

## BOR BİLEŞİKLERİNİN ÇİMENTO PRİZ SÜRESİNE ETKİSİ VE DENETLENEBİLİRLİĞİ

H. Ece PEHLİVANOĞLU\*, Metin DAVRAZ, Şemsettin KILINÇARSLAN

### Özet

Bugüne kadar, priz geciktiriciler gibi kısıtlı kullanım koşulları haricinde, bor bileşiklerinin çimento bağlayıcı kompozitlerde kullanımı sertleşme (priz) ve buna bağlı dayanım problemleri yüzünden yaygınlaşmamıştır. Bu olumsuzlukların ortadan kaldırılabilmesi durumunda, bor bileşiklerinin çimento ve beton üretiminde katkı maddesi olarak yaygın kullanımı sağlanabilecek, dolayısıyla çimentolu kompozitlere ilave yangın dayanımı, radyasyon geçirimsizliği gibi teknolojik özellikler kazandırılabilir. Bu çalışmada, bor bileşiklerinin farklı türde çimentoların hidrasyon sürecine etkileri ve bu etkilerin kontrol edilebilme olanakları araştırılmıştır. Bu amaçla, Portland, aktif belit (BAB) ve kalsiyum alüminatlı çimentolar kullanılarak ve ayrıca çimento ağırlığının % 0.25-1.00 oranında borik asit katılarak harç karışımları hazırlanmıştır. Taze harçların priz başlama ve priz sonu süreleri ölçülmüştür. Harçlardaki boroksit konsantrasyonu arttıkça, priz süreleri oldukça artmıştır. Borik asidin hidrasyon sürecine olumsuz etkisini bastırmak için çimento ağırlığının farklı oranlarında üç farklı stabilizör karışımlara ilave edilerek priz süreleri yeniden ölçülmüş ve sonuçlar hem kontrol hem de borik asit katkılı/stabilizör katkısız harç örnekleri ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, borik asit ilave edilen harçlarda optimum işlenebilirlik süreleri dikkate alınarak, amaca uygun stabilizör türü ve kullanım oranları belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Bor bileşiği,  $B_2O_3/c$  oranı, priz süresi, stabilizör

## THE EFFECT OF BORON COMPOUND TO SETTING TIME OF CEMENT AND CONTROLLABILITY

### Abstract

So far, the use of boron compounds as composites of cement binder, except for the limited usage conditions like setting retarders, has not become widespread because of the hardening (socket) and the related problems. The boron compounds will can be obtained of widely usage as an additive in the production of cement and concrete in case of the elimination of this negative event thus, technological properties such as fire resistance, impermeability of the radiation to cementitious composites will can be enhanced. In this study, the effects of the boron compounds into hydration process of the different cement types and controllability of the effects is investigated. For this purpose, mortar mixtures were prepared using Portland, boron modified active belite (BAB) and calcium aluminate cements and, in addition to adding boric acid of 0.25-1.00% by weight of cement. Initial setting and finish setting times of fresh mortars were measured. The increase of boric acid concentration in the mortar mixtures, the increase setting times of the fresh mortars. For suppress to the negative impact of boric acid to the hydration process, setting times were again measured adding three different stabilizer types at different ratios by weight of cement and results of added stabilizer mortar samples were compared to both control samples and boric acid added/ without stabilizer mortars samples. As a result, the suitable stabilizer type and usage ratio for purpose were determined taking into consideration optimum workability times of mortars adding boric acid.

**Keywords:** The compound of boron,  $B_2O_3/c$  ratio, setting time, stabilizer

\* Süleyman Demirel Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Yapı Eğitimi Bölümü, Isparta  
E-posta: semsettin.kilincarslan@sdu.edu.tr

## 1. Giriş

Borik asit ( $B[OH]_3$ ), boraks gibi bor bileşikleri çimentonun hidrasyon süresini uzatır. Bu nedenle karboksilik asit, lignin, şeker ve bazı fosfat bileşikleri gibi bor bileşikleri de güçlü bir priz geciktirici olarak betonda kullanılır. Boratlar özellikle petrol kuyularının çimentolanmasında hem klasik bir geciktirici hem de yüksek sıcaklıkta viskoziteye yardımcı bir katkı olarak yıllardır kullanılmaktadır (Bell ve Conevey, 1998). Bunun haricinde, nükleer enerji santrallerinin radyoaktif atıkları yüksek konsantrasyonlu bor çözeltileri ile karıştırılarak yeraltında depolanmak üzere çimento ile sertleştirilmektedir. Ancak bu sertleştirme işlemi esnasında önemli dayanım problemleri henüz tamamen giderilememiştir. Bu iki spesifik kullanım koşulları haricinde, bugüne kadar bor bileşiklerin çimento gibi inorganik bağlayıcılar ile kullanımı sertleşme (priz) ve buna bağlı dayanım problemleri yüzünden yaygınlaşmamıştır.

