

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MERMER TOZU ATIKLARININ YAPI MALZEMESİ
ÜRETİMİNDE KULLANIMI

Metalurji ve Malzeme Müh. Nursev BİLGİN

FBE Metalurji ve Malzeme Anabilim Dalı Malzeme Programında Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışman: Doç. Dr. H. Aygöl YEPREM

İSTANBUL, 2010

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ŞEKİL LİSTESİ	v
ÇİZELGE LİSTESİ	ix
ÖNSÖZ	xii
ÖZET	xiii
ABSTRACT	iv
1. GİRİŞ	1
2. MERMER	3
2.1 Mermer Minerali	3
2.2 Mermerlerin Sınıflandırılması	4
2.2.1 Sedimanter Mermeler	4
2.2.2. Magmatik Mermerler	6
2.2.3. Metamorfik Mermerler	7
2.3 Mermerlerin Kullanım Alanları	7
2.4 Türkiye Mermer Potansiyeli	8
2.4.1 Burdur ve Isparta Yöresindeki Mermerlerin Mineralojik Özellikleri	10
3. MERMER ATIKLARI	13
3.1 Giriş	13
3.2 Mermer Atık Tozlarının Çevresel Etkileri	13
3.3 Mermer Oluşum Yerlerine Göre Mermer Atık Çeşitleri	15
3.3.1 Ocaklarda Oluşan Atıklar	15
3.3.2 Fabrikada Oluşan Atıklar	17
3.4 Boyutlarına Göre Mermer Atıkları	17
3.4.1. Molozlar	17
3.4.2 Kapaklar	17
3.4.3 Paledyenler	17
3.4.4 Tozlar	18
3.5 Mermer Atıklarının Değerlendirme Alanları	18
3.6 Mermer Atıklarının Parça ve Toz Halde Kullanım Alanları	19
3.6.1 Parça Mermer Atıkları:	19
3.6.1.1 Demir Yolu Zemin Malzemesi Olarak Kullanımı:	20
3.6.1.2 Agrega Olarak Kullanımı	20
3.6.2 Mermer Atıklarının Toz Halde Kullanımı	20
3.6.2.1 Seramik Sektöründe Kullanımı:	21
3.6.2.2 Çimento İmalat Sanayinde Kullanımı	21
3.6.2.3 Kireç Üretimde Mermer Tozu Kullanımı:	22
3.6.2.4 Plastik Sanayinde Kullanımı:	22
3.6.2.5 Kağıt Sanayinde Kullanımı:	22
3.6.2.6 Sır Endüstrisi:	22
3.6.2.7 Cam Sanayinde Kullanımı:	22
3.6.2.8 Kimya Sanayinde Kullanımı:	23
3.6.2.9 Tarım Sektöründe Kullanımı	23
3.6.2.10 Hayvan Yemi Üretiminde Kullanımı	23
3.6.2.11 Boya Üretiminde Kullanımı	23
3.6.2.12 Çelik Üretiminde Kullanımı	23

3.6.2.13	Asfalt İçinde Mermer Atıklarının Dolgu Maddesi Olarak Kullanımı:	24
3.6.2.14	Diğer Kullanım Alanları:	24
4.	MERMER ATIKLARININ YAPI MALZEMESİ OLARAK KULLANIMI:	25
4.1	Mermer Atık Tozlarının Tuğla Üretiminde Kullanılması:	25
4.2	Mermer Atıklarının Suni Mermer Üretiminde Kullanımı:	25
4.2.1	Yapay Mermer ile Mermer Arasındaki Farklar:	27
5.	ATIK YÖNETİMİ İÇİN TAVSİYELER:	28
6.	DENEYSEL ÇALIŞMALAR:	30
6.1	Giriş:	30
6.2	Genel Esaslar:	32
6.2.1	Cihazlarla ve Yapılan Testlerle İlgili Detaylar:	32
6.2.2	Hammadde Temini:	33
6.3	Genel Çalışmaları:	34
6.3.1	Hammaddelerin Çalışma İçin Hazırlanması ve Karakterizasyon Çalışmaları:	34
6.3.1.1	Atık Mermer Tozlarının Öğütülmesi ve Karakterizasyon Testleri:	34
6.3.1.1.1	Tozların Yoğunluklarının Ölçülmesi:	35
6.3.1.1.2	Tane Boyutu Analizi:	35
6.3.1.1.3	Diferansiyel Termik Analiz (DTA):	35
6.3.1.1.4	X-Işınları Difraksiyonu Analizi (XRD):	35
6.3.1.1.5	İnce Kesit Alma ve Polarizan Mikroskop ile Görüntü Analizi:	35
6.3.1.1.6	Taramalı Elektron Mikroskobisi (SEM):	36
6.3.1.2	Tuğla Harcı Üzerine Yapılan Karakterizasyon Çalışmaları:	36
6.3.1.2.1	X-Işınları Difraktometre ve X-Işını Spektrometre Analizleri:	36
6.3.1.2.3	Diferansiyel Termal Analiz İncelemesi (DTA):	36
6.3.1.2.4	Tane Boyut Analizi:	36
6.3.2	Mermer Tozu ve Reçine Karışımı Laboratuvar Çalışmaları Aşamalar:	37
6.3.2.1	Kullanılan Hammaddeler ve Reçetenin Hazırlanması:	37
6.3.2.2	Harman Hazırlama:	38
6.3.2.3	Presleme:	38
6.3.2.4	Reçine Bağlayıcı Numunelerin Fiziksel, Mekanik ve Analitik Testleri:	38
6.3.2.4.1	Kütlenin Hacme Oranından Yoğunluk Hesabı:	38
6.3.2.4.2	Arşimed Testi:	39
6.3.2.4.3	Üç Nokta Eğme ve Sertlik Testi:	39
6.3.2.4.4	Işık Mikroskobu inceleme:	40
6.3.2.4.5	Isıl İletkenlik testi:	41
6.3.2.4.6	Taramalı Elektron Mikroskobu İncelemesi:	41
6.3.3	Mermer Tozu ve Tuğla Harcı Karışımı Çalışmaları:	41
6.3.3.1	Kullanılan Hammaddeler ve Reçetenin Hazırlanması:	41
6.3.3.2	Harman Hazırlama:	42
6.3.3.3	Presleme:	42
6.3.3.4	Sinterleme:	43
6.3.3.5	Tuğla Harcı ile Karıştırılıp Preslenen ve Sinterlenen Numunelerin Fiziksel, Mekanik ve Kimyasal Testleri:	43
6.3.3.5.1	Pişme Küçülmelerinin Hesaplanması:	43
6.3.3.5.2	Arşimed Testi:	44
6.3.3.5.3	Üç Nokta Eğme Testi:	44
6.3.3.5.4	X-Işınları Difraksiyonu Analizi (XRD):	44
6.3.3.5.5	Taramalı Elektron Mikroskobu İncelemesi (SEM):	44
7.	SONUÇLAR:	45

7.1	Hammadde Karakterizasyon Testleri Sonuçları.....	45
7.1.1	Mermer Tozu Karakterizasyon Deneyleri.....	45
7.1.1.1	Yoğunluk Testi Sonuçları.....	45
7.1.1.2	Tane Boyutu Analizi.....	45
7.1.1.3	Diferansiyel Termal Analiz Sonuçları (DTA).....	46
7.1.1.4	X-ışınları Difraksiyonu Analizi Sonuçları (XRD).....	48
7.1.1.5	İnce Kesit Alma ve Polarizan Mikroskop İle Görüntü Analizi.....	50
7.1.1.6	Taramalı Elektron Mikroskobisi (SEM) Sonuçları	50
7.1.2	Tuğla Harcı Üzerine Yapılan Karakterizasyon Çalışmaları Sonuçları.....	51
7.1.2.1	X-ışınları Difraksiyon Analizi (XRD) Sonuçları.....	51
7.1.2.2	Tane Boyut Analizi.....	52
7.1.2.3	Diferansiyel Termal Analiz Sonuçları.....	52
7.2	Reçine Karışımli Numunelerin Test Sonuçları.....	53
7.2.1	Yoğunluk Hesabı Sonuçları.....	53
7.2.2	Arşimed Testi Sonuçları.....	54
7.2.3	Üç Nokta Eğme ve Sertlik Testi sonuçları.....	55
7.2.4	Sertlik Testi Sonuçları.....	55
7.2.5	Işık Mikroskobu İncelemesi Sonuçları	57
7.2.6	Isıl İletkenlik Testi Sonuçları.....	58
7.2.7	Taramalı Elektron Mikroskobu İncelemesi Sonuçları.....	60
7.3	Tuğla Harcı ile Karıştırılmış Numunelerin Test Sonuçları.....	61
7.3.1	Pişme Küçülmeleri Sonuçları.....	61
7.3.2	Arshimed Testi Sonuçları.....	68
7.3.3	Üç Nokta Eğme Deneyi Sonuçları.....	73
7.3.4	Taramalı Elektron Mikroskobu İncelemesi Sonuçları	78
7.3.5	X-ışınlar Difraksiyonu Analizi Sonuçları	79
8.	DEĞERLENDİRME VE ÖNERİLER.....	97
	KAYNAKLAR.....	99
	ÖZGEÇMİŞ.....	102

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Mermer minerali.....	3
Şekil 2.2 Türkiye mermer rezervi.....	8
Şekil 2.3 Mermer ocak fotoğrafı.....	9
Şekil 2.4 Isparta Burdur yöresi jeolojik haritası.....	10
Şekil 2.5 Antalya mermer ocağı (Burdur).....	11
Şekil 2.6 Mermer atığı yığını.....	12
Şekil 3.1 Su altında mermerin kesimi.....	13
Şekil 3.2 Atık mermer tozlarının biriktiği bir arazi.....	14
Şekil 3.3 Atık mermer tozunun çevre üzerinde etkisi.....	17
Şekil 4.1 Yapay mermer ile yapılmış yer döşemesi.....	26
Şekil 4.2 Yapay mermer ile yapılmış bir lavabo.....	27
Şekil 6.1 Deneysel çalışmalar akış şeması.....	31
Şekil 6.2 Öğütme makinesi.....	34
Şekil 6.3 DTA Cihazı.....	35
Şekil 6.4 İnce kesit alma cihazı.....	36
Şekil 6.5 Sıcak pres cihazı.....	38
Şekil 6.6 Arshimed deneyi için hazırlanan numuneler.....	39
Şekil 6.7 Monte yapılmış numuneler.....	40
Şekil 6.8 Hidrolik pres cihazı.....	43
Şekil 6.9 Sinterleme için hazırlanmış numuneler.....	43
Şekil 7.1 BN1 Partikül dağılımı grafikleri.....	45
Şekil 7.2 BN1 DTA grafiği.....	46
Şekil 7.3 BN2 DTA grafiği.....	46
Şekil 7.4 BN3 DTA grafiği.....	47
Şekil 7.5 BN1 XRD analizi.....	48
Şekil 7.6 BN2 XRD analizi.....	48
Şekil 7.7 BN3 XRD analizi.....	49
Şekil 7.8 ince kesit görüntüleri.....	50
Şekil 7.9 Mermer tozu atıklarının SEM görüntüleri.....	50
Şekil 7.9 Mermer tozu atıklarının SEM görüntüleri.....	51
Şekil 7.10 Tuğla harcı XRD analizi.....	51

Şekil 7.11 Tuğla harcı tane boyutu dağılım grafiği.....	52
Şekil 7.12 Tuğla harcı DTA analizi.....	52
Şekil 7.13 BN2 % Reçine oranı ile % su emme porozite değişim grafiği.....	55
Şekil 7.14 Reçine oranı ile eğilme mukvemeti ve sertlik değişim grafiği.....	57
Şekil 7.15 Reçine bağlayıcılı numunelerin ışık metal mikroskobu görüntüleri.....	57
Şekil 7.15 Reçine bağlayıcılı numunelerin ışık metal mikroskobu görüntüleri.....	58
Şekil 7.16 BN1 BN2 ve BN3 reçine bağlayıcılı numunelerin ısı iletim katsayısı grafiği.....	60
Şekil 7.17 Reçine bağlayıcı kullanılan numunelerin SEM görüntüleri.....	60
Şekil 7.17 Reçine bağlayıcı kullanılan numunelerin SEM görüntüleri.....	61
Şekil 7.18 BN1 ve tuğla harcı farklı oranlarda ve sinter sıcaklıkları sonrasında ağırlık kaybı değişimleri.....	65
Şekil 7.19 BN1 ve tuğla harcı farklı oranlarda ve sinter sıcaklıkları sonrasında genişlik küçülme değişimleri.....	66
Şekil 7.20 BN1 ve tuğla harcı farklı oranlarda ve sinter sıcaklıkları sonrasında uzunluk küçülme değişimleri.....	66
Şekil 7.21 BN1 ve tuğla harcı farklı oranlarda ve sinter sıcaklıkları sonrasında kalınlık küçülme değişimleri.....	67
Şekil 7.22 Tuğla harcı ile karıştırılmış numunelerin SEM görüntüleri.....	78
Şekil 7.23 BN1 %10 mermer tozu %90 tuğla harcı 900-1000-1100 C X-ışını difraktogram paterni.....	86
Şekil 7.24 BN1 %20 mermer tozu %80 tuğla harcı 900-1000-1100 °C X-ışını difraktogram paterni.....	86
Şekil 7.25 BN1 %30 mermer tozu %70 tuğla harcı 900-1000-1100 °C X-ışını difraktogram paterni.....	86
Şekil 7.26 BN1 %40 mermer tozu %60 tuğla harcı 900-1000-1100 °C X-ışını difraktogram paterni.....	87
Şekil 7.27 BN1 %50 mermer tozu %50 tuğla harcı 900-1000-1100 °C X-ışını difraktogram paterni.....	87
Şekil 7.28 BN1 %60 mermer tozu %40 tuğla harcı 900-1000-1100 °C X-ışını difraktogram paterni.....	87
Şekil 7.29 BN1 %70 mermer tozu %30 tuğla harcı 900-1000-1100 °C X-ışını difraktogram paterni.....	88
Şekil 7.30 BN1 %80 mermer tozu %20 tuğla harcı 900-1000-1100 C X-ışını difraktogram paterni.....	88
Şekil 7.31 BN2 %10 mermer tozu %90 tuğla harcı 900-1000-1100 °C X-ışını difraktogram paterni.....	88
Şekil 7.32 BN2 %20 mermer tozu %80 tuğla harcı 900-1000-1100 °C X-ışını difraktogram paterni.....	89
Şekil 7.33 BN2 %30 mermer tozu %70 tuğla harcı 900-1000-1100 °C X-ışını difraktogram paterni.....	89
Şekil 7.34 BN2 %40 mermer tozu %60 tuğla harcı 900-1000-1100 °C X-ışını difraktogram paterni.....	89
Şekil 7.35 BN2 %50 mermer tozu %50 tuğla harcı 900-1000-1100 °C X-ışını difraktogram paterni.....	90

Şekil 7.36 BN2 %60 mermer tozu %40 tuğla harcı 900-1000-1100 °C X-ışını difraktogram paterni.....	90
Şekil 7.37 BN2 %70 mermer tozu %30 tuğla harcı 900-1000-1100 °C X-ışını difraktogram paterni.....	90
Şekil 7.38 BN2 %80 mermer tozu %20 tuğla harcı 900-1000-1100 °C X-ışını difraktogram paterni.....	91
Şekil 7.39 BN3 %10 mermer tozu %90 tuğla harcı 900-1000-1100 °C X-ışını difraktogram paterni.....	91
Şekil 7.40 BN3 %20 mermer tozu %80 tuğla harcı 900-1000-1100 °C X-ışını difraktogram paterni.....	91
Şekil 7.41 BN3 %30 mermer tozu %70 tuğla harcı 900-1000-1100 °C X-ışını difraktogram paterni.....	92
Şekil 7.42 BN3 %40 mermer tozu %60 tuğla harcı 900-1000-1100 °C X-ışını difraktogram paterni.....	92
Şekil 7.43 BN3 %50 mermer tozu %50 tuğla harcı 900-1000-1100 °C X-ışını difraktogram paterni.....	92
Şekil 7.44 BN3 %60 mermer tozu %40 tuğla harcı 900-1000-1100 °C X-ışını difraktogram paterni.....	93
Şekil 7.45 BN3 %70 mermer tozu %30 tuğla harcı 900-1000-1100 °C X-ışını difraktogram paterni.....	93
Şekil 7.46 BN3 %80 mermer tozu %20 tuğla harcı 900-1000-1100 °C X-ışını difraktogram paterni.....	93
Şekil 7.47 % 100 Tuğla harcı 900-1000-1100 °C X-ışını difraktogram paterni.....	94
Şekil 7.48 BN1 %80 mermer tozu %20 tuğla harcı 1000 C XRD analizi.....	94
Şekil 7.49 BN2 %50 mermer tozu %50 tuğla harcı 900 °C XRD analizi.....	94
Şekil 7.50 BN2 %40 mermer tozu %60 tuğla harcı 900 °C XRD analizi.....	95
Şekil 7.51 BN3 %10 mermer tozu %90 tuğla harcı 1100 °C XRD analizi.....	95
Şekil 7.52 BN1 %10 mermer tozu %90 tuğla harcı 1000 °C XRD analizi.....	95
Şekil 7.53 BN2 %20 mermer tozu %80 tuğla harcı 1000 °C XRD analizi.....	96

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 3.1 Mermer ve Taş Ocaklarında Görsel Etkinin Potansiyel Kaynakları.....	16
Çizelge 6.1 Atık tozların temin edildiği ocakların koordinatları.....	34
Çizelge 6.2 Reçine bağlayıcı kullanılan numunelerin hammadde karışım oranları.....	37
Çizelge 6.3 Silikat bağlayıcı kullanılan numunelerin hammadde karışım oranları.....	42
Çizelge 7.1 Atık tozların piknometre ile yoğunluk ölçüm sonuçları.....	45
Çizelge 7.2 Atık mermer tozu tane boyutları.....	45
Çizelge 7.3 Reçine bağlayıcılı numunelerin hesaplanan yoğunluk değerleri (BN1).....	53
Çizelge 7.4 Reçine bağlayıcılı numunelerin hesaplanan yoğunluk değerleri (BN2)	53
Çizelge 7.5 Reçine bağlayıcılı numunelerin hesaplanan yoğunluk değerleri (BN3)	53
Çizelge 7.6 BN1 farklı reçine oranlarında yoğunluk, yüzde porozite, yüzde su emme değerleri.....	54
Çizelge 7.7 BN2 farklı reçine oranlarında yoğunluk, yüzde porozite, yüzde su emme değerleri.....	54
Çizelge 7.8 BN3 farklı reçine oranlarında yoğunluk, yüzde porozite, yüzde su emme değerleri.....	54
Çizelge 7.9 BN1 eğilme mukavemeti ve sertlik değerleri.....	56
Çizelge 7.10 BN2 eğilme mukavemeti ve sertlik değerleri.....	56
Çizelge 7.11 BN3 eğilme mukavemeti ve sertlik sonuçları.....	56
Çizelge 7.12 BN1 değişen reçine oranlarında ısı iletkenlik katsayısı değerleri.....	58
Çizelge 7.13 BN1 değişen reçine oranlarında ısı iletkenlik katsayısı değerleri.....	58
Çizelge 7.14 BN1 değişen reçine oranlarında ısı iletkenlik katsayısı değerleri.....	59
Çizelge 7.15 BN1 900 °C sıcaklıkta sinterlenmiş numunelerin pişme küçülmeleri.....	61
Çizelge 7.16 BN1 ve tuğla harcı karışımı 1000 °C sinterleme sonrası pişme küçülmeleri....	62
Çizelge 7.17 BN1 ve tuğla harcı karışımı 1100 °C sinterleme sonrası pişme küçülmeleri.....	62
Çizelge 7.18 BN2 ve tuğla harcı karışımı 900 °C sinterleme sonrası pişme küçülmeleri.....	63
Çizelge 7.19 BN2 ve tuğla harcı karışımı 1000 °C sinterleme sonrası pişme küçülmeleri.....	63
Çizelge 7.20 BN2 ve tuğla harcı karışımı 1100 °C sinterleme sonrası pişme küçülmeleri.....	63
Çizelge 7.21 BN3 ve tuğla harcı karışımı 900 °C sinterleme sonrası pişme küçülmeleri.....	64
Çizelge 7.22 BN3 ve tuğla harcı karışımı 1000 °C sinterleme sonrası pişme küçülmeleri.....	64
Çizelge 7.23 BN3 ve tuğla harcı karışımı 1100 °C sinterleme sonrası pişme küçülmeleri.....	65
Çizelge 7.24 BN1 900 °C ‘de sinterlenmiş numune yoğunluk, porozite ve su emme değerleri.....	68
Çizelge 7.25 BN1 1000 °C ‘de sinterlenmiş numune yoğunluk, porozite ve su emme değerleri	69
Çizelge 7.26 BN1 1100 °C ‘de sinterlenmiş numune yoğunluk, porozite ve su emme değerleri.....	69
Çizelge 7.27 BN2 900 °C ‘de sinterlenmiş numune yoğunluk, porozite ve su emme değerleri.....	70

Çizelge 7.28 BN2 1000 °C ‘de sinterlenmiş numune yoğunluk, porozite ve su emme değerleri.....	70
Çizelge 7.29 BN2 1100 °C ‘de sinterlenmiş numune yoğunluk, porozite ve su emme değerleri.....	71
Çizelge 7.30 BN3 900 °C ‘de sinterlenmiş numune yoğunluk, porozite ve su emme değerleri.....	71
Çizelge 7.31 BN3 1000 °C ‘de sinterlenmiş numune yoğunluk, porozite ve su emme değerleri.....	72
Çizelge 7.32 BN3 1100 °C ‘de sinterlenmiş numune yoğunluk, porozite ve su emme değerleri.....	72
Çizelge 7.33 % 100 Tuğla harcı yoğunluk, porozite, su emme testi sonuçları.....	72
Çizelge 7.34 BN1 ve tuğla harcı karışımı 900 °C sinterlenmiş eğilme mukavemet değerleri.....	73
Çizelge 7.35 BN1 ve tuğla harcı karışımı 1000 °C sinterlenmiş eğilme mukavemeti değerleri.....	73
Çizelge 7.36 BN1 ve tuğla harcı karışımı 1100 °C sinterlenmiş eğilme mukavemeti değerleri.....	74
Çizelge 7.37 BN2 ve tuğla harcı karışımı 900 °C sinterlenmiş eğilme mukavemeti değerleri.....	74
Çizelge 7.38 BN2 ve tuğla harcı karışımı 1000 °C sinterlenmiş eğilme mukavemeti değerleri.....	75
Çizelge 7.39 BN2 ve tuğla harcı karışımı 1100 °C sinterlenmiş eğilme mukavemeti değerleri.....	75
Çizelge 7.40 BN3 ve tuğla harcı karışımı 900 °C sinterlenmiş eğilme mukavemeti değerleri.....	76
Çizelge 7.41 BN3 ve tuğla harcı karışımı 1000 °C sinterlenmiş eğilme mukavemeti değerleri.....	76
Çizelge 7.42 BN3 ve tuğla harcı karışımı 1100 °C sinterlenmiş eğilme mukavemeti değerleri.....	77
Çizelge 7.43 % 100 Tuğla harcı mukavemet değerleri.....	77
Çizelge 7.44 BN1 mermer tozu ve tuğla harcı karışı numunelerin farklı sinter sıcaklıklarında XRD analizi ile belirlenen mineralojik bileşimleri.....	79
Çizelge 7.45 BN1 mermer tozu ve tuğla harcı karışı numunelerin farklı sinter sıcaklıklarında XRD analizi ile belirlenen mineralojik bileşimleri.....	80
Çizelge 7.46 BN2 mermer tozu ve tuğla harcı karışı numunelerin farklı sinter sıcaklıklarında XRD analizi ile belirlenen mineralojik bileşimleri.....	81
Çizelge 7.47 BN2 mermer tozu ve tuğla harcı karışı numunelerin farklı sinter sıcaklıklarında XRD analizi ile belirlenen mineralojik bileşimleri.....	82
Çizelge 7.48 BN3 mermer tozu ve tuğla harcı karışı numunelerin farklı sinter sıcaklıklarında XRD analizi ile belirlenen mineralojik bileşimleri.....	83
Çizelge 7.49 BN3 mermer tozu ve tuğla harcı karışı numunelerin farklı sinter sıcaklıklarında XRD analizi ile belirlenen mineralojik bileşimleri.....	84
Çizelge 7.50 %100 Tuğla harcı kullanılarak elde edilen numunelerin farklı sinter sıcaklıklarında XRD analizi ile belirlenen mineralojik bileşimleri.....	85

ÖNSÖZ

Bu çalışmada beni yönlendiren, yol gösteren ve bilimsel ufkumun gelişmesine katkısı bulunan danışmanım Doç. Dr. H. Aygöl YEPREM'e çok teşekkür ederim.

