

جناب آقای دکتر تدین

مواردی در آئین نامه جدید بتن ایران در مورد مواد افزودنی پودری معدنی و مکمل سیمان در فصل ۳ و ۵ و حتی ۶ وجود دارد که تا حدودی نامفهوم است. بویژه مفهوم ضریب k برای این مواد مورد سوال است. هم چنین در روش ملی طرح مخلوط بتن بویژه در ویرایش سوم چنین ضریبی وجود دارد که نسبت آب به سیمان معادل را مطرح می کند (ظاهراً در ویرایش قبلی نیز بوده است). بطور کلی پرسش های مشخص بنده در زیر بصورت خلاصه وار می آید.

الف: اصولاً مفهوم ضریب k چیست؟

ب: در فصل ۳ در بندت ۳-۳-۸-۳-۴ در قسمت توضیح و تفسیر گفته شده است که مقدار k به کیفیت مواد جایگزین سیمان، درصد جایگزینی، نوع و رده مقاومتی سیمان مصرفی، مقاومت بتن و نسبت آب به مواد سیمانی بتن بستگی دارد. آیا k یک ضریب ثابت نیست؟

پ: هدف از محاسبه نسبت آب به سیمان معادل یا نسبت آب به مواد سیمانی معادل که در تفسیر و توضیح فصل پنجم (ت ۵-۸-۳) چیست؟ چه تفاوتی با نسبت آب به سیمان یا مواد سیمانی دارد؟ کاربرد آن چیست؟

ث: در فصل ۶ در جدول ۶-۷ و در بند ۶-۴-۳-۲ در مورد حداقل سیمان یا مواد سیمانی معادل مجدداً از ضریب اصلاح k استفاده شده است. در اینجا نیز ابهاماتی وجود دارد. در مواردی نیز گفته شده است وقتی درصد جایگزینی بیش از حد خاصی می شود از اثر مقادیر بیشتر صرف نظر می گردد. اینها به چه معناست؟

ج: آیا در فصل ۶ یا مواردی که بحث از حداکثر سیمان یا مواد سیمانی به میان می آید نیز ضریب k می تواند مطرح شود و آیا مانند حداقل سیمان یا مواد سیمانی معادل خواهد بود؟ آیا تجاوز از درصد جایگزینی خاصی موجب می شود که از تاثیر مقادیر بیشتر صرف نظر گردد؟

چ: در فصل پنجم (روش طرح مخلوط بتن) دربندهای ۵-۱-۲-۵ تا ۵-۱-۲-۵ به ضریب k برای تعیین نسبت آب به سیمان معادل جهت دستیابی به مقاومت فشاری اشاره شده است اما برخلاف مواردی که در جدول ۶-۷ آبا مطرح شده بود ضریب k عدد ثابتی برای یک ماده جایگزین سیمان نیست. برای مثال ضریب k برای دوده سیلیسی ۲ تا ۴ منظور شده است. چرا این تفاوت وجود دارد؟ هم چنین این ضریب برای سرباره بین ۰.۴ تا ۰.۸، برای خاکستری بادی ۰.۲ تا ۰.۴، برای پوزولانهای طبیعی ۰.۲ تا ۰.۴، برای زئولیت ۰.۸ تا ۱/۲ را، برای متاکائولن بین ۱/۵ تا ۲ داده شده است؟

ح: در روش ملی طرح مخلوط نیز در اعمال محدودیت حداقل عیار سیمان دربندهای ۲-۲-۵ نیز مطالبی برای k ذکر شده و گاه k برای مواردی از جمله میکروسیلیس به ۱ محدود شده است چرا؟

بهرحال در پایان به استحضار می رسانم که این ضریب k باعث سردرگمی اینجانب و برخی از دوستان و همکاران شده است. استدعا دارم، ما را از این ابهامات بیرون آورید؟

امیرمسعود سلیمی

مهندسین مشاور سیناب غرب

جناب آقای مهندس سلیمی

درباره مفهوم ضریب k در آئین نامه جدید بتن ایران و هم چنین در ویرایش سوم و حتی ویرایش های قبلی روش ملی طرح مخلوط بتن، پاسخ های مورد نظر در ذیل از نظر جنابعالی خواهد گذشت. امیدوارم بتوانم توضیحات مبسوط و مناسبی را داشته باشم. بهر حال در طی چند سالی که از تدوین آبای جدید می گذرد، جنابعالی اولین فردی بوده اید که در این مورد سوال نموده اید. هر چند از زمانی که این ضریب در روش ملی طرح مخلوط آمده است چندین مورد با پرسش های شفاهی در دوره های روش ملی طرح مخلوط روبرو شده ام که پاسخ مختصری به آن داده شده است.

