

# KALIP YÜZEY ÖZELLİKLERİNİN BETONUN KARBONATLAŞMASI ÜZERİNE ETKİLERİ

**Serkan SUBAŞI ve Metin ARSLAN\***

Yapı Eğitimi Bölümü, Teknik Eğitim Fakültesi, Düzce Üniversitesi, Konuralp, Düzce

\*Yapı Eğitimi Bölümü, Teknik Eğitim Fakültesi, Gazi Üniversitesi, Teknikokullar, Ankara

(Geliş/Received: 04.03.2008 ; Kabul/Accepted: 07.05.2008)

## ÖZET

Bu çalışmanın amacı, kalıp yüzey özelliklerinin betonun karbonatlaşma miktarına etkisini araştırmaktır. Bu amaçla farklı yüzey özelliklerine sahip 7 adet betonarme perde duvar kalıbı hazırlanmıştır. Kalıplarda sarıçam, karakavak, çelik sac ve kontrplak kalıp yüzey malzemesi olarak kullanılmıştır. Kontrplak yüzeyli olarak hazırlanan 4 adet kalıptan 3 tanesinin yüzeyine drenaj kanal ve delikleri açılarak kalıp yüzeyleri farklı geotekstil astarlarla kaplanmıştır. Beton dökümü gerçekleştirildikten 28 gün sonra kalıplar sökülerek beton bloklar 6 yıl boyunca atmosfer şartlarına maruz bırakılmıştır. Daha sonra beton bloklardan alınan karot örnekler üzerinde karbonatlaşma derinliği ve farklı derinliklerden alınan toz örnekler üzerinde ise pH değerleri ölçülmüştür. Sonuç olarak; drenajlı-astarlı kalıplara dökülmüş betonların, sarıçam, karakavak, çelik sac ve kontrplak kalıba dökülen betonlara göre; daha az karbonatlaşma miktarına sahip olduğu, SB-20 geotekstil astarla kaplı olan drenajlı kalıba dökülen betonun en az karbonatlaşma derinliğine sahip olduğu, en fazla karbonatlaşma miktarının çelik sac yüzeyli kalıba dökülen betonda olduğu görülmüştür.

**Anahtar kelimeler:** Kalıp yüzeyi, karbonatlaşma, pH, beton.

## THE EFFECTS OF FORMWORK SURFACE PROPERTIES ON CONCRETE CARBONATION

### ABSTRACT

The aim of this study is to investigate the effects of formwork surface properties on concrete carbonation. Seven concrete wall formworks with different surface properties, Scotch pine, Black poplar, sheet iron and four plywoods, were constructed in this study. Tree out of four wall plywood formworks were prepared with drainage channels and holes. The formwork surfaces consisting of drainage channels and holes were covered with different geotextile liners. The concrete were casted into all prepared wall formworks, which were removed after 28 days that the sample blocks were prepared. The blocks were kept under atmospheric conditions for six years. After that, the depths of carbonation were determined using the taken core samples of all blocks. In addition, the pH values were investigated on the concrete powder samples that were obtained from different depth levels of the concrete blocks. The results indicated that formworks including both drainage and liners gave lower carbonation compared to the other formworks. The lowest carbonation was observed with the formwork that was covered with SB-20 geotextile. On the other hand, the highest carbonation was found with the sheet iron formwork.

**Keywords:** formwork surface, carbonation, pH, concrete.

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Betonarme yapı üretim sistemi içerisinde önemli bir yere sahip olan kalıp, taze betonu desteklemek, şekil vermek, betonda istenilen yüzey düzgünlüğünü sağlamak gibi temel fonksiyonlara sahiptir. Kalıplar, beton yüzeyinin performansı açısından büyük önem

taşımaktadır [1,2]. Betonarme kalıp yüzey malzemesi türü, tasarım hataları ve kalıp yağlarının yanlış kullanımından dolayı, kalıplanan beton yüzeylerinde beton kabuğun (pas payı) fiziksel ve mekanik özelliklerini etkileyen yüzey kusurları meydana gelmektedir. Diğer taraftan betonarme elemanlarda donatıyı ve betonu dış tesirlerden koruyan beton

kabuğun, eleman dayanıklılığı üzerinde önemli bir etkinliğe sahip olduğu bilinmektedir [1,3]. Bu bakımdan, beton kabuğun fiziksel ve mekanik özelliklerinin geliştirilmesiyle betonarme eleman dayanıklılığının artırılacağı düşünülmektedir.

Kalıp yüzeylerinin yapımında genel olarak; masif kereste (tahta), kontrplak (plywood), metal ve plastik malzemeler kullanılmaktadır. Su emme özelliği olmayan geçirimsiz kalıp yüzeyleri, beton yüzeyinde boşluklara neden olmaktadır. Boşluklu beton yüzeyleri zararlı aktif maddelerin betona daha kolay nüfuz ederek beton dayanıklılığının azalmasına sebep olmaktadır [4].

Betonda meydana gelen karbonatlaşma derinliği aşağıda belirtilen formül ile hesaplanabilmektedir.

$$C = K\sqrt{T}$$

Formülde,

C: Karbonatlaşma derinliğini (mm)

T: Süreyi (yıl)

K: Fiziksel değişkenleri içeren parametreyi (düşük dayanımlı betonlar için genellikle 3-4 mm/yıl<sup>0.5</sup> dan büyük bir değerdir) ifade etmektedir [5,6].

Betonun maruz kalacağı dış ortam koşullarının değişken olmasından dolayı pratikte bu bağıntıyı kullanmak pek güvenli olmamaktadır. Karbonatlaşma derinliğinin yerinde örnekler alınarak belirlenmesi daha güvenli sonuçlar vermektedir [6,7]. Betonarme yapılarda meydana gelen karbonatlaşma donatıda korozyon oluşmasına neden olabilmektedir [8,9]. Karbonatlaşma olayı sonucunda, betondaki kalsiyum hidroksit miktarı azalmakta, betonun pH değeri düşmektedir. pH değerinin düşük olduğu ortamda donatı korozyonunun oluşumu hızlanmaktadır. Karbonatlaşma olayı beton yüzeyinden başlayarak iç kısımlara doğru etkili olmaktadır. Betonun geçirimsizliği arttıkça ve beton yüzeyinde mikro çatlaklar çoğaldıkça, karbonatlaşmanın etki ettiği derinlik artmaktadır [6,10]. Son yıllarda, beton yüzey özelliklerini geliştirmeye yönelik araştırmaların bir kısmı astarlı ve geçirgen kalıp yüzeyleri üzerinde yoğunlaşmaktadır.

