

## **ETKİN VİBRASYONUN BETON KALİTESİNDEKİ ÖNEMİ**

Kemalettin YILMAZ<sup>1</sup> , Fethullah CANPOLAT<sup>2</sup>

**ÖZET :** Beton kalitesi, belli bir süreç içerisinde farklı aşamalardan meydana gelen işlemlerin sonucunda şekillenmektedir. Kaliteyi etkileyen bu faktörlerin en önemlilerinden biri de üretilen taze betonun kalıbına yoğun ve homojen olarak yerleştirilmesi aşamasıdır. Yerleştirmede en etkili yöntemlerden biri vibrasyon uygulamasıdır. Etkin vibrasyonun bilinen önemine vurgu yapmak amacıyla laboratuvarında deneysel bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada, C20 ve C35 sınıfında iki farklı çökmede üretilen betonların A grubu hariç diğerlerine (B) ilk vibrasyon uygulandıktan sonra yine C grubu hariç diğerlerine 30, 60, 90 dakika sonunda ikinci bir (tekrarlı) vibrasyon yapılmıştır. Standart koşullarda saklanan betonların 7 ve 28 günlük basınç dayanımları bulunduğundan sonra tek vibrasyon uygulanan her serideki betonun 28 günlük basınç dayanımı referans alınarak o serideki diğer sonuçlar buna göre değerlendirilmiştir.

**ANAHTAR KELİMELEER:** Beton kalitesi, yerleştirme, vibrasyon, ikinci vibrasyon

## **IMPORTANCE OF ACTIVE VIBRATION ON CONCRETE QUALITY**

**ABSTRACT :** Quality of concrete is formed throughout different stages occurred within some determined time. One of the important factors affected the quality of the concrete is the stage in which the concrete is placed inside the forms as dense and uniform as possible. One of the important methods of placement of the concrete inside the forms is vibration. An experimental study has been carried out to emphasize known importance of the vibration. In this study, three groups of C20 and C35 class concrete mixtures were prepared. In group A, vibration was not used. In group B, vibration was applied when the concrete was placed and 30, 60 and 90 minutes after the concrete was placed. In group C, vibration was used only when concrete was poured into the forms. After the samples were cured at standard conditions, compressive strengths of the samples were found at 7 and 28 days. Then, the compressive strength of group B at 28 days was taken as reference strength and the strength of other samples were compared with the reference strength.

<sup>1</sup> Sakarya Üniversitesi, M.Y.O., İnşaat Bölümü, Adapazarı

<sup>2</sup> Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Bölümü, Manisa

**KEYWORDS:** *Concrete quality, placement, vibration, revibration.*

## **I. GİRİŞ**

Ülkemizin büyük bölümü deprem kuşağında yer almakta ve sıkça yaşanan depremlerde büyük can ve mal kaybı olmaktadır. Bunun en yakın örneği 17 Ağustos Marmara ve 12 Kasım Düzce Depremleri ile yaşanmıştır. Bu depremlerde, projelendirme hatalarının yanında yetersiz beton dayanımının da etkili rol oynadığı ortaya çıkmıştır.

Beton kalitesi tasarım, üretim, taşıma, yerleştirme, sıkıştırma ve bakım aşamaları sonucunda oluşmaktadır. Bu aşamaların her birinde aynı ve yeterli özen gösterildiğinde istenen sonuç alınabilir. Aksi halde “zincirin gücü en zayıf halkası kadardır” özdeyişi gereği birindeki bir kusur veya eksikliğin diğerlerinde paylaşılma sansının olmamasından dolayı beton kalitesi istenen düzeyin çok altında kalabilmektedir.

Bu aşamalardan biri olan vibrasyon şantiye yetkililerinin sorumluluğu altında yerine getirilmesi gereken bir işlemdir. Ne yazık ki günümüzde bu işlemin önemi konusunda yeterli bilincin oluştuğu ve bu sektörde vibrasyonun doğru ve gerektiği biçimde yapıldığı söylenemez.

