

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YAPAY BORASİT SENTEZLENMESİ ve KARAKTERİZASYONU

TUĞBA İBROŞKA

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
YRD. DOÇ. DR. EMEK MÖRÖYDOR DERUN**

İSTANBUL, 2014

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YAPAY BORASİT SENTEZLENMESİ ve KARAKTERİZASYONU

Tuğba İBROŞKA tarafından hazırlanan tez çalışması 03.07.2014 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Yrd. Doç. Dr. Emek MÖRÖYDOR DERUN

Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Yrd. Doç. Dr. Emek MÖRÖYDOR DERUN

Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Sabriye PİŞKİN

Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Saadet PABUCCUOĞLU

İstanbul Üniversitesi

Bu alışma, Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'nün 2013-07-01-YL01 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

ÖNSÖZ

“Yapay Borasit Sentezi ve Karakterizasyonu” başlığı altında 2012-2014 eğitim öğretim dönemlerinde yaptığım bu çalışmanın çok değerli ve saygıdeğer danışmanı Yrd.Doç.Dr. Emek MÖRÖYDOR DERUN’a yardımlarından, bana verdiği eğitimden, sevgisinden, içtenliğinden ve en önemlisi güveninden dolayı teşekkürü ve minneti bir borç bilirim.

Çalışmamı yürütmemde her konuda yardım eden ve laboratuvar imkanlarından yararlanmamı sağlayıp fikirleriyle beni destekleyen değerli hocam Prof.Dr. Sabriye PİŞKİN’e

Çalışmalarımda bana yol gösteren, her aşamasında yardımcı olan, sabırlı, planlı, neşeli, hoşgörülü hocam Dr. A.Seyhun KIPÇAK’a

Sadece okulla kısıtlı kalmayıp hayata dair çok şey öğrendiğim hocalarıma,

Deneysel çalışmalarımın büyük kısmında yanımda olan, desteklerini esirgemeyen laboratuvar arkadaşlarıma,

Yüksek lisansımın bana getirdiği ve hayatımda önemli yerlere sahip, manevi destekçilerim olan, tüm arkadaşlarım ve dostlarıma,

Üniversite hayatımda bana her anlamda destek olan canım aileme,

Ve son olarak 5 yıl beni misafir eden İstanbul’a ve Yıldız Teknik Üniversitesi’ne

Sonsuz Teşekkürler...

Temmuz, 2014

Tuğba İBROŞKA

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	viii
KISALTMA LİSTESİ	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	x
ÇİZELGE LİSTESİ	xiii
ÖZET.....	xiv
ABSTRACT	xvi
BÖLÜM 1.....	1
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti.....	1
1.2 Tezin Amacı	1
1.3 Hipotez	2
BÖLÜM 2.....	3
BOR MİNERALİ	3
2.1 Kullanım Alanları	6
2.1.1 Cam Sanayii	8
2.1.2 Seramik Sanayii	9
2.1.3 Temizleme ve Beyazlatma Sanayii	9
2.1.4 İnşaat ve Çimento Sanayii	10
2.1.5 Yanmayı Önleyici (Geciktirici) Maddeler	10
2.1.6 Nükleer Uygulamalar.....	11
2.1.7 Enerji Sektörü	11
2.1.8 Makine ve Metalürji Sanayii.....	11
2.1.9 Savunma Sanayii.....	11
2.1.10 Tarım	12
2.1.11 Atık Temizleme.....	12
2.1.12 Yakıt.....	12

2.1.13	Sağlık.....	12
2.1.14	Diğer Kullanım Alanları.....	13
2.2	Türkiye’de Bor Üretiminin Tarihçesi.....	13
2.2.1	Türkiye’deki Bor İşletmeleri.....	15
2.2.1.1	Bigadiç Bor İşletme Müdürlüğü.....	15
2.2.1.2	Emet Bor İşletme Müdürlüğü.....	16
2.2.1.3	Kırka Bor İşletme Müdürlüğü.....	16
2.2.1.4	Kestelek Bor İşletme Müdürlüğü.....	16
2.2.1.5	Bandırma Bor ve Asit Fabrikaları İşletme Müdürlüğü.....	16
2.2.2	Türkiye ve Dünyadaki Durumu.....	17
2.3	Bor Mineralleri.....	20
2.3.1	Kalsiyum Boratlar.....	20
2.3.1.1	Kolemanit ($\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11}\cdot 5\text{H}_2\text{O}$).....	20
2.3.1.2	İnyoit ($\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11}\cdot 11\text{H}_2\text{O}$).....	20
2.3.1.3	Pandermit ($\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11}\cdot 3\text{H}_2\text{O}$).....	21
2.3.2	Sodyum Boratlar.....	21
2.3.2.1	Boraks (Tinkal) ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7\cdot 10\text{H}_2\text{O}$).....	21
2.3.2.2	Tinkalkonit ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7\cdot 5\text{H}_2\text{O}$).....	22
2.3.2.3	Kernit (Razonit) ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7\cdot 4\text{H}_2\text{O}$).....	23
2.3.3	Kalsiyum-Sodyum Boratlar.....	23
2.3.3.1	Üleksit ($\text{NaCaB}_5\text{O}_9\cdot 8\text{H}_2\text{O}$).....	23
2.3.4	Magnezyum Boratlar.....	24
2.3.4.1	İnderit ($\text{Mg}_2\text{B}_6\text{O}_{11}\cdot 15\text{H}_2\text{O}$).....	24
2.3.4.2	Kurnakavit ($\text{Mg}_2\text{B}_6\text{O}_{11}\cdot 15\text{H}_2\text{O}$).....	24
2.3.5	Diğer Boratlar.....	25
2.3.5.1	Borik asit (H_3BO_3).....	25
2.3.5.2	Tünelit ($\text{SrB}_6\text{O}_{10}\cdot 4\text{H}_2\text{O}$).....	25
2.4	Magnezyum Borat Mineralleri.....	26
2.4.1	Hidratlı Magnezyum Borat Bileşikleri.....	28
2.4.1.1	Admontit ($\text{MgB}_6\text{O}_7(\text{OH})_6\cdot 4\text{H}_2\text{O}$).....	28
2.4.1.2	Mkallisterit ($\text{Mg}_2(\text{B}_6\text{O}_7(\text{OH})_6)_2\cdot 9\text{H}_2\text{O}$).....	28
2.4.1.3	Pinnoit ($\text{Mg}(\text{BO}_2)_2\cdot 3\text{H}_2\text{O}$).....	28
2.4.1.4	Szaybelit (Askarit) ($\text{Mg}_2\text{B}_2\text{O}_5\cdot \text{H}_2\text{O}$).....	29
2.4.2	Susuz Magnezyum Borat Bileşikleri.....	29
2.4.2.1	Kotoit ($\text{Mg}_3\text{B}_2\text{O}_6$).....	29
2.4.2.2	Suanit ($\text{Mg}_2\text{B}_2\text{O}_5$).....	30
2.4.3	Magnezyum Kloro Borat Bileşikleri.....	30
2.4.3.1	Borasit ($\text{Mg}_3\text{B}_7\text{O}_{13}\text{Cl}$).....	30
2.4.3.2	Shabinit ($\text{Mg}_5(\text{BO}_3)(\text{Cl}, \text{OH})_2\cdot 4\text{H}_2\text{O}$).....	31
2.4.3.3	Karlit ($\text{Mg}_7(\text{BO}_3)_3(\text{OH}, \text{Cl})_5$).....	31
2.4.4	Magnezyum Boratların Üretim Yöntemleri.....	32
2.4.4.1	Katı Hal (Termal) Yöntem ile Katı Hal Sentezi.....	32
2.5	Bor Atıkları.....	35
2.5.1	Bor Atıklarının Değerlendirilmesi.....	35
2.5.1.1	Atıkların Uygun Bir Şekilde Depolanması.....	35
2.5.1.2	Atıklardan Borun Tekrar Kazanılması.....	36

2.5.1.3 Bor Atıklarının Uygun Sektörde Kullanılması	37
BÖLÜM 3.....	38
DENEYSEL ÇALIŞMALAR	38
3.1 Hammadde Temini ve Hazırlanması	38
3.2 Yapılan Analizler.....	39
3.2.1 X-ışını Difraktometresi (XRD).....	39
3.2.2 Fourier Dönüştürümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FT-IR)	40
3.2.3 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)	40
3.3 Katı Hal Sentezi	41
BÖLÜM 4.....	45
DENEYSEL SONUÇLAR	45
4.1 Hammaddelerin Karakterizasyon İşlemleri.....	45
4.1.1 Hammaddelerin XRD Sonuçları	45
4.1.2 Hammaddelerin FT-IR Sonuçları.....	46
4.2 Katı Hal Sentezi Sonuçları	47
4.2.1 XRD Sonuçları	47
4.2.2 FT-IR Sonuçları.....	78
4.2.3 SEM Analizi Sonuçları	80
BÖLÜM 5.....	90
GENEL SONUÇLAR ve ÖNERİLER	90
KAYNAKLAR.....	93
EK-A.....	97
FT-IR SPEKTRUMLARI	97
ÖZGEÇMİŞ.....	108

SİMGE LİSTESİ

B ₂ O ₃	Bor Oksit
cm ³	Santimetre Küp
°C	Santigrat Derece
g	Gram
HCl	Hidrojen Klorür
HF	Hidrohen Florür
kcal	Kilo Kalori
Mpa	Mega Paskal
mm	Mili Metre
nm	Nano Metre
ppm	Milyonda Bir

KISALTMA LİSTESİ

dk	Dakika
FT-IR	Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
TEAD	Tetraasetil Etilen Diamin
XRD	X Işını Difraktometresi

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2. 1	Bor elementinin kristal yapısı 4
Şekil 2. 2	Çeşitli bor ürünlerinin kullanım alanları 7
Şekil 2. 3	Bor tüketiminin nihai kullanım oranlarına göre dağılımı 8
Şekil 2. 4	Dünya bor rezerv dağılımı 19
Şekil 2. 5	Kolemanit minerali 20
Şekil 2. 6	İnyoit minerali 21
Şekil 2. 7	Pandermit minerali 21
Şekil 2. 8	Boraks (tinkal) minerali 22
Şekil 2. 9	Tinkalkonit minerali 22
Şekil 2. 10	Kernit (razolit) minerali 23
Şekil 2. 11	Üleksit minerali 23
Şekil 2. 12	İnderit minerali 24
Şekil 2. 13	Kurnakavit minerali 25
Şekil 2. 14	Borik asit 25
Şekil 2. 15	Tünelit minerali 26
Şekil 2. 16	Mkallisterit minerali 28
Şekil 2. 17	Pinnoit minerali 29
Şekil 2. 18	Szaybelit minerali 29
Şekil 2. 19	Kotoit minerali 30
Şekil 2. 20	Suanit minerali 30
Şekil 2. 21	Borasit minerali 31
Şekil 2. 22	Shabinit minerali 31
Şekil 2. 23	Karlit minerali 32
Şekil 3. 1	Agat havan ve elek 38
Şekil 3. 2	Philips PANanalytical XRD 389
Şekil 3. 3	Perkin Elmer Spectrum One FT-IR..... 40
Şekil 3. 4	CamScan Apollo 300 marka SEM 41
Şekil 3. 5	Manfredi OL 57 markalı pellet cihazı 41
Şekil 3. 6	Protherm marka, MOS 180/4 model yüksek sıcaklık fırını..... 43
Şekil 4. 1	Hammaaddelerin XRD paterni 45
Şekil 4. 2	Hammaddelerin FT-IR paterni..... 46
Şekil 4. 3	MgCl ₂ .6H ₂ O, MgO ve B ₂ O ₃ 600°C 4 saat reaksiyonunun XRD paternleri 48
Şekil 4. 4	MgCl ₂ .6H ₂ O, MgO ve B ₂ O ₃ 700°C 4 saat reaksiyonunun XRD paternleri 49
Şekil 4. 5	MgCl ₂ .6H ₂ O, MgO ve B ₂ O ₃ 800°C 4 saat reaksiyonunun XRD paternleri 50

Şekil 4. 6	MgCl ₂ .6H ₂ O, MgO ve B ₂ O ₃ 900°C 4 saat reaksiyonunun XRD paternleri	51
Şekil 4. 7	2xMgCl ₂ .6H ₂ O, MgO ve B ₂ O ₃ 600°C 4 saat reaksiyonunun XRD paternleri	54
Şekil 4. 8	2xMgCl ₂ .6H ₂ O, MgO ve B ₂ O ₃ 700°C 4 saat reaksiyonunun XRD paternleri	55
Şekil 4. 9	2xMgCl ₂ .6H ₂ O, MgO ve B ₂ O ₃ 800°C 4 saat reaksiyonunun XRD paternleri	56
Şekil 4. 10	2xMgCl ₂ .6H ₂ O, MgO ve B ₂ O ₃ 900°C 4 saat reaksiyonunun XRD paternleri	57
Şekil 4. 11	MgCl ₂ .6H ₂ O ve B ₂ O ₃ 600°C 4 saat reaksiyonunun XRD paterni	60
Şekil 4. 12	MgCl ₂ .6H ₂ O ve B ₂ O ₃ 700°C 4 saat reaksiyonunun XRD paterni	61
Şekil 4. 13	MgCl ₂ .6H ₂ O ve B ₂ O ₃ 800°C 4 saat reaksiyonunun XRD paterni	62
Şekil 4. 14	MgCl ₂ .6H ₂ O ve B ₂ O ₃ 900°C 4 saat reaksiyonunun XRD paterni	63
Şekil 4. 15	MgCl ₂ .6H ₂ O ve B ₂ O ₃ inert ortamda 600°C 4 saat reaksiyonunun XRD paterni	66
Şekil 4. 16	MgCl ₂ .6H ₂ O ve B ₂ O ₃ inert ortamda 900°C 4 saat reaksiyonunun XRD paterni	67
Şekil 4. 17	MgCl ₂ .6H ₂ O ve B ₂ O ₃ 500°C 4 saat reaksiyonunun XRD paterni	70
Şekil 4. 18	MgCl ₂ .6H ₂ O ve B ₂ O ₃ 550°C 4 saat reaksiyonunun XRD paterni	71
Şekil 4. 19	MgCl ₂ .6H ₂ O ve B ₂ O ₃ 650°C 4 saat reaksiyonunun XRD paterni	72
Şekil 4. 20	MgCl ₂ .6H ₂ O ve B ₂ O ₃ 600°C 0,5 saat reaksiyonunun XRD paterni	75
Şekil 4. 21	MgCl ₂ .6H ₂ O ve B ₂ O ₃ 600°C 1 saat reaksiyonunun XRD paterni	76
Şekil 4. 24	MC-B-6-13 600°C 4 saat reaksiyonunda sentezlenen saf borasitin SEM görüntüleri a. 1000x b. 5000x c. 10000x d. 10000x	80
Şekil 4. 25	MC-B-7-15 600°C 4 saat reaksiyonunda sentezlenen saf borasitin SEM görüntüleri a. 1000x b. 5000x c. 10000x d. 10000x	81
Şekil 4. 26	İnert ortamdaki MC-B-7-13 600°C 4 saat reaksiyonunda sentezlenen saf borasitin SEM görüntüleri a. 1000x b. 5000x c. 10000x d. 10000x ...	81
Şekil 4. 27	İnert ortamdaki MC-B-7-15 600°C 4 saat reaksiyonunda sentezlenen saf borasitin SEM görüntüleri a. 1000x b. 5000x c. 10000x d. 10000x ...	82
Şekil 4. 28	MC-B-5-13 600°C 1 saat reaksiyonunda sentezlenen saf borasitin SEM görüntüleri a. 1000x b. 5000x c. 10000x d. 10000x	83
Şekil 4. 29	MC-B-5-15 600°C 1 saat reaksiyonunda sentezlenen saf borasitin SEM görüntüleri a. 1000x b. 5000x c. 10000x d. 10000x	83
Şekil 4. 30	MC-B-6-13 600°C 1 saat reaksiyonunda sentezlenen saf borasitin SEM görüntüleri a. 1000x b. 5000x c. 10000x d. 10000x	84
Şekil 4. 31	MC-B-6-15 600°C 1 saat reaksiyonunda sentezlenen saf borasitin SEM görüntüleri a. 1000x b. 5000x c. 10000x d. 10000x	84
Şekil 4. 32	MC-B-7-13 600°C 1 saat reaksiyonunda sentezlenen saf borasitin SEM görüntüleri a. 1000x b. 5000x c. 10000x d. 10000x	85
Şekil 4. 33	MC-B-7-15 600°C 1 saat reaksiyonunda sentezlenen saf borasitin SEM görüntüleri a. 1000x b. 5000x c. 10000x d. 10000x	85
Şekil 4. 34	MC-B-5-13 600°C 0.5 saat reaksiyonunda sentezlenen saf borasitin SEM görüntüleri a. 1000x b. 5000x c. 10000x d. 10000x	86
Şekil 4. 35	MC-B-6-13 600°C 0.5 saat reaksiyonunda sentezlenen saf borasitin SEM görüntüleri a. 1000x b. 5000x c. 10000x d. 10000x	87

Şekil 4. 36	MC-B-7-15 600°C 0.5 saat reaksiyonunda sentezlenen saf borasitin SEM görüntüleri a. 1000x b. 5000x c. 10000x d. 10000x.....	87
Şekil 4. 37	MC-B-7-14 550°C 4 saat reaksiyonunda sentezlenen saf borasitin SEM görüntüleri a. 1000x b. 5000x c. 10000x d. 10000x.....	88
Şekil 4. 38	MC-B-6-15 650°C 4 saat reaksiyonunda sentezlenen saf borasitin SEM görüntüleri a. 1000x b. 5000x c. 10000x d. 10000x.....	89
Şekil EK-A. 1	MgO, MgCl ₂ .6H ₂ O ve B ₂ O ₃ ile 600 ve 700°C sıcaklıklarda, hava ortamında, 4 saatte sentezlenen magnezyum boratların FT-IR spektrumları	98
Şekil EK-A. 2	MgO, MgCl ₂ .6H ₂ O ve B ₂ O ₃ ile 800 ve 900°C sıcaklıklarda, hava ortamında, 4 saatte sentezlenen magnezyum boratların FT-IR spektrumları	99
Şekil EK-A. 3	MgO, 2xMgCl ₂ .6H ₂ O ve B ₂ O ₃ ile 600 ve 700°C sıcaklıklarda, hava ortamında, 4 saatte sentezlenen magnezyum boratların FT-IR spektrumları	100
Şekil EK-A. 4	MgO, 2xMgCl ₂ .6H ₂ O ve B ₂ O ₃ ile 800 ve 900°C sıcaklıklarda, hava ortamında, 4 saatte sentezlenen magnezyum boratların FT-IR spektrumları	101
Şekil EK-A. 5	MgCl ₂ .6H ₂ O ve B ₂ O ₃ ile 600 ve 900°C sıcaklıklarda, inert ortamda, 4 saatte sentezlenen magnezyum boratların FT-IR spektrumları.....	102
Şekil EK-A. 6	MgCl ₂ .6H ₂ O ve B ₂ O ₃ ile 600 ve 700°C sıcaklıklarda, hava ortamında, 4 saatte sentezlenen magnezyum boratların FT-IR spektrumları.....	103
Şekil EK-A. 7	MgCl ₂ .6H ₂ O ve B ₂ O ₃ ile 800 ve 900°C sıcaklıklarda, hava ortamında, 4 saatte sentezlenen magnezyum boratların FT-IR spektrumları.....	104
Şekil EK-A. 8	MgCl ₂ .6H ₂ O ve B ₂ O ₃ ile 550 ve 500°C sıcaklıklarda, hava ortamında, 4 saatte sentezlenen magnezyum boratların FT-IR spektrumları.....	105
Şekil EK-A. 9	MgCl ₂ .6H ₂ O ve B ₂ O ₃ ile 650°C sıcaklıkta, hava ortamında 4 saatte ve 600°C sıcaklıkta, hava ortamında, 1 saatte sentezlenen magnezyum boratların FT-IR spektrumları	106
Şekil EK-A. 10	MgCl ₂ .6H ₂ O ve B ₂ O ₃ ile 600°C sıcaklıkta, hava ortamında 0.5 saatte sentezlenen magnezyum boratların FT-IR spektrumları.....	107

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2. 1	Borun fiziksel ve kimyasal özellikleri 5
Çizelge 2. 2	Sodyum perborat ve sodyum hipoklorit ağartıcılarının karşılaştırması 10
Çizelge 2. 3	Eti Maden bor rezervlerinin miktarları 15
Çizelge 2. 4	Mineral bazında Türkiye’de bor rezervleri 15
Çizelge 2. 5	Magnezyum borat mineralleri 27
Çizelge 3. 1	Deneylerde kullanılan hammadde oranları ve deney parametreleri. 42
Çizelge 3. 2	Hammadde oranları ve reaksiyon sıcaklıkları..... 44
Çizelge 3. 3	MgCl ₂ .6H ₂ O ve B ₂ O ₃ hammaddelerinden oluşan numunelerin reaksiyon ortamları, sıcaklıkları ve reaksiyon süreleri 44
Çizelge 4. 1	Hammaddelerin XRD skorları 46
Çizelge 4. 2	B ₂ O ₃ FT-IR sonucu 46
Çizelge 4. 3	MgCl ₂ .6H ₂ O, MgO ve B ₂ O ₃ hammaddelerinden 600°C, 700°C, 800°C ve 900°C sıcaklıklarda 4 saatte sentezlenen ürünlerin XRD skorları 52
Çizelge 4. 4	2xMgCl ₂ .6H ₂ O, MgO ve B ₂ O ₃ hammaddelerinden 600°C, 700°C, 800°C ve 900°C sıcaklıklarda 4 saatte sentezlenen ürünlerin XRD skorları 58
Çizelge 4. 5	MgCl ₂ .6H ₂ O ve B ₂ O ₃ hammaddelerinden 600°C, 700°C, 800°C ve 900°C sıcaklıklarda 4 saatte sentezlenen ürünlerin XRD skorları..... 64
Çizelge 4. 6	MgCl ₂ .6H ₂ O ve B ₂ O ₃ hammaddelerinden 600°C ve 900°C sıcaklıklarda 4 saatte inert ortamda sentezlenen ürünlerin XRD skorları 68
Çizelge 4. 7	MgCl ₂ .6H ₂ O ve B ₂ O ₃ hammaddelerinden 500°C, 550°C, 600°C ve 650°C sıcaklıkta 4 saatte sentezlenen ürünlerin XRD skorları..... 73
Çizelge 4. 8	MgCl ₂ .6H ₂ O ve B ₂ O ₃ hammaddelerinden 600°C sıcaklıkta farklı sürelerde sentezlenen ürünlerin XRD skorları..... 77

YAPAY BORASİT SENTEZLENMESİ ve KARAKTERİZASYONU

Tuğba İBROŞKA

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Yrd.Doç.Dr. Emek MÖRÖYDOR DERUN

Maden çeşitliliği bakımından dünyanın önde gelen ülkelerinden olan Türkiye, madencilik çalışmalarında ve madencilikle geçimde dünyada ilk sıralarda bulunan bir ülkedir. Madencilik bu kadar gelişmiş olduğu bir ülkede madenlerin özelliklerinden yararlanıp teknolojinin ilerlemesi yönünde çalışmaların yapılması doğal bir durumdur. Türkiye'deki madenlerin başında ise dünya rezervinin %73'lük payına sahip olduğu bor minerali bulunmaktadır. Bor mineralinin gerek fiziksel gerekse kimyasal özellikleri endüstriyel alanda kullanımını büyük ölçüde arttırmıştır. Birçok üründe hammadde olarak kullanılması planlanan borun saf olarak elde edilmesi oldukça zor olmakla birlikte çok pahalıdır.

Bor bileşiklerinin önemli bir grubu olan magnezyum boratlar yüksek bor içeriğinden dolayı sanayi sektöründe aranılan hammaddelerden biridir. Magnezyum borat bileşikleri doğal yollarla elde edildiği gibi laboratuvar ortamında sentetik olarak da elde edilebilmektedir. Laboratuvar ortamında 3 farklı yöntemle magnezyum borat bileşikleri elde edilmektedir. Bu yöntemler; termal sentez (katı hal yöntemi), hidrotermal sentez ve mikrodalga yöntemidir. Termal yöntemde hammaddeler yüksek sıcaklık fırınında hava veya inert ortamda reaksiyona sokulması prensibine dayanmaktadır. Hidrotermal yöntemde magnezyum ve bor kaynağı sıvı ortamında sıcaklık etkisiyle reaksiyonunu tamamlamaktadır. Mikrodalga yönteminde ise magnezyum ve bor kaynağı mikrodalga ışınları altında belirlenen sürelerde reaksiyona sokulmaktadır.

Yapılan bu tez çalışmasında magnezyum oksit (MgO), magnezyum klorür hegzahidrat (MgCl₂.6H₂O) ve boroksit (B₂O₃) hammaddeleri kullanılarak, katı hal yöntemiyle klor içerikli magnezium borat ailesinden saf borasit sentezi amaçlanmıştır. Teorik reaksiyon oranları, reaksiyon sıcaklığı, hammaddeler ve reaksiyon süreleri değiştirilerek optimum şartlarda saf borasit eldesi tamamlanmıştır. Deneysel çalışmaları XRD, FT-IR ve SEM analiz sonuçları ile yorumlanmıştır. Saf borasit eldesi çalışmasında daha iyi sonuçlara ulaşmak amacıyla hammaddelerden magnezyum klorür hegzahidratı 2 katına çıkartmak veya hammaddelerden magnezyum oksiti çıkartıp 2 hammaddeyle analizi gerçekleştirmek gibi yöntemlere de başvurulmuştur.

Tüm denemeler ve analizler sonucunda saf borasit eldesi başarılmıştır. XRD analizinde en yüksek skorla elde edilen, FT-IR analizinde ise saf borasit karakteristik pikleriyle en çok benzerlik gösteren ürün, magnezyum klorür hegzahidrat ve boroksit hammaddelerinden yapılan, 600°C sıcaklıkta 1 saatte gerçekleşen reaksiyon sonucu oluşmuştur. 01-071-0750 koduyla tanıtılan saf borasit mineralinin daha sonra SEM analizi ile tanecik boyutuna bakılmış ve nano boyutta olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Magnezyum borat, Borasit, Magnezyum Klorür Hekzahidrat, Boroksit, Magnezyum Oksit, XRD, FT-IR, SEM.

BORACITE SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION

Tuğba İBROŞKA

Department of Chemical Engineering

M.Sc. Thesis

Adviser: Assist. Prof. Dr. Emek MÖRÖYDOR DERUN

Of the world's leading countries in terms of mineral diversity, Turkey, mining operation in the world is a country located in the first rank. In a country where mining is advanced so take advantage of the characteristics of mining works towards the advancement of technology is a natural condition to be done. Boron, is ranked first in the minerals extracted in Turkey. In addition, Turkey has some 73% of the world's boron reserves. Physical and chemical properties of boron, greatly increased the use of boron. Boron is planned to use as a raw material for many products and also as pure boron is quite difficult and very expensive to obtain.

Magnesium borates, which is important group of compounds of boron, are one of the sought after raw materials, due to high boron content, in industrial sector. Magnesium borate compounds as obtained by natural means also be produced synthetically in a laboratory. Magnesium borate compounds are obtained by 3 different methods in laboratory. These methods; thermal synthesis (solid-state method), hydrothermal synthesis and microwave method. Thermal method: raw materials are reacted in the air or inert atmosphere in high temperature furnace. Hydrothermal method: magnesium and boron sources are complete reaction with temperature effects in liquid medium. Microwave method: magnesium and boron source are reacted under microwave radiation.

In this thesis, magnesium oxide (MgO), magnesium chloride hexahydrate (MgCl₂·6H₂O) and boron oxide (B₂O₃) was used as raw materials, pure boracid is aimed to synthesize

by solid state method. Pure boracid was prepared by different theoretical reaction rate, reaction temperature, reaction time and raw material. Experimental studies are interpreted by XRD, FT-IR and SEM analysis results. Also in this study, using different amounts of magnesium chloride hexahydrate or magnesium oxide-free analysis methods were also applied to achieve better results.

Pure boracid were obtained in all experiments and analysis. The best products obtained in 1 hour at 600°C has occurred from magnesium chloride hexahydrate and boron oxide. SEM analysis was conducted to 01-071-0750 coded obtained pure boracid mineral and it was determined that nano-sized.

Keywords: Magnesium borate, Boracid, Magnesium chloride hexahydrate, Boron oxide, Magnesium oxide, XRD, FT-IR, SEM.

1.1 Literatür Özeti

Doğada saf olarak bulunmayan, farklı elementlerle bileşikleri halinde bulunabilen bir element olan bor, mevcut özellikleri nedeniyle Dünya üzerinde oldukça önemli bir yere sahiptir. Dünyanın en büyük bor rezervine sahip olan Türkiye, Dünya bor rezervinin %73'lük payına sahiptir [1]. Türkiye'de bilinen bor yatakları özellikle Kırka/Eskişehir, Bigadiç/Balıkesir, Kestelek/Bursa ve Emet/Kütahya'da bulunmaktadır. Türkiye'de rezerv açısından en çok bulunan bor cevherleri tinkal ve kolemanittir [2]. Bor minerallerinin alt grubu olan magnezyum boratlar yüksek korozyon direnci, yüksek ısı direnci gibi özelliklerle sanayi alanında oldukça geniş bir yere sahiptir. Magnezyum boratlar doğal olarak bulunduğu gibi sentetik yolla da üretilebilirler. Doğal olarak bulunan magnezyum boratlara genellikle tuzlu göllerde rastlanmaktadır. Türkiye'de bulunan bor minerali yataklarında magnezyum boratların çok olmadığı bilinmektedir. Bu nedenle magnezyum borat sentezi üzerinde çalışılması gereken bir konu haline gelmiştir. Klor içerikli magnezyum boratlar ise magnezyum boratların tüm özelliklerini taşımanın yanında ayrıca deterjan sanayinde temizlik ajanı olarak da kullanılabilir [3].

1.2 Tezin Amacı

Yapılan bu yüksek lisans tez çalışmasında bor minerali, bor mineralinin kullanım alanları, Türkiye ve dünyadaki yeri, bor minerallerinin çeşitliliği hakkında araştırmalar yapılmış, daha sonra bor minerali çeşitlerinden biri olan, Türkiye'de az bulunan ve

birçok önemli kullanım alanının olduğu bilinen ve üzerinde çalışılması gereken bir konu olan magnezyum boratlar incelenmiştir. Bu doğrultuda magnezyum borat grubundan olan borasit üretimi hedeflenmiştir. Üretimin gerçekleştirilmesinde termal yöntem tercih edilmiş olup bu üretimin gerçekleştirilmesi sırasında üretim için gerekli optimum parametrelerin elde edilmesi, böylece en ekonomik, çevre dostu ve sanayiye uyarlanabilirliği yüksek bir üretim gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla literatürde bulunan daha önceki çalışmalar, yayınlar ve patentler incelenmiştir. Daha sonra deneysel çalışmalara başlanarak hammaddeler belirlenmiş; magnezyum kaynağı olarak magnezyum oksit (MgO), klor kaynağı olarak magnezyum klorür hegzahidrat (MgCl₂.6H₂O), bor kaynağı olarak ise boroksit (B₂O₃) kullanılmıştır. Yapılan denemelerle en uygun hammadde oranları, en uygun sıcaklık, en uygun süre değerlerinin elde edilmesi ve elde edilen ürünlerin tanecik boyutlarının ve tanecik şekillerinin incelenmesi amaçlanmıştır.

1.3 Hipotez

Yaptığımız çalışmada termal yöntem ile sıcaklık, konsantrasyon, ortam ve sürenin etkisi dikkate alınarak termal yöntem ile klor içerikli magnezyum borat yani borasit elde etmek hedeflenmiştir. Böylece Türkiye’de az bulunan ve birçok farklı endüstride kullanılabilen önemli bir hammaddenin ekonomik bir şekilde üretimi sağlanmış olup ithalatına gerek kalmayacak ve bu da ülkemize ekonomik bir katkı sağlamış olacaktır.

BÖLÜM 2

BOR MİNERALİ

Periyodik tablonun üçüncü grubunun başında bulunan, atom sayısı 5, atom ağırlığı 10.82, özgül ağırlığı 2.84 g/cm^3 olan bor elementi kendi grubunun yegane nonmetalik elementidir. Üç adet dış elektronu mevcut olup silisyum ile benzerlik gösterir [4]. Çok sert ve ısıya dayanıklı olan bor elementi doğada 150'den fazla mineralin yapısı içinde yer almasına rağmen; ekonomik anlamda bor mineralleri kalsiyum, sodyum ve magnezyum elementleri ile hidrat bileşikleri halinde teşekkül etmiş olarak bulunur [5]. Yeryüzünün 51. yaygın elementi olan bor, yeryüzünde toprak, kayalar ve suda yaygın olarak bulunmaktadır. Toprağın bor içeriği genelde 10-20 ppm, deniz suyunda 0.5-9.6 ppm, tatlı sularda ise 0.001-1.5 ppm aralığındadır. Yüksek konsantrasyonda ve ekonomik boyutlardaki bor yatakları, borun oksijenle bağlanmış bileşikleri olarak daha çok Türkiye ve Amerika'nın kurak, volkanik ve hidrotermal aktivitesinin yüksek olduğu bölgesinde bulunmaktadır [6].

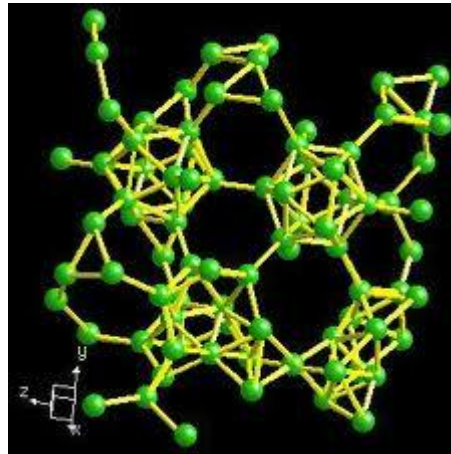
Bor elementi boş bir p orbitaline sahip olduğu için elektronca fakirdir. Bu nedenle genelde lewis asidi olarak davranır, başka bir deyişle elektron zengini bileşiklerle kolayca bağlanarak elektron ihtiyacını giderir. Ayrıca bor, metal olmayan elementler arasında en düşük elektronegativiteye sahip olduğundan reaksiyonlarda genelde elektronlarını kaybeder, başka bir deyişle yükseltgenir [7].

Bor 2.33 g/cm^3 yoğunluklu kristal ve 2.3 g/cm^3 yoğunluklu amorf olmak üzere doğada iki şekilde bulunur [8]. Amorf bor siyah veya kahverengi toz şeklinde, kristal bor ise sert ve kırılımandır [9]. Kristal haldeki elementel borun elde edilmesi için yüksek basınç ve

sıcaklık gereklidir. Kristal bor, fiziksel özellikleri bakımından daha tercih edilir özelliklere sahiptir [10].

Elementel bor, oda koşullarında kararlıdır ve 800°C ve üstü sıcaklıklarda yükseltgenerek farklı oksitler oluşturur. Sulu ortamda çözünmeyen bor, kaynatıldığında oksitlerine çok az dönerek yavaşça çözünür. Bor, nitrik asit haricinde 12 mineral asitlerine karşı da oldukça dayanıklıdır. Bor oksitleri veya elementel bor, kömür tozu gibi karbonlu bileşiklerle havasız ortamda 1250-1600°C gibi yüksek sıcaklıklarda işleme tabi tutulduğunda bor karbüre döner. Ayrıca, elmastan sonra bilinen en sert malzeme olan kübik bor nitrürü oluşturmak için yüksek basınç ve yüksek sıcaklık gibi ilave şartlar gerekir [11].

Bor elementinin dış yörüngesinde 3 tane elektron bulunduğundan 3 tane bağ yapabilir. Bor kristalinin birim hücrelerinde 12 bor atomu yer almaktadır. 12 bor atomu içeren birimlerin birbirine farklı bağlanmasıyla üç farklı kristal yapı meydana gelir. Bu kristal yapılar; alfa-rombohedral, tetragonal ve beta-rombohedral yapılarıdır [10]. Alfa ve beta rombohedral formlar en çok çalışılmış olan kristalin polimorflarıdır. Alfa rombohedral yapı 1200°C'nin üzerinde bozulur ve 1500°C'de beta rombohedral form oluşur. Amorf form yaklaşık 1000°C'nin üzerinde beta rombohedral formuna dönüşür ve her türlü saf bor ergime noktasının üzerinde ısıtılıp tekrar kristalleştirildiğinde beta rombohedral forma dönüşür [12].



Şekil 2. 1 Bor elementinin kristal yapısı [10]

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 ürünler oluşturur. Mineral asitleri ile reaksiyonu, konsantrasyona ve sıcaklığa bağlı olarak yavaş veya patlama şeklinde olabilir ve ana ürün olarak borikasit oluşur [12].

Daha saf bor, ancak bromit veya klorit formlarının tantalum filamentleri vasıtasıyla hidrojen ile reaksiyona sokulmalarıyla elde edilmektedir. Kimyasal olarak ametal bir element olan kristal bor, normal sıcaklıklarda su, hava ve HCl/HF asitler ile soy davranış göstermektedir. Öte yandan yüksek sıcaklıklarda saf oksijen ile reaksiyona girerek, boroksit (B_2O_3), aynı koşullarda nitrojen ile bornitrit (BN) , bazı metaller ile magnezyum borit (Mg_3B_2) ve titanyum diborit (TiB_2) gibi endüstride kullanılan bileşikler oluşturabilmektedir [13].

Çizelge 2. 1 Borun fiziksel ve kimyasal özellikleri [6]

Atom ağırlığı (g/mol)	10.81 ±0.005
Kaynama noktası (°C)	2500
Yoğunluk (g/cm ³)	2.34
Oksidasyon katsayısı	3
Elektronegatifliği	2
İyonlaşma enerjisi (kcal/g atom)	191
Sertliği (Mohs)	9.3
Atom yarıçapı (nm)	0.98
Füzyon ısısı (kcal/g atom)	5.3
Buharlaştırma ısısı (kcal/g atom)	128
Kristal yapısı	Hekzagonal

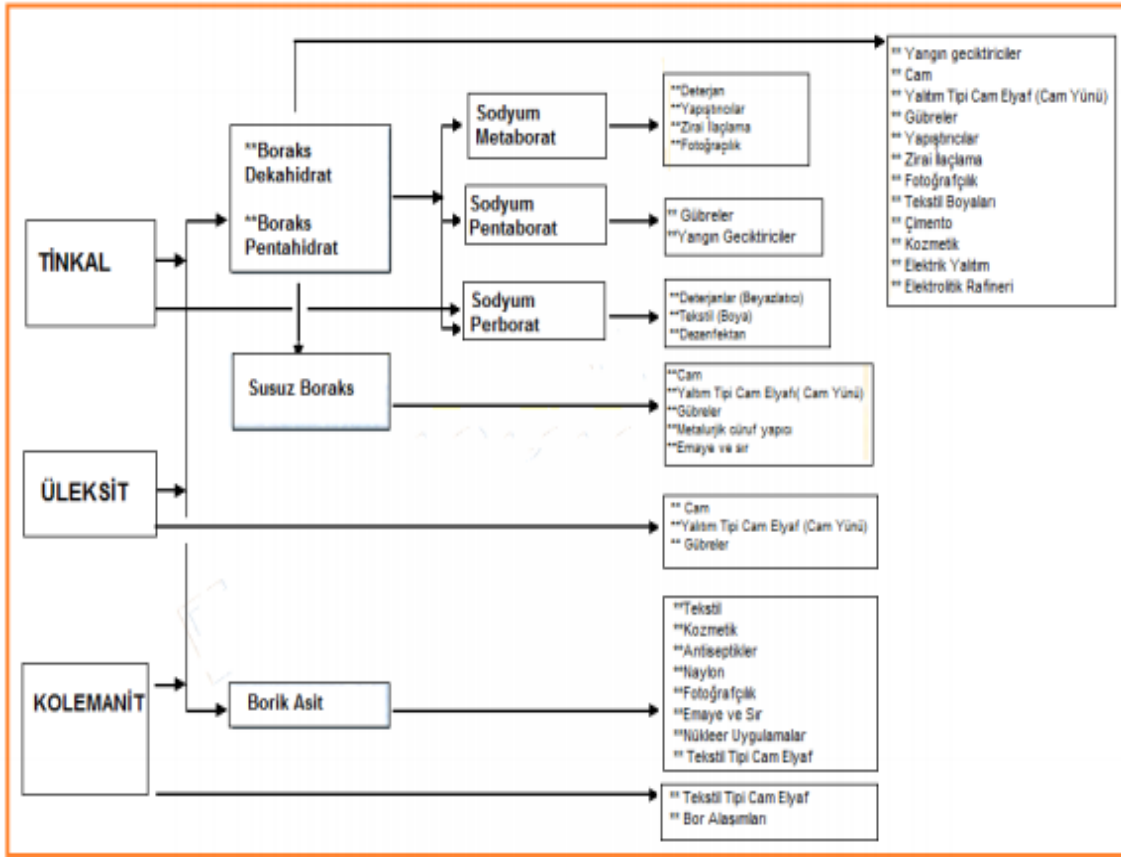
Bor yanıcıdır ve tutuşma sıcaklığı yüksektir. Buna ilaveten yanma sonucunda kolaylıkla aktarılabilecek katı ürün vermesi ve çevreyi kirletecek emisyon açığa çıkarmaması gibi bir özelliğe sahip olduğundan dolayı katı yakıt hücresi olarak kullanılmaktadır [6].

2.1 Kullanım Alanları

Bor, doğada tüm canlıların yaşantısını devam ettirmesi için vazgeçilmez elementlerden birisidir. Bunun yanında; bor dünyada en yaygın kullanım alanına sahip olan elementlerin başında gelmektedir [14].

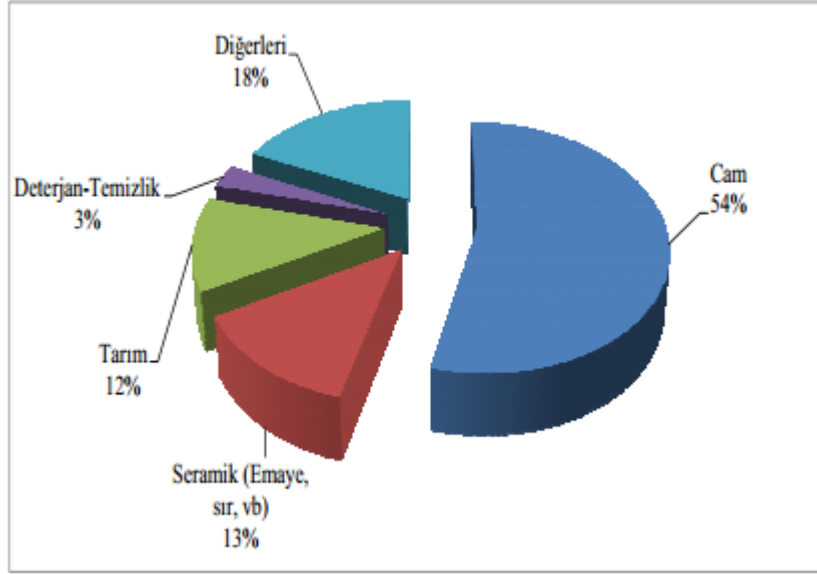
Tekdüze ve çok spesifik kimyasal karakteristiklerinden dolayı, özellikle 2. Dünya Savaşı'ndan sonra, bor kimyasının hızla gelişmesi sayesinde, bugün konsantre, rafine ürün ve nihai ürün şeklinde, en az 200'ünde alternatifsiz olmak üzere, 250'yi aşkın kullanım alanı oluşmuştur. Bor, ilave edildiği malzemelerin katma değerlerini yükseltmekte, bu nedenle bugün sanayiinin tuzu olarak adlandırılmaktadır. Gelişen teknolojiler, bor kullanımını ve bora bağımlılığı artırmakta, borun stratejik mineral olma özelliği giderek daha da belirginleşmektedir [13].

