ويژگي هاي سيمان براي كارهاي عمراني

محسن تدين، عضو هيئت علمي دانشكده مهندسي دانشگاه بوعلي سينا، همدان*
* تلفن: ۱۲۷۲۹۹۳- ۰۹۱۲ ، نمابر: ۲۹۰۱۳۵۵- ۰۲۱ ، پست الكترونيكي: tadayonmoh@yahoo.com

چكيده

ويژگي هاي فيزيكي، مكانيكي و شيميايي سيمان هاي مختلف بر خواص بتن تازه و سخت شده تأثير گذار است. مشخصات استاندارد سيمان، با تعيين حداقل يا حداكثر مجاز، ويژگي هاي خاصي را بدست مي دهد. رعايت اين مشخصات استاندارد الزاماً تأمين كننده سيمان مطلوب براي پروژه هاي مورد نظر و در مناطق مختلف كشور نيست. آشنايي با ويژگي هاي سيمان و تأثير آن بر بتن ازنقطه نظر مهندسين عمران مي تواند بصيرتي را براي توليد كنندگان سيمان در پي داشته باشد و صرفاً رعايت استاندارد را هدف غايي خود ندانند.

در اين نوشتار به توضيح اين ويژگي ها پرداخته مي شود و توصيه هايي براي توليد سيمان با ويژگي هاي خاص براي اهداف مختلف و مصرف آن در مناطق مختلف را ارائه مي دهد.

كليد واژه ها: *نرمي، گيرش، انبساط، گرمازايي، مقاومت، افت سرخ شدن، تركيبات اصلي، چگالي ذرات، قليايي هاي سيمان، واكنش قليايي، دوام بتن.*

مقدمه

توليد سيمان در كشور ما و ساير كشورها توسط مهندسين شيمي با همكاري متخصصين شيمي، مكانيك و مواد انجام مي گردد. مصرف كنندگان سيمان عمدتاً مهندسين عمران و سازندگان پروژه هاي مختلف ساختماني و عمراني هستند. در تعامل اين دو گروه در طول ازمنه گذشته استانداردهايي براي مشخصات سيمان هاي مختلف تدوين شده است. رعايت اين مشخصات و ارضاء آن به توليد سيمان استاندارد مي انجامد. هر سيمان استانداردي، الزاماً اهداف يك مهندس عمران را برآورده نمي كند و يا در مواردي مشكل ساز نيز خواهد بود. بدين ترتيب به نظر مي رسد مرتباً اين تعامل و همكاري بايد در همه موارد ادامه داشته باشد تا به توليد سيمان مطلوب دست يابيم.

در اين نوشته ويژگي هاي فيزيكي، مكانيكي و شيميايي سيمان و اثر آن ها بر خواص بتن مطرح مي شود و سعي مي گردد تا با تنظيم اجزاء و مواد متشكله سيمان به خواص مطلوب با سهولت بيشتر دست يابيم تا سرمايه هاي ملي حفظ گردد و به دوام بتن ها افزوده شود. يكي از اهداف اين نوشته آن است كه نشان دهيم امروزه دوام بتن مقدم بر مقاومت است. دستيابي به اين دوام و عمر بتن در گرو توليد سيمان مناسب مي باشد هر چند طرح اختلاط مناسب و ساخت و اجراي مطلوب بتن در كارگاه نيز نقش مهمي را خواهد داشت.

ويژگي هاي سيمان

ويژگي هاي سيمان را مي توان به دو دسته كنترلي و غير كنترلي تقسيم نمود. چنانچه ويژگي خاصي در مشخصات استاندارد سيمان ذكر شده باشد، آن را ويژگي كنترلي مي ناميم. در صورتي كه ويژگي مزبور براي دست اندركاران و متخصصين معنادار بوده و كاربردهاي خاصي داشته باشد؛ اما در مشخصات استاندارد جايي نداشته باشد آن را ويژگي غير كنترلي مي نامند.

ويژگي هاي سيمان را از نقطه نظر ديگري مي توان به سه دسته تقسيم نمود. ويژگي هاي فيزيكي، مكانيكي و شيميايي را در اين رابطه مي توان نام برد.

ويژگي هاي فيزيكي شامل نرمي (ريزي) و سطح ويژه، زمان گيرش، انبساط، گرمازايي، چگالي ذرات، وزن مخصوص توده اي، رنگ و آب لازم براي تهيه خمير نرمال مي باشد. چهار ويژگي آخر غير كنترلي هستند.

ويژگي هاي مكانيكي شامل مقاومت هاي فشاري، خمشي در سنين مختلف است.

ويژگي هاي شيميايي در ارتباط با افت سرخ شدن، باقيمانده نامحلول در اسيد، SO_3، آهك آراد، MgO، قليايي هاي سيمان، تركيبات اصلي شامل C_2S، C_3S، C_3A و C_3AF مي باشد.

در ادامه به اين ويژگي ها و تأثير آن ها بر خواص بتن مي پردازيم و پيشنهادهايي نيز مطرح مي گردد.

