

MİKRODALGA KÜRÜN UÇUCU KÜLLÜ HARÇLARIN BASINÇ DAYANIMINA ETKİSİ

İlker Bekir TOPÇU¹, Yaşar Özgün TOPKARA²

ÖZET : Mikrodalga kür (MK) çimentonun hidrasyon reaksiyonlarını hızlandırarak betonun erken dayanımını artırmaktadır. Bu çalışmada, cam ve ekstrüde polistren köpük (XPS) kalıplar kullanılarak uygulanan MK'nın 4x4x16 cm boyutlarında uçucu kül (UK) katkılı (çimento yerine ağırlıkça % 10, 20 ve 30) harç numunelerinin 8 saat, 7 ve 28 günlük basınç dayanımlarına etkileri incelenmiştir. MK (45 dk, 90 W) ile 8. saatte 23.67 MPa basınç dayanımı elde edilmiştir. Cam kalıplar ile MK uygulanması XPS kalıplara göre 8 saatlik basınç dayanımlarını % 10-30 artırmıştır. Cam kalıplarda MK uygulanan harçlarda çimento yerine % 20 UK kullanılması harçların 8 saat, 7 ve 28 günlük basınç dayanımlarını sırasıyla % 31, 21 ve 16 oranlarında azaltmıştır.

ANAHTAR KELİMELELER : Mikrodalga kür, harç, basınç dayanımı, uçucu kül.

EFFECT OF MICROWAVE CURING ON COMPRESSIVE STRENGTH OF FLY ASH MORTARS

ABSTRACT: Microwave curing (MC) accelerates hydration of cement, which results in rapid strength development of concrete. In this study, 8 hours, 7 and 28 days compressive strength of fly ash (FA) incorporated (10, 20 and 30% by weight of cement) mortars subjected to MC in 4x4x16 cm moulds produced with glass and extruded polystyrene (XPS) were investigated. Compressive strength of 23.67 MPa was obtained by MC (45 minutes, 90 W) at 8 hours. Compared with XPS moulds, glass moulds increased the 8 hours compressive strength by 10-30%. In glass moulds, FA incorporation by 20% decreased the 8 hours, 7 and 28 days compressive strength by 31, 21 and 16 % respectively.

KEYWORDS : Microwave curing, mortar, compressive strength, fly ash.

^{1,2} Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Müh. Blm., Meşelik Kamp., 26480 ESKİŞEHİR

I. GİRİŞ

Su içerikleri dolayısıyla çimento bağlayıcı malzemelerin küründe mikrodalga kür (MK) uygulanabilmektedir. MK kullanılarak prefabrik beton yapı elemanları kimyasal katkıları olmadan altı saat gibi kısa bir sürede kalıptan alınabilmektedir. Mikrodalga enerjisi, dipolar moleküler yapıya sahip olan su molekülleri tarafından emilerek beton içerisinde ısı oluşumunu sağlamakta ve bu ısı çimentonun hidrasyonunu hızlandırarak betona erken dayanım kazandırmaktadır. Betonun ısı, içerisindeki su moleküllerinin ısınmasıyla arttığından MK hızlı ve homojen bir ısınma sağlar. MK çimentonun hidrasyonunu hızlandırarak, betonun erken dayanım kazanmasını sağlamaktadır [1-3].

MK ile ilgili yapılmış çalışmalarda; enerji tasarrufu göz önüne alındığında, en uygun MK süresinin 45 dakika olduğu, puzolanik katkı kullanımının betonun geçirimsizliğini azalttığı, MK'de buhar küreğine göre daha yüksek basınç dayanımları elde edildiği, betonun karıştırılmasından hemen sonra uygulanan MK'nın betonun işlenebilirliğini artırmak için kullanılan fazla suyu buharlaştırarak betonun su-çimento oranını düşürdüğü, MK kullanılarak çimento bağlayıcı harç ve betonların 28 günlük basınç dayanımını önemli miktarda düşürmeden, yüksek erken dayanım elde edilebildiği, MK'nın enerji tüketimini ve kür süresini düşürdüğü, MK'nın harç numunelerinin 7 ve 28 günlük standart basınç dayanımlarının, MK sonrası elde edilen erken basınç dayanımlarından yararlanılarak % 2-3 hata oranlarıyla önceden tahmin edilmesine olanak sağladığı görülmüştür [4-6]. UK ve süper akışkanlaştırıcı katkı kullanımının MK uygulanan harçların basınç dayanımlarını azalttığı belirtilmektedir [7,8]. Bu çalışmada, farklı cins kalıplar kullanılarak, MK'nın UK katkılı harçların basınç dayanımlarına etkileri araştırılmıştır.