Bor ürünleri; uzay ve hava araçları, nükleer uygulamalar, askeri araçlar, yakıtlar, elektronik ve iletişim sektörü, tarım, cam sanayi, kimya ve deterjan sektörü, seramik ve polimerik malzemeler, nanoteknolojiler, otomotiv ve enerji sektörü, metalurji ve inşaat gibi pek çok alanda kullanılmaktadır [1].



Şekil 2. 2 Çeşitli bor ürünlerinin kullanım alanları [1]

- Cam sanayii
- Seramik sanayii
- Temizleme ve beyazlatma sanayii
- İnşaat ve çimento sanayii
- Yanmayı önleyici (geciktirici) maddeler
- Nükleer uygulamalar
- Enerji sektörü
- Makine ve metalürji
- Savunma sanayi
- Tarım
- Atık temizleme
- Yakıt
- Sağlık
- Diğer kullanım alanları



Şekil 2. 3 Bor tüketiminin nihai kullanım oranlarına göre dağılımı[1]

2.1.1 Cam Sanayii

Cam sektörü (cam elyafı ve borosilikat cam) borun en fazla kullanıldığı sektördür. Bütün dünyada bor kullanımının %42'si cam endüstrisinde. Bor oksit; borosilikat camlar, tekstil cam elyafı ve yalıtım cam elyafının önemli bir bileşimidir. Bu üç ürün cam endüstrisinde bor bileşiklerinin ana tüketim yeridir. Düz cam ve konteyner cam gibi birçok üründe az miktarda bor bileşikleri bulunabilir. Bor oksit, susuz boraks, borik asit gibi bor bileşikleri halinde veya boraks ya da kolemanit gibi mineraller şeklinde cama katılır. Bor oksit, çok kuvvetli bir cam yapıcıdır. Diğer bir ifade ile devitrifikasyonunu (kristallenme) önler. Genleşmeyi düşürdüğünden ısıl şoklara dayanımı artırır [10], [15].

Yalıtım cam elyafı üretiminde ergimiş cama %7 borik asit verecek şekilde boraks pentahidrat veya üleksit, probertit katılmaktadır. Maliyete bağlı olarak sulu veya susuz tipleri kullanılmakta, bazı hallerde de borik asitten yararlanılmaktadır. Arzulanan yalıtım derecesine göre çeşitli spesifikasyonlar tanımlanır. Roll, loft veya sünger halinde imal edilmektedir. Binalarda yalıtım amacıyla kullanılmaktadır. Hafifliği, fiyatının düşüklüğü, gerilmeye olan direnci ve kimyasal etkilere dayanıklılığı nedeniyle plastiklerde, sınav elyafı vb. de, lastik ve kağıtta yer edinmiş olan cam elyaf, kullanıldığı malzemelere sertlik ve dayanıklılık kazandırmaktadır. Yapılan araştırmalar cam elyafın kullanım alanının genişleyeceğini göstermektedir [15].

Borosilikatlı camların aside ve çizilmeye karşı direnci vardır. Cama bu özelliği kazandıran, ısıya dayanmasını, cam imalatı sırasında çabuk ergimesini ve devitrifikasyonunun önlenmesini sağlayan bor; camın yansıtma, kırma, parlama gibi özelliklerini de arttırmaktadır. Cam tipine bağlı olarak; cam eriğinin %0,23 ile %0,50'si bor oksitten oluşmaktadır. Genellikle cama boraks, kolemanit, borik asit halinde karma olarak ilave edilmektedir [15].

2.1.2 Seramik Sanayii

Seramik sanayisinde bor minerali ve ürünleri çoğunlukla seramik sıı ve porselen emaye yapımında frit üretimi aşamasında kullanılmaktadır. Emayelerin vizkozitesini ve doyunlaşma ısısını azaltan borik oksit %20'ye kadar kullanılabilir. Özellikle emayeye katılan hammaddelerin %17-32'si bor oksit olup, sulu boraks tercih edilir. Bazı hallerde borik asit veya susuz boraks da kullanılır. Seramik karo kaplama, süs ve sofrta malzemeleri üreticilerinin üretimlerinde kullandıkları sır'ın ana hammaddesi frit'tir. Bor ürünleri de fritin en önemli hammaddeleri olup, seramik sektörü ürünler maliyetlerini etkilemektedir [16].

2.1.3 Temizleme ve Beyazlatma Sanayii

Sabun ve deterjanlara mikrop öldürücü (jermisit) ve su yumuşatıcısı etkisi nedeniyle %10 boraks dehidrat ve beyazlatıcı etkisini arttırmak için toz deterjanlara %10-20 oranında sodyum perborat katılmaktadır. Çamaşır yıkamada kullanılan deterjanlara katılan sodyum perborat aktif bir oksijen kaynağı olduğundan etkili bir ağartıcıdır. Perboratların çamaşır yıkamada klorlu temizleyicilerin yerini alması sıcak ve soğuk su kullanımına bağlıdır. Çünkü perboratlar ancak 55°C'in üstünde aktif hale geçerler. 40°C sıcaklıkta etkinliği düşük olan perboratların düşük sıcaklıkta etkinliği artırmak için yıkama süresi veya ağartıcı miktarı artırılabilir. Günümüzde perborat ağartıcıların 40°C sıcaklıktaki etkinliğini artırmak için aktivatörler (TEAD gibi) kullanılmaktadır [10], [17].

Dünyada kullanılan diğeri bir ağartıcı malzeme de sodyum hipoklorittir. Ağartıcılar (perborat ve hipoklorit), oksidasyon (elektronların bir atom ya da molekülden ayrılmasını sağlayan kimyasal tepkimedir) ile lekeleri uzaklaştırır. Ağartma aktivatörü

TEAD (tetraacetyl ethylene daimine) veya sodyum tuzları, düşük sıcaklıkta ağartma verimini artırmak için kullanılır [10].

Çizelge 2. 2 Sodyum perborat ve sodyum hipoklorit ağartıcılarının karşılaştırması [10]

	Sodyum perborat	Sodyum hipoklorit
Etkin madde	Oksijen	Oksijen
Sıcaklık (40°C)	Etkinliği düşük	Etkinliği yüksek
Kumaşa etkisi	Çok az zarar	Çok fazla zarar
Renklere etkisi	Çok az zarar	Çok fazla zarar

2.1.4 İnşaat ve Çimento Sanayii

İnşaat ve çimento sanayiinde; çimento için dayanıklılık artırıcı ve izolasyon özelliği sağlaması açısından kullanılmaktadır. Ayrıca bor katkılı çimentonun diğer çimentoya göre daha dayanıklı olduğu ve daha hızlı soğuduğu kanıtlanmış ve bu özelliği sebebiyle yol çalışmalarında, tünellerde ve barajlarda kullanımı önem kazanmıştır. Ayrıca düşük hidratasyon ısı nedeniyle tüp geçitlerde, barajlarda ve köprülerde de kullanılabilir [10].

2.1.5 Yanmayı Önleyici (Geciktirici) Maddeler

Borik asit ve boratlar selülozik maddelere, ateşe karşı dayanıklılık sağlarlar. Tutuşma sıcaklığına gelmeden selülozdaki su moleküllerini uzaklaştırırlar ve oluşan kömürün yüzeyini kaplayarak daha ileri bir yanmayı engellerler. Ateşe dayanıklı madde olarak selülozik yalıtım maddelerinin kullanımı borik asit tüketiminin artmasına yol açmıştır.

Bor bileşikleri plastiklerde yanmayı önleyici olarak giderek artan oranlarda kullanılmaktadır. Bu amaç için kullanılan bor bileşiklerinin başında çinko borat, baryum metaborat, borfosfatlar ve amonyum fluoboratlar gelir [15].

2.1.6 Nükleer Uygulamalar

Nükleer uygulamalarda, borun nötron soğurma gücünün çok yüksek olması sebebiyle atom reaktörlerinde borlu çelikler, bor karbürler ve titanbor alaşımları kullanılmaktadır. Reaktör aksamaları, nötron soğurucular, reaktör kontrol çubukları, nükleer kazalarda güvenlik amaçlı ve nükleer atık depolayıcı olarak kullanılmaktadır [18]. 2300°C'lik yüksek erime sıcaklığı ve kimyasal dayanımı reaktör tekniğinde avantajlı bir durumdur [10].

2.1.7 Enerji Sektörü

Termal storage pillerindeki, sodyum sülfat ve su ile yaklaşık %3 ağırlıktaki boraks dehidratın kimyasal karışımı günümüzün güneş enerjisini depolayıp, gece ısınma amacıyla kullanılabilir. Ayrıca, binalarda tavan malzemesine konulduğu takdirde güneş ısınlarını emerek, evlerin ısınmasını sağlayabilmektedir. Ayrıca, bor, demir ve nadir toprak elementleri kombinasyonu (METGLAS) %70 enerji tasarrufu sağlamaktadır. Bu güçlü manyetik ürün; bilgisayar disk sürücüleri, otomobillerde direk akım motorları ve ev eşyaları ile portatif güç aletlerinde kullanılmaktadır [15].

2.1.8 Makine ve Metalürji Sanayii

Makine ve metalürjide; bor kimyasalları yüksek sıcaklıklarda düzgün, yapışkan, koruyucu ve temiz bir sıvı oluşturma özelliğinden dolayı, koruyucu bir cüruf oluşturu ve erimeyi hızlandırıcı madde olarak kullanılmaktadır. Özellikle çeliğin sertliğini artırıcı madde olarak tercih edilmektedir. Bor, makina/metalürji sanayisinde demir esaslı malzemelerden yapılan makine parçalarında elemanların aşınmaya, yüzey basıncına, korozyona karşı dirençli olması için yüzeylerinin sertleştirilmesinde kullanılmaktadır [19].

2.1.9 Savunma Sanayii

'Boron Carbide' bileşenin olağanüstü sertliğinden dolayı tank zırhında ve kurşun geçirmez yeleklerde kullanılmaktadır. Mohs sertlik skalasında 9.5 derecesi vardır, elmasın sonra bilinen en sert malzemelerden biridir.

2.1.10 Tarım

Bor mineralleri bitki örtüsünün gelişmesini arttırmak veya önlemek maksadıyla kullanılmaktadır. Bor, değişken ölçülerde, birçok bitkinin temel besin maddesidir. 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. Bor, sodyum klorat ve bromosol gibi bileşiklerle birlikte otların temizlenmesi veya toprağın sterilizasyonu gereken durumlarda da kullanılmaktadır [15], [19].

2.1.11 Atık Temizleme

Sodyum borohidrat, atık sulardaki civa, kurşun, gümüş gibi ağır metallerin sulardan temizlenmesi amacıyla kullanılmaktadır [15].

2.1.12 Yakıt

Sodyum tetraborat, özel uygulamalarda yakıt katkı maddesi olarak kullanılmaktadır. Daha önce Amerikan Donanması tarafından uçak yakıtı olarak kullanılmıştır. Dibor, B_2H_6 ve B_5H_9 gibi bor hidratlar; uçaklarda yüksek performanslı potansiyel yakıt olarak araştırılmışlardır. Bor hidrürler hidrojenle karşılaştırıldığında daha yüksek performansla yanmaktadır. Fakat, pahalı, toksit ve yakıldığında açığa çıkan bor oksit çevresel açıdan uygun değildir [15], [19].

2.1.13 Sağlık

BNCT (Boron Neutron Capture Therapy) kanser tedavisinde kullanılmaktadır. Özellikle; beyin kanserlerinin tedavisinde hasta hücrelerin seçilerek imha edilmesinde kullanılmakta ve sağlıklı hücrelere zararının minimum düzeyde olması nedeniyle tercih nedeni olabilmektedir. Ayrıca, insan vücudunda normalde bulunan bor, bazı ülkelerde tabletler şeklinde üretilmeye başlanmıştır [15].

2.1.14 Diğer Kullanım Alanları

Ahşap malzeme korunması için sodyum oktaborat kullanılır. %30'luk sodyum oktaborat çözeltisi ile muamele görmüş tahta malzeme yavaş yavaş kurutulursa bozunmadan ve küllenmeden uzun süre kullanılabilir.

Silisyum üretiminde bor triklorür, polimer sanayiinde, esterleme ve alkilleme işlemlerinde ve etil benzen üretiminde bor trifluorür katalizör olarak kullanılmaktadır.

Bor karbür ve bor nitrür; döküm çeperlerinde yüksek sıcaklığa dayanıklı (refrakter) malzeme püskürtme memelerinde de aşınmaya dayanıklı (abrasif) malzeme olarak kullanılan önemli bileşiklerdir.

Araçların soğutma sistemlerinde korozyonu önlemek üzere boraks, antifiriz karışımına katkı maddesi olarak da kullanılır.

Tekstil sanayiinde, nişastalı yapıştırıcıların viskozitlerinin ayarlanmasında, kazeinli yapıştırıcıların çözücülerinde, proteinlerin ayrıştırılmasında yardımcı madde boru ve tel çekmede akıcılığı sağlayıcı madde, dericilikte kireç çöktürücü madde olarak boraks kullanılmaktadır [15], [19].

2.2 Türkiye’de Bor Üretimine Tarihçesi

Bor ve türevleri uzun yıllardan beri kullanılmaktadır. Tarihçesine bakılınca, Bor tuzlarının 4 bin yıl önce ilk kez Tibet’te kullanıldığı, Babiller tarafından değerli eşyaların ergitilmesinde, Mısırlılarca mumyalamada, Eski Yunan ve Romalılarca da zemine serpilerek arena temizliği için kullanıldığı saptanmıştır. 875 yılında ise, Araplar ilk kez bor tuzlarından ilaç yapmışlardır [20], [21].

Türkiyede ilk işletmenin 1861 yılında çıkartılan Maadin Nizannamesi uyarınca 1865 yılında bir Fransız şirketine 20 senelik işletme imtiyazı verilmesiyle başladığı bilinmektedir [22].

1850’li yılların başında, Bebek’te mermer işleri ile uğraşan Polonya’lı mülteci Henri Groppler eski ortağı Fransız mühendis Camille Desmazes’e alçı taşından yapıldığını sandığı heykeller hediye eder. Heykellerde yüksek oranda boraks olduğunu anlayan Fransız Camille Desmazes, ortağı ile birlikte Türkiye’de boraks aramaya başlar ve

Balıkesir ili Susurluk ilçesi yakınlarındaki Sultançayırı mevkiinde bulurlar. Buldukları "PANDERMİT" adı verilen bir bor minerali türüdür. Esasen bu saha 13 ve 14. Yüzyıllarda romalılar tarafından işletilmiş bir sahadır. Bu pandermitin işletilmesi için 1856 yılında Sultandan 37 dönüm arazi üzerine "alçıtışı" madeni çıkarmak üzere 20 sene süreli işletme izni alırlar [19].

Bor Osmanlı döneminde yabancı firmalar tarafından "ALÇITAŞI" olarak işletilmiştir [19]. Sanayileşme ve bunun motoru olan doğal kaynaklar ve finans olgularını bir arada sağlayan Etibank, 14.06.1935 tarihinde 2805 sayılı Kanunla kurulmuş olup 1998 yılının başında yeniden yapılandırılarak Eti Holding A.Ş., Ocak 2004 yılında tekrar yeniden yapılandırılarak Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü adını almıştır [21].

Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü bor alanındaki faaliyetlerini sürdürmek amacıyla kuruluşundan itibaren büyük adımlar atmıştır. Bunlar sırasıyla;

1958 yılında Emet/Kütahya Kolemanit İşletmesi kurulmuştur.

1964 yılında Bandırma/Balıkesir Boraks İşletmesi kurulmuştur.

1970 yılında Kırka/Eskişehir Boraks İşletmesi kurulmuştur.

1976 yılında Bigadiç Bor İşletmesi kurulmuştur.

1979 yılında Kestelek/Bursa Kolemanit İşletmesi kurulmuştur [21].

Türkiye'de rezerv açısından en çok bulunan bor mineralleri tinkal (Boraks) ($\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) ve kolemanit ($2\text{CaO} \cdot 3\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)'tir. Türkiye'de önemli tinkal yatakları Kırka'da, kolemanit yatakları ise Emet ve Bigadiç civarında bulunmaktadır. Bunlara ilaveten, Bigadiç'te az miktarda üleksit rezervi mevcut olup Kestelek'te kolemanit yanında zaman zaman üleksit yan ürün olarak elde edilmektedir. Bor rezerv miktarları ve mineral bazında bor rezervleri, sırası ile Çizelge 2.3 ve Çizelge 2.4'de verilmektedir [1].

Çizelge 2. 3 Eti Maden bor rezervlerinin miktarları [1]

Cevher	Toplam (ton)
Emet (kolemanit)	1.794.246.347
Kırka (tinkal)	841.326.769
Bigadiç (kolemanit-üleksit)	637.130.678
Kestelek (kolemanit)	5.623.063
Toplam	3.278.326.857

Çizelge 2. 4 Mineral bazında Türkiye’de bor rezervleri [1]

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

2.2.1 Türkiye’deki Bor İşletmeleri

2.2.1.1 Bigadiç Bor İşletme Müdürlüğü

Bigadiç ilçesinin 12 km kuzeydoğusundaki Osmanca köyü hudutları içinde kurulmuş olan işletmede, 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 diğerk bölümü ise öğütölmüş kolemanit ve rafine bor ürünleri üretiminde kullanılmaktadır [23].

2.2.1.2 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 kolemanit üretimi iki adet açık işletmede (Espey ve Hisarcık Açık Ocakları) yapılmaktadır. Bir bölüm ürün yoğunlaştırılmış olarak satılmakta, diğerk bölümü ise işletme bünyesindeki tesiste borik asit üretiminde kullanılmaktadır [23].

2.2.1.3 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 dönüştüröldükten sonra tamamına yakını işletme bünyesindeki bor türevleri tesislerine beslenerek boraks pentahidrat üretilmektedir. Ayrıca tek kademedeki 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 [23].

2.2.1.4 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 [23].

2.2.1.5 Bandırma Bor ve Asit Fabrikaları İşletme Müdürlüğü

Bandırma'daki tesisler, Bandırma Balıkesir yolu üzerinde ilçe merkezine 4 km mesafede 677.350 m²lik 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 [23].

2.2.2 Türkiye ve Dünyadaki Durumu

Türkiye’de bilinen başlıca borat yatakları Batı Anadolu’da yer almaktadır ve bu yataklar Dünya rezervinin yaklaşık olarak %73’ünü kapsamaktadır. Kırka/Eskişehir, Bigadiç/Balıkesir, Kestelek/Bursa ve Emet/Kütahya Türkiye’nin önemli bor yataklarından birkaçıdır. Çıkarılan bor dünyanın en büyük bor bileşiği tedarikçisi olarak bilinen Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü tarafından işletilmektedir. Bor Türkiye tarafından hammadde olarak üretilmekte ve ABD veya Batıya hammadde olarak satılmaktadır. Türkiye’de çıkarılan borun %90’ı ihraç edilmekte, %10’u ise cam, seramik, temizlik gibi alanlarda kullanılmaktadır. Türkiye’de rezerv açısından en çok bulunan bor cevheri tinkal ve kolemanittir. Türkiye’de önemli tinkal yatakları Kırka’da, kolemanit yatakları ise Emet ve Bigadiç civarında bulunmaktadır [1], [24].

Dünya’da önemli bor yatakları Türkiye, Rusya ve ABD’de olup dünya ticari bor rezervleri 4 bölgede toplanmaktadır. Bunlar; ABD Kaliforniya Eyaletinin güneyinde yer alan “Mojave Çölü”, Güney Amerika’da yer alan “And Kemerini”, Türkiye’nin de yer aldığı “Güney-Orta Asya Orojenik Kemerini” ve Doğu Rusya’dır. Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü’nden sonra gelen diğer önemli bor üreticisi ise ABD’deki Rio Tinto’dur [1].

Türkiye dışında diğer önemli bor rezervlerinin bulunduğu bor yataklarının rezerv dağılımı farklı kaynaklardan alınan bilgilere göre şöyledir;

Boron (Kramer) Yatakları, Kuzey Amerika:Rio Tinto firması tarafından açık ocak işletmeciliği yöntemi ile işletilen yatağın toplam rezervi firmanın 2010 yılı faaliyet raporundaki verilere göre B₂O₃ bazında 24 milyon tondur.

Sırbistan: Jadar Bor Havzasının işletme hakkını Rio Tinto firması 2005 yılında almış olup, havzanın Li₂O içeriği %1.8 ve B₂O₃ içeriği ise %13.1’dir. Yatak kolemanit ve jadar minerallerinden oluşmaktadır. Rio Tinto firmasının 2010 yılı faaliyet raporuna göre bu havzanın tahmini muhtemel rezervi 16.2 milyon ton olarak verilmektedir. Rio Tinto’nun (Rio Tinto Borax, RTB, Rio Tinto Mineral veya US Borax) Sırbistan’daki bor kaynaklarını

işletmeye 2015-2016 yıllarında başlaması beklenmektedir. Kanada'da yerleşik Erinventure ve Sırbistan'da yerleşik JP PEU firmalarının ortaklaşa geliştirmekte olduğu Sırbistan'ın güneyindeki Piskanja bor yatağında yaklaşık 2.9 milyon ton B_2O_3 olduğu tahmin edilmektedir.

Fort Cady Kalsiyum Bor Yatağı Mojave Desert, Kaliforniya: Fort Cady Minerals tarafından çözelti madenciliği yöntemi ile işletilen yatak düşük tenörlü ve derinde olması nedeniyle (~410 metre) çıkarılması, işlenmesi zor ve maliyeti de yüksektir. Bu yatakta şu anda üretim yapılmamaktadır.

Death Valley Bor Yatakları/Billie Mine: American Borate Company tarafından yer altı ocak işletmeciliği yöntemi ile işletilen yatak kolemanit, üleksit ve propertit içermektedir. Ancak bu yatakta şu anda üretim yapılmamaktadır.

Güney Amerika Bor Yatakları: Söz konusu yatakların en önemli özelliği genelde çok geniş alanlara küçük rezervler halinde yayılmasıdır. Diğer önemli bir özellik ise; bu yatakların And dağlarının ortalama 4.000 metrenin üzerindeki yüksek bölgelerinde yer alması ve çalışma mevsiminin kısa olmasıdır. Ayrıca, bu madenlerin genelde tenörleri düşüktür. Güney Amerika rezervlerinin büyük bir bölümünü üleksit (sodyum kalsiyum borat bazdan) oluşturmaktadır.

Tincalayu, Arjantin (2007): Söz konusu yatak, 300 bin ton B_2O_3 bazında tinkal ve kernit rezervine sahiptir.

Salar de Surire Bor Cevheri Yatağı, Şili: Arica'nın(Şili) deniz seviyesinden 4.050 m yükseklikte bulunan yatak 1.5 milyar ton tuvönan (B_2O_3 bazında 30 milyon ton) rezervi ile dünyanın en büyük üleksit yataklarından biridir. Söz konusu yatak, QuiBorax tarafından işletilmekte olup, esas olarak borik asit üretimi gerçekleştirilmektedir.

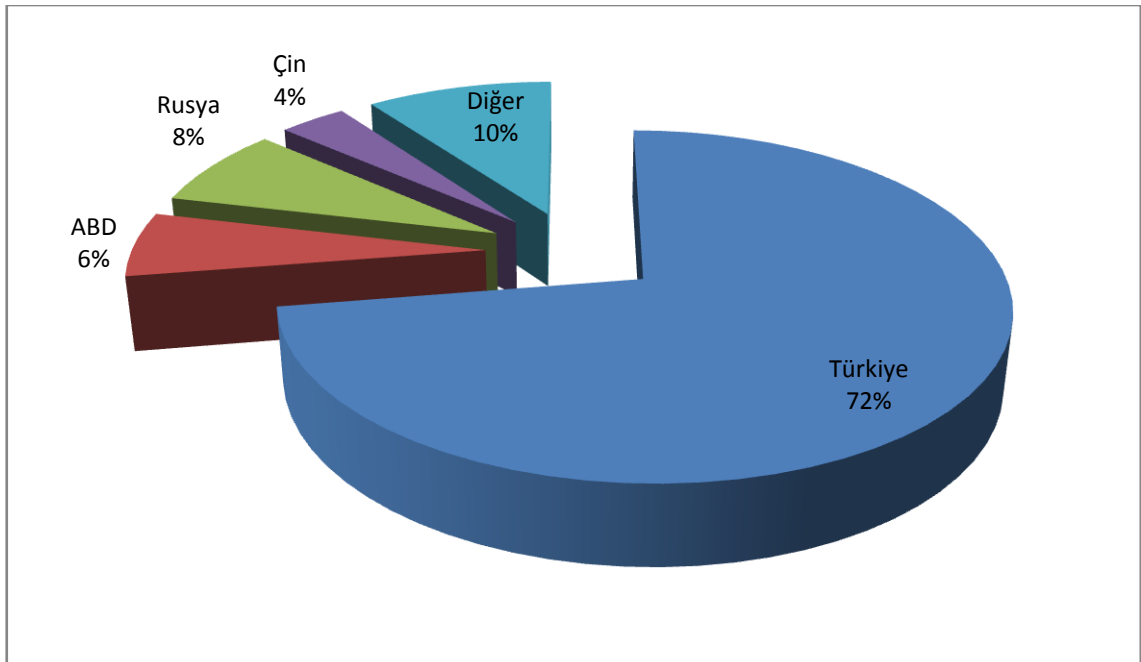
Salar de Carcote ve Salar de Ascotan, Kuzey Şili: SQM Salar tarafından işletilen Salar de Carcote ve Salar de Ascotan 7 milyon ton B_2O_3 bazında üleksit rezervine sahiptir.

Asya Bor Yatakları: Asya ülkelerindeki bor rezervleri genelde magnezyum borat (Askarit) ve sınırlı bölgelerde tinkal ve borosilikattan oluşur. Bu cevherler, genelde düşük tenörlü olup rafine ürün üretiminde teknolojik zorlukları olan yapıdadır. Askarit cevheri özellikle Çin ve Kazakistan da bulunmakta olup ortalama B_2O_3 tenörü %8-

10'dur. Çin'de doğal bor yatakları geniş olmasına rağmen, yatakların %90'dan fazlasının tenörü %12 B_2O_3 'ün altındadır. Doğal bor üretiminin büyük bir bölümü Çin'in kuzeydoğu bölgesindeki askarit yataklarından gerçekleştirilmektedir. Bu rezervler azalmaktadır ve 2012 yılında tükenebilecektir. Qinghai (Çin) bor yatakları 4.000 m yükseklikte bulduklarından ve birbiriyle ilişkili mineral grupları içerdiklerinden (bor, lityum ve potasyum) Güney Amerika da yer alan bor yataklarına benzemektedirler.

Rusya Bor Yatakları: Rusya'nın en önemli bor yatağı, dünyada bilinen 3 önemli datolit bor yataklarından biri olan Dalnegorsk (Rusya) yatağı olup ortalama B_2O_3 tenörü %9-12'dir [1],[25] .

Dünya bor üretimine bakıldığında hacim itibarıyla son 5 yıldır dünyanın liderliğini Türkiye almıştır. Dünya ham bor tüketiminin %95'ini Türkiye karşılamaktadır. Bir diğer üretici U.S. Borax, kesinlikle ham bor ihracat yapmamaktadır. Avrupa bor endüstrisi, Uzakdoğu ve Asya tamamen Türk borlarına bağımlıdır. Türkiye'nin ihracatı ağırlıklı olarak Amerika'da; Owens Corning, American Borat Company, PPG Firmalarına, Avrupa'da; E.On A.G, Solvey, Saint Gobain firmalarına yapılmaktadır [1].



Şekil 2. 4 Dünya bor rezerv dağılımı [1]

Bor mineralleri kendi içinde kalsiyum boratlar, sodyum boratlar, kalsiyum-sodyum boratlar, magnezyum boratlar ve diğer boratlar olarak ayrılmaktadır.

2.3 Bor Mineralleri

2.3.1 Kalsiyum Boratlar

Kristal suyu içeren minerallerdir. Ana yapısı aynı olmasına rağmen yapısında içerdikleri farklı mol oranlarındaki kristal suları dolayısıyla özelliklerinde farklılıklar gösterirler.

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

Monoklinik sistemde kristallenir. Sertliği 4-4.5 olarak belirlenmiştir. Özgül ağırlığı 2.42'dir. B_2O_3 içeriği %50.8'dir. Suda yavaş, HCl asitte hızla çözünür. Bor bileşikleri içinde en yaygın olanıdır. Türkiye'de Emet, Bigadiç ve Kestelek yataklarında, dünyada ABD'de bulunmaktadır. En büyük rezerv Türkiye'dedir [15], [26].



Şekil 2. 5 Kolemanit minerali [27]

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

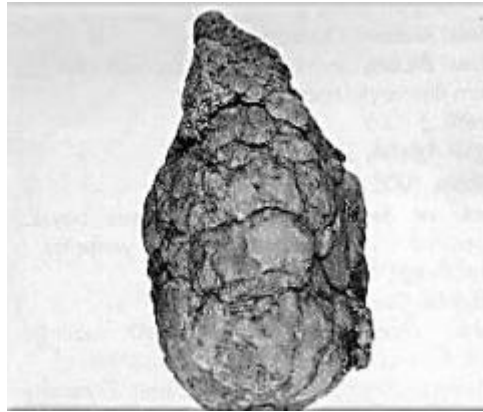
İnyoit yersel olarak, Kırka ve Bigadiç yataklarındaki ocaklardan bazılarında gözlenmektedir. Söz konusu mineral, bireysel tabuler kristaller ve kristal yığılımları olarak, renksizden beyaza kadar değişen tonlarda bulunmaktadır. Belirgin olarak, meyerhofferit, kolemanit ve üleksit ile birlikte bulunmaktadır [15], [28].



Şekil 2. 6 İnyoit minerali [27]

2.3.1.3 Pandermit ($\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11}\cdot 3\text{H}_2\text{O}$)

Beyaz renkte ve yekpare olarak görülmektedir, bazen de kireçtaşına benzemektedir. Ülkemizde Sultançayırı ve Bigadiç yataklarında gözlenmektedir. B_2O_3 içeriği %49.8'dir [15]. Pandermit, jips ve kil düzeylerinin altında nodüller ve bir ton ağırlığına kadar ulaşan kütleler halinde bulunmaktadır.



Şekil 2. 7 Pandermit minerali [27]

2.3.2 Sodyum Boratlar

Sodyum borat bileşiklerinden en önemlileri boraks(tinkal), tinkalkonit ve kernit(razonit)tir. Kalsiyum boratlar gibi ana yapıları aynı fakat içerdikleri farklı miktardaki su nedeniyle kimyasal ve fiziksel özelliklerinde farklılıklar görülmektedir.

2.3.2.1 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 2- 2.5, özgül ağırlığı 1.7

gr/cm³ B₂O₃ içeriği %36.5'dir. Tinkal suyunu kaybederek kolaylıkla tinkalkonite dönüşebilir. Kille ara katkılı tinkalkonit ve üleksit ile birlikte bulunur. Ülkemizde Eskişehir-Kırka yataklarından üretilmektedir [15].



Şekil 2. 8 Boraks (tinkal) minerali [27]

2.3.2.2 Tinkalkonit (Na₂B₄O₇.5H₂O)

Bor içeriği %14.8, B₂O₃ içeriği %47.8'dir. Tozlu tebeşir beyazı görünümündedir. z biçimli kristalleri bulunmaz. Kurak çöl ikliminin egemen olduğu bölgelerde, alkali su birikintilerinin kuruma yüzeylerinde bulunan bir mineraldir. Boraksın suyunu kaybetmesi veya kernitin su almasıyla oluşur. Tinkalkonit Kırka yatağına bağlı olup bu yatakta bağımsız kristaller oluşturmamakta fakat yalnızca boraksın ve kernitin alterasyonu olarak bulunmaktadır. Genellikle aksesuar olarak kullanılmaktadır [10]-[15].



Şekil 2. 9 Tinkalkonit minerali [27]

2.3.2.3 Kernit (Razonit) ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)

Bor içeriği %15.8, B_2O_3 içeriği %50.9'dur. Tabiatta renksiz, saydam uzunlamasına iğne şeklinde küme kristaller halinde bulunur. Kolay kırılan ve ince kılcal iğneciklere ayrılan saydam bir mineraldir. Soğuk suda yavaş da olsa çözülür. Sertliği 3, özgül ağırlığı 1.95 gr/cm^3 'tür. Soğuk suda az çözünür. Kırka'da Na-borat kütlesinin alt kısımlarındadır. Dünya'da ise Arjantin ve ABD'de bulunur [10], [15], [18].



Şekil 2. 10 Kernit (razolit) minerali [27]

2.3.3 Kalsiyum-Sodyum Boratlar

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

Tabiatta masif, karnabahar şeklindeki lifsi ve sütun şeklinde bulunur. Saf olanı beyaz rengin tonlarındadır. İpek parlaklığında olanı da vardır. Genelde kolemanit, hidroborasit ve probertit ile birlikte teşekkül edilmiştir. B_2O_3 içeriği %43'tür. Ülkemizde Kırka, Bigadiç ve Emet yörelerinde, dünyada ise Arjantin'de bulunmaktadır [10].



Şekil 2. 11 Üleksit minerali [27]

2.3.4 Magnezyum Boratlar

2.3.4.1 İnderit ($Mg_2B_6O_{11} \cdot 15H_2O$)

Kırka yatağında gözlenmiştir ve sınırlı bir dağılıma sahiptir. Bu mineral, yataktaki borat zonunun sadece üst kısmında kurnakovitle birlikte bulunmaktadır. İnderit, genellikle kil ve kurnakovit kristalleriyle bir arada bulunan radyal ve küresel (spherulitic) agregatlar halinde ya da ince çubuklar ve iğneler şeklinde gözlenmektedir. İnderit kristalleri 1-2 cm uzunluğunda ve 1-2 mm enindedir. Kristaller renksiz ve saydam olup yarılmaz düzlemlerinde camsı, muntazam olmayan yüzeylerinde de donuk ve yağlı gibi bir parlaklığa sahiptir. Bazen, nderit az miktarda kil ihtiva etmesi nedeniyle, gri renkte görülmektedir. Genellikle kurnakovit ile yakın bir birlik içinde bulunmaktadır [15].



Şekil 2. 12 İnderit minerali [27]

2.3.4.2 Kurnakavit ($Mg_2B_6O_{11} \cdot 15H_2O$)

Kırka yöresinde bulunan bu mineral nderitin polimorfudur. İnderit monoklinal, kurnakavit ise triklinik kristalleşir. Kurnakavit Sarıkaya borat yataklarında boraks ve üleksitten sonra en çok rastlanan mineraldir. Genellikle yatakların kenarlarında ve tavanlarında bulunur. Bu kesimlerdeki dağılımı muntazam olmayıp, killerin, özellikle yatakların üstünde yer alan mavi-yeşil örtü killerinin içinde dağınık oluşumlar halindedir [28].



Şekil 2. 13 Kurnakavit minerali [27]

2.3.5 Diğer Boratlar

2.3.5.1 Borik asit (H_3BO_3)

Antiseptikler, bor alaşımları, nükleer, yangın geciktirici, naylon, fotoğrafçılık, tekstil, gübre ve daha birçok alanda kullanılan borik asit kokusuz, tatsız, havada kararlı, beyaz kristaller şeklinde bir maddedir. Mineral halinde bulunmaktadır. Aynı zamanda çözelti halinde de bulunabilmektedir (özellikle kaplıca sularında). Sulu ortamda orta derecede, alkol ve gliserinde tam olarak çözünmektedir. Borik asit; hidroksil iyonu olan çok zayıf mono bazik asittir. Sıcaklık arttıkça sırasıyla metaborik asit, tetraborik asit ve camsı bor trioksit halini almaktadır [19].



Şekil 2. 14 Borik asit [27]

2.3.5.2 Tünelit ($SrB_6O_{10} \cdot 4H_2O$)

Ülkemizden elde edilen bor minerallerinin yanında yan ürün olarak elde edilmektedir. Tünelit mineralinin kristalinin yapısı birçok bor mineralinde olduğu gibi, monoklinaldır.

Türkiye’de tünelit mineraline, Eskişehir iline bağlı Seyitgazi ilçesinin 20 km kadar güneybatısındaki Göcenoluk mevkiindeki borat yataklarında rastlanmaktadır [29].



Şekil 2. 15 Tünelit minerali [27]

2.4 Magnezyum Borat Mineralleri

Magnezyum boratlar, magnezyum ve bor kaynağı olarak, diğer rafine boratlar veya metal boratların yerine sıkça kullanılmaktadırlar. Diğer bor minerallerine kıyasla daha az rafine olarak elde edilen magnezyum boratlar dünyada; Çin’in Kuzey Kore bitişik Liao-Dong yarımadasında yer altından madensel yöntemlerle veya deniz suyundan elde edilen çift tuzun dönüşümüyle elde edilmektedir.

Magnezyum boratların kullanım alanları oldukça fazladır. Magnezyum boratlar, magnezyum ve bor kaynağı olarak, diğer rafine boratlar veya metal boratların yerine sıkça kullanılmaktadırlar. Genel olarak; hem magnezyum hem de bor içeriğinden dolayı toprağın pestisitlerden arındırılmasında, süper iletken magnezyum diborürün üretilmesinde, bor içeriğinden dolayı aşınma ve sürtünmeyi azaltıcı katkı olarak yağlarda, seramik endüstrisinde, metal yüzeyleri için yalıtkan kaplama bileşimlerinde, ısıya duyarlı renk veren mürekkep bileşimlerinde, boyalarda korozyonu önleyici katkı olarak, deterjan bileşimlerinde, kontakt lens yıkama sularında ve alev geciktiricilerde kullanılmaktadır. Çeşitli yöntemlerle sentezlenmiş veya doğal olarak elde edilmiş farklı kompozisyonlarda çok sayıda magnezyum borat bileşiği bulunmaktadır. Çizelge 2.5’de çeşitli magnezyum borat mineralleri formülü ve bulunduğu yer ile birlikte verilmektedir [30].

Çizelge 2. 5 Magnezyum borat mineralleri [23], [26], [28]

Hidratlı Magnezyum Borat Mineralleri		
Mineral Adı	Formülü	Bulunduğu Yer
Admontit	$MgB_6O_7(OH)_6 \cdot 4H_2O$	Admont, Avusturya
Halurgit	$Mg_2(B_4O_7)_2 \cdot 5H_2O$	Atyrau, Kazakistan
İnderit	$2MgO \cdot 3(B_2O_3) \cdot 15H_2O$	Kaliforniya, Amerika
Kurnakovit	$Mg_2B_6O_{11} \cdot 15H_2O$	Kaliforniya, Amerika
Mkallisterit	$Mg_2(B_6O_7(OH)_6)_2 \cdot 9H_2O$	Kaliforniya, Amerika
Pertsevit	$Mg_2(BO_3) \cdot (OH)$	Batı Sibirya, Rusya
Pinnoit	$MgB_2O_4 \cdot 3H_2O$	Atyrau, Kazakistan
Preobrazhenskit	$Mg_3B_{11}O_{15}(OH)_9$	Atyrau, Kazakistan
Szaybelit (Askarit)	$Mg_2B_2O_5 \cdot H_2O$	Torino, İtalya
Wightmanit	$Mg_5(BO_3)O(OH)_5 \cdot 2H_2O$	Kaliforniya, Amerika
Susuz Magnezyum Borat Bileşikleri		
Kotoit	$Mg_3B_2O_6$	Batı Sibirya, Rusya
Suanit	$Mg_2B_2O_5$	Batı Sibirya, Rusya
Magnezyum Kloro Borat Bileşikleri		
Borasit	$Mg_3B_7O_{13}Cl$	Almanya, Rusya, Çin
Shabinit	$Mg_5(BO_3)(Cl, OH)_2 \cdot 4H_2O$	Rusya
Karlit	$Mg_7(BO_3)_3(OH, Cl)_5$	Fransa

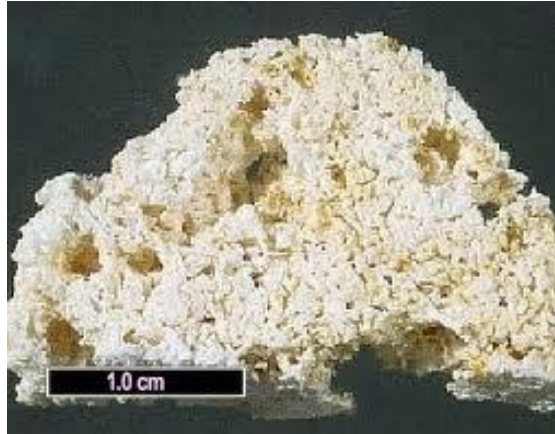
2.4.1 Hidratlı Magnezyum Borat Bileşikleri

2.4.1.1 Admontit ($\text{MgB}_6\text{O}_7(\text{OH})_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)

Admontit bir magnezyum hekzaborat hidratıdır. Kristal sistemi monoklinikdir. Sertliği 2.5, yoğunluğu $1.82 - 1.87 \text{ g/cm}^3$ 'tür. %17.28 bor içermektedir. Renksiz ve saydamdır. Avustralya'da alçıtaşı depozitlerinde bulunmaktadır. İlk olarak 1979'da bulunmuştur [28].

2.4.1.2 Mcallisterit ($\text{Mg}_2(\text{B}_6\text{O}_7(\text{OH})_6)_2 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$)

Mcallisterit bir magnezyum hekzaborat hidratıdır. Kristal sistemi trigonaldir. Sertliği 2.5, yoğunluğu 1.866 g/cm^3 'tür. Beyaz renklidir. %16.88 bor içermektedir. Bazalt taşı damarlarında bulunmaktadır. İlk olarak 1965 yılında tespit edilmiştir. Kaliforniya, Amerika'da bulunmaktadır [31], [28].



Şekil 2. 16 Mcallisterit minerali [27]

2.4.1.3 Pinnoit ($\text{Mg}(\text{BO}_2)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$)

Pinnoit bir magnezyum metaborat hidratıdır. Kristal sistemi tetragonaldir. Sertliği 3.5, yoğunluğu $2.27 - 2.29 \text{ g/cm}^3$ 'tür. Camsı parlaklık gösterir. Yeşilimsi veya kükürt sarısı renktedir. %24.19 MgO, %0.23 Fe, %0.40 Cl, %42.68 B_2O_3 , %32.50 H_2O içerir. Tuz yataklarında üst "kainit" tabakaları arasında, doğal borasit ile birlikte bulunmaktadır. Bol miktarda bulunmadığından önemli bir endüstriyel değeri yoktur [33].