ويژگي هاي فيزيكي
نرمي (ريزي) يا سطح ويژه سيمان
نرمي سيمان در ابتدا با الك اندازه گيري مي شد. به دليل عدم تناسب مفهوم ريزي و سطح ويژه سيمان با عمل الك كردن، استفاده از وسايل نفوذ هوا براي اندازه گيري سطح ويژه در دستور كار قرار گرفت. حداقل سطح ويژه سيمان هاي پرتلند در استانداردهاي امروزي در حدود ۲۸۰۰Cm^2/gr مي باشد كه در برخي از انواع آن ممكن است متفاوت باشد و در سيمان هاي آميخته معمولاً بيشتر است. اين ويژگي يك ويژگي كنترلي تلقي مي شود.
ايجاد سطح ويژه بيشتر كه در سيمان ها مي تواند با ريزتر كردن آن فراهم آيد و هدف آن افزايش سطح تماس آن در هر لحظه با آب است. بنابر اين سرعت هيدراسيون، بيشتر و زمان گيرش،كوتاهتر مي شود و مقاومت هاي اوليه بالاتر مي رود و حتي ممكن است مقاومت هاي ۱ ماهه نيز بيشتر شود؛ اما معمولاً مقاومت هاي دراز مدت را كم مي كند و يا بدون تغيير خواهد بود. سطح ويژه بيشتر نياز به آب لازم براي تهيه خمير نرمال را افزايش مي دهد. سطح ويژه بيشتر، جمع شدگي خمير سيمان را بيشتر مي كند و استعداد ترك خوردگي را افزايش مي دهد. افزايش سطح ويژه نياز به مصرف سنگ گچ را براي داشتن يك زمان گيرش معين افزايش مي دهد و مي تواند بر دوام خمير سيمان و بتن اثر منفي باقي گذارد.
افزايش سرعت ويژه مي تواند به فساد سريعتر سيمان در هنگام انبار كردن آن كمك نمايد. هم چنين از آن جا كه سرعت هيدراسيون بيشتر مي شود، سرعت گرمازايي سيمان نيز افزايش مي يابد و دماي مغز بتن در مدت معين بالاتر مي رود. افزايش ريزي سيمان مي تواند به افزايش انبساط ناشي از واكنش قلياييِ ها با سنگدانه ها كمك نمايد و دوام را كم كند.
افزايش ريزي سيمان به دليل آسياب كردن بيشتر و يا نوع خاص آسياب كردن حاصل مي شود. خوشبختانه يا متأسفانه به دليل هزينه زياد و كاهش توليد، كارخانه هاي ما علاقه اي به ايجاد ريزي زياد ندارند. توصيه بنده نيز اين است كه براي سيمان هاي پرتلند نوع ۳۲۵-۱، ۲ و ۵ سطح ويژه سيمان در محدوده ۳۰۰۰-۲۸۰۰ باقي بماند و ترجيحاً بالاتر نرود. عدم اتلاف سيمان در اثر فساد ناشي از انبار كردن، افزايش دوام و كاهش مصرف سنگ گچ، كاهش جمع شدگي و سرعت گرمازايي مناسب از جمله دلايل اين توصيه است.
براي سيمان پرتلند ۴۲۵-۱ و ۵۲۵-۱ و نوع ۳ مي توان سطح ويژه ۳۵۰۰-۳۰۰۰ را توصيه نمود.
شايد در سال هاي آينده شرط حداقل سطح ويژه (ريزي) از مشخصات استاندارد حذف شود زيرا تأمين ويژگي هاي ديگر مستلزم تأمين ريزي مورد نياز است.
هم چنين به نظر مي رسد براي سيمان نوع ۴ مي توان حداقل سطح ويژه را در حد كمتري نگه داشت و مطلوب تر است. (مثلاً ۲۶۰۰-۲۵۰۰)
زمان گيرش خمير سيمان
در ابتداي توليد سيمان، صرفاً كلينكر آسياب مي شد و زمان گيرش اوليه خمير سيمان همچون ملات گچ زنده بين ۵ تا ۱۰ دقيقه بود. ساخت و ساز و شرايط آن ايجاب مي كرد كه زمان گيرش اوليه به تأخير افتد و به ۱ تا ۲ ساعت برسد؛ لذا از سنگ گچ براي ايجاد اين تأخير و تنظيم زمان گيرش استفاده شد. بنابر اين فلسفه اين تأخير و تنظيم در ابتدا مشكلات اجرايي بود. بعدها مشخص گرديد كه سنگ گچ علاوه بر ايفاء نقش تنظيم زمان گيرش، بر ساختار خمير سيمان هيدراته اثر مي گذارد و ساختمان محكم تر و بادوام تري را متشكل از هيدرات هاي سيليكاتي به جاي هيدرات هاي آلوميناتي بوجود مي آورد.
حمل و نقل بتن، ريختن، جايدهي و تراكم و پرداخت سطح بتن همگي به وقت نياز دارد؛ به علاوه معطلي هايي نيز به لحاظ عدم پيش بيني برخي موارد و بروز مشكلات پيش مي آيد كه نيازمند زمان گيرش طولاني تري هستيم.
حداقل زمان گيرش اوليه سيمان هاي پرتلند ۴۵ دقيقه و حداكثر گيرش نهايي ۶ ساعت در استاندارد ايران آمده است؛ در حالي كه در استاندارد ASTM C۱۵۰ حداقل گيرش اوليه ۶۰ دقيقه و حداكثر گيرش نهايي ۶۰۰ دقيقه مي باشد. بخشي از اين اختلاف به تعريف خمير نرمال و نحوه انجام آزمايش و تعريف آن در اين استانداردها برمي گردد.
در كارهاي مختلف عمراني نياز به زمان هاي گيرش متفاوت وجود دارد. مثلاً براي ساخت قطعات پيش ساخته كارخانه اي اعم از معمولي يا پيش تنيده بهتر است زمان گيرش اوليه و نهايي نزديك به حد مجاز باشد تا كار عمل آوري زودتر آغاز شده و پايان يابد. به ويژه وقتي بخار دهي در دستور كار است حتماً بايد گيرش انجام شود و سپس بخار دهي جدي آغاز شود.
براي ساخت قطعاتي مانند جدول، موزائيك و موارد مشابه زمان گيرش اوليه كم ضروري است. براي كار در مناطق سردسير نيز زمان هاي گيرش اوليه كم لازم است. اما در صورتي كه كار در مناطق گرم، حمل

طولاني و عمليات وقت گير مد نظر باشد، معمولاً زمان گيرش هاي طولاني تر پيش بيني و توصيه مي شود. در كارهاي سد سازي و بتن حجيم بهتر است زمان هاي گيرش طولاني تر شود. اينجانب براي شرايط و قطعات مختلف مقادير زير را توصيه و پيشنهاد مي نمايم.

شرايط و مناطق مختلف	محدوده زمان گيرش طبق استاندارد ايران	
	اوليه (دقيقه)	نهايي (ساعت)
مناطق خنك و يا قطعات پيش ساخته	۶۰-۷۵	۲-۳
مناطق معتدل و بتن ريزي هاي معمولي در جا	۷۵-۱۰۰	۳-۴
مناطق گرم و حمل طولاني و بتن حجيم	۱۰۰-۱۵۰	۴-۵

انبساط يا سلامت سيمان

كمي انبساط در سيمان همواره توصيه مي شود و در هيچ موردي انبساط در سيمان به واسطه وجود عواملي همچون آهك آزاد يا اكسيد منيزيم مطلوبيت ندارد. حتي در مواردي كه در كارهاي اجرايي سيمان انبساطي يا ملات و بتن منبسط شونده نياز است اين انبساط به صورت ديگر و صرفاً در طي زمان گيرش بايد اتفاق افتاده و خاتمه يابد و ادامه پيدا نكند. اين كار با تشكيل حباب هوا به كمك مصرف گرد آلومينيوم يا اكسيد آهن بدون آب انجام مي شود. ثبات حجمي بتن و ملات پس از گيرش و سخت شدن همواره يك امر مطلوب مي باشد.

گرمازايي و سرعت گرمازايي

گرمازايي سيمان يك امر عادي و حتي لازم در حين هيدراسيون مي باشد و در بسياري از اوقات به ويژه در قطعات نازك و هواي سرد و يا ساخت قطعات پيش ساخته غير حجيم كمك موثري تلقي مي شود اما در قطعات حجيم و يا هواي گرم (به ويژه قطعات غير نازك) مي تواند به بروز مشكلاتي به علت حبس گرما و افزايش دما و در نتيجه تنش ها و ترك هاي حرارتي و يا كاهش مقاومت هاي دراز مدت و دوام منجر گردد.

