

**ENERJİ AYRIMLI X-IŞINI FLÖRESANS
SPEKTROMETRESİYLE
KESTELEK BOR ATIĞI VE BORAKS İLE
KATKILANDIRILAN ÇEŞİTLİ YAPI
MALZEMELERİNİN TRANSMİSYON
KATSAYILARININ ÖLÇÜLMESİ**

Betül CANIMKURBEY

**Yüksek Lisans Tezi
Fizik Anabilim Dalı
Prof. Dr. Salih Z. ERZENEÖĞLU
2012
Her Hakkı Saklıdır**

**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ENERJİ AYRIMLI X-IŞINI FLÖRESANS SPEKTROMETRESİYLE
KESTELEK BOR ATIĞI VE BORAKS İLE KATKILANDIRILAN ÇEŞİTLİ
YAPI MALZEMELERİNİN TRANSMİSYON KATSAYILARININ
ÖLÇÜLMESİ**

Betül CANIMKURBEY

FİZİK ANABİLİM DALI

**ERZURUM
2012**

Her Hakkı Saklıdır



**T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



TEZ ONAY FORMU

**ENERJİ AYRIMLI X-IŞINI FLÖRESANS SPEKTROMETRESİ İLE KESTELEK BOR
ATIĞI VE BORAX İLE KATKILANDIRILAN ÇEŞİTLİ YAPI MALZEMELERİNİN
TRANSMİSYON KATSAYILARININ ÖLÇÜLMESİ**

Prof. Dr. Salih Z. ERZENEÖĞLU danışmanlığında, Betül CANIMKURBEY tarafından hazırlanan bu çalışma ..20../07../2012 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Fizik Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak **oybirliği/oy çokluğu (.../...)** ile kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Salih Z. ERZENEÖĞLU İmza :

Üye : Prof. Dr. Yusuf FAHİNİ İmza :

Üye : Yrd. Doç. Dr. Hakkı ŞAKİROĞLU İmza :

Yukarıdaki sonucu onaylıyorum

Prof. Dr. İhsan EFEOĞLU
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ENERJİ AYRIMLI X-IŞINI FLÖRESANS SPEKTROMETRESİYLE KESTELEK BOR ATIĞI VE BORAKS İLE KATKILANDIRILAN ÇEŞİTLİ YAPI MALZEMELERİNİN TRANSMİSYON KATSAYILARININ ÖLÇÜLMESİ

Betül CANIMKURBEY

Atatürk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Salih Z. ERZENE OĞLU

Bu çalışmada enerji ayrımlı X-ışını flöresans spektrometresi kullanılarak çeşitli yapı malzemeleri ile birlikte farklı oranlarda bor ve şlam katkılandırılarak hazırlanan numunelerin transmisyon katsayıları deneysel olarak ölçülmüştür. Spektrumlar Si(Li) dedektörle Camberra DSA-1000 spektrum analizörü kullanılarak elde edilmiştir. Si(Li) dedektörünün enerji rezolüsyonu 5,9 keV’de 160 eV’tur. Deneyde Am-241 radyoaktif nokta kaynağının yayınladığı 59,5 keV’lik fotonlar kullanılmış ve bu fotonlar için numuneli ve numunesiz ölçüler alınmıştır.

2012, 49 sayfa

Anahtar Kelimeler: Enerji ayrımlı X-ışını flöresans spektrometre, transmisyon, bor, şlam, soğurma, yapı malzemeleri.

ABSTRACT

Ms Thesis

MEASUREMENT OF THE TRANSMISSION FACTOR OF VARIOUS CONSTRUCTION MATERIAL MIXED WITH KESTELEK BORAN WASTE AND BORAX WITH ENERGY DISPERSIVE X-RAY FLUORESCENCE SPECTROMETER

Betül CANIMKURBEY

Atatürk University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Physics

Supervisor: Prof. Dr. Salih Z. ERZENEÖĞLU

In this paper, we measured the experimental transmission coefficient of samples that prepared as mixed with different ratio of borax and slime together with various construction material by using energy dispersive X-ray fluorescence spectrometer(EDXRFS). Spectra obtained by using Si(Li) dedector with camberra DSA-1000 spectrum analyzer. Energy resolution of Si(Li) dedector is 160 eV at 5.9 keV. In experiment, we used 59.5 keV photon radiated from the radioactive point source and for this photons, we got measurements with sample and without sample.

2012, 49 Sayfa

Keywords: Energy dispersive X-ray fluorescence spectrometer, transmission, borax, slime, attenuation, construction materials.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum bu çalışma Atatürk Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümünde yapılmıştır. Bu çalışmanın planlanması ve yürütülmesinde tecrübelerini ve kıymetli bilgilerini esirgemeyen çok değerli hocam Sayın Prof. Dr. Salih Z. ERZENEÖĞLU'na en içten şükranlarımı arz ederim.

Çalışmalarım için gerekli izin konusunda her türlü kolaylığı sağlayan Amasya Üniversitesi Rektörü Sayın Prof. Dr. Metin ORBAY'a, Fen-Edebiyat Fakültesi Dekanı Sayın Prof. Dr. A. Duran TÜRKOĞLU'na ve Fizik Bölümü Başkanı Sayın Yrd. Doç. Serpil ERYILMAZ'a,

Numunelerin temininde Kestelek Bor Başmühendisliği Kimya Mühendisi Tuncay BİRCAN'a, AKÇİM madencilik ve çimento san. A.Ş'ye,

Teşvik ve desteklerinden dolayı Aileme, Sayın Prof. Dr. Yusuf ŞAHİN'e ve Arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Betül CANIMKURBEY

Temmuz 2012

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER	4
2.1. Bor	4
2.1.1. Rafine bor ürünleri	5
2.1.2. Ham bor ürünleri	6
2.1.2.a. Boraks (Tinkal) ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$).....	7
2.1.2.b. Kernit (Razorit) ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$).....	8
2.1.2.c. Üleksit ($\text{NaCaB}_5\text{O}_9 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$).....	8
2.1.2.d. Probertit ($\text{NaCaB}_5\text{O}_9 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)	8
2.1.2.e. Kolemanit ($\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$).....	8
2.1.2.f. Hidroborasit ($\text{CaMgB}_6\text{O}_{11} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$).....	9
2.1.2.g. Pandemit (Priseit) ($\text{Ca}_4\text{B}_4\text{O}_{19} \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)	9
2.2. Bor Mineral Rezervleri.....	9
2.3. Bor Ürünlerinin Başlıca Kullanım Alanları	10
2.3.1. Cam sanayi	10
2.3.2. Seramik sanayi	11
2.3.3. Temizleme ve beyazlatma sanayi.....	11
2.3.4. Yanmayı önleyici maddeler.....	12
2.3.5. Tarım	12
2.3.6. Metalurji sanayi.....	12
2.3.7. Nükleer sanayi.....	13
2.3.8. Tıp	13

2.3.9. Diğer kullanım alanları	13
2.4. Dünya Bor Stratejisi ve Borun Türkiye İçin Önemi.....	14
2.5. Dünya ve Türkiye’de Bor Ticareti	16
2.6. Bor Üretiminden Kaynaklanan Çevre Sorunları	17
2.7. Bor Atıklarının Değerlendirilmesi ve Çevreye Etkileri	18
2.8. Bor Atıklarının Değerlendirilme Yöntemleri	19
2.8.1. Atıklardan borun tekrar kazanılması	19
2.8.2. Atıkların uygun sektörde kullanılması	20
2.8.3. Atıkların uygun bir şekilde depolanması.....	20
2.9. Çimento	20
2.9.1. Çimentonun bileşenleri.....	21
2.9.1.a. Çimentonun başlıca elemanları	21
2.9.1.b. Çimentolarda bulunan diğer maddeler	22
2.9.2. Çimento üretimi.....	22
2.10. Alçı	23
2.11. Uçucu Kül.....	24
2.12. Şlam.....	25
2.13. Elektromagnetik Radyasyonun Soğurulması	25
2.13.1. Lineer azaltma katsayısı	26
2.13.2. Kütle azaltma katsayısı.....	27
2.13.3. Molar azaltma katsayısı.....	27
2.13.4. Elektronik azaltma katsayısı.....	27
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	28
3.1. Enerji Ayrımlı X- Işını Spektrometre.....	28
3.1.1. Si(Li) dedektörün çalışma prensibi	28
3.1.2. Analizör	31
3.1.3. Yüksek voltaj kaynağı	32
3.1.4. Ön yükseltici.....	32
3.1.5. Yükseltici.....	33
3.1.6. Analog sayısal dönüştürücü (ADC)	33
3.1.7. Çok kanallı analizör (MCA).....	33

3.2. Deney Geometrisi ve Deneyin Yapılışı.....	34
3.3. Numunelerin Hazırlanması.....	35
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	36
4.1. Transmisyon Faktörünün Deneysel Olarak Hesaplanması	36
5. TARTIŞMA ve SONUÇ.....	45
KAYNAKLAR	48
ÖZGEÇMİŞ	50

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

BDT	Eski S.S.C.B
DPT	Devlet Planlama Teşkilatı
EDXRF	Enerji Ayrımlı X-ışını Floresans Spektrometresi
US	United States
XRF	X- Işını Floresans
WDXRF	Dalgaboyu Ayrımlı X- ışını Floresans Spektrometresi
M	Elementin Atomik Kütlesi
N_0	Avagadro Sayısı
x	Numune Kalınlığı
ρ	Numune Yoğunluğu
μ	Lineer Soğurma Katsayısı
μ_k	Kütle Soğurma Katsayısı
μ_a	Atomik Soğurma Katsayısı
μ_{mol}	Molar Soğurma Katsayısı

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Bir Si(Li) katıhal dedektörünün şematik gösterimi.	30
Şekil 3.2. Si(Li) dedektörde X-ışını dedeksiyon işlemi.	31
Şekil 3.3. Sayma sistemi (EDXRF).	32
Şekil 3.4. Deney geometrisi.	34
Şekil 4.1. Fayans yapıştırıcı ile katkılandırılmış boraks için transmisyon faktörünün konsantrasyona göre değişimi.	37
Şekil 4.2. Kil ile katkılandırılmış boraks için transmisyon faktörünün konsantrasyona göre değişimi.	37
Şekil 4.3. Saten alçı ile katkılandırılmış boraks için transmisyon faktörünün konsantrasyona göre değişimi.	38
Şekil 4.4. 28 günlük karakteristik basınç dayanımı 32,5 MPa olan çimento ile katkılandırılmış boraks için transmisyon faktörünün konsantrasyona göre değişimi.	38
Şekil 4.5. 28 günlük karakteristik basınç dayanımı 42,5 MPa olan çimento ile katkılandırılmış boraks için transmisyon faktörünün konsantrasyona göre değişimi.	39
Şekil 4.6. 28 günlük karakteristik basınç dayanımı 52,5 MPa olan çimento ile katkılandırılmış boraks için transmisyon faktörünün konsantrasyona göre değişimi.	39
Şekil 4.7. Derz dolgu ile katkılandırılmış boraks için transmisyon faktörünün konsantrasyona göre değişimi.	40
Şekil 4.8. Uçucu kül ile katkılandırılmış boraks için transmisyon faktörünün konsantrasyona göre değişimi.	40
Şekil 4.9. Derz dolgu ile katkılandırılmış şlam için transmisyon faktörünün konsantrasyona göre değişimi.	41
Şekil 4.10. Fayans yapıştırıcı ile katkılandırılmış şlam için transmisyon faktörünün konsantrasyona göre değişimi.	41

Şekil 4.11. Kil ile katkılandırılmış şlam için transmisyon faktörünün konsantrasyona göre değişimi.	42
Şekil 4.12. Saten alçı ile katkılandırılmış şlam için transmisyon faktörünün konsantrasyona göre değişimi.	42
Şekil 4.13. Uçucu kül ile katkılandırılmış şlam için transmisyon faktörünün konsantrasyona göre değişimi.	43
Şekil 4.14. 28 günlük basıç dayanımı 32,5 MPa olan çimento ile katkılandırılmış şlam için transmisyon faktörünün konsantrasyona göre değişimi.	43
Şekil 4.15. 28 günlük basıç dayanımı 42,5 MPa olan çimento ile katkılandırılmış şlam için transmisyon faktörünün konsantrasyona göre değişimi.	44
Şekil 4.16. 28 günlük karakteristik basınç dayanımı 52,5 MPa olan çimento ile katkılandırılmış şlam için transmisyon faktörünün konsantrasyona göre değişimi.	44

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Bor elementinin fiziksel özellikleri	4
Çizelge 2.2. Ticari boyutta dünyada üretilen rafine bor ürünleri	6
Çizelge 2.3. Ham bor elementinin bulundukları yerler ve mineral yapısı.	7
Çizelge 2.4. Dünya bor rezervleri ve kaynakları (milyon ton, B ₂ O ₃ bazda)	15
Çizelge 2.5. Eti Holding A.Ş.'ye bağlı işletmeler ve bor rezervleri (milyon ton).	16
Çizelge 2.6. Eti Holding A.Ş.'ye bağlı işletmeler ve kapasiteler.....	16
Çizelge 2.7. Dünya bor satışları (Özel bor kimyasalları hariç)	17

1. GİRİŞ

Günümüzde radyasyonun zararlı etkilerinin önlenmesi, çevre kirliliğinin önüne geçilmesi, atıkların geri dönüşümü, hayati öneme sahip su kaynaklarının korunması için devletler, üniversiteler, vakıflar, gönüllü ve profesyonel inisiyatifler ve sosyal sorumluluk projeleri yoğun çalışmalar yürütmektedirler. Yaşam kalitesinin temel öğelerinden olan çevrenin ve doğanın korunması, sınırlı kaynakların sınırsız ihtiyaçlara cevap verebilecek şekilde kullanılması, sürdürülebilirlik, yeşil enerji, ekolojik denge ve karbon ayak izi gibi kavramların yeni üretim ve tüketim proseslerinde temel paradigma olarak kabul edilmesi gibi güncel konular üzerine global ve lokal düzeyde çalışıldığını görmekteyiz.

Dünya bor madenlerinin yaklaşık %64'ü Türkiye'de bulunmaktadır. Bu anlamda Türkiye, ABD'den sonra dünyada ikinci ülkedir. Tek başına dünya bor ihtiyacını 250 yıl karşılayabilecek olan Türkiye, ABD'den sonra dünyanın en büyük bor üreticisi konumundadır. 1997 yılı dünya toplam doğal bor, doğal sodyum boratlar ve konsantre bor ihraç miktarı 945.294,5 ton olarak gerçekleşmiştir. Türkiye 900.000 tonluk ihraç miktarı ile ham bor ihracatında dünyada %95'in üzerinde bir paya sahiptir. 160.000 ton/yıl üretim kapasitesine sahip olan Kestelek Bor Başmühendisliği, yılda 90.000 ton cevher işleyebilmektedir ve sadece bu tesisten yılda 30.000 ton atık çıkmaktadır. Göz ardı edilemeyecek derecede ortaya çıkan bu atık ya tesislerin yakınındaki sahalarda, atık toplama havuzlarında biriktirilmekte ya da göllere ve nehirlere boşaltılmaktadır. Bu atıklar bor içeriğine bağlı olarak stoklama maliyeti, çevre kirliliği ve atıkların stoklanmasından doğan bazı sorunlara yol açmaktadır. Bor atıklarının geri kazanılması ve değerlendirilmesiyle birlikte yukarıda zikredilen sorunlar giderilip yeni ürünlerin ve kullanım alanlarının ortaya çıkması sağlanacaktır.

20.yy'ın petrolü olarak isimlendirilen bor İnşaat-Çimento sektöründe, cam elyafı, ahşap koruma, nükleer uygulamalar, metalurji, otomobil hava yastıkları, antifriz, sağlık, füze/uçuş yakıtları, atık temizleme, borlu katı yakıtlar/hücre yakıtları/(Fuel Cells), enerji üretimi ve ısı depolama, manyetik cihazlar, fiber optik ve daha birçok alanda kullanılmaktadır.

Elektromanyetik radyasyonun madde ile etkileşmesi teorik ve deneysel çalışmaların önemli bir konusu olmuştur. Son yıllarda özellikle bor ihtiva eden numunelerle radyasyonun etkileşmesi birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir. Bu çalışmalardan bazıları şöyledir: Khanna *et al.* (1996) 662 keV'de bazı ağır metal oksit borat camlarda gama ışını azaltma katsayılarını ölçmüşlerdir. İçelli vd (2003) bazı bor bileşiklerinin (H_3BO_3 , $Na_2B_4O_7$ ve $B_3Al_2O_3$) X-ışını transmisyon faktörlerini ölçmüşlerdir. Muramatsu *et al.* (1999) B_2O_3 'ün bor K eşiğinde uyarma enerjisine bağlı fotoelektron spektrumunu ve hem bor K hem de oksijen K eşiğinde uyarma enerjisine bağlı X-ışını yayınlama spektrumlarını ölçmüşlerdir. İçelli vd (2004) farklı konsantrasyonlardaki borik asitin (H_3BO_3) artan konsantrasyon yüzdesine göre kütle azaltma katsayılarını deneysel olarak ölçmüşlerdir. Çalışmada yüksek ayırma güçlü (5,96 keV'de yarı maksimumdaki tam genişliği 160 eV olan) bir Si(Li) dedektör kullanılmıştır. Bazı araştırmacılar (Ölmez vd 1989; Shiao *et al.* 1989; Erdoğan vd 1998 Singh *et al.* 1999; Özkul vd 2000; Boncukçuoğlu vd 2002; Boncukçuoğlu vd 2002a) çimento, kireç ve kum ile bor atıklarının stabilizasyonunu, bor atıklarından bor'un elde edilmesini ve katı bor atıklarının kaldırılmasını çalışmışlardır. Boncukçuoğlu vd (2005) TSW'li (Trommel Sieve Waste) modifiye çimento ve Portland çimentosunun mekanik özelliklerini ve radyoaktif geçirgenliklerini farklı elementlerin karakteristik K X-ışını enerjilerinde karşılaştırmışlardır. İçelli vd (2008) bor bileşikleri ve TSW'nin etkin atom numaraları, moleküler, atomik, elektronik tesir kesitlerini kolime edilmiş dar şua transmisyon metodu kullanılarak 15,74–40,96 keV enerji aralığında belirlemişlerdir. Sonuçları karışım kuralına dayanan teorik değerlerle karşılaştırmışlardır. Aygün vd (2008) Am-241 ve Ba-133 nokta kaynakları kullanılarak, seramik yapıştırıcı ve derz dolguda TSW'nin sogurma ve saçılma katsayıları incelenmiştir. Kurudirek vd (2010) farklı oranlardaki TSW, Portland çimento, kireç, derz dolgulu numunelerin kimyasal

kompozisyonu hakkında bilgi elde etmek için dalgaboyu ayrımlı X-ışını floresans spektrometre ile (WDXRFS) analizlerini yapmışlar ve 22,1 keV, 25 ve 88 keV’de foton etkileşme tesir kesitlerini hesaplamışlardır. Durak vd (1997) Ge(Li) spektrometrelerde tabii background ölçümelerini yapmışlardır. Bu çalışmada 20-1000 keV aralığında enerji spektrumunda 20 çizgi gözlenmiştir. Sanchez-Ramos *et al.* (2000) dalgaboyu ayrımlı X-ışını floresans tekniğiyle farklı kompozisyonlardaki seramik fritlerde, borakslı hammaddelerde ve seramik materyallerde borun belirlenmesi için bir metot geliştirmeyi amaçlamışlardır.