Şekil 2. 17 Pinnoit minerali [27]

2.4.1.4 Szaybelit (Askarit) ($Mg_2B_2O_5 \cdot H_2O$)

Kristal sistemi monokliniktir. Romanya yakınlarında tespit edilmiştir. Küresel kitleler halinde bulunmaktadır. Sertliği 3-3.5, yoğunluğu ise 2.62 g/cm^3 'tür. %12.85 bor içermektedir. Beyaz, açık sarı rengindedir. İlk olarak 1861 yılında tespit edilmiştir. Torino, İtalya'da bulunmaktadır [28], [31].



Şekil 2. 18 Szaybelit minerali [27]

2.4.2 Susuz Magnezyum Borat Bileşikleri

2.4.2.1 Kotoit ($Mg_3B_2O_6$)

Kotoit bir magnezyum ortoborattır. Kore'de Suan yakınlarındaki Hol Kol madeninde bulunmaktadır. Kristal sistemi ortorombiktir. Sertliği 6.5, yoğunluğu 3.10 g/cm^3 'tür. Camsı parlaklık verir. %62.78 MgO, %35.20 B_2O_3 içerir. Nadir bulunan bir mineraldir. Ticari önemi yoktur [33].



Şekil 2. 19 Kotoit minerali [27]

2.4.2.2 Suanit ($Mg_2B_2O_5$)

Avrupa'da Fransa'da, Asya'da ise Çin'de bulunmaktadır. Kristal sistemi monoklinikdir. Sertliği 5.5, rengi beyazdır. %14.39 bor içermektedir. Parlaklığı ipeksi, inci rengindedir. İlk olarak 1953 yılında tespit edilmiştir. Batı Sibirya ve Rusya'da bulunmaktadır [28], [31].



Şekil 2. 20 Suanit minerali [27]

2.4.3 Magnezyum Kloro Borat Bileşikleri

2.4.3.1 Borasit ($Mg_3B_7O_{13}Cl$)

Sert kristal veya yumuşak beyaz kütle halinde bulunmaktadır. Yatak halinde oluşabileceği gibi jips ve anhidrit yataklarında da bulunur [21]. Kristal sistemi ortorombiktir. Sertliği 7 -7.5, yoğunluğu ise $2.91 - 3.1 \text{ g/cm}^3$ 'tür. Camsı, elmasa benzer bir parlaklığa sahiptir. Yeşil, mavi, renksiz, gri, beyaz, koyu yeşil gibi çeşitli renkleri mevcuttur. Kanada, Almanya, İngiltere, Kazakistan, Çin ve Avustralya'da bulunmaktadır [28].



Şekil 2. 21 Borasit minerali [27]

2.4.3.2 Shabinit ($Mg_5(BO_3)(Cl, OH)_2 \cdot 4H_2O$)

Kristal sistemi monokliniktir. Kar beyazı rengindedir. 1980 yılında keşfedilmiştir. İpek parlaklığında bir görünümü vardır. Rusya'da bulunmaktadır [28].



Şekil 2. 22 Shabinit minerali [27]

2.4.3.3 Karlit ($Mg_7(BO_3)_3(OH, Cl)_5$)

Kristal sistemi ortorombiktir. Sertliği 5.5 olarak belirtilmiştir. 1981 yılında keşfedilmiştir. Fransa'da bulunmaktadır [28].



Şekil 2. 23 Karlit minerali [27]

2.4.4 Magnezyum Boratların Üretim Yöntemleri

Magnezyum boratlar iki farklı yöntemle üretilmektedir. Bu yöntemler Hidrotermal sentez ve Katı-Hal sentezi olarak adlandırılmaktadırlar. Hidrotermal yöntem, sıvı bir ortamda magnezyum ve bor kaynaklarının ayrı ayrı çözümlendirilmesi ve bir sıcaklık yardımı ile reaksiyona sokulması prensibine dayanır. Katı-Hal (Termal) yöntemi ise yüksek sıcaklık fırını yardımı ile hava ortamında bor ve magnezyum kaynağının reaksiyona sokulması prensibine dayanmaktadır.

2.4.4.1 Katı Hal (Termal) Yöntem ile Katı Hal Sentezi

Literatürde katı-hal yöntemi ile yapılan pek çok çalışma mevcuttur. Magnezyum oksit, magnezyum klorür, magnezyum nitrat, magnezyum hidroksit ile genelde bor oksit ve borik asit kullanılarak yüksek sıcaklık fırınında sentezler gerçekleştirilmiştir. Bu sentezlerdeki ortak nokta susuz magnezyum borat bileşikleridir [34-42]. Çalışmalar daha yakından incelenecek olursa;

Dosler vd. çalışmalarında 1300°C'de $Mg_3B_2O_6$, 1000°C sıcaklıkta $Mg_2B_2O_5$ yapısının baskın faz haline olduğunu göstermiştir. Deney aşamasında ise boroksit ve magnezyum oksit kullanarak 12 saatte 500°C'de fırınladığı karışımları, 100°C kurutularak aseton içinde ön reaksiyona sokulmuştur. Daha sonra 10 saat sırasıyla 1200°C – 1300°C ve 1250°C – 1280°C sıcaklık aralıklarında kalsine edilerek katı hal yöntemle sentez yapılmıştır [32].

Güler vd. 900°C'de saf olarak Mg₂B₂O₅ bileşiği elde ettiği çalışmada, 1:1, 1:2, 1:3, 1:4, 1:5, 1:6 oranlarında MgO:H₃BO₃ karışımının 600°C – 900°C arasında ve 3 saatlik termal yöntem sentezi ile gerçekleştirmişlerdir [33].

Qasrawi vd.'nin yaptıkları çalışmada, 95 °C sıcaklıkta magnezyum hidroksiti borik asit sulu çözeltisine ilavesiyle bir reaksiyon gerçekleştirmiş, bu reaksiyondan sonra ise 120°C'de kurutulmasının ardından oluşan ara ürünü 500°C fırın sıcaklığında 5 saat kalsinasyon işlemine tabi tutulmuştur. Oluşan tozun agat motorda öğütülmesinden sonra 10 MPa basınçla oluşturulan 15mm çapında preslenen peletlerden 1250°C'de 3 saat yakma işlemi sonucunda oluşan Mg₂B₂O₅ kristallerinin karakterizasyonu ve termal analizi yapmışlardır [34].

Elssfah vd. termal metot ile, uygulayarak Mg(OH)₂ ve H₃BO₃ tozları homojen karışımının 900°C sıcaklıkta sintelenmesi yoluyla ve 3 saatlik reaksiyon süresinde hava atmosferinde magnezyum borat elde etmişlerdir. Üretilen nano düzeydeki Mg₂B₂O₅ kristallerinin çap aralığı 70 nm – 120 nm arasında değişmiş ve boyu birkaç nanometre arasında oluşmuştur [35].

Li vd. nano boyuttaki Mg₂B₂O₅ eldesini MgCl₂.6H₂O ve NaBH₄ başlangıç maddelerinin iki aşamalı prosesiyle gerçekleştirmişlerdir. Bunun için ilk önce hammaddeler toz karışımı 120 saat karıştırılıp katı formda Mg-B-H bağlarının kurulmasının ardından 800°C'de 2 saatlik sinterleme işlemine tutmuşlardır. Oluşan ürün deiyonize suyla yıkanması sonucu NaCl benzeri oluşumların uzaklaşmasını sağlamışlardır [36].

Erdoğan, katı hal ve çözeltide yanma metotlarıyla yaptığı magnezyum borat üretiminde magnezyum kaynağı olarak Mg(NO₃)₂ ve bor kaynağı olarak H₃BO₃ kullanarak B/Mg oranı ve reaksiyon süresinin oluşan ürün üzerindeki etkilerini incelemiştir. Katı-hal yönteminde B/Mg oranı 3/1 ve reaksiyon 3 saat olarak belirlenmiştir. Katı-hal sentezi ve çözeltide yanma yöntemi ile elde edilen boratların yapısal özelliklerinin aynı olduğu ancak yüzey özelliklerinin uygulanan yöntemle bağlı olarak değişiklik gösterdiği bulunmuştur [37].

Ay termal yöntemle yaptığı çalışmada Mg(NO₃)₂.6H₂O:B₂O₃ maddelerinden molce 1:1, 1:2, 1:3, 1:4, 1:5, 1:6, olarak alıp öğütmüştür. Daha sonra bu karışımlara sentez

uygulanmış ve 900°C sıcaklığa çıkıldığında elde edilen sonuçların iyi olduğu görmüştür [38].

Zhang vd. yaptığı çalışmada argon ortamında 1:1 molar oranda hazırlanan hammadde karışımını 8 saat öğütüp kuvars yataklı boru tipi fırının merkezinde 1100°C'de 90 dakika tutulup, oda sıcaklığına soğutulmuştur. Çalışma sonucunda ise 100 nm – 300 nm genişliğinde çeşitli uzunluklarda Mg₃B₂O₆ sentezlemiştir [39].

Zeng vd. nano boyutta Mg₂B₂O₅ taneciklerini elde ettiği çalışmada hidrat magnezyum boratı 1:2 oranında grafit tozuyla karıştırıp 5 MPa basınç altında oluşturulan tabletleri 1000°C – 1300°C sıcaklıkları arasında 10°C/dk ısıtma hızıyla fırınla ısıtılmıştır [40].

Stolyarova vd. çalışmalarında, 1723K – 1883K'de 2 saat platin krozede MgO, B₂O₃, SiO₂ karışımlarını yakmışlar, elde edilen ürünü tablet haline getirilerek 1473°C'de 1 saat ön işlem ve arkasından 15 dakika süre ile sırasıyla 1473°C, 1513°C, 1573°C ve 1673°C sıcaklıklarda tutmuşlardır. Sonucunda MgO-SiO₂ 1747°C'den sonra, MgO-B₂O₃ kısmının 1640°C'de iki kademeli reaksiyona girmiş ve farklı magnezyum borat mineralleri oluşturmuşlardır [41].

Ma vd. yaptığı çalışmada MgO ve B₂O₃ 3:1, 2:1 oranlarında karıştırılarak ve Al₂O₃ kullanılarak %10 oranında bor tozu eklemiştir. Sentezi boru tipi Al₂O₃ fırında 1050°C'de 2 saat Ar atmosferinde gerçekleştirdikten sonra, sonuç olarak 10 nm – 100 nm genişliğinde "nanowire" sentezlenmiştir [42].

Zhiyong vd. klasik metotlardan farklı bir yöntem olarak buharda kimyasal bozunma yönteminde; kuartz kayık kroze içerisine yerleştirdiği magnezyum oksidin üzerine Ar atmosferinde 75°C – 1100°C sıcaklık aralığında BI₃/H₃BO₃ gaz karışımının gönderilmesi yoluyla MgO yüzeyinde magnezyum borat sentezini gerçekleştirmişlerdir. Yapılan deneysel çalışma sonucu, 850°C – 1050°C sıcaklık aralığında kristal magnezyum borat oluşumu gözlenmeye başladığını göstermiştir [43].

Zhiyong vd. klasik metotlardan farklı bir yöntem olarak buharda kimyasal bozunma yönteminde; kuartz kayık kroze içerisine yerleştirdiği magnezyum oksidin üzerine Ar atmosferinde 750°C - 1100°C sıcaklık aralığında BI₃/H₃BO₃ gaz karışımının gönderilmesi yoluyla MgO yüzeyinde magnezyum borat sentezini gerçekleştirmişlerdir. Yapılan

deneysel çalışma sonucu, 850°C – 1050°C sıcaklık aralığında kristal magnezyum borat oluşumu gözlenmeye başladığını göstermiştir [44].

Ma vd. yaptığı çalışmada MgO ve B₂O₃ 3:1, 2:1 oranlarında karıştırılarak ve Al₂O₃ kullanılarak %10 oranında bor tozu eklemiştir. Sentezi boru tipi Al₂O₃ fırında 1050°C'de 2 saat Ar atmosferinde gerçekleştirdikten sonra, sonuç olarak 10 nm – 100 nm genişliğinde “nanowire” sentezlenmiştir [45].

2.5 Bor Atıkları

Birçok endüstri dalında yaygın bir kullanım alanı bulan bor mineralleri ve türevleri, 21. yüzyılın petrolü olarak adlandırılmakta ve yaşam standartlarının kalitelendirilmesindeki önemi gün geçtikçe artmaktadır. Bir bor ürünü bazı durumlarda başka bir ürünün yerini tutabilmesine rağmen, günümüz koşullarında bor ürünlerinin yerini aynı kalite ve ucuzlukta tutabilecek başka bir mineralin bulunmaması ve stratejik anlamda da değerli olması bor minerallerine özel bir konum kazanmaktadır.

Dünya piyasalarında %31'lik üretim payına sahip olan ülkemizde, bor konsantresi üretimi Eti Holding Etibor A.Ş.'ye ait Eskişehir-Kırka, Kütahya-Emet, Balıkesir- Bigadiç ve Bursa-Kestelek işletmelerinde gerçekleştirilmektedir. Çeşitli araştırmacılar, bu tesislerde açığa çıkan atık miktarının 600.000 ton/yıl olduğunu bildirmişlerdir [46].

2.5.1 Bor Atıklarının Değerlendirilmesi

Bor atıklarının değerlendirme şekillerini üç sınıfa ayırmak mümkündür.

2.5.1.1 Atıkların Uygun Bir Şekilde Depolanması

Atıkları, atık sahasında çok fazla yer kaplamaması ve çevre kirliliğinin azaltılması amaçlarıyla preslenerek kompaktlaştırılabilir. Atıklar, göletlere verilmeden önce uygun flokülasyon ve koagülasyon yöntemleriyle katı sıvı ayırımına tabi tutulur. Susuzlaştırma ile göletlerin hızlı bir şekilde dolması engellenebileceği gibi, elde edilen sıvı tekrar kullanılmak üzere tesise de beslenebilecektir. Atıkların diğer sektörlerde kullanılabilmesi için de susuzlaştırma işleminin gerekliliği göz ardı edilmemelidir [47].

2.5.1.2 Atıklardan Borun Tekrar Kazanılması

Genelde bor atıklarına, zenginleştirme sırasında atığa kaçan borun tekrar kazanılması amacıyla suda bekletme, mekanik dağıtma, sınıflandırma, gravite yöntemleri, manyetik ayırma, elektrostatik ayırma, soda liçi, çözeltme, flokülasyon, flotasyon, ısıl işlem (kalsinasyon) ve briketleme yöntemleri uygulanmaktadır. Ayrıca son zamanlarda ses ötesi dalgaların kil uzaklaştırmadaki etkinliği ve atıklardaki borun doğrudan çözme helezonu ile kazanımı araştırılmış ve olumlu neticeler alınmıştır.

Bor konsantratör tesislerinde uygulanan elle ayıklama, mekanik dağıtma+sınıflandırma yöntemleri ancak ince boyutlara uygulanabilmekte, daha ince boyuttaki (0,5mm) %15-20 B₂O₅ tenörlü cevherler ise atık barajına gönderilmektedir.

Atıklardaki killerin içinde ferromanyetik ve paramanyetik minerallerin bulunması durumunda sabit mıknatıslı yüksek alan şiddetli manyetik ayırıcılar etkili bir ayırım yapabilmektedir. American Borate Corporation şirketinin kolemanit ve üleksit zenginleştirmede flotasyon ve kalsinasyon yöntemlerini kullandığı bildirilmiştir. Flotasyonla yapılan bor zenginleştirmede mekanik dağıtma ve sınıflandırma ile kil içerikli slamın atılması ve doygun bor çözeltilerinde çalışılması gereği üzerinde durulmaktadır. Slam halinde bulunan kilin bor mineralleri üzerine slam kaplama mekanizması nedeniyle flotasyon verimini düşürdüğü kanıtlanmıştır. %5 oranında kil varlığında bile flotasyon verimi büyük ölçüde düşmektedir. Kilin kolemanit yüzeyine elektrostatik çekim mekanizmasıyla yapıştığı tespit edilmiştir. Kolemanit flotasyonunda sonik ve Ca⁺² iyonlarının birlikte etkisi ile kilin flotasyona olan olumsuz etkisinin azaltılarak %80-90'lara varan flotasyon verimine ulaşılabileceği gösterilmiştir.

Bor minerallerine 400-600°C'de kristal suların uzaklaştırılması amacıyla yapılan işleme kalsinasyon denmektedir. Bor mineralleri kalsinasyon esnasında patlayarak ince boyutlara geçerken kil mineralleri agrega haline gelmektedir. Kalsinasyon yönteminin yaş yöntemlere göre daha verimli, ekonomik ve kolay olduğu bunun yanında çevre kirliliği meydana getirmedeği belirtilmektedir. Araştırmalar bor atıkları içindeki borun kalsinasyon yöntemi ile kazanılabileceğini göstermiştir. Bor minerallerinin kalsinasyon ile zenginleştirilmesi hakkında çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar atıkların değerlendirilmesinde önemli birer kaynaktır. İster ham cevher, ister konsantre olsun;

boratların çok ince boyutta (0.5 mm) satışının mümkün olmaması, bunların briketleme ile boyut kazandırılmasını zorunlu hale getirmiştir [47].

2.5.1.3 Bor Atıklarının Uygun Sektörde Kullanılması

Son zamanlarda artan çevre bilinci madencilik sektöründe de kendisini hissettirmiş, madencilik faaliyetleri sonucu oluşan atıkların çevreye zarar vermeden bertaraf edilmesi hususunda çeşitli yönetmelikler ve standartlar getirilmiştir. Bor atıklarının uygun yöntemlerle çeşitli sektörlerde değerlendirilmesi sonucunda;

- Atıkların stoklanmasından doğan sorunlar ve stoklama maliyeti azalacak,
- Çevreyi kirleten unsurlar en az düzeye indirilecek,
- Bor atıklarının değerlendirilmesi sonucu üretilen yeni ürünler ülke ekonomisine ek kazanç sağlayacaktır.

Türkiye'de ticari öneme sahip bor minerallerinden kırka tıncal minerali, birbirine yakın miktarlarda montmorillonit ve dolomit içeren gri killer ile dolomitçe zengin beyaz killerden ve kalsitten oluşmakta, Bursa- Kestelek bor işletmelerindeki kolemanit atıkları ile Kütahya-Emet-Hisarcık işletmesindeki kolemanit atıkları montmorillonit, kalsit, klorit ve biyotit gibi paramanyetik mineraller içerirken, Balıkesir- Bigadiç atıkları montmorillonit, jips ve kalsit ihtiva etmektedir. Bor atıklarının kil içeriği bakımından zengin oluşu, sözkonusu atıkların değerlendirilmesine yönelik bilimsel çalışmaları; seramik başta olmak üzere, tuğla ve çimento sektörüne yönlendirmiştir. Bu çalışmalarda, bor atıklarından yeni bir ürün eldesinin yanında, bu ürünlerin fiziksel ve fizikomekanik özellikleri üzerindeki etkisine yer verilmesi dikkat çekilmesi gereken bir diğer husustur [46].

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1 Hammadde Temini ve Hazırlanması

Yapılan yüksek lisans çalışmasında yapay borasit ($Mg_3B_7O_{13}Cl$) sentezi amaçlanmıştır. Borasit yapısındaki bor, klor ve magnezyum sırasıyla boroksit (B_2O_3), magnezyum klorür hekzahidrat ($MgCl_2 \cdot 6H_2O$) ve magnezyum oksit (MgO) hammaddelerinden elde edilmiştir. Magnezyum oksit ve magnezyum klorür hekzahidrat Merck Chemicals'dan, boroksit ise Bandırma Bor ve Asit Fabrikası'ndan temin edilmiştir.

Hammaddelerden B_2O_3 kırma, öğütme ve eleme işlemlerinden geçirilerek deneysel işlemlerde kullanılmıştır.



Şekil 3. 1 Agat havan ve elek

B_2O_3 ilk olarak kırılarak agatta öğütülecek boyuta getirilmiştir. Daha sonra Agate Mortar markalı agatta partikül boyutunu küçültmek amacıyla öğütülmüştür. Agatta öğütülerek partikül boyutu küçültülen B_2O_3 Sievin Mach marka 75 mikronluk elekten geçirilmiştir. Şekil 3.1’de deneysel çalışmalarda kullanılan agat havan ve elek görülmektedir. Magnezyum klorür heksahidrat ve magnezyum oksit hiçbir ön işleme tabi tutulmadan deneysel işlemlerde kullanılmıştır.

3.2 Yapılan Analizler

Hammaddeler ve deneysel çalışmalar sonucu elde edilen ürünler X-ışını difraktometresi (XRD), Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FT-IR), ve Taramalı elektron mikroskobu (SEM) teknikleri kullanılarak karakterizasyon işlemleri yapılmıştır.

3.2.1 X-ışını Difraktometresi (XRD)

Çalışma prensibi öğütülmüş numuneye X-ışını göndererek kırılma ve dağılma verilerini incelemek olan XRD, kimlik tespitinde kullanılan cihazdır. Bu cihazda yapılan karakterizasyonda numune türüne göre hangi mineralden oluştuğu belirlenmektedir. Kristal yapısına göre ışını farklı açılarda ve şiddette kıran örnekler çok hassas biçimde ve çok kısa sürede izlenebilmektedir [22]. X-ışını difraktometresi Bragg Kanunu’na göre çalışmaktadır.

Bu çalışmada XRD analizleri; X-ışınları, parametreleri 45 kV ve 40 mA olan ve Cu-K α tübünden üretilen, Philips PANanalytical marka cihaz ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.2).



Şekil 3. 2 Philips PANanalytical XRD

3.2.2 Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FT-IR)

Organik bileşiklerin tanımlanmasında kullanılan bir cihazdır. Basit ve güvenilir bir analiz türüdür. Bu analizde amaç; herhangi bir bileşiğin yapısı hakkında bilgi sahibi olmak veya yapısındaki değişiklikleri incelemektir. Yapıdaki bağların durumu, bağlanma yerleri, yapının aromatik veya alifatik olduğu hakkında bilgi edinilmektedir. Fakat bu analiz tek başına kullanılamaz. Diğer analizlerin yanında destekleyici olur. Optik izomerler dışında bütün bileşiklerin IR spektrumu birbirinden farklıdır. Yapılan analizlerde Perkin Elmer Spectrum One Fourier Transform Infrared Spectroscopy kullanılmıştır [24-25].

Bu çalışmada FT-IR analizi için, evrensel ATR örnekleme cihazı – Diamond/ZnSe (Şekil 3.3) kullanılmıştır ve ölçüm aralığı $1600 - 650 \text{ cm}^{-1}$, tarama numarası 4 ve çözünürlüğü 4 cm^{-1} olarak ayarlanmıştır.

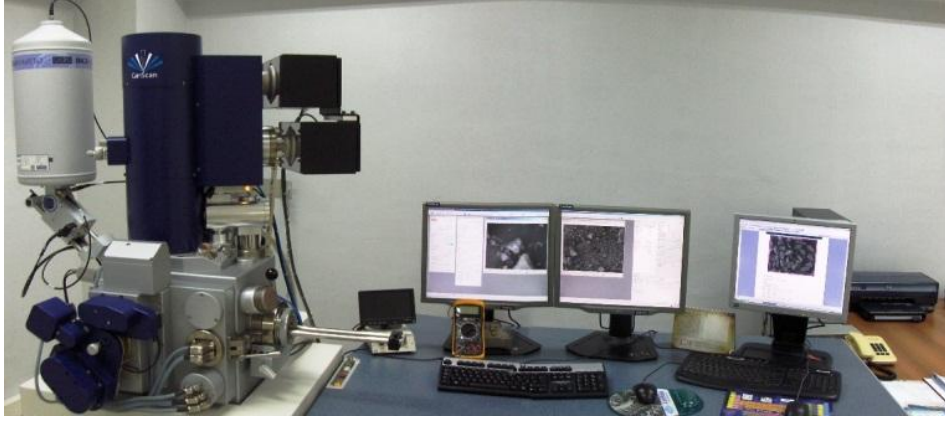


Şekil 3. 3 Perkin Elmer Spectrum One FT-IR

3.2.3 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)

Taramalı elektron mikroskobu yüksek çözünürlüklü resim oluşturmak için vakum ortamında oluşturulan ve aynı ortamda elektromanyetik lenslerle inceltelen elektron demeti ile incelenecek malzemeyi analiz etme imkanı sunar. Mikroskopta oluşturulan resimler, elektron demetinin malzeme ile olan etkileşiminden ortaya çıkan ışınlar veya geri yansıyan elektronlar sayılarak oluşturulur.

Bu çalışmada hammaddelerin yüzey morfolojilerini belirlemek için, CamScan Apollo 300 marka Field-Emission Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM-EDS) (Şekil 3.4) kullanılmış ve analizler 20 kV'de gerçekleştirilmiştir. Geri Saçılmalı Elektron (Back Scattering Electron - BEI) cihazı detektör olarak seçilip analizler gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3. 4 CamScan Apollo 300 marka SEM

3.3 Katı Hal Sentezi

Yapay borasit sentezinde kullanılan hammaddeler olan magnezyum klorür heksahidrat, magnezyum oksit, ve boroksit farklı mol oranlarında hazırlanmıştır. Teorik reaksiyon oranları dikkate alınarak öncelikle magnezyum oksit ve boroksit mol oranlarından ± 1 oranında değişiklik yapılmıştır. Bu değişiklikle konsantrasyonun reaksiyon üzerinde etkisi incelenmek istenmiştir. Ayrıca reaksiyon sıcaklığı da değiştirilerek optimum koşulların belirlenmesi amaçlanmıştır. Yapılan analizler sonucunda sadece magnezyum oksit ve boroksit mol oranlarındaki değişiklik yeterli bulunmamış ve magnezyum klorür heksahidrat mol oranında da değişiklik yapılmıştır. Belirlenen oranlar ve sıcaklıklar Çizelge 3.1’de verilmiştir. Herbir değişim ve parametre için reaksiyonun gösterdiği farklı sonuçlar karşılaştırılmıştır. Farklı oranlarda hazırlanan hammaddeler karıştırılarak homojen hale getirilmiş ve Şekil 3.5’de verilen Manfredi OL 57 markalı pellet cihazında 100 bar basınçta yaklaşık 1 dakika bekletilmiştir. Bu işlemin amacı hammaddeler arasındaki uzaklığı en aza indirerek maddelerin reaksiyona girmesini kolaylaştırmaktır.



Şekil 3. 5 Manfredi OL 57 markalı pellet cihazı

Çizelge 3. 1 Deneyleerde kullanılan hammadde oranları ve deney parametreleri

Ürün Kodu	MgCl ₂ .6H ₂ O (mol oranı)	MgO (mol oranı)	B ₂ O ₃ (mol oranı)	Reaksiyon sıcaklığı (°C)	Reaksiyon Süresi (dk)
MC-MO-B-1-4-13	1	4	13	600-900	240
MC-MO-B-1-4-14	1	4	14	600-900	240
MC-MO-B-1-4-15	1	4	15	600-900	240
MC-MO-B-1-5-13	1	5	13	600-900	240
MC-MO-B-1-5-14	1	5	14	600-900	240
MC-MO-B-1-5-15	1	5	15	600-900	240
MC-MO-B-1-6-13	1	6	13	600-900	240
MC-MO-B-1-6-14	1	6	14	600-900	240
MC-MO-B-1-6-15	1	6	15	600-900	240
MC-MO-B-2-4-13	2	4	13	600-900	240
MC-MO-B-2-4-14	2	4	14	600-900	240
MC-MO-B-2-4-15	2	4	15	600-900	240
MC-MO-B-2-5-13	2	5	13	600-900	240
MC-MO-B-2-5-14	2	5	14	600-900	240
MC-MO-B-2-5-15	2	5	15	600-900	240
MC-MO-B-2-6-13	2	6	13	600-900	240
MC-MO-B-2-6-14	2	6	14	600-900	240
MC-MO-B-2-6-15	2	6	15	600-900	240

Katı hal sentezi ile pellet haline getirilen numuneler 10°C/dk ısıtma hızındaki fırına krozeler ile yerleştirilmiş ve 600°C, 700°C, 800°C, 900°C sıcaklıklarda 4 saat süreyle hava ortamında Protherm marka, MOS 180/4 model yüksek sıcaklık fırınında (Şekil 3.6) reaksiyona sokulmuştur. Yapılan çalışmalar sonucunda amacımız olan yapay borasit sentezlenmesi gerçekleştirilmiş ancak saf olarak eldesi başarılammıştır.



Şekil 3. 6 Protherm marka, MOS 180/4 model yüksek sıcaklık fırını

İstenilen ürünün saf olarak elde edilmesini sağlayabilmek için hammaddeler ve mol oranlarında değişikliğe gidilmiştir. Hammaddelerden magnezyum oksit çıkartılmış ve magnezyum kaynağı olarak $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ kullanılması amaçlanmıştır. Bu nedenle iki maddenin de mol oranlarında değişikliğe gidilmiştir. Yeni hammadde oranları Çizelge 3.2'de verilmiştir.

500°C, 550°C, 600°C, 650°C, 700°C, 800°C, 900°C sıcaklıklarda $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ ve B_2O_3 hammaddelerinden oluşan numuneler hava ortamında reaksiyonlarında sonra inert ortamda (argon atmosferinde) 600°C ve 900°C sıcaklıklarda 4 saat fırında bekletilmiştir. Yapılan analizlerin karşılaştırmalarına dayanarak hava ortamında 600°C sıcaklıkta reaksiyona sokulan numunelerin 30 dakika ve 60 dakikalık deneysel çalışmaları da yapılmıştır. $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ ve B_2O_3 hammaddelerinden oluşan numunelerin reaksiyon ortamları, sıcaklıkları ve reaksiyon süreleri Çizelge 3.3'de verilmiştir.

Çizelge 3. 2 Hammadde oranları ve reaksiyon sıcaklıkları

Ürün Kodu	MgCl ₂ .6H ₂ O (mol oranı)	B ₂ O ₃ (mol oranı)	Reaksiyon sıcaklığı (°C)	Reaksiyon Süresi (dk)
MC-B-5-13	5	13	500-900	240
MC-B-5-14	5	14	500-900	240
MC-B-5-15	5	15	500-900	240
MC-B-6-13	6	13	500-900	240
MC-B-6-14	6	14	500-900	240
MC-B-6-15	6	15	500-900	240
MC-B-7-13	7	13	500-900	240
MC-B-7-14	7	14	500-900	240
MC-B-7-15	7	15	500-900	240

Çizelge 3. 3 MgCl₂.6H₂O ve B₂O₃ hammaddelerinden oluşan numunelerin reaksiyon ortamları, sıcaklıkları ve reaksiyon süreleri

Reaksiyon sıcaklığı(°C)	500	550	600		650	700	800	900	
Reaksiyon atmosfer	Hava	Hava	Hava	Argon	Hava	Hava	Hava	Hava	Argon
Reaksiyon süresi (dk)	240	240	30-60- 240	240	240	240	240	240	240

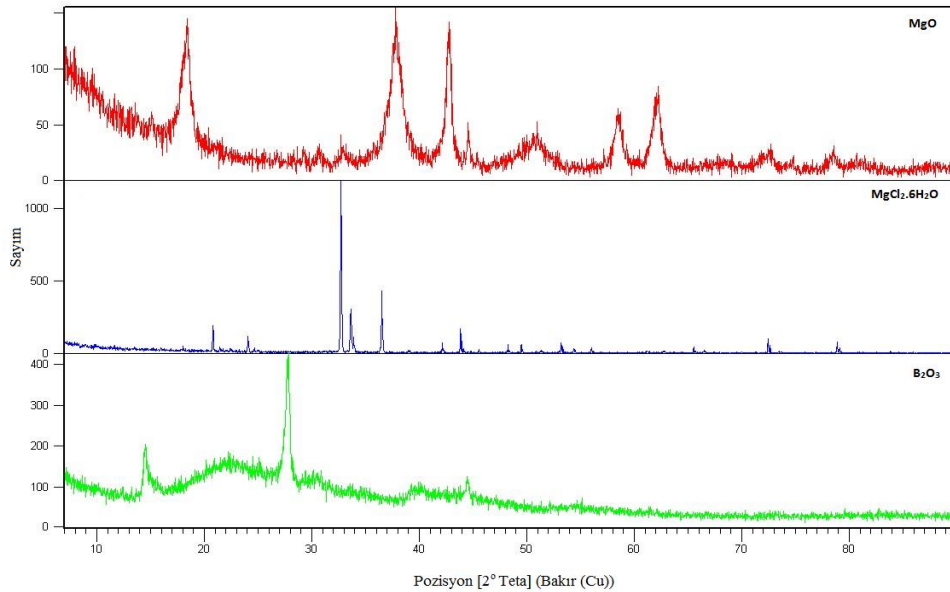
DENEYSEL SONUÇLAR

4.1 Hammaddelerin Karakterizasyon İşlemleri

Hammaddelere deneysel çalışmalar öncesinde XRD, FT-IR ve SEM analizleri uygulanmıştır.

4.1.1 Hammaddelerin XRD Sonuçları

Deneysel çalışmalarda kullanılan MgO, MgCl₂.6H₂O ve B₂O₃ hammaddelerinin XRD paterni ve XRD skor çizelgesi Şekil 4.1 ve Çizelge 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4. 1 Hammaddelerin XRD paterni

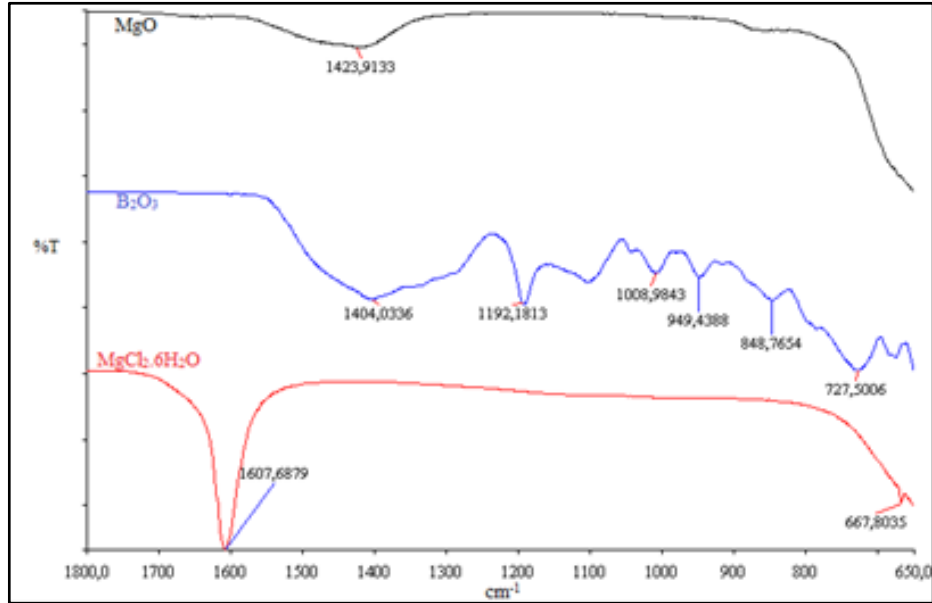
Çizelge 4. 1 Hammaddelerin XRD skorları

Pdf #	Mineral name	Mineral formula	Score
00-006-0297	Boron oxide	B ₂ O ₃	42
01-087-0651	Periclase	MgO	78
01-077-1268	Bischofite	MgCl ₂ .6H ₂ O	16

Çizelge 4.1’de göre B₂O₃’ün XRD analizinin sonucunda 00-006-0297 kodlu Boron oxide tespit edilmiştir ve skor da 42’dir. MgO analizinde 01-087-0651 kodlu skoru 78 olan Periclase tespit edilmiştir. MgCl₂.6H₂O analizinde ise 01-077-1268 kodlu Bischofite 16 skoruyla tespit edilmiştir.

4.1.2 Hammaddelerin FT-IR Sonuçları

MgO, MgCl₂.6H₂O ve B₂O₃ hammaddelerinin FT-IR sonuçları Şekil 4.2 ve Çizelge 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4. 2 Hammaddelerin FT-IR paterni

Çizelge 4. 2 B₂O₃ FT-IR sonucu

Pik kodu	Pik 1	Pik 2	Pik 3	Pik 4	Pik 5	Pik 6
Pik yorumlaması	1404,0336	1192,1813	1008,9843	949,4388	848,7654	727,5006
	$\nu_{as}(B_{(3)}-O)$	$\delta(B-O-H)$	$\nu_{as}(B_{(4)}-O)$	$\nu_s(B_{(3)}-O)$	$\nu_s(B_{(3)}-O)$	$\nu_s(B_{(4)}-O)$

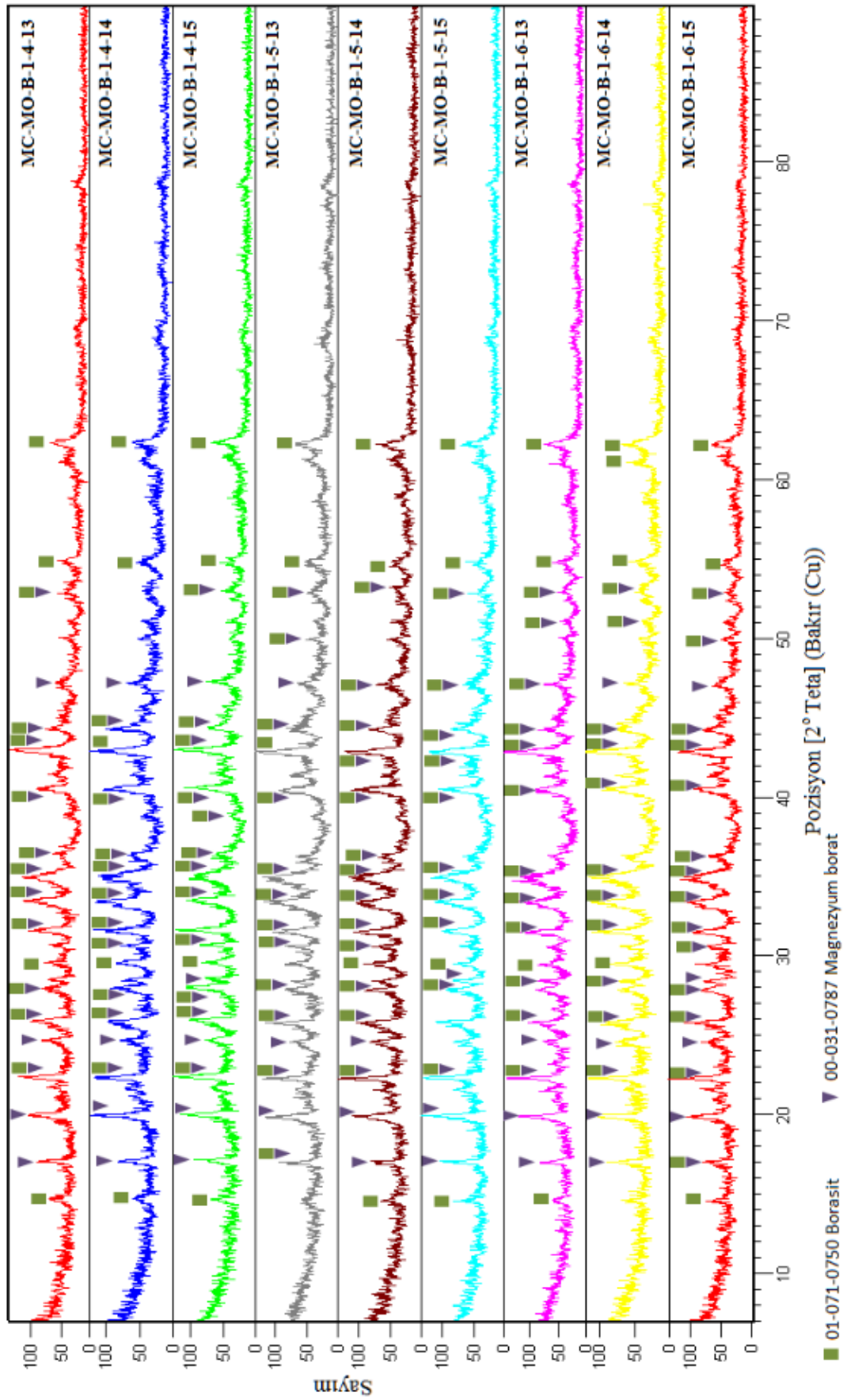
B₂O₃ FT-IR sonucuna göre 1404,0336 cm⁻¹ bant aralığındaki 1. pik 3 koordinatlı asimetrik bor (B₍₃₎-O) daralması, 1192,1813 cm⁻¹ bant aralığındaki 2. pik (B-O-H) esnemesi, 1008,9843 cm⁻¹ bant aralığındaki 3. pik 4 koordinatlı asimetrik bor (B₍₄₎-O) daralması, 949,4388 cm⁻¹ ve 848,7654 cm⁻¹ bant aralığındaki 4. ve 5. pikler 3 koordinatlı simetrik daralma, 727,5006 cm⁻¹ bant aralığındaki 6. Pik ise 4 koordinatlı simetrik daralma göstermektedir.

