

# Bor Türevi Bileşikler İçeren Bazı Yapı Malzemelerinin Radyasyon Tutuculuk Özellikleri\*

Aykut Doğan<sup>1</sup>

## Özet

Bu çalışmada nükleer enerji santralleri, nükleer araştırma reaktörleri, parçacık hızlandırıcıları ve tıbbi kurumlardaki nükleer tesislerde koruma kalkanı olarak kullanılacak beton, alçı ve epoksi kaplama ile çalışılmıştır.

Beton, alçı ve epoksi kaplamaya küçük miktarlarda dolgu olarak ilave edilen bor türevi ürün  $\text{NaB}_5\text{O}_8 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  (Sodyum Pentaborat Pentahidrat) radyasyon tutuculuğu bakımından analiz edilmiştir.

Betonda ortaya çıkan ve daha önceden tahmin edilen bazı olumsuzluklara rağmen birtakım önlemlerle bu olumsuzluklar minimize edilebilmekte, en azından beton kullanılabilir hâle gelebilmektedir.

Hızlı sertleşen türde bir alçı kullanarak meydana gelebilecek problemler ise hemen hemen ortadan kaldırılabilmiştir.

Epoksi kaplamada ise kürlenme esnasında bir problem gözlemlenmemiştir, ancak epoksi numuneler rulo yapılabilecek kadar elastik olmuş, zaman içinde ise oldukça gevrek bir yapıya dönüşmüştür.

Radyasyon ölçümlerinde Çekmece Nükleer Araştırma Enstitüsünün cihazları kullanılmış ve tamamen tahribatsız yöntemler denenmiştir.

Ölçüm sonuçları  $\text{NaB}_5\text{O}_8 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 'ın gama ışınlarından korunmada kuvvetli bir çözüm olabileceğini göstermiş, her 3 yapı malzemesi için de önemli ve etkili sonuçlar elde edilmiştir.

## Radiation Retention Abilities of Certain Construction Materials Containing Boron-Derived Compounds

In this study, concrete, plaster and epoxy coating which can be used as a shielding agent in nuclear power plants, nuclear research reactors, particle accelerators and nuclear plants in medicinal institutions was worked with.

The radiation retention abilities were analyzed of the boron-derivative product  $\text{NaB}_5\text{O}_8 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  (Sodium Pentaborate Pentahydrate) which is added in small amounts as a sealant agent to concrete, plaster and epoxy coating.

Despite certain negative effects which can be observed in the concrete that can be predicted beforehand, these negative effects can be minimized by taking certain precautions, by doing so at least the concrete becomes usable in the end.

The problems which can occur when a fast hardening type of plaster is used, were more or less eradicated.

## 1. GİRİŞ

Geçmişte birtakım bor bileşikleriyle yapılan çalışmalardan bu ürünlerin çimentonun hidratasyon süresini önemli ölçüde uzattığı bilinmektedir. Örnek olarak borik asit, boraks gibi bu bileşikler tıpkı şeker ve bazı fosfat bileşikler gibi geciktirici özellikte davranmaktadır. Bu konuda yapılan Taylor, H.F.W. (1997); Conner, J.R. (1990); Volkman D.E., Bussolini P.L. (1992); Pehlivanoğlu H.E., Davraz M., Kılınçarslan Ş. (2013) gibi pek çok çalışmada konu detaylı incelenmiştir, ancak özellikle bor türevi ürünlerin çimentonun hidratasyon süresine olan bu geciktirici etkisi henüz tam anlamıyla ortadan kaldırılamamıştır. Buna rağmen bu çalışmada yine bir bor türevi ürünün kullanılmasının ana hedefi radyasyon tutuculuğunu ortaya çıkarabilmektir. Kullanılan beton, alçı ve epoksi ürünlerde beklenen sertleşme gecikmesi ana amaç radyasyon tutuculuğu olduğu için derinlemesine incelenmemiş, sadece

gözlem seviyesinde tutulmuştur.

