



BİLEŞİK YIKINTISIZ YÖNTEMLE YERİNDE BETON DAYANIMININ TAHMİNİ

İsa YÜKSEL

Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 67100/Zonguldak

Geliş Tarihi : 08.08.2002

ÖZET

Bileşik yıkıntısız beton denetimi yöntemlerinden kısaca “SONREB” adı verilen yöntemle betonarme bir binada yerinde beton dayanımı tahmin edilmekte ve tahribatlı test sonuçlarıyla karşılaştırılmaktadır. Bu yöntem, Schmidt çekici okumaları ve ultrases geçiş hızı ölçüm sonuçlarının bileşik olarak değerlendirilmesine dayanmaktadır. Yapılan ölçümler laboratuvarında özel olarak oluşturulan “eş-dayanım” eğrileri vasıtasıyla beton basınç dayanımına dönüştürülmektedir. Ayrıca binanın uygun yerlerinden karotiyerle beton örnekleri alınarak beton mukavemeti yıkıntılı olarak da elde edilmiş ve her iki yöntemle bulunan sonuçlar karşılaştırılmıştır. SONREB metodu ile, yerinde beton dayanımı yaklaşık olarak ve yapıya zarar vermeden hızlı bir şekilde tahmin edilebilmektedir. Bileşik yıkıntısız yöntemin en önemli avantajı bileşime giren yöntemlerin tekil olarak kullanılmasından ileri gelen hata oranlarının en aza indirilmesidir.

Anahtar Kelimeler : Beton, Bileşik yıkıntısız yöntem, Eş-dayanım

ESTIMATION OF IN-PLACE STRENGTH OF CONCRETE WITH COMBINED NON-DESTRUCTIVE METHOD

ABSTRACT

This paper presents estimation of concrete strength by the SONREB method that is a combined non-destructive testing method and application of the method on a reinforced concrete building structure. Comparison of results of both destructive and non-destructive test results is introduced also. The SONREB method is based on evaluation of the combination of Schmidt hammer readings and ultrasonic pulse velocity measurements. The measured material properties are correlated with compressive strength of concrete by using special iso-strength curves established in the laboratory. The strength is also checked with strength of cores drilled from suitable positions on the building. In-place strength of concrete giving without any structural damage to the structure could be estimated rapidly and approximately with the SONREB method. It was concluded that the special iso-strength curves increase sensitivity of in-place compressive strength estimation of concrete.

Key Words : Concrete, Combined non-destructive testing method, Iso-strength

1. GİRİŞ

Betonarme yapılarda, beton dayanımının denetim altında tutulması dayanım, durabilite ve ekonomik açıdan bir zorunluluk haline gelmektedir. Taze betonda, bu denetim, dökülen betondan örnek alınıp

bu örneklere basınç dayanımı testi yapılmak suretiyle gerçekleştirilmektedir. Ancak, taze betondan alınan örneklerin betonun yapıda yerinde dayanımını tam olarak temsil edemeyeceği de bilinmektedir. Sertleşmiş betonda yıkıntılı (tahribatlı) deneylerin taşıyıcı sisteme zarar verme

olasılığı olması, uygulamanın pratik olmaması gibi dezavantajları vardır.

Yıkıntısız beton denetimi, yapım kusurlarını, geometrik ve kompozisyon özelliklerini yapıya zarar vermeden araştırma işlemi olarak tanımlanabilir (Anon., 1988). Bu deneyleri yapım aşamasında, mevcut bir yapıda işletme yükleri altında veya bir afet sonucunda yerinde beton dayanımının tespiti gerektiğinde uygulamak mümkündür. Yıkıntısız yöntemlerin yapıya her zaman uygulanabilir olması dikkate değer bir avantajdır. Bunun yanında, tekil olarak uygulandığında gerçek dayanımın küçük sayılamayacak düzeyde sapmalarla tahmin edilebilmekte olması yıkıntısız yöntemlerin temel dezavantajı olmaktadır. Yapıya zarar vermeden hızlı ve kolay uygulanabilen, güvenilirliği yeterince yüksek, betonun yerinde dayanımını tahmin etmeye yarayan bileşik yıkıntısız yöntemler gereklidir.