گرمازايي عمدتاً به واسطه هيدراسيون تركيبات اصلي سيمان و تا حدي به دليل تركيب CaO و MgO با آب و هم چنين Na_2O و K_2O به وقوع مي پيوندد و امري تدريجي و غير آني است. بيش از آن كه گرمازايي مطلق مشكل زا باشد، سرعت و آهنگ بالاتر گرمازايي مي تواند منشأ بروز مسائل جدي تلقي شود؛ لذا با كاهش آهنگ گرمازايي مي توان به نتيجه رسيد. متأسفانه يا خوشبختانه اكثر تركيبات اصلي كه از گرمازايي بيشتري برخوردارند، آهنگ هيدراسيون سريعتر و در نتيجه آهنگ گرمازايي بسيار بالاتري را دارا هستند. بنابر اين كاهش C_3A و به دنبال آن C_3S از اولويت بيشتري برخوردار است. هر چند C_3A آهنگ گرمازايي بسيار بالاتري نسبت به C_3S در روزهاي اول دارد؛ اما به دليل مقداركم C_3A در مقايسه با C_3S (يك چهارم تا يك دهم در سيمان هاي مختلف پرتلند) نمي توان گفت كه همواره نقش كدام يك مهم تر مي باشد. ضمن اين كه سرعت گرمازايي به ريزي سيمان نيز وابسته است. در جايي كه گرمازايي يا سرعت گرمازايي مطرح باشد و كنترل آن ضروري به نظر رسد از سيمان هاي نوع ۲ و ۴ و ۵ مي توان استفاده كرد. بديهي است به دليل عدم توليد سيمان نوع ۴ به صورت معمولي و عادي، مصرف نوع ۲ و ۵ در دستور كار قرار مي گيرد و يا مصرف سيمان هاي آميخته توصيه مي شود. لذا لازم است به صورت معمول اين دو نوع سيمان با گرمازايي و سرعت گرمازايي كنترل شده عرضه گردد. حداكثر گرمازايي ۷ روزه سيمان نوع ۲، برابر ۷۰Cal/gr و حداكثر C_3A+ C_3S معادل ۵۸ درصد در استاندارد ايران پيش بيني شده است كه در صورت رعايت آن مقاومت حداقل مجاز اين سيمان بايد در ۰/۸ ضرب گردد (در استاندارد ايران فراموش شده است تا در بحث گرمازايي به اين موضوع اشاره گردد).

در بازار ايران چندان به مقاومت كم سيمان حتي براي نوع ۲ رغبتي وجود ندارد؛ اما توليد كنندگان سيمان مي توانند تعادلي را در اين موارد بوجود آورند.

با توجه به محدوديت ۵ تا ۸ درصدي C_3A در سيمان نوع ۲ عملاً مقدار حداكثرC_3S به صورت ۵۰ تا ۵۳ درصد محدود مي شود كه غالباً در سيمان هاي نوع ۲ ايران رعايت مي گردد. توصيه بنده آن است كه در سيمان پرتلند نوع ۲ مقدار C_3S به ۵۰-۴۵ درصد محدود شود و C_2S كمي افزايش يابد و عملاً حداكثر گرمازايي ۷ روزه به ۸۰Cal محدود گردد.

در سيمان پرتلند نوع ۵ محدوديتي در ميزان گرمازايي و C_3S وجود ندارد اما C_3A به ۵ درصد محدود شده است. در اين جا نيز توصيه مي شود مقدار C_3S به ۵۰-۴۵ درصد محدود و حداكثر گرمازايي ۷ روزه به ۸۰Cal برسد.
در سيمان هاي نوع ۲ و ۵ توصيه مي شود ريزي (سطح ويژه) محدود شود و عملاً از ۳۰۰۰ فراتر نرود تا سرعت گرمازايي نيز كنترل شود.
به هر حال كارخانه ها تصور مي كنند بالا بودن مقاومت سيمان هاي ۲ و ۵ نشانه يك سيمان مرغوب است در حالي كه اين تصور نمي تواند صحيح باشد و يا دست كم همواره صحيح نيست و نبايد مورد تأكيد قرار گيرد.

چگالي ذرات و وزن مخصوص انبوهي سيمان

اين دو ويژگي، غير كنترلي هستند. چگالي ذرات سيمان پرتلند معمولاً از ۳/۰ تا ۳/۲۵ تغيير مي كند و تابع جنس و تركيبات اصلي سيمان است. در سيمان هاي آميخته (با پوزولان و سرباره كم) ممكن است چگالي ذرات از ۲/۹۵ تا ۳/۱۰ تغيير كند و اگر پوزولان و سرباره خيلي زيادتر شود محدوده ۲/۹ تا ۳/۰۵ طبيعي به نظر مي رسد. اين ويژگي عمدتاً در طرح اختلاط بتن كاربرد دارد.
وزن مخصوص انبوهي نلرزيده سيمان هاي پرتلند از ۱/۱ تا ۱/۲۵ و لرزيده آن از ۱/۳۵ تا ۱/۴۵ مي باشد. تعيين و بكارگيري اين مقادير عمدتاً در ساخت بتن به روش پيمانه كردن (حجمي) ضرورت دارد.
توصيه خاصي براي كنترل اين موارد در كارخانه ندارم و صرفاً گوشزد مي نمايم با افزايش C_4AF معمولاً چگالي ذرات سيمان زياد مي شود.

ويژگي هاي مكانيكي سيمان

مقاومت هاي خمشي و فشاري سيمان در ارتباط مستقيم با يكديگر هستند و بدين دليل امروزه در استانداردهاي معتبر فقط به مقاومت فشاري سيمان توجه مي شود و مقاومت خمشي يا كششي كاربردي ندارد و در مشخصات استاندارد جايگاه خود را ازمدت ها پيش از دست داده است.
در طول سال هاي دهه ۳۰ تا ۹۰ ميلادي به تدريج حداقل مقاومت فشاري ملات هاي استاندارد ماسه سيمان بالاتر رفته است اما به نظر مي رسد همه استانداردها پيرو چنين سياست و رشدي نبوده اند. براي مثال استاندارد ASTM در مورد سيمان هاي پرتلند پنج گانه رشد هاي قابل توجهي را از دهه ۷۰ تاكنون بوجود نياورده است. اروپايي ها با تعريف سه طبقه مقاومتي جايگاه هر طبقه و رده مقاومتي را مشخص نموده اند. مسلماً سعي مي شود براي دستيابي به مقاومت هاي بالاتر در بتن در سنين پايين از سيمان هايي با رده مقاومتي ۴۲۵ يا ۵۲۵ استفاده شود. اما نبايد از نظر دور داشت كه با استفاده از سيمان رده مقاومتي ۳۲۵ نيز مي توان بتن هايي ساخت كه از مقاومت بالايي برخوردار و يا حتي مقاومت آن از برخي بتن هاي ساخته شده با سيمان هاي ۴۲۵ يا ۵۲۵ بالاتر باشد. اين مهم با كاهش نسبت آب به سيمان در بتن (كاهش آب يا افزايش سيمان)، استفاده از سنگدانه مناسب با دانه بندي خوب و دقت در ساخت، ريختن و عمل آوري برآورده مي شود و تدابير ديگري نيز قابل پي گيري است كه در اين نوشته نمي گنجد.
در بسياري از كارهاي عمراني مقاومت مشخصه ۲۸ روزه براي بتن ها تعيين شده است كه بايد بدان ها دست يافت اما از نظر اجرايي بسياري از مهندسين در بسياري از پروژه ها مايلند بتن، مقاومت هاي بيشتري را در سنين پايين تر كسب كند.
كاهش طول مدت عمل آوري، كاهش زمان قالب برداري و تسريع در بهره برداري از مواردي است كه يك مهندس اجرايي بدان ها توجه دارد و مي تواند از نظر اقتصادي نيز مهم تلقي شود؛ در حالي كه شرط قبول بتن ها كسب مقاومت مشخصه ۲۸ روزه نمونه هاي عمل آوري شده در شرايط استاندارد است.
جالب است بدانيم در اكثر موارد داشتن مقاومت هاي بيشتر در سنين پايين به كاهش مقاومت هاي دراز مدت منجر مي گردد. از اين مهم تر و شايد به همين روال در اين گونه سيمان ها و بتن ها اغلب كاهش دوام بتن را شاهد هستيم كه معناي آن آسيب پذير بودن در شرايط محيطي مهاجم مي باشد. كما اين كه با افزايش دما يا استفاده از برخي مواد تسريع كننده (زودگير كننده) هر چند با افزايش مقاومت هاي زود هنگام مواجه خواهيم بود اما كاهش مقاومت دراز مدت و دوام بتن را مشاهده مي كنيم. ساختار نامنظم هيدرات ها در خمير سيمان سخت شده، ايجاد بلورهاي درشت تر و افزايش بلورهاي هيدروكسيد كلسيم، ضعف ساختماني و افزايش نفوذپذيري را به همراه مي آورد.
افزايش مقاومت هاي كوتاه مدت و ۲۸ روزه در ملات سيمان استاندارد با ايجاد تغييراتي در تركيبات اصلي مانند افزايش C_3A و C_3S و كاهش C_2S حاصل مي شود. افزايش ريزي سيمان و تغيير در ميزان سنگ گچ نيز در مقاومت هاي اوليه موثر است.
افزايش C_3A هر چند بر مقاومت هاي ۱ تا ۳ روزه تأثير چشمگيري دارد اما ضعف ساختاري مقاومتي دراز مدت و دوام را بوجود مي آورد و نسبت مقاومت دراز مدت به كوتاه مدت را كاهش مي دهد.