Üretilen taze betonun kalıbına yoğun ve homojen olarak yerleşmesini sağlamak için çeşitli yöntemler uygulanmaktadır. Yerinde üretilen geleneksel betonarme yapı sistemleri için en uygun vibrasyon yöntemi dalgıç vibratörlerle betonun sıkıştırılmasıdır. Uygulanan vibrasyon sonucu beton kütlesi içerisinde titreşim dalgaları oluşmakta, tanelerin titreşime uğraması ve hareketliliği sonucu hava boşlukları yok edilerek beton sıkıştırılmaktadır. Sıkıştırılmış taze betonda kompasitenin yükseltilmesi sonucu beton kalitesi, yani sertleşmiş betonun dayanım ve dayanıklılığı önemli oranda artırılmış olmaktadır. Ayrıca betonla donatı arasındaki aderans güçlenerek betonarmenin monolitik davranışına olumlu katkı sağlamaktadır.

## **II. TAZE BETONDA VİBRASYON**

Kalıbına yerleştirilen taze betona uygulanan vibrasyonla bileşimindeki iri taneler ve kütlesi ağır olanlar düşük frekanslarla, ince ve hafif taneler ise yüksek frekanslarla hareket ederler. Bu esnada beton viskoz bir karakter kazanarak katı taneler ile sıvı arasındaki iç sürtünme minimuma iner [1]. Vibrasyon ile harekete geçen hava kabarcıkları dışarı kaçabilme olanağı bulur. Tanelerin titreşimi sonucu oluşan kayma gerilmeleri taze betonda

yapışma ve kenetlenmeden doğan iç sürtünme ile kalıp ve donatı ile arasında oluşan dış sürtünmeyi yenerek taze beton akışkan bir sıvıya dönüştürür. Beton bileşimindeki iri taneler ile çimento hamuru arasındaki yapışma direnci geçici olarak sıfıra indirgenir.

Vibrasyonda en önemli faktörler oluşturulan dalganın frekansı ve genliği, dolayısıyla ivmesidir. Vibrasyon sırasında betonun içerisindeki ivme değerleri 20 g ile 150 g arasında değişmektedir. İvme değeri dalıcı vibratörlerde kaynaktan uzaklaştıkça homojen bir şekilde azalmaktadır. İvmenin yüksek olması frekans ve genliğin tek tek veya beraberce yüksek olmasına bağlıdır [2].

Beton teknolojisinde frekansı 3.000 ile 30.000 devir/dakika arasında değişen vibratörler kullanılmaktadır. Bunun yanında özel amaçlar için yüzey vibratörleri ve titreşim masterları kullanılmaktadır.

İlk vibrasyondan belirli bir süre sonra tekrar vibrasyon uygulanmasına revibrasyon, bu iki uygulama arasında geçen süreye de revibrasyon süresi denilmektedir. Prefabrik sistemlerde kontrollü bir biçimde uygulanan revibrasyon, taze betonda plastik rötre çatlaklarını yok ederek ve terleme üzerinde olumlu etkiler göstererek beton kalitesini yükseltmektedir. Ancak ilk vibrasyonla revibrasyon arasındaki zaman şüphesiz priz süresine bağlıdır. Priz başlamadan önce yapılan uygulamayla basınç dayanımları olumlu yönde etkilenirken, priz başladıktan sonra yapılan uygulamada çimento kristalleri arasındaki bağlar koparıldığı için yeni kristaller teşekkül edememektedir ve bunun sonucu basınç dayanımları düşebilmektedir. Bu nedenle, revibrasyon priz başlamadan önce uygulanması gerekmektedir.

### ***III. VİBRASYONUN BETON KALİTESİNE ETKİSİ***

Yetersiz yerleştirme, yerel bozukluklara sahip boşluklu ve homojen olmayan bir beton iç yapısının ortaya çıkmasına neden olur. Yetersiz yerleştirme dayanımdaki düşüklüğün yanı sıra su, klorürler, sülfatlar, oksijen ve karbondioksit gibi zararlı maddelerin betonun içerisine girmesinin sonucunda da beton ve donatı üzerinde korozyona neden olur. Ayrıca betonda oluşan bu boşluklar betonla donatı arasındaki aderansı zayıflatmaktadır. Betonda sıvı, gaz ve iyon hareketini kolaylaştırarak geçirgenliğin artmasına yol açan boşluk hacminin minimize edilmesi yerleştirmede esas amaç olmalıdır. Beton içinde kalan her %

1 hava boşluğu dayanımda yaklaşık % 6 kayıp oluşturur. Taze betonda boşlukların azaltılması dayanım ve dayanıklılığı olumlu yönde etkileyerek betonarme yapının servis ömrünü artıracaktır.