Bu çalışmada EDXRFS ile elde edilen soğurma spektrumları kullanılarak boraks ve şlam ile katkılandırılan çeşitli yapı malzemeleri için (alçı, fayans yapıştırıcı, derz dolgu, kil, uçucu kül) transmisyon katsayıları tayin edilmiştir.

2. KURAMSAL TEMELLER

2.1. Bor

Periyodik tablonun üçüncü grubunun başında bulunan ve atom numarası 5 olan bor elementi, yeryüzünde yaygın olarak bulunan bir elementtir. Bor toprakta kayada veya suda bulunabilir. Topraktaki bor içeriği genelde ortalama 10-20 ppm olmakla birlikte ABD'nin batı bölgeleri ve Akdeniz'den Kazakistan'a kadar uzanan yörede yüksek konsantrasyonlarda bulunur. Deniz suyunda 0,5- 9,6 ppm, tatlı sularda ise 0,01- 1,5 ppm aralığındadır. Yüksek konsantrasyonda ve ekonomik boyutlardaki bor yatakları, borun oksijen ile bağlanmış bileşikler olarak daha çok Türkiye ve ABD'nin kurak, volkanik ve hidrotermal aktivitesinin yüksek olduğu bölgelerde bulunmaktadır (DPT 1994). Bor elementinin fiziksel özellikleri Çizelge 2.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 2.1. Bor elementinin fiziksel özellikleri (Boren 2006).

Özellikler	
Atom ağırlığı	10,811
Erime noktası	2300 °C
Kaynama noktası	4002 °C
Yoğunluk	2,34 g/cc (300 K)
Fiziksel Durumu	(20°C & 1 atm) katı
Molar Hacmi	4,68 cm ³ mol

Tarihte ilk olarak 400 yıl önce Babilliler Uzak Doğu'dan boraks ithal etmiş ve bunu altın işletmeciliğinde de kullanmışlardır. Mısırlıların ise boru, mumyalamada, tıpta ve metalürji uygulamalarında kullandıkları bilinmektedir. İlk boraks kaynağı Tibet Gölleri'nden elde edilmiştir. Boraks, develere bağlanan torbalarda Himalayalar'dan Hindistan'a getirilmiştir. Eski Yunanlılar ve Romalılar boratları temizlik malzemesi

olarak kullanmıştır. İlaç olarak ilk kez Arap doktorlar tarafından M.S. 875 yılında kullanılmıştır. Borik asit 1700’lü yılların başında borakstan yapılmış, 1800’lü yılların başında ise Fransız kimyacı Gay- Lussac ile Baron Louis Thenard ve bağımsız olarak İngiliz kimyacı Sir Humprey Davy tarafından elementer bor elde edilmiştir (Moseman 1994).

Bor elementinin kimyasal özellikleri morfolojisine ve tane büyüklüğüne bağlıdır. Mikron ebatındaki amorf bor kolaylıkla ve bazen şiddetli olarak reaksiyona girerken kristal bor kolay reaksiyona girmez. Bor yüksek sıcaklıkta su ile reaksiyona girerek borik asit ve diğer ürünleri oluşturur. Mineral asitleri ile reaksiyonu, konsantrasyona ve sıcaklığa bağlı olarak yavaş veya patlama şeklinde olabilir. Ana ürün olarak borik asit oluşur (DPT 1995). Doğada 200’ün üzerinde bor içeren mineral olmasına rağmen, ticari olarak en önemlileri tinkal (boraks), kolemanit, üleksit ve kernittir. Bor minerallerinden, ticari öneme sahip kimyasal bileşikler üretilir ki bunlar rafine bor ürünleri adını alır (Etimaden 2006). Ayrıca üçüncü bir grubu oluşturan bor bileşikleri vardır ki bunlar özel bor ürünleri adını alır. Bunlar elementel bor, bor karbür, bor nitrür, bor halidler, inorganik boratlar, floroboratlar, borik asit esterleri, borhidrürler ve bor-azot bileşikleridir (Boren 2006).

2.1.1. Rafine bor ürünleri

Rafine bor ürünlerinin kullanım alanları olarak cam ve cam elyafı, sabun ve deterjan, seramik, yangın geciktirici gereçler, tarım, nükleer uygulamalar, metalürji, ilaç ve kozmetik, elektronik, bilgisayar, sanayi dalları söylenebilir. Ticari boyutta dünyada üretilen rafine bor ürünleri Çizelge 2.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 2.2. Ticari boyutta dünyada üretilen rafine bor ürünleri (Kılıç 2004).

Ürün adı	Formülü	B ₂ O ₃ (%)
Boraks penhidrat	Na ₂ B ₄ O ₇ .5H ₂ O	47,8
Boraks dekahidrat	Na ₂ B ₄ O ₇ .10H ₂ O	36,5
Susuz boraks	Na ₂ B ₄ O ₇	69,3
Borik asit	H ₃ BO ₃	56,5
Susuz borik asit	B ₂ O ₃	100,0
Sodyum perborat	NaBO ₃ .4H ₂ O	22,0
Sodyum metaborat	Na ₂ B ₂ O ₄ .4H ₂ O	64,2
Sodyum oktaborat	Na ₂ B ₈ O ₁₃	81,8

2.1.2. Ham bor ürünleri

Dünyada üretilen bor cevherlerinin hemen hemen tamamı bir zenginleştirme işleminden sonra, ya parça ya da öğütülmüş konsantre halinde pazarlanır ve kullanılır. Bu tür ürünler ham bor olarak tanımlanabilmektedir. Ham bor ürünleri %90 civarında borik asit, boraks penta ve dekahidrat gibi rafine bor ürünleri üretiminde kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra, çeşitli amaçlara yönelik cam elyafı (fiberglas), borosilikat cam, nükleer uygulamalar ve metalürjide kullanılmaktadır. Özellikle, borlu çelik yapımında kolemanit; çelik üretiminde fluorit yerine üleksit ve kolemanit tercih edilmeye başlanmıştır.

Türkiye tinkal, üleksit ve kolemanit konsantreleri üretilip, dünyaya satmaktadır. Türkiye bu satışlar ile dünya konsantre satışlarının (387.000 B₂O₃) yaklaşık %80'ini karşılamaktadır. Diğer bir ifadeyle, dünya üleksit ve kolemanit konsantresi talebinin hemen hemen tamamını Türkiye karşılamaktadır ve bu satışlar ile 85- 90 milyon US \$ gelir elde edilmektedir. Ham bor ürünlerinin mineral yapısı ve bulundukları yerler Çizelge 2.3'de verilmiştir.

Çizelge 2.3. Ham bor elementinin bulundukları yerler ve mineral yapısı (DPT 1995).

Mineral	Formülü	% B ₂ O ₃	Bulunduğu yer
Boraks (Tinkal)	Na ₂ B ₄ O ₇ ·10H ₂ O	36.6	Kırka, Emet, Bigadiç, A.B.D
Kernit (Razorit)	Na ₂ B ₄ O ₇ ·H ₂ O	51.0	Kırka, A.B.D., Arjantin
Üleksit	NaCaB ₅ O ₉ ·8H ₂ O	43.0	Bigadiç, Kırka, Emet, Arjantin
Propertit	NaCaB ₅ O ₉ ·5H ₂ O	49.6	Kestelek, Emet, A.B.D
Kolemanit	Ca ₂ B ₆ O ₁₁ ·5H ₂ O	50.8	Emet, Bigadiç, Küçükler, A.B.D
Pandermit (Priseit)	Ca ₄ B ₁₀ O ₁₉ ·7H ₂ O	49.8	Sultançayır, Bigadiç
Borasil	Mg ₃ B ₇ O ₁₃ Cl	62.2	Almanya
Szaybelit	MgBO ₂ (OH)	41.4	B.D.T. (Eski S.S.C.B.)
Hidroborasit	CaMgBO ₁₁ ·6H ₂ O	50.5	Emet

2.1.2.a. Boraks (Tinkal) (Na₂B₄O₇·10H₂O)

Doğada renksiz ve saydam olarak bulunur. İçindeki çeşitli materyal karışımı ile pembe, sarımsı ve gri renklerde bulunabilir. Sertliği 2-2,5, özgül ağırlığı 1,7'dir. B₂O₃ içeriği %36,5'dir. Tinkal suyunu kaybederek kolaylıkla tinkalkonite dönüşebilir. Kille arakatkılı tinkalkonit ve üleksit ile birlikte bulunur. Ülkemizde Eskisehir-Kırka yataklarında üretilmektedir (DPT 1995).

2.1.2.b. Kernit (Razorit) ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)

Doğada renksiz, saydam, uzunlamasına, iğne şeklinde küme kristaller halinde bulunur. Sertliği 3, özgül ağırlığı $1,95 \text{ gr/cm}^3$ ve B_2O_3 içeriği %51'dir. Soğuk suda az çözünür. Kırka'da Na-borat kütlesinin alt kısımlarındadır. Dünya'da ise Arjantin ve A.B.D'de bulunur (DPT 1995).

2.1.2.c. Üleksit ($\text{NaCaB}_5\text{O}_9 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$)

Doğada masif, karnabahar şeklinde, lifsi ve sütun şeklinde bulunur. Saf olanı, beyaz rengin tonlarındadır. İpek parlaklığında olanları da vardır. Genelde kolemanit, hidroboraksit ve probertit ile birlikte teşekkül etmiştir. B_2O_3 içeriği %43'tür. Ülkemizde Kırka, Bigadiç ve Emet yörelerinde, dünyada ise Arjantin'de bulunmaktadır (DPT 1995).

2.1.2.d. Probertit ($\text{NaCaB}_5\text{O}_9 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)

Kirli beyaz, açık sarımsı renklerde olup ışınal ve lifsi şekilli kristaller şeklinde bulunur. Kristal boyutları 5 mm ile 5 cm arasında değişir. B_2O_3 içeriği %49,6'dir. Kestelek yataklarında üleksit ikincil mineral olarak gözlenir. Ancak Emet'te tekdüze tabakalı birincil olarak ve Doğanlar, İğdeköy bölgesinde kalın tabakalı olarak oluşmuştur (DPT 1995).

2.1.2.e. Kolemanit ($\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)

Monoklinik sistemde kristallenir. Sertliği 4-4,5, özgül ağırlığı 2,42'dir. B_2O_3 içeriği %50,8'dir. Suda yavaş, HCl asitte hızla çözünür. Bor bileşikleri içinde en yaygın olanıdır. Türkiye'de Emet, Bigadiç ve Kestelek yataklarında, dünyada A.B.D'de bulunur (DPT 1995).

2.1.2.f. Hidroborasit ($\text{CaMgB}_6\text{O}_{11} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)

Bir merkezden çıkan ışınsal ve iğne şeklindeki kristaller rastgele yönlenmiş ve birbirini kesen kümeler halinde bulunur. Lifsi bir dokuya sahiptir. B_2O_3 içeriği %50,5'tir. Beyaz renkte, bazen içerisindeki impüritelere bağlı olarak sarı ve kırmızımsı renklerde (arsenik içeriğine göre) kolemanit, üleksit, probertit, tunalit ile birlikte bulunur. Ülkemizde en çok Emet, Doğanlar, İğdeköy yörelerinde ve Kestelek'te oluşmuştur (DPT 1995).

2.1.2.g. Pandemit (Priseit) ($\text{Ca}_4\text{B}_4\text{O}_{19} \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)

Beyaz renkte ve yekpare olarak teşekkül etmiş olup kireç taşına benzer. Ülkemizde Sultançayırı ve Bigadiç yataklarında gözlenmektedir. B_2O_3 içeriği %49,8'dir (DPT 1995).

2.2. Bor Mineral Rezervleri

Dünya bor mineralleri rezervleri hakkında güvenilir bir rakam vermek güçtür. Fakat dünya rezervinin 1 milyar ton olduğu tahmin edilmektedir. Bilinen dünya rezervlerinin yaklaşık %80'i Türkiye ve A.B.D'de bulunmaktadır. Önem sırasına göre diğer rezervler ise B.D.T (Eski S.S.C.B.), Çin Halk Cumhuriyeti, Arjantin, Bolivya, Şili ve Peru'da toplanmıştır.

Ülkemizden sonra dünyanın bilinen en önemli bor yatakları A.B.D'nin Kaliforniya eyaletindeki Mojave Gölü'ndedir. Bu bölgedeki Kramer yatağı %75 boraks ve %25 B_2O_3 içeren cevher rezervinin 100 milyon tondan fazla olduğu bilinmektedir. Yine aynı bölgedeki Searles Gölü sodyum borat rezervlerinin 50 milyon ton olduğu tahmin edilmektedir. Ancak ne kadarının çıkarılabilir olduğu konusunda bilgi yoktur. San Bernardino şehrinin (Kaliforniya) batısında düşük tenörlü iki kolemanit yatağı daha bulunmaktadır. Bu iki yatağın %5-17 arası B_2O_3 içeren 94 milyon ton cevher rezervi olduğu düşünülmektedir.

A.B.D'nin diğer bor yatakları Death Valley bölgesinde İnyo ilindeki düşük tenörlü

bir kolemanit yatağındadır. Ayrıca, Utah'taki Büyük Tuz Gölü sularında 20-35 ppm bor bulunmaktadır. Eski Sovyetler Birliği'nin (B.D.T) magnezyum borat yatakları Hazar Denizi'nin kuzeyinde İnder yöresinde ve Baykal gölü yakınlarında bulunmaktadır. Çin'deki bor yatakları hakkında detaylı bir bilgi yoktur. En önemli yatak Tainghai yöresindedir. Kuzeybatı Arjantin'deki borat mineralleri küçük ve dağınık yataklar halindedir. En önemli yataklar Salar del Hombre Muerto havzasındaki Tincalayu'dadır. Şili, Antofagasta eyaletinin Salar de Ascaten yöresinde üleksit yataklarına sahiptir.

2.3. Bor Ürünlerinin Başlıca Kullanım Alanları

Çok geniş ve çeşitli alanlarda ticari olarak kullanılan bor mineralleri ve ürünlerinin kullanım alanları giderek artmaktadır. Üretilen bor minerallerinin %10'a yakın bir bölümü doğrudan mineral olarak tüketilirken geriye kalan kısmı bor ürünleri elde etmek için kullanılmaktadır (DPT 1995). Bor mineralleri ve ürünlerinin kullanıldığı alanlar cam sanayii, seramik sanayii, temizleme ve beyazlatma sanayii, yanmayı geciktirici maddeler, tarım, metalurji, nükleer uygulamalar şeklindedir.

A.B.D Batı Avrupa ve Japonya'da bor mineralleri ve ürünlerinin kullanım oranları farklıdır. A.B.D'de en çok tüketim fiberglas izolasyon sanayiinde olmaktadır. Batı Avrupa ise bor sabun ve deterjan sanayiinde kullanmaktadır. Japonya'da en büyük bor tüketimi tekstil ve fiberglas sanayiinde olmaktadır. Borun kullanım alanlarına ilişkin bilgiler şöyledir:

2.3.1. Cam sanayi

Günümüzde üretilen borun %40'ı cam ve fiberglas sanayiinde tüketilmektedir. Her türlü yalıttımdan bilişim sektörüne kadar çok çeşitli alanlarda, farklı amaçlar için kullanılan cam elyafın (fiberglas) temel hammaddelerinden birini bor oluşturur. Cam sanayiinde yararlanılan belli başlı bor özellikleri şöyledir: (Miçillioğlu 2010)

- Hammaddenin erime noktasını düşürür.
- Erimiş ortamın viskozitesini düşürür.
- Camın termal genleşme katsayısını düşürür.
- Camın kırılma indisini büyütür.
- Camın saydamlığını ve parlaklığını artırır.
- Kristalleşme eğilimini düşürür.
- Liflerin dayanıklılığını ve neme karşı direncini artırır.

Çeşitli metaller ile giydirilmiş fiberglas türleri; mikroçiplerde, fiber optik kablolarda, yarı iletken elemanların üretiminde ve buna benzer birçok elektronik parçanın üretiminde kullanıldığı gibi, diğer bor türevleri de elektronik sanayinde kullanılmaktadır (Acarkan 2002).

2.3.2. Seramik sanayi

Bor, özellikle seramiklerin sırlanmasında ve emaye sanayiinde kullanılır. Bu sektör Türkiye'nin en çok bor tükettiği alanlardan birini oluşturmaktadır. Seramik sanayinde borun sırrın kıvamlılığını ve yüzey gerilimini düşürmesi, parlaklığı ve saydamlığı artırması gibi özelliklerinden yararlanılır (Acarkan 2002).

2.3.3. Temizleme ve beyazlatma sanayi

Dünya bor tüketiminin yaklaşık %20'si sabun, deterjan gibi temizlik ürünleri üretimine yöneliktir. Bu sanayide yararlanılan başlıca bor özellikleri güçlü bir beyazlatıcı olması, lekeleri çözmesi, pH'yı dengelemesi, suyu yumuşatması, yağları parçalaması, aktif oksijeni dengelemesi ve antibakteriyel olmasıdır. Bu özellikler sayesinde çok az yıpratır; renklerini soldurmaz. Düşük sıcaklıkta bile etkin sonuç verir. Çamaşırın yıkanma süresini düşürür. Su tüketimini azaltır. Makinalardaki çeliğin aşınmasını ve matlaşmasını azaltır. Deterjanların %20-25'ini sodyum perborat oluşturur (Acarkan 2002).

