بررسي اثر افزايش دماي عمل آوري بر جذب آب موئينه و جذب آب نهايي بتن

محسن تدين* استاديار دانشكده عمران دانشگاه بو علي سينا همدان
سيد محمد سجادي كارشناس ارشد سازه دانشگاه صنعتي شاهرود**
ناصر ظريف مقدم* كارشناس ارشد سازه دانشگاه صنعتي شاهرود**
* - تلفن: ۰۹۱۲۱۲۷۲۹۹۳ پست الكترونيك: ***tadayonmoh@yahoo.com***
** - تلفن: ۰۹۱۵۵۱۴۹۸۰۲ پست الكترونيك: ***Sajjadi297@yahoo.com***
*** - تلفن: ۰۹۱۵۳۰۶۶۲۳۶ پست الكترونيك: ***nasser_zarif@yahoo.com***

چكيده

يكي از روش هاي متداول جهت تسريع در كسب مقاومت بتن، افزايش دماي عمل آوري آن به روش هايي نظير بخاردهي مي باشد. افزايش مقاومت به واسطه تسريع در انجام واكنش هاي هيدراسيون سيمان صورت مي گيرد. هدف از اين روش، امكان جابه جايي سريع تر قطعات بتني، آزاد شدن زودتر قالب ها، افزايش سرعت توليد و مزاياي نظير آن مي باشد. صرفنظر از فوايد ذكرشده، استفاده نادرست از سيستم عمل آوري تسريع شده مي تواند به كاهش دوام بتن به ويژه در شرايط مهاجم نظير خليج فارس منجر شود. در اين تحقيق، تاثير افزايش دماي عمل آوري بر جذب آب بتن، به عنوان يكي از پارامترهاي دوام بررسي شده است. همچنين براساس نتايج آزمايش ها و با توجه به شرايط بهره برداري سازه، دماي مناسب براي تسريع مقاومت قطعات بتني پيشنهاد گرديده است.

كليد واژه‌ها: عمل آوري تسريع شده، دوام، موييني‌گي، جذب آب، خليج فارس، بلوغ بتن

۱- مقدمه

يكي از مواردي كه براي بتن در مقايسه با فولاد، به عنوان يک خصوصيت نه چندان خوشايند مطرح است، زمان بر بودن كسب مقاومت در آن مي باشد. از آنجا كه كسب مقاومت در بتن به طور مستقيم به واكنش تدريجي هيدراسيون[۱] سيمان وابسته است، تسريع در انجام اين واكنش نيز همواره مورد توجه بوده است. استفاده از سيمان و افزودنيهاي زودگير از راههاي موجود براي رسيدن به اين هدف بوده است. يكي از راه هاي مهم براي تسريع در كسب مقاومت بتن، افزايش دماي آن در حين عمل آوري مي باشد. عمل آوری با بخار[۲] از متداول ترين راههاي موجود براي اين منظور است. عمل- آوري تسريع شده[۳] مزاياي بسياري را در پي خواهد داشت. برخي از اين مزايا عبارتند از: افزايش مقاومت اوليه بتن، امكان جابجايي قطعات در سن كمتر، آزادسازي سريعتر قالب ها جهت استفاده مجدد، افزايش سرعت توليد، كاهش زمان تحويل قطعه بتنی به خريدار و غيره[۱].

بتن خوب تحت انواع وسيعي از شرايط متنوع محيطي، ماده‌اي نسبتاً بادوام است. اصولاً در هر سازه بتني لازم است عملكردي كه براي آن در نظر گرفته شده است تداوم يابد، به اين معنا كه مقاومت و بهره‌دهي آن در عمر مشخصي كه براي آن لحاظ شده است، حفظ گردد. بنابراين بتن بايد بتواند فرآيندهايي را كه انتظار مي‌رود موجب از هم پاشيده شدن آن شود، تحمل نمايد. در اين صورت است كه مي توان آن را بتني بادوام ناميد. در حالت كلي دوام[۴] به عوامل بسيار متنوعي بستگي دارد كه هيچگاه نمي توان با يک يا چند تحقيق ارزيابي كاملي از آن داشت. دوام بتن به معناي عمر بي‌نهايت آن نيست. همچنين نمي توان ادعا نمود كه بتني با شرايط خاص همه جا

---

[۱] Hydration

[۲] Steam Curing

[۳] Accelerated Curing

[۴] Durability

داراي دوام مناسب مي باشد؛ زيرا ممكن است همين بتن در يک شرايط جوي و محيطي ديگر عملكرد مناسبي را از خود نشان ندهد.

با توجه به مزاياي اقتصادي زياد حاصله از عمل آوري با بخار، استفاده از اين روش در كشورهاي مختلف و از جمله ايران در حال رشد است. در ايران كارخانه هاي بزرگي وجود دارند كه براي توليد قطعات پيش ساخته بتني از اين روش استفاده مي كنند. به عنوان مثال مي توان از كارخانه محصولات پيش ساخته بتني «بندر پتروشيمي پارس» واقع در منطقه عسلويه نام برد. در اين كارخانه قطعات مختلفي به وزن ۵ تا ۱۳۰ تن توليد مي شوند كه از آنها جهت ساخت اسكله هاي اين بندر استفاده مي شود. اين تحقيق در آزمايشگاه بتن اين كارخانه صورت گرفته است.

۲- هدف از تحقيق

بتن بادوام و طرح شده براي شرايط خاص، در صورت رويارويي با آن شرايط مي‌تواند شكل، كيفيت و بازدهي اوليه خود را حفظ كند. عدم پايايي بتن ممكن است به هزينه‌هاي تعميراتي كلاني بيانجامد كه به مراتب از هزينه‌هاي لازم براي يك طراحي و اجراي مناسب بيشتر باشد. بعضاً اين هزينه‌ها به قدري زياد مي شود كه تخريب سازه نسبت به تعمير آن ارجح است. دوام بتن به ويژه در شرايط مهاجم شبيه آنچه كه در سواحل خليج فارس[۱] برقرار است از موضوعات مهم علم تكنولوژي بتن مي باشد. در سال‌هاي اخير تعداد زيادي از سازه‌هاي بتني در كشورهاي مختلف و همچنين ايران دچارآسيب‌ديدگي و يا خرابي زودرس شده‌اند؛ به نحوي كه عمر مفيد اين سازه‌ها بسيار كمتر از مقدار پيش‌بيني شده بوده است[۲].

