

ÖNGERİLMELİ BETON KÖPRÜLERDE ZAMANA BAĞLI YERDEĞİŞTİRMELER

¹Siddik ŞENER, ²K.Caner ŞENER, ³Necmettin GÜNDÜZ, ¹Eren YECAN

¹İstanbul Bilgi Üniversitesi, İnşaat Bölümü, Eyüp, İstanbul 34060, Tel: (212)3117376
E-mail: siddik.sener@bilgi.edu.tr

²Purdue University, Dept. of Civil Eng., W. Lafayette, IN 47906, Tel: (765) 586 2697
E-mail: csener@gmail.com

³İTÜ, İnşaat Fakültesi, Maslak, İstanbul 80626
E-mail: gunduzan@itu.edu.tr

Özet

Bu çalışmada büyük açıklıklı kutu kesitli öngerilmeli beton köprülerde zamanla oluşan yerdeğıştirmeler incelenmiştir. Uygulamada genelde ilk birkaç yılda oluşan yerdeğıştirmelerin zamanla azalarak duracağı varsayılır. Gerçekte ise yerdeğıştirmeler yıllar sonra da artmaya devam eder. Bu tür yerdeğıştirmelerin en önemli nedeni malzeme davranışının gerçekçi göz önüne alınmamasıdır. Bu çalışmada, Bazant ve Baweja'nın B3 modeli kullanılarak kutu kesitli yedi köprüde zamana bağlı birim uzamalar elde edilmiştir. Zamanla artan gerilme kayıplarına neden olabilecek birim uzamalar, köprülerde çekinceli biçimde farklı bulunmuştur.

Giriş

Öngerilmeli kutu kesitli köprülerde ölü yükler, hareketli yüklerden aşağı doğru, öngerilmeden ötürü ise yukarı doğru oluşan yerdeğıştirmeler arasındaki fark çok küçüktür. Ancak iki büyüklük arasındaki küçük farklar, zamana bağlı oluşacak toplam farklar ile büyük yerdeğıştirmelere neden olur. Bu nedenle sünme, büzülmeden oluşacak yerdeğıştirmelerin gerçekçi bulunması çok önemlidir.

Yöntem

Kutu kesitli öngerilmeli beton köprülerde zamana bağlı yerdeğıştirmeler için Bazant ve Baweja'nın (2000) B3 modeli kullanılmıştır. B3 modelinde toplam birim uzama (ϵ), sünmeden, büzülmeden, farklı sıcaklıktan ayrı ayrı gözönüne alınmaktadır. Bunun için oluşturulan genel bağıntı, (1) eşitliği ile verilmiştir.

$$\epsilon = J(t, t')\sigma + \epsilon_{sh}(t, t_0) + \alpha\Delta T(t) \quad (1)$$

Burada, ϵ toplam birim uzama, $J(t, t')$ yük uygulandığı t anındaki sünme uygunluğu olup birim gerilme uygulandığında birim uzamaya eşittir. $\epsilon_{sh}(t, t_0)$ büzülmeden ötürü

oluşan birim uzama, α ısı genleşme katsayısı, $\Delta T(t)$ sıcaklık değişimi, t beton yaşı, t' betonun yüklendiği andaki yaşıdır. Burada, t_0 betonun kurumaya başladığı andaki yaşı olup, kutu kesitli parçalı konsol köprüde t_0 için beton dökümünden bir hafta sonra öngerilme verildiği varsayılmıştır. Eşitlik (1) deki $J(t, t')$ uygulununun bileşenleri,

$$J(t, t') = q_1 + C_0(t, t') + C_d(t, t', t_0) \quad (2)$$

(2) eşitliği ile verilmiştir. Q 1 yüklemeye başladığında birim gerilmeden oluşan ani uzama,

$$q_1 = 0.6 \times 10^6 / E_{28}, \quad E_{28} = 4734 \sqrt{f_{ck}} \quad (3)$$

olarak verilmiştir. Buradaki E_{28} = 28 günlük betonun elastisite modülü, f_{ck} ise 28 günlük silindirin karakteristik basınç dayanımıdır. Bağıntı (2) deki $C_0(t, t')$ temel sünme için uygunluk olarak tanımlanmaktadır. $C_0(t, t')$ yi bulmak için integral işlemi sonucunda,