Pehlivanoğlu, Davraz ve Kılınçarslan ortak çalışmasında bor türevi ürünlerin çimento hidratasyonuna etki mekanizması şöyle özetlenmektedir:

Hidratasyon reaksiyonu esnasında CaO ve su tepkimeye girerek kireç oluşturur. Bu durum henüz sulu olan ortamın hızlı alkali hâle gelmesine neden olur. Ortamda ( $\text{Ca}^{2+}$ ) kalsiyum katyonları ve ( $\text{OH}^-$ ) hidroksil anyonlarının konsantrasyonu artar ve borik asit  $\text{B}(\text{OH})_3$  hızla çözünür. Çözünen  $\text{B}(\text{OH})_3$  ortamda bulunan ( $\text{OH}^-$ ) ile kolayca reaksiyona girerek  $\text{B}(\text{OH})_4^-$  bileşiğini

1. İnş. Yük. Müh., aykutdogan61@gmail.com

(\*) Türkiye Hazır Beton Birliği tarafından düzenlenen Beton İstanbul 2017 Hazır Beton Kongresi'nde sunulmuştur.

oluşturur. Bu bileşik de daha sonra ortamdaki  $Ca^{2+}$  Kalsiyum katyonları ile tepkimeye girerek di kalsiyum borat  $CBH_6$  daha açık yazımı ile  $Ca[B(OH)_4]_2 \cdot 2H_2O$  bileşiğini oluşturur. Bu bileşik de ortamda kullanıldığı miktara bağlı olarak çimento tanelerinin üzerine çökerek su ile temasını keser ve hidrasyonu ya tamamen durdurur ya da önemli ölçüde yavaşlatır.

Bu esnada hidrasyonun bir sonucu olarak sodyum oksit ( $Na_2O$ ) ve potasyum oksit ( $K_2O$ ) gibi alkali bileşikler ortaya çıktığında buna paralel olarak hidroksil ( $OH^-$ ) anyonları da artar, ortam yeniden alkali özellik kazanır. Bunun sonucunda  $CBH_6$  kristalleri yeniden çözünür, hidrasyon yeniden başlar. Ortamda su bulunduğu sürece bu döngü kendini tekrar eder, ancak çimento tanelerinin kristal oluşturma özelliği zayıflar. Bu döngünün tekrarı hidrasyon süresinin uzaması ve daha zayıf bir çimento matrisi demektir (Davraz, M. 2010).

Sodyum Pentaborat Pentahidrat da ( $NaB_5O_8 \cdot 5H_2O$ ) suda çok kolay eriyebildiği için bu çalışmada kullanılan beton numunelerde oluşan gecikmenin de yukarıda özetlenen döngüye benzer bir durumun sonucunda oluştuğu düşünülmektedir. Bu çalışmada kullanılan betonda oluşan gecikme neredeyse 7 gün sürmüştür, kalıptan alınabilme ise 14 günde gerçekleşmiştir. 28 günden sonra bile numuneler gerçek anlamda bir beton kadar sertleşmemiştir.

## 2. KULLANILAN MALZEMELER

### Beton:

Bu çalışmada bor türevi ürün olarak granül formdaki Sodyum Pentaborat Pentahidrat ( $NaB_5O_8 \cdot 5H_2O$ ) kullanılmıştır. Elek analizi aşağıdaki gibidir:

Elek Çapı ( $\mu$ )	% Geçen
500	91,2
400	82,0
288	75,4
197	60,1
100	44,1
75	33,2
32	1,2
Kap	0,0

**Tablo 1:** Sodyum pentaborat pentahidrat elek analizi

Kullanılan çimento CEM I 42.5 R türü bir çimentodur. Agregata kireç taşı esaslıdır. Sodyum Pentaborat Pentahidrat çimento ya oranla %10 kullanılmıştır. Ayrıca akışkanlaştırıcı olarak polikarboksilat esaslı bir hiper akışkanlaştırıcı katkı çimentonun ağırlıkça %1'i oranında bileşime ilave edilmiştir. Hazırlanan beton plakalar deneyde kullanılacak olan ekipmana uygunluk açısından  $15cm \times 15cm \times 2cm$  boyutlarında hazırlanmıştır. Kullanılan betonun bileşimi aşağıdaki gibidir:

BETON BİLEŞİMİ ( $1m^3$ )	
Çimento	450 kg
Su	160,5 kg
I No micir (5-12)	810 kg
0-5 mm kırma kum	945 kg
Sodyum Pentaborat	45 kg
Sodyum Alüminat (%2)	9 kg
Akışkanlaştırıcı (%1)	4,5 kg
TOPLAM	2424 kg

**Tablo 2:** Beton bileşimi

Betonda 2 cm kalınlık için  $cm^2$  başına 0,09 gr Sodyum Pentaborat Pentahidrat düşmektedir.