تسريع مقاومت بتن صرف نظر از مزايايي كه دارد، در صورتي كه به نحو مطلوبي استفاده و كنترل نشود ممكن است آثار نامطلوبي را بر دوام بتن داشته باشد. به جهت اهميت اين موضوع، بررسي جذب آب[۲] بتن‌هاي تسريع مقاومت شده به عنوان يكي از پارامترهاي دوام مورد ارزيابی قرار گرفته و در اين تحقيق بررسي شد. در تسريع مقاومت بتن، با افزايش دما اثرات نامطلوب بر دوام بتن مشهودتر مي شود. لذا تلاش شده‌است پس از انجام آزمايش‌هاي جذب آب در اين تحقيق، دماي مناسب براي تسريع مقاومت پيشنهاد گردد.

۳- نفوذ سيالات در بتن

در حالت كلي سه نوع سيال وجود دارد كه مي توانند با نفوذ در بتن، دوام آن را تحت تاثير قرار دهند كه عبارتند از آب (اعم از خالص يا حاوي يونهاي مهاجم)، دي اكسيد كربن و اكسيژن. اين مواد به طرق گوناگوني قادر به نفوذ و جابجايي در بتن هستند كه عمده اين جابجايي ها به ساختار خمير هيدراته شده سيمان بستگي دارد. بنابراين مي توان گفت كه دوام بتن به سهولتي كه سيالات در داخل شدن و گذشتن از ميان آن دارند بستگي دارد.

براي آنكه بتني بادوام باشد بايد نفوذپذيري آن را تا حد امكان كاهش داد. به همين علت است كه اين پارامتر يكي از مهمترين گزينه ها در دوام بتن است. منافذ مرتبط با نفوذپذيري آنهايي هستند كه داراي قطر حداقل ۱۲۰ تا ۱۶۰ نانومتر مي باشند. اين منافذ لزوماً بايد پيوسته باشند. منافذي كه ورودي باريكي دارند، حتي اگر حجم بزرگي داشته باشند تاثير چنداني بر نفوذپذيري نخواهند داشت. بنابراين بايد بين دو واژه «تخلخل»[۳] و «نفوذپذيري»[۱] تميز قايل شد. اگر تخلخل زياد باشد

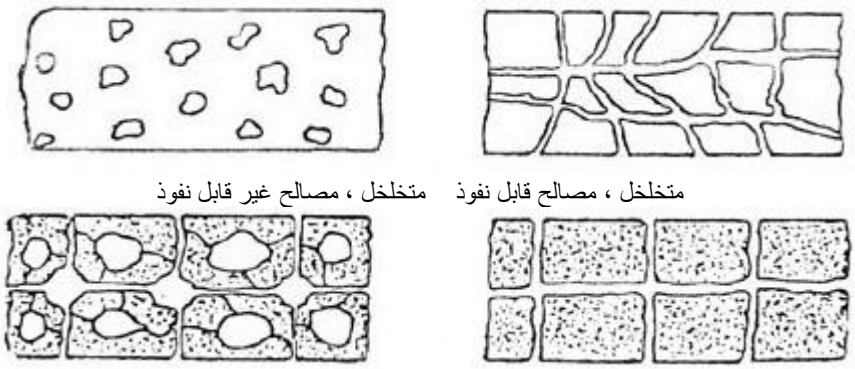
---

[۱] Pesian Golf

[۲] Absorption

[۳] Porosity

و منافذ[۲] پيوسته باشند، در جابجايي سيالات از ميان بتن سهيم خواهند بود به طوري كه نفوذپذيري آن نيز زياد مي‌شود. اگر منافذ ناپيوسته بوده و يا بر جابجايي سيالات بي‌تأثير باشند، در اين صورت نفوذپذيري بتن كم خواهد بود، حتي اگر تخلخل آن زياد باشد[۳]. اين وضعيت در شكل ۱ مشاهده مى شود. برخي از عوامل موثر بر نفوذپذيري بتن عبارتند از نسبت آب به سيمان، درجه هيدراسيون، خواص سيمان و دما.



شكل ۱: انواع ارتباط داخلي بين نفوذپذيري و تخلخل [۶]

جابجايي سيالات در بتن به سه روش متفاوت صورت مي گيرد:
الف- نفوذپذيري كه در اثر اختلاف فشار حاصل مي شود.
ب- پخش[۳] كه علت آن تفاوت در غلظت است.
ج- جذب مويينه[۴] كه در بتن هاي نسبتاً خشك در اثر خاصيت مويينگي اتفاق مي افتد.

۴- جذب آب بتن

۱-۴ جذب آب نهايي: حجم فضاي منافذ در بتن، متمايز با سهولتي كه سيال مي‌تواند به داخل آن نفوذ نمايد، به وسيله جذب آب نهايي[۵] سنجيده مي‌شود. اين جذب آب معمولاً به وسيله خشك نمودن نمونه تا جرم ثابت، غوطه ور نمودن آن در آب و سنجش افزايش وزن، به صورت درصدي از وزن خشك سنجيده مي شود. در اين رابطه روش‌هاي مختلفي را مي‌توان به كار برد و طبيعتاً نتايج متفاوتي به دست مي‌آيد؛ يكي از تفاوتها در روش هاي موجود، دماي خشك كردن نمونه بتني است. خشك شدن در دماي معمولي ممكن است در خارج كردن تمام آب مؤثر نباشد. از طرف ديگر خشك شدن در دماهاي زياد ممكن است قسمتي از آب تركيب شده را نيز خارج نمايد. به هرحال در شرايط يكسان از لحاظ آزمايش، براي اهداف مقايسه اي شيوه مناسبي است[۳].

