



اثر میکروسیلیس بر روی زمان گیرش و جمع شدگی در داخل قالب بتن های توانمند

علی اکبر رمضانیانپور استاد دانشگاه امیر کبیر
موسی مظلوم مربی دانشگاه زنجان

چکیده

این مقاله حاصل کارهای آزمایشگاهی انجام شده بر روی زمان گیرش و تغییر شکل های اولیه بتن های با مقاومت بسیار زیاد و دارای درصد های مختلف میکروسیلیس می باشد. از روش مقاومت در برابر نفوذ (ASTM C 403) برای تعیین زمان های گیرش اولیه و نهایی بتن استفاده شده است. در این روش ابتدا بتن ساخته می شود و سپس با استفاده از الک نمره چهار سنگدانه های درشت آن جدا می گردند. این آزمایش به دلیل آنکه بر روی ملات بدست آمده از بتن انجام می شود بهتر از روش های عنوان شده در BS 4550 و ASTM C 191 و ASTM C 266 می باشد.

از نتایج این قسمت برای یافتن نقطه شروع جمع شدگی خود به خودی بتن، که بیشترین مقدار جمع شدگی در بتن های با مقاومت بسیار زیاد را به خود اختصاص می دهد، استفاده شده است. لازم به ذکر است که بتن ساعت ها قبل از باز شدن قالب ها به نقطه آغاز فوق می رسد.

نتایج این تحقیقات نشان می دهند که با افزایش درصد میکروسیلیس زمان های گیرش اولیه و نهایی افزایش میابند. این موضوع در مورد جمع شدگی در داخل قالب صادر نیست و در واقع حضور میکروسیلیس باعث کاهش آن می گردد.

مقدمه

جمع شدگی خود به خودی بتن پدیده ای است که به علت هیدراتاسیون مصالح سیمانی و مصرف شدن رطوبت داخل بتن و در نتیجه خشک شدگی خود به خودی آن بوجود می آید. این نوع جمع شدگی که در آن هیچگونه رطوبتی از داخل به خارج بتن و یا از خارج به داخل آن راه نمی یابد، بعد از گیرش اولیه بتن آغاز می شود [۱]. در بتن های با مقاومت بالا مقدار این نوع جمع شدگی به شدت افزایش می یابد [۲]. در سنین اولیه که بتن نسبت به ترک های ناشی از جمع شدگی بسیار حساس می باشد [۳]، این پدیده باید به دقت مورد توجه قرار گیرد.

با توجه به نتایج تحقیقات انجام شده توسط سایرین می توان گفت که عوامل موثر بر جمع شدگی خود به خودی عبارتند از: نوع سیمان و نرمی آن، وجود افزودنی های معدنی و شیمیایی، نوع و مقدار سنگدانه های مصرفی [۴]؛ نسبت آب به مصالح سیمانی [۵] و مقدار میکروسیلیس جایگزین [۶].

در این مقاله نتایج حاصل از تحقیقات انجام شده بر روی اثر مقدار میکروسیلیس در جمع شدگی داخل قالب بتن های توانمند ارائه شده است.

مصالح مصرفی

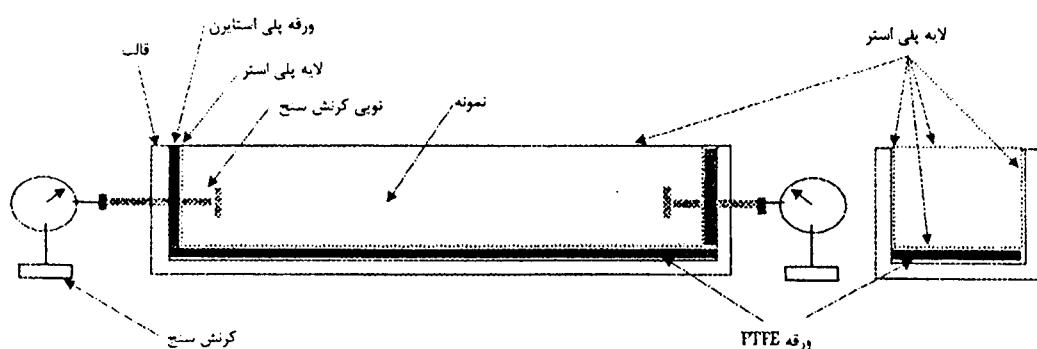
مصالح استفاده شده در این تحقیق عبارتند از: سیمان پرتلند معمولی، میکروسیلیس، ماسه رودخانه ای طبیعی، شن کوارتزی با حد اکثر اندازه ده میلیمتر و فوق روان کننده ای با نام سیکامت ده با وزن مخصوص ۱/۱۱ کیلو گرم بر لیتر. نسبت های اختلاط بتن های ساخته شده و مقاومت های بیست و هشت روزه آنها در جدول شماره یک آمده اند.