Bu çalışmanın amacı, uygulaması en kolay iki yıkıntısız test yönteminin bileşik olarak kullanılmasıyla ortaya çıkan SONREB yönteminin yeterli yaklaşıklıkla betonun yerinde dayanımını tahmininde, özellikle pratik uygulamalar için kullanılabilir olduğunu göstermektir. Ayrıca, deneye tabi yapıdaki betonun özelliklerini daha iyi yansıtan özel kalibrasyon eğrileri ile hassasiyetin daha da artmakta olduğunu göstermektedir. Bunun için mevcut betonarme bir yapıda uygulama yapılacak, yıkıntılı deney sonuçları özel eş-dayanım eğrileri ve çeşitli araştırmacıların verdikleri bağıntı veya abaklarla bulunan sonuçlarla karşılaştırılacaktır.

Günümüzde bilinen birçok yıkıntısız beton denetim tekniği ile beton dayanımı yaklaşık olarak hesaplanabilmektedir. Fakat bulunan değerlerin hassasiyetini artırmak için iki ya da daha fazla yıkıntısız yöntem birlikte kullanılabilir (Samarin and Dhir, 1984). Böylece, bileşik yıkıntısız deney kombinasyonları ortaya çıkar. Bileşik yıkıntısız deneyler yıkıntısız bir yöntemin yalnız başına kullanılmasına kıyasla çoğu zaman daha hassas sonuçlar verir. Bunun için temel koşul kombinasyona giren her bir tekil yöntemin dayanımı farklı bir parametreden yola çıkarak hesaplamasıdır. Uygun kombinasyonu seçerken bazı kriterleri göz önünde tutmalıdır. Bileşik yöntemle bulunan dayanım, tekil yöntemlerden bulunan dayanımların aritmetik ortalamasına eşit değildir (Anon., 1993). Örneğin, ultrasonik yöntemle geri tepme indeksinden meydana gelen kombinasyonda; beton yüzey sertliğine bağlı olarak dayanım tahmininde genellikle gerçek dayanımdan daha yüksek dayanımlar elde edilirken; ultrases geçiş hızı ölçümüne dayalı olarak yapılan tahminlerde de gerçek dayanımdan daha düşük dayanım elde edilmektedir. Böylece bu iki yöntem bileşik olarak

kullanıldığında biri diğerinin dezavantajını dengelemektedir. Bileşik yıkıntısız yöntemler içinde en çok kullanılan bu kombinasyon kısaca "SONREB" yöntemi olarak anılacaktır.

Yerinde beton denetiminde genellikle beton dayanımı ve ölçülen parametreler arasındaki ilişkiyi veren eğriler ya da tablolar kullanılmaktadır (Yüksel, 1995). Bunlardan biri araştırmacı Nikkari tarafından N tipi Schmidt çekici ve 150 kHz frekanslı ultrason cihazıyla normal portland çimentosu ve nehir agregası kullanılarak üretilen referans beton için aşağıda verilen bağıntıdır (Nikkari, 1979). Bağıntı (1)'de σ küp mukavemeti cinsinden beton basınç dayanımını (kg/cm^2), V ultrases geçiş hızını (km/s), R ise geri tepme indeksini göstermektedir.

$$\sigma = \frac{1}{2} \left(102 - \sqrt{132.25 - (0.5\sqrt{40V - 280})^2 - (4R - 252)^2 - 182} \right) \quad (1)$$