افزايش C_3S نيز مانند C_3A خواهد بود اما ضعف مقاومتي دراز مدت به صورت قابل توجه را بوجود نمي آورد. دوام در برابر سولفات ها را كاهش مي دهد و نفوذ پذيري را افزايش مي دهد.
در مورد اثر ريزي سيمان بر مقاومت نيز قبلاً بحث شده است.
مهم ترين نكته در ويژگي مكانيكي سيمان ها، تغييرات شديد آن ها و اثر آن بر طرح اختلاط بتن و نتايج حاصله از ساخت بتن با سيمان هايي است كه مقاومت هاي شديداً متفاوتي را دارا مي باشند. اين تغييرات مي تواند موجب انحراف معيار زياد مقاومت بتن ها شود. لازم است همچون استاندارد اروپايي EN، ضريب تغييرات مقاومت محدود شود. اين مقدار ۵ درصد پيشنهاد مي شود. به اين معنا كه اگر متوسط مقاومت فشاري ملات استاندارد كارخانه اي۴۰۰ باشد، انحراف معيار مقاومت ها بايد به۲۰ محدود شود. اين امر نياز به كنترل كيفي دقيق تري در همه موارد دارد.

ويژگي هاي شيميايي
تركيبات اصلي

C_2S وC_3S و C_3A و C_4AF تركيبات اصلي سيمان هستند.

C_2S در تركيب با آب (هيدراسيون) به صورت زير عمل مي كند.

$$۲C_2S + ۴H \Rightarrow C_3S_2H_3 + CH + ۶۲ \text{ cal/gr}$$
$$۳۴۴ + ۷۲ \Rightarrow ۳۴۲ + ۷۴$$
$$۱۰۰ + ۲۱ \Rightarrow ۹۹ + ۲۲$$

حدود ۵ درصد از اين واكنش در روز اول و كمتر از ۲۵ درصد در ماه اول انجام مي شود و واكنش كندي را دارد. اين تركيب گرمازايي بسيار كم و سرعت گرمازايي فوق العاده كمي را خواهد داشت. تقريباً معادل آب هيدراسيون، آهك هيدراته (حدود يك پنجم وزن C_2S) توليد مي كند كه در مقايسه با C_3S به مراتب كمتر است. بلورهاي هيدروكسيد كلسيم بسيار درشت تر از بلور هيدرات سيليكاتي حاصله مي باشد و عملاً مي تواند ضعف ساختماني و دوامي بوجود آورد. از آن جا كه در مقايسه با C_3S توليد آهك كمتري دارد در ارتباط با حمله سولفات سديم و منيزيم، نفوذ يون كلر، واكنش قليايي ها با سنگدانه ها بهتر از C_3S مي باشد و ترجيح دارد مقدار آن افزايش يابد. اما به لحاظ كمبود مقاومت در سنين اوليه براي مهندسين جذابيت ندارد. اگر به دنبال سيمان هايي بادوام تر هستيم نبايد در كاهش آن و افزايش C_3S اصرار ورزيم. اگر همه سيمان از C_2S تشكيل شده باشد كمتر از ۲۰ درصد وزن ژل سيمان را CH تشكيل مي دهد.
C_3S در هيدراسيون احتمالاً به شكل زير عمل مي كند.

$$۲C_3S + ۶H \Rightarrow C_3S_2H_3 + ۳CH + ۱۲۰ \text{ cal/gr}$$
$$۴۵۶ + ۱۰۸ \Rightarrow ۳۴۲ + ۲۲۲$$
$$۱۰۰ + ۲۴ \Rightarrow ۷۵ + ۴۹$$

حدود۳۰ درصد در روز اول و حدود ۶۵ درصد در ماه اول با آب تركيب مي شود بنابر اين واكنش آن سريع تر از C_2S و نقش آن در كسب مقاومت در روزهاي اوليه جدي تر است. ازگرمازايي بيشتر و سرعت گرمازايي بالاتري نسبت به C_2S برخوردار است. دو برابر ميزان آب مصرفي هيدراسيون، آهك هيدراته (نصف وزن C_3S) توليد مي كند و مي تواند ضعف ساختاري و دوام كم را به ويژه در برابر حمله برخي سولفات ها، نفوذ يون كلر، واكنش قليايي ها با سنگدانه هاي واكنش زا بوجود آورد. اصرار بر افزايش C_3S ابداً توجيه ندارد مگر اين كه صرفاً بخواهيم مقاومت هاي اوليه و ميان مدت را بالا ببريم.
توصيه مي شود در مناطق جنوبي كشور C_3S را در حد معقول و زير۵۰ يا ۴۵ درصد نگهداريم. اگر همه سيمان به صورت C_3S باشد حدود ۳۵ درصد از وزن ژل را CH تشكيل مي دهد كه بسيار بالا است.
اگر نيمي از سيمان C_2S و نيم ديگر C_3S باشد حدود ۲۷ درصد از وزن ژل را CH تشكيل مي دهد و از آن جا كه معمولاً تا حدود ۷۰ يا ۷۵ درصد وزن سيمان هاي پرتلند را تركيبات سيليكاتي تشكيل مي دهد، مقدار CH حدود ۲۰-۱۸ درصدوزن ژل مي باشد در حالي كه بهتر است به حدود ۱۵ درصد برسد. بدين ترتيب به جاي اين كه سهم C_2S و C_3S مساوي باشد (حدود ۳۵ تا ۳۷ درصد)، سهم C_2S حدود ۴۵-۴۰ و سهم C_3S در حدود ۳۵-۳۰ درصد باشد.
اگر ۳۵ درصد سيمان C_3S باشد در روز اول ۱۲ كالري سهم C_3S براي هيدراسيون ۱ گرم سيمان است ولي سهم C_2S حتي با ۴۵ درصد وزن سيمان، حدود ۱/۵۰ كالري گرما مي باشد.
در مورد C_3A معمولاً در درجه اول همواره حمله سولفات ها مطرح مي گردد كه كاملاً درست است. در طول ۲۵ سال اخير روشن شده است در مواردي كه نفوذ يون كلر مطرح است بالاتر بودن C_3A نتيجه مناسبي را در بر داردلذا درصد آن ۱۰ تا ۱۵ درصد توصيه مي شود. متأسفانه از آن جا كه بسياري اوقات يون كلر به همراه

