

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BAZI BOR BİLEŞİKLERİNİN NÖTRON  
ZIRHLAMASINDA KULLANILABİLİRLİĞİNİN  
ARAŞTIRILMASI**

**Kimya Mühendisi A. Seyhun KIPÇAK**

**FBE Kimya Mühendisliği Anabilim Dalında  
Hazırlanan**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Sabriye PİŞKİN (YTÜ)**

**İSTANBUL, 2009**

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BAZI BOR BİLEŞİKLERİNİN NÖTRON  
ZIRHLAMASINDA KULLANILABİLİRLİĞİNİN  
ARAŞTIRILMASI**

Kimya Mühendisi A. Seyhun KIPÇAK

**FBE Kimya Mühendisliği Anabilim Dalında  
Hazırlanan**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Tez Danışmanı  
Jüri Üyeleri**

: Prof. Dr. Sabriye PIŞKIN (YTÜ)  
: Prof. Dr. Ahmet EKERİM (YTÜ)  
: Doç. Dr. Nabi YÜZER (YTÜ)

*Skey*  
*du*  
*N*

**İSTANBUL, 2009**

# İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	vi
KISALTIMA LİSTESİ .....	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	viii
ÇİZELGE LİSTESİ .....	xi
ÖNSÖZ .....	xiii
ÖZET .....	xiv
ABSTRACT.....	xv
1. GİRİŞ .....	1
1.1 Radyasyon.....	2
1.1.1 Radyasyonun çeşitleri .....	2
1.1.1.1 İyonlaştırıcı radyasyon.....	2
1.1.1.2 İyonlaştırıcı olmayan radyasyonlar.....	3
1.1.2 Radyasyonun canlılara etkisi .....	3
1.1.3 Nötron radyasyonu.....	5
1.1.4 Nötron ve gama radyasyondan korunma yöntemleri .....	6
1.2 Nötron Zırhlama ile İlgili Dünya’da ve Türkiye’de Yapılan Çalışmalar.....	6
1.2.1 Poly-boron.....	6
1.2.2 40 HAF/NR alaşımı .....	7
1.2.3 Bizmut nötron filtre.....	11
1.2.4 PbO–B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ve Bi <sub>2</sub> O <sub>3</sub> –PbO–B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> zırh malzemesi .....	13
1.2.5 LiF ve B <sub>4</sub> C zırh malzemesi.....	14
1.2.6 Beton tabaka üzerine % 96 Pb ve % 4 Sb katkılı zırh malzemesi .....	16
1.2.7 Bor karbür bazlı seramik zırh malzemesi .....	16
1.2.8 Fenol bazlı bor içerikli zırh malzemesi.....	18
1.2.9 Beton, su, polimer ve bizmut içerikli zırh malzemesi.....	20
2. BOR HAKKINDA GENEL BİLGİLER .....	24
2.1 Bor Elementi .....	24
2.2 Ticari Bor Mineralleri .....	25
2.2.1 Boraks (Tinkal) (Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> .10H <sub>2</sub> O).....	26
2.2.2 Kernit (Razorit) (Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> .4H <sub>2</sub> O).....	26
2.2.3 Üleksit (NaCaB <sub>5</sub> O <sub>9</sub> .8H <sub>2</sub> O).....	27
2.2.4 Probertit (NaCaB <sub>5</sub> O <sub>9</sub> .5H <sub>2</sub> O) .....	27
2.2.5 Kolemanit (Ca <sub>2</sub> B <sub>6</sub> O <sub>11</sub> .5H <sub>2</sub> O).....	28
2.2.6 Pandemit (Priseit) (Ca <sub>4</sub> B <sub>10</sub> O <sub>19</sub> .7H <sub>2</sub> O).....	28
2.2.7 İnderit (2MgO.3B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .15H <sub>2</sub> O) .....	29
2.2.8 İnyoit (Ca <sub>2</sub> B <sub>6</sub> O <sub>11</sub> .13H <sub>2</sub> O).....	29
2.2.9 Kurnakovit (Mg <sub>2</sub> B <sub>6</sub> O <sub>11</sub> .15H <sub>2</sub> O).....	30
2.2.10 Hidroborasit (CaMgB <sub>6</sub> O <sub>11</sub> .6H <sub>2</sub> O).....	30
2.3 Dünya Bor Mineralleri Rezervleri .....	31

3.	BOR ÜRÜNLERİNİN KULLANIM ALANLARI .....	34
3.1	Cam Sanayi .....	36
3.1.1	İzolasyon tipi cam elyafı .....	36
3.1.2	Tekstil tipi cam elyafı .....	37
3.1.3	Optik cam elyafı (fiber optikler) .....	38
3.1.4	Borosilikat camlar .....	39
3.1.5	LCD ekranlar .....	39
3.1.6	CRT camı (renkli tv katot tüpleri).....	40
3.2	Seramik Sanayi .....	40
3.3	Temizleme ve Beyazlatma Sanayi .....	41
3.4	Yanmayı Önleyici (Geciktirici) Maddeler .....	42
3.4.1	Selülozik yalıtım .....	42
3.4.2	Plastikler .....	43
3.4.3	Tekstil .....	44
3.5	Tarım .....	44
3.5.1	Gübreler .....	44
3.5.2	Bitki öldürücüler .....	45
3.5.3	Böcek öldürücüler .....	45
3.6	Metalürji.....	46
3.6.1	Çelik .....	46
3.6.2	Borlama (boriding – borozing) .....	47
3.6.3	Demir dökümler .....	47
3.6.4	Süper alaşımlar.....	47
3.6.5	Alüminyum alaşımları .....	48
3.6.6	Diğer metal alaşımları .....	48
3.6.7	Amorf metal alaşımlar .....	48
3.6.8	Flakslama uygulamaları .....	49
3.6.9	Elektro kaplama .....	49
3.7	Nükleer Uygulamalar .....	50
3.8	Bor Fiberleri.....	50
3.9	Uzay ve Havacılık.....	50
3.10	Borlu Katı Yakıtlar .....	51
3.10.1	Yakıt hücreleri (fuel cells) .....	51
3.10.2	Füze / uçuş yakıtları .....	51
3.11	Sağlık .....	53
4.	DÜNYA’DA VE TÜRKİYE’DE BOR ÜRETİMLERİ .....	54
4.1	Dünyada Bor Üretimi.....	54
4.2	Türkiye’deki Bor İşletmeleri.....	57
4.2.1	Bigadiç Bor İşletme Müdürlüğü .....	57
4.2.2	Emet Bor İşletme Müdürlüğü .....	57
4.2.3	Kırka Bor İşletme Müdürlüğü.....	57
4.2.4	Kestelek Bor İşletme Müdürlüğü.....	57
4.2.5	Bandırma Bor ve Asit Fabrikaları İşletme Müdürlüğü .....	57
4.3	Türkiye Bor Rezervi .....	58
4.4	Türkiye’nin Dünya Bor Pazarındaki Payı.....	59
5.	DENEYSEL ÇALIŞMALAR .....	61
5.1	Deneylerde Kullanılan Kimyasallar ve Cihazlar .....	61
5.1.1	Kimyasallar .....	61

5.1.2	Cihazlar .....	61
5.2	Deneylerde Kullanılan Bileşiklerin Hazırlanması .....	61
5.3	Minerallerine Göre B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Miktarlarının Belirlenmesi .....	63
5.4	Boraks'da Na (Sodyum) Miktarının Belirlenmesi .....	65
5.5	Titrimetrik Metot ile Kalsiyum Analizi .....	65
5.6	X-Işını Floresans Spektroskopisi ile (XRF) Element Tayini .....	66
5.7	Termal Analiz ve Termal Gravimetri Analizi .....	67
5.8	Howitzer Nötron Geçirgenlik Deneyleri .....	68
5.8.1	Howitzer ile ölçülen oniki yıllık performans sonuçları .....	68
5.8.2	Bor minerallerinin nötron soğurmalarının kıyaslanması .....	68
6.	DENEYSEL SONUÇLAR .....	70
6.1	Bor Minerallerinin Kimlik Tanımlama Çalışması (XRD) .....	70
6.1.1	İnyoit .....	70
6.1.2	İnderit .....	71
6.1.3	Boraks .....	72
6.1.4	Kurnakovit .....	73
6.1.5	Kolemanit .....	74
6.1.6	Arsenikli Kolemanit .....	75
6.1.7	Breşli Kolemanit .....	75
6.2	Minerallerine Göre B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Sonuçları .....	75
6.3	Boraks'da Sodyum Miktarı .....	78
6.4	Bor Minerallerinin Kalsiyum İçerik Sonuçları .....	78
6.5	Bor Minerallerinin Kantitatif Analiz Sonuçları .....	78
6.6	Termal Analiz ve Termal Gravimetri Analiz Sonuçları .....	80
6.7	Howitzer Nötron Geçirgenlik Sonuçları .....	100
6.7.1	Oniki yıllık performans ölçümleri .....	100
6.7.2	Bor minerallerinin nötron soğurmalarının kıyaslanması .....	103
6.7.2.1	Kalsiyum boratlar .....	103
6.7.2.2	Sodyum-kalsiyum boratlar .....	111
6.7.2.3	Sodyum boratlar .....	117
6.8	Sonuçlar ve Öneriler .....	121
	KAYNAKLAR .....	123
	EKLER .....	126
	Ek 1a Kırka İnyonit'in Model Grafik ve Denklemi .....	127
	Ek 1b Bigadiç Kolemanit'in Model Grafik ve Denklemi .....	128
	Ek 1c Emet Kolemanit'in Model Grafik ve Denklemi .....	129
	Ek 1d Kestelek Kolemanit'in Model Grafik ve Denklemi .....	130
	Ek 1e Emet Arsenikli Kolemanit'in Model Grafik ve Denklemi .....	131
	Ek 1f Bigadiç Breşli Kolemanit'in Model Grafik ve Denklemi .....	132
	Ek 1g Bigadiç Pandemit'in Model Grafik ve Denklemi .....	133
	Ek 1h Kalsiyum-Borat Minerallerinin Model Denklem Çizelgesi .....	134
	Ek 2a Bigadiç Üleksit'in Model Grafik ve Denklemi .....	135
	Ek 2b Kestelek Üleksit'in Model Grafik ve Denklemi .....	136
	Ek 2c Kestelek Sekonder Üleksit'in Model Grafik ve Denklemi .....	137
	Ek 2d Kırka Üleksit'in Model Grafik ve Denklemi .....	138
	Ek 2e Sodyum-Kalsiyum-Borat Minerallerinin Model Denklem Çizelgesi .....	139
	Ek 3a Kırka Boraks'ın Model Grafik ve Denklemi .....	140
	Ek 3b Kırka Tinkalkonit'in Model Grafik ve Denklemi .....	141

Ek 3c Sodyum-Borat Minerallerinin Model Denklem Çizelgesi.....	142
ÖZGEÇMİŞ .....	143

## SİMGE LİSTESİ

$d$	Numune pelet kalınlığı
$d_1$	İnce kalınlıkta numune ( $\sim 0.5$ cm)
$d_2$	Orta kalınlıkta numune ( $\sim 0.7$ cm)
$d_3$	Kalın numune ( $\sim 1.2$ cm)
$d_{top}$	Toplam numune kalınlığı
$\Delta H$	Entalpi değişimi
$I$	Örnek ile elde edilen nötron sayımları
$I_0$	Örnek yokken elde edilen nötron sayımları
$I/I_0$	Geçirgenlik oranı
$\Delta(I/I_0)$	Geçirgenlik oranı değişimi
$\Delta m$	Ağırlık değişim yüzdesi
$N$	Nötron
$T_{baş}$	Pik başlangıç sıcaklığı
$T_{bit}$	Pik bitiş sıcaklığı
$T_{pik}$	Pik tepe noktası sıcaklığı
$\rho$	Özgöl ağırlık
$\phi$	Yayınlanan nötron akısı
$\alpha$	Alfa ışıması
$\beta$	Beta ışıması
$\gamma$	Gama ışıması

## **KISALTMA LİSTESİ**

DTA	Diferansiyel Termal Analiz
DTG	Diferansiyel Termal Gravimetri
GC/MS	Gaz Kromatografi / Kütle Spektromu
TG	Termal Gravimetri
XRD	X-Işınları Difraktometresi
XRF	X-Işınları Floresans Spektrometresi



## ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1 Çernobil kazası sonrası gelişen bir ölü doğum .....	4
Şekil 1.2 Bor karbür kompozitinde torca bağlı olarak kavrulma zamanının değişimi .....	8
Şekil 1.3 Örnek kalınlığına bağlı olarak değişen nötron geçirgenliği .....	8
Şekil 1.4 Makroskopik kesit alanının Bor karbür miktarı ile değişimi.....	9
Şekil 1.5 Elektriksel iletkenliğim Bor karbür miktarı ile değişimi.....	9
Şekil 1.6 Termal özelliklerin Bor karbür miktarı ile değişimi.....	10
Şekil 1.7 Çeşitli kalınlıklardaki poli-kristalin Bizmut'dan nötron geçişleri .....	11
Şekil 1.8 20 cm'lik poli-kristal Bizmut'tan soğuk nötron akısı geçişi, T = 77 K.....	12
Şekil 1.9 10 cm'lik mono-kristal Bizmut'un nötron akısı geçişi.....	12
Şekil 1.10 PbO–B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> cam sisteminde nötron sönümlenmesinin Pb'nin ağırlık oranı ile değişimi ve barit beton ile kıyaslanması .....	14
Şekil 1.11 Bi <sub>2</sub> O <sub>3</sub> –PbO–B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> cam sisteminde nötron sönümlenmesinin Bi/Pb'nin ağırlık oranı ile değişimi ve barit beton ile kıyaslanması.....	14
Şekil 1.12 Termal nötron akısının yüzeyden aralığı ile değişimi .....	15
Şekil 1.13 Epi-termal nötron akısının yüzeyden aralığı ile değişimi.....	15
Şekil 1.14 Hızlı nötron akısının yüzeyden aralığı ile değişimi.....	16
Şekil 1.15 İletim ve ani patternin oranının nötronlara bağlı değişimi .....	17
Şekil 1.16 İletim ve ani patternin oranının değişimi.....	17
Şekil 1.17 İletim ve ani patternin oranının kalınlığa ve malzeme tipine bağlı olarak değişimi .....	18
Şekil 1.18 Üretilen malzemenin içerdiği bor yüzdesine göre nötron ve gama akısı geçirgenlikleri.....	19
Şekil 1.19 Üretilen malzemenin kalınlığına göre nötron radyasyon dozu.....	19
Şekil 2.1 Boraks .....	26
Şekil 2.2 Kernit .....	26
Şekil 2.3 Üleksit.....	27
Şekil 2.4 Probertit .....	27
Şekil 2.5 Kolemanit .....	28
Şekil 2.6 Pandermit.....	28
Şekil 2.7 İnderit.....	29
Şekil 2.8 İnyoit.....	29
Şekil 2.9 Kurnakovit.....	30
Şekil 2.10 Hidroborasit .....	30
Şekil 2.11 Dünya bor rezervleri ve kaynaklarının dağılımı.....	33

Şekil 3.1 İzolasyon tipi cam elyafı kullanılarak yapılan çatı kaplaması.....	37
Şekil 3.2 Tekstil tipi cam elyafı.....	38
Şekil 3.3 Fiber optik kablolar.....	38
Şekil 3.4 Borosilikat camdan yapılmış bir laboratuvar malzemesi .....	39
Şekil 3.5 Sıvı kristal ekran ve içyapısı.....	40
Şekil 3.6 Katot tüplü monitör .....	40
Şekil 3.7 Yalıtım amaçlı kullanılan yanmaz plaka .....	43
Şekil 3.8 Yanmaz plastik malzeme örneği.....	43
Şekil 3.9 Yanmaz tekstil malzeme örneği .....	44
Şekil 3.10 Süperalaşım uçak motoru .....	48
Şekil 3.11 Bor fiberi.....	50
Şekil 3.12 Borlu yakıt pili takılmış bir motosiklet.....	51
Şekil 3.13 Füze yakıtı olarak bor bileşikleri .....	52
Şekil 4.1 Ülkeler bazında Dünya B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> üretimi (x10 <sup>3</sup> ton) .....	55
Şekil 4.2 Yıllar itibariyle Dünya bor pazarındaki payımız (Miktar bazında).....	60
Şekil 5.1 Analizlerde kullanılan toz haline getirilmiş bor mineralleri.....	62
Şekil 5.2 Philips - PANanalytical X-Işınları Difraktometresi (XRD) .....	63
Şekil 5.3 Human Power I <sup>+</sup> Water Purification System, Saf / Ultra Saf Su üretim cihazı.....	64
Şekil 5.4 Metrohm 794 Basic Titration titrasyon cihazı .....	64
Şekil 5.5 Peletleme cihaz ve aparatları .....	66
Şekil 5.6 PANanalytical, Minipal4 X-Işınları Floresans cihazı.....	67
Şekil 5.7 Perkin Elmer Diamond TG-DTA Termogravimetric / Differential Thermal Analyser cihazı.....	67
Şekil 5.8 Howitzer Nötron geçirgenlik düzeneği.....	69
Şekil 5.9 Howitzer kaynağından çıkan nötron radyasyonunun şematik gösterimi .....	69
Şekil 6.1 Kırka – İnyoit’in XRD spektrumu.....	70
Şekil 6.2 İnyoit’in kimyasal yapısı .....	70
Şekil 6.3 Kırka – İnderit’in XRD spektrumu.....	71
Şekil 6.4 İnderit’in kimyasal yapısı .....	71
Şekil 6.5 Kırka – Boraks’ın XRD spektrumu .....	72
Şekil 6.6 Boraks’ın kimyasal yapısı .....	72
Şekil 6.7 Kırka – Kurnakovit’in XRD spektrumu .....	73
Şekil 6.8 Kurnakovit’in kimyasal yapısı.....	73
Şekil 6.9 Emet – Kolemanit’in XRD spektrumu .....	74
Şekil 6.10 Kolemanit’in kimyasal yapısı.....	74

Şekil 6.11 Emet – Arsenikli Kolemanit'in XRD spektrumu .....	75
Şekil 6.12 Deneyleerde kullanılan bor minerallerinin boroksit miktarları, %.....	77
Şekil 6.13 Deneyleerde kullanılan bor minerallerinin demir, çinko ve arsenik içerikleri (ppm).....	79
Şekil 6.14 İnyoit'in DTA/TG analizi.....	81
Şekil 6.15 İnyoit'in hesaplanmış DTA/TG analizi.....	82
Şekil 6.16 İnyoit'in hesaplanmış DSC eğrisi .....	83
Şekil 6.17 İnderit'in DTA/TG analizi .....	85
Şekil 6.18 İnderit'in hesaplanmış DTA/TG analizi.....	86
Şekil 6.19 İnderit'in hesaplanmış DSC eğrisi .....	87
Şekil 6.20 Boraks'ın DTA/TG analizi.....	89
Şekil 6.21 Boraks'ın hesaplanmış DTA/TG analizi .....	90
Şekil 6.22 Boraks'ın hesaplanmış DSC eğrisi.....	91
Şekil 6.23 Kurnakovit'in DTA/TG analizi.....	93
Şekil 6.24 Kurnakovit'in hesaplanmış DTA/TG analizi .....	94
Şekil 6.25 Kurnakovit'in hesaplanmış DSC eğrisi.....	95
Şekil 6.26 Breşli kolemanit'in DTA/TG analizi.....	97
Şekil 6.27 Breşli kolemanit'in hesaplanmış DTA/TG analizi.....	98
Şekil 6.28 Breşli kolemanit'in hesaplanmış DSC eğrisi .....	99
Şekil 6.29 Howitzer nötron geçirgenlik sonuçları .....	102
Şekil 6.30 Kalsiyum borat minerallerinin B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> içerikleri .....	104
Şekil 6.31 Kalsiyum borat minerallerinin kalsiyum içerikleri.....	106
Şekil 6.32 Kalsiyum borat minerallerinin birim (1 cm) nötron soğurma sonuçları.....	109
Şekil 6.33 Sodyum-kalsiyum borat minerallerinin B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> içerikleri .....	112
Şekil 6.34 Sodyum-kalsiyum borat minerallerinin Ca içerikleri .....	114
Şekil 6.35 Sodyum-kalsiyum borat minerallerinin birim (1 cm) nötron soğurma sonuçları ..	116
Şekil 6.36 Sodyum borat minerallerinin B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> içerikleri .....	118
Şekil 6.37 Sodyum borat minerallerinin birim (1 cm) nötron soğurma sonuçları .....	120

## ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 1.1 Radyasyon dozuna bağlı olarak görülebilecek semptomlar .....	5
Çizelge 1.2 Değişik oranlarda bor karbür katılmış doğal kauçuk.....	7
Çizelge 1.3 Deneyleerde kullanılan cam örneklerin kimyasal bileşimleri .....	13
Çizelge 1.4 GC/MS'de elde edilen organik bileşenler .....	20
Çizelge 1.5 Kütleleel zırh malzeme içerik oranları.....	21
Çizelge 2.1 Bor elementinin fiziksel özellikleri .....	24
Çizelge 2.2 Ticari öneme sahip bor mineralleri.....	25
Çizelge 2.3 Dünya bor rezervleri ve kaynakları .....	32
Çizelge 4.1 Ülkeler bazında Dünya B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> üretimi (x10 <sup>3</sup> ton) .....	56
Çizelge 4.2 Mineral bazında Türkiye bor rezervleri.....	58
Çizelge 4.3 Mineral bazında Türkiye bor rezervleri (B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> bazında).....	59
Çizelge 5.1 Analizlerde kullanılan bor minerallerinin teorik fiziksel özellikleri	62
Çizelge 5.2 Alev fotometresi için kullanılan parametreler .....	65
Çizelge 6.1 Deneyleerde kullanılan bor minerallerinin boroksit miktarları, %.....	76
Çizelge 6.2 Boraks'ın sodyum (Na) içeriği.....	78
Çizelge 6.3 Deneyleerde kullanılan bor minerallerinin kalsiyum analiz sonuçları .....	78
Çizelge 6.4 Deneyleerde kullanılan bor minerallerinin kantitatif analiz sonuçları .....	78
Çizelge 6.5 İnyoit'in DTA ve TG sonuçları.....	84
Çizelge 6.6 İnderit'in DTA ve TG sonuçları.....	88
Çizelge 6.7 Boraks'ın DTA ve TG sonuçları .....	92
Çizelge 6.8 Kurnakovit'in DTA ve TG sonuçları .....	96
Çizelge 6.9 Breşli Kolemanit'in DTA ve TG sonuçları.....	100
Çizelge 6.10 Howitzer nötron geçirgenlik sonuçları (1996), $\phi = 10^4$ n/cm <sup>2</sup> s	101
Çizelge 6.11 Howitzer nötron geçirgenlik sonuçları (2008), $\phi = 10^4$ n/cm <sup>2</sup> s .....	101
Çizelge 6.12 Kalsiyum borat minerallerinin B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> içerikleri .....	103
Çizelge 6.13 Kalsiyum borat minerallerinin kalsiyum içerikleri.....	105
Çizelge 6.14 Kalsiyum borat minerallerinin Howitzer deneyleri için hazırlanan pelet kalınlıkları.....	107
Çizelge 6.15 Kalsiyum borat minerallerinin Nötron Soğurma sonuçları .....	108
Çizelge 6.16 Sodyum-kalsiyum borat minerallerinin B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> içerikleri .....	111
Çizelge 6.17 Sodyum-kalsiyum borat minerallerinin kalsiyum içerikleri.....	113
Çizelge 6.18 Sodyum-kalsiyum borat minerallerinin Howitzer deneyleri için hazırlanan pelet kalınlıkları.....	113

Çizelge 6.19 Sodyum-kalsiyum borat minerallerinin nötron soğurma sonuçları .....	115
Çizelge 6.20 Sodyum borat minerallerinin B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> içerikleri .....	117
Çizelge 6.21 Sodyum borat minerallerinin Howitzer deneyleri için hazırlanan pelet kalınlıkları .....	119
Çizelge 6.22 Sodyum borat minerallerinin nötron soğurma sonuçları .....	119

## ÖNSÖZ

Öncelikle beni Yıldız Teknik Üniversitesi Kimya Mühendisliği Yüksek Lisans programına kabul eden ve “Bazı bor bileşiklerinin beton karışımlarına eklenerek nötron zırhlamasında kullanımı” isimli tez çalışmasını bana açan çok değerli hocam ve sayın dekanım Prof. Dr. Sabriye PİŞKİN’e teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Yüksek lisans ders aşamasında derslerini aldığım, Bölüm başkanım Prof.Dr. Mualla ÖNER’e, Anabilim dalı başkanım Prof. Dr. Seyfettin ERTURAN’a ve bölümümüz hocalarından Prof. Dr. Ülker BEKER’e, Doç. Dr. Mesut AKGÜN’e, Yrd. Doç. Dr. Nurcan TUĞRUL’a, ve Yrd. Doç. Dr. İlknur KÜÇÜK’e,

Howitzer deneyleri için İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü Müdürü Prof. Dr. Ahmet BAYÜLKEN’e ve deneylerin gerçekleştirilmesindeki yardımlarından dolayı sağlık fiziği laboratuvarı elemanlarından Yüksek Fizik Mühendisi Sahip KIZILTAŞ’a, bor malzemelerinin temini için yardımını esirgemeyen ÇANEM’den Dr. Fatma YILMAZ’a,

Yıldız Teknik Üniversitesinde yapılan analizler için DTA/TG analizlerinin yorumlanmasında ve çalışmamın her türlü bölümünde bana yol gösteren ve destek olan Yrd. Doç. Dr. Emek Möröydor DERUN’a,

XRF analizlerinin yorumlanmasında Arş. Gör. Aysel KANTÜRK’e, XRD analizlerinin yorumlanmasında Arş. Gör. Özgül Dere ÖZDEMİR’e,

Bu analizleri yaparken bana yardımcı olan laboratuvar personeli arkadaşlarımdan, DTA/TG ve XRD analizleri için Teknisyen Cem ÇAKMAK’a, XRF ve Kalsiyum analizleri için Tekniker Nükhet TAŞÇI’ya,

Ege Üniversitesinden İstanbul’a döndüğümden beri benimle irtibatı koparmayan ve fikirleri ile beni destekleyen sayın hocam Prof. Dr. Mustafa DEMİRCİOĞLU’na,

Yüksek lisans teşviklerinden dolayı sayın Prof. Dr. Turgut UZEL’e ve Yrd. Doç. Dr. Nihal SARIER’e,

Her zaman her türlü sorunumda arkamda olan ve manevi destek çıkan nişanlım Kimya Yüksek Mühendisi Ekin YILDIRIM’a,

Ve son olarak da bütün eğitim hayatım boyunca gösterdikleri sabır, hoşgörü ve destek için anneme, babama ve tüm aileme çok teşekkür ederim.

## ÖZET

Yapılan bu çalışmada hammadde olarak, bor minerallerinden: inyoit ( $\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11}\cdot 13\text{H}_2\text{O}$ ), inderit ( $2\text{MgO}\cdot 3\text{B}_2\text{O}_3\cdot 15\text{H}_2\text{O}$ ), boraks ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7\cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ), kurnakovit ( $\text{Mg}_2\text{B}_6\text{O}_{11}\cdot 15\text{H}_2\text{O}$ ), kolemanit ( $\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11}\cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ), breşli kolemanit ve arsenikli kolemanit kullanılmıştır.

Bor mineralleri deneylerde direk olarak kullanılmış, öncesinden hiçbir işlem görmemiştir. Numunelerin XRD cihazında kimlik tespitleri yapıldıktan sonra, içerdikleri boroksit ( $\text{B}_2\text{O}_3$ ), sodyum (Na), kalsiyum (Ca), demir (Fe), çinko (Zn) ve arsenik (As) miktarları hesaplanmış, Termal Analiz ve Termal Gravimetri analizleri yapılmış ve son olarak da Howitzer cihazında nötron geçirgenlikleri hesaplanmıştır.

Boroksit ( $\text{B}_2\text{O}_3$ ) analizleri titrasyon ile bulunmuş ve en yüksek değeri breşli kolemanit'in aldığı ve en düşük değeri de inyoit'in aldığı hesaplanmıştır. Hesaplanan değerlerin teorik değerler ile uyduğu gözlemlenmiştir.

Bir tek boraks sodyum (Na) içerdiği için, sadece boraks'ın sodyum içeriğine bakılmış ve alev fotometresi ile ölçülmüştür.

Bor minerallerinin XRF cihazı ile kantitatif analizleri yapılmış ve içerdikleri demir (Fe), çinko (Zn) ve arsenik (As) değerleri incelenmiştir. En yüksek demir içeriğinin kolemanit'de, en yüksek çinko içeriğinin inyoit'de ve en yüksek arsenik içeriğinin arsenikli kolemanit'de bulunduğu saptanmıştır.

Minerallerin kalsiyum içerikleri titrimetrik metot ile analiz edilmiş, en yüksek kalsiyum içeriği arsenikli kolemanit'de bulunmuştur.

Termal analizler, DTA/TG cihazı ile yapılmış boraks'ın yapısının  $100\text{ }^\circ\text{C}$  den önce bozulduğu, inyoit, inderit ve kurnakovit'in yapılarının  $150\text{ }^\circ\text{C}$  den önce bozulduğu ve Breşli kolemanit'in yapısının  $350\text{ }^\circ\text{C}$  den önce bozulduğu ortaya çıkmıştır.

Ardından bor minerallerinin, Howitzer cihazında nötron geçirgenliklerine bakılmış ve diğer bor minerallerine kıyasla kurnakovit'in daha yüksek nötron soğurma kapasitesi olduğu ortaya çıkmıştır. Aynı zamanda bu çalışma diğer bir çalışma ile kıyaslanarak oniki senelik zırh performansları değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonucu olarak açık havada bırakılan bor minerallerinin yapılarında bozulma meydana geldiği anlaşılmış, olası zırh tasarımlarında hava ortamında etkilenmemesi için beton karışımlarına eklenmesinin uygun olabileceği; deneysel olarak araştırılması önerilmiştir.

Son adımda Türkiye'nin çeşitli bölgelerinde getirilen bor mineralleri üç ana grup altında toplandıktan sonra (Kalsiyum-boratlar, kalsiyum-sodyum boratlar ve sodyum boratlar) farklı tane boyutlarında Nötron Soğurma analizleri yapılmış ve model denklemleri türetilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Bor mineralleri, nötron zırhlama, nötron geçirgenliği, nötron soğurma

## ABSTRACT

In this work, inyoite ( $\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11}\cdot 13\text{H}_2\text{O}$ ), inderite ( $2\text{MgO}\cdot 3\text{B}_2\text{O}_3\cdot 15\text{H}_2\text{O}$ ), borax ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7\cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ), kurnakovite ( $\text{Mg}_2\text{B}_6\text{O}_{11}\cdot 15\text{H}_2\text{O}$ ), colemanite ( $\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11}\cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ), colemanite with clay and colemanite with arsenic are used from the boron minerals.

Boron minerals are taken into experiments directly without any pretreatment. After identifying the structures of boron minerals with XRD instrument, boron oxide ( $\text{B}_2\text{O}_3$ ), sodium (Na), calcium (Ca), iron (Fe), zinc (Zn), and arsenic (As) contents are calculated, then thermal analysis and thermal gravimetry analysis are done. Lastly neutron permeabilities are calculated with the equipment of Howitzer.

Boron oxide analyses are done with titration and colemanite with clay had the higher content. Inyoite had the lower content. It has been obviously seen that the calculated values are nearly the same as theoretical values.

Flame photometry is used to measure the sodium (Na) content of borax because only the borax has the sodium (Na) content.

The quantitative analyses are done to the boron minerals with XRF to obtain the contents of iron (Fe), zinc (Zn), and arsenide (As). Colemanite had the highest value of iron (Fe) content. Inyoite had the highest zinc content and colemanite with arsenic had the highest arsenic content.

Calcium analyses are made using EDTA titration method. Colemanite with arsenic had the highest content.

Thermal analyses are done by the equipment of DTA/TG. Borax decomposed before  $100\text{ }^\circ\text{C}$ , inyoite, inderite, and kurnakovite decomposed before  $150\text{ }^\circ\text{C}$ , and colemanite with clay decomposed before  $350\text{ }^\circ\text{C}$ .

Lastly neutron permeability of boron minerals are measured with the equipment of Howitzer and kurnakovite had the lowest neutron permeability among the others. Another aim of this study is to determine the twelve year performance of the shield materials. After the evaluation of the data, it was seen that, the boron minerals which are kept in open air conditions, had deformations in their structures. In order to preserve the structures of shield materials and not to be affected by open air conditions, boron minerals can be added to the concrete mix.

For the last step of the study, the boron minerals that is supplied from the different regions of the Turkey, is categorized to three different groups (Calcium-borates, sodium-calcium borates, sodium borates). Then neutron absorption analyses of these minerals are made. Also these minerals have different particle sizes. Finally according to the neutron absorption values, the model equations are derived.

**Keywords:** Boron minerals, neutron shielding, neutron permeability, neutron absorption



## 1. GİRİŞ

Günümüzde her geçen yıla oranla katlanarak artan elektrik ihtiyacını karşılamak için nükleer teknolojiyi kullanmak zorunlu hale gelmiştir. Ayrıca nükleer enerji başta tıp olmak üzere, endüstride, tarımda, bilimsel çalışmalarda ve daha birçok yerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu teknoloji, getirdiği büyük faydalar ile beraber ortaya çıkan nükleer radyasyonun canlı dokular üzerinde yapacağı zararı önlemek için bir takım tedbirlerin alınmasını da zorunlu kılmaktadır.

Radyasyondan korunmanın en önemli kuralı radyasyon seviyesini olabildiğince aşağılara çekmektir. Konuya bir fonksiyon olarak bakıldığı vakit radyasyon seviyesi, uzaklık, süre ve zırhlamaya bağlı olarak değişmektedir.

Uzaklık ve süre radyasyonun biyolojik etkilerini yok etmekte tek başlarına işe yaramazlar. İnsan sağlığı ve çevre kirliliği bakımından radyasyonun çok iyi zırhlanması gerekmektedir. Nükleer tesislerde ortaya çıkan  $\alpha$  (alfa) ve  $\beta$  (beta) parçacıklarının malzeme içerisinde aldıkları yollar kısa olduğundan hesaplama yapılırken genelde ihmal edilirler. Zırh tasarlarken nötron ve  $\gamma$  (gama) ışınları göz önüne alınmaktadır.

Nötron zırhlamasında istenilen özelliklere sahip olan elementlerden biri ülkemizde bolca bulunan bor mineralidir. Doğal olarak elde edilen bor minerali aşağı yukarı % 20  $^{10}\text{B}$  ve % 80  $^{11}\text{B}$  izotopu içermektedir. Termal nötron yutma tesir kesiti de 750 barn'dır.

Doğada bor, serbest halde bulunmamakla birlikte oksijen ile birleşerek bor tuzları şeklinde bulunur. Kalsiyum (Ca) ve magnezyum (Mg) içeren bileşikleri çok yaygındır. Bor'un yeryüzünde bilinen 230'dan fazla cevheri bulunmaktadır. Bor elementini cevherinden ayırmak pahalı ve zor bir işlem olduğundan dolayı sanayi dallarında, bor mineralleri olduğu gibi kullanılmaktadır.

Dünya toplam bor rezervi 1.2 milyar ton olup; bu rezervin % 72.2'si Türkiye'de bulunduğundan dolayı Türkiye bor minerali açısından rakipsizdir.

## 1.1 Radyasyon

Günlük hayatımızın hemen her alanında, gerek doğal yollardan, gerekse teknolojik gelişmelerin getirdiği kolaylıkların, belki de bir bedeli olarak sürekli radyasyona maruz kalmaktayız. Hiç farkında olmadığımız bir şekilde organlarımız, dokularımız radyasyonla etkileşime girmektedir. Bu etkileşim bazı durumlarda gözle görülür sonuçlar doğururken, bazen de hiç haberimiz olmadan vücudumuzun içinden geçip gitmektedir.

Radyasyon, dalga, parçacık veya foton olarak adlandırılan enerji paketleri ile yayılan enerjidir. Radyasyon, daima doğada var olan ve birlikte yaşadığımız bir olgudur. Radyo ve televizyon iletişimini olanaklı kılan radyo dalgaları; tıpta, endüstride kullanılan x-ışınları; güneş ışınları; günlük hayatımızda alışkın olduğumuz radyasyon çeşitleridir.

Radyasyon birçok insanın düşündüğü gibi 1900'li yıllarda keşfedilmesi ile ortaya çıkan bir tehlike değildir. Tam aksine ilk çağlardan beri vardır. Ancak, teknolojinin ve sanayileşmenin gelişmesi, uranyum elementinin elde edilmesi ve kullanılması ile radyasyonun etkileri giderek artmıştır.

### 1.1.1 Radyasyonun çeşitleri

#### 1.1.1.1 İyonlaştırıcı radyasyon

İçine girdiği ortama iyonlara ayırıştırarak radyasyonlara verilen addır. İyonlaştırıcı radyasyon elektromanyetik ve parçacıklı radyasyon olarak ikiye ayrılır:

Elektromanyetik radyasyonlar: Gama( $\gamma$ ) ve X ışınları elektromanyetik radyasyonlardır. Bunlar yüksek frekanslı görünen ışık ve radyo dalgaları gibi elektromanyetik dalgalardır. Bunların dalga boyları çok küçük fakat enerjileri yüksektir. Gama ( $\gamma$ ) Işınları, manyetik alanda sapmadıkları için belirli bir elektrikle yüklü değildirler. Radyoaktif bozunmalar ya da nükleer reaksiyonlar sonucu oluşan kararsız atom çekirdeklerinden yayılan bir çeşit elektromanyetik ışınlardır. X Işınları ise, hızlandırılmış yüksek atom numaralı elektronlar, hedef seçilen atomların çekirdeklerine yaklaştıklarında, oluşan frenlemelerden meydana gelmektedir.

Parçacıklı Radyasyonlar: Alfa ( $\alpha$ ) Işınları: (+) yüklü parçacıklardan oluşur. Çalışmalar alfa ışınlarının artı yüklü helyum çekirdeklerinden ( $He^{++}$ ) meydana geldiğini göstermiştir. Bir kâğıt parçası veya cildimiz tarafından durdurulabilir. Beta ( $\beta$ )Işınları: (+) ve (-) elektrik yüklerinden meydana gelmişlerdir. İnce bir su, metal levha ya da cam tabakası bu elektronları durdurmak için yeterlidir. Alfa ve beta ışınları atomun çekirdeğinden kaynaklanan radyoaktif ışınlardır. Her iki ışın da belirli bir kütleyle sahiptir. Alfa ve beta ışınları kütleleri ve elektriksel yüklerinden dolayı, X ve gama ışınlarına göre, maddelere daha az nüfuz ederler.

Ancak, bu ışınların iyonlaştırıcı etkileri daha fazladır. Nötron ve proton ise kütleleri alfa ışınlarının dörtte biri kadar olan nükleer taneciklerdir. Çeşitli nükleer reaksiyonlar sırasında çekirdekten kopan nötron ve protonlar insan sağlığı için en tehlikeli radyasyonlardır. Özellikle nötron, elektrik yükü olmadığından çok büyük nüfuz etme özelliğine sahiptir. Radyoaktif ışınların insan vücuduna etkisi bu ışınların hareketleriyle ilgilidir.

Serbest Nötronlar: Bunlar radyasyonla oluşan yüksüz parçacıklardır. Bu nedenle her maddeye kolayca girebilirler. Bunların doğrudan iyonlaştırıcı özellikleri yoktur. Ancak bu serbest nötronların, girdikleri maddelerin nötronları ile etkileşimleri sonucu  $\alpha$   $\beta$   $\gamma$  ve x ışınları gibi ışınımlar oluştururlar. Bu ışınlar ise etkileşme sonucu girdiği maddenin atomundan koparak iyonlaşmayı gerçekleştirir.

### **1.1.1.2 İyonlaştırıcı olmayan radyasyonlar**

Optik Radyasyonlar: Ultraviyole ışınları: Asıl kaynağı güneştir. UV ışınları güneş tam doğarken bolca yayılmaktadır. UV ışınları beyaz elbise giyilerek engellenebilir. Bazen bu ışınlar kar veya kumdan yansyarak kar ve güneş körlüğü yapabilir. UV'nin derine inmesi (giriciliği) az olduğu için büyük oranda deri ve gözleri etkilemektedir. Deri kanserlerinin % 80'i UV ışınlarından kaynaklanmaktadır.

EMR Nitelikli Radyasyonlar: Radyo dalgaları, mikrodalgalar, mobil ve cep telefonları, radyo FM ve TV vericileri, radarlar, trafolar, mikrodalga fırınlar, bilgisayarlar, akım taşıyan kablolar bu gruba girmektedirler.

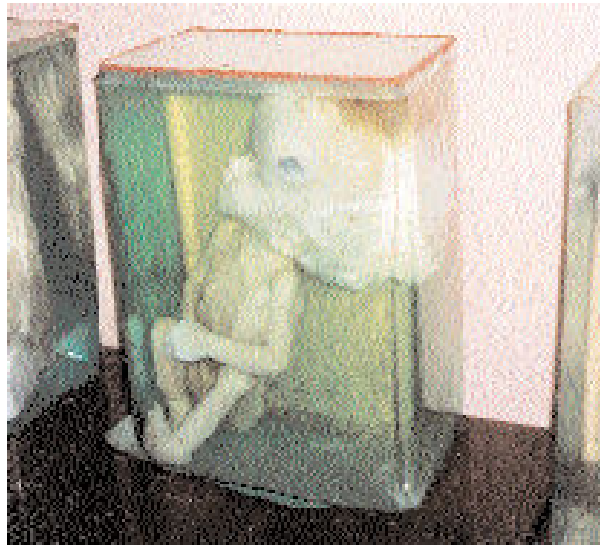
### **1.1.2 Radyasyonun canlılara etkisi**

Uzayda saniyede yaklaşık 300.000 km gibi çok yüksek hızlarla hareket eden bu ışınlar kolaylıkla insan vücuduna nüfuz edebilir ve vücudu oluşturan biyolojik hücrelere hasar verebilirler. Ayrıca, bu ışınların hücrelerin kimyasal yapılarını değiştirmeleri de mümkündür. Özellikle elektrik yüklü ışınlar saniyenin binde biri gibi çok kısa süre içinde hücre moleküllerini parçalayıp iyonlarına ayrıştırabilirler. Bununla birlikte, etrafta bulunan diğer hücreleri de fizyolojik görevlerini yapamaz duruma getirebilirler. Bütün bunların sonucunda radyasyona maruz kalan bir hücre ya ölür veya işlevini yitirir. Aslında az sayıda hücrenin ölmesi önemli değildir. Çünkü normal yaşamda yıpranan hücrelerin ölümü ve yerlerine yenilerin doğması doğaldır. Ancak, yüksek radyasyon sonucu çok sayıda hücrenin aniden ölmesi veya normal çalışmasının bozulması canlının sağlığını önemli ölçüde etkileyecek bir olaydır.

Hayati önemi fazla olan dokularda (kemik iliği, dalak, kan ve üreme hücreleri) radyasyonun

etkisi daha erken görülür. Çünkü bu hücreler daha çabuk çoğaldığından bir hücredeki hasar, sakat doğan yeni hücrelerle çığ gibi büyür. Bu ise uzun bir zaman dilimi içerisinde her an bir tümör olarak sonuçlanabilir. Radyasyonun kanserojen etkisi bu şekilde ortaya çıkmaktaydı.

En büyük tehlike ise hücre çekirdeği içindeki DNA'ların bozulmasıdır. Çernobil kazası sonrasında gelişen bir ölü doğum örneği Şekil 1.1'de gösterilmiştir. DNA'lardan oluşan kromozomların yapılarının değişmesi, taşıdığı sırların kaybolması ve yeni genetik yapıları hücreler haline dönüşmesi sonucunda ebeveyne benzemeyen yeni bir genotip ortaya çıkar. Bu farklılaşmaya mutasyon adı verilir. Eğer bu durum, bireyin üreme hücrelerinde gerçekleşirse radyasyondan kaynaklanan bu değişiklik gelecek nesillere de aktarılır.



Şekil 1.1 Çernobil kazası sonrası gelişen bir ölü doğum (Bozbıyık, 2002)

Yüksek dozda radyasyona maruz kalmış bireylerde görülebilecek başlıca hastalıklar ise kanda ve kan yapan organlarda tahribat (anemi, lösemi), ciltte ateş yanğını andıran yaralar, gözde katarakt, kısırlık, kanser ve kalıtsal bozukluklardır.

Bir insan vücudunun kısa bir süre belirli bir radyasyon dozuna maruz kalması sonucu görülebilecek rahatsızlıklar ise kişiden kişiye değişebilir. Ancak, bu rahatsızlıkların genel özellikleri Çizelge 1.1'de özetlenmiştir.

Çizelge 1.1 Radyasyon dozuna bağlı olarak görülebilecek semptomlar

Radyasyon Dozu (rem)	Açıklamalar
50	Gözlenebilir bir biyolojik etki meydana getiren en küçük radyasyon dozudur. Bu doz kandaki akyuvar sayısında geçici bir değişiklik meydana getirir.
100 – 200	Radyasyona maruz kalan bir insanda 3 saat içerisinde kusma ile birlikte yorgunluk ve iştahsızlık görülür. Bu tür hastalarda bir kaç hafta içinde iyileşme gözlenir.
300	Radyasyon dozuna maruz kalan kişilerde 2 saat içinde kusma ve halsizlik başlar. Yaklaşık 2 hafta sonra ise saçlar dökülmeye başlar. Bir ay ile bir yıl arasında bu kişilerin %90'ı iyileşir. Vücut tarafından alınan radyasyon dozunun artmasıyla gözlenen etkiler daha belirgin ve ciddi olmaya başlar.
400	radyasyon dozuna maruz kalan kişilerde bir kaç saat içerisinde başlayan bulantı ve kusma dönemini iştahsızlık, halsizlik, ateş ve saç dökülmesi izler. Yaklaşık iki hafta sonra ağızda iltihaplanma görülür, ishal ile birlikte hızlı kilo kaybı başlar. Bu dozda radyasyona maruz kalan fertlerin %50'si 2 ile 4 hafta içinde ölür.
600	Ölüm oranı %90'a çıkar. Kalanların iyileşmesi ise çok uzun süren tedaviler gerektirir.

### 1.1.3 Nötron radyasyonu

Bütün elementler atom deneni çok küçük parçacıklardan oluşur ve her elementin atomu farklı bir yapıdadır. Bu atomların kendileri de çeşitli parçacıklardan oluşur; her atomun merkezinde bir çekirdek ve bu çekirdeğin çevresindeki enerji katmanlarına ya da kabuklarına yerleşmiş elektronlar vardır. Çekirdek ise, proton ve nötronlardan oluşmuştur.

Nötronları 1932'de İngiliz fizikçi Sir James Chadwick keşfetmiştir. Nötronlara bu adın verilmesinin nedeni, bu parçaların hiç elektrik yükü taşımamaları, yani elektriksel bakımdan nötr olmalarıdır. Nötron, protonla hemen hemen aynı kütleye sahiptir ve nötronlar ile protonlar atom kütlelerinin yüzde 99.9'unu oluşturur. Atom çekirdeğini oluşturan bu nötron ve protonlar bazen birlikte çekirdek parçacığı ya da nükleon olarak adlandırılır. Nötron ve protonları bir arada tutan, doğadaki bilinen en büyük kuvvet olan güçlü nükleer etkileşimdir. Artı yüklü protonların birbirini iterek çekirdeğin dağılmasına yol açmalarını önleyen bu kuvvettir.

Bir proton ve bir elektronu olan hidrojen atomunun dışındaki bütün atomlarda nötronlar vardır. Bir elementin atomunu başka bütün elementlerin atomlarından farklı kılan, o atomdaki nötron, proton ve elektronların sayısıdır. Bir atomdaki elektronların ve protonların sayısı,

atomu elektriksel bakımdan dengede tutmak için aynı olmak zorundadır; ama nötron sayısı değişebilir. Bu nedenle, bir elementin atom numarası tek ve değişmezken, aynı element, kütle numaraları farklı olan biçimlerde bulunabilir. Aynı elementin değişik sayıda nötrona sahip (kütle numaraları değişik) atomlarına, o elementin izotopları denir. Radyoaktif olan bir izotopa radyoizotop denir.

Nötronlar elektrik yükü taşımadıkları için, bu parçacıklar ile eksi yüklü elektronlar ya da artı yüklü çekirdekler arasında herhangi bir etkileşim (itme) olmaz. Bu özellikten yararlanılarak belirli bir maddenin atom çekirdekle nötronlarla bombardıman edilebilir ve maddenin çekirdeğinde bir değişim yaratılabilir. Bazen herhangi bir çekirdek, bir nötron soğurarak daha büyük bir kütleyle sahip olabilir. Ama çoğunlukla, nötron soğuran bir çekirdek kararsız hale gelir ve ışınım salarak dağılır, yani bozunur; bu ışınım salma olayına radyasyon ya da radyoaktif ışınım denir. Tıp ve sanayide kullanılan radyo izotoplar, nötron bombardımanı yoluyla üretilir. Nötronlar uranyum ve plütonyum gibi ağır atomların çekirdekleriyle çarpıştıkları zaman, çekirdek bölünmesi (filyon) olayı gerçekleşir ve çok büyük bir nükleer enerji açığa çıkar (Murray, 2000).

#### **1.1.4 Nötron ve gama radyasyondan korunma yöntemleri**

Nükleer patlamalar, radyasyon serpintisi gibi yollarla yayılan dış kaynaklı radyasyona karşı alınabilecek önlemler sırası ile:

- Radyasyon kaynağı yakınında geçirilen zamanın azaltılması
- Kaynakla kişi arasındaki uzaklık arttırılması
- Kaynakla kişi arasına bir kalkan konulması şeklinde verilebilir (Murray, 2000).

### **1.2 Nötron Zırhlama ile İlgili Dünya’da ve Türkiye’de Yapılan Çalışmalar**

Başta ABD ve Fransa olmak üzere pek çok ülke nükleer reaktör teknolojisinde bor bileşikleri zırh malzemesi olarak kullanmaktadır. Nükleer Zırhlama alanında gerek Türkiye’de gerekse Dünya’da birçok araştırma yapılmıştır.

Aşağıda, Dünya’da yapılan nötron zırhlama çalışmalarına dair kimi örnekler verilmektedir:

#### **1.2.1 Poly-boron**

Buiyan ve Ahmed, (1989), Hindistan’da polietilen matrisin içine bor katarak poly-boron adında bir zırh malzemesi üretmişlerdir. Bu çalışmada nötron geçirgenliğinin zırh kalınlığına bağlı olarak değişimi kadmiyumlu ve kadmiyumsuz ortamda ölçülmüş, kalınlık arttıkça

makroskopik tesir kesitinin azaldığı dolayısı ile ortalama serbest yolun arttığı gözlemlenmiştir. Çalışmada makroskopik kaldırma tesir kesidinin kalınlığa bağlı olarak değişiminin parabolik bir ifade ile,  $y = a + bx + cx^2$  şeklinde değiştiği öngörülmüştür.

### 1.2.2 40 HAF/NR alaşımı

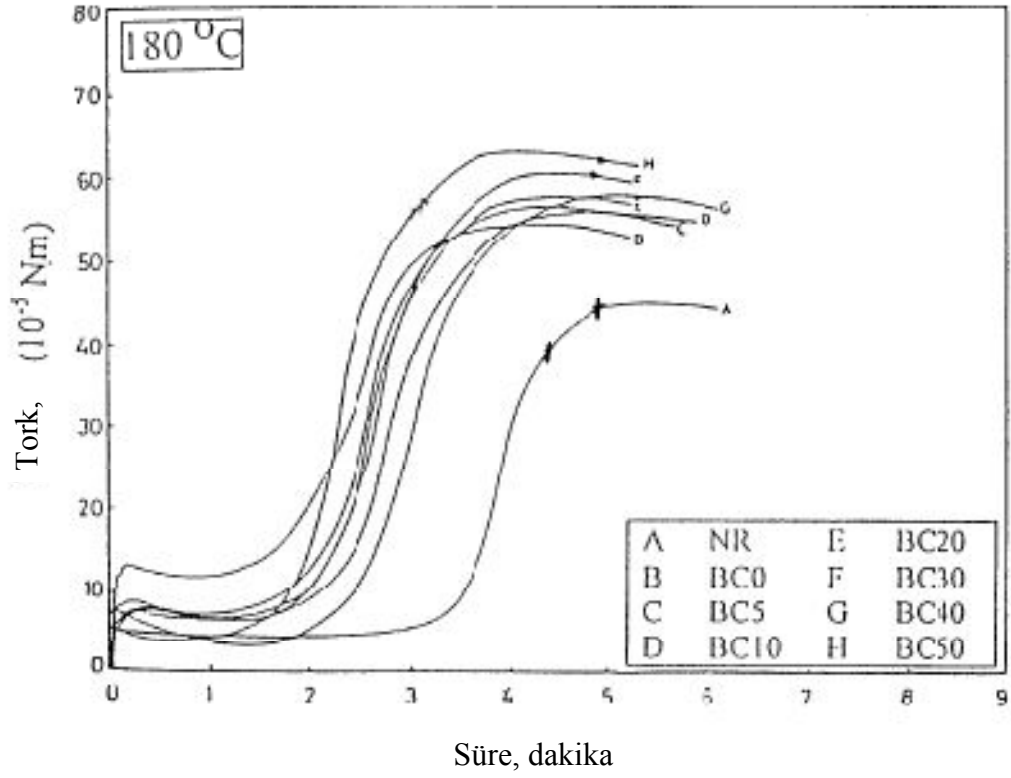
Gwaily vd. (2002), bor karbür ve doğal kauçuk kullanarak 40 HAF/NR kodlu termal nötron radyasyon zırhı oluşturmuşlardır.

Orijinal örnekler 5 cm x 5 cm kare şeklinde hazırlanmış ve dört farklı kalınlıkta (2, 3, 6 ve 9 mm) üretilmiştir. Deneyler 70°C’de 28 gün sürmüştür. Bu zırhı oluştururken kauçuğa değişik oranlarda B<sub>4</sub>C katılmışlardır. Katılan B<sub>4</sub>C oranları Çizelge 1.2’de verilmiştir.

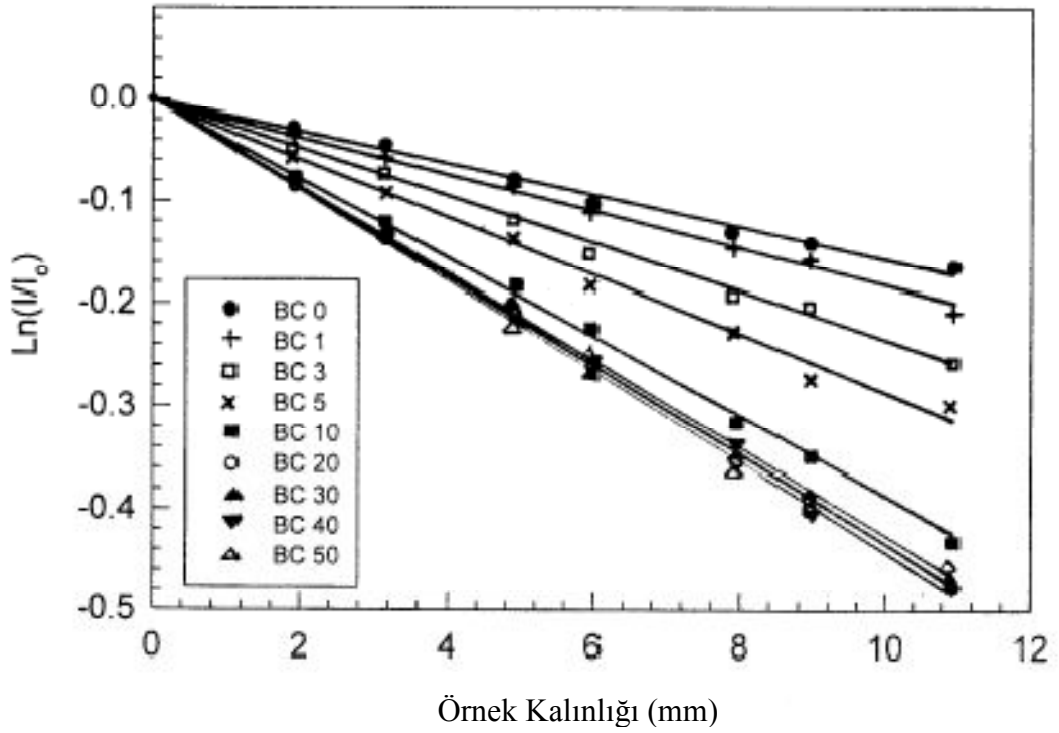
Çizelge 1.2 Değişik oranlarda bor karbür katılmış doğal kauçuk (Gwaily, 2002)

İçerik (Ağırlıkça)	BC0	BC1	BC3	BC5	BC10	BC20	BC30	BC40	BC50
NR	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Sterik Asit	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Yarım/siyah	40	40	40	40	40	40	40	40	40
Proses yağı	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Boron karbür	0	1	3	5	10	20	30	40	50
Dibenzothiazil disülfid	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Fenol beta nafta amin	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Çinko oksit	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Kükürt	2	2	2	2	2	2	2	2	2

Elde edilen sonuçlara göre kavrulma zamanı, artan bor karbür miktarına bağlı olarak Şekil 1.2’de de görüldüğü gibi azalmaktadır. Örnek kalınlığı arttıkça logaritmik geçirgenliğin lineer bir şekilde düştüğü görülmektedir (Şekil 1.2).



