بسمه تعالي

كاربرد سيمان هاي پرتلند پوزولاني و پوزولاني ويژه در بتن

محسن تدين، عضو هيئت علمي دانشگاه بوعلي سينا
مدرس دانشگاه علم و صنعت و انجمن بتن ايران
تلفن: ۲۲۷۲۹۹۳- ۰۹۱۱ ، نمابر: ۲۲۹۰۱۳۵۵- ۰۲۱ ، پست الكترونيكي: tadayonmoh@yahoo.com

چكيده

بنا به ضرورت هاي مختلف، سال هاست سيمان هاي آميخته پوزولاني در دنيا توليد شده است. در كشور ما نيز بيش از ده سال از توليد اين سيمان ها مي گذرد. ويژگي هاي مثبت اين سيمان ها در ساخت بتن هاي مختلف، توليد و مصرف روز افزون آن ها را باعث شده است. در اين مقاله سعي مي شود مزايا و معايب مصرف اين سيمان ها را در بتن و به ويژه بتن آماده مورد بحث قرار دهيم. افزايش مقاومت دراز مدت و دوام و نفوذ ناپذيري بيشتر اين بتن ها به همراه افزايش زمان گيرش آن ها از جمله مزاياي مهم تلقي مي شود. كمبود مقاومت هاي اوليه به ويژه در هواي خنك گاه به عنوان يك عيب مطرح مي گردد كه سعي شده است در توليد اين گونه سيمان ها مرتفع شود.

كليد واژه ها: ***سيمان پرتلند پوزولاني، سيمان آميخته، بتن آماده، گيرش، مقاومت، دوام، نفوذ ناپذيري، عمل آوري.***

۱- مقدمه

سيمان هاي آميخته پوزولاني بنا به ضرورت هايي از جمله مصرف انرژي كمتر، حفظ محيط زيست و كاهش قيمت سيمان در دنيا توليد شدند. هم چنين سيمان هاي آميخته سرباره اي نيز به همين دليل سال هاست كه به بازار عرضه شده اند اما به زودي مشخص شد كه خواص مثبتي را مي توان با مصرف اين سيمان هاي آميخته بدست آورد لذا هر روز بر توليد و مصرف آن ها در كشورهاي مختلف افزوده شد. قبل از دهه ۲۰ هجري شمسي كارخانه سيمان ري به عنوان يك توليد كننده پيشتاز در سطح كشورهاي جهان سوم مبادرت به توليد اين گونه سيمان هاي آميخته پوزولاني نمود اما در اوائل دهه ۶۰ هجري شمسي كار خود را متوقف كرد. دوره جديد توليد سيمان هاي آميخته پوزولاني از اوائل دهه ۷۰ ميلادي آغاز شد هر چند توليد كنندگان سيمان قبل از تهيه استاندارد ملي، اين گونه سيمان ها را بدون ذكر نام خاص به بازار عرضه كردند.

هر چند سابقه توليد سيمان هاي آميخته پوزولاني در دنيا و ايران به بيش از ۶۰ سال مي رسد اما از دوره نوين توليد و مصرف آن ها در حدود ۳۰ سال مي گذرد. اين روند توليد روز افزون متوقف نخواهد شد و لازم است مصرف كنندگان و توليد كنندگان سيمان خود را با اين ضرورت ها هماهنگ نمايند. با شناخت مزايا و معايب اين گونه سيمان ها در ساخت بتن هاي مختلف و هم چنين بتن آماده مي توان مشكلات را از پيش پا برداشت. بايد گفت مزاياي سيمان هاي آميخته پوزولاني به مراتب بيش از معايب آن است و توليد كنندگان سعي مي كنند معايب احتمالي را مرتفع نمايند و در اين زمينه موفقيت هايي نيز حاصل شده است.

۲-چرا توليد و مصرف سيمان هاي آميخته

پس از جنگ جهاني دوم بشر به تدريج به اهميت مصرف انرژي، تجديد ناپذير بودن برخي منابع انرژي، آلودگي هاي مختلف صنايع گوناگون، حفظ محيط زيست، كاهش قيمت توليدات و ... پي برد و اهميت آن ها را به طور روز افزون دريافت. انرژي مصرفي براي توليد كلينكر سيمان بسيار زياد بود و انرژي مصرفي براي آسياب كردن آن كمتر به نظر مي رسيد. مصرف سوخت بايد براي توليد كلينكر كم مي شد. از سوختن مواد سوختي مقدار زيادي آلودگي و گازهاي آلاينده توليد مي شد كه با مصرف پوزولان هاي طبيعي يا مصنوعي از مصرف سوخت زياد و توليد مواد آلاينده و گازهاي نامطلوب جلوگيري مي گشت.

هم چنين هر يك تن سيمان بيش از ۸۰۰ كيلو گاز دي اكسيد كربن به دليل كلسينه شدن مواد توليد مي كند كه افزون بر مصرف سوخت و توليد گازهاي آلاينده آن مي باشد. بنابر اين توليد گاز دي اكسيد كربن براي توليد يك تن سيمان گاه از مرز يك تن تجاوز مي نمايد كه بسيار وحشتناك است.

