

بررسی مدل‌های پیش بینی جمع شدگی بتن

رضا عباس نیا^۱، مصطفی خانزادی^۲، جمال احمدی^۳

دانشکده عمران دانشگاه علم و صنعت، تهران

j_ahmadi@iust.ac.ir

خلاصه

جمع شدگی از جمله تغییرات حجمی مهم در بتن در طول زمان می باشد، که موجب ایجاد تنش، ترک خوردگی و ایجاد تغییر شکل‌های ناخواسته در اعضای بتنی و در مجموع کاهش عمر مفید و قابلیت سرویس دهی سازه ها می شود. بنابراین پیش بینی مقدار جمع شدگی و کرنش های نظیر ایجاد شده در اعضا با دقت مناسب و قابل قبول دارای اهمیت ویژه ای می باشد. با توجه به این مطلب هدف اصلی از این پژوهش ارزیابی و مقایسه دقت سه نمونه از متداولترین مدل‌های پیش بینی جمع شدگی شامل CEB90، B3 و ACI209 می باشد. برای این منظور مقادیر پیش بینی شده برای جمع شدگی از هر کدام از این مدل‌ها با مقادیر حاصل از آزمایش‌های انجام گرفته در این تحقیق در دو بازه زمانی متفاوت مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین روش باقی مانده بعنوان روش مورد نظر جهت کنترل دقت هر یک از مدل‌ها بکار گرفته شده، مورد استفاده قرار گرفته است. نتایج حاصل از آزمایش‌ها بیانگر دقت بالای روش B3 در کوتاه مدت نسبت به دو مدل دیگر می باشد. در بازه زمانی طولانی تر نیز مدل B3 دارای تقریب بهتری می باشد. همچنین روش های B3 و CEB90 معمولاً دارای مقادیر کمتر از مقدار واقعی و روش ACI209 معمولاً دارای مقادیر بالاتری نسبت به نتایج حاصل از آزمایش‌ها بوده اند. به هر حال نتایج بیانگر توزیع یکنواخت‌تر نتایج حاصل از روش های B3 و ACI209 نسبت به روش CEB90 می باشد.

کلمات کلیدی: جمع شدگی آزاد، مدل‌های پیش‌بینی، بتن، خشک شدگی.

مقدمه

جمع شدگی ناشی از خشک شدن بتن که بر اثر کاهش رطوبت بتن (نفوذ رطوبت بتن به خارج و یا مصرف آب داخل بتن توسط ذرات هیدراته نشده) ایجاد می شود، دارای تاثیر بسزائی بر روی کارایی و عملکرد سازه های بتن آرمه و کلا اعضای بتنی می باشد. این پدیده می تواند موجب بروز تغییر شکل‌های ناخواسته، تغییر در توزیع تنش داخلی در اعضا و حتی ترک خوردگی اعضای بتنی گردد. لازم بذکر می باشد که میزان تاثیر جمع شدگی وابسته به میزان ظریب اطمینان در نظر گرفته شده در برابر خرابی و عواملی دیگری نظیر دوام بتن، قابلیت سرویس دهی عضو و سازه و مسائل اقتصاد است.

با توجه به مطالب بالا دسترسی به مدل‌هاییکه تا حد ممکن و با دقت مناسب قادر به پیش بینی میزان جمع شدگی در اعضا باشند دارای اهمیت قابل توجهی می باشد. با توجه به آنکه در این رابطه تعداد قابل توجهی مدل پیش بینی جمع شدگی نظیر CEB90، B3، GL2000 و ... ارائه گردیده است. بنابراین ارزیابی و تعیین میزان دقت هر یک از این روش ها دارای اهمیت خاص است.

در این پژوهش از بین مدل‌های متنوع ارائه شده از سه مدل که به نوعی متداولترین مدل‌های موجود نیز می باشند جهت بررسی میزان دقت و کارایی آنها نسبت به هم استفاده گردیده است. مدل‌های بکار رفته در این پژوهش شامل مدل‌های CEB90، B3 و ACI209 می باشد.