Bileşik yıkıntısız test çalışmalarında sözü geçen eğriler veya bağıntılar hep bir referans betonu için verilmektedir. Doğal olarak deneye tabi yapıdaki beton, referans betondan farklı özellikte ise hesaplanan dayanımın hassasiyeti de düşmektedir. Buna engel olmak için beton dayanımı belirlenecek yapının betonu bir şekilde referans betona dönüştürülmelidir. Bu işlem, referans betondan farklı ve dayanımı etkileyen her özellik için bir düzeltme katsayısı uygulanarak yapılabilir. Düzeltme katsayıları da ayrı ayrı laboratuvar çalışmaları sonucunda ortaya çıkmaktadır. Bir referans betonu, genellikle çimento cinsi ve miktarı, betonun yaşı, küre şekli, kullanılan agrega türü, varsa beton katkı maddesinin cins ve miktarı ile tanımlanır. Özel kalibrasyon eğrisi hazırlanırken referans beton hazırlanırken her numune preste kırılmadan önce SONREB testine tabi tutulur. Ultrases hızı ve geri tepme indeksi ile basınç dayanımı arasında katlı korelasyon yapılarak elde edilen denklemin belirli mukavemet değerleri için ultrases hızı- geri tepme indeksi grafiği çizilir. Bu grafikte her bir eğri sabit bir mukavemet düzeyini gösterir (Yüksel, 1995). Bu eğriler "eş-dayanım" eğrileri olarak anılacaktır.

Yaşlı ve kompozisyonu bilinmeyen betonlarda SONREB yöntemi uygulanmadan önce beton yüzeyinde karbonatlaşma olup olmadığı, betonun bileşenleri ve bunların miktarları, maruz kaldığı çevre koşulları, beton sınıfı, bileşime giren agrega türü, kullanılan çimento cinsi, çatlaklar varsa yaygınlık derecesi gibi bilgiler araştırılarak bulunmaya çalışılmalıdır. Bu yöntem betonun yaşından bağımsız gibi görünse de yüzeyde oluşan karbonatlaşma nedeniyle beton yaşı ile dolaylı olarak ilgilidir (Anon., 1993). Beton bir yaşından

fazla ise yüzeydeki karbonatlaşmış kısım sıyrılarak alınmalı ya da karbonatlaşmanın etkisini dikkate almak için uygun bir düzeltme katsayısı uygulanmalıdır.

2. MATERYAL VE METOT

SONREB yöntemi ile betonarme bir yapı üzerinde uygulama yapılmış, betonun yerinde dayanımı tahmin edilmiştir. Tahmin için laboratuvar çalışması sonucu elde edilen özel eş-dayanım eğrileri ve diğer araştırmacıların benzer şekilde elde ettikleri bağıntı veya abaklar kullanılmıştır. Yapılan tahmin sonuçlarının karşılaştırılması amacıyla yapının uygun yerlerinden alınan karotların basınç dayanımları referans alınmıştır. Aşağıda deney hazırlık ve yöntemin uygulanması kısaca açıklanmaktadır.

2. 1. Hazırlık Çalışmaları ve Okumalar

Deneye tabi yapı, 1991 yılında inşa edilmiş ve halen kullanılmakta olan bir okul binasıdır. Bir zemin ve dört normal kattan meydana gelen yapının taşıyıcı sistemi betonarme perdeli çerçeve olup taban alanı yaklaşık olarak 800 m² dir. Binada yıkıntısız deney yapılacak nokta sayısı, başlangıçta ortalama 5 m³ betona bir deney noktası karşı gelecek şekilde düşünülmüştür. Ancak yapının halen kullanımda olması bazı mekanlarda deney yapmaya engel olduğundan deney noktası sayısı her katta eşit tutulmaya çalışılmışsa da bu tümüyle mümkün olmamıştır. Sonuç olarak, toplam 59 noktada (perde, kolon veya giriş) ultrases geçiş hızı ölçümü ve Schmidt çekici ile geri tepme indeksi okumaları yapılabilmektedir. Deney noktaları kolon ve perdelerin kat yüksekliğine göre orta bölgesinde seçilmiştir. Deney noktalarının doğrudan donatılar üzerine gelmemesi için donatı detektörü ile tam nokta tayini yapılmıştır. Bu şekilde tespit edilen deney noktalarında, 15 cm kenarlı bir kare içinde elemanın karşılıklı her iki yüzündeki sıva tabakası kaldırılmıştır. Burada, bir deney noktası tanımlı bir elemanın karşılıklı iki yüzünden yapılan ölçüm için kullanılmıştır. Yüzeyin düzgün çıkmadığı noktalarda pürüzler zımpara taşı ile giderilmiştir. Tesviye ederek düzeltme olanağı olmayan noktaların yakınında eşdeğer başka deney noktası seçilmiştir. Bunun da mümkün olmadığı noktalarda ölçüm yapılmamıştır.

