آدرس : مشهد، بلوار ملک آباد، فرهاد ۱۸، پلاک ۱۲۶
تلفن : ۷۶۵ ۹۲ ۴۷ فاکس: ۷۶۷ ۸۳ ۸۷
Website: www.clcir.com
Email: clcir@yahoo.com

# جمع شدگی بتن های سبک و روشهای اندازه گیری آن در استانداردها و ادبیات فنی

محمد شکرچی زاده[۱] ، سهند عسگرپور[۱]، سینا خدابخش رشاد[۱] ، احسان کامل[۱]

۱- انستیتو مصالح ساختمانی دانشگاه تهران

تلفن: ۸۸۹۷۳۶۳۱ (انستیتو مصالح ساختمانی دانشگاه تهران)

E-mails: 1- shekarch@ut.ac.ir

2- sahandasgarpour@ut.ac.ir

3- sina.reshad@yahoo.com

4- ehsan.kamel@gmail.com

## چکیده :

استفاده از بتن سبک در دهه های اخیر به علت صرفه اقتصادی، بهبود در مصرف انرژی و کاهش بار مرده سازه ها بیش از پیش رواج پیدا کرده است. بتن سبک را می‌توان به دو دسته عمده بتن‌های سبکدانه و بتن‌های هوادادهشده تقسیم‌بندی نمود. در این بین به علت کم بودن مدول الاستیسیته سبکدانه و عدم وجود قید کافی در ساختار خمیر سیمان جمع‌شدگی در بتن‌های سبکدانه افزایش می‌یابد. همچنین در بتن‌های هوادادهشده، ساختار متخلخل آن‌ها امکان پدید آمدن تنش‌های موئینه را در حفرات آن افزایش داده و پدیده جمع شدگی را در مقایسه با بتن معمولی افزایش می‌دهد. جمع شدگی فرایندی است که با کاهش حجم بتن بدون دخالت بار خارجی صورت می گیرد که این پدیده در اعضای مقید یک سازه به خصوص در دال‌ها، دیوارها، پانل‌ها و قطعات بنایی باعث بوجود آمدن ترک و خسارت خواهد شد. به همین دلیل در استانداردهای مختلف برای مقادیر مجاز جمع شدگی، مقادیرمختلفی ارائه شده است. در این مقاله به بررسی روش‌های پیشنهادی اندازه‌گیری و مقادیر مجاز جمع شدگی بتن سبک و مقایسه نتایج و شرایط حاکم بر استانداردهای بین المللی و ملی، پرداخته شده است. البته استانداردهای ملی اغلب بر اساس استاندارد های بین‌المللی تهیه شده است. علاوه بر این در ادبیات فنی مطالعات گوناگونی بر روی جمع شدگی انواع بتن سبک صورت گرفته است و مقادیر متفاوتی برای میزان جمع شدگی انواع بتن‌های سبک ارائه گردیده است که در این مقاله به گردآوری و بررسی این مقادیر، روشهای اندازه‌گیری آن‌ها و همچنین بررسی میزان و علل تفاوت‌های موجود در این مقادیر پرداخته شده است.

واژه های کلیدی: جمع شدگی، بتن سبک، استاندارد

This document has been edited with Infix PDF Editor - free for non-commercial use.
To remove this notice, visit: www.iceni.com/unlock.htm

**مقدمه :**

جمع شدگی به طور کلی به چهار دسته تقسیم می شود : جمع شدگی در سنین اولیه ( جمع شدگی پلاستیک یا مویینه) ، جمع شدگی خودبه خودی، جمع شدگی کربناتاسیون و جمع شدگی ناشی از خشک شدن.جمع شدگی سنین اولیه در بتن تازه به علت تبادل رطوبت از سطح به محیط توسط تبخیر و تبادل جرم از درون بتن به سطح آن صورت می گیرد. جمع شدگی پلاستیک در چند ساعت اولیه بعد از ریختن بتن اندازه گیری می شودو توسط طرح اختلاط بهینه و روش عمل آوری مناسب قابل پیشگیری می باشد.

جمع شدگی خودبه خودی به کاهش حجم به علت هیدراتاسیون سیمان اتلاق می شود. این پدیده در شرایطی که رطوبت از بتن به محیط انتقال پیدا نمی کند نیز صورت می گیرد. برای بتن های با مقاومت معمولی و نسبت آب به سیمان بیشتر از ۰/۴ تغییر حجم ناشی از جمع شدگی خودبه خودی کمتر از جمع شدگی ناشی از خشک شدن می باشد و معمولا در نظر گرفته نمی شود.

فعل و انفعالات بین خمیر سیمان سخت شده و کربن دی اکسید منجر به جمع شدگی کربناتاسیون می شود. کاهش حجم ناشی از این پدیده به آهستگی و در محیط پیرامونی صورت می گیرد و نسبت به جمع شدگی ناشی از خشک شدن قابل صرف نظر می باشد.