مدل ACI209 مدل استاندارد ارائه شده توسط موسسه ACI می باشد (۱). این مدل بر مبنای مطالعات صورت گرفته توسط Branson و همکارانش (۲) استوار است که در آن میزان و نرخ جمع شدگی بصورت تابعی از زمان ارائه می شود. این مدل روش بکار رفته در بسیاری از آیین نامه های ساختمانی در داخل و خارج از آمریکا بوده است. این مدل کاملاً تجربی می باشد که بر مبنای نتایج حاصل از اندازه گیری جمع شدگی نمونه های استوانه ای استوار است (۳). در این روش رطوبت نسبی، اندازه نمونه نحوه عمل آوری و مدت زمان خشک شدن پارمترهای اولیه مورد نیاز جهت پیش بینی جمع شدگی می باشد.

¹ دانشیار دانشکده مهندسی عمران دانشگاه علم و صنعت

² استادیار دانشکده مهندسی عمران دانشگاه علم و صنعت

³ دانشجوی دکتری دانشکده مهندسی عمران دانشگاه علم و صنعت

مدل دوم بکار گرفته شده در این مطالعات استاندارد CEB90 جهت پیش بینی میزان جمع شدگی می باشد (۴). این مدل اصلاح شده مدل CEB-FIP ارائه شده در ۱۹۹۰ می باشد (ارائه شده توسط کمیته اروپایی بتن و فدراسیون بین المللی بتن پیش تنیده). نسخه های اولیه این مدل روش های CEB-FIP-1970 و CEB-FIP-1978 بوده است که به تدریج و با اعمال اصلاحات لازم تبدیل به مدل استاندارد CEB90 گردیده است. در مدل CEB90 فاکتورهای: میزان رطوبت نسبی، اندازه نمونه ها، مقاومت فشاری ۲۸ روزه و سن خشک شدگی بتن جهت پیش بینی میزان جمع شدگی بتن بکار می رود.

مدل B3 به نوعی جدیدترین مدل ارائه شده در خصوص پیش بینی مقدار جمع شدگی می باشد که توسط آقایان Bawaja, Bazant در دانشگاه North Western در سال ۱۹۹۷ ارائه گردیده است (۵). مدل اولیه مربوط به این روش مدل BP ارائه شده در سال ۱۹۷۸ می باشد. که در سال ۱۹۹۱ تحت عنوان مدل BP-KX اصلاح گردیده است. مدل B3 مدل ساده شده مدل BP-KX می باشد که نسبت به مدل های ACI209 و CEB90 جهت پیش بینی میزان جمع شدگی نیاز به پارامترهای بیشتری دارد. در این مدل برای پیش بینی جمع شدگی از پارامترهای رطوبت نسبی، اندازه نمونه ها، شکل نمونه ها و مقاومت فشاری ۲۸ روزه به همراه نوع سیمان، نوع عمل آوری و سن خشک شدگی بتن استفاده می شود.

اهداف پژوهش

هدف اصلی از این پژوهش تعیین میزان دقت سه مدل از متداولترین مدل های پیش بینی جمع شدگی می باشد. مدل های مورد مطالعه مدل های ACI209، CEB90 و B3 می باشند. مدل های ACI209 و CEB90 مربوط به مدل های استاندارد آمریکا و اروپا می باشد در حالیکه مدل B3 در حد جایگزین جدید برای روش ACI209 در استاندارد آمریکا اخیرا مطرح شده است. مقادیر پیش بینی شده جمع شدگی حاصل از هر کدام از این روش ها در این مطالعات با مقادیر حاصل از آزمایشها مقایسه گردیده است و با استفاده از روش باقی مانده میزان دقت هر کدام از این روشها در دو بازه زمانی مختلف مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است.