$$C_0(t, t') = q_2 Q(t, t') + q_3 \ln[1 + (t - t')^n] + q_4 \ln\left(\frac{t}{t'}\right) \quad (4)$$

elde edilir. Burada $Q(t, t')$ analitik olarak çözülemiyen binomial integrali göstermektedir. $Q(t, t')$ değeri ya daha kesin sonuç veren t, t' ye bağlı tablodan (Bazant, ve Baweja 2000), ya da yaklaşık olarak (5) eşitliğinden bulunabilir.

$$Q(t, t') = Q_f(t') \left[1 + \left(\frac{Q_f(t')}{Z(t, t')} \right)^{r(t')} \right]^{-1/r(t')} \quad (5)$$

Burada,

$$r(t') = 1.7(t')^{0.12} + 8 \quad (6)$$

$$Z(t, t') = (t')^{-m} \ln[1 + (t - t')^n], \quad n = 0.1, m = 0.5 \quad (7)$$

$$Q_f(t') = [0.086(t')^{2/9} + 1.21(t')^{4/9}] \quad (8)$$

olarak verilmiştir. Bağıntı (4) deki q_2, q_3, q_4 değerleri Bazant ve Baweja, (2000) nın yaklaşık olarak 100 deney sonucu bulunan 15000 verinin olasılıksal analizinden elde edilmişlerdir. Bunlar (9-11) bağıntıları ile verilmiştir.

$$q_2 = 185.4c^{0.5}(f_{ck})^{-0.9} \quad (9)$$

$$q_3 = 0.29(w/c)^4 q_2 \quad (10)$$

$$q_4 = 20.3(a/c)^{-0.7} \quad (11)$$

Bu bağıntılarda, c betondaki çimento ağırlığı (kg olarak), w/c ağırlık olarak su/çimento oranı, a/c ağırlık olarak agrega/çimento oranıdır. Bağıntı (1) deki σ değeri için, gerilme, sünme arasındaki ilişkinin elastik bölgede kaldığı varsayımı ile, $\sigma=0.4f_{ck}$ MPa alınmıştır. Kesitlerin kurumasından ötürü (1) bağıntısındaki $\varepsilon_{sh}(t,t_0)$ kesitin ortalama büzülme birim uzaması,

$$\varepsilon_{sh}(t, t_0) = -\varepsilon_{sh\infty} k_h S(t) \quad (12)$$

(12) bağıntısı ile elde edilecektir. Burada, $\varepsilon_{sh\infty}$ büzülmenin sonsuzda alacağı değeridir. Bağıntı (13) ile $\varepsilon_{sh\infty}$ bulunabilir.

$$\varepsilon_{sh\infty} = \varepsilon_{s\infty} \frac{E(607)}{E(t_0 + \tau_{sh})} \quad (13)$$

$t_0=7$ gün ile $\tau_{sh}=600$ gün olması durumunda $\varepsilon_{sh\infty} = \varepsilon_{s\infty}$ olur. Bağıntı (13) deki $\varepsilon_{s\infty}$ deneysel çalışmaların sonucunda elde edilen bağıntı (14) ile verilmiştir.

$$\varepsilon_{s\infty} = \alpha_1 \alpha_2 [0.019w^{2.1}(f_{ck})^{-0.28} + 270] \quad (14)$$

Buradaki α_1 çimento türüne, α_2 kür koşullarına bağlı bir katsayı olup sayısal değerleri Çiz.1 de verilmiştir.

Çizelge 1. Çimento Türüne Bağlı α_1 , Kür Koşuluna Bağlı α_2 Katsayıları.

α_1	1	Tip 1 çimento, Normal Portland Çimentosu
	0.85	Tip 2 çimento, Değiştirilmiş Portland Çimentosu
	1.1	Tip 3 çimento, İlk dayanımı yüksek Portland Çimentosu
α_2	0.75	Buhar kürü durumu
	1.2	Kurumaya karşı korumalı yapılan kür durumu
	1	%100 nemli durumda (su içinde)

Bağıntı (12) deki k_h ; h bağıllı nemine bağlı toplam büzülme için düzeltme katsayısıdır. Bu değer bağıllı neme göre Çiz.2 den bulunur.