Bu projenin bir kısmının gerçekleşmesinde katkısı olan ekibinde olduğum 29-07-02-04 nolu YTÜ BAPK projesi yürütücüsü Prof. Dr. Müzeyyen MARŞOĞLU'na teşekkür ederim.

Sunduğu imkanlar ve yardımlar için TÜBİTAK MAM ME Müdür Yardımcısı Doç. Dr. Volkan GÜNAY'a, çalışmamın her aşamasında yol gösteren, yardımlarını esirgemeyen Baş Uzman Araştırmacı Dr. Esin GÜNAY'a sundukları imkan ve yardımlar için teknisyen M. Yılmaz EMRE'ye ve tüm seramik grubu çalışanlarına teşekkür ederim.

Hammadde temini ve karakterizasyon testleri sırasında imkanlarını ve yardımlarını sunan SDÜ Jeoloji Mühendisliği Bölümü çalışanları ve Batman Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dekanı Prof. Dr. Ali BİLGİN'e teşekkür ederim.

Tezimi yazım aşamasında yardımlarını esirgemeyen arkadaşım Onur Yakınlar'a ve kardeşim Hüseyin Bilgin'e teşekkür ederim.

Eğitim hayatım boyunca her türlü manevi ve maddi desteği benden esirgemeyen sevgili aileme teşekkür ederim.

ATIK MERMER TOZLARININ YAPI MALZEMESİ ÜRETİMİNDE KULLANIMI

Nursev BİLGİN

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi

Bu çalışmanın amacı ocaklarda ve işleme tesislerinde oluşan mermer atıklarını yapı malzemesi üretiminde kullanmak ve dolayısıyla çevreye olan zararlarını en aza indirerek hem çevreyi korumak hem de hammadde ve enerjiden tasarruf ederek ekonomiyi kalkındırmaktır. Atık tozların değerlendirilebileceği pek çok alan vardır. Bunlardan biri de atıkları yapı endüstrisinde kullanmaktır. Çalışmada üç farklı yöreye ait ocaklardan alınan atık tozlar karakterizasyon testlerinin ardından yapay mermer karo ve tuğla üretiminde kullanılmıştır. Fiziksel, mekanik optik ve analitik testlerle kullanılabilir maksimum atık miktarı belirlenmeye çalışılmıştır. Sonuçlar mermer atıklarının ağırlıkça % 20 oranda reçine ile karıştırılarak en iyi özellikte karo üretimini sağladığı ve tuğla harcı içerisinde % 50'ye kadar kullanılarak değerlendirilebileceğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Atık mermer tozu, tuğla, karo, geri dönüşüm.

USING WASTE MARBLE DUST IN BUILDING METATERIALS

Nursev BİLGİN

Metallurgical and Material Engineering, M.S. Thesis

This work aims to evaluate waste marble dust in building industry therefore minimizing the environmental effects of dust and maximizing economic benefits with reducing the use of raw metarial and energy. Marble proses industry generates a large amount of wastes during quarrying and sawing processes which pollute and damage the environment. There are many fields which can be utilize the marble wastes that one of them is to use them in building industry. In this work marble dusts provided from 3 different quarry states in 3 different places after characterizing tests are used in the production of artificial marble tile and bricks. It's experimented that the maximum quantities can be added. The results show that using 80 wt. % marble dust and 20 wt. % resine is gives the best properties in tiles and up to 50 wt. % can be added into commercial brick mixture in the production of bricks.

Keywords: Waste marble dust, brick, tile, recycling.

1. GİRİŞ

Son yıllarda endüstriyel büyüme ve sonuç olarak artan malzeme tüketimi, doğal kaynakların hızla tükenmesine yol açmaktadır. Doğal kaynaklardan kastedilen hammadde ve enerjidir. Diğer bir taraftan artan üretim önemli bir miktarda atık oluşturmaktadır. Bu atıklar çevrenin giderek zarar görmesine yol açmaktadır. Birçok ülke ve uluslar arası kuruluşlar yeni düzenlemelerle bu zararı minimize etmeye ve atıkların yeniden kullanılmasını sağlamaya çalışmaktadır (Akbulut ve Gürer, 2007).

Kil, kum, taş, çimento, tuğla, karo, badana, boya ve çelik gibi geleneksel malzemeler inşaat sektöründe çok farklı yapı bileşenlerinde kullanılmaktadır. Tüm bu malzemeler varolan doğal kaynaklardan elde edilmektedir fakat artan kullanımları çevre üzerinde ciddi zarara yol açar. Ayrıca proses esnasında da yine çevre üzerinde pek çok olumsuz etkiler bırakırlar. Sebep oldukları zararlı gazlar havada, suda, bitki örtüsünde, hayvanlarda ve insan sağlığı üzerinde ve yaşam koşullarında büyük bir olumsuz etki yaratırlar. Küresel olarak 2002 yılında 11 milyar tonu endüstriyel olan 12 milyar ton atık üretimi 2025 yılında 25 milyar tona çıkacağı tahmin ediliyor. Önlem alınmadığı takdirde çok büyük zararlara yol açması beklenmektedir (Pappu vd., 2007).

Nüfusun hızla artması yapı sektöründeki talebi arttıran önemli bir etmendir. Nüfus arttıkça kişilerin barınacak yerlere ihtiyacının olması inşaat endüstrisinin sürekli çalışmasını ve yapı malzemesi tüketmesini beraberinde getirmektedir. Bu yüzden inşaat sektörü azalan yapı malzemelerinin yerini alabilecek alternatif malzemelere ihtiyaç duymaktadır. Bu talebe karşılık vermek amaçlı yapılabilecek en iyi iş ise atık malzemelerin geri dönüşümünü sağlayıp proses kademelerini azaltarak, maliyet, enerji, iş gücünden tasarruf etmek ve atıkların değerlendirilip çevreye zarar vermesini önlemektir (Dhanapandian vd., 2010).

Gelişmiş ülkelerde atık yönetimi konusunda kesin kurallar varken henüz gelişmekte olan ülkelerde atıklar konusunda bir kanun yoktur. Bu yüzden mevcut atıklar işlem yapılmadan dışarıya bırakıldığından gün geçtikçe çevremiz üzerinde olumsuz etkilere yol açmaktadır. Bu atıkların geri dönüşümü sadece çevreyi korumakla kalmayıp üstelik ekonomik açıdan da fayda getirecektir. Çevre dostu, düşük fiyatlı, sağlam yapı malzemelerinin popülaritesinin artması yeni araştırmaları gerektirmektedir. Bu atıklar kullanılarak kullanımda standartlara uygun, çevreye zarar vermeyen yeni malzemelerin üretiminde tek başlarına veya başka malzemelere karıştırılarak elde edilen yeni hammaddelerin elde edilmesi gerekmektedir (Dhanapandian vd., 2010).

Endüstride önemli atıklardan birini de mermer üretim sektörü üstlenmektedir. Çıkarılma esnasında, üretimde ve yüzey proseslerinde bu mineralin %70'i atık olarak kalmaktadır. Proses esnasındaki atık miktarı toplam bloğun %30'unu oluşturmaktadır. Bu atık daha sonra toz haline dönüştürülerek nehir yataklarına boşaltılır ve yer altı su havzalarını tehdit etmektedir. Yaklaşık %40 (yıllık 86000 m³) miktar mermer atığı ocaktan çıkarma esnasında boş çukurlara, yol kenarlarına, nehir yataklarına, otlak arazilere ve tarım alanlarına gönderilmektedir. Dere yatağında biriken mermer tozları toprağın geçirimsizliğini azaltır, suyun yüzeyde birikmesine sebep olur. Dahası topraktaki alkaliliğin artması verimi önemli ölçüde düşürür (Akbulut ve Gürer, 2007).

Ayrıca sedimentasyon ve insitu prosesleriyle sulara bırakılan atıklar tarımı ve dolayısıyla sağlığı önemli ölçüde tehdit etmektedir. Mermer atıklarının değerlendirilmesi bu açıdan çok önemlidir. Atıkların değerlendirilebileceği sektörler arasında, yapı sektörü, tarım sektörü, cam ve kağıt sanayi sayılabilir (Karaşahin ve Terzi, 2007).

Mermer atıklarının içerisinde SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃ ve CaO, düşük miktarda Mg, Ti, Mn ve K oksitler içerirler ve bunlar da gerekli işlemler yapılmadığı takdirde çevreye özellikle yer altı suları ve toprağa ciddi zararlar vermektedir. Ayrıca kuru hava şartlarında ufak boyutlu mermer tozları hava şartlarıyla bitkilerin üzerinde toplanır ve gıda olarak tüketimi canlılara büyük miktarda zarar verir (Dhanapandian vd, 2010).

Kuru hava şartlarında atmosferde bulunan bu atık tozlar havanın sirkülasyonu ile canlı solunumuna zarar verir ve atmosferdeki artışlarıyla görüş mesafesini düşürürler. Yine yağmurlu hava şartlarında yolları kayganlaştırır, yağmur sularına karıştıkları için yeryüzündeki yağmur suyunun girdiği kullanıldığı yerleri kirletir ve yine en başta canlı sağlığı üzerinde zarara yol açarlar (Gupta vd., 2009).

2. MERMER

2.1 Mermer Minerali

Bilimsel anlamda mermer; kalker ve dolomitik kalkerlerin sıcaklık ve basınç altında başkalaşıma uğrayarak yeniden kristalleşmesi ile oluşan bir metamorfik kayadır. Kimyasal bileşimde büyük oranda kalsiyum karbonat, magnezyum karbonatın yanı sıra silisyum di oksit ve değişik metal oksitleri, silikat mineralleri bulunur. Mermer saf kalsiyum karbonat bileşiminde olduğu zaman beyaz ve yarısaydamdır. Genellikle sertliği mohs skalasına göre 3 ve özgül ağırlığı 2.5 ila 3.5 gr/cm³ arasında değişir.



Şekil 2.1 Mermer minerali ([http://www.ehow.com/about-542260-uses-marble dust.htm](http://www.ehow.com/about-542260-uses-marble-dust.htm))

Ticari anlamda mermer blok verebilen kesilip cilalandığında parlayabilen dayanıklı ve güzel görünümlü her türden taşların bütünü için kullanılan bir terimdir.

Türk maden kanununda mermer kesilip parlatılarak kullanılacak mermer, oniks mermeri ve diğer taşlar olarak tanımlanmıştır. Buradan da anlaşılacağı üzere maden kanunundaki mermer tarifiyle ticari anlamdaki mermer tarifi hemen hemen özdeştir. Yani taşın cinsi ne olursa olsun kesilip parlatılabiliyorsa mermer olarak tarif edilmektedir (Şentürk vd., 1996).

Ülkemizde mermerin tarihçesi oldukça eskiye dayanmaktadır. Efes kazılarında M.S. 2.yüzyılda doğal taş tarihinde blok kesiminde kullanılan ilk lamalı katrak bulunmuştur. Yine Selçuk (İzmir) yakınlarında antik ocaklarda tel kesmenin ilk prototipinin izine rastlanılmıştır. Bu bulgular bize Türkiye topraklarında yaklaşık 2000 yıldır doğal taş işletme teknolojisinin dolayısıyla mermerciliğin varlığını ispatlamaktadır (Çetin, 2003).

Mermerler sıkı kenetlenmiş kristal bir yapıya sahip olduklarından, genelde çok düşük bir gözenekliliğe sahiptirler. Gözeneklilik % 0.0002 ila 0.5 arası değişir. Mermerin bileşenleri

yerlerinden çıksa bile, suyu bünyelerine almaya veya donmadan meydana gelen ayrışmaya karşın çok az eğilimlidirler. Mostra vermiş yüzeyler üzerinde eriyebilirlik kayacın bileşimi ve dokusu üzerindeki bazı özelliklere ve daha çok da atmosferik koşullardaki özelliklere bağlıdır. Beyaz Carrara (İtalya) mermeri ılık Akdeniz ikliminde asırlardır bozulmaz. Fakat Amerika'nın kuzeyinde mostra verenler 10 veya 20 yıl sonra korozyon çukurlanmaları gösterebilir (Kuşcu, 2001).

Mermerlerin başlıca minerali kalsittir. Minerallerin mikroskopta incelenmesinde kalsit kristallerinden başka % 5 oranında karbonat dışı maddeler ve/veya ikincil maddeler bulunduğu görülmüştür. Grafit, hematit, limonit, ve pirit silikat olmayan minerallerdir. Kuvars, mika, klorit, tremolit, vollastonit, diyopsit, ve hornblend mermerlerde çok yaygın bulunan silikatlardır. Kristaller mozaik dokulu, romboedral dilinimli ve bol ikizlidir. Yapılan incelemelerde kalsit kristallerinin boyutlarının 0.2 - 0.8 mm arasında değiştiği saptanmıştır. Kristallerin ortalama boyutları 0.3 - 0.5 mm civarındadır. Mermerlerde bulunan kalsit dışı mineraller nedeniyle saflığı kaybetmesi mermerin değerini azaltmaktan çok arttırır. Zira araya giren yabancı maddeler veya mineraller mermere özel renkler katar ve çoğu zamanda dayanıklılığını arttırır. Bu katılım ya başlangıçta, yani kalker çamurunun içine bazı minerallerin/maddelerin girmesiyle oluşmuş ya da taşlanmış bir kalsiyum karbonat çamurunun (kalkerin) çatlak sistemi içine zorla sokulan hidrotermal eriyiklerden ileri gelmiştir. En sık rastlanananlar limonit ve hematit gibi demir bileşikleridir. Çok az mermerde kalsitin yerine dolomit hakimdir. Bu durumda mermer birbiriyle ardalanma gösteren kalsit ve dolomit tabakalarından veya bu iki mineralin renkte, dokuda parlatmaya duyarlılıkları ve bozuşmaya dirençlerindeki farklılıklarından dolayı istenmeyen kütlelerinden meydana gelmiştir (Sarız vd., 1992; Önem, 1997; Kuşcu, 2001).

2.2 Mermerlerin Sınıflandırılması

Mermer olarak kullanılan taşlar, mineralojik ve oluşum şekillerine göre üç kısımda toplanabilirler. Bunlar kökensel olarak sedimenter, magmatik, metamorfik ve yapay mermerlerdir (Şentürk vd., 1996).

2.2.1 Sedimanter Mermerler

Bu mermerler adından da anlaşılacağı gibi sedimanter, magmatik ve metamorfik kayalardan kopan parçaların sürüklenerek bir yerde birikmesi ve daha sonra çimento maddesi ile birleşmesi sonucu oluşan kalkerin yanı sıra konglomera, gre, arduvaz gibi detritik veya klasik kökenli mermerler olabileceği gibi su kaynaklarından meydana gelen oniks mermeri, traverten

ve kireçtaşı gibi organik veya kimyasal kökenli mermerlerdir.

Traverten ve oniks mermeri birleşiminde erimiş halde kalsiyum bikarbonat $[Ca(HCO_3)_2]$ bulunduran sulara oluşan kayaçlardır. Bileşiminde kalsiyum bikarbonat ve karbondioksit bulunan yer altı sularının yeryüzüne çıkması ile bileşimindeki CO_2 gaz haline geçerek suyu terk eder. Bu sırada $CaCO_3$ bileşimli katı madde şekillenir. Bu olay soğuk su vasıtası ile olursa oniks mermeri, sıcak su vasıtasıyla olursa traverten meydana gelir. Traverten ve oniks mermerleri kimyasal tortul kayaçları arasında yer alırlar.

Traverten kalsiyum bikarbonat içeren ve hidrostatik basınç altında bulunan sıcak sular, çatlak veya deliklerden yeryüzüne çıktıkları zaman bunların üzerindeki basınç kalkacağından dolayı bileşimindeki CO_2 uçar, $CaCO_3$ çökelir ve su akışına devam eder. İşte bu çökelen $CaCO_3$ bileşimli katı maddeye traverten denilmektedir. Yapısında fazla miktarda boşluk olursa, kayaca kalker küfü adı verilmektedir. Oluşum yerlerine göre travertenler; derinde ve yüzeyde oluşan travertenler olmak üzere ikiye ayrılır. Türkiye'deki traverten yataklarının büyük bir kısmı yeni oluşumlardır. Travertenler tabakalanma doğrultusunda ve dik olarak kesilip parlatılarak inşaat sektöründe kullanılır.

Travertenler mermerlere, granitlere, serpantinilere göre daha az cila isteyen taşlardır. Travertenler plaka halinde kesilip kullanılır hale getirildikten sonra bina cephesine döşenirken, boşluk yönleri zemine paralel şekilde döşenmektedir. Bu döşeme şekli yanlıştır çünkü dış cephede kaplama olarak kullanılan taşın boşluğunda suyun tutulması ve arkasında suların donması ile taşı patlatıp parçalar ve taşın parçalar halinde dökülmesine sebep olur. Plaka halindeki taş, zemine dik halde konulursa, boşluklarında su tutulması olmayacağından taşın patlaması ve dökülmesi de söz konusu olmaz. Türkiye'de en çok traverten; Antalya, Bursa, Ankara-Mali Köyü ve Harmana, Çankırı-Eski Pazar, Sivas-Sıcak Çelmik, Adana-Erzin, Antakya-Reyhaniye, Niğde-Bor, Denizli-Akköy, Konya-Gödeme, Burdur-Bucak bölgelerinde bulunmaktadır (Şentürk vd., 1996).

Oniks mermeri bileşiminde erimiş halde SiO_2 bulunan hidrotermal sulardan gelişen kalsedon kristallerinden oluşmuş boşluksuz ve ince bantlı kayaç türüdür. Oniks, ince dokusu nedeni ile kolayca işlenebilir, şeffafa yakın özellik gösterir ve iyi cila kabul eder. Sertliği nedeni ile kesme ve parlatma zorlukları bulunmaktadır. Dekoratif kaplama, mobilya, mutfak dolapları ve süs eşyası yapımında kullanılırlar. Her renkte çeşitleri bulunmaktadır. Ülkemizde; Eskişehir – Yunus Emre - Şehitgazi, Manisa – Akhisar, Kırşehir, Nevşehir – Avanos – Avcı – Terme, Bolu – Seben, Bilecik – Söğüt, Kütahya – Tavşanlı ve Afyon bölgelerinde bulunmaktadır.

Mermer olarak değerlendirilen kireçtaşlarının bileşiminin %90 dan fazlası CaCO_3 den oluşmuş olup içeriğinde az miktarda da MgCO_3 bulunur. Kuvars, demir, manganez, kil ve organik maddeler safsızlıkları oluşturur. Bileşiminde yer alan MgCO_3 artarsa, artışa bağlı olarak sıra ile dolomitik kireçtaşı, kireçli dolomit ve dolomit olarak adlandırılır. Kireçtaşları bileşimine giren yabancı maddelere göre çeşitli renkler gösterirler. Sarı ve kırmızı renk demir oksit, siyah ve mor mangan oksit, gri ve siyah organik maddelerden gelir. Oluşum şartlarına göre organizma artıkları içerirler ve içerdikleri fosillere göre mercanlı kireçtaşları, fusulinli kireçtaşları, nummulitli kireçtaşları olarak adlandırılırlar. Bileşiminde bitüm bulunanlar ise bitümlü kireçtaşı adını alır. Bitümlü kireçtaşları genelde siyah renkli mermerler olarak adlanmaktadır. Çoğunlukla beyaz, sarı kahverengi ve kırmızı kalsit damarcıkları mermere güzel görünüm kazandırır. Ufak ve sık dokulu kalsit kristallerinden oluşan yoğun kireçtaşlarına kristalli kireç taşı denir. Bu tip mermerlerin basınç dayanımları yüksek değerli olabilir. Kristalize kireçtaşları iyi parlatılabilen kayaçlardır. Kireçtaşları içerisinde bant şeklinde veya yumru şeklinde sileks oluşabilir. Bu tür kayaçlar, mermer sanayinde kesme zorlukları nedeni ile tercih edilmez. Ülkemizdeki bazı kireçtaşı bölgeleri ise; Antalya- Finike, Hatay – İskenderun - Yayladağ, Bilecik- Gülümbe – Söğüt, Adapazarı – Harmantepe, Gebze – Kutluca, Ankara – Haymana, Konya – Bozkır, Milas – Güllük (Şentürk vd., 1996).

2.2.2. Magmatik Mermerler

Mermer olarak kullanılan magmatik kayaçlar, sedimanter olanlara göre daha dayanıklı olup çıkartılmaları ve işlenmeleri daha zordur. Magmatik kayaçlar kendi aralarında yüzey, damar ve derinlik kayaçları olarak üç gruba ayrılmaktadır. Bu kayaçlar içerisinde mermer olarak değerlendirilenler; granit, siyenit, gabro ve serpantin gibi derinlik kayaçlarıdır. Yüzey kayacı olarak en çok kullanılanları; kuvars, porfir, diyabaz, riolit, bazalt ve andezit melafirdir. Yüzey kayaçlarından olan diyabaz işlenme zorluğuna rağmen içerisindeki piroksen mineralleri nedeni ile güzel bir yeşil renge sahip olduğu için mermer olarak değerlendirilir.

Magmatik mermerler çıkarılma ve işlenme zorluklarına rağmen basınç ve aşınma dirençlerinin yüksek olması, kristal yapısı ve içerisindeki minerallere bağlı olarak zengin renk ve desene sahip olmaları ve uzun süre cilalarını korumaları gibi nedenler dolayı tercih edilmektedirler (Yüçetürk, 2010).

Sert mermer grubu içinde serpantin – diyabaz ve gabro ile beraber granitlerin özel ve önemli bir yerinin varlığı bilinmektedir. Mermer sektöründe taneli doku gösteren magmatik kayaçlar genellikle granit olarak adlandırılırlar. Basınç dayanımları oldukça yüksek, aşınmaya karşı

dayanıklıdır. Zengin bir renk aralığına sahiptir. Kayaç olarak bileşiminde % 66 dan fazla SiO_2 , buna bağlı olarak da önemli oranda % 20 – 40 kuvars içermektedir. Granitik kayaçlar yeryüzünde oldukça yaygın olup, ülkemizde de Batı Anadolu, Trakya ve Orta Anadolu da büyük alanlarda dağılım göstermektedir (Şentürk vd., 1996).

2.2.3. Metamorfik Mermerler

Yerkabuğundaki her çeşit kayacın durumunu koruyarak fiziksel ve kimyasal şartlar altında (alterasyon ortamı dışında) derinliklerde diyajenez ortamda minerallerin daha farklı minerallere dönüşerek farklı bir kayaç durumuna gelmesi ile oluşan kayaçlardır. Bunların içinde en önemli olanı bilimsel mermer tanımına uygun olan kireçtaşı ve dolomitlerin sıcaklık ve basınç altında yeniden kristalleşmeleri ile oluşan hakiki mermerlerdir. Diğerleri ise kristalin şistler olup volkanik ve sedimanter kayaçların yapı ve bileşimlerinin değişmesi ile meydana gelir. Bunlar gnays, şist, kuvarsit, fillit, anfibolit gibi kayaçlar olup, bunlar ülkemizde gnays mermer olarak değerlendirilmektedir.

Hakiki mermerler başkalaşım yoluyla oluşmaktadır. Değişim başkalaşım şartlarında oluşurlar. Bu şartlar;

- Kontakt başkalaşım,
- Dinamik başkalaşım,
- Bölgesel başkalaşım,

olarak sıralanabilir.

Kontakt başkalaşımında; magmadan gelen sıcaklık gaz ve hidrotermal sıvıların etkisi önem taşır. Bu tür mermerlerde grana, aktinolit, diasporit, brunit, tramolit, epitot, pirit gibi minerallere rastlanır. Oluşum farklılıkları renkte, desende ve yapıda devamlılığı bozar.

Dinamik başkalaşımında yönlü kuvvetlerin etkisi ile kayaçlarda kırılma, ufalanma, erime ve yeniden kristalleşme görülür. Serpantin ve kireçtaşlarının yan yana bulunduğu yörelerde ofikalsitler gelişir, güzel yeşilli beyazlı mermerler şekillenir (Şentürk vd., 1996).