Dalıcı vibratör kullanarak yapılan bir çalışmada, tekrarlı vibrasyonun betonun 28 günlük basınç dayanımlarında beton bileşimine bağlı olarak % 6.9 ila % 18.7 arasında değişen artışlar sağladığı belirlenmiştir [3].

Dalıcı ve masa vibratörleri kullanılarak iki ayrı dozajlı bir beton üzerinde yapılan bir çalışmada masa vibratörlerinin daha etkin olduğu ve tekrarlı vibrasyon etkisinin yüksek dozlu betonlarda daha belirgin olduğu ortaya konmuştur [4]. Bu çalışmada dalıcı vibratör ile ikinci vibrasyon yapılan 300 ve 375 dozajlı betonlarda 28. gündeki dayanım artışlarının sırası ile % 1-5 ve % 5-14 arasında olduğu belirtilmektedir.

Vibrasyonun ve ikinci vibrasyonun betonun kararlılığı ve sıkışabilirliği üzerindeki etkisinin incelendiği bir çalışmada [5], su-çimento oranı 0.35 ile 0.62 arasında değişen betonlara 0 ila 120 saniye kadar değişen sürelerde ilk vibrasyon yapılmış; daha sonra aynı betonlara 1 saatten 4.5 saate kadar değişen süreler sonunda ikinci vibrasyon uygulanmıştır. Araştırmacılar basınç dayanımlarına göre yaptıkları değerlendirmede optimum su-çimento oranının 0.45, sıkıştırma süresinin ise tabaka başına 10 saniye olduğunu belirtmişlerdir. İkinci vibrasyon uyguladıkları betonların tümünde kontrol betonlarına göre dayanım artışları elde etmişlerdir. Basınç dayanımlarındaki bu artışlar 7. ve 28. günlerde sırasıyla % 28.4 ve % 24.7 olarak elde edilmiştir [5]. İkinci vibrasyonun basınç dayanımı ve aderansa etkilerinin incelendiği çalışmada ise, çökmesi yüksek betonlarda kalıbın üst tarafındaki donatıların aderansını iyileştirdiği, buna karşılık çökmesi düşük ve iyi konsolide bir beton için ise aderans dayanımı düşürebileceği belirtilmiştir. İkinci vibrasyonun genelde kalıbın alt tarafındaki donatılarının aderansını düşürme yönünde olduğunu ve bu işlemin değişik kıvam ve donatı yerleri için değişik etkiler ortaya koyduğunu belirtmişlerdir. İkinci vibrasyonun 45 ve 90 dakika sonunda uygulanmasıyla betonların basınç dayanımlarının kontrol betonunun basınç dayanımlarına oranla % 1.5 ila % 10 arasında arttığı ifade edilmiştir [6].

#### ***IV. DALICI VİBRATÖRLERİN ETKİN KULLANIMI İLE İLGİLİ PRENSİPLER***

Taze betonun kalıbına yoğun ve homojen bir biçimde yerleştirilmesinde en yaygın olarak kullanılan dalıcı vibratörlerin doğru ve etkin bir şekilde kullanılabilmesi için bazı prensiplere uyulması gerekir, bunlar;