2.3.4. Yanmayı önleyici maddeler

Borlu bileşikler, biyolojik zararlılara karşı yüksek etkinlikleri, suyla çözünerek kolayca uygulanabilmeleri, oduna difüzyon yetenekleri, ucuz ve temini kolay olması, memelilere karşı ihmal edilebilecek derecede düşük zehirlilik etkileri ve yanmaya karşı ahşabın direncini önemli ölçüde artırmaları nedeniyle yanmayı önleyici maddeler alanında güncellik kazanmışlardır (Williams 1980; Murphy 1990; Arthur *et al.* 1992; Thevenon *et al.* 1997; Yalınkılıç vd 1997). Bununla birlikte dış ortamda yağmur etkisiyle kolayca odundan yıkanmaları nedeniyle kullanımları yalnızca iç mekanlarda sınırlı kalmıştır (Hafizoğlu vd 1994; Yalınkılıç 2000).

2.3.5. Tarım

Borun tarım ürünleri üzerinde zıt yönlü etkisi vardır. Çok az miktarda bor bitkilerin gelişmesine yardım eder. Bu nedenle gübrelere katılır. Fakat, borun fazlası bitkiler üzerine öldürücü etki yapar. Bu özellikten yararlanılarak, yabancı otlar ile mücadelede kullanılmaktadır (Acarkan 2002).

2.3.6. Metalurji sanayi

Borun metalurjide faydalanan özellikleri erime sıcaklığını düşürmesi, cürufun akışkanlığını azaltması, çeliği sertleştirmesidir. Aynı zamanda fırın tuğlalarının aşınmasını azaltır. Demir-çelik hammaddelerinin erime sıcaklığını düşürmek suretiyle kullanılan enerjide tasarruf sağlar. Bor türevlerinin kendisinin ya da çelik ile alaşımlarının yüksek sertliğinden dolayı aşındırıcı ve kesici aletlerde kullanılır. Son dönemlerde manyetik ayırıcılarda kullanılmasıyla devrim yaratan, sürekli yüksek manyetik alan şiddeti oluşturan magnetlerin içinde nadir metallere ilaveten bor da bulunmaktadır. Bor, kaplama sanayiinde kullanılan elektrolitlerin yapımında ve lehimleme işlemlerinde de kullanılmaktadır (Acarkan 2002).

2.3.7. Nükleer sanayi

B10 ve B11 izotopların nötron absorblama tesiri kesidi yüksek olduğu için bor izotopları nükleer reaksiyonların denetlenmesine katkıda bulunur. Bazı tip güç reaktörlerinde fazla reaktiviteyi önlemek için soğutma suyuna borik asit eklenir. Nükleer reaktörlerde kullanılan kontrol çubukları %2 bor içeren çelik ve alüminyum alaşımından elde edilmektedir (Miçillioğlu 2010).

2.3.8. Tıp

Bor ürünleri kemoterapi sonrası radyoaktif maddelerin insanlar üzerindeki etkisini azaltmak üzere kullanılmakta olup birçok ülkede mineral takviyesi amacıyla insanlar için bor tabletleri üretilmeye başlanmıştır. Bor, insanlarda beyin gelişiminden kemik gelişimine, menopozdan alerjiye ve metabolizmaya kadar birçok işlevinden dolayı günlük olarak vücuda alınması gereken elementlerden birisidir. İnsanlar tarafından günlük alınan bor miktarı 1,2 mg/gün olarak tahmin edilir. Global düzeydeki içme sularında kabul edilen bor seviyesi ise 0,1-0,3 mg/l arasındaır. Yetişkin insanların, güvenilir şekilde alabileceği bor miktarı ise 1-13 mg/gün olarak kabul edilmektedir. Borların insan ve hayvanlarda kansorejen etkisi ise bulunmamaktadır (Acarkan 2002).

2.3.9. Diğer kullanım alanları

Ahşap malzeme prezervasyonu için sodyum oktaborat kullanılmaktadır. %30'luk sodyum oktaborat çözeltisi ile muamele görmüş tahta malzeme yavaş yavaş kurutulursa bozunmadan ve küllenmeden uzun süre kullanılabilmesi mümkündür. Araçların soğutma sistemlerinde korozyonu engellemek üzere boraks, antifiriz karışımına katkı maddesi olarak da kullanılır. Tekstil sanayiinde, nişastalı yapıştırıcıların viskozitelerinin düzenlenmesinde, proteinlerin ayrıştırılmasında yardımcı madde, dericilikte kireç çöktürücü madde olarak boraks kullanılır. Borun gelecekte önemli miktarda kullanılabileceği bir üretim dalı da çimento sanayiidir (Miçillioğlu 2010).

2.4. Dünya Bor Stratejisi ve Borun Türkiye İçin Önemi

Dünyada bor ürünlerine olan talep ve kullanım alanları her geçen gün artış göstermektedir. Başta Türkiye olmak üzere önemli bor rezervlerine sahip ülkeler daha fazla ekonomik getiri sağlayacak şekilde teknolojilerini ilerletmelidirler. Çünkü bor minerallerinden ülke ekonomisine daha fazla katkı sağlanabilir.

Dünyadaki gelişen teknoloji ile artan enerji gereksiniminin karşılanmasında karbon içerikli yakıtlara alternatif olarak daha temiz ve güvenli enerji sistemleri üzerinde yapılan çalışmalardan borlu yakıt sistemleri ilk sıradadır. Şu ana kadar ki çalışmalarla büyük bir ilerleme kaydedilmiştir.

Dünya bor piyasasının yıllık cirosu yaklaşık 1,2 milyar Amerikan Dolarıdır. Dünya bor rezervinin %64'üne sahip Türkiye'nin mevcut rezervleri 250 yıllık ömre sahiptir ve Türkiye'nin borlardan sağladığı yıllık gelir, ortalama 225 milyon ABD dolarıdır. Oysaki, cam elyaf, tekstil tipi cam elyaf, keçeler, kompozit malzemeler, fiber optikler, iletişim malzemeleri, roket yakıtı, PVC sanayii, zımpara, kozmetik, çelik ve nükleer endüstri gibi birçok sektörde kullanılan bor kimyasalları ve uç ürünlerin pazar büyüklüğü bu gün için 40 milyar dolardan fazladır. Borların ara ve nihai ürün olmak üzere iki ayrı pazarı vardır. İlki borların ham veya yarı mamul olarak pazarlanması, ikincisi ise bu ürünlerin işlenerek nihai ürün haline dönüştürülmesidir. Eti Holding A.Ş.'nin faaliyetini sürdürdüğü ve Türkiye'nin de içinde bulunduğu sektörün yıllık cirosu en fazla 1,2 milyar dolardır. Yapılan tüm çalışmalar bu pazardaki payının artırılması içindir. Kamulaştırmanın yapıldığı 1978'den günümüze bor konusunda yapılan çalışmalar küçümsenmeyecek boyuttadır, yinede yeterli değildir. Söz konusu bor potansiyeli ve elde edilen gelirler karşılığında, ikinci sektörle ilgili önemli ve kararlı adımların atılması gerekir.

Dünyadaki önemli bor yataklarına Türkiye, ABD ve Rusya sahiptir. Türkiye'nin bor rezervi 224 milyon ton görünür fakat 339 milyon ton olası olmak üzere toplam 563 milyon tondur. Dünya toplam bor rezervinde Türkiye'nin payı %64 olmasına rağmen

görünür rezervde %62'dir. ABD ise 40 milyon ton görünür, 40 milyon ton olası rezervle dünya toplam bor rezervinin %9'una, görünür rezervin de %11'ine sahiptir. Dünya ve Türkiye'nin bor rezervleri ve ömürleri Çizelge 2.4'de verilmektedir.

Çizelge 2.4. Dünya bor rezervleri ve kaynakları (milyon ton, B₂O₃ bazda) (Miçillioğlu 2010)

	Görünür Ekonomik Rezerv(Ton))	Muhtemel Rezevr(Ton)	Toplam Rezerv(Ton)	Toplam Rezervdeki Pay (%)	Rezerv Ömrü (Yıl)
Türkiye	224.000	339.000	563.000	64	389
ABD	40.000	40.000	80.000	9	55
Rusya	40.000	60.0000	100.000	11	69
Çin	27.000	9.000	36.000	4	25
Şili	8.000	33.000	41.000	5	28
Bolivya	4.000	15.000	19.000	2	13
Peru	4.000	18.000	22.000	2	15
Arjantin	2.000	7.000	9.000	1	6
Kazakistan	14.000	1.000	15.000	2	10
TOPLAM	363.000	522.000	885.000	100	610

Türkiye'de ham cevher ve konsantre bor prosesleri, başlıca 4 işletme tarafından yürütülür. İşletmeler, üretilen cevherler ve rafine ürünler kapasiteleriyle birlikte Çizelge 2.5 ve Çizelge 2.6'da verilmiştir.

Çizelge 2.5. Eti Holding A.Ş.'ye bağlı işletmeler ve bor rezervleri (milyon ton).

Üretim Yeri	Cevher	Rezerv	Rezerv (B ₂ O ₃ bazında)	Tenör %B ₂ O ₃
Kırda Bor İşlt.	Tinkal	604	156	26-27,5
Bigadiç Bor İşlt.	Üleksit	49	14	28-30
	Kolemanit	576	167	28-30
Emet Bor İşlt.	Kolemanit	835	225	26-28
Kestelek Bor İşlt.	Kolemanit	7,5	2	29-31
TOPLAM		2071,5	564	

Çizelge 2.6. Eti Holding A.Ş.'ye bağlı işletmeler ve kapasiteler.

KURULU KAPASİTE			
İşletme	Ürün	Ham Bor (Bin ton/yıl)	Rafine Bor (Bin ton/yıl)
Kırda Bor İşl. Md	Tinkal Konsantre	800	
	Boraks Penhidrat		320
	Boraks Penhidrat		17
	Susuz Boraks		60
Bandırma Bor ve Asit Fab. İşl. Md.	Boraks (Deka+Penta)		55
	Hidrat		
	Borik Asit		85
	Sodyum Perborat		20
Bigadiç Bor İşl. Md.	Konsantre Kolemanit	200	
	Konsantre Üleksit	200	
Emet Bor İşl. Md.	Konsantre Kolemanit	500	
Kestelek Bor İşl. Md.	Konsantre Kolemanit	100	
TOPLAM		1800	557

2.5. Dünya ve Türkiye’de Bor Ticareti

Dünya bor rezervinin %64’ünü bünyesinde bulunduran Eti Holding A.Ş. dünya bor pazarında büyük rekabet içinde olduğu ABD’nin yerleşik US Borax firması ile birlikte

stratejik bir konumda bulunmaktadır. B_2O_3 bazında 1,5 milyon ton/yıl civarında olan Dünya bor üretiminden Eti Holding A.Ş. %31,4 ve US Borax %38,9 gibi birbirine oldukça yakın paylar alırken yaklaşık 1,2 milyar US \$ /yıl olan parasal büyüklükten US borax'ın aldığı %70'lik pay, Eti Holding A.Ş.'nin %20 olan payından 3,5 kat daha fazladır. Bunun nedeni Eti Holding A.Ş.'nin 350.000 ton/yıl rafine bor ürünü satışına karşılık, US Borax'ın 1,3 milyon ton/yıl rafine ürün satışı gerçekleştirmesidir. Dünya ve Eti Holding A.Ş. bor satışları Çizelge 2.7'de görülmektedir.

Çizelge 2.7. Dünya bor satışları (Özel bor kimyasalları hariç) (Miçillioğlu 2010).

	Dünya (Milyon US \$)	Eti Holding (Milyon US \$)	Eti Holding Payı
Ham Bor	167,3	137,2	82,0
Rafine Bor Ürünleri	715,6	114,5	16,0
Sodyum Perborat	300,0	4,2	1,4
TOPLAM	1182,9	255,9	21,7

2.6. Bor Üretiminden Kaynaklanan Çevre Sorunları

Bor ürünlerinin çevreye olumsuz etkileri diğer sanayi sektörlerine oranla çok daha düşük seviyededir. Hatta, kemoterapi sonrası radyoaktif maddelerin etkisini azaltmak üzere kullanım, insana ve diğer canlılara gerekliliği nedeniyle çevre dostu sayılabilecek elementlerden biridir. Bitkilerde ve hayvanlarda eksikliği de bazı sorunlara sebep olmaktadır. Bor, ağız yoluyla alındığında düşük toksitite değerine sahiptir. Borların canlılara etkisi konusundaki araştırmaların yetersiz olmasının yanında, birçok canlının boru tolere edebilme kapasitesinin yüksek olduğu da bilinmektedir.

Borun çevreye olumsuz etkisini en aza indirmek için, bor ürünlerinin nakliyesinde

kullanılan tüm araçlar sızdırmaz, tozlaşmaya ve dökülme gibi kirlenmeye ve zayiata neden olmayacak şekilde seçilmelidir. Cevher zenginleştirme ve rafinasyon işlemleri sırasında oluşan bor içeren sıvı atıkların sızdırmaz gölet veya barajlarda depolanması, katı atıkların ise yine çevreyi kirletmeyecek şekilde muhafaza edilmesine özen gösterilmelidir. Atık barajlarında elde edilen bor atıklarının sanayide kullanımı için gerekli araştırmalar yapılmalı ve ilgili endüstri dalları ile ortak projeler geliştirilmelidir.

2.7. Bor Atıklarının Değerlendirilmesi ve Çevreye Etkileri

Cevher zenginleştirme tesislerinden çıkan atıklar genellikle ince boyutlu katı ve pülp formundadır. Çevre bilinci gelişmeden önce bu atıklar maden alanlarının yakınındaki sahalara, atık barajlarına, denizlere, göllere ve nehirlere boşalmaktaydı fakat günümüzde ise zenginleştirme tesis atıklarından yararlanma veya eğer bu mümkün değilse uygun biçimde yok etme yoluna gidilmektedir. Gelişmiş ülkeler başta olmak üzere, dünyanın bir çok ülkesinde araştırmacılar ve işletmeler bu konuda yoğun çaba göstermektedirler. Yapılan araştırmalar daha çok yapı malzemeleri üretimine, cam ve seramik endüstrilerine ham madde hazırlamayı amaçlamıştır.

Teknolojik gelişmelere bağlı olarak yeni yöntem ve ekipmanların geliştirilmesi ile cevherlerin ekonomik tenörleri aşağılara çekilmektedir ve atık konumundaki birçok depolanmış yığın da bu sayede değerlendirilmektedir. Bor atıkları bu konumda muhtemelen en önde gelen atıklardan biridir. Bu sebepten bor atıklarının depolanmasına çok önem göstermek gereklidir. Atıkların uygun bir şekilde değerlendirilmesiyle stoklamadan doğan sorunlar ve stoklama maliyeti azalacak, çevre kirliliği en aza indirgenecek, üretilen yeni ürünle ek bir kazanç elde edilecek ve atıkların yer altı ve yer üstü sularını kirletmesi önlenecektir.

2.8. Bor Atıklarının Değerlendirilme Yöntemleri

Bor atıklarının değerlendirilmesi üç şekilde olmaktadır. Bunlardan ilki atıklardan borun tekrar kazanılmasıdır. Diğer ikisi ise atıkların uygun sektörde kullanılması ve atıkların depolanmasıdır.

2.8.1. Atıklardan borun tekrar kazanılması

Genelde bor atıklarına, zenginleştirme sırasında atığa kaçan borun tekrar kazanılması amacıyla suda bekletme+sınıflandırma, gravite yöntemleri, manyetik ayırma, elektrostatik ayırma, soda liçi, çözeltme+flokülasyon, flotasyon, ısıl işlem (kalsilasyon, dekrepitasyon) ve briketleme yöntemleri uygulanmaktadır. Ayrıca son zamanlarda ses ötesi dalgaların kil uzaklaştırmadaki etkinliği ve atıklardaki borun doğrudan çözme helezonu ile kazanımı araştırılmış ve önemli sonuçlar elde edilmiştir. Atıklardaki killerin içinde ferromanyetik ve paramanyetik minerallerin bulunması durumunda sabit mıknatıs yüksek şiddetli manyetik ayırıcılar önemli bir şekilde ayırım yapabilmektedir. Bor minerallerine 400-600°C’de kristal sularını uzaklaştırması amacıyla yapılan işleme kalsinasyon (dekrepitasyon) denmektedir. Bor mineralleri kalsinasyon esnasında patlayarak ince boyutlara geçmekte kil mineralleri ise agrega haline gelmektedir. Kalsinasyon yöntemi yaş yöntemlere göre daha verimli ve ekonomiktir. Ayrıca çevre kirliliği meydana getirmemektedir. Araştırmalar bor atıkları içindeki borun kalsinasyon yöntemi ile kazanılabileceğini göstermiştir. Bor minerallerinin kalsinasyon ile zenginleştirilmesi hakkında ayrıntılı çalışmalar yapılmıştır.

İster ham cevher olsun ister konsantre olsun boratların çok ince boyutta (-0,5 mm) satışının mümkün olmaması, bunların briketleme ile boyut kazandırılmasını zorunlu hale getirmiştir. Bu amaca yönelik olarak çalışmalar yapılmış ve bu çalışmalardan çıkan ortak sonuç, tanelerin suyla veya borik asitle nemlendirilmesi ile istenen özellikte birikimler elde etmek mümkün olduğu yönündedir.

2.8.2. Atıkların uygun sektörde kullanılması

Bor minerallerinin çoğunlukla kil mineralleri içermesi, bu atıkların seramik sanayiinde değerlendirilebileceğini akla getirmektedir. Atık killerin tuğla sanayiinde değerlendirilmesi ile hem tuğla sanayiinde ek hammadde kaynağı sağlanmakta hem de işletmede atıkların atılması sırasında ortaya çıkan problemler minimuma indirilmektedir. Atık killer seramik sanayiinde, inşaat sektöründe çimento ve betona katkı malzemesi, yol, baraj ve köprü yapımında da dolgu malzemesi olarak değerlendirilebilir.

2.8.3. Atıkların uygun bir şekilde depolanması

Atıkların atık sahasında çok fazla yer kaplamaması ve çevre kirliliğinin azaltılması amacıyla preslenerek kompaktlaştırılabilir. Atıklar göletlere verilmeden önce uygun flokülasyon ve koagülasyon yöntemleriyle katı sıvı ayırımına tabi tutulur. Susuzlaştırma ile göletlerin hızlı bir şekilde dolması engellenebileceği gibi elde edilen sıvı tekrar kullanılmak üzere tesise de beslenebilecektir. Atıkların diğer sektörlerde kullanılabilmesi için de susuzlaştırma işleminin gerekliliği göz ardı edilmemelidir.

2.9. Çimento

Isaac Charles Johson 1835'te, Aspiin metodunu esas alarak pişirme sıcaklığını yükselterek yaptığı çalışmada sıcaklığın artmasıyla bağlayıcı özelliklerinin iyileştiğini gördüğü ve günümüz Portland çimentosunun üretim metodunun esasına dayanan çimento, yapıların taşıyıcı elemanlarının oluşturulmasında en çok kullanılan bağlayıcı maddedir. Isaac'ın bulmuş olduğu çimento İngiltere'nin Portland bölgesindeki taşlara benzediği için Portland çimentosu adını almıştır.