جمع شدگی ناشی از خشک شدن به علت تبادل رطوبت ناشی از تغییرات رطوبت نسبی بین محیط و بتن بوجود می آید. نوع اخیر، قسمت عمده ای از تغییرات حجم ناشی از جمع شدگی در بتن با مقاومت معمولی را شامل می شود، به همین دلیل در این مقاله به طور اخص به بررسی این نوع جمع شدگی پرداخته شده است.[۱]

جمع شدگی در اعضای مقید باعث ایجاد تنش های کششی می شود و به علت کم بودن مقاومت کششی بتن باعث بروز ترک در آن می شود. ترک ها منجر به کاهش دوام، مقاومت فشاری، خمشی و مدول الاستیسیته می شود. هم چنین در اعضایی که نیاز به اندودکاری و نازک کاری دارند، وجود ترک سطح تمام شده را نامناسب جلوه می دهد.

امروزه تولید بتن سبک و جایگزینی آن با بتن معمولی بسیار مورد توجه قرار گرفته است. چراکه مزایای قابل توجه هم چون کاهش بار مرده ساختمان و نیروی وارد به سازه در اثر شتاب زلزله را داراست.هم چنین در صورت تخریب، به علت وزن آوار کاهش یافته، تلفات نیز کاهش می یابد. بتن سبک به دو طریق سبک سازی می شود: استفاده از سبکدانه ها و متخلخل کردن خمیر سیمان.

سبکدانه ها سنگدانه هایی با فضای متخلخل داخلی می باشند.سبکدانه هایی که جهت تولید بتن سبک کاربرد دارند متنوع بوده و هم به صورت طبیعی و هم به صورت مصنوعی وجود دارند. نتایج مشاهده شده در مورد جمع شدگی این نوع از بتن عموما حاکی از افزایش میزان جمع شدگی به علت کم بودن مدول الاستیسیته سبکدانه ها و بتن می باشد. اما به طور کلی انواع مختلف بتن سبک نتایج متفاوتی را از میزان جمع شدگی را حاصل می کند. [۲]

سبک کردن خمیر سیمان با ایجاد تخلخل به وسیله افزودن فوم یا هوا در خمیر سیمان صورت می گیرد که منتج به تولید بتن کفی و گازی می باشد. ساختار متخلخل این نوع از بتن سبک، آن را در معرض کاهش حجم شدید ناشی از جمع شدگی قرار می دهد. [۳]

در این میان برای سنجش میزان جمع شدگی بتن های سبکدانه ، استاندارد ASTM C 426 مربوط به اندازه گیری جمع شدگی قطعات مصالح بنایی مورد استفاده قرار می گیرد. همچنین می توان از استاندارد BSEN 1367-4 برای اندازه گیری میزان جمع شدگی ناشی از خشک شدن بهره برد. این استاندارد برای بتن هایی با دانه بندی بین ۴ میلیمتر تا ۲۰ میلیمتر به کار برده می شود، برای دانه بندی های بزرگتر نیز تمهیداتی در نظر گرفته شده است.

از سوی دیگر، برای اندازه گیری میزان جمع شدگی برای بتن های سبک اسفنجی بنا به توصیه ACI 523.2R-96 می توان از استاندارد های ASTM C 341و ASTM C 426 استفاده کرد. همچنین استاندارد مورد استفاده برای بتن هوادادە شده اتوکلاو نشده ASTM C 1693و برای بتن هوادادە شده اتوکلاو شده ASTM C 1386 و BS EN 680می باشد.

موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران نیز استاندارد هایی برای تعیین جمع شدگی تدوین کرده است. برای بتن هوادادە شده اتوکلاو شده استاندارد ISIR-8592 و ISIR-8593 و برای بتن هوادادە شده اتوکلاو نشده بر اساس پیش نویس سازمان ملی استاندارد تهیه شده است.

## ۱-جمع‌شدگی بتن‌های سبکدانه

### ۱-۱ بررسی استانداردها

**استاندارد ASTM C426 (روش اندازه گیری خطی جمع شدگی ناشی از خشک شدن قطعات بنایی) :**

این استاندارد به بررسی روش اندازه گیری جمع شدگی خطی ناشی از خشک شدن برای قطعات بنایی در شرایط خشک شدن تسریع شده می‌پردازد. بنا به توصیه ACI 523.2R-96می بایست از این استاندارد برای سنجش میزان جمع

شدگی بتن اسفنجی استفاده کرد. همچنین می توان از این استاندارد برای تعیین میزان جمع شدگی بتن سبکدانه نیز استفاده نمود.

در این روش از ۳ قطعه کامل و یا ۳ قطعه برش خورده از وجه خارجی نمونه، استفاده می شود. این نمونه ها به مدت ۲±۴۸ساعت در آب مستغرق می شوند و پس از آن در مدت زمان ۴۸ ساعت بعد از خارج کردن نمونه ها از آب باید در داخل خشککن قرار داده شوند. پیش از ورود نمونه ها به خشککن باید در دمای ۸±۲۴درجه سلسیوس و رطوبت نسبی کمتر از ۸۰ درصد نگه داری شوند. پس از ۵ روز خشکشدن در خشککن ، نمونه ها را تا دمای ۲۳ درجه سلسیوس خنک کرده و ابعادو وزن آنها اندازه گیری می شود. سپس برای بار دوم و به مدت ۴۸ ساعت در خشککن قرار داده شده و اندازه گیری تکرار می شود و این روند تا جایی ادامه داده می شود که میانگین تغییرات طول نمونه کمتر از ۰/۰۰۲ درصد در طول مدت ۶ روز خشک کردن و میانگین کاهش وزن ۰/۲ درصد در مدت زمان ۴۸ ساعت خشک شدن باشد. مقدار جمع شدگی خطی نمونه ها با توجه به نسبت تغییر طول به طول اولیه نمونه ها به صورت درصد بیان می شود.