2.3 Mermerlerin Kullanım Alanları

Doğal taştan elde edilen ürünler tarih boyunca insanlar tarafından işlenerek kullanılmıştır. Mermer uzmanlığı incelik ve dikkat gerektiren bir iş olduğundan nasıl işleneceğinin bilinmesi gerekir. Önceleri estetik ve dayanıklılığı sebebiyle sanatsal alanlarda kullanılan mermerin bugünkü başlıca kullanım alanları, inşaat sektörü, dekorasyon, heykelticilik, süs eşyalarının yapımı ve mezar taşlarıdır.

Bloktan üretilen plakalar ve diğer boyutlu ürünler, binaların iç ve dış kaplamasında, taban döşemesinde, merdiven basamaklarında, şömine, mutfak ve banyolarda, taşıyıcı sütunlarda kullanılır. İç dekorasyonda masa, sehpa, biblo, avize, kül tablası vs. ürünlerin yapımında önemli miktarlarda özellikle damarlı mermer, renkli mermer, oniks mermeri ve yeşil somaki tüketilmektedir. Sanat malzemesi olarak heykellerde ise en değerli mermer türü olan arı beyaz renkli ve düzenli tane yapılı mermer kullanılmaktadır. Doğal taşlar süsleme ve estetik kullanımlarının yanı sıra dayanıklılıkları, atmosferik şartlar ve çevre kirliliği nedeniyle granit gibi sert taşlar özellikle metro, havaalanları, otobüs terminallerinde, gökdelen ve ticaret merkezlerinin yapımında kullanılmaktadır.

Milli gelir ve refah düzeyi ile yakından ilişkili olan mermerin kullanımı alanları ülkeden ülkeye farklılıklar göstermektedir. ABD ile Almanya dünyada en çok mermer tüketen ülkelerin başında gelmektedir. Ortadoğu ve Uzakdoğu ülkelerinin de son yıllarda mermer tüketimlerinde bir artış olduğu gözlemlenmiştir (Ramkumar vd., 2009).

2.4 Türkiye Mermer Potansiyeli

Mermer kaynağı zengin olan Portekiz, İspanya, İtalya, Yunanistan, Gürcistan, Türkiye, İran, Pakistan gibi ülkeler Alp-Himalaya hattı üzerinde yer alırlar. Bu jeolojik yerleşimin sonucu olarak Türkiye de çeşitli renk ve örneklerde zengin mermer yataklarına sahiptir. Yaklaşık olarak 3.872.000.000 işletilebilir mermer rezervi vardır (DPT 2001).



Şekil 2.2 Türkiye mermer rezervi (Çetin, 2003)

Ülkemizde mermer yatakları genellikle Paleozoik yaşlı masiflerin bulunduğu alanlarda yer alır. Bu alanlar genellikle ülkenin batı yarısında yer almakla birlikte doğuda da bazı yerlerde

bulunmaktadır. Menderes masifi, Istranca masifi, Menteşe masifi, Kazdağ masifi, Kırşehir masifi, Ilgaz kristalin masifi ve Bitlis masifi bu alanlardan en belirgin olanlarıdır (Çetin, 2003).



Şekil 2.3 Mermer ocak fotoğrafı

Türk mermer endüstrisi ticari alanda devamlılığını 250’den fazla taş çeşidi zengin renk ve örnekleri sayesinde ispat etmiştir. Uluslar arası pazarlarda aşağı yukarı bunların 100’ü bulunur ve marka halini almıştır. İyi bilinen çeşitlerden bazıları; Afyon beyaz, afyon şeker, afyon kaplan derisi, supreme, salome, Bordo Grizo (Eskişehir), Elazığ Kiraz, Hazar Pink (Elazığ), Aegeon Bordeaux, Ayhan Black, Milas, Lilac, Muğla White, Uşak Green, Uşak White, Dove (Balıkesir), Vize Pink (Kırklareli) (Yavuz vd., 2008).

Türkiye’de yaklaşık 700 mermer ocağı işletim halindedir. Bunların %90’ı Batı Anadolu’da Afyon, Balıkesir, Eskişehir’de bulunur. Türk mermer endüstrisi sabit bir gelişim göstermektedir ve ihracatta önemli bir rol oynamaktadır. Rakamlara vurulacak olunursa 40 milyon USD (1990), 188.7 milyon USD (2000), 300 milyon USD ve 626 milyon dolar (2004) (İMMİB, 2005).

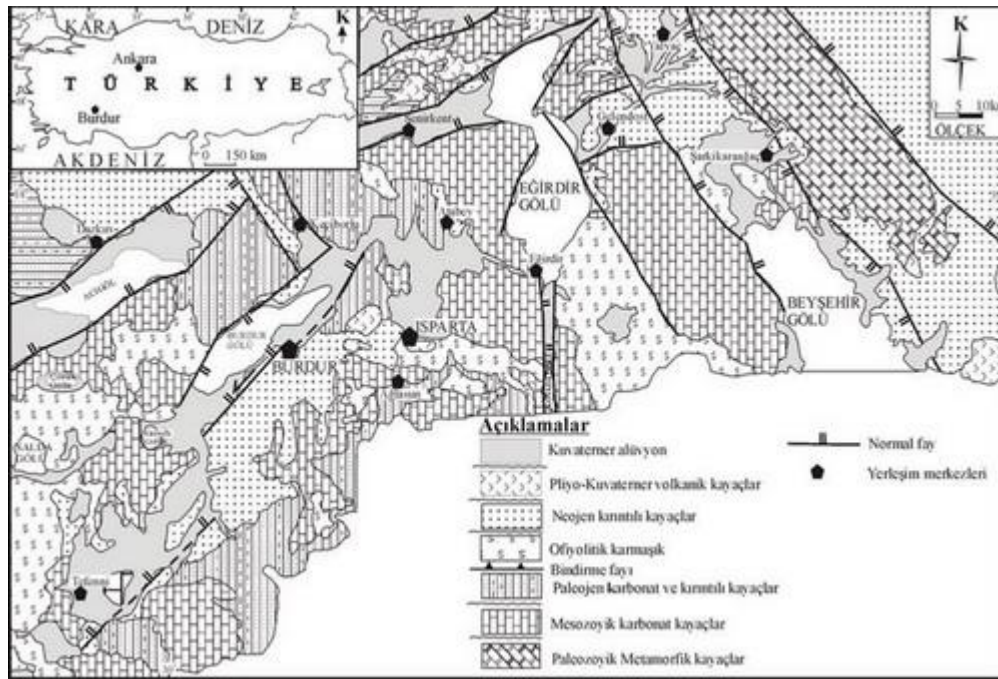
Mermer kullanımı yapı sektöründe büyük bir paya sahip olmakla beraber mermerin gerek üretim teknolojisinde gerekse kullanım açısından bazı aksaklıklar ve olumsuzlukları nedeni ile kullanım sorunları ortaya çıkmıştır. Artan taleple birlikte açılan ocak sayısı giderek artmıştır. Bu da mermer işletme tesislerinin yoğunlaştığı bölgelerde, çevrecilik ve tabii güzelliğin bozulması nedeniyle tepkiler oluşturmaktadır.

Ülkemizde ticari potansiyeli yüksek endüstriyel bir hammadde olan mermerin, gerek ocaktaki üretim aşamasında ve gerekse tesislerdeki işlenme zorlukları göz önüne alındığında bu endüstriyel hammaddenin ülkemizde en uygun şartlarda değerlendirilmesi ve kullanılması gerekmektedir. Mermer ve mermer işletmeciliğine verilmesi gereken önem, bu değerleri tabii kaynağımızın ülke içi satışlarda ve yurt dışı ihracattaki payını önemli derecelerde arttıracaktır. Bu bakımdan, mermerin ocaktan kullanım yerine kadar geçireceği tüm safhalar bilimsel olarak iyi bir biçimde analiz edilmeli ve gerekli irdelemeler yapılmalıdır (Yüçetürk, 2010).

2.4.1 Burdur ve Isparta Yöresindeki Mermerlerin Mineralojik Özellikleri

Burdur ve Isparta yöresinde çok sayıda mermer ocakları dikkati çekmektedir. Bunların yer aldığı litolojiler, Likya Napları olarak bilinmektedir. Benzer litolojideki kireçtaşları Isparta yakınında Dereköy ile Büyükkabaca köyleri arasında da dikkati çekmektedir. Buralarda da yeni mermer ocakları açılarak ülke ekonomisine önemli düzeyde katkılar sağlanmaktadır.

Bunlar yapı itibarıyla masif kireçtaşlarından oluşmaktadır. Bölgesel tektonikten etkilendikleri için blok verimi oldukça düşüktür. Ocakta artık mermerler büyük yığınlar oluşturmaktadır.



Şekil 2.4 Isparta Burdur yöresi jeolojik haritası (Bilgin ve Özkahraman, 2009)

Burdur ve Isparta yöresi Güney Batı Anadolu'da jeolojik olarak Türkiye'nin en karmaşık bölgesini oluşturmaktadır. Bu karmaşık jeolojide Burdur ve Isparta yöresindeki mermerler eski tarihi dönemlerden beri özel önem taşımaktadır. Bu mermerler sedimanter tür

kireçtaşlarından oluşmaktadır. Söz konusu kireçtaşlarından katmansız olanları, diğer bir anlatımla masif yapılı kireçtaşlarından önemli düzeyde mermer üretilmektedir. Önümüzdeki günlerde çok sayıda mermer ocağı, en son yeni teknolojileri uygulayarak mermer üretimine başlamak üzeredir.



Şekil 2.5 Antalya mermer ocağı (Burdur)

Mermer üretimi, Likya naplarını oluşturan karbonatlı kayalar ve Mesozoyik yaşlı diğer karbonat grubu kayalardan üretilen blok adı verilen kütüklerle gerçekleştirilmektedir. Ancak açılan ocakların çoğu gerilme faylarını oluşturan horst ve graben alanlarında açıldığı için, mermerler bu tektonik olaylardan olumsuz olarak etkilenecek, ortaya çıkan kırık ve çatlaklar nedeniyle blok üretimi istenilen düzeyde değildir. Dolayısıyla çok miktarda madencilik dilinde pasa adı verilen artık mermer yığınları ortaya çıkmaktadır. Bu artık mermerler endüstride kireç, mıcır ve paledyen üretiminde değerlendirilmektedir (Bilgin ve Özkahraman, 2009).



Şekil 2.6 Mermer atığı yığını

3. MERMER ATIKLARI

3.1 Giriş

Mermer bloklarının kesimi esansında genellikle su kullanılır. Testerelerin bıçak kalınlıkları 5 mm civarındadır ve 20 mm kalınlıkta parçalar çıkartılır. Böylece her 25 mm'lik parça kesilirken 5 mm'lik bir kısım toza dönüşür ve çevreye yayılır. Bu mermer tozu kesim esnasında kullanılan su ile birlikte akar.



Şekil 3.1 Su altında mermerin kesimi (Alyamaç ve İnce, 2007)

Mermerlerin düzgün geometrik şekli alabilmesi için kesilmesi gereklidir. Kesme işlemi sonunda mermer tozu ortaya çıkmaktadır. Mermerlerin kesiminde soğutma suyu kullanıldığından ve toz bastırıcı olarak sulu kesim yapıldığından mermer kesiminden çıkan ince boyutlu parçacıklar başlangıçta ıslak olarak depo edilmekte veya doğrudan araziye bırakılmaktadırlar. Dolayısıyla çevre kirliliği söz konusudur (Alyamaç ve İnce, 2007).

3.2 Mermer Atık Tozlarının Çevresel Etkileri

Mermer atıklarının ekosisteme ciddi zararları vardır. Bu atıklar çevreye ait fiziksel, kimyasal ve biyolojik bileşenlere önemli ölçüde etki eder.

- Karada toprağın porozitesini ve su emmesini azalttığı için ürün verimini düşürür. Bu alanlarda bitkisel yaşam yok olur.
- Küçük parçalar havada uçuşur ve hava kirliliğine sebep olur. İnsan sağlığını etkiler ve

Nehirlerde, kanallarda yoldan akan su içinde hem suyun kalitesini bozar hem de suyun depolanma kapasitesini düşürür.

- Karada uzun süre kaldıklarında suyun akış rejimini engeller ve yer altı su havzaları üzerinde olumsuz etki yapar. Ayrıca yolların yapısını bozmakla beraber araçların ilerleyişini engeller.
- Etrafa dağılan atık yığınları görsel açıdan çevreyi çirkinleştirir. Yerleşim alanının turizm ve endüstriyel potansiyeli üzerinde olumsuz etki yapar (Vijayalakshmi vd., 2001).



Şekil 3.2 Atık mermer tozlarının biriktiği bir arazi (Alyamaç ve İnce, 2007)

Mermer işleme tesislerinin yoğunlaştığı bölgelerdeki mermer atık sahaları kamuoyu gözünde çevre ve doğal güzelliğe zarar verdiği gerekçesiyle tepkilere neden olmaktadır.

Mermerlerin ocaktan çıkarılması, blok mermerin fabrikada işlenmesi sırasında ortaya çıkan ve mamul mermer üretiminden geriye kalan bütün mermer parça ve tozları mermer atığı olarak kabul edilmektedir.

Mermer atıkları oluşum yerlerine göre; ocaklarda ve fabrikalarda oluşan atıklar, boyutlarına göre ise; molozlar, kapaklar, paledyenler ve toz atıklar olarak adlandırılıp sınıflandırılmaktadır.

Tesislerde işlenen mermerlerden toz ve kırıntı artıkları işlenen mermerlerin yaklaşık olarak % 30'unu oluşturmaktadır. Değişik sanayi kollarında kullanım alanı bulabilen kırıntı mermer atıkları alternatiflerinin yerine kullanıldığı takdirde çok daha ucuz bir girdi olabilmektedir.

Mermer fabrikalarında üretim atığı olarak çıkan toz atıklar genellikle değerlendirilmemekte olup çevresel açıdan kirliliğe yol açmaktadır.

Atıkların faydalı biçimde kullanılmasını sağlamak sürdürülebilir gelişimi başarmak için çok önemli bir çevresel girişimdir. Öte yandan bilimsel araştırmalar olmadan yapılan bir geri dönüşüm tam aksine daha kötü etkilere sebep olabilir. Başarılı bir araştırma ve yenir yapı malzemesini geliştirilmesi veya atık bileşenin hammadde olarak kullanımı, teknik, çevresel, finansal, pazarlama, kanunlar ve sosyal açıdan bakıldığında çok karmaşık ve disiplinler arası bir iştir.

Nüfusun büyümesi, şehirleşmenin artması, teknik yeniliklere bağlı yaşam kalitesinin artması endüstriyel, madeni, evsel, tarımsal alanlarda üretilen katı atıkların miktarında ve çeşidinde artışa katkı sağlamaktadır.

Endüstriyel atıkların alternatif yeni malzemelerin gelişiminde kullanılması veya hammadde olarak kullanımı düşük maliyet sağlayacağı gibi çevrenin korunmasını da beraberinde sağlayacaktır (Dhanapian vd., 2009a; 2009b).

3.3 Mermer Oluşum Yerlerine Göre Mermer Atık Çeşitleri

3.3.1 Ocaklarda Oluşan Atıklar

Mermer ocaklarında bulunan arızalar (fay, çatlak, yarık) blok üretimi sırasında blok elde edilmemesine dolayısıyla da irili ufaklı molozların açığa çıkmasına sebep olmaktadır. Bu tür mermer atıklarına ocağın jeolojik yapısına ve kristal yapısına uygun üretim yöntemi seçmemek, yani yanlış üretim metodu uygulamak atık oluşumuna sebep olur.

Ocaklarda mermer atıklarının oluşmasına diğer bir etken de sayalama işlemidir. Ocakların tektonik yapısına uygun olarak elde edilen çok büyük ve şekilsiz parçalar, çeşitli amaçlar için farklı yöntemlerde istenen ebatlarda alt, üst ve yanlardan kesilirler. Bu atıklara genel olarak pasa adı verilir. Ocak üretim miktarının yaklaşık %50'sini oluşturan bu atıkların tamamının değerlendirilmesi mümkün olmamakta, mermer ocak işletmelerinin etrafında bir taş toprak yığını olarak bekletilmektedir. Bu tip ocak işletmeleri, çevrenin özelliğine bağlı olarak olumsuz etki yaratmaktadırlar. Her işletme bazı estetik kayıpların yanı sıra çevrenin kendine özgü niteliklerinin de yok olmasına neden olur. Mermer ve taş ocaklarının potansiyel görsel etki kaynakları çizelge 3.1'de verilmiştir (Nicholson, 1995).

Çizelge 3.1 Mermer ve Taş Ocaklarında Görsel Etkinin Potansiyel Kaynakları
(Drew vd., 2002)

Ocak Yapısı	Hareketli Alanlar	Çeşitli kaynaklar	Diğer kaynaklar
Toprak ve dekapaj yığını (döküm sahası)	Ocak bağlantı yolları ve ana yollar	Hava kirliliği (toz ve gaz emisyonları)	Topografyadaki uzun sürede gerçekleşen değişimler
Kullanılmayan boyuttaki mermer artıkları		Toz birikintileri	
Stok alanları		Yollardaki çamurlar	
Ocak içi nakliyat yolları ve rampalar			
Ocak basamak şevleri			
Ocak içi su havuzu ve göleti			
Kullanılmayan ayna yüzeyleri			

Uluslararası kabullere göre açık ocak işletmeciliğinin yarattığı çevre zararları: Her tarafta bilinen, genellikle yöresel, zamanla sınırlı, korunma yöntemleri iyi bilinen zararlar olarak tanımlanmaktadır. Buna rağmen açık ocak işletmeciliğinin çevre tahribatının herkes tarafından görülebilme özelliğinden dolayı önemli ve tehlikeli olarak kabul edilir (Libicki, 1992).



Şekil 3.3 Atık mermer tozunun çevre üzerinde etkisi

3.3.2 Fabrikada Oluşan Atıklar

Fabrikada kesilen bloklardan belirli ebatlarda plakalar elde edilmektedir. Elde edilen bu plakaların baş kesme ve yan kesmelerde uygun ölçülerde boyutlandırma yapılır. Parlatma ve cilalama işlemlerine tabi tutulur. Bu işlemler sırasında çok küçük boyutta mermer tozu atıkları oluşmaktadır. Bu işlemler sulu olarak yapıldığında açığa çıkan artıklar su ile birlikte taşınmakta ve genellikle havuz yöntemi uygulanarak toplanmaktadır. Bu suyun geri kazanılması sonucunda artık tozlar elde edilmektedir (Şentürk vd., 1996).

3.4 Boyutlarına Göre Mermer Atıkları

3.4.1.Molozlar

Mermer ocaklarının jeolojik ve teknik yapısından kaynaklanan fay, kırık ve çatlaklardan dolayı blok üretimi sırasında ortaya çıkan şekilsiz ve çeşitli boyutlardaki mermer parçalarıdır. Küçük molozlar mozaik ve karo üretimi için kullanılmaktadır. Köşeleri kırık, delik kanallı, geometrik bozukluğu gibi görünür kusurları olan bloklarda molozlar sınıfına girer.

3.4.2 Kapaklar

Bunlar mermer işletme tesislerinde kesim sırasında alt ve yan kısımlarda kalan artıklar ile monolama ve monotel kesme sonucu oluşan atıklardır. Bu tip mermer atıklarının bir yüzeyleri düzgün olup iri boyutlu mermer parçalarıdır. Ayrıca ocaklarda, büyük blokların sayılanması sırasında alt, üst ve yan yüzeylerde açığa çıkan parçaları da kapak olarak isimlendirilir.

3.4.3 Paledyenler

Mermer işleme tesislerinde, ocaklardan getirilen bloklar katraklar ve S/T Makinesi yardımıyla plakalar halinde kesilirler. Kesilen bu plakalar yan kesme ve baş kesme makinelerinde maksimum alan edilecek şekilde boyutlandırılırlar. Bu boyutlandırma esnasında geriye kalan ve düzgün geometrik şekilde elde edilemeyen plakalara denir.

3.4.4 Tozlar

Mermer tozu, en küçük boyutlu mermer atıklarıdır. Mermer işleme tesislerinde blokların ve plakaların kesilmesi sırasında oluşan, öğütme işlemine tabi tutulmadan koloidal yapıda bulunan ve büyük çoğunluğu da 250 µm'nin altında olan mermer tanecikleridir. Kesme işleminde su kullanılması nedeniyle suyla birlikte çökeltme havuzlarına taşınır. Havuzlarda çökelen mermer tozu daha sonra atık sahalarına alınmaktadır.

3.5 Mermer Atıklarının Değerlendirme Alanları

Mermer atıkları inşaat sektöründe önemli kullanım alanları bulmaktadır. Bunlardan bazıları;

- Dolgu malzemesi olarak
- Mozaik üretiminde
- Asfalt, yol kaplamalarında, beton üretiminde
- Tuğla üretiminde
- Yer döşemesi ve duvar döşemelerinde
- Mıcır, paledyen, kireç üretiminde
- Sıvı harç, çimento üretiminde.

Mermer tozu beton agrega içerisine koyulduğunda geçirimsizliği azaltır, işlenebilirliği artırır, donma ve çözünme direncini artırır.

Gürer'e (2005) göre, dünya'daki çeşitli üniversitelerde ve sanayilerde toz mermer artıklarının değerlendirilmesi ile ilgili çalışmalar yapılmasına rağmen özellikle ocaklarda blokların çıkarılması sırasında meydana gelen parça mermer atıklarının değerlendirilmesi ile ilgili fazla çalışma bulunmamaktadır.

Mermer blokların çıkarılması ve blokların işlenmesi sırasında parça ve toz halinde olmak üzere iki tür atık oluşmakta ve bu atıklar çevrede çeşitli olumsuz etkilere neden olmaktadır. Parça (pasa) ve toz artıklar çeşitli şekillerde bir hammadde kaynağı olarak değerlendirilip, ekonomik katma değeri olan bir malzemeye dönüştürülebilir. Toz mermer artıklarının değerlendirilmesi ile ilgili çalışmalar yapılmasına rağmen özellikle ocaklarda blokların çıkarılması sırasında meydana gelen parça mermer atıkları yalnızca yollarda temel ve alt temel malzemesi olarak değerlendirilmektedir (Terzi ve Karaşahin, 2003).

Mermerlerin kesiminde soğutma suyu kullanıldığından ve toz bastırıcı olarak sulu kesim yapıldığından, mermer kesiminden çıkan ince boyuttaki parçacıklar başlangıçta ıslak olarak depo edilmekte veya doğrudan araziye bırakılmaktadır. Dolayısıyla çevre kirlenmesi söz

konusudur. Son yıllarda yapılarda mermerin kullanımı giderek artmaktadır. Mermere olan talebi karşılamak amacıyla, ülkemizdeki mermer işleme tesislerinin sayısında da göreceli olarak bir artış gözlenmektedir. Mermer işleme tesislerinin yoğunlaştığı bölgelerdeki mermer atık sahaları, kamuoyu gözünde çevre ve doğal güzele zarar verdiği gerekçesiyle tepkilere neden olmaktadır (Şentürk vd., 1996).

İnşaat alanında mozaik, yapıtaşı, çimento, harç ve sıva olarak kullanıldığı gibi kireç elde edilen en önemli hammaddelerden birisidir. Suni Mermer olarak da bilinen yer karolarının imalatında ana hammadde olarak doğal mermerler kullanılmaktadır. Uygun boyutlardaki mermer parçalarının bağlayıcılar ile beraber mermer, agregalı karo üretiminin temelini oluşturmaktadır. Mermer parçalarının yanı sıra % 10-12 oranında, boyutu 0.5 mm altında olan mermer tozu da kullanılmaktadır. Mermer atıkları inşaat sektöründe; sıva harcı karışımlarında, dolgu malzemesi olarak, mozaik üretiminde, kaplama ve döşemelerde, kireç üretiminde, mıcır olarak, paledyen olarak, kara ve demir yollarında, kullanım alanları bulunmaktadır (Ceylan vd., 2001).

Afyon-İscehisar bölgesi mermer atıklarının filler malzeme olarak yol betonlarda kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Yaptıkları çalışmada 3 farklı oranda hazırladıkları mermer tozlarını %60 asfalt içeren karışımlara ilave etmişlerdir. Yaptıkları çalışma sonucunda Afyon-İscehisar bölgesi mermer atıklarının yol betonlarında %80 mukavemet arttırdığını belirtmişlerdir (Terzi ve Karaşahin, 2003).