4.2 Katı Hal Sentezi Sonuçları

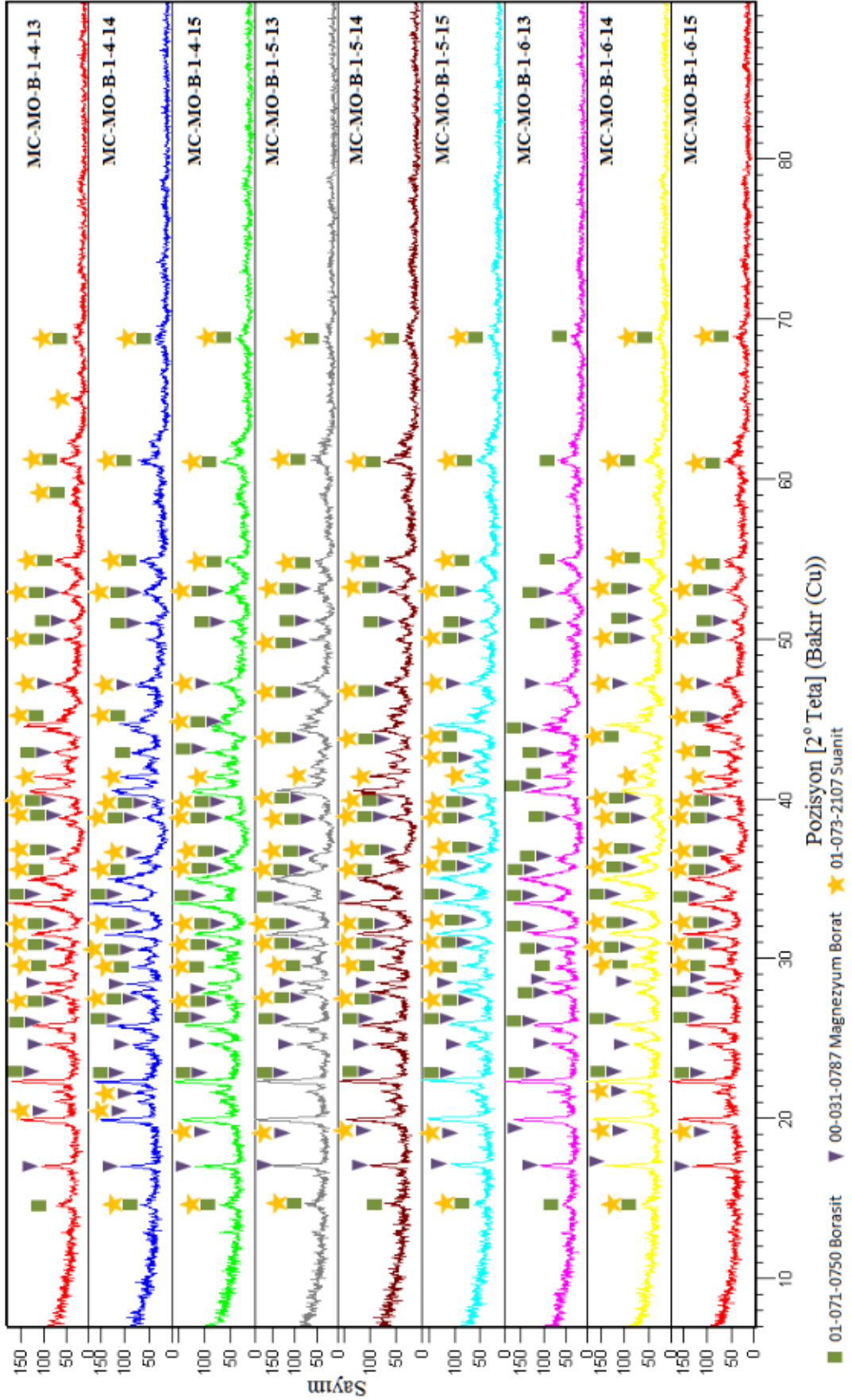
4.2.1 XRD Sonuçları

Magnezyum klorür heksahidrat, magnezyum oksit ve boroksit hammaddelerinden oluşan ürünlerin XRD paternleri ve skor tabloları şekiller ve çizelgeler halinde verilmiştir. Verilen XRD paternlerinde analiz süresince beliren borasit, magnezyum borat ve suanitin pik şiddetleri görülmektedir.

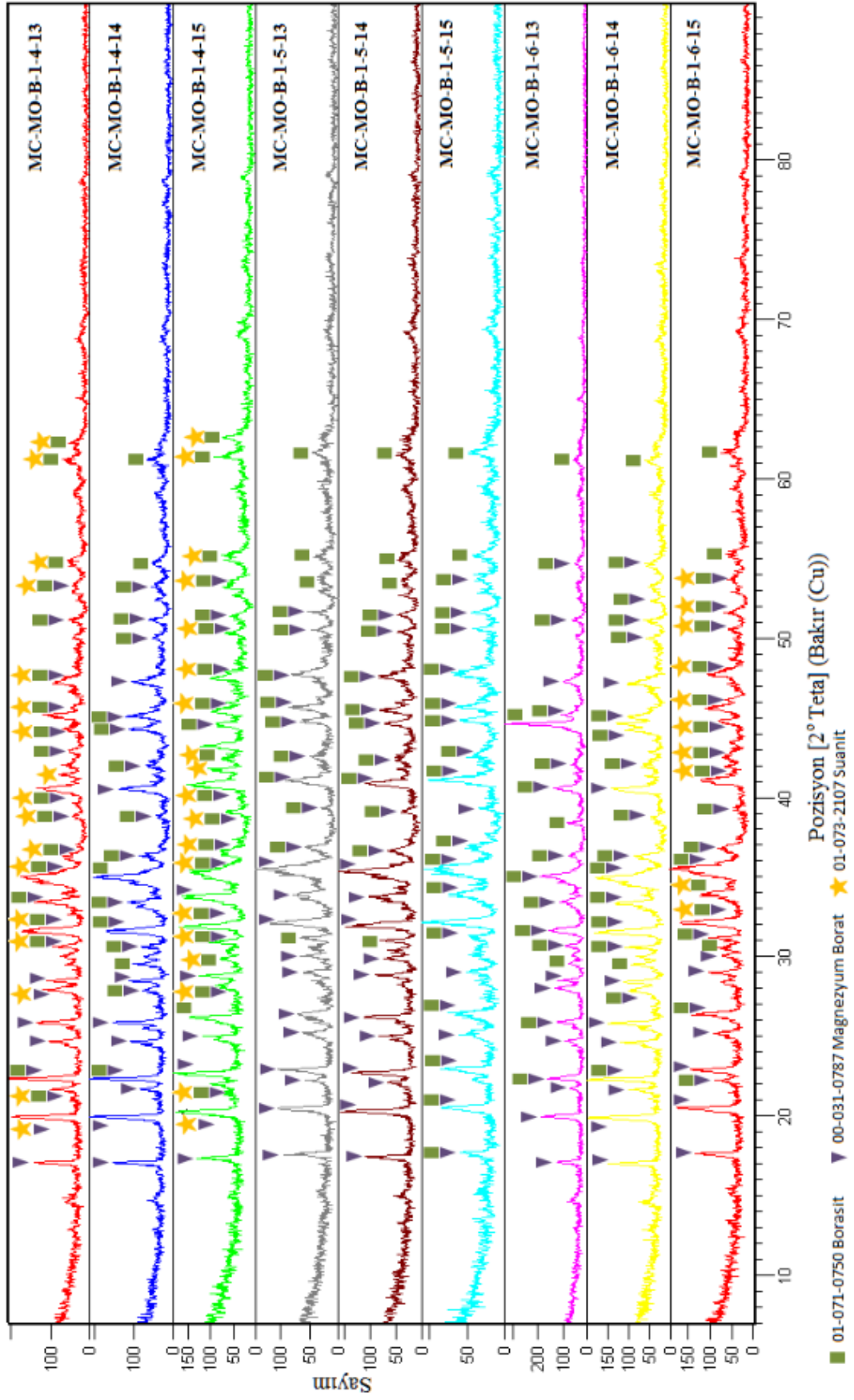
Başlangıç olarak ön deneme analizlerinden 600, 700, 800 ve 900°C sıcaklıklarda gerçekleştirilen magnezyum klorür heksahidrat, magnezyum oksit ve boroksit reaksiyon oranlarının 1-5-14 ve farklı konsantrasyonları verilmiştir. Bu analizlerin XRD paternleri ve skor tablosu Şekil 4.3, Şekil 4.4, Şekil 4.5, Şekil 4.6 ve Çizelge 4.3 de görülmektedir.



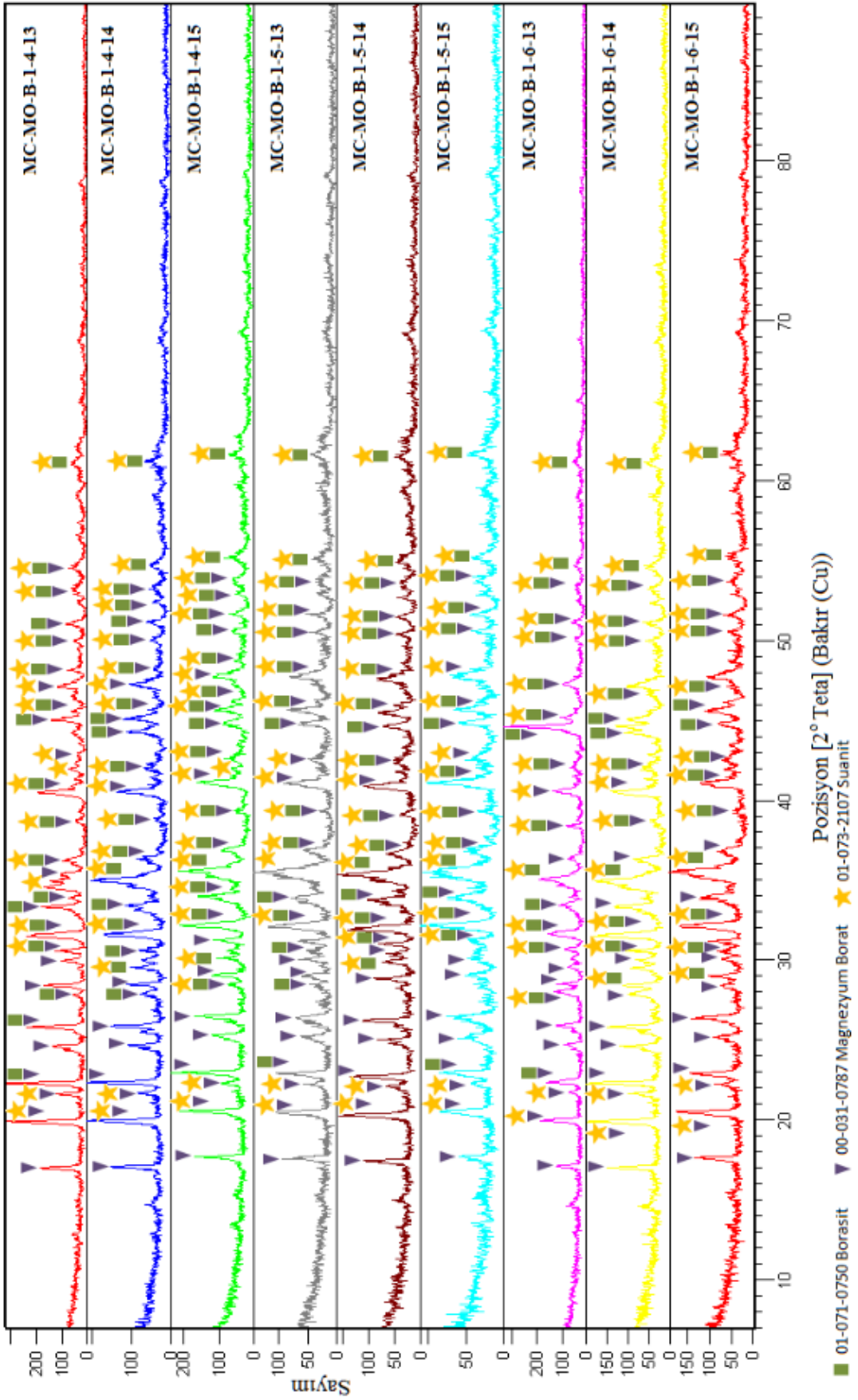
Şekil 4. 3 $MgCl_2 \cdot 6H_2O$, MgO ve B_2O_3 $600^\circ C$ 4 saat reaksiyonunun XRD paternleri



Şekil 4. 4 $MgCl_2 \cdot 6H_2O$, MgO ve B_2O_3 700°C 4 saat reaksiyonunun XRD paternleri



Şekil 4. 5 $MgCl_2 \cdot 6H_2O$, MgO ve B_2O_3 800°C 4 saat reaksiyonunun XRD paternleri



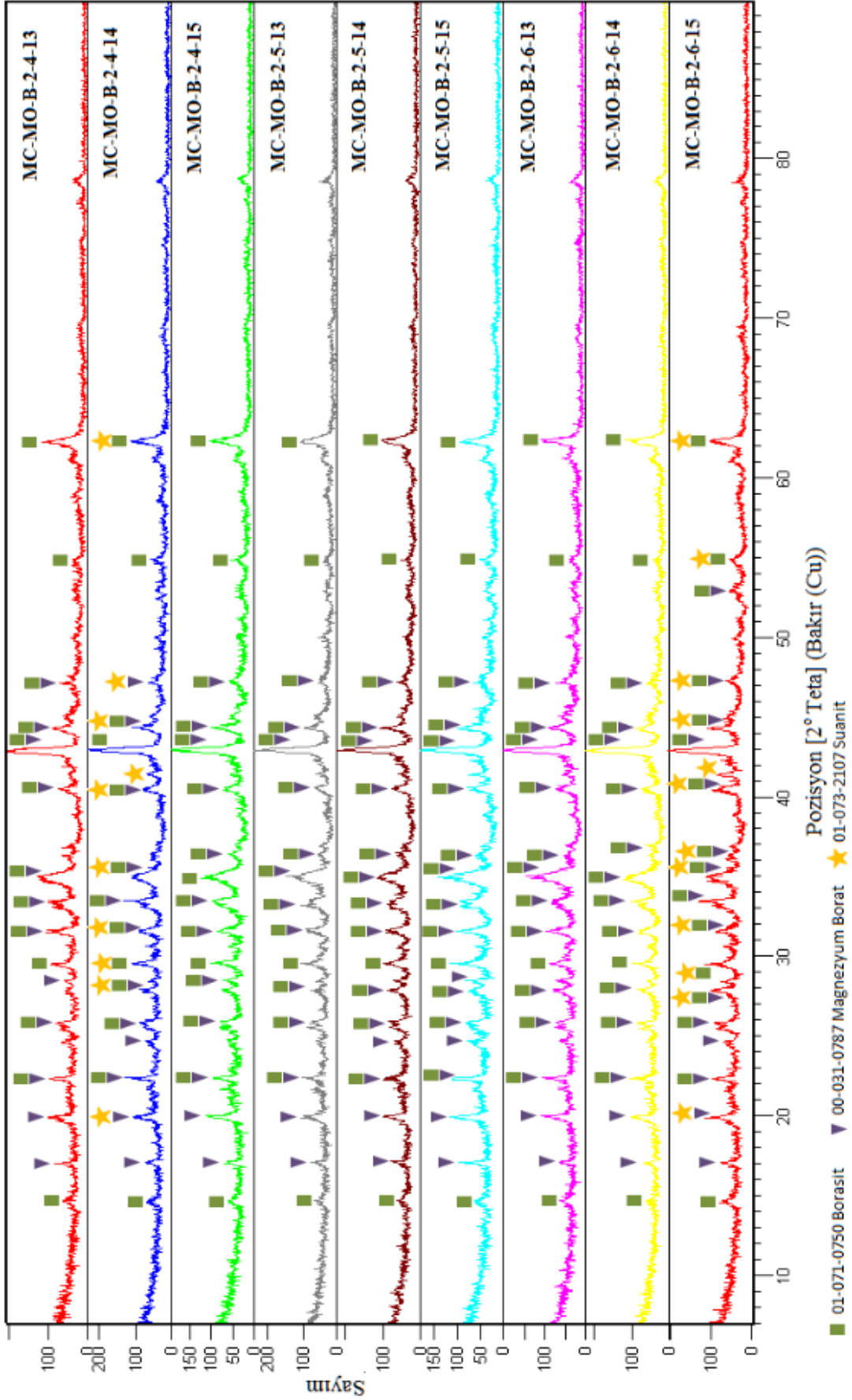
Şekil 4. 6 $MgCl_2 \cdot 6H_2O$, MgO ve B_2O_3 900°C 4 saat reaksiyonunun XRD paternleri

Çizelge 4. 3 MgCl₂.6H₂O, MgO ve B₂O₃ hammaddelerinden 600°C, 700°C, 800°C ve 900°C sıcaklıklarda 4 saatte sentezlenen ürünlerin XRD skorları

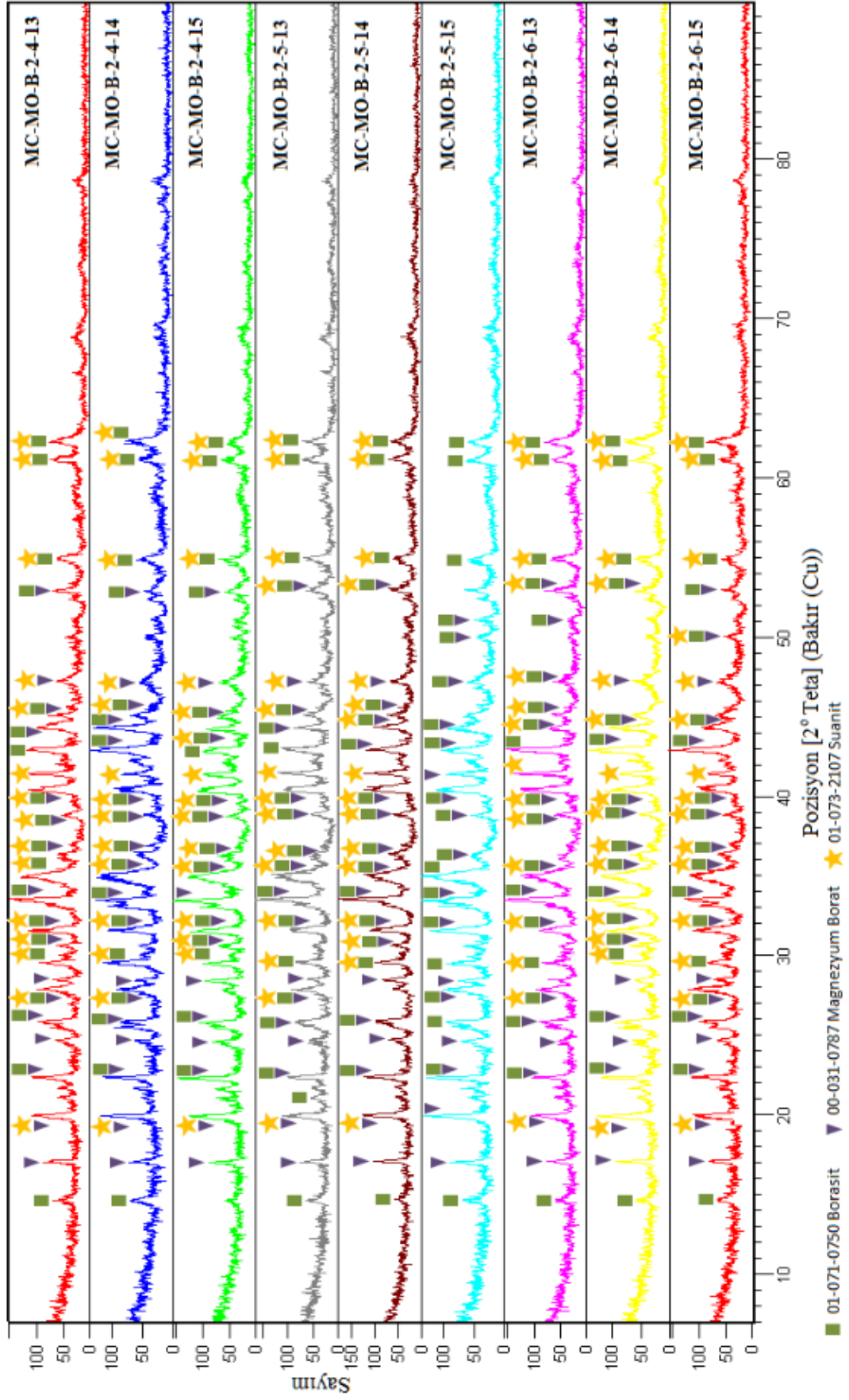
Ürün kodu	Hava ortamı						
	Pdf no	Ürün adı	Formülü	XRD Skoru			
				600°C	700°C	800°C	900°C
1-4-13	01-071-0750	Borasit	Mg ₃ B ₇ O ₁₃ Cl	16	21	13	21
	00-031-0787	Magnezyum Borat	MgB ₄ O ₇	45	50	67	77
	01-073-2107	Suanit	Mg ₂ B ₂ O ₅	X	20	20	26
1-4-14	01-071-0750	Borasit	Mg ₃ B ₇ O ₁₃ Cl	25	17	31	33
	00-031-0787	Magnezyum Borat	MgB ₄ O ₇	51	53	66	74
	01-073-2107	Suanit	Mg ₂ B ₂ O ₅	X	17	X	24
1-4-15	01-071-0750	Borasit	Mg ₃ B ₇ O ₁₃ Cl	14	20	23	32
	00-031-0787	Magnezyum Borat	MgB ₄ O ₇	50	53	55	78
	01-073-2107	Suanit	Mg ₂ B ₂ O ₅	X	19	22	25
1-5-13	01-071-0750	Borasit	Mg ₃ B ₇ O ₁₃ Cl	11	27	6	10
	00-031-0787	Magnezyum Borat	MgB ₄ O ₇	42	60	25	80
	01-073-2107	Suanit	Mg ₂ B ₂ O ₅	X	19	X	20
1-5-14	01-071-0750	Borasit	Mg ₃ B ₇ O ₁₃ Cl	30	26	17	34
	00-031-0787	Magnezyum Borat	MgB ₄ O ₇	53	52	65	78
	01-073-2107	Suanit	Mg ₂ B ₂ O ₅	X	20	X	23
1-5-15	01-071-0750	Borasit	Mg ₃ B ₇ O ₁₃ Cl	17	23	3	17
	00-031-0787	Magnezyum Borat	MgB ₄ O ₇	36	58	22	75
	01-073-2107	Suanit	Mg ₂ B ₂ O ₅	X	19	X	24
1-6-13	01-071-0750	Borasit	Mg ₃ B ₇ O ₁₃ Cl	19	23	23	20
	00-031-0787	Magnezyum Borat	MgB ₄ O ₇	43	60	62	79
	01-073-2107	Suanit	Mg ₂ B ₂ O ₅	X	X	X	21
1-6-14	01-071-0750	Borasit	Mg ₃ B ₇ O ₁₃ Cl	19	24	31	34
	00-031-0787	Magnezyum Borat	MgB ₄ O ₇	43	62	66	72
	01-073-2107	Suanit	Mg ₂ B ₂ O ₅	X	18	X	23
1-6-15	01-071-0750	Borasit	Mg ₃ B ₇ O ₁₃ Cl	13	20	4	26
	00-031-0787	Magnezyum Borat	MgB ₄ O ₇	52	52	21	78
	01-073-2107	Suanit	Mg ₂ B ₂ O ₅	X	17	17	22

Çizelge 4.3’de verilen XRD skorlarına göre; teorik reaksiyon oranları olan 1-5-14 ve bu oranın farklı kombinasyonları denendiğinde, elde edilmesi istenen saf borasit ulaşılamamıştır. Fakat yapılan konsantrasyon değişimleri içinde en yüksek skorların yine teorik reaksiyon konsantrasyonu oranında olduğu görülmektedir. Reaksiyon sonucunda yan ürün olarak magnezyum borat ve suanit meydana gelmiştir. Ayrıca bazı konsantrasyon oranlarında suanit oluşmasa dahi magnezyum borat skorlarının borasit skorlarından yüksek olduğu açıkça görülmektedir. Bunlara ek olarak, 600°C’de suanit oluşmadığı, magnezyum borat ve borasit olmak üzere reaksiyonun 2 fazda sona erdiği XRD skorlarından ortaya çıkmıştır.

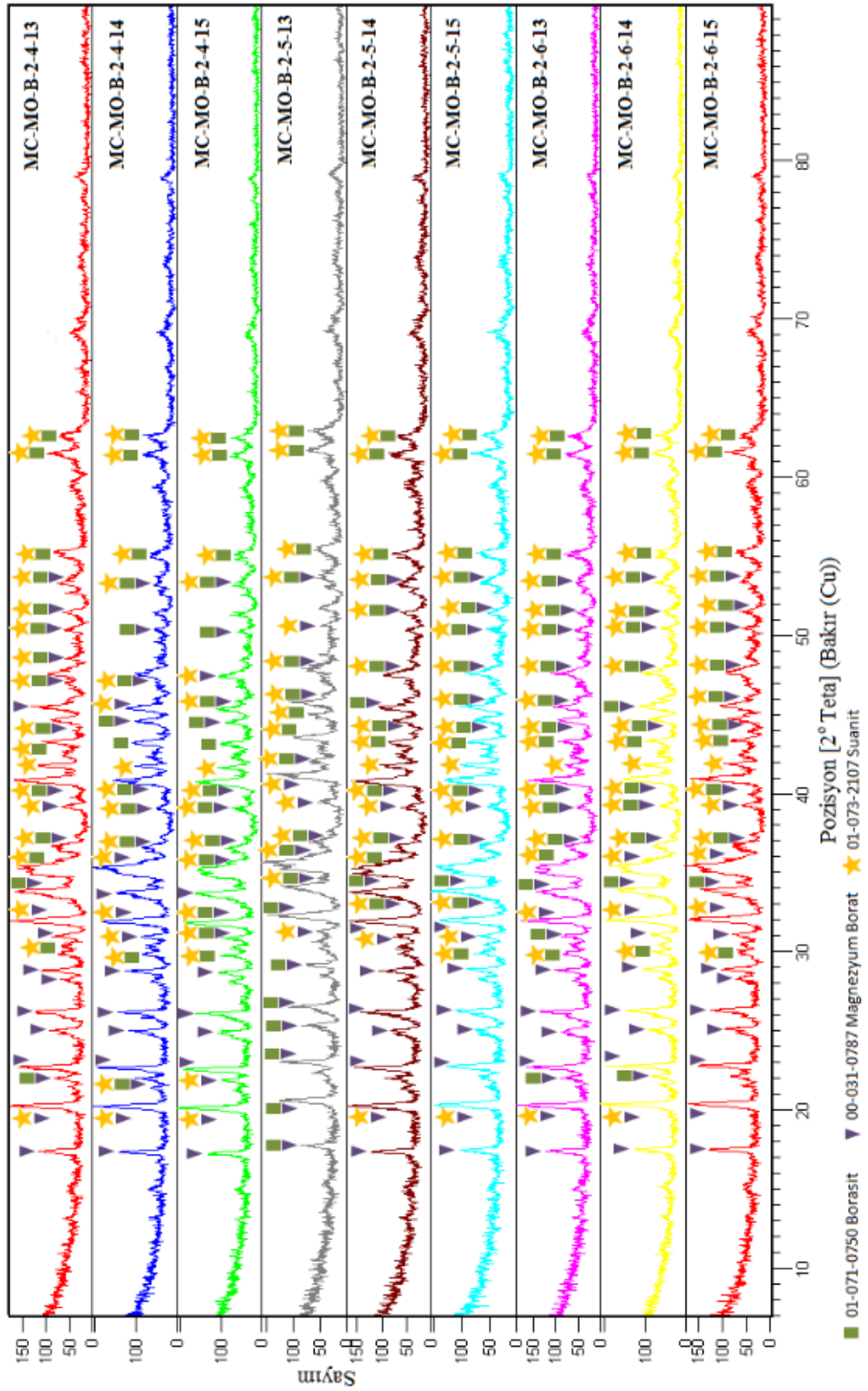
MgCl₂.6H₂O, MgO ve B₂O₃ hammaddeleri kullanılarak yapılan çalışmalar sonucunda saf borasit elde edilememesi üzerine hammadde oranlarında değişiklik yapılmış ve MgCl₂.6H₂O mol oranı 2 katına çıkarılmıştır. Yeni oranlarla (2xMgCl₂.6H₂O, MgO ve B₂O₃) yapılan deneysel çalışmanın analiz sonuçları Şekil 4.7, Şekil 4.8, Şekil 4.9, Şekil 4.10 ve Çizelge 4.4’da verilmiştir.



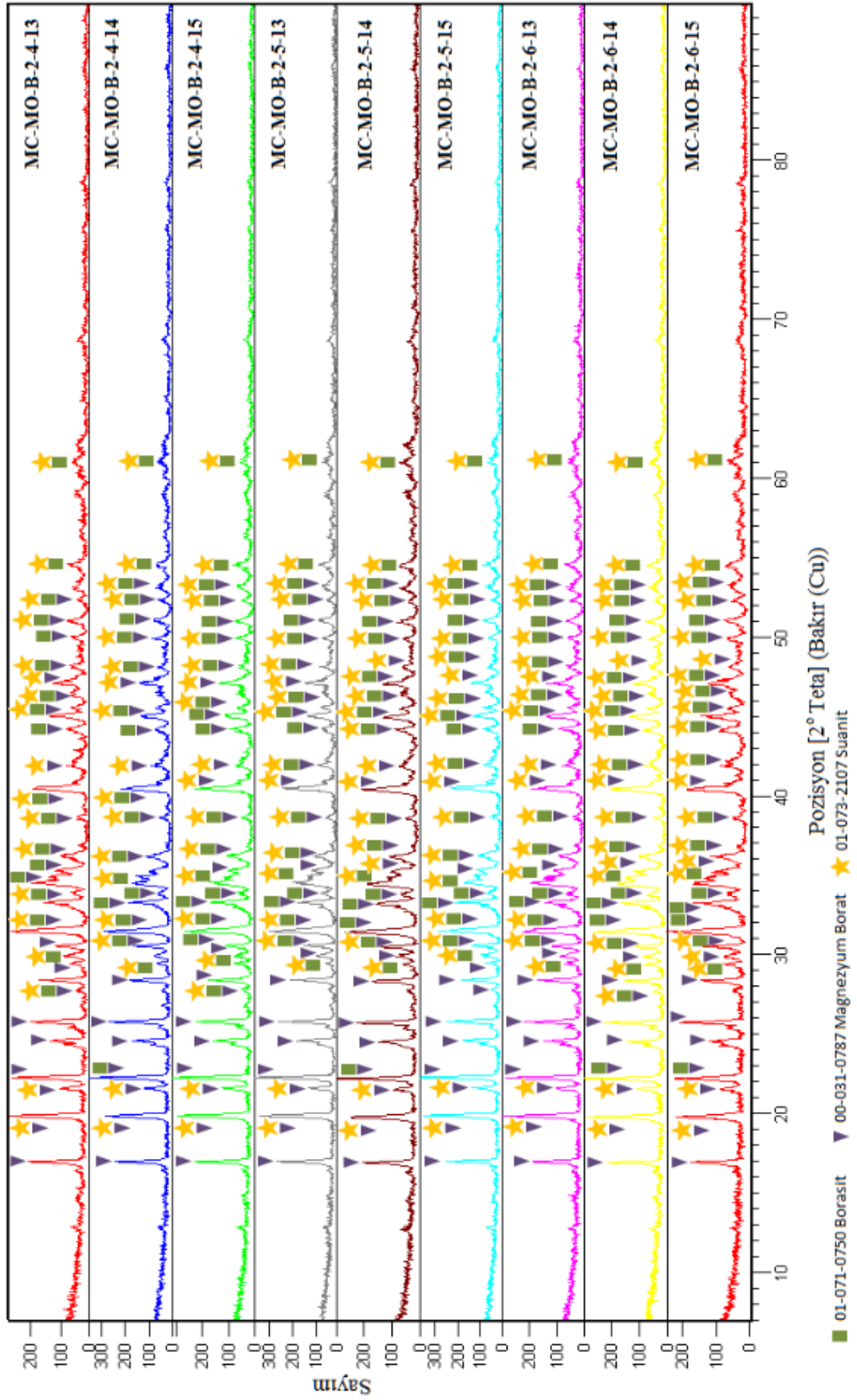
Şekil 4. 7 $2xMgCl_2 \cdot 6H_2O$, MgO ve B_2O_3 600°C 4 saat reaksiyonunun XRD paternleri



Şekil 4. 8 $2xMgCl_2 \cdot 6H_2O$, MgO ve B_2O_3 700°C 4 saat reaksiyonunun XRD paternleri



Şekil 4. 9 $2xMgCl_2 \cdot 6H_2O$, MgO ve B_2O_3 800°C 4 saat reaksiyonunun XRD paternleri

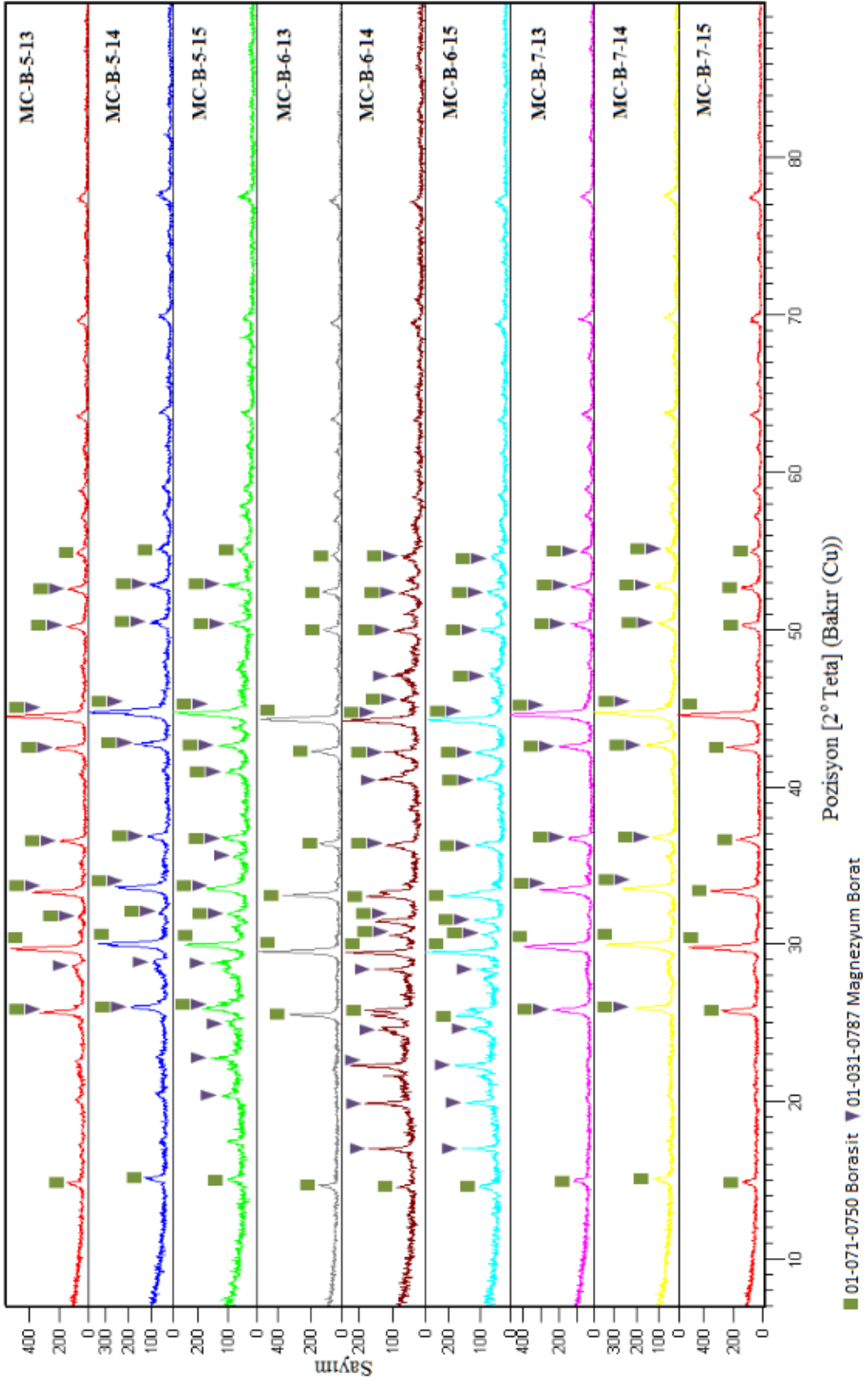


Şekil 4. 10 $2xMgCl_2 \cdot 6H_2O$, MgO ve B_2O_3 900°C 4 saat reaksiyonunun XRD paternleri

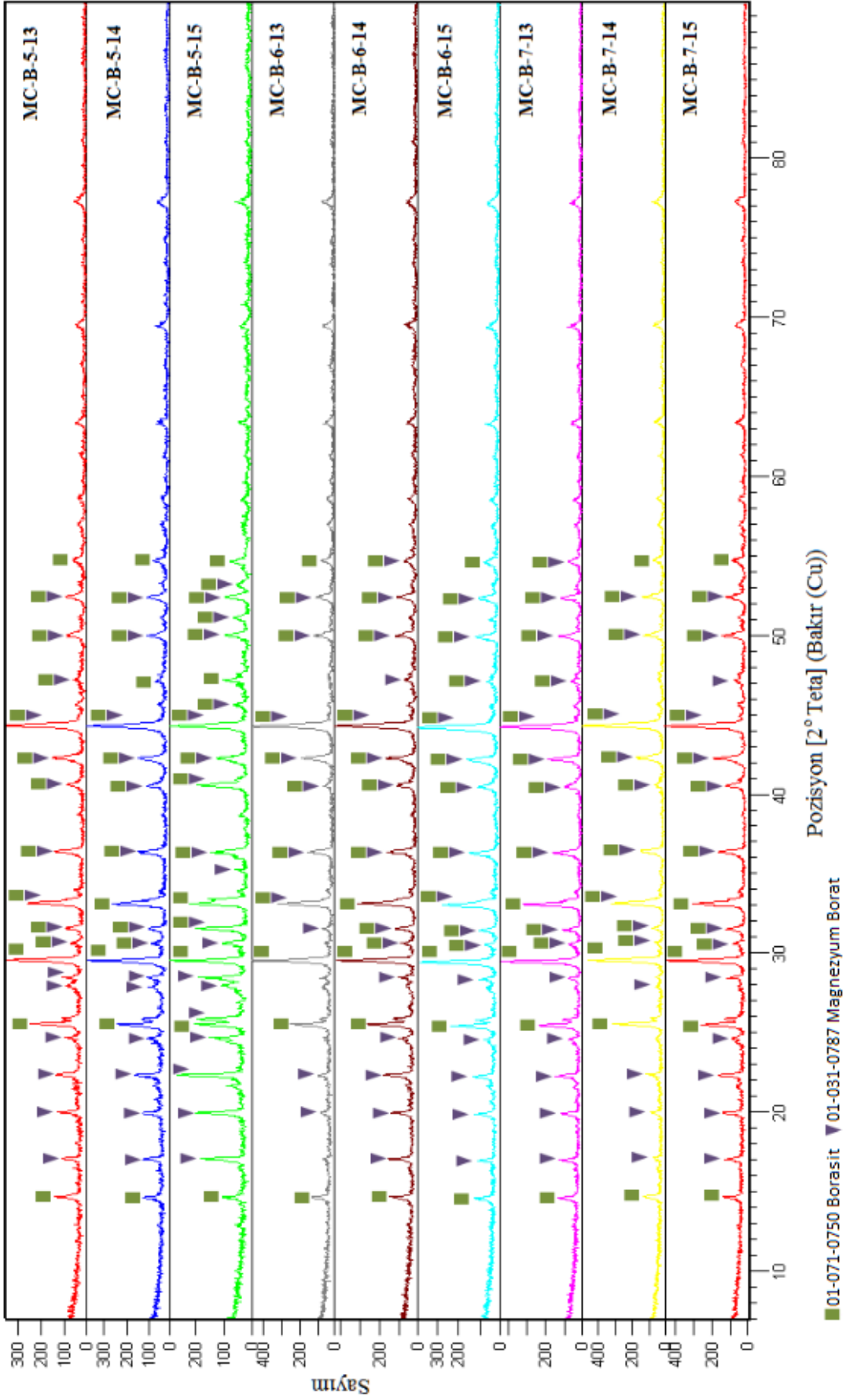
Çizelge 4. 4 $2x\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, MgO ve B_2O_3 hammaddelerinden 600°C , 700°C , 800°C ve 900°C sıcaklıklarda 4 saatte sentezlenen ürünlerin XRD skorları

Ürün kodu	Hava ortamı						
	Pdf no	Ürün adı	Formülü	XRD Skoru			
				600°C	700°C	800°C	900°C
2-4-13	01-071-0750	Borasit	$\text{Mg}_3\text{B}_7\text{O}_{13}\text{Cl}$	25	23	10	38
	00-031-0787	Magnezyum Borat	MgB_4O_7	21	47	39	72
	01-073-2107	Suanit	$\text{Mg}_2\text{B}_2\text{O}_5$	x	18	25	23
2-4-14	01-071-0750	Borasit	$\text{Mg}_3\text{B}_7\text{O}_{13}\text{Cl}$	20	32	7	36
	00-031-0787	Magnezyum Borat	MgB_4O_7	34	41	63	81
	01-073-2107	Suanit	$\text{Mg}_2\text{B}_2\text{O}_5$	17	17	17	28
2-4-15	01-071-0750	Borasit	$\text{Mg}_3\text{B}_7\text{O}_{13}\text{Cl}$	24	20	22	34
	00-031-0787	Magnezyum Borat	MgB_4O_7	12	50	65	77
	01-073-2107	Suanit	$\text{Mg}_2\text{B}_2\text{O}_5$	x	16	21	23
2-5-13	01-071-0750	Borasit	$\text{Mg}_3\text{B}_7\text{O}_{13}\text{Cl}$	33	23	7	33
	00-031-0787	Magnezyum Borat	MgB_4O_7	18	48	11	74
	01-073-2107	Suanit	$\text{Mg}_2\text{B}_2\text{O}_5$	X	17	15	22
2-5-14	01-071-0750	Borasit	$\text{Mg}_3\text{B}_7\text{O}_{13}\text{Cl}$	34	29	3	34
	00-031-0787	Magnezyum Borat	MgB_4O_7	31	52	61	76
	01-073-2107	Suanit	$\text{Mg}_2\text{B}_2\text{O}_5$	x	22	25	21
2-5-15	01-071-0750	Borasit	$\text{Mg}_3\text{B}_7\text{O}_{13}\text{Cl}$	29	28	4	38
	00-031-0787	Magnezyum Borat	MgB_4O_7	41	26	47	79
	01-073-2107	Suanit	$\text{Mg}_2\text{B}_2\text{O}_5$	X	X	20	27
2-6-13	01-071-0750	Borasit	$\text{Mg}_3\text{B}_7\text{O}_{13}\text{Cl}$	24	19	17	42
	00-031-0787	Magnezyum Borat	MgB_4O_7	26	39	53	77
	01-073-2107	Suanit	$\text{Mg}_2\text{B}_2\text{O}_5$	X	17	28	27
2-6-14	01-071-0750	Borasit	$\text{Mg}_3\text{B}_7\text{O}_{13}\text{Cl}$	24	18	7	35
	00-031-0787	Magnezyum Borat	MgB_4O_7	13	44	32	81
	01-073-2107	Suanit	$\text{Mg}_2\text{B}_2\text{O}_5$	X	16	18	23
2-6-15	01-071-0750	Borasit	$\text{Mg}_3\text{B}_7\text{O}_{13}\text{Cl}$	24	33	7	39
	00-031-0787	Magnezyum Borat	MgB_4O_7	32	50	47	75
	01-073-2107	Suanit	$\text{Mg}_2\text{B}_2\text{O}_5$	x	22	20	25

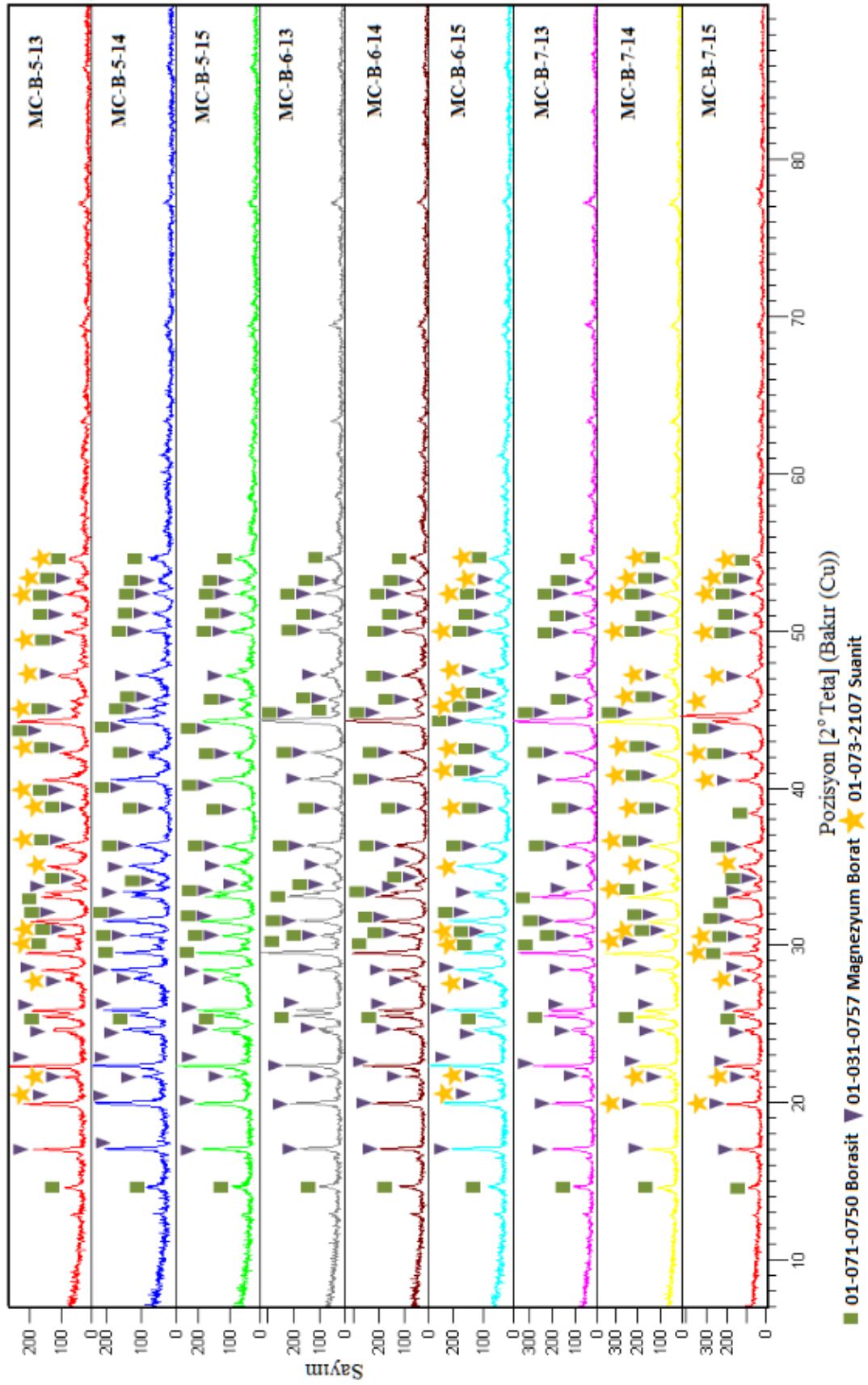
Çizelge 4.4’da verilen XRD skorlarında; teorik reaksiyon oranı olan 1-5-14’ün $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ mol oranının değiştirilip 2-5-14 yapılması ve bu oran üzerinden MgO ve B_2O_3 mol oranlarının ± 1 şeklinde farklı kombinasyonlarının analiz sonuçları verilmiştir. 600°C sıcaklıktaki analizlerde borasit ve magnezyum borat skorları düşük olmasına rağmen farklı konsantrasyonların büyük kısmında borasit skorları magnezyum borat skorlarından yüksek çıkmıştır. 600°C sıcaklıkta teorik mol oranının farklı konsantrasyonlarında yapılan çalışmalardan farklı olarak borasit skorlarının magnezyum borat skorlarından yüksek çıktığı ve reaksiyonda suanit oluşmayıp 2 fazda sona erdiği görülmektedir. 700, 800 ve 900°C’de yapılan analizlerde magnezyum borat skorları borasit skorlarından yüksektir ve bu sıcaklıklarda suanit oluşumu görülmektedir. Elde edilmesi istenilen saf borasit oluşumu için hammaddelerden MgO çıkarılmış ve Mg kaynağı olarak $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ kullanılması amaçlanmıştır. $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ ve B_2O_3 hammaddelerinde 600, 700, 800 ve 900°C’de yapılan analizlerin sonuçları Şekil 4.11, Şekil 4.12, Şekil 4.13, Şekil 4.14 ve Çizelge 4.5’de verilmiştir.