جدول ۱- جزئیات کامل نسبت های اختلاط

| مخلفوت | بتن بدون میکروسیلیس | % ۵ میکروسیلیس | % ۱۰ میکروسیلیس | % ۱۵ میکروسیلیس |
|--|------------------------|-------------------|--------------------|--------------------|
| (kg/m ³) سیمان | ۴۵۰ | ۴۲۷/۵ | ۴۰۵ | ۳۸۲/۵ |
| (kg/m ³) میکروسیلیس | --- | ۲۲/۵ | ۴۵ | ۶۷/۵ |
| (kg/m ³) شن | ۱۱۲۵ | ۱۱۲۵ | ۱۱۲۵ | ۱۱۲۵ |
| (kg/m ³) ماسه | ۶۷۵ | ۶۷۵ | ۶۷۵ | ۶۷۵ |
| (kg/m ³) آب | ۱۲۶ | ۱۲۶ | ۱۲۶ | ۱۲۶ |
| نسبت آب به مصالح سیمانی | ۰/۲۸ | ۰/۲۸ | ۰/۲۸ | ۰/۲۸ |
| فوق روان کننده (kg/m ³) | ۱۴ | ۱۴ | ۱۴ | ۱۴ |
| وزن مخصوص پلاستیک (kg/m ³) | ۲۴۰۷ | ۲۴۲۴ | ۲۴۰۲ | ۲۳۸۳ |
| مقاومت روزه (MPa) | ۸۶/۷ | ۱۰۵/۷ | ۱۱۳/۹ | ۱۱۷/۵ |
| اسلامپ (mm) | ۱۰۰ | ۲۰۰ | ۱۵۰ | ۷۰ |

روش آزمایش

ابعاد قالب استفاده شده به منظور تعیین میزان جمع شدگی بتن بعد از زمان گیرش اولیه با توجه به آیین نامه JCI برابر با $100 \times 100 \times 100$ میلیمتر مکعب در نظر گرفته شده است [۱]. جزئیات کامل این قالب که بطور کامل با ظوابط مندرج در آیین نامه فوق منطبق است در شکل شماره یک آمده است.