لازم به ذکر است، خشککن باید دارای دمای ثابت و یکنواخت ۵۰ درجه سلسیوس بوده و همچنین و رطوبت نسبی داخل خشککن نیز باید با استفاده از محلول کلسیم کلرید به میزان ۱۷ درصد ثابت نگاه داشته شود.

همانطور که ملاحظه می‌شود در این استاندارد فقط در رابطه با روش اندازه‌گیری جمع‌شدگی خطی توضیح داده شده است و به محدودیتی برای مقدار جمع شدگی بتن سبک آن اشاره نشده است. [۴]

### استاندارد EN 1367-4:1998 (سنجش خصوصیات حرارتی و فرسایشی سنگدانه-ها، بخش ۴، تعیین جمع شدگی ناشی از خشک شدن)

این استاندارد اروپایی تاثیر سنگدانه ها را بر روی جمع شدگی ناشی از خشک‌شدن بتن مشخص می‌کند. این استاندارد برای بتن‌هایی با اندازه سنگدانه حداکثر ۲۰ میلی‌متر طراحی شده است، برای بتن های با سنگدانه بزرگتر نیز می بایست طول نمونه ها و نسبت های اختلاط بتن مورد نظر به نسبت اندازه بزرگترین سنگدانه افزایش یابند.

با توجه به الزامات ذکر شده در EN 932-1 مربوط به طرح اختلاط و دانه بندی، سه آزمونه ساخته می شوند. سپس آزمونه‌ها با پوشش نفوذ ناپذیر مانند پلی اتیلن یا فلز پوشیده می شوند و به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۲۰ درجه سلسیوس نگه داری می شوند. آن گاه به مدت ۱۲۰ ساعت در آب ۲۰ درجه سلسیوس غوطه ور می شوند.

پس از اتمام این مدت به اندازه گیری تغییر طول اقدام می شود. سپس به مدت ۷۲ ساعت در خشک کن و در دمای ۱۱۰ درجه سلسیوس نگه داری می شوند. پس از خارج کردن نمونه ها، به مدت ۲۴ ساعت اقدام به خنک کردن آنها می شود، سپس تغییرات طول اندازه گیری شده و جمع شدگی ناشی از خشک شدن به صورت درصدمحاسبه می‌شود. [۵]

**استاندارد ASTM C157 (روش سنجش تغییر طول ملات سیمانی و بتنی سخت شده):**

این استاندارد تایین کننده تغییرات طول ناشی از اعمال بار خارجی و یا تغییرات دمایی برای نمونه های آزمایشگاهی ساخته شده سیمانی و بتنی تحت شرایط کنترل شده از نظر دما و رطوبت می‌باشد. لازم به ذکر است که این استاندارد برای محصولاتی که از شرایط اختلاط، جای دادن و عمل آوری معمول پیروی نمی کنند نیز مناسب می باشد.

در این استاندارد، برای ملات سیمان و بتن، هر کدام سه نمونه مورد نیاز است. برای نمونه های ملات سیمانی ابعاد ۲۸۵×۲۵×۲۵ میلیمتر در نظر گرفته می شود. برای بتن، اگر تمام سنگدانه ها از الک ۱ اینچی عبورکند، ابعاد نمونه ها ۲۸۵×۷۵×۷۵ و اگر سنگدانه ها ی بتن از الک ۲ اینچی عبور کرد، ابعاد نمونه ها ۲۸۵×۱۰۰×۱۰۰ اختیار خواهد شد. همچنین ابزار و نحوه اندازه گیری بر استاندارد ASTM C 490 مطابقت دارد.

پس از تقریبا ۲۴ ساعت از اضافه شدن آب به سیمان حین عملیات اختلاط، نمونه ها را از قالب خارج ساخته و در صورت نیاز نمونه های ملات سیمانی را به مدت حداقل ۱۵ دقیقه و نمونه های بتنی را به مدت حداقل ۳۰ دقیقه را در محلول اشباع آب آهک ۲۳ درجه سلسیوس قرار می دهیم. پس از خارج کردن و خشک کردن نمونه ها اندازه گیری اولیه صورت می گیرد. سپس نمونه ها را تا زمان رسیدن به سن ۲۸ روزه، در محلول اشباع آب آهک ۲۳ درجه سلسیوس قرار داده و پس از آن اندازه گیری دوم صورت می گیرد. می بایست به این نکته نیز توجه داشت که برای شرایط عمل آوری در دما های افزوده شده شرایط فوق متفاوت خواهد بود.