الف: ابتدا باید بگویم که ضریب k در EN206 مشاهده شده است و عمدتاً در ارتباط با محدودیت حداقل سیمان (مواد سیمانی) بوده است. این مفهوم سپس

در روش های طرح مخلوط بتن برخی از کشورهای اروپایی دیده می شود. در مورد خلاصه مفهوم ضریب K می توان گفت که هر کیلو از ماده پوزولانی یا سرباره ای معادل چند کیلو از سیمان، عملکرد خواهد داشت. در روش ملی طرح مخلوط بتن و آبای جدید چنین مفهومی ارائه شده است. عملکرد ماده پوزولانی یا سرباره ای می تواند در ارتباط با مقاومت فشاری بتن یا نسبت آب به مواد سیمانی در ارتباط با مقاومت فشاری مطرح گردد. بهرحال سایر ویژگی های بتن مانند مقاومت کششی یا خمشی را نیز می تواند شامل گردد که کمتر بدان اشاره شده است.

این عملکرد می تواند در ارتباط با دوام بتن حاوی مواد پوزولانی و سرباره ای نیز مطرح گردد. موضوع دوام بسیار گسترده است و به بحث های سایش، یخ زدن و آب شدن پی در پی، نفوذ پذیری و جذب آب، نفوذ یون کلرید و موضوع خوردگی میلگردها، حمله سولفاتی و غیره تقسیم می گردد. برخی از این موارد مانند نفوذپذیری و جذب آب، آزمایش هایی مختلف و شاخص های متنوعی دارد. هم چنین در مورد نفوذ یون کلرید و خوردگی، آزمایش هایی همچون $RCPT$ ، $RCMT$ ، مقاومت الکتریکی سطحی و حجمی، هدایت الکتریکی و ضریب انتشار یون کلرید وجود دارد. برای هر کدام از این موارد ضریب K می تواند وجود داشته باشد.

در یکی از نشریات استاندارد اروپا (گزارش فنی) $CEN/TR16639$ مفصلاً در مورد ضریب K و نحوه بدست آوردن آن مباحثی ارائه شده است.

ب: همانطور که اشاره فرموده اید در بند ۳-۳-۸-۳-۴ آبای جدید مقدار K را تلویحاً یک مقدار غیر ثابت دانسته است، هر چند در جدول ۶-۷ ضریب K را ثابت در نظر گرفته است، با مراجعه به منابع معتبر مشخص می شود که مقدار K ثابت نیست اما به ناچار گاه بصورت ثابت در نظر می گیرند. کیفیت پوزولان یا سرباره از عوامل موثر در تغییر مقدار K می باشد. بدیهی است این امر بسیار طبیعی است. با توجه به ویژگی های پوزولانی و ویژگی های هیدرولیکی مواد سرباره ای، تاثیر آنها در بتن متفاوت است و K مقاومتی و k مرتبط به پارامترهای دوام آنها نمی تواند یکسان باشد. برای مثال فرض کنید که برای یک

میکروسیلیس، حداقل نسبت مقاومت ملات حاوی آن به ملات سیمان بدون میکروسیلیس در سن ۷ روزه تسریع شده یعنی ۱۰۵ درصد برقرار باشد و برای میکروسیلیس دیگر این عدد ۱۲۵ درصد باشد. بدیهی است رفتار این دو میکروسیلیس در بتن یکسان نیست. این غیر یکسان بودن هم در بحث ضریب K مقاومتی و هم در ضرایب K دوام تسری خواهد داشت. هم چنین فرض کنید اندیس هیدرولیکی یک سرباره ۸۰ یا ۱۰۰ یا ۱۲۰ (رده های مختلف سرباره طبق استاندارد $ASTMC989$ یا $EN15167$ یا استاندارد ملی ۲۱۳۱۹) باشد. بنابراین نمی توان آنها را یک ماده ثابت با K یکسان و ثابت در نظر گرفت. هم چنین درصد جایگزینی آنها نیز بر مقدار K اثرگذار است. برای مثال ۵ درصد جایگزینی میکروسیلیس تا حدودی و ۱۰ درصد جایگزینی آن به شدت تاثیرگذار است (هم بر K مقاومت و هم بر K دوام).