سولفات وجود دارد (در مناطق جنوبي كشور) براي مقابله با اين مشكل سعي مي شود C_3A كاهش يابد و به حدود ۸ درصد برسد. جالب است بدانيم تحقيقات اخير نشان داده است اگر بتن در محيط اشباع با يون كلر زياد قرار گيرد (مانند داخل آب دريا)، يون كلر مانع انبساط مخرب سولفوآلومينات كلسيم (اترينگايت) مي گردد و لذا ابداً كاهش جدي C_3A توجيهي ندارد. بنابر اين مي توانيم از سيمان پرتلند نوع ۱ هم به خوبي استفاده نماييم. ممكن است در آينده آيين نامه ها هماهنگ با اين يافته ها عمل كنند و مصرف سيمان نوع ۱ را در آب دريا براي بتن غير مسلح و مسلح توصيه نمايند. به هر حال تا آن زمان بهتر است سعي نكنيم ميزان C_3A سيمان نوع ۲ را به ميزان قابل توجهي كمتر از ۸ درصد برسانيم و خوب است آن را در محدوده ۷ تا ۸ درصد حفظ كنيم؛ به ويژه آن كه همواره محيط اشباع نداريم. وجود C_3A بيشتر موجب مي شود با وجود يون كلر نمك فريدل تشكيل شود و موجب بالا رفتن يون كلر در مجاورت ميلگرد و بروز خوردگي نگردد كه هدف غائي ما تلقي مي شود. افزايش C_4AF نيز در ارتباط با اين محيط ها مانعي ندارد.
اما به هر حال بايد دانست در محيط هايي كه سولفات به تنهايي وجود دارد C_3A بايد محدودتر شود و حتماً زير ۸ درصد يا ۵ درصد باشد. حتي اگر محيط فاقد يون كلر و داراي يون سولفات زيادي باشد، ميزان C_3A بهتر است به كمتر از ۳/۵ يا ۴/۰ درصد محدود شود.
در هيدراسيون C_3A با آب داريم:

$C_3A + 6H \Rightarrow C_3AH_6 + 207$ cal/gr
۲۷۰ + ۱۰۸ => ۳۷۸
۱۰۰ + ۴۰ => ۱۴۰

C_3A ژل زيادي توليد مي كند و راندمان خوبي دارد اما متأسفانه ژل حاصله از استحكام و دوام زيادي برخوردار نيست. ضمناً گرمازايي فوق العاده زيادي دارد. C_3A بدون وجود سنگ گچ در روز اول ۸۰ درصد هيدراته مي شود ولي با حضور سنگ گچ و تأخير چندين ساعته هيدراسيون، عملاً درصد هيدراسيون در روز اول به ميزان كمتري است ولي با اين حال سرعت گرمازايي بسيار زياد است و هر گرم C_3A در روز اول در صورت تركيب ۵۰ درصد، حدود ۱۰۰ كالري گرما مي دهد.
خوشبختانه درصد C_3A در سيمان زياد نيست و اگر ۱۰ درصد فرض شود براي هر گرم سيمان سهم C_3A به ۱۰ كالري مي رسد كه باز هم رقم قابل توجهي است و به اندازه كل گرماي حاصله از تركيبات سيليكاتي در روز اول مي باشد. به همين دليل لازم است براي سيمان هاي نوع ۴ يا براي سيمان مصرفي در سد بتني مقدار C_3A به مقدار قابل توجهي كم تر شود و در درجه دوم C_3S نيز كمتر گردد. به هر حال از تأثير ريزي سيمان و دماي بتن و عيار سيمان بتن نبايد بي توجه گذشت. امروزه افزودني هاي كند گير نيز براي كاهش سرعت گرمازايي ناشي از كند كردن هيدراسيون كاربرد جدي دارد. ضمن اين كه به كمك موادروان كننده (كاهنده آب) عيار سيمان بتن را پايين مي آوريم و با مصرف بتن هاي سفت تر با حداكثر اندازه درشت تر مقدار آب و سيمان مصرفي را به شدت كم مي كنيم، مقدار گرمازايي و سرعت آن كم مي شود.هم چنين مي توان با مصرف پوزولان ها (به جز ميكروسيليس) سرعت گرمازايي را باز هم كمتر نماييم. شايد مصرف سيمان نوع ۵ با C_3A كمتر از ۵ درصد به همين دليل طرفداران زيادي در ساخت بتن حجيم دارد.
در مورد هيدراسيون C_4AF ترديدهايي وجود دارد اما رابطه زير احتمالاً برقرار مي باشد.

$C_4AF + 2CH + 10H \Rightarrow C_3AH_6 + C_3FH_6 + 100$ cal/gr
۴۸۶ + ۱۴۸ + ۱۸۰ => ۳۷۸ + ۴۳۶
۱۰۰ + ۳۱ + ۳۷ => ۷۸ + ۹۰

در مورد گرمازايي C_4AF در مجموعه سيمان به جاي ۱۰۰ از عدد ۳۰ استفاده مي كنند و راندمان توليد ژل موثر چسباننده آن زياد نيست ولي خوشبختانه CH را مصرف مي كند؛ لذا معمولاً محدوديت هاي خاصي را مگر براي سيمان نوع ۵ در نظر نمي گيرند كه اهميت آن نيز از محدوديت C_3A كمتر است. ۹۰ درصد C_4AF بدون حضور سنگ گچ در روز اول هيدراته مي شود؛ اما با وجود سنگ گچ كمتر هيدراته مي گردد و سهم آن در چسبانندگي روز اول محسوس است. براي هيدراته شدن C_4AF نياز به آهك هيدراته داريم كه باعث كند شدن عمل هيدراسيون C_4AF مي گردد.