Çizelge 2. Bağıl Neme Bağlı kh Nem Düzeltme Katsayısı

Nem Oranı	kh
$h < 0.98$	$1-h^3$
$h=1$ (su içinde)	-0.2
$0.98 \leq h \leq 1$	Doğrusal İnterpolasyon

Bağıntı (13) deki $E(t)$ betonun elastisite modülünün zamana göre değişimi ACI'a göre bağıntı (15) ile hesaplanabilir.

$$E(t) = E_{28} \left(\frac{t}{4 + 0.85t} \right)^{1/2} \quad (15)$$

Bağıntı (12) deki $S(t)$ büzülmenin zamana bağlı değişimini göstermektedir. Bağıntı (16) da $S(t)$, $S(t')$ bağıl değişimleri verilmiştir.

$$S(t) = \tanh \sqrt{\frac{t - t_0}{\tau_{sh}}}, \quad S(t') = \tanh \sqrt{\frac{t' - t_0}{\tau_{sh}}} \quad (16)$$

Burada, τ_{sh} büzülme için gerekli olan yarı zaman olup birimi gündür. Büzülme yarı zamanı (17) bağıntısı ile verilmiştir.

$$\tau_{sh} = k_t (k_s D)^2 \quad (17)$$

Burdaki k_t bağıntı (18) ile elde edilir.

$$k_t = 8.5t_0 - 0.08(f_{ck})^{-1/4} \quad (18)$$

Bağıntı (18) deneysel çalışmalar sonucunda elde edilmiş olup birimi gün/cm² dir. Bağıntı (17) deki k_s biçim katsayısı Çiz.3 de yapı tipine bağlı olarak verilmiştir

Çizelge 3. Yapı Tipine Bağlı k_s Biçim Katsayısı

Kesit Biçimi	k_s
Sonsuz plak	1
Sonsuz silindir	1.15
Sonsuz kare prizma	1.25
Küre	1.3
Küp	1.55

D kesitin etkin kalınlığı olup kesit hacminin (v), açık hava etkisindeki yüzey alanına (s) oranı olarak bağıntı (19) ile elde edilir.

$$D = 2v/s \quad (19)$$

Bütün bu bağıntıların yardımı ile büzülme birim uzaması $\varepsilon_{sh}(t, t_0)$ değeri (12) bağıntısı ile elde edilebilir. Bağıntı (2) deki $C_d(t, t', t_0)$ değeri kurumadan ötürü oluşan ek sünme için uygunluk olup büzülme hesaplarında ele alınmıştır. Betonun, bölgesel değişikliklere göre farklılık gösteren, kurummasından oluşan sünme uygunluğu deneysel elde edilen (20) bağıntısı ile verilmiştir.

$$C_d(t, t', t_0) = q_5 [\exp\{-8H(t)\} - \exp\{-8H(t_0')\}]^{\frac{1}{2}}, \quad t_0' = \max(t', t_0) \quad (20)$$

Buradaki q_5 değeri bağıntı (21) ile verilmiştir.

$$q_5 = \frac{757 \times 105 \times (f_{t'}^{1.1})^{1.1}}{|\varepsilon_{11}|^{1.1}} \quad (21)$$

Bağıntı (20) deki $H(t)$ değeri bağıntı (22) ile verilmiştir.

$$H(t) = 1 - (1 - h)S(t) \quad (22)$$

H kesitten bağımsız ortamın nemine bağlı ortalama nem değeridir. $H(t')$ ise t' anındaki ortalama nem değeri olup bağıntı (23) ile verilmiştir.

$$H(t') = 1 - (1 - h)S(t') \quad (23)$$

Bağıntı (1) deki $\Delta T(t)$ farklı sıcaklıktan oluşan birim uzama değeri, betonun sabit olan ısı iletkenlik katsayısı α kullanılarak elde edilir. Sıcaklık farkı yapılacak yapının bulunduğu bölgeye göre değişen meteorolojik verilerden yararlanılarak elde edilen büyüklüktür.