براحتی دیده می شود که وقتی رده مقاومتی سیمان تغییر می کند مقدار k نیز تغییر می کند. هم چنین در نسبت های آب به مواد سیمانی تاثیر مواد افزودنی مربوطه تغییر می کند بنابراین پرواضح است که k نمی تواند ثابت باشد اما ممکن است برای سهولت و هم چنین اضطرار، آنرا در بسیاری از موارد ثابت در نظر بگیریم.

پ: همانطور که اشاره نموده اید در تفسیر بند ۵-۸-۳ آبای جدید، این موضوع بخوبی توضیح داده شده است. زمانی که از نسبت آب به مواد سیمانی یا نسبت آب به سیمان یاد می کنیم در مخرج کسر مقدار سیمان (اعم از پرتلند یا آمیخته) و یا مجموع سیمان و مواد چسباننده مکمل می آید.

هر ماده ای مانند پوزولانها اعم از طبیعی یا مصنوعی و انواع سرباره ها که می توانند نقش کمک چسباننده را به همراه سیمان ایفا کنند بعنوان ماده چسباننده و یا مواد مکمل سیمانی تلقی می شود و در مخرج کسر به همراه سیمان پرتلند یا آمیخته برای برای محاسبه نسبت آب به سیمان یا آب به مواد سیمانی (چسباننده) می آید. در این رابطه باید گفت که موادی مانند پودرسنگ های آهکی، سیلیسی و گرانیتی و مشابه آن که نقش چندانی در کسب مقاومت های کوتاه مدت و دراز مدت ندارند و بطور جدی در هیدراته شدن سیمان و

مواد آزاد شده (محصولات هیدراته شدن) وارد نمی شوند، بعنوان ماده مکمل سیمان یا مواد چسباننده شناخته نمی شوند. اما نکته مهم نسبت آب به سیمان معادل یا نسبت آب به مواد سیمانی معادل است که معادل عملکردی نسبت آب به سیمان یا نسبت آب به مواد سیمانی می باشد اعم از اینکه عملکرد مقاومتی یا دوامی مدنظر باشد.

در این رابطه ماده مکمل (چسباننده) با ضریبی بنام k در مخرج کسر ضرب می شود و با سیمان مصرفی جمع می گردد. فرض کنید در روش ملی طرح مخلوط (ویرایش سوم) برای مقاومت فشاری هدف، مقدار ۴۰ مگاپاسکال لازم باشد. در این حالت برای سیمان رده ۳۲۵ و سنگدانه درشت شکسته نسبت آب به سیمان در حدود ۰/۴۵ بعنوان راهنما در نظر گرفته می شود (استفاده از افزودنی های روان کننده نیز در دستور کار بوده است). در این حالت اگر قرار باشد بعنوان مثال از دوده سیلیسی استفاده گردد می توان از نسبت آب به مواد سیمانی بالاتری استفاده کرد که آن نسبت، عملاً همان نسبت آب به سیمان معادل (نسبت آب به مواد سیمانی معادل) نام دارد که می تواند ما را به همان مقاومت ۴۰ مگاپاسکال برساند. هم چنین فرض کنید که مقدار آب آزاد طرح ۱۸۰ و مقدار مواد سیمانی ۴۰۰ بوده است و درصد میکروسیلیس جایگزین نیز ۵

$$\left(\frac{w}{c_m}\right)_e = \frac{180}{380+2 \times 20} = 0/43 \quad \text{باشد (یعنی حدود ۲۰ کیلو)}$$

در این حالت بین ۲ تا ۴ در فصل پنجم در روش طی طرح مخلوط (ویرایش سوم) منظور شده است که ما در اینجا همان عدد ۲ را در نظر می گیریم. یعنی این بتن عملاً مشابه بتنی با نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۴۵ عمل می کند و مقاومت هدف ۴۲ مگاپاسکال را بدست می دهد.

اگر قرار باشد همان ۴۰ مگاپاسکال را داشته باشیم

$$0/45 = \frac{180}{\text{مواد سیمانی معادل}} \quad \text{میکروسیلیس*۲+سیمان=۴۰۰=مواد سیمانی معادل}$$

$$385 = \text{جمع مواد سیمانی کیلو } 18 = \text{مقدار میکرو سیلیس کیلو } 400 = x + 2(0/05 * x) \quad x = 367$$

بنابراین عملاً این مقدار مواد سیمانی همان کار ۴۰۰ کیلو سیمان را خواهد کرد.

