

# GEÇİRGEN KALIP KULLANIMININ BETON OLGUNLAŞMA SÜRESİNE OLAN ETKİSİ

**Serkan SUBAŞI**

Düzce Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Yapı Eğitimi Bölümü, Düzce  
[serkansubasi@duzce.edu.tr](mailto:serkansubasi@duzce.edu.tr)

(Geliş/Received: 21.01.2009 ; Kabul/Accepted: 28.04.2009)

## ÖZET

Bu araştırmanın amacı; drenaj özelliği bulunan geçirgen kalıp kullanımının beton olgunlaşma sürelerine olan etkisini araştırmaktır. Bu amaçla 20x70x120 cm boyutlarında 4 adet perde duvar kalıbı hazırlanmıştır. Kalıpların bir tanesinde yüzey malzemesi olarak karaçam kerestesi, 3 tanesinde ise plywood kullanılmıştır. Plywood kaplı kalıpların 2 tanesinin yüzeyine drenaj kanal ve delikleri açılmış daha sonra farklı geotekstil astarlarla kaplanmıştır. Diğer plywood yüzeyli kalıp ise referans olarak kullanılmıştır. Kalıplara C30 betonu yerleştirilerek vibratör ile sıkıştırılmıştır. Ayrıca 15x15x15 cm ebadında 16 adet küp numune alınmıştır. Hazırlanan perde duvarların geometrik merkezine ve bir küp numuneye olgunluk ölçer aygıtları yerleştirilmiştir. Diğer küp numunelerin 1., 3., 7., 14., ve 28. günlerde beton basınç dayanımları belirlenmiştir. Sonuç olarak; geçirgen kalıplara dökülmüş betonların, karaçam ve plywood kalıba dökülen betonlara göre olgunluk indekslerinin ortalama %11 oranında büyük olduğu ve daha erken dayanım kazandığı, geçirgen kalıp kullanımı ile beton olgunlaşmasının hızlandırılabilceği görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Geçirgen kalıp, olgunlaşma, basınç dayanımı, beton.

## THE EFFECTS OF USING PERMEABLE FORMWORK ON CONCRETE MATURITY

### ABSTRACT

The aim of this study is to investigate the effects of using permeable formwork on concrete maturity. For this purpose, four curtain wall formworks having 120 cm height, 70 cm with and 20 cm thickness; were prepared. As a surface material one Black pine and three plywoods formworks were used. Drainage channels and holes were cut on the surfaces of two of plywoods formworks and the surfaces of these formworks were covered with different geotextile liners. The other polywood formwork selected as reference sample any processing has done. Maturity measuring apparatuses were placed on the geometric centre of the curtain wall formworks. C30 concrete were cast into the prepared formworks and compressed with a vibrator. In addition, 16 number of concrete samples having 15x15x15 cm dimensions were prepared. The maturity measuring device was placed into the one of these samples. And the other samples were waited into the curing pool and the compressive strength of the samples was determined at the 1<sup>st</sup>, 3<sup>rd</sup>, 7<sup>th</sup>, 14<sup>th</sup>, and 28<sup>th</sup> days respectively. As a result, it is seen that, maturity index of the concrete cast into the permeable formworks is high as 11% than the black pine and plywood formworks and the concrete cast into the permeable formworks were gained earlier strength. Besides, it is seen that, concrete maturity may be accelerated with using permeable formworks.

**Keywords:** Permeable formwork, maturity, compressive strength, concrete.

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Yapım sırasında betonarme yapılarda birçok hasarlar oluşmaktadır. Bu hasarların birçoğu betonun yeterli dayanıma ulaşmadan kalıpların sökülmesinden veya

uygulanan yapım yüklerinden ileri gelmektedir. Uygun kalıp sökme süresinin bulunmasında beton dayanımının çeşitli yöntemlerle saptanması mümkündür [1-3]. Yapıda en gerçekçi yöntem karot numunelerinin alınmasıdır, fakat bu yöntem erken yaşlarda

imkânsızdır. Ancak betonun yerinde olgunluk ve olgunluk-dayanım ilişkisini bilmekle beton basınç dayanımı tahmin edilebilmektedir [4,5]. Betonun dayanım kazanmasını etkileyen faktörler arasında süre ve sıcaklık önemli bir yer tutmaktadır. Bu faktörlerden başka su-çimento oranı, çimento türü, miktarı, dış ortam nemi gibi faktörler de dikkate alınmalıdır. İkinci faktörlerin sabit tutulduğu veya belli olduğu bir durumda sertleşmeye ölçüt olarak süre ve sıcaklığı değişken kabul eden büyüklük “Olgunluk Derecesi” olarak tanımlanmaktadır [6,7]. Olgunluk derecesi, dayanım tahmininde kullanılan hasarsız bir denetleme yöntemidir. Betonun dayanım kazanması zaman ve sıcaklığın bir fonksiyonu olduğu göz önünde tutularak dayanım tahmini için bu iki parametreyi içeren “Olgunluk Fonksiyonları” önerilmiştir [8,9].

İlk olgunluk fonksiyonu, Nurse-Saul tarafından 1949 yılında ortaya çıkarılmıştır [10].

$$M(t) = \sum_0^t (T_a - T_0) \Delta t \quad (1)$$

Formülde,

$M(t)$  = t yaşındaki sıcaklık-zaman faktörü (olgunluk indeksi) (°C.gün)

$T_a$  =  $\Delta t$  zaman aralığındaki ortalama sıcaklık (°C)

$T_0$  = Baz sıcaklık (°C)

$T$  = Zaman (gün)

$\Delta t$  = Zaman aralığı (gün) ifade etmektedir.

Daha sonraları, Alexander ve Taplin yaptıkları çalışmaların sonucunda beton içerisindeki kimyasal reaksiyonların hızına sıcaklığın etkisini tanımlamakta kullanılan Arrhenius denkleminde dayanarak yeni bir olgunluk fonksiyonu önermiştir[11].

$$t_e = \sum e^{-\frac{E}{R} \left( \frac{1}{T_a} - \frac{1}{T_s} \right)} \Delta t \quad (2)$$

Formülde;

$t_e$  = Referans sıcaklıktaki eşdeğer yaş (gün)

$E$  = Aktivasyon enerjisi (CEM I için 40000-45000 J/mol)

$R$  = Evrensel gaz sabiti (8,31 J/(K-mol))

$T_a$  =  $\Delta t$  zaman aralığında betonun ortalama sıcaklığı (°K)

$T_s$  = Referans sıcaklık (°K)

$\Delta t$  = Zaman aralığı (gün) ifade etmektedir.

