



## Öngerilmeli Beton Traverslerde Gözlenen Zamana Bağlı Kısalmalarının Değerlendirilmesi

Niyazi Özgür BEZGİN

*İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü,  
34320, İstanbul, Türkiye*

*ozgur.bezgin@istanbul.edu.tr*

*(Alınış / Received: 28.11.2018, Kabul / Accepted: 13.12.2018, Yayımlama/Published: 31.1.2019)*

**Özet:** Öngerilmeli beton traverslerin uzunlukları zaman içerisinde birkaç milimetre düzeyinde kısalmaktadır. Bu kısalmaların üç gerekçesi, traversin öngerme kuvvetleri altında elastik olarak kısılması, travers betonun zaman içerisinde sünmesi ve büzülmesidir. Travers uzunluğunda meydana gelen bu kısalma, bağıl nem oranının %50'nin altında olduğu kurak bölgelerde ve yüksek öngerme kuvvet değerleri altında 2 mm'yi aşabilecek olup, traversin özellikle ekartman genişliği ve omuz genişliği için istenen ölçülerin payhaddi dışına taşmasına neden olabilmektedir. Bu kısalma değeri, traversin üretiminde kullanılan betonun basınç dayanımına, beton içerisinde kullanılan agreganın türüne, traverse uygulanan öngerme kuvvet değerine, traversin kalıptan alınmasından önce betona uygulanan sıcaklık ve nem değerlerine ve traversin üretildiği bölgenin ve kullanılacağı bölgenin nem ve sıcaklık değerlerine bağlıdır. Sunulacak çalışmada, örnek olarak seçilen B70 türü bir traversin, seçilen bir öngerme kuvveti altında farklı bağıl nem değerleri altında zamana bağlı kısalma değerlerinin TS EN 1992-1-1 yönetmeliğine göre hesaplama sonuçları tanıtılacaktır.

**Anahtar kelimeler:** Beton, sünme, büzülme, önüretim, öngerilmeli beton, önçekme, ardçekme, elastik kısalma, beton travers, ekartman, omuz genişliği, payhaddi.

### Evaluation of Time Related Shortenings Observed in Prestressed Concrete Sleeper

**Abstract:** Prestressed concrete sleeper length shortens a couple of millimeters in time. The three contributing reasons to this shortening are the elastic shortening of concrete under the prestressing force and creep and shrinkage of concrete in time. This shortening may exceed 2 mm if the sleeper is within arid climates with relative humidity levels below 50% and under high prestressing forces and therefore may result in out-of-tolerance gauge and shoulder widths. This shortening relates to the compressive strength of sleeper concrete, the type of the aggregate used in the concrete, the prestressing force, the temperature and the humidity regime during concrete curing and the temperature and humidity characteristics of the place of production and the region where the concrete sleepers will be used. This study evaluates shortening of a B70 sleeper under different humidity values according to the standard TS EN 1992-1.

**Key words:** Concrete, creep, shrinkage, prefabrication, prestressed concrete, pretension, post tension, elastic shortening, sleeper, gauge, shoulder width, tolerance.

Atıf için/Cite as: BEZGİN, N.Ö., Öngerilmeli Beton Traverslerde Gözlenen Zamana Bağlı Kısalmalarının Değerlendirilmesi, Demiryolu Mühendisliği, 2019(9):17-27

## 1. Giriş

20. Yüzyıl'ın başından itibaren araştırmacılar, tek parçalı (monoblock) veya iki parçalı (duo-block) demiryolu traverslerinin üretimlerinde beton kullanımını değerlendirmeye başlamışlardır. 1940'ların sonlarından itibaren traverslerin beton ile tasarımları ve üretimleri mümkün hale gelmiştir. İki parçalı traverslerde beton kullanımı, donatılı beton (betonarmer) ile tasarım anlayışının 1850'lerden başlayarak geliştirilmesi ve 1900'lere geldiğinde de başarılı tasarımların yapılabilmesine olanak verecek bir seviyeye ulaşmasının ardından 1915'ten sonra mümkün hale gelmiştir. Tek parçalı traverslerde beton kullanımı ise betonun sünme ve büzülme niteliklerinin anlaşılmasına ek olarak, yüksek mukavemetli çelik tel üretiminin mümkün hale gelmesi ve dolayısı ile önerilmeli beton ile yapısal tasarımların başlaması ile eş zamanlı olarak 1940'ların sonlarından itibaren uygulamaya geçmiştir [1].

Travers tasarımı ve üretiminde beton kullanımı, sürekli olarak yükselme eğilimi gösteren tren sefer hızları, tren ağırlıkları ve sefer sıklıkları altında ihtiyaç duyulan kararlı (stable) ve dayanıklı (durable) hatların inşa edilmesini mümkün kılmıştır. Ayrıca rayların hat boyunca ray süreksizliğine neden olan cebireler yerine alın kaynağı ile birleştirilmeye başlanmaları, raylarda süreklilik ve bu süreklilik nedeniyle doğan yararları sağlamış ancak sıcaklık farklılıkları nedeniyle de hat burkulmalarını olası kılmıştır. Hat burkulmalarını engellemek için daha ağır hatlara ihtiyaç duyulmuştur. Beton traverslerin kütlesi, normal ekartmanlı bir hat için ahşap bir traverse göre daha fazladır. Yaklaşık 290 kg kütleyle sahip B70 sınıfı bir travers, kreozot ile sınırlı bir derinliğe kadar, örneğin yüzeyden 3 cm derinliğe kadar kimyasal işlem görmüş ve çam ağacından üretilmiş bir traversin kütlesinin yaklaşık 3 katıdır. Kreozot işleminin tüm kesit derinliğince uygulanması, ahşap traversin kütlesini bir miktar artıracak olsa bile beton traversin kütlesi ahşap traversin kütlesinin yaklaşık 2.5 katı olacaktır. Beton travers kullanımı ile daha ağır hale gelen ve dolayısı ile tren hareketi esnasında ortaya çıkan yatay ve düşey kuvvetler altında konumunu daha kararlı bir şekilde koruyan ve ayrıca yatay burkulmaya karşı direnimi daha yüksek olan demiryolu hattı elde etmek mümkün olmuştur. Kütle artışı ile elde edilen yararları ek olarak, bugün üretilen beton traverslerin en az 40 yıl olan kullanım ömürleri, en iyi bakım ve kimyasal koruma altında dahi en fazla 20 sene olan ahşap traverslerin kullanım ömürlerinden fazladır [2].