ANALİZ

B3 sünme modeli kullanılarak Kömürhan (Korkmaz 2013, Çağlar ve diğ. 2011b), Gülburnu (Sezdirmez, 2013), Palau (Benzer 2011, Şener ve diğ. 2009, 2010, 2014, Çağlar ve diğ. 2011a), Beylerderesi, Akarsın, İmrahor ve Tigem (Şener ve diğ. 2013) köprüleri analiz edilmiştir. B3 modeli portland çimentosu için geçerli olup bağıntı (24) ile (25) daki sınırlar içinde kullanılabilir.

$$0.35 \leq w/c \leq 0.85, \quad 2.5 \leq a/c \leq 13.5 \quad (24)$$

$$17 \text{ MPa} \leq f_{ck} \leq 70 \text{ MPa}, \quad 160 \text{ kg/m}^3 \leq c \leq 720 \text{ kg/m}^3 \quad (25)$$

B3 modeline göre zamana bağlı yerdeğiştirmeler, bağıntılarda geçen büyüklükler yardımıyla bulunabilir. t beton yaşı olup, burada toplam birim uzama değerleri 400, 1000, 2000 10000 günleri için bulunmuştur. t' betona öngerilme verildiği andaki yaşı olup köprünün

yapım yöntemine göre değişmektedir. Tigem köprüsü hariç diğer köprüler dengeli konsol yöntemiyle yapıldığı için, her parçanın dayanım kazanma zamanı olarak 7 gün varsayılmıştır. Her bir parçanın 7 günlük döküm süresi, parça sayısı ile çarpılarak bulunan toplam günün, üretilen parça sayısına bölünmesiyle, yani aritmetik ortalaması alınarak bulunmuştur. t_0 betonun kurumaya başladığı andaki yaşı beton döküldükten 1 gün sonra beton sertleşmeye başladığı an başlangıç zamanı alınmıştır. Ayrıca α_1 ve α_2 değerleri Çiz.1 den, k_h nem düzeltme katsayısı Çiz.2 den, köprü kesitinin nasıl olacağı önceden bilindiğinden k_s ise Çiz.3 den alınacaktır.

Bağıntı (19) daki D oranı, köprü enkesitleri değişken olduğundan her parça için farklı bir değer almaktadır. Burada değişken en kesitlerin ortalaması kullanılmıştır. $\Delta T(t)$ sıcaklık değişimi olup, köprünün bulunduğu bölgeye göre, gündüz gece sıcaklık farkına, köprü gövdesinin üst parçasının güneş altında alt parçasının gölgede, köprünün üst yapı kaplamasına göre büyük değişimler göstermektedir.

Bazant ve Baweja'nın B3 modeline göre köprü yerdeğiştirmelerini verecek olan birim uzamalar bulunabilir. Örnek olarak Kömürhan köprüsü için $t=400$, 1000-10000 günler için elde edilen ε birim uzamaları Çiz.4 de verilmiştir. Burada, $E_{28}=28$ GPa, $q_1=2.14E-05$, $q_2=1.31E-04$, $q_3=2.37E-06$, $q_4=7.69E-06$, $r(t)=10.71$, $m=0.5$, $n=0.1$, $Q(t,t)=0.142$, $q_5=3.46E-04$, $S(t)=1$, $S(t)=0.964$, $h=0.6$, $k_h=0.784$, $H(t)=0.6$, $H(t)=0.614$, $\alpha_1=1$, $\alpha_2=1.2$, $\varepsilon_{s\infty}=6.37E+02$, $E=(t_0+\tau_{sh})=28.86$ GPa, $E(607)=30.26$ GPa, $k_t=2,591$, $k_r=1.25$, $D=0.658$, $\tau_{sh}=1.73$, $\Delta T=70^0C$, $\varepsilon_{sh\infty}=6.68E-04$, $\varepsilon_{sh}(t,t_0)=-0.0005$, $\alpha=1.00E-05$ köprü yapım özellikleri için elde edilmiş olup zamanla değişmemiştir.