نحوه محاسبه جمع شدگی در مدل های مورد مطالعه

روش ACI209:

در این روش از رابطه زیر برای پیش بینی جمع شدگی استفاده می شود:

$$\varepsilon_s(t) = \frac{(t - t_c)}{b + (t - t_c)} K_{ss} K_{sh} \varepsilon_{shu} \quad (1)$$

که در آن t سن بتن از زمان خارج کردن از قالب، t_c زمان خشک شدگی بتن به روز، b فاکتور اصلاحی مربوط به نوع و روش عمل آوری، K_{ss} فاکتور اصلاح شکل و اندازه، K_{sh} فاکتور مربوط به درصد رطوبت نسبی محیط و ε_{shu} کرنش نهایی ناشی از جمع شدگی می باشد. در جدول شماره یک مقادیر پارامترهای فوق و نحوه محاسبه آنها ارائه گردیده است.

جدول شماره ۱- روابط مربوط به محاسبه ضرایب معادله پیش بینی جمع شدگی در روش ACI209

روش عمل آوری	درصد رطوبت (H)	b	K_{sh}	K_{ss}	E_{shu} [in./in.]
عمل آوری با آب	40% ≤ 80%	35	1.40_0.01H	1.14_0.09(V/S)	780X10-6
	81% ≤ 100%	35	3.00_0.03H	1.14_0.09(V/S)	780X10-6
عمل آوری با بخار	40% ≤ 80%	55	1.40_0.01H	1.14_0.09(V/S)	780X10-6
	81% ≤ 100%	55	3.00_0.03H	1.14_0.09(V/S)	780X10-6

همانگونه که در بخشهای قبل اشاره شد، روش ACI209 روش کاملا آزمایشگاهی مبتنی بر نتایج حاصل از اندازه گیری جمع شدگی صدها نمونه استوانه ای به ابعاد ۱۵۰×۳۰۰ میلیمتر می باشد (۱).

مدل CEB90:

در این روش از معادله زیر جهت پیش بینی جمع شدگی آزاد استفاده می شود:

$$\varepsilon_s(t - t_c) = (\varepsilon_{cso}) \beta_s(t - t_c) \quad (2)$$

که در آن ε_{cso} برابر است با:

$$\varepsilon_{cso} = \varepsilon_s(f_{cm28})(\beta_{RH}) \quad (3)$$

β_{RH} و $\varepsilon_s(f_{cm28})$ برابراند با:

$$\varepsilon_s(f_{cm28}) = [160 + 10(\beta_{sc}) \left(9 - \frac{f_{cm28}}{1450}\right)] \times 10^{-6} \quad (4)$$

9

$$\beta_{RH} = -1.55 \times \left[1 - \left(\frac{H}{100}\right)^3\right] \quad (5)$$

که در آن t_c سن بتن پس از خارج کردن از داخل قالب و t_c سن خشک شدگی بتن به روز می باشد. β_{sc} ضریب مربوط به نوع سیمان، که برای سیمان تیپ دو (SL) برابر ۴، سیمان تیپ یک (R) برابر ۵ و سیمان تیپ سه (RS) برابر ۸ در تیپ بندی آمریکایی (اروپائی) سیمان می باشد. همچنین β_s در برگزیده عامل زمان و اثر آن بر روی جمع شدگی می باشد.

$$\beta_s(t - t_c) = \sqrt{\frac{(t - t_c)}{350 \left(\frac{A_c}{2u}\right)^2 + (t - t_c)}} \quad (6)$$

در رابطه فوق $A_c/2u$ بیانگر نسبت سطح به حجم نمونه می باشد.