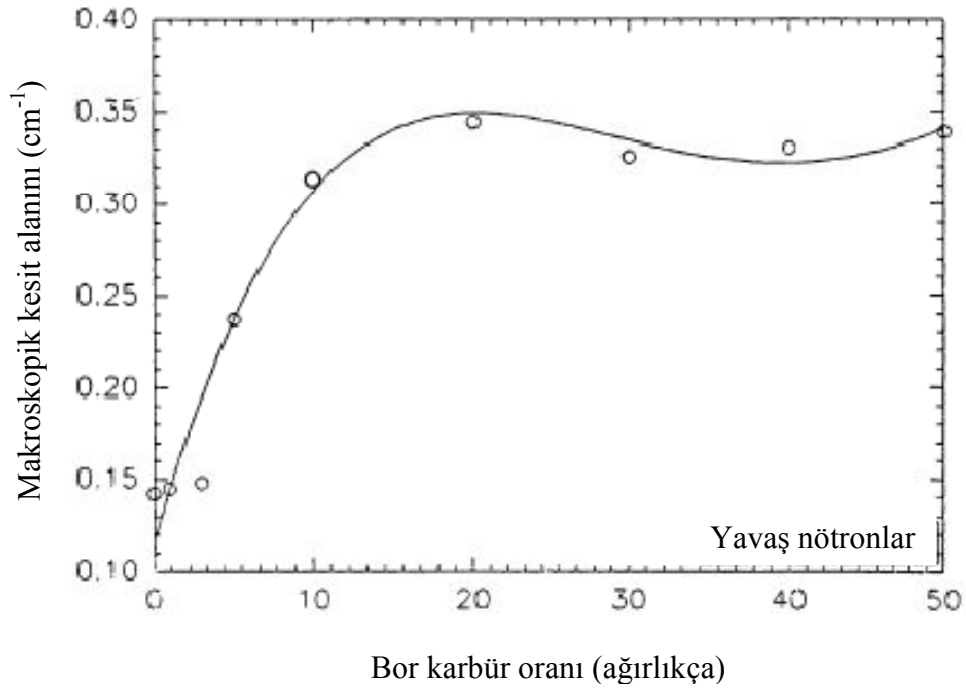
Şekil 1.2 Bor karbür kompozitinde torka bağlı olarak kavrulma zamanının değişimi (Gwaily, 2002)



Şekil 1.3 Örnek kalınlığına bağlı olarak değişen nötron geçirgenliği (Gwaily, 2002)

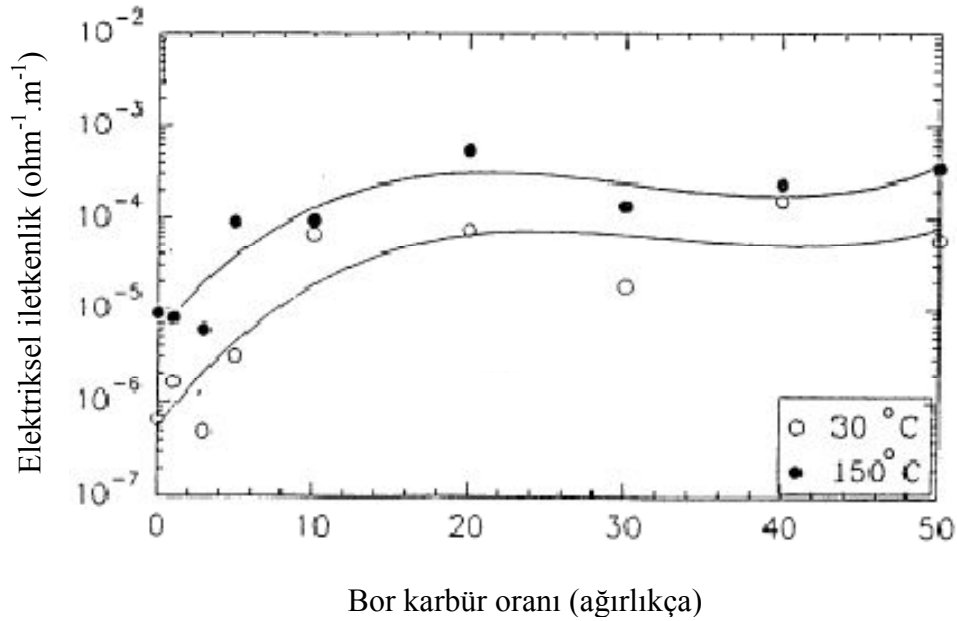


Yavaş nötronlarda %10 B<sub>4</sub>C katılmasına kadar makroskopik kesit alanının hızlıca arttığı, sonrasında ise çok değişmediği görülmüştür (Şekil 1.4)

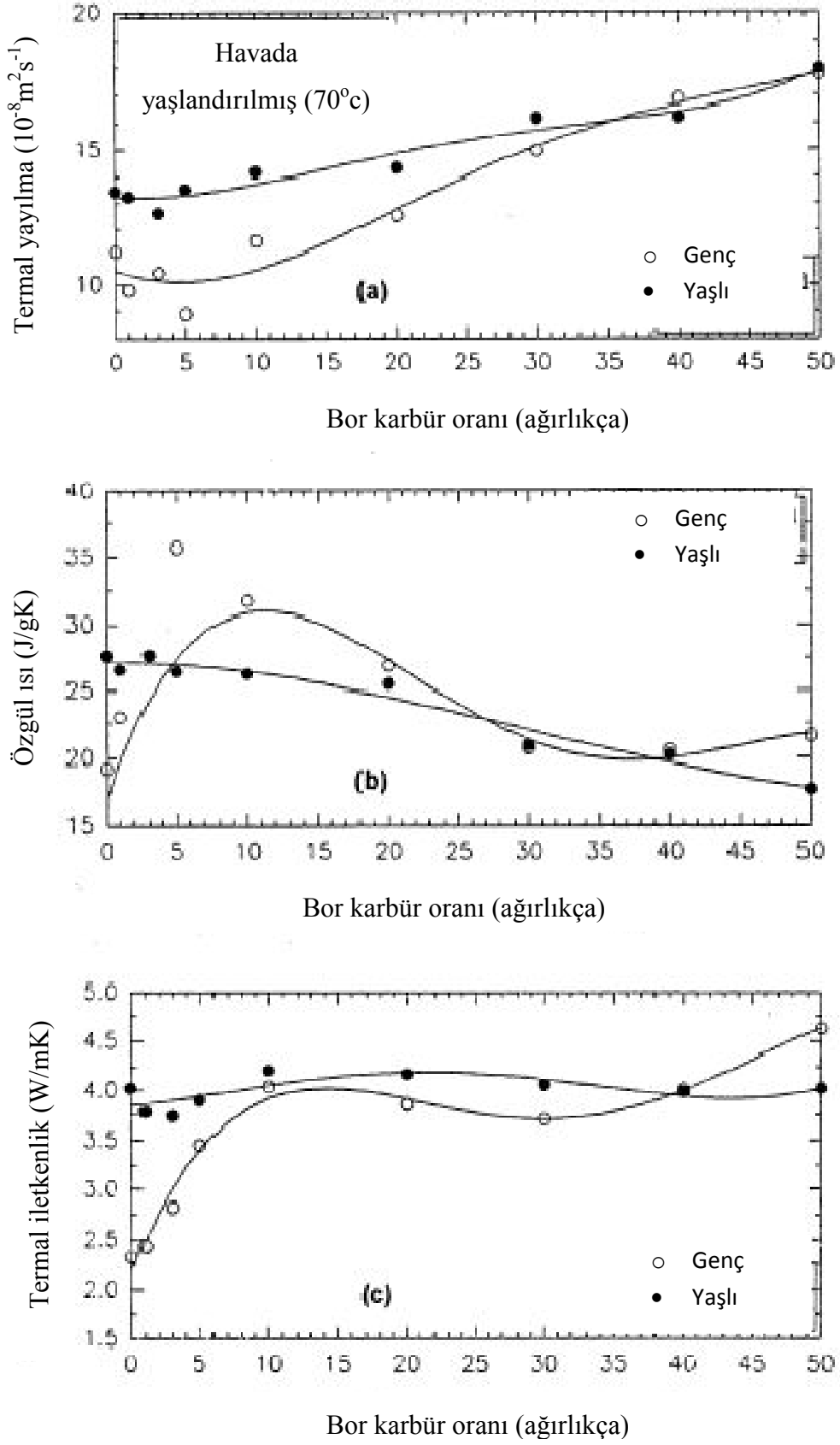


Şekil 1.4 Makroskopik kesit alanının Bor karbür miktarı ile değişimi (Gwaily, 2002)

Elektriksel iletkenliğin, termal difüzyonun ve termal iletkenliğin artan B<sub>4</sub>C oranı ile arttığı, özgül ısının ise azaldığı ortaya çıkmıştır. (Şekil 1.5, 1.6)



Şekil 1.5 Elektriksel iletkenliğin Bor karbür miktarı ile değişimi (Gwaily, 2002)

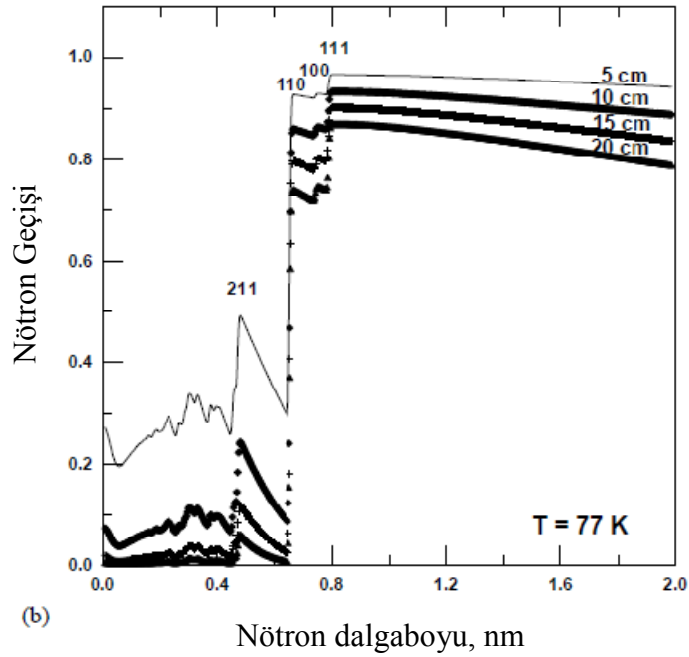
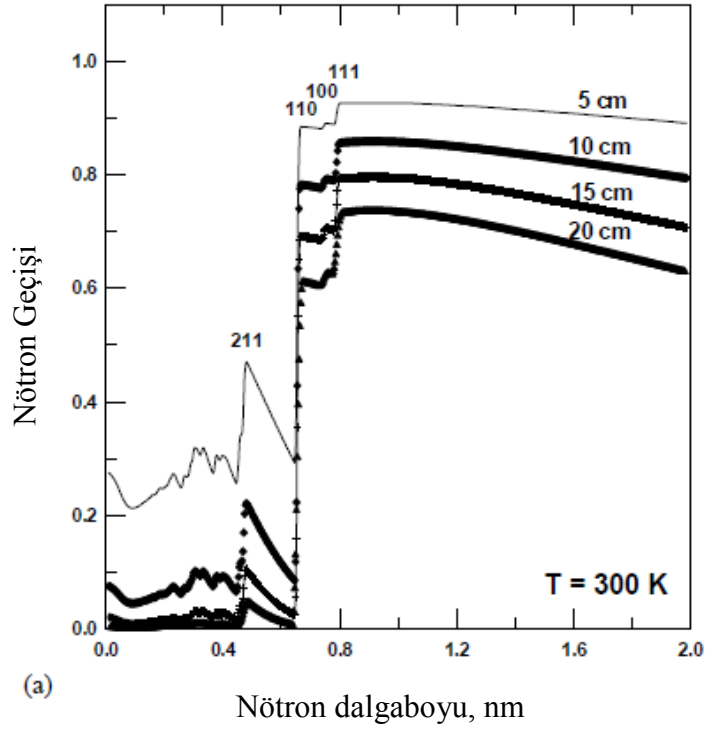


Şekil 1.6 Termal özelliklerin Bor karbür miktarı ile değişimi (Gwaily, 2002)

### 1.2.3 Bizmut nötron filtre

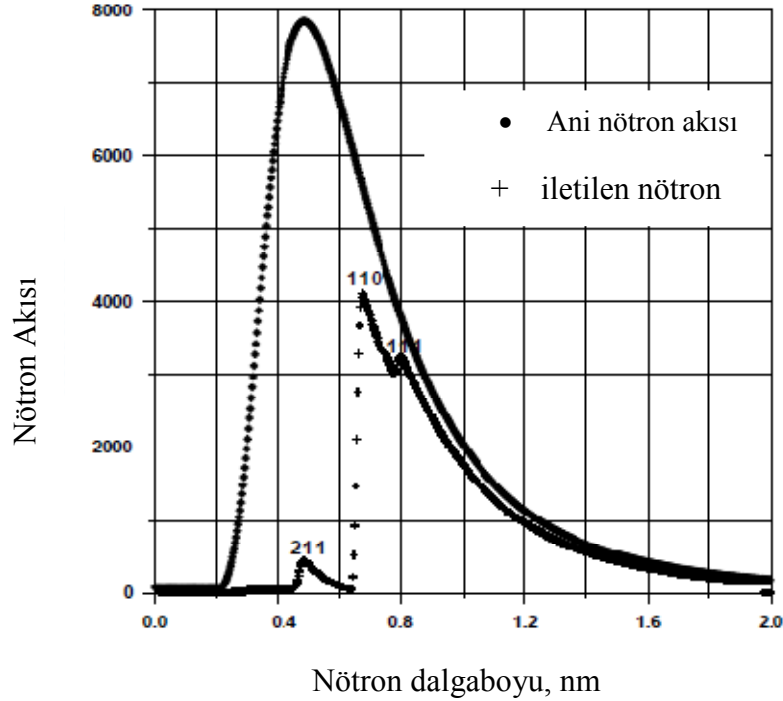
Adib ve Kilany (2003) bizmut (Bi) kullanarak nötron filtre yapmışlardır.

Bu çalışmada Bi elementinin termal nötron filtre olarak kurşun yerine kullanılabilirliği araştırılmıştır. Polikristalin Bizmut'un farklı kalınlık ve sıcaklık ile yapılan deney sonuçları Şekil 1.7'da verilmiştir.



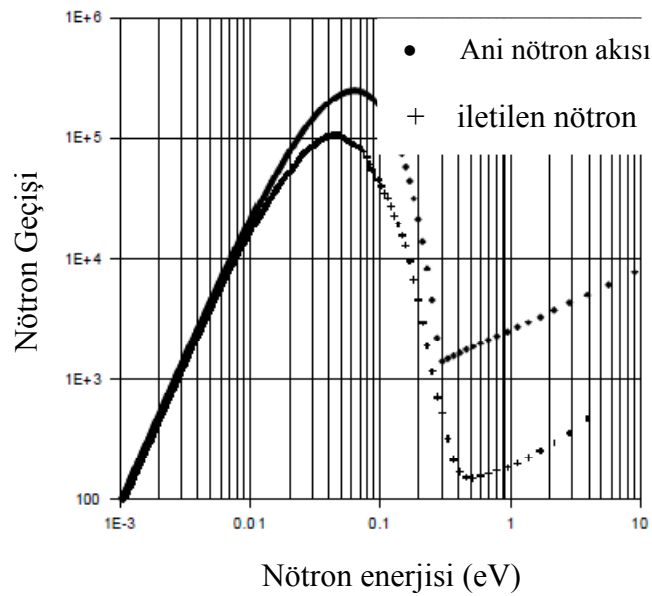
Şekil 1.7 Çeşitli kalınlıklardaki poli-kristalin Bizmut'dan nötron geçişleri (Adib ve Kilany, 2003)

Çalışma şartları 100, 300 ve 500 K olarak belirlenmiş ve nötron enerji aralığı 0.2 meV ile 10 meV arasında seçilmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda 20 cm kalınlığında kullanılan polikristal Bizmut soğuk nötron fitle olarak kullanılabilirliği görülmüştür (Şekil 1.8).



Şekil 1.8 20 cm'lik polikristal Bizmut'tan soğuk nötron akısı geçişi,  $T = 77$  K. (Adib ve Kilany, 2003)

Mono-kristal olarak kullanılan Bizmut'un ise 10 cm lik kalınlığının iyi bir termal nötron filtre olduğu Şekil 1.9'da sunulmuştur.



Şekil 1.9 10 cm'lik mono-kristal Bizmut'un nötron akısı geçişi (Adib ve Kilany, 2003)

#### 1.2.4 PbO–B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–PbO–B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> zırh malzemesi

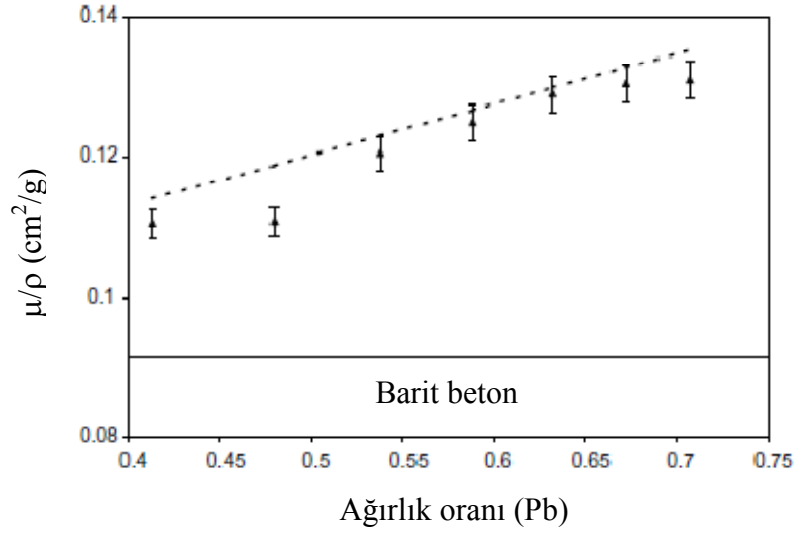
Singh vd. (2004), PbO–B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–PbO–B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> den oluşan nötron zırh malzemesi üretmişlerdir. Bu çalışmada nükleer radyasyon kalkanlarının farklı kompozisyonlarda ve özgül ağırlıklarda oldukları belirtilmiş ve kalkan malzemesinin kompozisyon ve özgül ağırlığının homojen olması gerektiği savunulmuştur. Aynı zamanda, bu alanda kullanılan ve iyi bir gama ve nötron tutucu olarak görev yapan özel camların iyi birer nötron zırh malzemesi olabileceğinin üzerinde durulmuştur.

Deneyleerde kullanılan cam örneklerin kimyasal bileşimleri Çizelge 1.3’de verilmiştir.

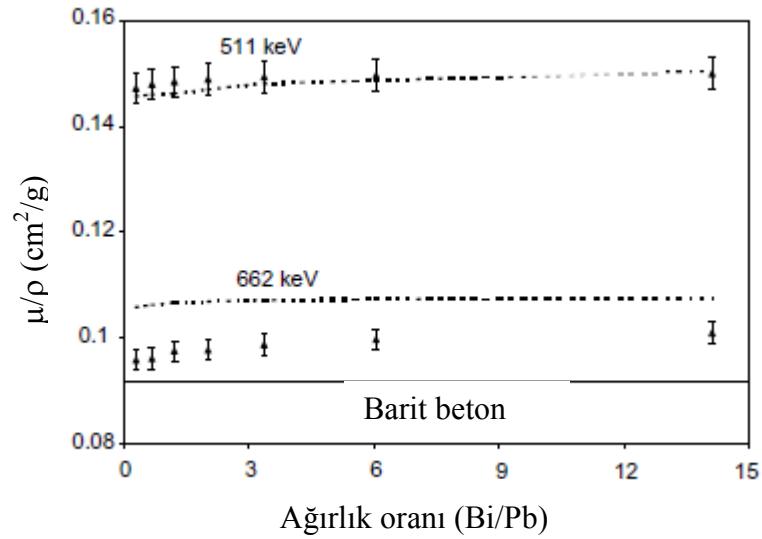
Çizelge 1.3 Deneyleerde kullanılan cam örneklerin kimyasal bileşimleri (Singh vd., 2004)

S. No.	Bileşim mol fraksiyonu			Özkütle (g/cm <sup>3</sup> )	Molar hacim (cm <sup>3</sup> /mol)
	Bi <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	PbO	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		
1	–	0.2	0.8	3.4104	29.4206±0.2059
2	–	0.25	0.75	3.7433	28.8555±0.2019
3	–	0.3	0.7	3.9917	28.9836±0.2028
4	–	0.35	0.65	4.4970	27.4345±0.1920
5	–	0.4	0.6	4.8550	26.9932±0.1889
6	–	0.45	0.55	5.1776	26.7945±0.1875
7	–	0.5	0.5	5.5136	26.5543±0.1858
8	0.1	0.7	0.2	6.6975	32.3643±0.2265
9	0.2	0.6	0.2	6.9049	34.9079±0.2443
10	0.3	0.5	0.2	7.4123	37.1465±0.2600
11	0.4	0.4	0.2	7.2646	39.8628±0.2790
12	0.5	0.3	0.2	7.3960	42.4369±0.2970
13	0.6	0.2	0.2	7.3634	45.9216±0.3214
14	0.7	0.1	0.2	7.2434	50.0338±0.3502

Yapılan deneyler sonucunda, PbO–B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–PbO–B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>’den oluşan cam zırh malzemesinin beton karışımlarından daha iyi gama ve nötron radyasyonlarını soğurduğu bulunmuştur (Şekil 1.10, 1.11).



Şekil 1.10 PbO–B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> cam sisteminde nötron sönümlenmesinin Pb'nin ağırlık oranı ile değişimi ve barit beton ile kıyaslanması (Singh vd., 2004)



Şekil 1.11 Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–PbO–B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> cam sisteminde nötron sönümlenmesinin Bi/Pb'nin ağırlık oranı ile değişimi ve barit beton ile kıyaslanması (Singh vd., 2004)

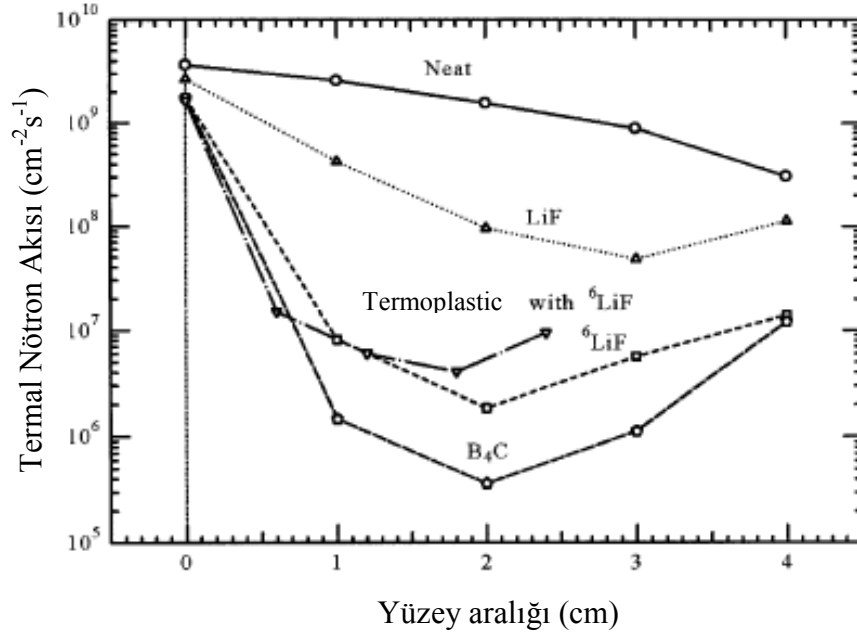
### 1.2.5 LiF ve B<sub>4</sub>C zırh malzemesi

Sakuraia vd. (2004), oluşturdukları polimer matrisin içine çeşitli oranlarda LiF ve B<sub>4</sub>C katarak bir zırh malzemesi oluşturmuşlardır.

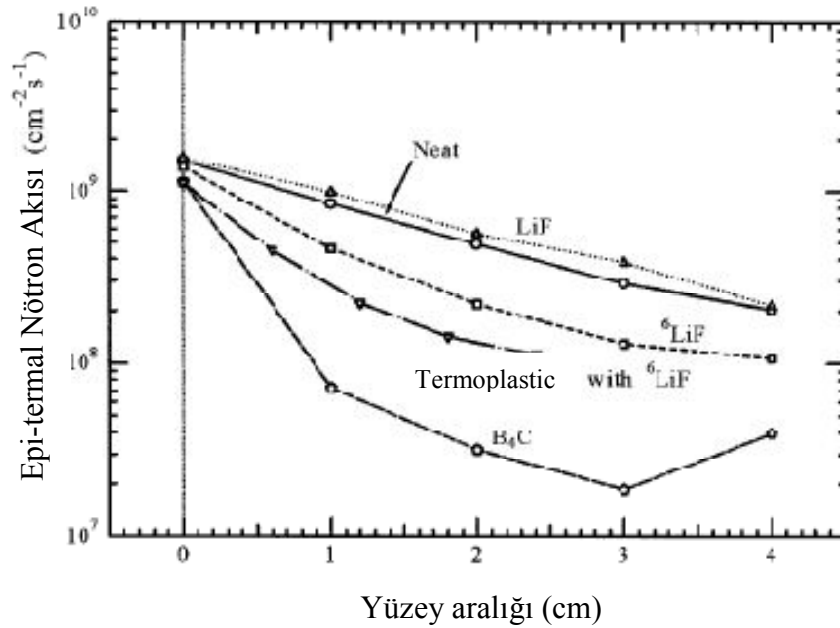
Oluşturdukları zırh malzemesinin için değişik oranlarda nötron absorplayan malzemeler katarak zırh performansını arttırmayı, ikincil gama ışınlarını önlemeyi hedeflemişlerdir. Ana element olarak kullanılan kadmiyum ve bor elementlerinin yerine, kararlı ve kolayca bulunabilen lityum florür ve lityum karbonat kullanılmıştır. Deneylerde dört farklı numune

kullanılmıştır. Bunlar: Metathene (Neat), % 35 ağırlıkça  $^6\text{LiF}$  katkılı 96 %-zenginleştirilmiş Metathene ( $^6\text{LiF}$ ), % 33 ağırlıkça doğal LiF katkılı Metathene, % 60 doğal  $\text{B}_4\text{C}$  katkılı Metathene'dir.

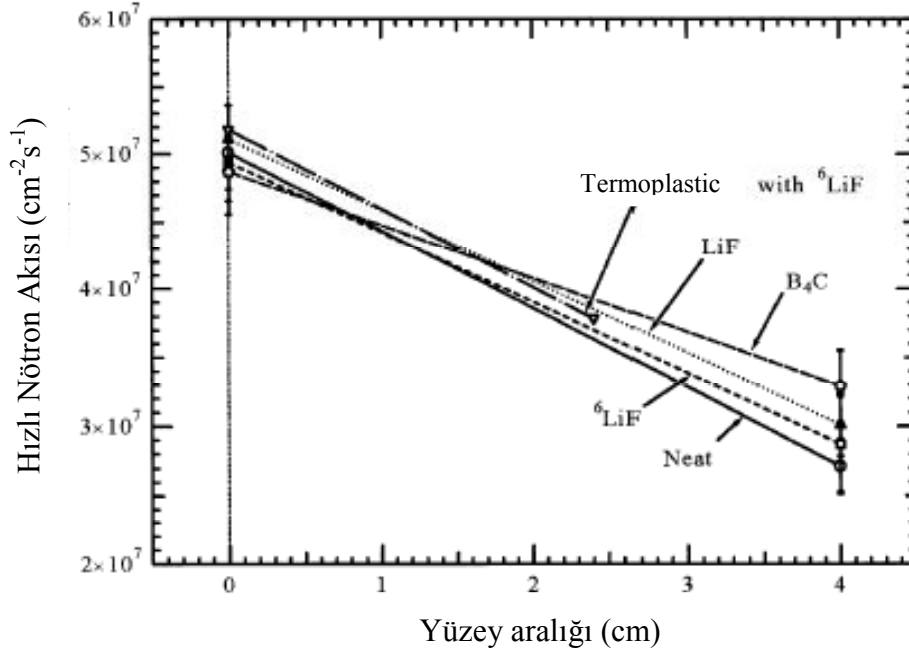
Elde edilen bulgulara göre, termal nötron akısının ve epitermal nötron akısının yüzeyden uzaklaştıkça azaldığı saptanmıştır. (Şekil 1.12 - 1.14)



Şekil 1.12 Termal nötron akısının yüzeyden aralığı ile değişimi (Sakuraia vd., 2004)



Şekil 1.13 Epi-termal nötron akısının yüzeyden aralığı ile değişimi (Sakuraia vd., 2004)



Şekil 1.14 Hızlı nötron akısının yüzeyden aralığı ile değişimi (Sakuraia vd., 2004)

### 1.2.6 Beton tabaka üzerine % 96 Pb ve % 4 Sb katkılı zırh malzemesi

Ersez vd. (2006) beton bir tabaka üzerine % 96 Pb ve % 4 Sb'den oluşan 120 mm kalınlığında monte edilecek bir tabakanın, oluşan radyasyonu güvenlik sınırları içinde tutacağını ifade etmişlerdir. Çalışmada B, Si, Na ve K katkılı camlardan gama ışınlarının geçtiği ve bu malzemelerden oluşacak bir zırh malzemesinin güvenlik sınırları içerisinde olamayacağı ifade edilmiştir.

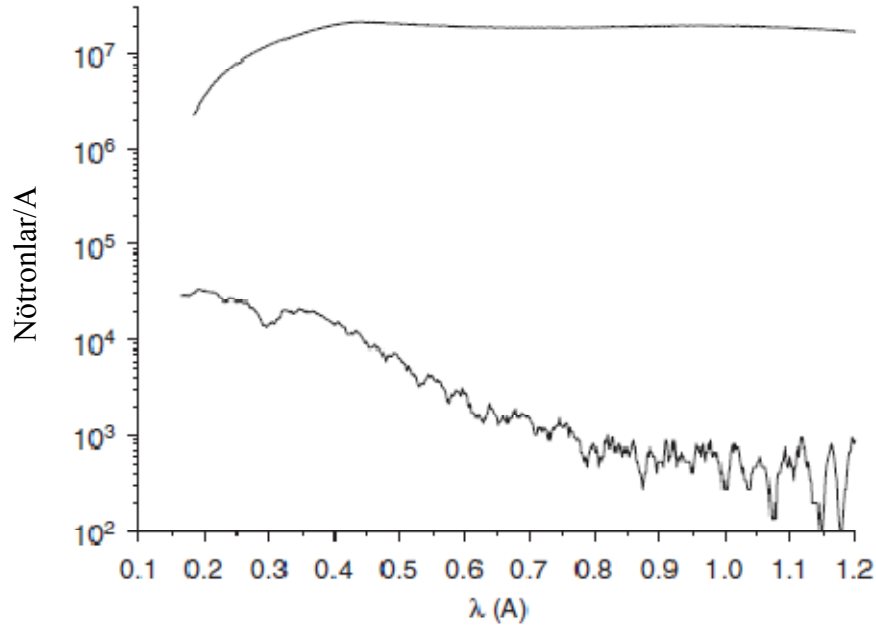
Aynı zamanda oluşturulacak bir zırh malzemesinin ikincil gama ışınlarını da soğurmaları gerekmektedir. Malzeme olarak nötron reflekte edici Ni-Ti alaşımını içinde barındıran borosilikat cam kullanılmıştır. Çalışma iki farklı Ni ve Ti kalınlıklarında gerçekleştirilmiş ve oluşturulan prototip malzemenin radyasyonu istenilen şekilde soğurduğu saptanmıştır.

### 1.2.7 Bor karbür bazlı seramik zırh malzemesi

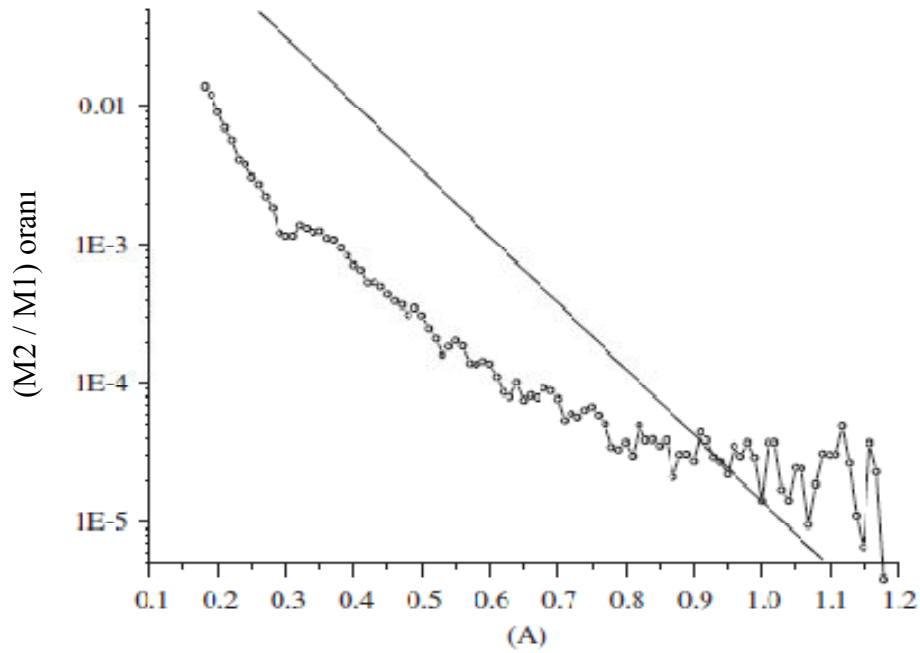
Cellia vd. (2006), nötron saçan cihazlar için, bor karbür bazlı seramik bir zırh malzemesi geliştirmişlerdir. Çalışmada genellikle zırh malzemesi olarak kullanılan kadmiyum elementinin nükleer fizyon reaktörlerinin zırhlanmasında kullanıldığından bahsetmiştir. Epitermal nötron zırhlamada en büyük problemin yüksek miktarda kullanılması gereken bor atomlarının küçük hacimlere sığması gerektiğinin üzerinde durulmuştur. Bu nedenle B<sub>4</sub>C kullanımının nötron zırh malzemesi tasarımı açısından, yüksek pazar fiyatına rağmen vazgeçilemez bir kaynak olduğu savunulmuştur.



Deneyleerde üç çeşit malzeme kullanılmıştır. Bunlardan ilki “crispy mix” adı verilen % 90 B<sub>4</sub>C ile % 10 epoksi reçineden yapılmıştır. İkincisi “Elsatobore” adı verilen % 50 B<sub>4</sub>C ile % 50 elastomerden oluşmuştur. Üçüncü olarak da seramik malzeme kullanılmıştır. Ölçümler ani ve iletim olarak iki ayrı patternde kaydedilmiştir (Şekil 1.15, 1.16). Şekil 1.15’de üstteki pattern ani, alttaki de iletimi göstermektedir.



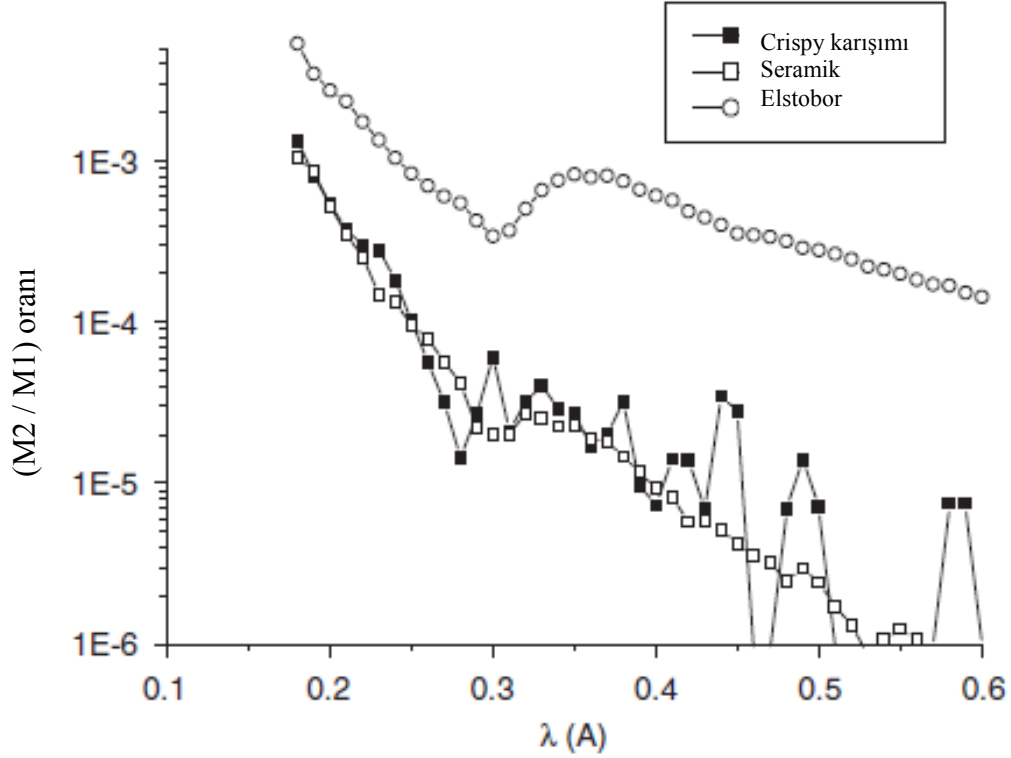
Şekil 1.15 İletim ve ani patternin oranının nötronlara bağlı değişimi (Ersez vd., 2006)



Şekil 1.16 İletim ve ani patternin oranının değişimi (Ersez vd., 2006)

İletim (M2), ani (M1) i belirtmekte ve düz çizgi sadece B<sub>4</sub>C 'dür.

Deneysel çalışmalar üç farklı kalınlıkta yapılmış, "crisp" karışımı şeklinde hazırlanan malzemenin en iyi sonrasında seramik malzemenin ve ardından "elastobor" malzemenin nötron tuttuğu bulunmuştur (Şekil 1.17).

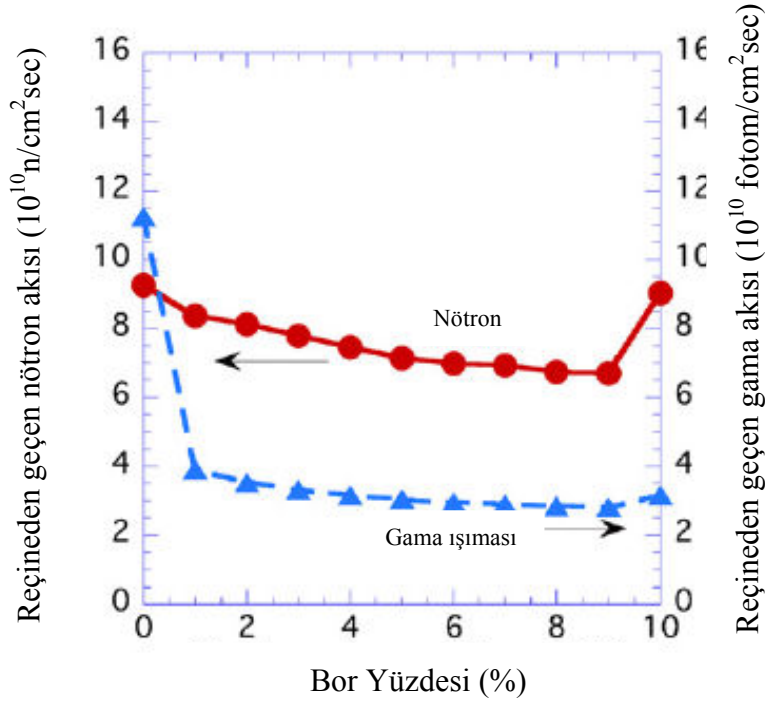


Şekil 1.17 İletim ve ani patternin oranının kalınlığa ve malzeme tipine bağlı olarak değişimi (Ersez vd., 2006)

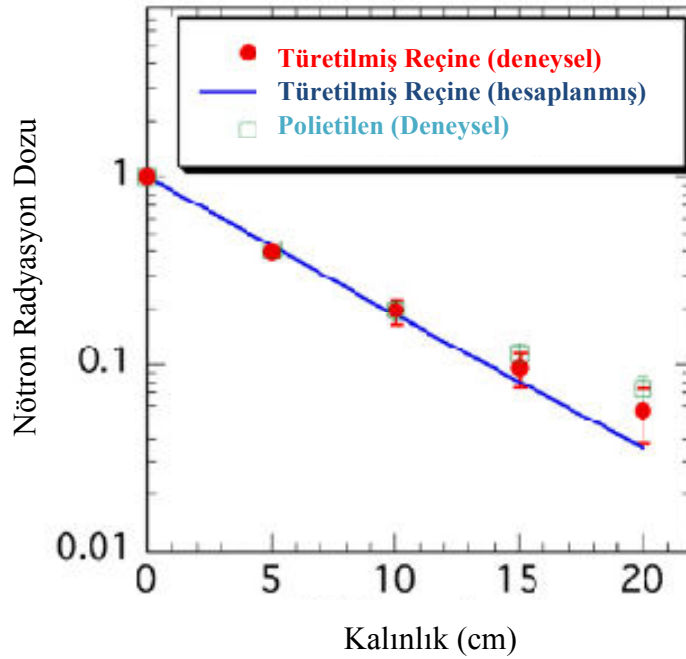
### 1.2.8 Fenol bazlı bor içerikli zırh malzemesi

Morioka vd. (2007), 300°C sıcaklığa dayanıklı fenol bazlı ve % 6 oranında bor içeren bir nötron zırh geliştirmişlerdir.

Yapılan bu çalışmada nötron zırh malzemesinin verimli bir şekilde çalışması için hem moderatör hem de soğurucu olarak görev yapması gerektiğinden bahsedilmiştir. Moderatör olarak en iyi elementin hidrojen oluşu ve hızlı nötronları tuttuğu soğurucu olarak da bor elementinin en iyi element olduğu ve termal nötronları tuttuğu ifade edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre % 10 a kadar artan B yüzdesinde (Şekil 1.18) ve artan kalınlığa bağlı olarak (Şekil 1.19) nötron geçirgenliğinde düşme görülmüştür



Şekil 1.18 Üretilen malzemenin içerdiği bor yüzdesine göre nötron ve gama akısı geçirgenlikleri (Morioka vd., 2007)



Şekil 1.19 Üretilen malzemenin kalınlığına göre nötron radyasyon dozu (Morioka vd., 2007)

Üretilen malzemeye 20°C – 300°C arasında termal analiz de uygulanmış ve 10°C/dak'da azot ortamında kütesinin sadece % 1.1'ini kaybettiği saptanmıştır.

Son olarak GC/MS (Gas kromatografisi/Kütle Spektroskopisi) analizleri yapılmış ve içerik

Çizelge 1.4'de sunulmuştur.

Çizelge 1.4 GC/MS'de elde edilen organik bileşenler (Morioka vd., 2007)

	Organik Bileşen	Tutulma Zamanı (dak)	µg/g
1	Piridin	5.53	3.9
2	Bilinmeyen	7.26	0.76
3	Piridin, 2 metil	7.91	12.9
4	Formamid, N-metil	8.58	3.3
5	Acetamid, N-metil	9.91	4.8
6	Fenol	10.6	13
7	Piridin, 2,5-dimetil	11.2	3.4
8	Fenol, 2 metil	12.32	21.7
9	Fenol, 2,5-metil	13.83	9.4
10	Fenol, 2,3,5 trimetil	15.68	1.9
11	1.4-Benzendikarbonitril	17.38	1.8
12	Hegzadekanitril	25.79	7.4
13	Oktodekanitril	27.97	6.6

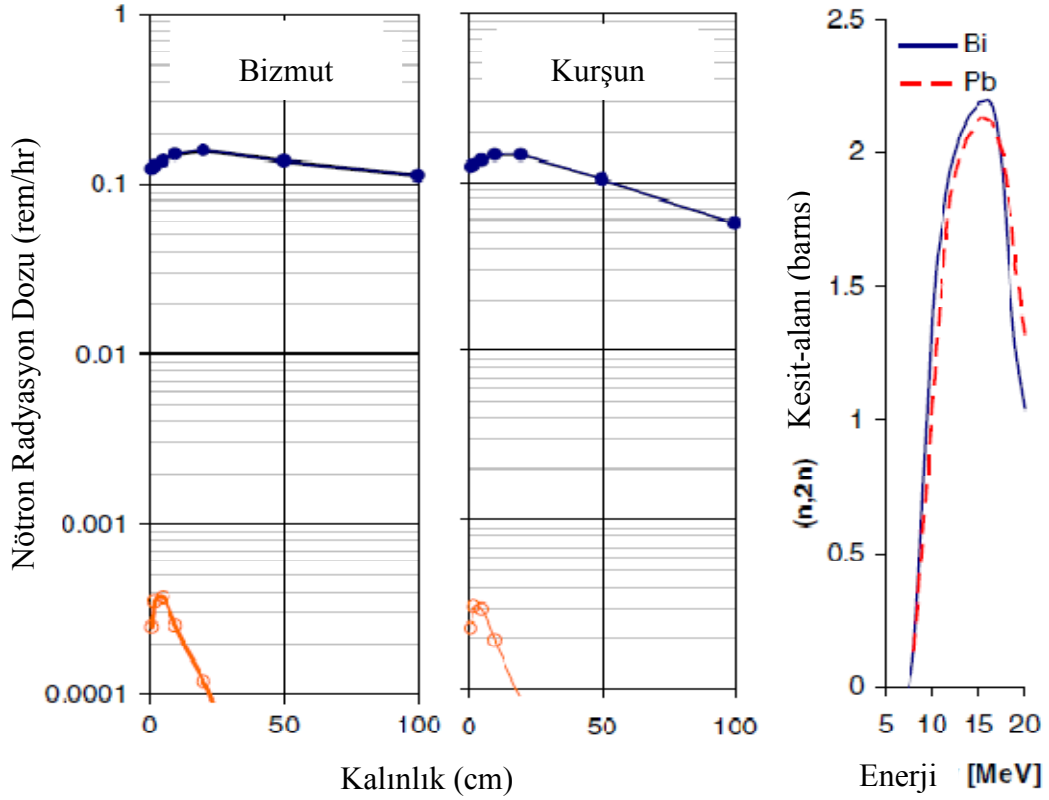
### 1.2.9 Beton, su, polimer ve bizmut içerikli zırh malzemesi

Chichester ve Blackburn (2007) tek başına bizmut (Bi) veya kurşunun (Pb) biyolojik zırhlama malzemesi olarak yetersiz kaldığını ve bizmutun polietilen matris içine veya beton içine karıştırılarak karıştırılarak kullanıldığında daha iyi sonuç vereceğini ifade etmişlerdir.

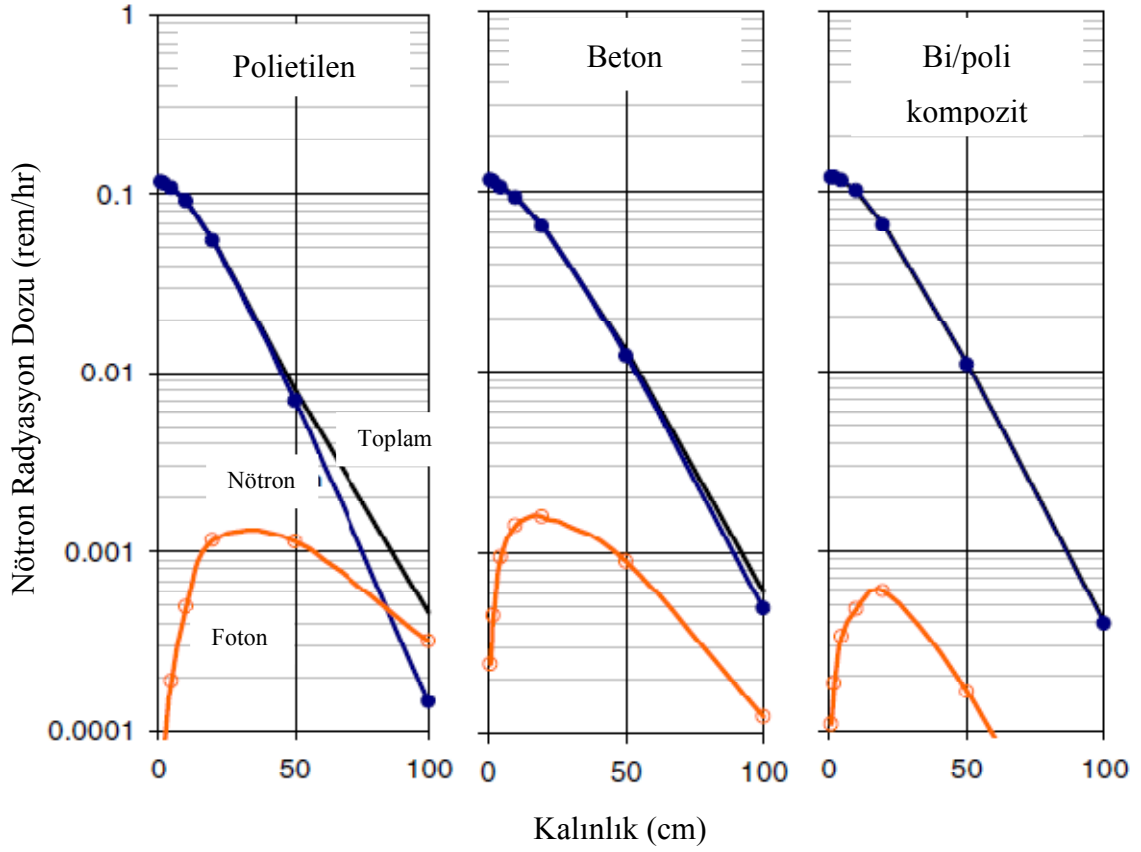
Yapılan çalışmada kullanılan zırh kompozisyonları Çizelge 1.5'de verilmiştir. Çeşitli kalınlıklarda yapılan deneylerde, tek başına Bi ve Pb'nin nötronları iyi tutamadığı (Şekil 1.20), beton, su, polimer ve Bi karışımının nötronları çok iyi tuttuğu (Şekil 1.21, 1.22) sonuçlarına varılmıştır.

Çizelge 1.5 Kütlesel zırh malzeme içerik oranları (Chichester ve Blackburn, 2007)

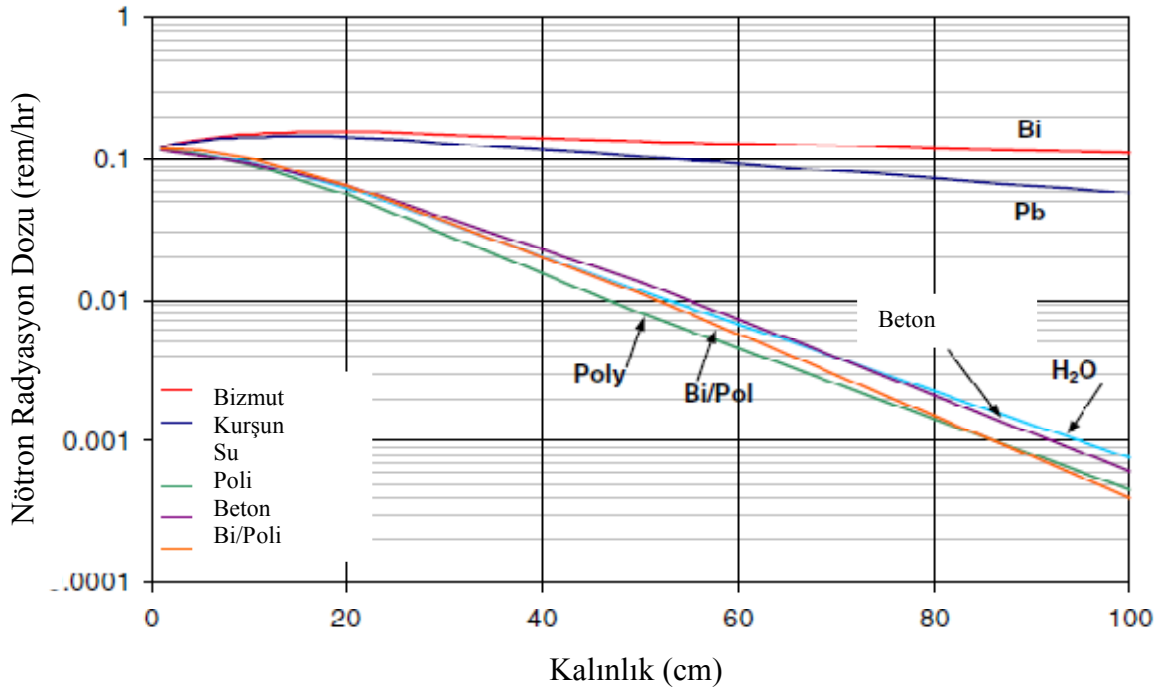
Element	Bizmut	Beton	Kurşun	Polietilen	Su	Bi/poli kompozit
	(9.75 g/cm <sup>3</sup> )	(2.3 g/cm <sup>3</sup> )	(11.34 g/cm <sup>3</sup> )	(0.95 g/cm <sup>3</sup> )	(1.0 g/cm <sup>3</sup> )	(3.0 g/cm <sup>3</sup> )
H	–	0.0068	–	0.143	0.112	0.028
C	–	–	–	0.857	–	0.165
O	–	0.5323	–	–	0.888	–
Na	–	0.0292	–	–	–	–
Al	–	0.0342	–	–	–	–
Si	–	0.3391	–	–	–	–
Ca	–	0.0443	–	–	–	–
Fe	–	0.0141	–	–	–	–
Bi	1	–	–	–	–	0.807
Pb	–	–	1	–	–	–



Şekil 1.20 Bizmut ve kurşun kalınlığına göre nötron radyasyon dozu (Chichester ve Blackburn, 2007)



Şekil 1.21 Polietilen, beton ve Bi/poli kompozit kalınlığına göre nötron radyasyon dozu (Chichester ve Blackburn, 2007)



Şekil 1.22 Malzemenin kalınlığına göre nötron radyasyon dozu (Chichester ve Blackburn, 2007)

Görüldüğü üzere Dünya’da yapılan zırhlama çalışmalarında genellikle bor karbür, bor oksit, demir, kurşun, bizmut gibi malzemeler kullanılmıştır. Bor minerallerinin doğrudan hammadde olarak kullanımı mevcut değildir.