Bir yapısal ürünün tasarımında kullanılan her yeni malzeme, malzemenin kimyasal ve mekanik özelliklerine bağlı olarak beraberinde yapısal ürün için yeni tasarım gereksinimleri ve tasarım değerlendirmeleri getirmektedir. Betonun sahip olduğu bünye özellikleri ile ilgili davranışları, traverslerde ortaya çıkmaktadır. Bu çalışmada, tek parçalı, önüretimli ve önerilmeli beton traverslerde gözlenen zamana bağlı boyca kısaltmalar irdelenecektir.

## 2. Beton traverslerin zaman içinde kısaltmaları

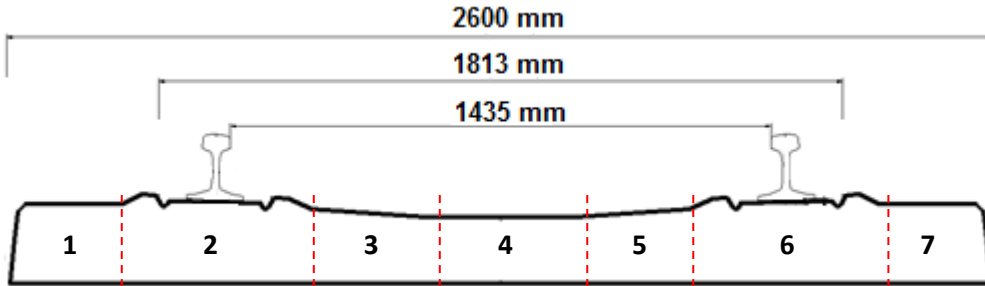
Bu çalışmada incelenen örnek traversin üretiminde uygulanan kuvvet, traversi basınç altına alan önerilme (prestress) kuvvetidir. Bu durumda travers boyunca zamana bağlı olarak gözlenecek uzunluk değişimleri, kısaltma olarak gerçekleşecektir. Aktarılan önerilme, önçekme (pretension) veya ardçekme (post tension) olarak aktarılabilmektedir. Bu çalışmada örnek olarak sunulan travers, önçekmelidir. Önçekme kuvvetleri, çentikli veya düz yüksek mukavemetli çelik teller tarafından taşınmaktadır.

## Demiryolu Mühendisliği

Öncekme kuvvetinin traverse aktarımı, traverse uçlarında, yüzeyden 5 cm kadar içeride gömülü ve çentiksiz tellerin bağlı olduğu levhalar tarafından veya çentikli tellerin beton ile yüzey etkileşimi ile gerçekleşmektedir. Levhalı aktarım sistemi BBR-V sistemi olarak anılmaktadır. Bunun gerekçesi, sistemin 1944 senesinde İsviçre’de soyisimleri Birkenmaier, Brandestini ve Ros olan kişiler tarafından kurulan BBR firmasına sonrasında Vogt soyisimli mühendisinin katılması ile 1948 senesinde ortaya çıkartılmasıdır [3].

Beton traversin zamana bağlı olarak uzunluğunun kışalmasına neden olan üç ayrı kışalma değeri vardır. Bu kışalma değerlerinden birincisi, beton travers üzerine uygulanan yükler altında oluşan ve yüklerin kaldırıldığında geri kazanılan elastik (geri kazanımlı) kışalmadır. Diğer iki kışalma ise, beton travers üzerine uygulan sabit ve sürekli yük altında zaman içinde ve betonun sünme (creep) özelliğine bağlı olarak ve beton bünyesinde yer alan serbest suyun yine zaman içinde bünyeden ayrılması ile gerçekleşen büzülme (shrinkage) özelliğine bağlı olarak ortaya çıkan kışalmalardır [4]. Traverse boyunca gerçekleşen toplam kışalma değeri, elastik kışalma, sünme kışalması ve büzülme kışalmasının toplamıdır.

Şekil 1’de günümüzde sıkça kullanılan ve 60E1 (eski UIC60) türü rayları taşıyan B70 sınıfı bir öngerilmeli beton travers tasvir edilmektedir. Alman kökenli traverslerin tanımlamalarında kullanılan rakam, traversin kullanıma sunulduğu seneyi, “B” harfi ise beton ile üretildiğini belirtmektedir. Bu traversin geometrik yapısı, 1950’den itibaren o günün Batı Almanya’sında geliştirilmeye başlanmış ve bugün Almanya’da Alman Demiryolları (Deutsche Bahn) tarafından geliştirilmeye devam edilmektedir. Ortaya çıkan B55, B58, B70, B90 ve B07 türü traversler, traverse boyunca değişken olan yapısal kesitlerin döngüsel atalet (moment of inertia) değerlerinin, gerektiği yerde gerektiği kadar oluşturulması ilkesi bağlamında, artan tekerlek kuvvetleri ve tren hızlarına bağlı olarak geliştirilmişlerdir. Kesit boyunca rakamlar ile ifade edilen bölgeler, traverse boyunca farklı en-kesit değerlerinin gözlemlendiği bölgeleri göstermektedir.