II. DENEYSEL ÇALIŞMA

Deneylede CEM I 42,5 çimentosu, Çayırhan Termik Santrali F sınıfı uçucu külü (UK) ve standart Rilem kumu kullanılmıştır. Çimento ve UK'nın özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir. Harçların su-çimento oranı 0,4, çimento-kum oranı 0,5 alınmıştır. Bütün serilerde çimento ağırlığının % 1'i oranında süper akışkanlaştırıcı katkı kullanılmıştır.

Çizelge 1. Çimento ve uçucu küllün özellikleri

Kimyasal bileşimi	Çimento (%)	Uçucu kül (%)
CaO	63,97	9,18
Al ₂ O ₃	5,58	22,16
Fe ₂ O ₃	3,69	9,32
SiO ₂	20,96	48,44
MgO	1,69	0,71
K ₂ O	-	1,87
Na ₂ O	-	2,00
SO ₃	2,84	2,64
Cl	0,008	-
KK	1,15	2,43
Fiziksel özellikler		
Özgül ağırlık	3,14	2,2
Blaine (cm ² /gr)	3345	4100
Basınç dayanımları, MPa		
2 günlük	21,9	-
7 günlük	38,3	-
28 günlük	45,1	-

Kalıp tipinin (cam ve XPS) ve UK %'sinin (çimento yerine ağırlıkça % 10, 20 ve 30) MK uygulanan harçların 8 saat, 7 ve 28 günlük basınç dayanımlarına etkileri incelenmiştir. Cam ve XPS kalıplar mikrodalga ışınlarını kolayca geçirirken, çelik kalıplar mikrodalga ışınlarını yansıtmaktadırlar. Böylece ışınlar harca etki edemezler. Bu yüzden bu çalışmada çelik kalıplara MK uygulanmamıştır.



Şekil 1. Deneysel mikrodalga fırın, XPS, çelik ve cam kalıplar

MK parametreleri olarak harcın karıştırılmasından kür başlangıcına kadar geçen ön bekleme süresi 45 dk, MK süresi 45 dk, erken dayanım deney zamanı 8 saat, mikrodalga güç kademesi 90 W olarak alınmıştır. Deneysel mikrodalga fırın, MK’da kullanılan XPS ve cam kalıplar ile standart küre (SK) kullanılan çelik kalıplar Şekil 1’de gösterilmektedir. MK’den sonra harçlar, erken dayanım deney zamanına kadar (8 saat) laboratuvarında 20 ± 2 °C sıcaklıkta havada bekletilmişlerdir. MK uygulanmış ve ileri yaş dayanımları belirlenecek harçlar bir gün sonra kalıplarından çıkarılarak 7 ve 28. güne kadar kontrol numuneleri ile birlikte standart küre (SK: 20 ± 2 °C sıcaklıkta havuzda kür) tabii tutulmuştur.

III. DENEY SONUÇLARI

MK’nın, farklı kalıplarda, farklı oranlarda UK içeren harçların basınç dayanımlarına etkileri Çizelge 2’de gösterilmektedir. MK harç numunelerinin hidrasyon hızını artırarak yüksek erken dayanım kazanmalarını sağlamaktadır. Cam kalıp ile MK uygulanan harçların 8 saatlik basınç dayanımlarının SK uygulanan harçların 7 ve 28 günlük basınç dayanımlarının sırasıyla % 48,11 ve 48,46’sına ulaştığı görülmüştür.