3.6 Mermer Atıklarının Parça ve Toz Halde Kullanım Alanları :

3.6.1 Parça Mermer Atıkları:

- Beton agregası
- Döşeme plağı agregası
- Sıkıştırılmış yol zemini
- Baraj ve İnşaatlarda dolgu malzemesi
- Demir yolu zemin malzemesi
- Paledyen-Yer döşeme malzemesi

3.6.1.1 Demir Yolu Zemin Malzemesi Olarak Kullanımı:

Demir yoluna sağlam bir zemin oluşturmak için öncelikle zemine balast denilen yeterli sağlamlıkta ve boyutlandırılmış granül taş döşenir. Böylece demir yolu üzerindeki yükler rahat bir şekilde karşılanırken, demir yolları yapı malzemeleri olan travers ve raylar suyun etkisinden korunmuş olur.

3.6.1.2 Agregas İçerisinde Kullanımı

İnşaat endüstrisi de hammadde kullanımının en yoğun olduğu alanlardan biridir. Altyapısını henüz tamamlayamayan ülkemizde her yıl yeni yollar planlanmaktadır. Yollarda kullanılan asfalt kaplamaların % 90'dan fazla bir kısmını agregalar oluşturmaktadır. Yeni üretilen bir agreganın hazırlanmasında doğal çevreye verilen zarar dışında çok büyük oranda enerji harcanması gerekmektedir. Buda malzemenin çok pahalıya mal olmasına neden olmaktadır. Agregas üretiminde bu yüksek maliyeti azaltmak için yapılan çalışmaların başında yol kaplamasından kazınılan malzemenin tekrar kullanılarak maliyetin azaltılması gelmektedir.

Üretim aşamasında meydana gelen ve önemli bir çevre sorununa neden olan mermer toz atıkları (mermer çamuru) yol temel ve temel altında oluşturulan katmanlarda rahatlıkla kullanım imkanı bulmaktadır (Akbulut ve Gürer, 2003).

3.6.2 Mermer Atıklarının Toz Halde Kullanımı

- Zirai kireçtaşı-Zirai toprak ve zemin ayarlayıcı
- Yem ve mineralli besinler
- Sıva katkı malzemesi
- Çimento üretimi
- Kireç üretimi
- Kalsine dolomit üretimi
- Cüruf yapıcı malzeme
- Refrakter malzeme
- Asit nötrleştirmede
- Cam üretiminde

- Kağıt üretiminde
- Şeker rafinasyonunda
- Baca gazından kükürdün gideriminde
- Karo ve tuğla üretiminde

3.6.2.1 Seramik Sektöründe Kullanımı

Geleneksel seramik bazlı malzemelerin heterojenliği onları pek çok atıkla son üründe küçük fedakarlıklar göz önüne alınarak karışmasına uyumlu hale getirir. Bu şekilde atığı ortadan kaldırma işi de kolaylaşır. Bu yüzden karo ve tuğla yapımında endüstriyel atık ile seramik hammaddeyi birleştirmek yaygınlaşmıştır. Her halükarda doğal kaynakların gittikçe azalması bazı endüstriyel atıkların değerlendirilmesinde ve bunların doğal hammaddelere alternatif olmasında yeni fikirler ortaya atmaktadır. Çalışmalar hali hazırda karo yapımında kullanılan kil bazlı karışımların kesim esnasında ıskartaya çıkmış granit ve mermerle karıştırılmasıyla özellikleri çok farklı malzemeler ortaya çıkardığını göstermektedir. Kil ürünleriyle atığın karıştırılıp tek eksenli preslenip fırında sinterlenmesiyle farklı özelliklerde malzemeler elde edilmektedir. Çalışmalar sıcaklığı düşürmek suretiyle özelliklerin değişimini inceler (Segadaes vd., 2005).

Seramik sanayinde %5-6 oranında mermer kullanılmaktadır. Seramik bünye ve sırlarında CaO olarak bünyeye alınan hammadde kaynakları genel olarak kalsit, dolomit ve mermerdir. Karışık ve kalsitli akçini çamurlarının mineralojik bileşiminde %5-20 arasında CaCO_3 kullanılmaktadır. Bu CaCO_3 çok ince öğütülmüş mermer halinde bileşime katılır. İri taneli ve iyi dağılmamış kalsit çamur içinde hatalara yol açar. Özsüz seramik hammaddesi olan kalsit türleri seramik çamurunda artan sıcaklık ile birlikte gözenekliliği azaltır. CaO sırda iki SiO_2 ile reaksiyona girerek bir ara tabaka oluşturur. Bu ara tabaka seramik teknolojisinde çok önemlidir. CaO sır içindeki diğer oksitlerle birleşerek cam oluşumuna yardımcı olmaktadır.

3.6.2.2. Çimento İmalat Sanayinde Kullanımı

Çimento; CaO, SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 ve eser halde MgO içerir. Esas itibarıyla kalker ve kil karışımı olan, klinkerleşme sıcaklığına kadar ısıtıldıktan sonra, gerektiğinde alçı vb katkı maddeleri karıştırılıp öğütülerek toz halinde elde edilen bir malzemedir. En önemli özelliği %11-15 su ile karıştırıldığı zaman belli bir süre sonra sertleşerek karışımdaki diğer malzemelerin birbirine bağlanmasını sağlar. Çimento sanayinde çok miktarda CaCO_3 bileşimli hammaddeler kullanılır. Mermer atıkları hem NPC klinkeri üretimi hem de beyaz

Portland çimentosu üretiminde kullanılmaktadır. Normal Portland çimentosu bileşimindeki kalker yerine hammadde olarak mermer, kil yerine de kaolen kullanılmasıyla beyaz Portland çimentosu elde edilmiş olur (Şentürk vd., 1996).

3.6.2.3 Kireç Üretimde Mermer Tozu Kullanımı

Mermer atık tozları ile kireç ve dolomitik kireç olmak üzere kalsinasyon ürünleri elde edilebilmektedir. CaO miktarı yüksek karbonatlı atıklardan ve kireç taşlarından üretilmektedir. Kirecin üretildiği kireç taşları ve mermer atık tozları CaCO_3 ısı ile CaO ve CO_2 'ye dönüştürülür. CaO, H_2O ile birleşerek Ca(OH)_2 oluşturulur. Ürün tekrar CO_2 ile reaksiyona girdiğinde kireç oluşumu tamamlanır.

3.6.2.4 Plastik Sanayinde Kullanımı

Plastik malzemelere kalınlık ve tokluk vermesi amacıyla çeşitli dolgu maddeleri katılmaktadır. Bu dolgu maddeleri, mermer tozu, odun tozu ve asbest tozudur.

3.6.2.5 Kağıt Sanayinde Kullanımı

CaCO_3 özellikle sigara kağıdı başta olmak üzere gazete kağıdı, dergi kağıtları üretiminde kullanılmaktadır. Yağ emme özelliğinden dolayı matbaa mürekkebinin hızlı kurumasını sağlamaktadır. Kağıt sanayinde dolgu veya kaplama malzemesi olarak kullanılmaktadır. CaCO_3 veya MgCO_3 kullanılması kağıdın daha düzenli yanmasını sağlamaktadır. Bununla birlikte CaCO_3 ile yapılan kağıtlar daha dayanıklı olmaktadır. Kağıt imalatında selülozun pişirilmesi sırasında sıvının hazırlanmasında mermer kullanılmaktadır. Pişirme sıvısı, kireç taşı ile SO_2 arasında oluşan reaksiyon sonucu meydana gelir.

3.6.2.6 Sır Endüstrisinde Kullanımı

Mermer atık tozları, bünyesindeki CaO ve SiO_2 yüzdelere bağlı olarak sır hammaddesi olarak kullanılabilir. Sır üretiminde bünyede bulunan silika miktarı arttıkça sıran pişirilme sıcaklığı artmaktadır.

3.6.2.7 Cam Sanayinde Kullanımı

Cam üretiminin ana hammaddelerinden biri CaO'dur. Bu amaçla mermer atık tozları kalsine edilerek cam sanayinde değerlendirilebilmektedir. CaO olarak değerlendirilecek mermer atık tozlarının bünyesinde aşırı miktarda organik maddeler bulunmamalıdır. Bünyedeki organik maddelerin yanında cam renklendirici demir oksit içeriği %0,1'in altında olmalıdır. Silis miktarı önemli bir değişken olmamaktadır. Demir oksitler manyetik ayırıcılar ile temizlenir.

Ayrıca %1'den daha az silis içeren kireç taşları ve mermer atıkları, camın bünyesindeki Fe_2O_3 içeriğini %0.1'den daha aşağıya düşürmek için ayarlayıcı hammadde olarak kullanılır.

Magnezyum ve kalsiyumca zengin kireç taşları kullanılır. Kalsiyumca zengin olan malzeme şişe ve pencere camı Magnezyumca zengin olanlar özel cam imalinde kullanılırlar.

3.6.2.8 Kimya Sanayinde Kullanımı

Karpit yapımında kullanılır. Karpit elektrik fırınlarında kireç taşı ve kok kömürlerinin şarjı sonucu elde edilir. Kimya sanayi için kullanılacak kireç taşı mümkün olduğunca saf olmalıdır.

3.6.2.9 Tarım Sektöründe Kullanımı

Asidik özellikli topraklarda yetiştirilen ağaç ve bitkilerden (findık, mısır gibi) etkin ürün alabilmek için toprağın kalsiyum ihtiyacının karşılanması gerekmektedir. Bu maksatla kalsiyumlu gübre eldesi için CaCO_3 , CaMgCO_3 , Ca(OH)_2 , CaO veya kalsiyum silikatlar kullanılmaktadır. Mermer toz atıklarından zirai standartlara bağlı olarak belirli bir ince boyut ve kimyasal olarak en az %80 CaCO_3 olması arzu edilmektedir (Şentürk vd., 1996).

3.6.2.10 Hayvan Yemi Üretiminde Kullanımı

Mermer toz atığı, hayvan yemi olarak Türk standartlarında TS 860 a göre uygun olduğunda kullanılabileceği belirtilmektedir. Mermer tozlarının belirli bir ince boyutta ve en az %92 CaCO_3 içermesi gerekmektedir. Ayrıca TS 8599 a göre hayvan yalama taşarının içerisine en az %10 kalsiyum veya en az %25 CaCO_3 ilavesi istenmektedir. Mermer toz atığı burada değerlendirilebildiği gibi TS 9699 da standart yumurta yeminden olması gereken %10-12'lik CaCO_3 hammaddesi olarak kullanılabilir (Şentürk vd., 1996).

3.6.2.11 Boya Üretiminde Kullanımı

Boya imalatında dolgu maddesi olarak çok saf ve beyaz olması nedeniyle daha çok kalsit kullanılmaktadır. Ancak renk ve görünümde fazla hassasiyet gerektirmeyen boyaların imalatında molozlardan elde edilecek mermer tozu veya fabrikalardan çıkan kesim toz atıklar, dolgu maddesi olarak kullanılabilir.

3.6.2.12 Çelik Üretiminde Kullanımı

Çelik üreticileri, maksimum %3 MgCO_3 ve %0.04 S içeren mermer atık tozlarının cüruf yapıcı olarak çelik üretiminde kullanmıştır. Daha sonra çelik üreticileri bu standardı iyileştirerek, şu andaki mermer atık tozlarının çelik üretiminde cüruf yapıcı olarak

kullanılabilmesi için maksimum %1.5 $MgCO_3$ ve %0.025 S içermesi gerektiğini belirtmişlerdir. Düşük silis içerikli mermer atıkları demir cevherlerinin metalürjik ergitmesinde, cüruf yapıcı olarak kullanılmaktadır. Bu tür atıklardan maksimum %8 SiO_2 içermesi beklenmektedir (Şentürk vd., 1996).

3.6.2.13 Asfalt İçinde Mermer Atıklarının Dolgu Maddesi Olarak Kullanımı

Terzi ve Karaşahin'e (2003) göre Afyon-İscehisar bölgesi mermer atıklarının filler malzeme olarak yol betonlarda kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Yaptıkları çalışmada 3 farklı oranda hazırladıkları mermer tozlarını %60 asfalt içeren karışımlara ilave etmişlerdir. Yaptıkları çalışma sonucunda Afyon-İscehisar bölgesi mermer atıklarının yol betonlarında %80 mukavemet arttırdığını belirtmişlerdir.

Asfalt karışımı içerisine, %90 agrega, kum ve dolgu maddesi koyulur. Burada agrega olarak parça mermer atığının kullanımı mevcuttur (Akbulut ve Gürer, 2007).

3.6.2.14 Diğer Kullanım Alanları

Bu alanlar dışında soda imalinde, refrakter malzeme imalinde, oto lastiği imalinde, patlayıcı malzeme imalatında, temizlik malzemeleri, böcek öldürücü ilaçlarda kullanılır. Ayrıca madencilik yer altı işletmeleri, cüruf yapıcı, flotasyon, kalsine dolomit üretiminde kullanılmaktadır (<http://www.ito.org.tr/dokuman/sektor/1-64.pdf>).

4. MERMER ATIKLARININ YAPI MALZEMESİ OLARAK KULLANIMI

4.1 Mermer Atık Tozlarının Tuğla Üretiminde Kullanımı

Kil çok bulunan bir mineral çeşididir, sadece toprağın önemli bir bileşeni değil aynı zamanda insanoğlunun çanak çömlek, tuğla ve karo üretimi için kullandığı en eski ve en önemli hammaddedir. Killer özetle ince taneli (0.2 μm), suyla karıştırıldıklarında kolayca şekil alabilen ve pişirildiğinde mukavemet gösteren malzemeler olarak bilinir. Dünyada hemen hemen her ülkede kil kaynakları bulunur ve seramik, kağıt, silgi kimyasal endüstride sıkça kullanılır. O, Si ve Al yer kabuğunun % 82 sini oluşturur bu yüzden silika ve alümina silikaların çok rastlanan bileşikler olması şaşırtıcı değildir. Fe 4. sırada yer alır ve pek çok alümina silikat bileşiğinin vazgeçilmez bileşeni durumundadır. Herhangi bir kil bazlı malzemede Fe, pişme sıcaklığı, pişme atmosferi ve renklendirici olarak özellikle önemlidir. Kil ayrıca küçük miktarda feldspat, karbonat, Ti, Mg, Mn, oksitler, çözünebilir tuzlar ve organik maddeler içerir. Bu heterojen yapısı sayesinde içerisine çok çeşitli atık malzemeyi karıştırmak mümkündür (Ferreira vd., 2003).

4.2 Mermer Atıklarının Suni Mermer Üretiminde Kullanımı

Mermerit veya suni mermer plağı olarak isimlendirilen istenilen büyüklükte, renk, sertlik, cilalanabilirlik, dayanıklılık vb. yüzey özellikleri kazandırabilmek için çeşitli mermerlin suni veya tabii olarak parçalanması ile elde edilmiş farklı büyüklükteki taneler kullanılarak, gerektiğinde renk maddesi de ilave edilen su emmesi düşük görünen yüzeyin aşınması az cilalanabilirliği yüksek döşeme plağı olarak tanımlanmaktadır. Kırma öğütme yapılır ve renklerine göre gruplandırılır. Uygun bağlayıcı seçilerek karıştırılır ve istenen şekle göre kalıp içine dökülür daha sonra bağlayıcının cinsine bağlı olarak farklı koşullarda preslenir. Bağlayıcı olarak farklı reçine veya çimento çeşitlerini kullanmak mümkündür. (kitap) Sıcak pres ya da sertleştirici malzeme ile soğuk pres uygulamak mümkündür. Son ürünün kalitesini kalıp etkiler. Uygun kalıp seçimi önemlidir. Mamullerin üzerine istenilen renklendirme ve yüzey işlemi yapılarak çok çeşitli ürün elde edilebilir. Günümüzde heykel üretiminden, karo, mutfak tezgahı ve yalıtım malzemesine kadar pek çok üretim mevcuttur (Bilgin ve Yüçetürk, 2009).

Mekanik dayanımları yüksektir. Farklı kimyasal ve sıcaklık şartlarına dayanıklıdır. Son derece sağlıklı ve albenisi olan homojen yapıları malzemelerdir. Çoğu zaman doğal mermer veya granite göre daha elastik ve mekanik olarak da daha dayanıklıdır.

Yapay mermer için kullanılacak malzemelerin renkleri, farklı pigmentler kullanılarak

doğadaki canlılıkta, her renkte yapı malzemesi üretilebilmesine imkan vermektedir. Renkli yapay mermer üretiminde kullanılacak pigmentlerin inorganik kökenli olmasına dikkat edilmelidir. Yapay mermer üretimini olumsuz etkileyebileceğinden, kullanılan pigmentin malzeme ağırlığının % 6'sını aşmamasına dikkat edilmelidir. Yüzeyi dış etkenlerde korumak için jelkot kullanılabilir. Ayrıca doğal taşlar gibi kırılğan değildir (Bilgin vd., 2010).



Şekil 4.1 Yapay mermer ile yapılmış yer döşemesi (<http://www.aldonchem.com/section-materials.htm>)

Yapay mermerin yüzeyi geçirimsiz ve gözeneksiz olduğundan dolayı, bakteri ve mikroorganizma barındırmaz. Bu açıdan da oldukça sağlıklıdır. Geniş bir sıcaklık spektrumu arasında kullanımı mümkündür. (-35 °C ile 230 °C arasında) Isı iletimi minimum düzeydedir. Renk ve desen olarak sınırsız bir zenginlik sunmaktadır. Her şekil ve ebatla kalıplanarak üretim yapılabilmektedir. Kullanım alanları şöyle sıralanabilir;

- Evlerde mutfak ve banyolarda,
- Hastanelerde,
- Laboratuvarlarda,
- Karşılama bankolarında,
- Lokantalarda,
- Otellerde,
- Okullarda,
- Yat ve teknelerde

4.2.1 Yapay Mermer ile Mermer Arasındaki Farklar

Yapay mermer ve doğal taşlar arasındaki farklar şöyle sıralanabilir;

- Yapay mermer hafiftir, mermer ise ağırdır.
- Doğal mermer montajsız tek parçadır, yapay mermer ise montajlı çok parçalıdır.
- Yapay mermer üretimi hızlıdır, doğal mermer üretimi ise yavaştır.
- Yapay mermer özel ebat ve şekillerde kolayca üretilebilir.
- Yapay mermerlerde atık kalmaz. Doğal mermerlerde ise özellikle blok verimi düşük ise çok fazla atık oluşur.



Şekil 4.2 Yapay mermer ile yapılmış bir lavabo

Mermer atığından yararlanılmasını engelleyen faktörler şu şekilde sıralanabilir

- Stoklama ve taşıma problemleri
- Toz kalitesinin değişkenliği, kullanıma değer tozların belirlenmesinin zorluğu
- Destekleyici, girişimci cazip hale getirici koşul ve kurumların eksikliği
- Mühendislik hizmetlerinin eksikliği
- Araştırma geliştirme desteklerinin ve ilave programların eksikliği

5. ATIK YÖNTEMİ İÇİN TAVSİYELER

Öncelikle atık oluşumunu asgariye indirmek amaçlı minimum kalınlıklı testereleler kullanılmalıdır ya da daha yeni teknolojiler ortaya atılmalıdır. Fabrikadan çıkan atık suyun çok iyi biçimde filtrelenip daha sonra araziye bırakılması gerekir. Bunun dışında kalan atıklar için de değerlendirme çalışmaları yapılması gerekmektedir.

Atık yönetimi açısından laboratuarlara bu seviyede farklı çözümler üretmek için çok iş düşmektedir. Gelir seviyesi yüksek teknolojiler için destek verilmeli ve bu ürünler cazip halde piyasaya sunulmalıdır. Şirketlerin ar-ge çalışmalarına önem vermeleri gerekmektedir (Vijayalakshimi vd., 2001).

Ülkemizde yılda yaklaşık olarak 2 200 000 ton mermer blok işlendiği düşünülürse, 660 000 ton mermer tozunun değerlendirilmeden atıldığı söylenebilir. Böyle bir potansiyeli sanayide değerlendirmek ulusal ekonomiye önemli kazanımlar sağlayacaktır. Literatür bilgilerinde ve dünyadaki bazı uygulamalarda gerek mermer tozlarının gerekse mermer toz atıklarının seramik, çimento, boya, cam, yapı malzemesi gibi birçok sektörde değerlendirilme çalışması olmakla birlikte, ülkemizde bu konuya yönelik yaygın uygulamalara rastlanmamaktadır (Beycioğlu vd., 2008).

Gelecekte mermer atıklarının bir atık olmaktan çıkıp alternatif yeni bir malzeme olması imkansız değildir. Durum ehemmiyeti fark edilip büyük çaplı uygulamaları amaçlayan teknolojilere destek verilmelidir. Sorunla ilgili yalnızca gelişmiş ülkeler değil gelişmekte olan ülkeler tarafından da harekete geçilmeli, ilgili kanunlar ve yasalarla yönetimlerce desteklenmelidir (Vijayalakshimi vd., 2001).

Yıllık ortalama 1.000.000 ton mermer atığı oluşmaktadır. Bu atık nedeniyle İtalya gibi bazı ülkeler mermer üretimlerini sınırlamak zorunda kalmışlardır. Ülkemizde de çevre kuruluşlarıyla, mermer işletmecileri arasında bu konu ile ilgili problemler başlamıştır (Burdur valiliği, 2006). Sürekli arttığı için depolanması işletmeler için mümkün olmayan bu atığın değerlendirilmesi; çevre sağlığı, çevre temizliği ve ekonomik açıdan büyük bir kazanç olacaktır. Beton, birçok avantajı olan ve dünyada en çok kullanılan yapı malzemesidir. Bu özellik dikkate alındığında, büyük miktarlardaki atık mermer tozunun, beton ve çimento esaslı diğer ürünlerde kullanılması, çevreye ve ekonomiye katkı sağlayacaktır (Alyamaç ve İnce, 2007).

Mermer tozu, kâğıt sanayi, boya sanayi, plastik sanayi, seramik endüstrisi, cam sanayi, tarım sektörü, hayvan yemi üretimi, kireç ve çelik üretimi gibi birçok alanda kullanılabilmektedir

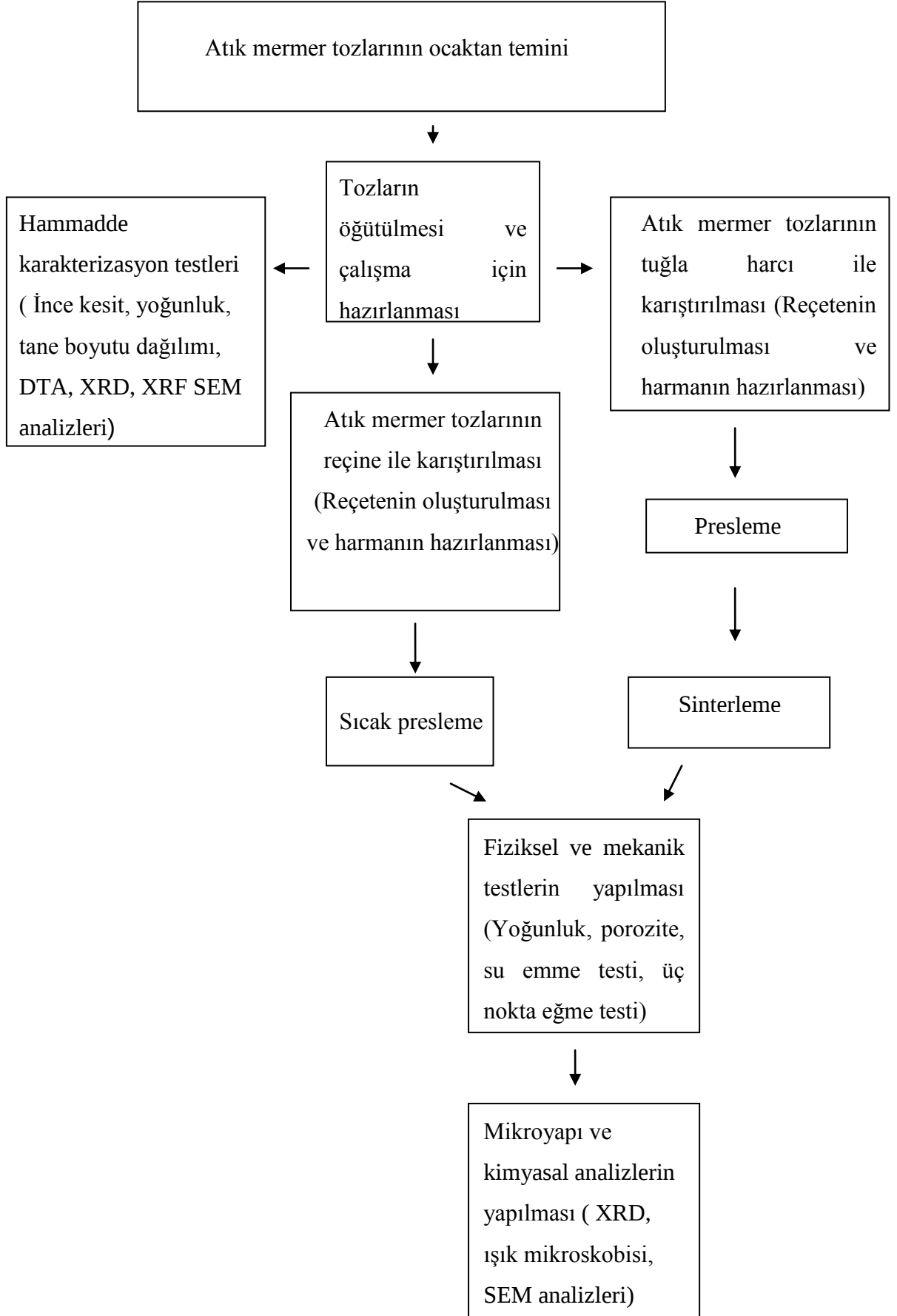
Ancak bu alanlarda, mermer tozu genellikle bazı fiziksel ve kimyasal işlemler uygulanarak kullanılabilir. Bu da üreticiye ekonomik bir yük getirmektedir. Ancak mermer tozu çimento esaslı ürünlerde kullanılmadan önce sadece kurutulacak ve az bir fiziksel kuvvetle toz haline getirilecektir. Bundan dolayı inşaat sektöründe kullanımı daha ekonomik olmaktadır (Ağdağ ve Kırımhan, 1999).