از طرفي توليد ضايعات صنعتي مانند خاكستر بادي، سرباره، دوده سيليسي و ساير مواد مشابه در كارخانه هاي مختلف مشكلات زيست محيطي حادي را بوجود آورده بود كه لزوم جمع آوري و دفع آن ها را ضروري مي نمود. مسلماً پس از جمع آوري آن ها مشكل انبار كردن و دفن آن ها مطرح بود بنابر اين بهترين راه حل مصرف آن ها در بتن به صورت افزودني و يا مصرف آن ها در توليد سيمان و تهيه سيمان هاي خاص و آميخته به نظر رسيد. هم چنين كشورهاي مختلف داراي منابع عظيمي از خاك هاي پوزولاني و يا

سنگ توف، رس ها و شيل ها و خاك هاي دياتومه اي مناسب يا نسبتاً مناسب بودند كه مي توانستند آن ها را در ساخت اين گونه سيمان ها به مصرف رسانند و ضمن كاهش قيمت سيمان توليدي از مصرف سوخت و ايجاد گازهاي آلاينده تا حد امكان جلوگيري نمايند.

اتفاق بزرگ و مهم آن بود كه سيمان ها و بتن هاي توليدي خواص مناسبي را به تدريج از خود بروز دادند كه موجب خرسندي دست اندر كاران بود و اگر عيب و ايرادي در آن ها به چشم مي خورد آن را همچون يك ضرورت ناديده مي گرفتند و يا سعي مي كردند آن را حل كنند و گاه عيب را به مزيت تبديل نمايند.

مرحوم مهندس حامي از سال هاي اواخر دهه ۱۰ هجري شمسي تلاش كرد تا با مصرف توف ها و خاك هاي پوزولاني منطقه هراز در سيمان ري، سيمان هاي آميخته پوزولاني را تهيه كند كه موفق به اين كار شد اما در اوائل انقلاب به دلايلي توليد آن متوقف شد و كارخانه مزبور از صحنه خارج گرديد.

هنوز در ايران ضرورت هاي توليد و مصرف اين سيمان ها به خوبي حس نشده است زيرا به مسئله سوخت و انرژي، محيط زيست، كاهش قيمت سيمان و ... توجه كافي مبذول نمي شود.

۳- آينده توليد و مصرف سيمان هاي آميخته

در دنيا امروزه بيش از يك و نيم ميليارد تن سيمان توليد مي شود كه سهم چين تقريباً نيمي از اين توليد است و اطلاعات دقيقي در مورد نوع توليدات اين كشور در دست نيست. سال هاست در كشورهاي پيشرفته توليد كلينكر رشدي را نداشته و يا با كاهش توليد همراه بوده است در حالي كه رشد توليد سيمان نيز چندان زياد نبوده و گاه رشد منفي را در اين كشور ها نشان مي دهد. صنايع توليد سيمان ذاتاً صنايع آلوده كننده هستند و كنترل دود و گرد و غبار آن ها باعث تميزي اين صنعت نمي شود. به زودي شاهد خواهيم بود كه توليد گازهاي آلاينده گلخانه اي نظير دي اكسيد كربن طي قراردادهاي جهاني محدود شود و اولين صنعتي كه نشانه گيري خواهد شد، صنعت سيمان خواهد بود. به هر حال آينده توليد سيمان ها با سيمان هاي آميخته پوزولاني و سرباره اي خواهد بود به نحوي كه درصد پوزولان و سرباره نيز بسيار زياد باشد. بنابر اين لازم است در كشور ما نيز از اين روند تبعيت شود و توليد كنندگان و مصرف كنندگان خود را با اين شرايط هماهنگ نمايند تا دچار مشكلات جدي نشوند.

در كشور ما توليد خاكستر بادي فعلاً موضوعيت ندارد. استفاده از پوزولان هاي طبيعي آتشفشاني و استفاده از برخي رس ها يا شيل هاي مناسب كه بتوان بدون تكليس آن ها بكار برد در دستور كار قرار دارد. هر چند دوده سيليسي در كشور ما توليد مي شود اما مقدار آن در حدي نيست كه بتوان به صورت گسترده آن را در توليد سيمان هاي آميخته پوزولاني بكار گرفت. استفاده از خاكستر پوسته برنج و غلات نيز هنوز در كشور ما رايج نشده است و اميد نمي رود به زودي با اين ماده (پوزولان مصنوعي) بتوانيم سيمان آميخته توليد كنيم.

توليد سيمان هاي آميخته سرباره اي نزديك به ۲۰ سال است كه در كشور ما آغاز شده است اما به دليل محدوديت مقدار سرباره و كيفيت آن چندان اميدي به كاربرد آن در سطح وسيع و با درصد زياد در سيمان ها نيست و در حالي كه در كشورهاي ديگر سرباره ها به ميزان ۵۰ تا ۹۰ درصد وزن سيمان هاي پرتلند سرباره اي يا سيمان هاي سرباره اي را تشكيل مي دهند. در كشور ما ارقام ۲۵ تا ۳۵ درصد يك ميزان رايج مي باشد.

مسائل فرهنگي و علمي باعث شده است تا در كنار مشكلات فني و توليدي در كشور ما، مصرف پوزولان هاي طبيعي به كمتر از ۱۵ درصد توليد سيمان هاي آميخته محدود شود كه بايد آن را از مرز ۱۵ درصد فراتر برد و به حدود ۳۰ درصد رسانيد تا اهداف ملي و جهاني در اين رابطه برآورده شود. امروزه فقط در يك كارخانه ۲۰ تا ۲۵ درصد پوزولان طبيعي در سيمان پرتلند پوزولاني ويژه اضافه مي شود در حالي كه ساير ين از مرز ۱۵ درصد تجاوز نكرده اند و طبق استاندارد ملي ۳۴۳۲ صرفاً يك سيمان پرتلند پوزولاني توليد مي نمايند. سيمان پرتلند پوزولاني ويژه در اين استاندارد بين ۱۵ تا ۴۰ درصد پوزولان دارد.

