

# ÇİMENTO ÖRNEKLERİNİN İLK GÜNLERİNDE MİKRODALGA YANSIMA ÖZELLİKLERİNİN ÖLÇÜLMESİ VE İNCELENMESİ

Uğur C. HASAR<sup>1</sup> Mustafa K. ZATEROĞLU<sup>2</sup> Cengiz D. ATIŞ<sup>3</sup>

<sup>1-2</sup> Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü  
Mühendislik-Mimarlık Fakültesi  
Çukurova Üniversitesi, 01330, Balcalı, Adana

<sup>3</sup> İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi  
Çukurova Üniversitesi, 01330, Balcalı, Adana

<sup>1</sup> e-posta: ugurcem@eemb.cu.edu.tr

<sup>2</sup> e-posta: mzateroglu@eemb.cu.edu.tr

<sup>3</sup> e-posta: cengiz@mail.cu.edu.tr

*Anahtar sözcükler: Çimento-tabanlı yapılar, yansımaya özellikleri, boşluk-uzay yöntemi, mikrodalga*

## ÖZET

Çimento örneklerinin ilk zamanlarındaki yansımaya özelliklerinin mikrodalga frekanslarındaki (X-bandı) birer saatlik aralıklarla ölçüm sonuçları sunulmuştur. Hasarsız ve temassız boşluk-uzay yöntemi kullanılmış ve sadece genlik ölçümleri HP Güç Ölçer ile yapılmıştır. Çimento örneklerinin yansımaya katsayısı ve kimyasal reaksiyonunun (hidratasyon) su-çimento oranına bağımlılığı; yansımaya katsayısı ve hidratasyondaki değişimin, örneklerin kür zamanlarının ilk günlerinde çok fazla olduğunu göstermiştir. Ölçüm sonuçlarının beklenen uygulamaları tartışılmıştır.

## 1. GİRİŞ

Çimento tabanlı malzemeler (çimento hamuru, harç, beton vb.) yapı endüstrisinde en çok bilinen ve kullanılan malzemelerdir. Bu tip malzemelerin, üretim ve servis ömürleri süresince fiziksel özelliklerini hızlı ve doğru olarak ölçebilmek büyük bir önem arz etmektedir.

Betonun en önemli parametrelerinden biri olan basınç dayanımını belirlemek için kullanılan en yaygın yöntem, yapı elemanından karot numune alınması ve bu numunenin laboratuvar ortamında test edilmesidir. Bu yöntem; hasarlı, zaman alıcı ve pahalıdır. Hasarsız mikrodalga teknikleri, yukarıda belirtilen dezavantajları ortadan kaldırmaktadır ve bu yüzden büyük bir kullanım alanına sahiptir.

Başka bir yöntem de, yapı malzemesi ile aynı özelliklere sahip test örneğinin yapılması ve bu örneğin incelenmesidir. Bu yöntem de hasarlı bir yöntemdir, ve ölçüm sonuçları ile 28 günlük basınç

dayanımı hakkında kolay bağlantı kurulamamaktadır [1].

Son zamanlarda yapılan araştırmalar [2,3], mikrodalğanın çimento tabanlı malzemelerdeki kimyasal reaksiyon durumunu ve hidratasyon derecesini tespit etmede kullanılabileceğini göstermiştir. Bu çalışmalarda yakın alan mikrodalga inceleme tekniği, yani açık uçlu dikdörtgen dalga kılavuzunun probunun doğrudan malzeme yüzeyine temas edecek şekilde yerleştirilmesi yöntemi kullanılarak yansımaya katsayısı ile çimento tabanlı malzemelerin basınç dayanımı arasında güçlü bir ilişki kurulmuştur. Sonuçlar tatmin edici olmasına rağmen, bu yöntemde malzeme ile prob arasındaki küçük bir temassızlık ölçmede büyük hatalara yol açabilir. Bunun yanısıra, bu yöntem ile dahili kablosuz haberleşme sistemlerinin modellenmesi [4] için gerekli olan çimento tabanlı yapıların kırılma özellikleri incelenememektedir.