Arrhenius denkleminde dayanan eşdeğer yaş fonksiyonunun güvenilirliği aktivasyon enerjisi değerinin güvenilirliğine bağlıdır[12]. Birçok araştırmacı tarafından yapılan çalışmalarda aktivasyon enerjisi değerinin normal portland çimentoları için 40-45 kJ/mol arasında, cüruf içeren çimentolarda ise 56

kJ/mol değerine kadar alınabileceği belirtilmektedir [13-16].

Betonarme yapı üretiminde taze betonu desteklemek, şekil vermek, betonda istenilen yüzey düzgünlüğünü sağlamak gibi temel fonksiyonlara sahip olan kalıp, beton yüzeyinin performansı açısından da büyük önem taşımaktadır [17]. Betonarme kalıp yüzey malzemesi türü, tasarım hataları ve kalıp yağlarının yanlış kullanımından dolayı, beton yüzeylerinde, betonun dayanıklılığını etkileyecek birçok yüzey kusurları meydana gelmektedir[18]. 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 [17]. Geçirgen kalıp kullanımı ile özellikle dayanıklılığı yüksek beton elde etmek mümkün olmaktadır.

Geçirgen kalıp yüzeylerinin kullanımının temel amacı, fazla karışım suyunun ve hava kabarcıklarının beton yüzeyinden drene edilmesini sağlamaktır. 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 yüzeylerinden dışarı atılmasından dolayı beton yüzeyinde su/çimento oranı düşük bir beton kabuğu oluşmaktadır [19]. Su/çimento oranının düşürülmesi ve kalıp astarı tarafından daha sağlıklı bir drenaj ortamı sağlanması porozitesi düşük ve çatlakları daha az olan bir beton yüzeyi elde etme imkânı sağlamaktadır [20].

Arslan ve arkadaşlarının yapmış olduğu araştırmada drenajlı astarlı kalıpların (DAK) taze beton yanal basıncı üzerine etkileri araştırılmış, penetrasyon yöntemiyle beton priz süreleri belirlenmiş ve drenajlı astarlı kalıpların astarsız kalıplara göre beton priz alma süresini hızlandırdığı görülmüştür[21]. Bir başka çalışmada Arslan [22] DAK'lara dökülen betonların fazlık karışım suyunun drene edilmesiyle betonun sıvı fazdan katı hale daha çabuk geçmesinden dolayı kalıp yüzeylerine daha az yanal basınç uyguladığını belirlemiştir. Diğer taraftan Subaşı [23] astarlı kalıp kullanımı ile astarsız kalıplara göre daha yüksek basınç ve çekme dayanımına sahip beton elde edilebileceğini ifade etmektedir. Bu çalışmada beton kabuğu fiziksel ve mekanik özellikleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olan geçirgen kalıpların beton olgunlaşma sürelerine olan etkisi araştırılmıştır.

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

### 2.1. Malzemeler (Materials)

Kalıp örneklerinin üretiminde, kalıp yüzey malzemesi olarak II. sınıf karaçam kerestesi ve plywood

kullanılmıştır. Kalıp yüzey astarı olarak, Zemdrain MD Tip-III (GEO-I) kalıp astarı; %100 polypropylene liflerden oluşan, ısı yapıştırmalı, dokuma olmayan (nonwoven), 3 L/m<sup>2</sup> suyu drene edebilen, 0,35 L/m<sup>2</sup> suyu bünyesinde tutabilen, 35 µm'den az ortalama göz açıklığı olan, 20 kPa yük altında %10 boy uzaması olan, 4 mm açıklığında ızgara destekli, 0,5-1.10<sup>-4</sup> m<sup>2</sup>/s geçirimsizliğe sahip ve SB 20 (GEO-II) geotekstil astar; ağırlık 200 gr/m<sup>2</sup>, çekme dayanımı 286 N, kopma uzaması %29, delinme dayanımı 225 N olan iki farklı tip astar kullanılmıştır. Kalıplar içerisine Tablo 1'de özellikleri verilen C 30 akıcı kıvamlı hazır beton dökülmüştür. Beton karışımında CEM I 42,5 R çimentosu kullanılmıştır.

**Tablo 1.** Beton karışım özellikleri (Mix Proportions of Concrete)

Beton sınıfı	C30
Dmax	25 mm
S/Ç oranı	0,49
Su	181 litre
Çimento (CEM I 42,5 R)	370 kg
Kırma Kum (0-5 mm)	526 kg
Agrega (5-15 mm)	468 kg
Agrega (15-22 mm)	454 kg
Taşunu	335 kg
Süper Akışkanlaştırıcı	3,7 kg
Hava içeriği	1,5
Çökme	16 cm

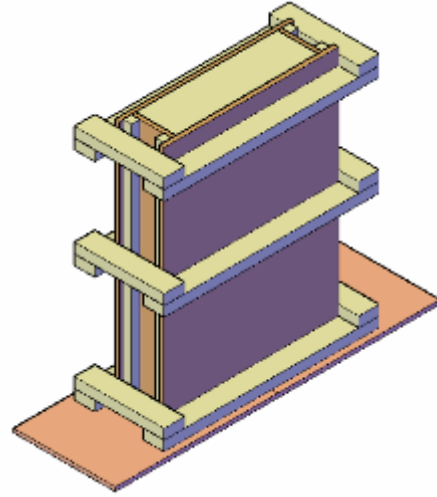
## 2.2. Metodlar (Methods)

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

70x120x20 cm boyutlarında, 1 adet karaçam, 3 adet plywood olmak üzere 4 adet perde duvar kalıbı üretilmiştir (Şekil 1). Kalıp yüzeylerinde astarlar tarafından filtre edilen karışım suyunun daha kolay uzaklaştırılabilmesi için plywood kalıplardan 2 adetinin yüzeyinde drenaj kanal ve delikleri açılarak kalıp yüzey astarı ile kaplanmıştır. Drenaj kanalları kalıp yüzeyinin iç 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. Bu şekilde drenaj kanal ve delikleri hazırlanan kalıp yüzeylerine Zemrain (GEO-I) ve SB 20 (GEO-II) geotekstilleri kalıp yüzey astarı olarak uygulanmıştır. Geriye kalan bir adet plywood kalıp, yüzeyinde işlem yapılmadan referans olarak kullanılmıştır. Kalıp örneklerine ait bilgiler Tablo 2'de verilmiştir.

### 2.2.2. Beton dökümü (Concrete casting)

Beton dökümü öncesinde yüzeylerine astar kaplanmayan K1 ve K2 kalıpları konsantre kalıp yağı ile yağlanmıştır. Transmikser ile getirilen C30 hazır beton, kalıplara iki tabaka halinde dökülmüştür. Her



**Şekil 1.** Tasarımı yapılan perde duvar kalıbına ait perspektif görünüşü (The perspective view of prepared formwork)

tabaka üç noktadan dalgıç vibratör kullanarak sıkıştırılmıştır. Betonun kürü sulanmak suretiyle yapılmıştır. Beton dökümü atmosfer şartlarına maruz açık alanda gerçekleştirilmiştir (Şekil 2).

**Tablo 2.** Kalıp kodları ve yüzey özellikleri (Formwork codes and properties of the formwork surfaces)

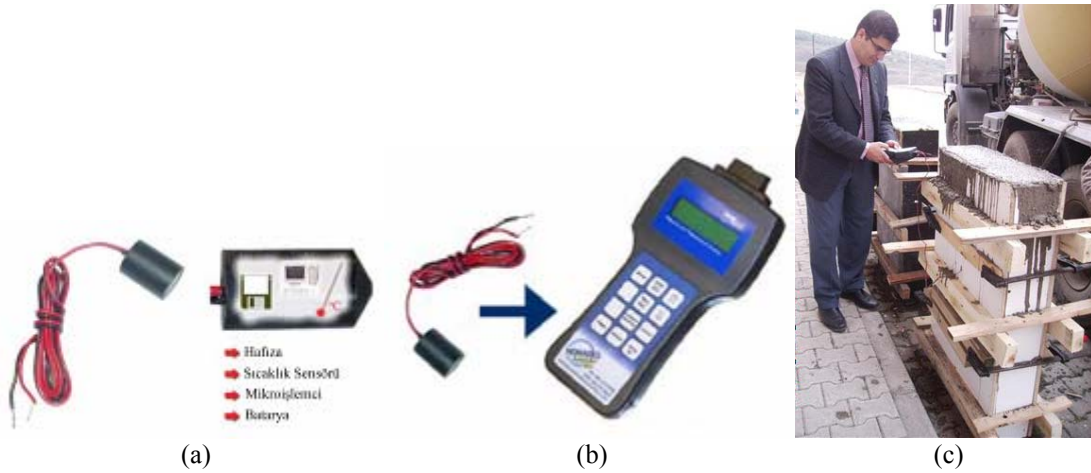
Kalıp kodu	Kalıp yüzey malzemesi	Yüzey işlemi	Yüzey astarı	Kalıp yüzey dokusu
K1	Karaçam	-	-	
K2	Plywood	-	-	
K3	Plywood	Drenajlı	Zemdrain	
K4	Plywood	Drenajlı	SB20	

### 2.2.3. Olgunluk ölçüm deneyi (Maturity test)

Olgunluk ölçüm deneyi için hazırlanan perde duvar kalıplarının geometrik merkezlerine gelecek şekilde Şekil 3'te görülen içerisinde sıcaklık sensörü, hafıza, mikroişlemci ve batarya bulunan olgunluk ölçüm aygıtı yerleştirilmiştir. Ayrıca referans olgunluk ölçümleri için dökümü gerçekleştirilen betondan 15x15x15 cm ebadında 16 adet beton numune alınmıştır. Küp numunelerin 1 tanesinin içerisine olgunluk ölçüm aygıtı yerleştirilmiştir. 16 adet küp numune 1 gün sonra kalıplardan çıkarılarak 20±2 °C sıcaklıktaki kür tankının içerisine konulmuştur.



Şekil 2. Hazırlanan kalıpların içerisine beton dökümü (Concrete casting at prepared formworks)



Şekil 3. Olgunluk ölçüm aygıtı (a), veri toplama ünitesi (b) ve verilerin betonlardan alınması (c) (Maturity test probe (a), data logger (b) and collecting data from concretes(c))

Deneyler ASTM C 1074 “Standart Pricitce For Estimating Concrete Strength By Maturity Method” standardında belirtilen esaslara uygun olarak gerçekleştirilmiştir [24]. Beton sıcaklıkları aygıt aracılığı ile 1 saat zaman aralığında, 28 gün (672 saat) boyunca kayıt edilmiştir. Şekil 3’te olgunluk ölçüm deneyinde kullanılan olgunluk ölçüm aygıtı ve kaydedilen sıcaklık, zaman verilerini almada kullanılan veri toplama ünitesi görülmektedir. Elde edilen zaman ve sıcaklık parametreleri kullanılarak olgunluk indeksleri hesaplanmıştır. Olgunluk indeksinin hesaplanmasında Eşitlik 1’deki formül kullanılmıştır.

#### 2.2.4. Beton basınç dayanımı deneyi (Compressive strength test)

Küp numuneler 1., 3., 7., 14., ve 28. günlerde 3’er adet olmak üzere kür tankından çıkarılarak basınç dayanımları test edilmiştir. Deneyler ASTM C 1074 ve TS EN 12390-3 standartlarında belirlenen esaslara uygun olarak gerçekleştirilmiştir [25,26].

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

#### 3.1. Olgunlaşma İndeksi Değerleri (The Values of Maturity Index)

Dört farklı yüzey özelliklerine sahip perde duvar kalıplarına ve küp numunelere dökülen betonların minimum-maksimum-son sıcaklık, geçen zaman ve olgunluk değerlerine ait bilgiler Tablo 3’te verilmiştir. 28 gün boyunca kayıt edilen sıcaklık ve zaman verilerini gösteren grafik Şekil 4’te görülmektedir. Grafik incelendiğinde aynı beton türü kullanılması ve aynı atmosfer şartlarına maruz kalmasına rağmen kalıp farklılığından dolayı beton iç sıcaklıklarının değiştiği görülmektedir.