در استاندارد ASTM C۵۹۵ سيماني كه كمتر از ۱۵ درصد پوزولان داشته باشد يك سيمان با نام I(PM) يا پرتلند اصلاح شده با پوزولان نام دارد و اگر ۱۵ تا ۴۰ درصد پوزولان داشته باشيم آن را سيمان پرتلند پوزولاني (IP) مي نامند و اين اختلاف ادبيات و نام ها بايد همواره مد نظر قرار گيرد. اگر بيش از ۴۰ درصد پوزولان در سيمان آميخته داشته باشيم آن را سيمان پوزولاني (P) مي نامند كه در ايران هيچگاه توليد نشده و انتظار نمي رود به زودي توليد شود.

بايد انتظار داشت به زودي در دنيا سيمان هاي پرتلند خالص به ندرت توليد شوند و ما نيز بايد در برنامه هاي بعدي توليد كلينكر را محدود كنيم و مسلماً اين كار با مصرف و توليد سيمان هاي آميخته ممكن مي گردد.

۴- ويژگي هاي سيمان هاي آميخته پوزولاني

وقتي پوزولان ها در سيمان حضور دارند، مي توانند به تدريج با آهك موجود در خمير سيمان كه به

دليل تركيب سيمان با آب و به ويژه C_3S و C_2S ايجاد مي شود در محيط مرطوب تركيب شوند و هيدرات هاي سيليكاتي مناسب را به صورت ژل چسباننده توليد نمايند. اصولاً تعريف پوزولان ها موادي است كه بتوانند در محيط مرطوب با $Ca(OH)_2$ واكنش دهند و ماده چسباننده بوجود آورند.

توليد اين مواد چسباننده به مرور زمان، فضاهاي خالي را پر مي كنند زيرا حجم آن از مواد اوليه بيشتر است. پر كردن فضاهاي خالي موجب افزايش مقاومت، افزايش مدول ارتجاعي، كاهش ضريب يا نسبت پواسون و بهبود ساير خواص مكانيكي خمير سيمان مي شود. (شكل ۱ و ۲ و ۳)

هم چنين كاهش فضاي خالي موجب افزايش نفوذ ناپذيري خمير مي گردد. جذب آب خمير سيمان كم مي گردد و مسلماً دوام آن در برابر حملات شيميايي به دليل نفوذ آب كمتر، افزايش مي يابد.

هم چنين كاهش جذب آب موجب مي شود دوام خمير سيمان در برابر يخبندان و آبشدگي بهبود يابد. بسياري از عوامل مضر شيميايي مانند سولفات ها و يون كلر از طريق فضاي خالي موجود و حفرات ريز به داخل بتن راه مي يابند و لذا كاهش اين تخلخل ها مي تواند به دوام بيشتر كمك نمايد.

علاوه بر اين برخي حملات سولفاتي با تركيب سولفات ها و $Ca(OH)_2$ همراه است و لذا كاهش $Ca(OH)_2$ مي تواند اين حملات را كم رنگ نمايد.

مسلماً وقتي پوزولان ها جايگزين سيمان شده اند بايد منتظر توليد $Ca(OH)_2$ بمانند و لذا گيرش اوليه و نهايي سيمان هاي آميخته پوزولاني معمولاً اندكي طولاني تر مي شود و مقاومت هاي اوليه در سنين پايين كاهش مي يابد. هر چند افزايش زمان گيرش اوليه و نهايي در بسياري از موارد يك نكته مثبت است اما در برخي كارها ممكن است يك عيب به حساب آيد لذا برخي كارخانه ها با تغيير كيفيت كلينكر، بكارگيري پوزولان هاي فعال تر و ريزتر كردن سيمان و پوزولان اين نقيصه احتمالي را بر طرف مي نمايند.

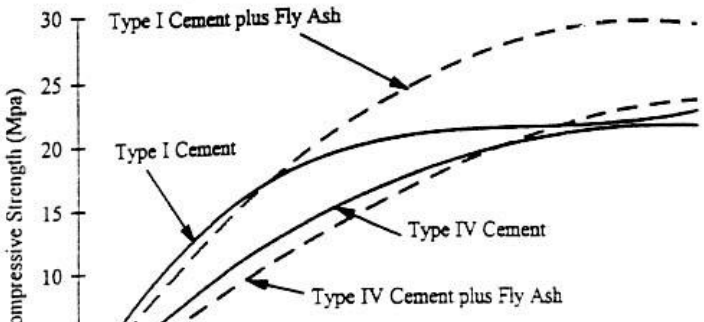
مصرف $Ca(OH)_2$ توسط پوزولان و كاهش آن در خمير سيمان برخي ضعف ها را به خاطر فضاي خالي بيشتر در خمير و ضعف بلور $Ca(OH)_2$ از نظر ساختاري جبران مي كند و مرتفع مي سازد. امروزه معتقدند ضعف موجود در وجه مشترك سنگدانه ها و خمير سيمان به خاطر غلظت و تمركز $Ca(OH)_2$ در اطراف سنگدانه ها است كه موجب اتصال سست و نفوذپذيري بيشتر در اين ناحيه انتقالي مي باشد و مصرف $Ca(OH)_2$ تركيب آن با پوزولان ها اين نقيصه را برطرف مي كند و ناحيه وجه مشترك (انتقالي) را بهبود مي بخشد كه اين مسئله وقتي با توپرتر شدن خمير سيمان همراه مي شود، يك مزيت عمده را به دنبال مي آورد كه باعث افزايش مقاومت فشاري، كششي، خمشي و افزايش مدول ارتجاعي و كاهش نسبت پواسون بتن و ملات مي گردد.