Geçirgen astarlı kalıp yüzeylerinin kullanımının temel amacı, fazla karışım suyunun ve hava kabarcıklarının beton yüzeyinden drene edilmesini sağlamaktır [11]. Bunun yanı sıra, bir miktar karışım suyunu bünyesinde tutan kalıp astarı bir süre taze betonu kür etmek gibi önemli bir görevi de yerine getirmektedir. Beton yerleştirilmesi sırasında fazla karışım suyunun kalıp yüzeylerine açılan drenaj deliklerinden dışarı atılmasından dolayı beton yüzeyinde su/çimento oranı düşük bir beton kabuğu oluşmaktadır [13,14].

Su/çimento oranının düşürülmesi ve kalıp astarı tarafından daha sağlıklı bir drenaj ortamı sağlanması

porozitesi düşük bir beton kabuk ve çatlakları daha az olan bir beton yüzeyi elde etme imkânı sağlayacaktır. Dolayısı ile bu tür betonlarda karbonatlaşmanın yavaşlaması beklenmektedir. Bu araştırmanın amacı; farklı yüzey özelliklerine sahip kalıpların beton karbonatlaşması üzerine etkilerini belirlemektir.

## 2. MALZEME VE METOD (MATERIAL AND METHOD)

### 2.1. Malzemeler (Materials)

Kalıp örneklerinin üretiminde, kalıp yüzey malzemesi olarak II. sınıf sarıçam kerestesi, I. sınıf karakavak kerestesi, kontrplak ve çelik sac kullanılmıştır. Kalıp yüzey astarı olarak kullanılan geotekstil astarlara ait bilgiler Tablo 1'de verilmiştir. Kalıplar içerisine Tablo 2'de özellikleri verilen C 20 akıcı kıvamlı hazır beton dökülmüştür.

**Tablo 1.** Kalıp yüzey astarlarına ait özellikler (Properties of formwork surface liners)

Geotekstil Adı	Ağırlık (g/m <sup>2</sup> )	Çekme Direnci (N)	Kopma Uzaması (%)	Delinme Direnci (N)
SB20	200	286	29	225
BL20	200	260	30	220
TB50	500	1260	56	915
F613	130	208	15	190

**Tablo 2.** Beton karışım özellikleri (Mixture Proportions of Concrete)

Beton sınıfı	C 20
Dmax	16 mm
W/C oranı	0,48
Su	190 litre
CEM II / A-P 32,5 Çimento	400 kg
Hava içeriği	1,5
Kıvam	12 cm

Beton içerisinde kullanılan CEM II / A-P 32,5 çimentosuna ait kimyasal ve fiziksel özellikler Tablo 3'te verilmiştir.

### 2.2. Metodlar (Methods)

#### 2.2.1. Kalıp örneklerinin hazırlanması (Preparation of the formwork samples)

100x200x15 cm boyutlarında, 1 adet karakavak, 1 adet sarıçam, 1 adet çelik sac ve 4 adet kontrplak olmak üzere 7 adet duvar kalıbı üretilmiştir (Şekil 1). Kontrplak kalıplardan 3 adetinin yüzeyinde drenaj kanal ve delikleri açılarak kalıp yüzey astarı (geotekstil) kaplanmıştır.

Drenaj kanalları kalıp yüzeyinin betona temas eden kısmında 100 mm aralıklarla 4 mm genişlik ve 4 mm derinlikte yatay ve düşey kanallardan oluşmaktadır. Diğer taraftan, drenaj kanallarının birleşim noktasında 4 mm çapında drenaj delikleri açılmıştır (Şekil 2). Bu

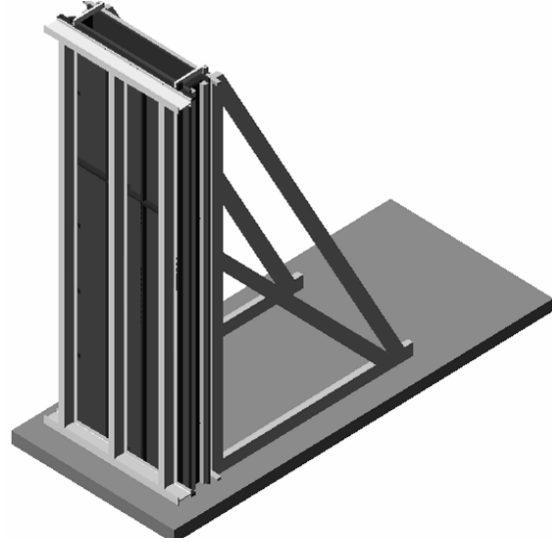
**Tablo 3.** Çimento kimyasal ve fiziksel özellikleri (Physical and chemical properties of cement)

CEM II / A-P 32,5	
Çimentosunun analiz değerleri	
SiO <sub>2</sub> (%)	25,91
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	6,68
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	3,30
CaO (%)	53,8
MgO (%)	1,52
S <sub>0</sub> (%)	2,84
Cl	0,009
Na <sub>2</sub> O (%)	0,85
K <sub>2</sub> O (%)	0,95
Kızdırma kaybı (%)	3,47
Puzolanik madde miktarı (%)	14,77
Donma başlangıcı (sa/dk)	2:52
Donma sonu (sa/dk)	6:00
Hacim sabitliği (mm Toplam)	6
Özgül ağırlık (g/cm <sup>3</sup> )	2,99
Özgül yüzey (cm <sup>2</sup> /g)	3244
Basınç dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )	
2. Gün	16,8
7. Gün	28,8

şekilde drenaj kanal ve delikleri hazırlanan kalıp yüzeylerine BL 20, SB 20 ve TB 50 + F 613 geotekstilleri kalıp yüzey astarı olarak uygulanmıştır. Geriye kalan bir adet kontrplak kalıp yüzeyinde işlem yapmaksızın referans olarak kullanılmıştır. Kalıp örneklerine ait bilgiler Tablo 4'te verilmiştir.

