

## Dayanım Açısından Çimentonun Tohumlanması

İlker Bekir TOPÇU\*  
Ali UĞURLU\*\*

### ÖZ

Bu çalışmada çimento, çimento taneleri ile tohumlanarak hazırlanan harç numunelerinin bazı özellikleri incelenmiştir. İki farklı şekilde yürütülen deneysel çalışmaların her ikisinde de önce tohum olarak kullanılacak hidratasyona uğramış çimento kütlesi hazırlanmıştır. Daha sonra birinci deneysel çalışmada çimento içerisine önceden tohum olarak hidratasyona uğramış çimentodan % 5, 15, 30 ve ikinci deneysel çalışmada da % 2, 3 ve 5 katılarak hazırlanan harç numunelerinin dayanım özellikleri tespit edilmiş ve yorumlanmıştır. Elde edilen sonuçlar çimentoda tohumlama yapılabileceğini ve böyle bir işlemin beton özellikleri açısından yararlı olacağı yönündedir.

**Anahtar kelimeler:** Çimento, tohumlama, hidratasyon, basınç dayanımı

### ABSTRACT

#### Seeding of the Cement in Regards to Strength

In this study, some properties of mortar specimens produced by method of cement seeding were investigated. In two different experiments, hydrated cement mass were produced by method of cement seeding initially. In first and second experiments, hydrated cement was used at the ratios of 5, 15, 30 % and 2, 3, 5 % respectively, subsequently; strength properties of mortars were determined and discussed in both experiments. The experimental results obtained at the end of tests proved that the method of cement seeding is feasible and this method can be useful for concrete properties.

**Keywords:** Cement, seeding, hydration, compressive strength

### 1. GİRİŞ

Çimentonun tohumlanması; önceden hidrate olarak “taşlaşan” yani bir daha hidratasyona girmeyecek olan ama en az çimento norm dayanımı kadar dayanımı olan bu taneciklerin kendileri ile aynı kristal ve kimyasal yapıdaki taneciklere sonradan bağlanmasına dayanır. Bu sayede hidratasyonun bilinen olumsuz etkileri ve dezavantajlarından korunmuş olunur.

---

Not: Bu yazı

- Yayın Kurulu'na 03.03.2009 günü ulaşmıştır.
- 31 Mart 2010 gününe kadar tartışmaya açıktır.

\* Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Eskişehir - ilkerbt@ogu.edu.tr

\*\* DSİ Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Dairesi Başkanlığı, Ankara - aliugurlu@mynet.com

### *Dayanım Açısından Çimentonun Tohumlanması*

Bu yöntem kullanılarak daha önceden hidrate edilmiş yapay ya da doğal puzolanlar da tohum olarak kullanılabilir. Bu durumda yine hidrasyon süreci kısaltır ve sertleşme hızlanarak dayanım artışı ortaya çıkar. Yöntem ilk olarak 1956'da Duriez ve Lezy tarafından gerçekleştirilmiştir [1].

Geçmişte alçıtaşı kullanılarak beton tohumlanmış ve betonun bazı mekanik özellikleri değiştirilmiştir [2]. Bu sayede yüksek bir basınç dayanımı elde edilmiş ve bu arada elastisite modülünün de arttığı belirlenmiştir. Keza seramik çalışmalarında da yine  $C_3S$  ağırlıkça % 5 trikalsiyum germinat ile tohumlanmıştır. Bu sayede hidrasyonun  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de gerçekleştiği ve hidrasyon hızının arttığı, bunun sonucunda  $C_3S$ 'in daha hızlı hidrasyon yaptığı görülmüştür [3]. Yine çimentonun zeolit ile yapılan tohumlama işleminde silikat hidrasyonunun artmasıyla priz süresinin kısalması sonucu, hidrasyon süreci hızlanmış ve yüksek dayanımlar elde edilmiştir [4]. Bir başka çalışmada ise afvilit denilen sulu kalsiyum silikat minerali ince öğütülerek C-S-H jelleri tohumlanmış ve dayanımda artışlar kaydedilmiştir. Afvilit tohumlanması ile  $C_3S$ 'in reaksiyon hızı artmış ve hidrasyon süreci kısalmıştır. Afvilitin C-S-H jelleri ile hem tohumlama sırasında hem de C-S-H jellerinin dönüşümünden sonra etkileşime girdiği gözlenmiştir. Ayrıca hidrasyon ısısının da düşmesi sonucu çimentoda büzülmenin de azaldığı kaydedilmiştir [5].