---

[۱] Permeability

[۲] Pores, Voids

[۳] Diffusion

[۴] Cappillary Absorption

[۵] Final Absorption

۲-۴ *جذب آب سطحي*[۱]: خصوصيات جذب آب منطقه بيروني بتن كه پوشش ميلگردها را به عهده دارد، مورد توجه خاص قرار دارد و دليل طرح آزمايش‌هايي است كه جذب آب سطحي را مي‌سنجند. آزمايش براي تعيين جذب آب سطحي اوليه، در بخش پنجم آيين نامه BS ۱۸۸۱ تشريح شده است. روند جذب آب به وسيله منطقه سطحي بتن نسبت به زمان، در دامنه ۱۰ دقيقه تا يك ساعت تحت فشار mm ۲۰۰ آب سنجيده مي‌شود. اين فشار قدري بيشتر از فشاري است كه توسط باران شديد ايجاد مي‌شود. روند جذب آب سطحي اوليه بر حسب ميلي‌ليتر بر متر مربع در ثانيه بيان مي‌شود. جرم آبي كه توسط بتن در جريان آزمايش جذب مي‌شود، به ميزان رطوبت قبلي آن نيز بستگي دارد. به اين دليل نتايج جذب آب سطحي اوليه را در صورتي مي‌توان تفسير كرد كه بتن قبل از انجام آزمايش‌ها به وضعيت رطوبتي معيني رسانده شده باشد.

۳-۴ *جذب آب موئينه بتن*: آزمايش ديگري كه در مورد بتن انجام مي‌شود به اين صورت است كه روند جذب آب توسط مكش موئينه بتن اشباع نشده كه در تماس با آب قرار گرفته است سنجيده مي شود. هر چه ميزان رطوبت بتن بيشتر باشد، مقدار جذب آب موئينه اندازه‌گيري شده كمتر خواهد بود.

در آزمايش جذب موئينه، روند جذب به وسيله بالا رفتن آب در لوله‌هاي موئينه در يك نمونه بتني كه بر روي تكيه‌گاهي قرار گرفته است و فقط ۲ تا ۵ ميليمتر تحتاني آن در آب مستغرق است، تعيين مي‌گردد. افزايش در وزن نمونه با زمان ثبت مي شود. نشان داده شده است كه رابطه‌اي به صورت زير برقرار مي‌باشد[۳].

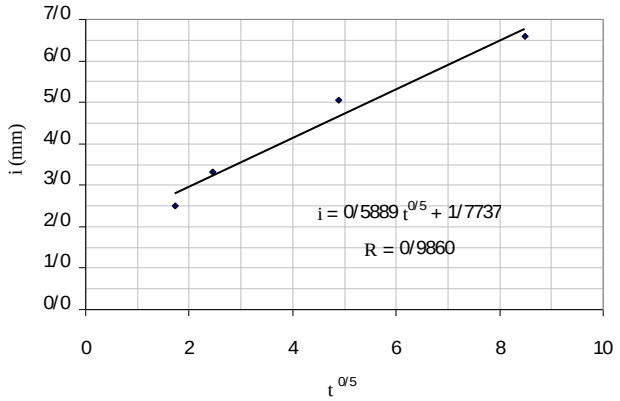
$$i = S.t^{0.5}$$

i = افزايش جرم نمونه بر حسب gr/cm^2 يا mm

t = زمان بر حسب ساعت از هنگام آغاز آزمايش

S = ضريب جذب موئينه بر حسب $mm/hr^{0.5}$

در اين آزمايش، چندين سنجش در زمان‌هاي متفاوت صورت مي‌گيرد. نقاط مربوط به افزايش جرم در مقابل جذر زمان رسم مي‌شوند و خط مستقيمي بر اين نقاط برازش داده مي‌شود. يک مثال از نمودار جذب موئينه بتن كه حاصل يكي از آزمايش هاى اين تحقيق است در شكل ۲ قابل ملاحظه است.



شكل ۲- نمودار جذب موئينه بتن [۱]

۴- بلوغ بتن

با سپري شدن زمان و افزايش سن بتن، مقاومت آن به واسطه پيشرفت هيدراسيون سيمان افزايش پيدا مي‌كند. اين مطلب به همراه اين واقعيت كه افزايش دما نيز موجب تسريع در واكنش

---

[۱] Sorption

هيدراسيون سيمان و در نتيجه افزايش مقاومت بتن مي‌گردد، موجب اين پيشنهاد شد كه مقاومت بتن به‌صورت تابعي مركب از «زمان» و «دما» بيان شود. به عبارت ديگر مي‌توان گفت مقاومت بتن تابعي است از (دما×فاصله زماني)∑ و حاصل اين انتگرال را «بلوغ بتن»[۱] مي‌نامند[۳].

طبعاً مبدأ زمان در تابع بلوغ از هنگام ساخت بتن در نظر گرفته مي‌شود، چرا كه از اين هنگام واكنش هيدراسيون سيمان آغاز مي‌شود. در مورد دما نيز بايد مبدأ مربوطه را كه در دماهاي پائين‌تر از آن واكنش هيدراسيون انجام نگيرد پيدا نمود. اين مبدأ به صورت تجربي برابر ۱۲- تا۱۰- درجه سانتيگراد بدست آمده است. بتن به مرور زمان در دماهاي زير نقطه انجماد آب و تا حدود ۱۲- درجه سانتيگراد افزايش مختصري در مقاومت از خود نشان مي‌دهد[۳]. معمولاً دماي پايه‌اي كه در تابع بلوغ به كار برده مي‌شود ۱۰- درجه سانتيگراد است. آيين نامه ACI ۳۰۸ رابطه بلوغ بتن را به صورت زير بيان كرده است [۷].

$$M = \sum (C + 10) \,.\, \Delta t$$

M : بلوغ بتن بر حسب درجه–روز(°C.day) و يا درجه-ساعت(°C.hr)

C : دماي بتن بر حسب درجه سانتيگراد

Δt : مدت دمايي كه بتن در دماي C عمل‌آوري شده است بر حسب روز يا ساعت

اگر مقادير مقاومت فشاري بتن بر حسب لگاريتم بلوغ بتن ترسيم گردد، منحني مربوطه پس از يك دوره اوليه تقريباً خطي خواهد بود. از اين منحني مي‌توان به عنوان روشي براي تخمين مقاومت بتن استفاده نمود. اگر در نظر باشد كه مقاومت بتني با سابقه دمايي مشخص به طور تقريبي تخمين زده شود، محاسبه بلوغ بتن مي‌تواند كاربرد داشته باشد؛ به عنوان مثال، در مواردي كه لازم است درباره بازكردن قالب و حايل‌هاي اطراف آن، باز كردن وسايل پيش تنيدگي يا خاتمه دادن به محافظت بتن در هواي سرد تصميم‌گيري شود، دانستن تابع بلوغ بتن ارزش پيدا مي‌كند.