### 2.2.2. Beton örneklerin hazırlanması (Preparation of the concrete samples)

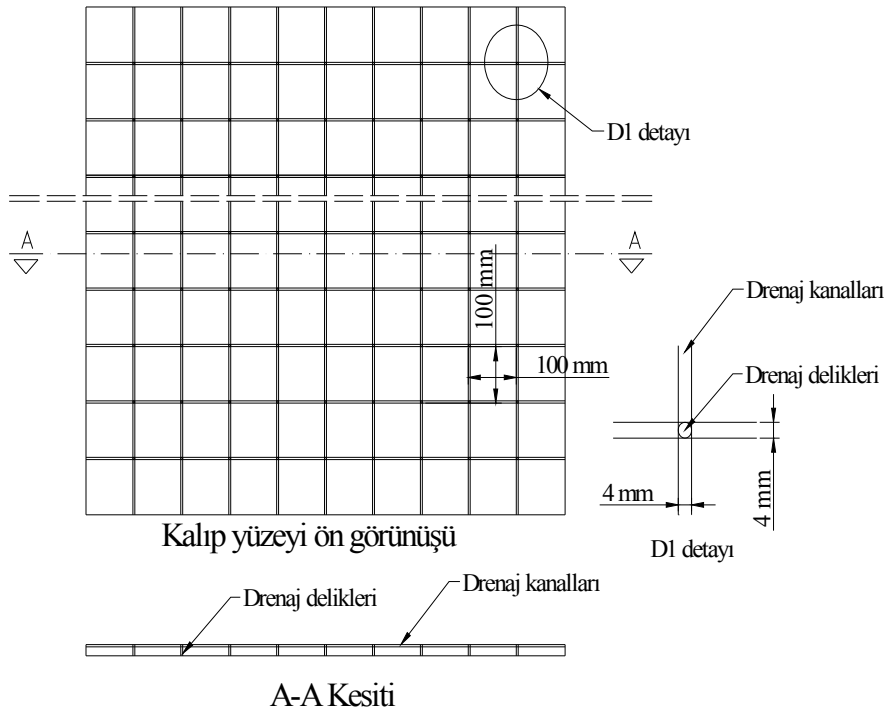
Transmikser ile getirilen hazır beton, kalıplara pompa

**Şekil 1.** Hazırlanan kalıbın perspektifi (The perspective view of prepared formwork)

ile iki tabaka halinde dökülmüştür. Her tabaka üç noktadan iç poker vibratör kullanarak sıkıştırılmıştır.

**Tablo 4.** Kalıp kodları ve yüzey özellikleri (Formwork codes and properties of the formwork surfaces)

Kalıp kodu	Yüzey malzemesi	Yüzey işlemi	Yüzey astarı
K1	Sarıçam	Drenajsız	Yok
K2	Karakavak	Drenajsız	Yok
K3	Kontrplak	Drenajsız	Yok
K4	Çelik sac	Drenajsız	Yok
K5	Kontrplak	Drenajlı	BL 20
K6	Kontrplak	Drenajlı	SB 20
K7	Kontrplak	Drenajlı	TB 50 + F 613

**Şekil 2.** Drenaj kanal ve deliklerinin yerleşim planı (The scheme of drainage channels and holes)

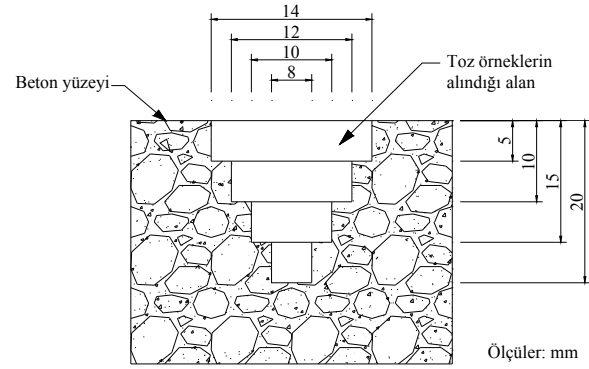
Vibratör her tabakaya eşit aralık ve hızda üç noktadan 15 sn süre ile daldırılmıştır. Betonun küri sulanmak suretiyle yapılmıştır. Beton döküm işlemi tamamlandıktan 28 gün sonra kalıplar sökülerek beton bloklar yere yatırılmış ve 6 yıl boyunca Beşevler/Ankara bölgesinde atmosfer şartlarına maruz kalacak şekilde açık havada bekletilmiştir. Deneyler açık havada bekletilen beton bloklarından alınan toz ve karot örnekler üzerinde gerçekleştirilmiştir.

### 2.2.3. Phenolphthalein indikatörü ile karbonatlaşma derinliğinin belirlenmesi (Determination of carbonation depth by Phenolphthalein indicator)

Karbonatlaşma derinliği ölçümü, her bir kalıp türü için 3 adet olmak üzere toplamda 21 adet 100 mm çapında karot örnekler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bilindiği gibi, beton yüzeyine püskürtülen baz indikatörü, pH değeri 11-12,5 olan karbonatlaşmamış betonu koyu pembe renge dönüştürür. Karbonatlaşma sonucu pH değeri 8-9'a düşmüş beton, renk değişimi göstermez. Baz indikatörü olarak kullanılan çözelti phenolphthalein çözeltisidir [9,15]. Karbonatlaşma derinliğinin belirlenmesi deneyi, Baradan vd. [5] ve Hearn et al. [10]'da belirtilen metoda göre yapılmıştır. pH'ı 8,2-9,8 olan phenolphthalein'in % 1 olarak kullanıldığı, etil alkol ile hazırlanan çözeltinin püskürtülmesinden hemen sonra beton karot örneklerde yüzeyinde kırmızı-mor renge dönüşen karbonatlaşmamış ve yüzeyden itibaren rengi değişmeyen iki bölge oluşmuştur. Karbonatlaşma derinliği beton yüzeyinden itibaren 0,1 mm hassasiyetle her karot örnek için en az 10 farklı noktadan ölçülmüştür.