Tohumlama sözcüğü, yapısal olarak aynı anda bir araya geldiklerinde bütüneleşebilecek iki farklı öznenin birleştirilmesini kapsar. Bundan amaç ortaya yeni ya da farklı özellikleri olan ürünler çıkartabilmektedir. Çimentodaki tohumlama ise daha önceden hidrasyona uğramış ve bu süreci tamamlamış çimento tanelerinin yeni bir çimento hidrasyon sürecindeki yapıya katılarak birleşmenin gerçekleştirilmesidir. Çimentonun çimento ile tohumlanmasında tohum olarak kullanılacak çimento yeterince sulu ortamda hidrasyona uğratılır, bir süre bekletilir ve daha sonra kurutulur. Kurutma sonrası da birkaç gün bekletilen çimentolar bir öğütücüde en az çimento inceliğinde öğütülerek tohum haline getirilir [6].

Çimentonun çimento ile tohumlanması ile;

- Karışımdaki toplam çimento hacmi artacak buna karşılık tohumlar daha önceden hidrate olduğu için toplam çimento kütlelerine göre hidrasyon süresi kısalacak ve bir anlamda da hızlanmış olacaktır. Bunun sonucunda özellikle erken yaşlarda dayanım artışı ortaya çıkacaktır.
- Çimentonun bir kısmı daha önceden hidrate olduğu için (tohum) toplam çimento kütlelerinin hidrasyon süreci boyunca yaydığı hidrasyon ısısı düşecek, rötre azalacaktır. Bu durum kütle betonları için önemli bir avantaj olarak kullanılabilir.
- Önceden hidrate olmuş çimento tanesi tohumlar ile hidrate olan çimentonun kimyasal yapısı aynı olduğu için bu taneler arasında epitaksik ve kimyasal bağlanma meydana gelecek ve bunun sonucunda dayanımda artışlar ortaya çıkacaktır.
- Tohum olarak karışıma katılan tanelerin dayanımı çimentonun en az norm dayanımı, kadar olacağı için karışımın toplam dayanımı kullanılan tohumun hacmi ve norm dayanımı ölçüsünde olacaktır.

Görülebileceği üzere çimentonun bir kısmı yerine hidrate olmuş çimento yani tohum kullanılması durumunda karışıma başlamadan avantajlar elde edilmiş olacaktır. Çimentonun tohumlanması işleminde tohum oluşmasını aktive eden katkılar da belirli oranda karışıma katılabilir. Bunlar  $CaCl_2$  ve alkali tuzlar gibi hızlandırıcı niteliğindeki maddelerdir. Tohumların aynı oranda veya daha düşük oranda  $CaCl_2$  ile beraber kullanılması halinde dayanım kazanması artmaktadır [1].

## 2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Deneysel çalışmalar için harç numuneleri hazırlanarak bunlar tohumlanmıştır.

### 2.1 Kullanılan Malzemeler

**Agrega:** Hazırlanan harç numunelerinde Set Çimento Sanayi ve Tic. A.Ş.'nin Trakya Çimento Fabrikasının ve TS 819'a uygun standart kumu (harç kumu) kullanılmıştır [7].

Çizelge 1. Birinci deneysel çalışmada kullanılan CEM I 32.5 çimentosunun özellikleri

Oksit Bileşenler	Ağırlıkça, %	Fiziksel Özellikler	
CaO	61.40	Özgül ağırlık	3.08
MgO	1.40	Özgül yüzey, cm <sup>2</sup> /g	3250
SiO <sub>2</sub>	21.54	Basınç dayanımı, MPa	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.68	2 gün	11.2
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.20	7 gün	22.4
Na <sub>2</sub> O	0.07	28 gün	33.6
K <sub>2</sub> O	0.31	Çekme dayanımı, MPa	
SO <sub>3</sub>	1.45	2 gün	2.0
Cl	0.003	7 gün	4.2
Serbest CaO	0.21	28 gün	6.0
KK	2.9	Priz süresi, dakika	
ÇK	2.83	başlangıç	270
		bitiş	375
		Hacim genişmesi, mm	1.0

Çizelge 2. İkinci deneysel çalışmada kullanılan CEM II/B-M 32.5 çimentosunun özellikleri

Oksit Bileşenler	Ağırlıkça, %	Fiziksel Özellikler	
CaO	58.4	Özgül ağırlık	2.95
MgO	1.82	Özgül yüzey, cm <sup>2</sup> /g	3350
SiO <sub>2</sub>	23.0	Basınç dayanımı, MPa	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.21	2 gün	10.5
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.12	7 gün	20.6
Na <sub>2</sub> O	0.04	28 gün	34.5
K <sub>2</sub> O	0.24	Çekme dayanımı, MPa	
SO <sub>3</sub>	1.17	2 gün	2.6
Cl	0.63	7 gün	3.5
Serbest CaO	4.6	28 gün	5.8
KK	2.7	Priz süresi, dakika	
ÇK	2.02	başlangıç	310
		Bitiş	425
		Hacim genişmesi, mm	0.8

**Çimento:** Çalışmada iki tür çimento kullanılmıştır. Birinci deneysel çalışmada CEM I 32.5 Portland, ikinci deneysel çalışmada ise CEM II/B-M 32.5 R Portland Kompoze çimentosu kullanılmıştır. Kullanılan çimentoların özellikleri Çizelge 1 ve 2'deki gibidir [8].

## 2.2 Hazırlanan tohum ve numuneler

Çalışma kapsamında iki deneysel çalışma programı yürütülmüştür. Her iki çalışma için aynı şekilde tohum hazırlanmıştır. Bunun için 1 kg çimento 250 cm<sup>3</sup> su ile karıştırılarak bir hamur hazırlanmış ve 24 saat 20±3 °C sıcaklıkta doymuş nemde, daha sonra ise 7 gün aynı sıcaklıkta suda saklanmıştır [3]. Bu sürenin sonunda küçük topraklar halinde kırılarak 5 gün 50 °C'de etüvde tutulmuştur. Daha sonra çimento inceliğinde (3200 cm<sup>2</sup>/g) öğütülerek tohum olarak kullanılmaya hazır hale getirilmiştir. Birinci deneysel çalışmada deneyler 2, 7 ve 28. günlerde gerçekleştirilmiştir. Çimento içerisine % 5, % 15 ve % 30 ölçüsünde tohum katılmış ve numuneler tohum katıldıktan sonra 1 ila 3 saat bekletilerek kullanıma hazırlanmıştır (Çizelge 3). Daha sonra TS EN 196-1'e uygun olarak 450 gr çimento, 225 gr su ve 1350 gr standart kum ile harç hazırlanmıştır [9]. Hazırlanan harçlar boyutları 160x160x40 mm olan prizmatik kalıplara dökülerek numuneler hazırlanmıştır. Her deney için 3 adet numune kullanılmıştır. Sonuçlar üç numunenin ortalaması alınarak elde edilmiştir. Basınç ve eğilmede çekme dayanımı deneyleri TS EN 196-1'e göre gerçekleştirilmiştir.

İkinci deneysel çalışmada ise deneyler 7 ve 28. günde gerçekleştirilmiştir. Çimento içerisine tohum % 2, % 3 ve % 5 ölçüsünde ikame edilmiştir (Çizelge 3). Tohum ilave edildikten sonra herhangi bir bekletme yapılmamıştır. Birinci çalışmada olduğu gibi tohumlanmış çimento kullanılarak aynı şekilde harç numuneleri hazırlanmıştır.

Çizelge 3. Birinci ve ikinci deney grupları

1. Deneysel çalışma		2. Deneysel çalışma	
Deney grubu	Açıklama	Deney grubu	Açıklama
T0	Kontrol grubu (şahit)	T0	Kontrol grubu (şahit)
T5	İçinde % 5 tohum bulunan numune	T2	İçinde % 2 tohum bulunan numune
T15	İçinde % 15 tohum bulunan numune	T3	İçinde % 3 tohum bulunan numune
T30	İçinde % 30 tohum bulunan numune	T5	İçinde % 5 tohum bulunan numune

## 3. BİRİNCİ ÇALIŞMA DENEY VE SONUÇLARI

### 3.1 Basınç Dayanımı Deneyleri

Birinci çalışma kapsamında yürütülen deneyler sonucu elde edilen basınç ve eğilmede çekme dayanımı sonuçları Çizelge 4' de verilmiştir.

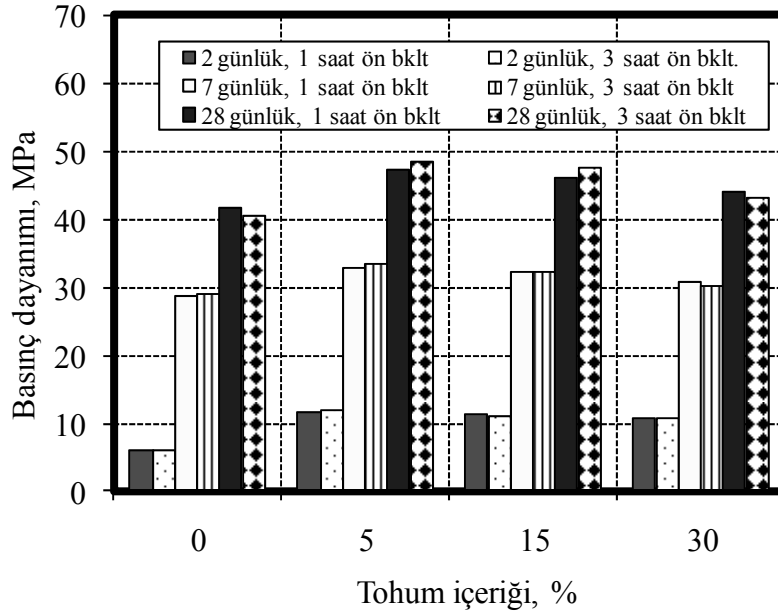
4x4x4 cm boyutlarındaki küp numuneler üzerinde elde edilen basınç dayanımı sonuçları Çizelge 4 ve Şekil 1'de verildiği gibidir. Sonuçlar, numune yaşının artması ile dayanımlarda belirgin bir artışın ortaya çıktığını göstermektedir. Yine tohumlanmış serilerin basınç dayanımının tohumlu seriye göre bütün yaşlarda daha yüksek dayanımlar verdiğini göstermektedir. En çok dayanım artışı 2 günlük numunelerde görülmüştür. Burada % 5-15 tohum kullanımında ortaya çıkan dayanım artışı % 90-95 arasındadır.

Çizelge 4. Birinci çalışma deney sonuçları

Tohum içeriği %0	Basınç dayanımı, MPa						Eğilmede çekme dayanımı, MPa					
	2 gün		7 gün		28 gün		2 gün		7 gün		28 gün	
	1 st bkl	3 st bkl	1 st bkl	3 st bkl	1 st bkl	3 st bkl	1 st bkl	3 st bkl	1 st bkl	3 st bkl	1 st bkl	3 st bkl
0	6.1	6	28.6	29	41.6	40.5	2.1	2.2	3.6	3.7	6.3	6.4
5	11.6	11.7	33	33.4	47.4	48.2	3.2	3.1	4.3	4.3	6.6	6.7
15	11.4	11	32.4	32	46	47.5	3.1	3	4.2	4.3	6.5	6.6
30	10.8	10.6	30.7	30	44.2	43	3	2.9	3.9	3.8	6.1	5.9

st: saat, bkl: bekleme

Yirmi sekiz günlük numuneler karşılaştırıldığında ise tohumuz şahit numuneye göre dayanımdaki artış % 5 ve % 15 tohum içeriklerinde yaklaşık % 20 daha fazladır. % 30 tohum kullanımında 2, 7 ve 28 günlük numunelerde tohumun %5 -15 kullanıldığı serilere göre basınç dayanımının azaldığı tespit edilmiştir. Ön bekleme süresi açısından elde edilen sonuçlar açısından bir düzenlilik gözlenmemiştir. Görülen bu sonuçlar eğilmede çekme dayanımı sonuçlarıyla da uyumludur.



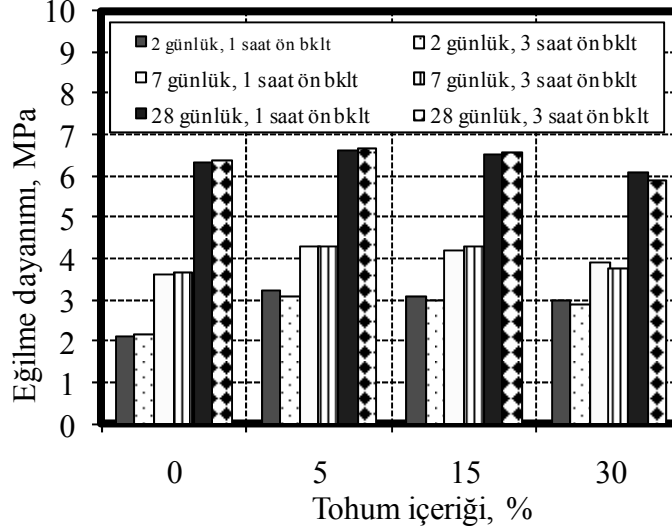
Şekil 1. Basınç dayanımının tohum içeriği ve ön bekleme süresi ile değişimi.

### 3.2 Eğilmede Çekme Dayanımı Deneyleri

Yapılan deneyler sonucu 16x16x4 cm lik prizmalardan elde edilen sonuçlar Çizelge 4'te verilmiştir. Şekil 2 incelendiği zaman deney yaşının artması ile eğilmede çekme dayanımında belirgin bir artış kaydedildiği görülecektir. Tohum içeriğinin % 5 ve % 15 olduğu serilerde bu artış en yüksek değere ulaşmaktadır. Yirmi sekiz günde buradaki

#### Dayanım Açısından Çimentonun Tohumlanması

eğilmede çekme dayanımındaki artış yaklaşık % 5 düzeyindedir. İki günlük numunelerde bu oran daha yüksektir. Ön bekleme süresi açısından sonuçlarda bir farklılık tespit edilememiştir. Elde edilen sonuçlar basınç dayanımı sonuçları ile uyumludur.



Şekil 2. Eğilmede çekme dayanımının tohum içeriği ve ön bekleme süresi ile değişimi.

#### 4. İKİNCİ ÇALIŞMA DENEY VE SONUÇLARI

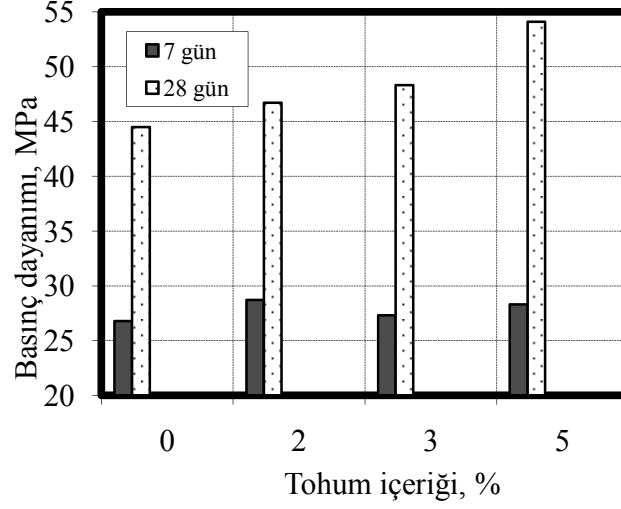
İkinci çalışma kapsamında yürütülen deneyler sonucu elde edilen basınç ve eğilmede çekme dayanımı sonuçları Çizelge 5’ de verilmiştir.

Çizelge 5. İkinci çalışma deney sonuçları

Tohum içeriği %	Basınç dayanımı, MPa		Eğilmede çekme dayanımı, MPa	
	7 gün	28 gün	7 gün	28 gün
0	26.8	44.5	5.3	5.4
2	28.7	46.7	5.4	5.4
3	27.3	48.3	5.3	5.5
5	28.3	54.1	5.4	5.5

##### 4.1 Basınç Dayanımı Deneyleri

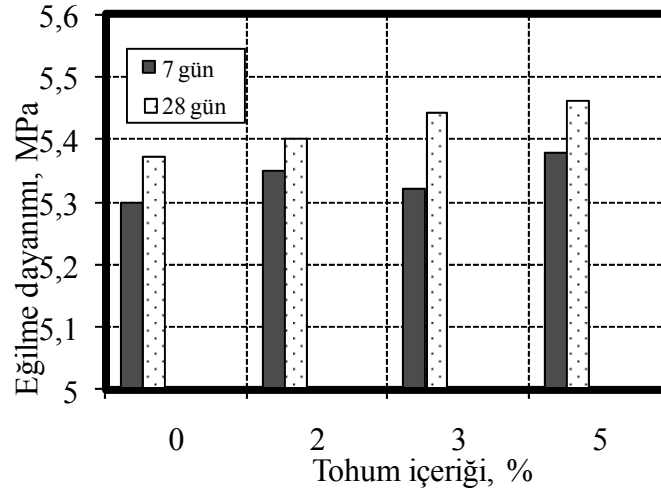
Şekil 3 ve Çizelge 5’te verilen basınç dayanımı deney sonuçları incelendiğinde çimentoda tohum kullanmanın basınç dayanımını arttırdığı görülecektir. Öyle ki % 5 tohum içeriğinde 28 günlük numunelerde dayanımdaki artış yaklaşık %23’dür. %2 ve %3 tohum içeriğindeki artış ise %5-9 arasındadır. Yedi günlük numunelerdeki dayanım artışı daha düşük olup yaklaşık %7-8 düzeyindedir. Bu durum tohumlama ile birlikte; tohum ile çimento reaksiyonunun ileriki yaşlarda da devam ettiğini gösterir nitelikte bir işarettir. Burada da eğilme dayanımında olduğu gibi tohum içeriğinin artması ile dayanımlarda meydana gelen artış doğrusaldır.



Şekil 3. Basınç dayanımının tohum içeriği ile değişimi.

#### 4.2 Eğilmede Çekme Dayanımı Deneyleri

Şekil 4 ve Çizelge 5'te verilen eğilmede çekme dayanımı sonuçları incelendiğinde çimentoda tohum kullanmanın eğilmede çekme dayanımını arttırdığı, bu dayanımın % 3 ile % 5 tohum içeriklerinde en yüksek değere ulaştığı ve dayanımların % 4 ile 2 düzeyinde arttığı görülmüştür.



Şekil 4. Eğilmede çekme dayanımının tohum içeriği ile değişimi.

## 5. SONUÇ

İki deney grubu olarak gerçekleştirilen çalışmalardan elde edilen sonuçlar çimentoda tohumlamanın yararlı olduğunu göstermiştir. Eğilmede çekme ve basınç dayanımı açısından sonuçların olumlu olduğu söylenebilir.

Birinci deneysel çalışma sonuçlarına göre, tohumlamanın çimentoda olumlu sonuçlar verdiği yönündedir. 2 günlük numunelerde şahit numunelere göre dayanımda ortaya çıkan artış yaklaşık % 90-95 arasındadır. 28 günlük numunelerde ise dayanımdaki artış ortalama % 20 düzeyindedir. Bu artış anlamlı ve önemlidir. % 30 düzeyinde tohum kullanılması durumunda yukarıda elde edilen dayanım artış değerlerinde % 10 düzeyinde azalma görülmüştür.

İkinci deneysel çalışmada ise 7 günlük numunelerde şahit numunelere göre dayanımda ortaya çıkan artış yaklaşık % 7-8 ve 28 günlük numunelerde ortaya çıkan artış ise % 5-9 arasındadır. Bu kapsamda gerçekleştirilen çalışmalarda % 3 ile % 5 arasındaki bir tohumlamanın dayanım açısından daha düşük düzeyde bir gelişme gösterdiği yönündedir. Bu nedenle en yararlı tohum içeriğinin % 5 -15 arasında olması gerektiği söylenebilir. Her iki çalışmada da tohumların ön bekletme süresi açısından dayanımdaki yansımaları bir farklılık göstermemiştir. Tohumlama ile beton özelliklerinde ortaya çıkan iyileşmeler, tohumlama sonucu hidrasyon sürecinin kısılması ve hidrasyon ısısının düşmesi ve bunların sonucunda büzülmenin azalması gibi durumlar göz önüne alındığında bu teknolojinin yararlı olduğu anlaşılacaktır.

## Kaynaklar

- [1] Akman, M. S. "Beton dayanımını yükseltme amacıyla yapılan eski çalışmalar, Sika Teknik Bülteni Makaleler Kitabı, İstanbul, 2007, ss. 317-331
- [2] Gmouh, A., Eve, S., Samdi, A., Mousso, R., Hommel, 3, Gomira, M., "Channes in Plaster Microstructure by Prestressing or by Adding Gypsun Grains, Microstructural and Mechanical Investigations" Materials Science and Engineering, A 353, 2003, pp. 325-332
- [3] Martin, R.I., Brown, P. W., "Heteroepitoxial Growth of Calcium Silicate Hydrate on Calcium Germanete Hydrate", Communications of the American Ceramic Society, Vol. 75, No: 9, September 1992, pp. 2619-2622
- [4] La Rosa, J. L, Kwan, S., Grutzeck, M. W., "Zeolite Formation in Class F Fly Ash Blended Cement Paste, J. of the American Ceramic Soc., Vol. 75, No. 6, 1992, pp. 1574-1580
- [5] Davis R. W., Young, J. F., "Hydration and Strenght Development in Tricalcium Silicate Pastes Seeded with afwillitte", Journal of the American Ceramic Society, Vol. 58, No. 1-2, Jun.-Feb., 1975, pp. 67-70
- [6] Topçu, İ.B., Bilir, T., Çınar, M., "Çimentoda tohumlama teknolojisi", Yapı Dünyası, Aralık, 2007, Sayı 141, ss. 7-11
- [7] TS 819, Rilem Cembureau Standart Kumu, TSE, 1976
- [8] TS EN 197-1, Çimento Bölüm1: Genel çimentolar-Bileşim, özellikler ve Uygunluk kriterleri, TSE, 2002
- [9] TS EN 196-1, Çimento Deney Metotları-Bölüm 1: Dayanım, TSE, 2002