- Vibrasyonla sıkıştırılacak tabaka yüksekliği 30 cm' yi aşmamalı.
- Su, beton üst yüzeyine çıkınca vibrasyon kesilmelidir. Ayırışmaya neden olmamak için aşırı vibrasyondan kaçınılmalıdır.
- Vibratör betona düşey yönde daldırılmalı, düşey küçük hareketler yaptırılarak sıkışmış hava kabarcıklarının dışarı çıkması sağlanmalı ve yavaşça çıkarılmalıdır.
- Etki alanı dikkate alınarak üniform ve yeterli sıkıştırma yapılmalıdır. Vibratör, kalıba, donatılara ve eski (sertleşmiş) betona mümkün olduğunca temas etmemelidir.
- Donatılar arasında betonun ve vibratörün rahat geçebileceği yeterlikte önceden kalıpta boşluk bırakılmalı şekilde önlem alınmalı ve pas payı elemanları doğru bir şekilde yerleştirilmelidir.
- Donatı çevresindeki boşluklar ile plastik rötre çatlakları ve bunun doğuracağı olumsuz neticeleri önemli ölçüde engellemek için ilk vibrasyondan belli bir süre sonra, tekrar vibrasyon yapılması oldukça yararlı bir katkı sağlamaktadır. Ancak ikinci vibrasyon, beton yeteri kadar işlenebilirliğe sahip olduğu sürece uygulanabilir. Özellikle üst 30-50 cm'lik tabaka ilk sıkıştırmadan itibaren ortam sıcaklığına bağlı olarak 20 ila 60 dakika sonra yapılabilir. Eğer vibratör betona serbestçe daldırılıp çıkarıldığında boşluklar kendiliğinden kapanıyorsa betona tekrar vibrasyon yapılabilir.
- Bunun yanı sıra vibrasyon ve mastarlama tamamlandıktan sonra perdahlamanın bir müddet geciktirilerek yapılmasının plastik rötre çatlaklarının engellenmesi ve yüzey kalitesi sağlanması açısından oldukça yararlı olacağı göz önünde tutulmalıdır.

## ***V. DENEYSEL ÇALIŞMA***

Yapılan deneysel çalışmada C20 ve C35 kalite sınıfında ve iki farklı çökme deney grubu üzerinde ilk ve ikinci vibrasyonun betonun basınç dayanımına etkisi incelenmiştir. Deneysel çalışmalarda PÇ 42.5 tipi çimento, agrega olarak doğal Sakarya kumu ile yine aynı bölgeden temin edilen kırmataş I ve kırmataş II agregası kullanılmıştır. Karışımda % 0.8 nispetinde bir süperakışkanlaştırıcı kullanılmıştır. Karışım granülometrisi B32 ye yakın olacak şekilde seçilmiştir. Kullanılan çimentonun fiziksel ve mekanik özellikleri Çizelge 1’de gösterilmiştir. Çalışmada kullanılan betonlar üretim tesisinden alınan C20 ve C35 sınıfı betonlar olup, yine iki farklı (h = 100 ve h =200 mm) çökme elde edilecek şekilde belirlenmiştir. Üretilen betonların bileşimleri Çizelge 2’de, çökme, beton sıcaklığı ve taze birim ağırlıkları ise Çizelge 3’de verilmiştir. Her seriden bir kenarı 150 mm boyutlarında küp numuneler üretilmiştir. İlk seri betona hiç vibrasyon uygulanmamış, kendi ağırlığı ile yerleştirilmiştir. Diğer serideki betonlara üretimin hemen ardında 30sn süreyle vibrasyon uygulanmıştır. İkinci seri betona tek vibrasyon uygulanmış bunun dışındaki numunelere 30, 60 ve 90 dakika sonra 20 sn süreyle ikinci bir vibrasyon daha uygulanmıştır. Üretilen numuneler bir gün sonra kalıbından çıkarılarak deney gününe kadar standart kür havuzunda bekletilmiştir. Bu betonlarda 7. ve 28. günde basınç dayanımları bulunmuştur.