### 2.2.4. pH ölçümü ile karbonatlaşma derinliğinin belirlenmesi (Determination of carbonation depth by pH measurement)

Beton bloklardan alınan karot örnekler üzerinde 5, 10, 15 ve 20 mm derinliklerden toz örnekler matkap yardımı ile alınmıştır (Şekil 3). Beton bloklardan farklı derinliklerde alınan toz örneklerden standart çözeltiler hazırlanmıştır. Çözeltiler; 2,5 g tozun 25 ml saf suda çözünmesiyle elde edilmiştir. pH ölçümleri dijital pH metre ile hazırlanan bu çözeltiler üzerinde gerçekleştirilmiştir [16].



Şekil 3. Karot yüzeylerinden alınan toz örnek yerleri  
(The places of powder samples taken from concrete surfaces)

### 2.2.5. İstatistiksel değerlendirmeler (Statistical evaluations)

Beton bloklardan alınan karot örneklerden elde edilen karbonatlaşma derinliği ve pH sonuçları üzerinde ortalamalar arasında fark olup olmadığı varyans analizi tekniği ile belirlenmiştir. Fark bulunan gruplarda farklılığın hangi gruplar arasında olduğunu belirlemek için çoklu karşılaştırma (multiple comparison) testleri yapılmıştır [17]. Veriler arasında farkın olup olmadığına karar verilirken  $p \leq 0,05$  anlamlılık düzeyi esas alınmıştır. Diğer taraftan, veriler arasındaki ilişki derecelerini belirlemek amacıyla regresyon analizleri yapılarak regresyon modelleri, determinasyon katsayıları belirlenmiş ve serpmeye diyagramları çizilmiştir. Ayrıca, gruplar arasındaki farklılıkların daha açık şekilde gösterilebilmesi için çubuk (bar) ve çizgi grafikleri çizilmiştir.

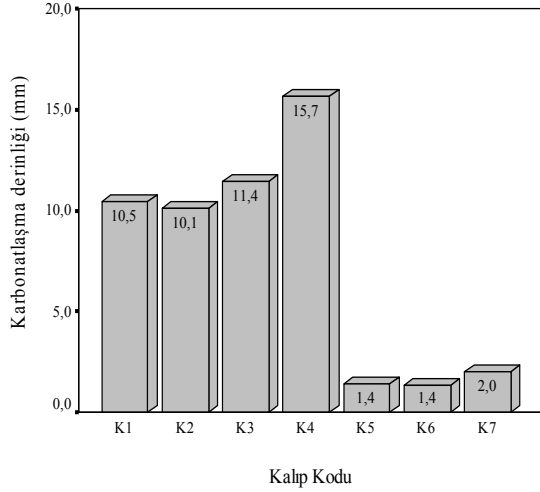
## 3. BULGULAR VE TARTIŞMALAR (RESULTS AND DISCUSSIONS)

### 3.1. Karbonatlaşma Derinliği (Carbonation Depth)

Farklı yüzey özelliklerine sahip kalıplara dökülen beton bloklarından alınan karot örnekler üzerinde phenolphthalein ( $C_{20}H_{14}O_4$ ) indikatörü ile yapılan karbonatlaşma derinlik verilerine ait açıklayıcı istatistikler Tablo 5'te verilmiştir. Ayrıca ortalama karbonatlaşma derinliğine ait veriler Şekil 4'te, karbonatlaşan beton yüzeylerine ait resim ise Şekil 5'te görülmektedir.

Tablo 5. Karbonatlaşma derinliği verilerine ait açıklayıcı istatistikler (Descriptive statistics about carbonation depth values)

Kalıp kodu	N	Ortalama Karbonatlaşma derinliği (mm)	Std.hata	%95 Güven aralığı			
				Alt eğer	Üst eğer	Minimum	Maksimum
K1	20	10,45	0,31	9,80	11,11	8	13
K2	20	10,09	0,28	9,51	10,67	6	13
K3	20	11,45	0,27	10,89	12,01	9	13
K4	20	15,68	0,38	14,89	16,47	13	19
K5	20	1,40	0,18	1,02	1,78	1	4
K6	20	1,36	0,17	0,99	1,72	1	3
K7	20	2,00	0,23	1,49	2,51	1	3

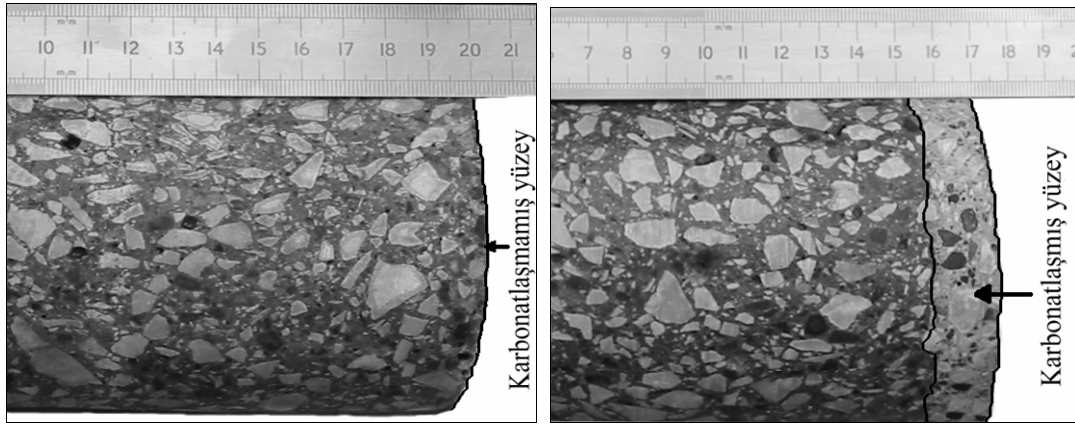


**Şekil 4.** Ortalama karbonatlaşma derinliği değerleri (Average of carbonation depth values)

Varyans analizi sonucuna göre farklı yüzey özelliklerindeki kalıplara ait betonların karbonatlaşma derinliği değerleri ortalamaları arasında  $p \leq 0,05$  anlamlılık düzeyinde farklılık olduğu görülmüştür (Tablo 6). Bu durumda, karbonatlaşma derinliğinin kalıp yüzey özelliklerine bağlı olarak değiştiği söylenebilir.