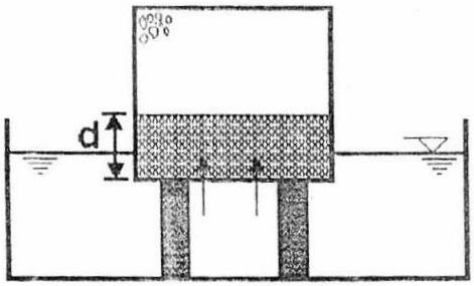
۶- برنامه آزمايشگاهي و مشخصات طرح اختلاطها

در اين تحقيق عيار سيمان در دو حالت ۳۵۰Kg/m^3 و۴۰۰Kg/m^3 و نسبت آب به سيمان در سه وضعيت ۰/۴۰ ، ۰/۴۵ و ۰/۵۰ انتخاب شده است. دماي عمل‌آوري تسريع شده اعمال شده براي بتن‌ها در چهار حالت ۵۰، ۶۰، ۷۰ و ۸۰ درجه سانتيگراد مي‌باشد. بر اين اساس ۶ طرح اختلاط مبنا وجود دارد كه هر كدام ۴ مرتبه ساخته شده و هر دفعه در يكي از دماهاي فوق الذكر عمل‌آوري مي‌شود. در هر مرتبه، ۱۰ قالب مكعبي ۱۰*۱۰ سانتيمتر تهيه مي شود و مجموعاً ۲۴ سري نتايج آزمايش وجود دارند كه بايد بررسي شوند. آزمايش هاي جذب آب موئينه و جذب آب نهايي براي ۲۴ سري آزمونه انجام مي شود و مجموعاً ۲۴۰ آزمونه مورد آزمايش قرار مي گيرد.

۱-۶- روش آزمايش جذب آب موييئه بتن: اين آزمايش براساس-۱۴ TC , ۱۱,۲ RILEM CPC CPCانجام مي‌شود. پس از سپري شدن دوره عمل آوري و خشک کردن آزمونه در دماي ۵۰ درجه و توزين آن، حدود mm ۵ تحتاني آزمونه در داخل آب قرار داده مي شود. آب به تدريج از طريق لوله‌هاي موييئه در بتن نفوذ مي نمايد. افزايش وزن آزمونه در زمان‌هاي ۳،۶،۲۴و۷۲ ساعت ثبت مي‌گردد[۵]. تصوير اين آزمايش در شكل ۳ ملاحظه مي‌شود.

---

[۱] Maturity of Concrete



شكل ۳: آزمايش جذب مويينه بتن[۴]و[۱]

با برازش مقادير جذب در واحد سطح (i) بر حسب جذر زمان ($t^{0.5}$) ، يك نمودار نسبتاً خطي به دست مي آيد. معادله اين خط دو پارامتر ضريب جذب مويينه (S) و ثابت جذب مويينه (C) را به عنوان نتايج آزمايش مشخص خواهد كرد.

۲-۶- *روش آزمايش جذب آب نهايي بتن*: اين آزمايش براساس دستورالعمل BS ۱۸۸۱ - part ۱۲۲ انجام مي‌شود. پس از خشک کردن آزمونه، آن را به مدت ۳ روز در داخل آب غوطه‌ور نموده و با توزين مجدد آن ميزان جذب آب نهايي بتن تعيين مي شود.

۳-۶- *نحوه عمل‌آوري آزمونه‌ها* :آزمونه ها به دو دسته تقسيم مي شوند.دسته اول كه «آزمونه تسريع شده» نام دارند به مدت ۴ ساعت در زير نايلون نگهداري شده و سپس داخل گرمچال قرار گرفتند. دسته دوم كه «آزمونه كنترلي» ناميده مي شوند در داخل حوضچه آب قرار گرفته و با دماي استاندارد (۲۳ ± ۱/۷°C) عمل آوري مي گردند. براي حفظ رطوبت آزمونه‌هاي تسريع شده، آنها را در داخل پلاستيک ضخيم قرار داده و درب آن محكم بسته مي شود. ۴ آزمونه در گرمچال و ۶ آزمونه ديگر در داخل آب عمل‌آوري مي‌شوند.

۴-۶- *مدت زمان عمل‌آوري آزمونه ها*: آزمونه‌هاي كنترلي در داخل آب حوضچه تا سن ۷ روز، و آزمونه‌هاي تسريع شده در داخل گرمچال به اندازه اي كه بلوغ آنها معادل بلوغ ۷ روز عمل‌آوري در شرايط استاندارد باشد نگه داشته شدند. در پايان مرحله عمل آوري، بلوغ كليه آزمونه ها ۵۵۴۴ °C.hr خواهد بود. بديهي است طول مدت عمل‌آوري آزمونه‌هاي تسريع شده كوتاهتر می باشد. افزايش دماي آزمونه‌هاي تسريع شده در گرمچال در مدت ۲ ساعت انجام مي شود. سپس به اندازه لازم در دماي حداكثر نگه داشته مي شود و در نهايت در مدت ۳ ساعت خنک مي گردد.

مدت زماني كه لازم است بتن در دماي حداكثر نگه داشته شود به اندازه اي است كه در نهايت بلوغ ۵۵۴۴ °C.hr حاصل شود. بر اين اساس كل چرخه عمل آوري نمونه هاي تسريع شده در دماهاي ۵۰، ۶۰، ۷۰ و ۸۰ درجه به ترتيب برابر با ۹۵، ۸۳، ۷۴ و ۶۷ ساعت به دست مي آيد.

۵-۶- *نامگذاري طرح اختلاطها*: ابتدا هر يك از طرح اختلاط ها با حرف M نامگذاري مي شود. آزمونه هاي تسريع شده با حرف A و آزمونه هاي كنترلي با حرف C نامگذاري مي گردد. پس از اين حرف به ترتيب دماي عمل‌آوري تسريع شده مربوطه، عيار سيمان و نسبت آب به سيمان ذكر مي‌شود (مثلاً M۶۰-۳۵۰,۴۵، A۶۰-۳۵۰,۴۵ و C۶۰-۳۵۰,۴۵).