Mermer ocak ve mermer işleme tesislerinde oluşan artıkların değerlendirilmesi, mermer artıklarının çevresel etkisi, kapanan mermer ocaklarının rehabilitasyonu, bölgenin blok ve işlenmiş ürün potansiyeli, mermer ocaklarında ve fabrikalarında verimlilik, küresel kriz ve doğal taş sektörü konuları ayrıntılı olarak işlenmiştir. İki gün süren sempozyumda doğal taş sektöründe ocaklarda ve işleme tesislerine artık oluşumun kaçınılmaz olduğu belirlenmiştir. Oluşan artıkların azaltılması için yeni teknolojiler ve uygun kesme ve işleme yöntemlerinin faydalı olacağı sonucuna varılmıştır. Kaçınılmaz olarak ortaya çıkan artıkların inşaat sektöründe tuğla yapımında, agrega üretiminde, asfalt üretiminde, fren balatası üretiminde, toprak ıslahında değerlendirilebilecekleri ortaya konulmuştur. Terk edilen mermer sahalarının yeniden düzenlenerek doğaya kazandırılabilmesi ifade edilmiştir. Mermer artıklarının değerlendirilmesi ile ilgili yapılan tüm bilimsel çalışmalara rağmen bu konuda önemli bir ilerleme sağlanamamasının temel nedeni, bu konuda zorlayıcı yasal düzenlemelerin yapılamamış olmasıdır. Gerekli yasal düzenlemeler bir an önce yapılarak hayata geçirilmelidir (Singh, 2009).

6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

6.1 Giriş

Bu çalışmada ülkemizin Akdeniz bölgesinde yer alan Isparta-Senirkent ve Burdur yöresinde bulunan 3 farklı mermer ocağından atık mermer tozu numuneleri alınmış, karo ve tuğla üretiminde kullanımı araştırılmıştır. Çalışmalar 3 bölüm altında toplanmıştır. İlk olarak deneylerde kullanılan atık mermer tozları ve tuğla harcının karakterizasyon çalışmaları yapılmıştır. İkinci kısımda atık mermer tozları ile toz reçinenin karıştırılıp preslenmesiyle karo üretilmiş ve üretilen karonun özelliklerinin fiziksel, mekanik özellikleri incelenmiştir. Çalışmanın üçüncü kısmında ise atık tozlar ticari tuğla harcı ile belirli oranlarda karıştırılarak preslenerek ve sinterlenmiş ve üretilen numunelerde fiziksel, mekanik ve kimyasal testler yapılarak özellikleri incelenmiştir. Deneysel çalışmalar Şekil 6.1’de verilen şemada özetlenmiştir.



Şekil 6.1 Deneysel çalışmalar akış şeması

6.2 Genel Esaslar

6.2.1 Cihazlarla ve Yapılan Testlerle İlgili Detaylar

- Atık mermer tozu numuneleri Süleyman Demirel Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Pomza Araştırma Laboratuvarında çeneli kırıcı ve karpit öğütücü sistemli halkalı değirmen kullanılarak öğütülmüştür.
- Atık tozların piknometre ile yoğunluk ölçüm deneyi Yıldız Teknik Üniversitesi Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü Kimyasal Analiz Laboratuvarında yapılmıştır.
- Atık tozların tane boyutu analizleri Yıldız Teknik Üniversitesi Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü Nanoteknoloji Laboratuvarında bulunan BT-9300H marka Lazer Partikül Ölçüm cihazı kullanılarak yapılmıştır.
- Öğütülen numunelerin Süleyman Demirel Üniversitesi, Jeotermal Enerji, Yeraltı suyu ve Mineral Kaynakları Araştırma ve Uygulama Merkezinde XRD, DTA'ları çekilmiş ve ince kesitleri alınarak polarizasyon mikroskop ile mikroyapıları incelenmiştir.

Aşağıda sıralanmış diğer tüm deneyler TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi Malzeme Enstitüsünde yapılmıştır:

- Kullanılan ticari tuğla harcının XRD, XRF ve DTA analizi X-ışınları laboratuvarında yapılmıştır.
- Kullanılan ticari tuğla harcının tane boyut ölçümü seramik test laboratuvarında yapılmıştır.
- Atık mermer tozları Kompozit Araştırma Laboratuvarında reçine ile karıştırılıp, sıcak pres ile preslenmiştir.
- Reçine karışımı numunelerin Seramik Laboratuvarında Arşimed deneyi ile yoğunluk, su emme, gözenek miktarı analizleri yapılmıştır.
- Basılan reçine karışımı numuneler Seramik Laboratuvarında uygun boyutlarda kesilmiş ve Mekanik Laboratuvarında eğilme mukavemetleri ve sertlikleri ölçülmüştür.
- Preslenen reçine karışımı numuneler Metalografi Laboratuvarında bakalit içine alınıp, parlatılmış ve ışık mikroskobisi çalışması yapılmıştır.
- Reçine karışımı numunelerin Seramik Proses Laboratuvarında ısı iletkenlik testi

yapılmıştır.

- Reçine ile karıştırılan numunelerin, SEM laboratuvarında taramalı elektron mikroskobu incelemeleri yapılmıştır.
- Atık mermer tozları, ticari tuğla harcı ile belirli oranlarda karıştırılıp Seramik Laboratuvarında hidrolik pres ile basılmıştır. Preslenen numuneler farklı sıcaklıklarda sinterlenmiştir.
- Preslenen numunelerin sinterleme öncesi ve sonrası, boyut ve ağırlık ölçümleri ile sinterleme boyut ve ağırlık değişimleri hesaplanmıştır.
- Ticari tuğla harcı ile karıştırılmış numunelerin yoğunluk, porozite ve su emme testleri Seramik Laboratuvarında yapılmıştır.
- Ticari tuğla harcı ile karıştırılan, preslenen ve sinterlenen numunelerin Mekanik Laboratuvarında üç nokta eğme cihazıyla eğilme mukavemetleri ölçülmüştür.
- Tuğla harcı ile karıştırılan numunelerin XRD analizi X-ışınları Laboratuvarında yapılmıştır.
- Ticari tuğla harcı ile karıştırılan, preslenip sinterlenen numunelerin SEM laboratuvarında Taramalı Elektron Mikroskop incelemeleri yapılmıştır.

6.2.2 Hammadde Temini

Bu çalışmada kullanılan hammaddeler; atık mermer tozu, reçine ve ticari tuğla harcıdır Atık mermer tozları 3 farklı ocaktan temin edilmiştir. Tozlara BN1, BN2 ve BN3 kodları verilmiştir. BN1 ve BN2 numuneleri Burdur yöresinden BN3 ise Isparta Senirkent yöresinden alınmıştır (Çizelge 6.1). Numunelerin mineralojik incelemesi Bölüm 2.4.1’ de verilmiştir, Toz reçine Çukurova Kimya Endüstrisi A.Ş’den temin edilmiştir. Ürün tipi toz novalak reçinedir. Kuru ortamda 20 °C de 6 ay stok ömrüne sahiptir. % 22 serbest fenol, %8.96 hekzamin içerir. Akma mesafesi 46 mm’ dir. Yumuşama noktası 90 °C dir. 63 mikron elek altı oranı %98’dir. Ticari tuğla harcı ise Işıklar Tuğla A.Ş’ den temin edilen, normal kırmızı pres tuğla harcıdır.

Çizelge 6.1 Atık tozların temin edildiği ocakların koordinatları

Ocak Adı	Numune No	Mevkisi	Koordinatları (Enlem x Boylam)
Antalya Mermer (Burdur)	BN-1	Burdur Karamanlı Yolu Üstü	240879 x 4158971
İzgi Mermer (Burdur)	BN-2	Burdur Karamanlı Yolu Kavşağı	240037 x 4158096
Çiftçiler Mermer (Senirkent Isparta)	BN-3	Uluğbey Köyü Yakını	282576 x 4223628

Atık mermer tozlarının ve kullanılan tuğla numunesinin özelliklerini incelemek amacıyla fiziksel, mekanik ve kimyasal deneyler yapılmıştır. Testler ve sonuçları aşağıdaki gibidir.

6.3 Genel Çalışmalar

6.3.1 Hammaddelerin Çalışma İçin Hazırlanması ve Karakterizasyon Testleri

6.3.1.1 Atık Mermer Tozlarının Öğütülmesi ve Karakterizasyon Testleri

Bu çalışma için kullanılacak mermer tozlarının homojen bir yapıda olması ve ince boyutlu olması için öncelikle temin edilen doğal taşlar öğütülmüştür. Öğütme için Fritsch marka çeneli kırıcı ve Pulverisette 9 karpit öğütücü sistemli halkalı değirmen kullanılmıştır. Numuneler önce çeneli kırıcıda 1 cm'den daha ince boyuta gelinceye kadar kırılmıştır. Daha sonra kırılan bu örnekler, karpit öğütücü sistemin diskleri arasına homojen bir şekilde dağıtılarak, örneklerin ortalama sertliklerine göre belli bir devir ve süre ayarlanmış ve halkalı değirmende öğütülmüştür. Titreşimli değirmen ufalanmış kayaç parçalarını, öğütücü aparat yardımıyla toz haline getirmiştir. Elde edilen toz boyutu 40 µm'den küçüktür.



Şekil 6.2 Öğütme makinesi

6.3.1.1.1 Tozların Yoğunluklarının Ölçülmesi

Piknometre ile yoğunluk ölçümü yapılmıştır. Muayene sıvısı olarak yoğunluğu 1 gr/cm² olan destile su kullanılmıştır. Test 3 defa tekrarlanıp, ortalama değerler alınmıştır.

6.3.1.1.2 Tane Boyutu Analizi

Atık mermer tozlarının tane boyutu BT-9300H marka tane boyutu ölçüm cihazı ile ölçülmüştür. Ölçüm sıvısı olarak indisi 1 olan destile su kullanılmıştır. Toz ve suyun karışımı için 5'er dakika beklenmiştir. Numunenin % 100 kalsit olduğu kabul edilerek, ölçüm yapılmıştır. Test her numune için 5 defa tekrarlanmıştır.

6.3.1.1.3 Diferansiyel Termik Analiz (DTA)

Numunelerin farklı sıcaklıklarda verdikleri endotermik ve ekzotermik reaksiyonların belirlenmesi için diferansiyel termal analiz Perkin-Elmer Diamond TG/DTA cihazında yapılmıştır.

6.3.1.1.4 X-Işınları Difraksiyonu Analizi (XRD)

Panalytical PW3040/60 X'PERT PRO model XRD cihazı ile numunelere gönderilen belirli dalga boyundaki x-ışınlarının, numune atom düzlemlerinden difraksiyonu ile faz karakterizasyonu yapılmıştır.



Şekil 6.3 DTA Cihazı

6.3.1.1.5 İnce kesit alma ve polarizan mikroskop ile görüntü analizi

Numunelerin 30 µm kalınlıkta ince kesitleri yapılarak Olympus BX 51 polarizasyon mikroskop ile 10X, 20X ve 100X'de görüntüler alınmıştır.



Şekil 6.4 İnce kesit alma cihazı

6.3.1.1.6 Taramalı Elektron Mikroskopisi (SEM)

Çalışmada kullanılan mermer tozu atıkların JEOL JSM 6335F FEG-SEM marka taramalı elektron mikroskobu kullanılarak 20 KV’ de SEM analizleri yapılmıştır. 20X, 100X, 500X, 1500X büyütmelerde görüntüler alınmıştır.

6.3.1.2 Tuğla Harcı Üzerine Yapılan Karakterizasyon Çalışmaları

6.3.1.2.1 X-Işınları Difraktometre ve X-ışını Spektrometre Analizleri

SHIMADZU XRD-6000 cihazı ile Cu X-Işını tüpü ($\lambda=1.5405 \text{ \AA}$) kullanılarak, tuğla harcının XRD ve kalitatif faz analizi yapılmıştır. Çekim $2 \text{ }^{\circ}\text{C/dk}$ hızla yapılmıştır. Havan içerisinde öğütüldükten sonra cihaza koyulmuştur ve çekim yapılmıştır. Philips PW 2404 model WDXRF cihazla yapılan X-ışınları spektrometre analiziyle ise elemental kompozisyon belirlenmiştir. Bu cihazda oksijenden uranyuma kadar olan elementler tanımlanabilmektedir.

6.3.1.2.3 Diferansiyel Termal Analiz İncelemesi (DTA)

Yaklaşık 10 gr tuğla harcı numunesinin Seiko Exstar 6300 TG/DTA cihazıyla diferansiyel termal analizi yapılmıştır. $1200 \text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklığa $10 \text{ }^{\circ}\text{C /dk}$ hızla çıkılmıştır. Azot ortamı kullanılmıştır.

6.3.1.2.4 Tane Boyutu Analizi

Tuğla harcının tane boyutu Mastersizer-x tane boyut dağılım cihazı ile ölçülmüştür. Cihaz kuru tozlarda, emülsiyonlarda, süspansiyonlarda ve sıvılardaki tanelerde lazer difraksiyon

yöntemiyle tane boyut dağılım analizi yapmaktadır. Ölçüm aralığı 0.1-600 μm 'dir. Ölçüm sıvısı olarak su kullanılmıştır.

6.3.2 Mermer Tozu ve Reçine Karışımı Laboratuvar Çalışmaları

- Atık mermer tozları ilk olarak reçine ile belirlenen oranlarda karıştırılıp, sıcak preslenmiştir.
- Preslenen numunelere yoğunluk, porozite ve su emme incelemeleri için Arşimed deneyi yapılmıştır.
- Numuneler 3 nokta eğme testi için uygun boyutlara getirmek amacıyla kesilmiştir.
- Üç nokta eğme testi ardından kırık numuneler üzerinde, sertlik deneyi yapılmıştır. Bazı numunelerin çok yumuşak olması nedeniyle kompozitler için tercih edilen Barcol yöntemi kullanılmıştır.
- Numuneler bakalit içerisine alındıktan sonra, ışık metal mikroskop altında mikro yapıları incelenmiştir.
- Numunelerin oda sıcaklığında ısı iletim katsayısı ölçülmüştür.
- Numunelerin kırık yüzeylerinden taramalı elektron mikroskobu incelemesi yapılmıştır.

6.3.2.1 Kullanılan Hammaddeler ve Reçetenin Hazırlanması

Bu çalışmanın amacı atık mermer tozlarının farklı oranlarda reçine ile karıştırılmasının mekanik, fiziksel ve kimyasal özelliklere etkisinin incelenmesidir. Atık mermer tozları toz novalak reçine ile % 95-5, 90-10, 85-15, 80-20, 75-25 oranlarında karıştırılmış ve karışım oranları Çizelge 6.2'de verilmiştir.

Çizelge 6.2 Reçine ve mermer tozları karışım oranları

Hammadde/ Reçine	1. karışım	2. karışım	3. karışım	4. karışım	5. karışım
BN1-Reçine	%75-%25	%80-%20	%85-%15	%90-%10	%95-%5
BN2-Reçine	%75-%25	%80-%20	%85-%15	%90-%10	%95-%5
BN3-Reçine	%75-%25	%80-%20	%85-%15	%90-%10	%95-%5

6.3.2.2 Harman Hazırlama

Çalışmada 3 farklı numune için ayrı ayrı karışımlar yapılmıştır. Hassas terazi yardımıyla tartılan atık mermer tozları ile reçine tozları bir kap içine toplamda 30 gr olacak şekilde koyulmuştur. Her karışımdan 5'er adet hazırlanmıştır. Karıştırma 5 dakika boyunca el ile yapılmıştır. Yapılan karışımlar vakumlu poşetler içerisinde korunmuştur.

6.3.2.3 Presleme

30'ar gram olarak eşitlenmeye çalışılan toz karışımları Struers CitoPress-10 marka 250 bar basınç, 180 °C sıcaklık kapasiteli sıcak pres kullanılarak preslenmiştir. Her karışım oranından 5'er adet numune preslenmiştir. 50 mm sabit çapta silindirik bir kalıp kullanılmıştır. Kalıbın alt ve üst parçalarına yapışmayı engellemek amacıyla, pudra döküldükten sonra karışım kalıp içine dökülmüştür. Kalıp sıkıca kapatıldıktan sonra 150 bar basınç ve 150 °C sıcaklık altında 15 dakika boyunca preslenmiştir. Daha sonra 2 dakika su ile soğutulmuştur. Kalıptan alınan numunelerin boyutları ve ağırlığı ölçülüp, yoğunlukları hesaplanmıştır.



Şekil 6.5 Sıcak pres cihazı

6.3.2.4 Reçine Bağlayıcılı Numunelerin Fiziksel, Mekanik ve Analitik Testleri

6.3.2.4.1 Kütlenin Hacme Oranından Yoğunluk Hesabı

$$d = \frac{m}{V} \quad (6.1)$$

d=Yoğunluk (gr/cm³)

m: Kütle (gr)

V: Hacim (cm³)

Numunelerin 6.1 formülünden tartılan ağırlıkları kumpasla ebatları ölçüldükten sonra hesaplanan hacimlerine oranlanarak yoğunluk değerleri elde edilmiştir.

6.3.2.4.2 Arşimed Testi

Porozite-yoğunluk-su emme testleri TS 150 10545-3 standardına göre yapılmıştır. Her reçete için 2 ayrı numune test edilmiştir. Numuneler tellerle bağlandıktan sonra su içerisine sarkıtılmıştır. Isıtıcı yardımıyla kaynamaya başladıktan sonra 2 saat kaynama noktasında tutulmuştur. Daha sonra 4 saat boyunca oda sıcaklığında bekletilmiştir.

Numunelerin su içinde, yaş ve kuru tartımları yapılmıştır. Değerler tabloya işlenmiştir.

$$\text{Porozite (Görünür Gözeneklilik)} : P(a) = \frac{M_3 - M_1}{M_3 - M_2} \times 100 \quad (6.2)$$

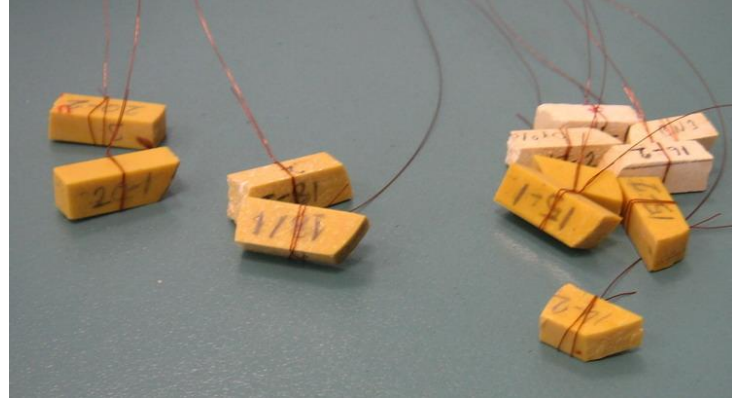
$$\text{Su Emme: } \%A = \frac{M_3 - M_1}{M_1} \times 100 \quad (6.3)$$

$$\text{Yoğunluk: } B(D) = \frac{M_1}{M_3 - M_2} \quad (6.4)$$

$M_1 = D =$ Kuru Ağırlık (gr)

$M_2 = S =$ Su içindeki ağırlık (gr)

$M_3 = M =$ Doymuş “yaş” ağırlık (gr)



Şekil 6.6 Arshimed deneyi için hazırlanan numuneler

6.3.2.4.3 Üç Nokta Eğme ve Sertlik Testi

Üç nokta eğme deneyi ASTM D 2583 standardına göre yapılmıştır. 25 ton kapasiteli Zwick Z 250 Universal marka üç nokta eğme cihazı kullanılmıştır. Numuneler, üç nokta eğme testi için uygun boyutlara getirmek amacıyla, ATM Brilliant hassas kesme cihazında 9.8 mm genişliğinde kesilmiştir. Kesim işlemi su altında gerçekleştirilmiş ve üzeri elmas taneciklerle

kaplı disk kullanılmıştır. 15 mm/dk hızla 2800 devirde çalışılmıştır. 30 mm mesnet açıklığı ayarlanarak kesilen numuneler, cihaza yerleştirilmiş ve yükleme yapılmıştır ve kırıldığı andaki kuvvet hesaplanmıştır. Her numune için test 3 defa tekrarlanmıştır. Test öncesi her numunenin ebatları kumpasla ölçülmüştür. Cihaza bağlı bilgisayar sistemi ile 6.4 formülüne göre sonuçlar alınmıştır.

$$\delta_f = \frac{3FL}{2bh^2} \cdot \quad (6.5)$$

δ : Eğilme-gerilme parametresi

F: Uygulanan kuvvet (N)

L: Mesnetler arası mesafe (mm)

b: Deney numuneleri genişliği (mm)

h: Deney numuneleri kalınlığı (mm)

Parlak ve düzgün yüzeyli malzemeler seçilip Bareiss HPE II Barcol marka cihaz ile ASTM D 2583 standardıyla barcol sertlik testi yapılmıştır. Her numune için test 10 defa tekrarlanmıştır. Değerlerin ortalaması alınmıştır.

6.3.2.4.4 Işık Mikroskobu İncelemesi

Ufak numuneler monte ile bakalit içerisine alınmıştır. Yumuşak numuneler (düşük reçineli) soğuk monte sert numuneler ise sıcak monte yapılarak bakalit içerisine alınmıştır. Bakalit içerisine alınan numunelerin yapıları Nikon L 150 Eclipse marka mikroskop altında 100X büyütmede incelenmiştir. Clemex CL Vision 32 marka görüntü analiz sistemiyle fotoğraflanmışlardır.



Şekil 6.7 Monte yapılmış numuneler

6.3.2.4.5 Isıl İletkenlik Testi

Isıl iletkenlik testi Lasercomp marka ısı iletkenlik cihazı ile oda sıcaklığında yapılmıştır. Neslab Thermoflex 900 marka soğutucu kullanılmıştır. 25 °C oda sıcaklığı seçilmiştir. Ön yüzün 30 °C, arka yüzün 20 °C sıcaklığa getirilmesi ile ortalama 25 °C elde edilmiştir.