Diğer taraftan, farklı yüzey özelliklerindeki kalıplara ait beton örneklerinin karbonatlaşma derinliği verileri arasında yapılan Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre (Tablo 7);

- ✓ drenajlı-astarlı kalıpların birbirinden farklı olmadığı,
- ✓ drenajlı-astarlı kalıpların, astarsız kalıplardan farklı olduğu,
- ✓ SB 20 geotekstil astarla kaplı olan drenajlı kalıbın



a) K6 drenajlı-astarlı kalıp betonu

b) K4 çelik sac yüzeyli kalıp betonu

**Şekil 5.** Phenolphthalein indikatörü ile beton örneklerine ait karbonatlaşma derinliği (Carbonation depth of concrete samples by Phenolphthalein indicator)

**Tablo 6.** Kalıplar arasında gerçekleştirilen varyans analizi sonuçları (The results of the variance analysis carried out between formworks)

Varyansın Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F-testi	Anlamlılık düzeyi $p \leq 0,05$
Gruplar Arası	6	3754,864	625,811	386,942	0,000
Gruplar İçi	128	207,018	1,617		
Toplam	134	3961,881			

**Tablo 7.** Karbonatlaşma derinliği verilerine ait çoklu karşılaştırma testi sonuçları (The results of Multiple comparison test of carbonation depth values)

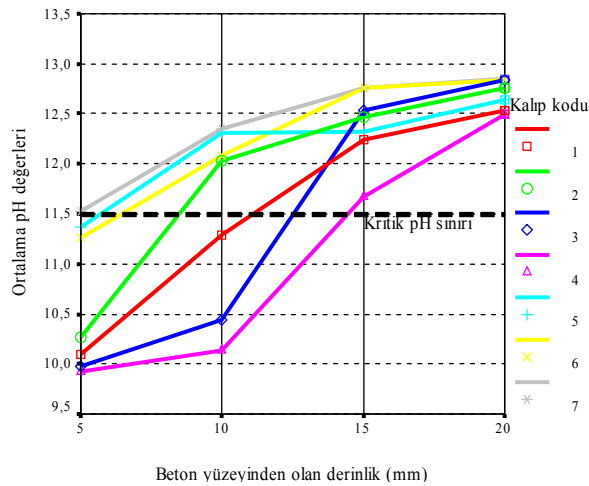
Kalıp Kodu	Kalıp kodları ve farklılık karşılaştırması							Büyüklik sıralamasında kalıbın	
	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	KalıpNo	Art. Ortalama
K1				f*	f*	f*	f*	K6	1,36
K2			f*	f*	f*	f*	f*	K5	1,40
K3		f*		f*	f*	f*	f*	K7	2,00
K4	f*	f*	f*		f*	f*	f*	K2	10,09
K5	f*	f*	f*	f*		f*	f*	K1	10,45
K6	f*	f*	f*	f*	f*		f*	K3	11,45
K7	f*	f*	f*	f*	f*	f*		K4	15,68

f\*  $p \leq 0,05$  anlamlılık düzeyinde farklı

- (K6) 1,36 mm ile en küçük karbonatlaşma derinliğine sahip olduğu,
- ✓ çelik sac yüzeyli kalıbın (K4) ise 15,68 mm ile en büyük karbonatlaşma derinliğine sahip olduğu,
  - ✓ K6 drenajlı-astarlı kalıbın, K4 çelik sac yüzeyli kalıba göre %91 oranında daha az karbonatlaşma gösterdiği görülmüştür.

### 3.2. pH Değerleri (pH Values)

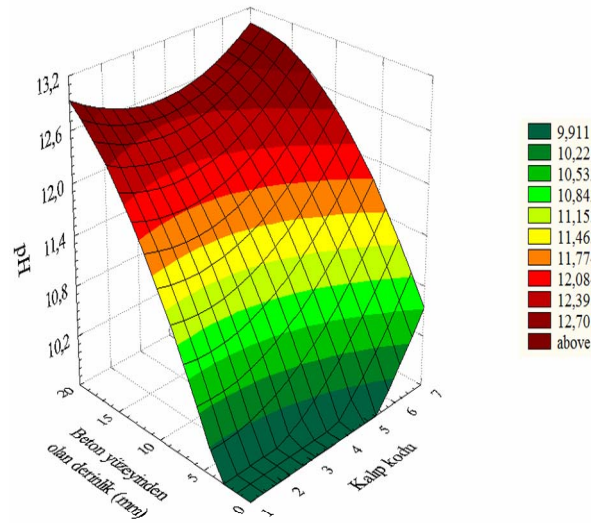
Farklı yüzey özelliklerine sahip kalıplara dökülen beton bloklarından yüzeyden itibaren 5, 10, 15 ve 20 mm derinliklerde alınan toz örnekler üzerinde yapılan pH ölçümlerine ait açıklayıcı istatistikler Tablo 8'de verilmiştir. Ayrıca ortalama pH değerlerine ait grafik Şekil 6'da görülmektedir.



Şekil 6. Ortalama pH değerleri (The average of pH values)

Karotlardan 5, 10, 15 ve 20 mm derinliklerde alınan toz örneklerden elde edilen pH değerleri üzerinde her bir derinlik için kalıplar arasında gerçekleştirilen varyans analizi sonuçlarına göre, ortalama pH değerlerinin bütün derinliklerde kalıp yüzey özelliklerine bağlı olarak  $p \leq 0,05$  anlamlılık düzeyinde farklı olduğu görülmektedir (Tablo 9).