Çizelge 4. Kömürhan köprüsünde değişik t zamanı için ε birim uzamalar.

KÖMÜRHAN KÖPRÜSÜ						
t (gün)	$Z(t,t')$	$Q(t,t')$	$C_0(t,t')$	$C_d(t,t',t_0)$	$J(t,t')$	$\varepsilon(t)$
10000	0.17940	0.14124	6.24E-05	8.78E-07	8.47E-05	0.00258
9000	0.17832	0.14117	6.15E-05	8.78E-07	8.38E-05	0.00257
8000	0.17712	0.14109	6.06E-05	8.78E-07	8.29E-05	0.00256
7000	0.17575	0.14099	5.95E-05	8.78E-07	8.18E-05	0.00254
6000	0.17419	0.14087	5.83E-05	8.78E-07	8.06E-05	0.00252
5000	0.17234	0.14070	5.69E-05	8.78E-07	7.92E-05	0.00250
4000	0.17009	0.14048	5.51E-05	8.78E-07	7.74E-05	0.00248
3000	0.16720	0.14014	5.28E-05	8.78E-07	7.51E-05	0.00245
2000	0.16315	0.13956	4.95E-05	8.78E-07	7.18E-05	0.00240
1000	0.15624	0.13820	4.39E-05	8.78E-07	6.62E-05	0.00232
400	0.14693	0.13535	3.63E-05	8.78E-07	5.86E-05	0.00221

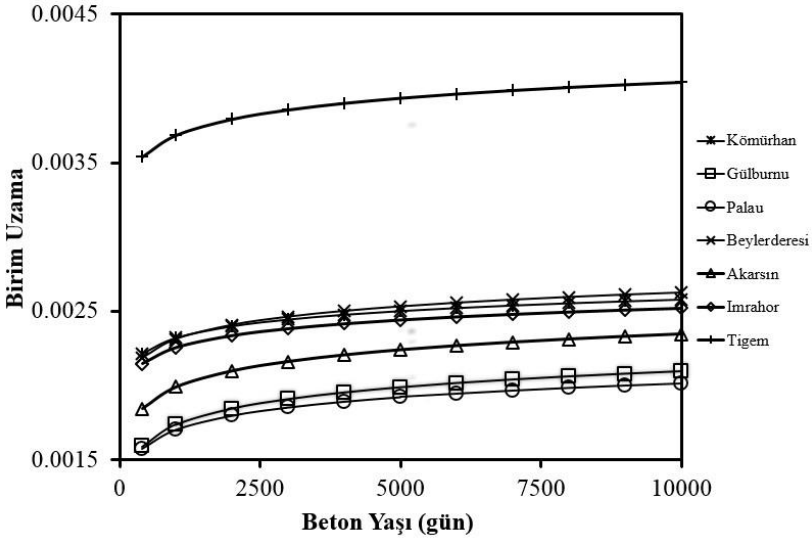
Büyük açıklıklı kutu kesitli parçalı dengeli konsol köprülerde (Karaesmen 2002, Şener 2006) zamana bağlı yerdeğiştirmeler bulunabilir. Bu bağıntılar sünmeye karşı çok duyarlı

olduklarından zamana bağlı yerdeğiştirmeleri gerçekçi bulunması çok önemlidir (Bazant ve diğ. 2010, 2011a, 2011b, 2012a,b, Kristek ve diğ. 2006). Kömürhan Köprüsü için uygulanan yöntem benzer yol izlendiğinde öngörülen köprülerin (1) bağıntısına göre zamana bağlı birim uzama değerleri yalnız $t=10000$ gün için Çiz.5 de toplu olarak verilmiştir.

Çizelge 5.Köprülerde $t=10000$ gün için elde edilen birim uzamalar.