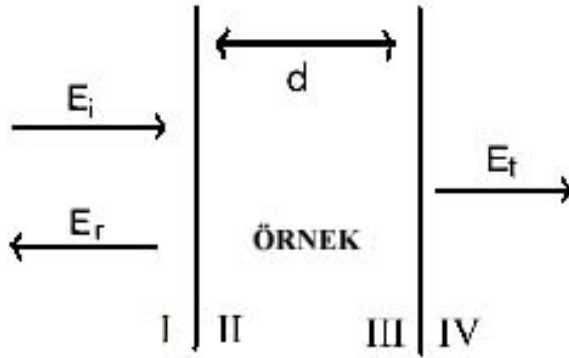
Çimento tabanlı yapıları servis ömürlerinin her aşamasında inceleyebilmek için, malzemeye temas etmeden ölçmenin yapılması ve malzemenin kırılma özellikleri hakkında bilgi verebilecek bir yöntemin uygulanması gerekmektedir. Boşluk uzay yöntemi bu tip bir inceleme için uygun bir yöntemdir [5,6].

Diğer yandan, çimento tabanlı yapıların ilk günlerinde özelliklerinin incelenmesi, bu tip malzemelerin ömürlerinin daha sonraki aşamalarında özelliklerinin (basınç dayanımı, gerilim dayanımı v.b.) nasıl olacağı hakkında bilgi verebilir. Bu inceleme sayesinde, örneğin karakteristiği daha önceden bilinerek yapının özellikleri daha iyi ve uygun hale getirilebilir.

Literatürde şu ana kadar yapılan çalışmalarda, çimento tabanlı örnekler, hazırlandıktan sonra 1-3 gün arası oda koşullarında bekletilmiştir. Bu çalışmada, hasarsız ve temassız mikrodalga boşluk uzay yöntemi kullanılarak farklı su-çimento oranına (w/c) sahip ve oda koşullarında bekletilmemiş çimento örneklerinin mikrodalga frekanslarında yansıma özelliklerinin sonuçları sunulmuştur. İlk olarak çimento tabanlı yapılar için yansıma ve kırılma katsayıları incelenmiştir. Sonra, ölçüm düzeneği hakkında bilgi verilmiştir. Ardından, çimento örneklerinin ilk zamanlarındaki yansıma özelliklerinin ölçüm sonuçları gösterilmiştir. Son olarak, elde edilen sonuçlar ve bu sonuçlardan beklenen uygulamalar tartışılmıştır.

## 2. TEORİK İNCELEME

Boşluk uzayı yöntemi kullanılarak yansıma ve kırılma ölçümleri için tipik bir durum Şekil 1.'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Boşluk uzayı yöntemi kullanılarak yansıma ve kırılma ölçümleri için tipik bir durum.

Dalga verici antenden alıcı antene hava-örnek-hava ortamlarından geçmektedir. Yansıma hava-örnek yüzeyinde ve çoklu yansımalar da örneğin her iki kenarında oluşacaktır. I, II ve III sınırlarındaki yansıma katsayıları sırasıyla  $r_{12}$ ,  $r_{21}$ ,  $r_{23}$  gösterilmiştir.

Işın izleme metodu kullanılarak yansıma katsayısı

$$r = r_{12} + t_{12}r_{23}t_{21}e^{-j2\Theta} + t_{12}r_{21}r_{23}^2t_{21}e^{-j4\Theta} + \dots$$

$$\Theta = k_s d, \quad k_s = \alpha + j\beta = \frac{2\pi}{\lambda_0} \sqrt{\epsilon}, \quad \epsilon = \epsilon' - j\epsilon'' \quad (1)$$

şeklinde yazılabilir [8].

Burada  $w$ ,  $\lambda_0$ ,  $d$  ve  $\epsilon$  sırasıyla gelen dalganın açısal frekansı, boşluk uzay dalgaboyu, ölçüm yapılan örneğin kalınlığı ve kompleks dielektrik sabitidir.