Bu sonuca göre kalıp yüzey özelliklerinin, pH değerlerinin değişiminde önemli bir etken olduğu söylenebilir. Ayrıca pH değerlerinin derinlik ve kalıp türüne göre olan dağılımını gösteren grafik Şekil 7'de görülmektedir.



Şekil 7. pH değerlerinin dağılımı (The distribution of pH values)

Tablo 8. pH değerlerine ait açıklayıcı istatistikler (Descriptive statistics for pH values)

Kalıp kodu	Derinlik (mm)	N	Ortalama pH	Std.hata	%95 Güven aralığı		Minimum	Maksimum
					Alt eğer	Üst eğer		
K1	5	3	10,09	0,049	9,882	10,304	10,01	10,18
	10	3	11,28	0,034	11,133	11,433	11,22	11,34
	15	3	12,23	0,049	12,075	12,398	12,17	12,30
	20	3	12,53	0,034	12,395	12,677	12,49	12,60
K2	5	3	10,27	0,037	10,145	10,394	10,22	10,32
	10	3	12,03	0,032	11,756	12,303	11,92	12,14
	15	3	12,47	0,028	12,296	12,643	12,40	12,54
K3	5	3	9,98	0,040	9,880	10,079	9,94	10,02
	10	3	10,44	0,026	10,380	10,505	10,42	10,47
	15	3	12,53	0,023	12,457	12,609	12,50	12,56
	20	3	12,83	0,014	12,724	12,948	12,79	12,88
K4	5	3	9,92	0,017	9,839	10,013	9,89	9,96
	10	3	10,14	0,026	9,991	10,289	10,08	10,20
	15	3	11,66	0,020	11,529	11,803	11,61	11,72
	20	3	12,49	0,034	12,409	12,583	12,46	12,53
K5	5	3	11,36	0,031	11,251	11,475	11,32	11,41
	10	3	12,30	0,020	12,191	12,415	12,26	12,35
	15	3	12,32	0,026	12,171	12,469	12,26	12,38
	20	3	12,63	0,026	12,546	12,720	12,60	12,67
K6	5	3	11,26	0,034	11,225	11,301	11,25	11,28
	10	3	12,07	0,020	11,976	12,177	12,04	12,12
	15	3	12,76	0,008	12,685	12,834	12,73	12,79
	20	3	12,83	0,023	12,774	12,899	12,81	12,86
K7	5	3	11,52	0,017	11,460	11,585	11,50	11,55
	10	3	12,34	0,014	12,284	12,409	12,32	12,37
	15	3	12,75	0,014	12,677	12,829	12,72	12,78
	20	3	12,85	0,014	12,818	12,894	12,84	12,87

**Tablo 9.** Çeşitli derinliklerde kalıplar arasında gerçekleştirilen varyans analizi sonuçları (The results of varyans analysis carried out between formworks in terms of various depths)

Derinlik	Varyansın Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F-testi	Anlamlılık düzeyi $p \leq 0,05$
5 mm	Gruplar Arası	6	9,215	1,536	695,106	0,000
	Gruplar İçi	14	$3,09 \cdot 10^{-2}$	$2,21 \cdot 10^{-3}$		
	Toplam	20	9,246			
10 mm	Gruplar Arası	6	14,960	2,493	719,214	0,000
	Gruplar İçi	14	$4,85 \cdot 10^{-2}$	$3,46 \cdot 10^{-3}$		
	Toplam	20	15,008			
15 mm	Gruplar Arası	6	2,542	0,424	160,043	0,000
	Gruplar İçi	14	$3,70 \cdot 10^{-2}$	$2,64 \cdot 10^{-3}$		
	Toplam	20	2,579			
20 mm	Gruplar Arası	6	0,414	$6,89 \cdot 10^{-2}$	45,378	0,000
	Gruplar İçi	14	$2,12 \cdot 10^{-2}$	$1,51 \cdot 10^{-3}$		
	Toplam	20	0,435			

Her bir derinlikte kalıplar arasında yapılan Tukey çoklu karşılaştırma testi ile pH değerlerinin hangi kalıplarda anlamlı düzeyde farklı olduğu belirlenmiştir (Tablo 10).

Çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre;

- ✓ bütün derinliklerde çelik sac yüzeyli kalıba (K4) dökülen betonun en küçük pH değerine sahip olduğu,
- ✓ drenajlı-astarlı kalıplara dökülen betonların, astarsız kalıplara dökülen betonlardan daha büyük

- pH değerlerine sahip olduğu,
- ✓ bütün derinliklerde drenajlı SB 20 astarlı (K6) ve TB 50 + F 613 astarlı (K7) kalıplara dökülen betonların pH değerlerinin diğer kalıplardan  $p \leq 0,05$  anlamlılık düzeyinde farklı olduğu,
- ✓ pH değerlerinde 5 ve 10 mm derinliklerde kalıplar arasındaki farkın daha büyük olduğu, derinlik arttıkça pH değerleri arasındaki farkın azaldığı görülmüştür.