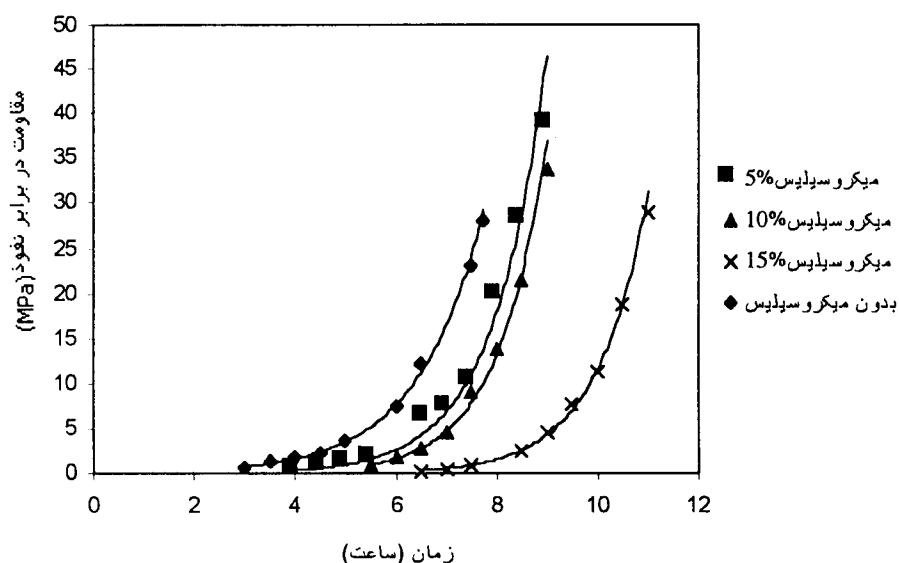


شکل ۱- اندازه گیری کرنش بتن قبل از باز کردن قالب

قرائت تغییر شکل ها پس از رسیدن به زمان گیرش اولیه بتن آغاز شده است. از روش مقاومت در برابر نفوذ (ASTM C 403) برای تعیین زمان های گیرش اولیه و نهایی بتن استفاده شده است. در این روش ابتدا بتن ساخته می شود و سپس با استفاده از الک نمروه چهار سنگانه های درشت آن جدا می گردد. زمان گیرش را می توان با استفاده از روش ویکات بر طبق آیین نامه انگلستان (BS 4550) و یا آیین نامه آمریکا با سوزن ویکات (ASTM C 191) و یا سوزن گیلمور (ASTM C 266) تعیین نمود. اما روش های فوق برای بتن چندان مناسب نمی باشد، چرا که نسبت آب به مصالح سیمانی بکار رفته در این روش ها با این نسبت در بتن متفاوت است [۷]. تنها روش استاندارد، که در این تحقیق نیز از آن استفاده شده است، روش مقاومت در برابر نفوذ می باشد.

نتایج و بحث

در شکل شماره دو مقدار مقاومت در برابر نفوذ مخلوط های مختلف بر حسب زمان به تصویر کشیده شده است. بر طبق روش ارائه شده در ASTM C 403 زمانی که مقدار مقاومت در برابر نفوذ ملات به ترتیب برابر ۳/۵ و ۲۷/۶ مگاپاسکال باشد، گیرش های اولیه و نهایی حاصل می گردد. در جدول شماره یک مقادیر گیرش های اولیه و نهایی مخلوط های مختلف آمده اند.



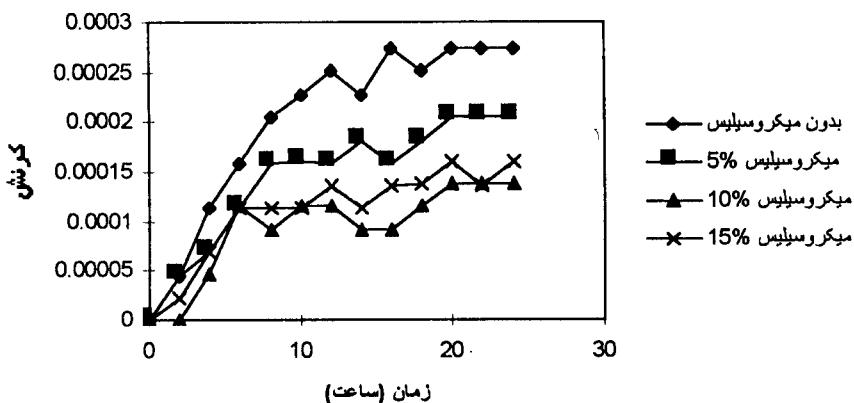
شکل ۲ - مقاومت در برابر نفوذ بتن

جدول ۲ - مقادیر گیرش های اولیه و نهایی مخلوط های مختلف

| مخلوط | گیرش اولیه(ساعت) | گیرش نهایی(ساعت) |
|--------------------------|------------------|------------------|
| بتن بدون میکروسیلیس | ۴/۹۹۴ | ۷/۶۷۴ |
| بتن دارای ۵٪ میکروسیلیس | ۶/۳۰۹ | ۸/۴۶۰ |
| بتن دارای ۱۰٪ میکروسیلیس | ۶/۷۲۸ | ۸/۷۳ |
| بتن دارای ۱۵٪ میکروسیلیس | ۸/۸۶۱ | ۱۰/۹۲۷ |

نتایج فوق نشان می دهد که جایگزینی میکروسیلیس به جای بخشی از سیمان مقادیر گیرش اولیه و نهایی را افزایش می دهد. لازم به ذکر است که این افزایش با بیشتر شدن درصد میکروسیلیس افزوده می گردد. همانطور که قبلان نیز اشاره شده است نقطه شروع جمع شدگی خود به خودی زمان گیرش اولیه است [۱].