Köprü Adı	t_0 gün	t' gün	f_{ck} MPa	w/c	a/c	$\Delta T(t)$ $^{\circ}C$	$D = 2v/s$ m	$\tau_{sh} - k_t (k_v D)^2$ gün	$\varepsilon(t)$
Kömürhan	42	49	35	0.5	4	70	0.658	1.73165	0.00258
Gülburnu	77	84	40	0.44	3	35	0.737	2.01241	0.00209
Palau	84	91	35	0.45	3	50	0.444	0.75035	0.00202
Beylerderesi	63	70	40	0.44	3	80	0.389	0.56887	0.00262
Akarsın	42	49	40	0.44	3	35	0.415	0.6662	0.00235
İmrahor	49	56	36	0.5	4	75	0.382	0.57337	0.00252
Tigem	1	8	40	0.44	4	75	0.501	1.13447	0.00404

Burdan elde edilen birim uzamaların zamanla (gün) değişimi Şek.1 de verilmiştir. Şek.1 de bu çalışmada analiz edilen tüm köprülerin Tigem köprüsüne göre daha küçük birim uzama vermesinin ana nedeni yapım yöntemindeki farklılıktır. Diğer tüm köprüler parçalı dengeli konsol yöntemi ile yapılmış iken Tigem köprüsü yere oturan iskeleler üzerine kurulan kalıplar yardımıyla, betonarme inşaat gibi güvenli bir biçimde yapılmıştır. Kablo kılıfları yardımı ile kablolar yerleştirildikten sonra beton dökülmüştür. Genelde beton yaklaşık hızlandırılmış kür ile 7 günde basınç dayanımına erişince öngörülen verilir. Tigem köprüsü için t' değeri, 8 gün alınmıştır.



Şekil 1. Ardgermeli köprülerde elde edilen birim uzamalar.

Tigem köprüsü gibi çok açıklıklı köprülerde Şek.1'de verilen yerdeğıştirmeler ayrı ayrı her bir açıklık için geçerlidir. Sürekli köprülerde komşu açıklıkların yerdeğıştirmelere etkisinin çok az olacağı varsayılabilir.

SONUÇLAR

B3 modeli kullanılarak sünme, büzülme ile farklı sıcaklık değışiminden oluşan uzun süreli yerdeğıştirmeler ardgermeli kutu kesitli yedi köprüde elde edilmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda,

1. En büyük yerdeğışirmeyi oluşturacak birim uzama Tigem köprüsünde bulunmuştur.
2. Yapım biçimleri farklı olmasına karşın Palau (konsol) ve Gülburnu (sürekli) köprüleri için hemen hemen aynı birim uzamalar bulunmuştur.
3. Yurdumuzun en büyük açıklıklı köprüsü olan Beylerderesi ile, aşırı yerdeğıştirmeler nedeni ile onarım gerektiren Kömürhan köprüsünden daha büyük birim uzamalar elde edilmiştir.
4. Dengeli konsol yöntemi ile yapılan köprülerde B3 modeline göre zamanla oluşan birim uzamalar en büyük Kömürhan, en az onarımdan 3 ay sonra geçen
5. Palau köprüsünde elde edilmiştir. Değışik köprü kesitlerinde birim uzamalar, %40 a varan değışiklikler göstermiştir.

6. Bütün köprülerde zamana bağlı düşey yerdeğiştirmeleri veren birim uzamalar, başlangıçta hızla sonra zamanla azalmasına karşın sürekli olarak artmaya devam etmiştir.
7. Öngerilmeli kutu kesitli köprülerin parçalı konsol yöntemiyle yapılması çok verimli, narin yapılar oluşturmaktadır. Burada verilen yöntemle elde edilen birim uzamalar, başka yeni yöntem ile yapılan (Tigem) köprüler için de geçerlidir.
8. Köprülerdeki yerdeğiştirmeler için oluşan yasal davalarda genellikle, inşaatın yapım kötülüğü suçlanmaktadır. Köprü tasarımında kullanılan geçerli yönetmelikler de sorgulanmalıdır.
9. Burada elde edilen birim uzamalar sürekli kirişlerin ayrı ayrı her bir açıklığı için de geçerlidir.