۶-۶- *مشخصات طرح اختلاطها*: در انتخاب مشخصات بتن هابه شرايط حاكم بر پروژه هاي بتني سواحل خليج فارس توجه شده است. نسبت‌هاي اختلاط بر مبناي روش بريتانيايي طرح مخلوط محاسبه شد. براي تعيين سهم هر يک از مصالح سنگي از محدوده‌هاي دانه‌بندي مؤسسه تحقيقات

راه بريتانيا استفاده شده و براي رسيدن به منحني دانه بندي مناسب به ترتيب براي ماسه، شن ريز و شن متوسط سهم هاي ۵۵، ۱۸ و ۲۷ درصد انتخاب شدند. روان‌كننده توسط آب‌فشان تا رسيدن به اسلامپ حدود ۵ تا ۱۰ سانتيمتر به بتن پاشيده شده و مقدار مصرف آن ثبت گرديد. جزئيات مقادير مصالح مصرفي در شش طرح اختلاط مبنا در جدول ۱ ذكر شده است.

جدول۱: مقادير مصالح مصرفي در بتن طرح اختلاطها

ردیف	عیار سیمان (Kg/m^3)	نسبت آب به سیمان	وزن خشك مصالح سنگي (Kg/m^3)			آب كل (Kg/m^3)	روان‌كننده (Kg/m^3)	هواي فرض شده %	وزن مخصوص محاسباتي بتن تازه (Kg/m^3)
			ماسه (Kg/m^3)	شن ريز (Kg/m^3)	شن متوسط (Kg/m^3)				
۱	۴۰۰	۰/۵۰	۸۸۱	۲۹۲	۴۴۰	۲۴۶	-	۲	۲۲۵۹
۲	۴۰۰	۰/۴۵	۹۰۸	۳۰۱	۴۵۴	۲۲۸	۰/۶	۲	۲۲۹۲
۳	۴۰۰	۰/۴۰	۹۲۹	۳۰۸	۴۶۴	۲۰۹	۲/۰	۲/۵	۲۳۱۲
۴	۳۵۰	۰/۵۰	۹۳۶	۳۱۰	۴۶۸	۲۲۴	-	۲	۲۲۸۸
۵	۳۵۰	۰/۴۵	۹۶۶	۳۱۹	۴۸۳	۲۰۸	۱/۳	۲	۲۳۲۷
۶	۳۵۰	۰/۴۰	۹۵۶	۳۱۶	۴۷۸	۱۹۰	۲/۸	۴	۲۲۹۳

۶-۷- مصالح مصرفي: در بتن‌ها از مصالح ريزدانه ماسه (mm ۰-۶)، شن ريز (mm ۶-۱۲)، شن متوسط (mm ۱۲-۲۰) ، سيمان تيپ II كارخانه هرمزگان، روان‌كننده پوزوليت و آب با مشخصات زير استفاده شده است.

۱- مصالح سنگي : شن و ماسه بتن ها از معادن اطراف منطقه عسلويه استان بوشهر تامين شده است. بخش عمده‌اي از ماسه هاي اين منطقه از نوع شكسته بوده و درشت‌تر از ماسه‌هاي ساير مناطق مي باشد. نتايج آزمايش‌هاي مصالح سنگي در جدول۲ مشاهده مي شود.

جدول ۲: نتايج آزمايش‌هاي مصالح سنگي

ويژگي و شرح آزمايش	واحد	شن متوسط mm(۱۲-۲۰)	شن ريز mm(۶-۱۲)	ماسه mm(۰-۶)
مدول نرمي(FM)	-	۶/۹۰	۶/۱۷	۴/۱۳
درصد گذشته از الك نمره ۲۰۰	%	۰/۸۴	۱/۲۷	۲/۲۹
ارزش ماسه	%	-	-	۷۷
جذب آب	%	۱/۷۱	۲/۴۱	۳/۵۹
چگالي حجمي‌اشباع با سطح خشك	gr/cm^3	۲/۵۵۴	۲/۵۱۰	۲/۵۴۵
دانسيته متراكم با ميله (خشك)	Kg/m^3	۱۵۳۹	۱۵۸۷	۱۵۴۴
درصد سايش (لس‌آنجلس)	%	۲۰	۲۴	-

۲- سيمان : نتايج آزمايش‌هاي سيمان هرمزگان در جدول ۳ ملاحظه مي‌شود.

جدول ۳: ويژگي‌هاي فيزيكي و مكانيكي سيمان تيپ II هرمزگان

ويژگي	واحد	نتيجه آزمايش
چگالي ذرات	gr/cm^3	۳/۱۶
ريزي سيمان	Cm^2/gr	۳۰۰۰

زمان گيرش	اوليه	Min.	۱۷۰
	نهايي		۳۲۰
مقاومت فشاري ملات استاندارد	۳ روزه	$Kg/cm^{۲}$	۲۴۲
	۷ روزه		۳۰۵
	۲۸ روزه		۳۹۳

۳- آب : نتايج آناليز شيميايي آب مصرفي در ساخت و عمل‌آوري بتن ها در جدول ۴ ذكر شده است.

جدول ۴: نتايج آناليز شيميايي آب

آزمايش	واحد	مقدار	آزمايش	واحد	مقدار
كلرورها	mg/lit	۱۵۶	قليائيت كل	mg/lit	۲۰
$SO^{۴}$-- سولفات‌ها بر حسب	mg/lit	۲۰	هدايت الكتريكي	Micro mous	۶۴۸
PH	-	۶/۷۶	كل مواد جامد محلول	mg/lit	۱۲۹

۴- روان‌كننده: در برخي از بتن ها از روان كننده پوزوليت[۱] استفاده شده است. جنس آن ليگنوسولفونات با پايه سديمي مي‌باشد. اين افزودنی قدري خاصيت كندگيري نيز داشته است.

۷- بررسي نتايج آزمايش های جذب آب

۱-۷- جذب آب موييني: اطلاعات نقاط قرائت شده را به نمودار i بر حسب جذر زمان منتقل مي‌كنيم. با برازش بهترين خط، مقادير «ضريب جذب موييني(S)»، «ثابت جذب موييني(C)» تعيين مي شوند. همچنين ضريب همبستگي (R) ميزان تطابق نقاط با معادله را نشان مي دهد.
متناظر با هر معادله جذب موييني نمونه‌هاي تسريع شده يك معادله مربوط به نمونه كنترلي نيز وجود دارد. پارامترهاي اين دو معادله با يكديگر مقايسه مي شوند. نتايج جذب موييني در جدول ۵ مشاهده ميشود.