Ülkemizdeki doğal bor mineral kaynaklarının çokluğundan dolayı kolemanit ile ilgili çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bunlardan bazıları aşağıda sunulmuştur:

- Gündüz (1980), kolemanit cevherini camlaştırarak toz haline getirdikten sonra kaba agrega olarak betona katmıştır.
- Aksüt (1985), öğütülmüş kolemanit cevherini parafin içerisine katarak portatif zırh blokları hazırlamıştır.
- Yarar (1987), farklı miktarda kolemanit içeren beton zırh blokları ile yaptığı analizler sonucu, kolemanit cevherinin katkı miktarı ile beton mukavemetinin ters orantılı olduğunu ifade etmiş ve bor katkı miktarının toplam beton ağırlığının % 10’unu geçmemesi gerektiğine karar vermiştir.
- Yarar (1994), bir güç reaktörünün biyolojik zırh tasarımında, beton ağırlıkça % 10 kolemanit katkısı ile zırh kalınlığında kabaca 10 cm’lik bir incelleme sağlamıştır.
- Yiğit (1996), endüstriyel atık malzemesi olan kağıda borik asit emdirerek, nötron zırh malzemesi olarak etkinliği incelemiştir.

Bu çalışmanın amacı, Türkiye’de bulunan diğer bor cevherlerinin (boraks, inderit, inyoit, kurnakovit, Breşli kolemanit, arsenikli kolemanit) kimyasal yapılarının içerdikleri bor oksit, sodyum, kalsiyum ve diğer elementleri incelemek, termal analizlerini yapmak ve nötron zırh malzemesi olarak kullanılıp kullanılmayacağına karar vermektir.

Daha önceki bir çalışmada kullanılan bor minerallerinin, çalışmanın devamı olarak Howitzer cihazında nötron ışımaya bırakılarak oniki yıllık performansının ölçülmesi amaçlanmıştır.

Son olarak Türkiye’nin çeşitli bölgelerinden getirilen bor mineralleri üç grupta toplanarak (Kalsiyum boratlar, Sodyum-kalsiyum boratlar, Sodyum boratlar) XRD ile kimlik tespitleri yapıldıktan sonra, içerdikleri  $B_2O_3$  yüzdeleri analiz edilmiş ve ardından Howitzer nötron soğurma oranları bulunmuştur.

## 2. BOR HAKKINDA GENEL BİLGİLER

### 2.1 Bor Elementi

Periyodik sistemin üçüncü grubunun basında bulunan ve atom numarası 5 olan bor elementi, kütle numaraları 10 ve 11 olan iki kararlı izotopundan oluşur. Elementel bor 1808 yılında Fransız Kimyacı Gay-Lussac ile Baron Louis Thenard ve bağımsız olarak İngiliz kimyacı Sir Humpry Davy tarafından bulunmuştur.

Bor elementinin kimyasal özellikleri morfolojisine ve tane büyüklüğüne bağlıdır. Mikron ebadındaki amorf bor kolaylıkla ve bazen şiddetli olarak reaksiyona girerken kristalin bor kolay reaksiyon vermez. Bor, yüksek sıcaklıkta su ile reaksiyona girerek borik asit ve bazı diğer ürünleri oluşturur. Mineral asitleri ile reaksiyonu, konsantrasyona ve sıcaklığa bağlı olarak yavaş veya patlayıcı olabilir ve ana ürün olarak borik asit oluşur.

Çizelge 2.1 Bor elementinin fiziksel özellikleri (DPT, 2006)

Özellik	Değeri
Atom numarası	5
Atom ağırlığı	10.811±0.005 veya 0.007
Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	2.46
Molar hacim (cm <sup>3</sup> )	4.39
Ergime noktası	2190+20 °C
Kaynama noktası	3660 °C
Isıl genleşme katsayısı (25-1050 °C arası, 1 °C için)	5x10 <sup>6</sup> - 7x10 <sup>6</sup>
Knoop sertliği	2100 - 2580 HK
Mohs sertliği (elmas-15)	11
Vickers sertliği	5000 HV
Füzyon Entalpisi (kJ/mol)	50.2
Buharlaştırma Entalpisi (kJ/mol)	507

Bor, yeryüzünde toprak, kayalar ve suda yaygın olarak bulunan bir elementtir. Canlıların bu elementin varlığında evrim geçirdiği düşünülmektedir. Toprağın bor içeriği genelde ortalama 10-20 ppm olmakla birlikte ABD'nin Batı bölgeleri ve Akdeniz'den Kazakistan'a kadar uzanan yörede yüksek konsantrasyonlarda bulunmaktadır. 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 bileşikleri olarak daha çok Türkiye ve ABD'nin kurak, volkanik ve hidrotermal aktivitesi olan bölgelerinde bulunmaktadır.

## 2.2 Ticari Bor Mineralleri

Ticari öneme sahip olan bor mineralleri ve B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içerikleri Çizelge 2.2'de sunulmuştur (DPT, 2006; Sarıhan, 2006; Helvacı, 2004; Köklü vd., 2003; Kılınç vd., 2001).

Çizelge 2.2 Ticari öneme sahip bor mineralleri

Mineral Grubu	Mineral İsmi	Formülü	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> miktarı (%)	Bölge
Sodyum boratlar	Boraks (Tinkal)	Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> .10H <sub>2</sub> O	36.5	Türkiye (Kırka), Amerika, Arjantin, Hindistan, Bolivya
	Tinkalkonit	Na <sub>2</sub> O.2B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .5H <sub>2</sub> O	48.8	Türkiye (Kırka)
Sodyum – kalsiyum boratlar	Üleksit	NaCaB <sub>5</sub> O <sub>9</sub> .8H <sub>2</sub> O	43.0	Türkiye (Kırka, Kestelek, Bigadiç, Emet), Arjantin, Amerika, Bolivya, Peru, Şile, Sırbistan, Çin
Kalsiyum boratlar	İnyoit	Ca <sub>2</sub> B <sub>6</sub> O <sub>11</sub> .13H <sub>2</sub> O	37.6	Türkiye (Kırka, Bigadiç), Kazakistan, Arjantin
	Kolemanit	Ca <sub>2</sub> B <sub>6</sub> O <sub>11</sub> .5H <sub>2</sub> O	50.8	Türkiye (Kestelek, Bigadiç, Emet, Kırka, Susurluk), Amerika, Arjantin, Peru, Sırbistan, Meksika
	Pandermit	Ca <sub>4</sub> B <sub>10</sub> O <sub>19</sub> .7H <sub>2</sub> O	49.8	Türkiye (Bigadiç, Susurluk), Peru
Magnezyum boratlar	İnderit	2MgO.3B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .15H <sub>2</sub> O	37.3	Türkiye (Kırka), Kazakistan
	Kurnakovit	Mg <sub>2</sub> B <sub>6</sub> O <sub>11</sub> .15H <sub>2</sub> O	37.3	Türkiye (Kırka)
Diğer boratlar	Tünelit	SrB <sub>6</sub> O <sub>10</sub> .4H <sub>2</sub> O	52.9	Türkiye (Kırka)

### 2.2.1 Boraks (Tinkal) ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ )

Tabiatta genellikle renksiz ve saydam olarak bulunur. Ancak içindeki bazı maddeler nedeniyle pembe, sarımsı, gri renklerde de bulunabilir. Sertliği mohr skalasında 2-2.5; özgül ağırlığı  $1.7 \text{ gr/cm}^3$  dür. Tinkal, suyunu kaybederek kolaylıkla tinkalkonite dönüşebilir. Tinkalkonit ve Üleksit yanında ara katkılı kil yapısında bulunur. Ülkemizde Eskişehir-Kırka yataklarında bulunmaktadır (DPT, 2006; Sarıhan, 2006), [1].



Şekil 2.1 Boraks [2]

### 2.2.2 Kernit (Razorit) ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ )

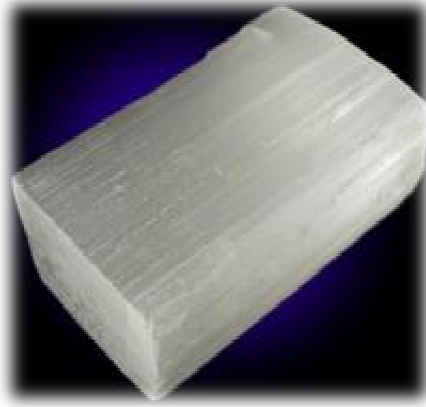
Tabiatta renksiz, saydam uzunlamasına iğne şeklinde küme kristaller halinde bulunur. Sertliği mohr skalasında 3, özgül ağırlığı  $1.95 \text{ gr/cm}^3$ 'tür. Soğuk suda az çözünür. Kırka'da Na-borat kütlelerinin alt kısımlarındadır. Dünya'da ise Arjantin ve A.B.D.'de bulunur (DPT, 2006; Sarıhan, 2006).



Şekil 2.2 Kernit [2]

### 2.2.3 Üleksit ( $\text{NaCaB}_5\text{O}_9 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ )

Tabiatta masif, karnabahar şeklinde, lifsi ve sütun şeklinde bulunur. Saf olanı, beyaz rengin değişik tonlarındadır. İpek parlaklığında olanları da vardır. Genelde kolemanit, hidroboraksit ve probertit ile birlikte oluşmuştur. Ülkemizde Kırka, Bigadiç ve Emet yörelerinde bulunmaktadır. Türkiye'den başka Güney Amerika Ülkelerinde de (Arjantin) bulunmaktadır. Cevher zenginleştirilerek konsantre haline dönüştürdüktan sonra, yalıtım cam yünü ve borosilikat camlarında kullanılmak üzere hazır hale getirilmektedir (DPT, 2006; Sarıhan, 2006).



Şekil 2.3 Üleksit [2]

### 2.2.4 Probertit ( $\text{NaCaB}_5\text{O}_9 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ )

Kirli beyaz, açık sarımsı renklerde olup ısınal ve lifsi şekilli kristaller şeklinde bulunur. Kristal boyutları 5 mm ile 5 cm arasında değişir. Kestelek yataklarında üleksit ikincil mineral olarak gözlenir. Ancak Emet'te tekdüze tabakalı birincil olarak; Doğanlar ve İgdeköy bölgesinde ise kalın tabakalı olarak oluşmuştur (DPT, 2006; Sarıhan, 2006).



Şekil 2.4 Probertit [2]

### 2.2.5 Kolemanit ( $\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11}\cdot 5\text{H}_2\text{O}$ )

Monoklinik sistemde kristallenir. Sertliği mohr skalasında 4-4.5, özgül ağırlığı 2.42 gr/cm<sup>3</sup>'dür. Suda yavaş, HCl asitte hızlı çözüdür. Bor bileşikleri içinde en yaygın olanıdır. Türkiye'de Emet, Bigadiç ve Kestelek yataklarında, ayrıca A.B.D.'de bulunur (DPT, 2006; Sarıhan, 2006).



Şekil 2.5 Koleanit [2]

### 2.2.6 Pandermit (Priseit) ( $\text{Ca}_4\text{B}_{10}\text{O}_{19}\cdot 7\text{H}_2\text{O}$ )

Beyaz renkte ve yekpare olarak oluşan mineral olup kireçtaşına benzemektedir. Ülkemizde Sultançayırı ve Bigadiç yataklarında gözlenmektedir (DPT, 2006; Sarıhan, 2006).



Şekil 2.6 Pandermit [2]

### 2.2.7 İnderit ( $2\text{MgO}\cdot 3\text{B}_2\text{O}_3\cdot 15\text{H}_2\text{O}$ )

Monoklinik bir yapıya sahip olan inderit, renksiz, beyaz veya pembe renkte bulunabilir. Sertliği mohr skalasında 3, özgül ağırlığı  $1.8 \text{ g/cm}^3$  dür. Ülkemizde Kırka yöresinde bulunmakla beraber, Kazakistan'da da bulunmaktadır [2].



Şekil 2.7 İnderit minerali [2]

### 2.2.8 İnyoit ( $\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11}\cdot 13\text{H}_2\text{O}$ )

İnyoit minerali renksiz bir yapıya sahip olup transparandır. Sertliği mohr skalasında 2, özgül ağırlığı  $1.875 \text{ g/cm}^3$  dür. Ülkemizde Kırka ve Bigadiç yörelerinde bulunmaktadır. Dünya'da ise Kazakistan ve Arjantin'de bulunmaktadır [2].



Şekil 2.8 İnyoit [2]

### 2.2.9 Kurnakovit ( $Mg_2B_6O_{11} \cdot 15H_2O$ )

Triklinik bir yapıya sahip olan Kurnakovit Rus bir mineralog olan N. S. Kurnakov (1860-1941) tarafından bulunmuştur. Beyaz veya şeffaf yapıda bulunabilir, sertliği mohr skalasında 2.5-3 arasında değişir. Özgül ağırlığı ise  $1.847$  ile  $1.852 \text{ g/cm}^3$  arasında değişmektedir [2].



Şekil 2.9 Kurnakovit [2]

### 2.2.10 Hidroborasit ( $CaMgB_6O_{11} \cdot 6H_2O$ )

Bir merkezden ışınal ve iğne şeklindeki kristallerin rastgele yönlenmiş ve birbirini kesen kümeleri halinde bulunur. Lifsi bir dokuya sahiptir. Beyaz renkte, bazen içerisindeki safsızlıklara bağlı olarak sarı ve kırmızımsı renklere (arsenik içeriğine göre) kolemanit, üleksit, probertit, tünelit ile birlikte bulunur. Ülkemizde en çok Emet, Doğanlar, İgdeköy yörelerinde ve Kestelek'te oluşmuştur (DPT, 2006; Sarihan, 2006).



Şekil 2.10 Hidroborasit [2]

### 2.3 Dünya Bor Mineralleri Rezervleri

Dünyadaki önemli bor yataklarının Türkiye, Rusya ve ABD’de olduğu bilinmektedir. Dünya toplam bor rezervi 1.2 milyar ton olup; bu rezervin % 72.2’si Türkiye’de, % 8.5’i Rusya’da ve % 6.8’i ABD’de bulunmaktadır (Davies vd., 1991; Eymir ve Okur, 2005; Erdoğan vd., 1999; Tunç vd., 1997).

Dünya ticari bor rezervleri genellikle üç bölgede toplanmaktadır. Bu bölgeler: Amerika’da Güney-Batı Mojave Çölü, Türkiye’yi de içeren Güney-Orta Asya orojenik kemeri ve Güney Amerika And Kemeridir.

Ülkemizden sonra; dünyanın bilinen en önemli bor yatakları ABD’nin Kaliforniya eyaletindeki Mojave Çölü’ndedir. Yine aynı bölgede Searles Gölünde önemli borat yatakları mevcuttur. US Geological Survey’e göre Amerika’nın bor rezervinin,  $B_2O_3$  bazında 40 milyon tonu görünür olmak üzere toplam 80 milyon ton’dur. ABD’nin önemli bor mineralleri tinkal, kernit ve bor içeren tuzlu sulardır. Başlıca bor kaynakları; Kramer bor yatağı, Death Valley’de bulunan üleksit-proberit bor yatağı, Fort Cady kolemanit yatağı ve Searles gölünün borlu sulardır.

Rusya’nın toplam bor rezervinin  $B_2O_3$  bazında yaklaşık 100 milyon ton olduğu belirtilmektedir. Rusya’nın bor minerallerinin tamamına yakını Japon Denizi yakınında, Primorsk’taki Dalnegorsk bor yataklarından üretilmekte ve hemen madenin yanında bulunan zenginleştirme tesisinde işlenmektedir.

Kazakistan’da, Kuzey Hazar Denizindeki Inder Bölgesinde, 50 m derinlikte; % 20  $B_2O_3$  içerikli 7 milyon ton bor rezervi mevcuttur. En önemli mineraller; szaybelit ve borasit’tir.

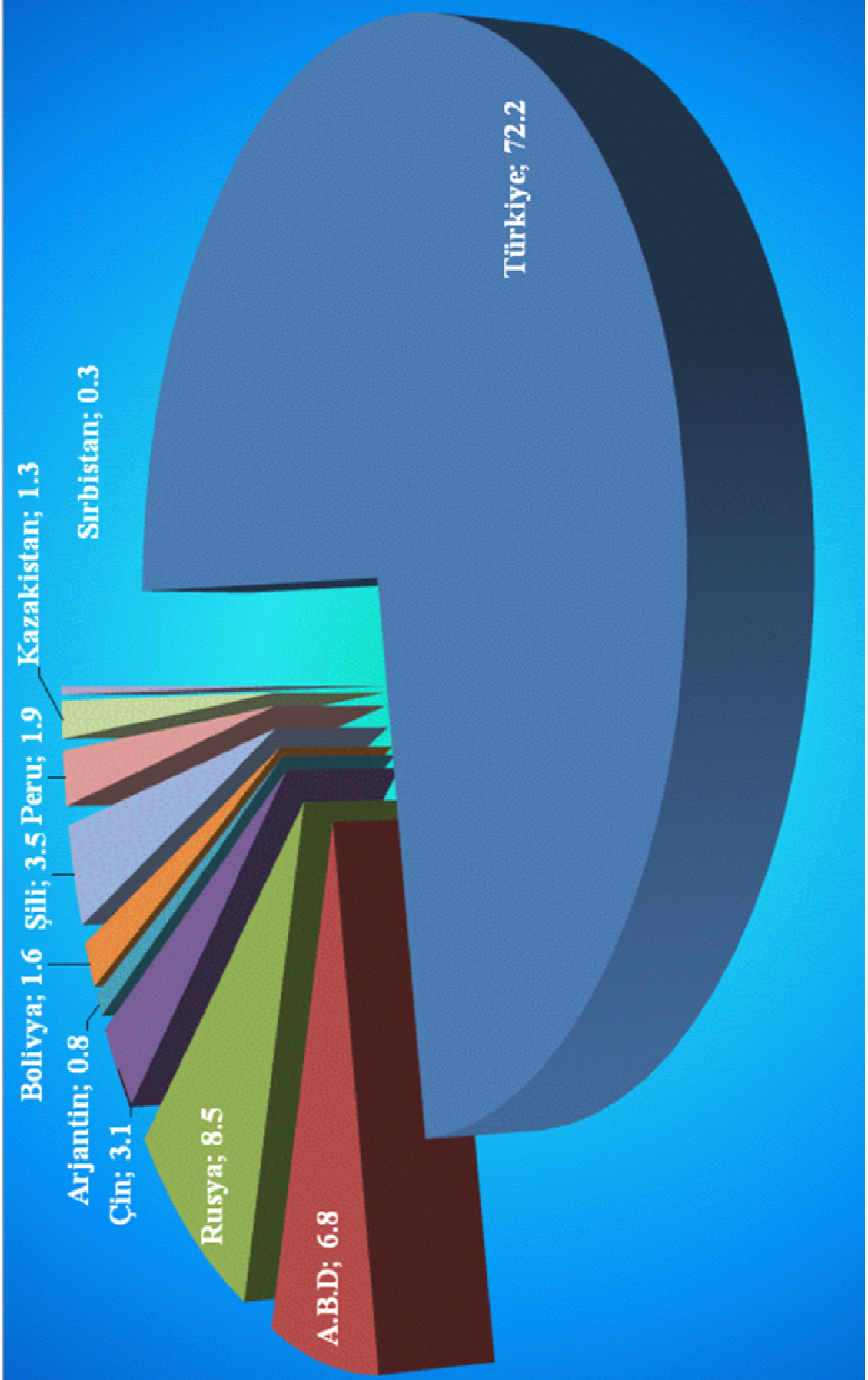
Ayrıca, yazları kuru olan Inder gölünde de üleksit, inyoit, hidroborasit, kolemanit, pandermit, askarit ve inderit gibi bor rezervleri bulunmaktadır.

Çin’de bor üretimi yapılan yerler; Liaoning, Jilin, Qinghe ve Xizang’tadır. Çin’in bor rezervi 36 milyon ton olarak tahmin edilmektedir. Rezervin % 59’unu ortalama % 8,4  $B_2O_3$  tenörlü bor ve magnezyumlu yataklar oluşturmakta ve bu yataklar Yingkou ve Liaoning bölgelerinde bulunmaktadır. Rezervlerin % 29’u ise Da Qaidam ve Qinghai bölgesindeki tuz gölünde olup % 2-6  $B_2O_3$  içeriklidir (DPT, 2006; Sarıhan, 2006; Uyanık, 2006).

Çizelge 2.3 Dünya bor rezervleri ve kaynakları (DPT, 2006; Sarıhan, 2006)

Ülke	Görünür Rezerv (x10 <sup>6</sup> ton B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	Muhtemel + Mümkün Rezerv (x10 <sup>6</sup> ton B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	TOPLAM (x10 <sup>6</sup> ton B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	Toplam Rezerv içindeki Payı (%)
Türkiye	227	624	851	72.2
A. B. D.	40	40	80	6.8
Rusya	40	60	100	8.5
Çin	27	9	36	3.1
Arjantin	2	7	9	0.8
Bolivya	4	15	19	1.6
Şili	8	33	41	3.5
Peru	4	18	22	1.9
Kazakistan	14	1	15	1.3
Sırbistan	3	0	3	0.3
TOPLAM	369	807	1176	100





Şekil 2.11 Dünya bor rezervleri ve kaynaklarının dağılımı

### 3. BOR ÜRÜNLERİNİN KULLANIM ALANLARI

Bor ürünlerinin 500'e yakın kullanım alanı olmakla birlikte başlıca kullanım alanları aşağıda verilmektedir: (DPT, 2006; Sarihan, 2006).

- Cam Sanayi: izolasyon tipi cam elyafı, tekstil cam elyafı, borosilikat camları, optik lifler, cam seramikleri, şişe ve diğer düz camlar ve özel camlar.
- Seramik Sanayi: Emaye ve sır, porselen boyları.
- Nükleer Sanayi: Reaktör kontrol çubuklarında, nükleer kazalarda güvenlik amaçlı ve nükleer atık depolayıcı olarak
- Uzay ve Havacılık Sanayi: Uzay araçları ve uçaklar, helikopterler, zeplinler, radarlar, uydu ve bunun gibi iletişim araçları, füzelerde (kompozit malzeme-sürtünmeye-aşınmaya ve ısıya dayanıklı malzemeler, yakıt (roket yakıtı).
- Askeri ve Zırhlı Araçlar: Zırh plakaları, tanklar, helikopterler, zırhlı yelekler; portatif cihazlarda yakıt olarak.
- Elektronik-Elektrik ve Bilgisayar Sanayinde: Bilgisayarların mikro-ciplerinde, CD sürücülerinde, bataryalarında, LCD ekranlarda. İzolasyon amacı ile yarı iletkenler, vakum tüpler, az kayıplı dielektrik malzemeler, elektrik kondansatörleri, gecikmeli sigortalarda.
- İletişim Araçlarında: Cep telefonları, modemler, televizyonlar, uydular.
- İnşaat-Çimento Sektöründe: İzolasyon ve ses yalıtımı amacıyla; daha sağlam hafif ve depreme-ısıya dayanıklı binaların yapılmasında, yalıtımda. Binaların cam bölümlerinde; termal camlarda (borosilikat camlar), çimentoya ve çeliklere mukavemet artırıcı katkı maddesi olarak kullanılmaktadır. Ayrıca, klinker yapımında önemli oranda enerji tasarrufu sağlanmaktadır.
- Metalurji: Paslanmaz – dayanıklı çelik (sertleştirici-korozyon önleyici), sürtünmeye aşınmaya karşı dayanıklı malzemeler, metalürjik flaks, refrakterler-refrakter briket malzemeleri, lehimleme, döküm malzemelerinde katkı maddesi olarak, bor alaşımları, kesiciler. AB ülkeleri, Rusya'dan önemli miktarda borlu çelik ithal etmektedir.
- Enerji Depolama: Güneş enerjisinin depolanması, otomobillerde yakıt hücreleri ve güneş pillerinde koruyucu amaçlı kullanılmaktadır.
- Yüksek Enerji Yakıtı: Roket yakıtı olarak kullanılmakta olup; enerji sektöründe kullanımı için araştırmalar devam etmektedir (hava araçlarında yeni yakıt üretim çalışmaları devam etmektedir).
- Isı ve Ses Yalıtımı: İzolasyon amaçlı (binalarda, otomobillerde, makinelerde).
- Otomobil Sanayi: Hidrojenle çalışan arabaların hücre yakıtlarında; arabalardaki hava

yastıklarında, hidroliklerde, plastik aksamda, yağlarda ve metal aksam ile çelik aksamında, izolasyon amaçlı kullanılmaktadır.

- Ulaşım Sektörü: Özellikle maglev trenlerin süper ileticileri ile yüksek yoğunluktaki mıknatıslarında kullanılmaktadır.
- Tekstil sektörü: Yanmayı geciktirici - önleyici selülozik malzemeler, izolasyon malzemeleri (alev geciktirici, ısıya dayanıklı kumaşlar).
- Deri Sanayi (deri renklendirici): tekstil boya, suni ipek parlatma malzemeleri.
- İlaç ve Kozmetik Sanayi: Dezenfekte ediciler, antiseptikler, vitaminler. Bor tabletleri: Tıpta özellikle; osteoporoz tedavilerinde, alerjik hastalıklarda, psikiyatride, kemik gelişiminde ve artiritte, menopoz tedavisinde bor kullanılabilir. Bor, insan vücudu için günlük alınması gereken bir mineraldir. Beyin kanserlerinin tedavisi sırasında (BNCT- Boron Neutron Capture Therapy), akciğer ve prostat kanseri ve bunun gibi hastalıkların tedavisinde, hiperaktiviteye karşı ve konsantrasyonu artırmak için. Diş macunlarında, Dezenfektan ilaçları - antiseptikler (hijyen amaçlı birçok uygulamada), Bazı kozmetik ürünlerinde de kullanılır.
- Kimya Sanayi: Bazı kimyasalların indirgenmesi, Elektrolitik işlemler, elektro-kimya Flotasyon reaktifleri, banyo çözeltileri, Katalizörler, Atık Temizleme Amaçlı, Temizleme ve beyazlatma sanayi, Deterjan sanayi (toz deterjanlar, toz beyazlatıcılar, parlatıcılar), Çeşitli temizlik malzemeleri.
- Tarım Sektörü: Gübreler, böcek ve bitki öldürücüler.
- Kağıt Sanayii: Beyazlatıcı olarak.
- Kauçuk ve Plastik Sanayi: Plastik malzemeler, ısıya dayanıklı plastikler.
- Emprenye: Ahşap malzeme ve ağaçlarda koruyucu, boya ve vernik kurutucu.
- Fotoğrafçılık.
- Patlayıcı Maddeler (havai fişek).
- Antifrizler, hidrolik yağlar.
- Boya: Petrol Boyaları, yanmayan ve erimeyen boyalar, tekstil boya.
- Zımpara ve aşındırıcılar.
- Yangına Dirençli Malzemeler: Selülozik izolasyon malzemeleri, plastikler, tekstil.
- Yangın söndürücüler: Yangına karşı dayanıklı işlemler (otomasyon).
- Yapıştırıcılar.
- Kompozit malzemeler.
- Spor malzemeleri.

- Manyetik cihazlar.
- İleri Teknoloji Araştırmaları: genetik, moleküler biyoloji.
- Nanoyapılar.
- Mumyalama.

ve diğer birçok alanda da kullanılmaktadır (DPT, 2006; Sarıhan, 2006).

### 3.1 Cam Sanayi

Bor oksit özellikle; borosilikat cam, tekstil tipi ve izolasyon tipi cam elyaflarında yoğun olarak kullanılmaktadır. Düz cam ve cam kaplarda ise bor kullanım oranı düşüktür. Özel camlarda ise borik asit vazgeçilemeyen bir unsur olup, rafine sulu/susuz boraks, borik asit veya kolemanit/boraks gibi doğal haliyle kullanılmaktadır. Çok özel durumlarda potasyum pentaborat ve bor oksitler kullanılmaktadır. Bor, ergimiş haldeki cam ara mamulüne katıldığında onun akışkanlığını artırıp, yüzey sertliğini ve dayanıklılığını yükselttiğinden ısıya karşı izolasyonunun gerekli görüldüğü cam ürünlerine katılmaktadır.

Borlu camların kullanıldığı bazı uygulama alanları ise su şekilde verilebilir; sıvı kristal göstergelerinde, özel fırın kaplarında, laboratuvar malzemelerinde, arabaların far ve sinyal camlarında, cam yününde, tekstil tipi cam elyafında. Bununla birlikte, bazı bor içeren özel camların da özellikli uygulama alanları mevcuttur. Örneğin; bazı özel borlu camlar, optik ve elektrik özelliklerinden dolayı uzay sanayinde, elektronik endüstrisinde ve nükleer reaktörlerde kullanılır. Ecza sanayinde de kan plazması gibi hassas maddeler daha dengeli olan borosilikat cam kaplarda korunmaktadır.

#### 3.1.1 İzolasyon tipi cam elyafı

Cam elyafı, gerekli özelliklere bağlı olarak farklı özellikte üretilebilmektedirler. Yalıtım özellikleri R faktörü ile tanımlanmıştır. Normal tek –pencere camı için R-1 kalite izolasyon sağlanırken, R-7 kalite ile 3 inçlik (~7.5 cm) cam elyafı izolasyonu sağlanabilmektedir.

Elyafın bir araya getirilmesiyle elde edilen keçeler ısı ve ses izolasyonu amacıyla kullanılmaktadır. Camyünü, endüstriyel binaların ve evlerin ısı yalıtımında, ses yalıtımında, ateşe dayanıklılıkta kullanılmaktadır. Camyünü 250°C sıcaklığa kadar olan sıcaklıklardan etkilenmez olup A sınıfı yanmaz malzemeler sınıfına girmektedir. Camyünü, yüksek ses yutma özelliğine sahip olup “akustik malzeme” olarak da nitelendirilmektedir. Camyününün ısı iletkenliği sıcaklıkla doğru orantılı olarak artmaktadır.

Cam elyafı yeni binaların yapımı sırasında tavan ve duvarlarda kullanılmaktadır. Mevcut binalarda ise çatı aralarında ve boşluk alanlarda kullanılması tavsiye edilmektedir. Ayrıca, mevcut binalarda ABD'de köpük yalıtıcıların (veya ABD'de selülozik izolasyon) duvar boşluklarında, küçük delikler delinerek kullanılması tavsiye edilmektedir. Cam elyafı, ilaveten tabanın altındaki ve tavanın üzerinde boşluklar ile odalar arasındaki bölümlerde akustik izolasyon için tercih edilmektedir.



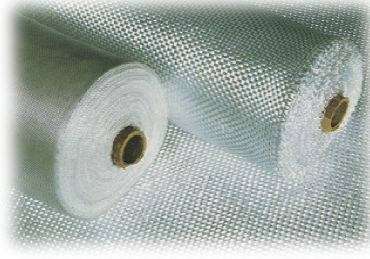
Şekil 3.1 İzolasyon tipi cam elyafı kullanılarak yapılan çatı kaplaması [3]

Cam yünü borların miktar olarak en yüksek oranda tüketildiği sektörlerden biridir. Batı Avrupa'da son yıllarda izolasyon tipi cam elyaf üretiminde kullanılan bor miktarı  $B_2O_3$  bazında yaklaşık 100.000 ton/yıl'dır. Bu miktar toplam Avrupa bor tüketiminin % 14'üdür.

### 3.1.2 Tekstil tipi cam elyafı

Tekstil tipi cam elyafı yüksek çekme ve çarpma direncine sahip, ateşe karşı dayanıklı, ağırlıkça hafif, kimyasal reaksiyonlara karşı dirençli ve ucuza mal edilebilen bir malzemedir.

Tekstil tipi cam elyaf hem dokuma amaçlı olarak, hem de cam elyaf takviyeli malzeme oluşturmak için kullanılabilir. Bu özellikleri nedeniyle, plastik ve kompozit gibi dayanıklı malzemelerin dayanımını artırmak amacıyla kullanılmakta olup; geleneksel malzemelerde, özellikle metallerde kullanımında artış görülmektedir. Otomotiv sanayinde, kapı imalinde, kimyasal depoları ve çeşitli plastik borularda, cam elyaf takviyeli polyester üretiminde kullanılmaktadır. Tekstil tipi malzemenin, % 17'si dayanımlı plastiklerde, % 15'i diğer dayanımlı kullanımlarda ve % 4'ü diğer alanlarda kullanılmaktadır.



Şekil 3.2 Tekstil tipi cam elyafı [4]

Bu sektörde de yıllık ortalama % 3-7 civarında bir büyüme beklenmektedir.  $B_2O_3$ 'e olan toplam talebinin A.B.D.'de % 20'si (2004), B.Avrupa'da % 11'i (2001 yılı) bu tür elyaftan kaynaklanmaktadır.

### 3.1.3 Optik cam elyafı (fiber optikler)

Fiber Optikler, düşük refrakter özellikli malzeme ile kaplı yüksek refraktif özellikli camdan oluşur. % 22  $B_2O_3$  içeren optik fiberler, iç çekirdek ve dış bölüm olarak iki ayrı malzemedен oluşmaktadırlar. İç çekirdek yüksek refrakter özellikli camlardan dış yüzey ise düşük refrakter özellikli camlardan yapılmaktadır. İç çekirdek genellikle borosilikat cam ile eritilmiş silikattan yapılmaktadır. İngiliz Felecon'un ürettiği yeni bir elyaf saniyede 140 milyon baytı 27 km. uzağa taşıyabilmektedir. Bu lifler % 6 borik asit ihtiva etmektedir. Phillips'in Hollanda'daki fabrikasında bu lifler üretilmektedir. Optik cam elyafında toplam talep 135 milyon km olmasına rağmen toplam arz 105 milyon km'dir.

Fiber optikler, iletişim sistemlerinde verilerin çok hızlı bir şekilde taşınmasında kullanılır. Veriler çok ince optik fiberler aracılığıyla ışık fotonları şeklinde taşınmaktadır. Fiber Optik pazarı, cam elyaf pazarındaki en dinamik sektördür. Bu sektörde, iletişim sektöründe artan ihtiyaç, yeni kanuni düzenlemeler, özelleştirmeler ve yüksek hızlı ve daha geniş veri transferi ihtiyacı gerektiren dinamik yenilikler nedeniyle çok yüksek bir rekabet artışı mevcuttur.



Şekil 3.3 Fiber optik kablolar [5; 6]

### 3.1.4 Borosilikat camlar

Bor ürünlerinin en önemli kullanım alanlarından biri borosilikat camları üretimidir. Borosilikat camlar, en az % 5  $B_2O_3$  ihtiva eden, silikat camlar olarak tanımlanmaktadır. Borosilikat camların; düşük termal genleşme katsayısına sahip olması amacıyla, bor oksit içeriklerinin % 10-15  $B_2O_3$  arasında değişmesi gerekliliği belirtilmesine rağmen, farklı camlardaki gerçek seviyeler % 1 ile % 34  $B_2O_3$  arasında değişmektedir.

Örneğin Pyrex'de % 13.5  $B_2O_3$  vardır. Camın ısıya dayanmasını, cam imalatı sırasında çabuk ergimesini ve devitrifikasyonun önlenmesini sağlayan bor; yansıtma, kırma, parlama gibi özelliklerini de arttırmaktadır. Bor, camı aside ve çizilmeye karşı korur.

Borosilikat camlarının en önemli özellikleri termal şoklara dayanıklı olmaları, darbe mukavemetlerinin yüksek oluşu, kimyasal etkilere ve çizilmeye karşı dayanıklı olmalarıdır. Borosilikat camları uzun yıllardan beri mutfaklardaki cam kaplarda, beyaz eşyaların cam kapaklarında ve laboratuvar camlarında kullanılmaktadır. Son dönemlerde binalarda kullanımında artış vardır. Borosilikat camların binalarda kullanılması hususunda AB'de 2 adet standart kabul edilmiştir. Borosilikat camlar özellikle Batı Avrupa ve ABD'de üretilmektedir. Borosilikat camlarında dâhil olduğu özel cam üretimleri, Avrupa ülkelerinden Almanya, Fransa ve İngiltere'de yoğunlaşmıştır.



Şekil 3.4 Borosilikat camdan yapılmış bir laboratuvar malzemesi [7]

### 3.1.5 LCD ekranlar

Son yıllarda LCD (Liquid Crystal Display) olarak adlandırılan Sıvı Kristal Ekranlar, borosilikat camları için önemli bir kullanım alanı olmuştur. LCD pazarında rekabet eden üretici firmalar Uzakdoğu'da, Kore, Tayvan ve Japonya üçgeninde toplanmıştır. Japonya'daki LCD üreticilerinin borik asit talepleri giderek artmaktadır. Japonya'da 2002 yılında 13,000

ton civarında olan kullanımlarının 2005’de tahmini olarak 20,000 tona çıkması beklenmektedir.



Şekil 3.5 Sıvı kristal ekran ve içyapısı [8; 9]

### 3.1.6 CRT camı (renkli tv katot tüpleri)

Bor, renkli katod X-ray tüplerinin (CRT’ler) üretimi sırasında kullanılmakta olan televizyonun solder cam fritlerinde kullanılmaktadır. CRT’ler, iki yarı parça halinde, panel ve boru olarak üretilmektedir. Solder televizyon camları renkli televizyon camlarında, 1950’li yıllardan beridir bu iki parçayı birleştirmek üzere kullanılmaktadır. TV Solder camı, % 75 PbO, % 12 ZnO, % 9 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, % 2 BaO ve % 2 SiO<sub>2</sub>’den oluşmaktadır.



Şekil 3.6 Katot tüplü monitör [10; 11]

## 3.2 Seramik Sanayi

Bor oksit, boraks, kolemanit ve diğer sodyumlu borlar seramik sırların üretiminde kullanılmaktadır. B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>’nin temel fonksiyonu, esas itibarıyla cam ve malzeme arasında ısıl açıdan uyum sağlamak ve sırrın Katot tüplü monitör ısıl genleşme katsayısını düzenlemektir. Sırlara, bor ilavesinin diğer bir önemli faktörü, ergimenin ilk aşamalarında cam oluşumunu sağlamaktır.



Boratlar, aynı zamanda sırcaların refrakter endeksini artırarak görünümünü de iyileştirmektedir. Sırra bor eklenmesi mekanik gücü ve çizilme direncini artırır. Bor ayrıca, kimyasalların ve suyun etkilerine karşı direnci artırır. Diğer taraftan borlar renklendiricilerin katılımına taban oluştururlar.

Seramik sırlarında kullanılan bor oksit oranı ağırlıkça % 8-24 arasında değişir. Mutfak eşyalarının yapımında kullanılan kurşunlu sırlarda  $B_2O_3$  miktarı % 10-24 arasındayken, kurşunsuz sırlarda ise % 8'dir. Emaye sırlarında ise  $B_2O_3$  oranı % 8-32 arasında değişir. Örneğin; aside karşı dayanıklı çelik üzerindeki emayeler % 10  $B_2O_3$  içerirken, toz halindeki titanyum sırları % 32  $B_2O_3$  içermektedir.

Son 20 yılda, süs sırlarında büyük artış olmaktadır. Emaye'ye kıyasla bazı sır üretici ülkelerde, borat tüketiminin daha az olması nedeniyle, bölgeler arasında büyük farklılıklar meydana gelmiştir. Brezilya ve Avrupa'nın bazı Akdeniz kıyı ülkelerinde olduğu gibi, yerli seramik sanayinin geliştiği ülkelerde, ABD'ye göre seramik sektöründe daha fazla borat tüketilmektedir.

Emayelerin akışkanlığını ve doyunlaşma sıcaklığını azaltan bor oksit % 20'ye kadar kullanılabilir. Özellikle emayeye katılan hammaddelerin % 17-32'si  $B_2O_3$  olup, sulu boraks tercih edilir. Seramiği çizilmeye karşı dayanıklı kılan bor, % 3-24 miktarında kolemanit halinde sırlara katılır. Bazı hallerde bor oksit veya susuz boraks da kullanılır. Sırlar genelde içerdiği ana maddeye göre sınıflara ayrılmaktadır. Metalle kaplanan emaye onun paslanmasını önler ve görünüşüne güzellik katar. Çelik, alüminyum, bakır, altın ve gümüş emaye ile kaplanabilir. Emaye aside karşı dayanıklılığı artırır. Mutfak aletlerinin çoğu emaye kaplamalıdır.

Seramik sırlar ve emaye fritler borlar için ana pazarlardan biridir. Tahminlere göre bu pazar dünya bor tüketiminin % 12'sini karşılamaktadır. Ülkemizde seramik kaplama malzemelerinin başlangıcı Çanakkale Seramik Fab. A. Ş. ile 1957 yılına dayanmaktadır. Başlangıçta hammadde kaynaklarının yakınlarına konuşlandırılan fabrikalar (Çan, Söğüt, Bilecik, Eskişehir, Kütahya, Uşak) birçok konuda olduğu gibi frit konusunda da kendi kendilerine yeterli olacak şekilde yatırımlarını gerçekleştirmişlerdir. Son yıllarda Kale Frit'in yeni yatırımıyla, Türkiye'nin frit ithalatında düşüş olacağı tahmin edilmektedir (DPT, 2006).

### 3.3 Temizleme ve Beyazlatma Sanayi

Sabun ve deterjanlara mikrop öldürücü (jermisit) ve su yumuşatıcı etkisi nedeniyle % 10 boraks dekahidrat ve beyazlatıcı etkisini artırmak için toz deterjanlara % 10-20 oranında

sodyum perborat (mono veya tetra olarak) katılmaktadır. Sodyum perborat ( $\text{NaBO}_2\text{H}_2\text{O}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ) aktif bir oksijen kaynağı olduğundan etkili bir ağartıcıdır.

Deterjan sektöründeki ABD bor tüketimi 2003 ve 2004 yılında, toplam bor tüketiminin % 4'ü kadar olup, 2004 yılında 21,000 ton olarak tahmin edilmiştir. Batı Avrupa'da deterjan sektöründeki bor tüketimi düşerken, ABD'de aynı düzeyde devam ettiği görülmektedir (DPT, 2006).

### 3.4 Yanmayı Önleyici (Geciktirici) Maddeler

Yangın geciktiricilerde, özellikle alüminyum trihidrat (talebin % 50'den fazlası bu ürünle karşılamaktadır) ve magnezyum hidroksit (kullanımı artmaktadır) kullanılmaktadır. Bunların dışında, yanmayı geciktirici maddelerin üretiminde, borların dışında, brom, klor, antimuan ve fosfor da kullanılmaktadır. Son yıllarda ise bu ürünlerin kombinasyonları kullanılmaya başlanmıştır. Çinko Borat ve Antimuan Trioksit birlikte kullanılmaya başlanmış olup, bu iki bileşim; kömürleşmenin-yanmanın-kavrulmanın non-halojen şeklinde olmasına, yanma sırasında dumanın ve zehirin az olmasına neden olmaktadır.

Boratlar, çeşitli yangın geciktirici malzemelerde kullanılmaya başlanmışlardır. Borlar, yanan malzemenin üzerine oksijenle temasını kesecek şekilde kaplayarak yanmayı bastırır.

Çinko boratlar, plastik malzemelerde; borik asit, boraks pentahidrat ve boraks dekahidrat gibi çözünebilir boratlar ise selülozik malzemelerde kullanılmaktadır. Bu malzemeler; tahta, kontraplak, özel tahtalar, ağaç fiber, kağıt ve pamuk gibi doğal fiberlerdir.

Son yıllarda, selülozik maddelerdeki bor tüketimleri azalırken, plastiklerde yangın geciktirici olarak bor kullanımı artmaktadır (DPT, 2006).

#### 3.4.1 Selülozik yalıtım

Ateşe dayanıklı madde olarak selülozik yalıtım maddelerinin kullanımı borik asit talebinin artmasına yol açmıştır. Avustralya ve ABD'de bu daldaki tüketim oldukça hızlı bir artış göstermiştir. Bu malzemeler, ABD Yangın Yönetmeliklerine göre hazırlanmakta olup; kâğıt ile boraks pentahidrat ve borik asit, 40:7:2 oranında kullanılmaktadır.  $\text{HBO}_3$ , içten yanmayı önlemek için önemli bir malzemedir. Enerji verimliliğini artırmak ve termal izolasyonu sağlamak için, selülozik yalıtım malzemeleri cam elyafi izolasyon malzemelerine alternatif olarak da kullanılmış, ancak izole cam elyafi üreticilerinin kapasitelerini artırmaları ile selülozik malzemelerin kullanımları azalmıştır. Bununla birlikte, cam elyafının yalnızca duvarın inşası sırasında kullanılabilmesine rağmen, selülozik yalıtım malzemeleri duvardaki

küçük deliklerden duvar boşluklarına enjekte edilebilmesinden dolayı ABD’de hala önemli bir talebe sahiptir.



Şekil 3.7 Yalıtım amaçlı kullanılan yanmaz plaka [12]

### 3.4.2 Plastikler

Bor bileşikleri plastiklerde yanmayı önleyici olarak giderek artan oranlarda kullanılmaktadır. Bu amaç için kullanılan bor bileşiklerinin basında çinko borat, baryum metaborat, borfosfatlar ve amonyum fluoborat gelir. Plastiklerdeki, bor talebinin % 85’inin yangın geciktiriciler için olduğu tespit edilmiştir. En fazla kullanılan yangın geciktirici malzeme alümina trihidrattır. Bor ürünleri ise, bu sektördeki talebin çok küçük bir bölümünü karşılamaktadır.

Çinko borat, yangın geciktirici malzemelerde çok yaygın kullanılan bir üründür. Özellikle, PVC’lerde kullanılmaktadır. PVC yanarken hidrojen klor açığa çıkmakta ve bu da uçucu olmayan çinko ve bor bileşikleri ile reaksiyona girmektedir. Amonyum floroboratın ise antimon trioksit ile birlikte kullanılması tavsiye edilmektedir. Baryum boratlarda bazı ticari yangın geciktiricilerde kullanılmaktadır. Çinko borat ve antimon oksit bileşimi çok etkilidir. Dolayısıyla, çinko borat antimon oksidin yaklaşık yarısı oranında kullanılmaktadır.

Çinko borat ve alümina hidroksit, dumanın ortaya çıkmasını azaltır. İlaveten, çinko borat, silikonlarda alümina trihidratsız olarak kullanılabilen ve etkili bir yangın geciktirici özelliği sağlamaktadır.

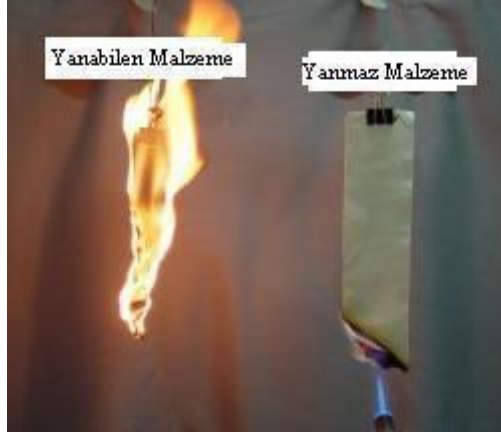


Şekil 3.8 Yanmaz plastik malzeme örneği [13]

### 3.4.3 Tekstil

Tekstil ve kumaşlar için, boraks ve borik asit faydalı alev geciktiricilerdir. Fakat suda çözünebildikleri için, yıkandıkları, temizlendikleri veya havayla temas ettikleri zaman uygulama sorunlu olabilmektedir. Ancak, bazı özel uygulamalarla bu sorun çözülebilmektedir. Kumaşlara ekleme oranı ise ağırlıkça % 10'dur.

Alev geciktirici bor bileşik kombinasyonlarına (borik asit ve boraksa ilaveten) diamonyum fosfat, sodyum tungsten gibi bileşikler de eklenmektedir.



Şekil 3.9 Yanmaz tekstil malzeme örneği [14]

## 3.5 Tarım

Bor mineralleri bitki örtüsünün gelişmesini artırmak veya zararlı bitkilerin gelişimini önlemek veya zararlı böcekleri öldürmek amacıyla kullanılmaktadır. Diğer bir ifadeyle bor ürünlerinin tarım sektöründeki tüketim alanları gübre, bitki ve böcek öldürücü ile emprenye sanayinde ahşap koruyucu olarak da karşımıza çıkmaktadır (DPT, 2006).

### 3.5.1 Gübreler

Bor, bitkilerin beslenmesi için gerekli olan başlıca elementlerden biridir. Borlar, gübrelerde bulk olarak kullanımının yanında, mikro besin olarak da kullanılmaya başlanmıştır. Bor, değişken ölçülerde, birçok bitkinin temel besin maddesidir. Bor eksikliği görülen bitkiler arasında yumru köklü bitkiler (özellikle şeker pancarı) kaba yoncalar, meyve ağaçları, armut, zeytin, kahve, tütün ve pamuk sayılmaktadır. Mikroblesinler, diğer dökme gübrelerle birlikte veya sıvı gübrelerle birlikte toprağa karıştırılmakta veya yapraklara sprey olarak sıkılmaktadır.

Bor bitkilerin köklerinin ve yapraklarının gelişmesine, çiçek açmasına, polen üretimine, filizin gelişmesine, tohum ve meyve vermesine yardımcı olur. Bor bakımından zayıf olan topraklarda yetişen ürün; en yüksek verimine, kalitesine ve dayanıklılığına erişemez.

Boraks dekahidrat ve boraks pentahidrat en çok kullanılan ve tanınan borlu gübreler olup bunları sodyum pentaborat ile disodyum oktaborat tetrahidrat izlemektedir. Sodyum boratlar toprağa doğrudan verildiği gibi kolay çözünür olmaları nedeni ile püskürtülerek de bitkilere başarılı şekilde uygulanmaktadır.

Toprağa verilecek bor miktarı; bitkiye, gübrenin verilme sekline, yağış miktarına, kireçlenme durumuna ve toprağın organik madde kapsamına bağlı olarak değişir. Genellikle, bor ağırlıkça % 0.02 oranında verilmekle birlikte; her gübreye eklenmektedir. Örneğin, baklagil bitkileri ile yapılan araştırmalarda hektara 1.2 - 3.2 kg ve başka bitkilerde ise hektara 0.6 - 1.2 kg bor yeterli görülmektedir. Mikroblesinlerde, bor kullanımını en uygun olarak 0.06 - 0.32 g/m<sup>2</sup> arasında değişmektedir.

### **3.5.2 Bitki öldürücüler**

Bor, sodyum klorat ve bromosol gibi bileşiklerle birlikte otların temizlenmesi veya toprağın sterilleştirilmesi gereken durumlarda da kullanılmaktadır.

Bor'a bitkilerin ihtiyacı olmasına rağmen fazlası zarar vermektedir. Bu toksititesi nedeniyle, borlar bitki öldürücü olarak da kullanılabilir. Ancak, bu kullanım bitkilerin seçiminin zor olması nedeniyle fazla uygulanmamaktadır. Bu bitki öldürücüler, boraks ve borik asitten yapılmakta olup, genellikle sodyum klorat veya diğer kimyasal bitki öldürücülerle birlikte kullanılmaktadırlar. Hidratlanmış Bakır Metaborat ( $\text{CuOB}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), selülozik malzemelerde ve eşyalarda mantarların temizlenmesi için kullanılmaktadır.

### **3.5.3 Böcek öldürücüler**

Ahşapları zararlılardan korumak için genellikle boraks, borik asit ve boraks pentahidrat kullanılmaktadır. Ayrıca, ağaçların büyümesi sırasında kullanılan böcek öldürücüler de çok yararlı sonuçlar vermektedir. Bu bileşikler, ahşap malzemelerde renk ve koku oluşturmeyen ve toksik olmayan maddelerdir.

Boratlar, hamamböcekleri ve karıncaları öldürmek içinde kullanılmaktadır. 1993 yılında EPA (A. B. D. Çevre Koruma Ajansı), sodyum boratın evlerdeki selülozik malzemelerde böcek öldürücü olarak kullanılmasını onaylamıştır.

Kerestelerin, mantar ve böceklerden uzun süreli korunabilmesinde, disodyum oktaborat tetrahidrat çok başarılı olarak kullanılabilir. Bu malzeme, özel bir önlem alınmadan; spreyle, boyama veya basınç yoluyla keresteye çok kolay uygulanabilir.

### 3.6 Metalürji

Boratlar yüksek sıcaklıklarda düzgün, yapışkan, koruyucu ve temiz, çapaksız bir sıvı oluşturma özelliği nedeniyle demir dışı metal sanayinde koruyucu bir cüruf oluşturu ve ergitmeyi hızlandırıcı madde olarak kullanılmaktadır.

Bor bileşikleri, elektrolit kaplama sanayinde, elektrolit elde edilmesinde de kullanılmaktadırlar. Borik asit nikel kaplamada, fluoboratlar ve fluoborik asitler ise kalay kurşun, bakır, nikel gibi demir dışı metaller için elektrolit olarak kullanılmaktadır.

Alaşımelerde, özellikle çeliğin sertliğini artırıcı olarak kullanılmaktadır. Bu konuda ferrobör oldukça önem kazanmıştır. Çelik üretiminde 50 ppm bor ilavesi çeliğin sertleştirilebilir niteliğini geliştirmektedir (DPT, 2006).

#### 3.6.1 Çelik

Çeliğe borun ilave edilmesi temelde alaşımın sertliğini artırmaktadır. Diğer ilave edilen ürünlere göre göreceli olarak daha ucuzdur. Çeliğe ilave edilen bor miktarı ise, istenen sertliğe ulaşılabilir hacmine göre değişmekte olup bor ilavesi sıklıkla % 40'ı aşmamaktadır.

Bor, çeliğin sertliğini iyileştirmekle birlikte, düşük-çelik alaşımlarının mukavemetini artırarak, büzülme direncini de artırmaktadır. Çelik üreticileri, genellikle bor ürünlerini ferrobör olarak kullanmaktadırlar. Temelde ticari iki ferro-bör bileşiği mevcut olup bunlar % 10 ve % 17 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içermektedirler.

Karbon-manganez-Bor (C-Mn-B) çelikleri, diğer alaşım çeliklerine nazaran daha ucuz ve benzer sertliğe sahip bir alternatif olarak kullanılabilir. Bor, paslanmaz çeliklere de ilave edilmekte olup, nükleer absorpsiyon için kullanılan çelikler % 4'e kadar (genellikle % 0.5-1) bor içerebilmektedirler.

Diğer karbürlerden farklı olarak, borlar çeliği üretim sırasında sertleştirmede için, onu işlemek daha kolay olmakta ve dolayısıyla fabrikasyon zaman ve maliyetini düşürmektedir. Örneğin, otomotiv sektörü için daha kolay şekil alabilmesi amacıyla da ilave edilmektedir.

Diğer bir avantaj ise, bor çelikleri ilave ısı iyileştirme operasyonları gerektirmez ve böylece daha fazla enerji tasarrufu ve fabrikasyon zamanının daha fazla azalmasını sağlamaktadır.

Dünya ferro bor tüketiminin yaklaşık % 10'u Neodmiyum-Demir-Bor sürekli manyetlerinde yapılır. Dünyada bu endüstri dalında yaklaşık 1,000 ton ferro bor kullanılmaktadır.

Ulaşım sektöründe ise ileri teknolojiye sahip maglev trenlerinin süper iletken ve yüksek yoğunluklu mıknatıslarında kullanılmaktadır.

### **3.6.2 Borlama (boriding – borozing)**

Borlama (Boriding veya borozing) işleminin, çelik endüstrisindeki uygulamaları azdır. Fe<sub>2</sub>B ve FeB çeliğin yüzeyine yayılarak, karbürleşmiş veya nitrürlenmiş çelikten daha sert bir çelik elde edilebilmektedir. Borlanmış çelikler, yüksek derecede korozyona ve aşınma direncine sahiptirler. Özellikle, hidrolik aletlerin ve bazı petrol-kuyusu delme matkaplarının yüzeylerinin cilalanması gibi uygulamalarda kullanılmaktadır. Ayrıca, borlama işleminden geçirilmiş malzemeler, otomotiv endüstrisinde sürtünme katsayısını azaltmak ve hareketli aksamaları korumak için kullanılmaktadır.

Borlama işlemi, çok farklı ajanlar kullanılarak yapılabilmektedir. Farklı borlama işlemleri mevcut olup, borlama için bor florür veya bor klorür, ferro bor, bor karbür veya sıvı haldeki metaborat ve borik asit gibi bor ürünleri kullanılabilir. Bor klorür gibi bor halürleri, azot veya oksijen gazları ile birleştirilmekte olup, gazlı borlama ajanları kullanılmaktadır.

### **3.6.3 Demir dökümler**

Demir döküm alaşımlarında, bor çok yararlı etkilere neden olmaktadır. Ağırlıkça % 0.03 bor ilavesi aşınma direncini artırırken, % 1 bor ilavesi ise sinterleşmiş demirin, sinterleme sıcaklığını önemli oranda düşürmektedir.

Demir döküme, % 0.02 - % 0.1 oranında bor ilavesi grafitleşmeyi engellemekte ve yüzey sertliğini ve soğuma derinliğini artırmaktadır. Dövme demir dökümlerine % 0.001'lik bor ilavesi demir dökümlerde tavlanmayı hızlandırmaktadır.