پس از اندازه گیری های ذکرشده، نمونه ها به یکی از دو صورت زیر نگه داری می شوند:

۱- نمونه ها با توجه به استاندارد C 511 در محلول اشباع آب آهک غوطه ور ساخته و اندازه گیری در سنین ۸، ۱۶، ۳۲ و ۶۴ صورت می گیرد. این اندازه گیری‌ها می بایست پس از قرار دادن نمونه های ملات سیمانی به مدت حداقل ۱۵ دقیقه و نمونه های بتنی را به مدت حداقل ۳۰ دقیقه در محلول اشباع آب آهک ۲۳ درجه سلسیوس، انجام گیرد.

۲- نمونه ها را در اتاق خشک با رطوبت نسبی ۴±۵۰ درصد و دمای ۲±۲۳ درجه سلسیوس قرار داده و قرائت هاپس از ۴، ۷، ۱۴ و ۲۸ روز صورت می گیرد.

برای اندازه گیری تغییرات طول، می بایست بر طبق استاندارد C 490 قرائت صورت گیرد. تغییر طول نمونه در هر سن عبارت است از تقسیم اختلاف قرائت نهایی و اولیه بر طول گیج اندازه گیری (۲۵۰ میلیمتر) و ضرب آن در ۱۰۰. [۶]

## ۱-۲ اندازه گیری میزان جمع‌شدگی ناشی از خشک شدن بتن‌های سبکدانه در ادبیات فنی

گسوگلو و همکاران در سال ۲۰۰۶ تاثیر ۴ نوع سبکدانه تولید شده از ۲ نوع خاکستر بادی کارخانه ای را بر ویژگی های ترک خوردگی ناشی از جمع شدگی بررسی کردند. تفاوت این ۲ نوع خاکستر بادی در مقدار CaO موجود در آن بوده است. اندازه گیری میزان جمع شدگی نمونه های ساخته شده با درصد های آب به سیمان ۳۵ و ۵۵ درصد طبق استاندارد ASTM C157صورت گرفته است. برای نسبت آب به سیمان ۳۵ درصد مقادیر جمع شدگی بین ۱/۰۳۶ و ۱/۴۲۸ درصد و برای نسبت آب به سیمان ۵۵ درصد مقادیر جمع شدگی بین ۰/۹۱۲ و ۱/۱۶۰ درصد مشاهده شد که این تفاوت بین نسبت های آب به سیمان به علت بیشتر بودن قابلیت عمل آوری داخلی در نسبت آب به سیمان ۵۵ درصد می باشد. علاوه بر از نسبت آب به سیمان، میزان جمع شدگی به میزان جذب آب و مقاومت خرد شدگی سنگدانه ها بستگی دارد. [۱]

چن و همکاران اثر پلی استایرن منبسط شده را بر روی جمع شدگی خمیر سیمان بتن، مسلح به الیاف فلزی را بررسی کرده اند. برای اندازه گیری میزان جمع شدگی در این مقاله ابتدا سه نمونه با ابعاد ۵۱۵×۱۰۰×۱۰۰ میلیمتر تهیه شده است. نمونه ها حدود ۲۴ ساعت پس از قالب گیری توسط پارچه نم دار پوشانیده و برای مدت ۲۴ ساعت در اتاق مرطوب با رطوبت نسبی ۹۵ درصد و دمای ۲۲ درجه سلسیوس قرار داده می شوند. سپس نمونه هاازقالبخارجشدهوپسازقرار گیریدرشرایطکنترلشدهبارطوبتنسبیبیشاز ۶۰ درصدو دمای حدود ۲۳ درجه سلسیوس، بلافاصله اندازه گیری اولیه صورت می گیرد و به اتاق عمل آوریبازگرداندهمی شوند. اندازه گیری هادر زمان های ۳، ۷، ۱۴، ۲۸ و ۶۰ روزه انجام می گیرد و نحوه قرائت و محاسبه جمع شدگی بر اساس استاندارد ASTM C490 صورت می گیرد.

با افزایش درصد حجمی پلی استایرن منبسط شده (EPS) میزان جمع شدگی افزایش پیدا می کند. میزان جمع شدگی نمونه ها بین ۰/۶درصد تا

۱/۲درصد مشاهده شده است. این پدیده به علت قید ناکافی ناشی از کم بودن مدول الاستیسیته سنگدانه های پلی استایرن توجیه می شود. [۷]

## ۲-بتن های سبک هوادا ده شده
## ۲-۱ بررسی استانداردها

### استاندارد ASTM C 341 (تعیین تغییر طول نمونه های قالب گیری شده، مغزه گیری شده و بریده شده سیمانی و بتنی):

این استاندارد تغییرات طول نمونه های قالب گیری شده، مغزه گیری شده و بریده شده بتنی و سیمانی تحت اثر اعمال بار خارجی و تغییرات دما را اندازه گیری می‌کند. در این آزمایش نمونه ها به صورت سیلندری یا مکعب مستطیلی ساخته می‌شوند. نمونه ها می‌بایست عاری از هرگونه ترک خوردگی و تسلیح فولادی باشند.