جدول ۵: نتايج جذب آب موييني

نسبت ضريب موئينه Sa/Sc		نمونه تسريع شده		نمونه كنترلي		نام طرح اختلاط
		ضريب همبستگي R	معادله جذب موئينه	ضريب همبستگي R	معادله جذب موئينه	
۰/۹۱	كاهش	۰/۹۸۴	$i = ۰,۴۰۵\ t^{۰,۵} + ۱,۱۴۷$	۰/۹۸۱	$i = ۰,۴۴۳\ t^{۰,۵} + ۰,۸۹۹$	M۵۰-۳۵۰,۴۰
۰/۴۳	كاهش	۰/۹۴۹	$i = ۰,۲۲۶\ t^{۰,۵} + ۱,۲۰۸$	۰/۹۸۵	$i = ۰,۵۲۰\ t^{۰,۵} + ۱,۲۹۹$	M۵۰-۳۵۰,۴۵

[۱] Pozzolith LD ۱۰

M۵۰-۳۵۰,۵۰	i = ۰,۲۷۰ t^۰,۵ + ۲,۰۵۵	۰/۹۵۸	i = ۰,۳۶۳ t^۰,۵ + ۱,۸۳۳	۰/۹۶۱	۱/۳۴	افزايش
M۵۰-۴۰۰,۴۰	i = ۰,۶۲۴ t^۰,۵ + ۱,۴۴۶	۰/۹۸۵	i = ۰,۳۰۶ t^۰,۵ + ۱,۳۸۹	۰/۹۸۷	۰/۴۹	كاهش
M۵۰-۴۰۰,۴۵	i = ۰,۵۵۸ t^۰,۵ + ۱,۸۰۹	۰/۹۶۶	i = ۰,۴۰۸ t^۰,۵ + ۱,۴۹۳	۰/۹۷۵	۰/۷۳	كاهش
M۵۰-۴۰۰,۵۰	i = ۰,۹۸۸ t^۰,۵ + ۱,۹۳۲	۰/۹۸۵	i = ۰,۳۱۰ t^۰,۵ + ۱,۴۶۲	۰/۹۸۸	۰/۳۱	كاهش
M۶۰-۳۵۰,۴۰	i = ۰,۳۲۵ t^۰,۵ + ۱,۲۹۲	۰/۹۷۵	i = ۰,۳۵۱ t^۰,۵ + ۰,۷۹۲	۰/۹۹۱	۱/۰۸	افزايش كم
M۶۰-۳۵۰,۴۵	i = ۰,۴۷۶ t^۰,۵ + ۱,۷۰۷	۰/۹۷۶	i = ۰,۶۱۲ t^۰,۵ + ۱,۵۱۱	۰/۹۸۷	۱/۲۹	افزايش
M۶۰-۳۵۰,۵۰	i = ۰,۵۰۶ t^۰,۵ + ۲,۲۷۷	۰/۹۶۸	i = ۱,۲۶۷ t^۰,۵ + ۱,۶۶۴	۰/۹۶۲	۲/۵۰	افزايش زياد
M۶۰-۴۰۰,۴۰	i = ۰,۲۸۷ t^۰,۵ + ۱,۵۳۱	۰/۹۵۰	i = ۰,۴۴۵ t^۰,۵ + ۱,۴۳۸	۰/۹۸۳	۱/۵۵	افزايش زياد
M۶۰-۴۰۰,۴۵	i = ۰,۶۶۲ t^۰,۵ + ۱,۸۵۶	۰/۹۶۸	i = ۰,۷۴۶ t^۰,۵ + ۱,۶۵۷	۰/۹۸۰	۱/۱۳	افزايش
M۶۰-۴۰۰,۵۰	i = ۰,۴۷۴ t^۰,۵ + ۲,۷۰۱	۰/۹۲۸	i = ۱,۰۲۴ t^۰,۵ + ۲,۴۸۶	۰/۹۵۹	۲/۱۶	افزايش زياد
M۷۰-۳۵۰,۴۰	i = ۰,۴۲۷ t^۰,۵ + ۱,۳۵۲	۰/۹۵۸	i = ۰,۴۷۴ t^۰,۵ + ۱,۳۹۰	۰/۹۷۶	۱/۱۱	افزايش
M۷۰-۳۵۰,۴۵	i = ۰,۵۸۷ t^۰,۵ + ۱,۷۸۳	۰/۹۷۴	i = ۰,۵۸۹ t^۰,۵ + ۱,۷۷۸	۰/۹۸۶	۱/۰۰۳	افزايش كم
M۷۰-۳۵۰,۵۰	i = ۰,۸۸۹ t^۰,۵ + ۲,۱۴۵	۰/۹۸۳	i = ۰,۹۲۷ t^۰,۵ + ۱,۷۸۷	۰/۹۸۹	۱/۰۴	افزايش كم
M۷۰-۴۰۰,۴۰	i = ۰,۶۷۲ t^۰,۵ + ۱,۹۱۲	۰/۹۶۷	i = ۰,۶۰۳ t^۰,۵ + ۱,۶۶۷	۰/۹۷۸	۰/۹۰	كاهش
M۷۰-۴۰۰,۴۵	i = ۰,۴۴۳ t^۰,۵ + ۱,۹۹۶	۰/۹۸۹	i = ۰,۸۴۵ t^۰,۵ + ۲,۰۰۸	۰/۹۷۴	۱/۹۱	افزايش زياد
M۷۰-۴۰۰,۵۰	i = ۰,۸۱۳ t^۰,۵ + ۲,۸۳۱	۰/۹۷۵	i = ۰,۴۱۶ t^۰,۵ + ۱,۶۶۹	۰/۹۶۸	۰/۵۱	كاهش
M۸۰-۳۵۰,۴۰	i = ۰,۲۲۸ t^۰,۵ + ۱,۴۷۰	۰/۹۷۳	i = ۰,۳۱۶ t^۰,۵ + ۰,۸۱۷	۰/۹۹۲	۱/۳۸	افزايش
M۸۰-۳۵۰,۴۵	i = ۰,۳۴۷ t^۰,۵ + ۲,۰۹۳	۰/۹۶۷	i = ۰,۴۰۰ t^۰,۵ + ۱,۵۴۰	۰/۹۹۱	۱/۱۵	افزايش
M۸۰-۳۵۰,۵۰	i = ۰,۱۱۹ t^۰,۵ + ۲,۷۰۵	۰/۹۷۵	i = ۰,۴۱۴ t^۰,۵ + ۲,۲۰۴	۰/۹۹۷	۳/۴۸	افزايش زياد
M۸۰-۴۰۰,۴۰	i = ۰,۱۳۵ t^۰,۵ + ۱,۵۸۱	۰/۹۴۶	i = ۰,۲۵۰ t^۰,۵ + ۱,۷۶۳	۰/۹۹۳	۱/۸۶	افزايش زياد
M۸۰-۴۰۰,۴۵	i = ۰,۴۰۶ t^۰,۵ + ۲,۳۶۳	۰/۹۳۷	i = ۰,۶۸۴ t^۰,۵ + ۱,۹۰۷	۰/۹۵۸	۱/۶۸	افزايش زياد
M۸۰-۴۰۰,۵۰	i = ۰,۶۲۴ t^۰,۵ + ۲,۷۶۹	۰/۹۶۶	i = ۰,۵۴۳ t^۰,۵ + ۱,۶۶۹	۰/۹۸۳	۰/۸۷	كاهش