Olgunluk ölçüm aygıtı yardımı ile elde edilen sıcaklık ve zaman verileri kullanılarak olgunluk indeksi değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan olgunluk indeksi değerleri ve zamana göre olan değişimi Şekil 5’te görülmektedir. Grafikte kür havuzunda olgunlaştırılan referans numunelerin olgunlaşma değerlerine göre

**Tablo 3.** Betonların olgunluk değerlerine ait bilgiler (Data of concrete maturity values)

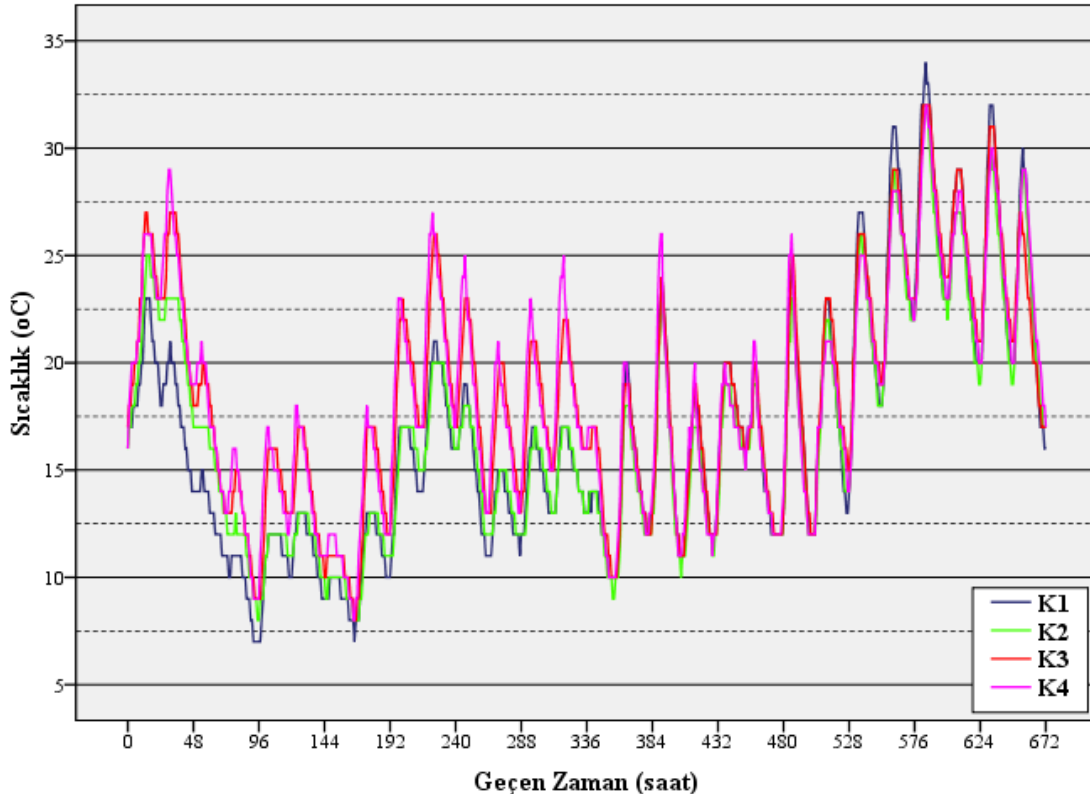
Kalıp Kodu	Değerler	Sıcaklık (°C)	Geçen Zaman (saat)	Olgunluk İndeksi (°C-saat)
Referans	Minimum Sıcaklık	20	4,4	101
	Maksimum Sıcaklık	24	26,30	592
	Son Okuma Sıcaklığı	23	672	15433
K1	Minimum Sıcaklık	7	91,85	1324
	Maksimum Sıcaklık	34	583,33	8455
	Son Okuma Sıcaklığı	16	672	10585
K2	Minimum Sıcaklık	8	94,33	1565
	Maksimum Sıcaklık	32	582,72	8552
	Son Okuma Sıcaklığı	17	672	10632
K3	Minimum Sıcaklık	8	165,92	2562
	Maksimum Sıcaklık	32	581,97	9597
	Son Okuma Sıcaklığı	17	672	11769
K4	Minimum Sıcaklık	8	164,13	2578
	Maksimum Sıcaklık	32	583,48	9640
	Son Okuma Sıcaklığı	17	672	11757

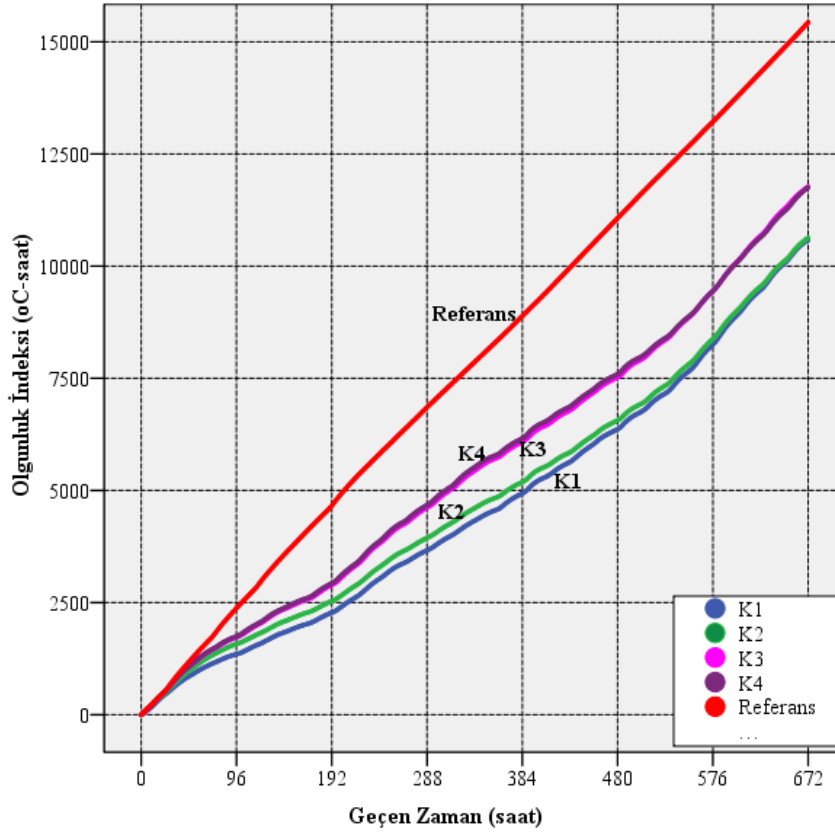
atmosfer şartlarında olgunlaşan betonların olgunluk indekslerinin daha düşük olduğu, ancak K3 ve K4 geçirgen kalıplarının K1 ve K2 kalıplarına göre daha büyük olgunluk indekslerine sahip olduğu görülmektedir.

Kalıp farklılığından dolayı olgunluk indeksi değerlerindeki değişimi daha iyi yorumlayabilmek için zaman ve olgunluk indeksi verileri arasında regresyon analizi gerçekleştirilmiştir. Regresyon analizinde kullanılan veriler ve referans numuneye göre olan farkları Tablo 4'te verilmiştir.

Farklı kalıplara dökülen betonların olgunluk indeksi değerlerindeki zamana bağlı değişimin birbirinden farklı olduğu görülmektedir. 1. günde K1 ve K2 kalıplarının kür havuzunda olgunlaştırılan referans numuneye göre sırasıyla %15 ve %8 oranında daha küçük olduğu, geçirgen K3 ve K4 kalıplarının ise %1 gibi düşük bir farka sahip olduğu, özellikle 7. günde K1 ve K2 kalıplarının olgunluk değerlerinin referans numuneye göre sırasıyla %51 ve %45 oranında daha küçük olduğu görülmektedir.

28. günde ise K1 ve K2 kalıplarına dökülen betonların

**Şekil 4.** Sıcaklık verilerine ait grafik (The graphic of the temperature values)



Şekil 5. Olgunluk indeksi değerleri (The values of the maturity index)

olgunluk değerlerinin referans numuneye göre %31 oranında, geçirgen K3 ve K4 kalıplarına dökülen betonların ise %24 oranında daha düşük olgunluk indeksi değerlerine sahip olduğu tespit edilmiştir.

Kalıplar kendi aralarında değerlendirildiğinde ise K1 kalıbına dökülen betonun olgunluk indeksi değerlerinin en küçük olduğu, ancak geçirgen olmayan K2 kalıbı ile aralarında önemli bir fark olmadığı, 28. günde K2, K3 ve K4 kalıplarının olgunluk indeksi değerlerinin K1 kalıbına göre sırasıyla %0,4, %11, %11 oranlarında daha büyük olduğu görülmüştür.

Arslan ve arkadaşlarının [21] yaptığı araştırmada beton priz başlangıç süresinin astarlı kalıplarda ortalama %21, priz bitiş süresinin ise %15 oranında daha erken gerçekleştiği görülmüştür. Beton olgunluk indeksi değerlerinin de referans kalıba göre benzer bir şekilde arttığı ve bu artışın geçirgen kalıp kullanımı ile beton içerisindeki fazlalık suyun drene edilmesinden dolayı S/Ç oranındaki azalma beton priz hızını

artmasına ve daha çabuk olgunlaşmasına neden olduğu düşünülmektedir.

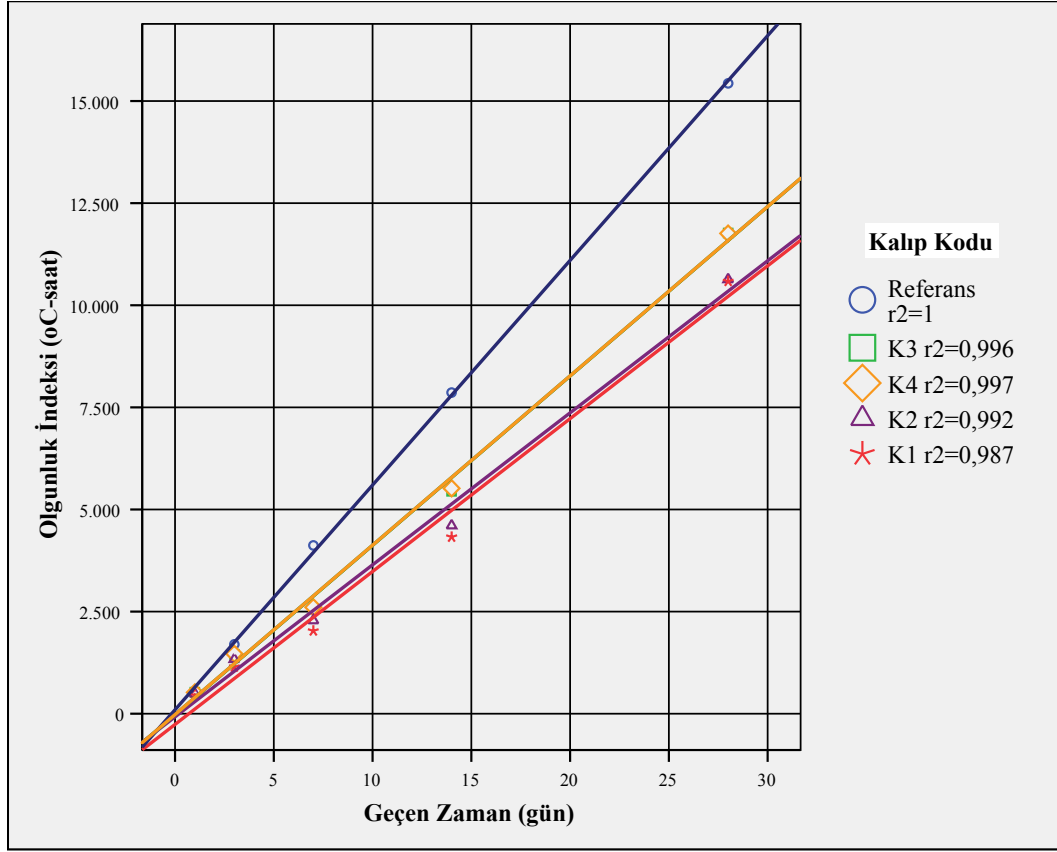
Gerçekleştirilen regresyon analizine ait grafik Şekil 6'da görülmektedir. Regresyon analizi sonucunda  $Y=a+bX$  model denklemi ile ifade edilebilen birinci dereceden bir ilişkinin olduğu tespit edilmiştir. Regresyon katsayıları ve oluşturulan model denklemler Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5. Regresyon analizi sonucunda elde edilen model denklemler (Model equations obtained through regression analysis)