Bundan başka beton numunelerde bir gecikme yaşanacağı bilindiği için hidrasyon reaksiyonunun gelişebilmesine yardımcı olabilmek açısından bileşime çimento ya göre ağırlıkça %2 oranında Sodyum Alüminat eklenmiştir. Bunun faydası deney numuneleri hazırlanırken görülmüş, Sodyum Alüminat kullanmadan dökülen numuneler sertleşmiş gibi görünse de kalıptan alırken kolaylıkla kırılmış ve bütünlüklerini kaybetmiştir.

### Alçı:

Hızlı sertleşen tipte bir sıva alçısı kullanılmıştır. Hazırlanan numuneler yine radyasyon ölçüm ekipmanı deney düzeneği gereği  $15cm \times 15cm \times 1cm$  ölçülerinde hazırlanmıştır. Hazırlanan alçı karışımına her bir numune için 33,75 gr Sodyum Pentaborat Pentahidrat ilave edilmiştir. Bu  $cm^2$  başına 0,15 gr etmektedir. Sertleşme süresi beton örnekler kadar uzun olmamış, numuneler 3 gün sonra kalıptan alınabilmiştir. Bu durum alçı ortamında çimento gibi hidrasyon reaksiyonu olmaması ile açıklanabilir, ancak yine de 3 gün gibi bir sertleşme gecikmesi yaşanmıştır.

### Epoksi:

Çalışmada kullanılan epoksi 2 bileşenli bir zemin kaplama malzemesidir. Karışım hazırlanırken kullanılan dolgu malzemesinin bir bölümü Sodyum Pentaborat Pentahidrat olarak ikame edilmiştir. Burada Sodyum Pentaborat Pentahidrat kullanımı  $0,15gr/cm^2$  olarak belirlenmiştir. Yine radyasyon ölçüm ekip-

During the epoxy coating, no problems were observed during the curing process. However, the epoxy samples were stretchy enough to be used by rollers, however after a certain amount of time had passed, their form turned into a more brittle one.

During the radiation measurements, the instruments from the Çekmece Nükleer Araştırma Enstitüsü (Çekmece Nuclear Research Institution) were used and completely non-destructive methods were practiced.

The result of these measurements show that  $NaB_5O_8 \cdot 5H_2O$  can be a potent solution for protection against gamma rays, significant and effective results were obtained for all 3 construction materials.

manı gereği hazırlanan epoksi numuneler 15cm\*15cm boyutlarında ama kalınlıkları 4mm olarak ayarlanmıştır. Epoksi numuneler normal olarak ertesi gün sertleşmiş ve kalıptan alınabilmektedir, ancak sert görünmelerine ve çizilmemelerine karşın nerdeyse rulo formuna getirilebilecek kadar esnek bir yapıya sahip olmuştur fakat yaklaşık 2 ay kadar sonra tam kürlenmelerini tamamladıklarında ilk günlerdekine oranla çok daha rijit ve kırılğan forma gelmiş, başlangıçtaki elastikiyetlerini tamamen kaybetmiştir.

### 3. RADYASYON TUTUCULUK DENEY SONUÇLARI

Radyasyon tutuculuk testleri T.C. Türkiye Atom Enerjisi Kurumu Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezinde yapılmıştır. Radyasyon kaynağı olarak Kobalt-60 (Co-60), Sezyum-137 (Cs-137) ve (RQR8 ve RQR10) radyasyon kalitesinde X ışını ve standart dozimetre olarak PTW UNIDOS E T10008#081049 + 32005 # 61 (30 cc) kullanılmıştır.

Kobalt 60 (Co-60) ve Sezyum 137 (Cs-137) radyoaktif maddeleri Gama ışınımı için kullanılmıştır.

Kullanılan numuneler ise epoksi olarak 3,5-5 mm et kalınlığında 15 cm\*15 cm boyutlarında 4 adet, alçı olarak 11 mm et kalınlığında 15 cm\*15 cm boyutlarında 3 adet, beton olarak 20 mm et kalınlığında 15 cm\*15 cm boyutlarında 3 adet numune kullanılmıştır.

Numunelerin radyasyon tutuculuk testi, 100 cm kaynak-iyon odası mesafesinde ve standart dozimetre kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Numuneler ardışık yerleştirmek suretiyle ölçümlenmiştir. Deney sonuçları tablo ve grafikler hâlinde aşağıda verilmiştir.