Diğer taraftan, her bir kalıp türünde farklı derinliklerden elde edilen pH değerleri arasında

**Tablo 10.** Çeşitli derinliklerde kalıplar arasında gerçekleştirilen Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları (The results of Tukey test carried out between formworks for various depths)

Derinlik	Kalıp Kodu	Kalıp kodları ve farklılık karşılaştırması							Büyüklik sıralamasında kalıbın	
		K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	KalıpN	Art. Ortalama
5 mm	K1		f*		f*	f*	f*	f*	4	9,92
	K2	f*		f*	f*	f*	f*	f*	3	9,98
	K3		f*			f*	f*	f*	1	10,09
	K4	f*	f*			f*	f*	f*	2	10,27
	K5	f*	f*	f*	f*			f*	6	11,26
	K6	f*	f*	f*	f*			f*	5	11,36
	K7	f*	f*	f*	f*	f*	f*		7	11,52
10 mm	K1		f*	f*	f*	f*	f*	f*	4	10,14
	K2	f*		f*	f*	f*	f*	f*	3	10,44
	K3	f*	f*		f*	f*	f*	f*	1	11,28
	K4	f*	f*	f*		f*	f*	f*	2	12,03
	K5	f*	f*	f*	f*		f*		6	12,07
	K6	f*	f*	f*	f*	f*		f*	5	12,30
	K7	f*	f*	f*	f*		f*		7	12,34
15 mm	K1		f*	f*	f*		f*	f*	4	11,66
	K2	f*			f*	f*	f*	f*	1	12,23
	K3	f*			f*	f*	f*	f*	5	12,32
	K4	f*	f*	f*		f*	f*	f*	2	12,47
	K5		f*	f*	f*		f*	f*	3	12,53
	K6	f*	f*	f*	f*	f*			7	12,75
	K7	f*	f*	f*	f*	f*			6	12,76
20 mm	K1		f*	f*			f*	f*	4	12,49
	K2	f*			f*	f*			1	12,53
	K3	f*			f*	f*			5	12,63
	K4		f*	f*		f*	f*	f*	2	12,76
	K5		f*	f*	f*		f*	f*	3	12,83
	K6	f*			f*	f*			6	12,83
	K7	f*			f*	f*			7	12,85

f\*  $p \leq 0,05$  anlamlılık düzeyinde farklı

**Tablo 11.** Her bir kalıp türünde derinlikler arası varyans analizi sonuçları (The results of varyans analysis carried out between depths for each formwork type)

Kalıp kodu	Varyansın Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F-testi	Anlamlılık düzeyi $p \leq 0,05$
K1	Gruplar Arası	3	10,912	3,637	793,612	0,000
	Gruplar İçi	8	$3,667 \cdot 10^{-2}$	$4,583 \cdot 10^{-3}$		
	Toplam	11	10,949			
K2	Gruplar Arası	3	11,229	3,743	695,282	0,000
	Gruplar İçi	8	$4,307 \cdot 10^{-2}$	$5,383 \cdot 10^{-3}$		
	Toplam	11	11,272			
K3	Gruplar Arası	3	18,812	6,271	4823,632	0,000
	Gruplar İçi	8	$1,040 \cdot 10^{-2}$	$1,300 \cdot 10^{-3}$		
	Toplam	11	18,823			
K4	Gruplar Arası	3	13,689	4,563	2005,659	0,000
	Gruplar İçi	8	$1,820 \cdot 10^{-2}$	$2,275 \cdot 10^{-3}$		
	Toplam	11	13,707			
K5	Gruplar Arası	3	2,714	,905	406,637	0,000
	Gruplar İçi	8	$1,780 \cdot 10^{-2}$	$2,225 \cdot 10^{-3}$		
	Toplam	11	2,732			
K6	Gruplar Arası	3	4,820	1,607	1890,389	0,000
	Gruplar İçi	8	$6,800 \cdot 10^{-3}$	$8,500 \cdot 10^{-4}$		
	Toplam	11	4,827			
K7	Gruplar Arası	3	3,304	1,101	1810,155	0,000
	Gruplar İçi	8	$4,867 \cdot 10^{-3}$	$6,083 \cdot 10^{-4}$		
	Toplam	11	3,308			

yapılan varyans analizi sonuçlarına göre (Tablo 11), pH değerlerinin örneklerin alınmış olduğu derinliklere göre anlamlı bir farklılık gösterdiği, farklı yüzey malzemeleriyle hazırlanan betonlardaki pH değerlerinin derinliğe bağlı olarak değiştiği görülmektedir.

Gerçekleştirilen çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre (Tablo 12);

- ✓ en küçük pH değerinin yüzeyi çelik sac ile kaplanmış kalıptan (K4) elde edilen betonun 5 mm'lik kısmında oluştuğu,
- ✓ en küçük pH değerlerinin bütün kalıplarda ilk 5 mm'lik kısmında oluştuğu,
- ✓ K6 ve K7 drenajlı-astarlı kalıpların en büyük pH değerine sahip oldukları görülmektedir.

Ayrıca karbonatlaşma derinliği ve pH değerleri

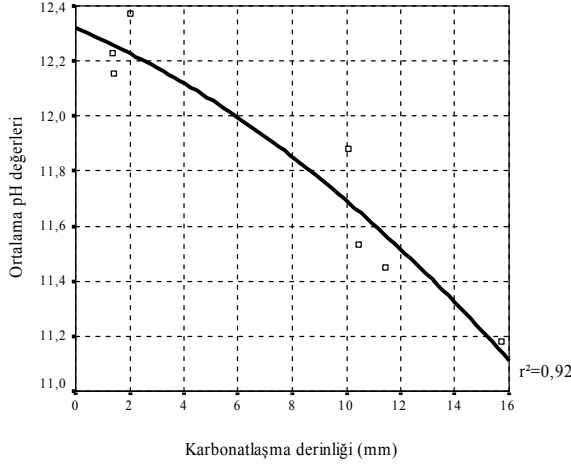
**Tablo 12.** Derinlikler arası gerçekleştirilen Tukey testi sonuçları (The results of Tukey test carried out between depths)