برای اندازه گیری اولیه طول نمونه ها، آن ها را در محلول آب آهک اشباع در دمای ۲۳ درجه سلسیوس غوطه ساخته و در بازه های زمانی ۷ روزه طول آن‌ها تا جایی اندازه گرفته می‌شود که اختلاف طول به ۰/۰۰۱ درصد برسد. این مقدار به عنوان طول اولیه نمونه در نظر گرفته می شود.

پس از اندازه گیری اولیه ۲ روش برای نگه داری نمونه ها جهت اندازه گیری نهایی وجود دارد. در روش اول نمونه ها در محلول آب آهک اشباع در دمای ۲۳ درجه سلسیوس مستغرق شده و در بازه های زمانی ۱، ۲، ۴، ۸، ۱۶، ۳۲، ۶۴ هفته اندازه گیری انجام می‌شود.در روش دوم نمونه ها در هوای در حال گردش در دمای ۲۳ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۵۰ درصد و نرخ تبخیر ۷۷ میلی لیتر در روز نگه داری می‌شوند و در بازه های زمانی ۷ روزه طول آن ها تا جایی اندازه گرفته می‌شود که اختلاف طول به ۰/۰۰۱ درصد برسد.

نحوه اندازه گیری در این آزمایش به صورتی است که پین هایی در نمونه به وسیله سوراخ کردن با مته قرار داده می‌شوند که بوسیله این پین ها و توسط تغییر طول سنج (Extensometer) تغییرات طول ثبت می‌شود. [۸]

### استاندارد ASTM C 1386 (مشخصات استاندارد قطعات پیش ساخته با بتن هوادار اتوکلاو شده):

این استاندارد توصیه‌هایی به منظور اندازه‌گیری مقاومت فشاری، چگالی خشک، مقدار رطوبت و جمع شدگی قطعات دیوار باربر و غیر باربر پیش ساخته از بتن هوادا ده شده اتوکلاو شده ارائه می‌دهد.

برای اندازه گیری جمع شدگی از حداقل ۳ آزمونه به ابعاد ۴۰ در ۴۰ در ۱۶۰ میلیمتر استفاده می‌شود که در صورت امکان آزمونه‌ها از یک سوم

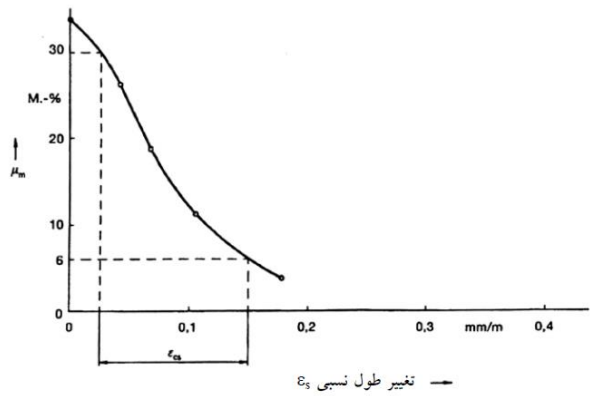
بالایی ، وسط و یک سوم انتهایی محصول برداشته می‌شوند. ابعاد آزمونه ها در دو انتها و وسط اندازه گیری شده و مقدار متوسط آن ها ثبت می شود و حجم آزمونه از این مقادیر حساب می شود.

پس از اندازه گیری ابعاد و حجم، آزمونه ها با پلاستیک بسته بندی شده و حداقل برای ۲۴ ساعت در دمای ۲۰ درجه سلسیوس نگه‌داری می‌شوند تا توزیع رطوبت در آزمونه ها یکنواخت شده و مقدار رطوبت توسط رابطه ارائه شده بر حسب چگالی اندازه گیری شود. در رابطه زیر γmو γdb به ترتیب چگالی تر و خشک نمونه می‌باشد.

$$MC = (\gamma m - \gamma db)/\gamma db \times 100$$

سپس آزمونه ها از پلاستیک خارج شده در معرض جریان مناسب هوا در دمای ۲۰ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۴۵ درصد قرار داده می‌شوند. طول و جرم آزمونه ها باید در بازه‌های منظم و حداقل ۵ بار اندازه‌گیری شوند.

نمونه ها سپس در خشک‌کن در دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس تا جایی نگه داری می شوند که اختلاف جرم ۲ اندازه گیری متوالی کمتر از ۰/۲ درصد شود. میانگین مقادیر تغییرات نسبی طول و عیار رطوبت برای هر قرائت باید در نموداری توسط یک منحنی نشان داده شود. مقدار جمع شدگی ناشی از خشک شدن، اختلاف تغییرات نسبی طول در بازه عیار رطوبتی ۶ تا ۳۰ درصد می باشد. در این استاندارد، برای میانگین جمع شدگی محدودیتی برابر ۰/۰۲ درصد در نظر گرفته شده است.




**استاندارد ASTM C 1693 (مشخصات استاندارد بتن سبک هوادمیده اتوکلاو شده) :**

این استاندارد، روش اندازه‌گیری مقاومت فشاری، چگالی خشک، مدول الاستیسیته و جمع شدگی را برای بتن هوادادە شده اتوکلاو شده ارائه می‌دهد.