### **3.6.4 Süper alaşımlar**

Bor, Ni-Fe-Co süper alaşımlarda temelli alaşımlarda çok düşük oranda kullanılmakla birlikte gerekli bir malzemedir. Bu tür alaşımlar hava-motor araçlarının türbin disk ve tekerlek gibi bileşenlerinde kullanılmaktadır. Bu alaşımlarda bor kullanım oranı % 4'e kadar ulaşabilmektedir.



Şekil 3.10 Süperalaşım uçak motoru [15]

### 3.6.5 Alüminyum alaşımları

Alüminyum döküm alaşımlarına, % 5 oranına kadar bor ve titanyum ilave edilerek, ince ve üniform bir tane yapısı oluşturulmaya çalışılmaktadır. İnce tane yapısı, gözenekleri azaltır, homojenliği artırır ve mekanik özellikler ile yüzeyi iyileştirir. Çok az miktardaki bor bileşikleri, alüminyum alaşımlarının elektriksel iletkenliğini iyileştirirler.

### 3.6.6 Diğer metal alaşımları

Dişçilik uygulamalarında, % 1 bor ilave edilmiş paladyum alaşımları kullanılmaktadır. Porselen dişlere ilave edilen bor, alaşımın genişleme katsayısını değiştirmektedir. Bor, diğer bazı metal alaşımlarında yaygın bir sertleşme sağlamak ve elektriksel kontaklarda kullanılmaktadır.

Bor, bakır alaşımlarında rafinasyon etkisine sahiptir. Elektronik parçalar için, bakır alaşımlara % 3 oranına kadar bor ilave edilmektedir.

Bor, lehimleme alaşımı olan nikel-bakır alaşımlarının ergime noktasını azaltır. Bu tip kaynak-lehim alaşımları % 6 oranına kadar bor içerirler.

### 3.6.7 Amorf metal alaşımlar

Amorf metaller (camsı metal veya metalik cam olarak da anılmaktadırlar), kristal yapıya sahip değildirler. Kristalleşmeyi önleyen teknoloji ile üretilmektedirler.

Amorf bor-gümüş alaşımları, tüm temel metal sistemleri ile uyumlu olup, nikel, kobalt, bakır, demir alaşımlarında, toz metal işlemlerinde, metal-grafit kompozitleri ve yapıştırılmış plakette karburlu takımlarda kullanılmaktadırlar. Amorf metallerin en önemli kullanım alanı, elektrik iletimidir.



Bor, ferro-bor olarak ilave edilmektedir. Bu malzemeler, elektrik transformerlerinde standart levhalar olarak kullanılmaya başlanabilir. Bu durumda, borların kullanımı önemli oranda artabilecektir.

### **3.6.8 Flakslama uygulamaları**

Borik asit ve alkali metal boratlar, çok geniş bir yelpazedeki metalleri çözündürüler; bu nedenle metalürjik uygulamalarda boratların flaks olarak kullanımında büyük bir artış olmuştur.

Çelik yapımında, kolemanit ve az oranda üleksit, florite alternatif bir flaks olarak ABD, Kanada, Almanya ve Japonya'da kullanılmaktadır. Kolemanit kireç stabilizasyonunu sağlamakta ve böylece erime zamanı azaltılmaktadır. Kolemanit flor ile karşılaştırıldığında, kolemanitin düşük asiditesi nedeniyle refraktörün kullanım ömrünü uzatması çok önemli bir avantajdır. Kolemanit flaks olarak, yüksek karbonlu çeliklerden sülfür ve fosforun elimine edilmesi sırasında çok yararlı bir malzemedir.

Boratlar, bakır alaşımlarının ergitilmesinde kaplama flaks olarak kullanılmakta ve boraks ise altın analizlerinde ve rafinasyonunda kullanılmaktadır. Potasyum pentaborat paslanmaz çeliğin lehim kaynağı yapılması sırasında flaks olarak, trimetil borat ise gaz lehimleme flaks'ı olarak kullanılmaktadır.

Gümüş-pirinç flaksları, borik asit, potasyum borat içeren kompleks potasyum floroborat ve florür içermektedir.

### **3.6.9 Elektro kaplama**

Birçok elektro kaplama uygulamasında, bor kimyasalları temizleyici ve buffer (tampon) olarak kullanılmaktadır. Borik asit ve floroboratlar, yatakların gözeneğini ve çukurunu azaltmak için çok az miktarda kullanılmaktadırlar. Kalay-kaplama tellerinde pickling işleminde % 10 floroborik asit kullanılmaktadır.

Galvanizlemede, floroboratların kullanımı son yıllarda metan sulfonik asit (daha çok çevre dostu olduğu düşünülmektedir) ile rekabet etmektedir.

### 3.7 Nükleer Uygulamalar

Atom reaktörlerinde borlu çelikler, bor karbürler ve titanbor alaşımları kullanılır. Paslanmaz borlu çelik, nötron absorbanı olarak tercih edilmektedir. Yaklaşık her bir bor atomu bir nötron absorbe etmektedir. Bu nedenle, atom reaktörlerinin kontrol sistemleri ile soğutma havuzlarında ve reaktörün alarm ile kapatılmasında bor (B10) kullanılmaktadır. Ayrıca, nükleer atıkların depolanması için kolemanit kullanılmaktadır (DPT, 2006).

### 3.8 Bor Fiberleri

Bor fiber kompozitleri, bor fiberleri ile güçlendirilmiş polimer reçinelerden oluşmaktadır. Bor fiber kompozitleri, hava ve uzay araçlarının üretiminde kullanılan ilk ileri kompozit malzemedir. Bor fiberlerinin yüksek maliyetleri kullanım alanlarını sınırlamaktadır.

Bor fiberleri, spor aletlerinden (balıkçılık, golf, kayak, bisikletler) uzay ve hava araçlarına kadar birçok alanda kullanılmaktadırlar.



Şekil 3.11 Bor fiberi [16]

### 3.9 Uzay ve Havacılık

Borlar, uzay ve havacılık sanayisinin gelişmesine katkı yapmış olan en önemli minerallerdendir. Radarlar, uçaklar, uydular, iletişim sistemleri, uçuş yakıtları, sürtünme ve ısıya dayanıklı kompozit malzemeleri başta olmak üzere hemen hemen tüm uzay ve hava araçlarında, borların birçok kullanım alanı mevcuttur. Askeri hava araçları, füzeler, helikopterler ve uçakların en önemli hammaddelerinden biridir.

Uçak ve havacılık endüstrisinde bor kullanımı giderek artan bir seyir izlemektedir. Aerodinamikteki gelişmeler, yüksek hız kanat uygulamaları, yüksek ısıya dayanımlı gövde, düşük ağırlık yüksek kapasite ve benzeri uygulamalar üzerinde yürütülen tasarım ve geliştirme çalışmaları havacılık ve uzay sanayinde kompozit malzeme kullanımını oldukça yaygınlaştırmıştır.

Borun yanıcı fakat tutuşma sıcaklığının yüksek olması, yanma sonucunda kolaylıkla aktarılabilecek katı ürün vermesi ve çevreyi kirletecek emisyon açığa çıkarmaması ulaşım araçlarında bir avantaj olarak kabul edilmektedir (DPT, 2006).

### 3.10 Borlu Katı Yakıtlar

#### 3.10.1 Yakıt hücreleri (fuel cells)

Sodyum borhidrür güvenli bir hidrojen taşıyıcısıdır. Sodyum borhidrürün kimyasal bağlarında hidrojen mevcut olup ortamdaki katalizör, hidrojeni açığa çıkarmaktadır. Bu üretim de temel prensip ise su ile boraksın reaksiyonudur. Bu reaksiyondan üretilen hidrojen doğrudan içten yanmalı motorlara beslenebilir veya yakıt hücrelerinde kullanılabilir.



Şekil 3.12 Borlu yakıt pili takılmış bir motosiklet [17]

#### 3.10.2 Füze / uçuş yakıtları

Bor kimyasalları özellikle füze yakıtı olarak kullanılmaktadır. Sodyum borhidrür, özel uygulamalarda hidrojen taşıyıcı olarak kullanılmaktadır. Hidrojen diboran ( $B_2H_6$ ) ve hidrojen pentaboran ( $B_5H_9$ ) gibi borhidrürler; uçaklarda yüksek performanslı potansiyel yakıt olarak araştırılmışlardır. Özellikle, uçak ve uzay sanayilerine yönelik ağırlıklı olarak ABD, Avrupa, Rusya ve Japonya'da yapılmakta olan araştırma uygulamaları dikkat çekicidir.

1960'larda ABD Hava ve Deniz Kuvvetlerince ortaklaşa yürütülen Zip Yakıtları Projesi çerçevesinde geliştirilen yakıtlar, yaklaşık aynı tarihlerde üretilen XB-70 Valkyrie "Boron Bomber" bombardıman uçağı ve SR-71 Blackbird süpersonik stratejik bombardıman uçaklarında bor katkılı yakıt (pentaboran ve etil boran olarak isimlendirilen) kullanılarak uçakların hem hızları hem de uçuş mesafeleri artırılmıştır. Daha sonra geliştirilen F-117 "Stealth Fighter" Meteor (MRAAM) uçakları ve General Dynamics firması tarafından

Üretilen BGM-109 Tomahawk, UGM-109 Tomahawk füzelerinde de bor katkılı yakıtlar kullanılmaktadır.

Bor üzerinde yürütülen araştırmalar sadece ABD ile sınırlı değildir. Örneğin, Avrupa Uzay Ajansı da aynı zamanda bor ve borlu yakıtlar üzerine çalışma yapan bir başka kurumdur. Anılan ajans geliştirdiği üç tip borlu yakıtı Avrupa Patent Ofisine tescil ettirerek patentini almıştır. Bugün Ariane roketlerinde kullanılan yakıtlar da borlu yakıtlardır.

Ayrıca, sodyum borhidrürün yakıt olarak kullanılması yönündeki alışmalar, ABD Hava Kuvvetleri tarafından da desteklemektedir.



şekil 3.13 Füze yakıtı olarak bor bileşikleri [18]

### 3.11 Sağlık

BNCT (Boron Neutron Capture Therapy) metodu, kanser tedavisinde kullanılmaktadır. Özellikle; beyin kanserlerinin tedavisinde hasta hücresinin seçilerek imha edilmesine yaraması ve sağlıklı hücresine zarar vermemesinden dolayı tercih nedeni olabilmektedir. Bor ürünleri son yıllarda akciğer ve prostat kanseri gibi diğer kanser türlerinin tedavisinde de kullanılmaktadır.

İnsan vücudunda normalde bulunan bor, bazı ülkelerde tabletler şeklinde üretilmeye ve diğer mineraller ve vitaminlere de ilave edilmeye başlanmıştır. Ayrıca, osteoporoz, kemik gelişimi, alerji gibi sağlık problemleri için bor mineralleri kullanılmaktadır. Afrika'da yapılan araştırmalarda, bor alan kişilerde artirit oranı % 3 iken, büyük şehirlere taşındıktan sonra artirit'e yakalanma oranı % 20'ye çıkmıştır.

Metabolizmadaki bor, kalsiyum, magnezyum ve fosfor dengesini ayarlar. Sağlıklı kemiklerin oluşumuna, kasların ve beyin fonksiyonlarının gelişimine yardım eder.

Los Angeles Üniversitesi tarafında yapılan araştırmalarda; günlük 2 mg bor alan erkeklerde; 1 mg bor alan erkeklere göre prostat kanseri görülme sıklığı 1/3 oranında azalmakta olduğu tespit edilmiştir. İlaveten, borik asit kozmetikler (pudralar) ve antiseptiklerde (ağız, göz) yaygın olarak kullanılmaktadır.

Organo-borlar kortizon üretiminde kullanılır. Sodyum borhidrür ise antibiyotikler, analjezik, anti-artiritik ilaçların sentezinde önemli bir avantaja sahiptir (DPT, 2006).

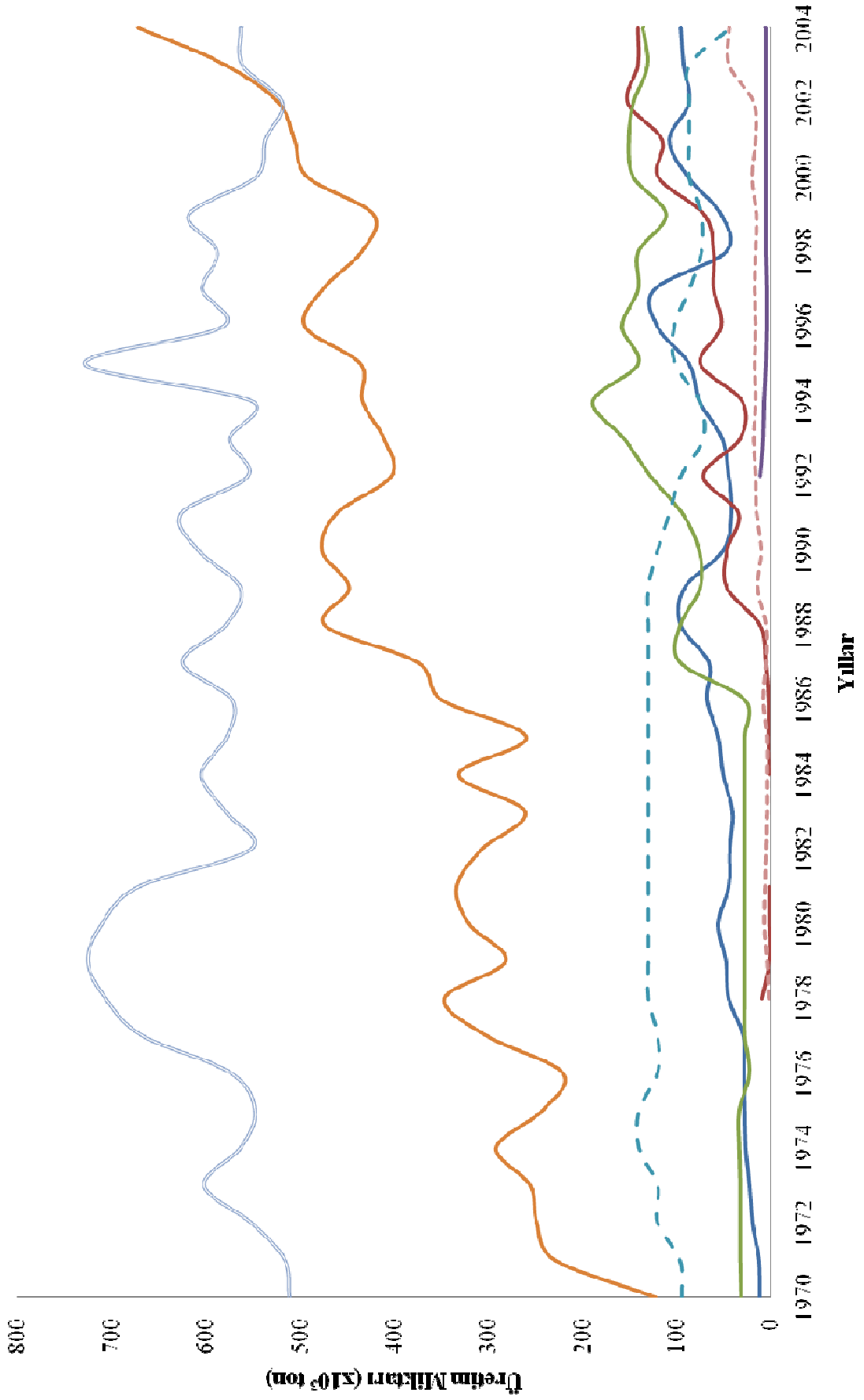
## 4. DÜNYA'DA VE TÜRKİYE'DE BOR ÜRETİMLERİ

### 4.1 Dünyada Bor Üretimi

Dünyada bor üretimi yapan en önemli ülkeler Türkiye, ABD, Arjantin, Rusya, Çin ve Şili'dir. Çizelge 4.1'de ülkeler bazında Dünya B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> üretimi verilmektedir.

Dünya bor madeni üretimi 1970'de 768,000 ton B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> iken 2004 yılında ise 1,696,000 ton B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> olmuştur. Ülkemizdeki bor üretimi ise 1970'de 122,000 ton B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> iken 2004 yılında ise 670,988 ton B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 'e ulaşmıştır. ABD'nin bor üretimi ise 510,000 ile 627,000 ton B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> arasında değişim göstermiştir. Değişimlerin ayrıntılı hali Şekil 4.1 ve Çizelge 4.1'de sunulmuştur.

Dünyadaki bor üretim artışının en önemli etkisi, Türkiye bor üretimlerinin artışından kaynaklanmıştır. 2002 yılında B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> bazında dünya bor üretiminin % 33'ü Türkiye'ye, % 33'ü ABD'ye aitken; 2004 yılında Türkiye'nin Dünya bor üretimindeki payı % 40'a yükselmiştir (DPT, 2006).



Şekil 4.1 Ülkeler bazında Dünya B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> üretimi (x10<sup>3</sup> ton)

Çizelge 4.1 Ülkeler bazında Dünya B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> üretimi (x10<sup>3</sup> ton) (DPT, 2006)

Yıllar	Arjantin	Şili	Çin	Kazakistan	Rusya	Türkiye	ABD	Diğer	Toplam
1970	11	-	31	-	94	122	510	-	768
1971	12	-	32	-	96	229	515	-	884
1972	19	-	32	-	120	248	551	-	970
1973	22	-	32	-	120	255	602	-	1,031
1974	26	-	33	-	140	291	562	-	1,052
1975	27	-	33	-	140	242	547	-	989
1976	28	-	22	-	120	220	572	-	962
1977	29	-	27	-	120	301	667	-	1,144
1978	44	9	27	-	130	346	706	2	1,264
1979	47	1	27	-	130	281	725	4	1,215
1980	55	1	27	-	130	320	710	7	1,250
1981	44	1	27	-	130	333	671	6	1,212
1982	43	-	27	-	130	306	551	5	1,062
1983	40	-	27	-	130	260	578	4	1,039
1984	50	1	27	-	130	331	605	4	1,148
1985	55	2	27	-	130	259	577	4	1,052
1986	67	2	27	-	130	349	571	8	1,154
1987	65	5	95	-	130	374	625	5	1,299
1988	95	11	95	-	130	473	578	5	1,387
1989	91	46	74	-	130	447	562	14	1,364
1990	50	46	75	-	120	476	608	10	1,385
1991	41	34	93	-	107	460	626	15	1,376
1992	44	71	127	11	95	402	554	16	1,320
1993	51	32	155	8	71	410	574	18	1,319
1994	75	30	188	7	75	433	550	16	1,374
1995	86	74	140	5	101	435	728	17	1,586
1996	120	52	157	4	102	494	581	16	1,526
1997	123	60	140	4	86	475	604	17	1,509
1998	47	60	140	5	73	434	587	16	1,438
1999	52	70	110	5	73	421	618	15	1,457
2000	87	119	145	5	86	491	546	20	1,536
2001	107	115	150	5	86	505	536	16	1,520
2002	86	152	145	5	86	522	518	18	1,558
2003	92	141	130	5	86	578	560	44	1,636
2004	95	141	135	5	43	671	562	44	1,696



## 4.2 Türkiye'deki Bor İşletmeleri

### 4.2.1 Bigadiç Bor İşletme Müdürlüğü

Bigadiç ilçesinin 12 km kuzeydoğusundaki Osmanca köyü hudutları içinde kurulmuş olan İşletmede, kolemanit ve üleksit konsantreleri üretilmektedir. 2005 yılı itibariyle, Bigadiç'te üç adet (Tülü, Acep ve Simav) açık ocak mevcuttur. Ocaktan çıkarılan cevherler konsantratör tesisinde zenginleştirildikten sonra bir bölümü konsantre ürün olarak satılmakta diğer bölümü ise öğütülmüş kolemanit ve rafine bor ürünleri üretiminde kullanılmaktadır (DPT, 2006), [18].

### 4.2.2 Emet Bor İşletme Müdürlüğü

Tesisler Emet ilçesinin 4 km kuzeyindeki Espey ve 12 km güneyindeki Hisarcık ilçesinde kurulmuş olup, Kütahya'ya 100 km mesafededir. Emet bölgesinde yapılan kolemanit üretimi iki adet açık işletmeden (Espey ve Hisarcık Açık Ocakları) yapılmaktadır.

Bir bölüm ürün yoğunlaştırılmış olarak satılmakta, diğer bölümü ise işletme bünyesindeki tesiste borik asit üretiminde kullanılmaktadır (DPT, 2006), [18].

### 4.2.3 Kırka Bor İşletme Müdürlüğü

Kırka Boraks işletmesi Eskişehir ilinin 70 km Güneyindeki Kırka Beldesinin 4.5 km batısında kurulmuş olup, Eskişehir iline 74 km mesafededir. Dünyanın en büyük tinkal rezervine sahip maden ocağından açık işletme yöntemi ile üretilen tinkal cevheri, konsantre tinkal haline dönüştürüldükten sonra tamamına yakını işletme bünyesindeki bor türevleri tesislerine beslenerek boraks pentahidrat üretilmektedir. Ayrıca Tek Kademede Penta üretim tesisine de tüvenan tinkal beslenerek elde edilen çözelti ile boraks pentahidrat üretilmektedir. Bir kısım tinkal (Tüvenan/Konsantre) ise Bandırma'da boraks dekahidrat ve boraks pentahidrat üretiminde kullanılmaktadır (DPT, 2006), [19].

### 4.2.4 Kestelek Bor İşletme Müdürlüğü

Tesisler Mustafakemalpaşa ilçesinin Güneydoğusunda 23 km mesafedeki Kestelek'te kurulmuş olup, Bandırma'ya 83 km mesafededir.

Kestelek'te yalnızca kolemanit, bir adet açık ocaktan üretilmektedir. Ocaktan üretilen kolemanit cevheri konsantratör tesisinde zenginleştirme işlemine tabii tutularak kolemanit konsantresi elde edilmekte ve yoğunlaştırılmış ürün olarak satılmaktadır (DPT, 2006), [19].

### 4.2.5 Bandırma Bor ve Asit Fabrikaları İşletme Müdürlüğü

Bandırma'daki tesisler, Bandırma Balıkesir yolu üzerinde ilçe merkezine 4 km mesafede

677,350 m<sup>2</sup>'lik bir alanda bulunmaktadır. Tesislerde boraks dekahidrat, boraks pentahidrat, borik asit, sodyum perborat monohidrat ve sodyum perborat tetrahidrat ürünleri üretimi yapılmaktadır. Ayrıca, 2005/Kasım ayında devreye alınmış olan tesiste bor oksit üretimine başlanmıştır (DPT, 2006), [19].

#### 4.3 Türkiye Bor Rezervi

Türkiye'deki bilinen borat yatakları özellikle Kırka/Eskişehir, Bigadiç/Balıkesir, Kestelek/Bursa ve Emet/ Kütahya'da bulunmaktadır. Söz konusu sahalarda; 2001 yılında, brüt bazda 2,071,853,997 ton ve B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> bazında 562,577,259 ton olan Türkiye bor rezervi, Eti Maden İşletmeleri tarafından yürütülen Bor Master Arama Projesi kapsamında yapılan rezerv çalışmaları neticesinde B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> bazında % 51.26 oranında artarak 850,938,893 ton ve brüt bazda % 47.90 oranında artarak 3,063,635,210 tona ulaşmıştır. Türkiye'nin dünya toplam bor rezervi içindeki payı B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> bazında 2001 yılı itibariyle % 64 iken 2004 yılında % 72.2'ye yükselmiştir.

Türkiye'de rezerv açısından en çok bulunan bor cevherleri tinkal ve kolemanittir. Türkiye'de önemli tinkal yatakları Kırka'da, kolemanit yatakları ise Emet ve Bigadiç civarında bulunmaktadır. Bunlara ilave olarak, Bigadiç'te az miktarda üleksit rezervleri mevcut olup Kestelek gibi işletmelerde de zaman zaman üleksit yan ürün olarak elde edilmektedir. Çizelge 4.2 ve 4.3'de Türkiye Bor Rezervi verilmektedir (DPT, 2006), [19].

Çizelge 4.2 Mineral bazında Türkiye bor rezervleri (DPT, 2006)

Mineral Tipi	Toplam Rezerv (Ton)	Mineral Tipinin Toplam Rezerv İçindeki Payı %
Kolemanit	2,264,621,057	73.92
Boraks (Tinkal)	750,620,373	24.50
Üleksit	48,393,780	1.58
Toplam Rezerv	3,063,635,210	100.00

Çizelge 4.3 Mineral bazında Türkiye bor rezervleri ( $B_2O_3$  bazında) (DPT, 2006)

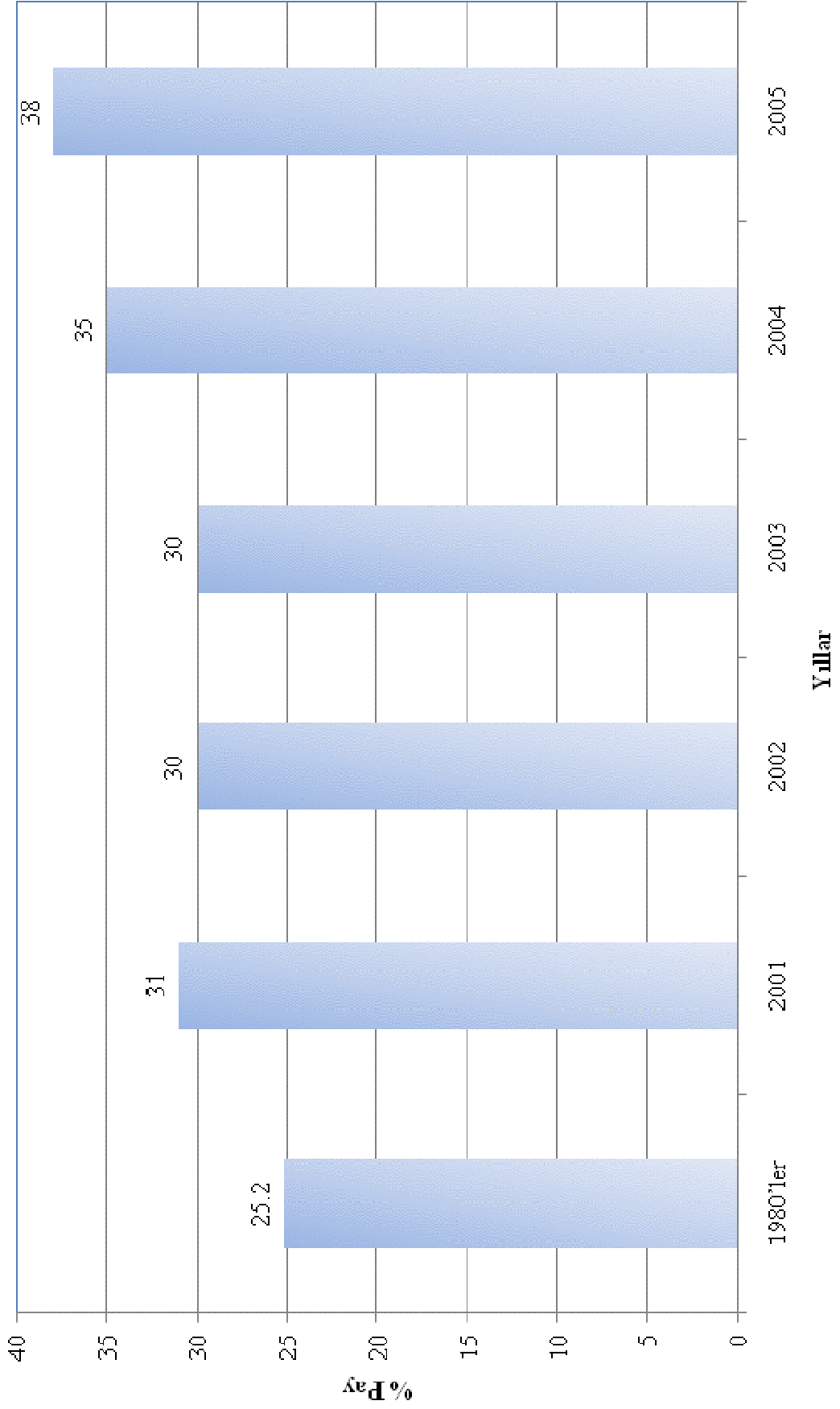
<b>Mineral Tipi</b>	<b>Toplam Rezerv (Ton)</b>	<b>Mineral Tipinin Toplam Rezerv İçindeki Payı %</b>
Kolemanit	643,245,236	75.59
Boraks (Tinkal)	193,660,056	22.76
Üleksit	14,033,601	1.65
Toplam Rezerv	850,938,893	100.00

#### **4.4 Türkiye'nin Dünya Bor Pazarındaki Payı**

Dünya bor pazarındaki dağılım itibariyle değerlendirme yapıldığında 1980'li yılların ortalarında % 25.2 olan ülkemizin miktar bazındaki pazar payı Şeki 4.4'de de sunulduğu üzere % 38'e ulaşmıştır.

Dünya bor pazarında ülkemizin ve ABD'nin iki büyük ve etkin güç olarak işgal ettikleri yerler, yıllar itibariyle pazara giren ve kapasitelerini artıran Rusya, Çin, Şili gibi ülkelere de paylaşılmaya başlanmıştır.

Pazardaki iki büyük üreticiden biri olan US Borax firması konsantre bor ihracatı yapmamaktadır. Rafine bor üretim kapasitesinde çok önemli bir paya sahiptir. Eti Maden'in tahminlerine göre; yaklaşık 900 milyon ABD \$'lık dünya bor pazarında; 2005 yılında ülkemizin miktar bazındaki satış payı % 38, gelir bazındaki satış payı ise % 36 olarak gerçekleşmiştir (DPT, 2006), [19].



Şekil 4.2 Yıllar itibariyle Dünya bor pazarındaki payımız (Miktar bazında) (DPT, 2006)

## 5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

### 5.1 Deneyselerde Kullanılan Kimyasallar ve Cihazlar

#### 5.1.1 Kimyasallar

- Hidroklorik Asit (HCl) çözeltisi % 37
- Borik Asit ( $H_3BO_3$ ), saf
- Sodyum Hidroksit (NaOH)
- Amonyak Tampon Çözeltisi (pH=10)
- Eriochrom Black T Çözeltisi
- EDTA
- Wax® ( $C_3H_8O_7N_7$ )
- İnyoit ( $Ca_2B_6O_{11} \cdot 13H_2O$ )
- İnderit ( $2MgO \cdot 3B_2O_3 \cdot 15H_2O$ )
- Boraks ( $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$ )
- Kurnakovit ( $Mg_2B_6O_{11} \cdot 15H_2O$ )
- Breşli Kolemanit ( $Ca_2B_6O_{11} \cdot 5H_2O$ )
- Arsenikli Kolemanit ( $Ca_2B_6O_{11} \cdot 5H_2O$ )

#### 5.1.2 Cihazlar

- Philips marka PANanalytical model X-Işınları Difraktometresi (XRD)
- Metrohm marka 794 Basic Titran
- PANanalytical marka, Minipal4 model X-Işınları Floresans Spektrometresi (XRF)
- Eppendorf Gerätebau marka Alev Fotometresi
- Perkin Elmer marka Diamond TG-DTA Termogravimetri / Diferansiyel Termal Analizör
- Yaklaşık  $10^4$  n/cm<sup>2</sup>s'lik nötron akısına sahip Howitzer Cihazı

### 5.2 Deneyselerde Kullanılan Bileşiklerin Hazırlanması

Türkiye'deki madenlerden çıkartılan hidrate bor minerallerinin beton bileşiklerine katılabilmesi ve doğrudan nötron saçınımlarına zırr malzemesi olabilmesi için yapılan bu çalışmada, kullanılan bor minerallerinden: İnyoit, İnderit, Boraks (Tinkal) ve Kurnakovit Kırka yöresindeki Kırka Bor İşletme Müdürlüğü'nden, Kolemanit ve Arsenikli Kolemanit Emet yöresindeki Emet Bor İşletme Müdürlüğü'nden ve son olarak da Breşli Kolemanit Bigadiç yöresindeki Bigadiç Bor İşletme Müdürlüğü'nden temin edilmiştir. Toplanan bor

minerallerinin cevhere yakın bölgelerden seçilmesine özen gösterilmiş ve herhangi bir kimyasal işleme tabi tutulmadan doğrudan kullanılmıştır. Analizlerde kullanılan bor minerallerinin teorik fiziksel özellikleri Çizelge 5.1’de özetlenmiştir.

Çizelge 5.1 Analizlerde kullanılan bor minerallerinin teorik fiziksel özellikleri (Pişkin, 1983)

Mineral Adı	$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	Sertliği (mohs)	Teorik Su İçeriği %	Kristal Sistemi	Getirildiği Yer
İnyonit	1.875	2.0	48.30	Monoklinik	Kırka
İnderit	1.800	3.0	48.30	Triklinik	Kırka
Boraks	1.700	2.0 – 2.5	47.11	Monoklinik	Kırka
Kurnakovit	1.847 – 1.852	2.5 – 3.0	47.20	Monoklinik	Kırka
Kolemanit	2.420	4.0 – 4.5	21.77	Monoklinik	Kırka, Emet, Bigadiç

Getirilen mineraller öğütülerek toz haline getirildikten sonra ufak kilitli poşetler içinde muhafaza edilmiştir (Şekil 5.1). Sonrasında Philips marka PANanalytical model X-Işınları Difraktometresi (XRD) cihazında (Şekil 5.2) kimlik tespiti yapılmıştır. XRD sonuçları bu çalışmanın sonuçlar bölümünde Şekil 6.1 – 6.11’de sunulmuştur.



Şekil 5.1 Analizlerde kullanılan toz haline getirilmiş bor mineralleri



Şekil 5.2 Philips - PANalytical X-Işınları Difraktometresi (XRD)

### 5.3 Minerallerine Göre $B_2O_3$ Miktarlarının Belirlenmesi

Bor elementinin termal nötronlar ile etkileşme prensibine bağlı olarak nötron zırlama yapılıır. Bu sebepten kullanılan bor minerallerinin  $B_2O_3$  miktarlarının bilinmesi gerekir.

$B_2O_3$  analizleri için, 1 g bor minerali 3 ml % 37 lik HCl içinde çözündürülerek hacmi 100 ml olacak biçimde Human Power I<sup>+</sup> Water Purification System (Şekil 5.3) cihazından elde edilen ultra-saf su (18.3 mΩ.cm) ile tamamlanarak bor mineral çözeltileri oluşturulmuştur. Aynı şartlar altında referans malzeme olarak saf Borik Asit ( $H_3BO_3$ ) kullanılmıştır.

Sonrasında Metrohm marka 794 Basic Titration model titrasyon cihazı (Şekil 5.4) ile 0.1 M NaOH ile asit-baz titrasyonu yapılarak  $B_2O_3$  miktarları belirlenmiştir. Bulunan değerler bu çalışmanın sonuçlar ve tartışma bölümünde Çizelge 6.1’de sunulmuş ve literatür değerleri ile Şekil 6.12’de karşılaştırılmıştır.

Ayrıca çalışmanın son aşamasında çeşitli bölgelerden getirilen diğer bor minerallerinin de  $B_2O_3$  oranları analiz edilmiş ve Çizelge 6.31, 6.33 ve 6.35’de sunulmuştur.



Şekil 5.3 Human Power I<sup>+</sup> Water Purification System, Saf / Ultra Saf Su üretim cihazı



Şekil 5.4 Metrohm 794 Basic Titration titrasyon cihazı



#### 5.4 Boraks'ın Na (Sodyum) Miktarının Belirlenmesi

Termal nötron demeti altında aktiflenen sodyum, 15 saat gibi oldukça kısa yarı ömre sahip olduğundan dolayı yüksek enerji seviyelerinde (1-2.7 MeV) bor mineralindeki sodyumlar hemen doyum aktivesine ulaşabilir ve çevreye sekonder gama ışınları yaymaya başlar. Bu sebep ile malzemenin içeriğindeki sodyum miktarının bilinmesi gerekmektedir.

Sodyum analizini yapabilmek için daha evvelden hazırlanan Boraks'a ait olan bor mineral çözeltisinden 5 ml alınarak, 5 ml doymuş borik asit ve 10 ml KCl ve  $MgSO_4 \cdot 7 H_2O$  içeren radyasyon tampon çözeltisi ile karıştırılmış ve bu karışımın hacmi Human Power I<sup>+</sup> Water Purification System (Şekil 5.3) cihazından elde edilen ultra-saf su ile 100 ml'ye tamamlanmıştır. Referans malzeme olarak NaCl tuzu ile hazırlanan 0.1 g Na/L lik kalibrasyon serisi oluşturulmuştur.

Sonrasında Eppendorf Gerätebau marka Alev fotometresinde Çizelge 5.2'de sunulan parametre değerleri ile analizler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar, çalışmanın sonuçlar kısmında Çizelge 6.2 de sunulmuştur.

Çizelge 5.2 Alev fotometresi için kullanılan parametreler

Skala	300
Gaz Basıncı	$1.96 \times 10^3$ Pa
Hava Basıncı	$534.36 \times 10^3$ Pa
Amplifikasyon	4

#### 5.5 Titrimetrik Metot ile Kalsiyum Analizi

Kalsiyum analizleri için breşli kolemanit, arsenikli kolemanit, kolemanit ve inyonit minerallerinden alınan 1 g numune, 3 ml saf HCl asit (% 37) ile çözülmüş ve ardından hacimleri 100 ml'ye tamamlanmıştır. Hazırlanan bor mineral çözeltilerinden 20 ml alınarak 250 ml'lik erlene konmuş ve ortam pH'sı 10 a gelecek şekilde 2 ml amonyak tampon çözeltisi eklenmiştir. İndikatör olarak Eriochrom Black T çözeltisi kullanılmıştır. Titrasyon EDTA ile yapılmış ve dönüm noktasındaki kalsiyum miktarı (mg/ml) analiz edilmiştir.

Aynı prosedür ile, çalışmanın son kısmı olan bor minerallerinin nötron soğurmalarının kıyaslanması için kalsiyum miktarları analiz edilmiş ve çalışmanın sonuçlar kısmında Çizelge 6.3'de sunulmuştur.

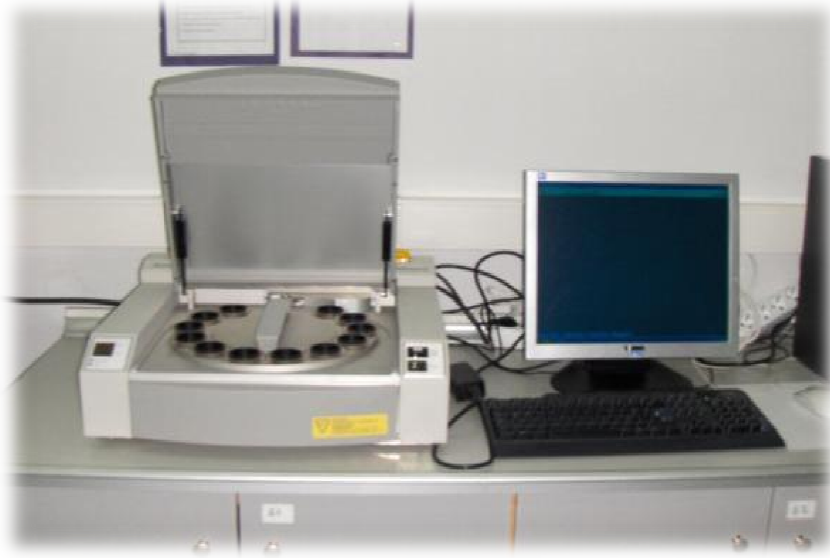
### 5.6 X-Işını Floresans Spektroskopisi ile (XRF) Element Tayini

X-ışını floresans spektrometresi, element analizi için çok yönlü ve kolaylıkla kullanılan bir yöntemdir. Bor minerallerinde nötron akısı altında oluşacak radyoaktivitenin, nereden kaynaklandığını gözlemleyebilmek amacı ile mineralin bileşiminde bulunan diğer elementlerin belirlenebilmesi için, 140 mm'nin altındaki tane boyutundan alınan 150 mg toz örnek, yapıştırıcı madde olarak kullanılan 50 mg wax® ( $C_3H_8O_7N_7$ ) ile 5 dakika Agat havanda karıştırıldıktan sonra, 37 mm kalıp setinde 40 MPa hidrolik pres ile peletleme prosesi gerçekleştirilmiştir (Şekil 5.5).

Ölçümler için PANanalytical marka, Minipal4 model cihazda (Şekil 5.6) silikon drift detektör kullanılmıştır. Silikon detektörünün ayırma gücü 4 kV-30kV arasındadır. Bu cihazda atom numarası Na ve U arasında kalan elementlerin karakteristik X-ışınlarından yararlanarak analiz yapılmaktadır. Analiz sonuçları sonuçlar kısmında % 95 güvenilirlik sınırında, Çizelge 6.3'de verilmiştir.



Şekil 5.5 Peletleme cihaz ve aparatları



Şekil 5.6 PANalytical, Minipal4 X-Işınları Floresans cihazı

### 5.7 Termal Analiz ve Termal Gravimetri Analizi

Yapılan Diferansiyel Termal Analiz ve Termal Gravimetri (DTA-TG) analizleri ile bor minerallerinin bünyesinde bulunan sıcaklık değişimi ile enerji ve ağırlık farkının incelenmesi hedeflenmiştir. Perkin Elmer marka Diamond TG-DTA Thermogravimetric / Differential Thermal Analyser Model (Şekil 5.7) cihaz kullanılmıştır. Analiz inert azot gazı ortamında yapılmış ve sıcaklık değişimi dakikada  $10^{\circ}\text{C}$  olarak sabitlenmiştir. Elde edilen sonuçlar çalışmanın sonuçlar kısmında Şekil 6.15 – 6.29’da sunulmuştur.



Şekil 5.7 Perkin Elmer Diamond TG-DTA Termogravimetric / Differential Thermal Analyser cihazı

## 5.8 Howitzer Nötron Geçirgenlik Deneyleri

Howitzer'deki (Şekil 5.8) Nötron geçirgenlik deneyleri yaklaşık  $10^4$  n/cm<sup>2</sup>s lik termal akı ile yapılmıştır. Bu deneylerde kaynak dedektör mesafesi 5 cm olarak sabit tutulmuş ve peletler ile dedektör arasında mesafe bırakılmamıştır.

### 5.8.1 Howitzer ile ölçülen oniki yıllık performans sonuçları

Bu ölçümlerin amacı daha önceki bir çalışmada kullanılan bor minerallerinden; inyoit, inderit, boraks (tinkal), kurnakovit, kolemanit, breşli kolemanit, arsenikli kolemanit kullanarak oniki yıllık nötron soğurma performanslarını incelemektir. 1996 yılında tamamlanan bu çalışmaya ait olan aynı peletleri kullanarak analizler gerçekleştirilmiştir.

### 5.8.2 Bor minerallerinin nötron soğurmalarının kıyaslanması

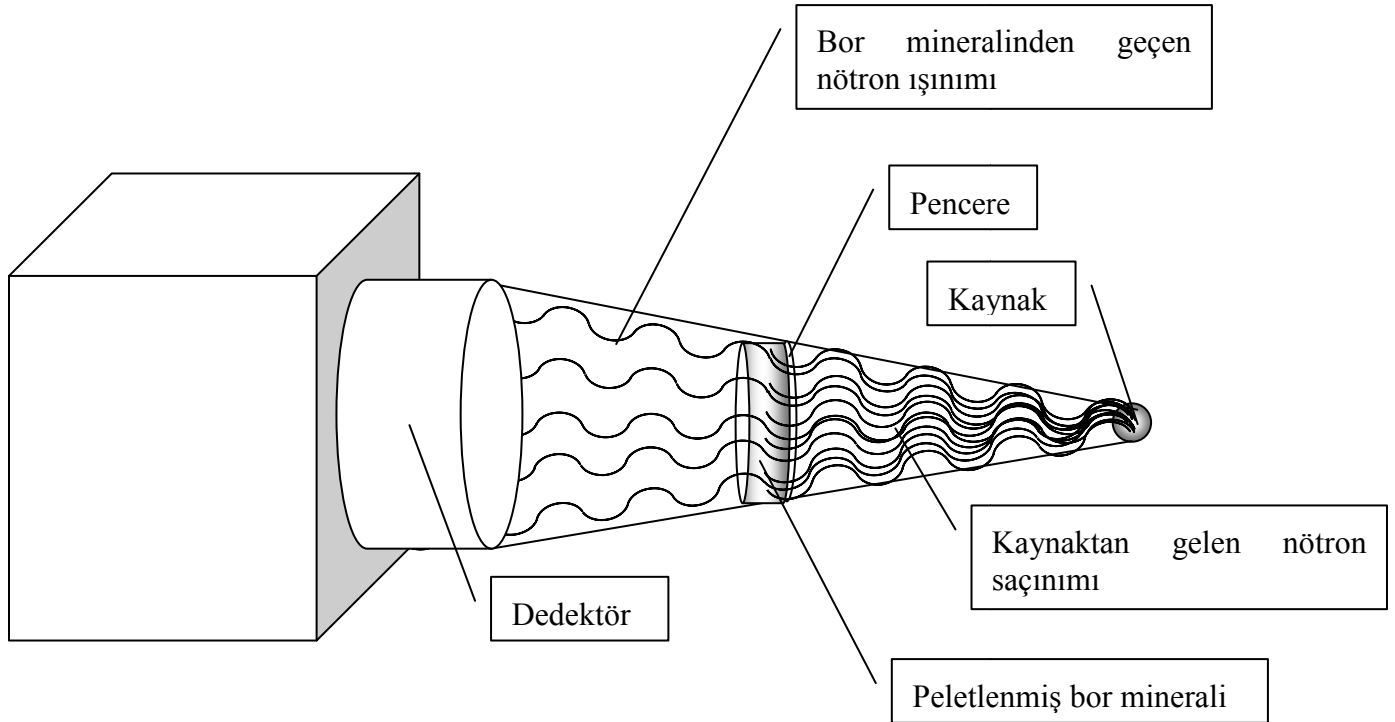
Türkiye'nin dört farklı bölgesinden (Kırka, Bigadiç, Kestelek, Emet) getirilen dokuz farklı bor minerali (İnyonit, kolemanit, arsenikli kolemanit, breşli kolemanit, pandemit, üleksit, sekonder üleksit, boraks, tinkalkonit) kategorilerine göre kendi içlerinde gruplanmıştır (Kalsiyum boratlar, sodyum-kalsiyum boratlar, sodyum boratlar). Mevcut numune miktarına bağlı olarak elek analizleri yapılmış ve analiz için ağırlıkça yeterli olan numuneler seçilerek analizler gerçekleştirilmiştir. Elek analizi yapılırken, elek aralıkları +560, + 500, + 200, + 140 ve -140 mikron olarak seçilmiştir.

Kalınlığa bağlı olarak nötron soğurma model denklemlerini çıkarabilmek için, numuneler üç farklı kalınlıkta hazırlanmıştır. 10, 15 ve 25 g bor minerali alınarak sırası ile 1, 1.5 ve 2.5 g wax® ile 5 dakika Agat havanda karıştırıldıktan sonra, 37 mm kalıp setinde 40 MPa hidrolik pres ile pelet haline getirilmiştir. Pelet haline getirilen bor minerallerinin kalınlıkları aşağı yukarı 0.5, 0.7 ve 1.2 civarında elde edilmiştir.

Hazırlanan peletler, Howitzer ışınma cihazında altmış saniye süre ile nötron ışımaya maruz bırakılmış ve her bir numune için ölçümler en az beş, en çok on kez tekrarlanmıştır. Ardından nötron soğurma değerlerinin ortalaması alınmış ve sonuçlarda bu ortalama değerler verilmiştir.



Şekil 5.8 Howitzer Nötron geçirgenlik düzeneği

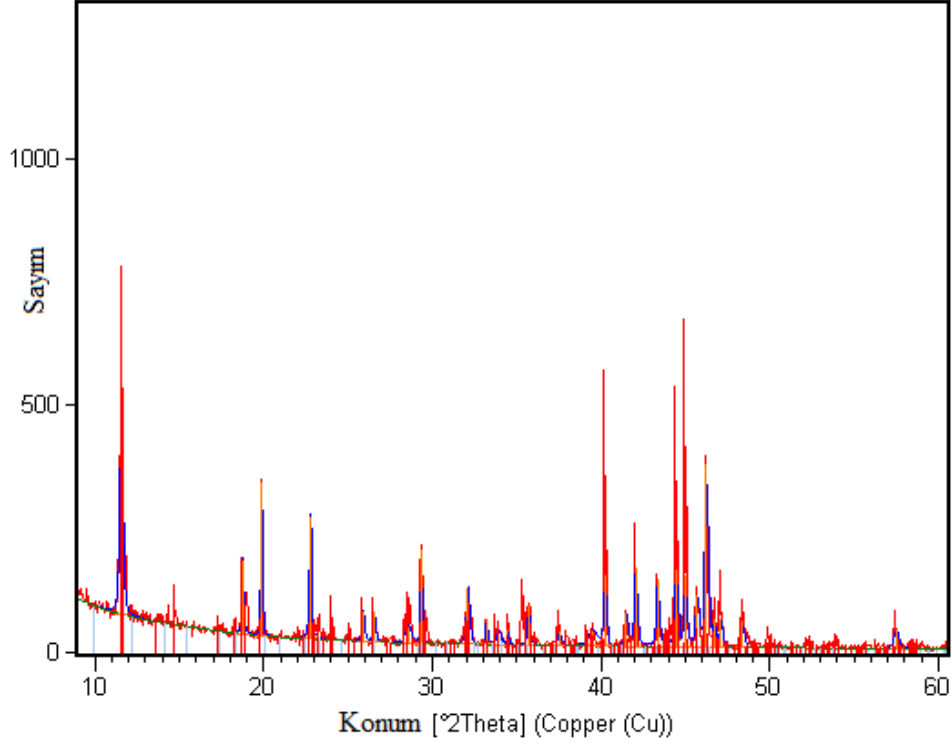


Şekil 5.9 Howitzer kaynağından çıkan nötron radyasyonunun şematik gösterimi

## 6. DENEYSEL SONUÇLAR

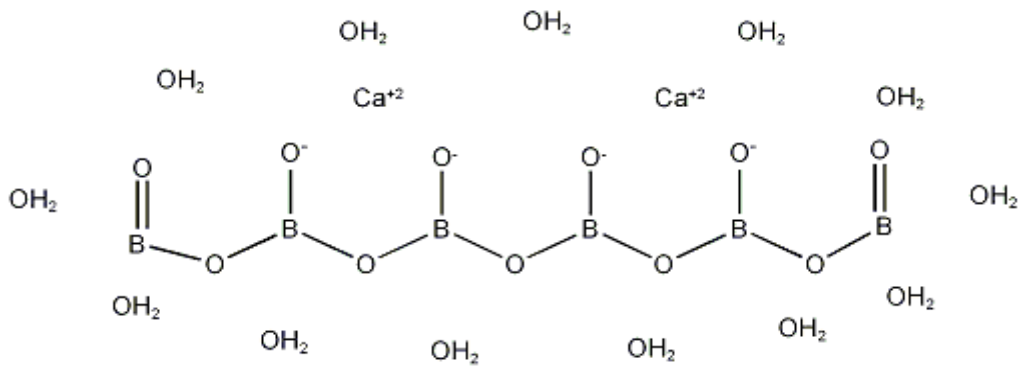
### 6.1 Bor Minerallerinin Kimlik Tanımlama Çalışması (XRD)

#### 6.1.1 İnyoit



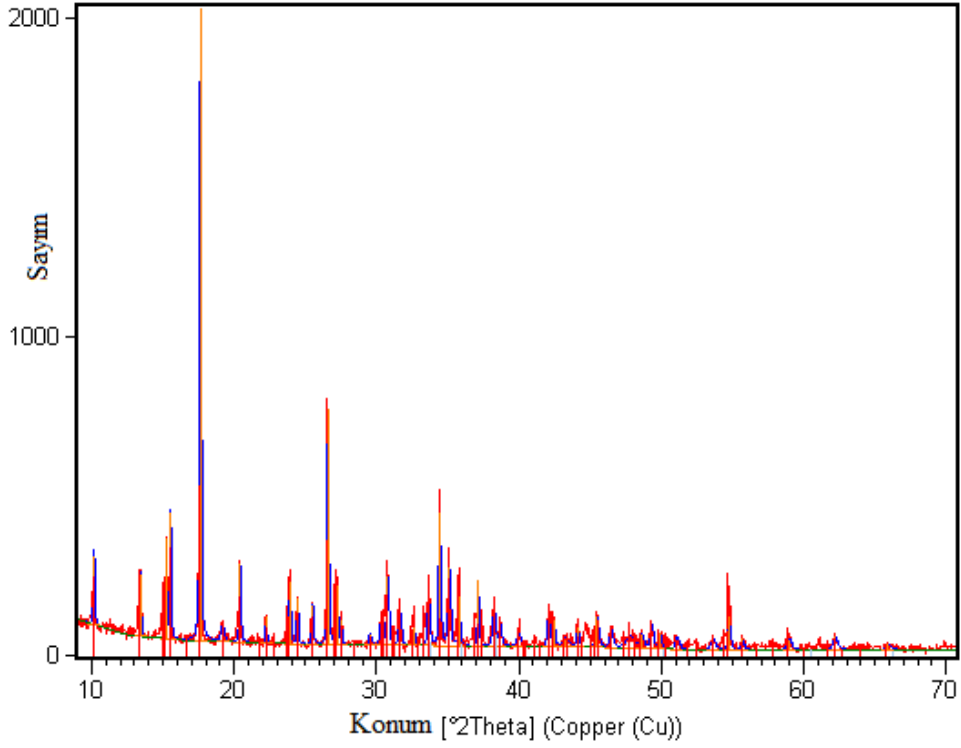
Şekil 6.1 Kırka – İnyoit'in XRD spektrumu

Kırka yöresinden gelen İnyoit'in ( $\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 13\text{H}_2\text{O}$ ) yapılan kimlik tanımlama analizinde pdf kart numarası, isim ve formülü sırası ile: 01-073-0413, inyoite – syn,  $[\text{CaBO}_3(\text{OH})_5]_4(\text{H}_2\text{O})$  olarak bulunmuştur. Bulunan mineral yapısı Şekil 6.2'de gözüktüğü gibi önceki yapılan çalışmalar ile uyushmaktadır.