(1) eşitliğindeki yansıma katsayısı

$$r = \frac{r_{12}(1 - e^{-j2\Theta})}{1 - r_{12}^2 e^{-j2\Theta}} \quad (2)$$

şeklinde yeniden yazılabilir [8].

Yüksek kayıplı malzemeler için, yansıma katsayısı ifadesi malzemenin içindeki çoklu yansımaların ihmal edilmesi ile

$$r = r_{12} \quad (3)$$

olarak basitleştirilebilir [7].

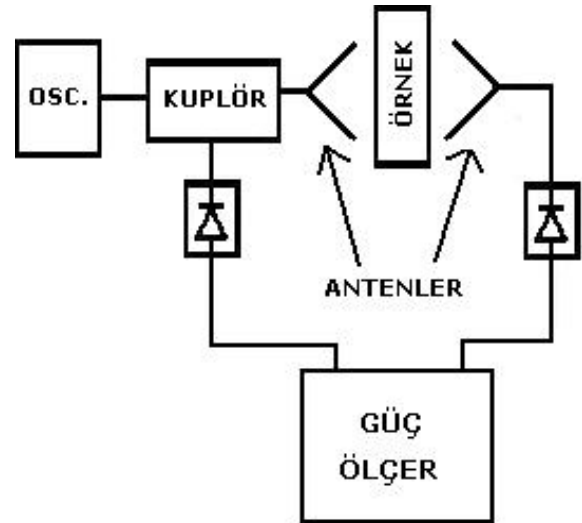
Yansıma katsayısının büyüklüğü desibel cinsinden

$$R = -20 \log |r| \quad (4)$$

şeklinde ölçülmüştür.

## 3. DENEY DÜZENEGİ

Ölçümler X-bandında (8-12 GHz) farklı su-çimento oranına sahip çimento örnekleri için boşluk-uzay metodu kullanılarak incelenmiştir. Ölçüm sisteminin diyagramı Şekil 2' de gösterilmiştir.



Şekil 2. Ölçüm Sistemi Diyagramı.

Ölçüm sistemi ile örneklerin sadece yansıma ve iletim özelliklerinin genliklerini ölçülmektedir. Şekil 2' den görülebileceği gibi örnek antenler arasında yerleştirilmektedir. Sisteme güç, osilatör vasıtasıyla yaklaşık 1 KHz civarında modüle edilmiş sinyal ile verilmiştir. Osilatörden gelen electromanyetik dalga dikdörtgen dalga klavuzu ile verici anten-hava-örnek-hava ortamlarından geçerek alıcı antene ulaşmaktadır. Aynı şekilde, alıcı tarafında da, alınan güç dalga klavuzu yardımıyla iletilmektedir.

Sistemin verici tarafında, iki tane kupleör bulunmaktadır. Bunlar gelen ve yansıyan dalganın

genliklerini ölçmek için kullanılmıştır. Yansıyan dalganın büyüklüğünün ölçümü için referans seviyesi 0 dB olarak set edilmiş ve yansıma ölçümleri HP Güç Ölçer ile gerçekleştirilmiştir.

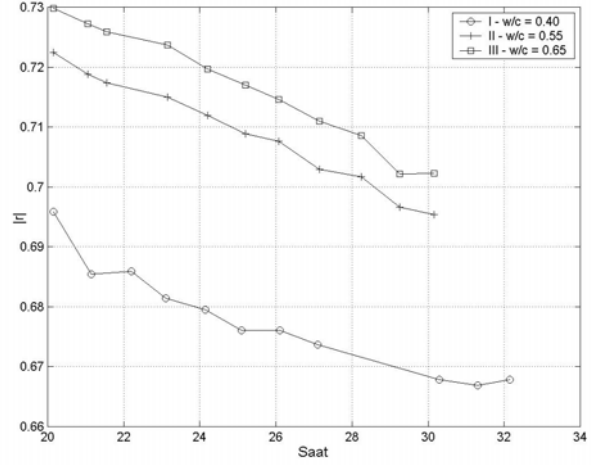
Çimento tabanlı malzemelerin yansıma özellikleri, örneğin ilk bir kaç ayında değişmektedir ve daha sonraki zamanlarında yansıma katsayısı hemen hemen sabit kalmaktadır [2, 3, 7]. Ölçüm yapılan örneğin ilk zamanlarındaki yansıma özelliklerinin değişim miktarı iletim özelliklerine göre daha az olmaktadır [7]. Su-çimento oranı birbirine çok yakın olan örneklerin yansıma katsayısının ölçümü için ölçüm hassasiyeti yüksek olan HP Güç Ölçer kullanılmıştır.