هر چند مقادير «ثابت جذب مويينه» به نوعي نشان دهنده پتانسيل جذب مويينه بتن هستند اما آهنگ جذب آب بتن اهميت بيشتري دارد. لذا در تجزيه و تحليل نتايج جذب مويينه، روند جذب آب مويينه بتن با بررسي «ضريب جذب مويينهS» ارزيابي شده است. ثابت جذب مويينه به نوع بتن و روش پرداخت سطح آن وابسته است [۸].

همانگونه كه ملاحظه مي شود در اثر عمل‌آوري تسريع شده با دماي ۵۰ درجه، ضريب جذب مويينه در اكثر موارد كاهش يافته است. لذا مي‌توان گفت كه اين دما تأثير سوء چنداني بر بتن ندارد. در دماي ۶۰ درجه، ضريب جذب مويينه نمونه‌هاي تسريع شده در تمام موارد افزايش پيدا كرده است؛ مخصوصاً اين تغيير در نسبت آب به سيمان ۰/۵ مشهودتر است. مي توان گفت در اين دما خاصيت موئينگي بتن افزايش زيادي پيدا مي‌كند. در دماي ۷۰ درجه به جز دو مورد با افزايش ضريب جذب مويينه مواجه شديم. اين دما نيز كم و بيش بر بتن اثر سوء دارد و نمي‌توان از دوام بتن‌هاي تسريع شده نسبت به نمونه‌هاي كنترلي اطمينان كافي داشت. و نهايتاً در دماي ۸۰ درجه افزايش چشمگير ضريب جذب مويينه درغالب موارد –به جز يک مورد- ملاحظه مي‌شود. ضريب جذب مويينه در يكي از حالات در مقايسه با نمونه كنترلي به حدود ۳/۵ برابر افزايش پيدا كرده است.

با توجه به نتايج جذب مويينه به نظر مي‌رسد بتن‌هايي كه تسريع مقاومت مي‌شوند –به ويژه در دماهاي بالا- از ديدگاه جذب مويينه آسيب‌پذير مي گردند. در بتن‌هايي كه با دماي ۶۰ درجه و بالاتر عمل‌آوري شدند، در غالب موارد افزايش جذب مويينه بتن مشاهده مي‌شود؛ به طوري كه از ۱۸ حالت، در ۱۵ وضعيت ضريب جذب مويينه افزايش يافته است.

سيستم جذب آب در برخي قطعات بتني به صورت مويينه انجام مي شود؛ مانند بتن‌هايي كه در منطقه جزر و مد قرار مي‌گيرند و يا قطعات بتني كه بر روي بستر مرطوب واقع شده و نقشي شبيه به شالوده دارند. لذا پيشنهاد مي‌شود در صورتي كه عمل‌آوري اين قطعات به روش تسريع شده انجام مي‌شود، حداكثر دماي عمل‌آوري به ۵۰ درجه محدود شود.

۲-۷- بررسي نتايج آزمايش جذب آب نهايي: در جدول ۶ نتايج آزمايش جذب آب نهايي ملاحظه ميشود. نسبت بين جذب آب نمونه تسريع شده به نمونه كنترلي نيز در جدول مشاهده مي شود.

جدول ۶: نتايج جذب آب نهايي

نام طرح اختلاط	نمونه كنترلي Wc	نمونه تسريع شده Wa	Wa/Wc		نام طرح اختلاط	نمونه كنترلي Wc	نمونه تسريع شده Wa	Wa/Wc	
M۵۰-۳۵۰,۴۰	۴/۹۳	۴/۴۱	۰/۸۹	كاهش	M۷۰-۳۵۰,۴۰	۴/۹۹	۵/۰۰	۱/۰۰۲	افزايش كم
M۵۰-۳۵۰,۴۵	۴/۹۰	۴/۱۰	۰/۸۴	كاهش	M۷۰-۳۵۰,۴۵	۴/۷۶	۴/۷۱	۰/۹۹	كاهش
M۵۰-۳۵۰,۵۰	۵/۲۵	۴/۱۶	۰/۷۹	كاهش	M۷۰-۳۵۰,۵۰	۵/۷۰	۵/۷۱	۱/۰۰۲	افزايش كم
M۵۰-۴۰۰,۴۰	۴/۶۳	۳/۳۶	۰/۷۳	كاهش	M۷۰-۴۰۰,۴۰	۴/۹۲	۴/۹۹	۱/۰۱	افزايش كم
M۵۰-۴۰۰,۴۵	۵/۰۷	۴/۶۷	۰/۹۲	كاهش	M۷۰-۴۰۰,۴۵	۴/۹۹	۵/۵۰	۱/۱۰	افزايش كم
M۵۰-۴۰۰,۵۰	۵/۹۹	۴/۱۹	۰/۷۰	كاهش	M۷۰-۴۰۰,۵۰	۵/۲۴	۴/۵۷	۰/۸۷	كاهش
M۶۰-۳۵۰,۴۰	۴/۳۴	۴/۶۶	۱/۰۷	افزايش كم	M۸۰-۳۵۰,۴۰	۳/۳۴	۳/۷۴	۱/۱۲	افزايش
M۶۰-۳۵۰,۴۵	۴/۴۹	۴/۶۶	۱/۰۴	افزايش كم	M۸۰-۳۵۰,۴۵	۳/۹۱	۳/۷۶	۰/۹۶	كاهش
M۶۰-۳۵۰,۵۰	۵/۱۶	۵/۶۶	۱/۱۰	افزايش كم	M۸۰-۳۵۰,۵۰	۳/۱۲	۴/۵۸	۱/۴۷	افزايش
M۶۰-۴۰۰,۴۰	۳/۷۵	۳/۷۸	۱/۰۱	افزايش كم	M۸۰-۴۰۰,۴۰	۲/۴۹	۳/۳۸	۱/۳۶	افزايش
M۶۰-۴۰۰,۴۵	۵/۲۸	۵/۶۹	۱/۰۸	افزايش كم	M۸۰-۴۰۰,۴۵	۴/۲۸	۵/۰۲	۱/۱۷	افزايش
M۶۰-۴۰۰,۵۰	۵/۲۸	۵/۹۸	۱/۱۳	افزايش	M۸۰-۴۰۰,۵۰	۵/۱۰	۴/۳۸	۰/۸۶	كاهش