در شکل شماره سه تغییر طول های نسبی داخل قالب بتن های مورد بحث به مدت بیست و چهار پس از گیرش اولیه ترسیم شده اند. نکته جالب توجه این شکل این است که مقدار جمع شدگی داخل قالب برای هیچیک از این بتن ها قابل صرف نظر کردن نیست. البته همانطور که مشهود است، با افزایش درصد میکروسیلیس مقدار جمع شدگی داخل قالب این بتن ها کاهش یافته است. در واقع این شکل نشان می دهد که یکی از راه های مقابله با افزایش مقدار این نوع جمع شدگی، بالا بردن درصد میکروسیلیس می باشد.

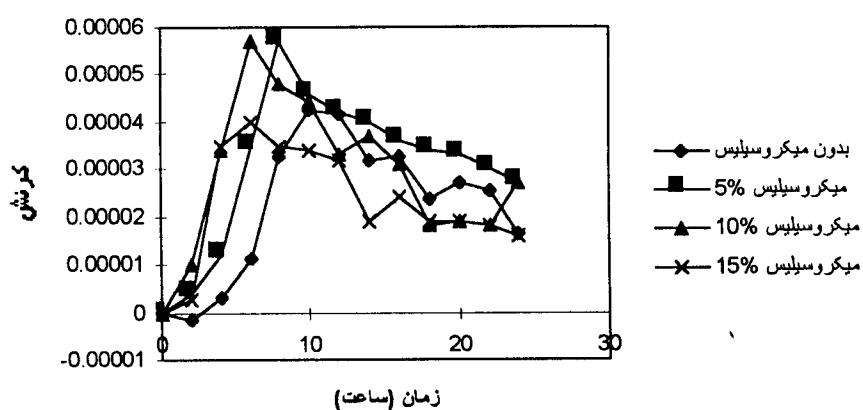


شکل ۳ - کرنش کل بتن در داخل قالب

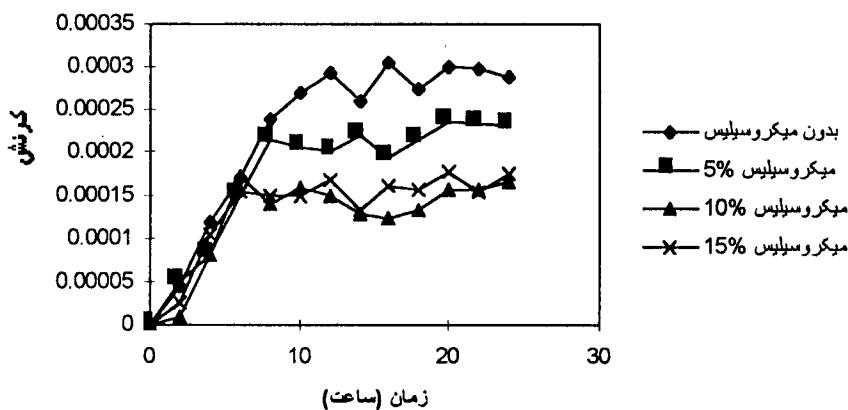
نکته دیگری که میتواند در کرنش های اولیه بتن موثر باشد، افزایش حرارت هیدراتاسیون در این سنین است. برای در نظر گرفتن این موضوع درجه حرارت تمامی بتن های مورد مطالعه در سه نقطه از آن در طول آزمایش ثبت شده اند. جدول سه متوسط مقادیر فوق را در سنین مختلف نشان می دهد. همانطور که ملاحظه میشود در کلیه نمونه ها و در تمام زمان آزمایش، درجه حرارت بیش از نقطه شروع بوده است. البته بطور متوسط پس از حدود هفت ساعت، شدت افزایش درجه حرارت کمتر شده است. برای اندازه گیری مقدار کرنش حاصل از تغییرات درجه حرارت، ضریب متوسط انبساط حرارتی کلیه نمونه ها برابر $10E-6^{\circ}\text{C}$ فرض شده است [۱]. در شکل چهار کرنش ناشی از تغییرات درجه حرارت در سنین مختلف به تصویر کشیده شده است. تغییر شکل های نسبی حاصله با کرنش های اندازه گیری شده شکل سه جمع جبری گردیده اند و نتیجه نهایی در شکل پنج نشان داده شده است. با مقایسه دو شکل سه و پنج می توان گفت که حرارت هیدراتاسیون بطور متوسط حدود دوازده درصد، که چندان هم قابل توجه نیست، از مقدار جمع شدگی داخل قالب کاسته است.