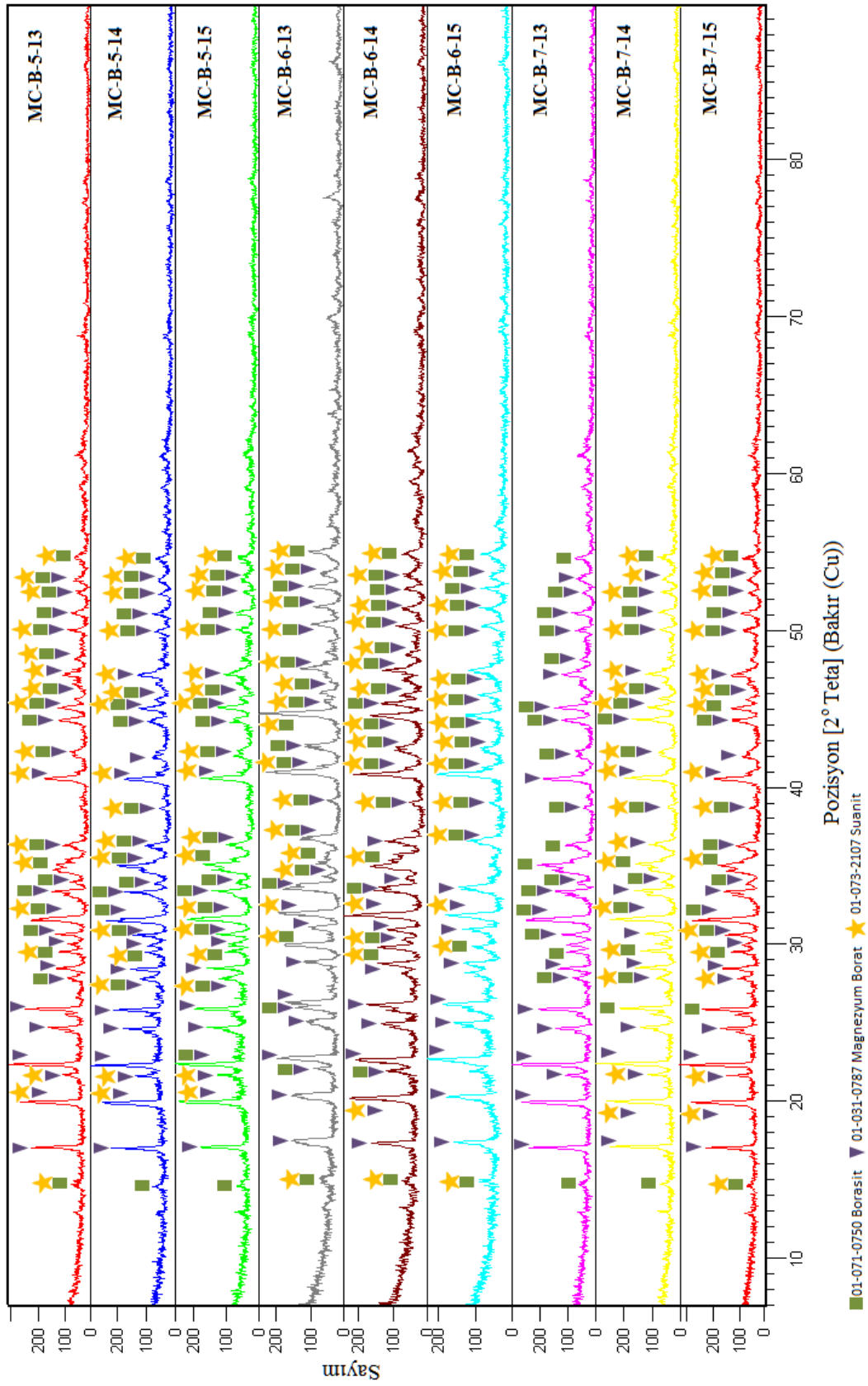
Şekil 4. 11 $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ ve B_2O_3 600°C 4 saat reaksiyonunun XRD paterni



Şekil 4. 12 $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ ve B_2O_3 700°C 4 saat reaksiyonunun XRD paterni



Şekil 4. 13 MgCl₂.6H₂O ve B₂O₃ 800°C 4 saat reaksiyonunun XRD paterni



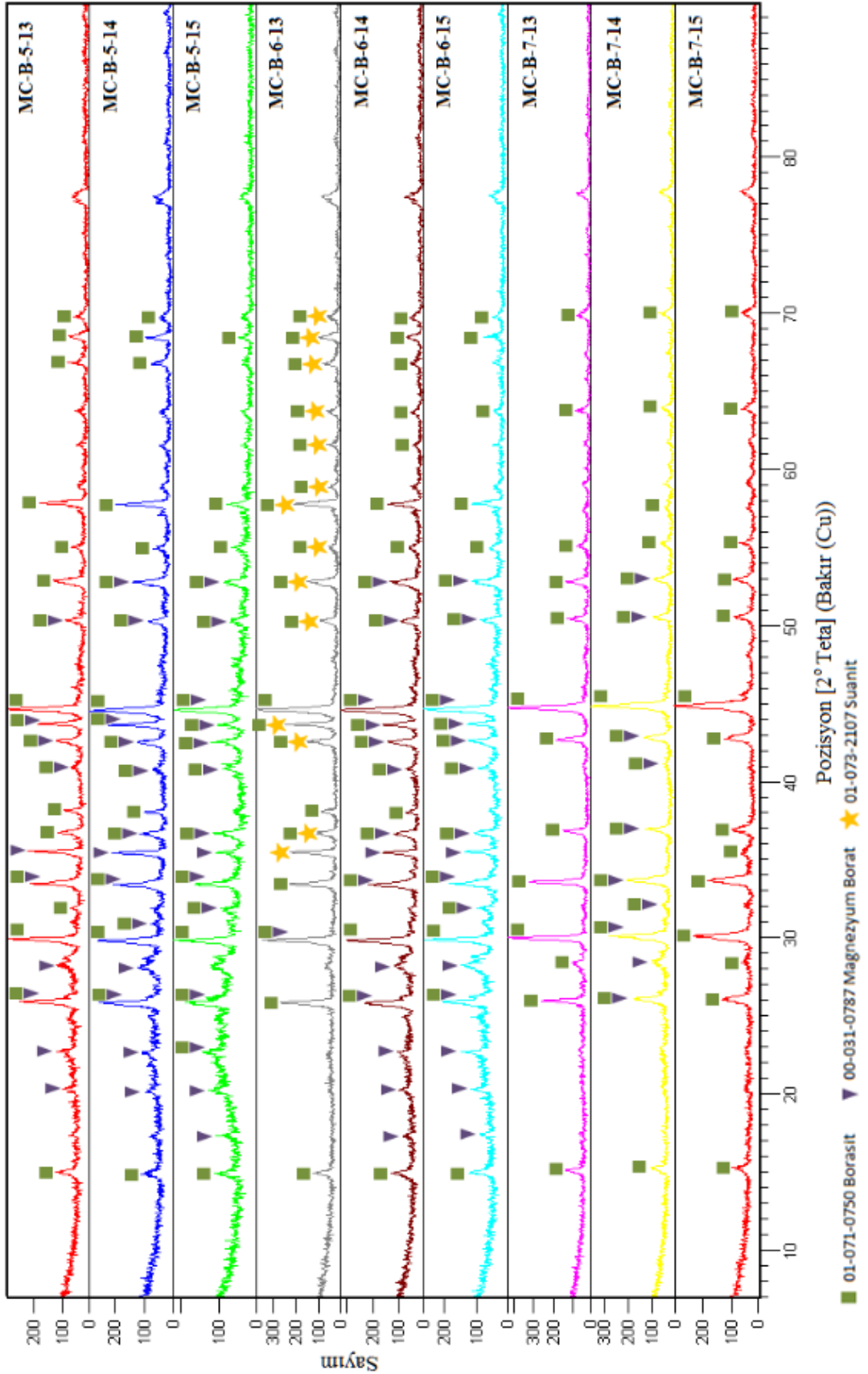
Şekil 4. 14 MgCl₂.6H₂O ve B₂O₃ 900°C 4 saat reaksiyonunun XRD paterni

Çizelge 4. 5 MgCl₂.6H₂O ve B₂O₃ hammaddelerinden 600°C, 700°C, 800°C ve 900°C sıcaklıklarda 4 saatte sentezlenen ürünlerin XRD skorları

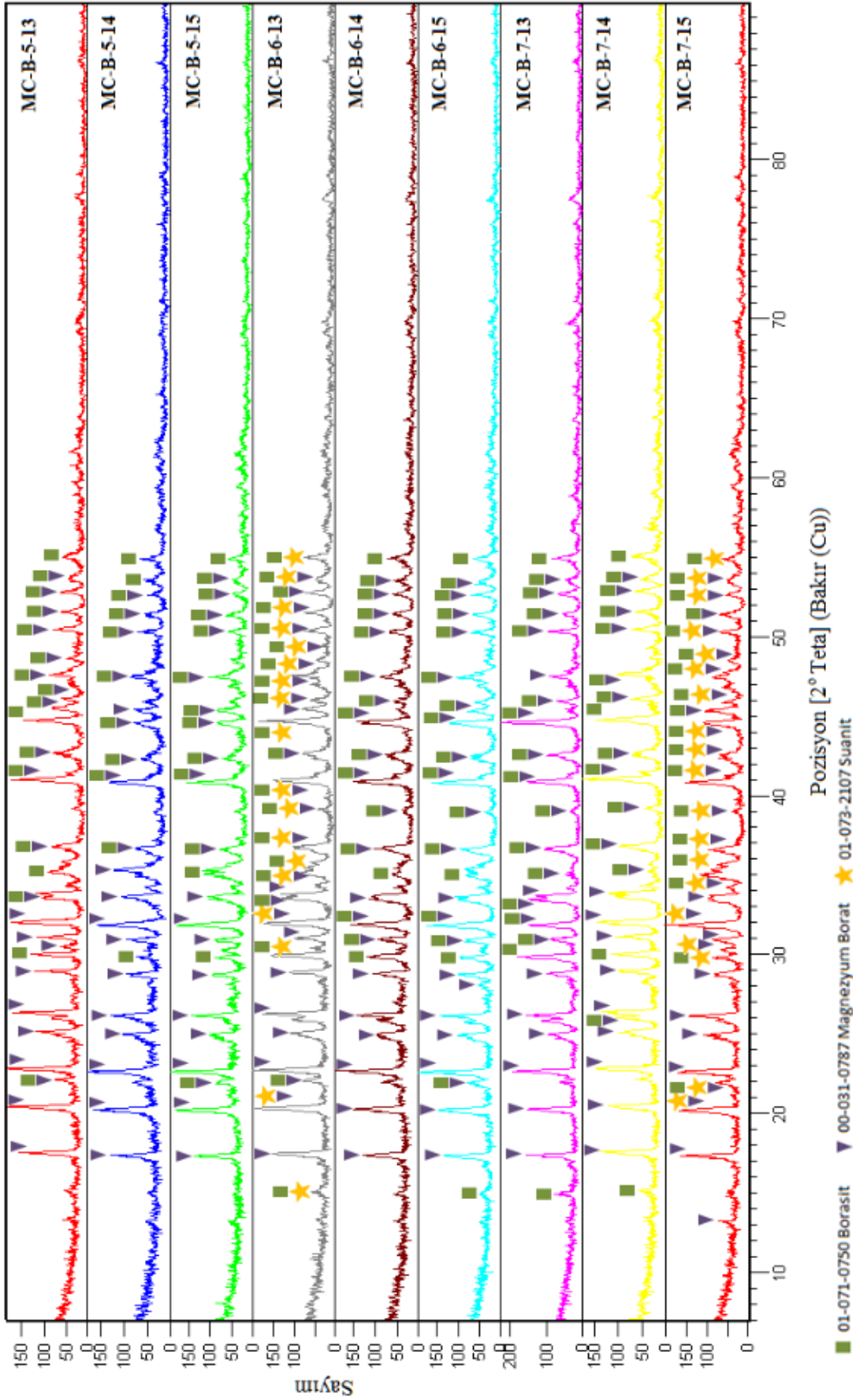
Ürün kodu	Hava ortamı						
	Pdf no	Ürün adı	Formülü	XRD Skoru			
				600°C	700°C	800°C	900°C
5-13	01-071-0750	Borasit	Mg ₃ B ₇ O ₁₃ Cl	60	63	65	42
	00-031-0787	Magnezyum Borat	MgB ₄ O ₇	23	50	67	70
	01-073-2107	Suanit	Mg ₂ B ₂ O ₅	X	X	21	21
5-14	01-071-0750	Borasit	Mg ₃ B ₇ O ₁₃ Cl	53	66	X	33
	00-031-0787	Magnezyum Borat	MgB ₄ O ₇	11	50	X	73
	01-073-2107	Suanit	Mg ₂ B ₂ O ₅	X	X	X	19
5-15	01-071-0750	Borasit	Mg ₃ B ₇ O ₁₃ Cl	55	63	59	31
	00-031-0787	Magnezyum Borat	MgB ₄ O ₇	29	69	69	68
	01-073-2107	Suanit	Mg ₂ B ₂ O ₅	X	X	X	22
6-13	01-071-0750	Borasit	Mg ₃ B ₇ O ₁₃ Cl	75	67	66	41
	00-031-0787	Magnezyum Borat	MgB ₄ O ₇	X	27	70	34
	01-073-2107	Suanit	Mg ₂ B ₂ O ₅	X	X	X	22
6-14	01-071-0750	Borasit	Mg ₃ B ₇ O ₁₃ Cl	62	65	66	26
	00-031-0787	Magnezyum Borat	MgB ₄ O ₇	51	54	67	65
	01-073-2107	Suanit	Mg ₂ B ₂ O ₅	X	X	X	24
6-15	01-071-0750	Borasit	Mg ₃ B ₇ O ₁₃ Cl	63	69	53	19
	00-031-0787	Magnezyum Borat	MgB ₄ O ₇	52	50	72	69
	01-073-2107	Suanit	Mg ₂ B ₂ O ₅	X	X	18	8
7-13	01-071-0750	Borasit	Mg ₃ B ₇ O ₁₃ Cl	64	69	67	44
	00-031-0787	Magnezyum Borat	MgB ₄ O ₇	3	52	72	76
	01-073-2107	Suanit	Mg ₂ B ₂ O ₅	X	X	X	X
7-14	01-071-0750	Borasit	Mg ₃ B ₇ O ₁₃ Cl	58	66	71	52
	00-031-0787	Magnezyum Borat	MgB ₄ O ₇	6	42	64	72
	01-073-2107	Suanit	Mg ₂ B ₂ O ₅	X	X	20	22
7-15	01-071-0750	Borasit	Mg ₃ B ₇ O ₁₃ Cl	68	67	62	40
	00-031-0787	Magnezyum Borat	MgB ₄ O ₇	X	51	63	71
	01-073-2107	Suanit	Mg ₂ B ₂ O ₅	X	X	19	20

2 hammadde ile gerçekleştirilen deneysel çalışmaların izelge 4.5’de verilen XRD sonucuna göre; 600°C sıcaklıkta 6-13 ve 7-15 oranlarında sırasıyla 75 ve 68 skorlarında saf borasit oluştuğu görülmektedir. 600°C’de gerçekleştirilen diğer konsantrasyonlarda ve 700°C ise suanit oluşamış ve reaksiyon 2 fazda sona ermiştir. Ayrıca bu sıcaklıklarda borasit skorlarının magnezyum borat skorlarından yüksek olduğu da göze çarpmaktadır. 800°C sıcaklıkta magnezyum borat skorlarının borasit skorlarında yüksek olmasına rağmen, farklı konsantrasyonlarda suanitin oluşmadığı belirlenmiştir. 900°C’de ise suanit ile birlikte magnezyum borat skorlarının arttığı görülmektedir.

Hammaddeler arasından magnezyum boratın çıkartılması ile 600°C’de saf borasit elde edilmiştir. Bu sıcaklıktaki diğer konsantrasyonlarda da saf borasit elde edilmesi ve borasit skorlarının daha yüksek çıkması amaçlanarak 600°C ve 900°C sıcaklıklarda inert ortamda aynı mol oranlarında da deneysel çalışmalar yapılmıştır. 600°C ve 900°C sıcaklıklardaki deneysel çalışmaların XRD sonuçları Şekil 4.15, Şekil 4.16 ve izelge 4.6’da verilmiştir.



Şekil 4. 15 $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ ve B_2O_3 inert ortamda $600^\circ C$ 4 saat reaksiyonunun XRD paterni



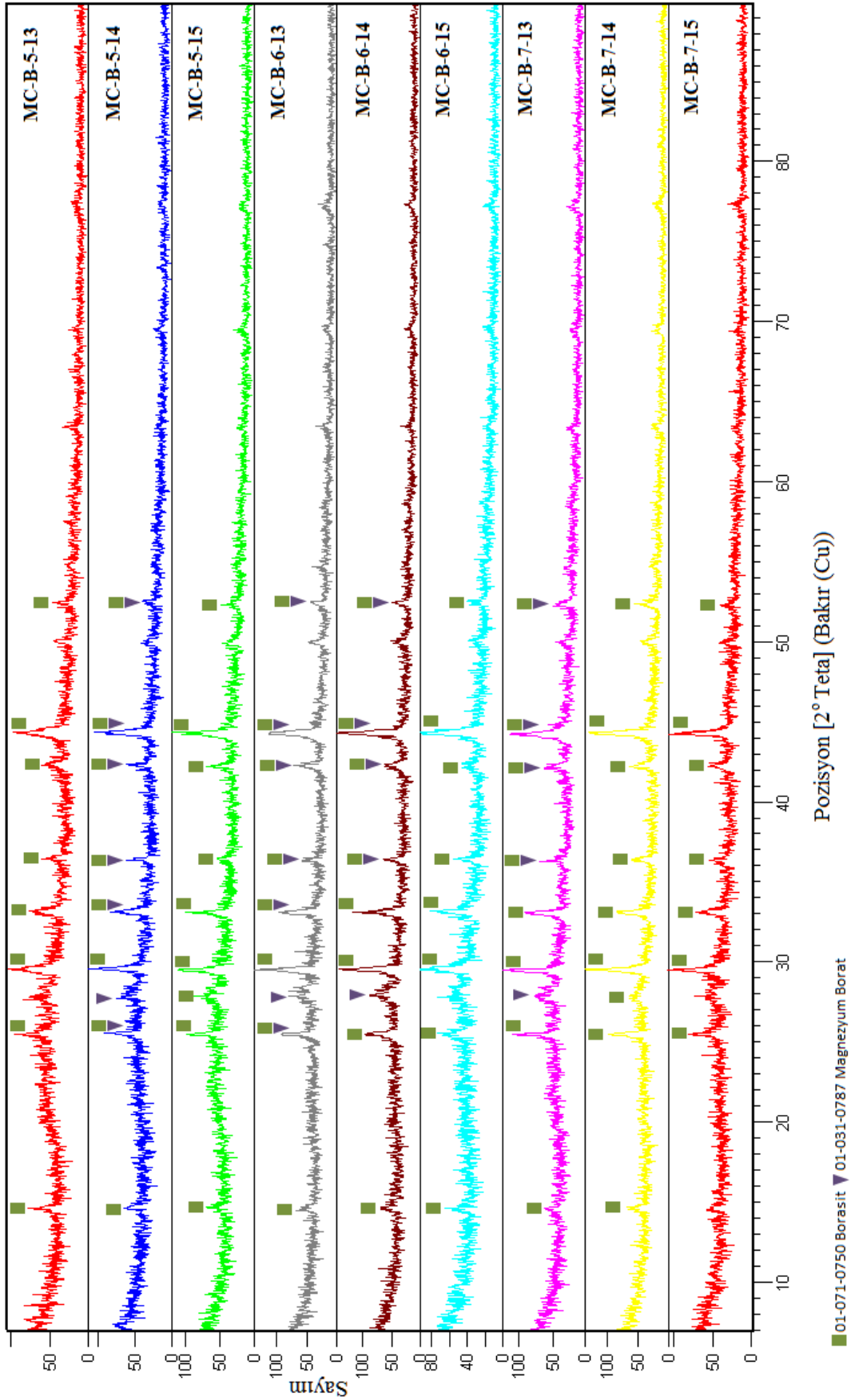
Şekil 4. 16 MgCl₂.6H₂O ve B₂O₃ inert ortamda 900°C 4 saat reaksiyonunun XRD paterni

Çizelge 4. 6 MgCl₂.6H₂O ve B₂O₃ hammaddelerinden 600°C ve 900°C sıcaklıklarda 4 saatte inert ortamda sentezlenen ürünlerin XRD skorları

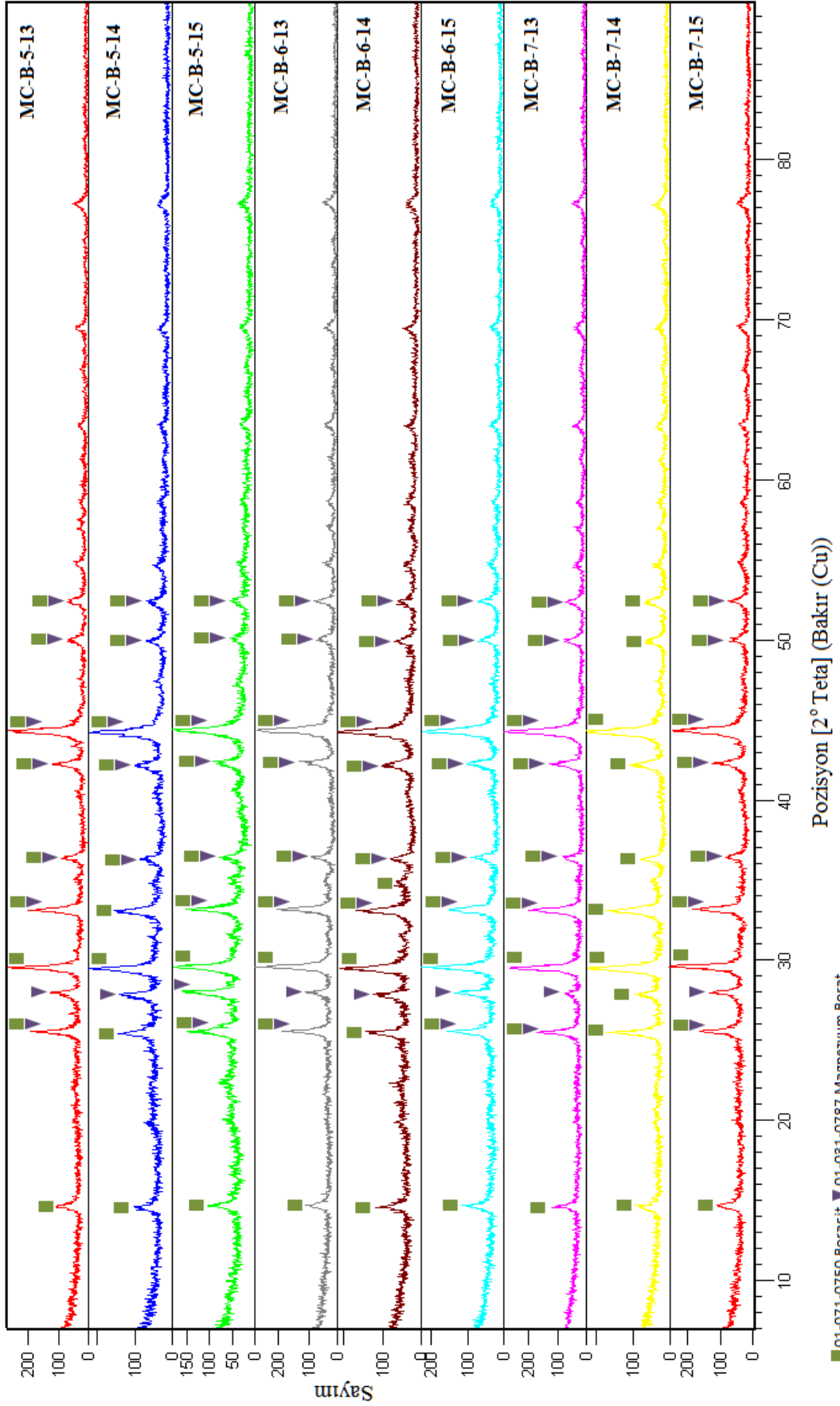
Ürün kodu	Argon ortamı				
	Pdf no	Ürün adı	Formülü	XRD Skoru	
				600°C	900°C
5-13	01-071-0750	Borosit	Mg ₃ B ₇ O ₁₃ Cl	54	22
	00-031-0787	Magnezyum Borat	MgB ₄ O ₇	6	23
	01-073-2107	Suanit	Mg ₂ B ₂ O ₅	X	X
5-14	01-071-0750	Borosit	Mg ₃ B ₇ O ₁₃ Cl	56	10
	00-031-0787	Magnezyum Borat	MgB ₄ O ₇	10	65
	01-073-2107	Suanit	Mg ₂ B ₂ O ₅	X	X
5-15	01-071-0750	Borosit	Mg ₃ B ₇ O ₁₃ Cl	52	16
	00-031-0787	Magnezyum Borat	MgB ₄ O ₇	16	68
	01-073-2107	Suanit	Mg ₂ B ₂ O ₅	X	X
6-13	01-071-0750	Borosit	Mg ₃ B ₇ O ₁₃ Cl	58	21
	00-031-0787	Magnezyum Borat	MgB ₄ O ₇	X	38
	01-073-2107	Suanit	Mg ₂ B ₂ O ₅	4	19
6-14	01-071-0750	Borosit	Mg ₃ B ₇ O ₁₃ Cl	59	35
	00-031-0787	Magnezyum Borat	MgB ₄ O ₇	21	73
	01-073-2107	Suanit	Mg ₂ B ₂ O ₅	X	X
6-15	01-071-0750	Borosit	Mg ₃ B ₇ O ₁₃ Cl	55	34
	00-031-0787	Magnezyum Borat	MgB ₄ O ₇	14	76
	01-073-2107	Suanit	Mg ₂ B ₂ O ₅	X	X
7-13	01-071-0750	Borosit	Mg ₃ B ₇ O ₁₃ Cl	55	59
	00-031-0787	Magnezyum Borat	MgB ₄ O ₇	X	62
	01-073-2107	Suanit	Mg ₂ B ₂ O ₅	X	X
7-14	01-071-0750	Borosit	Mg ₃ B ₇ O ₁₃ Cl	56	34
	00-031-0787	Magnezyum Borat	MgB ₄ O ₇	10	36
	01-073-2107	Suanit	Mg ₂ B ₂ O ₅	X	X
7-15	01-071-0750	Borosit	Mg ₃ B ₇ O ₁₃ Cl	58	29
	00-031-0787	Magnezyum Borat	MgB ₄ O ₇	X	74
	01-073-2107	Suanit	Mg ₂ B ₂ O ₅	X	27

Argon ortamında gerçekleştirilen analizlerde hava ortamında gerçekleştirilen analizlere kıyasla 600°C'de magnezyum borat skorlarında düşüş olmasına rağmen borasit skorlarında elde edilmesi beklenen artış olmamıştır. Ancak 7-13 ve 7-15 oranlarında 55 ve 58 skorlarında saf borasit elde edilmiştir. 7-15 oranı 600°C sıcaklıkta hava ortamında ve inert ortamda saf borasitin elde edildiği ortak mol oranıdır. Ortak mol oranında hava ortamında borasit skorunun inert ortamdaki borasit skorundan daha yüksek olması deneysel çalışmaların karşılaştırmasının bir diğer sonucudur. 900°C sıcaklıkta ise hava ortamında belirlenen suanit inert ortamda görülmemektedir. Ayrıca inert ortamda kimi mol oranlarında magnezyum borat skorlarında azalma, borasit skorlarında ise artış gözlemlenmiştir.

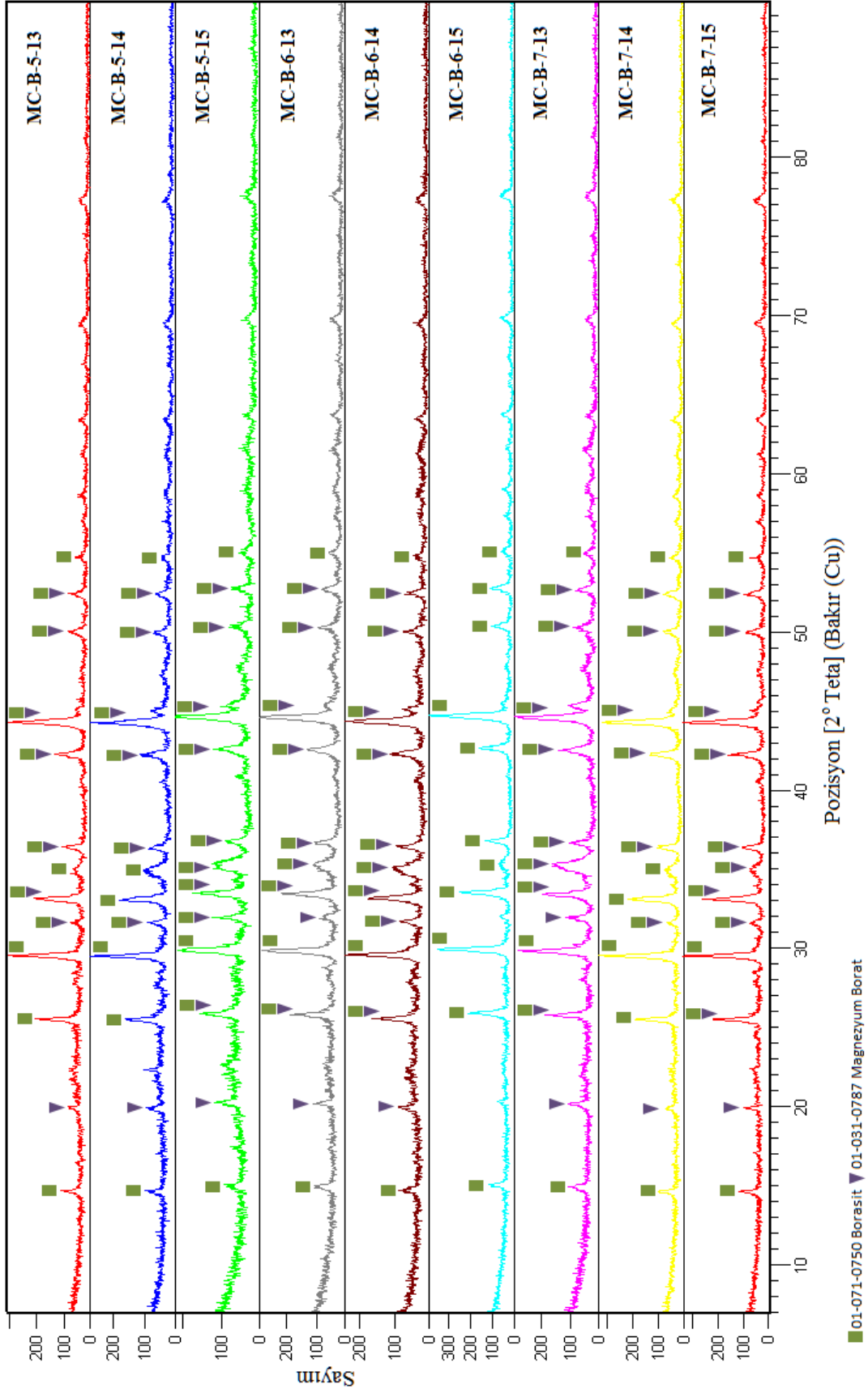
Yapılan analizler sonucunda 4 saatlik sürede borasit oluşumunun en iyi 600°C sıcaklıkta olduğu belirlenmiştir. Bu bilgiden yola çıkarak 600°C'nin $\pm 50^\circ\text{C}$ sıcaklık değeri değiştirilerek optimum sıcaklık belirlenmek istenmiştir. Şekil 4.17, Şekil 4.18, Şekil 4.19 ve Çizelge 4.7'de 500°C, 550°C ve 650°C sıcaklıklarda yapılan analizlerin XRD sonuçları verilmiştir.



Şekil 4. 17 MgCl₂.6H₂O ve B₂O₃ 500°C 4 saat reaksiyonunun XRD paterni



Şekil 4. 18 MgCl₂.6H₂O ve B₂O₃ 550°C 4 saat reaksiyonunun XRD paterni



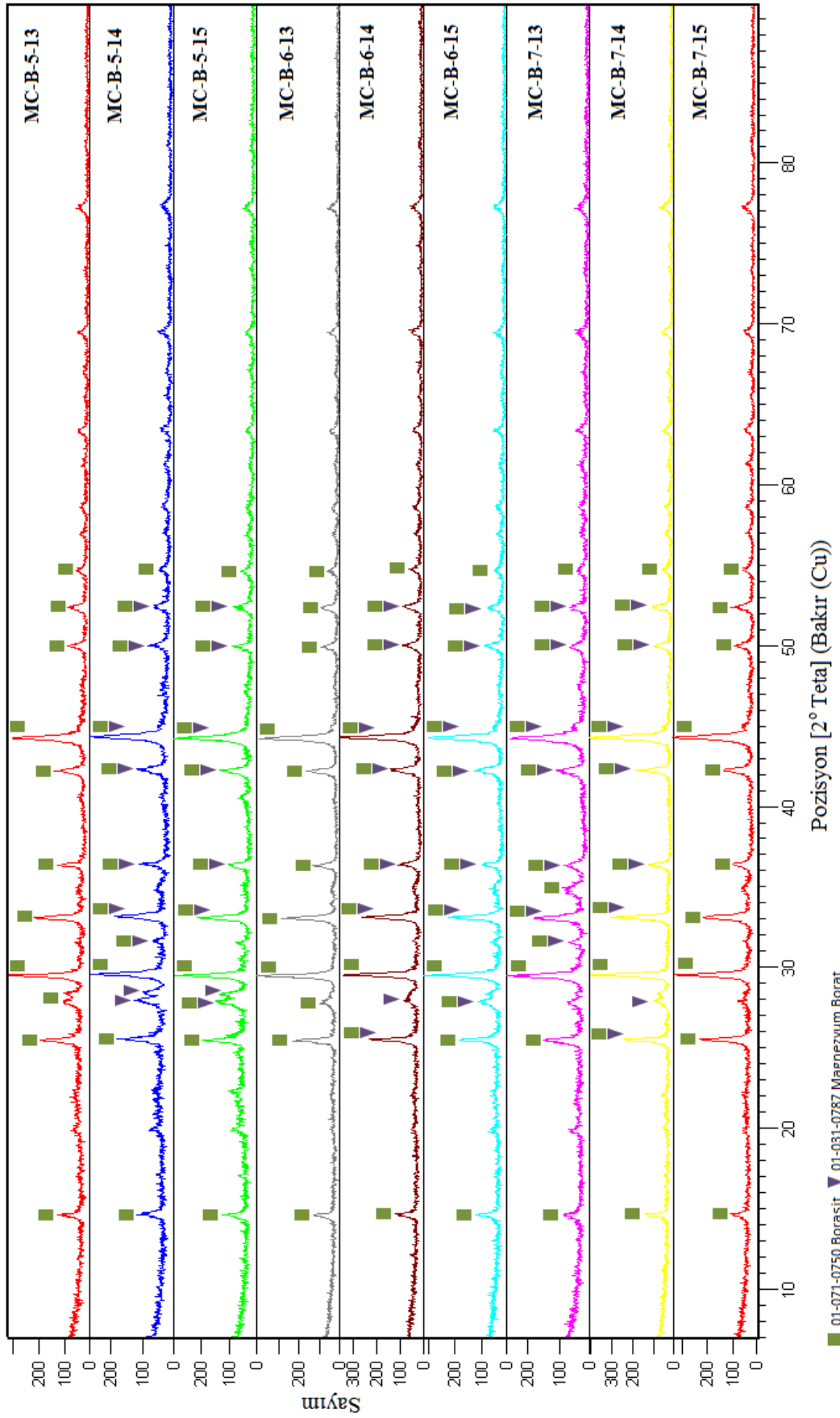
Şekil 4. 19 MgCl₂.6H₂O ve B₂O₃ 650°C 4 saat reaksiyonunun XRD paterni

Çizelge 4. 7 MgCl₂.6H₂O ve B₂O₃ hammaddelerinden 500°C, 550°C, 600°C ve 650°C sıcaklıkta 4 saatte sentezlenen ürünlerin XRD skorları

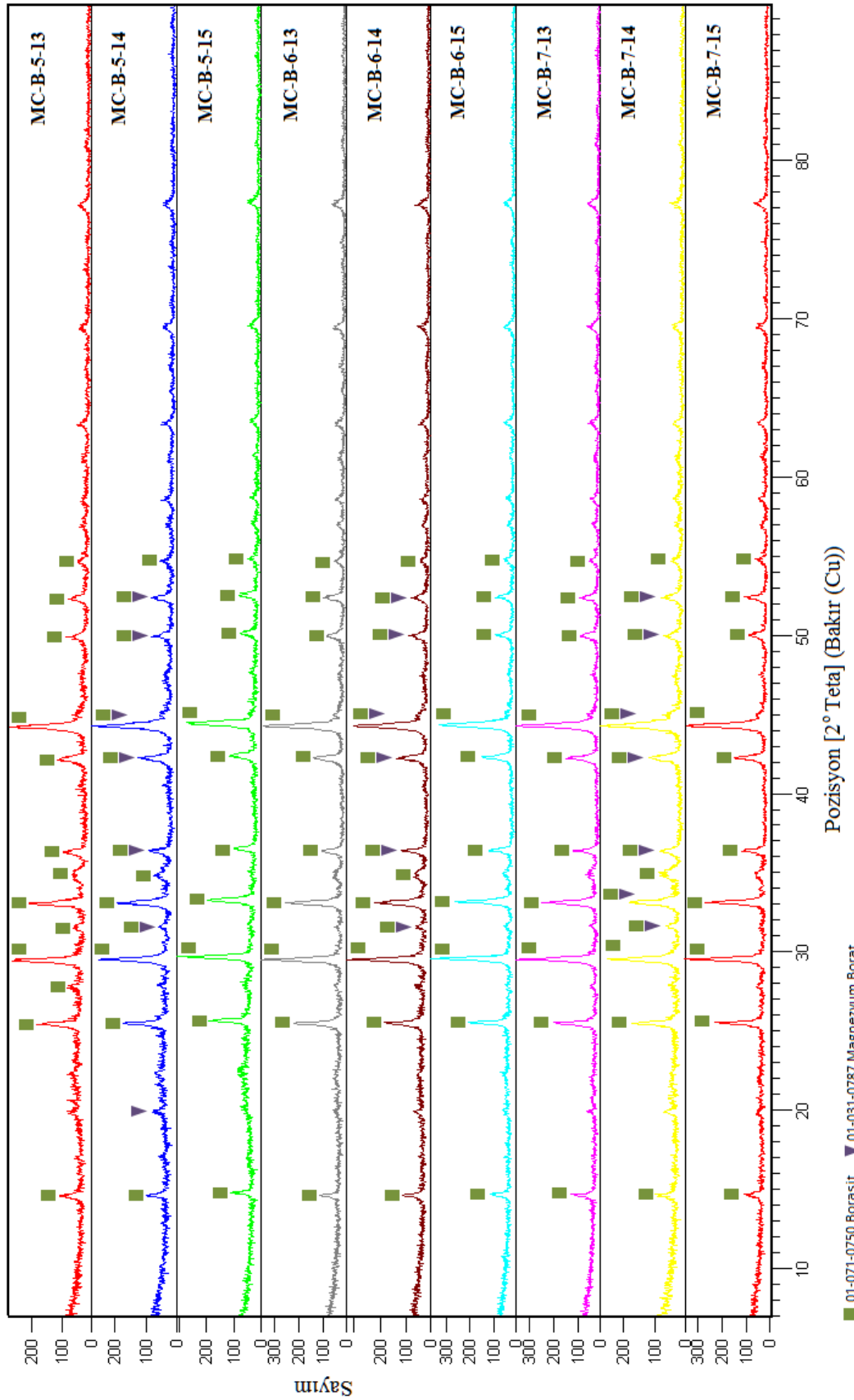
Ürün kodu	Hava ortamı						
	Pdf no	Ürün adı	Formülü	XRD Skoru			
				500°C	550°C	600°C	650°C
5-13	01-071-0750	Borasit	Mg ₃ B ₇ O ₁₃ Cl	33	66	60	63
	00-031-0787	Magnezyum Borat	MgB ₄ O ₇	X	3	23	6
	01-073-2107	Suanit	Mg ₂ B ₂ O ₅	X	X	X	X
5-14	01-071-0750	Borasit	Mg ₃ B ₇ O ₁₃ Cl	34	59	53	60
	00-031-0787	Magnezyum Borat	MgB ₄ O ₇	1	3	11	14
	01-073-2107	Suanit	Mg ₂ B ₂ O ₅	X	X	X	X
5-15	01-071-0750	Borasit	Mg ₃ B ₇ O ₁₃ Cl	34	57	55	51
	00-031-0787	Magnezyum Borat	MgB ₄ O ₇	X	3	29	13
	01-073-2107	Suanit	Mg ₂ B ₂ O ₅	X	X	X	X
6-13	01-071-0750	Borasit	Mg ₃ B ₇ O ₁₃ Cl	44	66	75	57
	00-031-0787	Magnezyum Borat	MgB ₄ O ₇	1	3	X	8
	01-073-2107	Suanit	Mg ₂ B ₂ O ₅	X	X	X	X
6-14	01-071-0750	Borasit	Mg ₃ B ₇ O ₁₃ Cl	45	60	62	63
	00-031-0787	Magnezyum Borat	MgB ₄ O ₇	1	3	51	10
	01-073-2107	Suanit	Mg ₂ B ₂ O ₅	X	X	X	X
6-15	01-071-0750	Borasit	Mg ₃ B ₇ O ₁₃ Cl	34	64	63	59
	00-031-0787	Magnezyum Borat	MgB ₄ O ₇	X	3	52	X
	01-073-2107	Suanit	Mg ₂ B ₂ O ₅	X	X	X	X
7-13	01-071-0750	Borasit	Mg ₃ B ₇ O ₁₃ Cl	43	68	64	56
	00-031-0787	Magnezyum Borat	MgB ₄ O ₇	1	3	3	8
	01-073-2107	Suanit	Mg ₂ B ₂ O ₅	X	X	X	X
7-14	01-071-0750	Borasit	Mg ₃ B ₇ O ₁₃ Cl	44	65	58	69
	00-031-0787	Magnezyum Borat	MgB ₄ O ₇	X	X	6	3
	01-073-2107	Suanit	Mg ₂ B ₂ O ₅	X	X	X	X
7-15	01-071-0750	Borasit	Mg ₃ B ₇ O ₁₃ Cl	31	65	68	65
	00-031-0787	Magnezyum Borat	MgB ₄ O ₇	X	3	X	12
	01-073-2107	Suanit	Mg ₂ B ₂ O ₅	X	X	X	X

600°C ± 50°C sıcaklıklarda yapılan deneysel çalışmalar sonucunda; 500°C sıcaklıkta reaksiyonun oldukça az gerçekleştiği, XRD skorlarının saf borasiti göstermesine rağmen diğer sıcaklıklara göre çok düşük olduğu görülmüştür. 550°C sıcaklıkta borasit skorlarının yükseldiği ancak magnezyum borat oluşumunun arttığı belirlenmiştir. 650°C’de ise saf borasit oluşturan konsantrasyon değerleri 600°C’ye kıyasla daha azdır ve borasit skorları daha düşüktür.