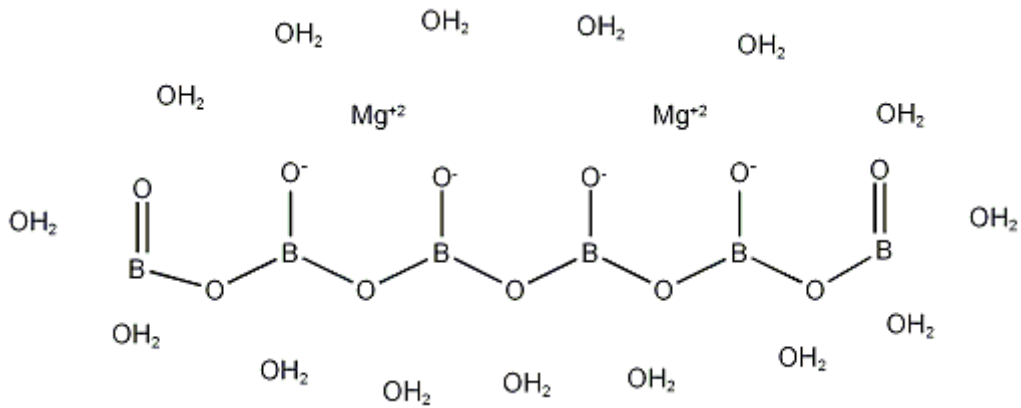
Şekil 6.2 İnyoit'in kimyasal yapısı (Pişkin, 1983)

### 6.1.2 İnderit



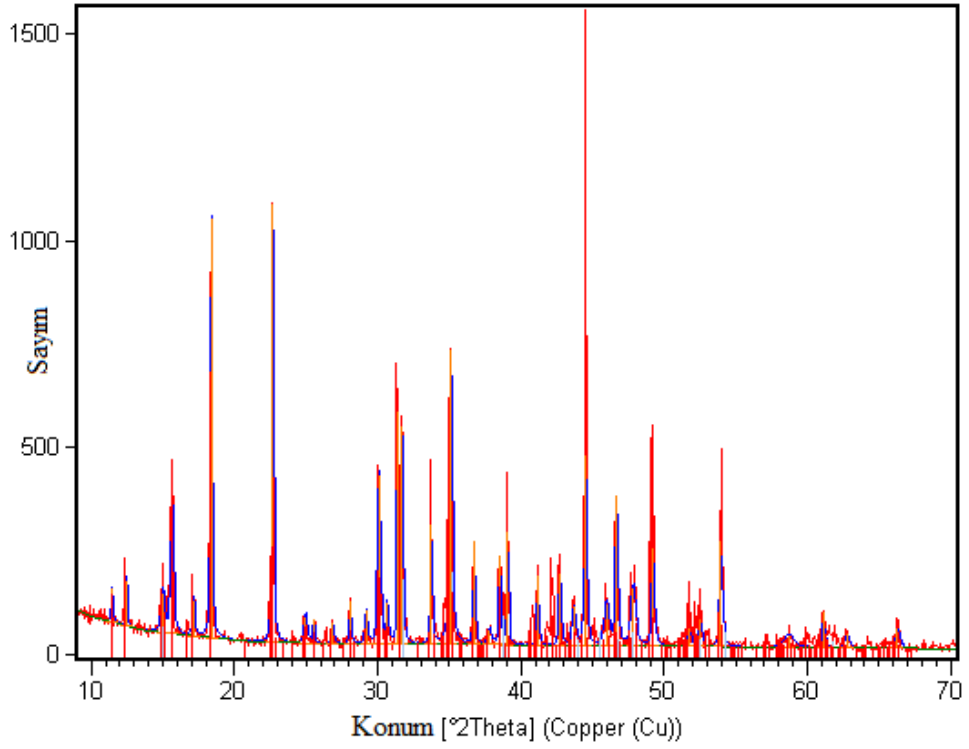
Şekil 6.3 Kırka – İnderit'in XRD spektrumu

Kırka yöresinden gelen İnderit'in ( $2\text{MgO} \cdot 3\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 15\text{H}_2\text{O}$ ) yapılan kimlik tanımlama analizinde pdf kart numarası, isim ve formülü sırası ile: 00-036-0423, inderite,  $[\text{MgB}_3\text{O}_3(\text{OH})_5 \cdot 5(\text{H}_2\text{O})]$  olarak bulunmuştur. Bulunan mineral yapısı Şekil 6.4'de gözüktüğü gibi önceki yapılan çalışmalar ile uyumaktadır.



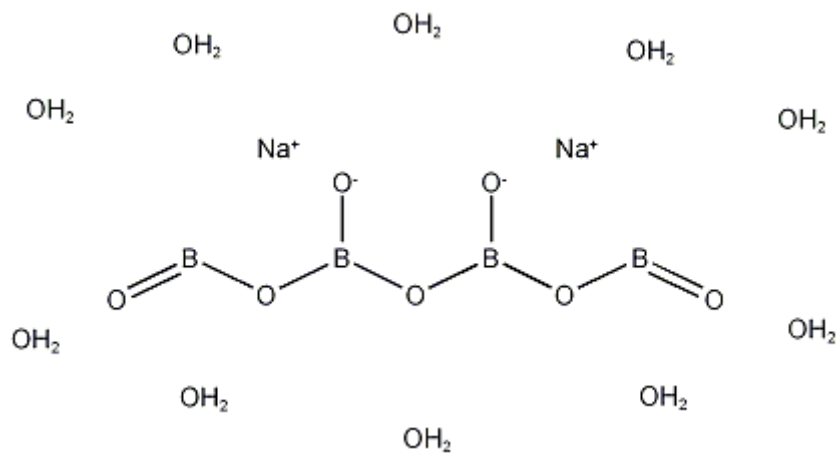
Şekil 6.4 İnderit'in kimyasal yapısı (Pişkin, 1983)

### 6.1.3 Boraks



Şekil 6.5 Kırka – Boraks'ın XRD spektrumu

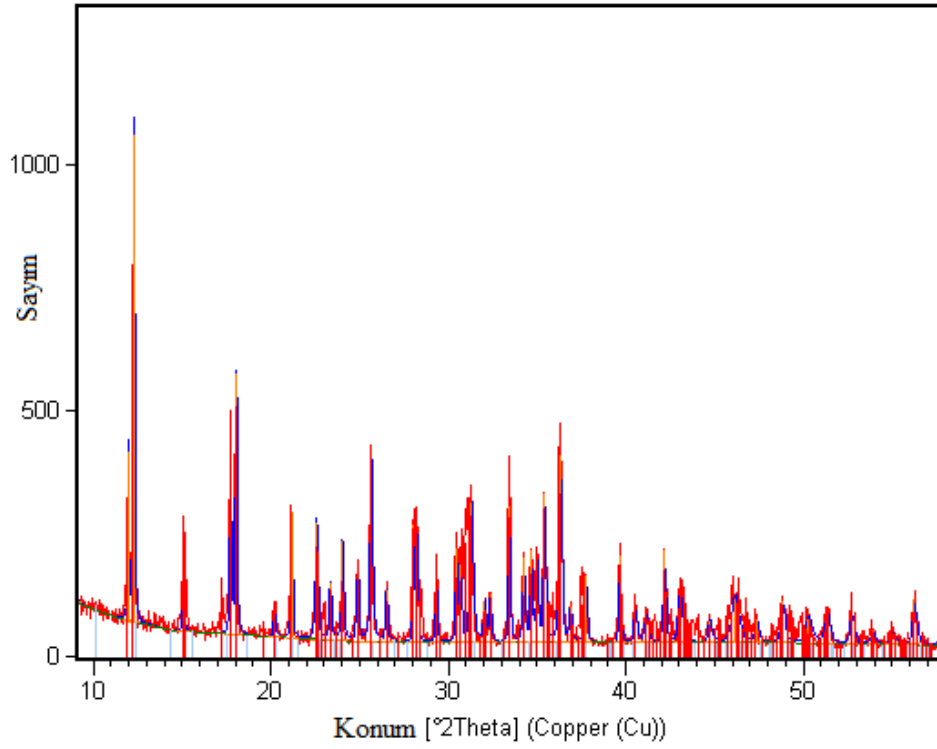
Kırka yöresinden gelen Boraks'ın ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ) yapılan kimlik tanımlama analizinde pdf kart numarası, isim ve formülü sırası ile: 01-074-0339, borax – syn,  $[\text{B}_4\text{O}_5(\text{OH})_4\text{Na}_2 \cdot 8(\text{H}_2\text{O})]$  olarak bulunmuştur. Bulunan mineral yapısı Şekil 6.6'da gözüktüğü gibi önceki yapılan çalışmalar ile uyumaktadır.



Şekil 6.6 Boraks'ın kimyasal yapısı (Pişkin, 1983)

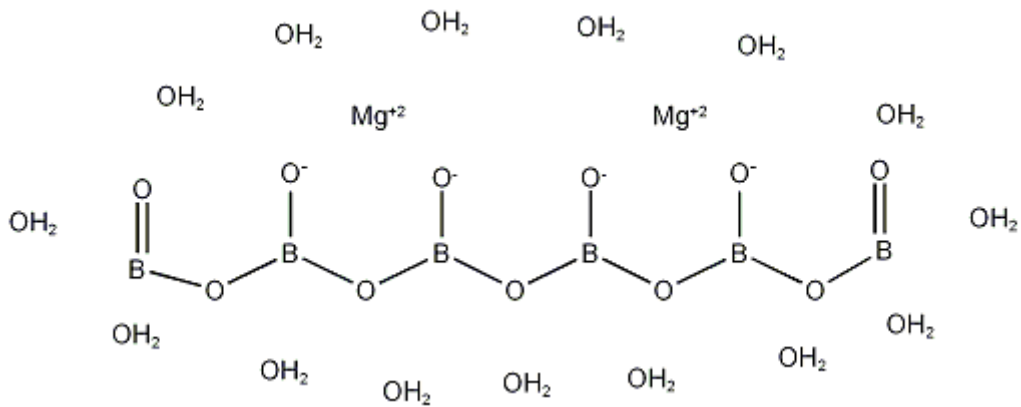


### 6.1.4 Kurnakovit



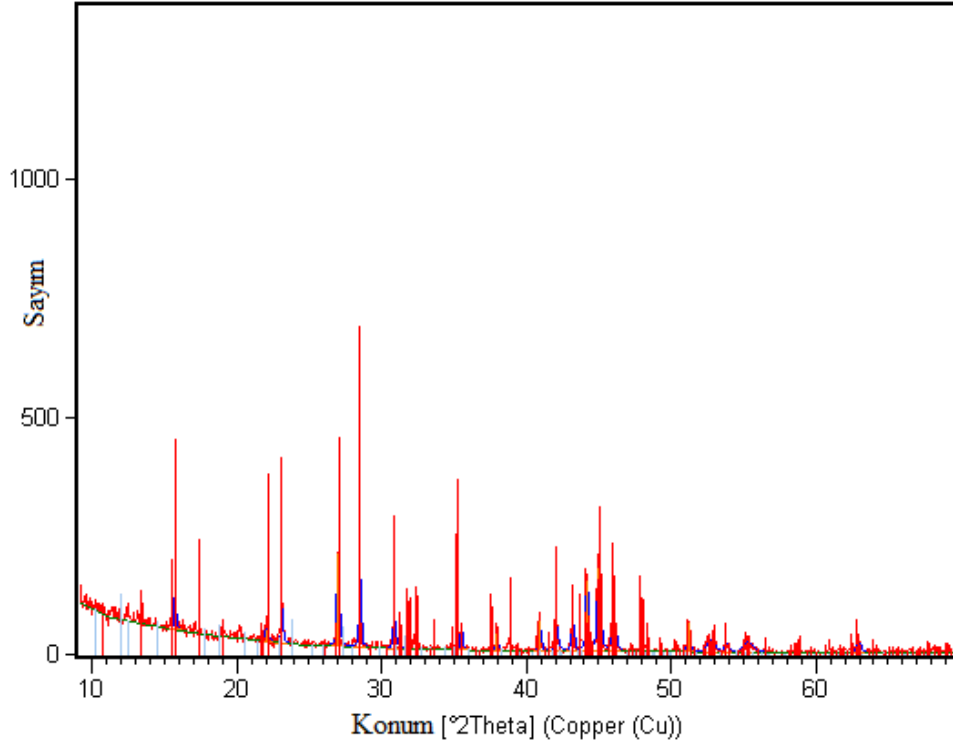
Şekil 6.7 Kırka – Kurnakovit'in XRD spektrumu

Kırka yöresinden gelen Kurnakovit'in ( $Mg_2B_6O_{11} \cdot 15H_2O$ ) yapılan kimlik tanımlama analizinde pdf kart numarası, isim ve formülü sırası ile: 01-070-1054, kurnakovite,  $[MgB_3O_3(OH)_5(H_2O)_4H_2O]$  olarak bulunmuştur. Bulunan mineral yapısı Şekil 6.8'de gözüktüğü gibi önceki yapılan çalışmalar ile uyşmaktadır.



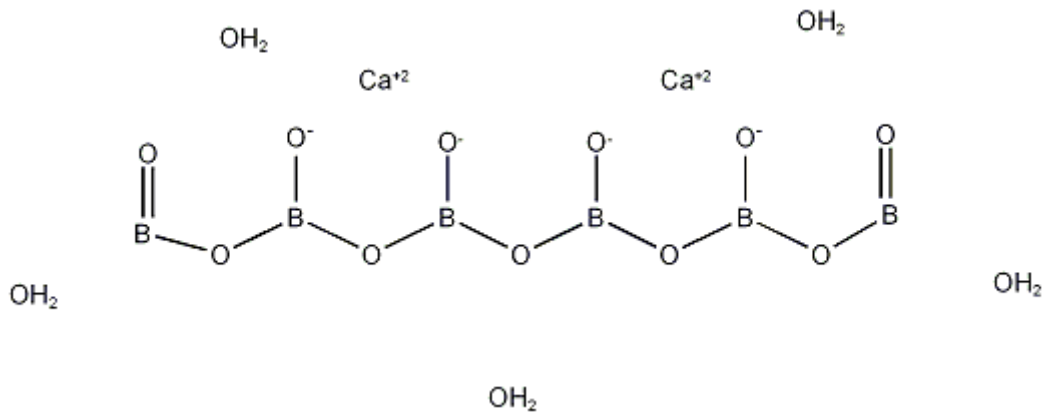
Şekil 6.8 Kurnakovit'in kimyasal yapısı (Pişkin, 1983)

### 6.1.5 Kolemanit



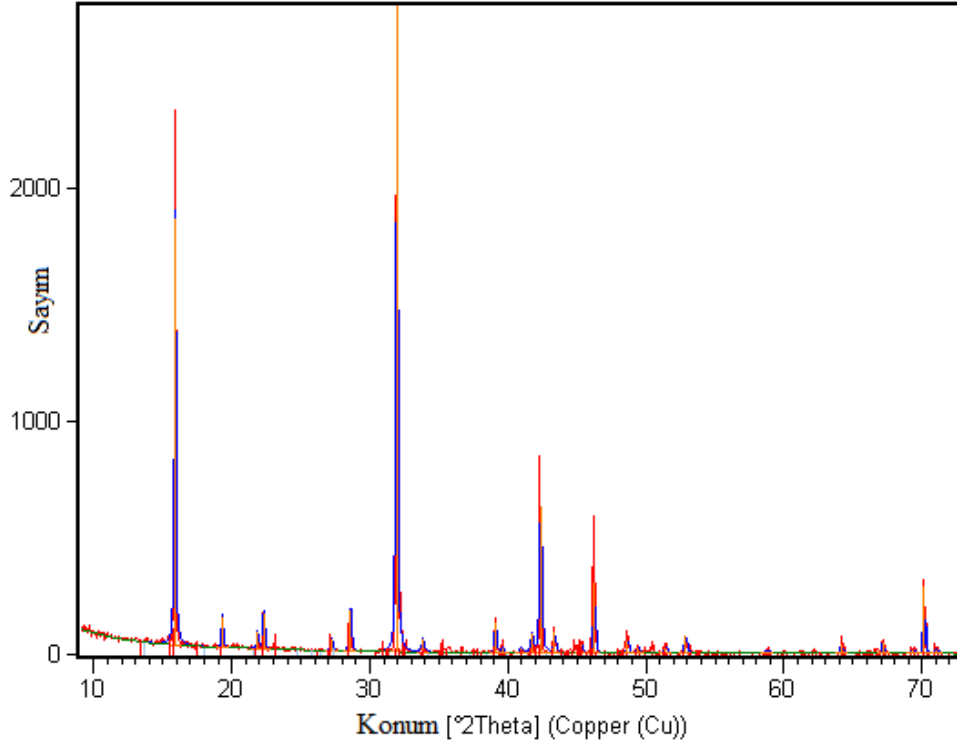
Şekil 6.9 Emet – Kolemanit'in XRD spektrumu

Emet yöresinden gelen Kolemanit'in ( $\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) yapılan kimlik tanımlama analizinde pdf kart numarası, isim ve formülü sırası ile: 01-074-2338, colemanite,  $[\text{CaB}_3\text{O}_4(\text{OH})_3\text{H}_2\text{O}]$  olarak bulunmuştur. Bulunan mineral yapısı Şekil 6.10'da gözüktüğü gibi önceki yapılan çalışmalar ile uyumaktadır..



Şekil 6.10 Kolemanit'in kimyasal yapısı (Pişkin, 1983)

### 6.1.6 Arsenikli Kolemanit



Şekil 6.11 Emet – Arsenikli Kolemanit'in XRD spektrumu

Emet yöresinden gelen Arsenikli Kolemanit'in ( $\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) yapılan kimlik tanımlama analizinde pdf kart numarası, isim ve formülü sırası ile: 01-082-1825, colemanite,  $[\text{CaB}_3\text{O}_4(\text{OH})_3\text{H}_2\text{O}]$  olarak bulunmuştur. Bulunan mineral yapısı önceki yapılan çalışmalar ile uyuşmaktadır. Yapıda bulunan arsenik miktarı % 5'in altında olduğu için saptanamamıştır.

### 6.1.7 Breşli Kolemanit

Bigadiç bölgesinden gelen Breşli kolemanit için de spektrum çekilmiş fakat kolemanit içeriği % 5'in altında olduğu için saptanamamıştır. Bu numunedeki kil oranı kolemanit piklerini gölgelemektedir.

## 6.2 Minerallerine Göre $\text{B}_2\text{O}_3$ Sonuçları

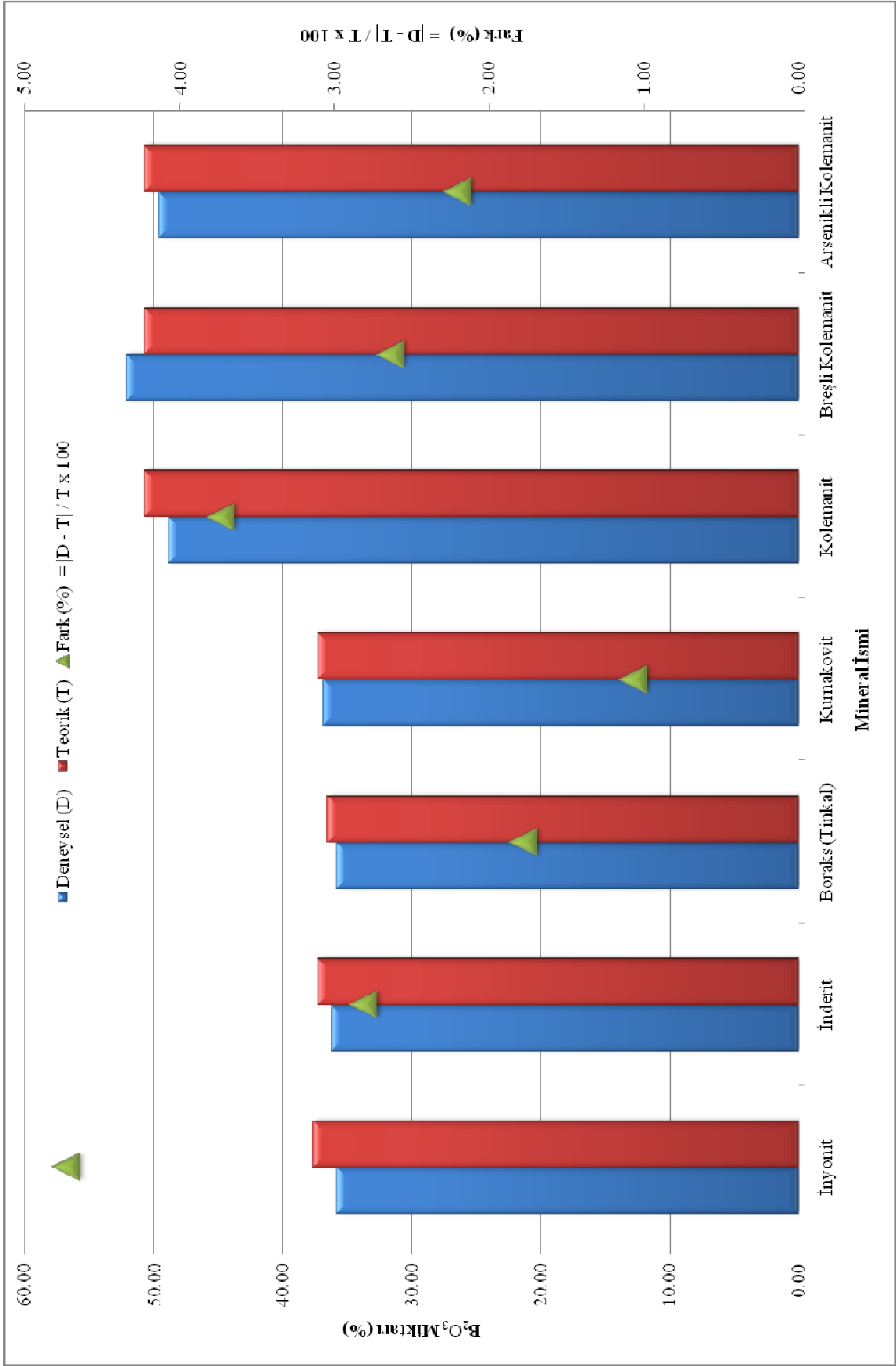
Çizelge 6.2 ve Şekil 6.2 de sunulduğu üzere deneylerde kullanılan minerallerin boroksit içeriklerine göre bir sıralama yaparsak: en yüksek  $\text{B}_2\text{O}_3$  içeriğine literatürde de aynı olmak üzere, kolemanit'in sahip olduğu görülmektedir (Çizelge 6.1). Sonrasında ise kurnakovit, inderit, boraks ve inyoit gelmektedir. Literatürde verilen  $\text{B}_2\text{O}_3$  değerlerine baktığımızda sıralamada inyoit, kurnakovitden önce gelmektedir, fakat kurnakovit, inderit, inyoit ve boraks'ın  $\text{B}_2\text{O}_3$  değerleri birbirine yakındır, aralarındaki fark element oranları ve dolayısı ile

ağırlıklarının farklı olmasından kaynaklanır.

Genel olarak bakıldığında kullanılan ham minerallerin bulunan deneysel boroksit değerlerinin literatürde verilen deneylerden % 1 – 5 oranında farklı çıktığını görmekteyiz. Bu farklılık deneylerde kullanılan bor minerallerinin saflıklarından ve olası deneysel hatalardan meydana gelmektedir.

Çizelge 6.1 Deneylerde kullanılan bor minerallerinin boroksit miktarları, %

Bölge	Mineral Türü	Formülü	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> miktarı (%)		Fark (%) =  D - T  / T x 100
			Deneysel (D)	Teorik (T)	
Kırka	İnyoit	Ca <sub>2</sub> B <sub>6</sub> O <sub>11</sub> .13H <sub>2</sub> O	35.82	37.60	4.73
Kırka	İnderit	2MgO.3B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .15H <sub>2</sub> O	36.25	37.30	2.82
Kırka	Boraks (Tinkal)	Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> .10H <sub>2</sub> O	35.85	36.50	1.78
Kırka	Kurnakovit	Mg <sub>2</sub> B <sub>6</sub> O <sub>11</sub> .15H <sub>2</sub> O	36.90	37.30	1.07
Emet	Kolemanit	Ca <sub>2</sub> B <sub>6</sub> O <sub>11</sub> .5H <sub>2</sub> O	48.90	50.80	3.74
Bigadiç	Breşli Kolemanit	Ca <sub>2</sub> B <sub>6</sub> O <sub>11</sub> .5H <sub>2</sub> O	52.14	50.80	2.64
Emet	Arsenikli Kolemanit	Ca <sub>2</sub> B <sub>6</sub> O <sub>11</sub> .5H <sub>2</sub> O	49.68	50.80	2.20



Şekil 6.12 Deneyleerde kullanılan bor minerallerinin boroksit miktarları, %

### 6.3 Boraks'ın Sodyum Miktarı

Boraks'ın sodyum içeriği alev fotometresi ile ölçülmüş ve ağırlıkça % 13.06 olarak bulunmuştur (Çizelge 6.2).

Çizelge 6.2 Boraks'ın sodyum (Na) içeriği

Bölge	Mineral Türü	Formülü	Na (%)
Kırka	Boraks (Tinkal)	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	13.06

### 6.4 Bor Minerallerinin Kalsiyum İçerik Sonuçları

Çizelge 6.3'de sunulduğu üzere deneylerde kullanılan bor minerallerinin kalsiyum içeriği en yüksek 58.42 mg/ml ile arsenikli kolemanit en düşük kalsiyum içeriğine sahip mineral de 23.55 mg/ml ile inyonit olarak bulunmuştur.

Çizelge 6.3 Deneylerde kullanılan bor minerallerinin kalsiyum analiz sonuçları

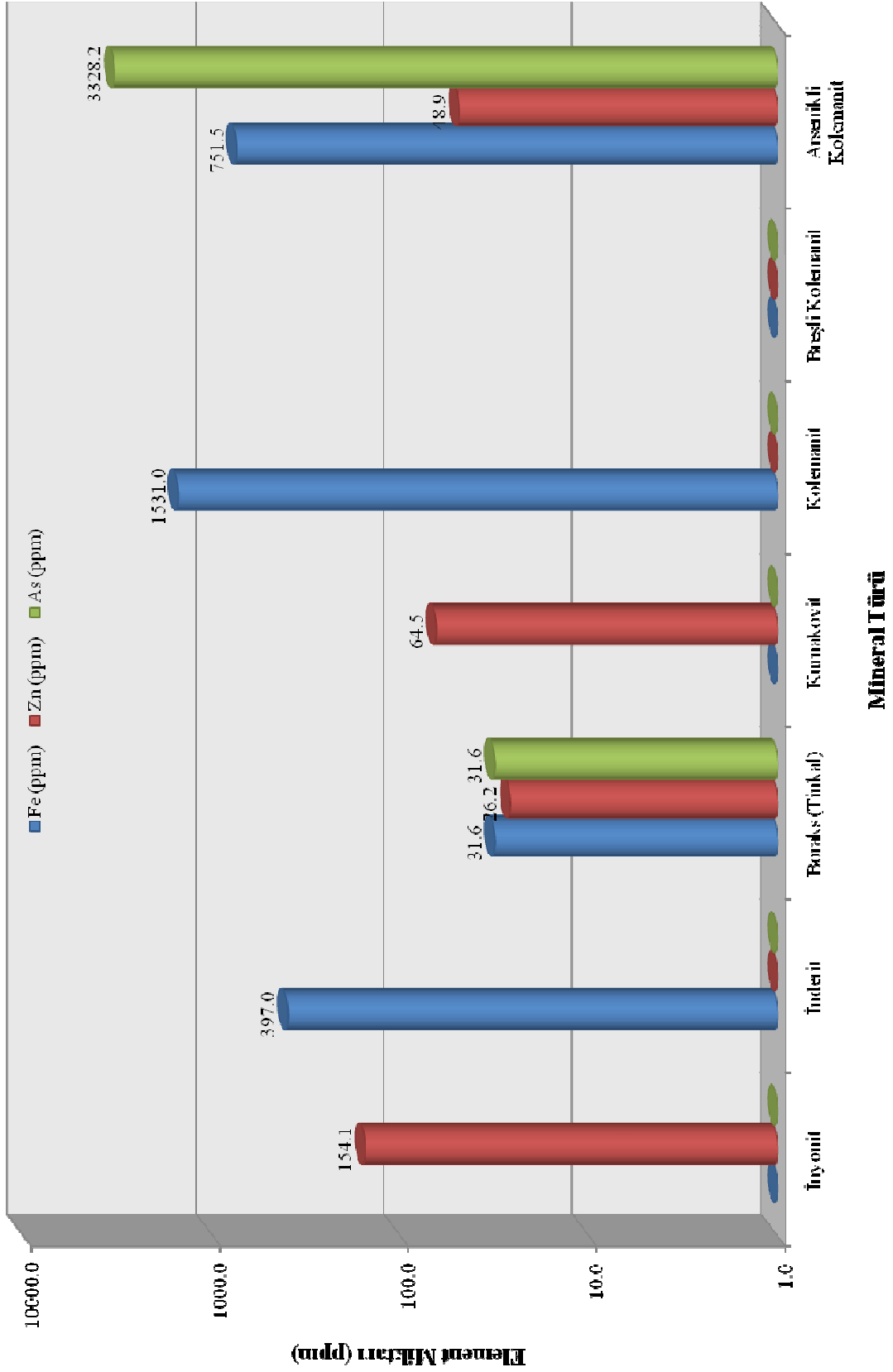
Bölge	Mineral Türü	Formülü	Ca (mg/ml)
Kırka	İnyoit	$\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 13\text{H}_2\text{O}$	23.55
Emet	Kolemanit	$\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	52.50
Bigadiç	Breşli Kolemanit	$\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	39.30
Emet	Arsenikli Kolemanit	$\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	58.42

### 6.5 Bor Minerallerinin Kantitatif Analiz Sonuçları

Bor minerallerinin toplu kantitatif analiz sonuçları Çizelge 6.4'de ve Şekil 6.13'de verilmiştir.

Çizelge 6.4 Deneylerde kullanılan bor minerallerinin kantitatif analiz sonuçları

Bölge	Mineral Türü	Formülü	Fe (ppm)	Zn (ppm)	As (ppm)
Kırka	İnyoit	$\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 13\text{H}_2\text{O}$	-	154.1	-
Kırka	İnderit	$2\text{MgO} \cdot 3\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 15\text{H}_2\text{O}$	397.0	-	-
Kırka	Boraks (Tinkal)	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	31.6	26.2	31.6
Kırka	Kurnakovit	$\text{Mg}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 15\text{H}_2\text{O}$	-	64.5	-
Emet	Kolemanit	$\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	1531.0	-	-
Bigadiç	Breşli Kolemanit	$\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	-	-	-
Emet	Arsenikli Kolemanit	$\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	751.5	48.9	3328.2



Şekil 6.13 Deneylerde kullanılan bor minerallerinin demir, çinko ve arsenik içerikleri (ppm)

Sonuçlara demir element içeriği yönünden bakarsak: en yüksek içeriği kolemanit (1531 ppm) sağlamaktadır ve ardından sırası ile arsenikli kolemanit (751.5 ppm), inderit (397 ppm) ve boraks (31.6 ppm) gelmektedir.

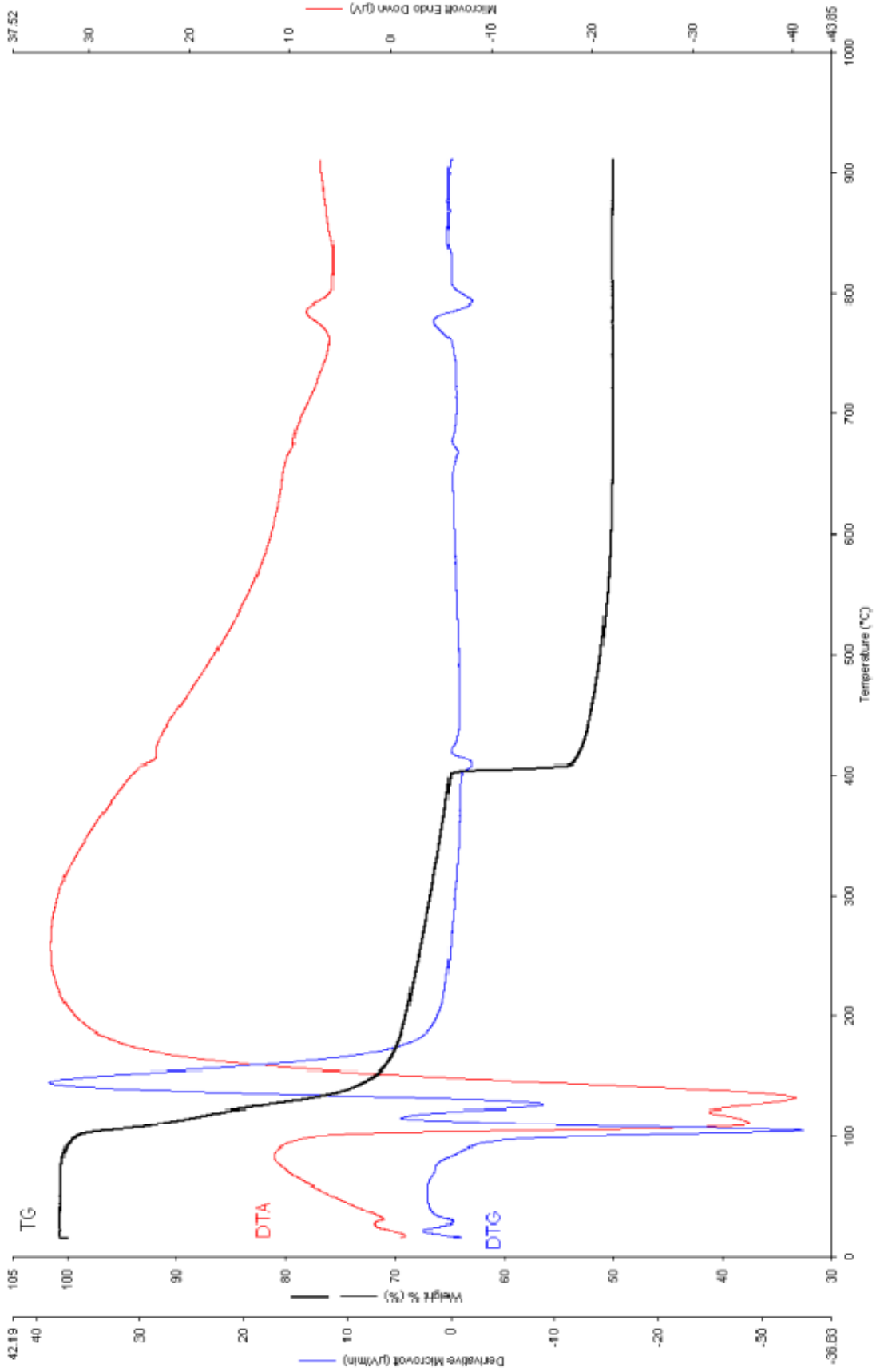
Elementler arasında en yüksek çinko içeriği (154.1 ppm) inyonit'de bulunmakta ve ardından kurnakovit (64.5 ppm), arsenikli kolemanit (48.9 ppm) ve boraks (26.2 ppm) gelmektedir.

Son olarak arsenik değeri, arsenikli kolemanitte en yüksek (3328.2 ppm) olarak bulunmuş, boraks'da ise 31.6 ppm olarak bulunmuştur.

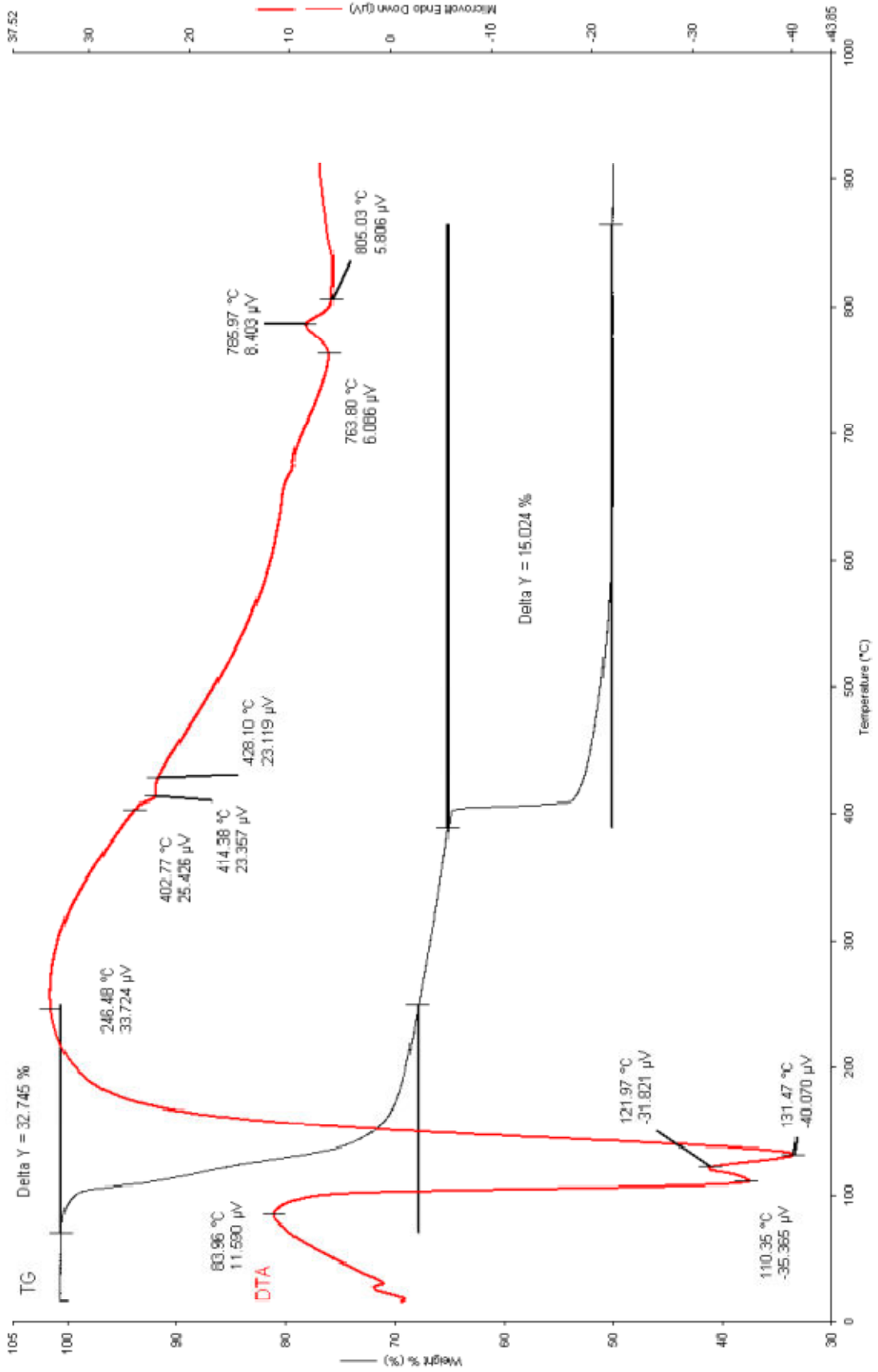
### **6.6 Termal Analiz ve Termal Gravimetri Analiz Sonuçları**

Deneylede kullanılan bor minerallerinden inyoit, inderit, boraks, kurnakovit ve breşli kolemanit'in DTA ve TGanalizleri yapılmış sonuçlar Şekil 6.14 ile Şekil 6.28 ve Çizelge 6.5 ile Çizelge 6.9 arasında verilmiştir. Kolemanit ve arsenikli kolemanit'in DTA ve TG analizlerinden, kolemanitin sıcaklık ile genişip patlamasından dolayı doğru sonuç alınamamıştır.

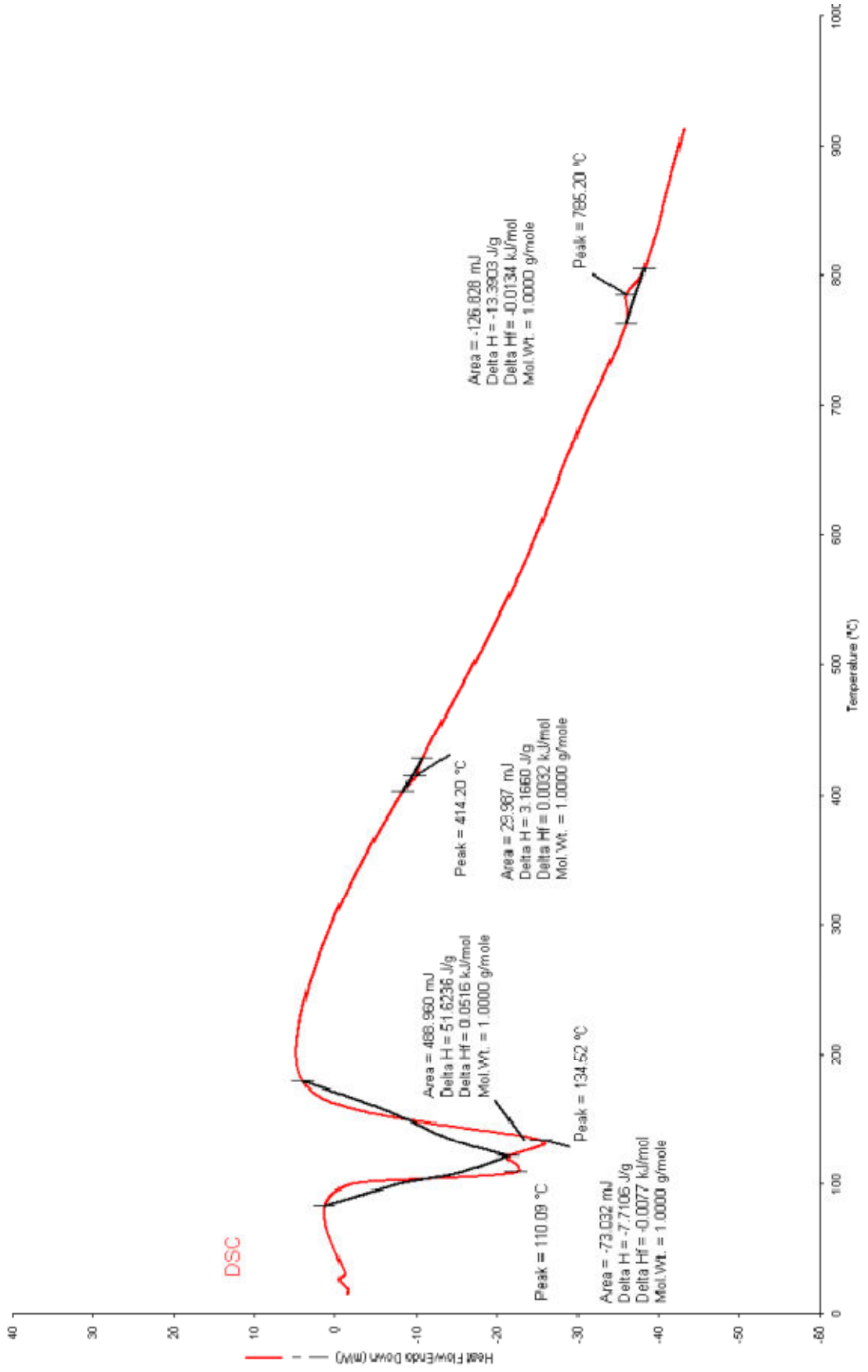




Şekil 6.14 İnyoit'in DTA/TG analizi



Şekil 6.15 İnyoit'in hesaplanmış DTA/TG analizi



Şekil 6.16 İnyoit'in hesaplanmış DSC eğrisi

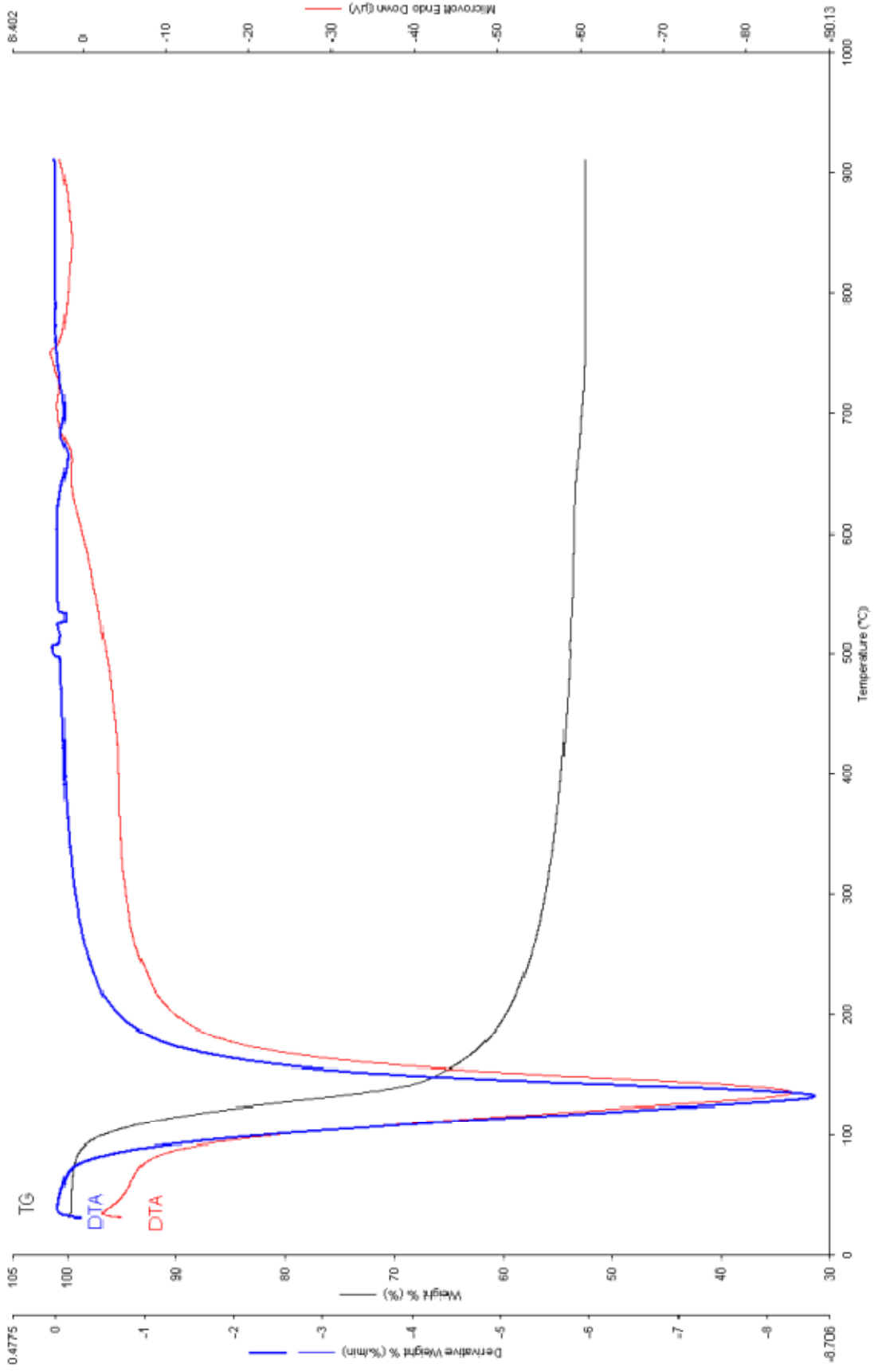
İnyoit'in çekilen DTA/TG eğrisi sonucu ilk etapta  $T_{\text{pik},1} = 110.35 \text{ }^\circ\text{C}$  ve  $T_{\text{pik},2} = 131.47 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de iki adet endotermik pik ( $\Delta H > 0$ ) meydana gelmiştir. İlk pike ait enerji miktarı  $\Delta H_1 = 7.7106 \text{ J/g}$ 'dir, ikinci pike ait  $\Delta H$  değeri ise  $\Delta H_2 = 51.6236 \text{ J/g}$ 'dir. Daha sonra  $T_{\text{pik},3} = 414.38 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de üçüncü bir endotermik pik meydana gelmiş enerji değeri ise  $\Delta H_3 = 3.1660 \text{ J/g}$  olarak hesaplanmıştır. Son olarak  $T_{\text{pik},4} = 785.97 \text{ }^\circ\text{C}$  sıcaklıkta ekzotermik ( $\Delta H < 0$ ) bir pik meydana gelmiş ve enerji değeri ise  $\Delta H_4 = 13.3903 \text{ J/g}$  olarak saptanmıştır.

İnyoit'in  $0^\circ\text{C}$  ile  $900^\circ\text{C}$  arasında çekilen TG (ağırlık değişimi) eğrisi incelendiğinde  $0^\circ\text{C}$  ile  $250^\circ\text{C}$  arası  $\Delta m_1 = \% 32.745$  oranında ağırlık azalması meydana geldiği gözlenmiş ve bunun nedeninin de bünyesindeki suyun buharlaşmasıdır.

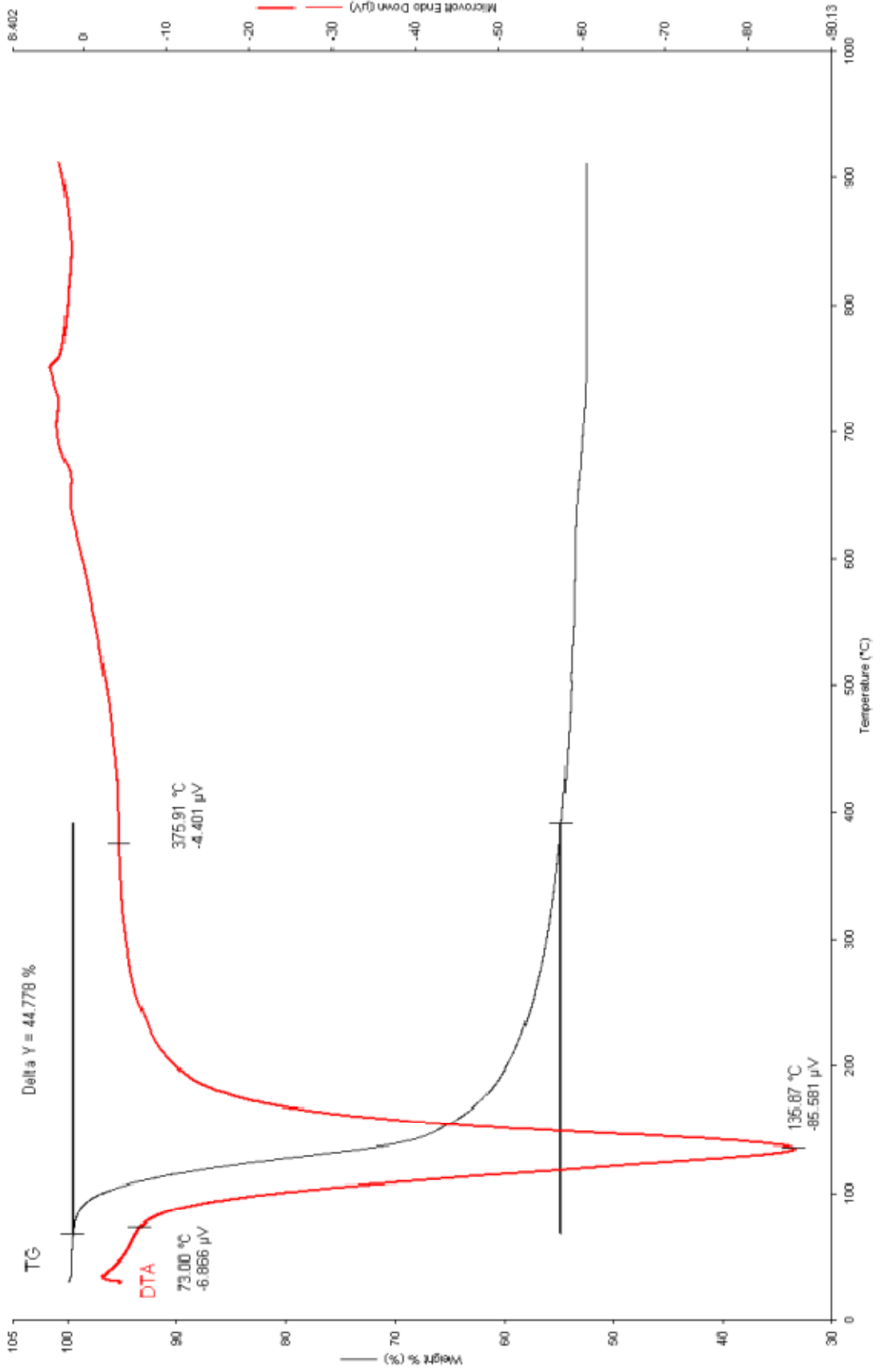
Son olarak  $400^\circ\text{C}$ 'de ani bir  $\Delta m_2 = \% 15.021$ 'lik ağırlık azalması meydana gelmiş ve ağırlık eğrisi  $550 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de sabitlenmiştir.

Çizelge 6.5 İnyoit'in DTA ve TG sonuçları

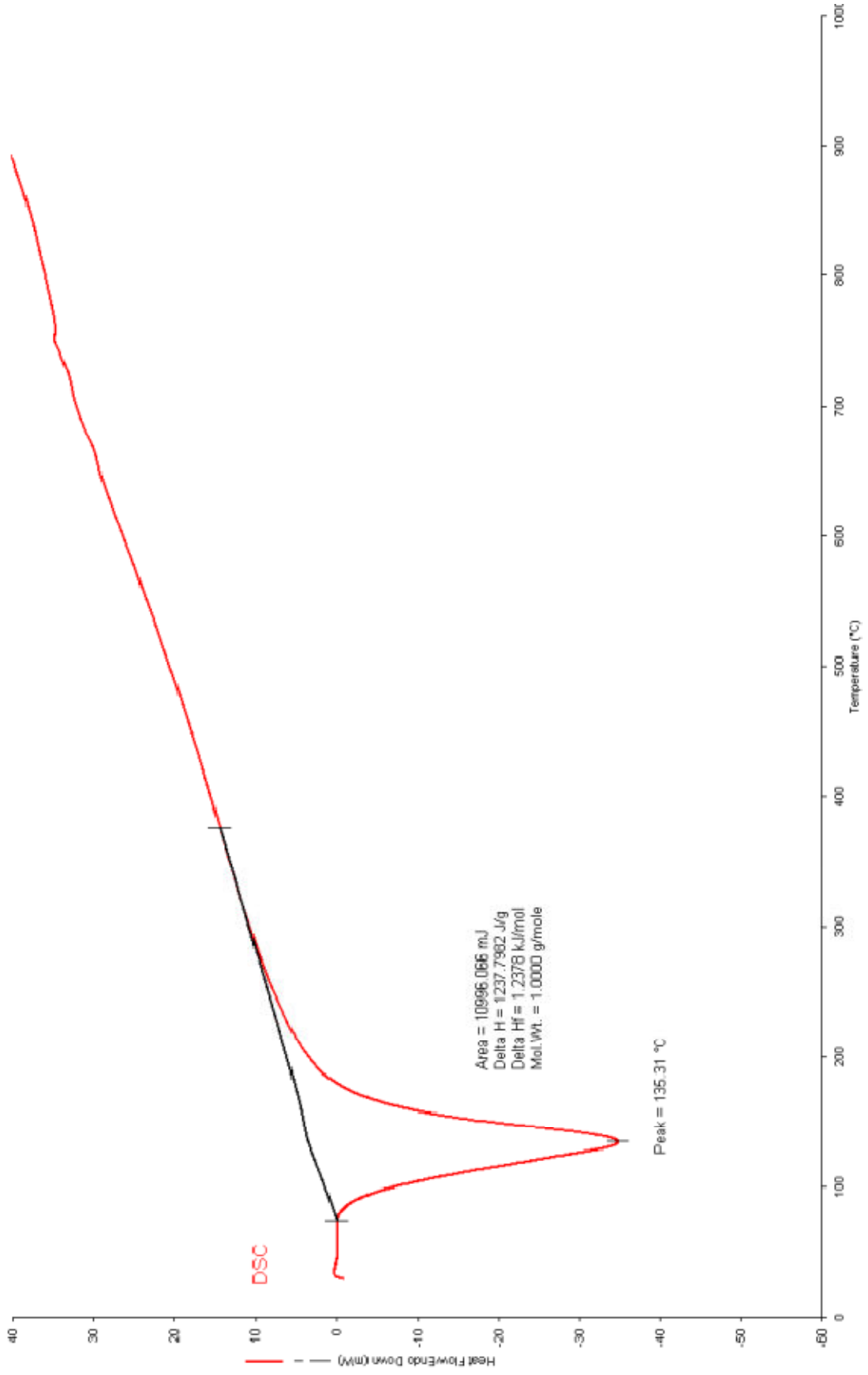
	Pik 1	Pik 2	Pik 3	Pik 4
$T_{\text{baş}} \text{ (}^\circ\text{C)}$	83.96	121.97	402.77	763.80
$T_{\text{pik}} \text{ (}^\circ\text{C)}$	110.35	131.47	414.38	785.97
$T_{\text{bit}} \text{ (}^\circ\text{C)}$	121.97	246.48	428.10	805.03
$\Delta H \text{ (J/g)}$	7.7106	51.6236	3.1660	13.3903
$\Delta m \text{ (}\% \text{)}$	Bölge 1 (0-250 $^\circ\text{C}$ )		Bölge 2 (400 $^\circ\text{C}$ )	
	32.745		15.021	



Şekil 6.17 İnderit'in DTA/TG analizi



Şekil 6.18 İnderit'in hesaplanmış DTA/TG analizi



Şekil 6.19 İnderit'in hesaplanmış DSC eğrisi

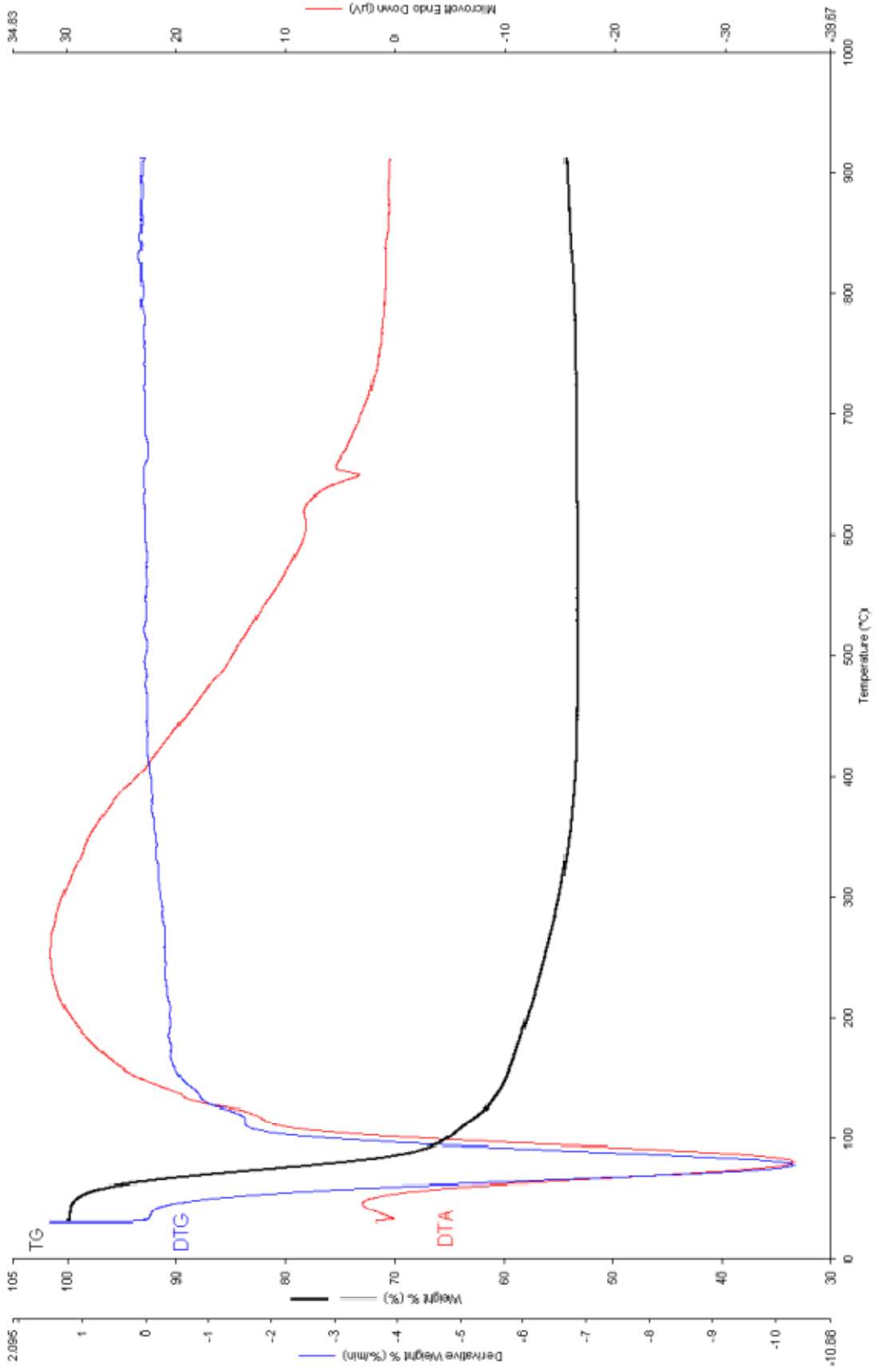
İnderit'e ait DTA/TG ve DSC eğrileri incelendiğinde oluşan tek pikin, tepe noktası  $T_{\text{pik}} = 135.87 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de oluşmuştur.  $T_{\text{baş}} = 73 \text{ }^\circ\text{C}$  ve  $T_{\text{bit}} = 375.91 \text{ }^\circ\text{C}$  aralığında endotermik ( $\Delta H > 0$ ) bir pik meydana gelmiş ve bu pike ait DSC eğrisi incelendiğinde alınan enerji miktarı  $\Delta H = 1237.7982 \text{ J/g}$  olarak hesaplanmıştır.