Şekil 1. Normal ekartmanlı bir hat için B70 sınıfı bir traversin bazı uzunluk değerleri.

Prizmatik özelliklere sahip ahşap traverslere göre beton traversler uzunlukları boyunca, değişken kesit özelliklerine sahip olabilmektedir. Bu sayede, yeni serilmiş ve iyi sıkıştırılmış balastlı bir hat üzerinde yer alan travers boyunca eğilme ve kesme etkilerinin arttığı ray altlarında daha fazla malzeme kullanmak ve bu etkilerin nispeten azaldığı travers ortasında daha az malzeme kullanarak yapısal olarak gereken miktarda malzeme ile tasarım yapmak mümkündür. Traverslerin prizmatik olmayan tasarımları, prizmatik tasarıma göre her bir travers için yaklaşık %15 oranında malzeme tasarrufu sağlamaktadır. Ancak unutulmaması gereken önemli bir konu, travers altında oluşan basınç profilinin, zaman içinde travers üzerine etki eden yükler altında balast katmanında gözlenebilen oturmalar ile değişebileceğidir. Bu durumda en yüksek basınç

## Demiryolu Mühendisliği

değerleri traversin ray altı bölgelerinden traversin ortasına doğru kayabilir ve travers ortasında çatlamlar gözlenebilir. Bu nedenle balast katmanın uygun granülometri ve sıkışıklık (compacity) değerlerinde tutulması için hattın, hat üzerindeki trafik yoğunluğuna ve dingil yük değerine ve de hat bölgesinin iklim koşullarına bağlı olarak bakım altında tutulması gerekir. Unutulmaması gereken diğer bir önemli konu, traversin sadece eğilmeye karşı direncinin değil aynı zamanda yatay yönde hat kararlılığının sağlanabilmesi için kütle gereksiniminin de dikkate alınmasıdır. Zira fazlaca hafiflemiş bir traversin kullanımı, hatlarda kararlılık sorunu yaratacaktır.

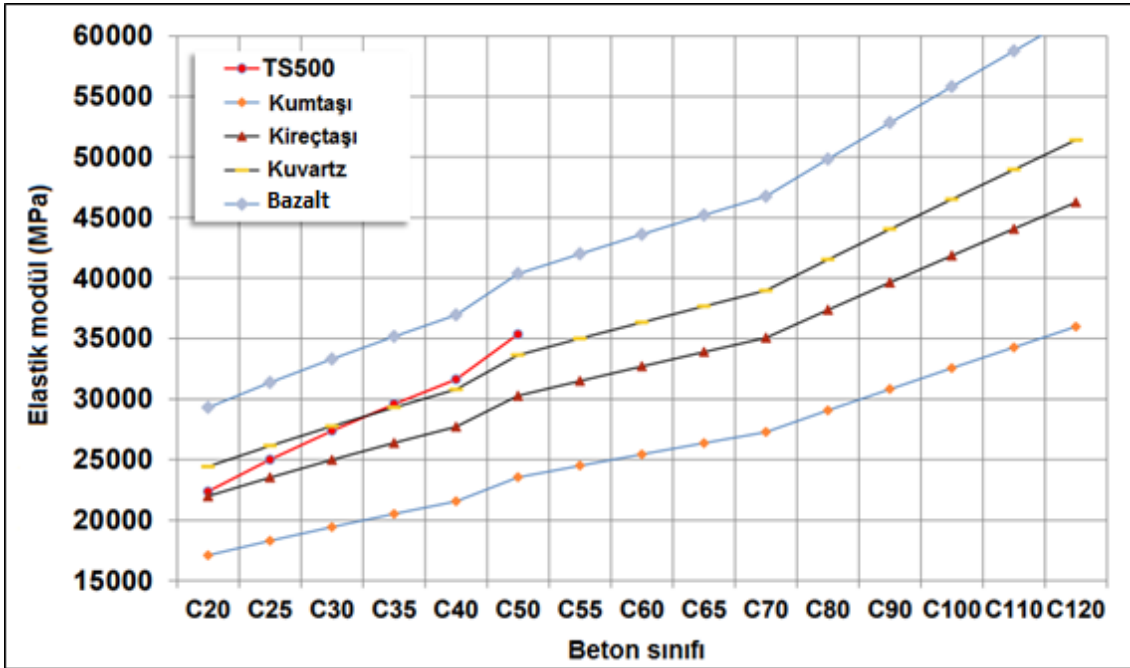
Şekil 1’de travers uzunluğunca yer alan bazı uzunluk değerleri gösterilmektedir. Normal ekartmanlı bir hattı oluşturan rayların bağlantı gereksinimleri ile birlikte ortaya çıkan ve omuz genişliği (shoulder width) olarak anılan ölçü önemlidir çünkü seçilen bağlantı parçaları ve ray taban genişliğine bağlı olarak, normal ekartmanı sağlayan değeri temsil etmektedir. Bu nedenle üretilen traversin omuz genişlik değerinin, normal ekartman değerini belirli payhadleri (tolerance) içinde verecek değer aralığında olması gerekir. Günümüzde, omuz genişliği ve ekartman için istenen payhadleri +2 mm ve -1 mm olabilmektedir. Bir başka deyişle üretilen traversin omuz genişliği en fazla 1815 mm ve en az 1812 mm olmalıdır. Bu payhadlerinin dışına çıkan ölçülere sahip traversler ise şartname gereği işveren tarafından kabul görmemektedir.