Ölçüm için hazırlanan noktalarda ultrases geçiş hızı ve problemler arası dik uzaklık ölçülmüştür. Ultrases geçiş yolu yakınında donatı olması veya beton içinde büyük boşluklar olması hallerinde ultrases geçiş hızı okunamadığından problemlerin yeri karşılıklı olarak

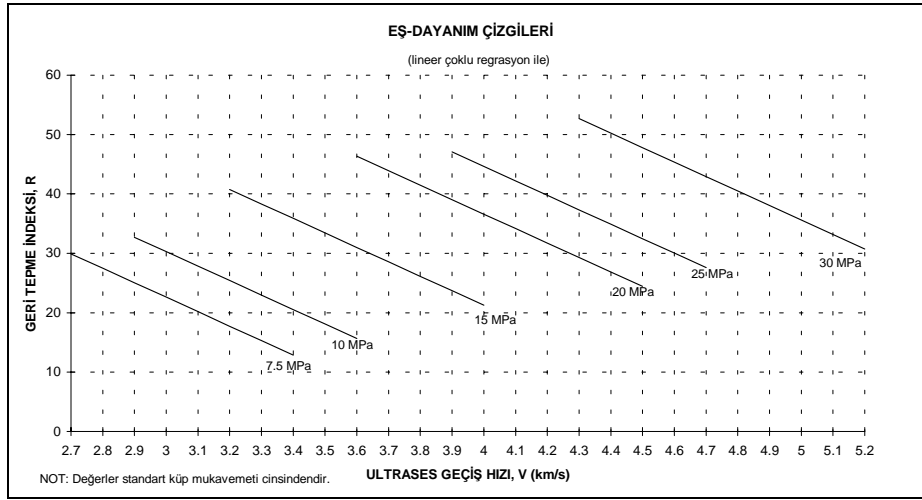
kaydırılmıştır. Bu değişikliğin de yeterli olmaması halinde söz konusu noktalarda okuma alınamamıştır. Ultrason deneyinden sonra aynı noktalarda, N modeli Schmidt çekici ile yüzeye dik pozisyonda 12 adet vuruş yapılmış, bunların ortalamadan 5 birimden fazla sapma yapanları iptal edilmiştir. Kalan okumaların aritmetik ortalaması alınarak o yüzeye ait geri tepme indeksi hesaplanmıştır. Tablo 1'de okuma alınan noktaların sayısı, okumaların ortalama değerleri ve standart sapma değerleri görülmektedir. Bu işlemlerden sonra yıkıntısız deney sonuçlarıyla karşılaştırılmak üzere binanın her katından birer adet olmak üzere, perde duvarlardan 10 cm çaplı beton karot örnekleri alınmıştır.

2. 2. Yerinde Beton Dayanımının Hesaplanması

SONREB yöntemi için geliştirilmiş özel “eş-dayanım” eğrileri ile ve çeşitli araştırmacıların (Nikkari, 1979; Facaoaru, 1984) geliştirdikleri benzer eş-dayanım eğrileri ya da bağıntıları kullanılarak yerinde beton dayanımı hesaplanmıştır. Bu çalışmada kullanılan ve doğrusal formda hazırlanmış özel eş-dayanım eğrileri Şekil 1’de verilmiştir.

$$\text{SapmaOranı} = \frac{\sqrt{\sum (f_{\text{karot}} - f_{\text{tahmin}})^2 / (n - 1)}}{f_{\text{karot}}} \quad (2)$$