İnderit'e ait TG eğrisinin analizi sonucu ağırlık azalmasının ( $\Delta m$ ) tek kademeli meydana geldiği ve bu azalma miktarının  $\Delta m = \% 44.778$  olarak meydana geldiği saptanmıştır.

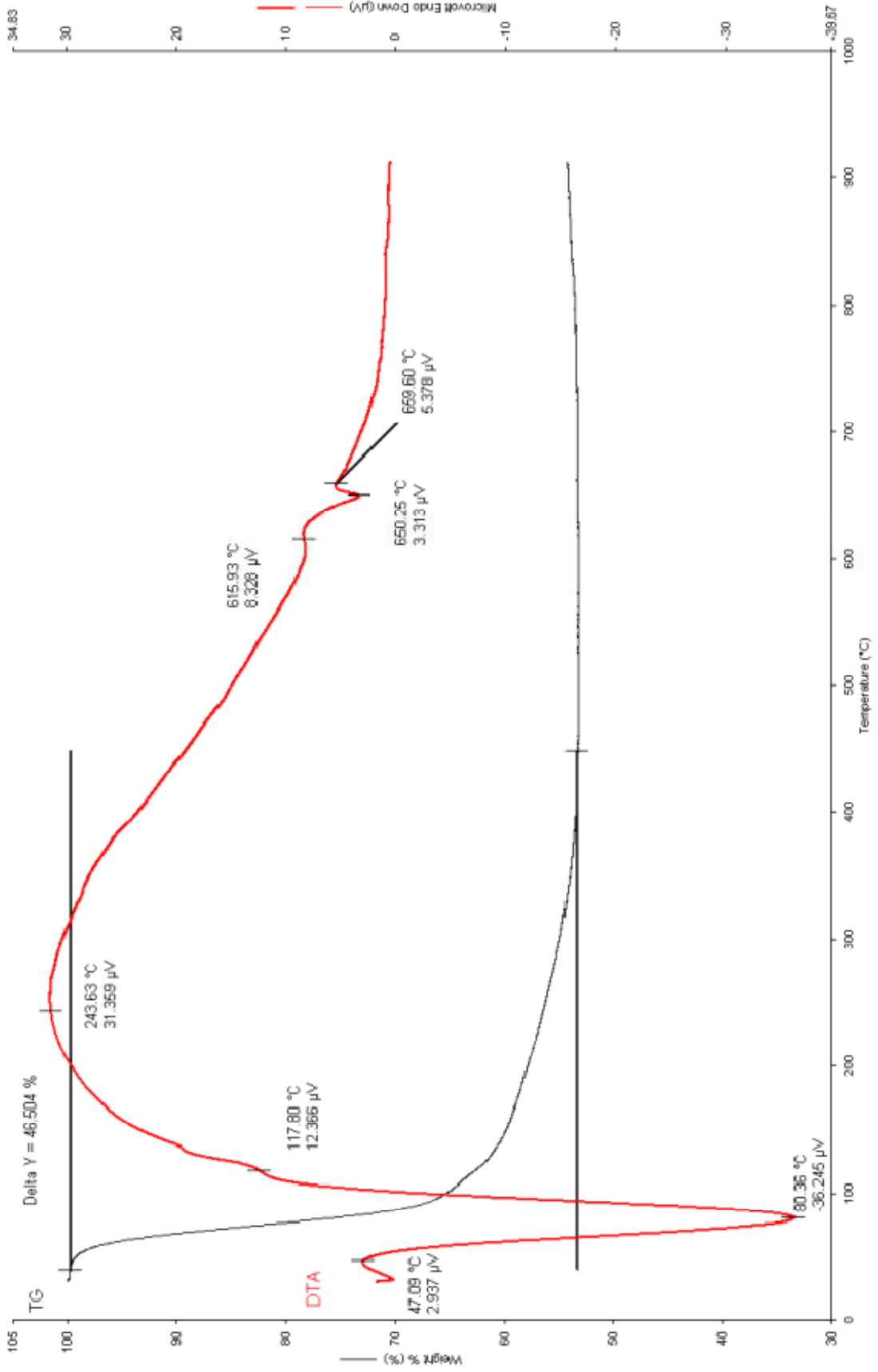
Çizelge 6.6 İnderit'in DTA ve TG sonuçları

Pik 1	
$T_{\text{baş}} \text{ (}^\circ\text{C)}$	73.00
$T_{\text{pik}} \text{ (}^\circ\text{C)}$	135.87
$T_{\text{bit}} \text{ (}^\circ\text{C)}$	375.91
$\Delta H \text{ (J/g)}$	1237.7982
$\Delta m \text{ (}\% \text{)}$	Bölge 1 (100 – 400 $^\circ\text{C}$ )
	44.778

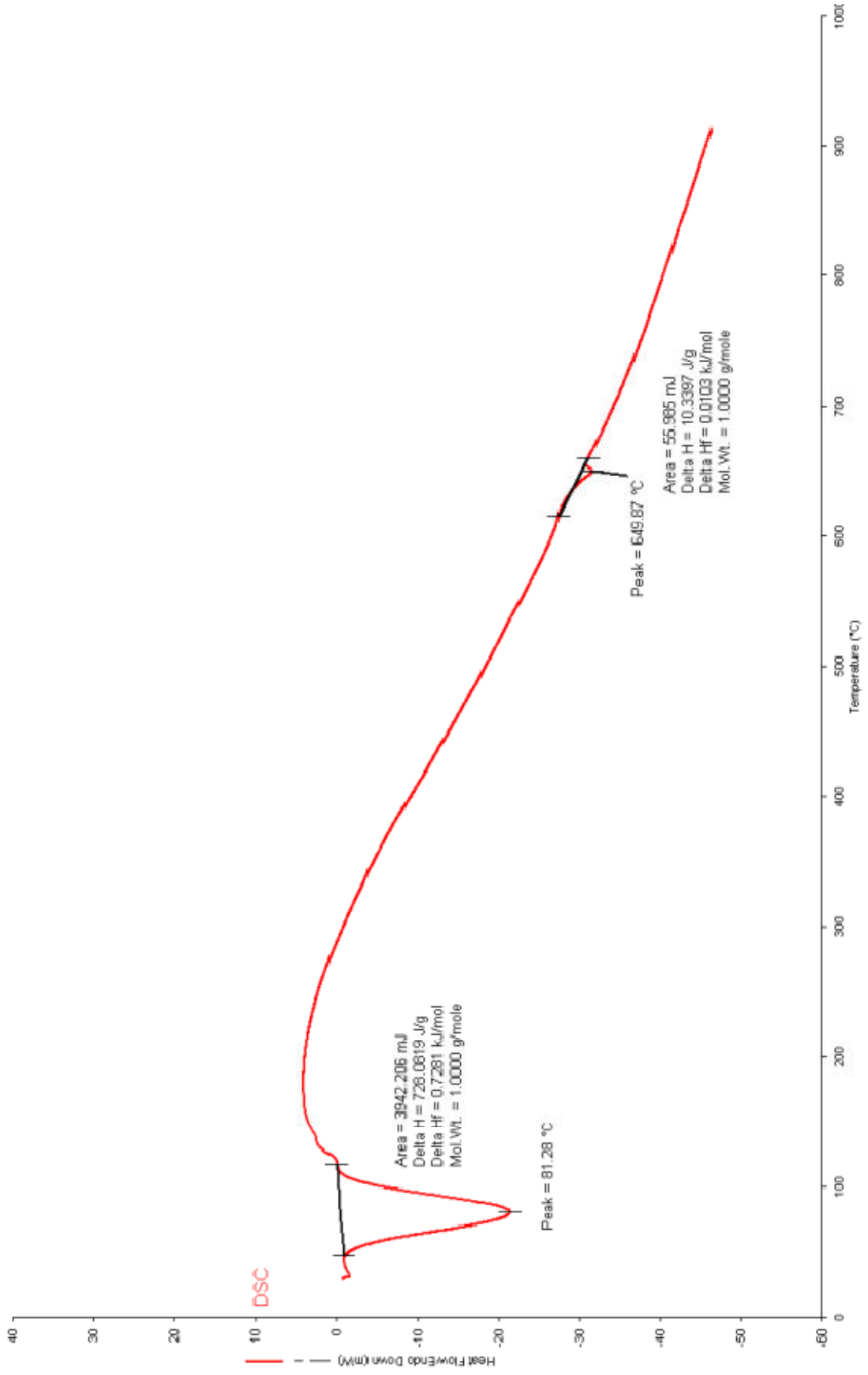




Şekil 6.20 Boraks'ın DTA/TG analizi



Şekil 6.21 Boraks'ın hesaplanmış DTA/TG analizi



Şekil 6.22 Boraks'ın hesaplanmış DSC eğrisi

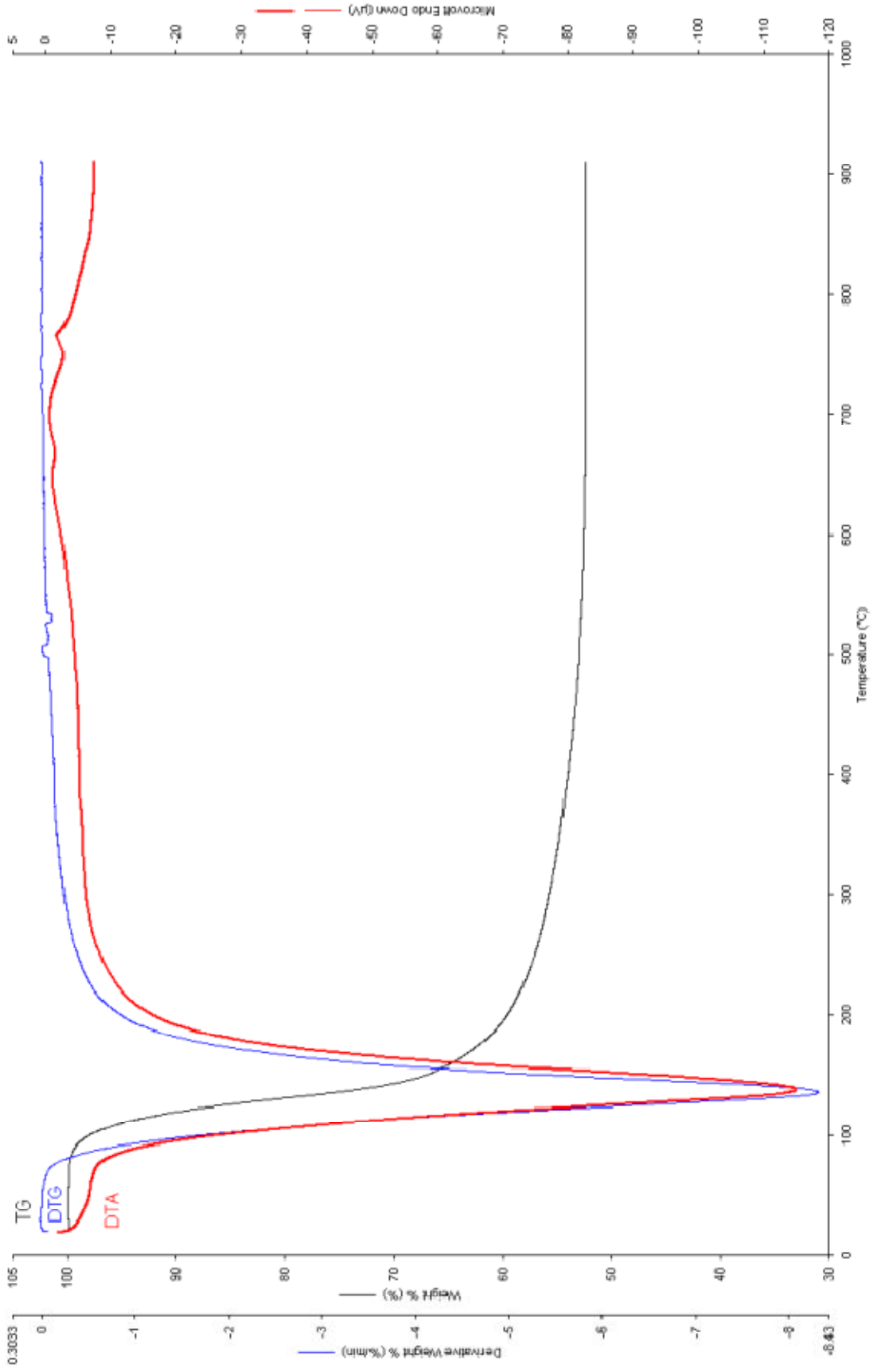
Boraks'ın DTA/TG eğrisinin incelenmesi sonucu  $T_{baş,1} = 47.09$  °C ve  $T_{bit,1} = 243.63$  °C arası oluşan ve  $T_{pik,1} = 80.36$  °C pik tepe noktasına sahip bir endotermik pik ( $\Delta H > 0$ ) ve  $T_{baş,2} = 615.93$  °C ile  $T_{bit,2} = 659.60$  °C arası  $T_{pik,2} = 650.25$  °C pik tepe noktasına ait ikinci bir endotermik pikin ( $\Delta H > 0$ ) oluştuğu gözlenmiştir.

Birinci endotermik pik sonucu emilen enerji miktarı  $\Delta H_1 = 728.0819$  J/g ve ikinci endotermik pik sonucu ise  $\Delta H_2 = 10.3397$  J/g'dır.

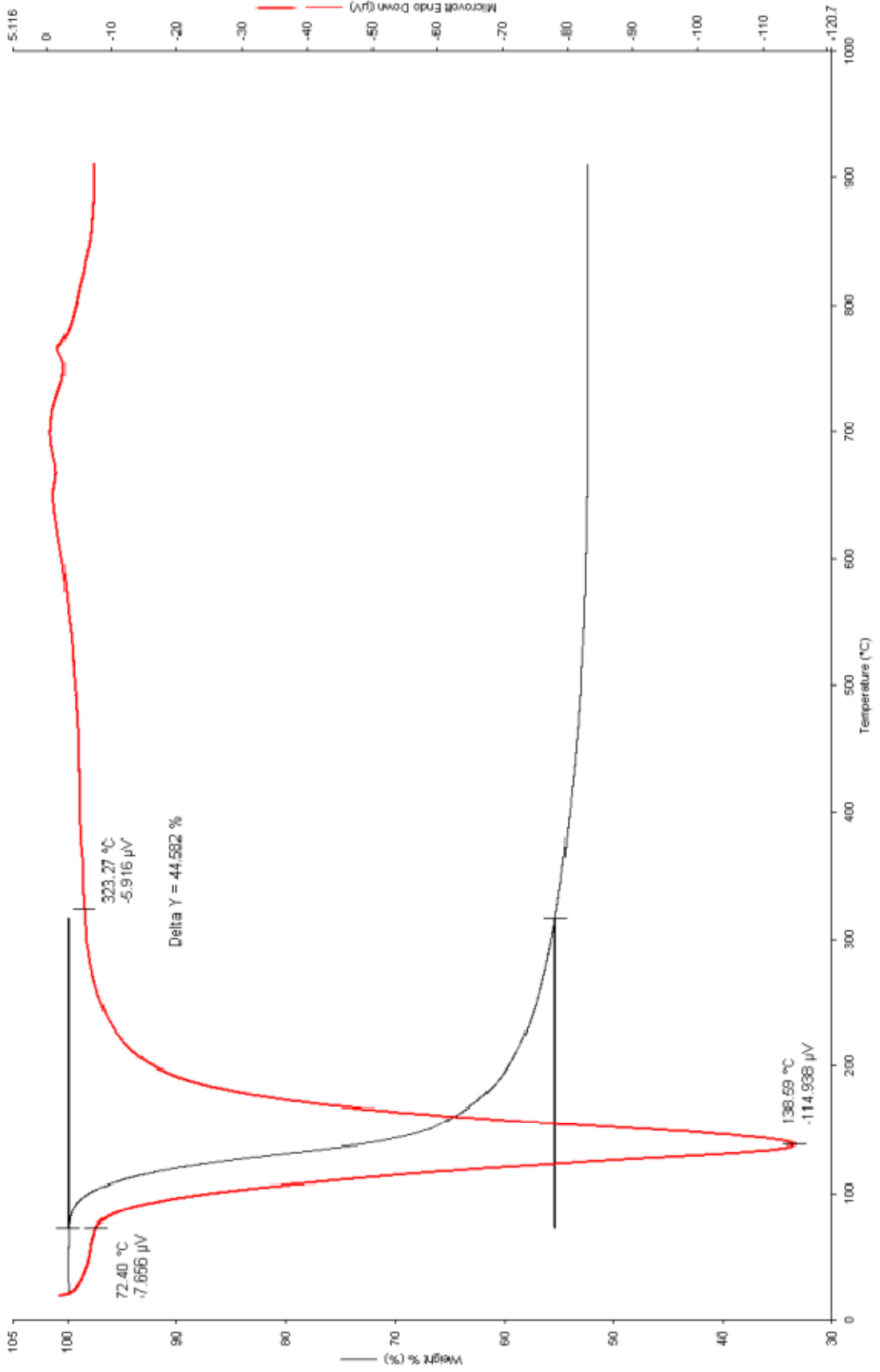
Ağırlık azalması, TG eğrisinin incelenmesi sonucu tek kademeli olduğu ve  $\Delta m = \% 46.504$  olarak kayıp meydana geldiği, bunun nedeninin de bünyesindeki suyu kaybetmesi olduğu saptanmıştır.

Çizelge 6.7 Boraks'ın DTA ve TG sonuçları

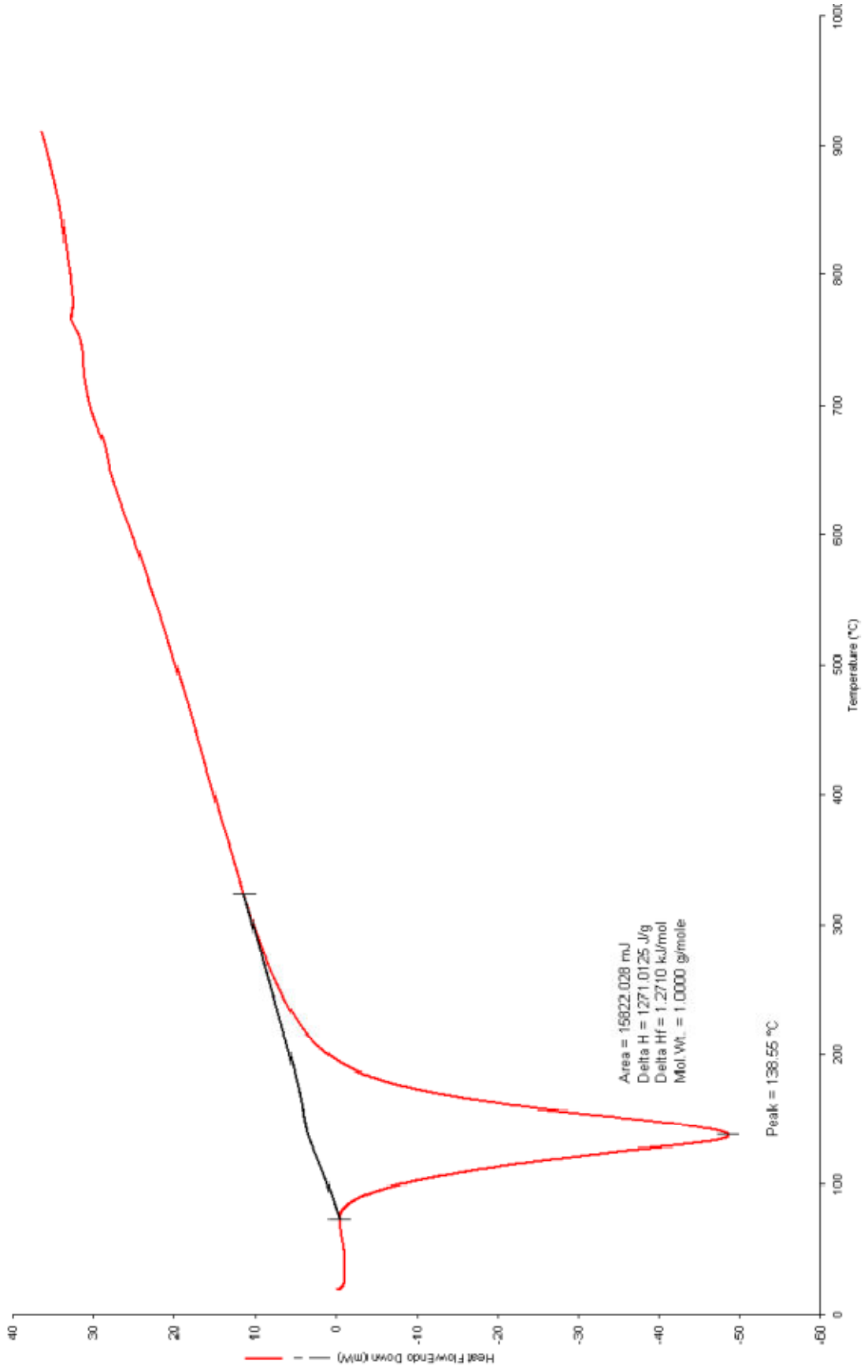
	Pik 1	Pik 2
$T_{baş}$ (°C)	47.09	615.93
$T_{pik}$ (°C)	80.36	650.25
$T_{bit}$ (°C)	117.80	659.60
$\Delta H$ (J/g)	728.0819	10.3397
$\Delta m$ (%)	Bölge 1 (100 – 400 °C)	
	46.504	



Şekil 6.23 Kurnakovit'in DTA/TG analizi



Şekil 6.24 Kurnakovit'in hesaplanmış DTA/TG analizi



Şekil 6.25 Kurnakovit'in hesaplanmış DSC eğrisi

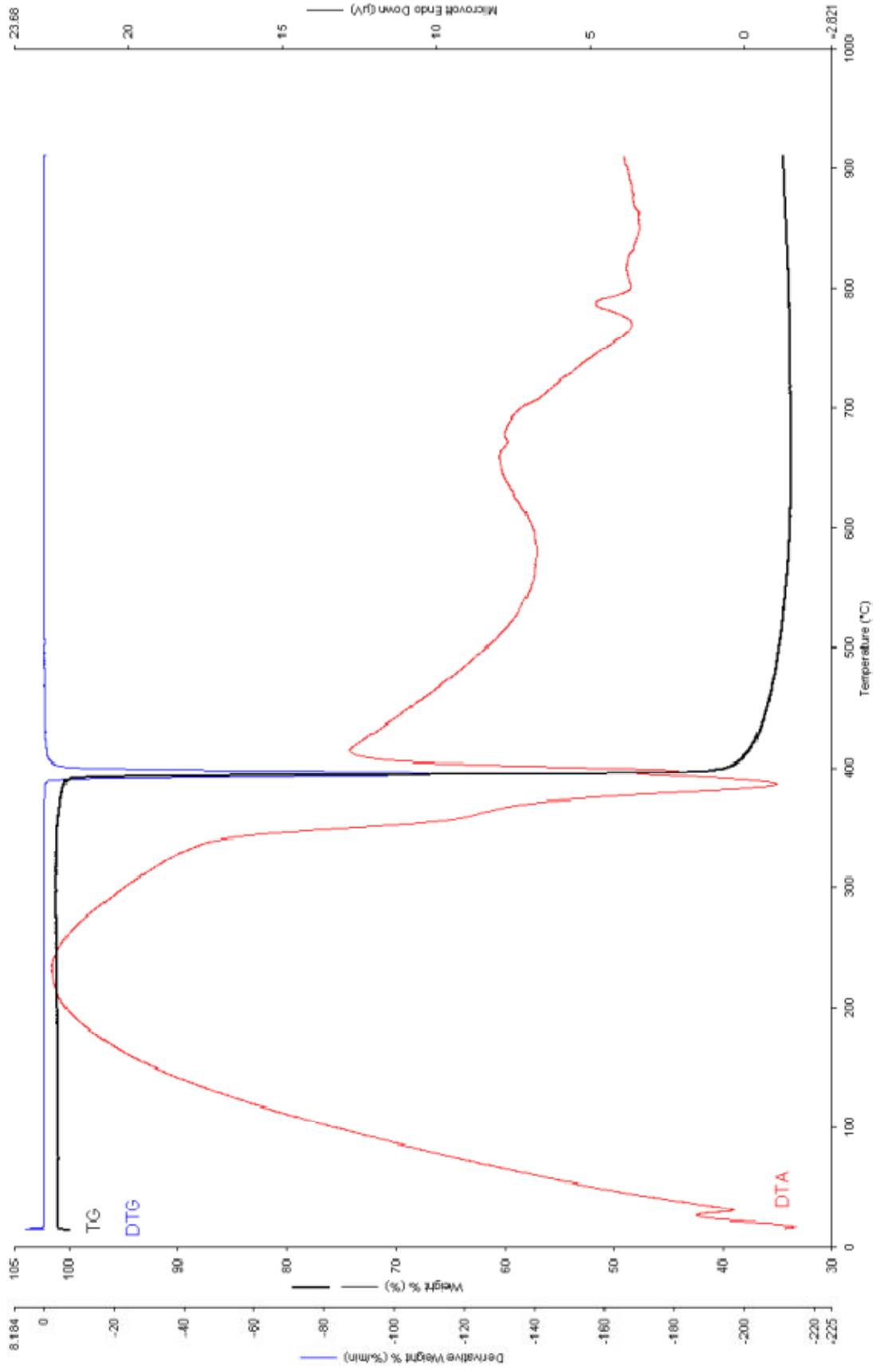
Kurnakovit'in 0 °C ve 900 °C arası DTA/TG ve DSC eğrilerinin incelenmesi sonucu  $T_{\text{pik}} = 138.59$  °C pik tepe noktasına sahip endotermik reaksiyon ( $\Delta H > 0$ ) sonucu emilen enerji miktarı  $\Delta H = 1271.0125$  J/g olarak hesaplanmıştır.

Bünyesindeki suyu ilk kademede kaybetmesi sonucu ağırlığında  $\Delta m = \% 44.582$  oranında azalma meydana gelmiştir.

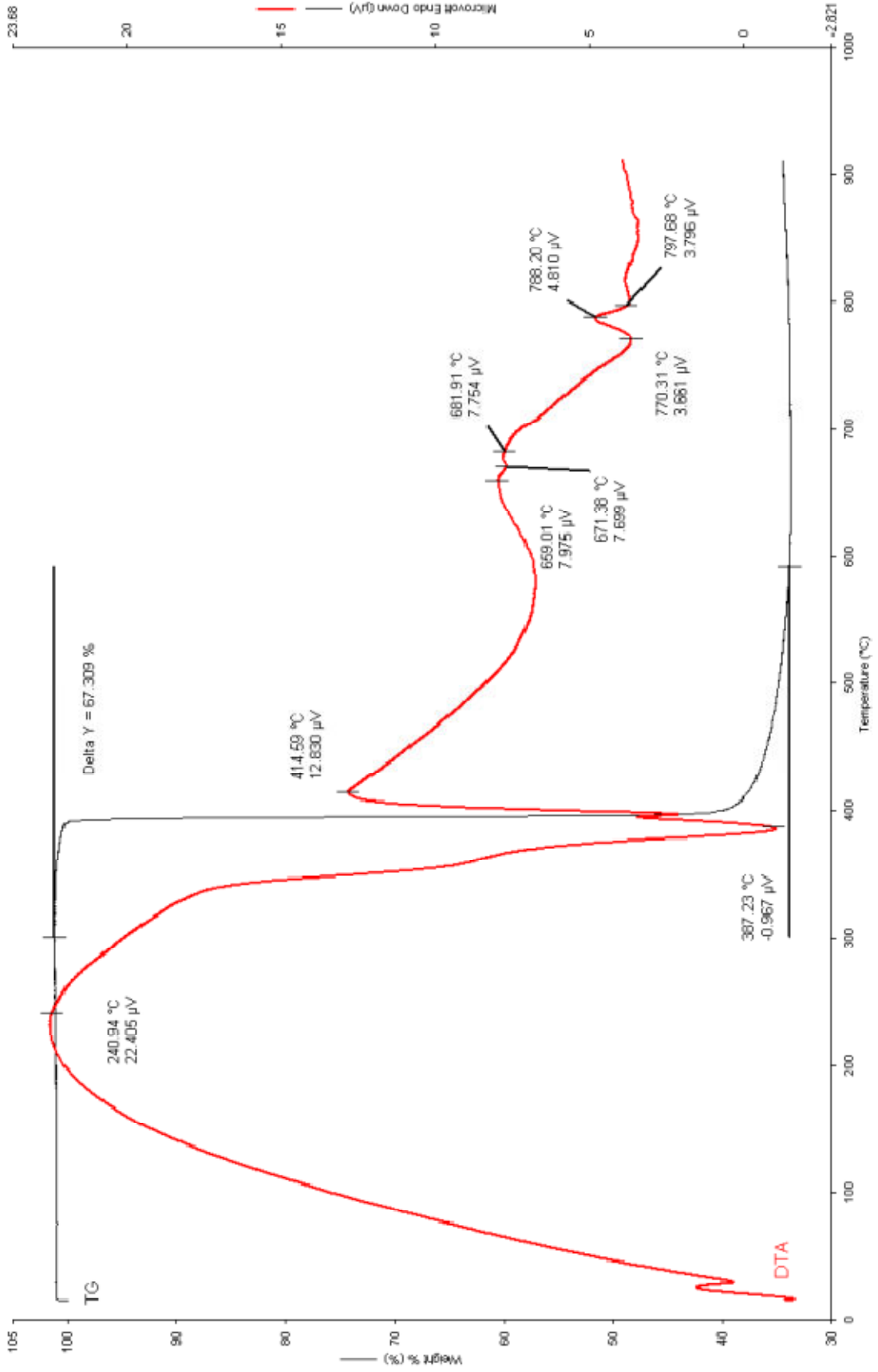
Çizelge 6.8 Kurnakovit'in DTA ve TG sonuçları

Pik 1	
$T_{\text{baş}}$ (°C)	72.40
$T_{\text{pik}}$ (°C)	138.59
$T_{\text{bit}}$ (°C)	323.27
$\Delta H$ (J/g)	1271.0125
$\Delta m$ (%)	Bölge 1 (100 – 300 °C)
	44.582

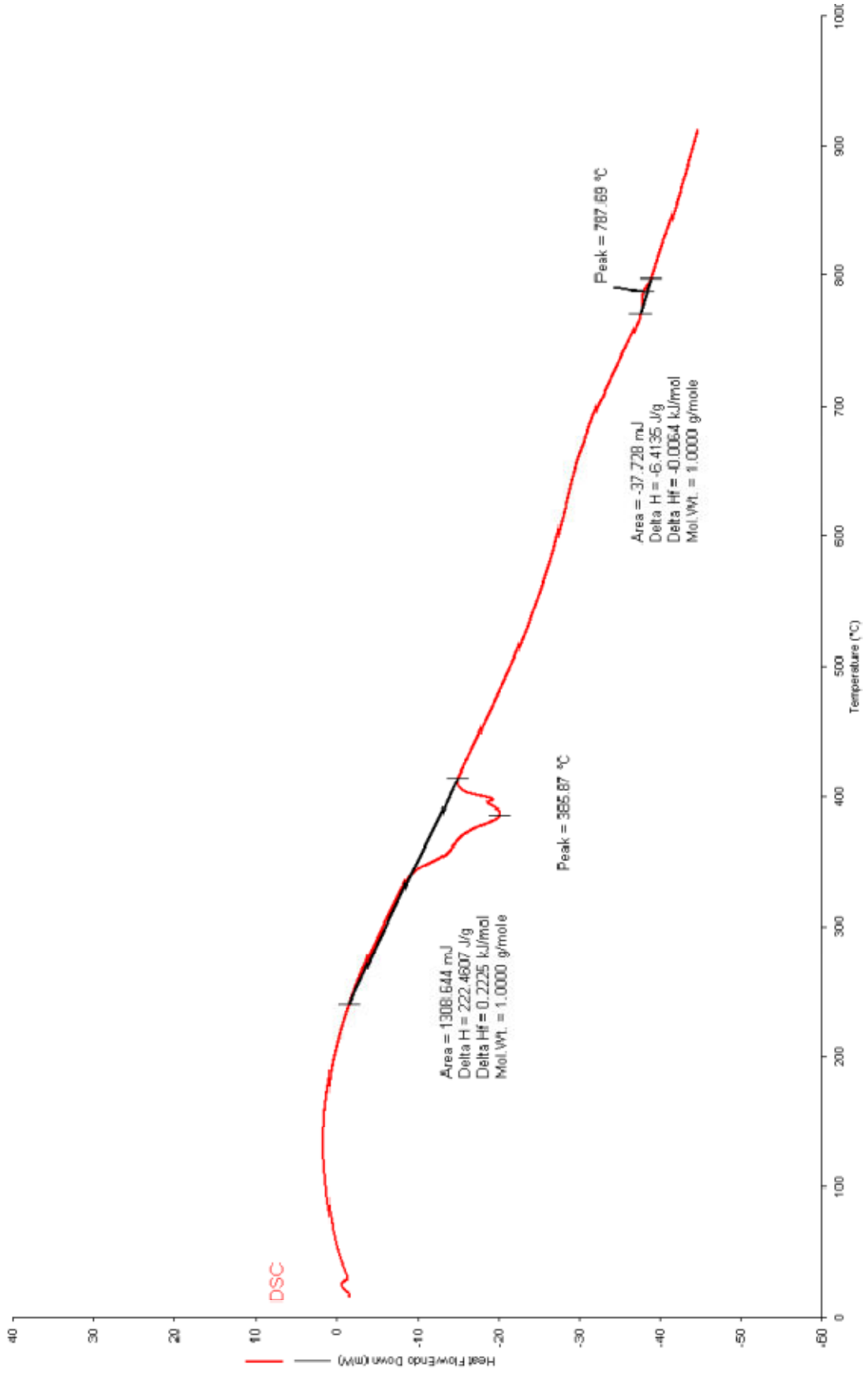




Şekil 6.26 Breşli kolemanit'in DTA/TG analizi



Şekil 6.27 Breşli kolemanit'in hesaplanmış DTA/TG analizi



Şekil 6.28 Breşli kolemanit'in hesaplanmış DSC eğrisi

Breşli kolemanit bor bileşiğinin DTA/TG eğrisi 0-900 °C arasında çekilmiş ve iki ana enerji değişim eğrisine ait olan birinci pikin endotermik olduğu ( $\Delta H > 0$ ) ve ikinci pikin ekzotermik olduğu saptanmıştır. Bu piklere ait tepe noktalarının ve entalpi değerleri sırası ile  $T_{\text{pik},1} = 385.87$  °C,  $\Delta H_1 = 222.4607$  J/g,  $T_{\text{pik},2} = 788.20$  °C ve  $\Delta H_2 = 6.4135$  J/g olarak hesaplanmıştır. İki ana pik arasında sıcaklık 671.38 °C'yi gösterirken de küçük pik meydana gelmiştir fakat DSC eğrisinde bu pik ortaya çıkmadığından dolayı değerlendirmeye katılmamıştır.

TG eğrisi incelendiğinde ağırlık azalmasının 400 °C civarında meydana geldiği ve değerinin  $\Delta m = \% 67.309$  olduğu hesaplanmıştır.

Çizelge 6.9 Breşli Kolemanit'in DTA ve TG sonuçları

	Pik 1	Pik 2
$T_{\text{baş}}$ (°C)	240.97	770.31
$T_{\text{pik}}$ (°C)	385.87	788.20
$T_{\text{bit}}$ (°C)	414.59	797.68
$\Delta H$ (J/g)	222.4607	6.4135
$\Delta m$ (%)	Bölge 1 (300 – 500 °C)	
	67.309	

## 6.7 Howitzer Nötron Geçirgenlik Sonuçları

### 6.7.1 Oniki yıllık performans ölçümleri

Howitzer Nötron Geçirgenlik deneyleri, daha önceki bir çalışmada kullanılan bor minerallerinden; inyoit, inderit, boraks (tinkal), kurnakovit, kolemanit, breşli kolemanit, arsenikli kolemanit kullanılarak gerçekleştirilmiştir. 1996 yılında tamamlanan bu çalışmaya ait olan peletlerin kalınlıkları (cm) ve nötron geçirgenlikleri Çizelge 6.10'da sunulmuştur. Aynı bor minerallerini kullanarak 2008 yılında yapılan yeni çalışmanın nötron sayım değerleri, geçirgenlik oranları, iki çalışma arasındaki geçirgenlik farkı  $\Delta(I/I_0)_{(2008-1996)}$  ve bu geçirgenlik farkının yüzdesel değişimi  $\Delta(I/I_0)_{(2008-1996),\%}$  Çizelge 6.11'de sunulmuştur.

$$\Delta(I/I_0)_{(2008-1996)} = (I/I_0)_{(2008)} - (I/I_0)_{(1996)} \quad (6.1)$$

$$\Delta(I/I_0)_{(2008-1996), \%} = \frac{[(I/I_0)_{(2008)} - (I/I_0)_{(1996)}]}{(I/I_0)_{(1996)}} \times 100 \quad (6.2)$$

Çizelge 6.10 Howitzer nötron geçirgenlik sonuçları (1996),  $\phi = 10^4$  n/cm<sup>2</sup>s (Yılmaz, 1996)

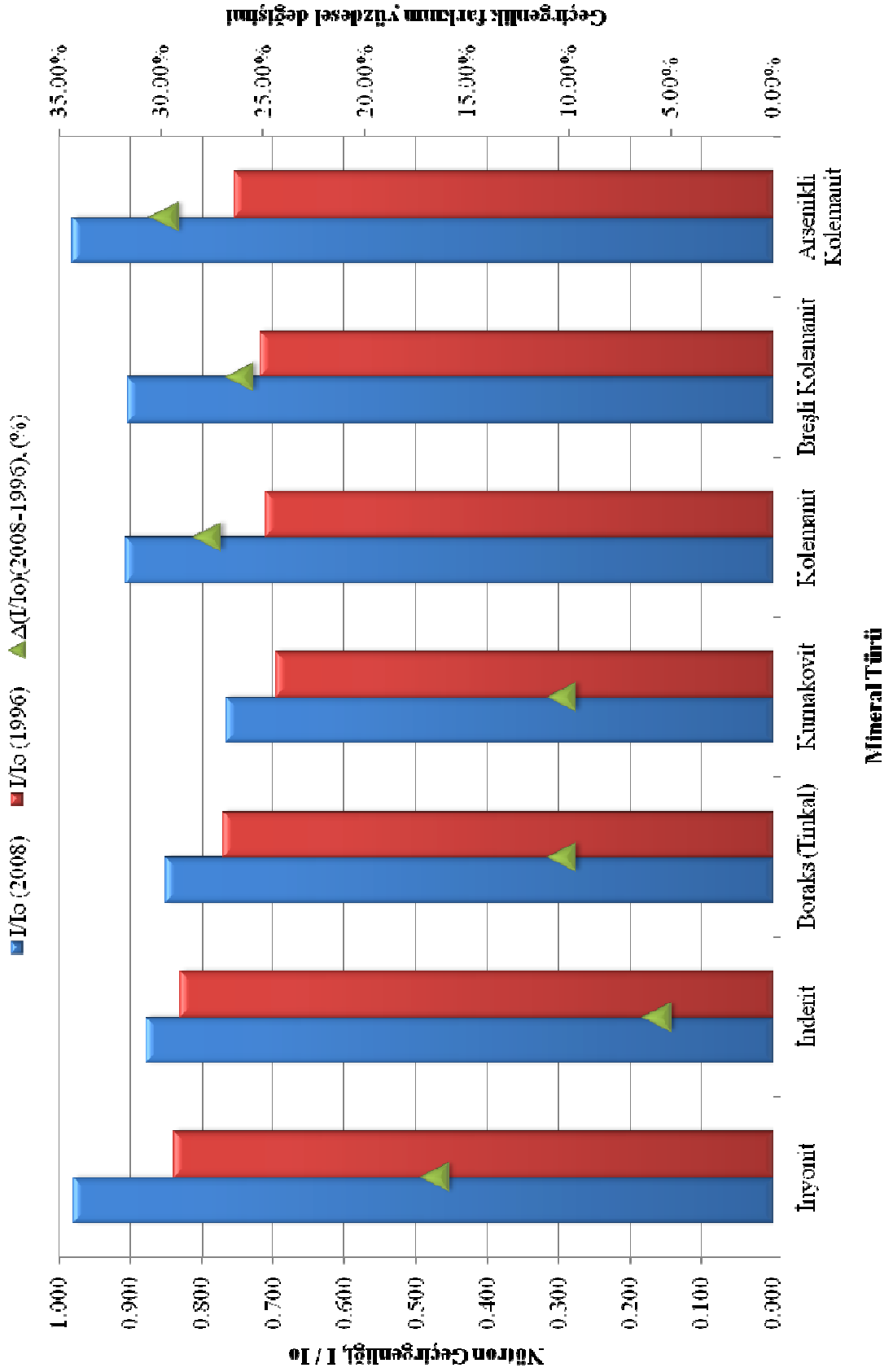
Bölge	Mineral Türü	d (cm)	I/I <sub>0(1996)</sub>
Kırka	İnyoit	0.44	0.840
Kırka	İnderit	0.45	0.831
Kırka	Boraks (Tinkal)	0.45	0.771
Kırka	Kurnakovit	0.46	0.695
Emet	Kolemanit	0.40	0.710
Bigadiç	Breşli Kolemanit	0.39	0.717
Emet	Arsenikli Kolemanit	0.38	0.755

Çizelge 6.11 Howitzer nötron geçirgenlik sonuçları (2008),  $\phi = 10^4$  n/cm<sup>2</sup>s

Bölge	Mineral Türü	d (cm)	I (sayım/s)	I/I <sub>0(2008)</sub>	$\Delta(I/I_0)$ (2008-1996)	$\Delta(I/I_0)$ (2008-1996), (%)
Kırka	İnyoit	0.44	7.47	0.979	0.139	16.55
Kırka	İnderit	0.45	6.70	0.878	0.047	5.67
Kırka	Boraks (Tinkal)	0.45	6.49	0.851	0.080	10.32
Kırka	Kurnakovit	0.46	5.85	0.767	0.072	10.32
Emet	Kolemanit	0.40	6.92	0.907	0.197	27.74
Bigadiç	Breşli Kolemanit	0.39	6.90	0.904	0.187	26.13
Emet	Arsenikli Kolemanit	0.38	7.48	0.980	0.225	29.85
Boş ölçüm, I <sub>0</sub> (sayım/s)			7.63			

1996 yılında yapılan çalışmada en düşük geçirgenlik değerini Kurnakovit, sonrasında sırası ile kolemanit, breşli kolemanit, arsenikli kolemanit, boraks, nderit ve en yüksek geçirgenlik değerini de inyoit almıştır.

2008 yılında yapılan çalışmada ise en düşük geçirgenlik değerini gene kurnakovit almıştır. Genel olarak bakıldığında ise bütün minerallerin yapısının geçirgenliklerinin % 5 ile % 30 oranlarında arttıkları gözlemlenmiştir. Bu durum nötron absorpsiyonu için istenen bir durum değildir.



Şekil 6.29 Howitzer nötron geçirgenlik sonuçları

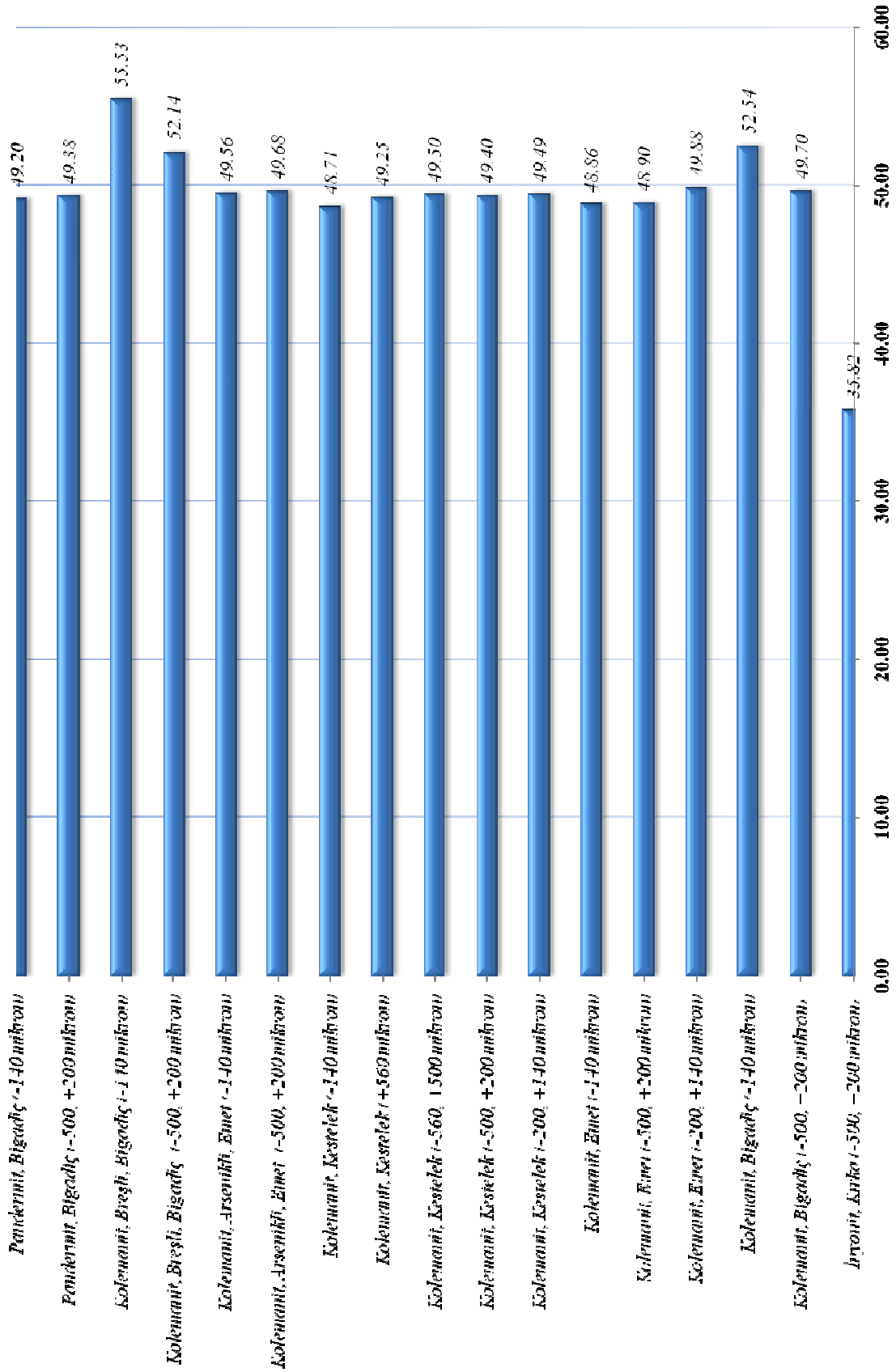
## 6.7.2 Bor minerallerinin nötron soğurmalarının kıyaslanması

### 6.7.2.1 Kalsiyum boratlar

Kalsiyum borat minerallerinin  $B_2O_3$  içerikleri Çizelge 6.12 ve Şekil 6.30' de sunulmuştur. Değerler incelendiğinde bölge olarak Bigadiç bölgesi Kolemanit'in diğer bölgelere göre daha fazla  $B_2O_3$  içerdiği görülmektedir. En yüksek  $B_2O_3$  içeriğine sahip kalsiyum borat minerali % 52.54 ile Bigadiç bölgesi Kolemanit, en düşük  $B_2O_3$  içeriğine sahip kalsiyum borat minerali ise % 35.82 ile Kırka bölgesi İnyonit'dir. Tane boyutlarına göre aynı bölge ve aynı kalsiyum borat mineralini incelediğimiz zaman, artan tane boyutunda  $B_2O_3$  miktarlarında düşme gözlemlenmektedir.

Çizelge 6.12 Kalsiyum borat minerallerinin  $B_2O_3$  içerikleri

Mineral Türü	Tane Boyutu (mikron)	Bölge	$B_2O_3$ miktarı (%)
İnyonit	-500, +200	Kırka	35.82
Kolemanit	-500, +200	Bigadiç	49.70
Kolemanit	-140	Bigadiç	52.54
Kolemanit	-200, +140	Emet	49.88
Kolemanit	-500, +200	Emet	48.90
Kolemanit	-140	Emet	48.86
Kolemanit	-200, +140	Kestelek	49.49
Kolemanit	-500, +200	Kestelek	49.40
Kolemanit	-560, +500	Kestelek	49.50
Kolemanit	+560	Kestelek	49.25
Kolemanit	-140	Kestelek	48.71
Kolemanit, Arsenikli	-500, +200	Emet	49.68
Kolemanit, Arsenikli	-140	Emet	49.56
Kolemanit, Breşli	-500, +200	Bigadiç	52.14
Kolemanit, Breşli	-140	Bigadiç	55.53
Pandermit	-500, +200	Bigadiç	49.38
Pandermit	-140	Bigadiç	49.20

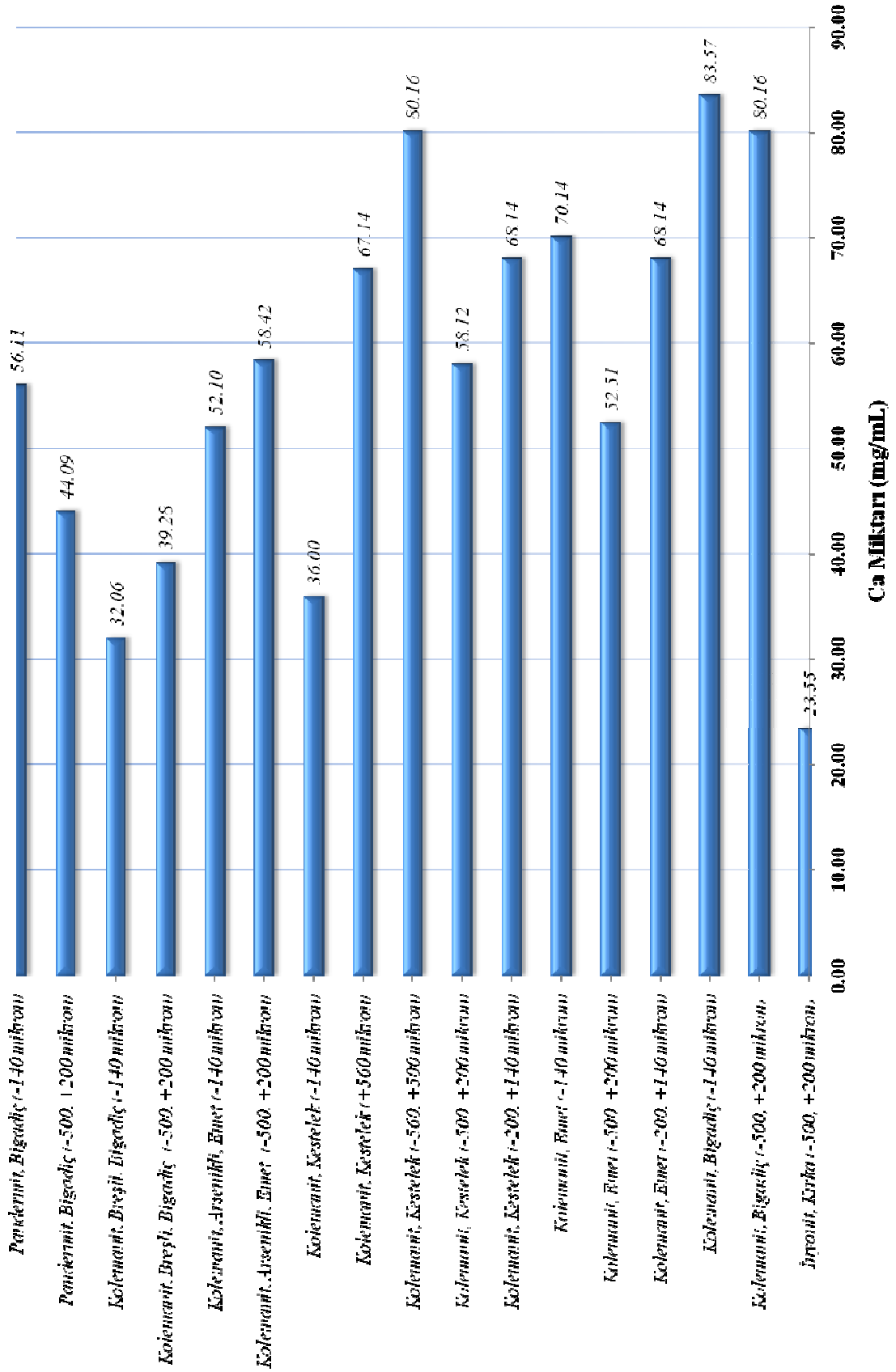
Şekil 6.30 Kalsiyum borat minerallerinin B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içerikleri



Kalsiyum borat minerallerinin titrimetrik metot ile bulunan kalsiyum içerikleri Çizelge 6.13 ve Şekil 6.31’de sunulmuştur. Değerler incelendiğinde Bigadiç bölgesi -140 mikron tane boyutundaki kolemanit’in 83.57 mg/ml ile diğer kalsiyum minerallerinden daha fazla kalsiyum içerdiği görülmektedir. En düşük kalsiyum içeriğine sahip kalsiyum borat minerali de 23.55 mg/ml ile Kırka bölgesi inyonit olarak bulunmuştur.