Kalıp kodu	Derinlik (mm)	Derinlik (mm) ve farklılık karşılaştırması				Büyüklik sıralamasında derinlik	
		5	10	15	20	Derinlik	Art. Ortalama
K1	5		f*	f*	f*	5	9,92
	10	f*		f*	f*	10	9,98
	15	f*	f*		f*	15	10,09
	20	f*	f*	f*		20	10,27
K2	5		f*	f*	f*	5	10,14
	10	f*		f*	f*	10	10,44
	15	f*	f*		f*	15	11,28
	20	f*	f*	f*		20	12,03
K3	5		f*	f*	f*	5	11,66
	10	f*		f*	f*	10	12,23
	15	f*	f*		f*	15	12,32
	20	f*	f*	f*		20	12,47
K4	5		f*	f*	f*	5	12,49
	10	f*		f*	f*	10	12,53
	15	f*	f*		f*	15	12,63
	20	f*	f*	f*		20	12,76
K5	5		f*	f*	f*	5	12,49
	10	f*			f*	10	12,53
	15	f*	f*		f*	15	12,63
	20	f*	f*	f*		20	12,76
K6	5		f*	f*	f*	5	12,49
	10	f*		f*	f*	10	12,53
	15	f*	f*		f*	15	12,63
	20	f*	f*	f*		20	12,76
K7	5		f*	f*	f*	5	12,49
	10	f*		f*	f*	10	12,53
	15	f*	f*		f*	15	12,63
	20	f*	f*	f*		20	12,76

f\*  $p \leq 0,05$  anlamlılık düzeyinde farklı



arasındaki regresyon analizi gerçekleştirilmiştir. Karbonatlaşma derinliği ile pH değerleri arasında gerçekleştirilen regresyon analizi sonucunda determinasyon katsayısının  $r^2=0,92$ , regresyon model denkleminin ise ikinci dereceden  $Y= 12,3195-0,0415.X- 0,0021.X^2$  olduğu görülmüştür (Şekil 8).



Şekil 8. Regresyon analizi grafiği (The graphic of regression analysis)

#### 4. SONUÇLAR (CONCLUSION)

Farklı yüzey özelliklerine sahip olarak hazırlanan 7 adet perde duvar kalıbına dökülen beton bloklar üzerinde gerçekleştirilen karbonatlaşma derinliği ve pH ölçümleri sonuçlarına göre;

- ✓ Drenajlı-astarlı kalıpların karbonatlaşma derinliği değerlerinin diğer kalıplardan daha küçük olduğu,
- ✓ SB-20 geotekstil astar kaplı kalıbın 1,36 mm ile en küçük karbonatlaşma derinliğine sahip olduğu,
- ✓ SB-20 geotekstil astarlı kalıpta meydana gelen karbonatlaşma derinliğinin çelik sac yüzeyli kalıba göre 11,5 kat daha küçük olduğu,
- ✓ pH değerleri üzerinde yapılan değerlendirmelerde de çelik sac yüzeyli kalıbın en küçük pH değerine sahip olduğu,
- ✓ En büyük pH değerine ise SB-20 ve TB50+F613 geotekstil astar kaplı kalıpların sahip olduğu,
- ✓ TB50+F613 geotekstil astar kaplı kalıp ile çelik sac yüzeyli kalıpta 5 mm derinlikteki pH değerlerine bakıldığında, drenajlı-astarlı kalıbın sac yüzeyli kalıba göre %16 daha küçük pH değerine sahip olduğu,
- ✓ Kalıp yüzey özelliklerinin karbonatlaşma derinliğini üzerinde etken bir faktör olduğu görülmüştür.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Anthony, W.R., Stainer, D.J. "Concrete High Rises Offer Many Cost Advantages", **Concrete**

**Construction**, 33, 452-456, Ceco Cord, Oak Brook, USA, 1988.

2. Subaşı, S., Arslan, M., "Kalıp Teknolojilerindeki Gelişmelerin Betonarme Elemanların Dayanıklılığına Etkileri", **Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu**, Ankara, 2002.
1. Report, Tolerances on Blemishes of Concrete, Rp No: 24, Rotterdam, 1975.
2. Arslan, M., "The Effects of Permeable Formworks with Sucker Liners on The Physical Properties of Concrete Surfaces", **Construction and Building Materials**, 15, 149-156, 2001.
3. Baradan, B., ve ark., "Betonarme Yapılarda Kalıcılık", Dokuz Eylül Üniversitesi Müh.Fak.Yayımları, İzmir, 2002.
4. Neville, A. M., "**Properties of Concrete**", 4. Baskı, Longman Group Ltd., 303-306, 391-394, 504-505, 581-585, 605-609, 610-624, 2002.
5. Kropp, J., Hilsdorf, H.K., "**Performans Criteria for Concrete Durability**", Rilem Report 12, Chapman&Hall, London, 1995.
6. Kurtis K.E., Meyer-Ilse, W. and Monteiro, P.J.M., "Soft X-ray spectromicroscopy for in situ study of corrosion", **Corrosion Science**, 42: 1327- 1336, 2001.
7. Sancak, E. ve Şimşek, O., "The effect of the use of silica fume in concrete on steel reinforcement corrosion", **IV. ICCP 2004 International Corrosion and Concrete Protection Symposium**, Ankara, Türkiye, 441-452, 2004.
8. Hearn, N., Hooton, R. D., and Mills, R. H., "Pore Structure and Permeability", **Concrete and Concrete-Making Materials**, Edited by: Klieger, P. and Lamond, J., ASTM STP 169C, 240-262, 1994.
9. Sha'at, A. et al., "The Influence of Controlled Permeability Formwork Liner on the Quality of the Cover Concrete", **Durable Concrete in Hot Climates**, ACI, Sp:139-6, Pp: 91-105.
10. Subaşı, S., Farklı Yüzey Astarları ile Kaplanmış Drenaj Özelliği Bulunan Kalıpların Betonun Bazı Fiziksel Özelliklerine Etkileri, Doktora Tezi, **Gazi Üniv., Fen Bilimleri Enst.**, Ankara, 2005.
11. Harrison, T., "Introducing CPF Formwork", **Concrete International**, 198-202, February, 1991.
12. Marosszeczy, M., et al, "Texture Form Method to Improve Concrete Durability", **Concrete International**, 37-41, 1993.
13. Erdoğan, T.Y., "**Beton**", METU Press, I.Baskı, Ankara, 66-67, 191-198, 2003.
14. TS 6166, "İnşaat Mühendisliğinde Zemin Deneyleri: Kimyevi Deneyler -Zeminde pH Değerinin Ölçümü", Türk Standartları Enstitüsü, 1988.
15. Neter, J. Ve ark., **Applied Statistics**, 3.th edition, Allyn and Bacon Inc., London, 1988.