CaO آزاد و **MgO**

معمولاً از نقطه نظر انبساط به اين دو نگريسته مي شود كه كاملاً صحيح است. هر چند درصد CaO آزاد در استانداردها محدود نشده است اما مسلم است كه اگر آن را محدود نكنيم آزمايش فيزيكي انبساط جواب نخواهد داد و بهتر است كمتر از ۱ درصد باشد. مقدار MgO در استاندارد مشخصات سيمان ايران ۵ درصد و در ASTM به ۶ درصد محدود شده است كه معمولاً كارخانه هاي سيمان ايران مشكلي را ندارند و درصد MgO آن ها به مراتب كمتر از حد مجاز و حتي كمتر از ۳ درصد است.

امروزه مشكل انبساط در اغلب كارخانه ها حل شده است. به ويژه با تنظيم سنگ آهك، پخت كافي و خنك سازي سريع تر كلينكر مقدار CaO آزاد كاهش يافته است اما هنوز هم در برخي كارخانه ها اين مشكل وجود دارد كه عمدتاً ناشي از خنك سازي سريع كلينكر است هر چند از ساير عوامل نيز نمي توان به سادگي گذشت.
CaO و MgO در گرمازايي نقش دارند؛ اما به دليل محدوديت آن ها به ويژه CaO ، نقش و ميزان آن ها در گرمازايي و سرعت گرمازايي عملاً ناچيز است. وجود CaO آزاد و MgO عملاً محيط خمير سيمان را قلياييي تر مي كنند و چنانچه واكنش زايي سنگدانه ها با قلياييي هاي سيمان مطرح باشد، محيط را مناسب تر و آماده تر مي نمايند.
CaO آزاد موجود در سيمان در ساعت هاي اول مي تواند با دوده سيليسي تركيب شود و سرعت هيدراسيون و سرعت گرمازايي را زياد كند و زمان گيرش را جلو بيندازد اما در مورد ساير پوزولان هاي مصنوعي و طبيعي چنين امري با اين سرعت اتفاق نمي افتد.

Na_2O و K_2O

معمولاً وجود موادي كه در اثر تماس آب با آن ها مواد بازي را توليد مي كنند از جمله NaOH و KOH مي توانند زمان گيرش را تسريع نمايند. اما اغلب اوقات از اين منظر به اين مواد نمي نگرند. اين دو ماده معمولاً به جهت تأثير تدريجي و دراز مدت آن ها بر روي برخي سنگدانه هاي واكنش زا از نوع سيليسي آبدار و يا برخي كربنات هاي دولوميتي مورد توجه قرار مي گيرند كه موجب توليد موادي ضعيف و انبساطي در سطح تماس سنگدانه و خمير سيمان مي شوند و در پي سال ها و با وجود رطوبت و دماي مناسب اين انبساط مي تواند به تخريب و انهدام بتن يا ملات به صورت پكيدن منجر شود. نمونه بارز سنگدانه سيليسي آبدار سنگ چخماق يا اوپال (آتش زنه) است.
سال ها تصور مي شد كه در ايران اين مشكل چندان وجود ندارد و لذا نگراني نيز وجود نداشت. شايد اين تصور به دليل عدم انجام آزمايش هاي لازم و عدم بازرسي بتن هاي قديمي در پروژه هاي مختلف بوجود آمده بود. به هر حال با توجه به احداث پروژه هاي بزرگ و لزوم آزمايش هاي مختلف از اين نظر، به تدريج مشخص شد كه اين نوع سنگدانه ها به ميزان قابل توجهي در مناطق مختلف كشور به ويژه در اطراف تهران و جنوب كشور وجود دارد كه مركز ثقل ساخت پروژه هاي مختلف و هزينه كردن در ساخت بتن ها مي باشد. هم چنين طولاني بودن زمان اين واكنش دليلي بر عدم مشاهده خرابي در بتن هايي بود كه از ايجاد آن ها مدت زيادي نگذشته است و بدين امر توجه جدي مبذول نمي گشت. امروزه احساس مي شود لازم است يك بازنگري در اين رابطه داشته باشيم.
راه حل ساده و عمده اين مشكل، كاهش ميزان قلياييي هاي سيمان است هر چند در عمل راه حل هاي ديگري وجود دارد كه عملاً مشكل و پر هزينه تر مي باشند و گاه براي يك پروژه كوچك، غير ممكن به نظر مي رسد. بدين دليل سعي مي شود با تعريف و توليد سيمان با قلياييي كم، مشكل را حل نمايند.
اين سيمان ها داراي معادل قلياييي كمتر از ۰/۶ درصد وزن سيمان هستند. سوال اين است كه چرا اين عدد به عنوان يك حد قراردادي منظور شده است؟ بايد دانست علماي بتن طي آزمايش هاي متعدد دريافته اند كه ميزان معادل مواد قلياييي در بتن بايد كمتر از ۳ كيلوگرم در هر متر مكعب باشد هرچند برخي در بدترين حالات اين مقدار را كمتر از ۱/۸ كيلوگرم مطرح نموده اند. اگر ميزان سيمان در هر متر مكعب بتن ۴۰۰-۳۵۰ كيلوگرم باشد و فرض شود مواد قلياييي از هيچ طريق ديگري (مانند آب، سنگدانه و افزودني ها) وارد نشود كه البته فرض صحيحي نيست، درصد معادل قلياييي هاي سيمان با فرض حد مجاز متوسط، برابر ۰/۶ تا ۰/۷ درصد وزن سيمان بدست مي آيد. آب ها و سنگدانه ها حاوي مقداري Na_2O و K_2O هستند. هم چنين امروزه با مصرف روان كننده هاي مختلف مقداري Na_2O و K_2O از اين طريق وارد مي شود كه چندان هم كم نيست (برخي از آن ها بيش از ۵۰ گرم در هر كيلوگرم قلياييي را در خود دارند) و عملاً به حدود ۰/۲ تا ۰/۳ كيلوگرم در متر مكعب هم مي رسد. اگر مقدار معادل قلياييي در آب و سنگدانه خيلي كم هم باشد باز به دليل مقدار زياد اين دو كه به ۲ تن هم مي رسد قابل توجه مي باشد. اگر مقدار قلياييي آب را ۰/۵ گرم در ليتر و مقدار قلياييي سنگدانه ها را ۰/۰۱ تا ۰/۰۱۵ درصد وزن سنگدانه در نظر بگيريم و مقدار آب را ۲۰۰ كيلو و سنگدانه را ۱۸۰۰ كيلو فرض كنيم مقدار قلياييي معادل ۰/۳۵ –۰/۲۰كيلو مي باشد و عملاً ۰/۶۵– ۰/۴۵ كيلو قلياييي را با احتساب روان كننده بوجود مي آورد كه بايد در ميزان قلياييي هاي سيمان تجديد نظر كرد و آن را به كمتر از ۰/۵ درصد رسانيد.
توصيه مي شود براي مناطق جنوبي كشور كه گرم و مرطوب هستند و در زمان كوتاهتري واكنش زايي سنگدانه با قلياييي ها مشكل بوجود مي آورد و در اكثر پروژه ها عيار سيمان حدود ۴۰۰ يا بيشتر به همراه مقدار قابل توجهي روان كننده بكار مي رود، ميزان قلياييي ها به ۰/۵ درصد محدود شود.