#### 4. DENEY SONUÇLARI

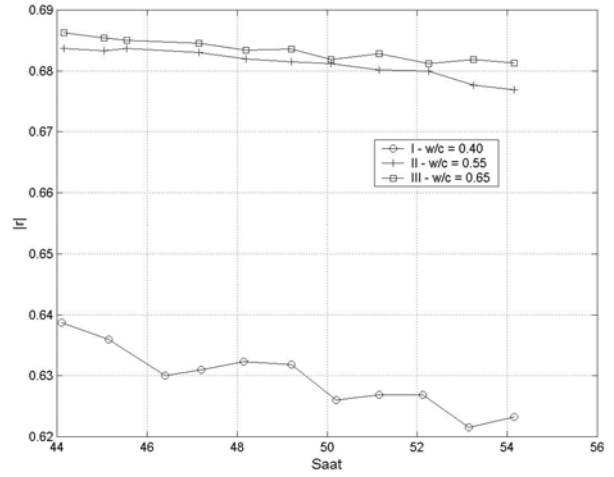
Farklı su-çimento oranına sahip değişik harç örnekleri hazırlanmıştır. Harç yapımında 0-4 mm elekler arasında kalan doğal nehir kumu kullanılmıştır. Kullanılan çimento normal portland çimentosudur (PC 42.5). Ağırlık olarak çimento-kum oranı (c/s) 1:3, su-çimento oranları (w/c) ise 0.40, 0.55 ve 0.65' tir. Bu örneklerin yansıma özellikleri ölçüm yapılan örneğin ilk zamanlarında X-bandında (8-12 GHz) HP Güç Ölçer ile birer saat aralıklarla ölçülmüştür.

Farklı su çimento oranına (w/c) sahip çimento örneklerinin yansıma özellikleri  $f = 8.543$  GHz frekansında malzemenin hazırlanışının 20.-34. ve 44.-56. saatleri arasında sırasıyla Şekil 3a ve 3b' de gösterilmiştir.

Şekil 3a' da görüldüğü gibi, yüksek su-çimento oranına sahip çimento örneğinin yansıma katsayısı da büyük olmaktadır [2,3,7]. W/c=0.65 ve 0.55 oranlarına sahip çimento örneklerinin yansıma katsayıları arasındaki fark ile, w/c=0.55 ve 0.40 oranlarına sahip çimento örneklerinin yansıma katsayıları arasındaki fark oldukça fazladır. Bu lineer olmayan özellik Şekil 3b' de daha net gözükmemektedir. Bununla birlikte yüksek su-çimento oranına sahip çimento örneğinin yansıma katsayısı hala büyüktür [2,3,7].



(a)



(b)

**Şekil 3.** Farklı su-çimento oranına (w/c) sahip çimento örneklerinin ilk zamanlardaki yansıma katsayılarının  $f = 8.543$  GHz frekansında saatlik değişimi.

Çimento örneklerinin yansıma katsayısı 56. saat sonunda w/c=0.65 için 0.73 değerinden 0.681 değerine, w/c=0.55 için 0.723 değerinden 0.677 değerine, ve w/c=0.40 için 0.696 değerinden 0.623 değerine düşmüştür. Aynı zamanda yansıma katsayılarının bu hızlı değişimleri çimento-tabanlı malzemelerde meydana gelen kimyasal reaksiyonun, hidrasyonun, devam ettiğini göstermektedir [7].