در این مثال اگر بجای دوده سیلیسی از حدود ۳۰ درصد سربراره ایرانی استفاده شود با توجه به آنچه در فصل پنجم ویرایش سوم روش طرح مخلوط بتن آمده

است، مقدار k بین $0/4$ تا $0/8$ داده شده است که در این مثال با توجه به درصد سرباره و شرایط آن مقدار k برابر $0/6$ منظور می شود. بنابراین عملاً

یعنی در این شرایط مقاومت حاصله برابر حدود ۳۳ مگاپاسکال را در سن ۲۸ روز

$$0/45 = \frac{180}{\text{مواد سیمانی}}$$

$400 = (\text{سیمان} * 0/3) + 0/6 = \text{مواد سیمانی معادل}$

$$x + 0/6(0/3*x) = 400 \quad \text{کیلو} \quad x = 340 \quad \text{کیلو} \quad \text{مقدار سرباره} = 120$$

ج: در بند ۶-۴-۳-۲ آبای سال ۱۴۰۰ و در جدول ۶-۷ زمانی که بحث حداقل سیمان مصرفی یا مواد سیمانی معادل مطرح می شود این ضرائب برای مواد مکمل سیمانی بکار می رود و لزوماً دلیلی برای اینکه این ضرائب مانند ضرائب طرح مخلوط باشد وجود ندارد هر چند ممکن است عددهای آنها تا حدودی شبیه به یکدیگر باشد.

لازم به ذکر است که این بند و جدول ۶-۷ در بحث دوام (فصل ۶) آبا آمده است و موضوع مقاومتی مطرح نیست.

مقدار حداکثر جایگزینی در جدول ۶-۷ نیز مطرح شده است و در زیر بند الف بند ۶-۴-۳-۲ نیز ذکر شده است که اگر در صد جایگزینی این مواد بیش از مقادیر ذکر شده در جدول ۶-۷ باشد از منظور نمودن مقادیر مازاد در محاسبه حداقل مقدار سیمان معادل، صرفاً برای دوام صرف نظر می گردد در حالی که برای مقاومت چنین موضوعی مطرح نشده است زیرا مقادیر مازاد از نظر دوام، کارایی خاصی ارائه نمی دهند.

چ: در بحث حداکثر سیمان مصرفی یا مواد سیمانی مصرفی، سخنی از ضریب k به میان نیامده است، بنظر می رسد در اینجا اصولاً ضریب k مطرح نیست و صرفاً مجموع سیمان و ماده مکمل سیمانی موضوعیت دارد و تجاوز از درصد مجاز جایگزینی نیز مطرح نیست و صرف نظر کردن از مقادیر مازاد نیز موضوعیت ندارد

ح: در فصل پنجم روش طرح مخلوط بتن (ویرایش سوم) در بندهای ۵-۲-۱-۱ تا ۵-۲-۱-۵، ضریب k عمدتاً از نظر مقاومتی آمده است بهر حال از نظر دوام هم تفاوت در ضریب می تواند موضوعیت داشته باشد. در آبای سال ۱۴۰۰ این

ضریب صرفاً در مورد دوام است و ثابت فرض شده است در حالی که می تواند ثابت نباشد زیرا پارامترهای دوام بسیار گوناگون هستند. در این مورد تحقیقات محدودی انجام شده است. آقای مهندس خانی هم اکنون در دانشگاه صنعتی شاهرود به این موضوع پرداخته اند و تحت نظر اینجانب در حال تحقیق خود در دوره دکترا هستند و نتایج اولیه ایشان نشان می دهد که k در بحث دوام نمی تواند برای یک نوع ماده مکمل سیمانی برای پارامترهای مختلف دوام همچون جذب آب نیم ساعته، $RCMT, RCPT$ ، مقاومت الکتریکی و حتی یخ بندان و دوام در برابر حمله سولفاتها، سایش و غیره یکسان باشد.

خ: در روش ملی طرح مخلوط همانطور که در عنوان بند ۲-۲-۵ ذکر شده است محدودیت عیار مواد سیمانی از نظر دوام مطرح گشته است و بنابراین وقتی درصد میکروسیلیس (بصورت جایگزین) بیشتر از ۱۰ درصد و نسبت آن به سیمان از ۱۱ درصد بیشتر می شود مقدار اضافی در محاسبه وارد نمی گردد. همچنین وقتی نسبت آب به سیمان بزرگتر از ۰/۴۵ باشد و بتن در معرض یخبندان و آب شدن و هم چنین کربناته شدن واقع گردد، مقدار K برای میکروسیلیس عملاً برابر ۱ منظور می شود یعنی از نظر دوام خاصیت مثبتی را دارا نمی باشد.

در پایان امیدوارم که این موضوع پرابهام برای همه دست اندرکاران بخوبی روشن شده و ابهام زدائی شده باشد.

محسن تدین

انجمن بتن ایران