Traverslerde zaman içinde oluşan kısalmaların birincisi, öngerilme kuvvetinin aktarılması ile travers boyunca oluşan elastik kısalmadır ( $\Delta_a$ ). Kısalmaların tespitinde, travers boyunca kesit alanı değiştiği için, bu değişimin dikkate alınması gerekir. Bu durumda travers boyunca toplam elastik kısalma Denklem 1 ile ifade edildiği gibi olacaktır. Burada  $F_i$ , traverse aktarılan ve zaman içinde değeri bir miktar azalacak olan “aktarma anındaki öngerme kuvveti’ni” (prestressing force at transfer)” temsil etmektedir. Travers tasarımında bu değer, öngerme kuvvetinde zaman içinde beklenen kayıplara ve traversin mekanik tasarım gereksinimlerine bağlı olarak 280 kN ile 380 kN değerleri arasında değişebilmektedir. Gereken öngerme kuvvet değeri, UIC Codex 713-R önerileri ve EN 13230-1 şartnamesi ile elde edilen tasarım moment değerlerine bağlı olarak yapılacak öngerilmeli yapısal beton tasarım sonucunda ortaya çıkmaktadır. Bu çalışmada aktarma öngerme kuvveti  $F_i=300$  kN olarak ele alınacaktır.  $L_n$  ve  $A_n$  sırasıyla travers boyunca kesit alanının değiştiği travers uzunluğunu ve bu uzunluk boyunca temsili travers kesit alanının temsil etmektedir.  $E_{aktarma}$  ise, aktarma anındaki beton basınç mukavemetine bağlı olan beton esneklik modülünü (elastic modulus) temsil etmektedir.

$$\Delta_a = \sum_{n=1}^N \frac{F_i \cdot L_n}{E_{aktarma} \cdot A_n} \quad (1)$$

Denklem 1’in kullanılmasında dikkate alınması gereken birkaç önemli nokta vardır. Bunlardan ilki, traversin toplam uzunluğunun, traversin kesit alanı değişimini temsil eden birkaç ara uzunluğun toplamı olarak ifade edilmesi gerekliliğidir. Traversin uzunluğu ve traversin ortasındaki kesit alanının kullanımı ile elde edilecek kısalma değeri, gerçekleşen değerden büyük, ray altı bölgesinde yer alan kesit alanının kullanımı ise gerçekleşenden küçük bir kısalma değeri verecektir. Bu nedenle traversin, Şekil 1’de temsil edildiği haliyle farklı bölgeleri boyunca kısalma değerlerinin bulunması ve bu kısalma değerlerinin toplanması uygun olacaktır.

Dikkate alınması gereken diğer nokta ise betonun sınıfı, betonda kullanılan agreganın jeolojik kökeni ve betonun aktarma esnasında eriştiği beton mukavemet sınıfıdır. Yazar tarafından farklı kaynaklardan elde edilen deneysel denklemler ile oluşturulan Şekil 2’de, beton elastik modülünün beton sınıfı ile değişimi görülmektedir. Aynı basınç dayanım sınıfında olan ancak farklı agrega türü içeren betonların elastik modül değerleri dikkate değer şekilde farklı olmaktadır [5,6]. Bu nedenle travers tasarımında, sadece betonun basınç dayanımının değil, elastik modül değerinin de bilinmesi gerekir. Diğer taraftan traversin beton mukavemet değeri zaman içinde değişmekte ve 28 gün içinde, mühendislik hesaplamaları itibariyle kabul edilen en yüksek değerine ulaşmaktadır. Ancak öçekme kuvvetinin aktarımı esnasında beton mukavemet değeri, tasarıma esas nihai dayanımının çok altındadır. Aktarma esnasında istenen beton mukavemet sınıfı, yüzeyden aktarma içeren üretim yönteminde en az C20, levhalı aktarma yönteminde ise en az C40 olmalıdır. Her iki durumda da beton, traversin eğilme dirençlerinin tespitinde kullanılan nihai dayanım değerlerinin çok altındadır. Bu nedenle, aktarma esnasında oluşacak elastik kılma değerinin tespiti için kullanılacak elastik modül değerinin, aktarma esnasında etkin olan beton yaşına uygun beton sınıfına ait elastik modül değeri olması gerekir. Kireçtaşı ülkemizde sık bulunan bir kaya türüdür. Kuvartz kumu da ülkemizde sıkça bulunmaktadır. Bu nedenle TS 500’ de yer alan deneysel eşitlik ile kireçtaşı kökenli agrega ve kuvartz kumu içeren betonların elastisite modülünü tahmin etmek mümkündür. Ancak kuvartz kökenli agrega kullanımına sık rastlanmamakta, kireçtaşı ise kendi için çok farklı nitelik ve dayanımda olabilmektedir. Bu nedenle, TS 500 tarafından önerilen deneysel denkleme göre elde edilen elastik modül değerleri ile gerçekleşen elastik modül değerleri arasında farklılıklar oluşabilir. Dolayısıyla önerilmeli travers tasarımında elastisite modül tespiti son derece önemlidir ve ne yazık ki sıradan beton laboratuvarlarında bu ölçümü yapacak ekipman her zaman yer almamaktadır. Ancak üreticilerin bu ölçümü yapabilecek ekipmanı temin etmelerinde veya bu ölçümü ilgili yerlerde yaptırılmalarında yarar vardır.



Şekil 2. Beton sınıfı ve agrega türü ile beton elastik modül değerlerinin değişimi [5,6,7].

Burada unutulmaması gereken bir diğer önemli konu, mukavemet sınıf değerinin ve bu değer ile ilgili elastik modül değerinin, travers için tasarlanan betonun silindir numuneler üzerinden tespit edilmiş karakteristik basınç değerine göre belirtildiğidir [4,5]. Beton karakteristik değeri için şartnameler çoğunlukla, tasarım beton reçetesi ile üretilecek bir dizi silindir numune için tespit edilen muhtemel beton basınç dayanım değerlerinin en düşük %10'luk kısmını temsil eden basınç dayanımını kullanmaktadırlar. Ancak bundan daha düşük yüzde değerleri de gerek duyulduğu takdirde kullanılabilir.