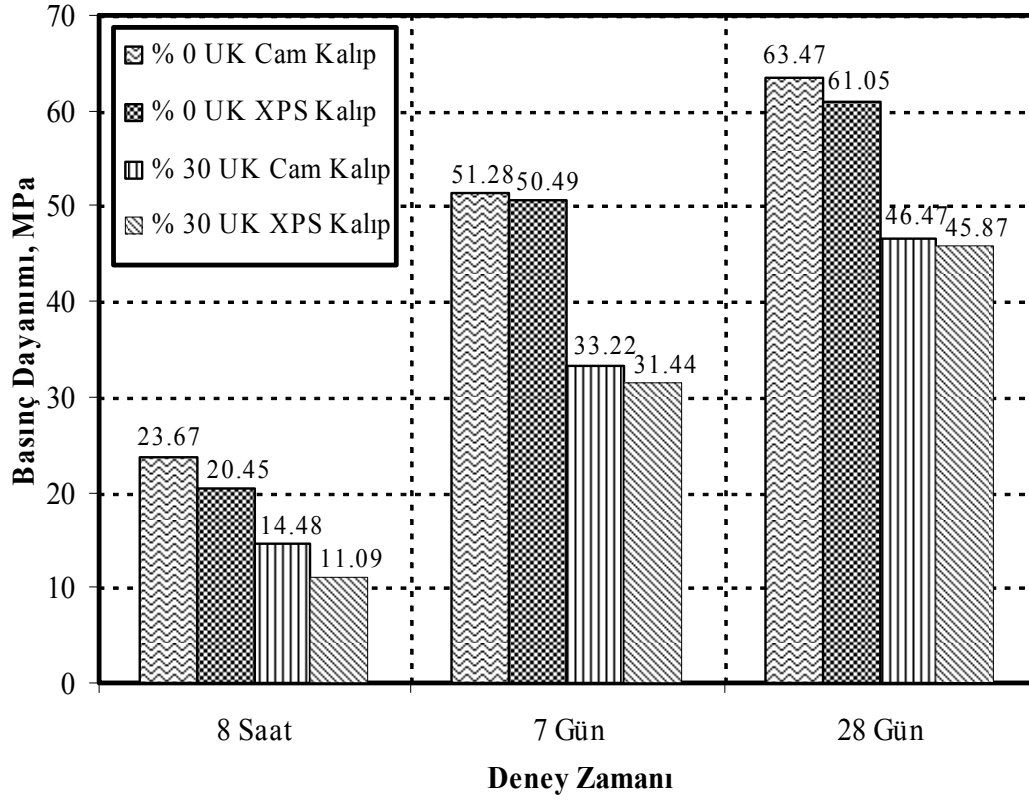
Çizelge 2. Farklı kalıplarla bulunan 28 günlük basınç dayanımları (MPa)

Kür Tipi		Deney Zamanı	Uçucu Kül, %			
			0	10	20	30
SK	Çelik Kalıp	7 Gün	49,20	43,66	39,16	30,71
		28 Gün	61,55	59,19	54,23	43,87
MK	Cam Kalıp	8 Saat	23,67	18,78	16,29	14,48
		7 Gün	51,28	45,92	40,27	33,22
		28 Gün	63,47	59,12	52,69	46,47
	XPS Kalıp	8 Saat	20,45	17,70	15,32	11,09
		7 Gün	50,49	45,34	38,72	31,44
		28 Gün	61,05	59,85	52,19	45,87

III.1. Mikrodalga Kürün Harç Basınç Dayanımına Etkisi

Cam kalıplarda MK uygulanan UK içermeyen harçlar 8 saat gibi kısa bir sürede, SK uygulanan harçların 7 günlük basınç dayanımının % 48,11'ine, 28 günlük basınç dayanımının ise % 38,46'sına ulaşmışlardır. Çimento yerine ağırlıkça % 10, 20 ve 30 UK kullanılan ve cam kalıpta MK uygulanan harçların 8 saatlik basınç dayanımları aynı özelliklerdeki SK uygulanan harçların 28 günlük basınç dayanımlarının sırasıyla % 32, 30 ve 33'üne ulaşmaktadır. Elde edilen veriler literatürde belirtildiği gibi MK'nın, harç ve betonların ileri yaş basınç dayanımlarını önemli ölçüde etkilemeden kür süresini kısalttığı ve erken dayanım kazandırdığı sonuçlarıyla örtüşmektedir [9-11].