6.3.2.4.6 Taramalı Elektron Mikroskobu İncelemesi (SEM)

Hazırlanan numunelerin SEM analizi JEOL JSM 6335F FEG-SEM marka taramalı elektron mikroskobu kullanılarak 20 KV'de yapılmıştır. 20X, 100X, 500X ve 1500X büyütmede görüntüler alınmıştır

6.3.3 Mermer Tozu ve Tuğla Harcı Karışımı Çalışmaları

Çalışmaya ait detaylar aşağıda sıralanmıştır:

- Atık mermer tozları ve ticari tuğla harcı belirlenen oranlarda karıştırılıp hidrolik pres ile çubuk numuneler halinde preslenmiştir.
- Basılan numuneler belirlenen sıcaklıklarda, elektrikli fırında sinterlenmiştir.
- Numunelerin sinter öncesi ve sonrası boyutları ve ağırlıkları ölçülüp yüzde sinter boyut ve ağırlık değişimleri hesaplanmıştır.
- Preslenen numunelerin yoğunluk, porozite ve su emme incelemeleri için Arşimed deneyi yapılmıştır.
- Eğilme mukavemetlerini bulmak için üç nokta eğme testi yapılmıştır.
- Numunelerin mineralojik özelliklerini belirlemek için XRD analizleri yapılmıştır.
- Taramalı elektron mikroskobu ile mikro yapı incelemeleri yapılmıştır.

6.3.3.1 Kullanılan Hammaddeler ve Reçetenin Hazırlanması

Bu çalışmada BN1, BN2 ve BN3 atık mermer tozu numuneleri ve Işıklar Tuğla A.Ş'den temin edilen normal kırmızı pres tuğla harcı kullanılmıştır. Karışım oranları Çizelge 6.3'de verilmiştir.

Çizelge 6.3 Atık mermer tozu ve ticari tuğla harcı karışım oranları

Komp. Hammadde	BN1-Tuğla Harcı	BN2-Tuğla Harcı	BN3-Tuğla Harcı
1. karışım % ağırlık	80-20	80-20	80-20
2. karışım % ağırlık	70-30	70-30	70-30
3. karışım % ağırlık	60-40	60-40	60-40
4. karışım % ağırlık	50-50	50-50	50-50
5. karışım % ağırlık	40-60	40-60	40-60
6. karışım % ağırlık	30-70	30-70	30-70
7. karışım % ağırlık	20-80	20-80	20-80
8. karışım % ağırlık	10-90	10-90	10-90
9. karışım % ağırlık	0-100	0-100	0-100

Belirtilen karışım oranlarından 3 farklı sinter sıcaklığında 10'ar adet kullanılmak üzere toplamda 30'ar adet numune basılmıştır.

6.3.3.2 Harman Hazırlama

Çalışmada kullanılan, ticari tuğla harcı yarım gün 150 °C sıcaklıkta etüvde kurutulmuştur. Böylece çamur nemini kaybedip sertleşmiştir. Daha sonra seramik bir kavanoz içerisinde alümina bilye kullanılarak bilyeli değirmende 4 saat karıştırılmıştır. 0.01 g hassasiyetli terazi ile hassas bir şekilde tartılarak, her birinden toplam miktar 150 g olacak şekilde çizelge 6.3'te verilen karışım oranlarında karışımlar hazırlanarak 3 farklı toz çeşidi, 3 farklı sinter sıcaklığı için gruplandırılmıştır. Hazırlanan 150 g'lık karışımlar tekrar seramik kavanozlara koyulup içerisine 6 adet alümina bilye koyularak 20 dakika değirmende karıştırılmıştır.

6.3.3.3 Presleme

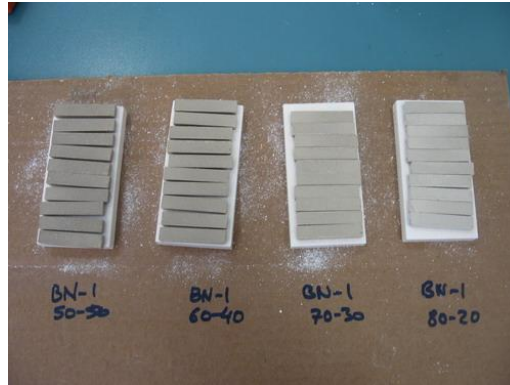
Hazırlanan karışım içerisine (150 g) %8 oranında su eklenerek nemlendirme yapılmıştır. 800 mikron elekten geçirilerek granüle edilen karışımdan 4'er g numune presleme için tartılmıştır. Uzselchoz Technika OKC-1671MN marka 40 ton kapasiteli hidrolik pres ile preslenmiştir. Preslemelerde 41x8 ebadında dikdörtgen kalıp kullanılmıştır. 1500 kg/ cm² basınç uygulanmıştır. Preslenen her numunenin kumpasla sinter öncesi boyutları ölçülmüş ve ağırlıkları tartılarak kodlanmıştır.



Şekil 6.8 Hidrolik pres cihazı

6.3.3.4 Sinterleme

Basılan numuneler alümina altlık üzerine, sinter alümina tozlar serpilerek sinterleme için hazırlanmıştır. Protherm marka 1700 °C kapasiteli fırın kullanılmıştır. 900°C, 1000 °C ve 1100 °C sinter sıcaklıkları seçilmiştir. 5 °C /dk hızla sinter sıcaklığına çıkılmıştır. Bu sıcaklıkta 3 saat bekletildikten sonra, 5 °C /dk hızla 800 °C'ye soğutulmuş sonra fırın içerisinde kendi halinde soğumaya bırakılmıştır. Her üç sinter sıcaklığı için de belirlenen bu sinter programı kullanılmıştır. Sinterleme sonrası numunelerin boyutları ve ağırlıkları ölçülmüştür.



Şekil 6.9 Sinterleme için hazırlanmış numuneler

6.3.3.5 Tuğla Harcı ile Karıştırılıp Preslenen ve Sinterlenen Numunelerin Fiziksel, Mekanik ve Kimyasal Testleri

6.3.3.5.1 Pişme Küçülmelerinin Hesaplanması

Numuneler karıştırılıp preslendikten sonra kumpas yardımıyla en, boy ve kalınlıkları ölçülmüştür. Hassas terazi ile ağırlıkları ölçüldükten sonra bu değerler not edilmiştir. Daha sonra sinterlenmek üzere fırına giren numunelerin fırın çıkışı, tekrar en boy ve kalınlıkları ölçülmüştür.

$$\% \text{Sinter Küçülmesi} = \frac{\text{Sinter Öncesi Ölçüm} - \text{Sinter Sonrası Ölçüm}}{\text{Sinter Öncesi Ölçüm}} \times 100 \quad (6.6)$$

6.3.3.5.2 Arşimed Testi

Porozite-yoğunluk-su emme testleri TS 150 10545-3 standardına göre yapılmıştır. Her reçete için 5 ayrı numune test edilmiştir. Numuneler tellerle bağlandıktan sonra su içerisine sarkıtılmıştır. Isıtıcı yardımıyla kaynamaya başladıktan sonra 2 saat kaynama noktasında tutulmuştur. Daha sonra 4 saat boyunca oda sıcaklığında bekletilmiştir. Formüller Bölüm 6.3.2.4.1’de verilmiştir.

Numunelerin su içinde, yaş ve kuru tartımları yapılmıştır. Formüllerde yerine koyularak sonuçlar hesaplanmıştır.

6.3.3.5.3 Üç Nokta Eğme Testi

Üç nokta eğme deneyi ASTM D 2583 standardına göre yapılmıştır. 25 ton kapasiteli Zwick/z250 üç nokta eğme cihazı kullanılmıştır. 30 mm mesnet açıklığı ayarlanarak çubuk numuneler cihaza yerleştirilmiş ve yükleme yapılmıştır ve kırıldığı andaki kuvvet hesaplanmıştır. Her numune için test 5 defa tekrarlanmıştır. Test öncesi her numunenin ebatları kumpasla ölçülmüştür. Cihaza bağlı bilgisayar sistemi ile 6.4 formülüne göre sonuçlar alınmıştır.

6.3.3.5.4 X-Işınları Difraksiyonu Analizi (XRD)

Numunelerin 2 °C /dk hızla XRD’leri çekilmiştir. Shimadzu XRD-6000 XRD cihazı kullanılmıştır. Tarama aralığı 2-70 °C olarak belirlenmiştir. Havan içerisinde 325 mesh elek altı boyuta getirildikten sonra, cihaza koyulmuş ve çekim yapılmıştır.

6.3.3.5.5 Taramalı Elektron Mikroskobu İncelemesi (SEM)

Hazırlanan numunelerin SEM analizi JEOL JSM 6335F FEG-SEM marka taramalı elektron mikroskobu kullanılarak mikroyapı incelemesi yapılmıştır. 20X, 100X, 500X, 1500X büyütmede görüntüler alınmıştır.

7. SONUÇLAR

7.1 Hammadde Karakterizasyon Testleri Sonuçları

7.1.1 Mermer Tozu Karakterizasyon Deneyleri Sonuçları

7.1.1.1 Yoğunluk Testi Sonuçları

Piknometre ile yapılan yoğunluk analizinin sonuçları Çizelge 7.1’de verilmektedir.

Çizelge 7.1 Atık tozların piknometre ile yoğunluk ölçüm sonuçları

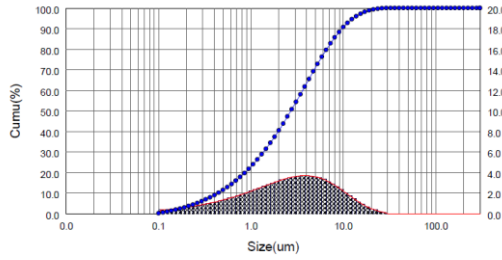
Numune Adı	BN1	BN2	BN3
Yoğunluk (gr/cm ³)	2.64085	2.64148	2.60966

7.1.1.2 Tane Boyutu Analizi Sonuçları

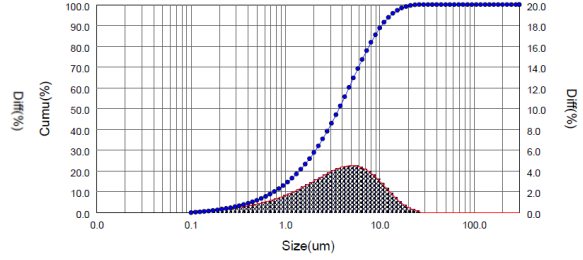
Atık mermer tozu tane büyüklüklerinin ortalama değerleri Çizelge 7.2’de, tane boyutu dağılımları Şekil 7.1’de verilmiştir.

Çizelge 7.2 Atık mermer tozu tane boyutları

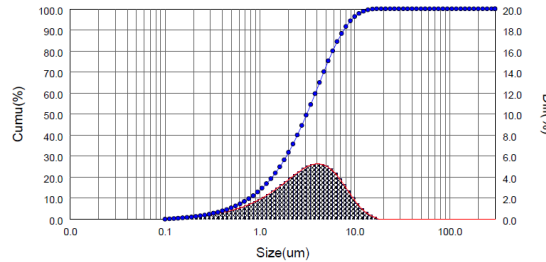
Numune Adı	BN1 (%50)	BN2 (%50)	BN3 (%50)
Tane boyutu (µm)	2.70	3.48	3.04



BN1



BN2

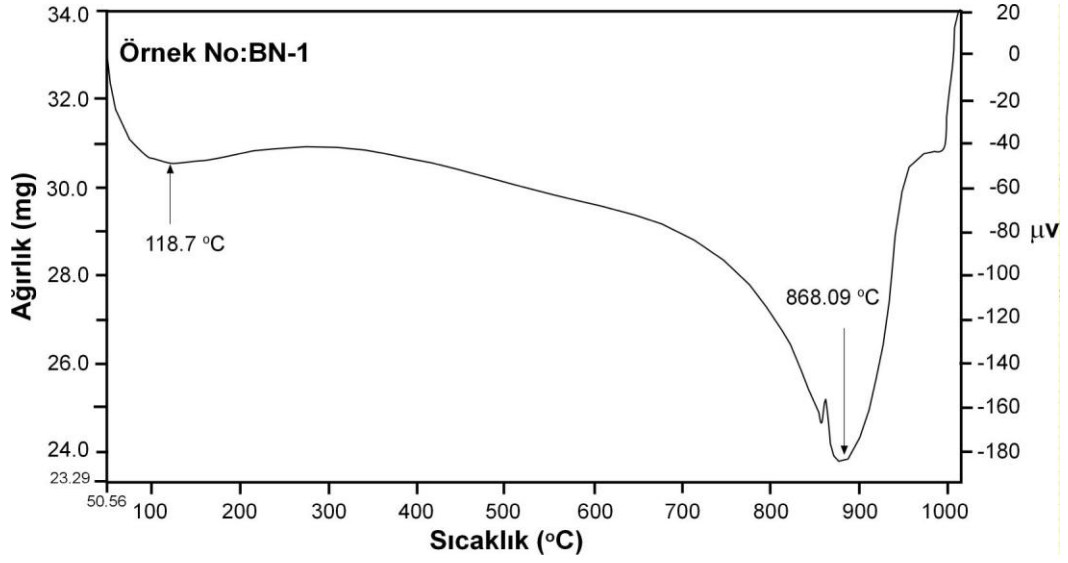


BN3

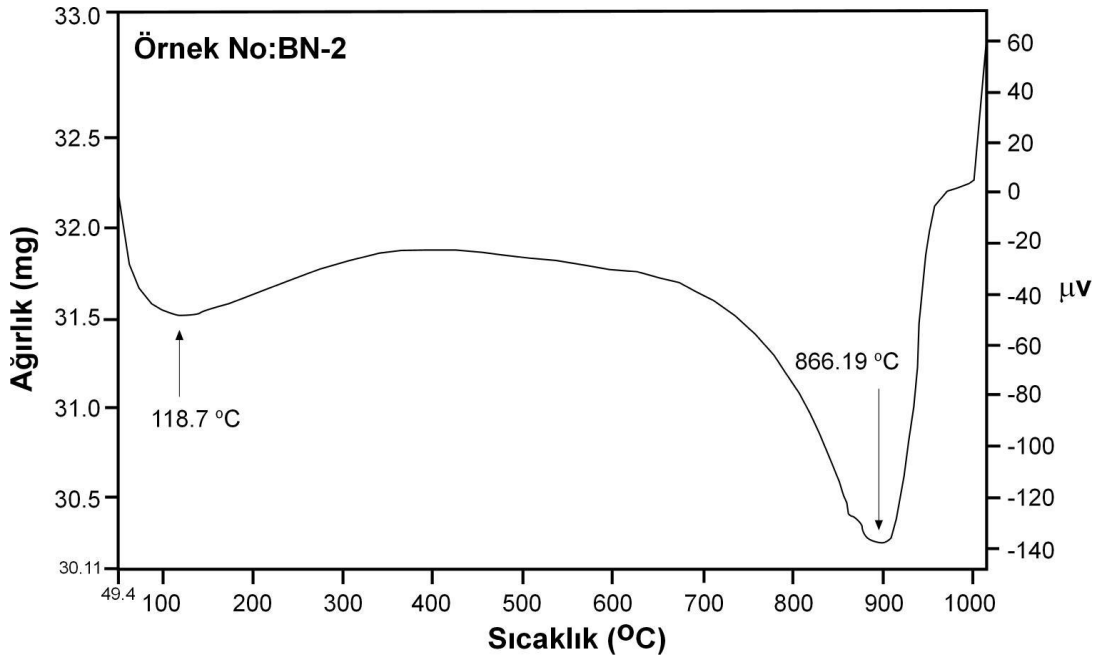
Şekil 7.1 Partikül dağılım grafikleri

7.1.1.3 Diferansiyel Termal Analiz Sonuçları (DTA)

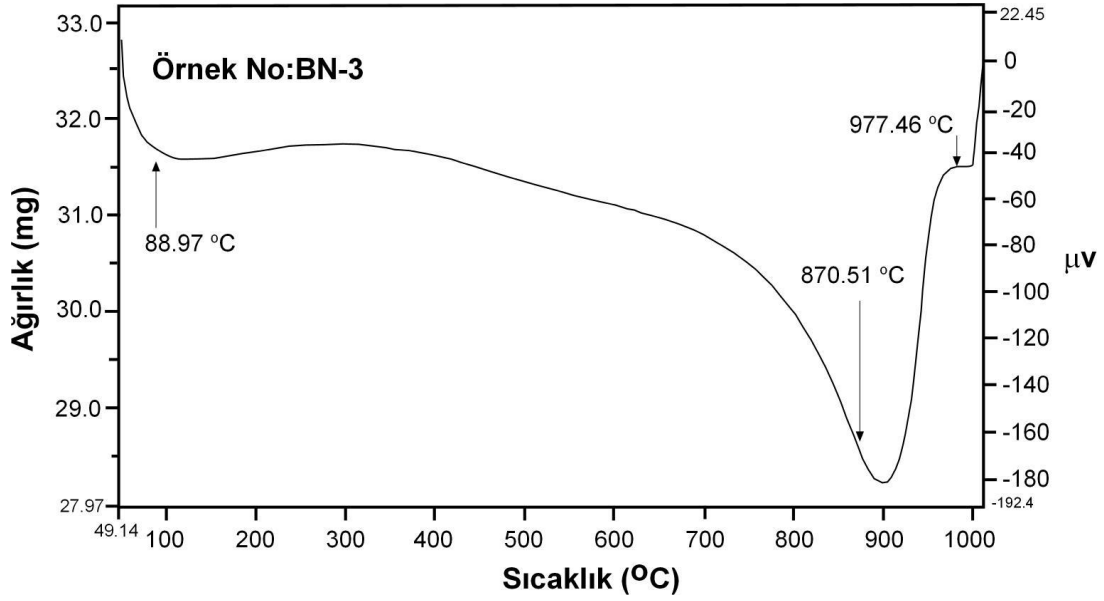
Numunelerin DTA analiz grafikleri aşağıda şekil 7.2, 7.3 ve 7.4’de verilmektedir.



Şekil 7.2 BN1 DTA analizi



Şekil 7.3 BN2 DTA analizi



Şekil 7.4 BN3 DTA analizi

Öğütülmüş mermer tozlarının sıcaklık karşısındaki davranışlarının incelenmesi amacı ile DTA'ları alınmıştır. Özellikle yapraksı silikatlardan kil minerallerinde ve serpantin minerallerinde kristal eksen uzunlukları ve kristal eksenleri arasındaki açılar birbirine çok yakın olduğu için aynı yerde birbirine eşdeğer pikler vermekte ve dolayısıyla bunları x-ışınları kırınım yoluyla ayırmakta bir takım zorluklarla karşılaşmaktadır. Bu nedenle söz konusu benzer minerallerde diferansiyel termik analiz (DTA) çalışmaları yoluyla daha sağlıklı tayinler yapılmaktadır. Numune 0 °C sıcaklıktan 1000 °C sıcaklığa kadar ısıtıldığında ortaya çıkan endotermik ve ekzotermik pikler yardımıyla kil minerallerinin ve birbirine çok benzeyen karbonat tür minerallerin tayinleri daha kolay yapılabilmektedir.

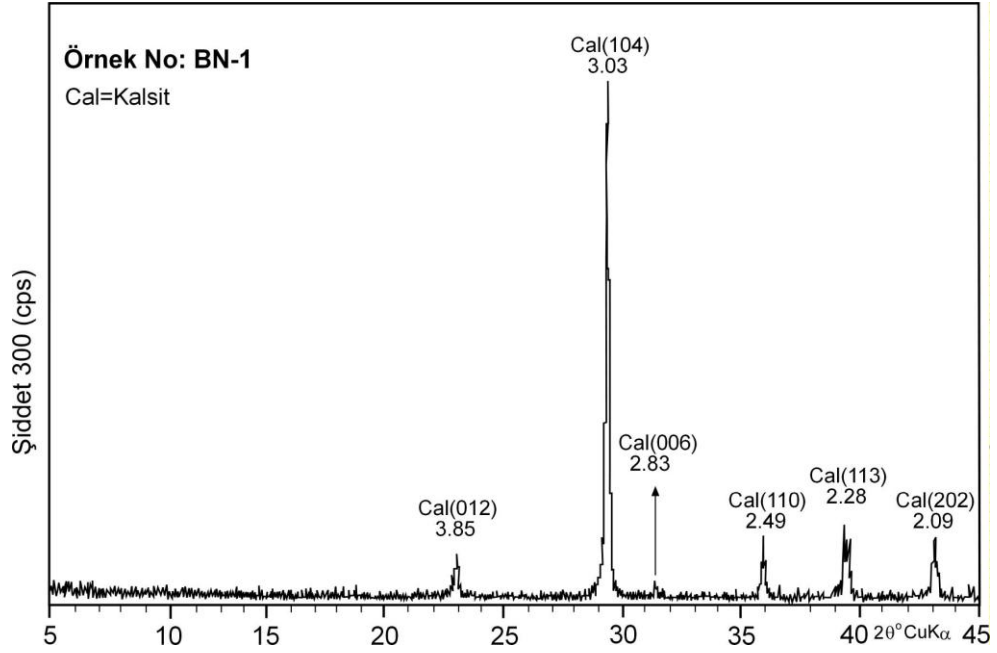
Diferansiyel termik analizlerde (DTA) kalsit için karakteristik endotermik pik 850-900 °C arasındaki pik olup, numunenin saf kalsit minerallerinden oluştuğunu üç örneğe ait diyagramlarda (BN-1, BN-2, BN3) yapılan analizlerde görülmektedir. Burada kalsit minerali (CaCO_3) 850-900 °C aralığında bozunarak 866,19 °C da kuvvetli bir endotermik pik vermektedir. Kalsit bozunma sonucu katı fazda kalsiyum oksit (CaO) ve gaz fazında karbondioksit (CO_2) dönüşmektedir.

Kalsit ve aragonit aynı kimyasal bileşimde farklı kristal sistemlerde olup, karbonat tür kayalarda birlikte yer alabilmektedir. Kalsit hekzagonal sistemde, aragonit ise ortorombik sistemde kristalleşmekte, birbirinin poliformu olan minerallerdir. Karbonatlı kayalarda aragonite daha çok güncel çökellerde rastlanılmaktadır. Zamanla aragonit kalsite dönüşmektedir. Yapılan DTA analizleri yardımıyla numunelerde aragonit olmadığı gözlemlenmiştir. Eğer aragonit olsaydı, aragonit DTA diyagramlarında 420-485 °C sıcaklıkta

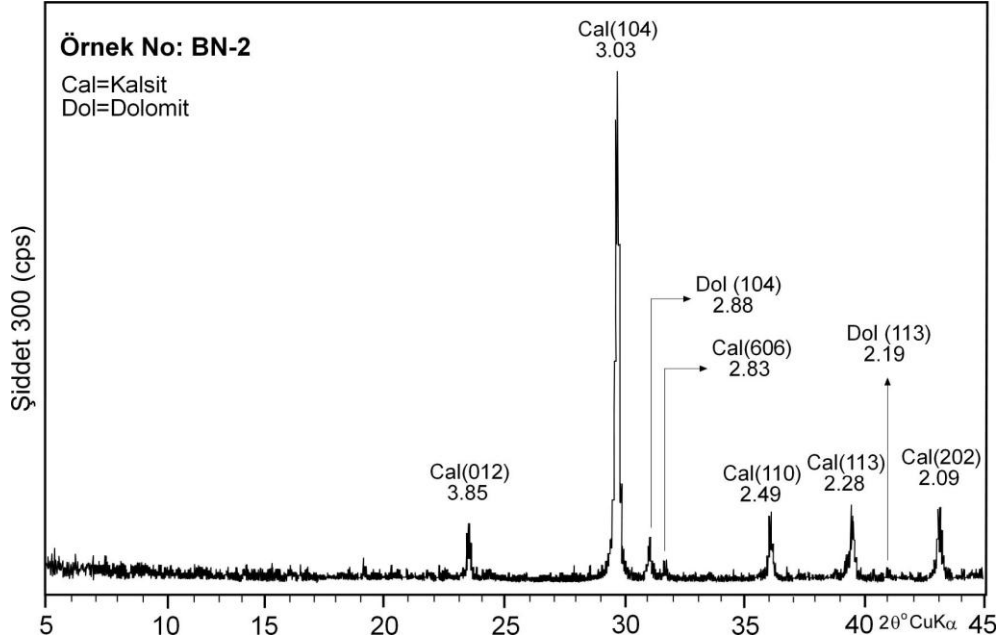
kalsite dönüşecekti (Bionco ve diğ., 2005). Diyagramlarda söz konusu sıcaklık aralığında herhangi bir endotermik pik görülmemektedir. Dolayısıyla numuneler aragonit minerali içermemektedir.