### 3. Sünme ile Oluşan Kısalmaların Tahmini Değerlerinin Tespiti

Uygulanan öngerme kuvvetinin yaratacağı gerilme altında travers, elastik kısılmanın ardından zamana bağlı olarak bir miktar daha kısılacaktır. Zamana bağlı bu kısılmanın bir kısmı, sünme (creep) adı verilen beton özelliğinden kaynaklanmaktadır. Denklem 2, sünme nedeniyle ortaya çıkan birim kısılmayı ifade eden ana denklemdir. Ancak bu denklem içerisinde yer alan birinci değişken, Denklem 3 ve 9 arasında sunulan diğer birçok değişkene bağlıdır. Denklemler TS EN 1992-1'den alınmıştır [6].

$$\varepsilon_{sünme} = \varphi(t, t_0) \cdot \left( \frac{\sigma_{basinç}}{E_{beton}} \right) \quad (2)$$

$$\varphi(t, t_0) = \varphi_{RH} * \beta(f_{cm}) * \beta(t_0) * \left[ \frac{(t-t_0)}{(\beta_h+t-t_0)} \right]^{0,3} \quad (3)$$

- $\beta_H =$  Bağlı nem oranına ve temsili eleman boyutuna bağlı katsayı.
- $t_0 =$  Betonun, yüklemeye esnasında ortam sıcaklığı ile ayarlanmış yaşı (Gün).
- $t =$  Betonun yaşı (Gün).

$$\beta_H = 1.5[1 + (0.012RH)^{18}]h_o + 250\alpha_3 \quad (4)$$

$$\alpha_3 = \left[ \frac{35}{f_{cm}} \right]^{0.5} \quad (5)$$

$$t_o = t_T \cdot \left( \frac{9}{2+t_{0,T}^{1,2}} + 1 \right)^\alpha \geq 0.5 \quad (6)$$

- $\alpha = 1$  [R sınıfı çimento: CEM 42,5R, CEM 52,5N, CEM 52,5R]
- $t_T = \sum_{i=1}^n e^{-\left(\frac{4000}{273+T(\Delta t_i)} - 13.65\right)} \cdot \Delta t_i$
- $t_T =$  ısı etkisinin yansıtıldığı etkin beton yaşı
- $T(\Delta t_i) = \Delta t_i$  sürecinde  $C^\circ$  cinsinden sıcaklık
- $\Delta t_i = T$  sıcaklığının sürdüğü gün sayısı
- $h_o =$  Beton elemanın temsili boyutu
- $f_{cm} =$  Beton silindir ortalama değeri
- $f_{ck} =$  Beton silindir karakteristik değeri

$$\varphi_{RH} = \left[ 1 + \frac{1-RH/100}{0,1 \cdot \sqrt[3]{h_o}} \cdot \alpha_1 \right] \cdot \alpha_2 \quad (7)$$

- $\alpha_1 = \left[ \frac{35}{f_{cm}} \right]^{0.7}$
- $\alpha_2 = \left[ \frac{35}{f_{cm}} \right]^{0.2}$
- $h_o = \frac{2A_c}{u}$

## Demiryolu Mühendisliği

- $h_o = \text{Beton kesitinin temsili boyutu} = \frac{2A_c}{u}$
- $A_c = \text{Beton kesit alanı.}$
- $u = \text{Beton kesit çevresi.}$

$$\beta(f_{cm}) = \frac{16.8}{\sqrt{f_{cm}}} \quad (8)$$

$$\beta(t_o) = \frac{1}{(0.1+t_o^{0.2})} \quad (9)$$

- $\beta(f_{cm}) = \text{Sünme katsayısı üzerine beton mukavemetinin etkisi.}$
- $f_{cm} = 28 \text{ gün sonunda betonun ortalama basınç mukavemeti}$
- $\beta(t_o) = \text{Sünme katsayısı üzerine, yükleme anındaki beton yaşının etkisi.}$

Travers betonunun ilgili tasarım değerleri ile burada özeti sunulan ve uzun yıllara yayılmış deneysel çalışmalar sonunda TS EN 1992-1’de detayları ortaya konulan yöntemin uygulaması ile sünme kaynaklı kısılma değerlerinin ( $\Delta_s$ ) tespit edilmesi mümkündür. Elastik kısılma değerlerinin tahmin edilme sürecinde olduğu gibi sünmenin de, traversin kesit değişimi göz önüne alınarak önceki bölümde ifade edildiği şekilde yapılması gerekmektedir.

#### 4. Büzülme ile Oluşan Kısalmaların Tahmini Değerlerinin Tespiti

Zaman’a bağlı kısılmanın diğer kısmı, büzülme (shrinkage) adı verilen beton özelliğinden kaynaklanmaktadır. Kuruma büzülmesi ( $\epsilon_{cd}$ ) ve bünyesel büzülme ( $\epsilon_{ca}$ ) olarak iki ayrı nedenden ötürü meydana gelen büzülmenin muhtemel değerlerinin hesaplanmasında Denklem 10 ile 16 arasında yer alan eşitlikler kullanılmaktadır.