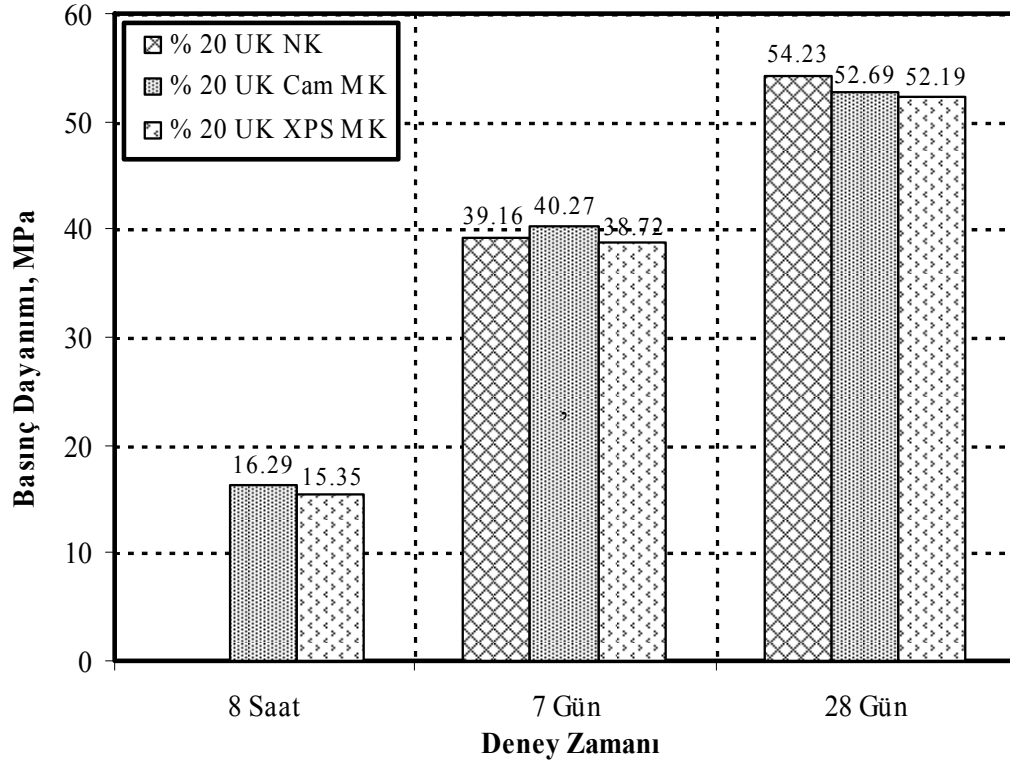
Şekil 2'de % 0 ve 30 UK içeren, cam ve XPS kalıplarla MK uygulanan harçların basınç dayanımları verilmektedir. Cam kalıplı UK içermeyen harçların 8 saatlik basınç dayanımları XPS kalıplı harçların basınç dayanımlarından 8. saatte % 15,75, 7 günde % 1,57 ve 28 günde % 3,96 daha yüksek bulunmuştur. Cam kalıplı UK içermeyen harçların dayanımları ilk 8 saat ile 7 gün arasında % 116,65 artış göstermiş, buna karşılık XPS kalıp kullanılarak hazırlanan harçlar % 146,89 artış göstermiştir.