SO_3

مقدار SO_3 معمولاً تابع ميزان مصرف سنگ گچ است. وجود SO_3 در سيمان معمولاً پس از مدتي خطر انبساط ناشي از تشكيل اترينگايت را در حالت مرطوب ايجاد مي نمايد. به همين دليل ميزان آن در سيمان هاي مختلف پرتلند در استاندارد ايران به ۲/۳ تا ۴/۵ درصد محدود شده است و اگر سيمان نوع ۳ و ۴ را در نظر نگيريم محدوديت ۲/۳ تا ۳/۵ درصد را خواهيم داشت. لازم است ميزان SO_3 كل در بتن به ۵ درصد محدود شود. مقدار سولفات SO_3 آب عملاً به ۰/۴ گرم در ليتر و سولفات سنگدانه به ۰/۴ درصد در استاندارد ايران محدود شده است و مقدار مجاز SO_3 كل برابر ۱۷/۵ تا ۲۰ كيلو مي باشد. ميزان SO_3 سيمان را با فرض مصرف ۳۵۰ تا ۴۰۰ كيلو سيمان مي توان حدود ۸ تا ۱۴ كيلو دانست. با فرض ۲۰۰ كيلو آب عملاً ۰/۱ كيلو SO_3 و با فرض ۱۸۰۰ كيلو سنگدانه عملاً ۷/۲ كيلو SO_3 و در جمع ۷/۳ كيلو SO_3 خواهيم داشت. در عمل آوري با آب نيز غلظت املاح به ويژه در سطح بتن بيشتر مي شود و ممكن است به ۷/۵ كيلو سولفات برسد. مقدار SO_3 مجاز سيمان نوع ۵ برابر ۲/۳ درصد و مقدار سولفات آن ۸ تا ۹ كيلو مي شود و SO_3 مجاز نوع ۲ برابر ۳ درصد و مقدار سولفات آن ۱۰/۵ تا ۱۲ كيلو مي باشد. آب و سنگدانه هم مي توانند سولفات داشته باشند كه فرضي منطقي است. با اين حال به دليل آن كه سيمان نوع ۵ و ۲ در جايي بكار مي روند كه خطر حمله سولفات ها وجود دارد، سوق دادن SO_3 موجود در بتن به سرحد مجاز كار عقلاني نيست.

تجربه نشان مي دهد كه كشور ما شديداً سولفات خيز است و به ويژه گچ زيادي در آن وجود دارد و در بسياري مناطق، آب ها و خاك هاي ما داراي درصد قابل توجهي سولفات است كه بايد به محدود كردن SO_3 توجه ويژه اي مبذول داشت و شايد لازم باشد ميزان مجاز SO_3 سنگدانه كم شود. هم چنين آزمايش ها و تجربيات جهاني ثابت كرده است SO_3 بيش از ۲ درصد، محدوديت هايي را از نظر عمل آوري سريع با ايجاد گرما و يا بكارگيري بخار آب بوجود مي آورد و در صورت استفاده از بخار آب با دماي بيش از ۵۰ درجه ترك هايي در سطح بتن مشاهده مي شود كه بر مقاومت و دوام آن تأثيرگذار است. در صنعت پيش ساخته معمولاً بالا بردن دما براي عمل آوري سريع و باز كردن زود هنگام قالب ها و بهره برداري و يا حمل سريع قطعات امري عادي و معمولي تلقي مي شود و گريزي از آن احساس نمي گردد. بنابر اين خوب است مقدار SO_3 را در سيمان ها عملاً محدود كنيم تا از بروز اين مشكلات ناخواسته جلوگيري نماييم. متأسفانه مهندسين عمران گاه از بروز چنين مشكلاتي بي اطلاعند و يا اصولاً اين خسارت ها را حس نمي كنند. بنابر اين رعايت اين موارد در توليد سيمان راه حل پيشگيرانه و مناسبي است.

در مناطق جنوبي كشور حتي وقتي عمل آوري سريع ندارند بتن ها در زير تابش آفتاب و در زير پوشش هاي عمل آوري، از دمايي بالا برخوردار مي شوند و مي توانند مشكلاتي به بار آورد كه شبيه عمل آوري سريع اما ناخواسته است. بنابر اين هر چند كنترل زمان گيرش در اين مناطق از اولويت بيشتري برخوردار است اما متأسفانه كنترل مصرف سنگ گچ نيز مهم و جدي است و ديده مي شود كه SO_3 برخي كارخانجات در مناطق جنوبي حتي گاه از حد مجاز نيز فراتر مي رود.

حركت نم موئينه در بتن از شالوده به سمت سطح زمين مرتباً غلظت املاح را در بالاي سطح زمين طبيعي به ويژه تا ۰/۵ متري افزايش مي دهد و باعث تخريب مي شود. در اين مورد نيز كاهش SO_3 در سيمان مي تواند عمر بتن را بيشتر كند.

به هر حال توصيه مي شود مقدار SO_3 كل بتن در جنوب كشور از ۴ درصد وزن سيمان تجاوز نكند كه اين مقدار ۲۰ درصد كم تر از حالت عادي است. بنابر اين بايد تصميم گرفت كه ميزان SO_3 سيمان را كم نماييم يا در مقدار مجاز SO_3 سنگدانه تجديد نظر كنيم.

يون كلر

ضابطه اي براي يون كلر در مشخصات استاندارد نيامده است، هر چند در دستورالعمل هاي استاندارد آزمايش سيمان به ويژه ASTM C۱۱۴ روش تعيين آن مشروحاً بيان شده است. يون كلر بايد در بتن تازه به ويژه در مناطق خورنده محدود شود تا مشكل خوردگي ميلگردها بوجود نيايد. سواحل جنوبي ايران به واسطه شرايط محيطي مرطوب و گرم و وجود يون كلر فراوان در هوا، آب و خاك صحنه خرابي هاي بي شمار، فاجعه آميز و پر هزينه است كه مقابله با آن عزمي ملي را مي طلبد. مسلماً راهكارهايي براي آن در آيين نامه هاي عمراني انديشيده شده است اما به هر حال در اين مناطق براي بتن مسلح ميزان يون كلر محلول در آب موجود در بتن در حد ۰/۱۵ درصد وزن سيمان و براي بتن پيش تنيده ۰/۰۶ درصد وزن سيمان مي باشد كه اگر ميزان سيمان را ۴۰۰ بگيريم مقدار ۰/۶ كيلو براي بتن مسلح و مقدار ناچيز ۰/۲۵كيلو براي بتن پيش تنيده بدست مي آيد. در آب ها و سنگدانه هاي مناطق جنوبي، يون كلر زيادي موجود است. مقدار يون كلر مجاز آب ۱ گرم در ليتر و براي سنگدانه ها ۰/۰۴ تا ۰/۰۲ درصد (ريزدانه و درشت دانه) داده شده است.