Değerlendirilen sıcaklıklar içinde süre araştırması yapılması istenen sıcaklık olarak 600°C seçilmiştir. Bu sıcaklığın reaksiyon süreleri değeristirilerek optimum reaksiyon süresi belirlenmek istenmiştir. 600°C 0.5 saat ve 1 saat reaksiyonunun XRD sonuçları Şekil 4.20, Şekil 4.21 ve izelge 4.8’de verilmiştir.



Şekil 4. 20 MgCl₂.6H₂O ve B₂O₃ 600°C 0.5 saat reaksiyonunun XRD paterni



Şekil 4. 21 MgCl₂.6H₂O ve B₂O₃ 600°C 1 saat reaksiyonunun XRD paterni

Çizelge 4. 8 MgCl₂.6H₂O ve B₂O₃ hammaddelerinden 600°C sıcaklıkta farklı sürelerde sentezlenen ürünlerin XRD skorları

Ürün kodu	Hava ortamı					
	Pdf no	Ürün adı	Formülü	XRD Skoru-600°C		
				0.5h	1h	4h
5-13	01-071-0750	Borasit	Mg ₃ B ₇ O ₁₃ Cl	63	65	60
	00-031-0787	Magnezyum Borat	MgB ₄ O ₇	X	X	23
	01-073-2107	Suanit	Mg ₂ B ₂ O ₅	X	X	X
5-14	01-071-0750	Borasit	Mg ₃ B ₇ O ₁₃ Cl	60	66	53
	00-031-0787	Magnezyum Borat	MgB ₄ O ₇	7	5	11
	01-073-2107	Suanit	Mg ₂ B ₂ O ₅	X	X	X
5-15	01-071-0750	Borasit	Mg ₃ B ₇ O ₁₃ Cl	61	63	55
	00-031-0787	Magnezyum Borat	MgB ₄ O ₇	16	X	29
	01-073-2107	Suanit	Mg ₂ B ₂ O ₅	X	X	X
6-13	01-071-0750	Borasit	Mg ₃ B ₇ O ₁₃ Cl	68	69	75
	00-031-0787	Magnezyum Borat	MgB ₄ O ₇	X	X	X
	01-073-2107	Suanit	Mg ₂ B ₂ O ₅	X	X	X
6-14	01-071-0750	Borasit	Mg ₃ B ₇ O ₁₃ Cl	69	64	62
	00-031-0787	Magnezyum Borat	MgB ₄ O ₇	4	3	51
	01-073-2107	Suanit	Mg ₂ B ₂ O ₅	X	X	X
6-15	01-071-0750	Borasit	Mg ₃ B ₇ O ₁₃ Cl	62	67	63
	00-031-0787	Magnezyum Borat	MgB ₄ O ₇	5	X	52
	01-073-2107	Suanit	Mg ₂ B ₂ O ₅	X	X	X
7-13	01-071-0750	Borasit	Mg ₃ B ₇ O ₁₃ Cl	66	70	64
	00-031-0787	Magnezyum Borat	MgB ₄ O ₇	4	X	3
	01-073-2107	Suanit	Mg ₂ B ₂ O ₅	X	X	X
7-14	01-071-0750	Borasit	Mg ₃ B ₇ O ₁₃ Cl	67	64	58
	00-031-0787	Magnezyum Borat	MgB ₄ O ₇	4	5	6
	01-073-2107	Suanit	Mg ₂ B ₂ O ₅	X	X	X
7-15	01-071-0750	Borasit	Mg ₃ B ₇ O ₁₃ Cl	68	67	68
	00-031-0787	Magnezyum Borat	MgB ₄ O ₇	X	X	X
	01-073-2107	Suanit	Mg ₂ B ₂ O ₅	X	X	X

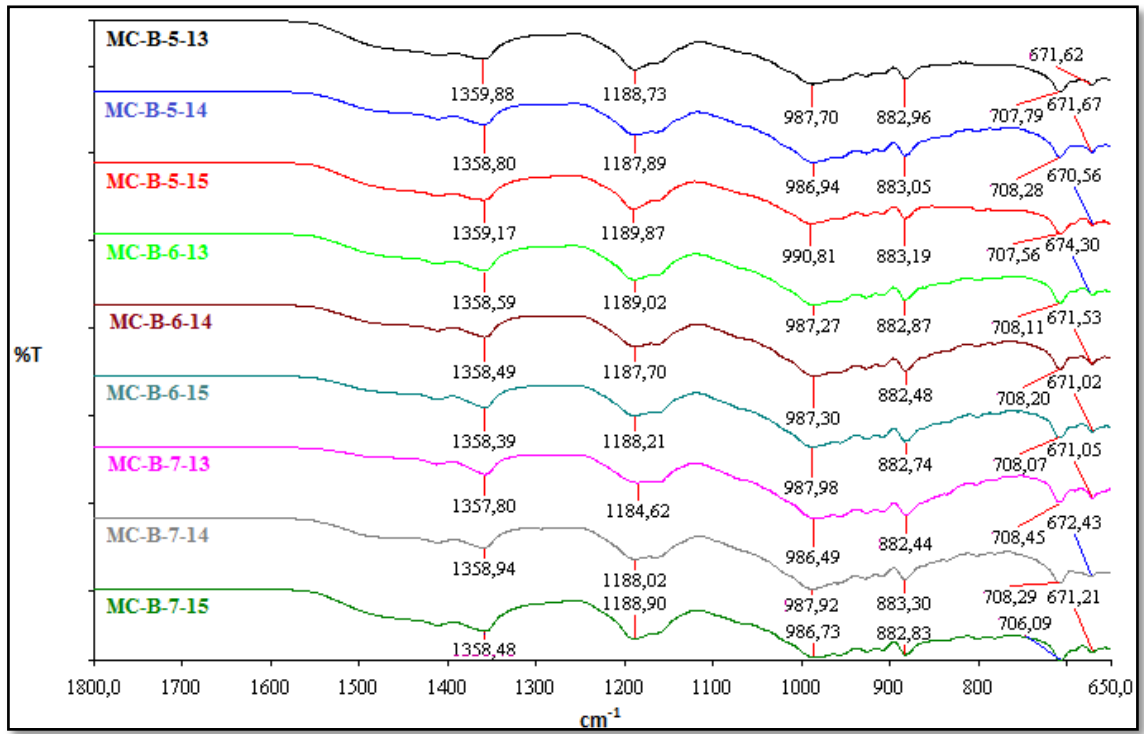
Hava ortamında 600°C sıcaklıkta farklı sürelerde yapılan analizlerde optimum sıcaklıktaki optimum süre belirlenmek istenmiştir. Analiz sonuçlarına göre; $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ ve B_2O_3 hammaddelerinden elde edilen saf borasitin en iyi skoru 1 saatlik reaksiyon sonucunda ortaya çıkmıştır. Farklı konsantrasyon değerlerinde olmasına rağmen XRD analizleri sonucunda reaksiyonun tek fazla tamamlandığı görülmüştür.

600°C 0.5 saatlik analiz sonuçlarında ise 1 saatlik çalışmaya göre daha az saf borasit elde edilmesine rağmen, borasit skorları neredeyse aynı ve magnezyum borat skorları oldukça düşüktür.

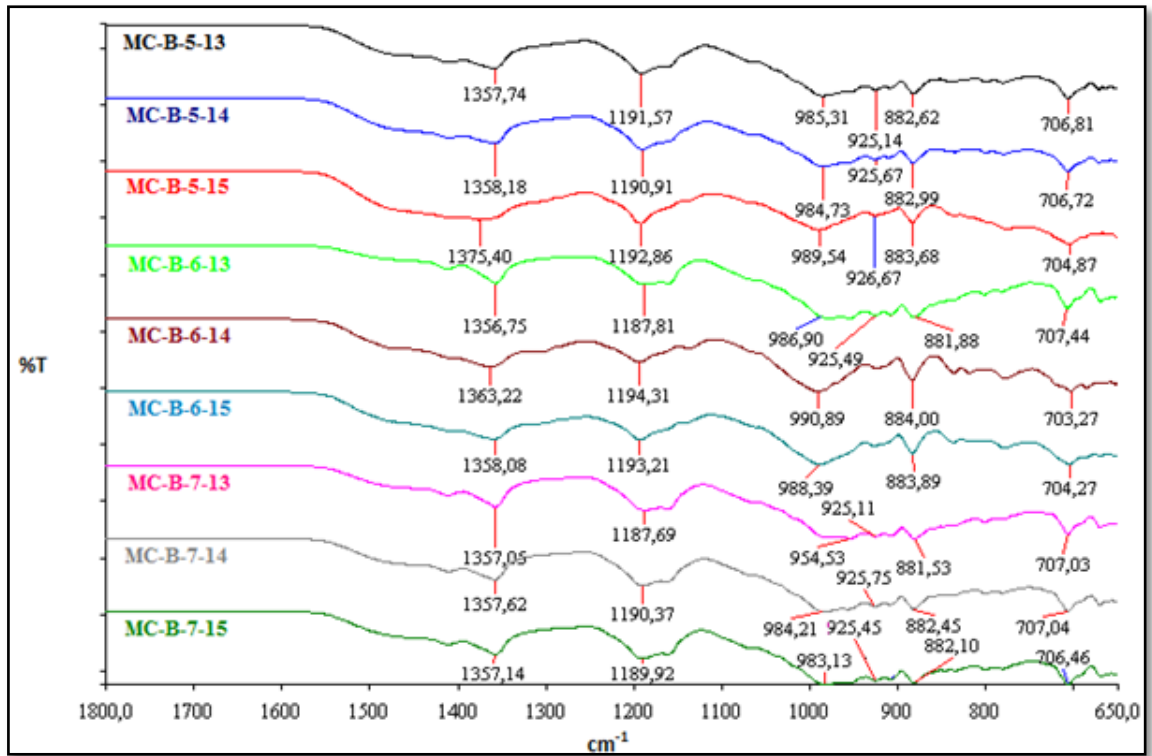
4.2.2 FT-IR Sonuçları

FT-IR analizlerinde saf borasit ürününün karakteristik pikleri gözlenmiştir. Bu analiz ile XRD sonuçları desteklenmiştir. Saf olarak elde edilen borasit bileşiğinin FT-IR pikleri ve yorumları Şekil 4.22 ve Şekil 4.23'te verilmiştir.

Verilen FT-IR paternlerinde borasit karakteristik pikleri oldukça benzer görülmektedir. Bu piklerde sırasıyla 3 koordinatlı asimetrik bor ($B_{(3)}-O$) daralması (B-O-H) esnemesi 4 koordinatlı asimetrik daralma ve 3 koordinatlı simetrik daralma 4 koordinatlı simetrik daralma belirlenmiştir.



Şekil 4. 22 MC-B 600°C 1 saat reaksiyonunun FT-IR paterni

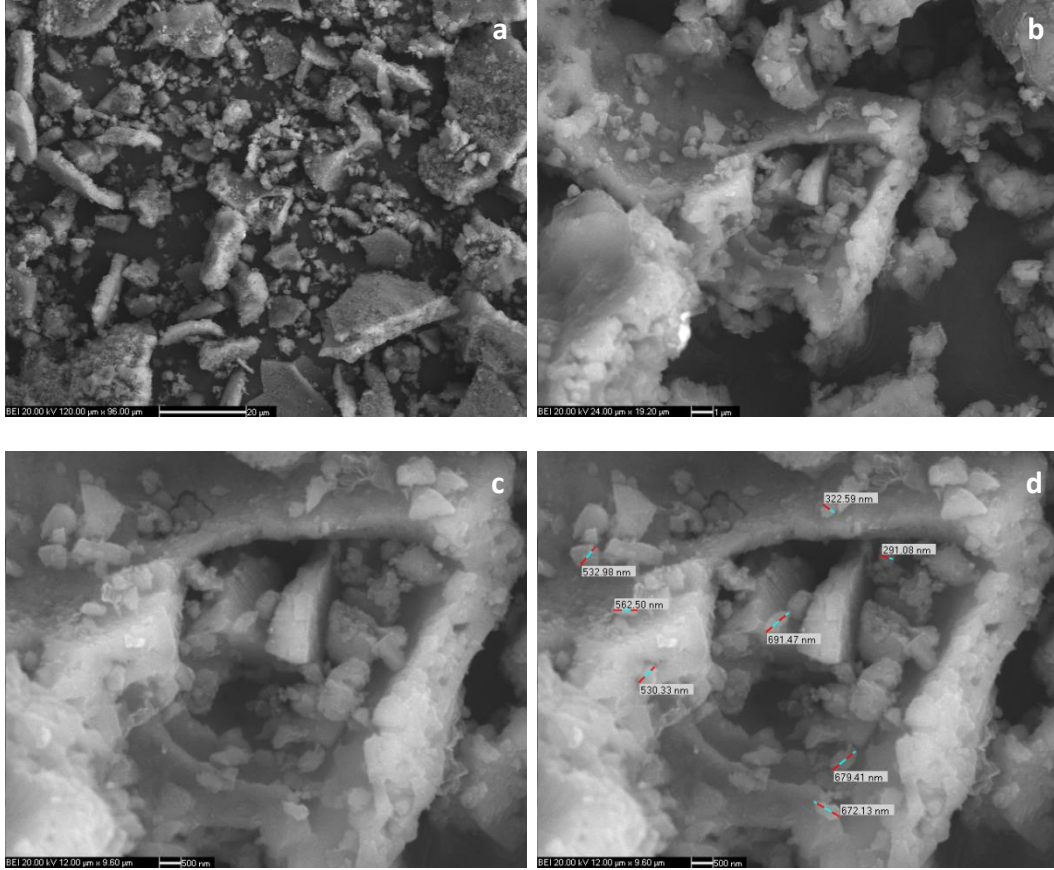


Şekil 4. 23 MC-B 600°C 4 saat reaksiyonunun FT-IR paterni

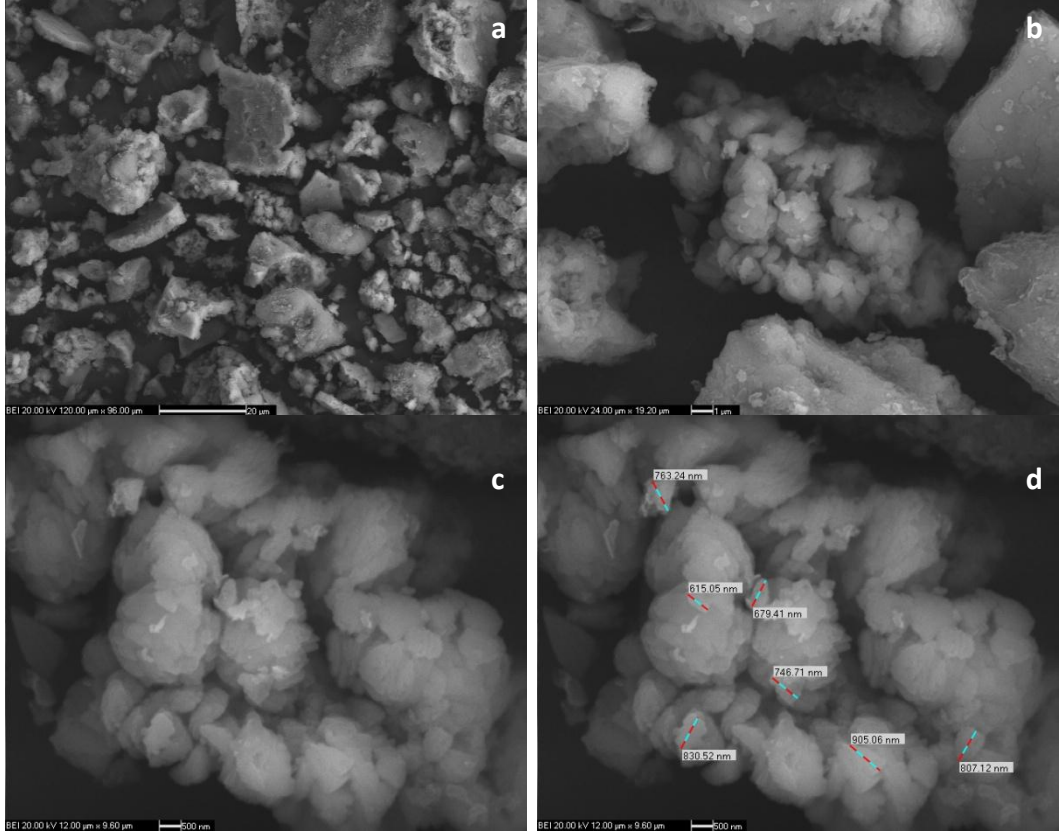
4.2.3 SEM Analizi Sonuçları

Katı hal sentezi ile magnezyum klorür heksahidrat ($MgCl_2 \cdot 6H_2O$) ve boroksit (B_2O_3) hammaddeleri kullanılarak sentezlenen saf borasit mineralinin çeşitli büyüklüklerdeki SEM yüzey görüntüleri Şekil 4.24 - Şekil 4.38 aralığında verilmiştir.

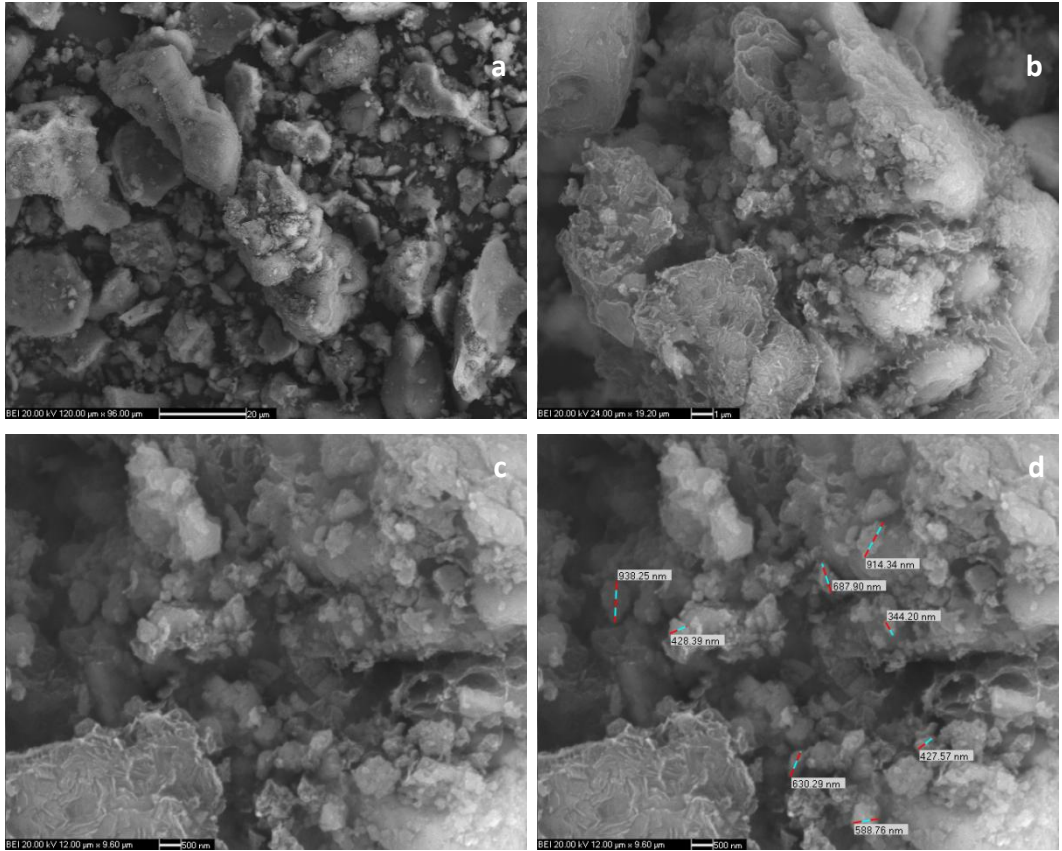
İnert ortamda ve hava ortamında $600^\circ C$ 4 saatte magnezyum klorür heksahidrat ve boroksit hammaddelerinden sentezlenen saf borasitin SEM görüntüleri Şekil 4.24 – Şekil 4.27 arasında verilmiştir. Bu görüntülere göre reaksiyon ortamına değişmesine rağmen borasit tane boyutları nanometre boyutundadır. Ayrıca borasit taneciklerinin saydam yapıda olduğu görülmektedir.



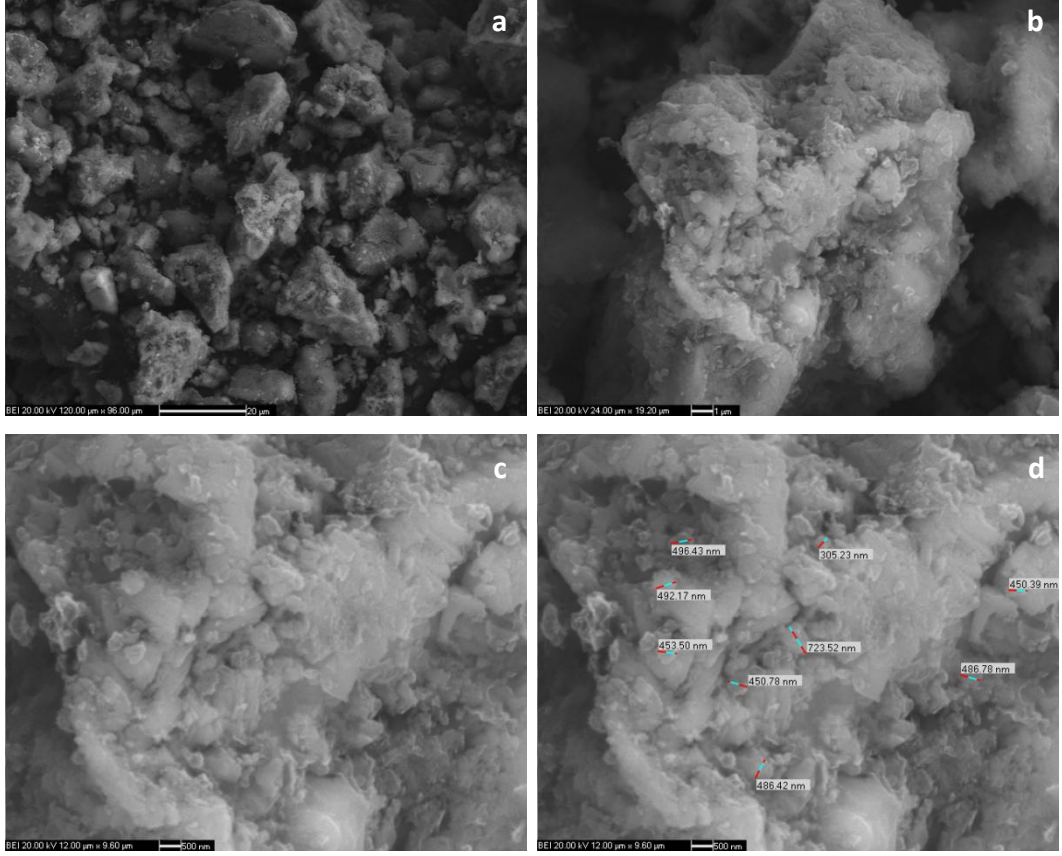
Şekil 4. 24 MC-B-6-13 $600^\circ C$ 4 saat reaksiyonunda sentezlenen saf borasitin SEM görüntüleri a. 1000x b. 5000x c. 10000x d. 10000x



Şekil 4. 25 MC-B-7-15 600°C 4 saat reaksiyonunda sentezlenen saf borasitin SEM görüntüleri a. 1000x b. 5000x c. 10000x d. 10000x

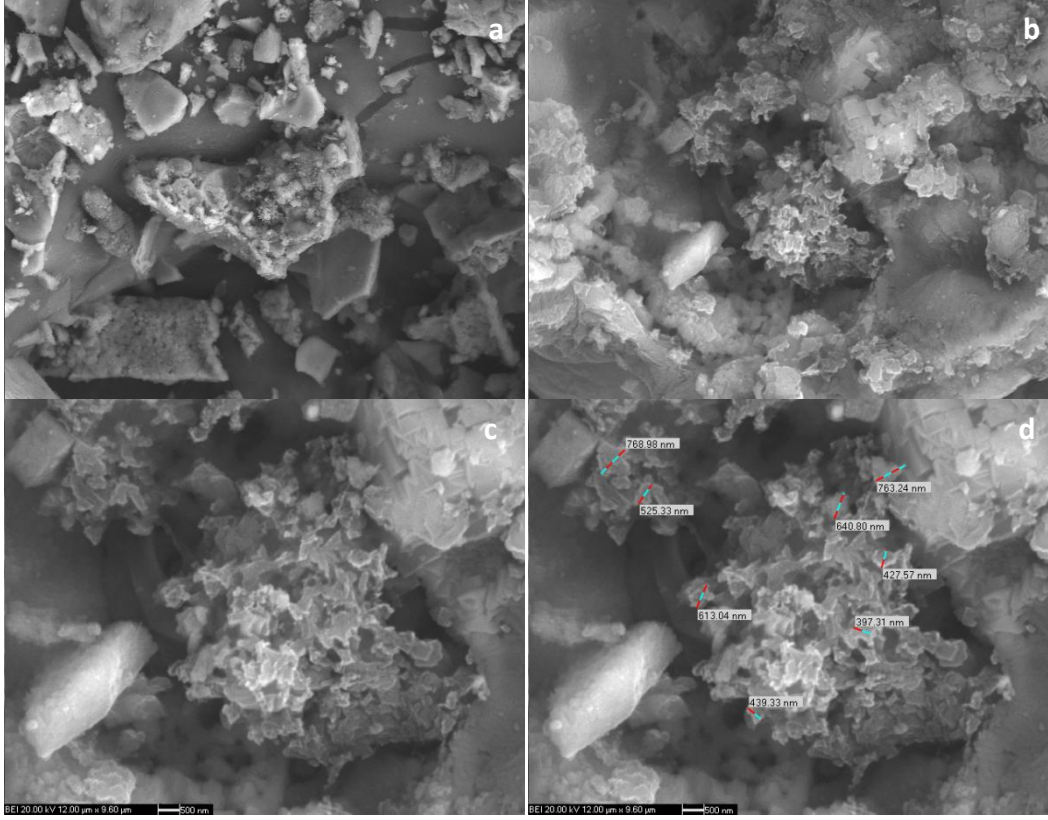


Şekil 4. 26 İnert ortamdaki MC-B-7-13 600°C 4 saat reaksiyonunda sentezlenen saf borasitin SEM görüntüleri a. 1000x b. 5000x c. 10000x d. 10000x

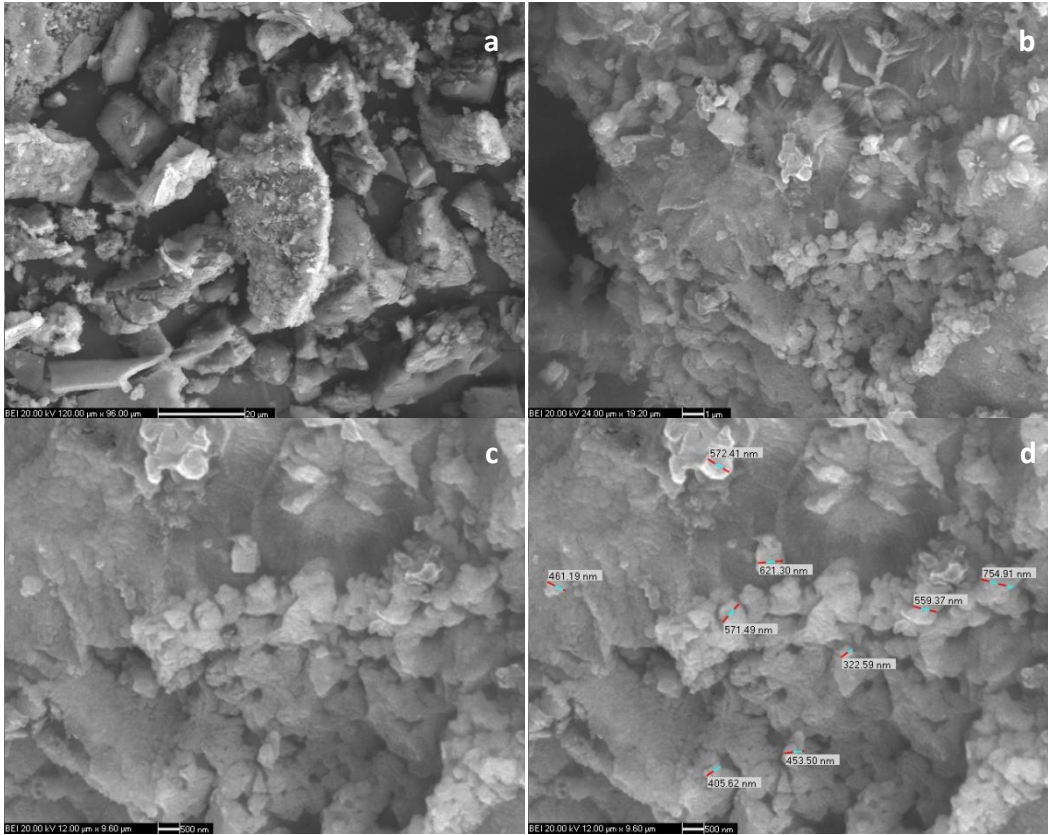


Şekil 4. 27 İnert ortamdaki MC-B-7-15 600°C 4 saat reaksiyonunda sentezlenen saf borasitin SEM görüntüleri a. 1000x b. 5000x c. 10000x d. 10000x

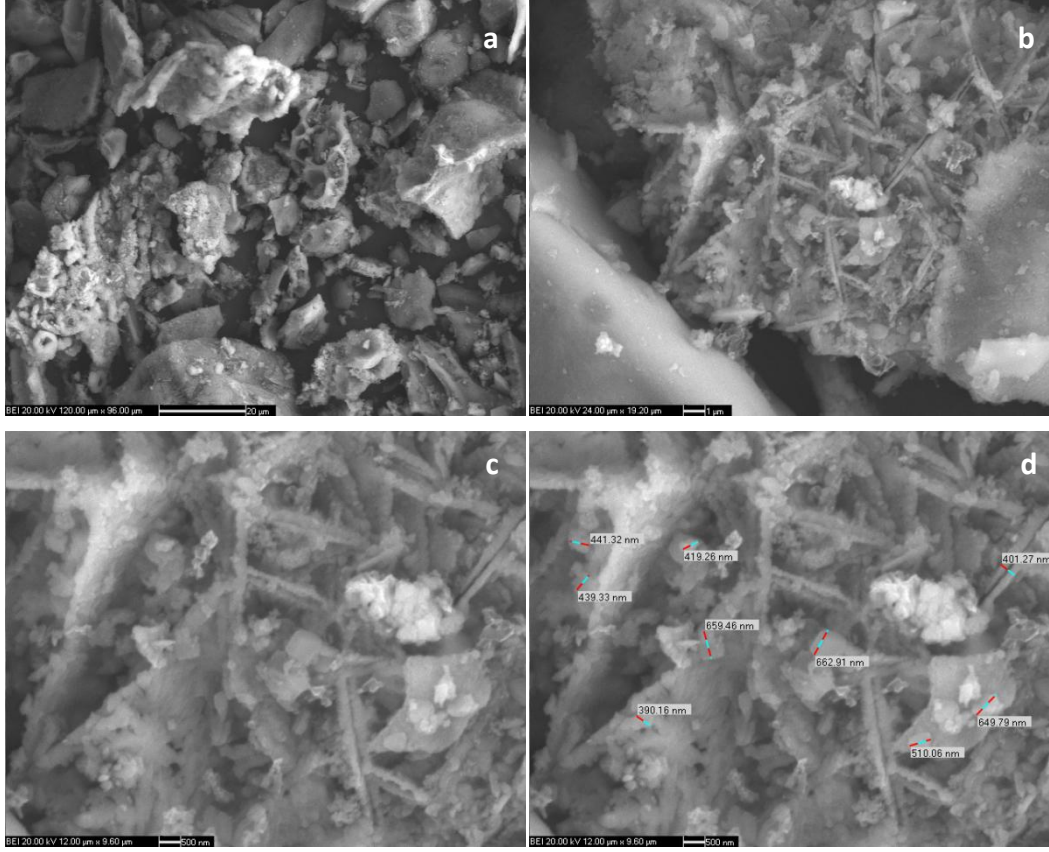
600°C 1 saatte gerçekleşen reaksiyon sonucu oluşan saf borasitin SEM görüntülerinde (Şekil 4.28) konsantrasyon oranındaki değişikliğin borasit şekillerinde de farklılık oluşturduğu görülmektedir. Tüm konsantrasyonlarda borasit mineralinin saydam olmadığı ancak magnezyum klorür heksahidrat konsantrasyonu arttıkça şekillerdeki köşegenliğin azaldığı belirlenmiştir. Borasit tane boyutlarının ise tüm konsantrasyonlarda nanometre boyutunda olduğu görülmektedir.