Şekil 2. Kalıp tipi ve UK oranının harç basınç dayanımlarına etkisi

III.2. Kalıp Tipinin Harç Basınç Dayanımına Etkisi

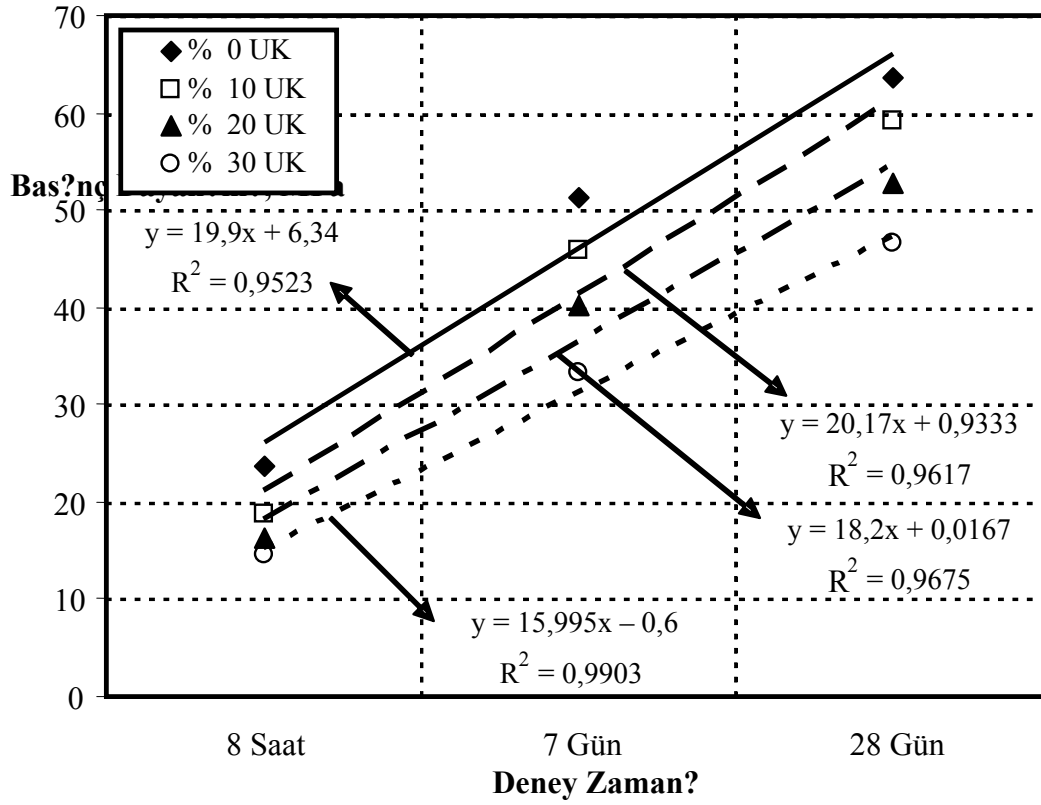
Şekil 3’de XPS ve cam kalıp kullanılarak MK uygulanmış ve çelik kalıp ile normal kür uygulanmış % 20 UK’lı harçların basınç dayanımları karşılaştırılmıştır. Harçlarda MK ile yüksek erken basınç dayanımı elde edilmiştir. Cam kalıplar ile MK uygulanması harçların 8 saatlik basınç dayanımlarını XPS kalıplara göre % 15,75 artırmıştır.



Şekil 3. Kütlece % 20 UK kullanılan harçlarda kalıp tipi-basınç dayanımı ilişkisi

III.3. Uçucu Külün Harç Basınç Dayanımına Etkisi

Cam kalıpla hazırlanan, MK uygulanmış, çimento yerine ağırlıkça % 0, 10, 20 ve 30 UK içeren harçların 8 saat, 7 ve 28 günlük basınç dayanımları Şekil 4'te verilmiştir. Tüm zamanlarda UK oranı arttıkça basınç dayanımı düşmektedir. UK oranı ile basınç dayanımı arasında yüksek korelasyon gösteren doğrusal bir ilişki olduğu görülmektedir.



Şekil 4. Cam kalıplı harçlarda UK oranı-basınç dayanımı ilişkisi

XPS kalıplarda MK uygulanan harçların 8 saatlik dayanımları ele alındığında % 10, 20 ve 30 UK içeren harçların basınç dayanımlarının kontrol numunelerine göre % 13,45 , 24,94 ve 45,77 daha düşük olduğu görülmektedir. Aynı şekilde 28 günlük dayanımlar değerlendirildiğinde bu oranların azalarak % 10, 20 ve 30 UK için % 1,97 , 14,51 ve 24,87 olarak bulunmuştur. Cam kalıpla elde edilen basınç dayanımları XPS kalıpla elde edilen basınç dayanımlarına göre en fazla 8 saatlik erken dayanımda olmak üzere bütün zamanlarda daha yüksek bulunmuştur. Bunun nedeni rijit cam kalıplara harçların yumuşak yapılı XPS kalıplara göre daha az boşluklu yerleştirilmesi ve sıkıştırılmasıdır.

IV. SONUÇ VE ÖNERİLER

MK'nın harçların hidrasyon hızını arttırarak yüksek erken dayanım kazanmalarını sağladığı görülmüştür. Ayrıca MK'nın diğer hızlandırılmış kür uygulamalarının aksine harçların 7 ve 28 günlük dayanımlarını önemli ölçüde düşürmediği belirlenmiştir. MK uygulanan harçlarda çimento yerine kullanılan UK oranı arttıkça harç numunelerinin basınç dayanımları düşmektedir. Cam kalıp kullanılarak hazırlanmış harçlardan, XPS kalıplı harçlara göre daha yüksek 8 saat, 7 ve 28 günlük basınç dayanımları elde edilmiştir. MK'da cam kalıpların kullanılması önerilmektedir. MK yönteminin beton teknolojisinde alternatif kür yöntemi olarak geliştirilebileceği görülmektedir.