با فرض مصرف ۲۰۰ كيلو آب و ۱۸۰۰ كيلو سنگدانه مقدار يون كلر آب ۰/۲ كيلو و براي سنگدانه حدود ۰/۵۵ كيلو بدست مي آيد كه سر جمع آن ۰/۷۵ كيلو و بيش از حد مجاز براي بتن مسلح و بسيار بيشتر از حد

مجاز براي بتن پيش تنيده است. لذا جايي براي يون كلر در سيمان نيست. مقدار يون كلر كارخانجات در اين مناطق معمولاً به حدود ۰/۰۵-۰/۰۴ درصد مي رسد كه ۰/۲-۰/۱۶ كيلو خواهد بود كه بايد از آن تجاوز نكند. بنابر اين بهتر است مقدار يون كلر سيمان به كمتر از ۰/۰۴ درصد محدود شود (يون كلر محلول در اسيد).

نتيجه گيري

با توجه به مطالب مطروحه مي توان به جمع بندي زير رسيد.

- سيمان مانند هر محصول ديگر بايد با نيازهاي عمراني و اجرايي سازگار باشد ضمن اين كه مشخصات استاندارد ارضا گردد.
- با توجه به شرايط موجود كشور لازم است تغييرات كوچكي در مشخصات استاندارد ايجاد شود.
- مي توان حداقل سطح ويژه را براي برخي سيمان ها مانند نوع ۴ پايين تر آورد و عملاً ذكر حداقل ريزي براي نوع ۳ ضرورتي ندارد.
- ريز كردن سيمان ها بيش از حداقل استاندارد فعلاً براي كشور ما به دليل كيفيت انبار داري ضعيف توصيه نمي شود.
- بايد زمان گيرش اوليه را براي مناطق مختلف كشور تنظيم نمود ضمن اين كه تغيير استاندارد ضروري نيست.
- افزايش مقاومت ها نسبت به حداقل استاندارد به ميزان قابل توجه توصيه نمي شود و گاه فلسفه توليد نوع سيمان مربوطه را از بين مي برد.
- اغلب اوقات افزايش مقاومت هاي كوتاه مدت موجب كاهش مقاومت هاي دراز مدت و دوام مي شود.
- يكنواختي مقاومت فشاري ملات ماسه سيمان استاندارد ضروري است. ضريب تغييرات ۵ درصد توصيه مي شود.
- اصرار بر افزايش C_3S و در نتيجه كاهش C_2S ابداً توصيه نمي شود زيرا معمولاً كاهش دوام را در پي دارد. به ويژه براي سيمان نوع ۲ و ۵ ذكر حداكثر C_3S يا حداقل C_2S در مشخصات استاندارد توصيه مي شود.
- در مناطق جنوبي كشور سيمان هاي نوع ۲ با درصد C_3A بالا توصيه مي شود.
- اصلاح مشخصات استاندارد سيمان نوع ۲ براي ايجاد حداقل C_3A براي سيمان نوع ۲ كاملاً ضروري است. اين مقدار ۵ درصد مي باشد. هم چنين در صورتي كه استفاده از سيمان نوع ۱ در مناطق جنوبي ضروري باشد حداقل C_3A در اين سيمان ها به ۶/۵ درصد و حداكثر آن به ۱۰ درصد محدود شود.
- حداكثر C_3A سيمان نوع ۵ بهتر است به ۴ درصد محدود شود تا براي سولفات هاي زياد در كشور تناسب بيشتري داشته باشد.
- محدود كردن قليايي هاي سيمان به صورت اجباري در استاندارد سيمان به ۰/۶ درصد توصيه مي شود (اين كار مي تواند براي برخي انواع سيمان ها انجام شود).
- در مناطق جنوبي گرم و مرطوب كشور بهتر است مقدار قليايي ها عملاً به كمتر از ۰/۵ درصد برسد. اين عمل موكداً توصيه مي شود زيرا علاوه بر شرايط موجود، مصرف روان كننده هاي حاوي قليايي ها رواج دارد.
- مقدار SO_3 در سيمان هاي مختلف كم تر شود. در حدي كه به زمان گيرش لطمه اي وارد نگردد.
- براي يون كلر سيمان لازم است محدوديت هايي در سيمان ها به ويژه در نوع ۲ ايجاد شود. اين محدوديت در

حدود ۰/۰۴ درصد توصيه مي شود. براي كارخانه هاي جنوب كشور اين امر ضرورت دارد.

۲- مراجع

[۱] تدين، محسن، جزوه درسي تكنولوژي بتن، دانشگاه بوعلي سينا ، ۱۳۶۳.

[۲] رمضانيانپور، علي اكبر، شاه نظري، محمد رضا، "تكنولوژي بتن"، ترجمه، ۱۳۶۹.

[۳] فاميلي، هرمز، "خواص بتن"، ترجمه، ۱۳۷۸.

[۴] موسسه استاندارد و تحقيقات صنعتي ايران، "سيمان ـ ويژگي ها ۳۸۹"، ۱۳۷۸.

[۵] موسسه استاندارد و تحقيقات صنعتي ايران، "سنگدانه هاي بتن ـ ويژگي ها ۳۰۲"، تجديد نظر دوم، مرداد ۱۳۸۱.

[۶] سازمان مديريت و برنامه ريزي ايران، "آيين نامه بتن ايران نشريه ۱۲۰"، تجديد نظر اول، ۱۳۷۹.

[۷] سازمان مديريت و برنامه ريزي ايران ـ انجمن بتن ايران، "تفسيرآيين نامه بتن ايران ـ بخش اول "، تجديد نظر اول، ۱۳۸۱(چاپ نشده است).

[۸] سازمان مديريت و برنامه ريزي ايران، مركز تحقيقات ساختمان و مسكن، "آيين نامه ملي پايايي بتن در سواحل جنوبي كشور"، ۱۳۸۳(چاپ نشده است).

[۹] قدوسي، پرويز، و همكاران، "فن آوري بتن در شرايط محيطي خليج فارس"، جلد اول مركز تحقيقات ساختمان و مسكن، ۱۳۷۸ .

[۱۰] قدوسي، پرويز، و همكاران، "فن آوري بتن در شرايط محيطي خليج فارس"، جلد دوم مركز تحقيقات ساختمان و مسكن، ۱۳۸۳ .

[۱۱] ASTM, “Annual Book of ASTM Standards Volume ۰۴،۰۱ Cement; Lime; Gypsum”, ۱۹۹۲.

[۱۲] Skanly, J., Merchand, J., Odler, I., “Sulfate Attack on Concrete”, E and FN Spon, ۲۰۰۲.

[۱۳] ACI Manual of Concrete Practice Part ۱, ۲۰۱،۲ R-۹۲, “Guide to Durable Concrete”.

[۱۴]ACI Manual of Concrete Practice Part ۱, ۲۲۱،۱ R-۹۸, “State of – the Art Report on Alkali-Aggregate Reactivity”.

[۱۵]ACI Manual of Concrete Practice Part ۱, ۲۲۵ R-۹۹, “Guide to the Selection and Use of Hydraulic Cements”.

[۱۶] ACI Manual of Concrete Practice Part ۱, ۲۲۲ R-۹۶, “Corrosion of Metals in Concrete”.

[۱۷] Broomfield, J., P., “Corrosion of Steel in Concrete ” E and FN Spon, ۱۹۹۷.