مدل B3:

در این روش مقدار جمع شدگی از رابطه زیر محاسبه می گردد:

$$\varepsilon_s(t) = (\varepsilon_{shu})(K_h)S(t) \quad (7)$$

که در آن ε_{shu} یا کرنش نهایی برابر است با:

$$\varepsilon_{shu} = -\alpha_1 \alpha_2 \left[(26(w)^{2.1} (f_{cm28})^{-2.8}) + 270 \right] \times 10^{-6} \quad (8)$$

در رابطه فوق ضرایب α_1 و α_2 و K_h تابعی از نوع سیمان، روش عمل آوری و درصد رطوبت نسبی می باشد (جدول ۲):

جدول شماره ۲- محاسبه ضرایب مربوط به روش B3

نوع سیمان	α_1	نحوه عمل آوری	α_2	رطوبت نسبی (H)	K_h
I	1.00	عمل آوری با بخار	0.75	$H \leq 98$	$1 - (H/100)^3$
II	0.85	عمل آوری با آب	1.00	$H = 100$	-0.2
III	1.10	Sealed During Curing	1.20	$98 \leq H \leq 100$	Linear Interpolation

W میزان آب بتن و $S(t)$ تابع مربوط به زمان می باشد:

$$S(t) = \tanh \sqrt{\frac{t - t_c}{T_{sh}}} \quad (9)$$

که در آن T_{sh} :

$$T_{sh} = 190.8(t_0)^{-0.08} (f_{cm28})^{-0.25} (K_s D)^2 \quad (10)$$

که K_s تابعی از شکل نمونه بوده و برای شکلهای مختلف برابر خواهد بود با:

جدول ۳- مقادیر مربوط به ضریب K_s

شکل سطح مقطع	K_s
دال	1.00
استوانه	1.15
مکعب مستطیل	1.25
کره	1.30
مکعب	1.55

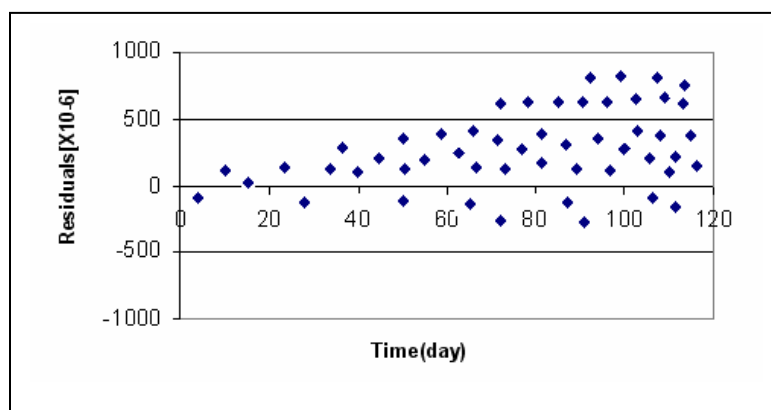
که در آن t_0 سن بتن در زمان مورد نظر می باشد.

روش ارزیابی دقت پیش بینی جمع شدگی

در این مطالعات مقادیر محاسبه شده جمع شدگی از سه مدل اشاره شده در بالا در دو دوره زمانی دسته بندی شده و مورد بررسی قرار گرفته اند. این دو گروه زمانی شامل جمع شدگی بین ۰ تا ۱۰ روز و جمع شدگی بین ۱۱ تا ۱۲۰ روز می باشد. به عبارت دیگر نتایج اندازه گرفته شده جمع شدگی با نتایج حاصل از مدل‌های پیش بینی جمع شدگی در دو گروه زمانی کوتاه و میان مدت و با استفاده از روش باقی مانده از لحاظ دقت پیش بینی مورد تحقیق و بررسی قرار گرفته اند که نتایج آن در ادامه ارائه گردیده است.