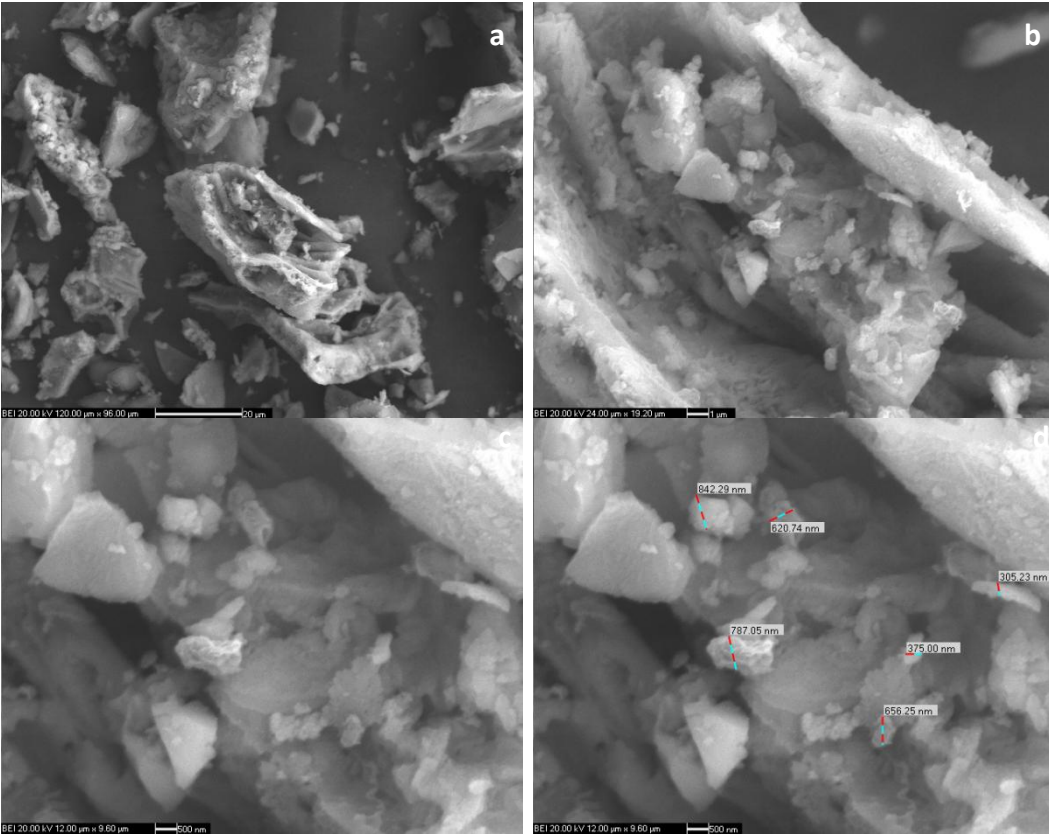
Şekil 4. 28 MC-B-5-13 600°C 1 saat reaksiyonunda sentezlenen saf borasitin SEM görüntüleri a. 1000x b. 5000x c. 10000x d. 10000x



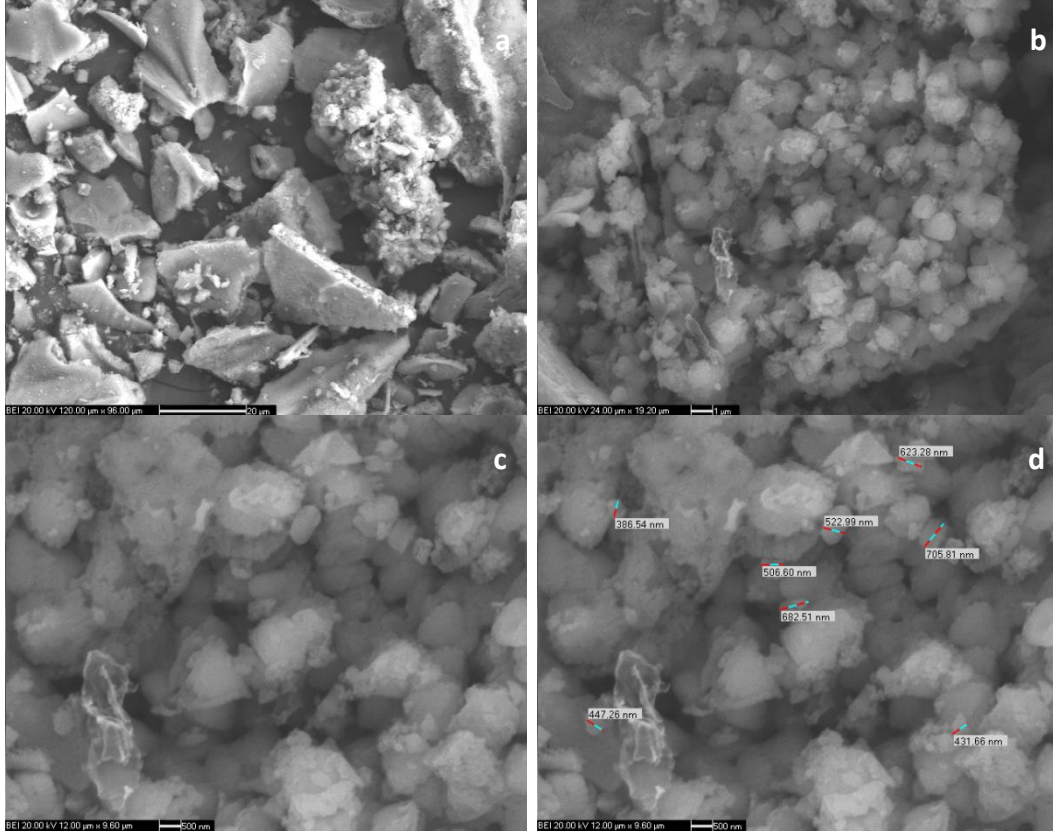
Şekil 4. 29 MC-B-5-15 600°C 1 saat reaksiyonunda sentezlenen saf borasitin SEM görüntüleri a. 1000x b. 5000x c. 10000x d. 10000x



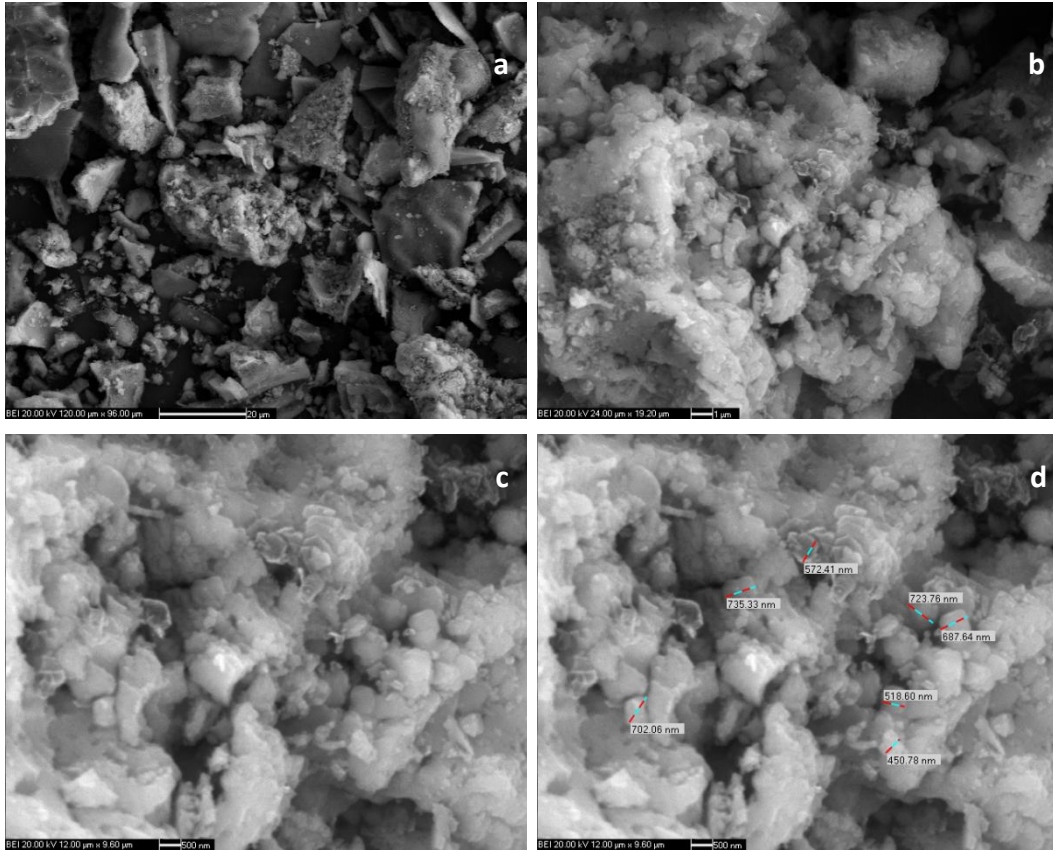
Şekil 4. 30 MC-B-6-13 600°C 1 saat reaksiyonunda sentezlenen saf borasitin SEM görüntüleri a. 1000x b. 5000x c. 10000x d. 10000x



Şekil 4. 31 MC-B-6-15 600°C 1 saat reaksiyonunda sentezlenen saf borasitin SEM görüntüleri a. 1000x b. 5000x c. 10000x d. 10000x

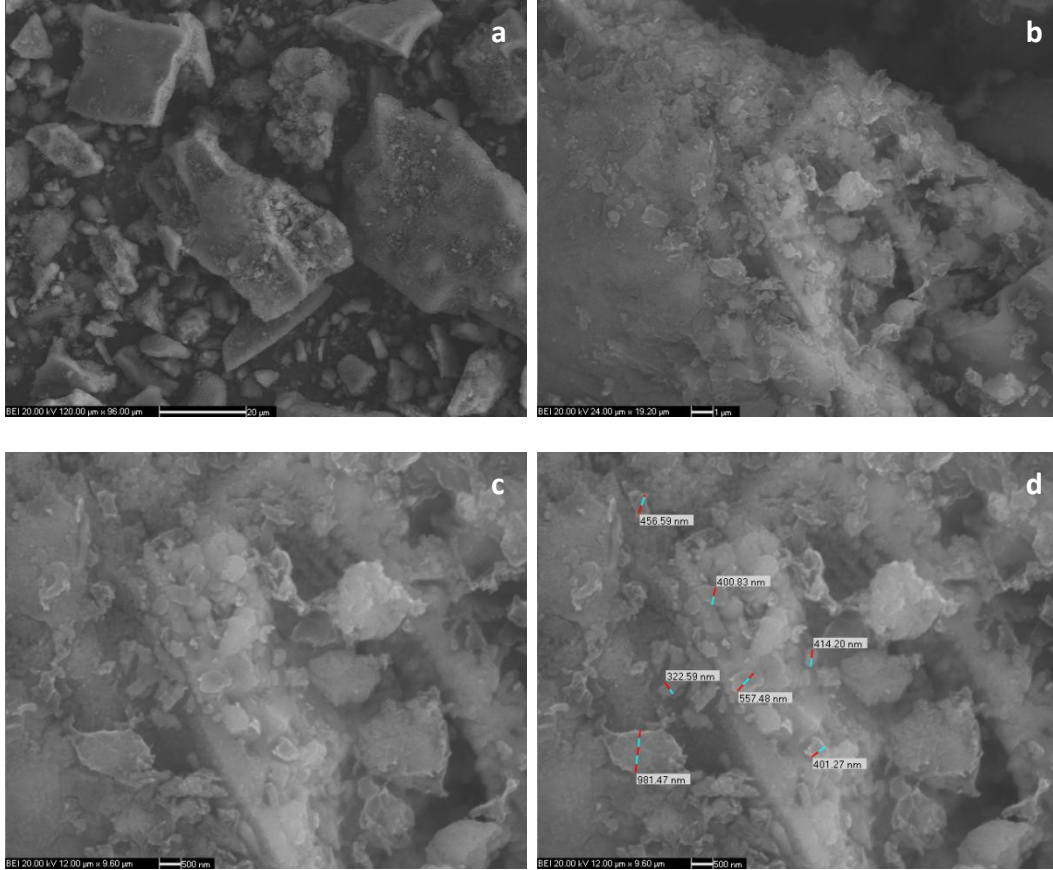


Şekil 4. 32 MC-B-7-13 600°C 1 saat reaksiyonunda sentezlenen saf borasitin SEM görüntüleri a. 1000x b. 5000x c. 10000x d. 10000x

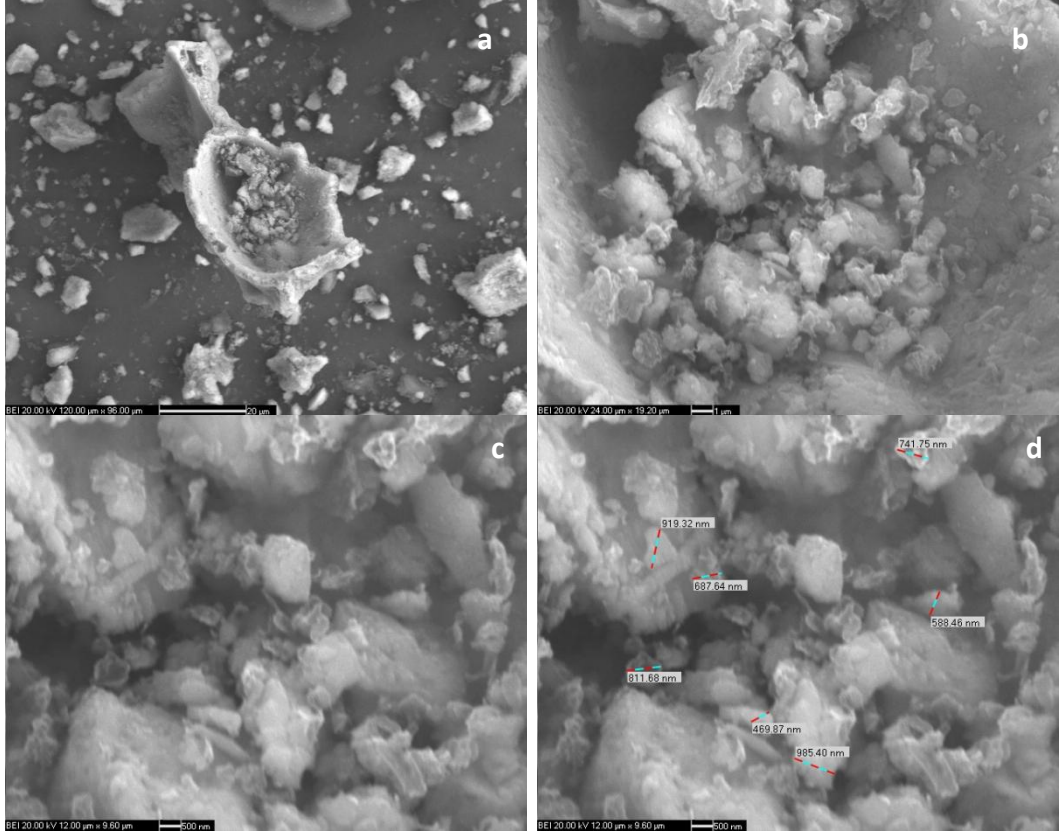


Şekil 4. 33 MC-B-7-15 600°C 1 saat reaksiyonunda sentezlenen saf borasitin SEM görüntüleri a. 1000x b. 5000x c. 10000x d. 10000x

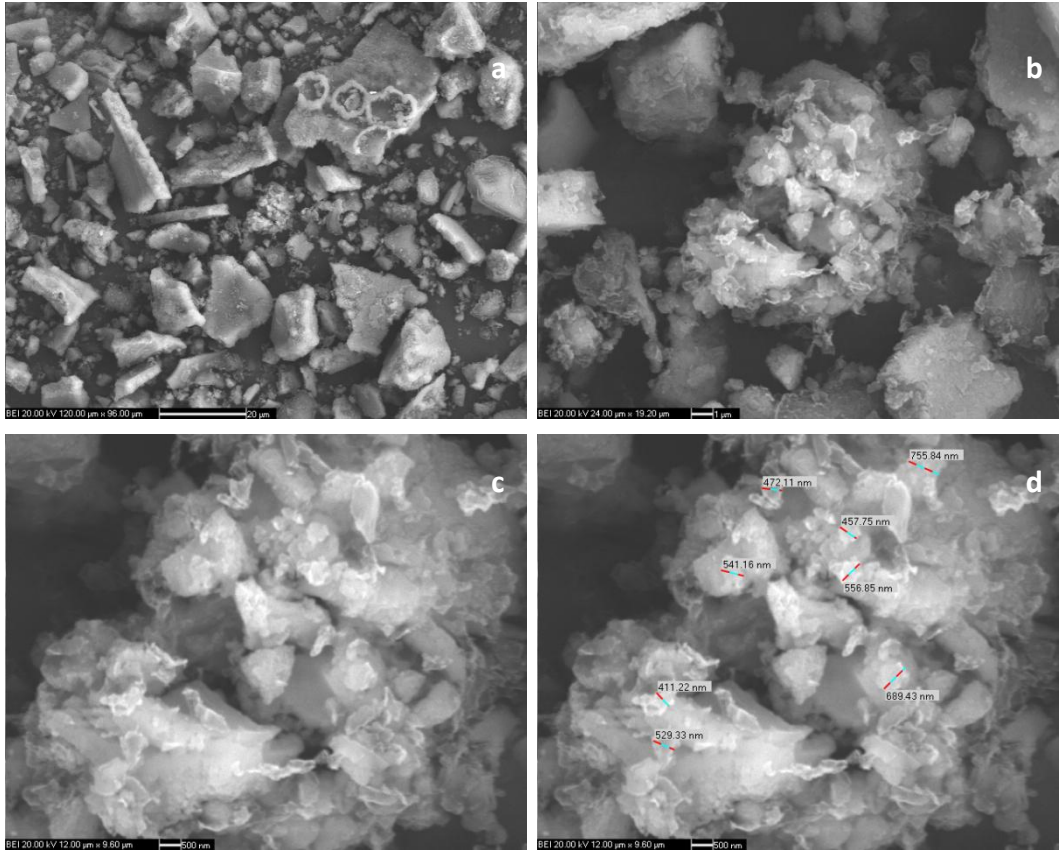
600°C 0.5 saatte gerekleŒen reaksiyon sonucu oluŒan saf borasitin SEM görüntülerinde konsantrasyon oranındaki deęiŒiklięin borasit Œekillerinde farklılık oluŒturmadıęı görülmektedir. Bu konsantrasyonlarda borasit mineralinin saydam olduğu, borasit mineralinin parçacık Œeklinin kŒeli olmadığı ve tane boyutunun nanometre boyutunda olduğu belirlenmiŒtir.



Œekil 4. 34 MC-B-5-13 600°C 0.5 saat reaksiyonunda sentezlenen saf borasitin SEM görüntüleri a. 1000x b. 5000x c. 10000x d. 10000x

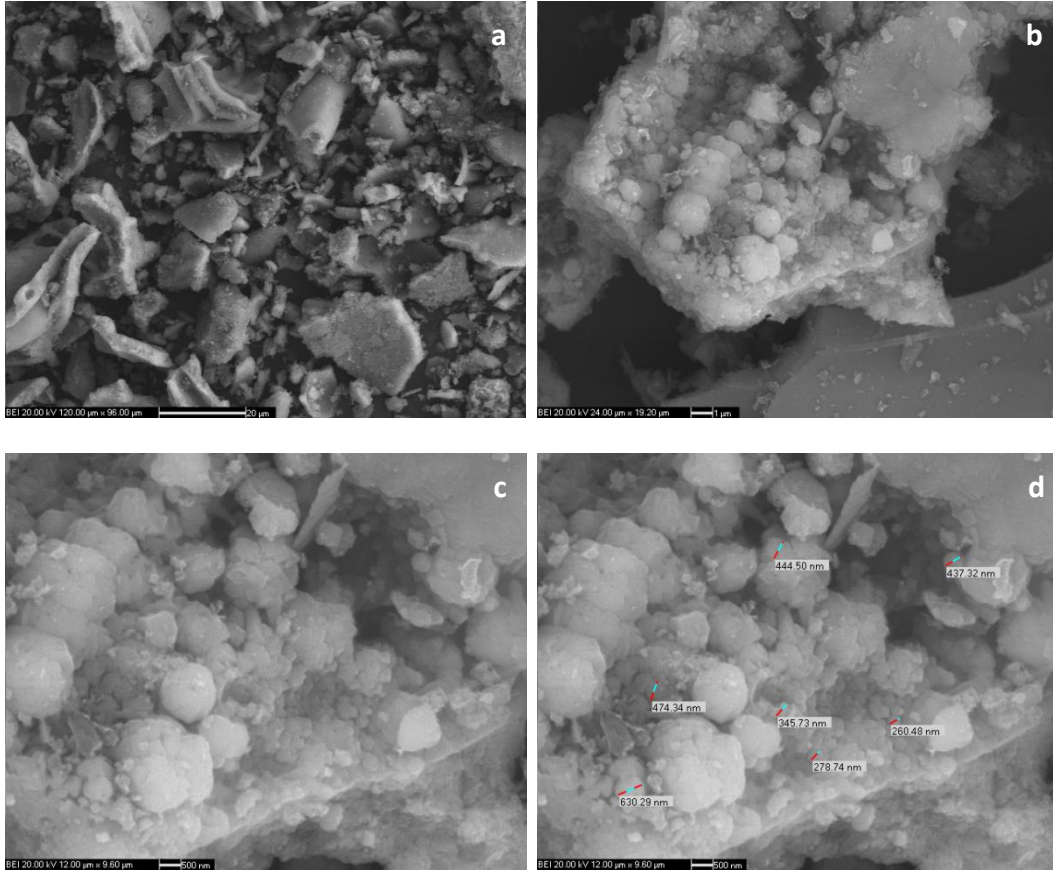


Şekil 4. 35 MC-B-6-13 600°C 0.5 saat reaksiyonunda sentezlenen saf borasitin SEM görüntüleri a. 1000x b. 5000x c. 10000x d. 10000x



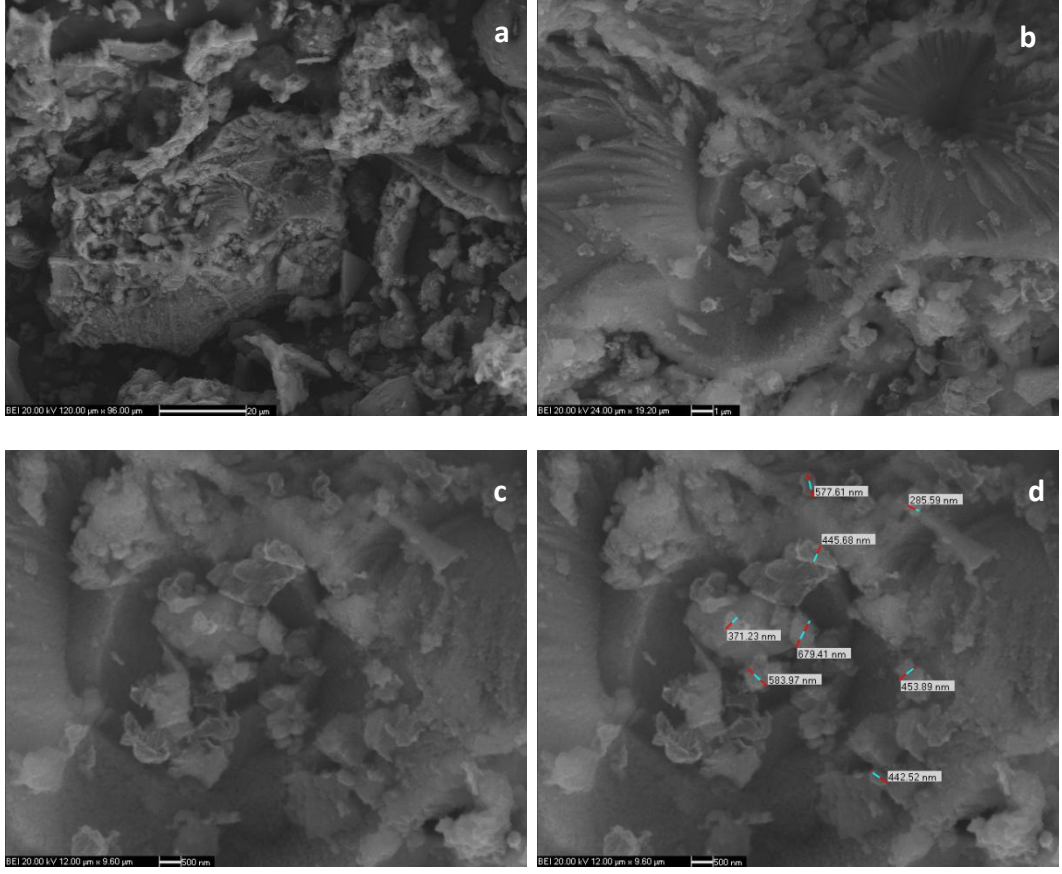
Şekil 4. 36 MC-B-7-15 600°C 0.5 saat reaksiyonunda sentezlenen saf borasitin SEM görüntüleri a. 1000x b. 5000x c. 10000x d. 10000x

550°C 4 saatte gerçekleşen reaksiyon sonucu oluşan saf borasitin SEM görüntülerinde (Şekil 4.37) borasit mineralinin saydam yapıda ve nanometre boyutunda olduğu görülmektedir.



Şekil 4. 37 MC-B-7-14 550°C 4 saat reaksiyonunda sentezlenen saf borasitin SEM görüntüleri a. 1000x b. 5000x c. 10000x d. 10000x

650°C 4 saatte gerçekleşen reaksiyon sonucu oluşan saf borasitin SEM görüntülerinde (Şekil 4.38) borasit mineralinin diğer sıcaklıklara oranla daha az saydam yapıda, nanometre boyutunda ve kısmen köşeli taneciklerden oluştuğu görülmektedir.



Şekil 4. 38 MC-B-6-15 650°C 4 saat reaksiyonunda sentezlenen saf borasitin SEM görüntüleri a. 1000x b. 5000x c. 10000x d. 10000x

GENEL SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Yapılan bu yüksek lisans tez çalışmasında reaksiyon ortamı, hammadde, sıcaklık ve süre parametreleri değiştirilerek saf borasit eldesi amaçlanmıştır. Her parametre değişikliğinin borasit oluşumu üzerindeki etkisi incelenmiş ve analiz sonuçlarının izinde bir sonraki adım gerçekleştirilmiştir. Öncelikle borasit oluşum reaksiyonunun teorik hammaddeleri ve koşulları altında reaksiyon gerçekleştirilmiştir. Magnezyum oksit, boroksit ve magnezyum klorür heksahidrat hammaddeleri ile hava ortamında 600 °C, 700°C, 800°C ve 900°C sıcaklıklarda 4 saat reaksiyon oluşumu gerçekleştirilmiştir. Bu sonuçlara göre saf borasit eldesi başılamamış, yan ürün olarak magnezyum borat ve suanit açığa çıkmıştır. Bu koşullarda oluşan borasit skoru magnezyum borat skorlarından daha düşüktür.

Hava ortamında 4 saat sürede teorik oranlarda borasit sentez reaksiyonu sonuçlarından sonra, magnezyum klorür heksahidrat mol oranı 2 katına çıkartılarak aynı koşullarda (aynı sıcaklık, süre ve reaksiyon ortamı) reaksiyon gerçekleştirilmiştir. Teorik oranlarda gerçekleştirilen reaksiyon sonuçlarına göre bu denemede 600°C sıcaklıkta borasit skorlarının arttığı, buna karşılık magnezyum borat skorlarının düştüğü görülmüştür. Aynı zamanda çeşitli oranlarda borasit skorunun magnezyum borat skorundan daha büyük olduğu belirlenmiştir. 700°C, 800°C ve 900°C sıcaklıklarda bir farklılık bulunmamaktadır.

3. denemede sadece magnezyum klorür heksahidrat ve boroksit ile hava ortamında 600 °C, 700°C, 800°C ve 900°C 4 saat sürede borasit reaksiyonu gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçlarına göre 600°C sıcaklıkta 6:13 ve 7:15 oranlarında 75 ve 68 skorlarına

sahip saf borasit eldesi başarılıdır. 700°C ve 800°C sıcaklıklarda skorlar neredeyse aynı olmakla birlikte borasit skorları magnezyum borat skorlarından yüksektir. Ancak 700°C'de suanit oluşumu gözlenmezken 800°C'de çeşitli oranlarda suanit belirlenmiştir. 900°C sıcaklıkta ise magnezyum borat skorları borasit skorlarından yüksektir ve suanit oluşumu görülmektedir. 3. deneme sonucunda sıcaklığın artması ile borasit skorlarının düştüğü, magnezyum borat skorlarının arttığı ve suanit oluşumunun başladığı gözlemlenmiştir. Bu sonuç ile deneysel çalışmaların düşük sıcaklıklarda devam etmesi gerektiği sonucuna varılmıştır. Aynı zamanda reaksiyon ortamının değişimi ile borasit oluşumunun nasıl etkileneceği de bir sonraki adımda araştırılmıştır.

3. denemedeki sonuçlara bakılarak 600°C ve 900°C sıcaklıklarda inert ortamda (argon ortamında) 4 saat sürede borasit reaksiyonu gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçlarına göre 600°C sıcaklıkta borasit skorları neredeyse değişmemesine rağmen magnezyum borat skorlarında azalma görülmüştür. Suanit oluşumu gözlenmemektedir. Aynı zamanda 7:13 ve 7:15 oranlarında 55 ve 58 skorlarında saf borasit oluşumu gerçekleşmiştir. 900°C sıcaklıkta ise hava ortamına kıyasla borasit ve magnezyum borat skorlarında bir farklılık görülmezken, hava ortamında tüm oranlarda oluşan suanitin argon ortamında neredeyse oluşmadığı belirlenmiştir. Hava ortamı ile argon ortamında gerçekleştirilen reaksiyonlar karşılaştırıldığında argon ortamının büyük farklılıklar yaratmadığı, ancak yüksek sıcaklıklara çıkıldıkça yan ürün oluşumunda farklılık olduğu görülmüştür. Ayrıca argon ortamında gerçekleştirilen reaksiyonların sonuçlarının hava ortamındaki reaksiyon sonuçlarını desteklediği, düşük sıcaklıkta borasit oluşumunun daha yüksek olduğu sonucuna varılmıştır.

Düşük sıcaklıklardaki borasit skorları dikkate alınarak 600°C sıcaklığını ± 50 değiştirerek, 500°C, 550°C ve 650°C hava ortamında 4 saat sürede denemeler yapılmıştır. Bu denemelerin sonuçlarına göre; 650°C'de 6:15 oranında saf borasit elde edilmiş, diğer oranlarda borasit skorları yüksek olmasına rağmen magnezyum borat oluşumu da görülmüştür. 550°C'de 7:14 oranında saf borasit elde edilmiştir. Bu sıcaklıkta magnezyum borat skorları çok düşük olmasına rağmen yine de saf borasit eldesi gerçekleşmemiştir. 500°C sıcaklıkta ise birçok oranda magnezyum borat oluşmamasına rağmen borasit skorlarının da düşük olması, borasit oluşum oranının düşük olduğunu

göstermektedir. Bu sıcaklıklardan elde edilen analiz sonuçlarına göre süre analizi yapılmak üzere 600°C sıcaklık değeri seçilmiştir.

600°C'de diğer sıcaklıklara göre borasit oluşumunun daha fazla olduğu belirlenmiştir. 4 saatte gerçekleştirilen reaksiyonların süre analizi yapılmak üzere farklı sürelerde de gerçekleştirilmesi üzere 600°C'nin 0.5 ve 1 saatlik reaksiyonları da gerçekleştirilmiştir. 600°C 1 saatlik reaksiyonda 5:13, 5:15, 6:13, 6:15, 7:13 ve 7:15 oranlarında saf borasit oluşmuştur. Diğer oranlarda da çok düşük skorlu magnezyum borat oluştuğu görülmüştür. 600°C 0.5 saatlik reaksiyonda ise 5:13, 6:13 ve 7:15 oranlarında saf borasit oluşmuştur.

Sonuç olarak; tüm ürünlere FT-IR analizleri yapılmış ve elde edilen veriler XRD sonuçları ile desteklenmiştir. FT-IR analizlerinde borasit karakteristik pikleri borasit oluşumuna paralel olarak elde edilmiştir.

Saf borasitlerin SEM analizlerinde borasit taneciklerinin nanometre boyutta olduğu görülmüştür. Ayrıca sıcaklık ve zaman değişimine göre taneciklerin saydamlığının ve köşegenliğinin değiştiği belirlenmiştir.

XRD analizlerinde elde edilen sonuçlara göre saf borasit eldesinde optimum koşulların 600 °C, 1 saat ve hava ortamı olduğu sonucuna varılmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü, Bor Sektör Raporu, www.etimaden.gov.tr, 13 Şubat 2014.
- [2] Ulusal Bor Araştırma Enstitüsü, Türkiye Bor Rezervleri, <http://www.boren.gov.tr/tr/bor/bor-rezervleri>, 13 Şubat 2014.
- [3] Yılmaz, A., (2005), Magnezyum ve Bakır Boratların Sentezi ve Üretim Teknolojilerinin Geliştirilmesi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [4] TMMOB Maden Mühendisleri Odası, Bor Nedir?, <http://www.maden.org.tr/resimler/ekler/530.pdf>, 13 Şubat 2014.
- [5] Güyagüler, T., (2001), “Türkiye Bor Potansiyeli”, 4. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, 18-19 Ekim 2001, İzmir.
- [6] Ediz, N. ve Özday, H.,(2001), “Bor Mineralleri ve Ekonomisi” D.P.Ü. FBE Dergisi, 2.
- [7] Bor Kimyası, http://tr.wikipedia.org/wiki/Bor#Bor_kimyas.C4.B1, 16 Şubat 2014.
- [8] Taşçı, A., (1993), Borlanmış Çeliklerin Aşınma ve Korozyon Dayanımları, İstanbul Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- [9] Sarıöz, K. ve Nuhoğlu, İ., (1992), Endüstriyel Hammadde Yatakları ve Madenciliği, Anadolu Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi yayınları No: 62, Eskişehir, Türkiye.
- [10] Yenialaca, Ç., (2009). Bor ve Kullanım Alanları, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Gazi Eğitim Fakültesi, Ankara.
- [11] Sarılioğlu, Ü. B., (2005), Kalsiyum Boratlardan Sodyum Borhidrür Üretimi ve Üretimi Etkileyen Parametrelerin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [12] DPT, (2001). Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, Ankara.
- [13] Yerel. S., Özbay. N. ve Gence. N., Bor Madeni ve Önemi, <http://somamy.cbu.edu.tr/docs/dergi/sayi3/SMYO33.pdf>, 16 Şubat 2014.

- [14] Poslü, K., Çebi, H., Özel Bor Kimyasalları ve Bor Dünyasındaki Gelişmeler, http://www.maden.org.tr/resimler/ekler/ef248c04979d6b3_ek.pdf, 25 Şubat 2014.
- [15] Yücel, A., (2010), Dünyadaki Başlıca Bor Yatakları, Üretimi, Pazarlaması ve Türkiye'nin Önemi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [16] Bayça, S., U., (2001), Seramik ve Üretim Teknolojisi, Ders notu, CBÜ, Manisa.
- [17] Bayça, S. U., Köseoğlu, K., Batar, T., Bor Mineral ve Bileşiklerinin Endüstride Başlıca Kullanım Alanları, <http://somamyo.cbu.edu.tr/docs/dergi/sayi2/2SA2.pdf>, 25 Şubat 2014.
- [18] Balıkesir Üniversitesi Bor Araştırma ve Uygulama Merkezi, Bor Kullanım Alanları, <http://bor.balikesir.edu.tr/bor.html#6>, 25 Şubat 2014.
- [19] Ulusal Bor Araştırma Enstitüsü, Bor Kullanım Alanları, <http://www.boren.gov.tr/tr/bor/kullanim-alanlari/metalurji>, 25 Şubat 2014.
- [20] Yiğitbaşıoğlu, H., (2004), Türkiye İçin Önemli Bir Maden: Bor, Dil ve Tarih-Coğrafya Fakültesi, Ankara.
- [21] Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü, Borun Tarihçesi, <http://www.etimaden.gov.tr/tarihce-19s.htm>, 27 Şubat 2014.
- [22] Ulusal Bor Araştırma Enstitüsü, Tarihçe, <http://www.boren.gov.tr/tr/bor/bor-tarihcesi>, 27 Şubat 2014.
- [23] DPT, (2006). Dokuzuncu Kalkınma Planı, Ankara.
- [24] Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu, Tübitak Bor Raporu, http://www.tubitak.gov.tr/tubitak_content_files/vizyon2023/mm/Ek2h.pdf, 27 Şubat 2014.
- [25] Ulusal Bor Araştırma Enstitüsü, Rezervler, <http://www.boren.gov.tr/tr/bor/bor-rezervleri>, 27 Şubat 2014.
- [26] Sarihan, E., (2006). Bor Sektör Profili, İstanbul Ticaret Odası, 28.
- [27] Mineral Database, Mineral Bilgileri ve Resimleri, <http://www.mindat.org>, 27 Şubat 2014.
- [28] Mineralogy Database, Mineral Bilgileri, <http://www.webmineral.com/>, 27 Şubat 2014.
- [29] Baysal, O., (1972), "Türkiye'de Yeni Bulunan Sulu Magnezyum-Borat Mineralleri: Kurnakovit, İnderit, İnderborit", Ankara
- [30] Körük, M., (2006), "Magnezyum Borat Sentezlenmesi ve Karakterizasyonu", Ankara.
- [31] Ay, E., (2006), Bazı Magnezyum Boratlı Bileşiklerin Katı-Hal Kimyasal Yöntemlerle Sentezlenmesi ve Karakterizasyon Çalışmaları, Yüksek İsans Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir.

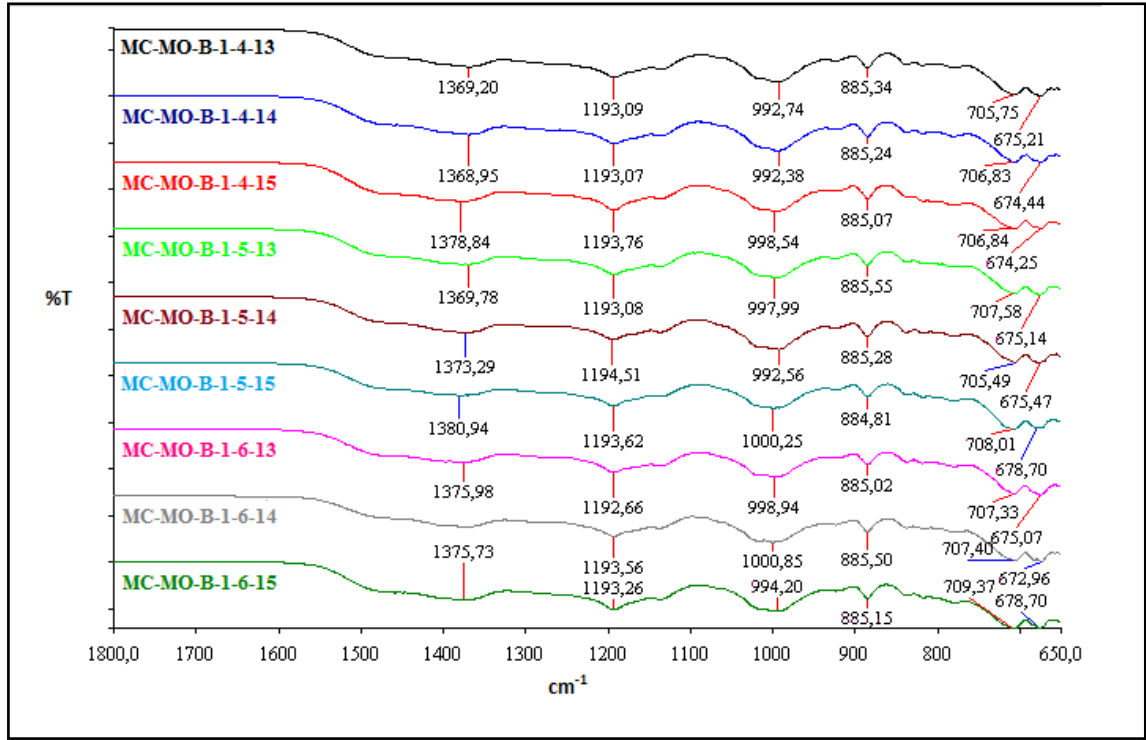
- [32] Doşler, U., Krşmanc, M.M., Suvorov, D., "Microwave Dielectric Properties of $Mg_3B_2O_6$ and $Mg_2B_2O_5$ Ceramics", Journal of the European Ceramic Society, 30, 413-418.
- [33] Güler, H., Kurtuluş, F., Ay, E., ve diğerleri, " $Mg_2B_2O_5$ VE $Mg_3(BO_3)_2$ Bileşiklerinin Katı-Hal ve Mikrodalga Yöntemle Sentezleri ve Karakterizasyon alışmaları", 4. Uluslararası Bor Sempozyumu, Eskişehir, 15-17 Ekim, 2009.
- [34] Qasrawi, A.F., Kayed, T.S., Mergen, A., et.al., "Synthesis and Characterization of $Mg_2B_2O_5$ ", Material Research Bluuetin, 40, 583-589, 2005.
- [35] Ellsfah, E.M., Enousi, A., Zhang, J., et.al., "Synthesis of Magnesium Borate Nanorods", Materials Letters, 61, 4358-4361, 2007.
- [36] Li, S., Fang, X., Leng, J., et.al., "A New Route For The Synthesis of $Mg_2B_2O_5$ Nanorods by Mechano-Chemical and Sinterig Process", Material Letters, 64, 151-153, 2010.
- [37] Erdoğan, H., (2008), zeltide Yanma Yöntemiyle Magnezyum Boratların Sentezi ve Karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Hacettepe Üniversitesi.
- [38] Ay, E., (2006), Magnezyum Boratlı Bileşiklerin Katı-Hal Kimyasal Yöntemlerle Sentezlenmesi ve Karakterizasyon alışmaları, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir Üniversitesi.
- [39] Zhang, J., Li, Z., Zhang, B., "Formation and Structure of Single Crystalline Magnesium Borate ($Mg_3B_2O_6$) Nanobelts", Material Chemistry and Physics 98, 195-197, 2006.
- [40] Zeng, Y., Yang, H., Qiao, L., et.al., "Synthesis of Magnesium Borate ($Mg_2B_2O_5$) Nanowires, Growth Mechanism and Their Lubricating Properties", Materials Research Bulletin, 43, 2239-2247, 2008.
- [41] Stolyarova, V.L., Lopatin, S.I., Shugurov, S.M. ve Shilov, A.L., (2010). "Thermodynamic Properties of Silicate Glasses and Melts: VII.¹ $MgO-B_2O_3-SiO_2$ ", Russian Journal of Chemistry, 80: 2405-2413.
- [42] Ma, R., Bando, Y. ve Sato. T., (2002) "Nanowires of Metal Borates" Applied Physics Letter, 81: 3467-3469.
- [43] Zhiyong, F., Li, Y., Lu, G. ve Chang, R.P.H., (2004). "Synthesis of Magnesium Borate ($Mg_2B_2O_5$) Nanowires by Chemical Vapor Deposition Method", Chemical Materials, 16: 2512-2514.
- [44] Zhiyong, F., Li, Y., Lu, G. ve Chang, R.P.H., (2004). "Synthesis of Magnesium Borate ($Mg_2B_2O_5$) Nanowires by Chemical Vapor Deposition Method", Chemical Materials, 16: 2512-2514.
- [45] Ma, R., Bando, Y. ve Sato. T., (2002) "Nanowires of Metal Borates" Applied Physics Letter, 81: 3467-3469.
- [46] Oruç, F., Sabah, E., Erkan, Z.E., (2004), "Türkiye'de Bor Atıklarını Sektörel Bazda Değerlendirme Stratejileri", II. Uluslararası Bor Sempozyumu, 23-25 Eylül 2004, Eskişehir.

- [47] Bentli, T., Özdemir, O., Çeük, M.S., Ediz, N., (2005), “Bor Atıkları ve Değerlendirilmesi Stratejileri”, I. Uluslararası Bor Sempozyumu, 3-4 Ekim 2002, Kütahya.

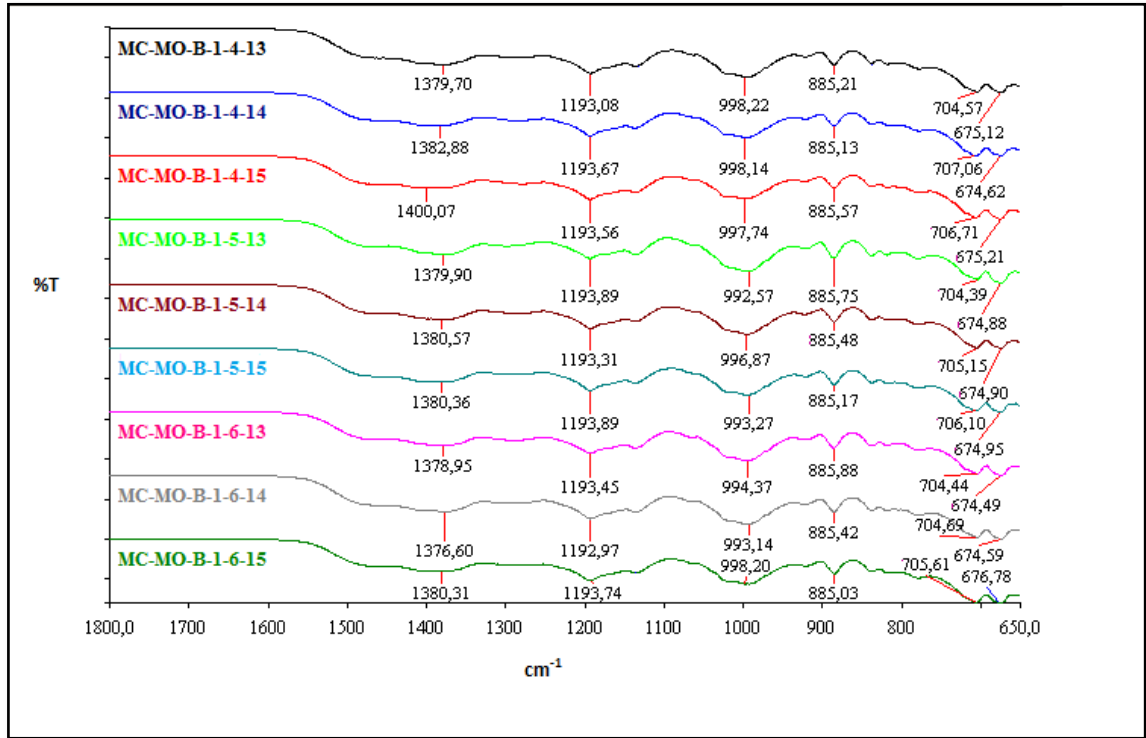
EK-A

FT-IR SPEKTRUMLARI

EK-A'da katı hal yöntemiyle yapılan analizin FT-IR spektrumları yer almaktadır.