7.1.1.4 X-ışınları Difraksiyonu Analizi Sonuçları (XRD)

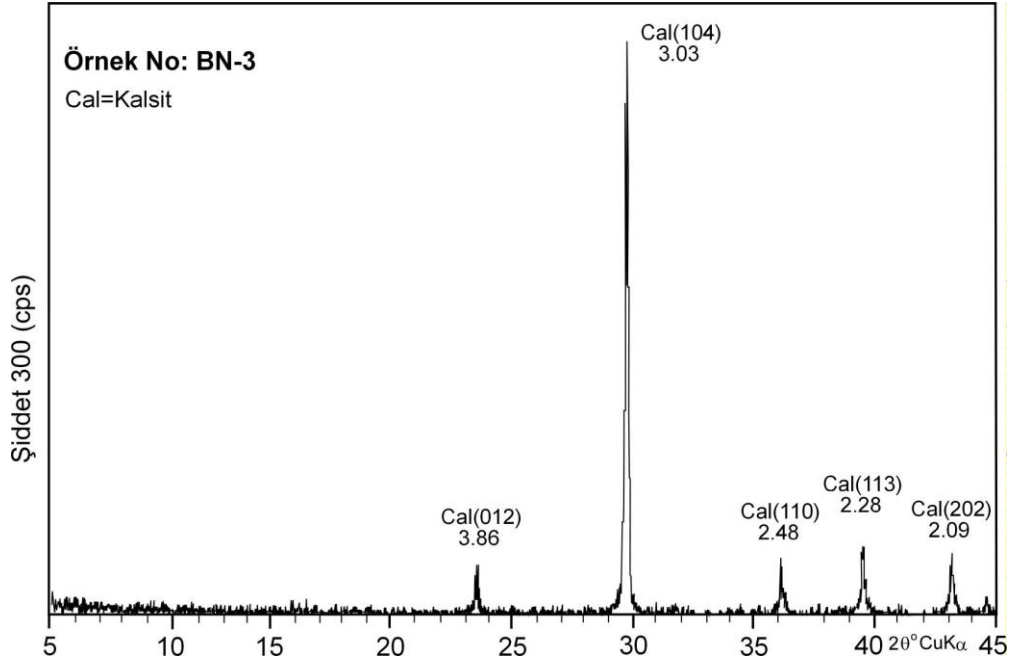
Numunlere ait XRD sonuçları Şekil 7.5, 7.6 ve 7.7’de verilmektedir.



Şekil 7.5 BN1 XRD analizi



Şekil 7.6 BN2 XRD analizi



Şekil 7.7 BN3 XRD analizi

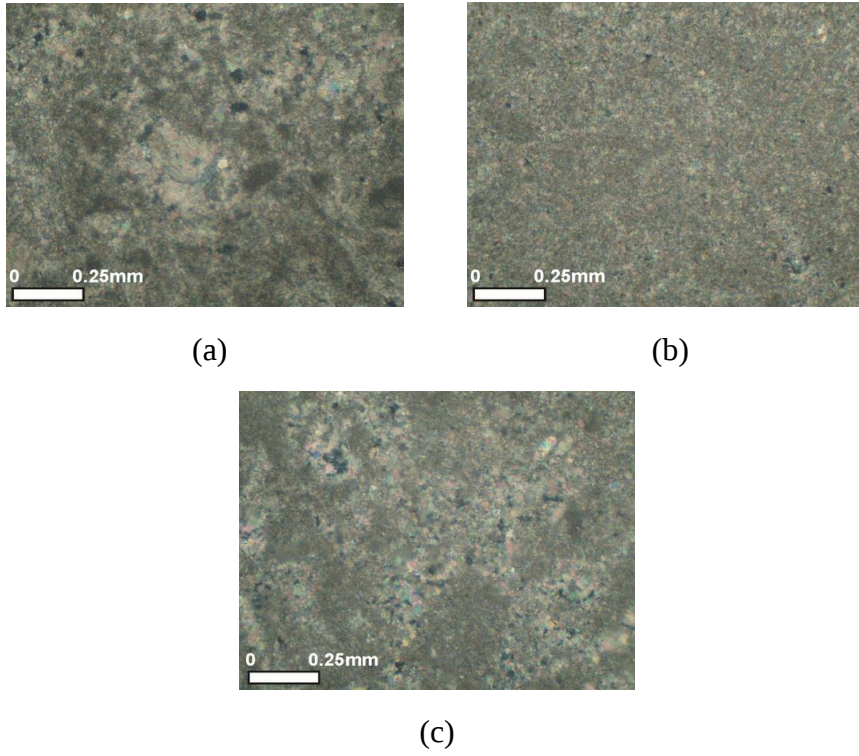
Bu analizlerde mermerlerin büyük oranda kalsit minerallerinden oluştuğu görüldü. Bu özellikle mikroskop bulgularını desteklemektedir. X-ışınları diyagramında kalsit için tanıtıcı temel pikler ASTM kartları dikkate alınarak 23.077 Å, 29.414 Å, 35.919 Å ve diğer tali pikler belirlenerek, Burdur ve Isparta mermerlerinin bileşiminde kalsit minerallerinin egemen olduğu anlaşılmıştır.

Minerallerin tanımlanması X-ışınları kırınımı standartları Calculated Powder X-ray Diffraction Standards-CPDS ve <http://database.iem.ac.ru/mincryst> ile değerlendirilmiştir. Bu analizlerde mermerlerin kalsit (% 100) ve/veya kalsit+dolomit (% 98 kalsit + % 2 dolomit) minerallerinden oluştuğu belirlenmiştir. Dış standart yöntemi ile örneklerde miktar bakımından kalsit % 91-100 oranında bulunurken, dolomit mineralleri % 9 oranında bulunmaktadır. Minerallerin bu oransal dağılımı mikroskop bulgularını da desteklemektedir.

XRD-tüm kayaç toz difraksiyonu incelemesi için toz örneklerde $2\theta=5-45^\circ$ arasında çekim yapılmıştır. Bu çalışma ile kalsit minerallerinin bazı örneklerde dolomit mineralleri de saptanmıştır. Kalsit mineralleri (012), (104), (110), (113) ve (202) yüzeylerine ait sırasıyla 3.85 Å, 3.03 Å, 2.49 Å, 2.28 Å ve 2.84 Å da ortaya çıkan pikler yardımıyla tanımlanmıştır (Şekil 5). Dolomit mineralleri ise (104) ve (113) yüzeylerindeki sırasıyla 2.88 Å ve 2.19 Å'daki yansıma değerlerine sahip olup, kalsit minerallerine eşlik etmektedir (Şekil 7.6). XRD verileriyle Burdur ve Senirkent mermerlerinin bileşiminde karbonat minerallerinden kalsit ve az miktarda dolomit minerallerinin de olduğu belirlenmiştir.

7.1.1.5 İnce Kesit Alma ve Polarizasyon Mikroskop ile Görüntü Analizi

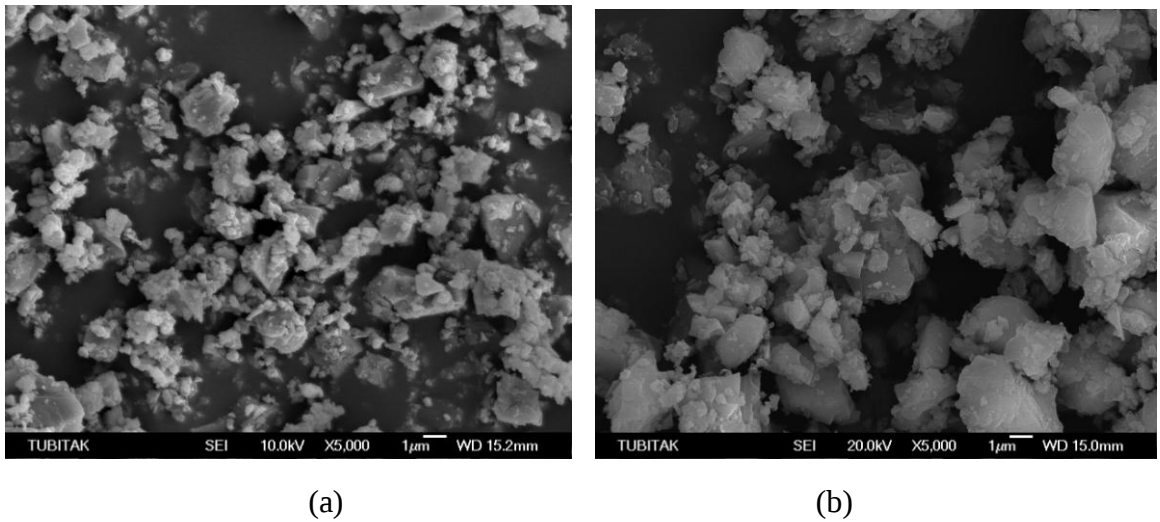
Tozların ince kesit görüntüleri Şekil 7.8’de verilmiştir.

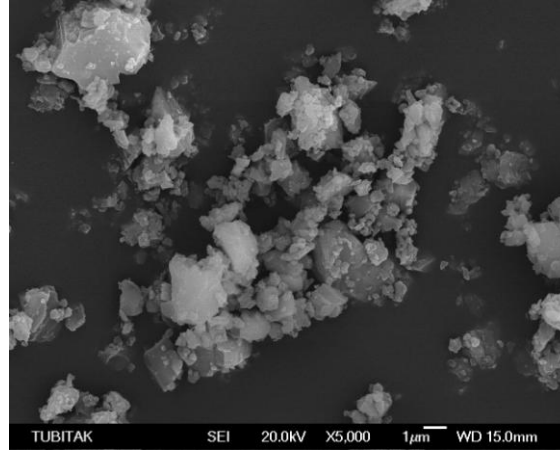


Şekil 7.8 Atık mermer tozlarının ince kesit görüntüleri BN1 (a), BN2 (b), BN3 (c)

Literatürde ilgili mermerler Burdur beji olarak isimlendirilmiştir. Bunlardan üretilen 30 mikron inceliğindeki ince kesitler polarizasyon mikroskop altında incelendiğinde mikritik dokulu kireç taşlarından oluştuğu görülmektedir

7.1.1.6 Taramalı Elektron Mikroskobisi (SEM) Sonuçları





(c)

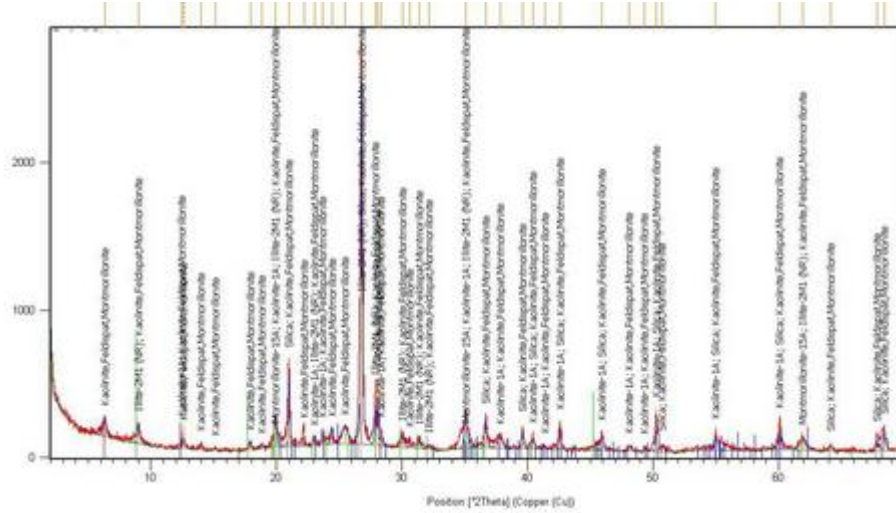
Şekil 7.9 Mermer tozu atıklarının SEM görüntüleri a) BN1, b) BN2, c) BN3

Kalsit minerallerinin mikro yapıları görülmektedir. Tozların neredeyse saf kalsit olduğu anlaşılmaktadır.

7.1.2 Tuğla Harcı Üzerine Yapılan Karakterizasyon Çalışmaları Sonuçları

7.1.2.1 X-Işınları Difraksiyon Analizi Sonuçları (XRD)

Tuğla harcının XRD analizi sonucu Şekil 7.10'da verilmektedir.

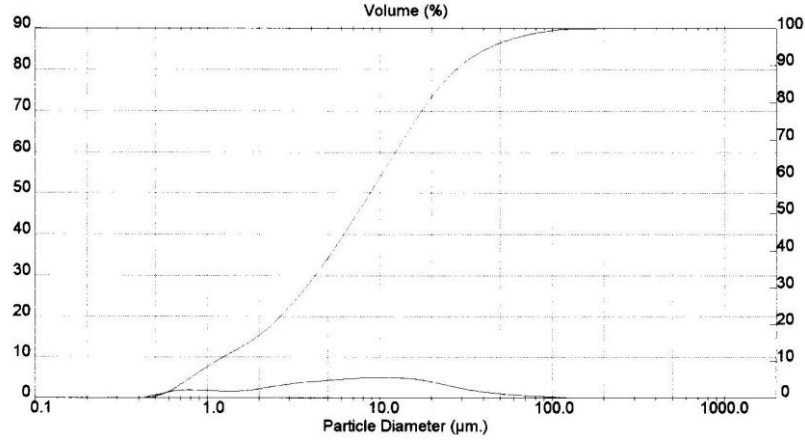


Şekil 7.10 Tuğla harcı XRD analizi

- | | |
|--|-----------------|
| 1. Kuvars, SiO ₂ | PDF No: 46-1045 |
| 2. Feldispat, (XRD ile cinsi belirlenmemektedir) | |
| 3. Illite, (K,H ₃ O)Al ₂ Si ₃ AlO ₁₀ (OH) ₂ | PDF No:26-911 |
| 4. Montmorillonite, Na _{0.3} (Al,Mg) ₂ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂ 4H ₂ O | PDF No:29-1498 |
| 5. Kaolinite, Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄ | PDF No:29-1488 |

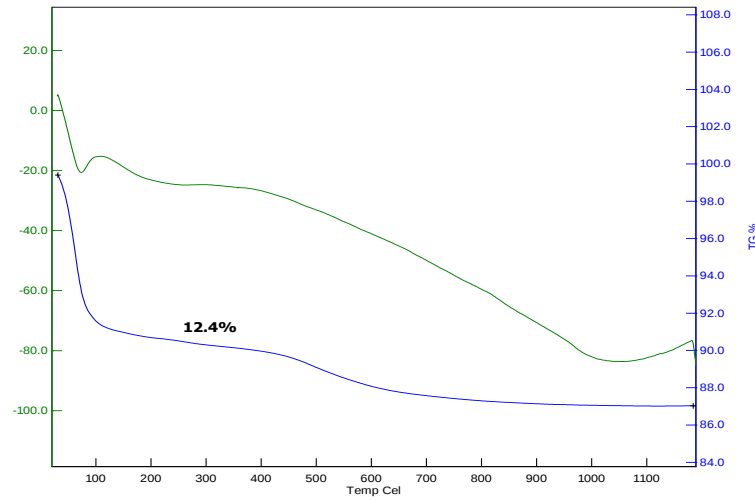
7.1.2.2 Tane Boyutu Analizi

Tuğla harcının tane boyut analizi sonucuna göre ortalama tane boyutu $7,40 \mu\text{m}$ 'nin altında olduğu görülmüştür. Tane boyutu dağılımı grafiği Şekil 7.11 'de verilmiştir.



Şekil 7.11 Tuğla harcı tane boyutu dağılım grafiği

7.1.2.3 Diferansiyel Termal Analiz Sonuçları



Şekil 7.12 Tuğla harcı DTA analizi

Tuğla harcı DTA analizine bakıldığında 1200°C 'ye ısıtılan numunelerde 12,4 gr ağırlık kaybı olduğu görülmektedir. Bu ağırlık kaybının sebebi fiziksel ve kimyasal bağlı suyun uzaklaşması ve organiklerin yanmasıdır. Pik tam belirgin değildir. Ancak $100\text{-}200^{\circ}\text{C}$ arasında endotermik bir reaksiyon meydana gelmiştir. Bu fiziksel bağlı suyun uzaklaşmasını göstermektedir. Kimyasal bağlı suyun uzaklaşma reaksiyonu tam olarak görülemese de 400°C civarındadır. $500\text{-}600^{\circ}\text{C}$ civarlarında ise ekzotermik bir reaksiyon gerçekleşmiştir, bu da organiklerin yandığı sıcaklık aralıklarıdır.

7.2 Reçine Karışım Numunelerin Test Sonuçları

7.2.1 Yoğunluk Testi Sonuçları

Ağırlık ve hacimden gidilerek yapılan yoğunluk hesabı sonuçları Çizelge 7.3, 7.4 ve 7.5’de verilmiştir.

Çizelge 7.3 Reçine bağlayıcılı numunelerin hesaplanan yoğunluk değerleri (BN1)

Numune Adı-Reçine Oranı	Yoğunluk(gr/cm ³)
BN1-%5 reçine	1,88
BN1-%10 reçine	2,18
BN1-%15 reçine	2,15
BN1-%20 reçine	2,18
BN1-%25 reçine	2,08

Çizelge 7.4 Reçine bağlayıcılı numunelerin hesaplanan yoğunluk değerleri (BN2)

Numune Adı-Reçine Oranı	Yoğunluk(gr/cm ³)
BN2-%5 reçine	1,88
BN2 -10 reçine	2,00
BN2-%15 reçine	2,15
BN2-%20 reçine	2,18
BN2-%25 reçine	2,07

Çizelge 7.5 Reçine bağlayıcılı numunelerin hesaplanan yoğunluk değerleri (BN3)

Numune Adı-Reçine Oranı	Yoğunluk(gr/cm ³)
BN3-%5 reçine	1,85
BN3-%10 reçine	1,98
BN3-%15 reçine	2,08
BN3-%20 reçine	2,17
BN3-%25 reçine	2,14

7.2.2 Arşimed testi sonuçları

Porozite-yoğunluk-su emme test sonuçlarının ortalaması alınmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 7.6, 7.7 ve 7.8’de verilmiştir.

Çizelge 7.6 BN1 farklı reçine oranlarında yoğunluk, yüzde porozite, yüzde su emme değerleri

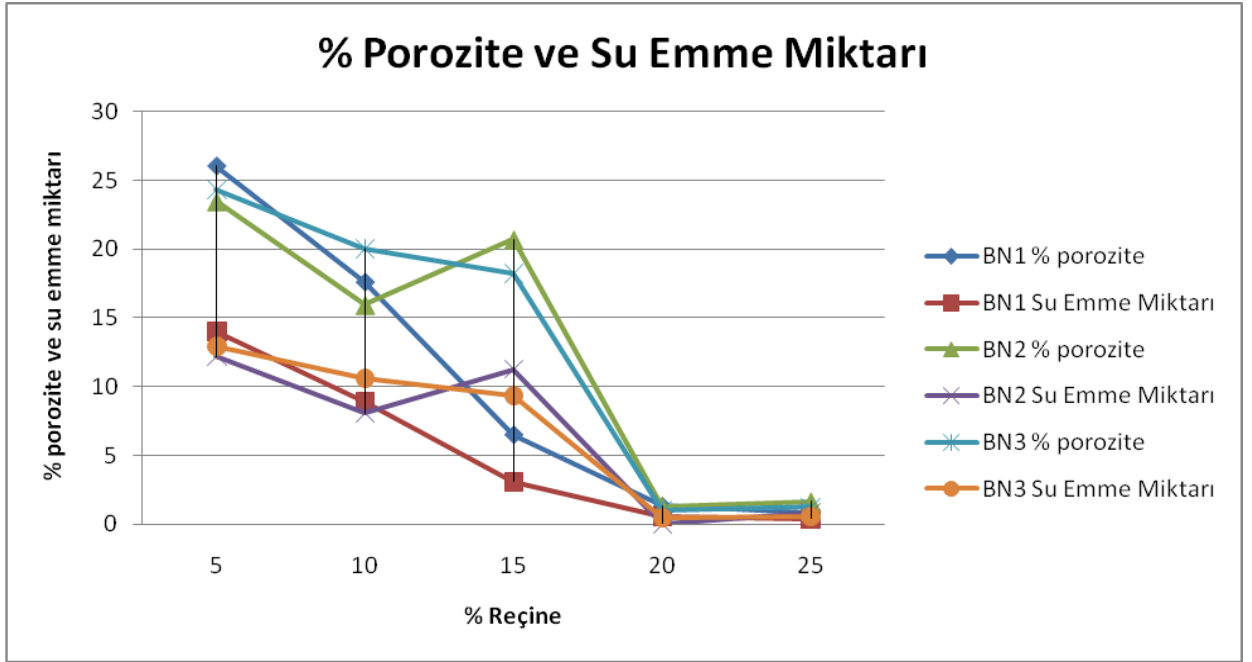
Numune Adı-Reçine Oranı	Yoğunluk (gr/cm ³)	% Porozite	% Su Emme
BN1-%5	1,85	26,05	14,05
BN1-%10	1,96	17,6	8,95
BN1-%15	2,10	6,5	3,10
BN1-%20	2,15	1,3	0,6
BN1-%25	2,07	0,8	0,4

Çizelge 7.7 BN2 farklı reçine oranlarında yoğunluk, yüzde porozite, yüzde su emme değerleri

Numune Adı-Reçine Oranı	Yoğunluk (gr/cm ³)	% Porozite	% Su Emme
BN2-%5	1,91	23,48	12,2
BN2-%10	1,99	15,95	8,06
BN2-%15	1,83	20,7	11,25
BN2-%20	2,15	1,3	0,63
BN2-%25	2,06	1,67	0,81

Çizelge 7.8 BN3 farklı reçine oranlarında yoğunluk, yüzde porozite, yüzde su emme değerleri

Numune Adı-Reçine Oranı	Yoğunluk (gr/cm ³)	% Porozite	% Su Emme
BN3-%5	1,88	24,35	12,95
BN3-%10	1,91	20,05	10,6
BN3-%15	1,94	18,22	9,34
BN3-%20	2,17	1,00	0,45
BN3-%25	2,05	1,25	0,55



Şekil 7.13 % Reçine oranı ile % su emme porozite değişim grafiği (BN1-BN2-BN3)

Reçine miktarı arttıkça görünür porozite ve su emme azalmış, yoğunluk artmıştır. Ancak yüzde 25 reçine oranı itibariyle yoğunluk düşmüş, porozite ve su emme miktarı artmıştır. En iyi değerler % 20 reçine oranında alınmıştır.

7.2.3 Üç Nokta Eğme ve Sertlik Testi sonuçları

Çubuk şeklinde kesilen numunelerin üç nokta eğme deneyi sonucunda bulunan eğilme mukavemetleri Çizelge 7.9, 7.10 ve 7.11’ de verilmiştir.

Artan reçine oranı ile mukavemette artış görülmektedir. % 25 reçine oranından itibaren mukavemet değerleri düşmüştür. Bağlayıcı malzeme bağlanacak malzemeye fazla gelmeye başlamıştır ve sonuç olarak reçine topaklaşması olmuştur bu da dayanımda düşmeye sebep olmuştur.

7.2.4 Sertlik Testi Sonuçları

Barcol sertlik testi her numune için 10 defa yapılmıştır. Değerlerin ortalaması alınmıştır. Sonuçlar Çizelge 7.9, 7.10 ve 7.11’de verilmiştir. Sertlik için de tıpkı mukavemet değerlerindeki değişim görülmüştür. %20 reçine oranında maksimum değerler alındıktan sonra %25’den itibaren düşüş başlamıştır.