2.9.1. Çimentonun bileşenleri

Portland çimentosunun ana bileşenleri kalker ve kildir. Kalker CaCO_3 olup fırında pişirilmesi sonucu CaO denilen kireç meydana gelir. Kil ise çok karmaşık bir yapıya sahip olmakla beraber içinde fazla miktarda kaolinit bulunmaktadır.

2.9.1.a. Çimentonun başlıca elemanları

Portland çimentosunda bulunan belli başlı elemanlar kireç, silis, alümin ve demir oksittir. Kireç bağlayıcı maddelerinin en önemli elemanıdır. Portland çimentosunun %60-67'sini teşkil eder. Gerek Portland çimentosunda ve gerek diğer çimentolarda kireç, silis ve alüminle birleşerek silikatları ve alüminatları meydana getirirler. İşte bu silikatlar ve alüminatlar çimentolara bağlayıcılık özelliğini kazandırmaktadırlar.

Silis (SiO_2), doğada bol bir şekilde bulunur. Silisin normal sıcaklıkta başka maddelerle birleşme özelliği yoktur. Buna karşılık yüksek sıcaklıkta asit oksit halini alarak başka elemanlarla birleşme özelliğini kuvvetli bir şekilde kazanır. Bu özelliği sayesinde ki kireçle birleşerek silikatları meydana getirir. Bundan başka yine silis basınç altında ısıtılırsa su karşısında kireçle birleşme kabiliyeti ve silikatları meydana getirme özelliğine sahiptir. Bu özelliğinden faydalanarak silikokalker ismi ile bilinen malzeme üretilmektedir. Bu malzeme en fazla Portland tipi çimentolarda %20-%25 oranında vardır. Silis puzolan denilen bağlayıcı maddelerde de son derece önemli bir rol oynar.

Alümin(Al_2O_3), doğada renksiz halde bulunur. Saf olduğu vakit bu cisim saydamdır. Alümin 2000°C civarında erir. Belirli bir şekilde eriticilik özelliği vardır. Bunun bir sonucu olarak alüminin bulunması sayesinde silikatlar daha düşük sıcaklık derecesinde oluşabilir.

Demir oksit (Fe_2O_3), çimentolarda az miktarda bulunan bu madde kristal yapıya sahiptir. Pişirme esnasında hem kireçle hem de alüminle birleşerek Trikalسيوم

Alümina Ferrit'i oluşturur. Çimentonun gri renkte olmasının nedeni de yine demir oksittir. Bu nedenle beyaz çimentolarda bu madde bulunmamaktadır.

2.9.1.b. Çimentolarda bulunan diğer maddeler

Çimentolarda az miktarda MgO ile K_2O ve Na_2O gibi alkali oksitler bulunabilir. Bu maddeler çok az bir miktarda bulunmasına rağmen bazı durumlarda çimentonun kullanılmasını imkansız hale getirebilirler. Çimentoda ayrıca öğütülmeden önce katılmış olan jipsten dolayı az miktarda SO_3 mevcuttur. Çimentodaki SO_3 miktarı küçük bir değerde olmakla beraber bunun varlığı bazı durumlarda çimentonun kullanılmasında önemli zararlar meydana getirebilir.

2.9.2. Çimento üretimi

Portland çimentosunun ilkel maddeleri kalker ($CaCO_3$) ve kildir. Üretimin esası ilk önce bu maddeleri belirli oranlarda karıştırmak, sonra da bu karışımı fırında yüksek sıcaklıklarda pişirmeye dayanır. Kalkerin ayrışmasından CaO, kilin ayrışmasından da silis (SiO_2), alümin (Al_2O_3) ve demir oksit (Fe_2O_3) meydana gelir. Bu maddeler sıcaklığın daha büyük değerleri altında aralarında birleşerek çimentoya bağlayıcılık özelliğini kazandırarak silikatları ve alüminatları meydana getirir.

Çimentonun üretimi sırasında önce kalker ve kilin kimyasal analizi ile analiz sonunda birbirlerine karıştırılacak olan kalker ve kil miktarları saptanır. Daha sonra belirlenen oranlarda hammaddeler mümkün olduğu kadar homojen şekilde karıştırılır ve karışımlar pişirilir.

Çimento üretiminde hammaddelerin döner fırına girmeden önceki öğütülmüş haline farin denilmektedir. Homojen hale getirilmiş kil, kalker karışımı fırının üst tarafından konur. Karışım eğim dolayısıyla aşağıya doğru hareket ederek gittikçe daha yüksek sıcaklık derecesinin etkisinde kalır. Fırındaki yüksek sıcaklık fırının alt kapağından sevk edilen toz kömürün veya fuel-oil in yanması ile etki edilir. Bu yüksek sıcaklıkta ilkel

malzemeler evvela kendi aralarında ayrışır. Ayrışma sonunda kireç, silis, alümin, ve demir oksit aralarında birleşerek çimentonun karmaşık bileşenlerini yani silikatları ve alüminatları oluştururlar.

Genel olarak karışım fırının alt kısmına geldiği vakit bu maddelerin oluşumu tamamlanmıştır. Fırının altında toplanan bu pişmiş elemanlar, ki bunlara klinker denir, soğutucuya sevk edilir. Çıkan klinkerin oldukça yüksek bir hızla soğutulması gerekir. Bu amaçla hava akımı sağlayan ve kendi eksenini etrafında dönen soğutucular kullanılır. Soğutucudan çıkan klinkerin boyutu 3-25 mm arasında değişmektedir. Klinker su ile herhangi bir reaksiyon yapmaz. Bu nedenle klinkerin açık havada saklanması herhangi bir sakıncası yoktur. Klinkere, çimentonun priz süresini uzatmak için %2-4 arasında alçıtaşı ilave edilir. Klinker ve alçıtaşı çelik bilyeler kullanılarak çalıştırılan öğütücülere sevk edilerek burada öğütülür ve böylelikle boyutları 90 mikron ile 6,5 mikron arasında değişen çok ince tanelerden ibaret olan çimento elde edilir. Öğütülen çimentolar silolarda depolanır. Buralarda gerekli süre bekletilerek çimentonun soğuması ve kararlı bir durum alması sağlanır.

2.10. Alçı

Eski Mısır uygarlığının birçok yapıtında bağlayıcı madde olarak, Yunan ve Roma yapılarında duvar sıvası olarak kullanılan ve XIV. yy'da İtalya'da stucco adı altında kullanılan alçı, kalsiyum sülfatın çözünen ve çözünmeyen türlerinin karışımından oluşur. Bu madde suyun etkisiyle donup sertleştiğinden hidrolik bağlayıcılar sınıfında bir yapı malzemesidir.

Alçı, kimyasal formülü $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ olan alçıtaşının (jips) uygun sıcaklıkta (140-200°C) ortalama 163°C ısıtılarak atmosfer basıncı altında kısmi dehidratasyon işlemine uğratılıp öğütülmesi ve elenmesiyle elde edilir. Alçı yapımında kullanılan alçıtaşı (jips) çoğunlukla beyaz ve yumuşak bir mineraldir. Özgül ağırlığı 2,3 sertliği 1,5-2 arasındadır. Bilinen alçı türleri kaba (adi), birinci ekstre, şaplı (mermer), estrik alçısı, stucco alçısı, değişik tip sıva alçıları (kartonpiyer, saten, sıva alçıları v.b.)'dir.

Alçı günümüzde cam sanayii, kalıpcılık, boya, tutkal, plastik üretimi ve ecza sanayii gibi çok çeşitli alanlarda kullanılır. İnşaat sektöründe inşaat alçısı, sıva alçısı, perlitli sıva alçısı, saten perdah alçısı, makina sıva alçısı, kartonpiyer alçısı, derz dolgu alçısı gibi toz ürünlerin yanı sıra iç mekanlarda ara bölme, tavan kaplama elemanı, alçı blok elemanı olarak kullanılır (Ün 2007).

2.11. Uçucu Kül

Isınma amacıyla kullanıma imkanı olmayan düşük kalorili kömürler Termik santrallerde buhar üreten kazanları ısıtmak amacıyla çoğunlukla pulverize (öğütülmüş) halde yakılır. Termik santralin 1kWh'lık enerji üretiminde yaklaşık 110 gr kül atık madde olarak açığa çıkar. 1000MW' luk bir santralden yılda yaklaşık 650.000 ton uçucu kül ve taban külü elde edilir (Ün 2007).

Uçucu küllerin renkleri açık griden koyu griye uzanan değişikliktedir. Renginin koyuluğu açıklığı elde edildiği kömüre ve yanış özelliğine bağlıdır. Yanmanın tam olmadığı durumda rengi içindeki karbondan dolayı siyaha yakındır. Daha açık renkliler ise daha fazla demir içerenlerdir (Görhan vd 2009). Küresel şekildedir, tane çapı 1-150 μm 'dır, yoğunluğu 2,1-2,7 g/cm^3 'tür, özgül yüzeyi 1800-5000 cm^2/g 'dır. F ve C olmak üzere iki tiptir. F tipi uçucunkül yalnızca puzolanik özelliğe sahiptir. C tipi ise puzolanik ve bir miktar bağlayıcılık özelliğine sahiptir.

Uçucu külün üretimi ve karakteristikleri santral tipi, işletim biçimi, yakılan kömürün cinsi, yanma biçimi, kömür kompozisyonu, ve yakma sistemine göre değişir. Günümüzde artan enerji talepleriyle orantılı olarak termik santrallerden elde edilen ve inorganik bir atık olan uçucu kül miktarlarında artışların olması kaçınılmaz bir durumdur. Elde edilen bu atık ürünün çevre problemlerine sebep olmaması için kullanım alanları son yıllarda bilim dünyasında çalışılan konuların başında gelir fakat henüz istenilen biçimde yaygın olarak kullanılmamaktadır. Bunun önemli sebeplerinden biri termik santrallerden elde edilen uçucu küllerinin özelliklerinin homojen olmaması ve sürekli olarak değişkenlik göstermesidir (Görhan vd 2009).

2.12. Şlam

Bu çalışmada soğurma etkilerinin incelenmesinde Eti Maden A.Ş.'ye bağlı Bigadiç Bor İşletmesi Kestelek Bor Başmühendisliği'nden elde edilen şlam olarak adlandırılan atık kullanılmıştır. Kestelek Bor Başmühendisliği'nde bor cevherinin işlenmesi sırasında ortaya çıkan atık, geçirimsizliği sağlanarak atık toplama havuzlarında biriktirilmekte ve hiçbir şekilde alıcı ortama bırakılmamaktadır. Fiziksel işlemle, cevherin üzerine tazyikli su tutulmakta ve cevhere dâhil olan kil ve benzeri, cevher harici maddelerin ayrılması amaçlanmaktadır. Bu işlem sırasında bir miktar cevher de çözünerek şlama geçmektedir. Bu işlem tamamlandıktan sonra şlam, kot olarak daha aşağıda olan havuzlara akmakta ve bu şekilde biriktirilmektedir. Süspansiyon halinde bulunan bu karışımın katı kısmı bir süre sonra havuzun dibine çökmekte ve burada toplanmaktadır. Geriye kalan su ise borular yardımıyla havuzdan tahliye edilmektedir. Giren cevherin türüne göre zenginleştirilme işlemi esnasında 1/3 oranında şlam elde edilmektedir. 160,000 ton/yıl üretim kapasitesine sahip olan Kestelek Bor Başmühendisliği, yılda 90,000 ton cevher işleyebilmektedir. Bu da demek oluyor ki sadece bu tesisten yılda 30,000 ton atık çıkıyor.Şlamın elemental analizi Çizelge 2.8'da verilmiştir.

Çizelge 2.8. Şlamın elementel analizi

Numune Adı	%B ₂ O ₃	%Na ₂ O	%MgO	%Al ₂ O ₃	%SiO ₂	%SO ₃
Şlam	14,55	0,32	6,22	7,66	14,62	0,53
Numune Adı	%SO ₄	%CaO	%Fe ₂ O ₃	As ₂ O ₃	As(ppm)	%SrO
Şlam	0,64	21,48	1,63	141,00	106,82	0,33

2.13. Elektromagnetik Radyasyonun Soğurulması

Madde içine giren elektromagnetik radyasyon, madde atomunun bağlı elektronları, serbest elektronları ve çekirdeği ile etkileşirler. Elektromagnetik radyasyonun soğurulması çeşitli olaylar sonucu gözlenmekle beraber bu olayların en baskın olanları fotoelektrik olay ve çift oluşumdur. Soğurulma olayı, fotonların bir maddeden

geçerken enerjilerini ya kısmen (Compton olayı) ya da tamamen (fotoelektrik ve çift oluşumu) kaybetmesi olarak tanımlanır (Çakır 1991). Bu olayların meydana gelme ihtimaliyeti foton enerjisiyle değişir. Fotoelektrik olay 0,001MeV ile 0,5 MeV arasında oldukça etkindir. Çift oluşum olayı ise 1,02 MeV den başlar ve artan foton enerjisi ile de artış gösterir (Baştuğ 1998).

x kalınlığındaki bir maddeyi geçen γ ve X-ışını demetindeki azalmayı veren μ lineer soğurma katsayısından başka maddeye ait kütle soğurma katsayısı (μ_{ρ}), atomik soğurma katsayısı (μ_a), molar soğurma katsayısı (μ_{mol}) ve elektronik soğurma katsayısı (μ_e) olmak üzere dört farklı soğurma katsayısı daha vardır.

2.13.1. Lineer azaltma katsayısı

Monokromatik paralel bir ışın demeti belli bir kalınlıktaki maddeden geçirildiğinde, madde ve şuanın özelliğine bağlı olmaksızın fotoelektrik, Compton, koherent saçılma ve çift oluşum gibi etkileşmeler her zaman görülür. Bu etkileşmelerin oluşumu daha çok gelen fotonun enerjisiyle ilgilidir. Gelen foton enerjisi yanında hedef materyalin kalınlığı ve atom numarasının değeride meydana gelecek olaylar ve azalan foton şiddeti için önemlidir. Soğurucu materyal belli bir kalınlıktan ince olduğunda, bütün parçacıklar soğurucu materyali geçer ancak soğurucu materyal belli bir kalınlıktan daha kalın ise parçacıklar bütün enerjisini kaybeder ve soğurucu materyalden çıkamaz. Bu etkeni göz önüne almak için belli bir limit kalınlık seçimi yapılmalıdır (İçelli 2002).

I_0 şiddetindeki bir elektromagnetik radyasyon demetinin x kalınlığındaki bir maddeden geçtikten sonraki şiddeti,

$$I=I_0.e^{-\mu x} \quad (2.1)$$

ifadesiyle verilir. Burada μ lineer soğurma katsayısı olup birim kalınlık başına soğurulma olarak tanımlanır (Çakır 1991). (2.1) ifadesi Lambert-Beer kanunudur. Bu

kanun birim kalınlıktaki maddeyi geen monokromatik ıuanın iddetindeki azalmanın soğurucu materyalin kalınlığıyla üstel olarak azalacağını gösterir.

2.13.2. Kütle azaltma katsayısı

Kütle azaltma katsayısı, radyasyon enerjisinin birim kütle tarafından alınan kesrini tanımlar. Materyalin yoğunluğu ρ ($g\ cm^3$) olmak üzere kütle azaltma katsayısı,

$$\mu_k = \frac{\mu}{\rho} (cm^2\ g) \quad (2.2)$$

şeklinde verilir.

2.13.3. Molar azaltma katsayısı

Bir mol maddenin, radyasyondan aldığı enerji kesri olarak tanımlanan molar azaltma katsayısı,

$$\mu_{mol} = \mu_K M (cm^2\ mol) \quad (2.3)$$

şeklinde verilir. Burada M , elementin atomik kütlesidir.

2.13.4. Elektronik azaltma katsayısı

Radyasyonun bir elektron ile etkileşme ihtimalinin bir ölçüsü elektronik azaltma katsayısını verir ve

$$\mu_e = \mu_K \frac{M}{N_0 Z} (cm^2\ elektron) \quad (2.4)$$

şeklinde verilir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Enerji Ayrımlı X- Işını Spektrometre

XRF tekniği, dalga boyu ayrımlı X- ışını flöresans (WDXRF) ve enerji ayrımlı x- ışını flöresans (EDXRF) analizi olmak üzere iki kısımdan oluşur. Bu çalışmada yapılan ölçümler için EDXRF sistemi kullanılmıştır. Sistemin esas bileşenleri Am-241 kaynağı, Si(Li) katıhal sayacı, analog sayısal dönüştürücü (ADC), çok kanallı analizör (MCA), yüksek voltaj kaynağı, ön yükseltici, yükseltici ve diğer elektronik bileşenlerdir.

3.1.1. Si(Li) dedektörün çalışma prensibi

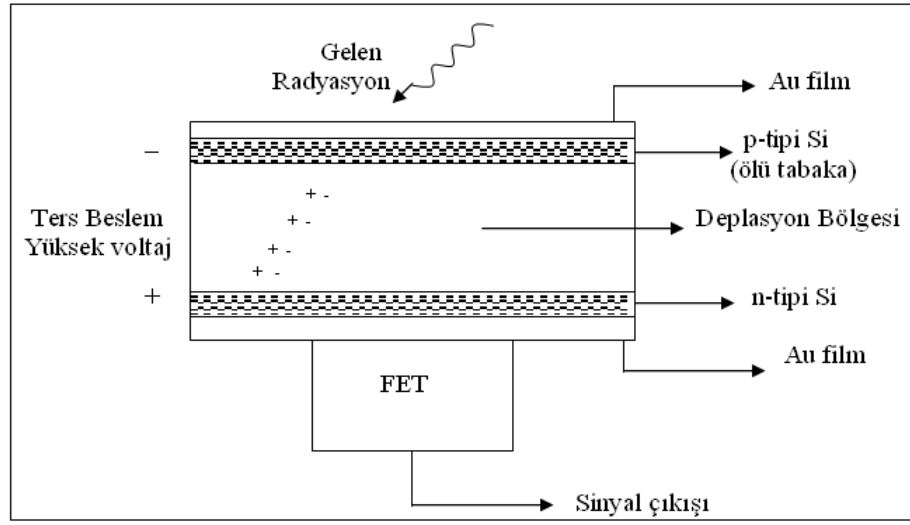
Dedektörler, γ ve X- ışını fotonlarının dedektörün aktif maddesi ile çeşitli yollarla etkileşmesi sonucu, bu fotonların enerjisini voltaj pulsuna çeviren dönüştürücülerdir. Karakteristik X-ışınlarının hem düşük enerji bölgesinde yer almalarından hem de enerjilerinin birbirlerine yakın olmasından dolayı bunların şiddetleri ölçülürken rezolüsyonu ve dedektör verimi çok iyi olan yarı iletken dedektörler tercih edilmelidir. Yarı iletkenlerin düşük sıcaklıklarda iyi bir yalıtkan davranışı göstermesinden istifade ile yapılmış olan Si(Li) sayaçlar X-ışınlarını ölçmek için yaygın olarak kullanılırlar.