**Tablo 3:** Epoksi numunelerin radyasyon tutuculuk sonuçları (%)

EPOKSİ Numuneler Radyasyon Tutuculuk %'si				
X Işınımı için Radyasyon Kalitesi RQR8 (100 kV 10 mA)	1	1+2	1+2+3	1+2+3+4
Radyasyon Kalitesi RQR10 (150 kV 10 mA)	32,86	54,46	65,49	75,63
Co-60 radyoaktif kaynağı	16,54	37,78	50,82	61,49
Cs-137 Radyoaktif Kaynağı	2,79	5,56	8,38	10,34
	1,62	3,99	6,50	9,26

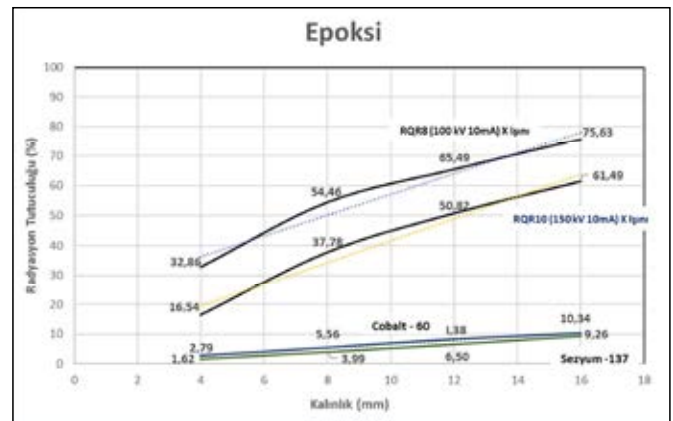
**Tablo 4:** Alçı numunelerin radyasyon tutuculuk sonuçları (%)

ALÇI Numuneler Radyasyon Tutuculuk %'si				
X Işınımı için Radyasyon Kalitesi RQR8 (100 kV 10 mA)	1	1+2	1+2+3	1+2+3+4
Radyasyon Kalitesi RQR10 (150 kV 10 mA)	59,04	76,71	85,50	
Co-60 radyoaktif kaynağı	41,81	61,13	72,80	
Cs-137 Radyoaktif Kaynağı	5,30	10,60	15,91	
	4,22	8,93	13,75	

**Tablo 5:** Beton numunelerin radyasyon tutuculuk sonuçları (%)

BETON Numuneler Radyasyon Tutuculuk %'si				
X Işınımı için Radyasyon Kalitesi RQR8 (100 kV 10 mA)	1	1+2	1+2+3	1+2+3+4
Radyasyon Kalitesi RQR10 (150 kV 10 mA)	90,80	97,70	99,30	
Co-60 radyoaktif kaynağı	80,32	93,01	97,10	
Cs-137 Radyoaktif Kaynağı	19,57	35,03	48,39	
	16,85	33,12	47,04	

Tablo ve şekillerden görüldüğü gibi Epoksi malzeme X ışınlarını 16 mm kalınlığa sahip olduğunda X ışınlarını %60 seviyesinde azaltabilmiştir. Elbette pratikte bu kalınlıkta epoksi uygulama olmayacaktır, ancak 4 mm kalınlıkta iken bile X ışınlarını %16,5 seviyesinde azaltabilmiştir. Sodyum Pentaborat Pentahidratın radyasyonu engellemeye olan katkısı burada kendini göstermektedir.