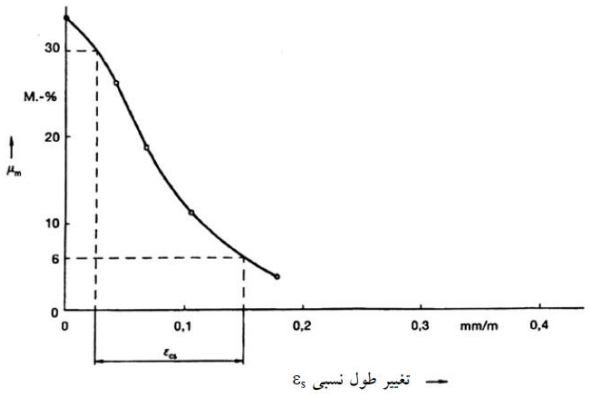
در این استاندارد نیز مشابه استاندارد ASTM C 1386 برای تهیه و آماده سازی نمونه ها جهت اندازه گیری جمع شدگی عمل می شود. [۹]

**استاندارد ISIR 8592 (بتن سبک-تعیین جمع شدگی ناشی از خشک شدگی بتن هوادار اتوکلاو شده-روش آزمون) : (طبق استاندارد EN 680)**

هدف از این استاندارد، تعیین روش تغییرات طول نسبي در هنگام خشک شدگي (جمع شدگي‌معمولي) بتن هواداراتوکلاوشده است. در این استاندارد، جمع شدگي‌ناشي از خشک شدن آزمونه هاي تهیه شده از بتن هواداراتوکلاو شده اي که در رطوبت نسبی ۴۵ درصد و دمای ۲۰ درجه سلسیوس خشک می شوند، تعیین می شود.

نمونه‌برداري آزمونه ها باید به نحوي انجام شود که نماینده کل فرآورده دردست بررسي باشد. میتوان آزمونه ها را از قطعات پیش‌ساخته مسلح یا غیر مسلح تهیه کرد. آزمونه ها باید منشوري با سطح مقطع ۴۰×۴۰ میلیمتر و متناسب با طول دستگاه اندازه‌گیري تهیه شوند، اما نباید طول آنها کمتر از ۱۶۰ میلیمتر باشد. نتیجه هر آزمون باید میانگین نتیجة سه آزمونه‌باشد. در صورت امکان، یک آزمونه باید از یک سوم پایینی، ویک آزمونه از یک‌سوم میاني وآزمونة دیگر از یک‌سوم بالایي ارتفاع قطعه تهیه شوند.

آزمونه ها پس از تهیه باید در شرایط مشخص قرار داده شوند. اگر ضرورت داشته‌باشد آزمونه ها در زیر آب نگهداري‌مي‌شوند تا مقدار رطوبت آنها به بیش از ۳۰ درصد جرم برسد. بعد از رسیدن رطوبت به مقدار مورد نظر، آزمونه ها باید در یک پوشش پلاستیکي یا مواد مشابه عایق شوند تا از کاهش رطوبت آنها جلوگیري شود. همچنین در دماي ۲۰ درجة سلسیوس براي حداقل ۲۴ ساعت قبل از انجام آزمون نگهداري‌شوند تا توزیع رطوبت در داخل آزمونه ها یکنواخت شود. پس از برداشتن پلاستیک عایق، اولین اندازه‌گیري طول و اولین اندازه‌گیري جرم صورت می گیرد. حداقل باید ۵ بار اندازه‌گیري طول وجرم آزمونه ها در زمان هاي متوالي و مناسب انجام شود تا مقدار رطوبت آزمونه ها به کمتر از ۴ درصد جرم برسد. نمونه ها سپس در خشک‌کن در دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس تا جایی نگه داری می‌شوند که اختلاف جرم ۲ اندازه گیری متوالی کمتر از ۰/۲ درصد شود. . میانگین مقادیر تغییرات نسبی طول و عیار رطوبت برای هر قرائت باید در نموداری توسط یک منحنی نشان داده شود. مقدار جمع شدگی ناشی از خشک شدن، اختلاف تغییرات نسبی طول در بازه عیار رطوبتی ۶ تا ۳۰ درصد می باشد. [۹]



**استاندارد ISIR 8593 (بتن سبک-قطعات بتنی هوادار اتوکلاو شده- ویژگی ها)**

این استاندارد ترجمه استاندارد ASTM C 1386 می باشد و هدف ازتدوین این استاندارد، تعیین ویژگیهاي مربوط به مقاومت، جرم حجمي، ابعاد، هدایت حرارتي، جمع شدگي ناشي ازخشک‌شدن قطعات بنایي تهیه شده از بتن هوادار اتوکلاوشده براي استفاده در ساخت دیوارهاي باربر و یا غیرباربر با خصوصیات حفاظت دربرابر آتش، عایق حرارتي، عایق صوتي و ساخت اعضایي مانند دود کش ها و هوا کش ها است. [۱۰]