Geri tepme indeksi için betonun yaşı, kür durumu ve çimento dozajı için düzeltme katsayıları uygulanarak bileşik düzeltme katsayısı elde edilmiştir. Ultrasonik yöntem için yukarıda sayılan etkilere donatı etkisi, agrega cinsi ve agrega içindeki ince madde oranı etkilerine ait düzeltme katsayıları uygulanarak bileşik düzeltme katsayısı hesaplanmıştır. Her katta deney noktalarında okunan değerlerin ortalaması kata ait geri tepme indeksi ve ultrases geçiş hızı olarak Tablo 1’de görülmektedir. Ayrıca yapının geçmişi araştırılarak bulunan bileşik düzeltme katsayıları da katlar itibarıyla Tablo 2’de görülmektedir. Her katın bileşik düzeltme katsayıları ile çarpılarak düzeltilmiş R ve V değerleriyle eş-dayanım eğrilerinden karşılık gelen beton dayanımı bulunarak standart silindir mukavemetine dönüştürülmüştür. Çünkü Şekil 1’de görülen eğriler küp mukavemeti cinsinden sonuç vermektedir. Tablo 3’de yerinde beton dayanımı hesap tablosu görülmektedir. Karşılaştırma amaçlı karot sonuçları esas alınarak yıkıntısız yöntemle bulunan değerlerin sapma oranları Bağıntı (2) ile hesaplanmış ve Tablo 4’de gösterilmiştir. Burada, f, dayanımını; n ise binadan alınan toplam karot sayısını göstermektedir. Sapma oranlarının katlar arasındaki ağırlıklı ortalaması da hesaplanmıştır.



Şekil 1. Doğrusal formda hazırlanmış "Eş-Dayanım" eğrileri

Tablo 1. Katlarda Ölçüm Yapılan Nokta Sayısı, Geri Tepme İndeksi ve Ultrases Geçiş Hızı Ham Değerleri ile Bunlara Ait Standart Sapmalar

Kat	Ölçüm yapılan eleman sayısı	Geri Tepme İndeksi (R)		Ultrases Geçiş Hızı (V)	
		Ortalama R	Standart sapma	Ortalama V (km/s)	Standart sapma
1	13	34.6	2.0	3.71	0.23
2	12	29.8	2.2	3.37	0.22
3	7	29.5	3.1	3.17	0.39
4	16	29.8	3.4	3.45	0.30
5	11	27.4	3.0	3.15	0.27

Tablo 2. Kat Bazında Geri Tepme İndeksi ve Ultrases Geçiş Hızı Ortalamalarının Ham Değerleri ve Bileşik Düzeltme Katsayıları

Kat	Geri Tepme İndeksi, R	R için bileşik düz. Katsayısı, C_R	Ult. geçiş hızı V (km/s)	Ult. için bileşik düz. katsayısı, C_V
1	34.6	0.79712	3.71	1.051
2	29.8	0.79712	3.37	1.051
3	29.5	0.79712	3.17	1.029
4	29.8	0.79712	3.45	1.005
5	27.4	0.79712	3.15	1.005

Tablo 3. Yerinde Beton Dayanımı Hesabı⁽¹⁾

Kat	Düzeltilmiş		Karot ⁽²⁾ (MPa)	DİĞER		
	V (km/s)	R		YÜKSEL Lineer (MPa)	Façoaru (MPa)	Nikkari (MPa)
1	3.90	27.58	12.59	12.71	12.01	12.56
2	3.54	23.75	8.15	8.67	7.25	9.82
3	3.26	23.52	6.90	7.66	6.41	7.18
4	3.47	23.75	8.56	8.96	6.90	8.70
5	3.17	21.84	5.76	6.55	5.29	5.46

(1) : Beton dayanımları standart silindir dayanımı cinsindedir

(2) : Her katta perde betonlarından birer adet karot örneği alınmıştır

Tablo 4. Yıkıntısız Yöntemle Tahmin Edilen Yerinde Beton Dayanımının Karot Sonuçlarından Sapma Oranları

Kat	YÜKSEL		DİĞER	
	Lineer (%)	Façoaru (%)	Nikkari (%)	
1	5.10	8.29	6.85	
2	7.88	12.80	10.57	
3	9.31	15.13	12.49	
4	7.50	12.19	10.07	
5	11.15	18.12	14.97	
Basit Ort.	8.19	13.31	10.99	
Ağ. Ort.	7.94	12.91	10.66	