**Çizelge1.** Kullanılan Çimentonun Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri (PÇ 42.5)

KİMYASAL ÖZELLİKLER	ELDE EDİLEN DEĞERLER	TS-19	
		EN AZ	EN ÇOK
Klorür (Cl) %	0.0046		0.1000
Kükürt Trioksit (SO <sub>3</sub> ) %	2.26		3.50
Mağnezyum Oksit (MgO) %	1.47		5.00
Kızdırma Kaybı %	1.28		4.00
Çözünmeyen Kalıntı %	0.30		1.50
C <sub>3</sub> A %	-	-	-
2C <sub>3</sub> A + C <sub>4</sub> AF %	-	-	-
<b>FİZİKSEL ÖZELLİKLER</b>			
Hacim Genleşmesi ( mm )	6.0	-	10.0
Özgül Yüzev ( cm <sup>2</sup> /gr )	3598	2800	-
Priz Başlangıcı ( saat:dak )	03:00	01:00	-
Priz Sonu ( saat:dak )	04:00	-	10:00
2 Günlük Basınç Dayanımı ( MPa )	21.6	20.0	-
7 Günlük Basınç Dayanımı ( MPa )	37.0	31.5	-
28 Günlük Basınç Dayanımı ( MPa )	51.9	42.5	-

**Çizelge 2.** Beton Bileşimi

Beton Kodu	Çimento kg/m <sup>3</sup>	Su kg/m <sup>3</sup>	Kum kg/m <sup>3</sup>	K.taşI kg/m <sup>3</sup>	K.taşII kg/m <sup>3</sup>	S.Akışkan. kg/m <sup>3</sup>	Su / Çim. oranı
C20 K3	310	170	912	580	400	2.500	0,55
C20 K5	298	190	900	570	390	2.500	0,64
C35 K3	390	180	770	515	530	3.150	0,46
C35 K5	378	205	755	500	518	3.150	0,54

Çizelge 3. Taze Beton Özellikleri

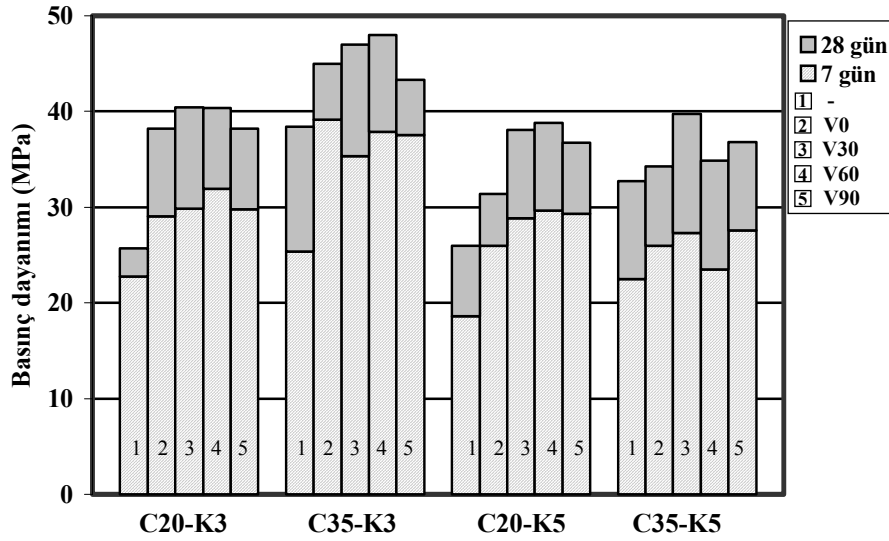
Beton Kodu	Çökme (cm)	Beton Sıcaklığı (°C)	Birim Ağırlık ( kg/m <sup>3</sup> )
C20 K3	9-11	18	2370
C20 K5	20-22	16	2350
C35 K3	10	14	2389
C35 K5	22	11	2360

Çizelge 4 Basınç Deneyi Sonuçları (MPa)

Beton Kıvamı		K3		K5	
		Çökme (h)=100 mm		Çökme (h)=200 mm	
Beton Yaşı		7 Gün	28 Gün	7 Gün	28 Gün
Beton Kodu		Basınç Dayanımı (MPa)			
A	C20-0	22,79 (60)	25,71 (67)	18,64 (59)	26,00 (83)
B	C20-V0	29,04 (76)	38,22* (100)	25,94 (83)	31,39* (100)
C	C20-V30	29,82 (78)	40,44 (105)	28,84 (92)	38,09 (121)
	C20-V60	31,92 (84)	40,33 (106)	29,67 (95)	38,84 (124)
	C20-V90	29,80 (78)	38,21 (100)	29,34 (93)	36,78 (117)
A	C35-0	25,40 (56)	38,42 (85)	22,48 (66)	32,70 (95)
B	C35-V0	39,18 (87)	45,00* (100)	26,00 (76)	34,25* (100)
C	C35-V30	35,37 (79)	46,97 (104)	27,30 (80)	39,74 (116)
	C35-V60	37,87 (84)	48,02 (107)	23,47 (68)	34,84 (102)
	C35 V90	37,54 (83)	43,31 (96)	27,58 (80)	36,84 (108)