Yarıiletkenlerde elektrik iletimini kontrol etmek için, az miktarda katkı maddesi ilave edilir. Katkı maddesi olarak 5 değerlik elektronlu atomlar kullanılırsa elektronlardan dördü komşu Si veya Ge ile kovalent bağ yapar ve beşinci elektron örgü içerisinde kolayca hareket edebilir. Negatif yük taşıyıcılarının fazla olduğu böyle bir yarı iletken materyale n-tipi yarı iletken denir. Eğer katkı maddesi olarak 3 değerlik elektronlu atomlardan biri kullanılırsa kristalde dört komşu atomla kovalent bağ oluşur ve pozitif yük fazlalığı meydana gelir. Pozitif yük fazlalığının olduğu böyle yarı iletken materyallere ise p-tipi yarıiletken denir. Bir sayaç kristali

yapmak için p- ve n- tipi materyaller bir kontakla bir araya getirildiğinde eklem yakınındaki elektronlar ve boşluklar birleşerek yük taşıyıcılarının nötr hale geldikleri bir bölge oluştururlar. Saymada hassas olan ve alanı $30\text{--}1000\text{ mm}^2$ olan bu bölgeye deplasyon bölgesi, hassas bölge, tüketim bölgesi veya intristik bölge adı verilir. Yüksek dirençli bu bölgeye bir ters besleme potansiyeli uygulandığında bu bölge genişleyebilir ve gelen radyasyonlar için hassas hale gelir. Ters beslem voltajı iki etkiye sahiptir. Birinci olarak deplasyon bölgesindeki elektrik alan büyüklüğünü, yük birikimini daha verimli yaparak artırır, ikinci olarak da bir tip materyalden diğerine daha fazla yük taşıyıcısını sürükleyecek bir kuvvet uygulayarak deplasyon bölgesinin boyutlarını (dolayısıyla dedektörün duyarlı hacmini) artırır. Soğurma verimliliği dedektör kalınlığı arttıkça artar. Sayım için önemli bir faktör olan geometrik verim ise dedektör alanı arttıkça artar, ancak bu rezolüsyonu azaltır.

Ge(Li) ve Si(Li) dedektörler yapılırken en çok takip edilen işlem önce p-tipi bir materyal almak ve sonra bunun yüzeyine Li atomlarını yaymaktır. Böylece n-tipi ince bir bölge oluşturulmuş olur. Ters beslem ve hafifçe artırılan sıcaklık altında Li geniş bir deplasyon bölgesi yaparak p-tipi bölgeye sürüklenir. Bu tür dedektörler Li sürüklenmiş Ge veya Li sürüklenmiş Si dedektörler olarak adlandırılırlar.

Lityum sürüklenmesiyle elde edilmiş silisyum yüzeyine elektriksel teması sağlamak için yaklaşık $200\text{\AA}$ kalınlığında altın buharlaştırılır. Bu altın filmler elektrot görevi görürler. Dedektör yüzeyinin ince p- tipi tabakası aktif değildir. Sayıma katkısı bulunmayan bu bölgeye (kristal sayacın girişinde) ölü tabaka adı verilir. Şekil 3.1’de görülen Si(Li) dedektörün en önemli iki fiziksel özelliği kalınlığı ve alanıdır. Katıhal sayacına fotonlar geldiğinde altın elektrot ve ölü tabakayı geçerek deplasyon bölgesinde Si atomlarını uyararak + ve – iyon çiftleri oluştururlar. Bu işlem sırasında fotonlar enerjilerinin büyük bir kısmını fotoelektronlara aktarırlar. Bu fotoelektronlar enerjileri bitinceye kadar yolları üzerinde elektron-hol çiftleri oluştururlar. Uygulanan ters beslem (-500V) nedeniyle meydana gelen elektrik alan elektron-hol çiftlerini toplar.



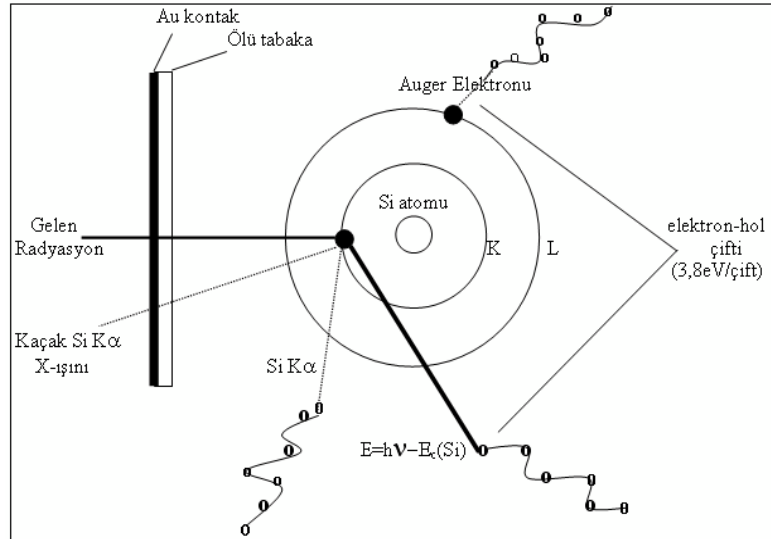
Şekil 3.1. Bir Si(Li) katıhal dedektörünün şematik gösterimi.

Ters beslem nedeniyle elektronlar n-tipi boşluklar (holler) p-tipi bölgeye yönelirler. Sonuçta dedektöre gelen foton enerjisi ile orantılı sayıda elektron–hol çifti oluşur. Sayaç maddesinin seçiminde electron-hol çifti veriminin büyük olması, yani electron-hol çifti başına düşen enerjinin küçük olması tercih edilir. Bir Si(Li) dedektörde bir elektron-hol çifti meydana getirebilmek için gerekli enerji 3,8 eV'dur. Aynı fotonun meydana getirdiği + ve – yükler çeşitli etkileşimlerden sonra tekrar birleşebilirler ki bu olaya rekombinasyon denir.

Katıhal sayaçlarında sayaç içi bir amplifikasyon olmadığından bu sayaçlarda alçak gürültü ve yüksek kazançlı ön amplifikatöre ihtiyaç vardır. Bu iş için genellikle FET (field-effect-transistör) kullanılmaktadır. FET toplanan yükü akım pulslarına dönüştürmektedir.

Kullandığımız dedektörün aktif alanı 12 mm² ve kalınlığı 3 mm'dir. Dedektör en uygun ayırma gücünü elde etmek ve gürütüyü azaltmak için sıvı azot sıcaklığında (–196°C) tutulmaktadır. Bunun için sayaç kristali ve FET (alan etkin transistor) 30 lt sıvı azot alabilecek bir kaba (dewar) yerleştirilmiştir. Dedektör dış ortamdan gelebilecek yüzey kirlenmesini önlemek için 25µm kalınlığında bir berilyum pencere ile koruma altına alınmıştır (Polat 1999). Bir Si(Li) dedektörün çalışma prensibi Şekil 3.2'de

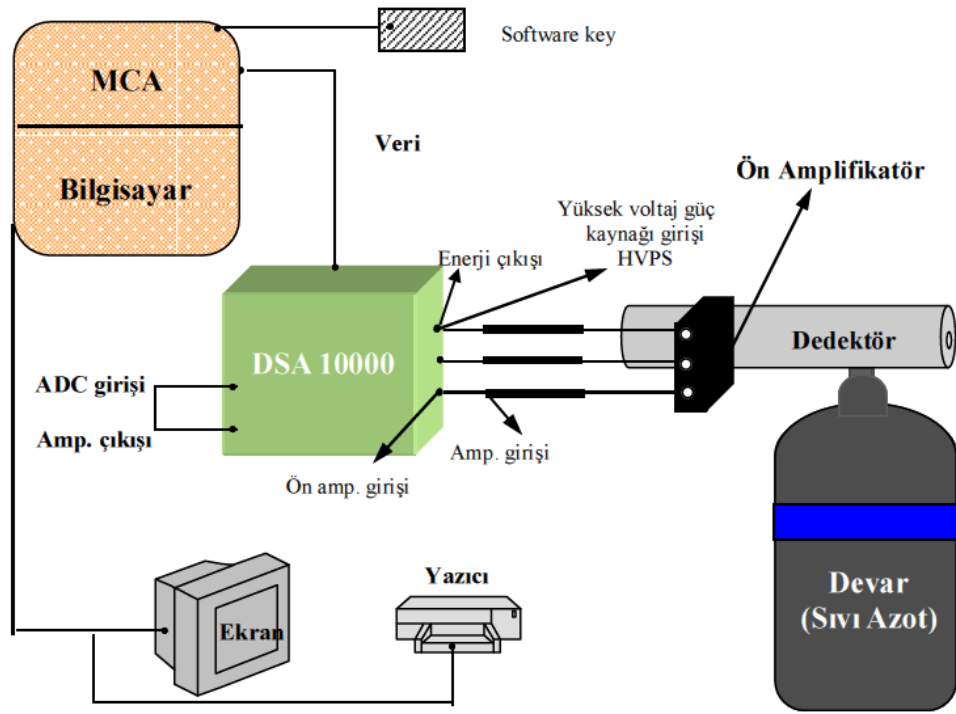
verilmiştir.



Şekil 3.2. Si(Li) dedektörde X-ışını dedeksiyon işlemi.

3.1.2. Analizör

Gelişmiş dijital sinyal proses teknikleriyle donanımlı çok kanallı bir analizör olan DSA-1000 sayma sistemi, sinyal prosesinin sonrasında sinyalleri sayısallaştıran dönüştürücü sistemlerden farklı olarak sinyal prosesinin öncesinde ön yükselticiden alınan sinyalleri sayısallaştırır. DSA-1000 bir dedektör (ön yükseltici ile birlikte), yükseltici, analog sayısal dönüştürücü (ADC), yüksek voltaj kaynağı, çok kanallı analizör (MCA) sistemin tüm birimlerini yöneten spektrumları alan ve değerlendirmede kullanılan Genie-2000 programının yüklü olduğu bir bilgisayar ile sistemin diğer birimleri arasında arayüz görevi yapan bir dalgıdan (software key) oluşmaktadır (Şekil 3.3). Yüksek voltaj güç kaynağı, amplifikatör ve ADC'nin koşulları Genie-2000 programı ile kontrol edilmektedir. Dijital sinyal proseslerinin kullanımı pulsları daha hızlı ve hassas olarak işlenmesini sağlayarak sinyal toplama performansının ve spektrum rezolüsyonunun artmasını sağlar (Han 2009).



Şekil 3.3. Sayma sistemi (EDXRF).

3.1.3. Yüksek voltaj kaynağı

Dedektörde oluşan yükleri toplamak için dedektör üzerine yüksek gerilim uygulanmalıdır. En iyi çalışma gerilimi çalışma öncesinde deneyci tarafından belirlenir ve bu gerilim küçük bir dedektör için birkaç yüz volt, büyük bir dedektör için beş bin volta kadar değişebilir (Han 2009). Çalıştığımız dedektöre uygulanabilecek maksimum gerilim -500V'dur. Fakat bu çalışma için en iyi çalışma potansiyeli -430V olarak belirlenmiştir ve çalışma süresince bu gerilim değeri uygulanmıştır.

3.1.4. Ön yükseltici

Yarı iletken dedektörler ile yüke hassas bir ön yükseltici kullanılır. Elektronik gürültüyü minimize etmek için, genellikle bir alan etkili transistör (FET) olan ön yükselticinin girişi dedektör ile birlikte sıvı azot içerisinde muhafaza edilir. Ön yükseltici dedektörden gelen yükü voltaj pulsuna dönüştürür. Ön yükselticiden çıkan pulsların

yükseklikleri veya genlikleri dedektörde toplanan yük miktarı eğer fotonun bütün enerjisi dedektörde soğurulmuş ise fotonun enerjisi ile orantılı olmalıdır.

3.1.5. Yükseltici

Bir yükselticinin ilk görevi, ön yükselticinin çıkış puls genliklerini ayırt etmek ve sayılması için uygun seviyelerine yükseltmek, ikinci görevi ise pulsları, puls genliği ve x-ışını fotonu arasındaki orantılı ilişkiyi aynen koruyarak işleme uygun bir hale getirmektir. Kullanıcı puls genişliğini belirleyen şekillendirme zamanı (shaping time) sabitinin seçimine dikkat etmelidir. Bir spektrumdaki pikler için en iyi rezolüsyon genellikle daha uzun zaman sabitiyle elde edilebilir çünkü sistem daha uzun bir zaman üzerinden gürültünün ortalamasını alabilir. Bununla birlikte, daha uzun zaman sabitleri yüklerin daha fazla rastgele toplanmasına neden olur (Debertin and Helmer 1988).

3.1.6. Analog sayısal dönüştürücü (ADC)

Analog sayısal dönüştürücünün (ADC) görevi yükselticiden gelen analog pulsunu, onun genliğiyle (dolayısıyla X-ışını fotonunun enerjisiyle) orantılı bir tam sayıya çevirmektir. Ön yükselticiden gelen potansiyel pulsları liner yükselticide büyültüldükten sonra ADC'ye gönderilirler. ADC'de analog işlemleri yapılan bu pulslar çok kanallı analizöre gönderilir ve orada enerjilerine karşılık gelen kanallarda sayılırlar. Bu sayımlar sonucu sayacın ayırma gücüyle ilgili olarak aynı enerjili karakteristik X-ışınları bir pik oluştururlar. Bu pikler bir araya geldiğinde enerjiye veya dalga boyuna karşı şiddet desenleri oluştururlar ki bu desene X-ışını spektrumu denir.

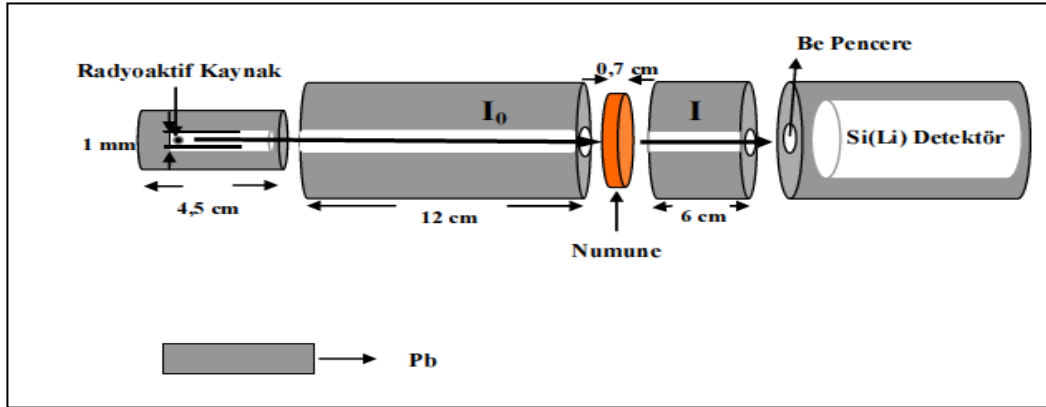
3.1.7. Çok kanallı analizör (MCA)

Çok kanallı analizör (MCA) sayısal hale getirilmiş pulsları uygun gelen kanallara yerleştirir ve bilgisayar hafızasına kaydeder. Her kanal kalibrasyon işlemiyle belirlenmiş olan belli bir enerji aralığına düşen pulsları sayar.

3.2. Deney Geometrisi ve Deneyin Yapılışı

Bu çalışmada 100 mCi ($3,7 \times 10^9$ Bq) şiddetindeki Am- 241 radyoizotop nokta kaynağından çıkan 59,5 keV'lik γ -ışınları kullanılmıştır. Kaynaktan çıkan ışınları kolime etmek amacıyla kaynak, kurşun kolimatörler içine yerleştirilmiştir. Spektrumların alınmasında, enerji ayırmalı X-ışını spektrometresine bağlı, aktif çapı 3,91 mm, aktif alanı 12 mm² ve 5,9 keV'de FWHM'u 160 eV olan ve dış ortamdan gelebilecek yüzey kirlenmelerine karşı koruma amaçlı 13 μ m kalınlıklı Be pencereye sahip bir Si(Li) dedektör kullanılmıştır. Deney süresince sayaç kristali ve FET 30 litrelik bir sıvı azot kabında, sıvı azot sıcaklığında tutulmuştur. Dedektörün bulunduğu ölçüm laboratuvarı kurşun kaplıdır. Ölçü alma süresince çevresel şartların değiştirilmemesine dikkat edilmiştir.

Ölçümler için hazırlanan deney geometrisi Şekil 3.4'te verilmiştir.



Şekil 3.4. Deney geometrisi.

MCA için Genie-2000 programında 4096 kanal seçilmiş Am-241 kaynağı ve bazı elementlerin enerjileri bilinen X-ışını pikleri kullanılarak kalibrasyon işlemi yapılmıştır.

Genie-2000 programında alınan spektrumlar, Matlab 7.0 programında yazılan ve

Genie-2000 programının formatına göre elde edilmiş ham verileri bir text dosyası formatına çeviren program vasıtasıyla text- dosyasına dönüştürülerek, OriginPro 7.5 programında çizdirilmiştir. Bu program kullanılarak piklerin enerjileri ve net alanları belirlenmiştir. Kullanılan deney geometrisinde dedektör, numune ve kaynak aynı düzlem üzerindedir. Kaynak ve dedektör arası mesafe 22,5 cm, dedektör ve numune arası mesafe 6 cm'dir.

3.3. Numunelerin Hazırlanması

Kestelek Bor İşletmesi'nden alınan şlam ve bor cevheri, AKÇİM Madencilik ve Çimento San. A.Ş.'nin Tunçbilek termik santralinde kurulu tesisinden alınan uçucu kül, günlük basınç dayanımları 32,5- 42,5- 52,5 MPa olan basınç dayanımlarındaki çimento, saten alçı, derz dolgu, fayans yapıştırıcı ve kil numuneler önce bir akik el havanı kullanılarak öğütülmüştür. Bu numuneler, parçacık büyüklüğünde nispeten homojen bir dağılım elde etmek için 45 µm'lik eleklerde elenmişlerdir. Şlam ve bor cevheri temin edilen diğer numunelere %0, %25, %50, %75, %100 oranlarında katkılandırılmıştır. Daha sonra tüplere doldurularak Spex marka karıştırıcıda homojenlik sağlanıncaya kadar 20 dakika karıştırılmıştır. Uçucu kül ile yapılan numunelere tablet oluşturacak oranda yaklaşık 0,1 g selüloz ilave edilmiştir. Numunelerin kütleleri onbindebir hassasiyetli (Gec AVERY) terazisiyle ölçülmüştür. Bu karışımlar, 13 mm çaplı tablet haline getirmek için 8 ton basınç altında preslenmiştir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

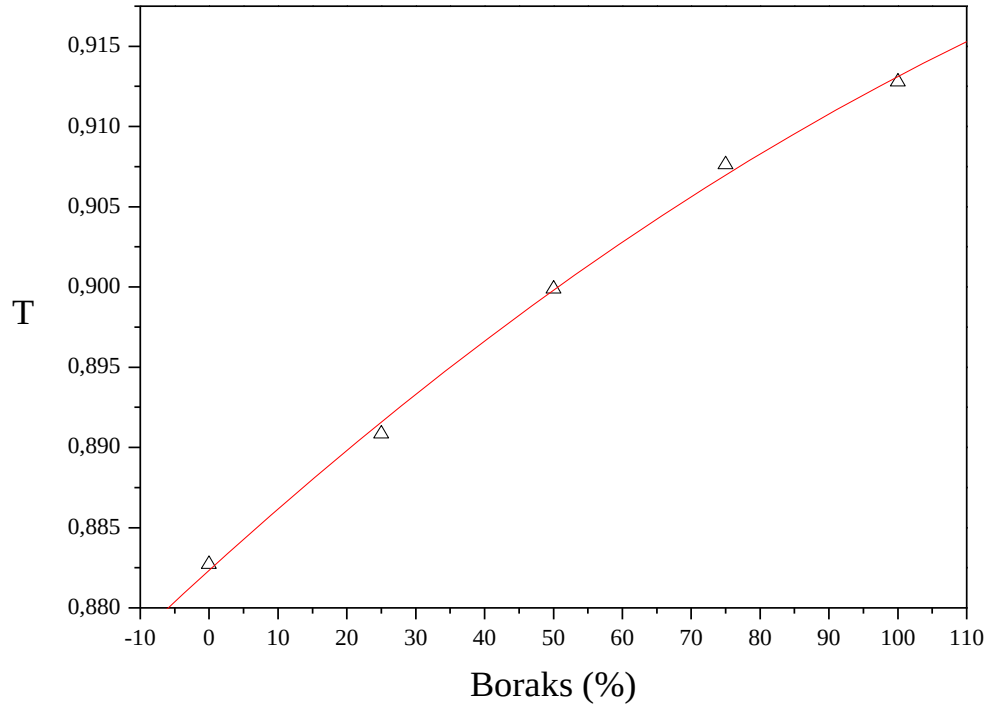
4.1. Transmisyon Faktörünün Deneysel Olarak Hesaplanması

Yapılan çalışmalarda, ülkemizde göz ardı edilemeyecek kadar çok ortaya çıkan bor atığı (şlam), ve boraksın çeşitli yapı malzemelerinde farklı oranlarda kullanılarak elde edilen numuneler için soğurma etkileri incelenmiştir.

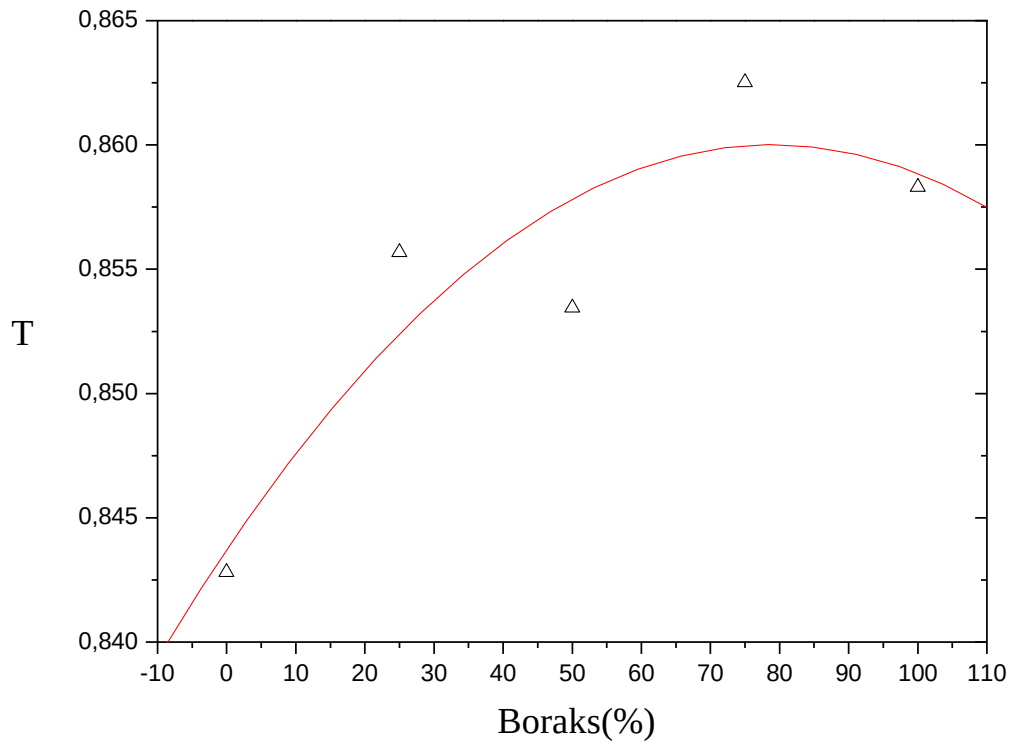
Foton şuası bir soğurucu içerisinden geçtiği zaman azalır. Azalmanın derecesi soğurma olayına bağlıdır. Bu işlemler Lambert- Beer kanununa uyar ve

$$\frac{I}{I_0} = e^{-\mu_k \rho x} \quad (2.1)$$

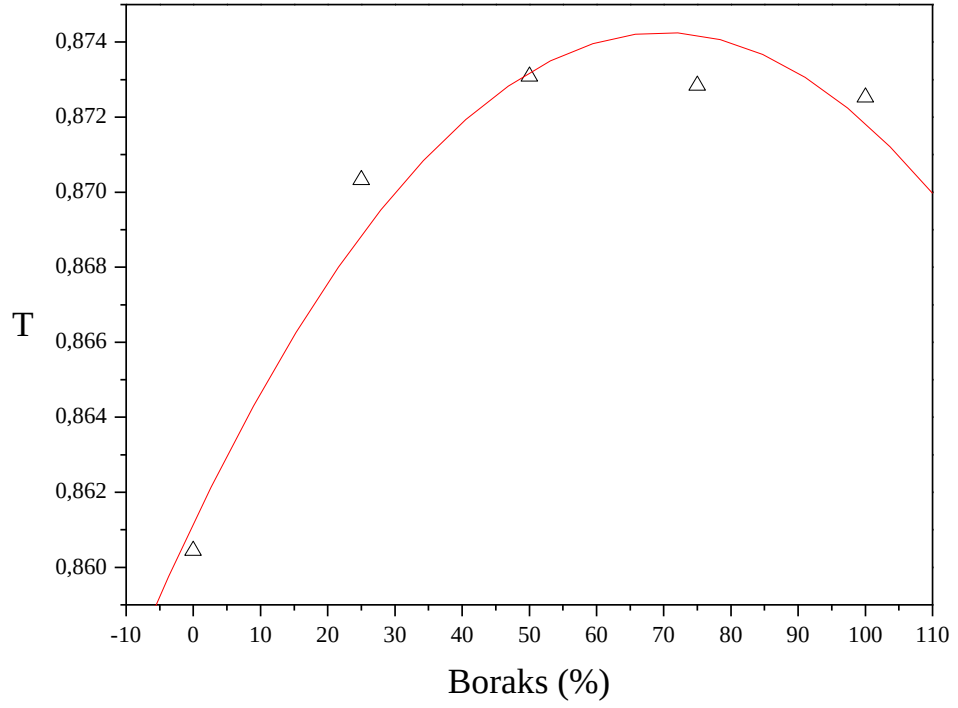
şeklinde ifade edilir. Burada I I_0 transmisyon (T) katsayısı, x materyalin kalınlığı, μ_k materyalin kütle soğurma katsayısı, ρ ise materyalin yoğunluğudur. Soğurma ölçümlerinde aynı zaman ve deneysel şartlar altında, soğuruculu (I) ve soğurucusuz (I_0) net sayımlar elde edilmiştir. Deneyde numuneli ve numunesiz sayımlar yapılarak elde edilen spektrumlardan I ve I_0 için kaynak ve dedektör arasına numuneler yerleştirildikten sonra spektrumlar elde edildi. Bölüm 3.2’de nasıl alındığı anlatılan ölçüler değerlendirilerek transmisyon katsayıları hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar relatif olarak karşılaştırılmıştır. Farklı oranlarda boraks ve şlam ile çeşitli yapı malzemeleri katkılandırılarak hazırlanan numunelerin konsantrasyonuna karşılık transmisyon faktörlerinin değişim grafikleri Şekil 4.1- 4.16’da verilmiştir.



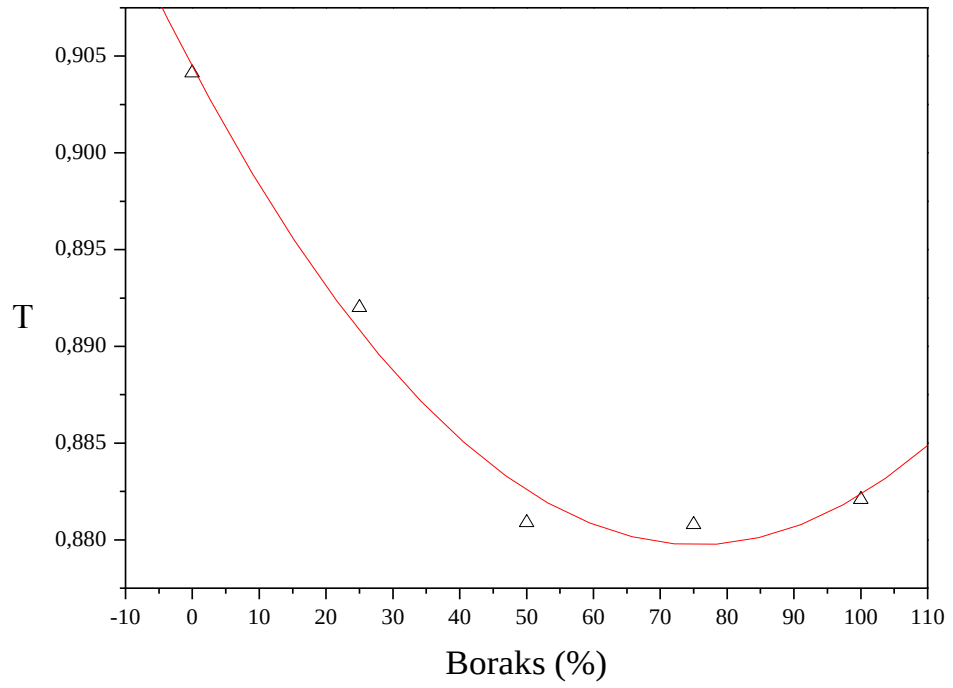
Şekil 4.1. Fayans yapıştırıcısı ile katkılandırılmış boraks için transmisyon faktörünün konsantrasyona göre değişimi.



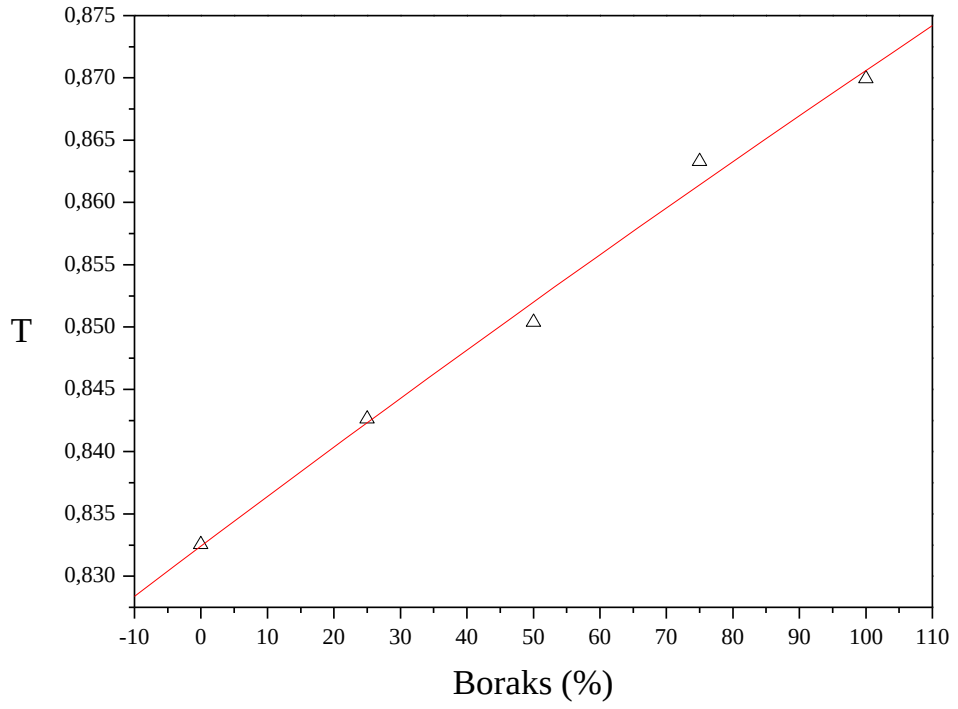
Şekil 4.2. Kil ile katkılandırılmış boraks için transmisyon faktörünün konsantrasyona göre değişimi.



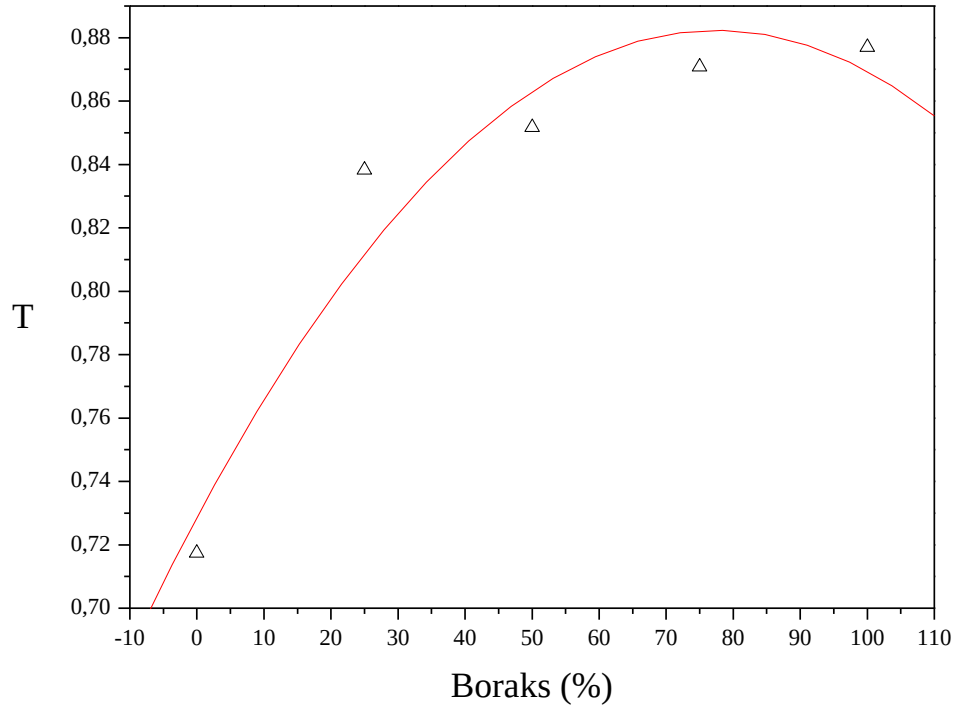
Şekil 4.3. Saten alçı ile katkılandırılmış boraks için transmisyon faktörünün konsantrasyona göre değişimi.



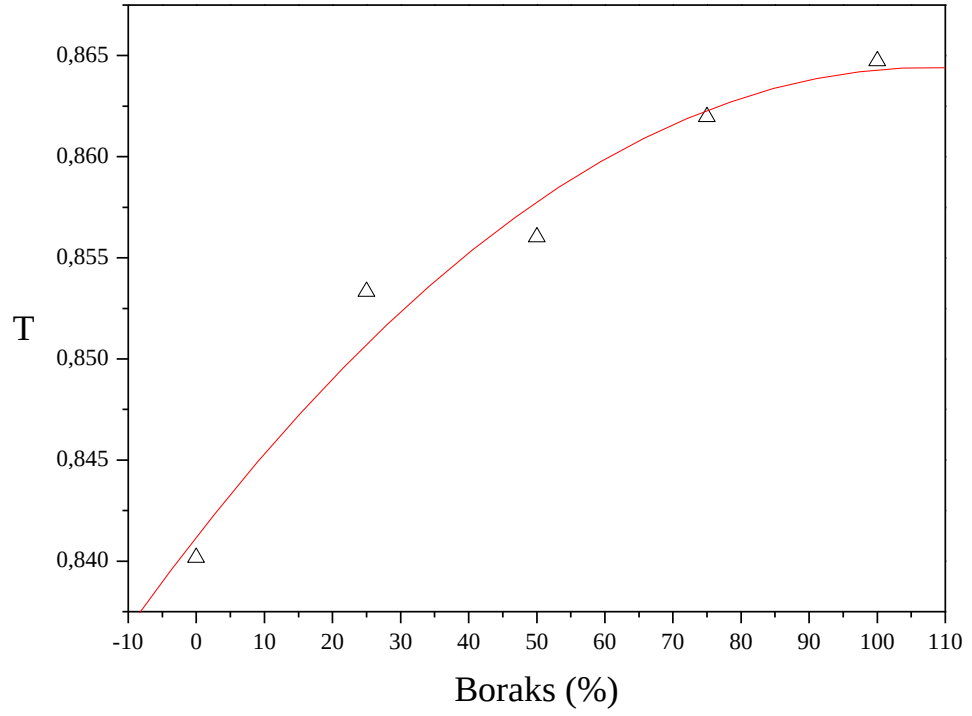
Şekil 4.4. 28 günlük karakteristik basınç dayanımı 32,5 MPa olan çimento ile katkılandırılmış boraks için transmisyon faktörünün konsantrasyona göre değişimi.