3. SONUÇLAR

Kısaca SONREB olarak isimlendirilen mevcut yapılara zarar vermeden kolay uygulanabilen bileşik yıkıntısız yöntemle betonarme bir yapıda betonun yerinde dayanımı tahmin edilmiş ve yapıdan alınan karotların dayanımları ile karşılaştırılmıştır. Buna göre; özel hazırlanmış “eş-dayanım” eğrileri ile yapılan tahminde karot sonuçlarından sapma oranları % 5.10 ile % 11.15 arasında değişmekte olup katların ağırlıklı ortalaması % 7.94’tür. Diğer araştırmacılar tarafından verilen bağıntılarla hesaplandığında, bu oranlar en düşük % 6.85, en yüksek % 18.12 olmaktadır. Özel hazırlanmış eş-dayanım eğrileri ile yapılan yerinde beton dayanımı tahmininde hassasiyet daha yüksek çıkmaktadır. Özel kalibrasyon eğrileri olmasa bile bileşik yıkıntısız yöntemle yapılan tahminler tekil yöntemlere kıyasla daha gerçekçi görülmektedir. Öte yandan, yıkıntısız yöntemlerden bulunan sonuçların tahribatlı deney sonuçlarının yerini tutamayacağı unutulmamalıdır.

Deney noktası sayısı arttıkça yerinde betonu temsil oranı da artacağına göre Tablo 4’de ağırlıklı ortalamanın basit ortalamaya kıyasla daha anlamlı olduğu düşünülmektedir.

Türkiye’de yapıların depreme karşı dayanımlarının araştırılmasında bileşik yıkıntısız yöntemle yerinde beton dayanımının yaklaşık olarak tespiti önemli bir aşamayı oluşturabilir. Böylece, çoğu kere yıkıntılı deneylere gerek kalmadan mevcut yapı stoğunun yerinde beton dayanımı hızlı ve ortalama $\pm\%10$ sapma ile tahmin edilebilir. Bu yaklaşım mevcut yıkıntısız yöntemlerin tek başına kullanılmasına kıyasla daha güvenli görülmektedir. Ayrıca, bileşik yıkıntısız yöntemin daha hassas sonuçlar vermesi için yapıdan karot örnekler alınarak özel kalibrasyon eğrilerinin oluşturulması tavsiye edilir.

4. SEMBOLLER

σ : Beton basınç dayanımı (küp muk. cinsinden)

V : Ultrases geçiş hızı (km/s)
R : Geri tepme indeksi
 C_R : Geri tepme indeksi için bileşik düzeltme katsayısı
 C_V : Ultrases geçiş hızı için bileşik düzeltme katsayısı
 f_{karot} : Karotlardan elde edilen beton basınç dayanımı
 f_{tahmin} : Bileşik yıkıntısız yöntemle tahmin edilen beton basınç dayanımı
n : Karot sayısı

5. KAYNAKLAR

Anonymous, 1988. ACI Committee 228 “In-Place Methods For Determination of Strength of Concrete”, Manual of Concrete Practice, ACI-228.1R-89, Reported by ACI Committee 228, American Concrete Institute, Detroit.

Anonymous, 1993. The RILEM Technical Committee 43-CND, “Draft Recommendation for in Situ Concrete Strength Determination By Combined Non-Destructive Methods”, Materials and Structures, Vol: 26.

Facaoaru, I. 1984. “Romanian Achievement in Non-Destructive Strength of Concrete”, in Situ/Nondestructive Testing of Concrete SP-82, American Concrete Institute, Detroit.

Nikkari, K. 1979. “On the Use of the Rebultra Method in Finland”, RILEM International Symposium on Quality Control of Concrete Structures, Stockholm.

Samarin, A., Dhir, R. K. 1984. “Determination of In Situ Concrete Strength: Rapidly and Confidently By Non-Destructive Testing”, in Situ/Nondestructive Testing of Concrete SP-82, American Concrete Institute, Detroit.

Yüksel, İ. 1995. Bileşik Yıkıntısız Beton Deneyleri ile Beton Mukavemetinin Belirlenmesi ve Betonarme Bir Yapıda Uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi.