



## ÇEŞİTLİ ÇİMENTOLARLA ÜRETİLEN HARÇLAR İÇİN OLGUNLUK FONKSİYONLARININ GEÇERLİLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

### (DETERMINATION OF VALIDITY OF MATURITY FUNCTIONS FOR MORTARS MADE WITH VARIOUS CEMENTS)

Arın YILMAZ\*

#### ÖZET/ ABSTRACT

Olgunluk kavramı, kür süresince sıcaklık ve zamanın ortak etkisini ele alarak betonun dayanım kazanmasını tahmin eden bir yöntemdir. Tahribatsız deney yöntemi olarak kullanılan bu yöntem, yapım sırasında yerinde dökülen betonun dayanımı hakkında güvenilir bir tahminde bulunmak için oldukça basit bir yaklaşımdır. 1940'lardan beri birçok olgunluk fonksiyonu önerilmiştir. Nurse-Saul fonksiyonu ve eşdeğer yaş fonksiyonu tüm dünyada kabul görmüştür.

Bu çalışmada, katkılı çimento ve Portland çimentosu için bilinen olgunluk fonksiyonlarının geçerliliği ASTM C 1074'e göre araştırılmıştır. Katkılı çimentolar, üç farklı puzolanın, % 5, % 20 ve % 40 oranında ağırlıkça yer değiştirmesiyle elde edilmiştir. TS 24'e göre üretilen harç numunelerinin 5, 20 ve 40°C de bakımı yapıldıktan sonra, 2, 7, 14, 28 ve 90 günlük basınç dayanımı değerleri bulunmuştur ve bu değerlerle olgunluk arasındaki ilişki araştırılmıştır. Nurse-Saul ve eşdeğer yaş olgunluk fonksiyonlarının katkılı çimentolar için uygulanabilir olduğu sonucuna varılmıştır.

*The maturity method is a technique for estimating the strength gain of concrete during its curing period by measuring the combined effect of time and temperature. The method used as a nondestructive test method is a relatively simple approach for making reliable estimates of in-place strength during construction. Many maturity functions have been proposed since 1940's. The Nurse-Saul function and equivalent age function were accepted in the world.*

*In this study, the validity of the traditional maturity functions for blended cements and ordinary Portland cement was investigated according to ASTM C 1074. In order to produce blended cements three different pozzolan were replaced 5 %, 20 % and 40 % by weight of cement. Mortars specimens prepared according to TS 24 were cured at 5, 20 and 40°C. The compressive strength of mortars was determined at 2, 7, 14, 28 and 90 days after then the relationship between maturity and strength was investigated. It is concluded that Nurse-Saul and equivalent age maturity functions were applicable for different blended cements.*

#### ANAHTAR KELİMELELER/ KEYWORDS

Olgunluk, Çimento tipi, Basınç dayanımı  
Maturity, Cement type, Compressive strength

\* Balıkesir Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fak., İnşaat Müh. Böl., Çağış /BALIKESİR

## 1. GİRİŞ

Betonda olgunluk kavramı, dayanım kazanma sürecindeki sıcaklık ve zamanın ortak ele alındığı bir teknik olarak 1940'ların sonu ile 1950'lerin başında hızlandırılmış bakım yöntemleri ile ilgili çalışmalar sırasında ortaya çıkmıştır (Saul, 1953; Plowman, 1956; Kee, 1971). Bu yöntemde, betonun dayanım kazanma sürecindeki sıcaklık değişimi 'olgunluk fonksiyonu' yardımı ile sayısal bir indekse çevrilir. Olgunluk indeksi erken yaşlarda betonun dayanımı hakkında fikir sahibi olmamızı sağlamaktadır.

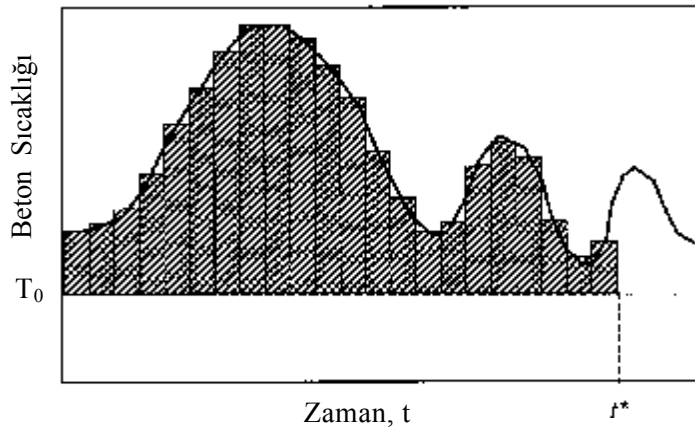
Yeni dökülen betonda, çimentonun hidratasyonu sırasında ısı açığa çıkar. Beton ısısının artışı reaksiyon hızını artırır ve zamanla beton dayanım kazanır. Betonun dayanım kazanmasını etkileyen faktörler arasında zaman ve sıcaklık dışında su/çimento oranı, çimento türü ve miktarı, dış etkiler dikkate alınmalıdır. Yerleştirilmiş betonun sıcaklık geçmişi zamanla birlikte sürekli ölçülerek olgunluk hesaplanır. Olgunluk-dayanım ilişkisinin bilinmesi yapının yerinde dayanımını tahmin etmek için önemlidir.

Yapım sırasında betonarme yapılarda birçok hasarlar oluşmaktadır. Bu hasarların bir çoğu betonun yeterli dayanıma ulaşmadan kalıpların sökülmesinden veya uygulanan yapım yüklerinden ileri gelmektedir. Uygun kalıp sökme süresinin bulunmasında beton dayanımının çeşitli yöntemlerle saptanması mümkündür. Yapıda en gerçekçi yöntem karot numunelerinin alınmasıdır, fakat bu yöntem erken yaşlarda imkansızdır. Sonuç olarak beton dayanımını doğru tahmin etmek için tahribatsız deney yöntemlerine başvurmak gerekmektedir. Yerinde olgunluk ve olgunluk-dayanım ilişkisini bilmekle yapıda kullanılan betonun dayanımını tahmin edilebilir. Betonun olgunluğunu ölçen cihazlar bulunmaktadır. Fakat, cihaz tarafından kullanılan olgunluk fonksiyonunun kullanılan beton için uygun olup olmadığı araştırılmalıdır. ASTM C 1074'de olgunluk kavramının nasıl hesaplanacağı belirtilmektedir (ASTM Standards, 1993).

İlk olgunluk fonksiyonu, farklı yüksek sıcaklıklarda bakımı yapılan betonun dayanım gelişimi üzerindeki zaman ve sıcaklığın etkisi göz önüne alınarak Nurse-Saul tarafından önerilmiştir (Saul, 1951):

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

Burada; M: Olgunluk indeksi ( $^{\circ}\text{C}$  -gün veya  $^{\circ}\text{C}$  -saat), T:  $\Delta t$  zaman aralığında ortalama beton sıcaklığı ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $T_0$ : Temel alınan sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $\Delta t$ : Beton sıcaklığının  $T$   $^{\circ}\text{C}$ 'de kaldığı süre (gün veya saat), t: zaman (gün veya saat) olarak ifade edilir.



Şekil 1. Betonun maruz kaldığı sıcaklık değişimi ve Eşitlik 1'e göre hesaplanan sıcaklık-zaman faktörü (Carino, 1984)

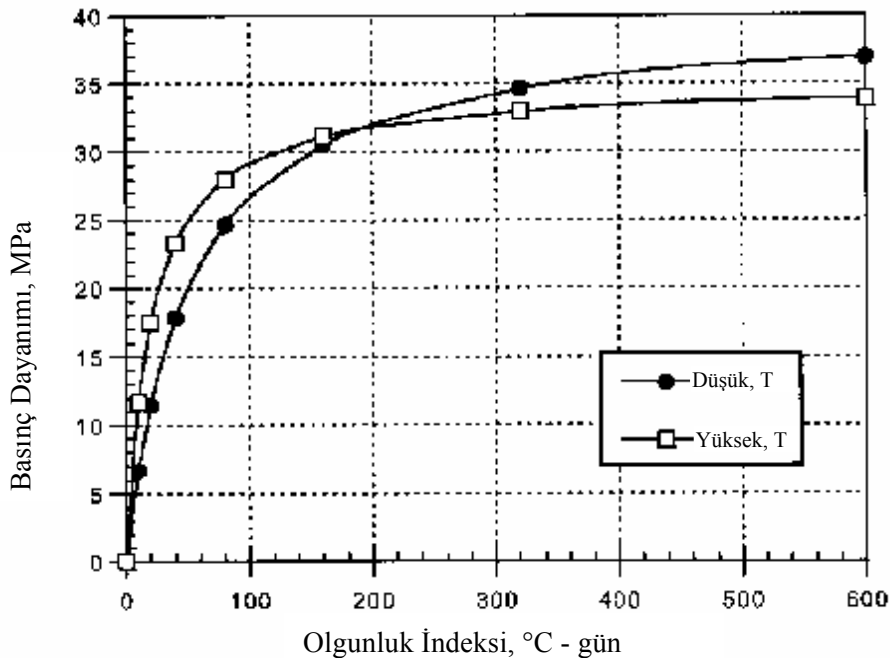
Bu denklemden hesaplanan olgunluk indeksi  $M$ , günümüz terminolojisinde sıcaklık-zaman faktörü olarak adlandırılmaktadır. Betonun maruz kaldığı sıcaklık değişimi ve sıcaklık-zaman faktörü şematik olarak Şekil 1’de gösterilmiştir (Carino, 1984).

Şekil 1’de görüldüğü gibi, herhangi bir yaştaki ( $t^*$ ) betonun sıcaklık-zaman faktörü sıcaklık eğrisi ile temel alınan sıcaklık ( $T_0$ ) arasında kalan alandır. Temel alınan sıcaklık betonun dayanım kazanmasının durduğu varsayılan sıcaklıktır. Gelenekselleşmiş  $T_0$  değeri  $-10\text{ }^\circ\text{C}$  olarak kabul görmektedir (Bergstrom, 1953). Temel alınan sıcaklık değeri, betonu oluşturan malzemelerin çeşitliliğinden dolayı genellemek doğru değildir. ASTM C 1074’de baz sıcaklığının deneysel olarak nasıl hesaplandığı belirtilmiştir. 1951 yılında “olgunluk kuralı” olarak bilinen önerme Saul tarafından yapılmıştır (Saul, 1951):

*‘Aynı bir karışımdan elde edilen ve aynı olgunlukta olan betonlar, bu olgunluğa erişmek için kullanılan sıcaklık-zaman kombinasyonları ne olursa olsun yaklaşık olarak aynı dayanıma sahiptirler.’*

Saul olgunluk fonksiyonu, başlangıçtaki dayanım kazanma hızının sıcaklığın doğrusal bir fonksiyonu olduğu varsayımına dayanmaktadır. Daha sonra, bu doğrusal varsayımın geniş aralıktaki bakım sıcaklıkları için uygun olmadığı saptanmıştır. Bergstrom tarafından yapılan çalışmaların sonucunda Saul olgunluk fonksiyonunun normal bakım sıcaklıkları için uygun olduğu belirtilmiştir (Bergstrom, 1953).

Carino, olgunluk yönteminin uygunluğunu farklı ortam koşulları için araştırmıştır. Hazırladığı üç farklı beton karışımını ilkbahar süresince, arazi ortamında ve laboratuvar koşullarında nemli bir ortamda bakımını gerçekleştirmiştir. Çalışmanın sonucunda, iki karışımın farklı sonuçlar verdiğini bulmuştur. Sıcaklık gelişimi incelendiğinde; arazi ortamındaki beton numunelerin ilk yaşlardaki sıcaklıklarının laboratuvar ortamındakilere göre çok farklı olduğu ortaya çıkmıştır. Aynı olgunluk indeksi için, ilk yaşlarda yüksek sıcaklığa sahip beton numunelerinin ilk dayanımları yüksek, geç yaşlarda ise düşük olduğu Şekil 2’de gösterilmiştir. Bu davranış McIntosh ve Kleiger tarafından da daha önceleri vurgulanmıştır (Carino ve Lew, 2001).



Şekil 2. Erken yaştaki betonun olgunluk indeksi-dayanım ilişkisine farklı sıcaklıkların etkisi (Carino ve Lew, 2001)

1977 yılında, Freiesleben, Hansen ve Pedersen betonun kaydedilen sıcaklık değişimini kullanarak yeni bir olgunluk indeksi önermiştir. Bu fonksiyon, Arrhenius denklemini temel alan kimyasal reaksiyonların hızına sıcaklığın etkisini tanımlamak için kullanılmıştır. Bu yeni fonksiyon, betonun 'eşdeğer yaşının' hesaplanmasına dayanmaktadır (Freiesleben ve Pedersen, 1977).

$$t_e = \sum_0^t \left[ e^{-\frac{E}{R} \left( \frac{1}{T} - \frac{1}{T_r} \right)} \right] \Delta t \quad (2)$$

Burada;  $t_e$ : Referans sıcaklıktaki eşdeğer yaş,  $T$ :  $\Delta t$  zaman aralığında ortalama beton sıcaklığı ( $^{\circ}\text{K}$ ),  $E$ : Görünür aktivasyon enerjisi ( $\text{J/mol}$ ),  $R$ : Evrensel gaz sabiti ( $8.314 \text{ J/mol-}^{\circ}\text{K}$ ),  $T_r$ : Referans sıcaklığı ( $^{\circ}\text{K}$ ), olarak ifade edilir.

Denklem (2) kullanılarak, betonun gerçek yaşı dayanım açısından eşdeğer yaşa çevrilmektedir. Referans sıcaklığı, Avrupa'daki uygulamalarda  $20^{\circ}\text{C}$ , Kuzey Amerika'daki uygulamalarda  $23^{\circ}\text{C}$  olarak alınmaktadır. Eşdeğer yaş fonksiyonunun en önemli üstünlüğü, ilk dayanım gelişimi ile kür sıcaklığı arasında doğrusal olmayan bir ilişkiye izin vermesidir. Eşdeğer yaş hesaplanmasında, görünür aktivasyon enerjisinin değeri önemlidir. Bu yöntemin doğruluğu görünür aktivasyon enerjisinin uygunluğuna bağlıdır. Bu neden önemli bir dezavantaj olarak karşımıza çıkabilir.

Olgunluk-dayanım arasında birçok fonksiyon önerilmiştir. Bunlardan en popüler olanı 1956 yılında Plowman tarafından önerilen yarı logaritmik bir fonksiyondur (Plowman, 1956).

$$S = a + b \log M \quad (3)$$

Burada;  $S$ : Dayanım,  $M$ : Olgunluk indeksi,  $a, b$ : Regrasyon katsayıları olarak ifade edilmektedir. Kullanımı oldukça basit olan bu denklemde herhangi bir sınır dayanım değeri yoktur.

Bu araştırmada, deneysel çalışmalar ASTM C 1074 ve TS 24'e göre yapılmıştır. Deneysel çalışma için, tek tip Portland çimentosu (PÇ 42.5) ve katkılı çimento üretimi için, tras, kalker ve uçucu kül kullanılmıştır. Belirtilen katkıların, ağırlıkça % 5, % 20 ve % 40 oranında Portland çimentosu ile değiştirilmesiyle 9 adet katkılı çimento oluşturulmuştur. Böylece, toplam 10 adet çimento numunesi üzerinde olgunluk-dayanım ilişkileri incelenmiştir. TS 24'e göre üretilen harç numuneleri  $5^{\circ}\text{C}$ ,  $20^{\circ}\text{C}$  ve  $40^{\circ}\text{C}$ 'de bakımı yapılmış ve 2, 7, 14, 28 ve 90 günlük basınç dayanımları bulunmuştur. Eşitlik 1 ve Eşitlik 2 kullanılarak bulunan olgunluk değerleri ile dayanım değerleri arasındaki ilişki ele alınmış ve uygunluğu araştırılmıştır.

## 2. DENEYSEL ÇALIŞMA

Portland Çimentosu, PÇ 42.5 olarak Balıkesir Set Çimento Fabrikası silolarından alınmış ve uygun koşullarda paketlenmiştir.

Tras ve kalker; Balıkesir Set Çimento Fabrikasının hammadde stoklarından alınmış ve laboratuvar koşullarında gerekli işlemlerden geçirilmiştir. İlk olarak alınan malzemeler 1 gün süre ile  $105^{\circ}\text{C}$ 'de etüvde bekletilmiştir. Daha sonra çeneli kırıcı yardımı ile 200  $\mu\text{m}$  elekten geçecek tane boyutuna gelinceye kadar öğütülmüştür. Elekten geçen malzeme 2 kg kapasiteli bilyeli değirmene konup, istenen özgül yüzey alanı elde edilinceye kadar öğütülmüştür. Öğütme aşamasında belirli periyotlarda değirmenden numune alınarak Otomatik Blaine Cihazı yardımıyla özgül yüzey değerlerine bakılmıştır. Aynı işleme, gerekli malzeme miktarı

elde edilinceye kadar devam edilmiştir. Öğütülen malzemeler laboratuvar koşullarında paketlenmiştir.

Uçucu kül, Soma termik santralinden direkt olarak alınmış ve torbalanmıştır. Deneysel çalışmada kullanılan malzemelerin kimyasal analizleri Balıkesir Set Çimento Fabrikasının Laboratuvarlarında yapılmıştır. Kimyasal analiz için X-ışını kırılma yöntemi kullanılmıştır. Kimyasal analiz sonuçları Çizelge 1’de belirtilmiştir.

Her bir numune için, tane büyüklüğü dağılımı 200 µm ,90 µm ve 40 µm elekler için 10 g malzeme tartılarak Alpin Cihazı kullanılarak bulunmuştur. Ayrıca, malzemelerin özgül ağırlıkları ve özgül yüzey alanları Balıkesir Set Çimento Fabrikası Laboratuvarlarındaki cihazlar yardımıyla bulunmuş ve bu değerler Çizelge 2’de gösterilmiştir. Çizelgelerdeki verilen değerler üç adet deney numunesinin ortalamasından elde edilmiştir.

Çizelge 1. Malzemelerin kimyasal analiz sonuçları

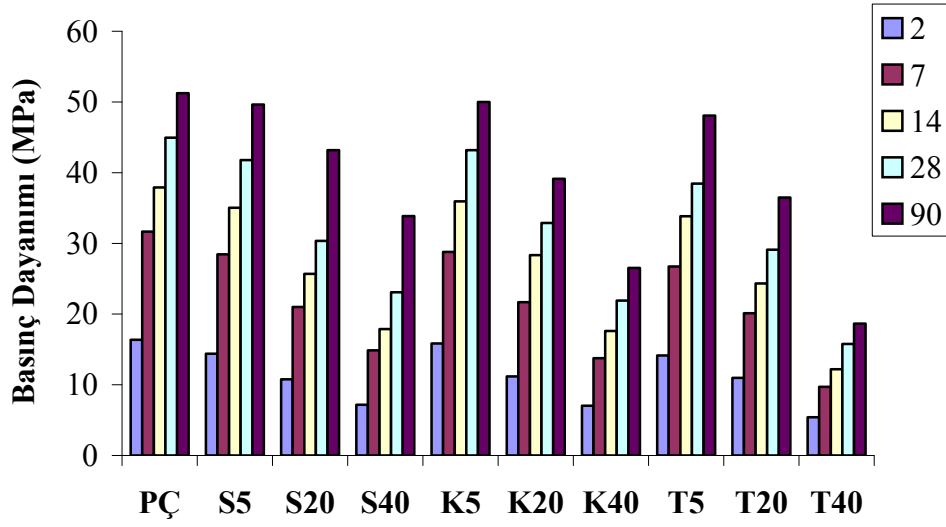
%	PÇ 42.5	KALKER	TRAS	SOMA B
SiO <sub>2</sub>	20,04	0,65	65,67	56,29
CaO	61,62	54,53	3,05	4,54
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,81	0,15	12,98	28,54
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,62	0,07	0,75	5,42
MgO	1,43	1,4	2,21	1,37
SO <sub>3</sub>	2,87	0,01	-	0,28
K <sub>2</sub> O	0,94	0,01	3,54	1,74
Na <sub>2</sub> O	0,18	0,1	1,48	0,15
K.Kayı	2,6	43,59	9,92	1,35
Serbest CaO	1,41	-	-	-
TOPLAM	100,52	100,51	99,6	99,68

Çizelge 2. Malzemelerin tane büyüklüğü dağılımı, özgül ağırlıkları ve özgül yüzeyleri

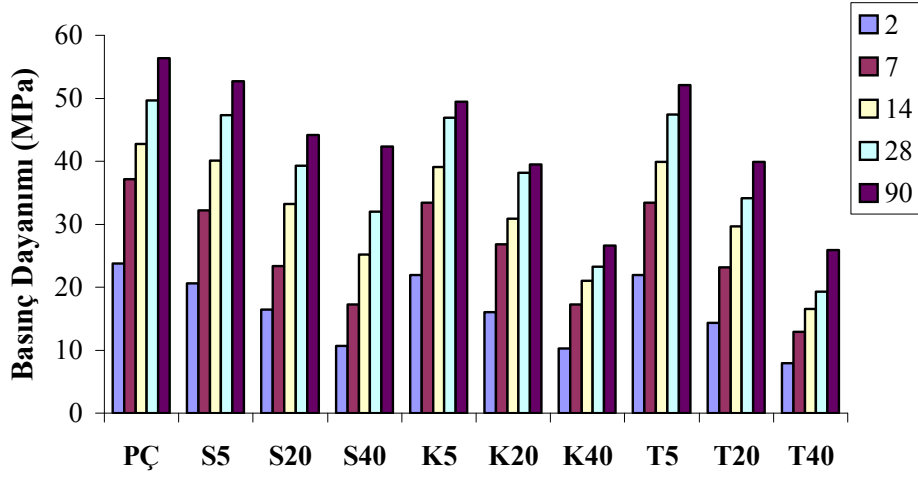
	40mm (%)	90mm (%)	200mm (%)	Özgül Ağırlık	Özgül Yüzey (cm <sup>2</sup> /g)
PÇ 42.5	13,6	0,9	-	3,17	3516
KALKER	57,1	42,7	26,2	2,78	2863
TRAS	69,6	52,5	28,2	2,30	3016
SOMA B	38,2	14,2	2,4	1,95	3794

### 3. DENEY SONUÇLARININ İRDELENMESİ

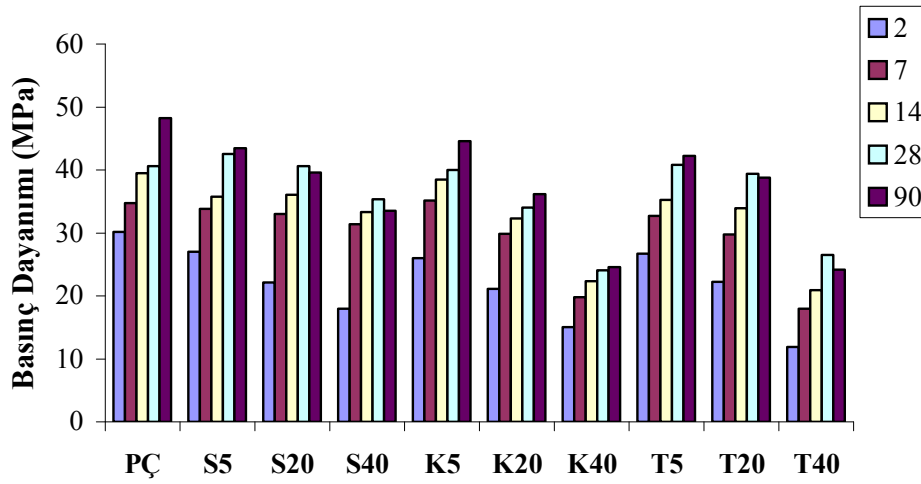
Çalışmada, 5 °C, 20 °C ve 40 °C `de bakımı yapılmış harç numunelerinin 2, 7, 14, 28 ve 90 günlük basınç dayanımları bakım sıcaklığına bağlı olarak Şekil 3’de gösterilmiştir. Şekil 1 incelendiğinde, genel olarak bakım sıcaklığı ve katkı türü ne olursa olsun katkı oranı arttıkça harçların basınç dayanımı değerleri düşmektedir.



(a) 5 °C



(b) 20 °C

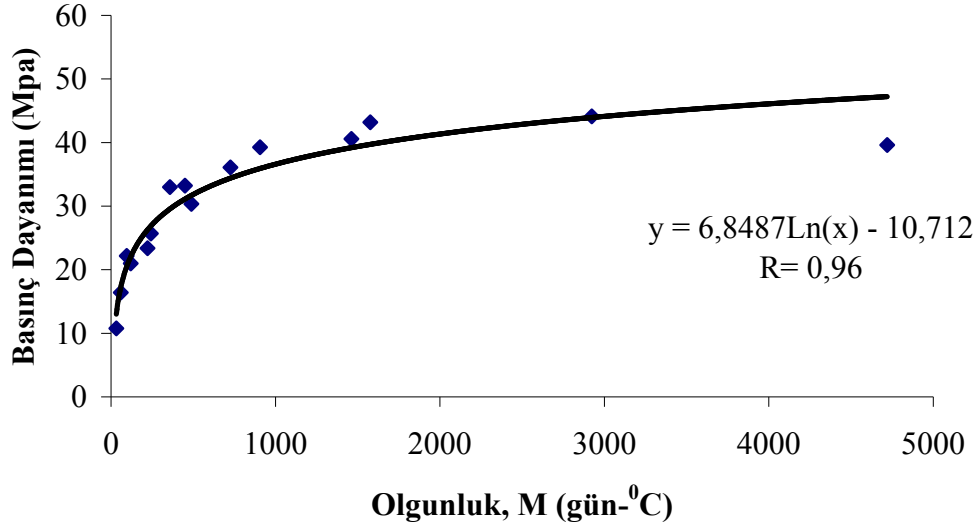


(c) 40 °C

Şekil 3. Katkı tipi ve oranına göre üretilen harçların basınç dayanımı-bakım sıcaklığı ilişkisi

Nurse-Saul fonksiyonunun uygunluğu her tip çimento için ayrı ayrı incelenmiştir. Fonksiyonda temel alınan sıcaklık  $T_0$ , değeri bulunarak, her tip çimento için Çizelge 3'de gösterilmiştir. Tablo incelendiği zaman;  $T_0$  değeri farklılık göstermekte ve gelenekselleşmiş değer olan  $-10$  °C'den farklıdır.  $T_0$  değerleri kullanılarak her bir çimento için Nurse-Saul fonksiyonları elde edilir.

Bu fonksiyonlar kullanılarak, olgunluk-dayanım arasındaki ilişki bulunmuştur. Burada, % 20 Soma B uçucu kül katkılı çimentonun olgunluk-dayanım ilişkisi grafiksel olarak Şekil 4'de gösterilmiş, diğer çimentolar için ise değerler Çizelge 4'de belirtilmiştir.

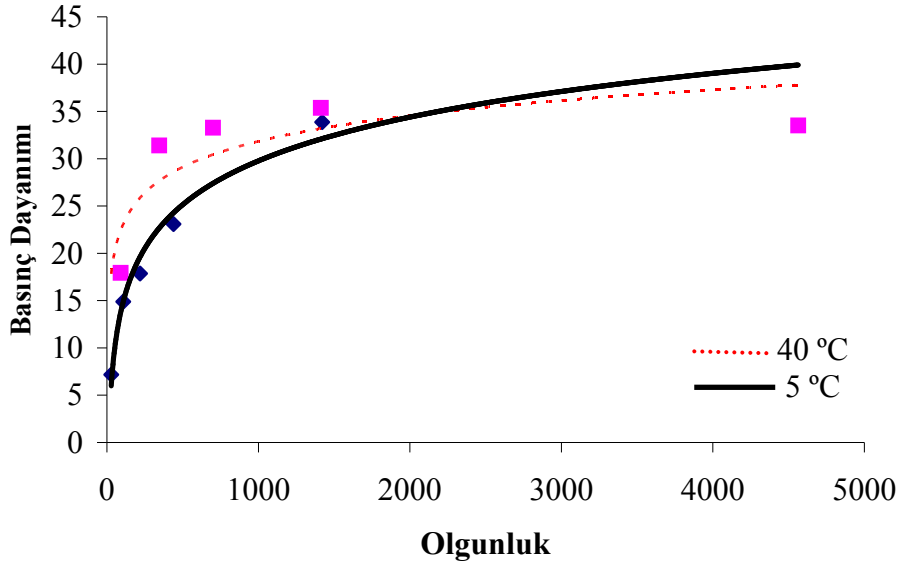


Şekil 4. % 20 Soma B uçucu kül katkılı çimentonun olgunluk-dayanım ilişkisi

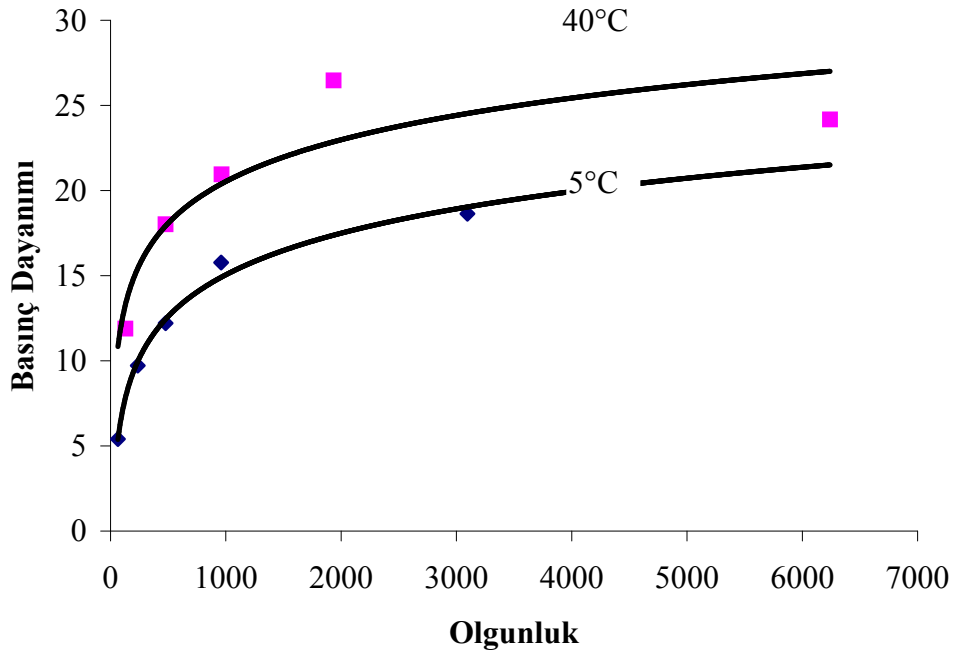
Nurse-Saul olgunluk fonksiyonunun en önemli dezavantajı olarak bilinen erken yaştaki farklı sıcaklıkların olgunluk-dayanım ilişkisine etkisi Şekil 5'de % 40 Soma B uçucu kül katkılı çimento üzerinde incelendiğinde; düşük sıcaklıkta bakımı yapılmış harçların dayanımları düşük olgunluk değerleri için yüksek sıcaklıktaki bakımı yapılmışlara göre düşük, yüksek olgunluk değerleri için daha yüksek dayanıma sahip oldukları görülmüştür. Ayrıca bu davranış % 20 Soma B ve tras katkılı çimentolarda da görülmüştür. Şekil 6'da % 40 tras katkılı çimento, yüksek bakım sıcaklıkları için yüksek, düşük bakım sıcaklıkları için düşük olgunluk-dayanım ilişkisi göstermiştir. PÇ 42.5 için yapılan değerlendirmede (Şekil 7), literatürlerde belirtilenin aksine, düşük bakım sıcaklıkları için yüksek, yüksek bakım sıcaklıkları için düşük olgunluk-dayanım ilişkisi bulunmuştur. Geri kalan tüm çimentolarda da PÇ 42.5 için belirtilen durum gözlenmiştir.

Çizelge 3. Temel alınan sıcaklık, aktivasyon enerjisi ve korelasyon katsayıları

Katki Oranı	SOMA			KALKER			TRAS			PÇ 42.5
	%5	%20	%40	%5	%20	%40	%5	%20	%40	
$T_0$ (°C)	-2,57	-12,55	-10,82	-9,78	-6,72	-3,61	-2,96	-11,73	-29,44	-1,2
$E_a$ (J/Mol)	30067	21695	21213	23677	25936	29146	30011	20660	13756	32125
R Nurse-Saul	0,882	0,957	0,931	0,918	0,932	0,942	0,888	0,974	0,912	0,861
R Eşdeğer Yaş	0,892	0,955	0,924	0,917	0,932	0,951	0,886	0,971	0,908	0,872

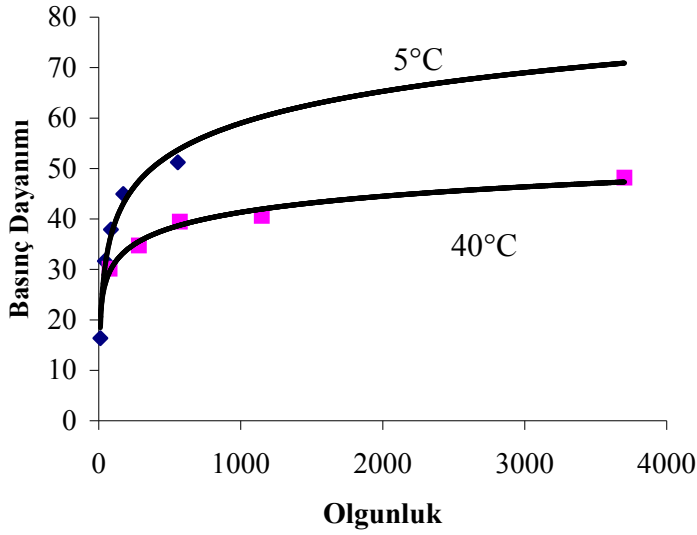


Şekil 5. %40 Soma B uçucu kül katkıli çimento ile üretilen harçlarda bakım sıcaklığının olgunluk-dayanım ilişkisine etkisi



Şekil 6. %40 tras katkıli çimento ile üretilen harçlarda bakım sıcaklığının olgunluk-dayanım ilişkisine etkisi



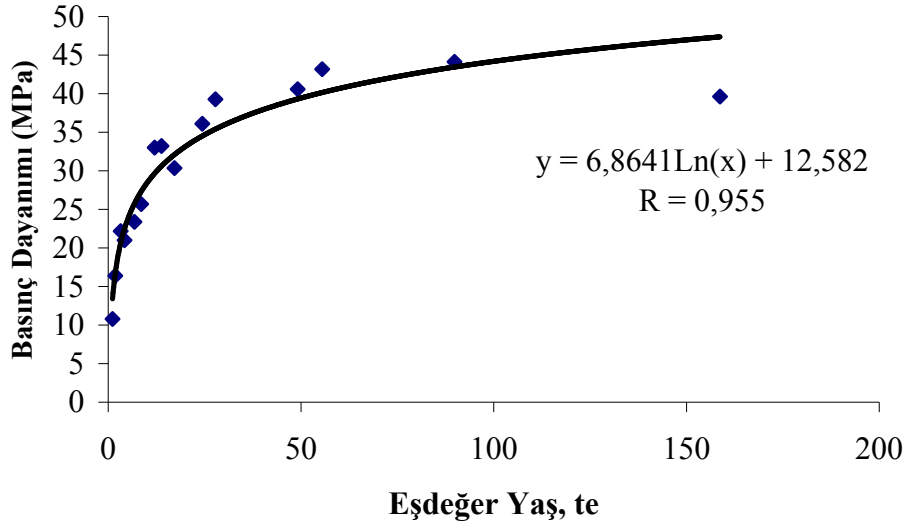


Şekil 7. PÇ 42.5 Çimentosu ile üretilen harçlarda bakım sıcaklığının olgunluk-dayanım ilişkisine etkisi

Çizelge 4. Olgunluk-dayanım ve eşdeğer yaş-dayanım arasındaki fonksiyonlar

		Eşitlik (1)	Eşitlik (2)
SOMA B	%5	$S = 6,1188 \ln(M) + 2,2656$	$S = 6,4158 \ln(M) + 19,366$
	%20	$S = 6,8487 \ln(M) - 10,712$	$S = 6,8641 \ln(M) + 12,582$
	%40	$S = 6,6705 \ln(M) - 14,714$	$S = 6,7103 \ln(M) + 7,4854$
TRAS	%5	$S = 5,974 \ln(M) + 2,1767$	$S = 6,1437 \ln(M) + 19,346$
	%20	$S = 6,1277 \ln(M) - 8,3755$	$S = 6,1858 \ln(M) + 12,176$
	%40	$S = 4,2365 \ln(M) - 11,13$	$S = 4,2282 \ln(M) + 5,3077$
KALKER	%5	$S = 6,3816 \ln(M) - 1,2795$	$S = 6,4253 \ln(M) + 19,66$
	%20	$S = 5,3639 \ln(M) - 1,8861$	$S = 5,4484 \ln(M) + 14,849$
	%40	$S = 3,6244 \ln(M) - 1,0071$	$S = 3,8447 \ln(M) + 8,9821$
PÇ 42.5		$S = 5,8413 \ln(M) + 7,0657$	$S = 6,2087 \ln(M) + 22,577$

Eşdeğer yaş fonksiyonunun uygunluğu her tip çimento için incelenmiştir(Eşitlik 2). Bu yöntem çimentonun aktivasyon enerjisinin hesaplanmasına dayanmaktadır. Bu değer nasıl hesaplandığı ASTM C 1074'de ayrıntılı olarak anlatılmaktadır. Araştırmada kullanılan çimentoların aktivasyon enerjisi değerleri Çizelge 3'de verilmiştir. Görünür aktivasyon enerjisi değerleri kullanılarak her bir çimento için eşdeğer yaş fonksiyonları elde edilmiştir. Burada, % 20 Soma B uçucu kül katkılı çimentonun eşdeğer yaş fonksiyonu incelenmiş ve eşdeğer yaş-dayanım arasındaki ilişki Şekil 8'de gösterilmiştir. Diğer çimentolara ait eşdeğer yaş-dayanım ilişkisi Çizelge 4'de verilmiştir.