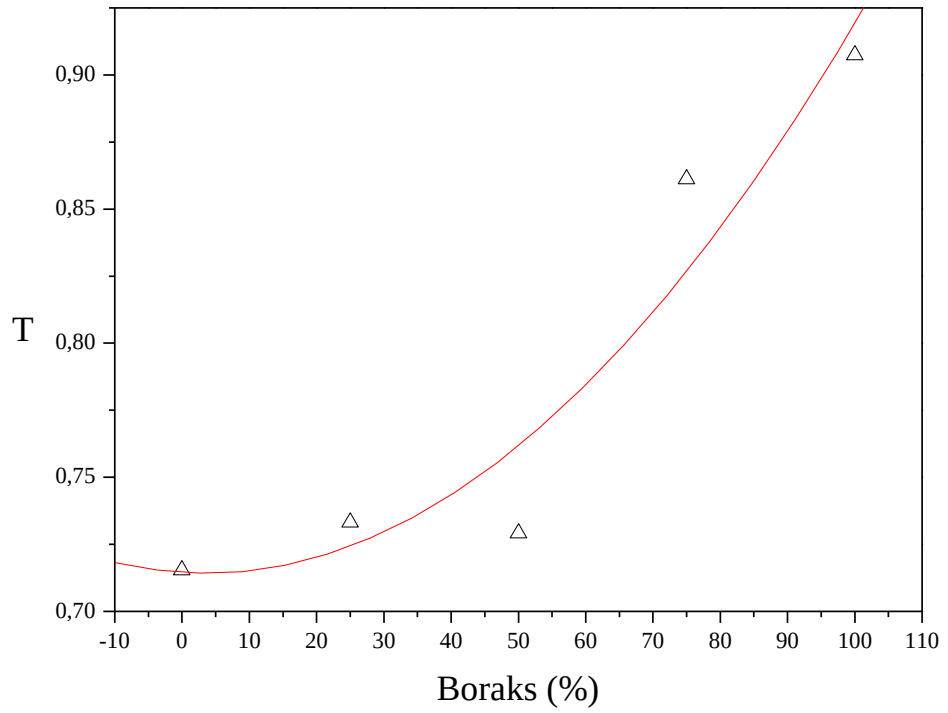
Şekil 4.5. 28 günlük karakteristik basınç dayanımı 42,5 MPa olan çimento ile katkılandırılmış boraks için transmisyon faktörünün konsantrasyona göre değişimi.



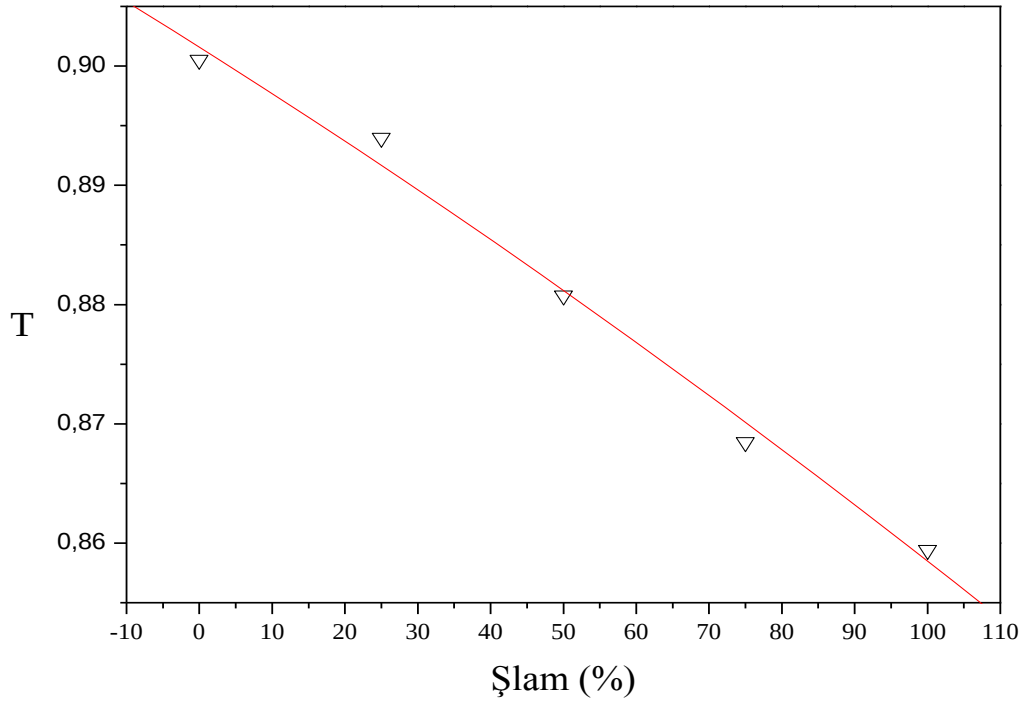
Şekil 4.6. 28 günlük karakteristik basınç dayanımı 52,5 MPa olan çimento ile katkılandırılmış boraks için transmisyon faktörünün konsantrasyona göre değişimi.



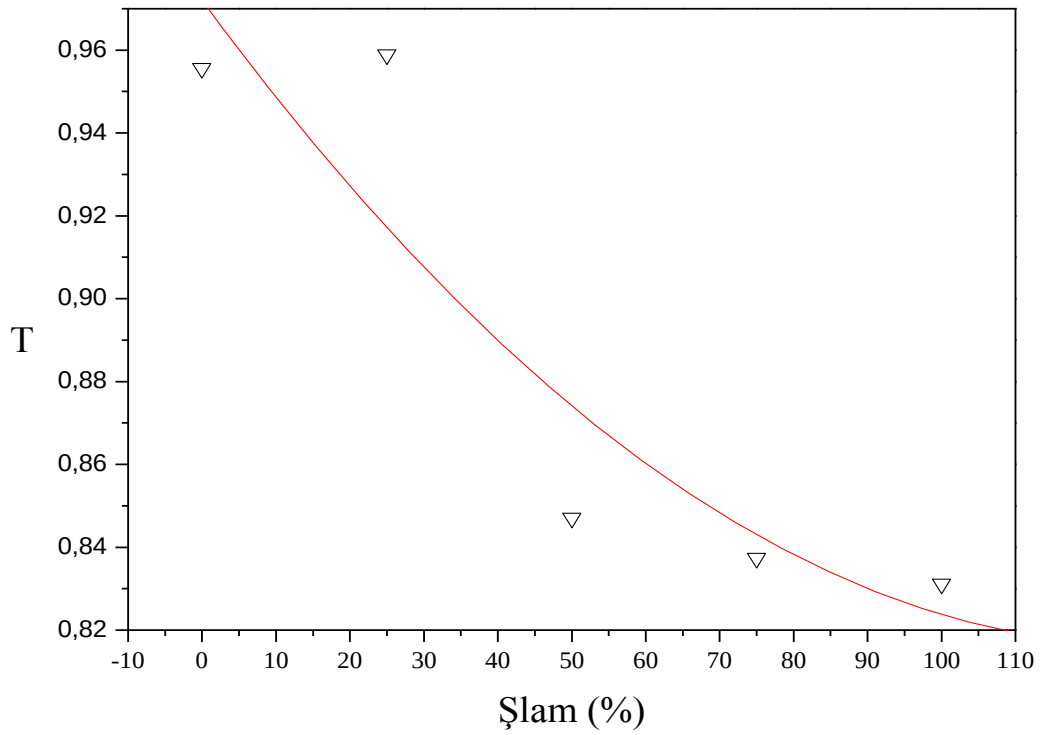
Şekil 4.7. Derz dolgu ile katkılandırılmış boraks için transmisyon faktörünün konsantrasyona göre değişimi.



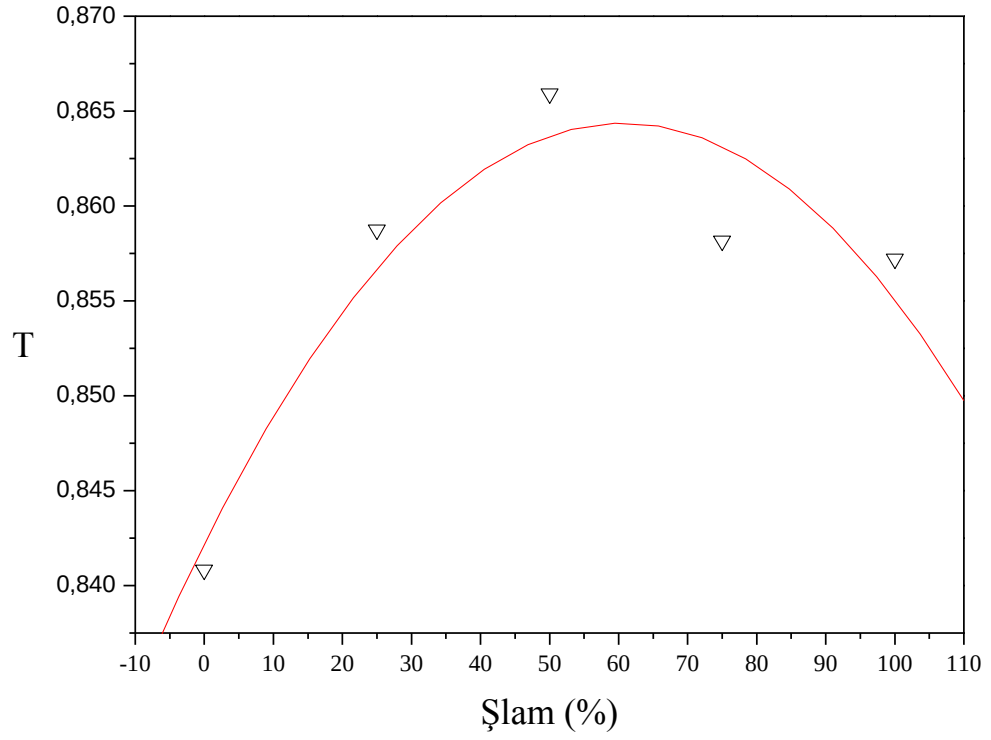
Şekil 4.8. Uçucu kül ile katkılandırılmış boraks için transmisyon faktörünün konsantrasyona göre değişimi.



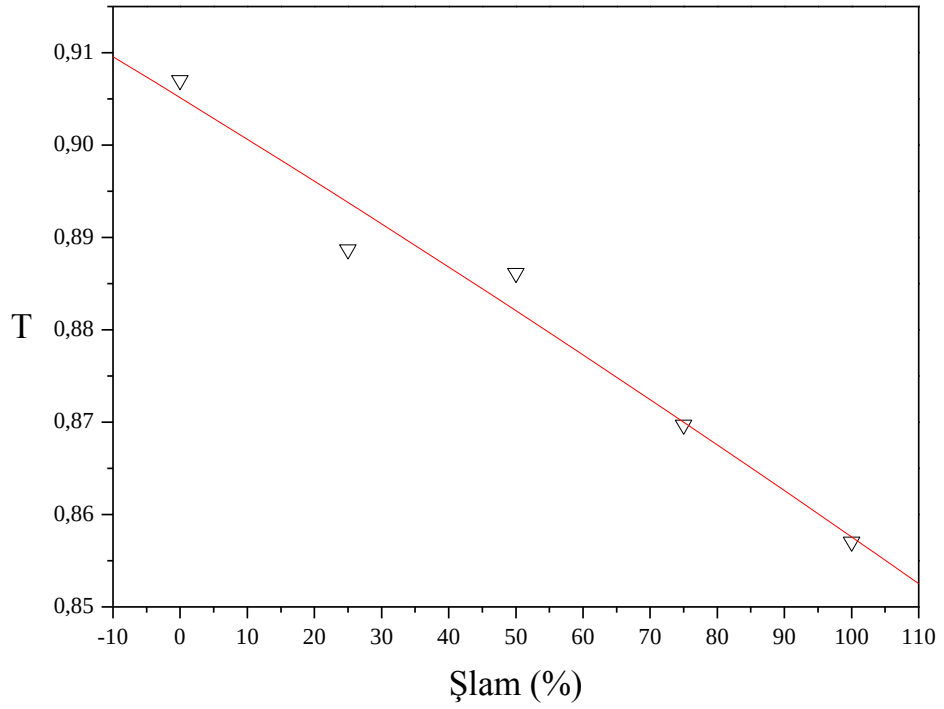
Şekil 4.9. Derz dolgu ile katkılandırılmış şlam için transmisyon faktörünün konsantrasyona göre değişimi.



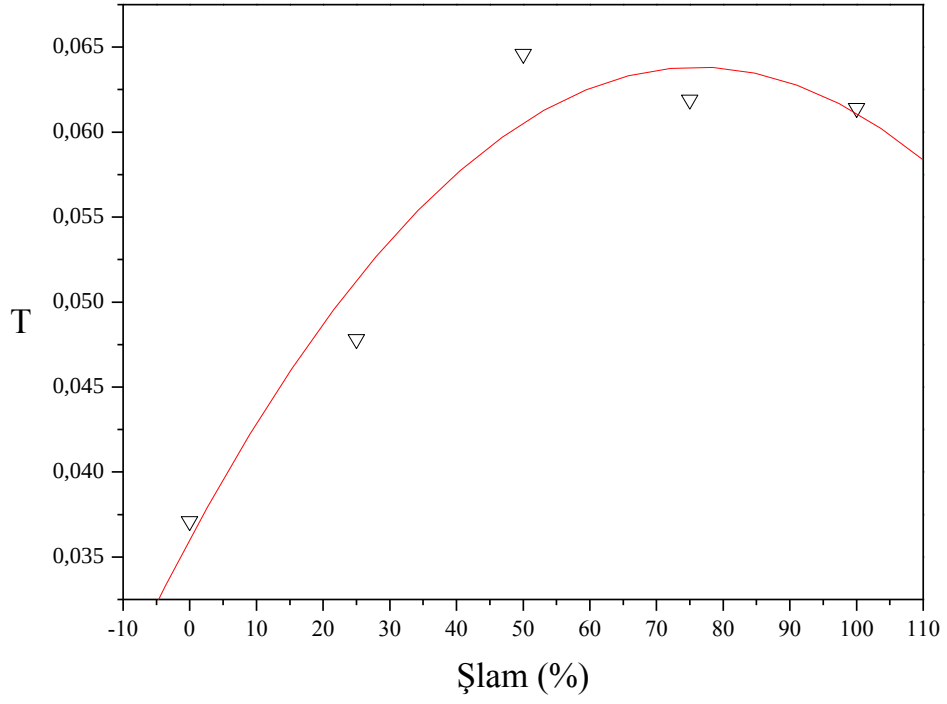
Şekil 4.10. Fayans yapıştırıcı ile katkılandırılmış şlam için transmisyon faktörünün konsantrasyona göre değişimi.



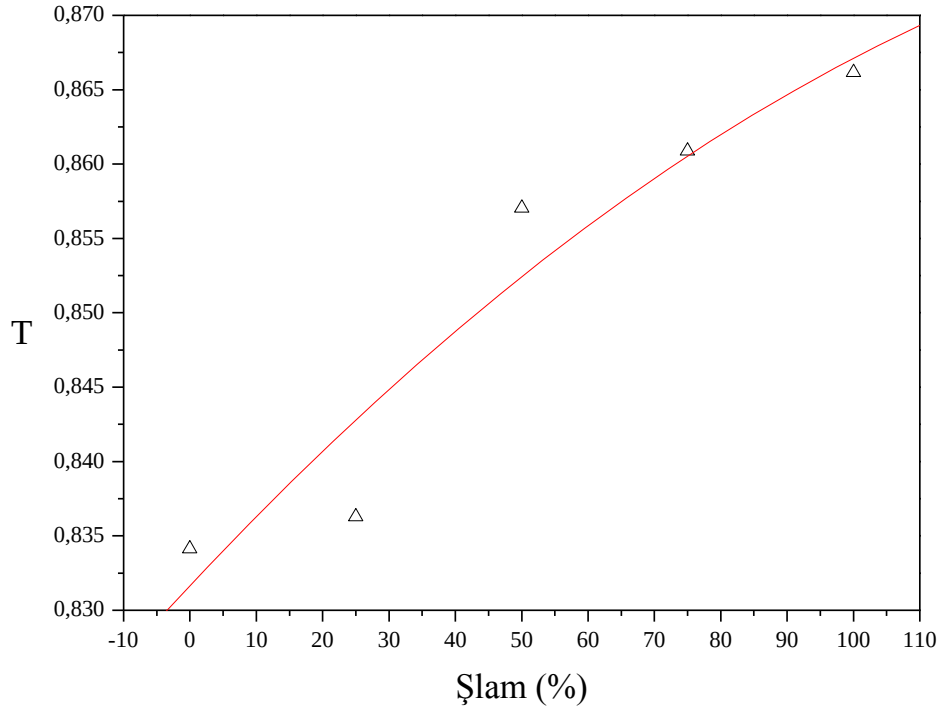
Şekil 4.11. Kil ile katkılandırılmış şlam için transmisyon faktörünün konsantrasyona göre değişimi.



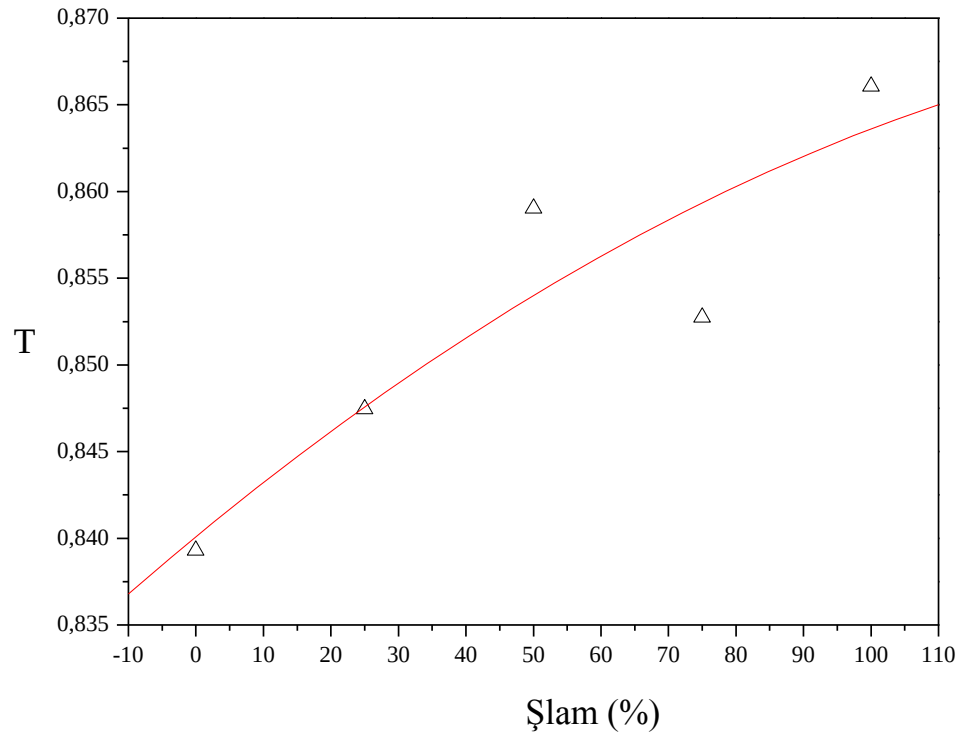
Şekil 4.12. Saten alçı ile katkılandırılmış şlam için transmisyon faktörünün konsantrasyona göre değişimi.



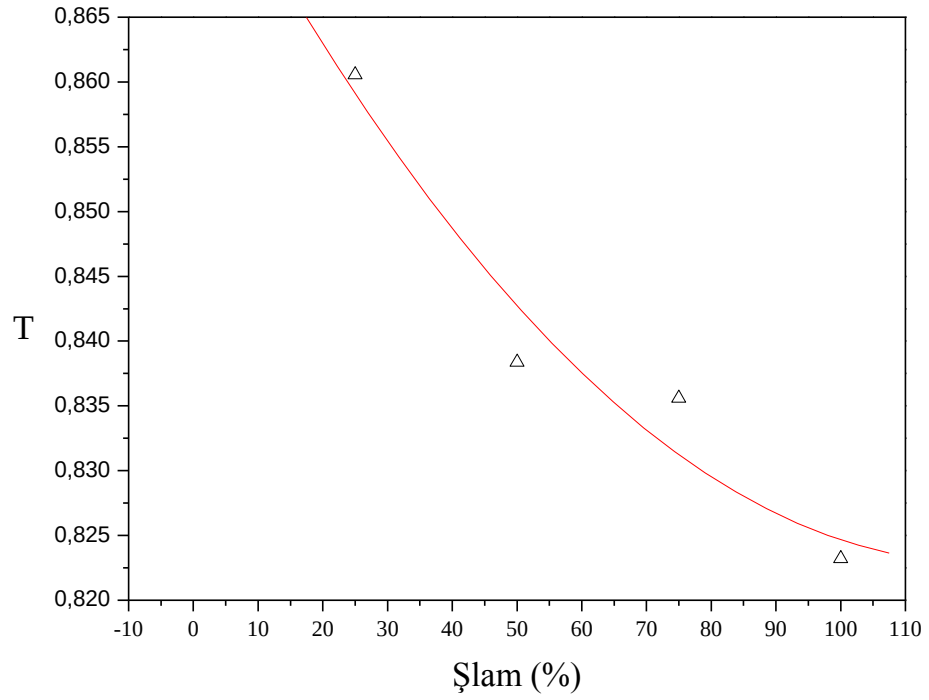
Şekil 4.13. Uçucu kül ile katkılandırılmış şlam için transmisyon faktörünün konsantrasyona göre değişimi.



Şekil 4.14. 28 günlük basıç dayanımı 32,5 MPa olan çimento ile katkılandırılmış şlam için transmisyon faktörünün konsantrasyona göre değişimi.



Şekil 4.15. 28 günlük basıç dayanımı 42,5 MPa olan çimento ile katkılandırılmış şlam için transmisyon faktörünün konsantrasyona göre değişimi.



Şekil 4.16. 28 günlük karakteristik basınç dayanımı 52,5 MPa olan çimento ile katkılandırılmış şlam için transmisyon faktörünün konsantrasyona göre değişimi.

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Günümüzde bor ürünlerine olan talep ve kullanım alanları gün geçtikçe artmaktadır. Bunun sonucunda başta Türkiye olmak üzere önemli bor rezervlerine sahip ülkeler daha fazla ekonomik getiri sağlayacak şekilde teknolojilerini ilerletmektedir. Böylelikle bor minerallerinin ülke ekonomisine ve ülkedeki yaşam kalitesine katkısı arttırılmaya çalışılmaktadır. Borun çok yaygın kullanımıyla birlikte borun elde edilmesi sırasında oluşan bor atıklarının da farklı alanlarda değerlendirilmesinin önemli faydaları vardır. Bu faydalar stoklama maliyetinin ve sorunlarının ortadan kalkması, ekonomik kaybın önlenmesi, yeraltı ve yerüstü su kaynaklarının kirletilmemesi ve çevrenin korunması şeklinde sıralanabilir.

Dünya nüfusunun hızla şehirleşmesi, enerji gereksiniminin artması tüketim ve üretimdeki aşırı hız ve arz-talep sirkülasyonu ve sonucunda endüstriyel üretimin karbon ayak izinin (carbon footprint) artması doğanın sürdürülebilirliğini ve yaşanabilirliği (çevre kirliliği, küresel ısınma, ozon tabakasının delinmesi, kaynakların yok olması vb.) ciddi oranda tehdit altında bırakmaktadır. Çevremizdeki tabii ve yapay radyasyon kaynakları o kadar fazladır ki günümüzde radyasyonun zararlı etkilerinden korunulmasına ilişkin çalışmalarda da gözle görülür bir artış vardır. Bu radyasyon kaynakları radon gazı, kozmik ışınlar ve kozmik ışınların madde ile etkileşimleri, tıbbi X-ışınları, nükleer tıp, farklı maddelerde kullanılan materyaller, uranyum ve toryum serileri vb.dir. Canlılar yaşadıkları coğrafi konuma bağlı olarak radyasyona maruz kalırlar ve alınan bu radyasyonun en büyük kısmını tabii radyasyon oluşturmaktadır. Günümüzde nükleer santraller ve yaşamımızda yoğun şekilde teknolojik ürünlerin artmasıyla birlikte varolan tabii radyasyon oldukça artış göstermiştir. Bu etkilerin artması ve günümüzdeki çevresel problemler canlıların doğal yaşam süresini kısaltmakta, kansere ve bazı kalıtsal sorunlara sebep olmaktadır.

Çalışmamızda EDXRF ile elde edilen soğurma spektrumları kullanılarak boraks ve şlam ile katkılanırılan çeşitli yapı malzemeleri için transmisyon katsayıları tayin edilmiştir. Öncelikle yapı malzemelerine atık katkılanırılmadan önce aktifliğinin olup olmadığının tespiti için Geiger-Müller sayacı ve Si(Li) dedektör ile ölçüler alınmış ve herhangi bir aktifliğe rastlanmamıştır. Literatürde yapılan benzer çalışmalarda Boncukçuoğlu vd (2005) TSW'li (Trommel Sieve Waste) modifiye çimento ve Portland çimentosunun mekanik özelliklerini ve radyoaktif geçirgenliklerini farklı elementlerin karakteristik K X-ışını enerjilerinde karşılaştırmışlar, İçelli vd. (2008) bor bileşikleri ve TSW'nin etkin atom numaraları, moleküler, atomik, elektronik tesir kesitlerini kolime edilmiş dar şua transmisyon metodu kullanarak 15,74–40,96 keV enerji aralığında belirlemiştir. Sonuçları, karışım kuralına dayanan teorik değerlerle karşılaştırmışlardır. Ancak 59,5 keV enerji değerinde bu çalışmada ele alınan yapı malzemeleri ve Kestelek bor atığı (şlam) ile yapılan bir deneysel çalışmaya rastlanmamıştır. Şekil 4.1-4.16'ya bakılacak olursa genellikle deneysel transmisyon faktörlerinin fit değerleriyle çakiştığı görölmektedir. Ancak bazı değerlerdeki sapmalar ya da ayrılmalar deney geometrisinde dar şuanın elde edilememesinden, numunelerin yeterince homojen olmamasından, numune kesitlerinin uygun olmamasından kaynaklanabilir. Şekil 4.1-4.16'nın incelenmesinde göröleceğı gibi genel olarak boraks ve şlam yüzdesi arttıkça transmisyon faktörü artmaktadır. Bu da numuneyi geçen foton sayısında artış, yani numunenin bu enerjili fotonlar için daha geçirgen olduğı anlamına gelmektedir. Yani düşük atom numaralı bir element olan bor için 59,5 keV enerjili fotonların büyük enerjilidir. Transmisyon katsayılarının çeşitli yapı malzemelerinde konsantrasyona göre değışiminin daha doğru yorumlanabilmesi için bu malzemelerin kalitatif ve kantitatif analizlerinin yapılması gerekmektedir ki bu çalışmanın devamında WDXRFS ile bu malzemeler analiz edilerek mevcut sonuçlar yeniden yorumlanacaktır. Bunun yanı sıra, bu analiz sonuçlarına bakılarak daha düşük enerji değerlerinde ve tabii radyasyon ölçümlerinde de bu numunelerin kullanımı araştırılacaktır.

Ayrıca Şekil 4.1-4.16'nın incelenmesiyle bazı yapı malzemelerinde % bor konsantrasyonunun artmasıyla transmisyon katsayısının azaldığı ve radyasyonun daha iyi tutulduğu gözlemlenmektedir. Bu sebeple yapı malzemesi çeşitliliği artırılarak çalışma daha da genişletilecektir. Alınan ölçüler yapılması planlanan çalışmalar için önemli bilgiler vermekte ve yeni projeler için temel teşkil etmektedir.

Bilimsel çalışmaların günümüzde pratiğe uygulanması, günlük hayata geçirilmesi eskiye nazaran çok daha hızlı olmaktadır. Üniversite–Sanayi işbirliği ve bilinç seviyesi yükselen tüketiciyle birlikte bilimsel bilgiler tüketici–üretici eğilimlerini de yönlendirmektedir. Son yıllarda verilen Nobel Fizik Ödüllerine baktığımızda çoğunun malzeme üzerine ve uygulaması olan alanlarda olduğunu görürüz. Yapı malzemelerinde ve diğer alanlardaki malzeme mühendisliği çalışmaları devrimsel nitelikte gelişmeler göstermektedir. Bu anlamda yaptığımız bu çalışmaların yeni yapı malzemelerinin yapımına katkı sağlamasını ve ilham vermesini umuyoruz.

KAYNAKLAR

- Acarkan, N., 2002. Bor Ürün Çeşitleri ve Kullanım Alanları, 1. Uluslararası Bor Sempozyumu Kitabı, Editör: K. Erarslan. Sayfa: 1-5.
- Addemir, O., 2002. Bor Ürünlerinin Teknolojileri ve Türkiye'nin Durumu. 1. Uluslararası Bor Sempozyumu Kitabı, 15-21.
- Aygün, M., Çoban, M., Canımkurbey, B., 2008. Trommel Sieve Waste (TSW)'nin Seramik Yapıştırıcı ve Derz Dolguda Soğurma ve Saçılma Etkilerinin İncelenmesi. II. Ulusal Bor Çalıştayı, pp:289-293, Ankara.
- Baştuğ, A., 1998. Si(Li) Dedektörü İle Ölçülen Karakteristik X-ışınlarının Flüoresans Üretim Tesir Kesitlerinin Uyarma Enerjisine Bağlı Olarak Değişimi. Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Bentli, İ., Özdemir, O., Çelik, M.S., Ediz, N., 2002. Bor Atıkları ve Seğerlendirme Stratejileri. 1. Uluslararası Bor Sempozyumu Kitabı, 250-255.
- Boncukcuoglu, R., Yilmaz, M.T., Kocakerim, M.M., Tosunoglu, V., 2002. Utilization of trommel sieve waste as an additive in Portland cement production. Cem. Concr. Res. 32, 35–39.
- Boncukcuoglu, R., Icelli, O., Erzeneoglu, S.Z., Kocakerim, M.M., 2005. Comparison of radioactive transmission and mechanical properties of Portland cement and a modified cement with trommel sieve waste. Cem. Concr. Res. 35, 1082–1087.
- Boren, 2006. National Boron Research Institute of Turkey. <http://www.boren.gov.tr>
- Çakır, C., 1991. Çeyrek Cumhuriyet Altınlarının X-ışını Spektrometresiyle Tahribatsız Analizleri. Y.Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Devlet Planlama Teşkilatı, 1995. Yayın No:DPT : 2414 – ÖİK: 474.
- Durak R., Erzeneoğlu, S., Kurucu, Y., Şahin, Y., 1997. Natural Background in Ge(Li) Spektrometers. Instrumentation Science and Technology, 25(4), 335-343.
- Erdoğan, Y., Zeybek, M.S., Demirbaş, A., 1998. Cement Mixes Containing Colemanite from Concentrator Wastes, 28, (4), 605-609.
- Etimaden, 2006. Eti Mine Works General Management. <http://www.etimaden.gov.tr>
- Hafızoğlu, H., Yalınkılıç, M.K., Yıldız, Ü.C., Baysal, E., Peker, H., Demirci, Z., 1994. Türkiye Bor Kaynaklarının Odun Koruma (Emprenye) Endüstrisinde Değerlendirilme İmkânları, Tübitak-Tarım ve Ormancılık Araştırma Grubu Projesi Kod No:, TOAG- 875, Trabzon.
- Han, I., Demir, L., 2009. Determination of mass attenuation coefficients, effective atomic and electron numbers for Cr, Fe and Ni alloys at different energies. Nucl. Instr. Meth. B 267, 3.
- İçelli, O., 2002. Bazı Bileşikler ve Kristallerde Lineer Diferansiyel Saçılma Katsayılarının Açısal Dağılımının Ölçülmesi ve Etkin Atom Numarasına Göre Değişiminin İncelenmesi. Y.Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- İçelli, O., Erzeneoğlu S., Boncukcuoğlu R., 2004. Experimental Studies on Measurements of Mass Attenuation Coefficients of Boric Acid at Different Concentration. Annals of Nuclear Energy, 31, 97-106.
- Karakullukçu, F., Genel, K., İpek, M., 2002. SAU Müh. Fak. Makine Müh. Böl. Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi.

- Khanna, A., Bhatti, SS., Singh, KJ., Thind, KS., 1996. Gamma-ray attenuation coefficients in some heavy metal oxide borate glasses at 662 keV. *Nucl Instrum Methods B*, 114:217–20.
- Kılıç, A.M., 2004. Bor Madeninin Türkiye Açısından Önemi ve Gelecekteki Yeri. 2. Uluslararası Bor Sempozyumu Bildiriler Kitabı. Editör: Hüseyin Özdağ ve Diğ. Sayfa:31-41.
- Köse, H., Ediz, N., Erdoğan, N., 2002. Dünya Bor Stratejisi ve Borun Türkiye İçin Önemi. 1. Uluslararası Bor Sempozyumu Kitabı, 275-284.
- Kurudirek, M., Aygun, M., Erzeneoglu, S.Z., 2010. Chemical composition, effective atomic number and electron density study of trommel sieve waste (TSW), Portland cement, lime, pointing and their admixtures with TSW in different proportions. *Appl. Radiat. Isot.* 68, 1006–1011.
- Miçillioğlu, S., 2010. *Lactuca Sativa* Bitkisi kullanılarak Bor Konsantrasyonu Yüksek Suların Arıtılabilirliğinin Araştırılması. Y.Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana.
- Moseman, R. F., 1994. Chemical disposition of Boron in animals and humans. *Environ Health Perspect.*, November; 102 (Suppl 7); 113–117.
- Muramatsu, Y., Takenaka, H., Oyama, T., Hayashi, T., Grush, MM., Perera, RCC., 1999. Valence band structure and decay process in inner-shell excitation of boron oxide. *X-ray Spectrom.* 28:503–8.
- Olgun, A., Erdoğan, Y., 2001. Etibor Bandırma Borik Asit İşletmesi Atıklarının Seramik Endüstrisinde Kullanımı. *Dumlupınar Ün. Fen Bilimleri Dergisi*, 133.
- Ölmez, H., Erdem, E., 1989. The Effect of Phosphogypsum on the Setting and Mechanical Properties of Portland Cement and Trass Cement. *Cem. Concr. Res.*, 19, (3), 377-384.
- Özkul, H., 2000. Utilization of citri- and desulphogypsum as Set Retarders in Portland Cement. *Cem. Concr. Res.*, 30, 1755-1758.
- Sanchez-Ramos, S., Bosch-Reigh, F., Gimeno-Adelantado, J.V., Yusa-Marco, D.J., Domenech-Carbo, A., Berja-Perez, J.A., 2000. Validation of a method for the determination of boron in ceramic materials by X-ray fluorescence spectrometry. *Spectrochem Acta B* 55:1669–77.
- Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı Özel İhtisas Komisyonu Raporu, 2001. Ankara.
- Shiao S.J., Tsai, C.M., 1989. The Study on Improving Masonry Cement for the Solidification of Borate Wastes, *Radioact. Waste Manag. Nucl. Fuel Cyle*, 11, (4), 319-331.
- Singh, M., Garg, M., 1999. Cementitious Binder Fly Ash and Other Industrial Wastes. *Cem. Concr. Res.*, 29, 309-314.
- Thornton, F., 1993. A Concurrent, Object-Based Implementation of the Rational Behavior Model. MS Thesis, Naval Postgraduate School, Monterey, California.
- Ün, H., 2007. Yapı Malzemesi-II, Bağlayıcı Maddeler Ders Notları, Pamukkale Üniversitesi, Denizli.

ÖZGEÇMİŞ

1987-Erzurum doğumlu olan Betül CANIMKURBEY, ilköğretim eğitimini Erzurum'da, lise eğitimini ise Çelebi Mehmet Lisesi'nde Bursa'da tamamladı. 2006 yılında Atatürk Üniversitesi Fizik Bölümü'ne girdi ve 2007 yılında Çift Anadal Programı çerçevesinde Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'ne kayıt yaptırdı. Mühendislik eğitimine devam etmektedir.

2010 yılı haziran ayında Fizik bölümünden dereceyle mezun olan Betül CANIMKURBEY, yine aynı yıl Atatürk Üniversitesi Fizik Bölümü Atom ve Molekül Fiziği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı.

2011 yılı Eylül'ünde YÖK-Öğretim Üyesi Yetiştirme Programıyla Amasya Üniversitesi Fizik Bölümü'nde araştırma görevlisi olarak çalışmaya başladı. Yine 2012 yılında ÖYP programı kapsamında Ortadoğu Teknik Üniversitesi Yabancı Diller Yüksek Okulu'nda 6 aylık ingilizce dil eğitimi aldı.

Özel ilgi alanları arasında doğa sporları, kitap, internet, teknoloji ve seyahat vardır.