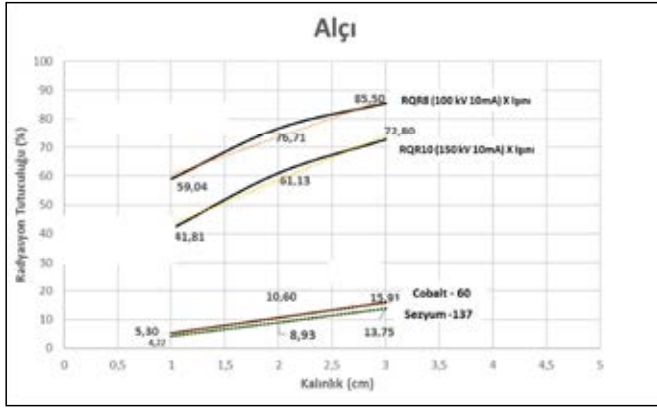


**Şekil 1.** Epoksi numunelerin radyasyon tutuculuk grafiği

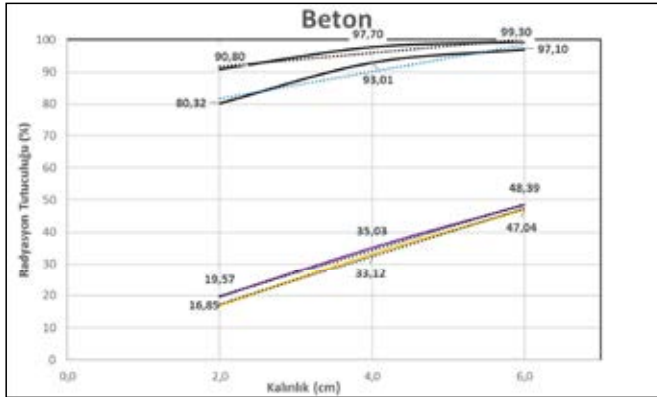
Radyasyon etkisi kuvvetli olan Sezyum-137 gibi gama ışınımı yayan kaynaklara karşı epoksi malzemenin kalınlığı yeterli olmamakta, radyasyon tutuculuğu gösterse bile buradaki fayda miktarı pratik kullanımlar için çok küçük kalmaktadır.

Alçı malzeme X ışınlarına karşı oldukça başarılı olmuştur. 3 cm kalınlıkta %72,8 oranında X ışınlarını durdurabilmiş, Kobalt-60'da %15,9, Sezyum-137'de %13,75 oranında gama ışınımını azaltabilmiştir.

Beton örnekler ise 6 cm kalınlıkta X ışınımını %97,1 oranında durdurmuştur. Sezyum-137 gibi kuvvetli bir gama ışınımı yayan kaynağın radyasyonunu bile %47 oranında durdurmayı başarmıştır. 6 cm kalınlık için bu önemli bir başarıdır. Buradan Sodyum Pentaborat Pentahidrat'ın betonda daha kolaylıkla ve daha verimli olarak kullanılabileceği anlaşılmaktadır.



Şekil 2: Alçı numunelerin radyasyon tutuculuk grafiği



Şekil 3: Beton numunelerin radyasyon tutuculuk grafiği

#### 4. SONUÇLAR

- Çalışmada daha derinlemesine incelenmesi gereken pek çok soru işareti kaldığı bilinmektedir. Üniversitelerin bu konuları araştırması ve bir sonuca ulaşması içtenlikle beklenmektedir.
- Özellikle betonda yaşanan priz sorununun aşılması ile ilgili yapılması gereken çalışmanın bu konuda öncelik ve ivedilik taşıdığına inanılmaktadır.

- Alçı malzemenin radyasyon tutuculuk kabiliyetinin azımsanmayacak derecede önemli olduğu gözlemlenmiştir.
- Beton ve alçı malzemeler radyasyon tutuculuğu açısından güncel hayatta, yapı sektöründe verimli olarak kullanılabilir görünmektedir.
- Aynı çalışmanın kapsamının genişletilerek nötron tutuculuğu açısından da detaylı olarak gerçekleştirilmesi önemlidir.

#### Kaynaklar

- 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.
- 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
- Pehlivanoğlu, H.E., Davraz M., Kılıncarslan Ş. (2013) SDÜ International Technologic Science, Vol. 5, No 3, December 2013
- Davraz, M. (2010) "The Effect of Boron Compound on the Properties of Cementitious Composites". Science and Engineering of Composite Materials, Vol. 17, No 1,
- Nuccetelli, C., Bolzan, C., Grisanti, G., and Risica, S., "Building Materials as a Source of Gamma Radiation and Radon Concentration: Tests and Improvement of Experimental Methods". Physics Laboratory, National Institute of Health, Viale Regina Elena 299, 00161 Rome, Italy, and Fellow of the Physics Laboratory, National Institute of Health
- Harold, O., Wyckoff and Robert J. Kennedy, "Concrete as a Protective Barrier for Gamma Rays from Radium", U. S. Department of Commerce National Bureau of Standards, Research Paper RP1983 Volume 42, May 1949
- Stankovica, S.J., Ilica, R.D., Jankovicb, K., Bojovicb, D., and Lončarc, B., "Gamma Radiation Absorption Characteristics of Concrete with Components of Different Type Materials", Selected papers presented at the Eleventh Annual Conference of the Materials Research Society of Serbia, YUCOMAT 2009
- Mohamad Pauzi Ismail, Noor Azreen Masenwat, Suhairy Sani, Abdul Bakhri Muhammad, Mohd Kamal Shah Shamsuddin and Rahmad Abd Rashid, "Concrete Mix Design for X-and Gamma Shielding", NDT group, Nuclear Malaysia
- T.C. Türkiye Atom Enerjisi Kurumu Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi, Malzeme Radyasyon Tutuculuğu Test Raporu, Sayı: 83073876-330.99-32068, 2015