جدول ۳- تغییرات درجه حرارت بتن در طول زمان

| زمان(ساعت) | بتن بدون میکروسیلیس | بتن دارای ۵٪ میکروسیلیس | بتن دارای ۱۰٪ میکروسیلیس | بتن دارای ۱۵٪ میکروسیلیس |
|------------|------------------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| ۰ | ۱۸/۷۷ | ۲۰/۱ | ۲۰/۳ | ۱۹/۷ |
| ۲ | ۱۸/۶۳ | ۲۰/۵ | ۲۱/۳ | ۲۰ |
| ۴ | ۱۹/۱ | ۲۱/۳ | ۲۳/۷ | ۲۳/۲ |
| ۶ | ۱۹/۹ | ۲۳/۶ | ۲۶ | ۲۳/۷ |
| ۸ | ۲۲/۰۳ | ۲۵/۸ | ۲۵/۱ | ۲۳/۲ |
| ۱۰ | ۲۳/۰۳ | ۲۴/۷ | ۲۴/۷ | ۲۳/۱ |
| ۱۲ | ۲۲/۹۳ | ۲۴/۳ | ۲۳/۶ | ۲۲/۹ |
| ۱۴ | ۲۱/۹۷ | ۲۴/۱ | ۲۴ | ۲۱/۶ |
| ۱۶ | ۲۲/۰۳ | ۲۳/۷ | ۲۳/۴ | ۲۲/۱ |
| ۱۸ | ۲۱/۱۳ | ۲۳/۵ | ۲۲/۱ | ۲۱/۶ |
| ۲۰ | ۲۱/۵ | ۲۳/۴ | ۲۲/۲ | ۲۱/۶ |
| ۲۲ | ۲۱/۳ | ۲۳/۱ | ۲۲/۱ | ۲۱/۵ |
| ۲۴ | ۲۰/۴۳ | ۲۲/۸ | ۲۳ | ۲۱/۳ |



شکل ۴- تغییرات درجه حرارت بتن در داخل قالب



شکل ۵ - جمع شدگی خودبهخودی بتن در داخل قالب

قابل توجه بودن مقدار جمع شدگی داخل قالب بتن های با نسبت آب به سیمان بسیار کم مهمترین نکته ای است که این تحقیق نشان می دهد. چرا که بتن در این ساعات دارای مقاومت بسیار کمی در برابر تنש های کششی است و وجود هر گونه مانعی در برابر تغییر شکل های فوق می تواند در سازه ترک ایجاد نماید [۳]. به عنوان مثال آرماتور های موجود در عضو سازه ای می توانند با وجود آوردن این ممانعت باعث ظاهر شدن ترک های مؤینه در بتن پیرامون خود گردند. وجود این ترک ها باعث افزایش نفوذ پذیری و در نتیجه کاهش عمر مفید سازه، به خصوص در مناطق دارای شرایط محیطی شدید و خورنده می شود. البته این تحقیق برای نسبت آب به سیمان بسیار کم (۰/۲۸) انجام شده است و در نسبت های بالاتر از شدت جمع شدگی خود به خودی کاسته می شود [۸] و [۹]. سایر محققین نیز برای جلوگیری از اثرات منفی جمع شدگی خود به خودی، کاهش بیش از حد نسبت آب به سیمان را منع نموده اند [۱۰]. یکی از راه حل هایی که این تحقیق برای کم کردن تغییر شکل های فوق در فاصله زمانی گیرش اولیه و باز کردن قالب پیشنهاد می کند، استفاده از میکروسیلیس در مخلوط است. البته مقدار جمع شدگی خود به خودی پس از باز کردن قالب ها با افزایش میکروسیلیس بیشتر می گردد [۲] و [۹]. استفاده از الیاف نیز در کاهش خطر ترک خوردن بتن های توانمند موثر می باشد [۱۱] و [۱۲].