$$\epsilon_{cd} = \beta_{ds}(t, t_s) \cdot k_h \cdot \epsilon_{cd,o} \quad (10)$$

$$\beta_{ds}(t, t_s) = \frac{(t-t_s)}{(t-t_s)+0,04\sqrt{h_o^3}} \quad (11)$$

$$\epsilon_{cd,o} = 0.85 \left[ (220 + 110 \cdot \alpha_{ds1}) \cdot e^{(-\alpha_{ds2} \cdot \frac{f_{cm}}{f_{cm0}})} \right] \cdot 10^{-6} \cdot \beta_{RH} \quad (12)$$

$$\beta_{RH} = 1,55 \left[ 1 - \left( \frac{RH}{RH_0} \right)^3 \right] \quad (13)$$

- $f_{cm} = \text{Ortalama basınç mukavemet değeri}$
- $f_{cm0} = 10 \text{ MPa}$
- $k_h = \text{Beton temsili boyuna bağlı bir katsayı}$
- $t_s = \text{Kür sonu } (t_s = 0,3 \text{ Gün})$
- $t = \text{Zaman (Gün)}$
- $\alpha_{ds1} = 6 \text{ R sınıfı çimento}$
- $\alpha_{ds2} = 0.11 \text{ R sınıfı çimento}$

$$\epsilon_{ca}(t) = \beta_{as}(t) \cdot \epsilon_{ca}(\infty) \quad (14)$$

$$\beta_{as}(t) = 1 - e^{(-0,2t^{0,5})} \quad (15)$$

$$\epsilon_{ca}(\infty) = 2,5(f_{ck} - 10)10^{-6} \quad (16)$$

- $RH = \text{Bağıl nem } (\%)$
- $RH_0 = 100\%$

# Demiryolu Mühendisliği

- $f_{ck} = 60 \text{ MPa}$  (Silindir basınç mukavemeti)
- $\varepsilon_{ca}(\infty) = 2,5(f_{ck} - 10)10^{-6} = 0,000125$

Travers betonunun ilgili tasarım değerleri ile burada özeti sunulan ve uzun yıllara yayılmış deneysel çalışmalar sonunda TS EN 1992-1'de ortaya konulan yöntemin uygulaması ile büzülme kaynaklı kısılma değerlerinin ( $\Delta_b$ ) tespit edilmesi mümkündür.

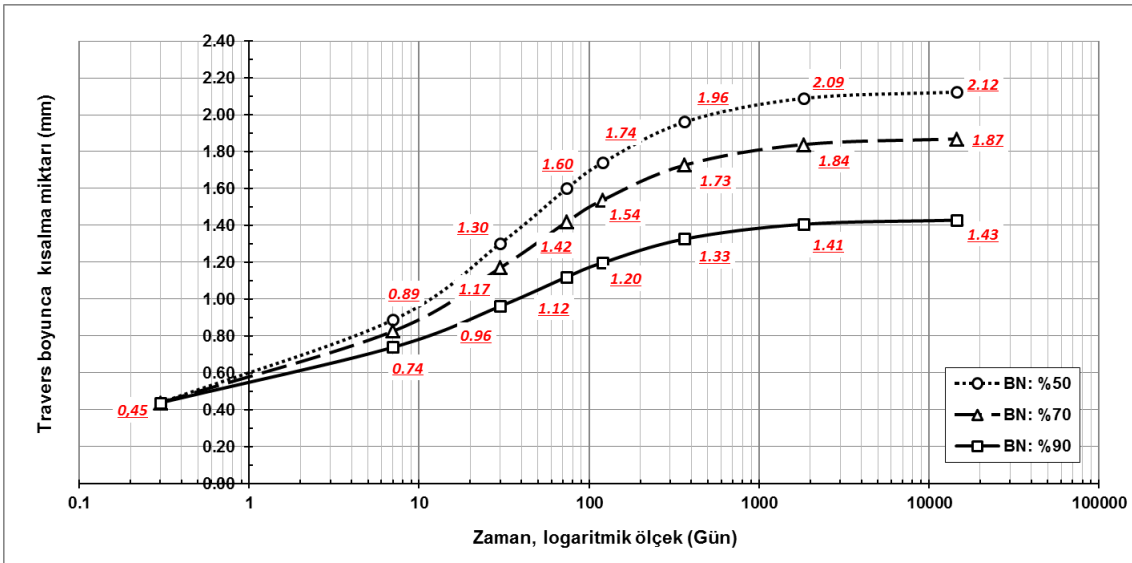
## 5. Zaman İçinde Gerçekleşen Toplam Kısılmanın Değerlendirilmesi

Travers uzunluğunda zaman içinde gerçekleşecek toplam kısılma ( $\Delta_T$ ), bu kısılmaları oluşturan ve Denklem 17'de belirtilen üç etkinin toplamından oluşmaktadır.

$$\Delta_T = \Delta_a + \Delta_s + \Delta_b \quad (17)$$

Bu bölümde, muhtemel basınç değerlerinin en küçük %5'lik değerini temsil eden karakteristik basınç dayanımı 60 MPa olan betondan üretilmiş örnek bir B70 sınıfı traversin, traversin tasarım hizmet ömrü olan 40 sene içerisinde, bağıl nem (BN) oranları %50, %70 ve %90 olan ortamlarda yer aldığı varsayılarak, aktarılan  $F_i=300 \text{ kN}$  kuvvet altında yapacağı kısılmalar değerlendirilmiştir. Kısılmaların hesabında kullanılan deneysel denklemlerin, önceki iki bölümde özetlenen ve TS EN 1992-1'de detayları bulunmaktadır.