\* Tek vibrasyon uygulanan serinin 28 günlük değerine (şahit) oranlanıp yüzde olarak parantez içerisinde verilmiştir





Ş ekil 1. 7 ve 28 günlük basınç dayanımlarının vibrasyon etkinliği ile değişimi.

## VI. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ

Üretilen betonların 7 ve 28 günlük basınç dayanım değerleri Çizelge 4’te gösterilmiştir. Aynı çizelgede her gruptaki sonuçlar o grubun tek vibrasyon uygulanan serisinin 28 günlük değerine (şahit) oranlanıp yüzde olarak parantez içerisinde verilmiştir. Tüm beton gruplarından elde edilen 7 ve 28 günlük deney sonuçları Şekil 1’de grafik olarak birlikte gösterilmiştir.

Çizelge 4’te verilen ve Şekil 1’de gösterilen sonuçlar incelendiğinde şu değerlendirmeler yapılabilir;

- Vibrasyon yapılmamış, ya da kurallara uygun yapılmamış betonların dayanımlarında ciddi oranda azalma olduğu, özellikle çökmesi düşük betonlarda kendi ağırlığı ile yerleşme zorluğundan dolayı bu azalmanın daha yüksek olduğu (% 35’e yakın) görülmektedir.
- İkinci vibrasyon (revibrasyon) dayanımda anlamlı artışlar sağlamaktadır. Çökmesi yüksek, çok akıcı kıvamlı betonlarda bu artış % 20 düzeyine çıkabilmektedir. Bu durum, taze betonda fazla suyun neden olduğu artan terlemeyle paralel oluşan boşlukların artması ve ikinci bir vibrasyonla bunların azaltılması sonucu ile açıklanabilir. Bu nedenle çökmesi fazla betonlarda ikinci vibrasyonun etkisi daha belirgin olarak görülmektedir.

- İlk vibrasyonla ikinci vibrasyon arasındaki süre arttıkça ikinci vibrasyonun etkisi artmaktadır. Şüphesiz bu sürenin priz süresini geçmemesi gerekmektedir.
- Gerçekte betonun kullanıldığı yapıda donatı yoğunluğu ve kalıp darlığı gibi zor koşulların yanı sıra kalıp yüzeyinin pürüzlülüğü ve sıkıştırılacak beton kütesinin büyüklüğü de göz önünde bulundurulursa ikinci vibrasyonun deney numunelerine göre yapıda çok daha etkili olacağı söylenebilir.

### ***KAYNAKLAR***

- [1] G. H. Tattersall and P. H. Baker, “The Effect of Vibration on the Rheological Properties of Fresh Concrete”, Magazine of Concrete Research, Vol. 40, No. 143, pp. 79-88, June 1988.
- [2] A. M. Akman, “Betonun Vibrasyonu”, İ.T.Ü. Dergisi, Cilt 35, Sayı 3, ss. 21-31, 1977.
- [3] C. A. Vollick, “Effect of Revibrating Concrete”, ACI Journal, Proceedings, Vol. 54, No. 9, pp.731-732, Mar. 1958.
- [4] M. Uyan ve B. Y. Pekmezci, “Tekrarlı Vibrasyonun Beton Özelliklerine Etkisi”, Beton Prefabrikasyon Dergisi, Sayı 60, ss. 5-8, Ekim 2001.
- [5] M. N. Khalaf and M. H. A. Yousif, “Effect of Revibration on the Stability and Compactibility of Concrete”, Cement and Concrete Research, Vol. 15, pp. 842-848, 1985.
- [6] W. A. K. Altowaji, D. Darwin and R. C. Donahey, “Bond of Reinforcement to Revibrated Concrete”, ACI Journal, pp. 1035-1042, Nov-Dec. 1986.