وجود پوزولان و خواص انقباضي برخي از آن ها موجب مي شود مشكلات انبساطي مخرب كاهش يابد. حمله سولفاتي و به ويژه واكنش زايي سنگدانه ها با قليايي هاي سيمان عامل مهم انبساط سيمان و بتن مي باشد كه در كنار آن وجود MgO و CaO در سيمان عامل انبساط خمير سيمان است. وجود پوزولان تا حدودي مشكل را رفع مي كند. امروزه مي دانيم در ايران سنگدانه هاي واكنش زا وجود دارند و سيمان هاي ما نيز داراي مواد قليايي نسبتاً زيادي هستند لذا مصرف پوزولان ها مي تواند مشكلات موجود را كم كند به شرط اين كه بيش از ۲۰ درصد پوزولان را در سيمان داشته باشيم. (شكل ۴)

كاهش گرمازايي و مهم تر از آن كاهش سرعت گرمازايي يكي از نكات مثبت سيمان هاي آميخته پوزولاني است. در ريختن قطعات بتني حجيم با ضخامت زياد مشكل حبس گرما و افزايش دما در مغز بتن و ايجاد تنش هاي حرارتي را شاهد هستيم كه مي تواند به ايجاد ترك خوردگي به ويژه در قطعات غير مسلح منجر گردد. لذا مصرف سيمان هاي پرتلند پوزولاني ويژه (با تعاريف استاندارد ملي) مي تواند اين مشكل را كاهش دهد هر چند ممكن است بر كل گرماي حاصله تأثير چنداني نداشته باشد. در اين رابطه بايد گفت پوزولان مربوطه نبايد از نوع دوده سيليسي باشد. (شكل ۵)

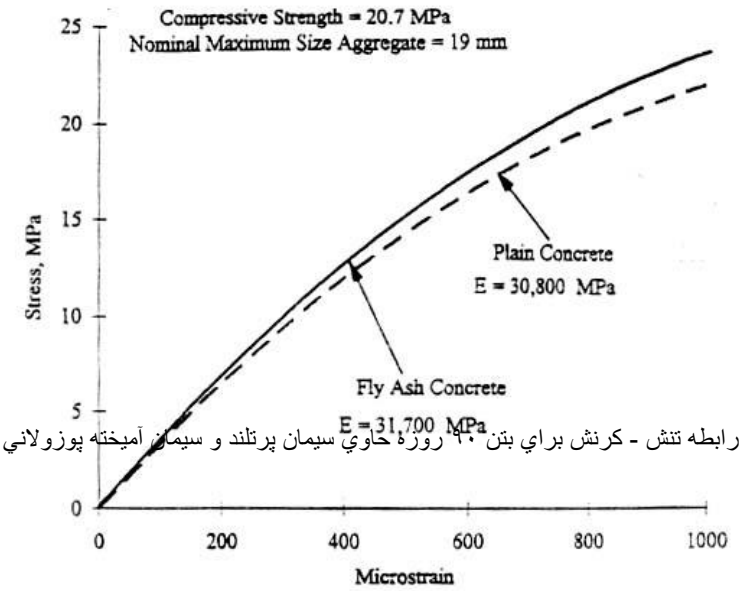
برخي پوزولان هاي طبيعي مانند توف و خاكستر هاي آتشفشاني ممكن است اسلامپ بتن را كم كنند و آب مصرفي را افزايش دهند اما معمولاً بر كارآيي بتن و ملات اثر مثبت مي گذارند و آن را خميري تر مي نمايند لذا در كارهاي بنائي يك مزيت محسوب مي شود و هم چنين با توجه با افزايش قابليت نگهداري آب، مصرف آن را در ملات هاي بنائي به شدت توجيه مي نمايد. اين خاصيت باعث مي شود آب ملات سريعاً به آجر و سنگ پس داده نشود و اتصال بهتري حاصل گردد.

از آن جا كه پيشرفت هيدراسيون سيمان آميخته كندتر است لذا در مدت طولاني تري بايد آن را عمل آوري نمود. در محيط سرد پيشرفت هيدراسيون اين سيمان ها كندتر است و مسلماً رشد مقاومتي كمتري را شاهد خوهيم بود.