Kaynaklar

1. Bazant, Z.P., Baweja, S., (2000) "Creep and Shrinkage Prediction Model for Analysis and Design of Concrete Structures: Model B3", ACI SP-194, 1-83.
2. Bazant, Z.P., Hubler, M.H., Yu, Q., (2011a) "Pervasiveness of Excessive Segmental Bridge Deflections: Wake up call for Creep," ACI, Structural Journal, 108 (6), 766-774.
3. Bazant, Z.P., Hubler, M.H., Yu, Q., (2011b) "Excessive Creep Deflections: An Awakening," Concrete International, 44-46.
4. Bazant, Z.P., Yu, Q., Li, G.H., (2012a) "Excessive Long-Time Deflections of Prestressed Box Girders, I: Record-Span Bridge in Palau and Other Paradigms," ASCE, J. of Structural Engin. 138(6) 676-686.
5. Bazant, Z.P., Yu, Q., Li, G.H., (2012b) "Excessive Long-Time Deflections of Prestressed Box Girders, II: Numerical Analysis and Lessons Learned," ASCE, J. of Structural Engin. 138(6) 687-696.
6. Bazant, Z.P., Yu, Q., Li, G.H., Klein, G.J., Kristek, V., (2010) "Excessive Deflections of Record-Span Prestressed Box Girder," ACI Concrete International, 32(6) 44-52.
7. Benzer, M.A., (2011) "Koror-Babelthuap (Palau) Köprüsünün Sonlu Elemanlar ile Göçme Nedenlerinin Araştırılması," Gazi Üni. Y.Lisans Tezi, Ankara.
8. Çağlar, Y.,Şener, S., Belgin, Ç., Şener, K.C., (2011a) "Kutu Kesitli Öngerilmeli Köprülerde Zamana Bağlı Yerdeğiştirmeler," XVII Ulusal Mekanik Kongresi, Fırat Üniversitesi, Elazığ ,172-181.

9. Çağlar, Y., Şener, S.,Yıldırım, O., Baştürk, A., Belgin, Ç., Arslan, A., (2011b) "Kömürhan Köprüsünde Yerdeğiştirmeler," 2.Köprüler ve Viyadükler Sempozyumu, Eskişehir, 2011, 83.
10. Karaesmen, E., (2002) "Ardgermeli Beton ve Yeni Çözümler", Freysaş-Freyssinet Yapı Sistemleri San. A.Ş., İstanbul.
11. Korkmaz, Ü., (2013) "Kömürhan Köprüsünde Öngerilme Kayıpları," Gazi Üni. Y.Lisans Tezi, Ankara.
12. Kristek, V., Bazant, Z.P., Zich, M., Kohoutkova, A., (2006) "Box Girder Bridge Deflections," ACI Concrete International, 28(1) 55-63.
13. Sezdirmez, T., (2013) "Gülburnu Köprüsünde Zamanla Oluşabilecek Yerdeğiştirmeler," Gazi Üni. Y.Lisans Tezi, Ankara.
14. Şener, S., (2006) "Öngerilmeli Beton", Alp yayınevi, Ankara.
15. Şener, S., Çağlar, Y., Şener, K.C., (2009) "Palau Köprüsünün Göçme Nedenleri," İMO-İTÜ, Prof.Dr.Nahit Kumbasar Onuruna Betonarme Yapılar Seminerinde Davetli Konuşmacı, İstanbul, 63-72.
16. Şener, S., Çağlar, Y., Benzer, M.A., Şener, K.C., (2010) "Vertical Displacement of Collapsed Bridge in Palau," ACE 2010, 9th Inter.Conf. on Advances in Civil Eng., Trabzon, 239.
17. Şener, S., Çağlar, Y., Üçpınar, V., Şahin, C., (2013) "Ardgermeli Tigem Köprüsünde Yerdeğiştirmeler," İMO-İTÜ, Prof.Dr. Zekai Celep Onuruna Betonarme Yapılar Seminerinde Davetli Konuşmacı, İstanbul, 17-28.
18. Şener, S., Çağlar, Y., Şener, K.C., Gündüz, N., (2014) "The Differential Shrinkage Displacements of Box Section Prestressed Concrete Bridges," IBC, İstanbul, 31-32.

Anahtar Sözcükler: sünme, büzülme, öngerilmeli beton, zamana bağılı yerdeğiştirmeler, matematik model.