Şekil 8. %20 Soma B uçucu kül katkılı çimentonun eşdeğer yaş-dayanım ilişkisi

Bu çalışmada PÇ 42.5 için görünür aktivasyon enerjisi değeri  $E_a=32.1$  kJ/mol olarak hesaplanmıştır. Bu değer Freiesleben, Hansen ve Pedersen (Freiesleben ve Pedersen, 1977) tarafından önerilen 33.5 kJ/mol değerine oldukça yakındır. Fakat, ASTM C 1074'de Tip I normal Portland çimentosu için verilen 40-45 kJ/mol değerinden düşüktür. Çimentonun ana bileşenlerinden  $C_3A$ , en hızlı reaksiyona giren bileşendir. Tipik Portland çimentosunda  $C_3A$  miktarı %12 civarındadır. Çalışmada kullanılan Portland çimentosu için  $C_3A$  değeri %9.3 olup belirtilen değerden düşüktür. Bundan dolayı aktivasyon enerjisinin düşük olması doğaldır. Diğer katkılı çimentolara bakıldığında, tras ve Soma B uçucu kül katkılı çimentolarda katkı oranı arttıkça aktivasyon enerjisi düşmekte, kalker için ise artmaktadır.

#### 4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çalışmanın sonunda elde edilen verilerin ışığı altında aşağıdaki sonuçlara varmak mümkündür.

1. Korelasyon katsayılarına bakıldığında Nurse-Saul denkleminin Portland çimentolarında kullanıldığı haliyle diğer çimentolar için kullanılması uygundur.
2. Dayanım-olgunluk arasındaki ilişkilere bakıldığında, literatürde belirtildiği gibi düşük sıcaklıkta bakımı yapılmış betonların dayanımları düşük olgunluk değerleri için yüksek sıcaklıktaki bakım yapılmışlara göre düşük, yüksek olgunluk değerleri için daha yüksek dayanıma sahip oldukları % 20 ve % 40 Soma B uçucu kül katkılı çimento ve % 20 tras katkılı çimentolarda görülmektedir. % 40 Tras katkılı çimento, yüksek bakım sıcaklıkları için yüksek, düşük bakım sıcaklıkları için düşük olgunluk-dayanım ilişkisi göstermektedir. PÇ 42.5 ve diğer katkılı çimentolarda, düşük bakım sıcaklıkları için yüksek, yüksek bakım sıcaklıkları için düşük olgunluk-dayanım ilişkisi görülmektedir.
3. Eşdeğer yaş fonksiyonu Nurse-Saul fonksiyonu ile benzer davranışlar göstermektedir.
4. Eşdeğer yaş fonksiyonu için hesaplanan aktivasyon enerjisi değerleri istenilen düzeydedir.

5. Fonksiyonlarda kullanılan temel alınan sıcaklık  $T_0$  ve görünür aktivasyon enerjisi değerleri her tip çimento için ayrı ayrı bulunmalı, sabit değerlerin kullanılması yanlış sonuçlar elde etmemizi kolaylaştırır.

Yapılan çalışmanın sonucunda şu öneriler konunun daha iyi anlaşılmasını sağlayacaktır.

1. Çalışmada kullanılan katkı tipleri ve normal Portland çimentosunun çeşidi artırılmalı ve çimentonun inceliğinin ve kimyasal kompozisyonun etkisi incelenmelidir.
2. Günümüzde Maturity Meter olarak bilinen olgunluk ölçerler bünyesinde bulunan olgunluk fonksiyonunu kullanarak dayanım tahmini yapmaktadır. Kullanılan malzeme ile bu fonksiyon farklılık göstermektedir. Bu nedenle cihazın sonuçlarına güvenilmemelidir.

## KAYNAKLAR

- Bergstrom S.G. (1953): "Curing Temperature Age and Strength of Concrete", Magazine of Concrete Research (London) V.5 (No.4), s:61-66.
- Carino N.J. (1984): "Maturity Method: Theory and Application", Journal of Cement, Concrete and Aggregates, ASTM, V.6 (No.2), s: 61-73.
- Carino N.J., Lew H.S. (2001): "The Maturity Method: From Theory to Application" National Institute of Standards and Technology, 19s
- Freiesleben Hansen P., Pedersen J. (1977): "Maturity Computer for Controlled Curing and Hardening of Concrete", Nordisk Betong, V.21, s: 19-34.
- Kee C.F. (1971): "Relation Between Strength and Maturity of Concrete" ACI Journal, Proceedings V.68 (No.3), s:196-203.
- Plowman J.M. (1956): "Maturity and the Strength of Concrete " Magazine of Concrete Research (London) V.8 (No.22), s:13-22.
- Saul A.G.A.(1951): "Principles Underlying the Steam Curing of Concrete at Atmospheric Pressure" Magazine of Concrete Research (London) V.2 (No.6), s:127-140.
- Standard Practice for Estimating Concrete Strength by the Maturity Method", (ASTM C 1074-87) (1993): Annual Book of ASTM Standards, V.04.02, s: 541-547.