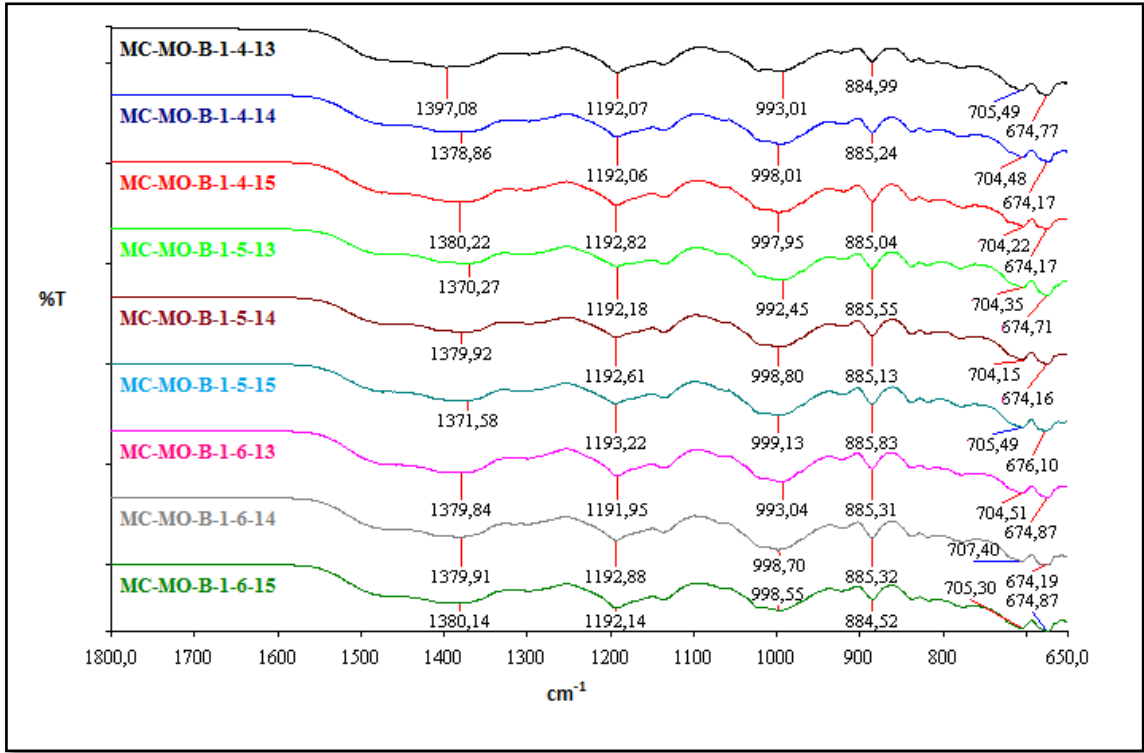


MC-MO-B-600-4H

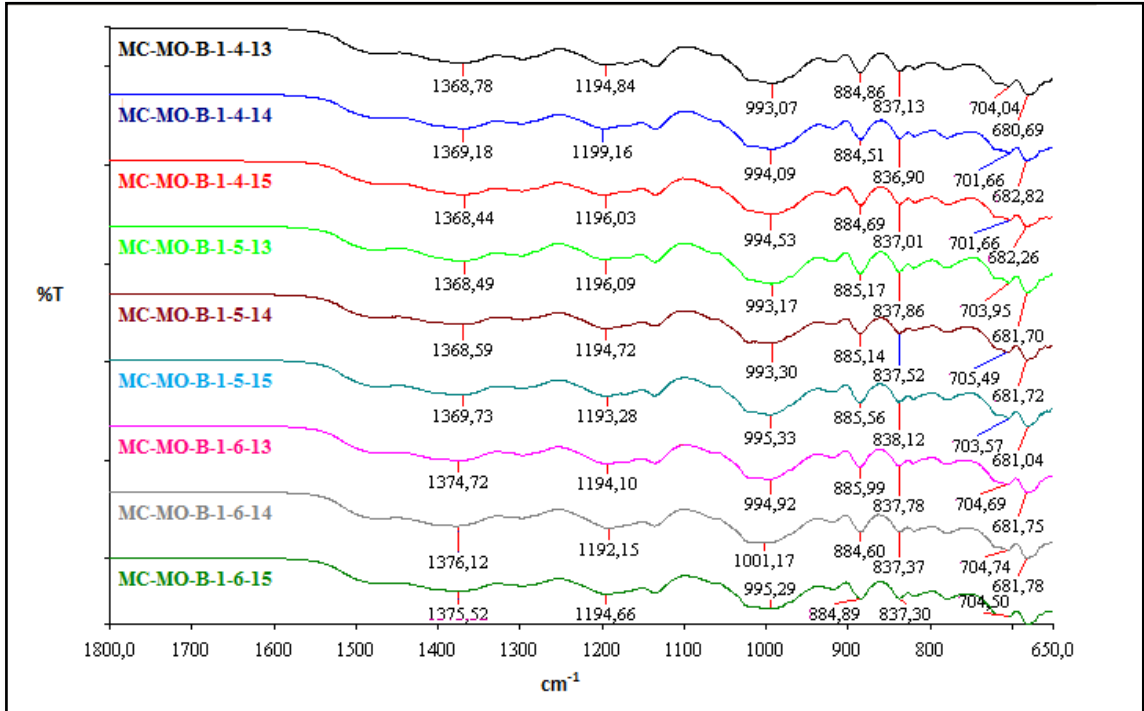


MC-MO-B-700-4H

Şekil EK-A. 1 MgO, MgCl₂.6H₂O ve B₂O₃ ile 600 ve 700°C sıcaklıklarda, hava ortamında, 4 saatte sentezlenen magnezyum boratların FT-IR spektrumları

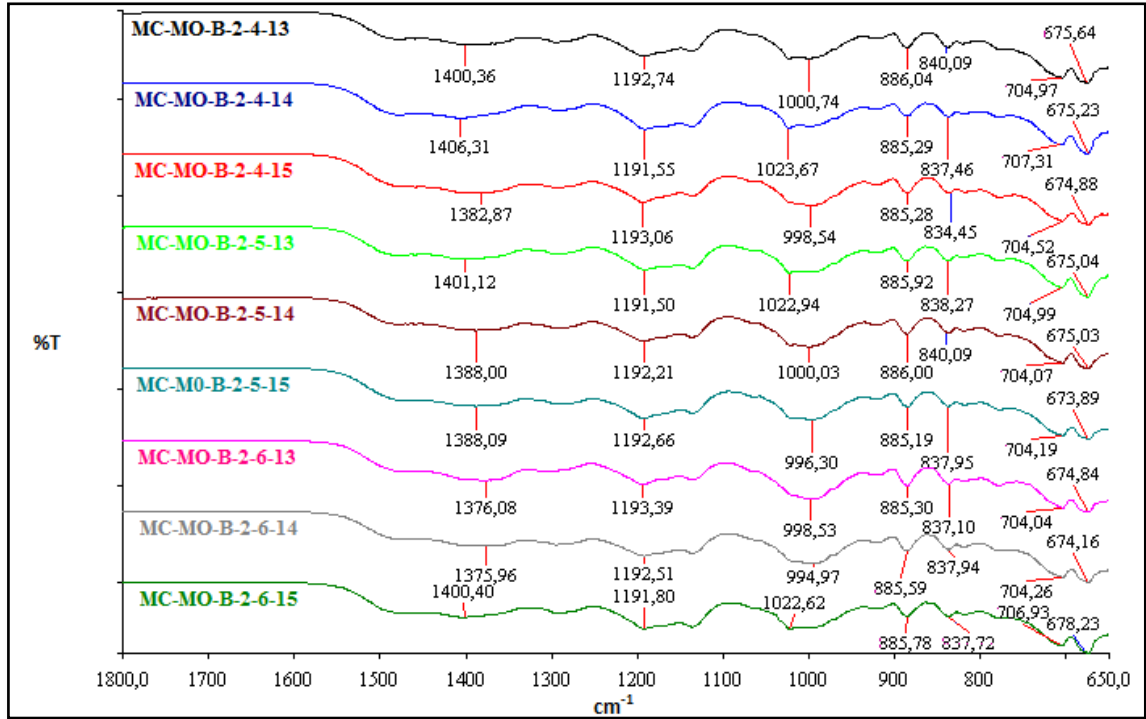


MC-MO-B-800-4H

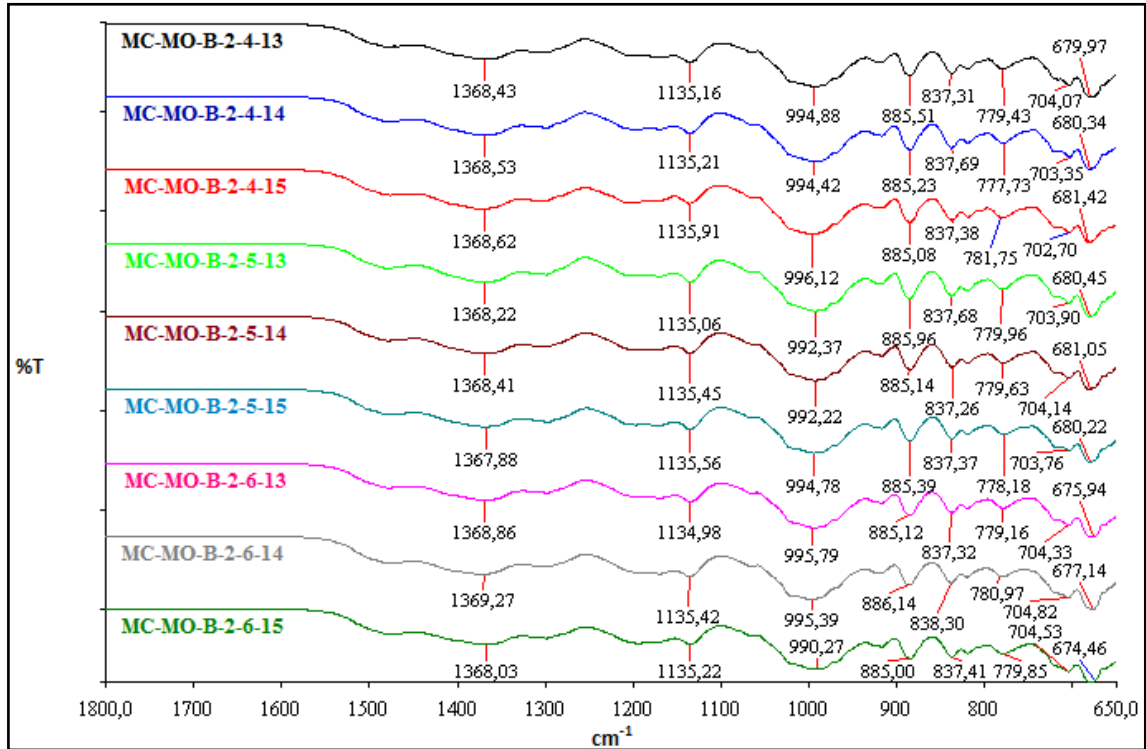


MC-MO-B-900-4H

Şekil EK-A. 2 MgO, MgCl₂.6H₂O ve B₂O₃ ile 800 ve 900°C sıcaklıklarda, hava ortamında, 4 saatte sentezlenen magnezyum boratların FT-IR spektrumları

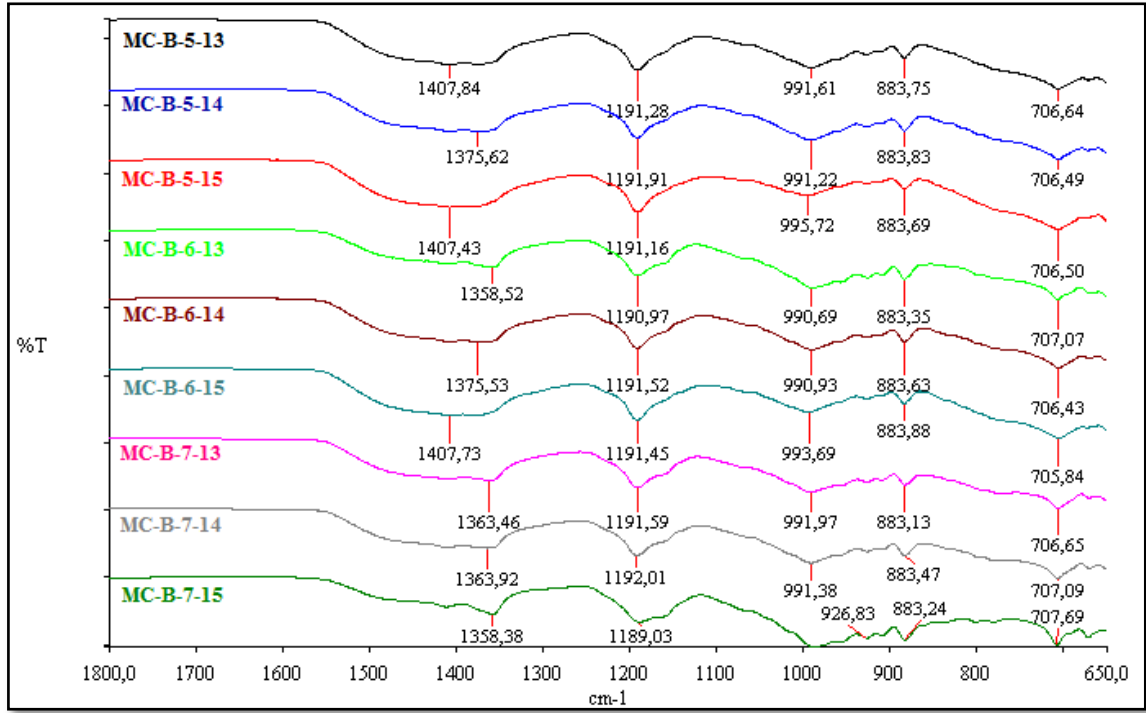


2xMC-MO-B-800-4H

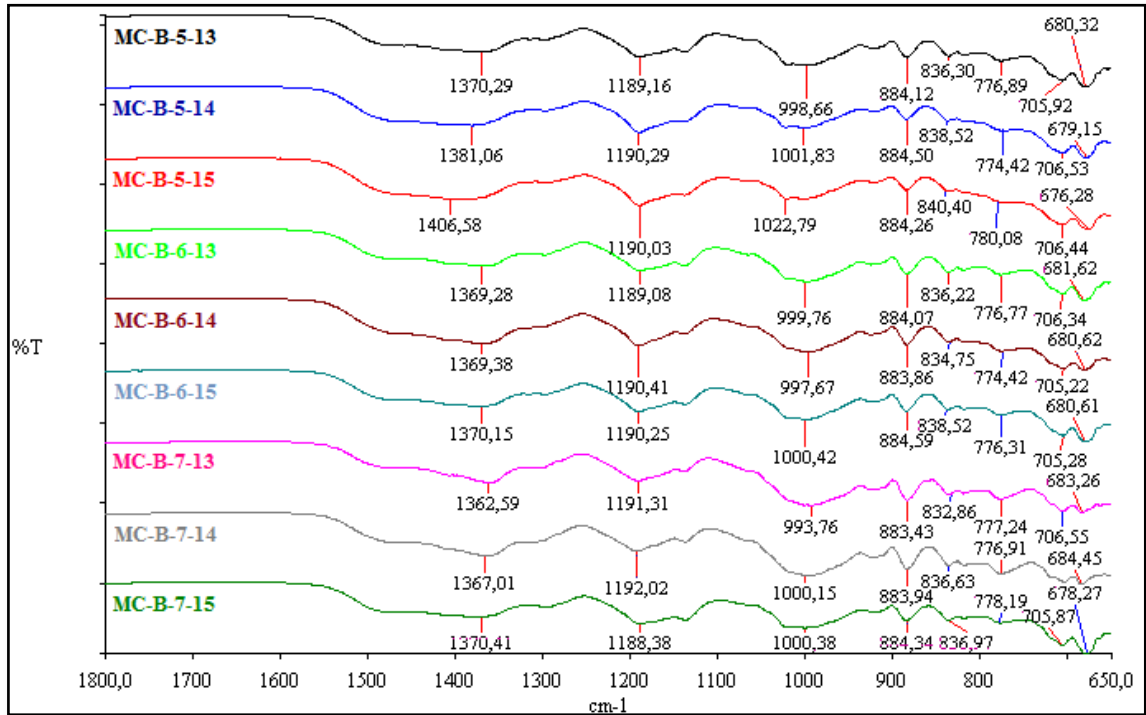


2xMC-MO-B-900-4H

Şekil EK-A. 4 MgO, 2xMgCl₂.6H₂O ve B₂O₃ ile 800 ve 900°C sıcaklıklarda, hava ortamında, 4 saatte sentezlenen magnezyum boratların FT-IR spektrumları

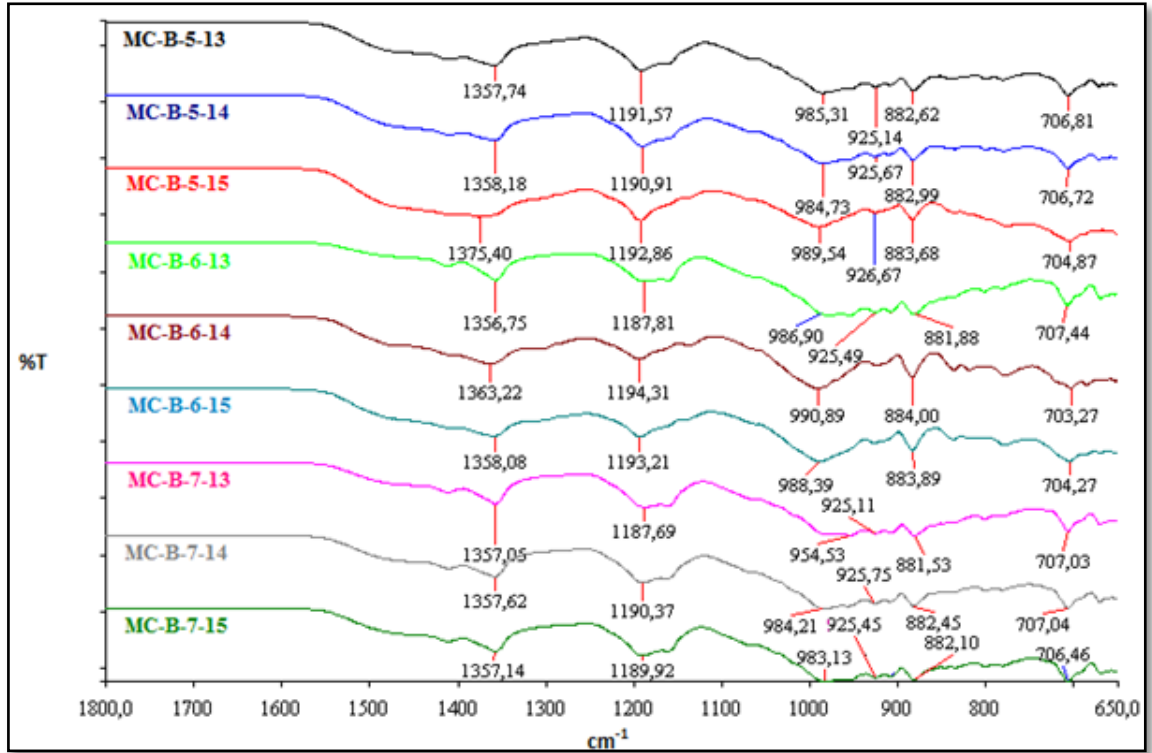


MC-B-600-4H

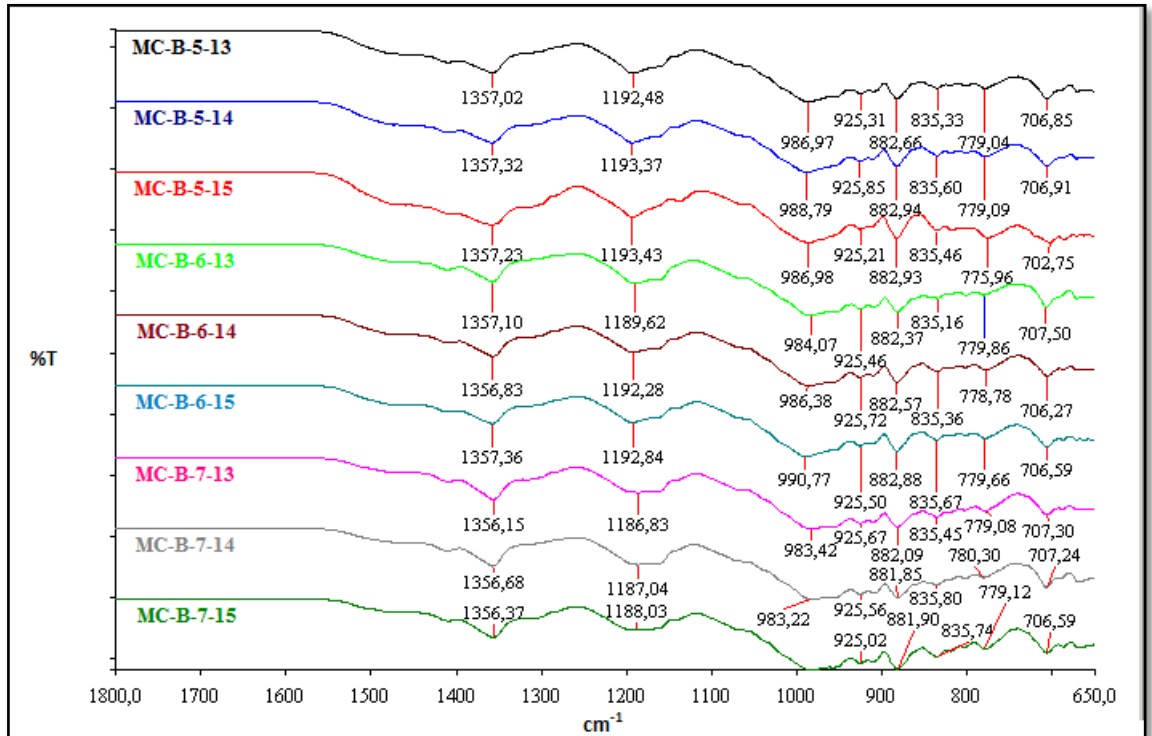


MC-B-900-4H

Şekil EK-A. 5 MgCl₂.6H₂O ve B₂O₃ ile 600 ve 900°C sıcaklıklarda, inert ortamda, 4 saatte sentezlenen magnezyum boratların FT-IR spektrumları

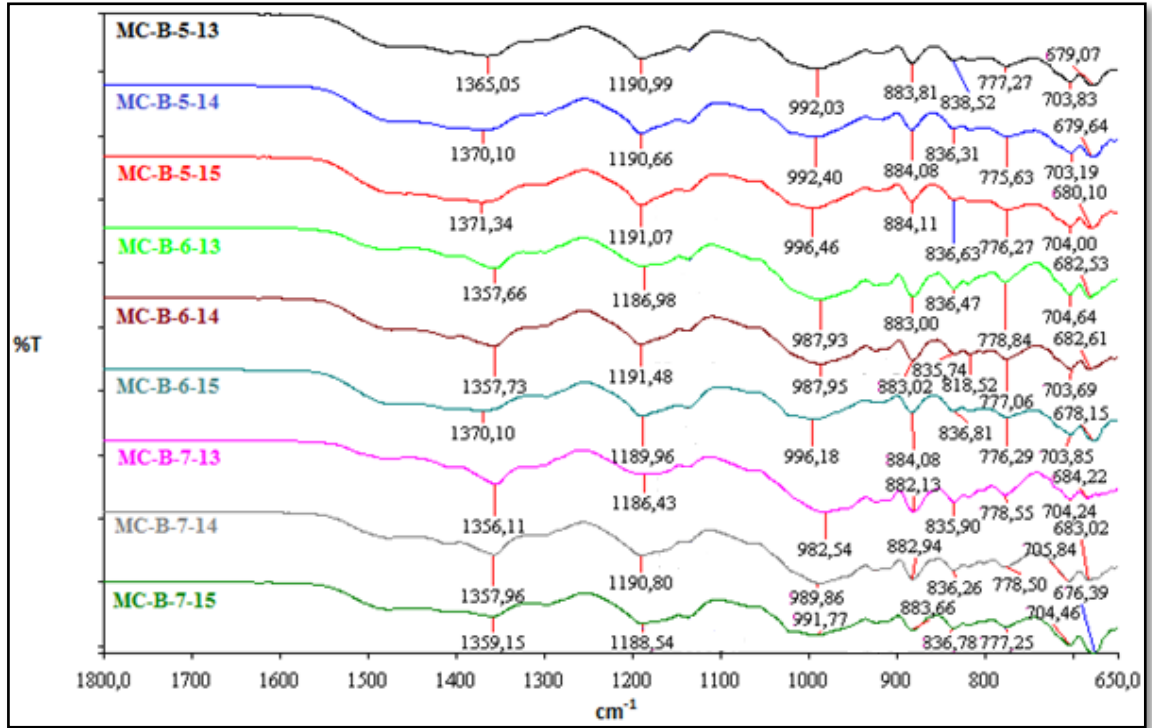


MC-B-600-4H

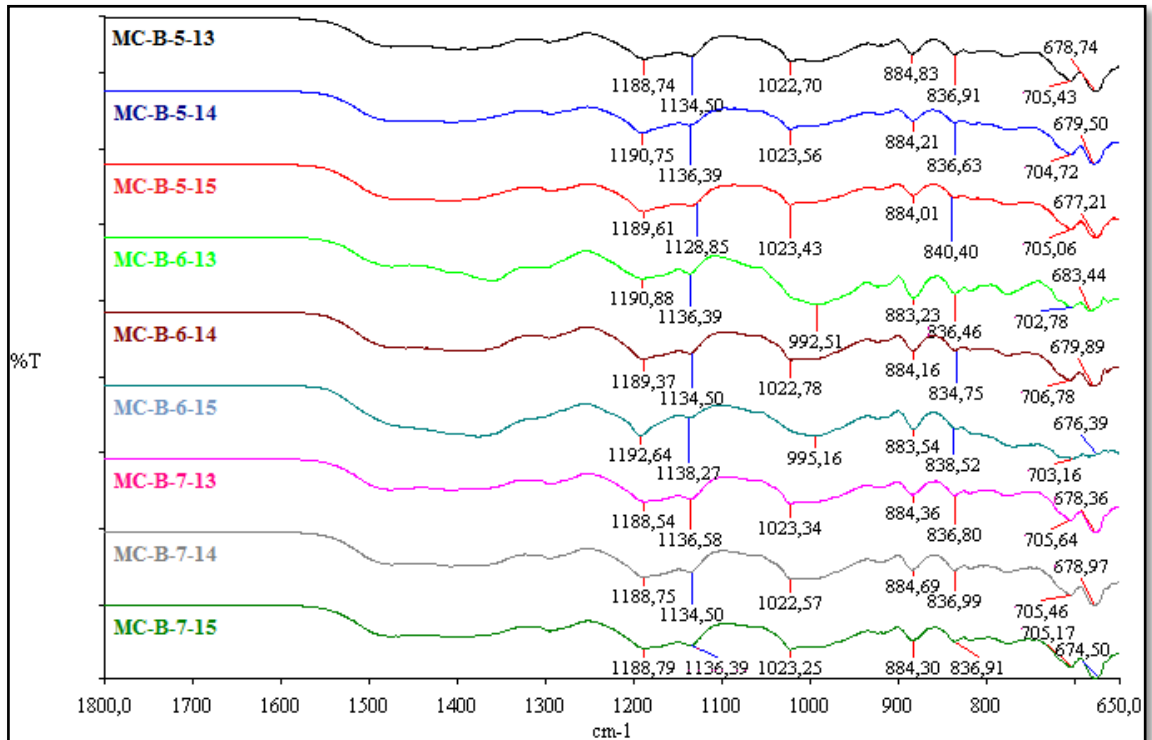


MC-B-700-4H

Şekil EK-A. 6 $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ ve B_2O_3 ile 600 ve 700°C sıcaklıklarda, hava ortamında, 4 saatte sentezlenen magnezyum boratların FT-IR spektrumları

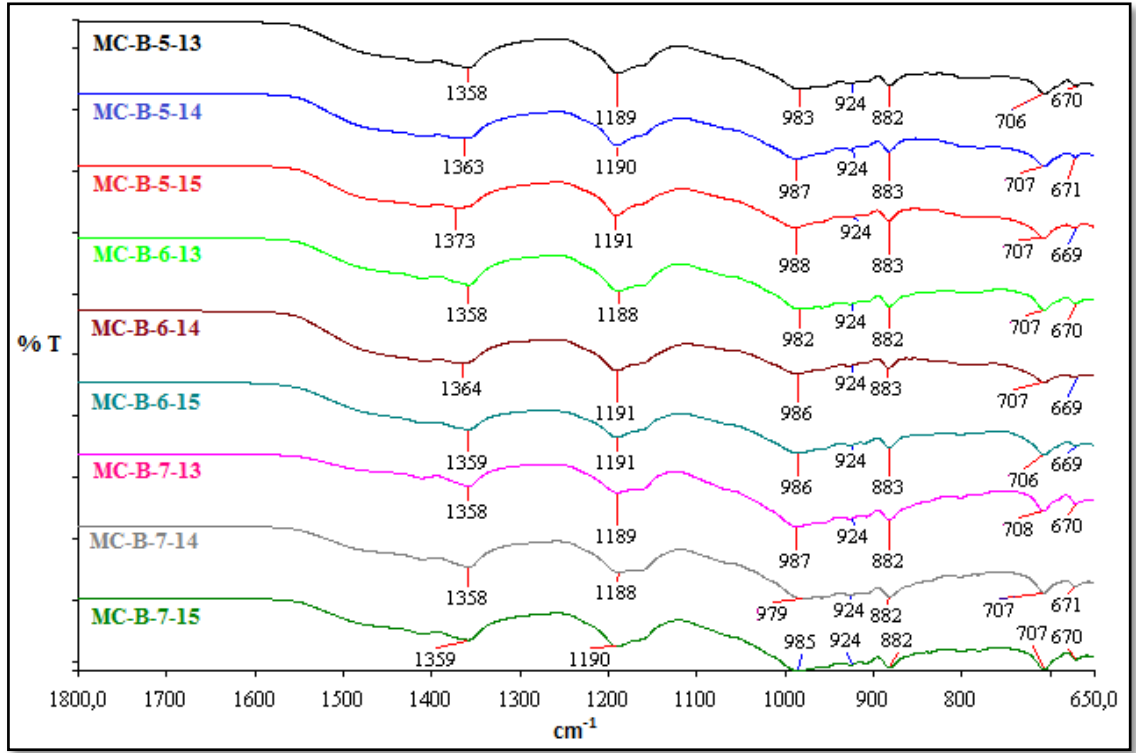


MC-B-800-4H

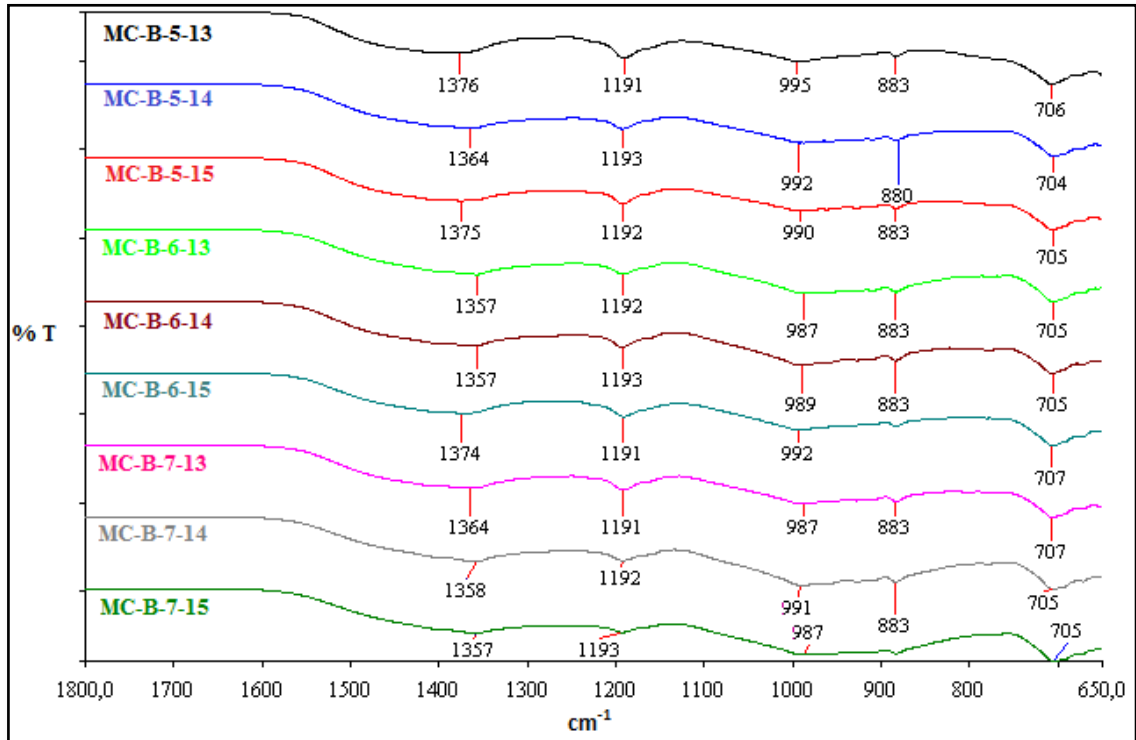


MC-B-900-4H

Şekil EK-A. 7 MgCl₂.6H₂O ve B₂O₃ ile 800 ve 900°C sıcaklıklarda, hava ortamında, 4 saatte sentezlenen magnezyum boratların FT-IR spektrumları

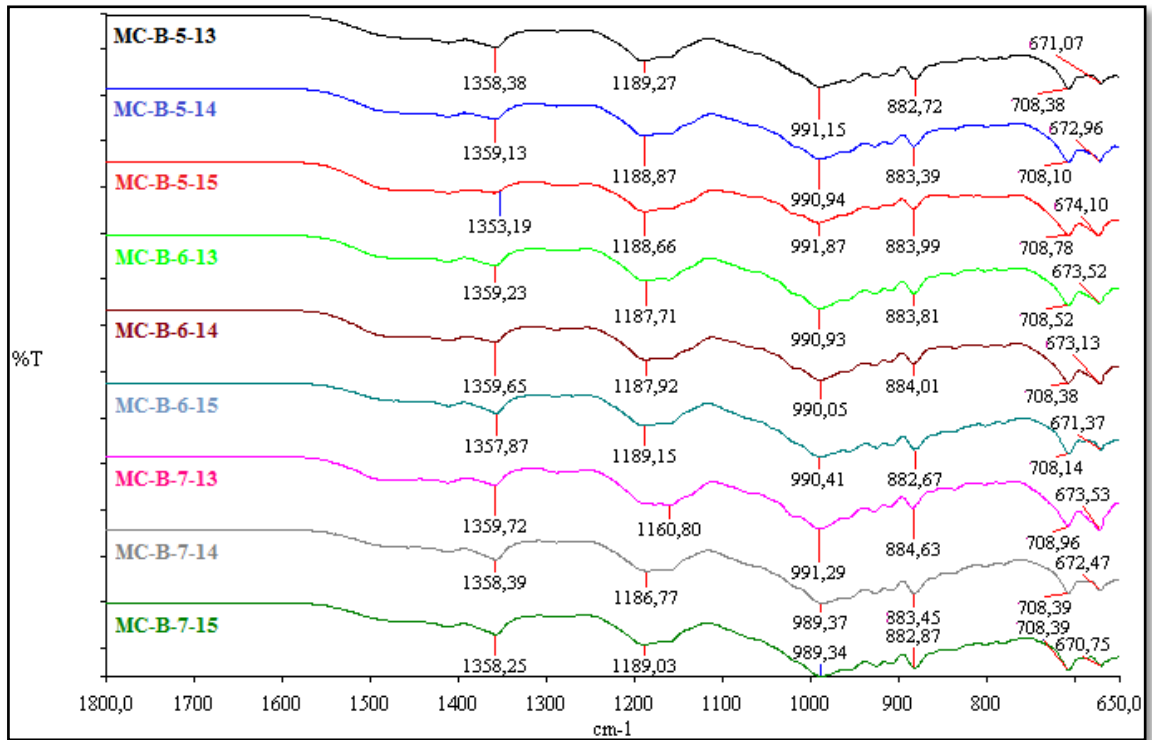


MC-B-550-4H

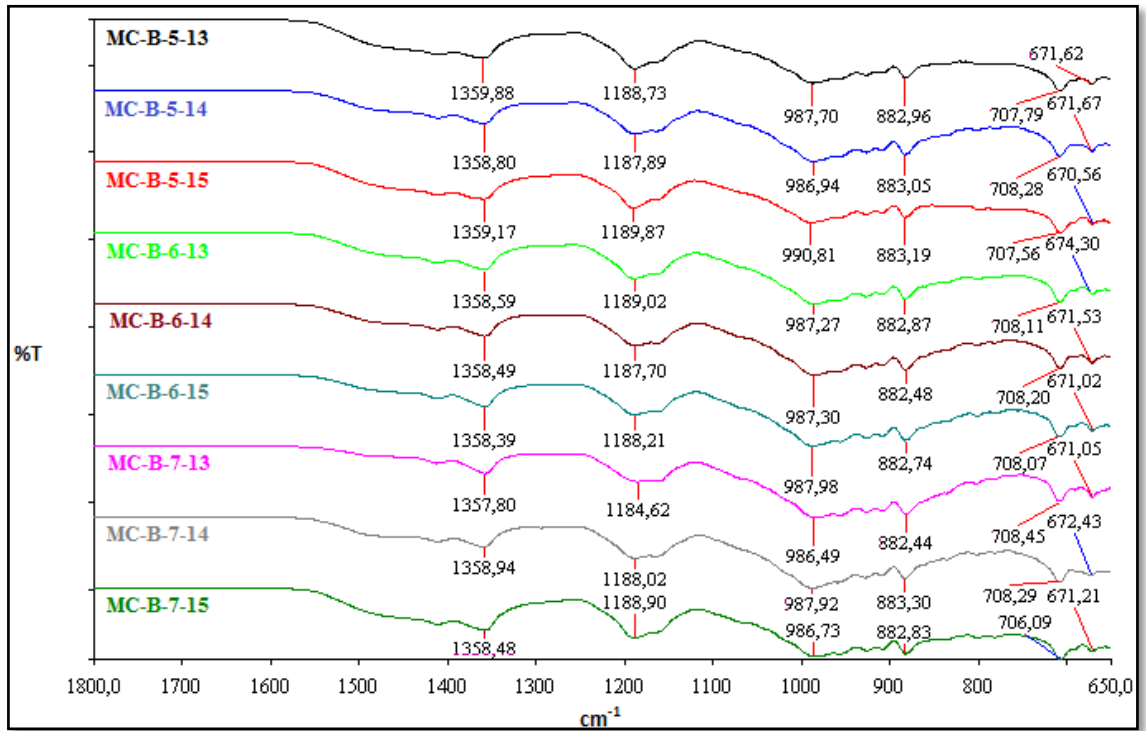


MC-B-500-4H

Şekil EK-A. 8 MgCl₂.6H₂O ve B₂O₃ ile 550 ve 500°C sıcaklıklarda, hava ortamında, 4 saatte sentezlenen magnezyum boratların FT-IR spektrumları

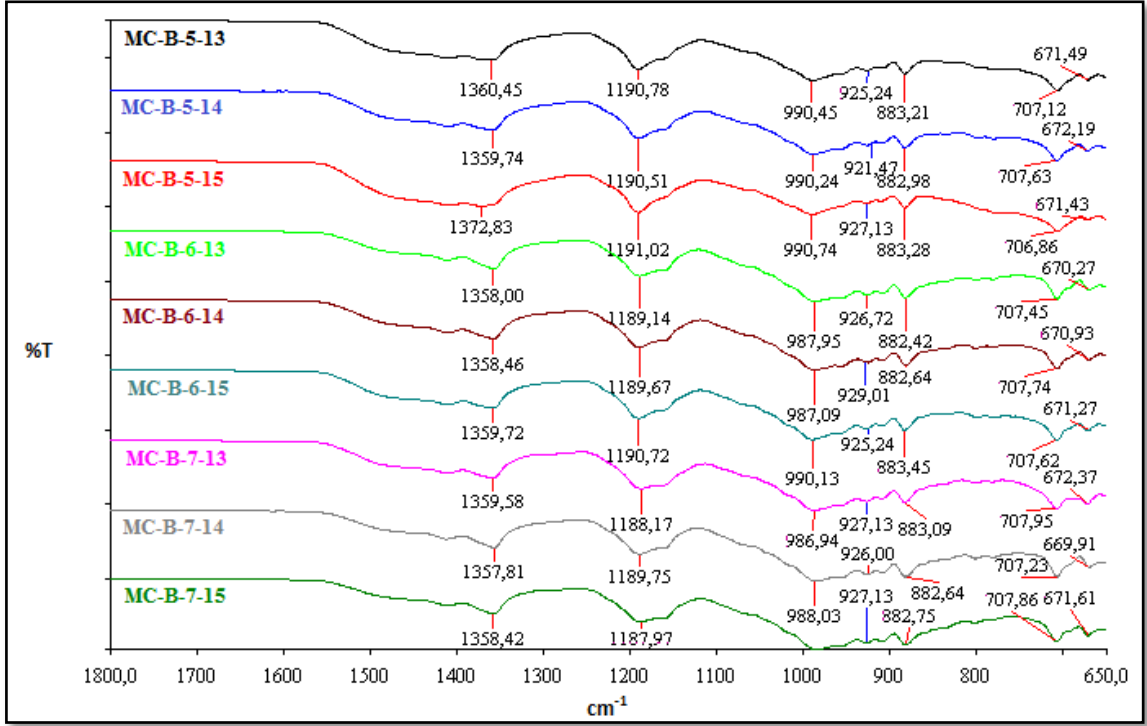


MC-B-650-4H



MC-B-600-1H

Şekil EK-A. 9 MgCl₂.6H₂O ve B₂O₃ ile 650°C sıcaklıkta, hava ortamında 4 saatte ve 600°C sıcaklıkta, hava ortamında, 1 saatte sentezlenen magnezium boratların FT-IR spektrumları



MC-B-650-0.5H

Şekil EK-A. 10 MgCl₂.6H₂O ve B₂O₃ ile 600°C sıcaklıkta, hava ortamında 0.5 saatte sentezlenen magnezyum boratların FT-IR spektrumları

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı :Tuğba İBROŞKA
Doğum Tarihi ve Yeri :Edirne / 07.05.1990
Yabancı Dili :İngilizce
E-posta :tubaibroska@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	Kimya Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2012
Lise		Edirne Anadolu Öğretmen Lisesi	2008

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2014	Setaş Kimya Sanayi A.Ş.	Kalite Güvence Mühendisi

YAYINLARI

Makale (Ulusal Hakemli Dergi)

1. Kipcak, A.S., Ibroska, T., Tugrul, N., Moroydor Derun, E., ve Piskin, S., Solid State Synthesis of Chlorine Containing Dehydrated Magnesium Borates, Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences, Volume 32, Issue 2, pp. 201-210.

Bildiri (Uluslararası-Tam Metin)

1. Moroydor Derun, E., Gurses, P., Yildirim, M., Kipcak, A. S., Ibroska, T., Piskin, S., (2014). "The Effect of the Reaction Time on the Microwave Synthesis of Magnesium Borates from $MgCl_2 \cdot 6H_2O$, MgO and H_3BO_3 ", ICEBESE 2014: International Conference on Environmental, Biological and Ecological Sciences and Engineering, June 26-27 2014, Paris, France.
2. Yildirim, M., Ibroska, T., Gurel, S.E., Kipcak, A.S., Moroydor Derun, E., Piskin, S., (2014). "The Investigation of Boron Source Change on the Chlorine Containing Magnesium Borates Synthesis by Solid-State Method at $800^\circ C$ ", International Journal of Arts & Sciences Annual Multidisciplinary conference, April 06-10 2014, Vienna, Austria.
3. Ibroska, T., Kipcak, A.S., Moroydor Derun, E. ve Piskin, S., (2013). "Solid-State Synthesis and Characterization of Boracite Minerals at $800^\circ C$ from $MgCl_2 \cdot 6H_2O$, MgO and B_2O_3 ", First International Symposium on Innovative Technologies for Engineering and Science, 7-9 June 2013, Sakarya, Turkey.

Bildiri (Ulusal-Tam Metin)

1. Ibroska T., Kipcak, A. S., Moroydor Derun, E., Piskin S., (2012). "Klor İçerikli Magnezyum Borat Minerallerinin Katı Hal Yöntemi ile $600^\circ C$ Sıcaklıkta Üretimi ve Konsantrasyon Farkının Üretim Üzerine Etkisi", 26. Uluslararası Katılımlı Ulusal Kimya Kongresi, 01-06 Ekim 2012, Muğla, Türkiye.