Şekil 3'te, aktarılan öngerme kuvveti altında traversin tüm uzunluğunda, traversin tasarım ömrü olan 40 yıla (14600 gün) kadar meydana gelen kısılmaların oluşumu görülmektedir. Zaman içinde meydana gelen uzunluk değişiminin görülebilir olması için logaritmik gösterim tercih edilmiştir. Meydana gelen  $\Delta_a=0,45 \text{ mm}$  anlık kısılmayı takip eden süreçte, sünme ve büzülme kaynaklı kısılmalar meydana gelmektedir. 40 yıl içerisinde en yüksek değerlerine ulaşan toplam kısılmaların yaklaşık %60'ı bir ay içinde, yaklaşık %80'i 4 ay içinde, yaklaşık %90'ı 1 sene içinde, yaklaşık %98'i ise 5 sene içinde oluşmaktadır.

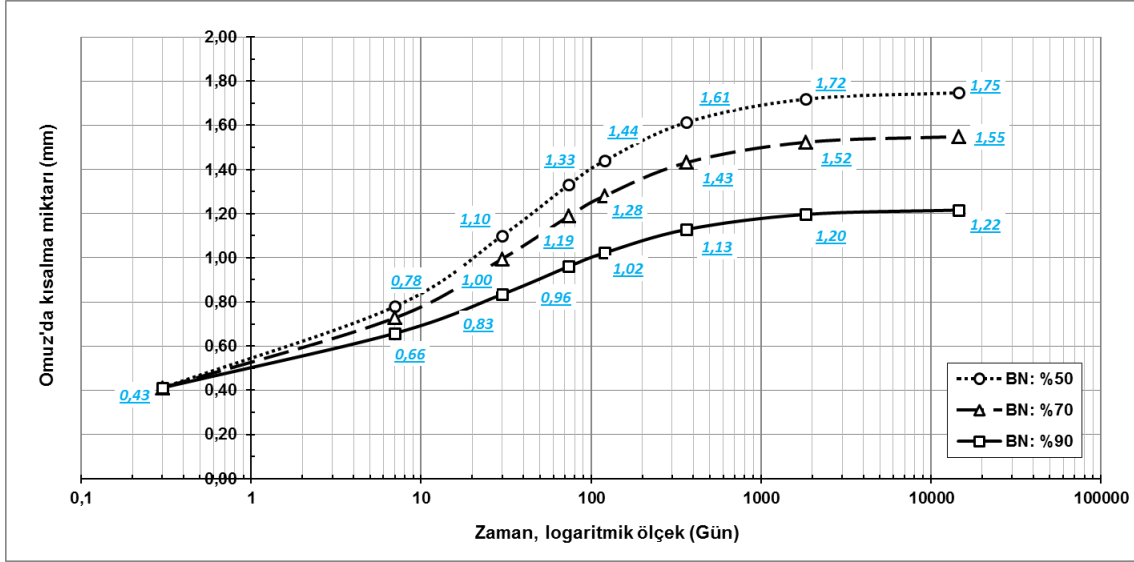


Şekil 3.  $F_i=300 \text{ kN}$  altında B70 sınıfı traverslerin boyunda beklenen zamana bağlı kısılma değerleri.

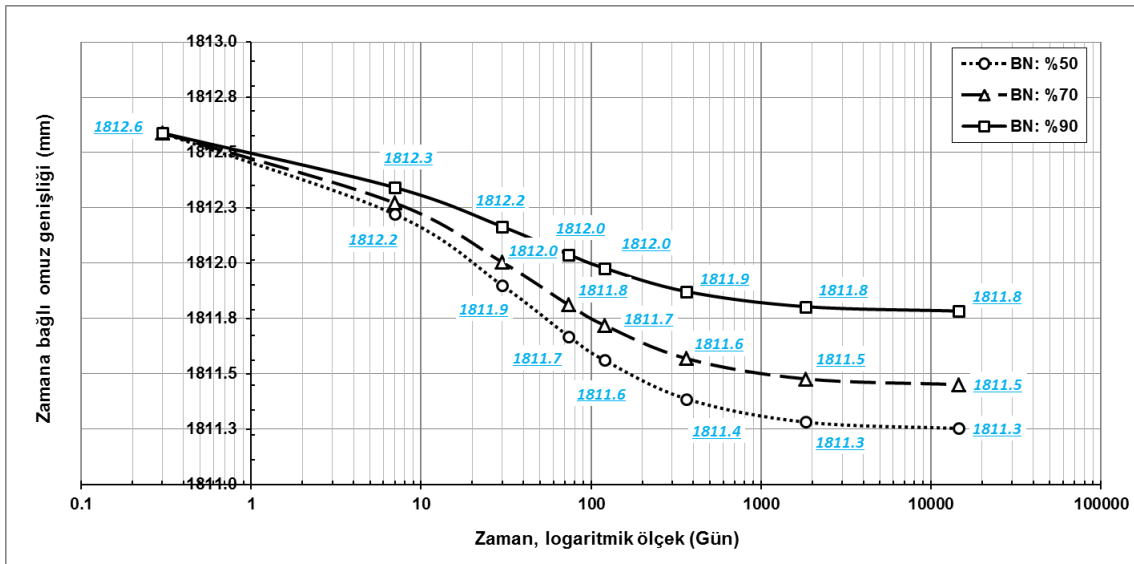


## Demiryolu Mühendisliği

Şekil 4'te travers omuz genişliğinde meydana gelen kısalma değerleri belirtilmektedir. Travers uzunluğuna göre daha kısa olan bu genişlik boyunca meydana gelen kısalma miktarları da Şekil 3'te belirtilen değerlerden beklendiği gibi düşüktür. Şekil 5'te ise zaman içerisinde kısalan omuz genişlik değerleri görülmektedir.



Şekil 4.  $F_i=300$  kN altında B70 sınıfı traverslerin omuz genişliğinde beklenen zamana bağlı kısalma değerleri.



Şekil 5.  $F_i=300$  kN altında B70 sınıfı traverslerin zamana bağlı omuz genişlik değerleri.