Kalıp kodu	Regresyon katsayısı ( $r^2$ )	Elde edilen model denklemler ( $Y=a+bX$ )
Ref	1	$Y= 221,783 + 22,642X$
K1	0,987	$Y= -341,617 + 14,747X$
K2	0,992	$Y= -111,325 + 14,635X$
K3	0,996	$Y= -58,528 + 16,501X$
K4	0,997	$Y= -13,11 + 16,476X$

Tablo 4. Farklı günlerdeki olgunluk indeksi değerleri (The values of Maturity index at different days)

Gün	Referans	Kalıplardaki olgunluk indeksi değerleri (°C-saat)				Referans numuneye göre farklar (%)			
		K1	K2	K3	K4	K1	K2	K3	K4
1	528	451	488	524	523	15	8	1	1
3	1698	1144	1334	1456	1467	33	21	14	14
7	4121	2028	2282	2577	2606	51	45	37	37
14	7864	4325	4605	5444	5519	45	41	31	30
28	15434	10585	10632	11769	11757	31	31	24	24



Şekil 6. Zaman ve olgunluk indeksi arasında gerçekleştirilen regresyon analizi grafiği (The graphic of regression analysis carried out between time and maturity index)

### 3.2. Beton Basınç Dayanımı Değerleri (The Values of Concrete Compressive Strength)

Kür havuzunda olgunlaştırılan referans numuneler üzerinde 1., 3., 7., 14. ve 28. günlerde yapılan beton basınç dayanımı deneyi sonuçlarına ait açıklayıcı istatistikler Tablo 6'da verilmiştir. Ortalama basınç dayanımlarına ait grafik ise Şekil 7'de görülmektedir. Basınç dayanımı değerlerinin beton yaşına bağlı olarak değişimini test etmek amacıyla varyans analizi gerçekleştirilmiş ve gruplar arasında fark olduğu tespit edilmiştir ( $p \leq 0,05$ ). Diğer bir ifadeyle beton yaşına bağlı olarak basınç dayanımı değerlerinin değiştiği ve bu değişimin istatistiksel açıdan önemli düzeyde olduğu görülmüştür. Veriler üzerinde gerçekleştirilen Tukey çoklu karşılaştırma testinde ise bütün beton yasında basınç dayanımlarının birbirinden önemli

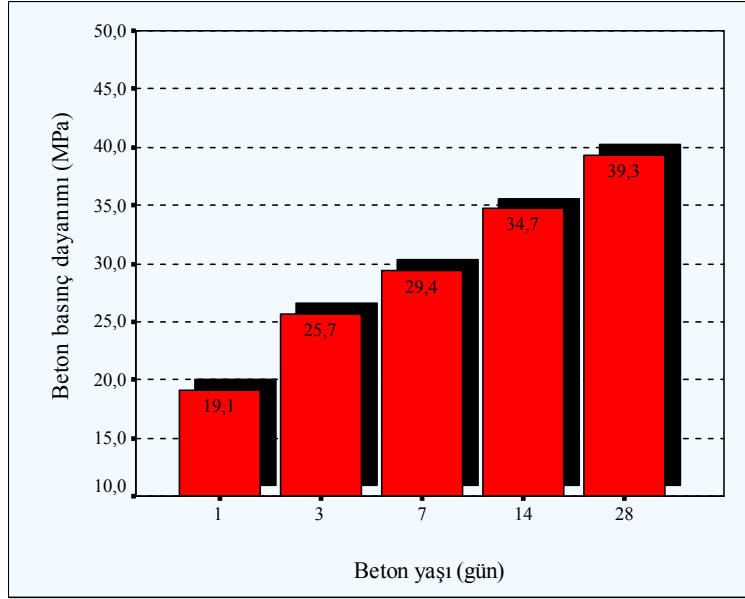
düzeyde farklı olduğu görülmüştür. Beton yaşı arttıkça basınç dayanımı değerlerinin de arttığı görülmüştür.

Kalıplara dökülen betonların ulaştığı basınç dayanımlarını tahmin edebilmek amacıyla, beton basınç dayanımları ve olgunluk indeksleri belirlenmiş olan referans numune verileri arasında regresyon analizi yapılmıştır. ASTM C918-97 standardında önerilen logaritmik regresyon analizi gerçekleştirilmiştir.

Regresyon analizi sonucunda olgunluk indeksi ve basınç dayanımı değerleri arasında  $S_m = a + b \cdot \ln(m)$  ile ifade edilebilen bir ilişkinin olduğu görülmüştür. Model denklemde;  $S_m$  = basınç dayanımını (Mpa),  $a$  = sabit değeri,  $b$  = doğrunun eğimini,  $m$  = olgunluk

Tablo 6. Beton basınç dayanımı verilerine ait açıklayıcı istatistikler (Descriptive statistics about concrete compressive strength values)

Beton Yaşı (gün)	N	Ortalama Basınç Dayanımı (MPa)	Std. Hata	%95 güven aralığında ortalamanın		Minimum	Maksimum
				Alt sınırı	Üst sınırı		
1	3	19,1267	0,45388	17,1738	21,0796	18,29	19,85
3	3	25,7133	0,63357	22,9873	28,4394	24,45	26,43
7	3	29,4000	0,70088	26,3844	32,4156	28,11	30,52
14	3	34,7133	1,10704	29,9501	39,4766	33,07	36,82
28	3	39,3000	0,35119	37,7890	40,8110	38,90	40,00
Total	15	29,6507	1,88965	25,5978	33,7036	18,29	40,00



Şekil 7. Ortalama beton basınç dayanımı değerleri (The mean of compressive strength values)

indeksini ifade etmektedir. Regresyon analizi sonucunda  $S_m = 5,7473 \ln(m) - 17,202$  model denklemi bulunmuştur (Şekil 8).