Çizelge 6.13 Kalsiyum borat minerallerinin kalsiyum içerikleri

Mineral Türü	Tane Boyutu (mikron)	Bölge	Ca miktarı (mg/ml)
İnyonit	-500, +200	Kırka	23.55
Kolemanit	-500, +200	Bigadiç	80.16
Kolemanit	-140	Bigadiç	83.57
Kolemanit	-200, +140	Emet	68.14
Kolemanit	-500, +200	Emet	52.51
Kolemanit	-140	Emet	70.14
Kolemanit	-200, +140	Kestelek	68.14
Kolemanit	-500, +200	Kestelek	58.12
Kolemanit	-560, +500	Kestelek	80.16
Kolemanit	+560	Kestelek	67.14
Kolemanit	-140	Kestelek	36.00
Kolemanit, Arsenikli	-500, +200	Emet	58.42
Kolemanit, Arsenikli	-140	Emet	52.10
Kolemanit, Breşli	-500, +200	Bigadiç	39.28
Kolemanit, Breşli	-140	Bigadiç	32.06
Pandermit	-500, +200	Bigadiç	44.09
Pandermit	-140	Bigadiç	56.11



Şekil 6.31 Kalsiyum borat minerallerinin kalsiyum içerikleri

Nötron radyasyon seviyesi, uzaklık, süre ve zırlamaya bağlı olarak değiştiğine göre, numune pelet kalınlığı arttıkça, numune daha fazla nötron soğurması gerekmektedir. Bu sebepten yola çıkarak Çizelge 6.14’de de sunulduğu üzere üç farklı pelet kalınlığı ile çalışılmıştır. Üç farklı numune kalınlığında elde edilen nötron soğurma sonuçları Çizelge 6.15’de verilmiştir. Numunelerin kalınlıklarının mineral yapılarından dolayı farklı olması sebebi ile yorumlanma aşamasında birim kalınlık (1 cm) tanımlanmış ve nötron geçirgenlik değerleri birim kalınlık cinsinden Şekil 6.32’de sunulmuştur. Bazı mineraller az miktarda bulduklarından Howitzer deneyleri yapılamamıştır.

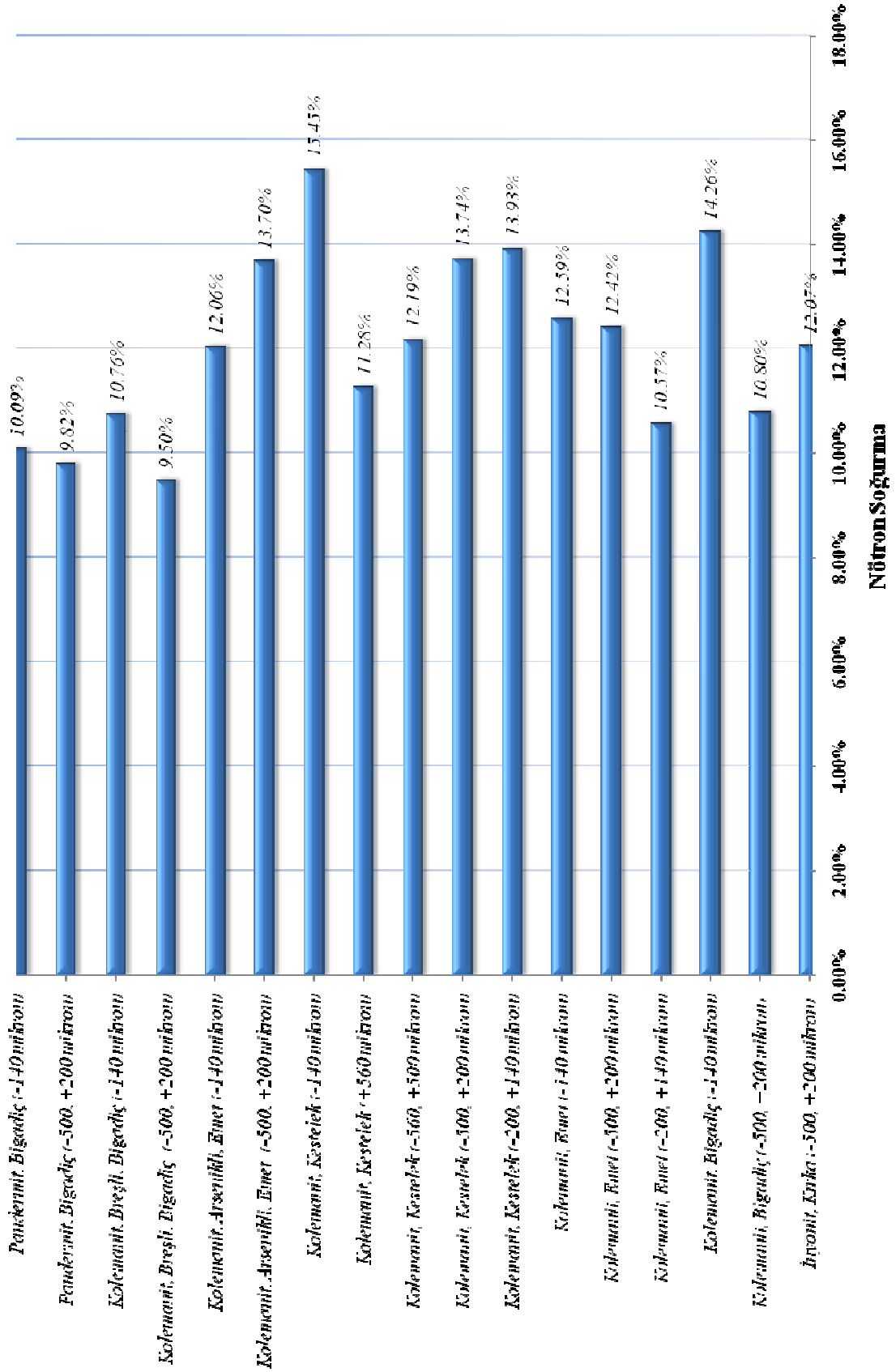
$$\frac{\left(\frac{I}{I_0}\right)}{d_{top}} = \frac{\left(\frac{I}{I_0}\right)_{d_1} \times d_1 + \left(\frac{I}{I_0}\right)_{d_2} \times d_2 + \left(\frac{I}{I_0}\right)_{d_3} \times d_3}{d_{top}} \quad (6.3)$$

Çizelge 6.14 Kalsiyum borat minerallerinin Howitzer deneyleri için hazırlanan pelet kalınlıkları

Mineral Türü	Tane Boyutu (mikron)	Bölge	Numune (pelet kalınlığı), cm			
			d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	d <sub>3</sub>	d <sub>top</sub>
İnyonit	-500, +200	Kırka	-	0.880	1.307	2.187
Kolemanit	-500, +200	Bigadiç	0.421	-	-	0.421
Kolemanit	-140	Bigadiç	0.456	-	1.190	1.646
Kolemanit	-200, +140	Emet	0.444	0.656	-	1.100
Kolemanit	-500, +200	Emet	0.435	0.630	1.070	2.135
Kolemanit	-140	Emet	0.549	-	1.120	1.669
Kolemanit	-200, +140	Kestelek	0.460	0.717	1.170	2.347
Kolemanit	-500, +200	Kestelek	0.470	0.760	1.490	2.720
Kolemanit	-560, +500	Kestelek	0.500	0.770	-	1.270
Kolemanit	+560	Kestelek	0.460	0.690	-	1.150
Kolemanit	-140	Kestelek	0.483	0.712	1.160	2.355
Kolemanit, Arsenikli	-500, +200	Emet	0.430	0.660	1.010	2.100
Kolemanit, Arsenikli	-140	Emet	0.450	0.693	-	1.143
Kolemanit, Breşli	-500, +200	Bigadiç	0.450	0.700	-	1.150
Kolemanit, Breşli	-140	Bigadiç	0.470	-	1.160	1.630
Pandermit	-500, +200	Bigadiç	0.460	-	1.010	1.470
Pandermit	-140	Bigadiç	0.480	-	1.130	1.610

Çizelge 6.15 Kalsiyum borat minerallerinin Nötron Soğurma sonuçları

Mineral Türü	Tane Boyutu (mikron)	Bölge	Nötron Soğurma			
			d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	d <sub>3</sub>	I/I <sub>0</sub> / d <sub>top</sub>
İnyonit	-500, +200	Kırka	-	6.89%	15.55%	10.26%
Kolemanit	-500, +200	Bigadiç	10.80%	-	-	25.66%
Kolemanit	-140	Bigadiç	11.30%	-	15.40%	13.45%
Kolemanit	-200, +140	Emet	10.01%	10.95%	-	18.17%
Kolemanit	-500, +200	Emet	10.29%	12.63%	13.16%	16.13%
Kolemanit	-140	Emet	12.04%	-	12.86%	13.54%
Kolemanit	-200, +140	Kestelek	11.73%	13.32%	15.18%	14.65%
Kolemanit	-500, +200	Kestelek	11.09%	13.28%	14.81%	12.98%
Kolemanit	-560, +500	Kestelek	10.82%	13.08%	-	19.10%
Kolemanit	+560	Kestelek	9.47%	12.49%	-	22.89%
Kolemanit	-140	Kestelek	13.16%	14.07%	17.25%	18.16%
Kolemanit, Arsenikli	-500, +200	Emet	10.03%	12.68%	15.93%	17.40%
Kolemanit, Arsenikli	-140	Emet	10.49%	13.08%	-	19.56%
Kolemanit, Breşli	-500, +200	Bigadiç	7.64%	10.70%	-	17.77%
Kolemanit, Breşli	-140	Bigadiç	10.31%	-	10.95%	11.54%
Pandemit	-500, +200	Bigadiç	9.30%	-	10.06%	11.86%
Pandemit	-140	Bigadiç	10.06%	-	10.11%	11.52%



Şekil 6.32 Kalsiyum borat minerallerinin birim (1 cm) nötron soğurma sonuçları

Bigadiç bölgesi Pandermit'in iki ayrı tane boyutundaki nötron soğurma değerleri incelendiğinde, azalan tane boyutunda nötron soğurma oranının arttığı gözlemlenmiştir. Yeterli miktarda numune olmadığından orta kalınlıkta (~0.7 cm) çalışma yapılamamıştır.

Aynı bölge Breşli kolemanit'e bakıldığında, pandermit gibi azalan tane boyutuna göre nötron soğurma oranının arttığı gözlemlenmiştir. Numune azlığından -500, +200 mikron tane boyutunda yüksek kalınlıkta (~1.2 cm), -140 mikron tane boyutunda ise orta kalınlıkta (~0.7 cm) çalışma yapılamamıştır.

Emet bölgesi Arsenikli kolemanit'de ise, -500, +200 mikron tane boyutunda üç farklı kalınlıkta deney yapılmış, ama -140 mikron tane boyutunda numune azlığı sebebi ile iki farklı kalınlıkta çalışılmıştır. Sonuçlara bakıldığında üç farklı kalınlıkta deney yapılan -500, +200 mikron tane boyutundaki Emet bölgesi Arsenikli kolemanit'in, -140 mikron tane boyutuna göre daha fazla nötron tuttuğu görülmektedir. Aynı iki numunenin B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> miktarlarına bakıldığında -500, +200 mikron tane boyutundaki Emet bölgesi Arsenikli kolemanit'in daha yüksek orana sahiptir. Bu sonuçtan dolayı daha fazla nötron tutmasını doğaldır.

Kestelek bölgesi Kolemanit'leri incelendiğinde azalan tane boyutu ile Nötron soğurma kapasitesinin arttığı görülmektedir. +560 ve -560, + 500 mikron tane boyutları ile iki farklı kalınlıkta çalışılmış, diğerleri ile üç farklı kalınlıkta çalışılmıştır.

Emet bölgesi kolemanit'e ise en küçük tane boyutundaki mineral en fazla nötron soğurmuş, ardından -500, +200 mikron tane boyutundaki kolemanit gelmiştir.

Bigadiç bölgesi Kolemanit'de azalan tane boyutuna göre hem B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> miktarının hem de nötron soğurma oranının arttığı görülmüştür.

Kırka bölgesi İnyonit tek bir tane boyutunda çalışılmıştır.

Bütün kalsiyum borat minerallerinde artan numune kalınlığına bağlı olarak nötron soğurma oranları artmıştır.

Kalsiyum borat minerallerinden en iyi nötron soğurma sonucunu % 15.45 ile -140 mikron tane boyutundaki Kestelek bölgesi kolemanit, en kötü nötron soğurma sonucunu ise % 9.50 ile Bigadiç bölgesi breşli kolemanit vermiştir.

Kalsiyum borat minerallerin bölge ve tane boyutuna bağlı olarak model denklemleri türetilmiş, çalışmanın Ek-1 kısmında türetilen denklemler ve grafikler sunulmuştur.

### 6.7.2.2 Sodyum-kalsiyum boratlar

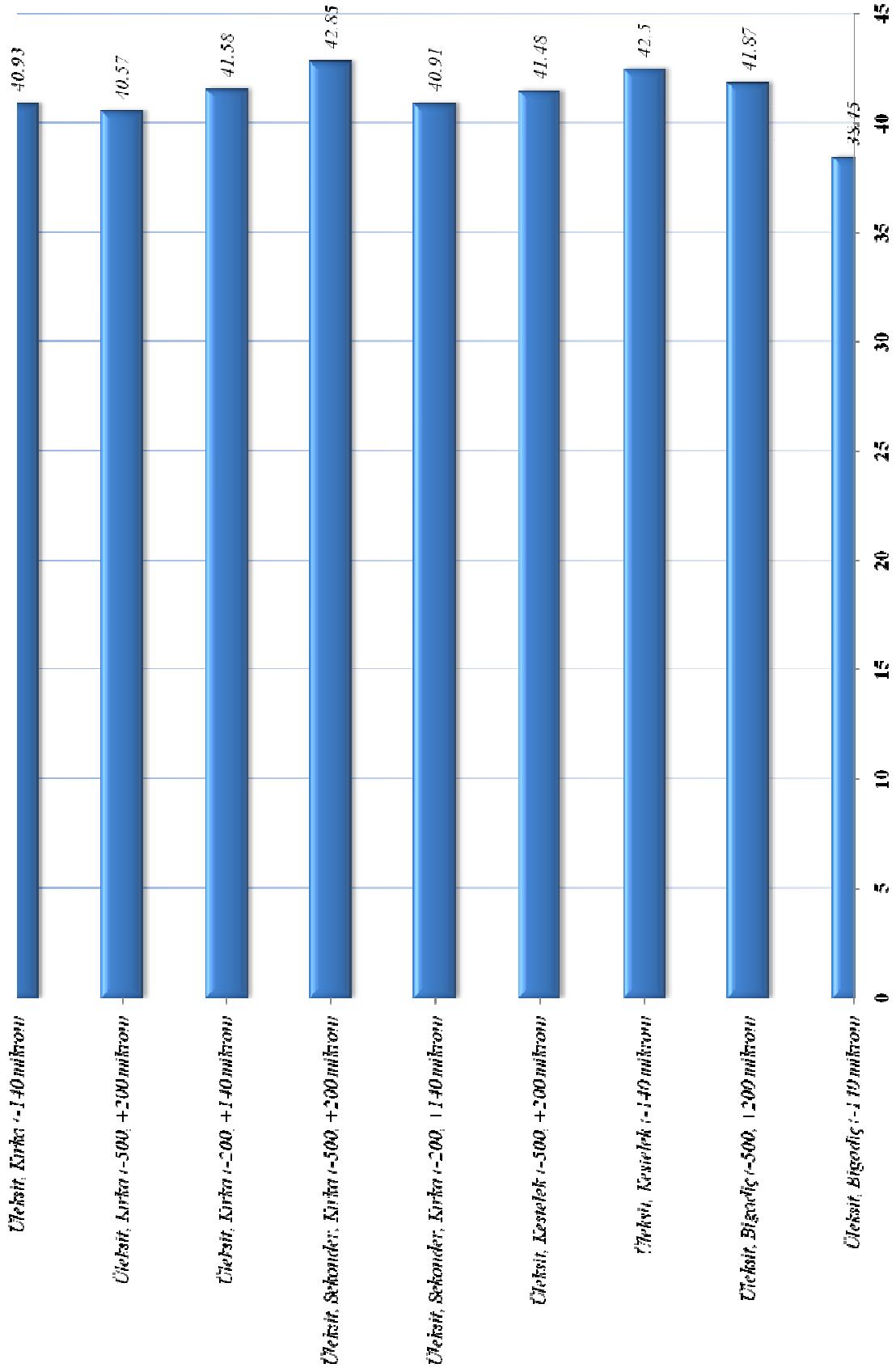
Sodyum-kalsiyum borat minerallerinin  $B_2O_3$  içerikleri Çizelge 6.16 ve Şekil 6.33’ de sunulmuştur. En yüksek  $B_2O_3$  içeriğine sahip mineralin % 42.85 ile Kırka bölgesi -500, +200 mikron tane boyutundaki sekonder üleksit, en düşük  $B_2O_3$  içeriğine sahip mineralin % 38.45 ile Bigadiç bölgesi -140 mikron tane boyutundaki üleksit olduğu saptanmıştır.

Çizelge 6.16 Sodyum-kalsiyum borat minerallerinin  $B_2O_3$  içerikleri

Mineral Türü	Tane Boyutu (mikron)	Bölge	$B_2O_3$ miktarı (%)
Üleksit	-140	Bigadiç	38.45
Üleksit	-500, +200	Bigadiç	41.87
Üleksit	-140	Kestelek	42.5
Üleksit	-500, +200	Kestelek	41.48
Üleksit, Sekonder	-200, +140	Kestelek	40.91
Üleksit, Sekonder	-500, +200	Kestelek	42.85
Üleksit	-200, +140	Kırka	41.58
Üleksit	-500, +200	Kırka	40.57
Üleksit	-140	Kırka	40.93

Sodyum-kalsiyum borat minerallerinin kalsiyum içerikleri Çizelge 6.17 ve Şekil 6.34’de sunulmuştur. Değerler incelendiğinde Kırka bölgesi -500, + 200 mikron tane boyutundaki üleksit’in 47.09 mg/ml ile diğer sodyum-kalsiyum minerallerinden daha fazla kalsiyum içerdiği görülmektedir. En düşük kalsiyum içeriğine sahip sodyum-kalsiyum borat minerali ise 12.02 mg/ml ile Kestelek bölgesi üleksit olduğu görülmektedir.

Sodyum-kalsiyum borat mineralleri için kalsiyum borat mineralleri gibi üç farklı kalınlık seçilmiş, elde bulunan numune miktarlarına göre bir, iki veya üç farklı numune kalınlıkları ile Howitzer deneyleri gerçekleştirmiştir. Numune pelet kalınlıkları Çizelge 6.18’da, nötron soğurma sonuçları Çizelge 6.19’da ve birim kalınlık karşılaştırmalı nötron soğurma sonuçları Şekil 6.35’de verilmiştir.



Şekil 6.33 Sodyum-kalsiyum borat minerallerinin B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içerikleri

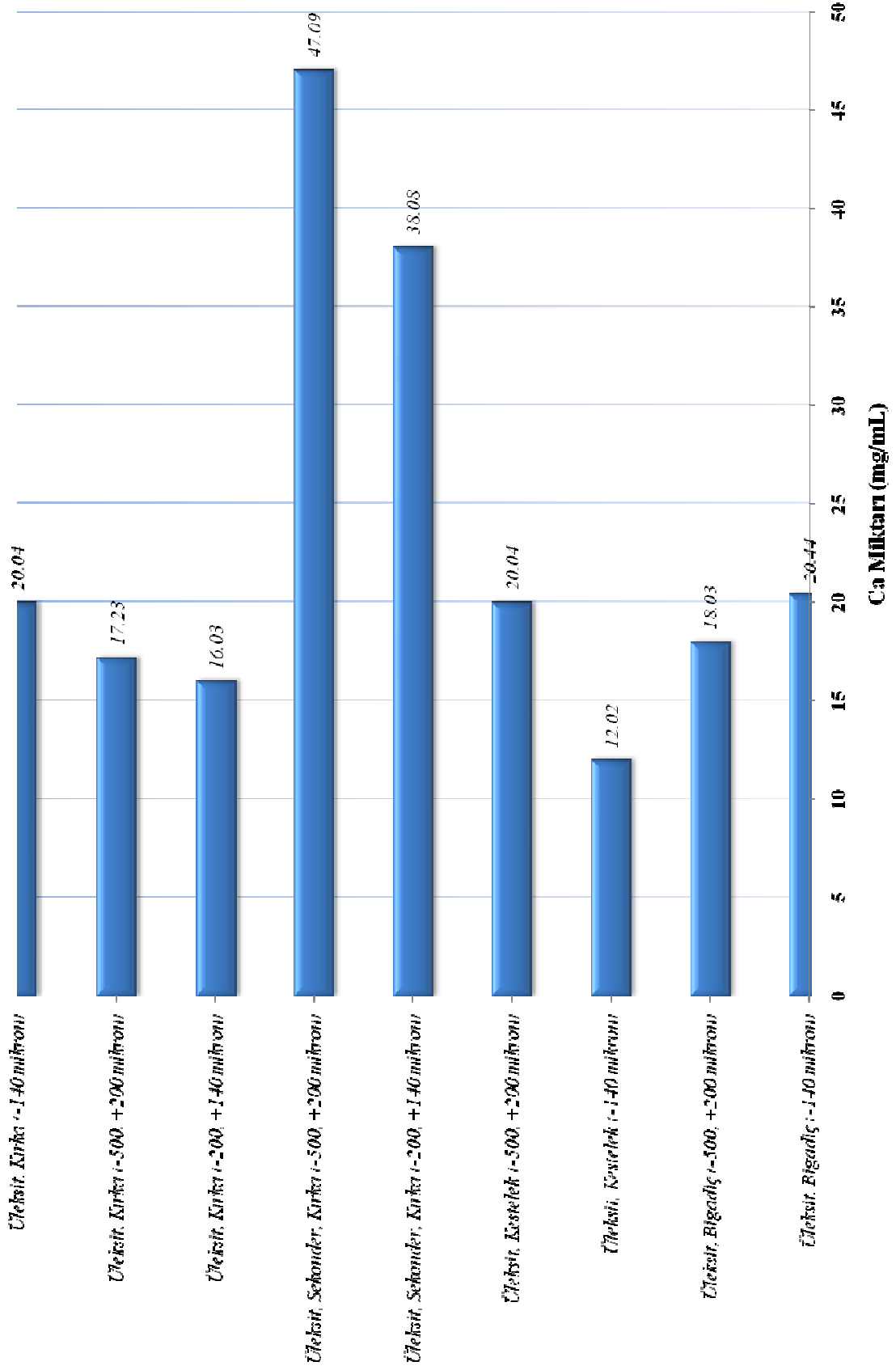


Çizelge 6.17 Sodyum-kalsiyum borat minerallerinin kalsiyum içerikleri

Mineral Türü	Tane Boyutu (mikron)	Bölge	Ca miktarı (mg/ml)
Üleksit	-140	Bigadiç	20.44
Üleksit	-500, +200	Bigadiç	18.03
Üleksit	-140	Kestelek	12.02
Üleksit	-500, +200	Kestelek	20.04
Üleksit, Sekonder	-200, +140	Kestelek	38.08
Üleksit, Sekonder	-500, +200	Kestelek	47.09
Üleksit	-200, +140	Kırka	16.03
Üleksit	-500, +200	Kırka	17.23
Üleksit	-140	Kırka	20.04

Çizelge 6.18 Sodyum-kalsiyum borat minerallerinin Howitzer deneyleri için hazırlanan pelet kalınlıkları

Mineral Türü	Tane Boyutu (mikron)	Bölge	Numune (pelet kalınlığı), cm			
			d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	d <sub>3</sub>	d <sub>top</sub>
Üleksit	-140	Bigadiç	0.55	-	-	0.550
Üleksit	-500, +200	Bigadiç	0.53	-	1.200	1.730
Üleksit	-140	Kestelek	0.56	-	-	0.560
Üleksit	-500, +200	Kestelek	0.53	0.780	1.260	2.570
Üleksit, Sekonder	-200, +140	Kırka	0.56	0.800	1.300	2.660
Üleksit, Sekonder	-500, +200	Kırka	0.55	0.800	1.300	2.650
Üleksit	-200, +140	Kırka	0.52	0.780	1.300	2.600
Üleksit	-500, +200	Kırka	0.534	0.776	1.200	2.510
Üleksit	-140	Kırka	0.527	0.780	1.300	2.607
Proberrit	-140	Kestelek	0.52	0.715	1.200	2.435



Şekil 6.34 Sodyum-kalsiyum borat minerallerinin Ca içerikleri

Çizelge 6.19 Sodyum-kalsiyum borat minerallerinin nötron soğurma sonuçları

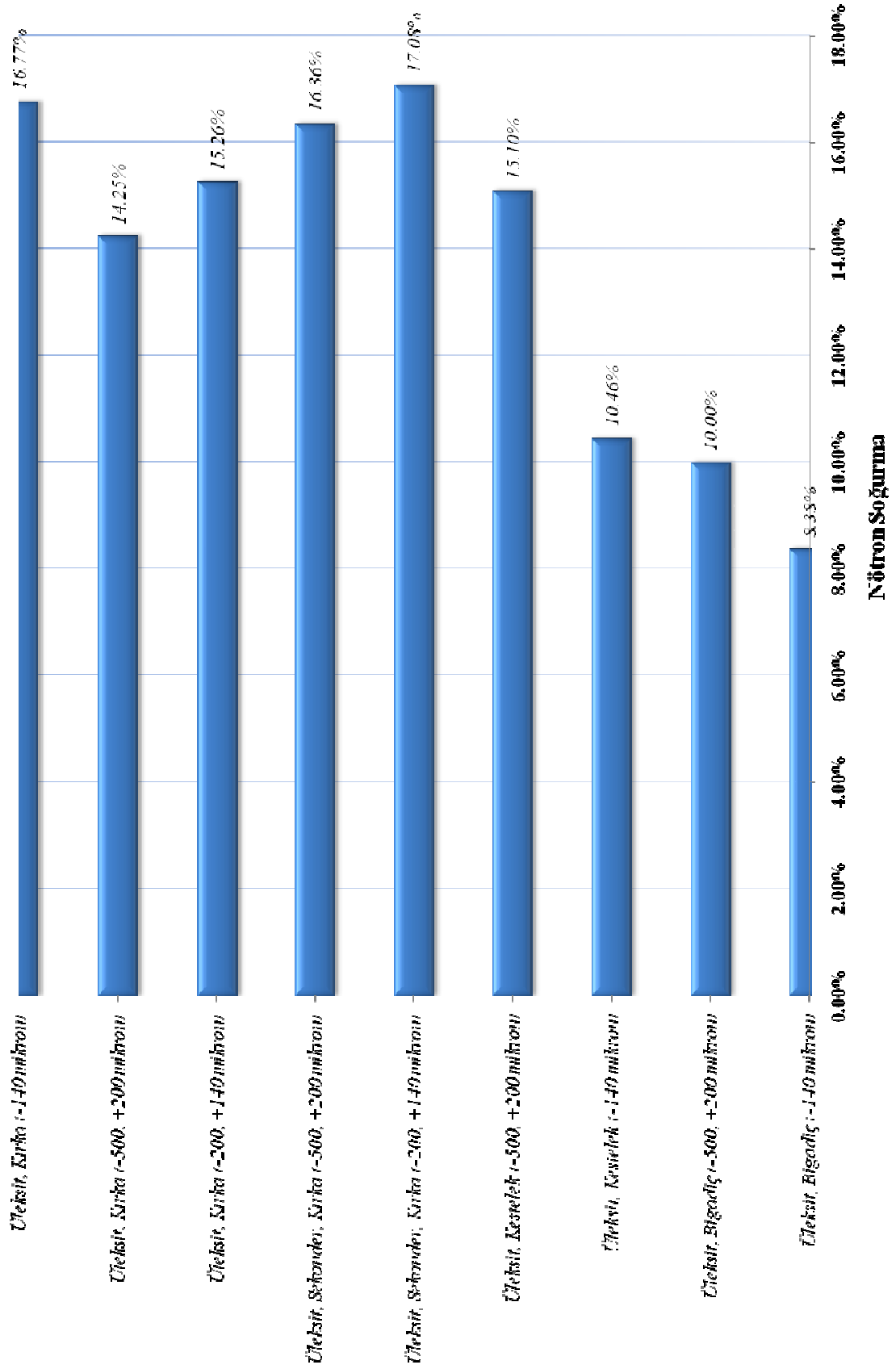
Mineral Türü	Tane Boyutu (mikron)	Bölge	Nötron Soğurma			
			d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	d <sub>3</sub>	I/I <sub>0</sub> / d <sub>ort</sub>
Üleksit	-140	Bigadiç	8.38%	-	-	8.38%
Üleksit	-500, +200	Bigadiç	8.08%	-	10.85%	10.00%
Üleksit	-140	Kestelek	10.46%	-	-	10.46%
Üleksit	-500, +200	Kestelek	9.47%	14.12%	18.07%	15.10%
Üleksit, Sekonder	-200, +140	Kırka	13.87%	15.04%	19.72%	17.08%
Üleksit, Sekonder	-500, +200	Kırka	13.39%	15.65%	18.05%	16.36%
Üleksit	-200, +140	Kırka	13.74%	14.19%	16.52%	15.26%
Üleksit	-500, +200	Kırka	7.60%	13.40%	17.76%	14.25%
Üleksit	-140	Kırka	13.10%	15.69%	18.91%	16.77%

Kırka bölgesi Üleksit'in nötron soğurma değerleri incelendiğinde, azalan tane boyutunda nötron soğurma oranının arttığı gözlemlenmiştir.

Aynı bölge sekonder üleksit'in nötron soğurma değerlerine bakıldığında azalan tane boyutuna göre gene nötron soğurma oranının arttığı gözlemlenmiş, Kestelek bölgesi Üleksit'e ait değerler incelendiğinde azalan tane boyutuna göre bu sefer nötron soğurma oranının azaldığı gözlemlenmiştir. Numune azlığı sebebi ile -140 mikron tane boyutunda sadece ince kalınlıkta (~0.5 cm) çalışma yapılmış, bu sebepten daha kalın numunelerde daha iyi sonuç verebileceği de göz ardı edilmemelidir.

Kestelek bölgesi üleksit gibi, Bigadiç bölgesi üleksit'in de az olması sebebi ile -140 mikron tane boyutunda sadece ince kalınlıkta (~0.5 cm) çalışma yapılmış ve azalan tane boyutuna göre bu sefer nötron soğurma oranının azaldığı gözlemlenmiştir. Bu iki numunenin daha kalın olarak ölçülmesi daha sağlıklı sonuçlar verecektir.

Bütün sodyum-kalsiyum borat minerallerinde artan numune kalınlığına bağlı olarak nötron soğurma oranları artmıştır.



Şekil 6.35 Sodyum-kalsiyum borat minerallerinin birim (1 cm) nötron soğurma sonuçları

Sodyum-kalsiyum borat minerallerinden en iyi nötron soğurma sonucunu % 17.08 ile -200, +140 mikron tane boyutundaki Kırka bölgesi sekonder üleksit, en kötü nötron soğurma sonucunu ise % 8.38 ile Bigadiç bölgesi üleksit vermiştir.

Sodyum-kalsiyum borat minerallerin bölge ve tane boyutuna bağlı olarak model denklemleri türetilmiş, çalışmanın Ek-2 kısmında türetilen denklemler ve grafikler sunulmuştur.

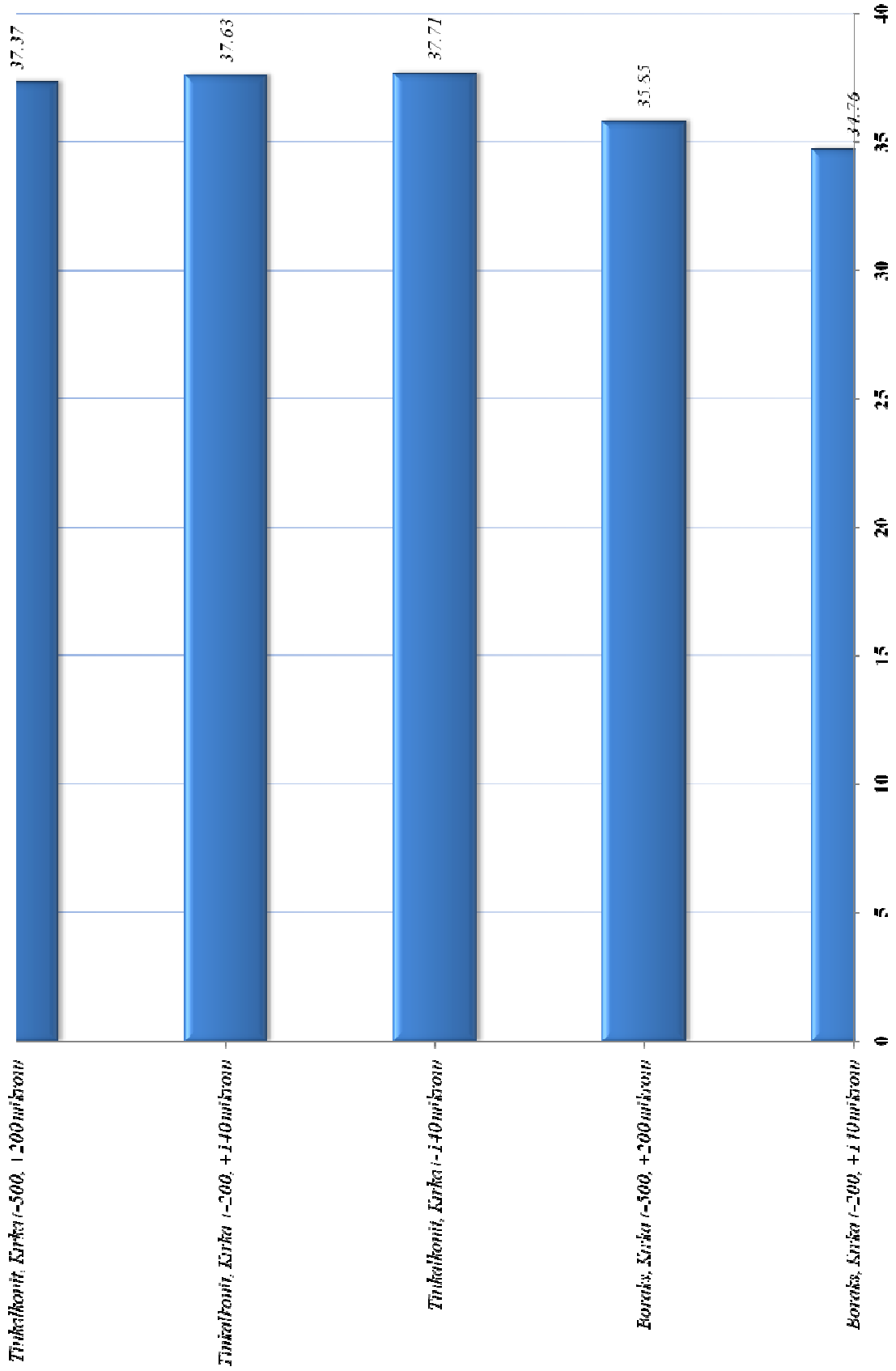
### 6.7.2.3 Sodyum boratlar

Sodyum borat minerallerinin  $B_2O_3$  içerikleri Çizelge 6.20 ve Şekil 6.36' de verilmiştir. En yüksek  $B_2O_3$  içeriğine sahip mineralin % 37.71 ile Kırka bölgesi -140 mikron tane boyutundaki tinkalkonit, en düşük  $B_2O_3$  içeriğine sahip mineralin % 34.76 ile Kırka bölgesi --200, +140 mikron tane boyutundaki Boraks olduğu saptanmıştır.

Çizelge 6.20 Sodyum borat minerallerinin  $B_2O_3$  içerikleri

Mineral Türü	Tane Boyutu (mikron)	Bölge	$B_2O_3$ miktarı (%)
Boraks	-200, +140	Kırka	34.76
Boraks	-500, +200	Kırka	35.85
Tinkalkonit	-140	Kırka	37.71
Tinkalkonit	-200, +140	Kırka	37.63
Tinkalkonit	-500, +200	Kırka	37.37

Sodyum borat mineralleri için diğer iki mineral grubu gibi üç farklı kalınlık seçilmiş ve Howitzer deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bir tek -500, +200 mikron tane boyutunda numune yetersizliği yüzünden iki farklı kalınlıkta çalışılmıştır. Numune pelet kalınlıkları Çizelge 6.21'de, nötron soğurma sonuçları Çizelge 6.22'de ve birim kalınlık karşılaştırmalı nötron soğurma sonuçları Şekil 6.37'de verilmiştir.



Şekil 6.36 Sodyum borat minerallerinin B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içerikleri

Çizelge 6.21 Sodyum borat minerallerinin Howitzer deneyleri için hazırlanan pelet kalınlıkları

Mineral Türü	Tane Boyutu (mikron)	Bölge	Numune (pelet kalınlığı), cm			
			d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	d <sub>3</sub>	d <sub>top</sub>
Boraks	-200, +140	Kırka	0.570	0.860	1.385	2.815
Boraks	-500, +200	Kırka	0.562	0.770	-	1.332
Tinkalkonit	-140	Kırka	0.570	0.840	1.400	2.810
Tinkalkonit	-200, +140	Kırka	0.560	0.810	1.400	2.770
Tinkalkonit	-500, +200	Kırka	0.426	0.558	1.300	2.284

Çizelge 6.22 Sodyum borat minerallerinin nötron soğurma sonuçları

Mineral Türü	Tane Boyutu (mikron)	Bölge	Nötron Soğurma			
			d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	d <sub>3</sub>	I/I <sub>0</sub> / d <sub>top</sub>
Boraks	-200, +140	Kırka	11.15%	13.35%	13.83%	13.11%
Boraks	-500, +200	Kırka	10.35%	13.51%	-	12.46%
Tinkalkonit	-140	Kırka	13.00%	15.03%	20.26%	16.72%
Tinkalkonit	-200, +140	Kırka	13.40%	15.30%	17.28%	15.72%
Tinkalkonit	-500, +200	Kırka	11.37%	13.29%	16.13%	14.04%

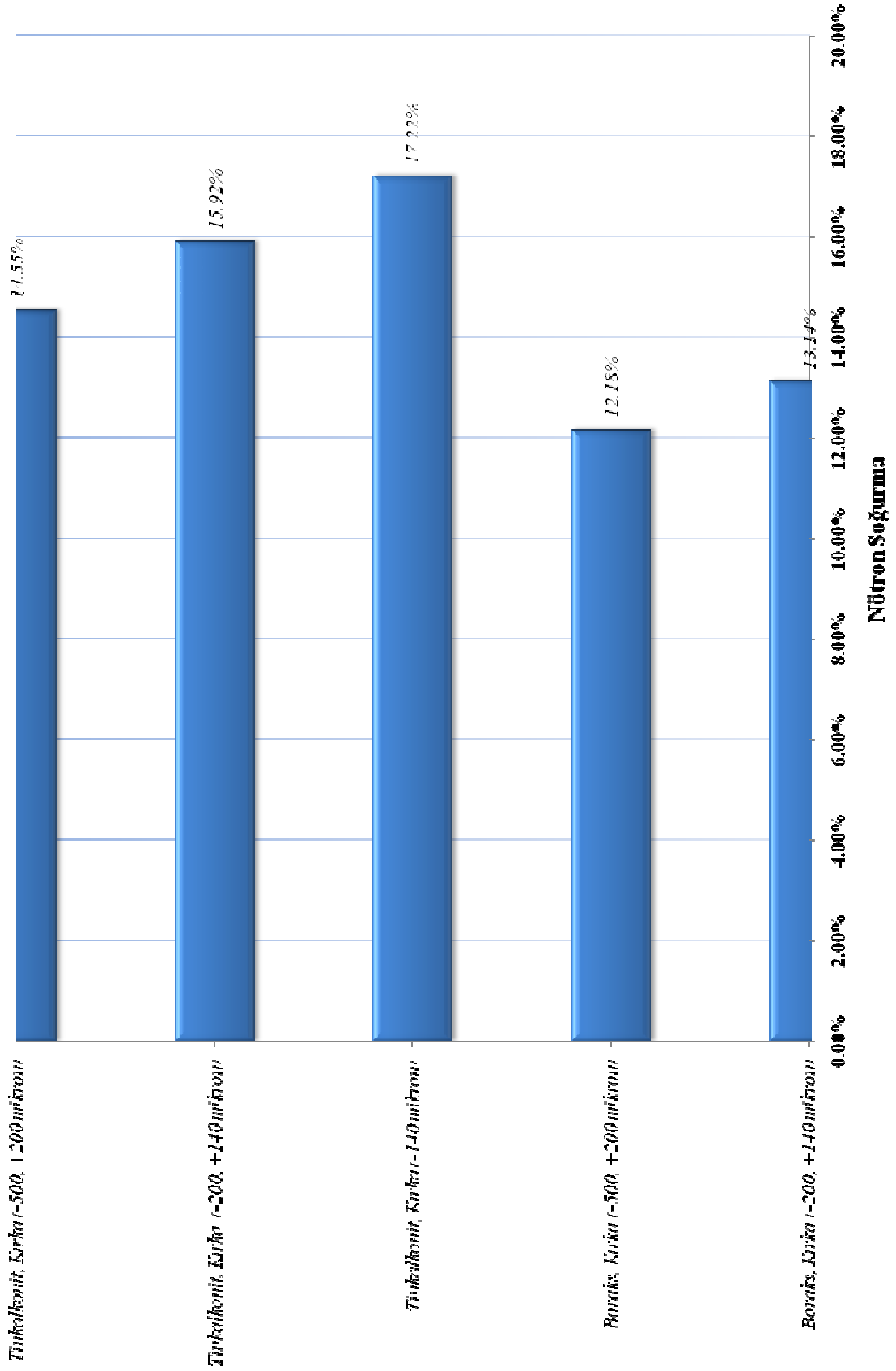
Kırka bölgesi Boraks ve Tinkalkonit'in nötron soğurma değerleri incelendiği zaman, azalan tane boyutunda nötron soğurma oranlarının arttığı görülmüştür.

Boraks ve Tinkalkonit'de artan numune kalınlığına bağlı olarak nötron soğurma oranları artmıştır.

Sodyum borat minerallerinden en iyi nötron soğurma sonucunu % 17.22 ile -140 mikron tane boyutundaki Kırka bölgesi tinkalkonit, en kötü nötron soğurma sonucunu ise % 12.18 ile Kırka bölgesi boraks vermiştir.

Tinkalkonit'in yapısında bulunan B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> oranı boraks mineralinden fazla olduğundan sonuçlar beklendiği gibidir.

Sodyum borat minerallerin bölge ve tane boyutuna bağlı olarak model denklemleri türetilmiş, çalışmanın Ek-3 kısmında türetilen denklemler ve grafikler sunulmuştur.



Şekil 6.37 Sodyum borat minerallerinin birim (1 cm) nötron soğurma sonuçları



## 6.8 Sonuçlar ve neriler

Yapılan bu çalışmada olası nükleer çalışmalarda ortaya çıkabilecek nötron radyasyonunu soğurmak için bor minerallerinin bir zırh malzemesi olarak kullanılabilirliği araştırılmış ve çeşitli sonuçlara varılmıştır.

Zırh malzemesi olarak bor minerallerinin seçiminde en önemli etkenlerden biri termal nötron yutma tesir kesiti büyük olan bor elementidir. Bu sebeple deneylerde kullanılan bor minerallerinin bor oksit değerleri incelenmiş ve ağırlıkça % 35 ile % 52 arasında değiştiği hesaplanmıştır.

Ülkemizin dünyanın en büyük bor rezervlerine sahip olması da oluşturulabilecek zırhın kaynağına yerel erişebilirliğinin yüksek olduğunun bir göstergesidir.

Yapılan termal analizlerin sonucu olarak, boraks'ın yapısının 100 C'den önce yapısal suyunu kaybettiği, inyoit, inderit ve kurnakovit'in yapılarının 150 C'den önce yapısal suyunu kaybettiği ve breşli kolemanit'in yapısının 350 C'den önce yapısal suyunu kaybettiği ortaya çıkmıştır. Hidrojen elementi nötron radyasyonunun tutulmasında önemli rol oynadığı için yapısal suyu fazla olan bor bileşikleri daha fazla nötron tutacaktır. Bu sebeple eğer boraks kullanılmak istenirse yüksek sıcaklıklarda kullanılması verimli olamayacaktır. Aynı şekilde zırh malzemesi tasarımında yapısal su kaybetme sıcaklıklarının göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

Howitzer deneylerinde kullanılan pelet numunelerin yıllar geçtikte geçirgenliklerinin artmasına neden olarak yapılarında zamanla mikro çatlakların oluştuğu söylenebilir. Numunelerin oniki yıl boyunca açık hava ortamında tutulduğu ve herhangi bir yapısal bozulmaya karşı önlem alınmadığı düşünülürse, numunelerin geçirgenliklerinin artması beklenmeyen bir durum değildir. Nötron absorpsiyonu amacı ile kullanılacak olan bor minerallerinin hava ile temasının olmadığı veya çok az olacağı hatta sert bir muhafaza alanı içerisinde tutulması olası geçirgenlik kayıplarını önleyecektir.

Bu çalışmada elde edilen bulgulardan ortaya çıkan sonuçlara göre bor minerallerinden zırh malzemesi olarak ve uzun vadede kullanabilmek için sert bir muhafaza alanı içerisinde tutulması örneğin bir beton karışımı içerisine eklemek uygun olabilir; deneysel olarak araştırılmalıdır.

Deneysel bulgulardan yola çıkarak kurnakovit'in diğer bor minerallerine göre yüksek nötron tutma kapasitesine sahip olduğunu söylemek mümkündür. Boroksit miktarlarına bakıldığında diğer bor minerallerinden daha az miktarda bulunsa da yapısında bulunan hidrojen

atomlarının fazlalığı daha fazla nötron tutmasına olanak sağlamaktadır. İnderit'in kurnakovit ile benzer yapıda olduğu hatta aynı sayıda aynı elementleri içerdiği göz önüne alınırsa, inderit'in kurnakovit gibi yüksek nötron tutma özelliğinin olması gerektiği düşünülebilir. Ama deneysel bulgulara bakılırsa inderit'in, kurnakovit gibi yüksek nötron tutma oranına sahip olmadığı görülmektedir. Her ne kadar kapalı formülleri birbirinin aynısı olsa da, bağlanmalarının farklı olmasından kaynaklanan bu fark kurnakovit'i, inyonit'e göre daha kullanılabilir kılmaktadır.

Çalışmanın son kısmı detaylı incelendiğinde Türkiye'de bulunan üç farklı kategorideki borat minerallerinin (Kalsiyum boratlar, sodyum-kalsiyum boratlar, sodyum boratlar) çeşitli tane boyutlarında (mikron) göstermiş oldukları nötron soğurma oranları incelenmiş ve her bir numuneye ve tane boyutuna özgü model denklemler türetilmiştir.

Kalsiyum borat minerallerinden en iyi nötron soğurma sonucunu % 15.45 ile -140 mikron tane boyutundaki Kestelek bölgesi kolemanit, sodyum-kalsiyum borat minerallerinden en iyi nötron soğurma sonucunu % 17.08 ile -200, +140 mikron tane boyutundaki Kırka bölgesi sekonder üleksit ve son olarak Sodyum borat minerallerinden en iyi nötron soğurma sonucunu % 17.22 ile -140 mikron tane boyutundaki Kırka bölgesi tinkalkonit vermiştir.

Üç farklı kategoride yapılan deney sonuçlarından yola çıkarak yapısında kalsiyumdan ziyade sodyum bulunan minerallerin daha fazla nötron soğurdukları saptanmıştır.  $B_2O_3$  oranı gibi sodyum oranı da nötron soğurma da önemli rol oynamaktadır.

**KAYNAKLAR**

- Adib, M., Kilany M. (2003), "On the Use of Bismuth as a Neutron Filter", *Radiation Physics and Chemistry*, 66: 81–88.
- Aksüt, C. (1985), "Nötron Radyasyonuna karşı Taşınabilir Zırh Blokları", İTÜ Nükleer Enerji Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Bozbiyık, A., Özdemir, C., Halit H. (2002) "Radyasyon Yaralanmaları ve Korunma Yöntemleri", *stet*, 11-7:272-274.
- Buiyan, S. I., Ahmed, F. U. (1989) "Studies of the Neutron Transport and Shielding Properties of Locally Developed Shielding Mineral: Poly-Boron", *Health Physics*, 57-5:819-824.
- Cellia, M., Grazzia, F., Zoppia, M. (2006), "A New Ceramic Material for Shielding Pulsed Neutron Scattering Instruments", *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A*, 565: 861–863.
- Chichester, D. L., Blackburn B.W. (2007), "Radiation Fields from Neutron Generators Shielded with Different Materials", *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*, 261: 845–849.
- Davies, T. W., Çolak, S., Hooper R. M. (1991), "Boric Acid Production by the Calcination and Leaching of Powdered Colemanite", *Powder Technol.*, 65:433-440.
- DPT (2006), Dokuzuncu Kalkınma Planı (2007–2013), Kimya Sanayii Özel İhtisas Komisyonu, Bor Çalışma Grubu Raporu.
- Erdoğan, Y., Zeybek, A., Şahin, A., Demirbaş, A. (1999), "Dehydration Kinetics of Howlite, Ulexite, and Tunnelite Using Termogravimetric Data", *Thermochim. Acta* 326:99-103.
- Ersez, T., Braoudakis, G., Osborn, J. C. (2006), "Radiation Shielding for Neutron Guides", *Physica B* 385–386: 1268–1270.
- Eymir, Ç., Okur, H. (2005), "Dehydration of Ulexite by Microwave Heating", *Thermochimica Acta*, 428:125-129.
- Gündüz, G. (1980), "Kolemanit, Barit ve Polimer Kullanarak Nükleer Işınlamaya Karşı Yeni Zırhlama Malzemelerinin Yapımı", ODTÜ Mühendislik Fakültesi, Doçentlik Tezi.
- Gwaily, S. E., Badawy, M. M., Hassan, H. H., Madani, M. (2002), "Natural Rubber Composites as Thermal Neutron Radiation Shields I. B<sub>4</sub>C/NR Composites", *Polymer Testing*, 21: 129–133.

Helvacı, C., (2004), “Türkiye Borat Yatakları: Jeolojik Konumu, Ekonomik Önemi ve Bor Politikası”, 5. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, 13-14 Mayıs 2004, İzmir, Türkiye.

Pişkin, S., (1983), "Hidrate Bor Minerallerinin Termik Özellikleri", Doktora Tezi, İTÜ Maden Fakültesi.

Kılınç, E., Mordoğan, H., Tanrıverdi, M., (2001), “Bor Minerallerinin Önemi, Potansiyeli, Üretimi ve Ekonomisi”, 4. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, 18-19 Ekim 2001, İzmir, Türkiye.

Köklü, M., Özyetiş, Ö., Maraşlıoğlu, D., Yavuklu, E., Çelen, B., Tufan, T., Gündüz, M., (2003) “Kalsiyum Borat Analizlerinde Gelişmeler”, Türkiye 18. Uluslar arası Madencilik Kongresi ve Sergisi – IMCET 2003, ISBN 975-395-606-1, 141-146, Antalya.

Morioka, A., Sakurai, S., Okuno, K., Sato, S., Verzirov, Y., Kaminaga, A., Nishitani, T., Tamai, H., Kudo, Y., Yoshida, S., Matsukawa M. (2007), “Development of 300°C heat resistant boron-loaded resin for neutron shielding”, Journal of Nuclear Materials, 367–370: 1085–1089.

Murray, R. L., (2000), An Introduction to the Concepts, Systems, and Applications of Nuclear Processes, Fifth Edition, Butterworth Heinemann, USA.

Tunç, M., Erşahan, H., Yapıcı, S., Çolak, S. (1997), “Dehydration Kinetics of Ulexite From Thermogravimetric Data”, J. Therm. Anal. 48:403-411.

Sakuraia, Y., Sasakib, A., Kobayashi T. (2004), “Development of Neutron Shielding Material Using Metathesis-Polymer Matrix”, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A, 522: 455–461.

Sarıhan, E., (2006), Bor Sektör Profili, İstanbul Ticaret Odası, 28.

Singh, N., Singh, K.J., Singh, K., Singh H. (2004), “Comparative Study of Lead Borate and Bismuth Lead Borate Glass Systems as Gamma-Radiation Shielding Materials”, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B, 225: 305–309.

Uyanık, T., (2006), Maden ve Mineraller, İGEME, T. C. Başbakanlık Dış Ticaret Müsteşarlığı İhracatı Geliştirme Etüd Merkezi, 11.

Yarar, Y. (1987), “Türk Kolemanitlerinin Nötronlara Karşı Taşınabilir Beton Zırhlama Bloklarında Kullanımı”, İTÜ Nükleer Enerji Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

Yarar, Y. (1994), “Kolemanitli Betonların Nötron Etkinliğinin ve Aktivitesinin İncelenmesi”, İTÜ Nükleer Enerji Enstitüsü, Doktora Tezi.

Yılmaz, F. (1996), “Türkiye’de Bulunan Hidrate Bor Minerallerinin Nötron Zırhlama Etkinliklerinin Araştırılması”, İTÜ Nükleer Enerji Enstitüsü, Doktora Tezi.