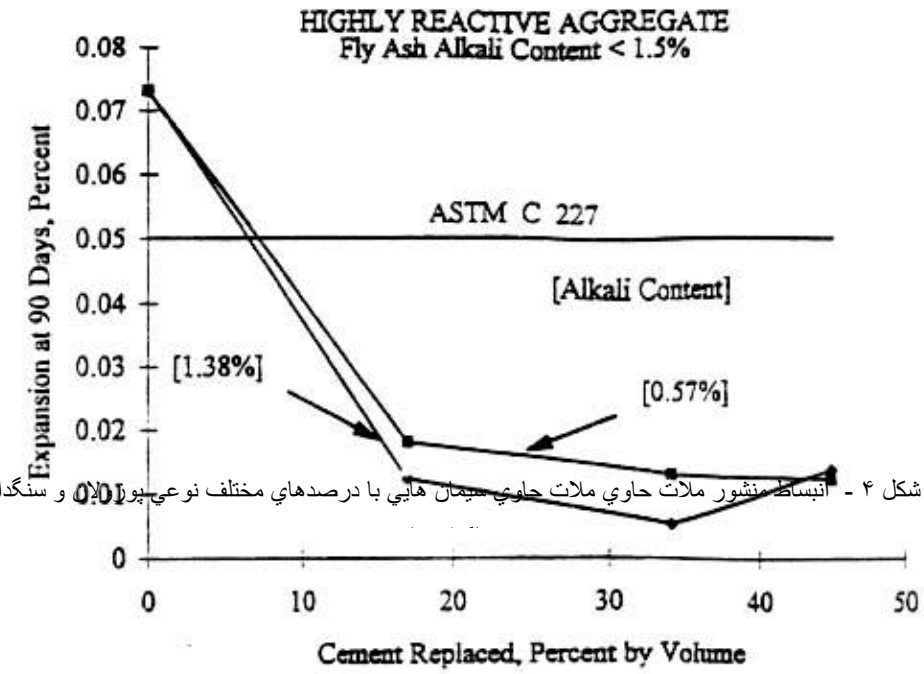


شکل ۱ - آهنگ کسب مقاومت براي بتن هاي حاوي سيمان پرتلند و آميخته

شکل ۲ - آهنگ کسب مقاومت براي بتن هاي حاوي سيمان پرتلند و سيمان آميخته با درصد هاي مختلف نوعي



شکل ۳ – رابطه تنش - کرنش براي بتن ۹۰ روزه حاوي سيمان پرتلند و سيمان آميخته پوزولاني



شکل ۴ - انبساط منشور ملات حاوي ملات حاوي سيمان هايي با درصدهاي مختلف نوعي پوزولان و سنگدانه

شكل ۵ - تغييرات دما در طول زمان در وسط يك بلوك ۱۵ متر مكعبي با سيمان پرتلند و سيمان هاي آميخته

۵- كاربرد سيمان هاي آميخته پوزولاني در صنعت بتن آماده (مزايا و معايب)

۵-۱- مزايا

- افزايش زمان گيرش براي بتن آماده و افزايش زمان حمل و ريختن به ويژه در هواي گرم يك مزيت به حساب مي آيد و مي توان به مدت طولاني تري با آن كار كرد. در بنائي نيز اين موضوع اهميت زيادي دارد.

- قابليت نگهداري آب براي بتن و ملات نيز بسيار مهم است. اين سيمان ها قابليت نگهداري آب را بهتر مي كند.

- مقاومت هاي دراز مدت و دوام بتن ها به شدت بهبود مي يابد به ويژه اگر از درصد پوزولان بيشتر از ۱۵ درصد و كمتر از ۴۰ درصد استفاده شود (به ويژه در مجاور آب و داخل خاك ها).

- نفوذپذيري اين بتن ها كمتر مي گردد و آب بندي بيشتري را شاهد خواهيم بود.

- براي شالوده هاي بزرگ به واسطه سرعت گرمازايي كمتر و افزايش زمان گيرش بهتر است و توصيه مي شود و احتمال ايجاد درز سرد نيز كاهش مي يابد (به ويژه در هواي گرم).

- با مصرف سيمان هاي آميخته پوزولاني در زمين ها و آب هاي حاوي مقادير زيادي سولفات، دوام تأمين نمي شود و نياز به مصرف سيمان نوع ۵ مرتفع نمي گردد اما ممكن است بتوان آن را جايگزين سيمان نوع ۲ نمود (به ويژه سيمان پرتلند پوزولاني ويژه) مخصوصاً اگر كلينكر مصرفي مربوط به سيمان نوع ۲ باشد.

۵-۲- معايب

- عمده عيب اين سيمان ها رشد مقاومت كم در سنين اوليه و افزايش زمان قالب برداري و دستيابي به مقاومت مطلوب است. هم چنين افزايش زمان عمل آوري ممكن است عيب تلقي شود ولي بايد دانست اهميت و حساسيت نوع عمل آوري در اين سيمان ها (به ويژه با پوزولان زياد) كمتر خواهد بود كه خود يك مزيت عمده براي ساخت و سازهاي كشور ما تلقي مي شود.

- گاه جمع شدگي و ترك خوردگي اوليه در اين بتن ها ممكن است بيشتر باشد كه بايد بدان توجه كرد. مصرف اين سيمان ها براي بتن ريزي در هواي سرد چندان مطلوب نيست هر چند در شرايط بهره برداري در مناطق سرد بسيار مفيد خواهند بود.

۶- راهكارهاي تأكيد بر مزايا و رفع معايب و توصيه هايي به صنعت بتن آماده و توليد سيمان

توليد و مصرف سيمان آميخته پوزولاني يك ضرورت ملي و جهاني است. همان گونه كه توليد كنندگان و صنعت گران كشور ما خود را براي تجارت جهاني و جهاني سازي آماده و مهيا مي كنند بايد خود را از نظر فني، فرهنگي و ... آماده مصرف اين سيمان ها بنمايند. آشنايي با خواص سيمان هاي آميخته و بتن هاي حاصله بسيار مهم است. كاهش نسبت آب به سيمان براي داشتن مقاومت هاي زود هنگام بيشتر، عمل آوري در محيط گرم تر، افزايش مدت آبدهي و عمل آوري از جمله توجهات ضروري است اما بايد توجه داشت به دليل قابليت نگهداري آب و تبخير كمتر از سطح بتن نياز به آبدهي مرتب نيز كمتر مي گردد كه اين امر به ويژه در كارهاي بنائي از اهميت برخوردار است. ممكن است در طرح مخلوط بتن آب مورد نياز براي تأمين اسلامپ مورد نياز بيشتر شود كه بايد بدان توجه داشت. در عوض مي توان به جاي مقاومت ۲۸

روزه از مقاومت هاي ۴۲ روزه استفاده نمود تا از پتانسيل اين سيمان ها به خوبي استفاده شود.