MK uygulanan harçların ileri yaş dayanımlarının düşük olmasının nedenleri (i) yüksek sıcaklıkta oluşan hidrasyon ürünlerinin çimento tanesi etrafında kabuk oluşturarak, çimento tanesinin iyon difüzyonunu azaltması (ii) MK'nın çimentonun hidrasyonu için gerekli olandan daha fazla suyu buharlaştırması nedeniyle çimento tanelerinin hidrasyon reaksiyonlarını tamamlayamaması ve (iii) MK nedeniyle oluşan boşluklu ve çatlaklı yapı olarak yorumlanmıştır [6, 11, 12]. Bu nedenlerle bundan sonraki çalışmalar için MK yönteminde en uygun ön bekleme süresinin belirlenmesi, MK süresince harç ve betonlarda sıcaklık ve nem değişimlerinin incelenmesi önerilebilir.

V. KAYNAKLAR

- [1] M.G. Lee, Y. Huang and Y.C. Kan, "The strength and rapid chloride permeability of microwave cured concrete", *International Journal of Applied Science and Engineering*, Vol. 5, Issue 1, pp. 53-63, 2007.
- [2] R.G. Hutchison, J.T. Chang, H.M. Jennings and M.E. Brodwin, "Thermal acceleration of portland cement mortars with microwave energy", *Cement and Concrete Research*, Vol. 21, pp. 795-799, 1991.
- [3] P. Rattanadecho, N. Suwannapum, B. Chatveera, D. Atong and N. Makul, "Development of compressive strength of cement paste under accelerated curing by using a continuous

- microwave thermal processor”, *Materials Science and Engineering: A*, Vol. 472, No. 2, pp. 299-307, 2008.
- [4] İ.B. Topçu, M.U. Toprak, D. Akdağ, “Determination of optimal microwave curing cycle for fly ash mortars”, *Canadian Journal of Civil Engineering*, Vol. 35, No. 4, pp. 349-357, 2008.
- [5] Mikrodalga Fırınlar, “Mesleki ve Teknik Eğitim Elektrik Elektronik Teknolojisi Ders Notları”, Milli Eğitim Bakanlığı, Ankara, ss. 18-20, 2007.
- [6] İ.B. Topçu, M.U. Toprak, D. Akdağ, “Mikrodalga Kür Yöntemi ile Beton Dayanımın Erken Belirlenmesi”, *İMO Teknik Dergi*, sayı 19, ss. 4539-4544, 2008.
- [7] Y.Ö. Topkara, “Mikrodalga ile Hızlandırılmış Kürün Uçucu Küllü Harç Özelliklerine Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, ss. 60, 2009.
- [8] S.L. Mak, R.W. Banks, D.J. Ritchie and G. Shapiro, Advances in microwave curing of concrete, 4th World Congress on Microwave & Radio Frequency Applications Sydney, Australia, 22-26 September 2002.
- [9] D. Akdağ, Mineral Katkılı Harçlarda Mikrodalga ile Uygulanan Hızlandırılmış Kürde En Uygun Kür Çevriminin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, ss. 66, 2007.
- [10] E. Gökçe, Mikrodalga Enerji Yöntemi İle Harç Numunelerine Hızlandırılmış Kür Uygulanması, Bitirme Tezi, Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, ss. 55, 2006.
- [11] N. Miura, N. Shinyashiki, S. Yagihara and M. Shiotsubo, “Microwave dielectric study of water structure in the hydration process of cement paste”, *Journal of American Ceramic Society*, Vol. 81, Issue 1, pp. 213-216, 1998.
- [12] İ.B. Topçu, C. Karakurt, “Mikrodalga Enerji Yöntemi ile Beton ve Harç Numunelerine Hızlandırılmış Kür Uygulanması”, *İnşaat Haber*, Sayı 9, ss. 94-97, Temmuz-Ağustos 2006.