Yiğit, Z. (1996), “Endüstriyel Atık Malzemesi olan Kağıt ile Bor Elementi Kullanılarak Etkili Bir Zırh Geliştirilmesi, İTÜ Nükleer Enerji Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

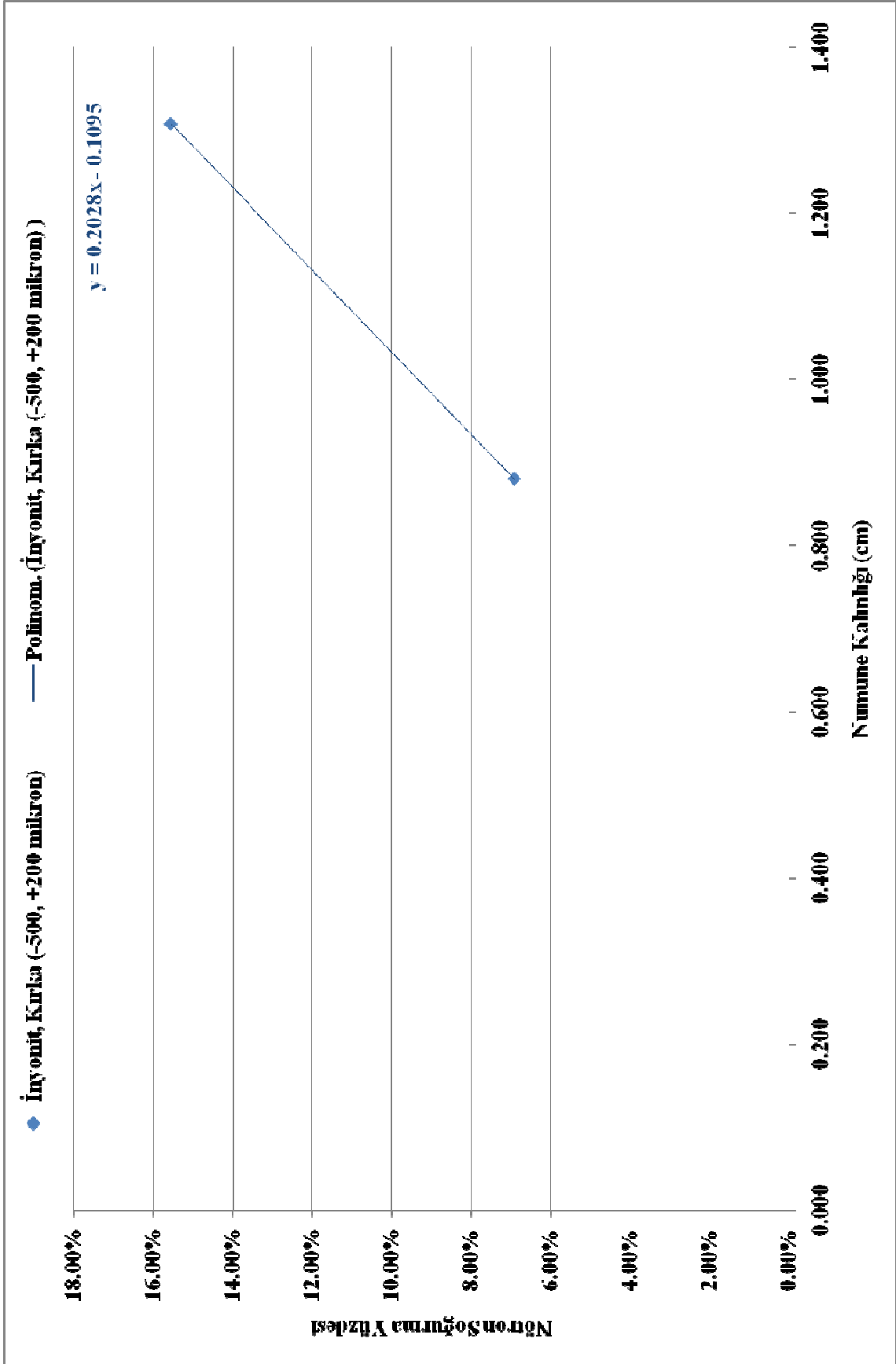
## **İNTERNET KAYNAKLARI**

- [1] <http://www.borax.com/borates2.html>
- [2] <http://www.mindat.org>
- [3] [http://cevikinsaat.com.tr/mediac/450\\_0/media/IMG\\_1467.jpg](http://cevikinsaat.com.tr/mediac/450_0/media/IMG_1467.jpg)
- [4] <http://www.yorumticaret.com/camelyaf.gif>
- [5] [http://shiftdelete.net/site/images/stories/2006/12/fiber\\_optik\\_kablo.jpg](http://shiftdelete.net/site/images/stories/2006/12/fiber_optik_kablo.jpg)
- [6] <http://www.bilgiustam.com/resimler/2008/03/fiber.jpg>
- [7] <http://www.ildam.com/estore/resimler/501.jpg>
- [8] [http://www.mrgadget.com.au/catalog/images/samsung\\_930bf\\_19inch\\_lcd\\_monitor.jpg](http://www.mrgadget.com.au/catalog/images/samsung_930bf_19inch_lcd_monitor.jpg)
- [9] [http://www.case.edu/nanobook/images/f\\_Singer.jpg](http://www.case.edu/nanobook/images/f_Singer.jpg)
- [10] [http://www.tool.com.gt/images/monitor\\_CRT\\_17.jpg](http://www.tool.com.gt/images/monitor_CRT_17.jpg)
- [11] <http://www.theharrowgroup.com/articles/20020107/CRT.jpg>
- [12] [http://www.lakewoodconferences.com/direct/dbimage/50264359/Fire\\_Retardant\\_Sponge.jpg](http://www.lakewoodconferences.com/direct/dbimage/50264359/Fire_Retardant_Sponge.jpg)
- [13] <http://www.westernsafety.com/altaindustries/altapg2-fire-retardant.jpg>
- [14] <http://www.lunainnovations.com/technologies/images/flame.jpg>
- [15] <http://www.aycanaviation.com/tr/images/ge90.jpg>
- [16] <http://www.specmaterials.com/images/boronetc/BoronPrepregTapePhoto1.jpg>
- [17] [http://www.maxmoto.co.uk/images/aprilia\\_fuel\\_cell\\_2l.jpg](http://www.maxmoto.co.uk/images/aprilia_fuel_cell_2l.jpg)
- [18] [http://img1.blogcu.com/images/b/o/r/bormadeni/fuze\\_ucus\\_yakitlari.jpg](http://img1.blogcu.com/images/b/o/r/bormadeni/fuze_ucus_yakitlari.jpg)
- [19] <http://www.etimaden.gov.tr>

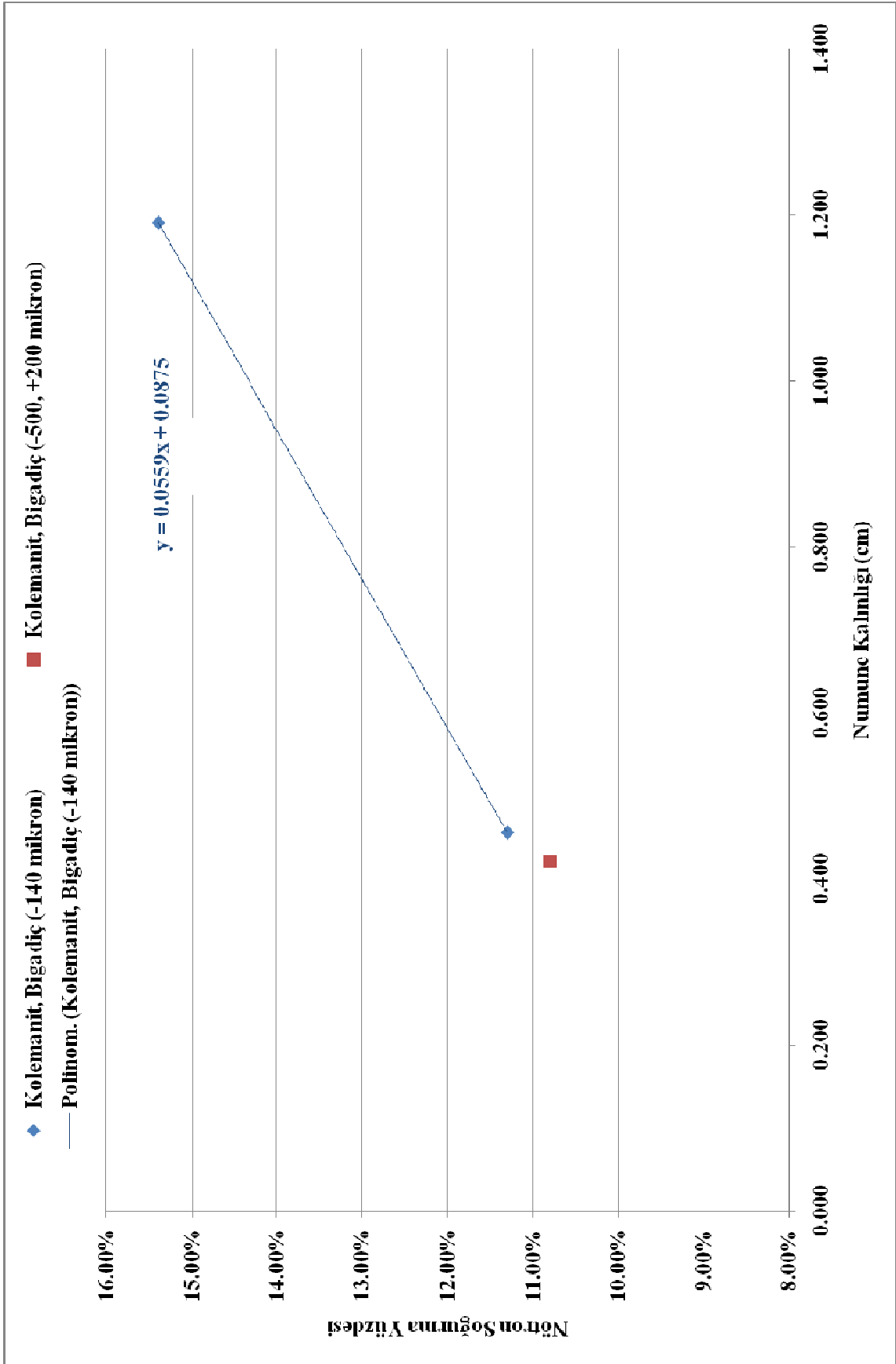
**EKLER**

- Ek 1a Kırka İnyonit'in Model Grafik ve Denklemi
- Ek 1b Bigadiç Kolemanit'in Model Grafik ve Denklemi
- Ek 1c Emet Kolemanit'in Model Grafik ve Denklemi
- Ek 1d Kestelek Kolemanit'in Model Grafik ve Denklemi
- Ek 1e Emet Arsenikli Kolemanit'in Model Grafik ve Denklemi
- Ek 1f Bigadiç Breşli Kolemanit'in Model Grafik ve Denklemi
- Ek 1g Bigadiç Pandemit'in Model Grafik ve Denklemi
- Ek 1h Kalsiyum-Borat Minerallerinin Model Denklem Çizelgesi
- Ek 2a Bigadiç Üleksit'in Model Grafik ve Denklemi
- Ek 2b Kestelek Üleksit'in Model Grafik ve Denklemi
- Ek 2c Kestelek Sekonder Üleksit'in Model Grafik ve Denklemi
- Ek 2d Kırka Üleksit'in Model Grafik ve Denklemi
- Ek 2e Sodyum-Kalsiyum-Borat Minerallerinin Model Denklem Çizelgesi
- Ek 3a Kırka Boraks'ın Model Grafik ve Denklemi
- Ek 3b Kırka Tinkalkonit'ın Model Grafik ve Denklemi
- Ek 3c Sodyum-Borat Minerallerinin Model Denklem Çizelgesi

## Ek 1a Kırka İnyonit'in Model Grafik ve Denklemi

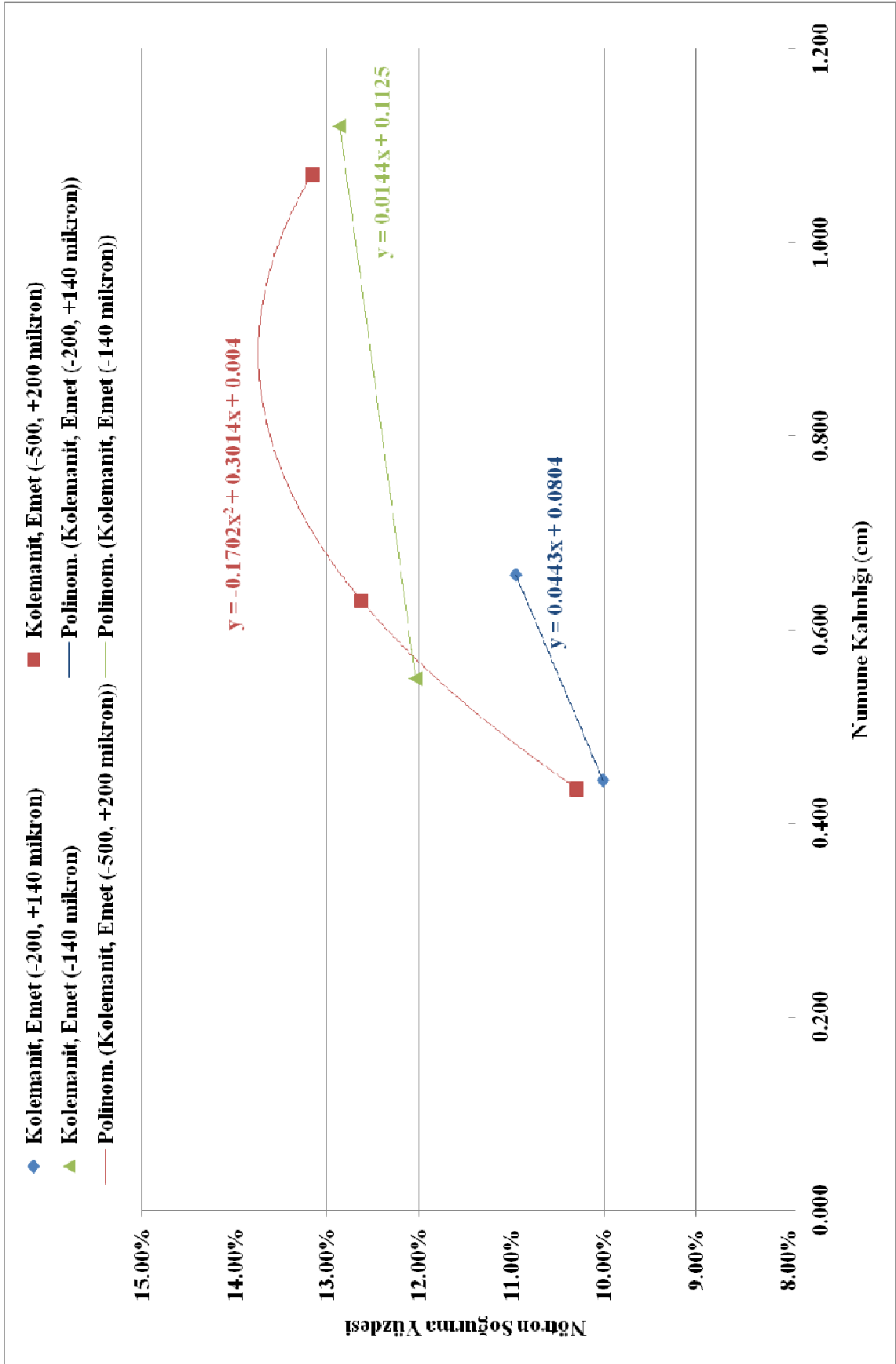


## Ek 1b Bigadiç Kolemanit'in Model Grafik ve Denklemi

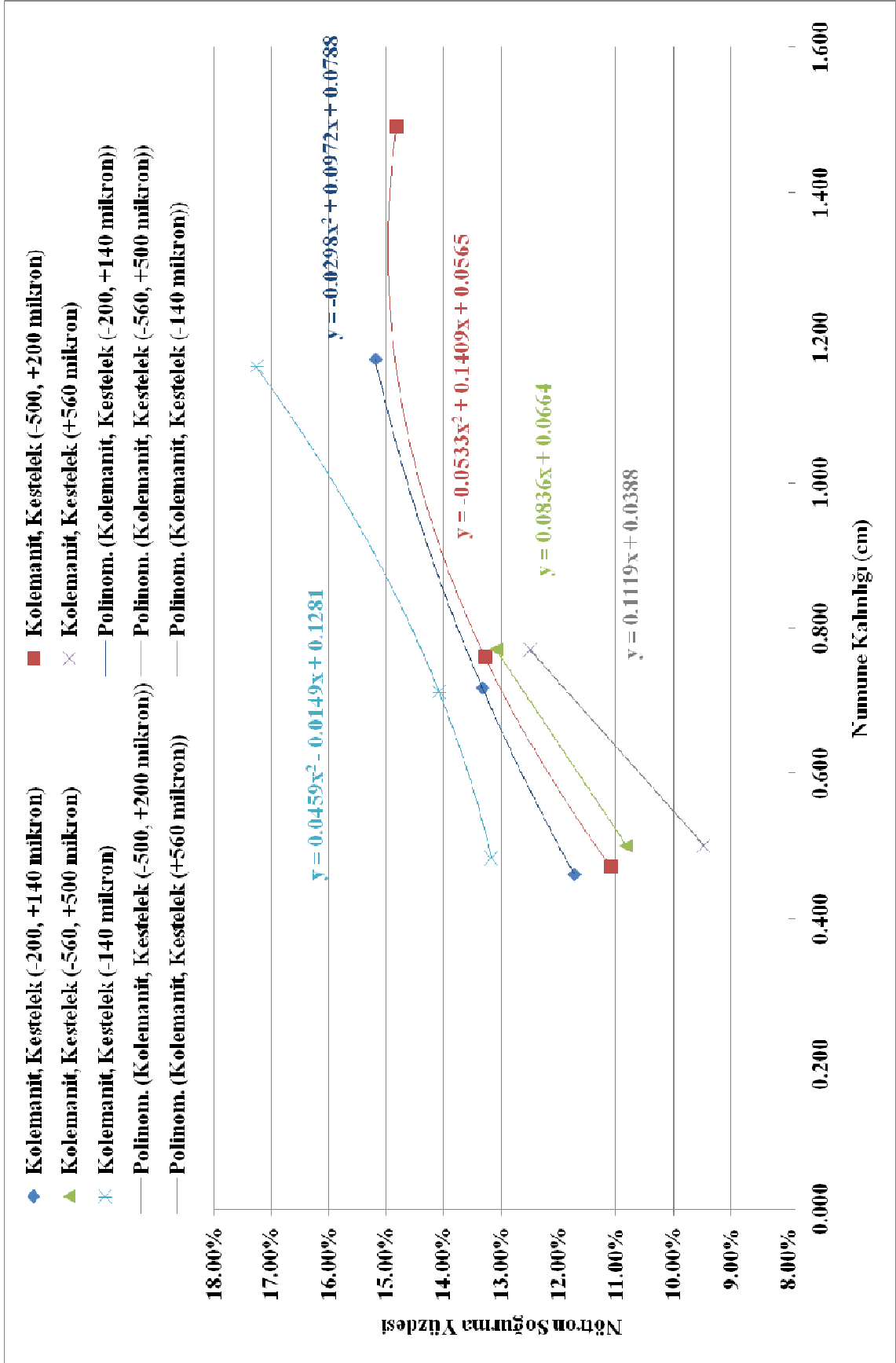




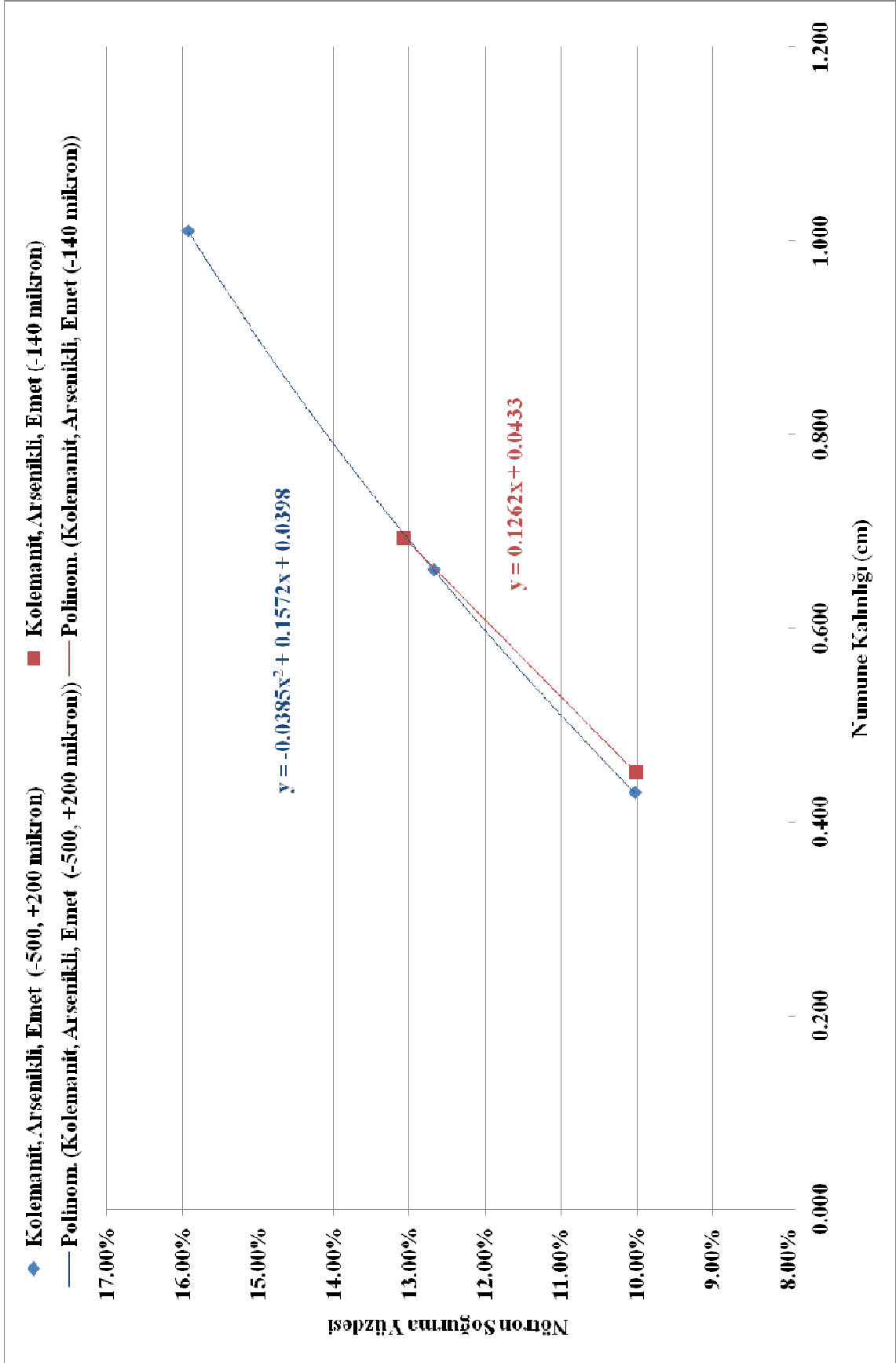
## Ek 1c Emet Kolemanit'in Model Grafik ve Denklemi



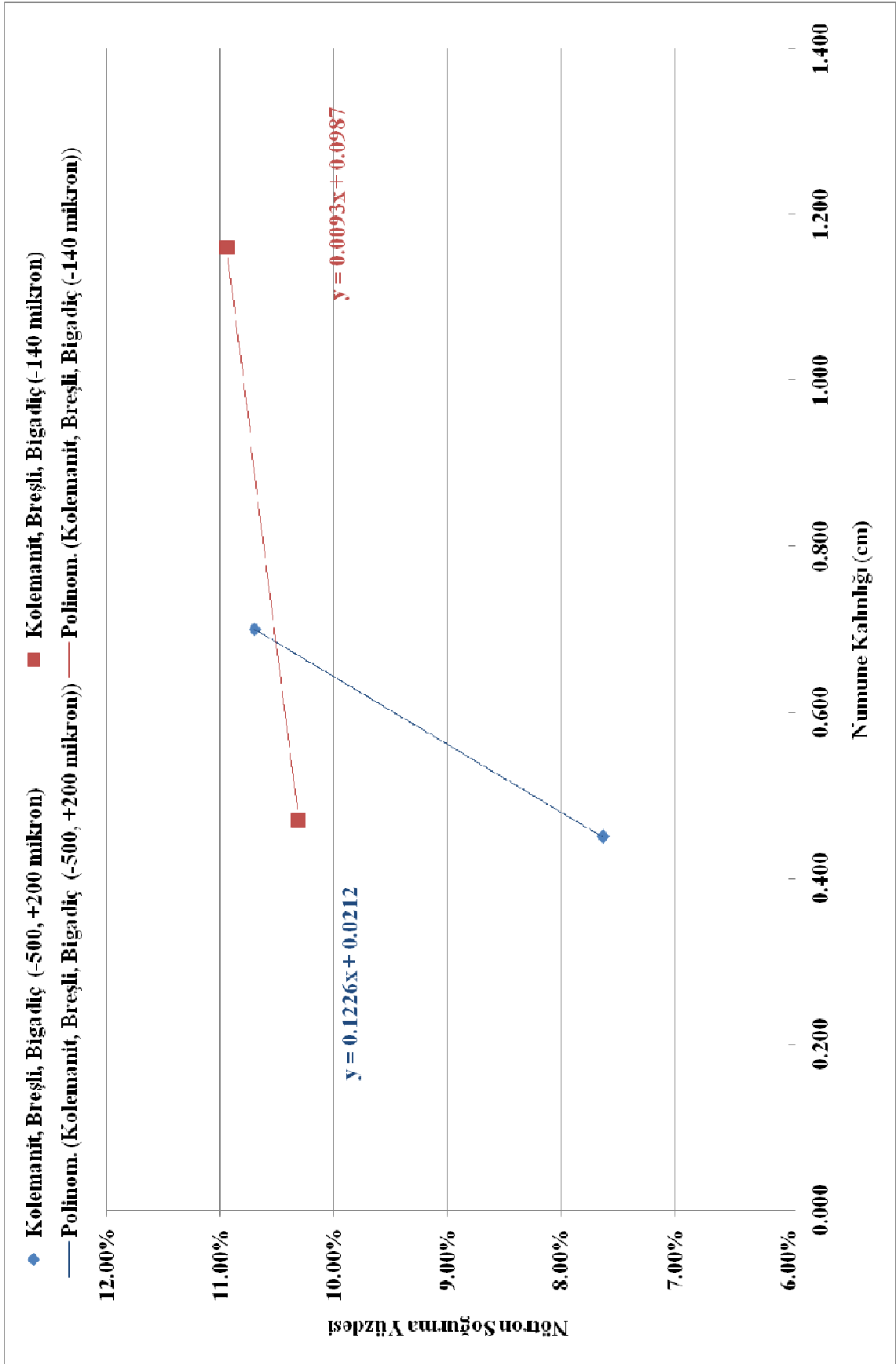
## Ek 1d Kestek Kolemanti'n Model Grafik ve Denklemi



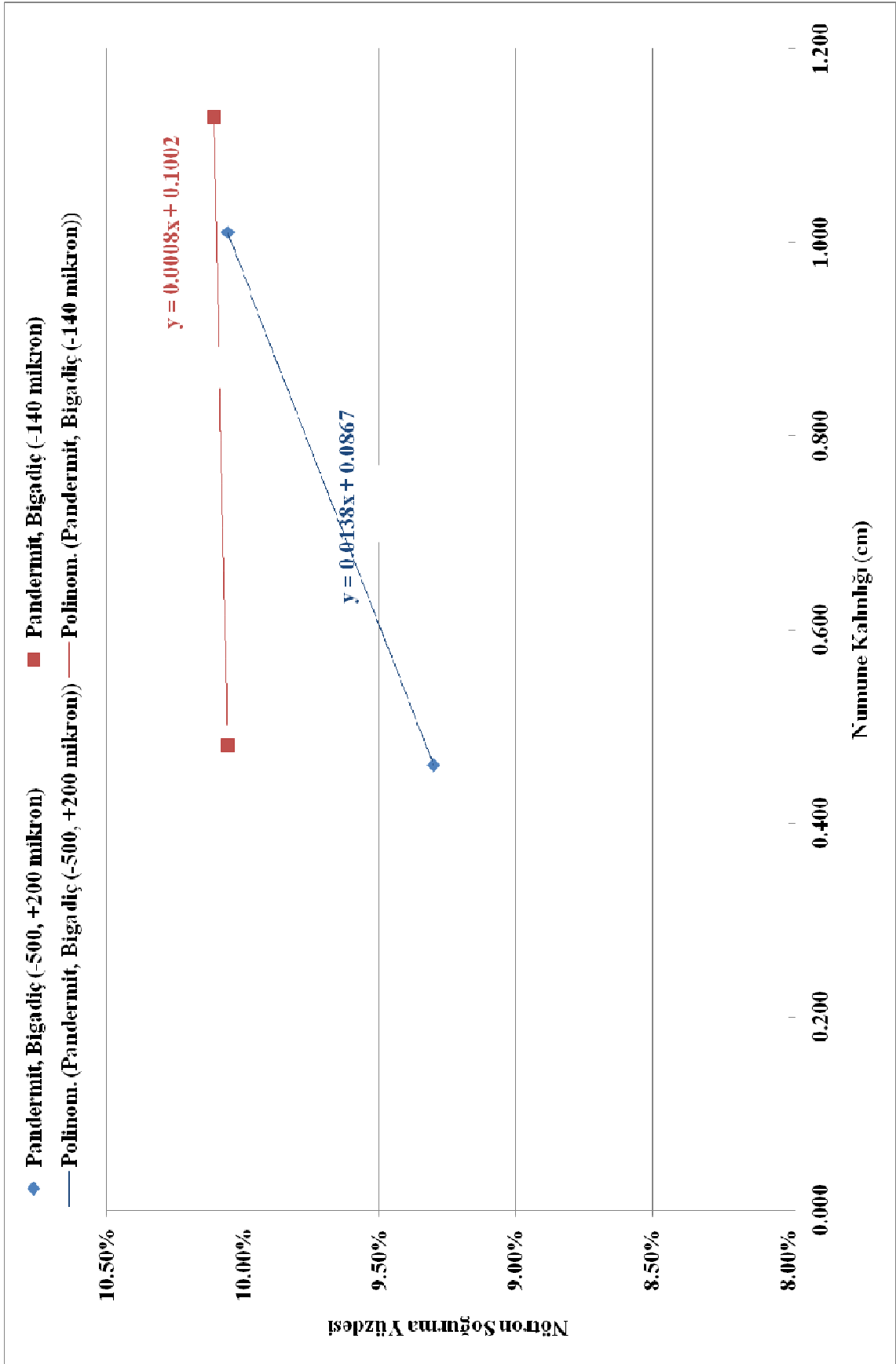
## Ek 1e Emet Arsenikli Kolemanit'in Model Grafik ve Denklemleri



## Ek 1f Bigadiç Breşli Kolemanit'in Model Grafik ve Denklemi



## Ek 1g Bigadiç Pandermit'in Model Grafik ve Denklemi



**Ek 1h Kalsiyum-Borat Minerallerinin Model Denklem Çizelgesi**

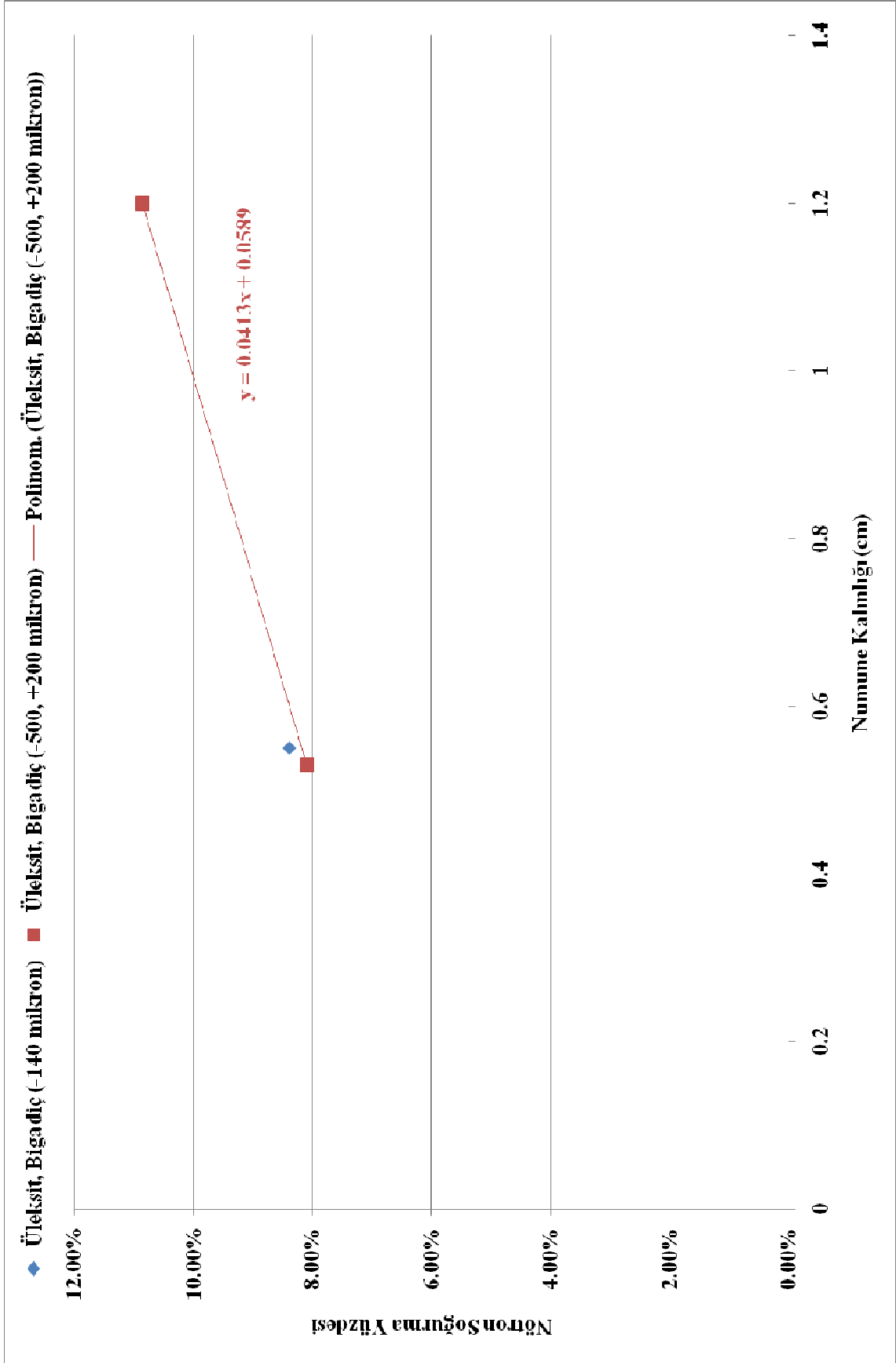
$$\text{Model Denklem} \rightarrow y = ax^2 + bx + c$$

$$y = \text{Nötron soğurma (\%)}$$

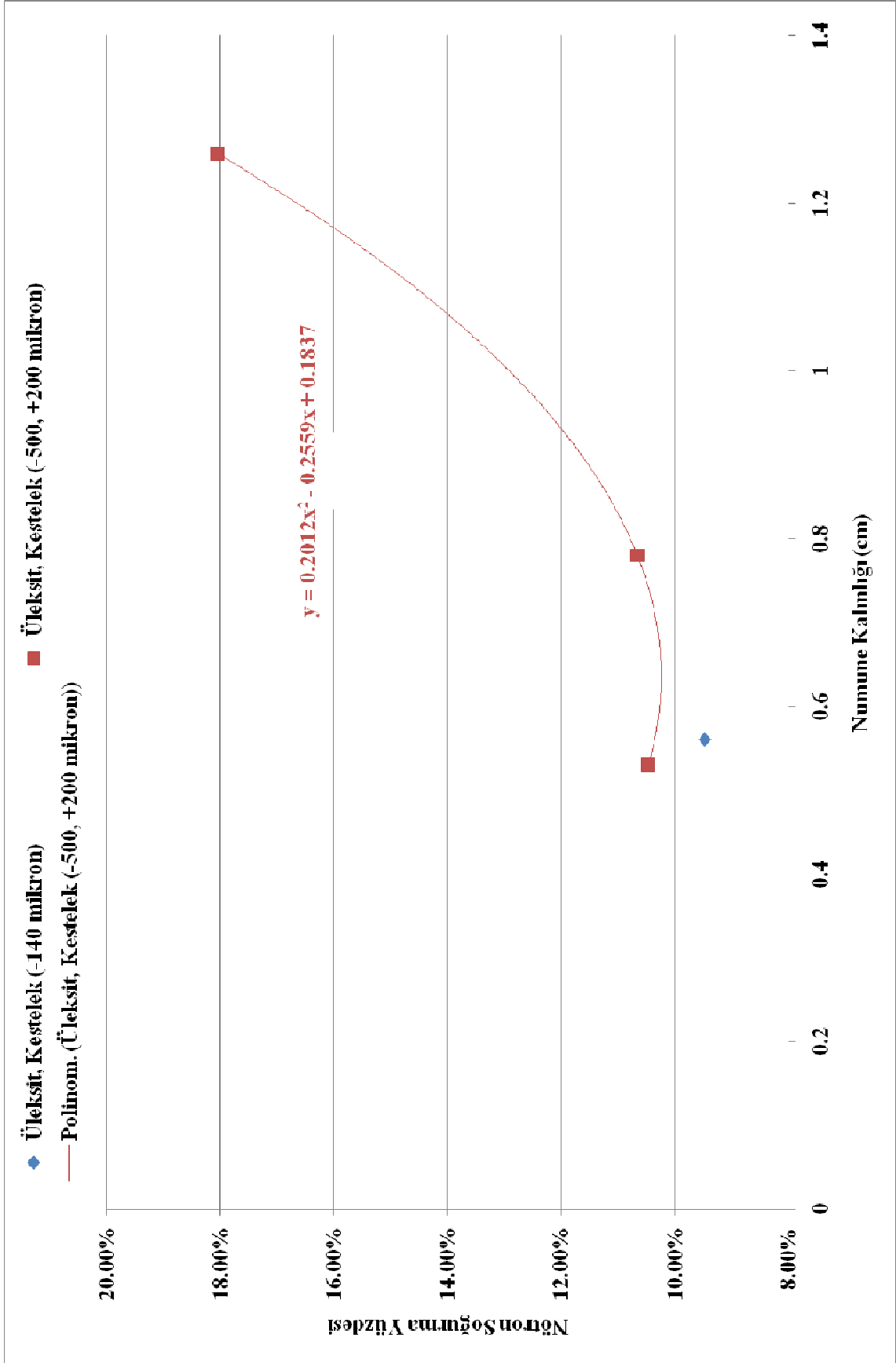
$$x = \text{numune pelet kalınlığı (cm)}$$

Mineral Türü	Tane Boyutu (mikron)	Bölge	a	b	c
İnyonit	-500, +200	Kırka	-	0.2028	-0.1095
Kolemanit	-500, +200	Bigadiç	-	-	-
Kolemanit	-140	Bigadiç	-	0.0559	0.0875
Kolemanit	-200, +140	Emet	-	0.0443	0.0804
Kolemanit	-500, +200	Emet	0.1702	0.3014	0.0040
Kolemanit	-140	Emet	-	0.0144	0.1125
Kolemanit	-200, +140	Kestelek	-0.0298	0.0972	0.0788
Kolemanit	-500, +200	Kestelek	-0.0533	0.1409	0.0565
Kolemanit	-560, +500	Kestelek	-	0.0836	0.0664
Kolemanit	+560	Kestelek	-	0.1119	0.0388
Kolemanit	-140	Kestelek	0.0459	-0.0149	0.1281
Kolemanit, Arsenikli	-500, +200	Emet	-0.0385	0.1572	0.0398
Kolemanit, Arsenikli	-140	Emet	-	0.1262	0.0433
Kolemanit, Breşli	-500, +200	Bigadiç	-	0.1226	0.0212
Kolemanit, Breşli	-140	Bigadiç	-	0.0093	0.0987
Pandermit	-500, +200	Bigadiç	-	0.0138	0.0867
Pandermit	-140	Bigadiç	-	0.0008	0.1002

## Ek 2a Bigadiç Üleksit'in Model Grafik ve Denklemi

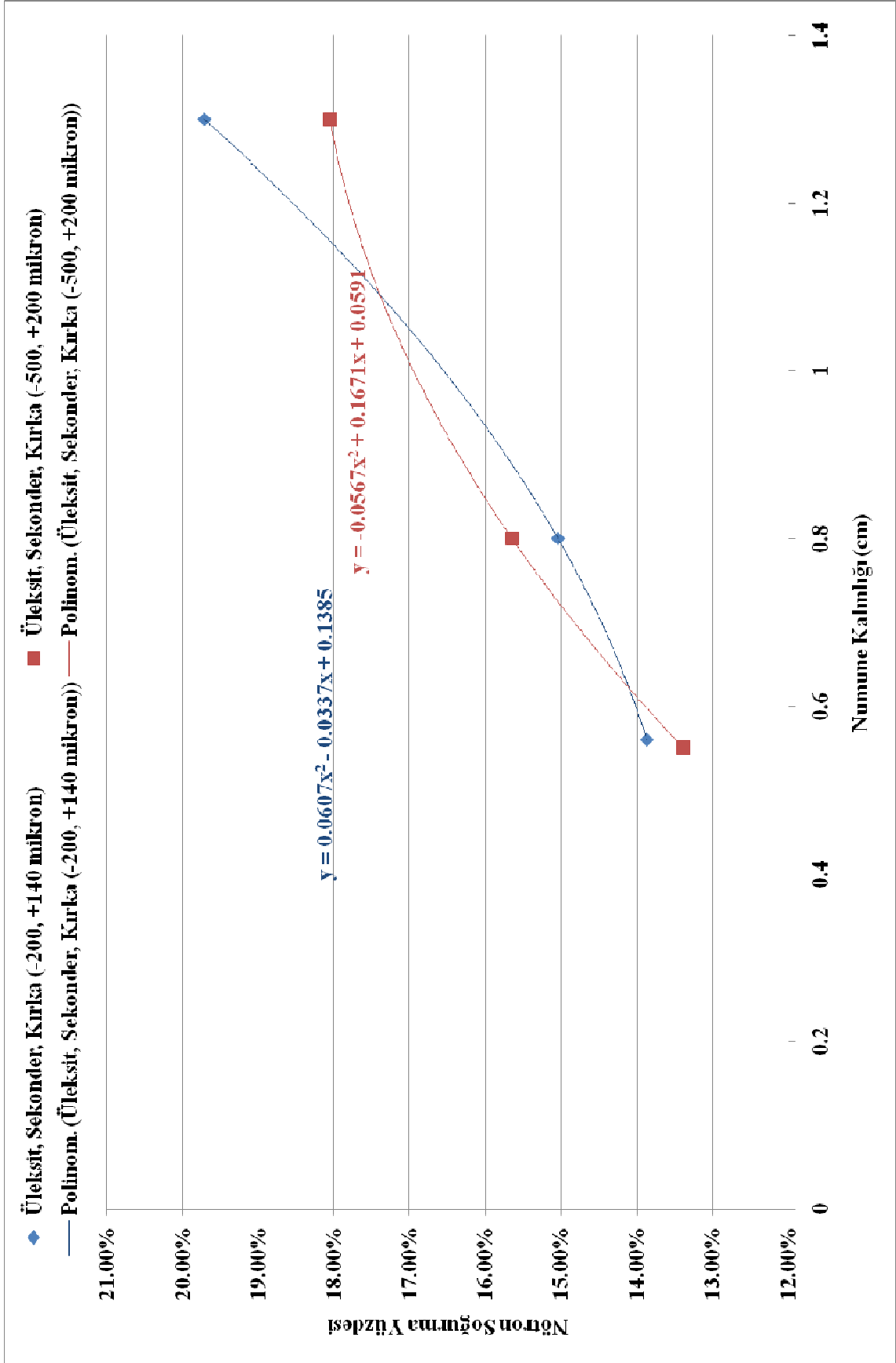


## Ek 2b Kestelek Üleksit'in Model Grafik ve Denklemi

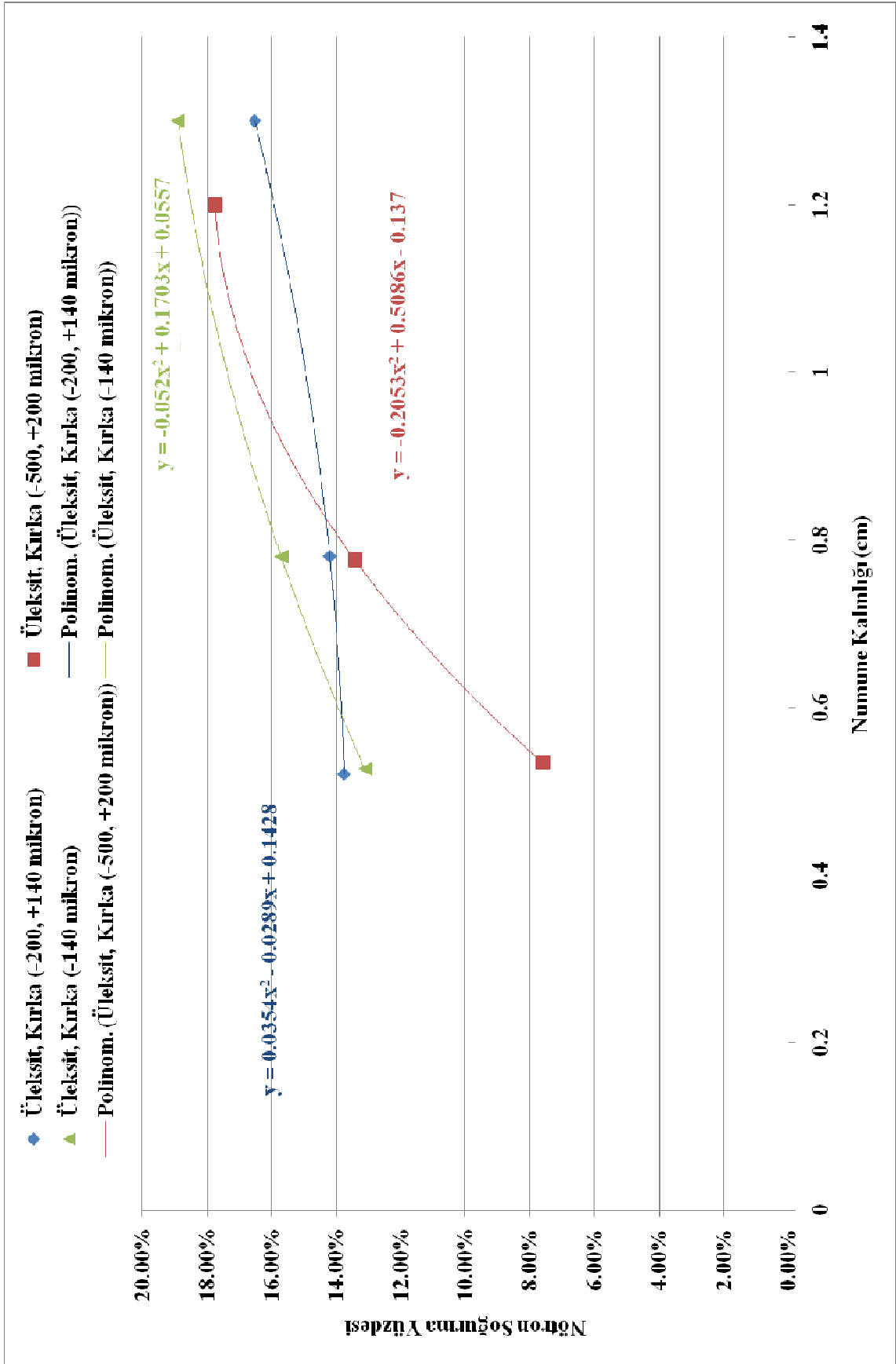




## Ek 2c Kestelek Sekonder Üleksit'in Model Grafik ve Denklemleri



## Ek 2d Kırka Üleksit'in Model Grafik ve Denklemleri



**Ek 2e Sodyum-Kalsiyum-Borat Minerallerinin Model Denklem Çizelgesi**

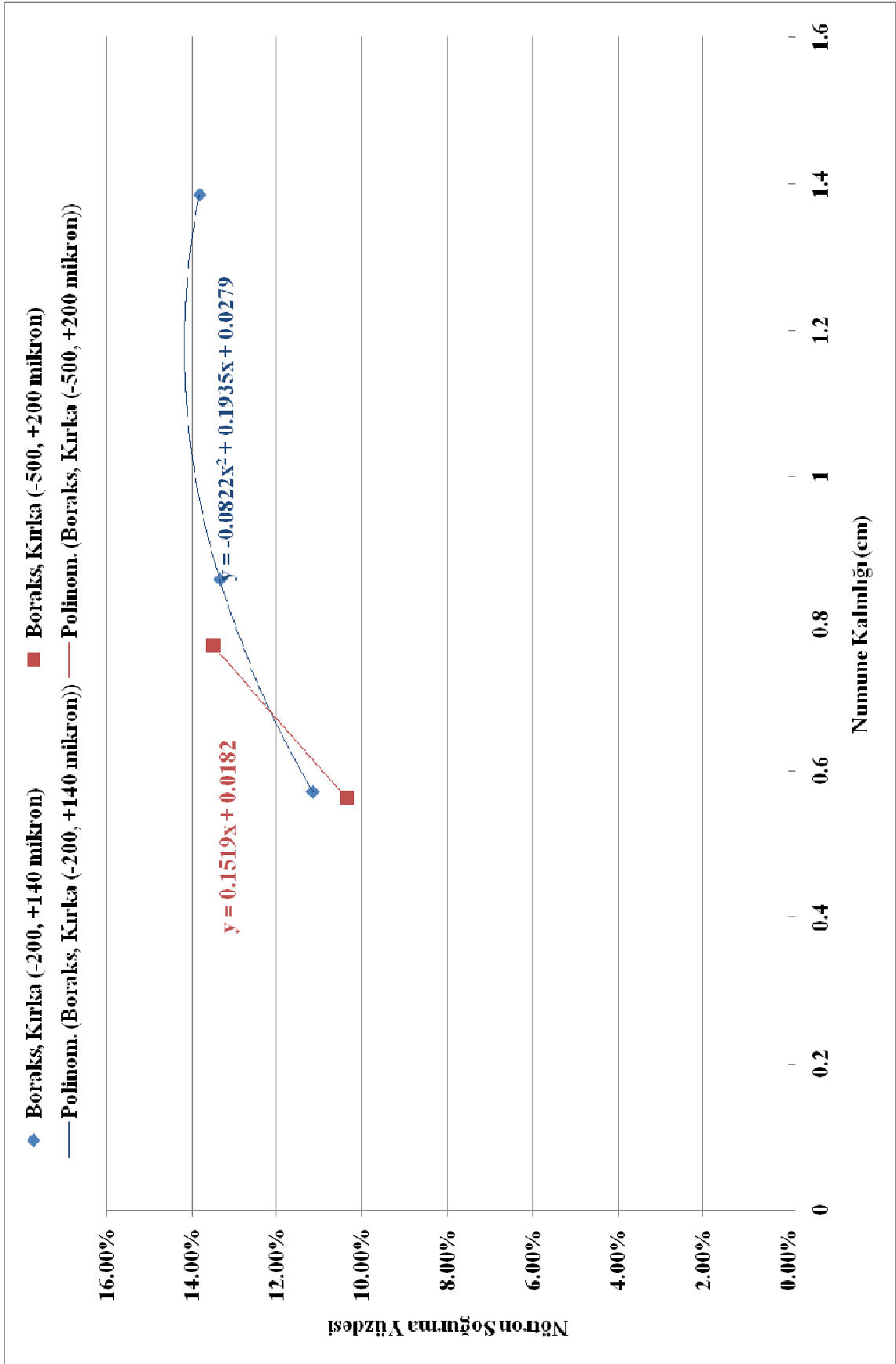
$$\text{Model Denklem} \rightarrow y = ax^2 + bx + c$$

$$y = \text{Nötron soğurma (\%)}$$

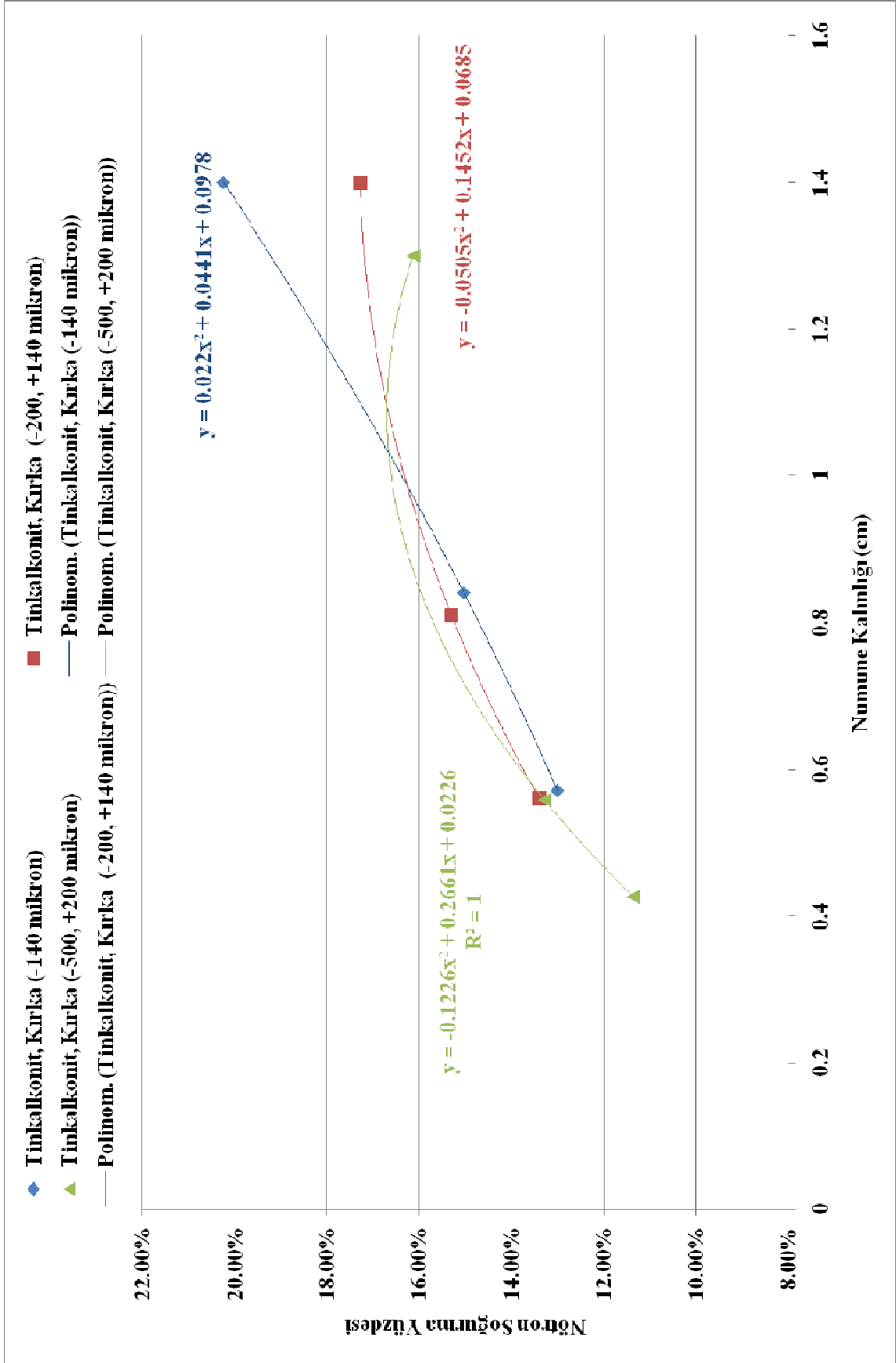
$$x = \text{numune pelet kalınlığı (cm)}$$

Mineral İsmi	Tane Boyutu (mikron)	Bölge	a	b	c
Üleksit	-140	Bigadiç	-	-	-
Üleksit	-500, +200	Bigadiç	-	0.0413	0.0589
Üleksit	-140	Kestelek	-	-	-
Üleksit	-500, +200	Kestelek	0.2012	-0.2559	0.1837
Üleksit, Sekonder	-200, +140	Kırka	0.0607	-0.0337	0.1385
Üleksit, Sekonder	-500, +200	Kırka	-0.0567	0.1671	0.0591
Üleksit	-200, +140	Kırka	0.0354	-0.0289	0.1428
Üleksit	-500, +200	Kırka	-0.2053	0.5086	-0.1370
Üleksit	-140	Kırka	-0.052	0.1703	0.0557

## Ek 3a Kırka Boraks'ın Model Grafik ve Denklemleri



Ek 3b Kırka Tinkalkonit 'in Model Grafik ve Denklemi



**Ek 3c Sodyum-Borat Minerallerinin Model Denklem Çizelgesi**

$$\text{Model Denklem} \rightarrow y = ax^2 + bx + c$$

$$y = \text{Nötron soğurma (\%)}$$

$$x = \text{numune pelet kalınlığı (cm)}$$

Mineral İsmi	Tane Boyutu (mikron)	Bölge	a	b	c
Boraks	-200, +140	Kırka	-0.0822	0.1935	0.028
Boraks	-500, +200	Kırka	-	0.1519	0.018
Tinkalkonit	-140	Kırka	0.022	0.0441	0.098
Tinkalkonit	-200, +140	Kırka	-0.0505	0.1452	0.069
Tinkalkonit	-500, +200	Kırka	-0.1226	0.2661	0.023

**ÖZGEÇMİŞ**

Doğum Tarihi	23.07.1980	
Doğum Yeri	İstanbul	
Lise	1995–1998	Özel Kültür Fen Lisesi
Lisans	1998–2002	Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	2002–2004	Bilgi Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Master of Business Administration (MBA)

**Çalıştığı kurumlar**

2003–2007	İstanbul Kültür Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Araştırma Görevlisi
2008–Devam ediyor	Yıldız Teknik Üniversitesi Kimya–Metalürji Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Araştırma Görevlisi