موضوع دیگر این است که با افزایش درصد میکروسیلیس، زمان های گیرش اولیه و نهایی افزایش یافته اند. این نکته به این علت است که میکروسیلیس در ابتدا از نظر شیمیابی فعال نمی باشد و در واقع پس از هیدراتاسیون سیمان و تولید هیدروکسید کلسیم است که میتواند فعالیت پوزولانی خود را آغاز کند [۱۳]. در واقع چون با افزایش میکروسیلیس مقدار سیمان مخلوط کاهش می یابد، زمان بیشتری لازم است که بتن جوان دارای سیمان کمتر مقاومت در برابر نفوذ مشخصی را از خود نشان دهد. کاهش جمع شدگی خود به خودی در داخل قالب به علت میکروسیلیس نیز این نکته را تائید می کند.

آخرین مطلب قابل ذکر این است که حرارت هیدراتاسیون ایجاد شده توسط واکنش های شیمیابی باعث ایجاد تغییر شکل هایی در خلاف جهت جمع شدگی اولیه می گردد و در واقع طبیعت تا حدی مسئله تغییر شکل های داخل قالب را تعديل می کند [۱۴]. البته نتایج تحقیقات حاضر نشان می دهند که مatasفانه کمک فوق چندان شایان توجه نیست.

نتیجه گیری

۱. مقدار جمع شدگی در داخل قالب بتن های با مقاومت بالا را در فاصله زمانی بین گیرش اولیه و باز کردن قالب نمی توان نادیده گرفت.
۲. زمان های گیرش اولیه و نهایی بتن با بیشتر شدن مقدار میکروسیلیس جایگزین شده افزایش می یابند.
۳. مقدار جمع شدگی در داخل قالب بتن با بیشتر شدن مقدار میکروسیلیس کاهش می یابد.

۴. حرارت هیدراتاسیون ایجاد شده در سنین اولیه باعث کاهش جمع شدگی در داخل قالب می گردد.

مراجع

1. JCI Committee Report, Technical Committee on Autogenous Shrinkage of Concrete , in Proceedings of International Workshop on Autogenous Shrinkage of Concrete, Japan, 1998.
2. Brooks J.J., Cabrera J.G. and Megat Johari M.A. "Factors affecting the autogenous shrinkage of silica fume high-strength concrete" , in Proceedings of International Workshop on Autogenous Shrinkage of Concrete, Japan, 1998.
3. Kasai Y., Yokoyama K. and Matsui I. "Tensile properties of early age concrete" ,Mechanical Behavior of Materials, Society of Materials Science, Vol. 4, Japan, 1972.
4. Tazawa E. and Miyazawa S. "Influence of constituent and composition on autogenous shrinkage of cementitious materials" , Magazine of Concrete Research, 49, No. 178, 1997.
5. Tazawa E. and Miyazawa S. "Autogenous shrinkage of concrete and its importance in concrete technology" , the Fifth International RILEM Symposium on Creep and Shrinkage of Concrete, 1993.
6. Jensen O.M. and Hansen P.F. "Autogenous deformation and change of relative humidity in silica fume-modified cement paste" , ACI Materials Journal, Vol. 93, No. 6, 1996.
7. Eren O., Brooks J.J. and Ccelik T. "Setting times of fly ash and slag-cement concretes as affected by curing temperature" ,Cement, Concrete, and Aggregates, 1995.
8. Tazawa E. and Miyazawa S. "Effect of constituents and curing condition on autogenous shrinkage of concrete" , in Proceedings of International Workshop on Autogenous Shrinkage of Concrete, Japan, 1998.
9. Persson B. "Experimental studies on shrinkage of high-performance concrete" Cement and Concrete Research, Vol. 28, No. 7, 1998.
10. De Larrard F., Ithurralde G., Acker P. and Chauvel D. "High performance concrete for a nuclear containment" ,Second International Symposium on Utilization of High Strength Concrete, Berkley, ACI SP 121-27, 1990.
11. Banthia N., Yan C. and Mindess S. "Restrained shrinkage cracking in fiber reinforced concrete: a novel test technique" , Cement and Concrete Research, Vol. 26, No. 1, 1996.
12. Paillere A.M., Buil M. and Serrano J.J. " Effect of fiber addition on the autogenous shrinkage of silica fume concrete" , ACI Materials Journal, No. 86-m 13, 1989.
13. Neville A.M., Properties of Concrete, 4th Edition, Longman, 1995.
14. Brooks J.J., Megat Johari M.A. and Mazloom M. "Autogenous shrinkage of high-strength concrete from very early age" , in Proceedings of the 9th BCA Annual Conference on Higher Education and the Concrete Industry, Cardiff University, 1999.