلی مطالعات، جهت رسیدن به طرح های مخلوط منتخب مورد ساخت و انجام آزمایشات تکمیل تر رئولوژی ، مکانیکی قرار گرفتند.

در طرح های مخلوط مطالعات فاز اول با مهمترین شاخص ها بررسی و مطابق نتایج حاصل از ساخت و آزمایش این طرح های مخلوط ، طرح های مخلوط فاز دوم مطالعات ارائه شدند. شاخص های این مرحله عبارت بودند از:

-خواص حرارتی

-مقاومت فشاری

-خواص رئولوژی و شرایط اجرایی

پس از این مرحله از مطالعات که بهترین طرح های مخلوط با در نظر گیری تامین شرایط فوق انتخاب شدند ، این طرح ها برای بررسی بیشتر در مطالعات فاز دوم ارائه شدند و مورد بررسی بیشتر از جنبه های زیر قرار گرفتند:

-شاخص حرارتی

-شاخص مقاومت فشاری

-شاخص رئولوژی

-شاخص اجرایی

-شاخص اقتصادی

-شاخص دوام

-شاخص بومی سازی

-شاخص پایداری ابعادی

-شاخص تعداد اجزا

در نهایت و پس از بررسی های انجام گرفته ، طرح های مخلوط برتر در جدول زیر به عنوان بهترین طرح ها انتخاب گردید.

بنابر این و پس از بررسی حدود ۱۳۸ طرح مخلوط مختلف (شامل تمام مخلوط های فاز اول ، دوم و مطالعات جانبی افزودنی و سازگاری مواد) و انجام آزمایشات رئولوژی بتن تازه ، خواص مکانیکی و خواص حرارتی ، طرح های مخلوط منتخب فوق برای انجام آزمایشات تکمیلی ، ارائه شدند.

ردیف	نام طرح	مجموع عیار مواد سیمانی (kg/m ³)	سرباره		سیمان		W/CM
			مقدار (kg)	درصد	مقدار (kg)	درصد	
1	F-475-S45	475	214	45	261	55	0.3
2	F-450-S35	450	157	35	293	65	0.3
3	F-450-S45	450	202	45	248	55	0.3
4	F-475-S35	475	166	35	309	65	0.3
5	F-500-S45	500	225	45	275	55	0.3
6	F-450-S25	450	112	25	338	75	0.3
7	F-525-S55	525	289	55	236	45	0.3
8	F-500-S35	500	175	35	325	65	0.3
9	F-525-S45	525	236	45	289	55	0.3
10	F-500-S55	500	275	55	225	45	0.3
11	F-475-S55	475	261	55	214	45	0.3
12	F-525-S35	525	184	35	341	65	0.3

انجام آزمایشات تکمیلی به جهت حصول اطمینان هرچه بیشتر از کیفیت بتن نهایی از همه ابعاد و شاخص ها از جمله ، خواص مکانیکی ، خواص رئولوژی ، خواص دوامی ، خواص پایداری ابعادی و خواص حرارتی مطلوب و همچنین سازگاری متریال سنگی ، سیمانی و شیمیایی با یکدیگر انجام شدند. پس از ارائه نتایج این آزمایشات طرح مخلوط نهایی انتخاب گردید.





پروژه بازار بزرگ ایران

بازار بزرگ ایران، بزرگترین پروژه در حال ساخت تجاری، تفریحی، فرهنگی، مذهبی و یک مرکز خرید در خاور میانه است. فاز اول این مجموعه به مساحت ۱۷۰۰۰۰۰ متر مربع در سال ۱۳۹۰ آغاز شده است. در این پروژه ۵۲ راه دسترسی بصورت پل، زیرگذر، رمپ و ۶ تونل وجود دارد.

مرکز تجاری مالی بین المللی ایران در ضلع غربی پروژه بی نظیر بازار ایران با زیر بنای تقریبی بیش از ۸۰۰۰۰۰ متر مربع واقع شده است. با استقرار یک واحد آزمایشگاه کنترل کیفی در سایت قطعات پیش ساخته پژوهش و کنترل کیفیت بتن قطعات بزرگ تیر و ستون پیش ساخته با مقاومت بالای ۵۰ مگا پاسکال و با عمل آوری بخار انجام شده است. طراحی بتن خود متراکم خاص با سیمان سرباره ای برای فونداسیون برج ۵۰ طبقه طرح توسعه غربی به ارتفاع ۴ متر و متراژ حدود ۱۸۰۰۰ متر مکعب با مقاومت بالای ۵۰ مگا پاسکال و به همراه کنترل حرارت هیدراسیون از جمله ویژگیهای این پروژه می باشد.

هتل مجموعه در حال ساخت بازار بزرگ ایران به مساحت بیش از ۱۰۰۰۰۰ مترمربع در قسمت شرقی پروژه واقع شده است. ارتفاع این هتل بیش از ۷۰ متر متشکل از دو هتل ۵ ستاره دارای ۲۲۱ و ۱۹۵ اتاق است.

در این پروژه با کاهش و محدود کردن نسبت آب به مواد سیمانی، استفاده از پوزولانها، استفاده از حداقل سیمان مناسب و بهینه سازی عیار سیمان، تامین حداکثر تراکم با استفاده از بتن های با کارایی و اسلامپ بالا توانسته ایم تمامی معیارهای بتن با مقاومت بالا و با دوام را برآورده کرده بطوریکه بطور کلی برای افزایش دوام بتن و طول عمر مفید سازه های بتنی، پروژه به دو مقوله انتخاب صحیح مصالح و مواد تشکیل دهنده بتنی و نیز اجرای آن توجه خاص و ویژه شده است. در این پروژه از فناوریهای خاص قطعات پیش ساخته در اجرای

پارکینگ طبقاتی پروژه استفاده شده است. کنترل کیفیت قطعات پیش ساخته در ۳ سایت پیش ساخته انجام گرفته بطوریکه از فناوریهای خاص بتنهای با روانی بالا استفاده شده بطوریکه مقاومت و دوام بالای بتن ها مد نظر بوده است.

کنترل کیفیت بتنهای اجرا شده و در حال اجرای پروژه بازار یزرگ ایران شامل مرکز تجاری، راههای دسترسی، هتل، سایت های پیش ساخته و مرکز تجاری مالی بین المللی ایران در ضلع غربی پروژه بعهدہ مرکز تحقیقات تکنولوژی و دوام بتن دانشگاه صنعتی امیرکبیر می باشد بطوریکه از انواع بتن ها با فناوریهای خاص و مقاومت بالا استفاده شده است.