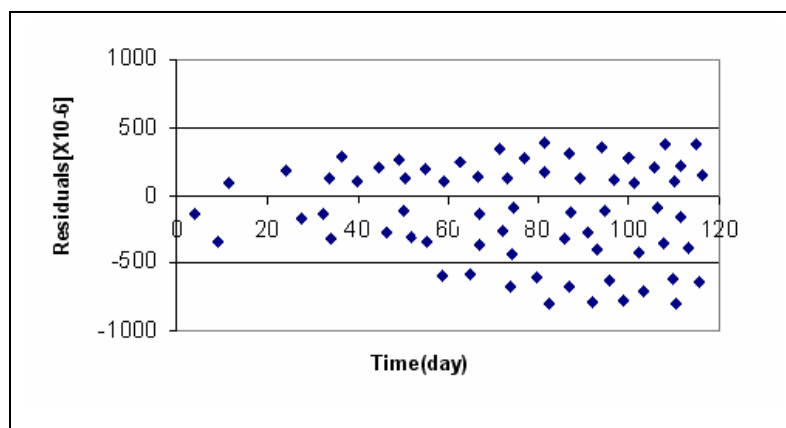
ارائه نتایج

در ادامه نتایج مربوط به جمع شدگی اندازه گرفته شده و محاسبه شده توسط مدل‌های مورد بررسی در این مقاله ارائه گردیده است. بر مبنای شکل شماره ۱ که مقدار تفاضل جمع شدگی محاسبه شده از روش ACI209 را از مقادیر اندازه گرفته شده در آزمایشگاه نمایش می دهد اکثر مقادیر باقی مانده در ناحیه مثبت قرار می گیرند و یا به عبارت دیگر مقادیر پیش بینی شده حاصل از روش ACI209 از مقادیر واقعی حاصل از آزمایشها بیشتر می باشد.



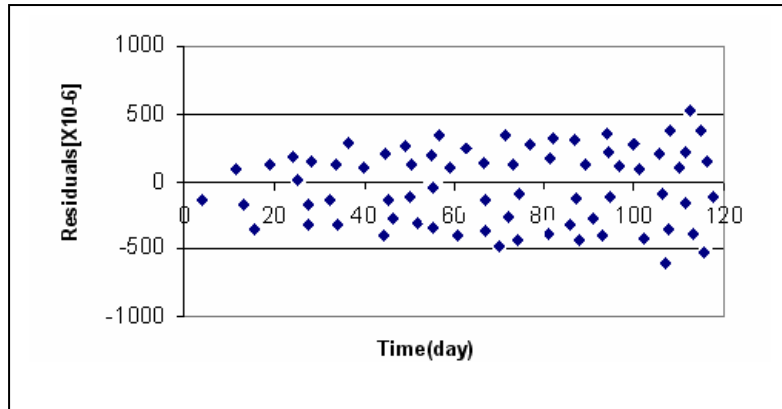
شکل ۱ - اختلاف بین مقادیر پیش بینی شده از روش ACI209 و مقادیر آزمایشگاهی جمع شدگی

در تصویر شماره ۲، اختلاف بین نتایج جمع شدگی حاصل از آزمایشها و نتایج حاصل از مدل CEB90 ارائه گردیده است. همانگونه که از تصویر مشخص است میزان تفاضل در دوره های زمانی کوتاه و بلند مدت در هر دو حالت در ناحیه منفی قرار گرفته است. به عبارت دیگر نتایج پیش بینی شده توسط استاندارد CEB90 عموماً کمتر از نتایج حاصل از آزمایشها می باشد.



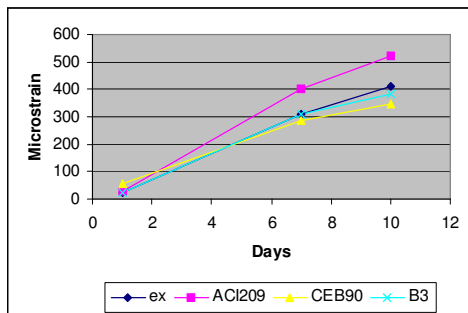
شکل ۲- اختلاف بین مقادیر پیش بینی شده از روش CEB90 و مقادیر آزمایشگاهی جمع شدگی

در تصویر شماره ۳ نتایج جمع شدگی حاصل از آزمایشها با نتایج پیش بینی شده توسط روش B3 مقایسه گردیده است (تفاضل نتایج در طول زمان). همانگونه که از تصویر مشخص است نتایج حاصل تقریباً بصورت متعادل در دو سوی منحنی توزیع گردیده است (با اندکی تمایل و انحراف به سمت پایین منحنی).