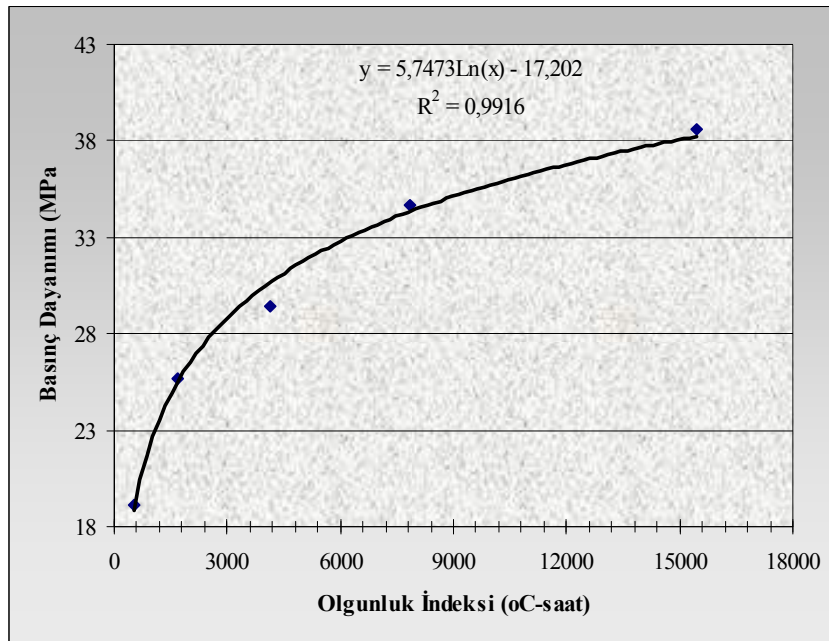
Bulunan model denklem üzerinde her bir kalıp içerisindeki betonlardan farklı yaşlarda elde edilen olgunluk indeksi değerleri yerine konularak beton basınç dayanımı değerleri hesaplanmıştır (Tablo 7).

Zamana bağlı olarak beton basınç dayanımı değerlerindeki gelişimin farklı kalıplara dökülen betonlarda birbirinden farklı olduğu görülmektedir. 1. günde K1 ve K2 kalıplarının kür havuzunda olgunlaştırılan referans numuneye göre sırasıyla %6 ve %4 oranında daha küçük olduğu, geçirgen K3 ve K4 kalıplarının

ise %2 gibi düşük bir farka sahip olduğu, 14. günde K1 ve K2 kalıplarındaki beton basınç dayanımlarının referans numuneye göre sırasıyla %11 ve %10 oranında daha küçük olduğu görülmektedir.

28. günde ise K1 ve K2 kalıplarına dökülen betonların basınç dayanımı değerlerinin referans numuneye göre %7 oranında, geçirgen K3 ve K4 kalıplarına dökülen betonların ise %5 oranında daha düşük olduğu tespit edilmiştir.

Farklı kalıplara dökülen betonlar kendi aralarında değerlendirildiğinde ise K1 kalıbına dökülen betonun basınç dayanımının en küçük olduğu, ancak geçirgen olmayan K2 kalıbı ile aralarında önemli bir fark



Şekil 8. Olgunluk indeksi ile beton basınç dayanımı arasındaki ilişki grafiği (The graphic of the relationship between compressive strength and maturity index)



**Tablo 7.** Farklı günlerdeki basınç dayanımı değerleri (The values of compressive strength in different days)

Beton Yaşı (gün)	Basınç dayanımı değerleri (Mpa)					Referans numuneye göre farklar (%)			
	Referans	K1	K2	K3	K4	K1	K2	K3	K4
1	19,13	17,92	18,38	18,78	18,77	6	4	2	2
3	25,71	23,27	24,16	24,66	24,70	9	6	4	4
7	29,40	26,56	27,24	27,94	28,00	10	7	5	5
14	34,71	30,92	31,28	32,24	32,32	11	10	7	7
28	38,63	36,06	36,08	36,67	36,66	7	7	5	5

olmadığı, 28. günde K2, K3 ve K4 kalıplarındaki beton basınç dayanımlarının K1 kalıbına göre sırasıyla %0,1, %2, %2 oranlarında daha büyük olduğu görülmüştür.

Geçirgen kalıplara dökülen betonlardaki olgunluk indeksi değerlerinin K1 kalıbına göre %11 daha büyük olmasına rağmen, basınç dayanımı değerlerindeki farkın %2 olması, beton basınç dayanımını olgunluk indekslerinden yararlanarak tahmin etmek için oluşturulan logaritmik denklemden kaynaklandığı düşünülmektedir.

#### 4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Geçirgen kalıp kullanımının beton olgunlaşma sürelerine olan etkisini araştırmak amacıyla dört adet farklı yüzey özelliklerine sahip perde duvar kalıbına C30 betonu dökülmüştür. Kalıplara dökülen beton ve laboratuvar ortamında kür edilen betonların olgunluk indeksi değerlerindeki değişim 28 gün boyunca kaydedilmiştir. Betonların 1., 3., 7., 14., ve 28. günlerde ki basınç dayanımları ve olgunluk indeksleri belirlenerek geçirgen kalıp kullanımından dolayı beton olgunluk indeksi ve basınç dayanımlarındaki değişim incelenmiştir. Elde edilen veriler üzerinde yapılan değerlendirmelere göre; aynı beton türü kullanılmasına ve aynı atmosfer şartlarına maruz kalmasına rağmen kalıp farklılığından dolayı beton iç sıcaklıklarının değiştiği, kür havuzunda olgunlaştırılan referans numunelerin olgunlaşma değerlerine göre atmosfer şartlarında olgunlaşan betonların olgunluk indekslerinin daha düşük olduğu, geçirgen kalıplardaki betonların diğer kalıplara göre daha büyük olgunluk indekslerine sahip olduğu, geçirgen olmayan kalıpların olgunluk değerlerinin referans numuneye göre 7. günde ortalama %47, 28. günde %31 oranında daha küçük olduğu, geçirgen kalıplarda ise bu oranın geçirgen olmayan kalıplara göre %21 oranında daha küçük olduğu tespit edilmiştir. Olgunluk indeksi değerleri bakımından geçirgen ve geçirgen olmayan kalıplar kendi aralarında önemli bir fark olmamakla beraber, en küçük olgunluk indeksine karaçam ile yapılan kalıbın, en büyük ise Zemdrain astarla kaplı geçirgen kalıbın sahip olduğu görülmüştür.

Beton basınç dayanımları ve olgunluk indeksi belirlenmiş olan referans numune verileri kullanılarak regresyon analizi yapılmış ve elde edilen model

denklem kullanılarak kalıplardaki betonların basınç dayanımları belirlenmiştir.