Son yıllarda bor atıklarının çimento üretiminde kullanılabilirliği üzerine çok sayıda araştırma yapılmıştır. Kula vd. (2002), tıncal cevher atıkların çimento ile %1 yer değiştirme düzeyinde kullanımının Portland çimentosu (PÇ) niteliklerinde bir iyileşmeye neden olduğunu, her ne kadar priz süresini geciktirse de çimento ile %5'e kadar yer değiştirebilen bir katkı maddesi olarak kullanılabileceğini ifade etmiştir. Targan vd. (2003) göre %4 kolemanit atığı, %5-15 oranlarında doğal puzolan ve % 81-96 oranlarında Portland klinkeri öğütülerek yapılan çimentolar ile dökülen beton örneklerinin 90. gün dayanımları kontrol örneklerinin %90'ı seviyesinde gerçekleştiğini, puzolan içeriği yüksek kolemanit atığı içeren çimentolar ile üretilen betonların 28. gün dayanımlarının, düşük puzolan içerikli çimento ile dökülenlere göre daha yüksek olduğunu belirtmektedir.

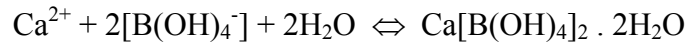
2006 yılında, Göltaş Çimento Fabrikası'nda kolemanit cevheri kullanılarak borlu aktif belit çimentosu (BAB -Boron modified active belite cement) üretilmiştir. Bu çimento üzerine yapılan araştırmalarda, alit ( $C_3S$ ) fazı içermeyen borlu aktif belit çimentosunun hidrasyon ısısının çok düşük olması nedeniyle özellikle baraj betonlarında başarıyla uygulanabileceği, bu çimento ile üretilen betonların nihai dayanımının PÇ ile üretilen betondan daha yüksek olduğu belirtilmektedir (Sağlık vd., 2009).

Uygun konsantrasyonda bor bileşikleri kullanılan beton ve çimento bağlayıcılı diğer kompozitlerin röt ve yangına direnç gibi bazı özellikleri iyileşirken, radyoaktif geçirimsizlik ve antibakteriyellik gibi yeni nitelikler de kazanabileceklerdir. Bu konuda yapılan bazı araştırmalarda, bor bileşiklerinin betona ilave edildiğinde nötronları absorbe ettiğini ve düşük enerjili gama ışınımı yayıldığını, bu şekilde etkin bir radyasyon koruması sağlandığını, ancak, bor ilavesinin beton priz süresini ciddi biçimde geciktirdiğini ve dayanımı olumsuz etkilediği belirtilmiştir (Volkman ve Bussolini, 1992). Bir diğer araştırmada, Demir ve Keleş (2006), borjips ve konsantratör atığı içeren beton örnekleri hazırlamış, normal ve bor atığı katkılı betonların gama ışınları geçiş enerjilerindeki farklılıkları test etmiş ve bor atıkları içeren betonların radyoaktif ışınımına karşı etkin bir koruma sağladığını göstermişlerdir. Ulusal Bor Araştırma Enstitüsü (BOREN), BAB çimentosunun PÇ'na göre %20 oranında daha fazla nötron tutma kapasitesine sahip olduğunu belirtmektedir (BOREN, 2008). Çelik (2008), %20 civarında  $B[OH]_3$  yada boraks katkılı selüloz içerikli yalıtım malzemelerinin yangına dayanımlarının %57 oranında arttığı, mikroorganizma ve haşerelere karşı %99.8 oranında öldürme oranına sahip olduğunu ifade etmiştir.

Bor bileşiklerinin beton ve çimentolu kompozitlere kazandırdığı iyileşmeler ve ilave özellikler, kullanılan bor bileşiğinin bor trioksit (B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) konsantrasyonu ile yakından ilişkilidir. Bununla birlikte B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> konsantrasyonu arttıkça, çimento hidratasyonun yavaşladığı ve hatta durduğu, buna bağlı olarak priz süresinin de uzadığı bilinen ve yoğun şekilde araştırılan bir olgudur. Taylor (1997) boratları çok kısa şekilde, muhtemel olarak bir çökeltme mekanizmasından kaynaklanan çimento hidratasyonunu geciktirici bileşik olarak ifade etmiştir. Connor ise (1990) boratları çimento matriksini bozan kısa dönemli priz geciktirici olarak listelemiştir. Her iki standart çalışmada sertleşme esnasında yeralan mekanizma hakkında bilgi verilmemiştir.

Bugüne kadar yapılan ilgili araştırmalar dikkate alındığında, bor bileşiklerinin çimento hidratasyonuna etkisi şu şekilde özetlenebilir:

Hidratasyon reaksiyonu esnasında, kalsiyum oksit (CaO) su (H<sub>2</sub>O) ile kalsiyum hidroksit (Ca[OH]<sub>2</sub>) oluşturmak için tepkir. Bu tepkime sırasında gözenek suyu hızla alkali bir çözeltiliye dönüşür. Alkali çözeltiliye dönüşen gözenek suyunda kalsiyum (Ca<sup>2+</sup>) katyonları ve hidroksil (OH<sup>-</sup>) anyonlarının konsantrasyonu artarken B[OH]<sub>3</sub> hızla çözünür. Karışımdaki B[OH]<sub>3</sub> iyonları ile OH<sup>-</sup> anyonları reaksiyona girerek B[OH]<sub>4</sub><sup>-</sup> bileşiğini oluşturur. Sonrasında Ca<sup>+</sup> katyonları B[OH]<sub>4</sub><sup>-</sup> ile tepkir.



Oluşan kalsiyum di borat (CBH<sub>6</sub>) bileşiği bir kısım çimento partikül yüzeyinin tamamı yada bir bölümü üzerine çökerek kaplar. Yüzeyinin tamamı yada bir bölümü geçirimsiz CBH<sub>6</sub> tabakası ile kaplanan çimento partiküllerinin hidratasyon reaksiyonu ya tamamen durur veya oldukça gecikir. Bu durum partiküllerin topaklaşmasına (kesilmesine-pıhtılaşmasına) neden olur ve yalancı prizlenme oluşur. Gözenek solüsyonunda CH ve CBH<sub>6</sub> oluşumundan dolayı Ca<sup>2+</sup> da bir azalma meydana gelir. Ancak çimento hidratasyonunun bir sonucu olarak alkaliler (Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O vd.) serbest kaldığında gözenek solüsyonunda sodyum (Na<sup>+</sup>), potasyum (K<sup>+</sup>) katyonları oluşur ve paralel olarak OH<sup>-</sup> anyonları yeniden artar. OH<sup>-</sup> anyonlarının artışına bağlı olarak gözenek suyunun pH değeri de yeniden artarken, bir süre sonra Ca<sup>2+</sup> katyonu oluşturmak için CBH<sub>6</sub> yeniden çözünebilir. Çimento partikül yüzeyini kaplayan CBH<sub>6</sub> kristal tabakaları çözünürken hidratasyon reaksiyonu hızlanacaktır ve yukarıda ifade edilen kimyasal döngü yenilenecektir. Şayet ortamda hidratasyonu devam ettirecek gözenek suyu mevcutsa, bu tersinir tepkimeler çimento hidratasyonu tamamlanıncaya kadar sürecektir. Ortamda çözünebilir B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> konsantrasyonu arttıkça başlangıçta CaO çözünürlüğü de artar. Ancak bir süre sonra CBH<sub>6</sub> bileşiği oluşturmak için gözenek solüsyonunda Ca<sup>2+</sup> katyonlarının ve OH<sup>-</sup> anyonlarının konsantrasyonu azalır. Sonuçta CBH<sub>6</sub> bileşiği çimento partiküllerinin yüzeyini hızlı bir şekilde kaplar ve hidratasyon durur. Artan B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> konsantrasyonu bağlı olarak CBH<sub>6</sub> bileşiğinin çözünürlüğü de gecikir. Bu fenomen bağlayıcı taneler arasında bağ oluşumunu zayıflatır. Dolayısıyla hidratasyon reaksiyonu sonrası sertleşme süresi B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> konsantrasyonuna bağlı olarak uzarken, çimento matrisinin dayanımı azalır (Davraz, 2010).

Karışıma bor bileşiği ilavesi ile (nötron kalkanı vs.) hedeflenen amaç doğrultusunda kompozit ürünün kalitesinin yükseltilmesinde belirleyici faktörlerin başında B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> konsantrasyonu gelmektedir. Bu tür çalışmalarda, öncelikli olarak amaca göre faydalı B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> konsantrasyonu belirlenmelidir. Konsantrasyon bileşiğin içerdiği %B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> oranına bağlıdır. B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> konsantrasyonu düştükçe, sertleşme gecikmesi ve dayanım azalması da doğru orantılı olarak iyileşecektir. Ancak beraberinde, B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>'in çimentolu kompozite sağlayacağı fiziksel ve kimyasal yararlar da azalacaktır. Bu çalışmada, boroksit/çimento (B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/c) oranının taze

çimento harcının priz başlangıç ve bitiş sürelerine etkisi araştırılmıştır. Kullanım amacına uygun  $B_2O_3$  konsantrasyonunda optimum priz süresine ulaşabilmek için,  $CBH_6$  bariyer tabakalarının bağlayıcı partikül yüzeyindeki oluşumunu geciktirmek gerekmektedir. Bu amaçla, bu çalışmada  $B_2O_3$  kaynağı olarak kullanılan  $B[OH]_3$  ile birlikte priz hızlandırıcı ve harç gözenek suyunun alkanitesini artırıcı kimyasal katkı maddeleri kullanımının çimento hidratasyonuna etkisi de araştırılmıştır.

### 3. Materyal ve Metot

#### 3.1. Hammaddeler

Bu çalışmada  $B_2O_3$  kaynağı olarak susuz borik asit (BA), bağlayıcı madde olarak GÖLTAŞ Çimento Fabrikası'ndan PÇ ve BAB çimentoları ile ÇİMSA'dan temin edilen kalsiyum alüminatlı çimento (KAC) kullanılmıştır. Ayrıca  $B[OH]_3$ 'ün hidratasyonu geciktirme etkisini bastırabilmek amacıyla kalsiyum klorür (KK), sodyum alüminat (SA) ve sodyum hidroksit (SH) gibi kimyasal katkı maddeleri de karışıma dahil edilmiştir. Bütün örneklerde eş değer dozajda PÇ, BAB yada KAC çimentosu kullanılmıştır. Bağlayıcı olarak kullanılan CEM I 42.5 R Portland, BAB ve KAC çimentoları fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Bağlayıcı olarak kullanılan çimentolarının fiziksel ve kimyasal özellikleri

Klinklerin Kimyasal Özellikleri				Çimento Fiziksel Özellikleri			
Bileşenler (%)	OPC	BAB	KAC	OPC	BAB	KAC	
SiO <sub>2</sub>	20.52	20.37	2.20	Hacimsel Genleşme (mm)	1	0	-
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.00	4.45	40.70	İncelik (90µ)	0.10	0.1	-
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.45	3.27	17.00	İncelik (200µ)	1.10	1.8	-
CaO	64.28	58.19	38.20	Özgül Yüzey Alanı (cm <sup>2</sup> /g)	3340	3560	3540
MgO	1.63	4.70	0.80	Priz Başlangıcı (dak.)	185	220	245
SO <sub>3</sub>	2.53	3.08	0.02	Priz Sonu (dak.)	240	265	265
Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O	1.35	1.50	0.07	Özgül Ağırlık (g/cm <sup>3</sup> )	3.12	2.98	3.29
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	1.12	0.00	Eğilme Dayanımı (2 günlük)	4.5	2.5	6.0 <sup>(1)</sup>
CaO (Free)	1.81	0.63	-	Eğilme Dayanımı (7 günlük)	5.8	4.1	7.5 <sup>(2)</sup>
L.O.I.	2.72	4.02	0.30	Eğilme Dayanımı (28 günlük)	7.2	6.0	9.5 <sup>(3)</sup>
<b>Klinker Fazı (%)</b>				<b>Çimentonun Diğer Özellikleri</b>			
C <sub>3</sub> S	-	56.66	-	Basınç Dayanımı (2 günlük)	11.7	11.7	55.2 <sup>(4)</sup>
C <sub>2</sub> S	66.23	17.65	-	Basınç Dayanımı (7 günlük)	39.3	23.2	81.6
C <sub>3</sub> A	7.86	6.33	-	Basınç Dayanımı (28 günlük)	51.0	38.6	-
C <sub>4</sub> AF	14.01	12.03	-	Cl <sup>-</sup>	0.000	0.006	0.000

<sup>(1)</sup>6 saatlik <sup>(2)</sup>24 saatlik <sup>(3)</sup>6 saatlik <sup>(4)</sup>24 saatlik

#### 3.2. Metot

Çimentolu bileşiklerde, kullanım amacına uygun  $B_2O_3$  konsantrasyonunda, optimum priz süresi ve dayanım değerine ulaşabilmek için, ( $CBH_6$ ) bariyer tabakalarının bağlayıcı partikül yüzeyindeki oluşumunu önlemek yada en azından geciktirmek gerekmektedir. Bu çalışmada yürütülen deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen veriler, kullanım amacına uygun  $B_2O_3$  konsantrasyonuna sahip çimentolu kompozitlerde optimum priz süresine ulaşabilmek için,  $CBH_6$  bariyer tabakalarının bağlayıcı partikül yüzeyindeki oluşumunu önlemek yada en azından geciktirmek gerekliliğini açık bir biçimde ortaya koymuştur.

Çalışmada öncelikle farklı  $B_2O_3$  konsantrasyonuna sahip çimentolu bileşiklerde priz gecikmesini engelleyebilecek kimyasal katkı tipi ve kullanım oranlarını belirleyebilmek amacıyla, 56 farklı çimento harç örneğinden ikişer adet hazırlanmıştır. Hazırlanan her bir çimento harç örneğinin öncelikle priz başlama ve priz sonu süreleri TS EN 196-3 standardına uygun olarak, otomatik vikat cihazı ile ölçülmüştür.

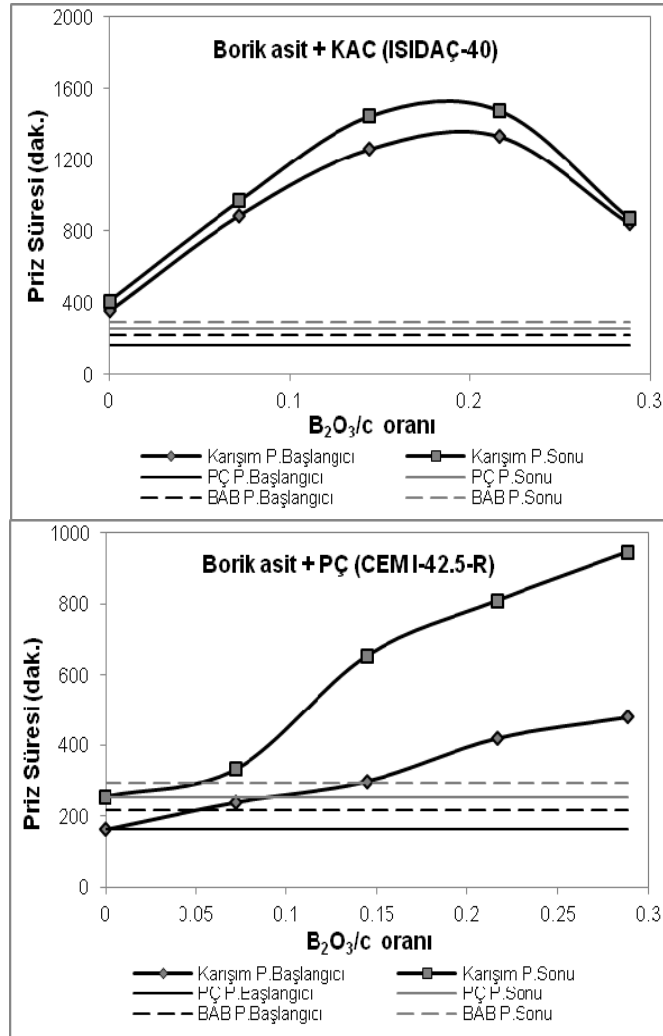
#### 4. Bulgular

2 mol  $B[OH]_3$   $600^\circ C$  civarında ısıtıldığında ( $2B[OH]_3 + ısı \rightarrow B_2O_3 + 3H_2O$ ) 1 mol ( $B_2O_3$ ) ve 3 mol su oluşmaktadır. 1g  $B[OH]_3$  ısıtıldığında yaklaşık 0.577g  $B_2O_3$  elde edilmektedir. Çimento örneklerinde kullanılan 4 farklı BA oranına stokiometrik olarak karşılık gelen oranları Eşitlik 1’de verilen bağıntı kullanılarak hesaplanmıştır:

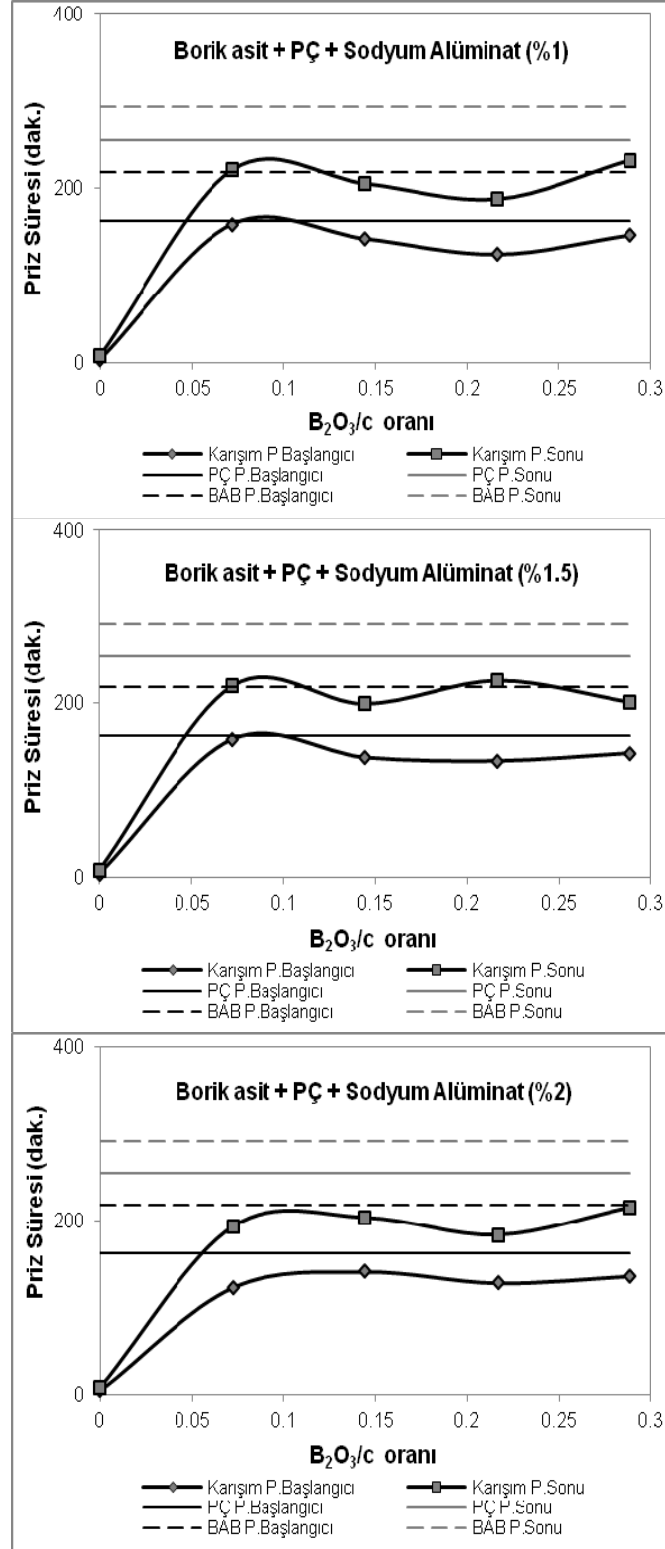
$$M_{B_2O_3} = c \times 0.02 \times 0.577 \quad (1)$$

Burada “ $M_{B_2O_3}$ ”, harç karışımına da ilave edilen  $B_2O_3$  miktarı, “c” çimento dozajıdır.

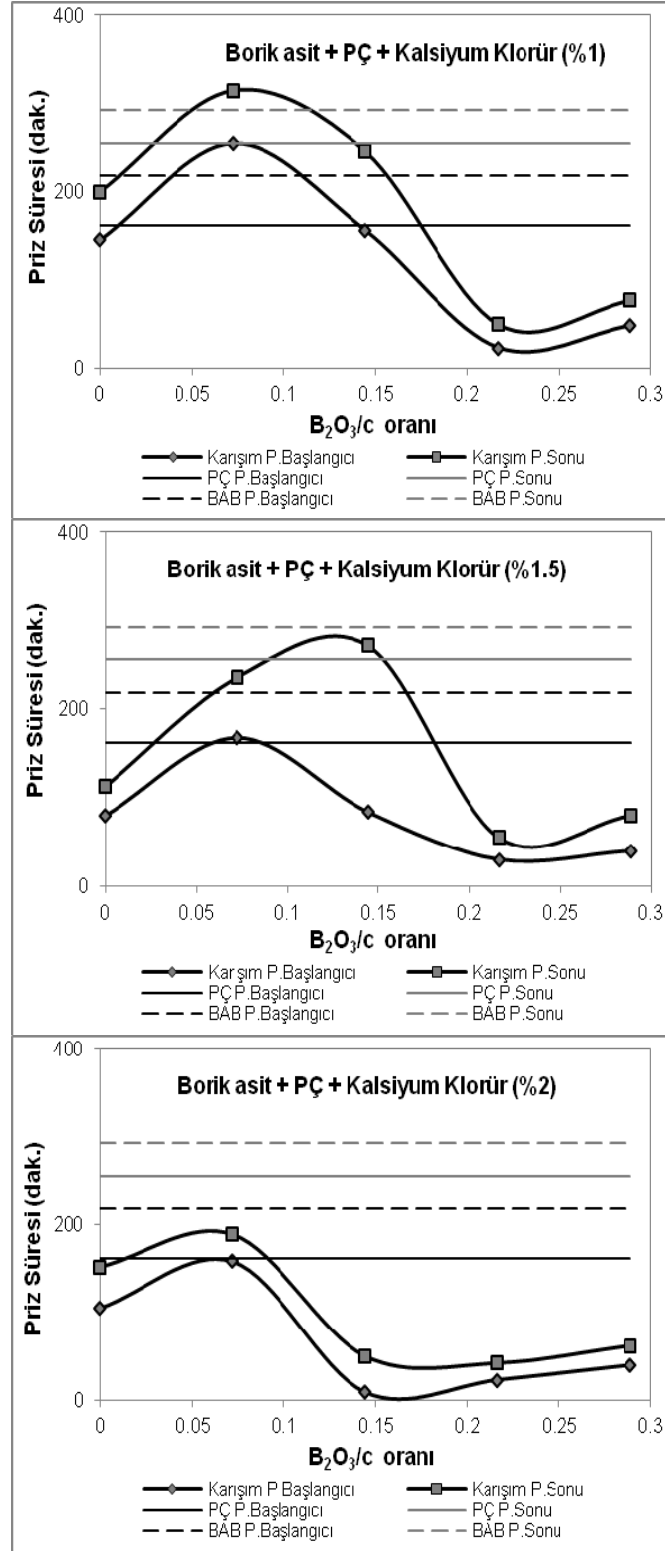
Aktif belit çimentosunun içerdiği  $B_2O_3$  oranı ise çimento ağırlığının %1.115’i olarak hesaplanmıştır. Çimentolu örneklerin  $B_2O_3/c$  oranına göre priz başlama ve priz sonu sürelerinin değişimleri grafiksel Şekil 1-4’te verilmiştir.



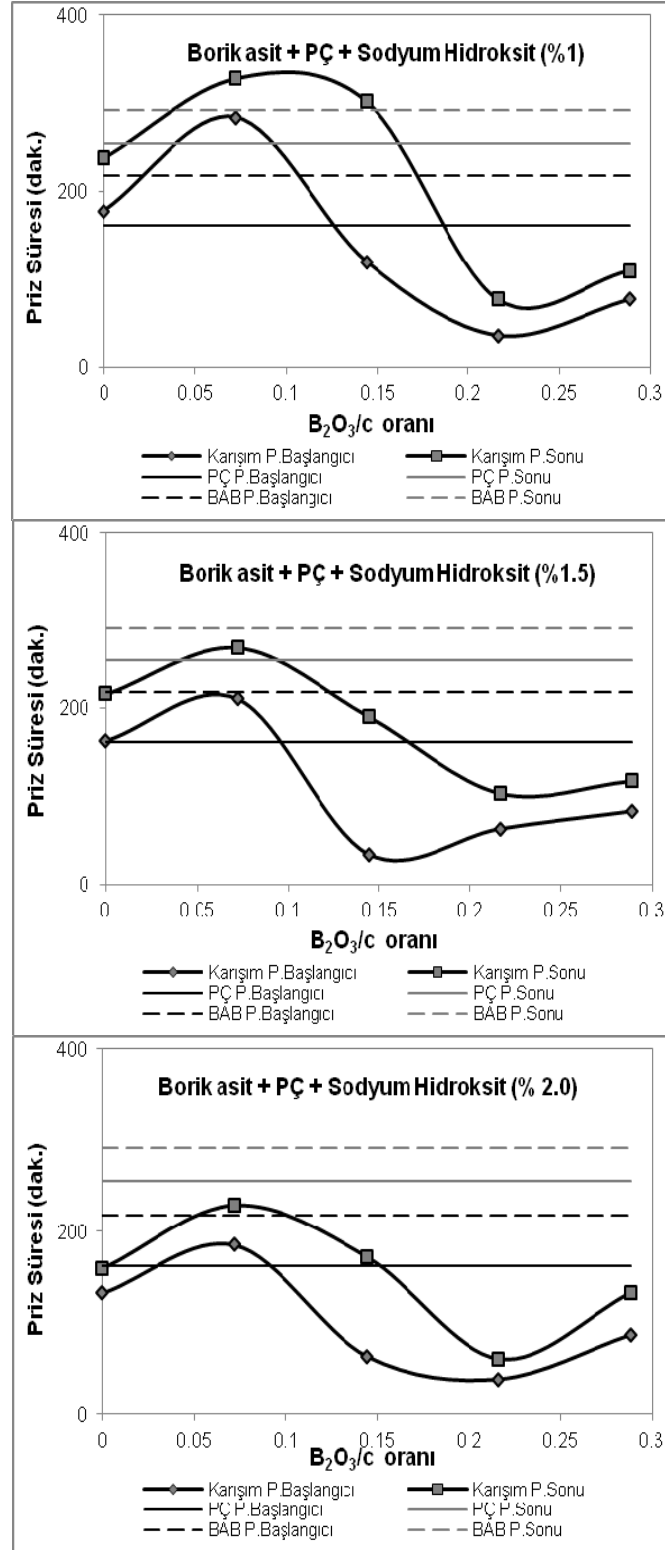
Şekil 1. BA ilave edilmiş Portland ve kalsiyum alüminat çimento harçlarının  $B_2O_3/c$  oranına bağlı priz başlama ve priz sonu sürelerinin değişimi



Şekil 2. %1, %1.5 ve %2.0 oranlarında SA ilave edilmiş BA katkılı PÇ harçlarının B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/c oranına bağlı priz başlama ve priz sonu sürelerinin değişimi



Şekil 3. %1, %1.5 ve %2.0 oranlarında KK ilave edilmiş BA katkılı PÇ harçlarının B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/c oranına bağlı priz başlama ve priz sonu sürelerinin değişimi



Şekil 4. %1, %1.5 ve %2.0 oranlarında SH ilave edilmiş BA katkılı PÇ harçlarının B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/c oranına bağlı priz başlama ve priz sonu sürelerinin değişimi

Ayrıca, her bir grafikte harç örnekleri priz başlama ve priz sonu sürelerinin PÇ ve BAB kontrol örnekleri ile karşılaştırması da verilmiştir (Şekil 1-4). PÇ kontrol harcı ile karşılaştırıldığında, B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/c oranı arttıkça PÇ'lu harcın priz başlama süresi de önemli derecede



artmıştır.  $B_2O_3/c = \%0.06$  oranından sonra karışımın priz başlama ve sonu süreleri BAB çimentosunun değerlerini aşmıştır. PÇ ve BAB'lu kontrol harçlarına göre, normalde KAC harç örnekleri priz başlama ve priz sonu süreleri daha uzundur. Bununla birlikte  $B_2O_3/c = 0.17-0.18$  oranlarında bu süre tüm örnekler içerisinde maksimuma ulaşmakta, ancak  $B_2O_3/c > 0.2$  oranından sonra göreceli azalma eğilimi göstermektedir. %1 SA ilave edilen BA katkılı karışımın priz süresi, PÇ kontrol örneğine yakın BAB örneğinden ise daha kısadır. SA oranı arttıkça tüm  $B_2O_3/c$  oranlarında priz başlama ve priz sonu süreleri azalmakta, ancak bu durum karışımın işlenebilirliğine imkan tanımaktadır. KK ilave edilmiş PÇ harcında durum farklılık göstermektedir. Priz başlama ve priz sonu sürelerine hem KK ilave oranı hem de  $B_2O_3/c$  oranları önemli derecede etki etmektedir. %1 KK ilave edilen örneklerde  $B_2O_3/c < 0.07$  oranına kadar priz başlama ve priz sonu süreleri artmaktadır. Hatta bu oranlarda BAB harcının priz sürelerini de aşmaktadır. Buna karşılık  $B_2O_3/c > 0.07$  oranlarında priz süreleri beklenenin aksine belirgin bir şekilde düşmektedir. Daha yüksek KK oranlarında ise priz süreleri hızla azalmaktadır. Bununla birlikte %1.5 KK oranı için  $B_2O_3/c > 0.17-0.18$ , %2.0 KK oranı için de  $B_2O_3/c > 0.1$  oranlarında işlenebilirliğin güçleştiği görülmektedir. SH katkısı içinde durum KK'e benzer olmakla birlikte işlenebilirliğin güçleştiği aralıklar % 1 ve % 2 SH için  $B_2O_3/c = 0.20 - 0.25$  oranları olarak belirlenmiş, % 1.5 SH oranı için böyle bir kısıtlama gözlenmemiştir.

## 5. Sonuçlar

Bu çalışma, özellikle PÇ kontrol harçlarına en yakın işlenebilirlik özelliklerinde, mümkün olan en yüksek  $B_2O_3/c$  oranına sahip harç karışım tasarımlarının elde edilmesine yöneliktir. Böylece  $B_2O_3$ 'ten beklenen teknolojik yararın priz gecikmesi ve dayanım problemleri çözümüne katkı sağlaması amaçlanmıştır.

Çalışmada dört farklı (0.07, 0.15, 0.22 ve 0.30)  $B_2O_3/c$  oranı kullanılmıştır. Borik asidin priz gecikme etkisini bastırabilmek için de, stabilizör olarak üç farklı kimyasal katkı maddesi denenmiştir. Öncelikle harç örneklerinin priz başlama ve priz sonu süreleri ölçümlenmiştir. Kontrol harçlarında priz başlama ve priz sonu süreleri PÇ için 162-255 dak, BAB için 218-292 dak ve KAC için 353-407 dak'dır. BA ilave edilen KAC örneklerinde priz başlama ve priz sonu süreleri 2-4 kat artmıştır. Stabilizör içermeyen PÇ örneklerinde ise  $B_2O_3/c = 0.3$  oranı için priz başlangıcı süresi 2 kat, priz sonu süresi ise 3 kat artmıştır. Stabilizör kullanılan harçlarda  $B_2O_3/c = 0.3$  oranı için, KK kullanılan harçlarda priz başlama süresi 40 dak priz sonu süresi ise 80 dak civarındadır. SH kullanılan harçlarda bu süreler ortalama 80-130 dak olarak ölçülmüştür. SA kullanılan harçlarda ise priz başlama ve priz sonu süreleri ortalama 140-240 dak'dır. KAC örneklerinde ortamda anyon ve katyon yetersizliği nedeniyle  $CBH_6$  oluşumu, çimento partikülleri üzerine çökmesi ve yeniden çözünmesi döngüsü oldukça uzun bir süreçte gerçekleşmektedir. Bu nedenle bor bileşikleri KAC'sunun priz süresini PÇ'na göre çok daha fazla geciktirmektedir.

Sonuç olarak bu çalışmada seçilen en yüksek  $B_2O_3/c$  (0.3) oranı için priz başlama ve priz sonu süreleri dikkate alındığında, kontrol PÇ örneklerine en yakın işlenebilirlik özelliklerini SA stabilizörü sağlamıştır.

**Kaynaklar**

- Bell S., Coveney P.V. (1998). Molecular modelling of mechanism of action of borate retarders on hydrating cement at high temperature. *Molecular Simulation*, Informa Ltd., pp. 331– 356, U.K.
- Kula I., Olgun A., Sevinc V., Erdogan Y. (2002). .An investigation on the use of tincal ore waste, fly ash and coal bottom ash as Portland cement replacement materials. *Cem. Concr. Res.* 32, pp. 227– 232.
- Targan Ş., Olgun A., Erdoğan Y., Sevinç V. (2003). Influence of natural pozzolan, colemanite ore waste, bottom ash, and fly ash on the properties of Portland cement. *Cem. Concr. Res.* 33, pp. 1175-1182,
- Sağlık A., Sümer O., Tunç E., Kocabeyler M.F., Çelik R.S. (2009). Boron modified active belite (BAB) cement and its applicability for DSI projects. *DSI technical bulletin Vol.105*, Ankara.
- Volkman D.E., Bussolini P.L. (1992). Comparison of fine particle colemanite and boron frit in concrete for time-strength relationship. *JTE*, Vol. 20, Issue 1, USA.
- Demir D., Keleş G. (2006). Radiation transmission of concrete including boron waste for 59.54 and 80.99 keV gamma rays. *NIM-B 245*, p. 501-504.
- BOREN. Bor ve çimento. [http://www.eie.gov.tr/duyurular/EV/EV\\_etkinlik/2008\\_bildiriler/04-OTURUM\\_ve ve\\_AR-GE/0403.pdf](http://www.eie.gov.tr/duyurular/EV/EV_etkinlik/2008_bildiriler/04-OTURUM_ve_ve_AR-GE/0403.pdf)
- Çelik A.G. (2008). Selülozik izolasyon malzemesi ve uygulama alanları. 27. Enerji Verimliliği Haftası Konferansı ve Fuarı, Ankara.
- Taylor, H.F.W. (1997). *Cement chemistry (2<sup>nd</sup> Edition)*”. Thomas Telford publishing, London.
- Conner, J.R. (1990). *Chemical fixation and solidification of hazardous waste*. Van Nostrand Reinhold, N.Y.
- Davraz M. (2010). The effect of boron compound on the properties of cementitious composites. *Science and Engineering of Composite Materials*, Volume 17, No 1, 1-17.
- TS EN 196-3 (2003). Çimento Deneysel Metotları Bölüm 3: Priz süresi ve Hacim Genleşmesi Tayini, TSE, Ankara.