در دماي ۵۰ درجه در تمام بتن‌ها، جذب آب نهايي كاهش پيدا كرده است. به نظر مي‌رسد اين دماي عمل‌آوري، تأثير نامناسبي بر جذب آب نهايي بتن ندارد. دماهاي ۶۰ و ۷۰ درجه نيز تأثير سوء چنداني را بر جذب آب نهايي بتن نشان نمي‌دهند. اما دماي عمل‌آوري ۸۰ درجه تغييرات بيشتري را در جذب آب نهايي بتن‌ها به وجود آورده است. هر چند در اين دما، كاهش مختصر جذب آب در دو حالت نيز ديده مي‌شود، اما افزايش جذب آب نهايي بتن‌هاي تسريع شده در مواردي قابل ملاحظه است. اين افزايش بين ۱۲ تا ۴۷ درصد بوده است. با توجه به نتايج جذب آب نهايي مي توان اين نتيجه را گرفت كه افزايش دماي عمل‌آوري بتن تا حد ۷۰ درجه، اثر چندان نامساعدي بر اين پارامتر دوام نداشته است اما دماي عمل‌آوري ۸۰ درجه، جذب آب نهايي بتن را افزايش مي دهد. سيستم جذب آب قطعات پيش ساخته بتني كه در زمان بهره‌برداري غرقاب مي‌شوند، مشابه با اين آزمايش است. بنابراين توصيه مي‌شود در عمل‌آوري تسريع شده اين قطعات حداكثر دماي عمل‌آوري به حد ۷۰ درجه محدود گردد.

۸- نتيجه‌گيري و پيشنهادها

با توجه به نتايج آزمايش‌هاي اين تحقيق موارد ذيل در عمل‌آوري تسريع شده بتن قابل طرح مي‌باشد:

۱- براساس نتايج جذب آب مويينه به نظر مي‌رسد عمل‌آوري تسريع شده با دماي بالاتر از ۵۰ درجه، بتن را به لحاظ خاصيت موئينگي آسيب پذير مي‌كند. لذا پيشنهاد مي‌شود براي آن دسته از سازه‌هاي بتني كه سيستم جذب آب آنها به صورت مويينه است، نظير بتن‌هايي كه در منطقه جزر و مد آب دريا قرار مي‌گيرند و يا سازه‌هايي كه مانند شالوده ها بر روي بستر مرطوب اجرا مي‌شوند، حداكثر دماي عمل‌آوري تسريع شده به حد ۵۰ درجه محدود شود.
۲- جذب آب نهايي بتن‌هاي تسريع شده با دماهاي كمتر از ۷۰ درجه ، افزايش چنداني را نسبت به نمونه‌هاي كنترلي نشان نمي‌دهد. تسريع مقاومت با دماي بالاتر، در برخي از بتن‌ها افزايش زيادي را در جذب آب نهايي بتن به وجود آورده است. سيستم جذب آب در سازه‌هايي كه به طور كامل غرقاب مي‌شوند با شيوه آزمايش جذب آب نهايي بتن مطابقت دارد. لذا پيشنهاد مي‌شود در اين بتن‌ها حداكثر دماي عمل‌آوري تسريع شده به حد ۷۰ درجه محدود شود.

۹- تقدير و تشكر

بدينوسيله از مدير عامل محترم موسسه راه ساحل جناب آقاي مهندس حميدكردار و همكاران محترم آزمايشگاه كارخانه بتن پروژه بندر پتروشيمي پارس به خاطر زحماتي كه متقبل شدند قدرداني مي شود.

۱۰- فهرست منابع

۱-سجادي، سيد محمد، «اثر عمل آوري با بخار بر دوام بتن»، پايان نامه كارشناسي ارشد عمران، دانشگاه صنعتي شاهرود،۱۳۸۳.
۲-رمضانيانپور، علي اكبر، «دوام بتن با سيمان‌هاي پوزولاني در شرايط آزمايشگاهي مشابه خليج فارس»، مركز تحقيقات ساختمان و مسكن، تهران، چاپ اول، ۱۳۸۰.
۳- نويل، آدام، «خواص بتن»، ترجمه هرمز فاميلي، ابوريحان بيروني، تهران، چاپ اول ۱۳۷۸.
۴- قدوسي، پ.، پرهيزگار، ط.، مظفري، ن.، قاسمي، ع.، «مقايسه روش‌هاي جذب آب در نمونه‌هاي بتني»، مجله فني و مهندسي مدرس، شماره چهارم، صفحه ۳۰ تا ۳۷، تهران، ۱۳۷۸.
۵- RILEM CPII.۲-TC۱۴-CPC, "Absorption of Water by Concrete by Cappillarity ", E and FN SPON, Chapman and Hall, ۱۹۹۴.
۶- Soroka, I., "Concrete in Hot Environments", E & FN Spon, London, ۱۹۹۳.
۷- ACI Commottee ۳۰۸, "Standard Practice for Curing Concrete", ACI Manual of concrete practice, ۱۹۹۸.
۸-ACI Committee ۵۱۷, " Accelerated Curing of Concrete at Atmospheric Pressure - Stata of the Art", ACI Manual of Concrete Practice, ۱۹۸۰.