## ۲-۲ جمع شدگی بتن سبک هوادمیده شده در ادبیات فنی:

در تحقیق انجام شده توسط جونز و همکاران به تاثیر افزودن خاکستربادی در دو حالت کارخانه ای و پودری بر خصوصیات بتن اسفنجی پرداخته شده است. برای این منظور، خاکستربادی درشت دانه به میزان ۵۰ و ۱۰۰ درصد جایگزین ماسه ریزدانه شده است و با نمونه‌های حاوی ماسه ریزدانه ۱۰۰ درصدی مقایسه شده است. همچنین در ساخت نمونه‌ها از سیمان و یا مخلوط ۳۰ درصد وزنی خاکستربادی ریزدانه و سیمان استفاده شده است، . در مجموع ۶ آزمونه برای بررسی تاثیر افزودن خاکستربادی بر خصوصیات بتن اسفنجی ساخته شده است. برای اندازه‌گیری میزان جمع شدگی ناشی از خشک‌شدن بر طبق استاندارد BS 6073-1 ( این استاندارد توسط استاندارد های BS EN 772-2 و BS EN 771-3 جایگزین شده است) عمل شده است. نمونه ها در ابعاد ۲۰۰×۴۰×۴۰ تهیه و در دمای ۲۰ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۵۵ درصد قرار داده می‌شوند. اندازه گیری میزان جمع شدگی به صورت هفتگی انجام می‌گردد. لازم به ذکر است که در این استاندارد با رطوبت نسبی متفاوتی نسبت به استاندارد های دیگر مواجه هستیم، هر چند که دمای ذکر شده مانند استاندارد ASTM C 1693 می‌باشد.

در نمونه های ساخته شده با سیمان، میزان جمع شدگی ناشی از خشک‌شدن برای نمونه همراه با ماسه ریزدانه، ماسه ریزدانه-خاکستربادی درشت دانه و خاکستربادی درشت دانه به ترتیب ۰/۲۳، ۰/۲ و ۰/۳۷ درصد جمع شدگی بدست آمده است. تفاوت آشکار بین نمونه شاهد و نمونه جایگزین شده با خاکستربادی درشت دانه ناشی از افزایش آب نمونه جایگزین شده با خاکستربادی درشت دانه در نسبت آب به سیمان ثابت می باشد. تفاوت اندک بین نمونه همراه با ماسه و ماسه/خاکستربادی درشت دانه به علت درصد هوای بیشتر ماسه و بوجود آمدن قید ناکافی و پایداری حجمی کمتر در این نمونه می باشد.

در نمونه های ساخته شده با مخلوط سیمان و ۳۰ درصد وزنی خاکستربادی ریزدانه، نتایج به نحو مطلوب‌تری تغییر می‌کنند، به نحوی که تغییرات طول به میزان ۱/۶، ۲ و ۲/۷ برابر در نمونه های ماسه،

ماسه/خاکستربادی درشت‌دانه و خاکستربادی درشت‌دانه مشاهه شده است که احتمالا به علت کمتر بودن میزان سیمان، میزان واکنش‌دهی خاکستربادی و نتیجتا حجم کمتر خمیر هیدراته شده قابل جمع شدن می باشد.

رامامورتی و همکاران به بررسی اثر ترکیبات و عمل‌آوری بتن هوادادە شده بر روی جمع‌شدگی ناشی از خشک شدن آن پرداخته اند. در این تحقیق، برای هر طرح اختلاط، ۳ نمونه به ابعاد ۱۶۰×۴۰×۴۰ منطبق بر توصیه RILEM-AAC 5.2 ساخته شده است. نمونه ها به مدت ۷۲ ساعت پس از خروج از قالب و یا فرایند اتوکلاو در آب غوطه ورمی شوند. سپس اندازه گیری اولیه از نمونه ها انجام می گیردو در اتاق مرطوب با رطوبت نسبی ۴۵ درصد و دمای ۳۰ درجه سلسیوس قرار داده می شوند. اندازه گیری تا زمانی که تغییرات طول ثابت شوند ویا مدت معلومی مد نظر باشد، انجام می گیرد. دقت اندازه گیری طول نمونه ها تا ۰/۰۰۲ میلیمتر می باشد. تغییرات طول از رابطه زیر تعیین می شود،که در آن L1 و L2 به ترتیب اندازه گیری طول اولیه و نهایی، در زمان مشخص و Ld طول اصلی نمونه می باشد.

$$\Delta L = \frac{L_2 - L_1}{L_d} \times 100$$

شاخص‌های مختلفی مانند درصد جایگزینی خاکستر بادی با ماسه و اعمال یا عدم اعمال فرایند اتوکلاو به عنوان نحوه عمل آوری در این مقاله مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. مشاهده شده است که با افزایش نسبت آهک به سیمان، میزان جمع شدگی ناشی از خشک شدن در بتن هوادار اتوکلاو شده و اتوکلاو نشده افزایش می یابد. همچنین میزان جمع شدگی ناشی از خشک شدن در بتن هوادار اتوکلاو شده و اتوکلاو نشده، با جایگزینی خاکستر بادی به جای ماسه، به ترتیب ۷ و ۵ برابر شد. در نهایت عمل آوری بتن هوادار، در جهت کاهش قابل ملاحظه میزان جمع شدگی ناشی از خشک شدن عمل می کند.