### 6. Sonuç ve Yorum

Bu çalışmada, önüretimli ve öngerilmeli monoblok beton traverslerin zaman içinde yapacağı kısalmaların nedenlerinden bahsedilmiş ve örnek bir travers üzerinden değerlendirmeleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar çarpıcıdır. Örnek olarak seçilen normalin altında bir öngerme kuvvetinde dahi beklenen kısalma değerleri, tüm bağıl nem oranları altında, bazı şartnamelerde ve kitaplarda omuz genişliği için izin verilen -1mm'lik kısalma payhaddi değerinin üstüne çıkmaktadır [2]. Yapılan irdelemede, omuz genişliğinde izin verilen 1 mm'lik kısalma miktarının yaklaşık %43'lük kısmı Şekil 4'e göre elastik kısalma olarak aktarma anında gerçekleşmektedir. BN=%50 değerine sahip bir iklim koşulunda 20 gün içinde, BN=%90 değerine sahip bir iklim koşulunda ise yaklaşık 100 gün içinde traverslerin omuz genişlikleri izin verilen payhaddi'nin dışına çıkmaktadır.

Yapılan incelemelerde görülmektedir ki bazı idareler, eksi değerdeki payhaddi değerini 2 mm'ye çıkarmaktadır ve bu sayede kısalmaların payhadleri içinde kalmasını sağlamaktadırlar. Ancak ray mantarı ve tekerlek budeni arasındaki etkileşimler irdelenmeden bu karar alınmamalıdır. Zira Hertz temas kuramı veya Kalker Teorisi ile incelenen tekerlek-ray teması ve özellikle yüksek hızlarda ortaya çıkan Klingel hareketi, milimetre düzeyinde oluşan ölçü farklarını önemli kılmaktadır.

Bu çalışmanın yazarının önerisi ise kullanılan betonun sınıfı, tasarımda yer alan öngerme kuvvet değeri ve traversin gerek üretimde, gerekse sahada yer alacağı ortamların bağıl nem oranlarına göre üretimden önce kısalma tetkiklerinin yapılmasıdır. Bu tetkiklerde elde edilen tespitlere göre de travers kalıplarının omuz genişlik ayarlamasının yapılması doğru olacaktır. Örneğin önceki bölümde sunulan çözümlerde elde edilen değerlere göre travers kalıbında omuz genişliğinin 1814 mm olarak ayarlanması, Şekil 4' göre aktarma anından yaklaşık 1 ay sonra omuz genişliğinin 1813 mm'ye gerilemesine ve tam istenen ölçüye yakın travers omuz genişliğinin elde edilmesini sağlayacaktır. Kalan zaman içerisinde meydana gelebilecek kısalmalar ise omuz genişliğini 1812 mm ile 1813 mm arasında tutarak, şartnamelerde yer alabilen 1mm kısalma payhaddi içinde tutacaktır.

Ancak bu çalışma, belirli tasarım ve kullanım şartları altında üretilen örnek bir travers üzerinden ve sadece konu hakkında bir fikir vermek üzere gerçekleştirilmiştir. Burada ifade edilen ve edilmeyen birçok değişkenin, gerçekleşecek kısalmalar üzerinde etkisi bulunmaktadır. Bu nedenle, kısalma değerlendirmelerinin bu değişkenlerde göz önünde bulundurulması uygun olacaktır. Travers tasarımında kullanılan öngerme telinin gevşeme sınıfı, telin üretildiği hammaddenin üretim esnasında tecrübe ettiği ısı işlemlerinin de travers tasarımına ve zamana bağlı uzunluk değişimlerine etkisi bulunmaktadır. Çoğunlukla ithal hammadde ile üretilen öngerme tellerinin tedarikçi seçimi ve tellerin satın alınma sürecinde çok dikkatli olunması gerekir.

Son olarak ülkemizin iklim koşulları ve inşaat firmalarımızın faaliyet gösterdikleri ülkelerin iklim koşulları genel olarak kuraktır ve öngerilmeli bir traversin tasarımında iklim koşulları ile ilgili bağıl nem değerleri önemli bir rol üstlenmektedir. Bu nedenle demiryolu mühendisliği tasarımlarında kendi mühendislik bilgimizi ve tecrübemizi üretmemiz ve birikimimizi zenginleştirerek meslektaşlarımızla ve yurttaşlarımızla paylaşmamız son derece önemlidir.

## Kaynakça

- [1] Kerr, A. Fundamentals of Railway Track Engineering. Simmons Boardman Pub Co; 1<sup>st</sup> Edition. 2003.
- [2] Lichtberger, L. Track Compendium. Eurail Press. 2011.
- [3] Menn, C. Prestressed Concrete Bridges. Springer-Verlag. 1986.
- [4] Kosmatka, S., Kerkhof, B., Panarese, W. Design and Control of Concrete Mixtures. Portland Cement Association. 14<sup>th</sup> Edition.
- [5] FIB bulletin No. 42. Constitutive modelling for high strength/high performance concrete – State of the art report. 2008.
- [6] TS EN 1992-1 Beton yapıların tasarımı - Bölüm 1-2: Genel kurallar

## Özgeçmiş



### **Doç. Dr. Niyazi Özgür BEZGİN**

2013 senesinde İstanbul Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde ulaştırma yapıları üzerine araştırmalar yapmak üzere Öğretim Üyesi olarak akademik çalışmalarına başlamıştır ve 2017 senesinde Doçent unvanını kazanmıştır. Demiryolu mühendisliği hat mekaniği üzerine çalışmakta olup, demiryolu hatları üzerine etkin eden dinamik darbe kuvvet değerlerinin tahmini için “Bezgin Yöntemi” adı verilen bir yöntem geliştirmektedir.