نياز به مصرف كندگير كننده در هواي گرم و حمل طولاني، كمتر خواهد بود هر چند نمي توان اين نياز را با مصرف سيمان آميخته كاملاً از بين برد. اين سيمان ها مي تواند ديرتر فاسد شود كه با توجه به مشكلات انبارداري اين يك مزيت محسوب مي شود. در قطعات حجيم مصرف اين سيمان ها به ويژه در شالوده هاي بزرگ توصيه مي شود.

به توليدكنندگان سيمان توصيه مي شود با ريزتر كردن پوزولان و سيمان مقاومت هاي اوليه را بهبود بخشند تا اين مشكل نيز مرتفع گردد و سعي كنند با مصرف پوزولان بيشتر و كاهش هزينه ها قيمت اين سيمان را هر چه بيشتر كاهش دهند تا انگيزه مصرف بوجود آيد. مصرف كلينكر نوع ۲ مي تواند به توليد سيمان هاي پوزولاني مقاوم تر در برابر سولفات ها منجر شود.

۷- مقايسه ويژگي هاي استاندارد سيمان هاي پرتلند و سيمان هاي آميخته

در جداول زير ويژگي هاي استاندارد سيمان هاي پرتلند طبق استاندارد ۳۸۹ ايران و ASTM C۱۵۰ مشاهده مي گردد. هم چنين ويژگي هاي استاندارد هاي سيمان هاي آميخته طبق استاندارد ايران و ASTM C۵۹۵ در جداول بعدي ملاحظه مي شود. از مقايسه اين جداول چنين بر مي آيد كه در بسياري موارد ويژگي هاي اين سيمان ها به يكديگر نزديك است. به ويژه از نظر سطح حداقل مقاومتي، سيمان هاي آميخته پوزولاني و سرباره اي تفاوت چنداني با سيمان تيپ ۱ و ۲ ندارد.

هم چنين در دو جدول آخر برگه نتايج سيمان پرتلند پوزولاني با ۱۰ درصد پوزولان و سيمان پرتلند پوزولاني ويژه به ۲۵ درصد پوزولان كه در كارخانه سيمان آبيك توليد شده است مشاهده مي گردد. همان گونه كه از نتايج برمي آيد مقاومت ۳ ، ۷ و ۲۸ روزه اين سيمان ها از مقاومت حداقل سيمان نوع ۱ نيز به مراتب بيش تر مي باشد.

جدول ۱- ويژگي هاي شيميائي و فيزيكي الزامي سيمان پرتلند طبق استاندارد ۳۸۹ ايران

ويـــژگي		۱-۳۲۵	۱-۴۲۵	۱-۵۲۵	۲	۳	۴	۵
حداقل سطح ويژه (بلين)	Cm^2/gr	۲۸۰۰	۲۸۰۰	۲۸۰۰	۲۸۰۰	۲۸۰۰	۲۸۰۰	۲۸۰۰
حداكثر انبساط اتوكلاو %		۰/۸	۰/۸	۰/۸	۰/۸	۰/۸	۰/۸	۰/۸
حداقل زمان گيرش اوليه ويكات (دقيقه)		۴۵	۴۵	۴۵	۴۵	۴۵	۴۵	۴۵

حداكثر زمان گيرش نهايي (ساعت)	۶	۶	۶	۶	۶	۶	۶
حداقل تاب فشاري ۱ روزه Kg/Cm^2	—	—	—	—	۱۲۵	—	—
حداقل تاب فشاري ۲ روزه	—	۱۰۰	۲۰۰	—	—	—	—
حداقل تاب فشاري ۳روزه	۱۲۰	—	—	۱۰۰	۲۴۰	—	۸۵
حداقل تاب فشاري ۷ روزه	۲۰۰	—	—	۱۷۵	—	۷۰	۱۵۰
حداقل تاب فشاري ۲۸ روزه	۳۲۵	۴۲۵	۵۲۵	۳۱۵	—	۱۸۰	۲۷۰
حداكثر تاب فشاري ۲۸ روزه	۵۲۵	۶۲۵	—	—	—	—	—
حداكثر گرماي هيدراتاسيون ۷روزه Cal/gr	—	—	—	۷۰	—	۶۰	—
حداكثر گرماي هيدراتاسيون ۲۸روزه	—	—	—	—	—	۷۰	—
حداكثر انبساط سولفاتي ۱۴روزه %	—	—	—	—	—	—	۰/۰۴
حداقل SiO_2 %	—	—	—	۲۰/۰	—	—	—
حداكثر Al_2O_3 %	—	—	—	۶/۰۰	—	—	—
حداكثر Fe_2O_3 %	—	—	—	۶/۰۰	—	۶/۵	—
حداكثر MgO %	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵
حداكثر SO_3 % $C_3A \leq 8$	۳/۰۰	۳/۰۰	۳/۰۰	۳/۰۰	۳/۵	۲/۳۰	۲/۳
حداكثر SO_3 % $C_3A > 8$	۳/۵۰	۳/۵۰	۳/۵۰	—	۴/۵	—	—
حداكثر افت سرخ شدن %	۳/۰۰	۳/۰۰	۳/۰۰	۳/۰۰	۳/۰۰	۲/۵۰	۳/۰۰
حداكثر باقيمانده نامحلول %	۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۷۵
حداكثر C_3S %	—	—	—	—	—	۳۵/۰۰	—
حداقل C_2S %	—	—	—	—	—	۴۰/۰۰	—
حداكثر C_3A %	—	—	—	۸/۰۰	/ ۰۰ ۱۵	۷/۰۰	۵/۰۰
حداكثر $C_3A + C_4AF$ ۲ %	—	—	—	—	—	—	۲۵