Çimento örneklerinin ölçümü yapılırken sıcaklık ve nem değişimleri de ölçülmüştür. Ortamın sıcaklık (°C) ve nem (%) değerlerinin ölçüm boyunca fazla değişmediği gözlenmiştir.

## 5. SONUÇLAR

Çimento tabanlı yapıların ilk zamanlarında özelliklerinin incelenmesi, bu tip malzemelerin ömürlerinin daha sonraki aşamalarında özelliklerinin (basınç dayanımı, gerilim dayanımı v.b.) nasıl olacağı hakkında bilgi verir. Bu inceleme sayesinde, örneğin karakteristiği daha önceden bilinerek yapının özellikleri daha iyi ve uygun hale getirilebilir.

Bu çalışmada, farklı su-çimento oranına sahip çimento örneklerinin yansıma katsayıları boşluk-uzay yöntemi kullanılarak mikrodalga frekanslarında örneğin ilk zamanları için ölçülmüştür. Ölçüm sonuçları yansıma katsayısının örneğin ilk zamanlarında oldukça değişikliğe uğradığını göstermektedir.

Su-çimento oranı yüksek olan malzemelerin yansıma katsayıları da örneğin ilk zamanlarında büyük olmaktadır. Diğer taraftan, örneklerin su-çimento oranları arasındaki fark ile yansıma katsayıları arasındaki fark doğru orantılı olarak değişmemektedir.

## TEŞEKKÜR

Yazarlardan, U. C. Hasar' ın çalışması, Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) Minur Birsal Vakfı Lisansüstü Doktora Bursu ile desteklenmektedir.

## KAYNAKLAR

- [1] A.M. Neville, 'Properties of Concrete', 4th ed. New York: Wiley, 1996.
- [2] K.J.BOIS, A.D.BENALLY, P.S.NOWAK, and R.ZOUGHI, 'Cure-state monitoring and water-to-cement ratio determination of fresh portland cement-based materials using near field microwave techniques', IEEE Trans. Instrum. Meas., vol. 47, no. 3, pp. 628-637, June 1999.

- [3] K.J.BOIS, A.D.BENALLY, and R.ZOUGHI, 'Microwave near-field reflection property analysis of concrete for material content determination', IEEE Trans. Instrum. Meas., vol. 49, no. 1, pp. 49-55, February 2000.
- [4] K.SATO, T.MANABE, J.POVILKA, T.IHARA, Y.KASASHIMA and K.YAMAKI, 'Measurement of the complex refractive index of concrete at 57.5 GHz', IEEE Trans. Antennas Propagat., vol.44, no. 1, pp. 35-40, January 1996.
- [5] D.K.GHODGAONKAR, V.V.VARADAN, and V.K.VARADAN, 'A free-space method for measurements of dielectric constants and loss tangents at microwave frequencies', IEEE Trans. Instrum. Meas., vol. 37, no. 3, pp. 789-793, June 1989.
- [6] G.L.FRIEDSAM, and E.M.BIEBL, 'A broadband free-space dielectric properties measurement system at millimeter wavelengths', IEEE Trans. Instrum. Meas., vol. 46, no. 2, pp. 515-518, April 1989.
- [7] Sergey N. Kharkovsky, Mehmet F. Akay, Ugur C. Hasar, Cengiz D. Atis, 'Measurement and Monitoring of Microwave Reflection and Transmission Properties of Cement-Based Materials', IEEE Instr. & Meas. Trans. Vol.51, No:6, December 2002.
- [8] M.F.AKAY ve S.N.KHARKOVSKY, 'Boşluk uzay yöntemini kullanarak malzemelerin dielektrik sabitlerini belirlemek için önerilen otomatik ölçme sistemi', Bursa Eleco' 2000 Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu, sayfa 82, 8-12 Kasım 2000.