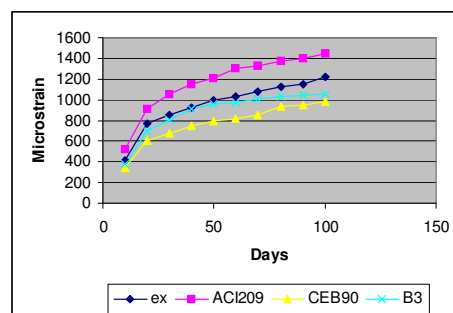


شکل ۳- اختلاف بین مقادیر پیش بینی شده از روش B3 و مقادیر آزمایشگاهی جمع شدگی

در تصویر ۴a و ۴b مقادیر جمع شدگی آزاد حاصل از آزمایشها و مدل‌های ACI209, CEB920 و B3 در دو بازه زمانی مختلف ۰ تا ۱۰ و ۱۱ تا ۱۰۰ روزه با یکدیگر مقایسه شده اند. بر مبنای این تصاویر مدل B3 دارای نتایج بهتری نسبت به دو مدل دیگر در بازه زمانی ۰ تا ۱۰ روزه می باشد. در بازه زمانی ۱۱ تا ۱۰۰ روزه نیز مدل B3 دارای دقت بهتری می باشد ولی در نهایت در انتهای این دوره تقریباً دقت هر سه روش به یک اندازه می رسد.



(a)



(b)

شکل ۴- محاسبه میزان دقت مدل‌های پیش بینی جمع شدگی در طول زمان (a) بازه زمانی ۰ تا ۱۰ روزه و (b) بازه زمانی ۱۰ تا ۱۲۰ روزه.

نتیجه گیری

- مدل B3 دارای دقت بهتری در پیش بینی میزان جمع شدگی آزاد نمونه های بتنی در قیاس با روش های CEB90 و ACI209 در هر دو بازه زمانی ۰ تا ۱۰ روزه و ۱۱ تا ۱۲۰ روزه می باشد.
- مقادیر پیش بینی شده از روش CEB90 و تا حدودی روش B3 از مقادیر واقعی بدست آمده از آزمایشها کمتر می باشند. در حالیکه نتایج حاصل از روش ACI209 عموماً بیشتر از مقادیر اندازه گیری شده است.
- نتایج حاصل نشان دهنده توزیع یکنواخت تر نتایج حاصل از روشهای ACI209 و B3 نسبت به استاندارد CEB90 می باشد.

- 1.ACI Committee 209. (1992) Prediction of creep, shrinkage, and temperature effects in concrete structures (209R-92). *American Concrete Institute*, pp. 47.
- 2.Branson, D.E. and Christiason, M.L. (1987) Time Dependent concrete properties related to design , strength and elastic properties, creep and shrinkage. *American concrete institute*, pp. 257-277.
- 3.Lakshmikantan, S. (1999) Evaluation of concrete shrinkage and creep code models. *Master thesis presented to department of civil and environment engineering, San Jose state university*, pp. 156.
- 4.Muller, H.S. and Hillsdorf, H.K. (1990) CEB Bulletin d' information No. 199. *Evaluation of the time dependent behavior of concrete. Summary report on the work of general task group 9*. pp. 290.
- 5.Bazant, Z.P. and Baweja, S. (1997). Creep and Shrinkage prediction model for analysis and design of concrete structure-model B3. *Material and Structures*. Vol. 28, pp. 357-365, 415-430, 488-495.