جدول۲- ويژگي هاي شيميايي و فيزيكي الزامي سيمان پرتلند طبق استاندارد ASTMC۱۵۰

ويـــژگي	*I*	*II*	*III*	*IV*	*V*
حداكثر هواي ملات %	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲
حداكثر ريزي (بلين) Cm^2/gr	۲۸۰۰	۲۸۰۰	—	۲۸۰۰	۲۸۰۰
حداكثر انبساط اتوكلاو %	۰/۸	۰/۸	۰/۸	۰/ ۸	۰/۸
حداقل تاب فشاري ۱ روزه Mpa	—	—	۱۲/۴	—	—
حداقل تاب فشاري ۳ روزه Mpa	۱۲/۴	۱۰/۳	۲۴/۱	—	۸/۳
حداقل تاب فشاري ۷ روزه Mpa	۱۹/۳	۱۷/۲	—	۶/۹	۱۵/۲
حداقل تاب فشاري ۲۸ روزه Mpa	—	—	—	۱۷/۲	۲۰/۷
حداقل زمان گيرش اوليه ويكات (دقيقه)	۴۵	۴۵	۴۵	۴۵	۴۵
حداكثر زمان گيرش نهائي (دقيقه)	۳۷۵	۳۷۵	۳۷۵	۳۷۵	۳۷۵
حداقل SiO_2 %	—	۲۰/۰	—	—	—
حداكثر Al_2O_3 %	—	۶/۰	—	—	—
حداكثر Fe_2O_3 %	—	۶/۰	—	۶/۵۰	—
حداكثر MgO %	۶/۰	۶/۰	۶/۰	۶/۰	۶/۰
حداكثر SO_3 % $C_3A \leq 8$	۳/۰	۳/۰	۳/۵	۲/۳	۲/۳
حداكثر SO_3 % $C_3A > 8$	۳/۵	—	۴/۵	—	—
حداكثر افت سرخ شدن %	۳/۰	۳/۰	۳/۰	۲/۵	۳/۰
حداكثر باقيمانده نامحلول %	۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۷۵
حداكثر C_3S %	—	—	—	۳۵	—

حداقل C_2S %	—	—	—	۴۰	—
حداکثر C_3A %	—	۸	۱۵	۷	۵
حداکثر C_4AF + C_3A ۲ %	—	—	—	—	۲۵

جدول ۳- ویژگي هاي فيزيكي سيمان آميخته طبق ASTM C ۵۹۵

ویژگی فیزیکی	I(SM) , IS I(PM) ,IP	IS(MS) IP(MS)	S	P
حداقل ریزی با الک ۴۵ میکرون و بلین	—	—	—	—
حداکثر انبساط اتوکلاوی %	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵
حداکثر انقباض اتوکلاوی %	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۲
حداقل زمان گیرش ویکات (قیقه)	۴۵	۴۵	۴۵	۴۵
حداکثر زمان گیرش (ساعت)	۷	۷	۷	۷
حداکثر هوای ملات %	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲
حداقل تاب فشاری ۳ روزه Mpa	۱۲/۴	۱۰/۳		
حداقل تاب فشاری ۷روزه Mpa	۱۹/۳	۱۷/۲	۴/۱	۱۰/۳
حداقل تاب فشاری ۲۸ روزه Mpa	۲۴/۱	۲۴/۱	۱۰/۳	۲۰/۷
حداکثر گرماي هيدراتاسيون ۷ روزه * Cal/gr	۷۰	۷۰	—	۶۰
حداکثر گرماي هيدراتاسيون ۲۸روزه * Cal/gr	۸۰	۸۰	—	۷۰
حداکثر درصد آب لازم نسبت به سیمان %	—	—	—	۶۴
حداکثر جمع شدگی خشک شدن %	—	—	—	۰/۱۵
حداکثر انبساط ملات ۱۴ روزه %	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲
حداکثر انبساط ملات ۵۶ روزه %	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۶
حداکثر انبساط ۱۸۰ روزه سولفات %	—	۰/۱	—	—

* در صورت برقراری این شرط حداقل مقاومت ها در ۰/ ۸۰ ضرب مي شود .

جدول ۴- ویژگي های شیمیائی سیمان آمیخته طبق ASTM C۵۹۵

ویژگی شیمیائی	I(SM) IS	S	I(PM) , P IP
حداکثر MgO %			۵/۰
حداکثر SO_3 %	۳/۰	۴/۰	۴/۰
حداکثر S %	۲/۰	۲/۰	—
حداکثر باقیمانده نامحلول %	۱/۰	۱/۰	—
حداکثر افت سرخ شدن %	۳/۰	۴/۰	۵/۰
حداکثر قلیائی محلول در آب %	—	۰/۰۳	—