## ۳-مقایسه بین استانداردها:

در برخی از استانداردهایی که در این مقاله در مورد آن‌ها توضیح داده شده است، مقادیر مجاز برای جمع‌شدگی بتن سبک ارائه گردیده است. نتایج آن‌ها و همچنین نوع بتن مورد مطالعه در هرکدام از این استانداردها به صورت خلاصه در جدول۱ ذکر شده‌ست.

جدول ۱- مقادیر مجاز و نوع بتن سبک مورد مطالعه در استانداردهای مختلف

| استاندارد بین المللی | استاندارد داخلی | نوع بتن سبک | حد مجاز |
|---|---|---|---|
| ASTM C 341 | - | بتن هایسبکاسفنجی | - |

| | | | |
|---|---|---|---|
| ASTM C 426 | - | بتن های سبک اسفنجی و سبکدانه | - |
| ASTM C 1386 | ISIR-8592، ISIR-8593 | بتن هوادادە شده اتوکلاو شده | ۰/۰۲ درصد |
| ASTM C 1693 | پیش نویس استاندارد | بتن هوادادە شده اتوکلاو نشده | ۰/۰۶۵ درصد* |
| BS EN 680 | - | بتن هوادادە شده اتوکلاو شده | ۰/۰۹ درصد |
| BSEN 1367-4 | - | جمع شدگی بتن های سبکدانه | - |

***محدودیت ۰/۶۵ فقط در پیش نویس استاندارد ISIR ذکر شده و در مرجع آن (ASTM C 1693) چنین عددی وجود ندارد.**

## ۴- جمع‌بندی:

| استاندارد | تعداد نمونه | اندازه نمونه ها (mm) | شرایط عمل‌آوری | | شرایط نگه داری | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | دما(°) | رطوبت(%) | دما(°) | رطوبت(%) |
| ASTM C 157 | ۳ | ۲۵×۲۵×۲۸۵ (سیمانی) ۱۰۰×۱۰۰×۲۸۵ (بتنی) | ۲۳ | - | ۲۳ | ۵۰ |
| ASTM C 341 | | - | ۲۳ | - | ۲۳ | ۵۰ |
| ASTM C 426 | ۳ | - | ۲۴ | ۸۰ | ۵۰ | ۱۷ |
| ASTM C 1386 ISIR-8593و | ۳ | ۴۰×۴۰×۱۶۰ | ۲۰ | ۴۵ | ۱۰۵ | - |
| ASTM C 1693 | ۳ | ۴۰×۴۰×۱۶۰ | ۲۰ | ۴۵ | ۱۰۵ | - |
| BSEN 1367-4 | ۳ | ۵۰×۵۰×۲۰۰ | ۲۰ | - | ۱۱۰ | - |
| ISIR-8592 | ۳ | ۴۰×۴۰×L (L≥۱۶۰) | ۲۰ | - | ۱۰۵ | - |

## منابع


1-Mehmet Gesoglu, Turan O zturan, Erhan Gu neyisi **, ''Effects of cold-bonded fly ash aggregate properties on the shrinkage cracking of lightweight concretes'',** Cement & Concrete Composites 28. , 2006, 598–605.

2-Y. Theiner, G. Hofstetter,'' **Evaluation of the effects of drying shrinkage on the behavior of concrete structures strengthened by overlays**'', Cement and Concrete Research 42., 2012, 1286–1297.

3-Md Azree Othuman Mydin, Y.C. Wang, **''Mechanical properties of foamed concrete exposed to high temperatures'',** Construction and Building Materials 26. , 2012, 638-654

4-ASTM C 426-05, **''Standard Test Method for Linear Drying Shrinkage of Concrete Masonry Units'',** 2005

5-EN 1367- 4 :1998, '' **Test for thermal and weathering properties of aggregates- Part 4: Determination of drying shrinkage'',** 1998

6-ASTM C 157-08, **''Standard Test Method for Length Change of Hardened Hydraulic Cement Mortar and Concrete",** 2008

7-Bing Chen, Juanyu Liu, "**Properties of lightweight expanded polystyrene concrete reinforced with steel fiber**", Cement and Concrete Research 34, 2004, 1259-1263.

8-ASTM C 341-06, '' **Standard Practice for Length Change of Cast, Drilled, or Sawed Specimens of Hydraulic-Cement Mortar and Concrete'',** 2006

9-ASTM C 1386. **'' Standard Specification for Precast Autoclaved Aerated Concrete (PAAC) Wall Construction Units'',** 1998

10-ASTM C 1693-11, '' **Standard Specification for Autoclaved Aerated Concrete (AAC)",** 2011

۱۱- ISIR 8592، "بتن سبک-تعیین جمع‌شدگی ناشی از خشک‌شدگی بتن هوادار اتوکلاو شده-روش آزمون"

۱۲- ISIR8593، "بتن سبک-قطعات بتنی هوادار اتوکلاو شده-ویژگی‌ها"

13- R. Manikandan, K Ramamurthy, ''**Effect of curing methods on characteristics of cold bonded fly ash aggregates''**, Cement and Concrete Composites, 30, 2008, 848-853

14-MR Jones, MJ McCarthy, A McCarthy, "**Moving fly ash utilization in concrete forward: a UK perspective**", International ash utilization Symposium, Paper#113, 2003.