Yapılan değerlendirmelerde; Zamana bağlı olarak beton basınç dayanımı değerlerindeki gelişimin farklı kalıplara dökülen betonlarda birbirinden farklı olduğu, geçirgen olmayan kalıplardaki betonların kür havuzunda olgunlaştırılan referans numuneye göre 1. günde ortalama %6, 14. günde %11, 28. günde %7 oranında küçük, geçirgen kalıpların ise 1. günde ortalama %2, 14. günde %7. günde ise %5 oranında küçük basınç dayanımı değerlerine sahip olduğu tespit edilmiştir.

Kalıplara dökülen betonlar kendi aralarında değerlendirildiğinde ise karaçam kalıbına dökülen betonların en küçük olgunluk indeksine sahip olduğu, Zemdrain astarlı geçirgen kalıbın ise karaçam kalıbına göre %11 oranında daha büyük olgunluk indeksine sahip olduğu görülmüştür. Özellikle betonarme yapı imalatını hızlandıran kalıp alma sürelerinin de geçirgen kalıp kullanımı ile kısaltmanın mümkün olduğu, böylece daha hızlı yapı imalatının gerçekleştirilebileceği görülmüştür.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

- İ.B. Topçu, "Maturity in fresh concrete and determination of stripping time for different cement mortars", **17th International Congress of the Precast Concrete Industry (BIBM)**, Turkish Precast Concrete Association, Istanbul, Turkey, 2002
- İ.B. Topçu, A. Akman, "Kalıp Sökme Sürelerinin Olgunlukla Belirlenmesi", **Kocaeli Deprem Sempozyumu**, Özler Kitabı, s.159, 23-25, Mart 2005.
- İ.B. Topçu, C. Karakurt, "Farklı Çimentolar ile Üretilen Betonlarda Olgunluk Kavramı", **ECAS2002 Uluslararası Yapı ve Deprem Mühendisliği Semp.**, ODTÜ, Ankara, Türkiye, ss. 477-484, 14 Ekim 2002.
- Yahia A. Abdel-Jawad, "The maturity method: Modifications to improve estimation of concrete strength at later ages", **Construction and Building Materials** 20, 893–900, 2006.
- M. Lachemi, K.M.A. Hossain, C. Anagnostopoulos, A.R. Sabouni, "Application of maturity method to slipforming operations: Performance validation", **Cement and Concrete**

- Composites**, Volume 29, Issue 4,, Pages 290-299, April 2007
6. Neville, A. M., “**Properties of Concrete**”, 4. Baskı, Longman Group Ltd., 303-306, 391-394, 504-505, 581-585, 605-609, 610-624, 2002.
  7. T. Y. Erdoğan, “**Beton**”, ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş. Yayını, Ankara, Mayıs 2003.
  8. İ.B. Topçu, M. U. Toprak, “Fine Aggregate and Curing Temperature Effect on Concrete Maturity”, **Cement and Concrete Research**, Vol. 35, No. 4, pp. 758-762, 2005.
  9. N.J. Delatte, M.S. VWilliamson, W.F. Fovvler, Bond Strength Development with Maturity of High-Early-Strength Bonded Concrete Overlays, **ACI Mat. Jour.**, Vol. 97, No. 2, pp. 201-207, March-April 2000.
  10. Nurse, R. W., “Steam Curing of Concrete”, **Magazine of Concrete Research**, V.1, No.2, pp.79-88,1949.
  11. Alexander, K. M., and Taplin, J. H., “Concrete Strength, Cement Hydration and the Maturity Rule”, **Australian Journal of Applied Science**, V.13, 277-284, 1962.
  12. Kasap, Ö., Tokyay, M., “Betonun Eşdeğer Yaşının Çimento Hidratasyon Isısıyla Tahmini İçin Bir Yöntem”, **İMO Teknik Dergi**, 3215-3227, Yazı 215, 2004.
  13. İ.B. Topçu, A. Akman, Betonda Olgunluk Kavramı ve Kalıp Sökme Süreleri, TMMOB, **İMO Eskişehir Şubesi Haber Bülteni**, Yıl 6, Sayı 14, ss. 28-31, Mart 2002.
  14. Türkel S., Alabaş, V., “The effect of excessive steam curing on Portland composite cement concrete”, **Cement and Concrete Research**, 35, 405– 411, 2005.
  15. Yılmaz, A., “Çeşitli Çimentolarla Üretilen Harçlar İçin Olgunluk Fonksiyonlarının Geçerliliğinin Araştırılması”, **DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi**, Cilt: 7 Sayı: 1 S. 31-41, Ocak 2005
  16. S. Türkel, V. Alabaş, “İki Farklı Çimento İle Üretilen Betonların Basınç Dayanımına Değişik Buhar Kürü Uygulama Sürelerinin Etkileri”, **ECAS2002 Uluslararası Yapı ve Deprem Mühendisliği Sempozyumu**, 14 Ekim 2002, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, Türkiye.
  17. 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.
  18. 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.
  19. Marosszeky, M., et al, “Texture Form Method to Improve Concrete Durability”, **Concrete International**, 37-41, 1993.
  20. Subaşı, S., Arslan, M., “Kalıp Teknolojilerindeki Gelişmelerin Betonarme Elemanların Dayanıklılığına Etkileri”, **Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu**, Ankara, 2002.
  21. Arslan, M., Alternatif Kalıp Yüzeylerinin Taze Beton Hidrostatik Basıncı Üzerine Etkileri, **Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi Raporu**, Proje Kodu: 07/2001-13, Ankara, 2004.
  22. Arslan, M., “Effects of drainer formworks on concrete lateral pressure”, **Construction and Building Materials**, 16:253–9, 2002.
  23. 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.
  24. ASTM C 1074, “Standard Practice for Estimating Concrete Strength by the Maturity Method”, **Annual Book of ASTM Standards**, Vol 04.02, 1998.
  25. ASTM C 918, “Standard Test Method for Measuring Early-Age Compressive Strength and Projecting Later-Age Strength”, **Annual Book of ASTM Standards**, Vol 04.02, 2002.
  26. TS EN 12390-3, “Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Deney numunelerinde basınç dayanımının tayini”, **Türk Standartları Enstitüsü**, Ankara, 2002.