جدول ۵- ویژگي های اجباری سیمان های آمیخته و خاص طبق استاندارد ایران

ویژگي	پرتلند پوزولانی ISIRI ۳۴۳۲		پرتلند سرباره ای ISIRI ۳۵۱۷		سرباره ای ISIRI ۳۵۱۷	پرتلندآهکی ISIRI ۴۲۲۰
	(پ پ)	ویژه (پ پ و)	(پ س)+	ضد سولفات+	(س) +	(پ آ)*
حداقل نرمی بلین Cm^2/gr	۳۰۰۰	۳۲۰۰	۲۸۰۰	۲۸۰۰	۲۸۰۰	(۴۰۰۰)۳۸۰۰**
حداکثر انبساط اتوکلاوی %	۰/۸	۰/۸	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۸
حداکثر انقباض اتوکلاوی %	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۲	—
حداقل زمان گیرش اولیه ویکات (دقیقه)	۶۰	۶۰	۴۵	۴۵	۴۵	۶۰
حداکثر زمان گیرش نهائی (ساعت)	۷	۷	۷	۷	۷	۸
حداقل تاب فشاري ۳ روزه Kg/Cm^2	۱۰۰	—	۱۲۰	۱۰۰	—	۱۲۰
حداقل تاب فشاري ۷ روزه Kg/Cm^2	۱۷۵	۱۵۰	۲۰۰	۱۸۰	۱۰۰	۲۰۰
حداقل تاب فشاري ۲۸ روزه Kg/Cm^2	۳۰۰	۲۷۵	۳۲۰	۳۰۰	۲۲۰	۳۳۰
حداکثر باقیمانده روی الک ۹۰ میکرون %	—	—	—	—	—	—
حداقل قابلیت نگهداری آب %	—	—	—	—	—	—
حداکثر MgO %	۶/۰	۶/۰	—	—	—	۵/۰
حداکثر SO_3 %	۴/۰	۴/۰	۳/۰	۳/۰	۴/۰	۳/۵
حداکثر افت سرخ شدن %	۵/۰	۵/۰	۳/۰	۳/۰	۴/۰	۱۲/۰
حداکثر یون کلرید %	۰/۱	۰/۱				
حداکثر S %	—	—	۲/۰	۲/۰	۲/۰	
حداکثر باقیمانده نامحلول %	—	—	۱/۰	۱/۰	۱/۰	۱/۵
حداکثر قلیائی های محلول در آب %	—	—	—	—	۰/۰۳	

+ سیمان پرتلند سرباره ای حداکثر ۲۵ درصد سرباره دارد در حالي که سیمان پرتلند سرباره ای ضد سولفات دارای ۲۵ تا ۷۰ درصد سرباره است. سیمان سرباره ای بیش از ۷۰ درصد سرباره دارد و دارای آهک هیدراته و سیمان پرتلند می باشد .

* سیمان پرتلند آهکی دارای ۶ تا ۲۰ درصد سنگ آهک ویژه می باشد .

** مقدار ۳۸۰۰ برای سیمان پرتلند آهکی است که ۱۰ تا ۱۵ % سنگ آهک دارد در حالي که عدد ۴۰۰۰ برای سیمان هایی با ۱۵ تا ۲۰ درصد سنگ آهک کاربرد دارد .

FARS AND KHUZESTAN CEMENT COMPANY

ABYEK CEMENT PLANT

CEMENT TESTING REPORT

MONTHLY QUALITY CERTIFICATE CEMENT TYPE– ACC.TO ISIRI 3432 PORTLAND POZOLANA CEMENT (PPV) 25%		Date: 81.7.3		RANGE OF GUARANTELD SPECIFICATION
CHEMICAL ANALYSIS		'REQUIREMENT ACC . TO ISIRI 3432	RESULTE OBTAINED	
Silicon Dioxide (Sio2)	%	-	30.19	-
Aluminium Oxide (Al2o3)	%	-	7.18	-
Ferric Oxide (Fe2o3)	%	-	3.5	-
Calcium Oxide (Cao)	%	-	60.08	-
Magnesium Oxide (Mgo)	%	6 Max	2.56	-
Sulfur Trioxide (So3)	%	4 Max	2.15	-

ABYEK CEMENT PLANT
CEMENT TESTING REPORt

MONTHLY QUALITY CERTIFICATE CEMENT TYPE– ACC.TO ISIRI 3432 PORTLAND POZOLANA CEMENT (PPC) 10%		Date: From 83.5.1 TO 83.5.31		RANGE OF GUARANTEED SPECIFICATION
CHEMICAL ANALYSIS		REQUIREMENT ACC. TO ISIRI 3432	RESULTE OBTAINED	
Silicon Dioxide (Sio2)	%	-	25.47	23–27
Aluminium Oxide (Al2o3)	%	-	5.83	4–7
Ferric Oxide (Fe2o3)	%	-	3.67	3–4
Calcium Oxide (Cao)	%	-	57.3	55–60
Magnesium Oxide (Mgo)	%	6 Max	2.67	3.5 Max
Sulfur Trioxide (So3)	%	4 Max	2.07	3.5 Max
Sodium Oxide (Na2o)	%	-	-	0.5 Max
Potassium Oxide (K2o)	%	-	0.86	1 Max
Chlorides (Cl)	%	0.1 Max	0.0028	0.1 Max
Loss on Ignition (Lol)	%	5 Max	1.49	3 Max
Insoluble Residue	%	-	-	-
Free Cao	%	-	1.19	2 Max
Tricalcium Silicate (C3S)	%	-	-	-
Dicalcium Silicate (C2S)	%	-	-	-
Tricalcium Aluminate (C3A)	%	-	-	-
Calcium Alumino Ferrite (C4AF)	%	-	-	-
C3S + C3A	%	-	-	-
C4AF + 2(C3A) or C4AF + 2(C2F)	%	-	-	-
Alkalies (Na2o + 0.658 K2o)	%	-	-	-
PHYSICAL TESTS			-	
Fineness , Blaine Test, (Cm2/gr)		3000 Min	3205	3000 Min
Retained on Seive # 70 :	%	-	-	-
# 170 :	%	-	4.43	6 Max