Çizelge 7.9 BN1 eğilme mukavemeti ve sertlik değerleri

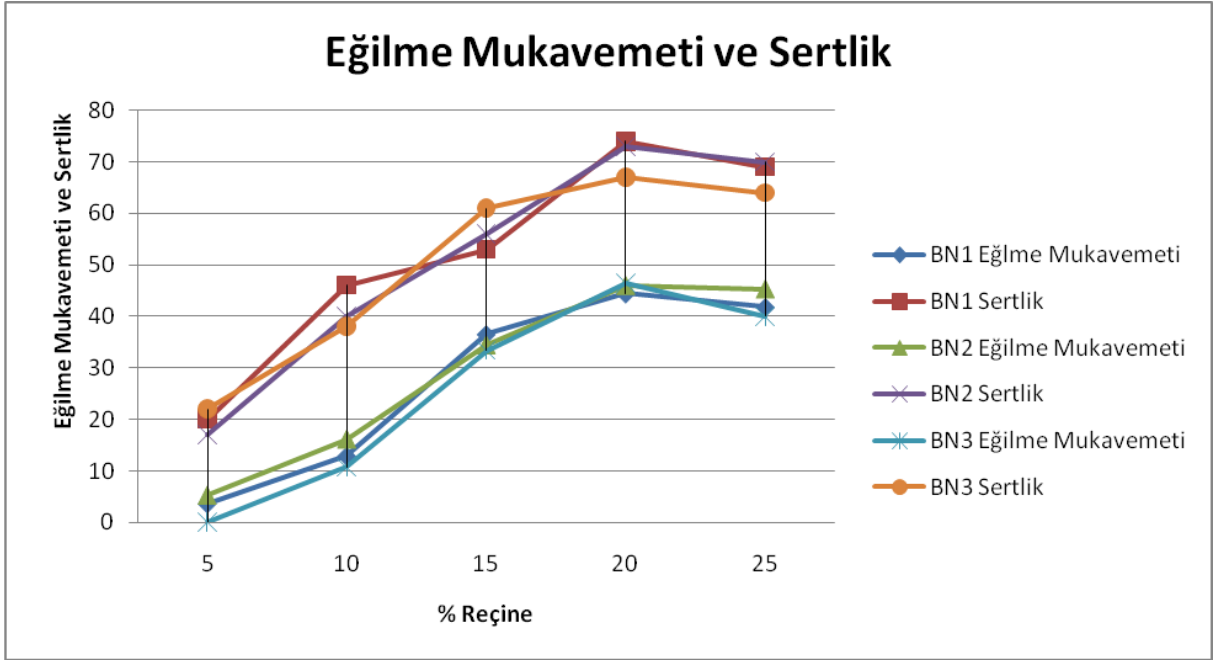
Numune Adı-Reçine Oranı	Eğilme Mukavemeti (MPa)	Sertlik (Barcol)
BN1-%5	3,70	20
BN1-%10	12,96	46
BN1-%15	36,57	53
BN1-%20	44,44	74
BN1-%25	41,83	69

Çizelge 7.10 BN2 eğilme mukavemeti ve sertlik değerleri

Numune Adı-Reçine Oranı	Eğilme Mukavemeti (MPa)	Sertlik (Barcol)
BN2-%5	5,32	17
BN2-%10	16,2	40
BN2-%15	34,5	56
BN2-%20	46,00	73
BN2-%25	45,33	70

Çizelge 7.11 BN3 eğilme mukavemeti ve sertlik sonuçları

Numune Adı-Reçine Oranı	Eğilme Mukavemeti (MPa)	Sertlik (Barcol)
BN3-%5	5,12	22
BN3-%10	10,71	38
BN3-%15	33,4	61
BN3-%20	46,55	67
BN3-%25	40,07	64

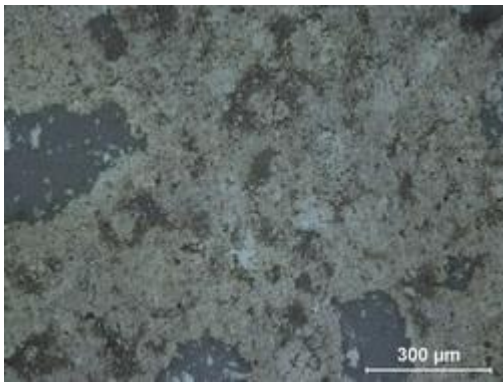


Şekil 7.14 Reçine oranı ile eğilme mukvemeti ve sertlik değişim grafiği (BN1-BN2-BN3)

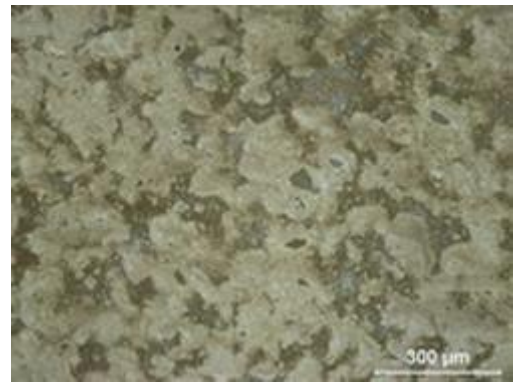
Reçine oranı arttıkça sertlikte ve eğilme mukavemetinde artış görülmektedir. Ancak % 25 oranından itibaren mukavemet düşmeye başlamaktadır. Bunun sebebi reçinenin gerekenden fazla gelmesi ve belli alanlarda toplanmaya başlayıp malzemeyi kırılganlaştırması olarak tahmin edilmektedir. Her üç numune için de en iyi değerler %20 reçine oranında alınmıştır.

7.2.5 Işık Mikroskobu İncelemesi Sonuçları

Işık Mikroskobu ile alınan görüntüler Şekil 7.15'de verilmiştir.



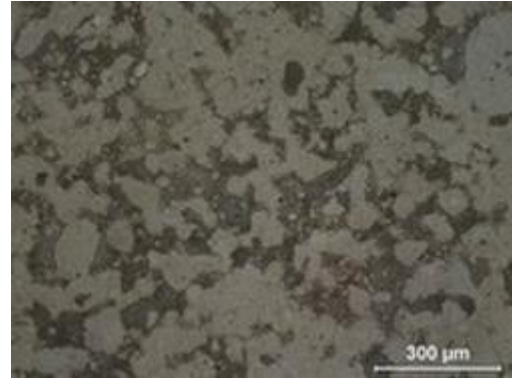
(a)



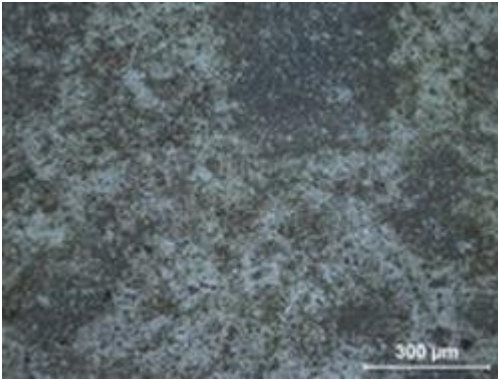
(b)



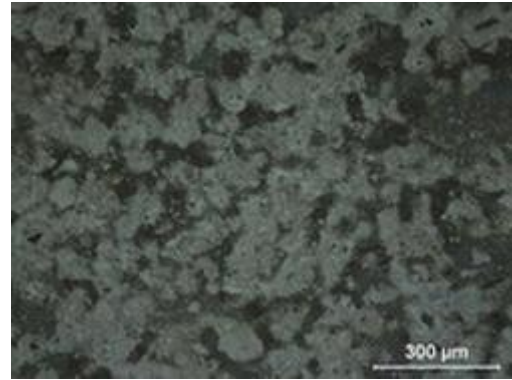
(c)



(d)



(e)



(f)

Şekil 7.15 Reçine bağlayıcılı numunelerin ışık metal mikroskobu görüntüleri a) BN1 % 15, b) BN1 % 20, c) BN2 % 5, d) BN2 %20, e) BN3 %10, f) BN3 %25

7.2.6 Isıl İletkenlik Testi Sonuçları

Oda sıcaklığında yapılan ısı iletkenlik katsayısı ölçüm testi sonuçları Çizelge 7.12, 7.13, 7.14’de verilmiştir.

Çizelge 7.12 BN1 değişen reçine oranlarında ısı iletkenlik katsayısı değerleri

Kompozisyon	Isıl iletim katsayısı W/mK
BN1- %5 reçine	0,930
BN1-%10 reçine	0,807
BN1-%15 reçine	1,02
BN1-%20 reçine	1,039
BN1-%25 reçine	0,9240

Çizelge 7.13 BN2 değişen reçine oranlarında ısı iletkenlik katsayısı değerleri

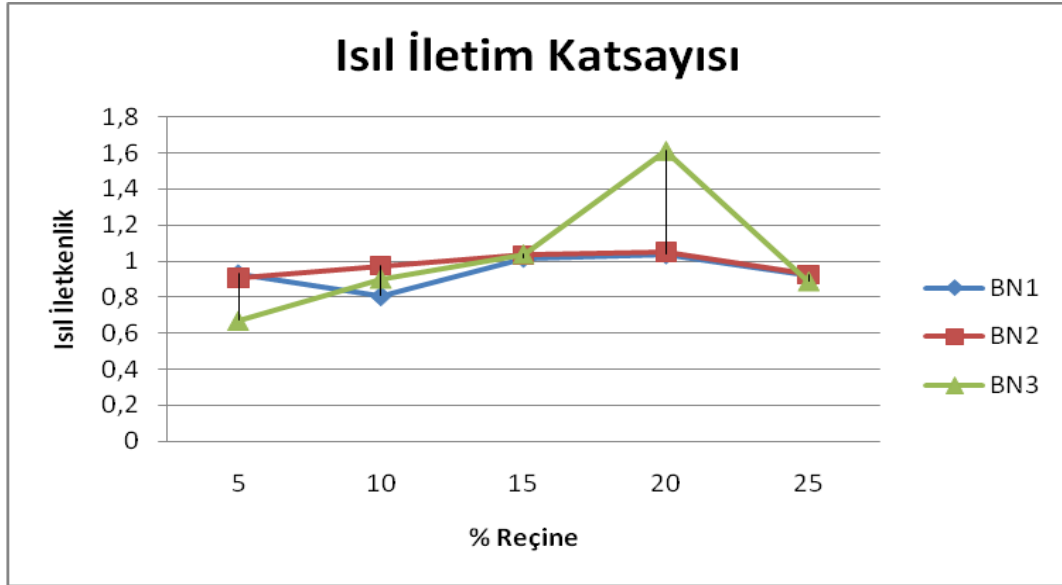
Kompozisyon	Isıl iletim katsayısı W/mK
BN2-%5 reçine	0,9053
BN2-%10 reçine	0,9737
BN2-%15 reçine	1,034
BN2-%20 reçine	1,052
BN2-%25 reçine	0,926

Çizelge 7.14 BN3 değişen reçine oranlarında ısı iletkenlik katsayısı değerleri

Kompozisyon	Isıl iletim katsayısı W/mK
BN3-%5 reçine	0,671
BN3-%10 reçine	0,904
BN3-%15 reçine	1,040
BN3-%20 reçine	1,612
BN3-%25 reçine	0,890

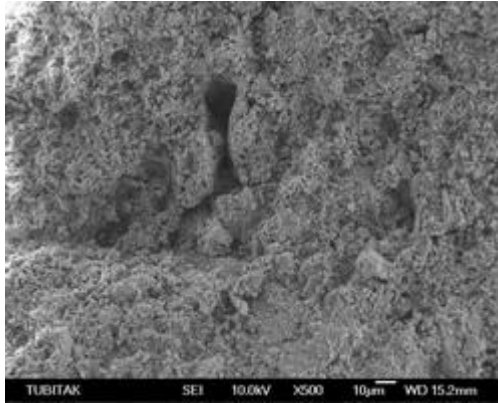
Yapılarda ısı ıonfor günümüzde oldukça önemli olmaktadır. Isıl konforu sağlayan başlıca eleman kullanılan yapı malzemesi ve ısı ı özellikleridir. Malzemelerin ısı ı iletkenliğini büyük ölçüde iç yapıdaki poroziteler etkilemektedir (Gündüz vd., 2001).

Sisteme ilave edilen reçine miktarı arttıkça ısı ı iletkenlik katsayısı artmaktadır. Bunun sebebi reçine miktarı arttıkça numunelerin gözenek miktarı azalmış ve ısı ı iletimi artmıştır. % 25 reçine oranında gözenek miktarının artmasıyla ısı ı iletkenlik katsayısında düşme olmuştur. Çünkü gözenek miktarı artmıştır (Şekil 7.13). Burdur Bej mermerinin ısı ı iletim katsayısı 1,13-2,14 toz novalak reçinenin ise 0,8-0,9 arasındır (Uğur vd., 2003). Şekil 7.16'de görüldüğü gibi üretilen kompozit numunelerin ısı ı iletkenlik katsayıları da bu değerler arasında çıkmıştır.

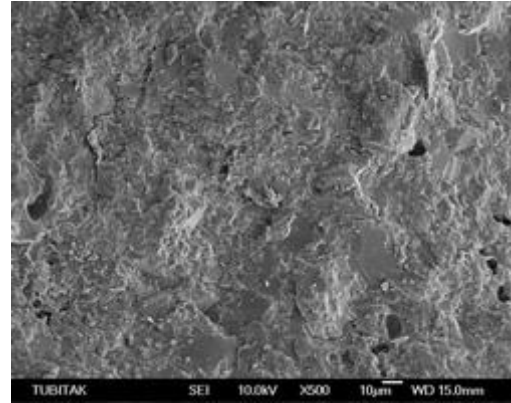


Şekil 7.16 BN1 BN2 ve BN3 reçine bağlayıcılı numunelerin ısı iletim katsayısı grafiğı

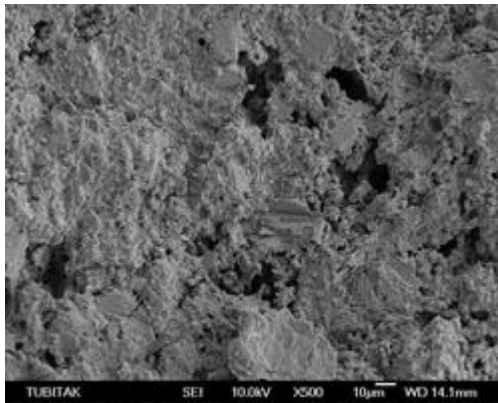
7.2.7 Taramalı Elektron Mikroskobu İncelemesi Sonuçları



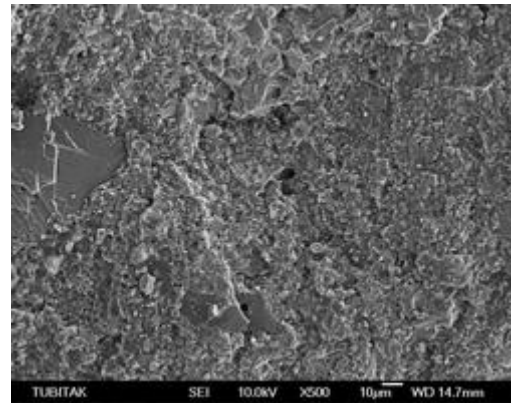
(a)



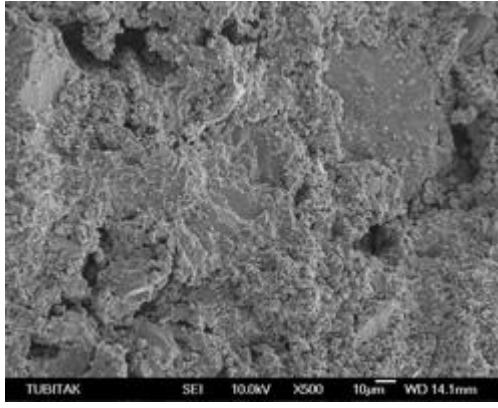
(b)



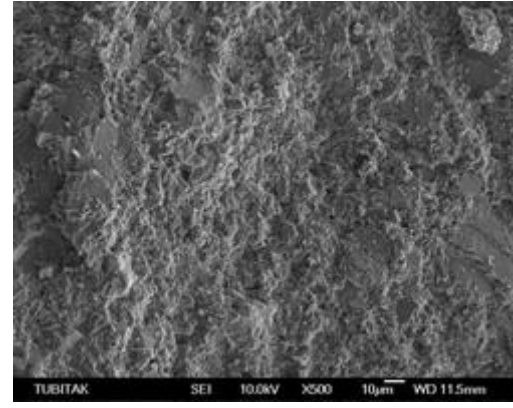
(c)



(d)



(e)



(f)

Şekil 7.17 Reçine bağlayıcı kullanılan numunelerin SEM görüntüleri a) BN1 % 5, b) BN1 % 20, c) BN2 % 15, d) BN2 %20, e) BN3 %10, f) BN3 %25

Reçine miktarı arttıkça numunelerin poroziteleri azalmıştır. Arşimed deneyi ile paralel bir sonuç elde edilmiştir. % 20 reçine oranında minimuma düşen gözenek miktarı % 25 reçine oranından itibaren iç yapıda tekrar artmaya başlamıştır.

7.3 Tuğla Harcı ile Karıştırılmış Numunelerin Test Sonuçları

7.3.1 Pişme küçülmesi Sonuçları

Sinter öncesi ve sonrası alınan ölçümler ve yapılan tartımlar sonucunda ortalama değerler alınmış Çizelge 7.15, 7.16, 7.17, 7.18, 7.19, 7.20, 7.21, 7.22 ve 7.23’ de verilmiştir.

Çizelge 7.15 BN1 900 °C sıcaklıkta sinterlenmiş numunelerin pişme küçülmeleri

Atık Toz-Tuğla Harcı	Genişlik %	Uzunluk %	Kalınlık %	Ağırlık %
BN1 0-100	0,81	0,63	2,36	7,96
BN1 10-90	0,70	0,18	2,68	10,87
BN1 20-80	0,62	0,09	2,33	14,68
BN1 30-70	0,69	0,21	2,57	17,96
BN1 40-60	0,40	0,15	1,38	21,33
BN1 50-50	1,10	0,21	3,12	24,79
BN1 60-40	0,46	0,37	0,80	27,45
BN1 70-30	1,41	0,58	1,81	31,00

Çizelge 7.16 BN1 ve tuğla harcı karışımı 1000 °C sinterleme sonrası pişme küçülmeleri

Atık Toz-Tuğla Harcı	Genişlik %	Uzunluk %	Kalınlık %	Ağırlık %
BN1 0-100	5,23	5,05	6,21	8,37
BN1 10-90	0,86	0,53	2,32	11,58
BN1 20-80	-0,12	-0,14	0,96	15,06
BN1 30-70	0,02	-0,028	0,32	18,12
BN1 40-60	-0,84	-0,92	-1,41	19,50
BN1 50-50	-0,85	-1,19	-0,72	24,70
BN1 60-40	-1,53	-1,72	-1,39	28,67
BN1 70-30	-2,55	-2,51	-2,66	32,88
BN1 80-20	1,45	1,73	1,24	29,38

(-) Değerler büyüme olduğunu göstermektedir.

Çizelge 7.17 BN1 ve tuğla harcı karışımı 1100 °C sinterleme sonrası pişme küçülmeleri

Atık Toz-Tuğla Harcı	Genişlik %	Uzunluk %	Kalınlık %	Ağırlık %
BN1 0-100	-1,27	-0,25	-3,45	7,78
BN1 10-90	1,21	1,01	2,19	16,28
BN1 20-80	0,33	0,30	1,48	20,05
BN1 30-70	-0,22	-0,39	0,06	20,55
BN1 40-60	-0,69	-0,77	-0,16	22,15
BN1 50-50	-1,33	-1,83	-1,05	25,43
BN1 60-40	-3,09	-2,91	-3,63	28,95
BN1 70-30	-3,83	-3,79	-2,23	32,55
BN1 80-20	0,68	2,86	1,14	36,17

(-) Değerler büyüme olduğunu göstermektedir.

Çizelge 7.18 BN2 ve tuğla harcı karışımı 900 °C sinterleme sonrası pişme küçülmeleri

Atık Toz-Tuğla Harcı	Genişlik %	Uzunluk %	Kalınlık %	Ağırlık %
BN2 10-90	0,40	0,23	0,99	12,13
BN2 20-80	0,19	-0,08	3,96	16,76
BN2 30-70	-0,79	-0,53	-0,84	17,83
BN2 40-60	-1,71	-1,67	-3,39	22,00
BN2 50-50	0,22	0,11	0,48	24,67
BN2 60-40	-0,68	-0,59	1,60	26,79

(-) Değerler büyüme olduğunu göstermektedir.

Çizelge 7.19 BN2 ve tuğla harcı karışımı 1000 °C sinterleme sonrası pişme küçülmeleri

Atık Toz-Tuğla Harcı	Genişlik %	Uzunluk %	Kalınlık %	Ağırlık %
BN2 10-90	0,50	0,37	1,19	12,41
BN2 20-80	-0,02	-0,15	-0,28	17,37
BN2 30-70	-0,33	-0,48	0,19	18,97
BN2 40-60	-0,60	-0,74	1,30	24,97
BN2 50-50	-1,08	-1,11	-0,26	25,24
BN2 60-40	-1,77	-1,94	-1,32	29,40
BN2 70-30	-1,95	-2,18	-2,61	33,89
BN2 80-20	0,69	0,77	1,19	36,43

(-) Değerler büyüme olduğunu göstermektedir.

Çizelge 7.20 BN2 ve tuğla harcı karışımı 1100 °C sinterleme sonrası pişme küçülmeleri

Atık Toz-Tuğla Harcı	Genişlik %	Uzunluk %	Kalınlık %	Ağırlık %
BN2 10-90	1,35	1,39	2,62	11,92
BN2 20-80	0,19	0,19	-0,40	17,75
BN2 30-70	-0,31	-0,53	-0,32	19,40
BN2 40-60	-0,94	-1,16	-0,44	23,93
BN2 50-50	-1,03	-1,21	-0,77	25,11
BN2 60-40	-2,61	-2,15	-1,99	29,09
BN2 70-30	-3,26	-2,37	-5,29	32,28
BN2 80-20	1,13	0,64	1,64	36,38

Çizelge 7.21 BN3 ve tuğla harcı karışımı 900 °C sinterleme sonrası pişme küçülmeleri

Atık Toz-Tuğla Harcı	Genişlik %	Uzunluk %	Kalınlık %	Ağırlık %
BN3 10-90	0,36	0,25	0,76	8,94
BN3 20-80	0,21	0,11	0,88	13,35
BN3 30-70	0,21	0,05	0,59	15,99
BN3 40-60	0,16	0	0,75	16,74
BN3 50-50	0,12	-0,03	0,06	24,97
BN3 60-40	0,16	0,23	0,06	27,61
BN3 70-30	0,37	0,37	-0,10	29,97

(-) Değerler büyüme olduğunu göstermektedir.

Çizelge 7.22 BN3 ve tuğla harcı karışımı 1000 °C sinterleme sonrası pişme küçülmeleri

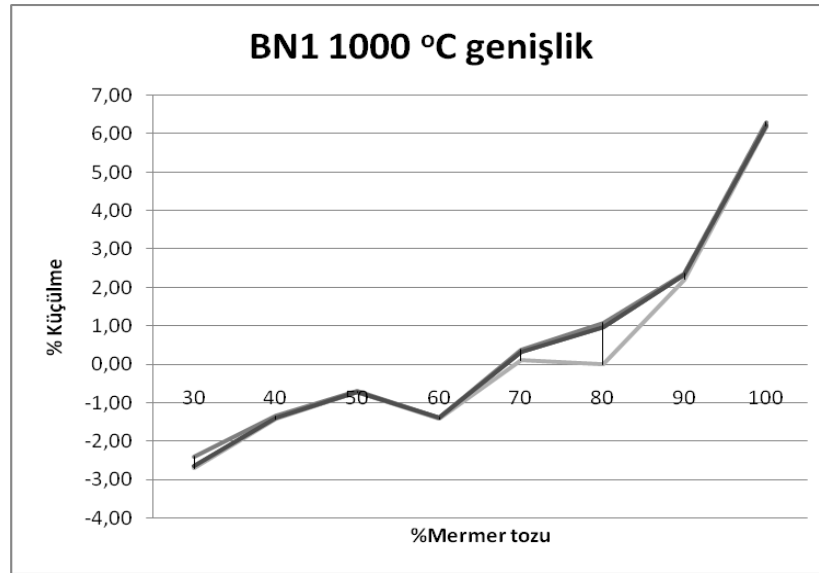
Atık Toz-Tuğla Harcı	En %	Uzunluk %	Kalınlık %	Ağırlık %
BN3 10-90	0,48	0,47	0,96	9,23
BN3 20-80	-0,02	-0,11	0,44	12,97
BN3 30-70	-0,36	-0,56	0,36	17,06
BN3 40-60	0,48	0,47	0,96	9,23
BN3 50-50	-1,56	-1,51	-1,69	25,45
BN3 60-40	-2,50	-2,28	-3,82	29,37
BN3 70-30	-2,99	-2,50	-3,99	33,18
BN3 80-20	-0,31	0,50	-0,33	37,65

(-) Değerler büyüme olduğunu göstermektedir.

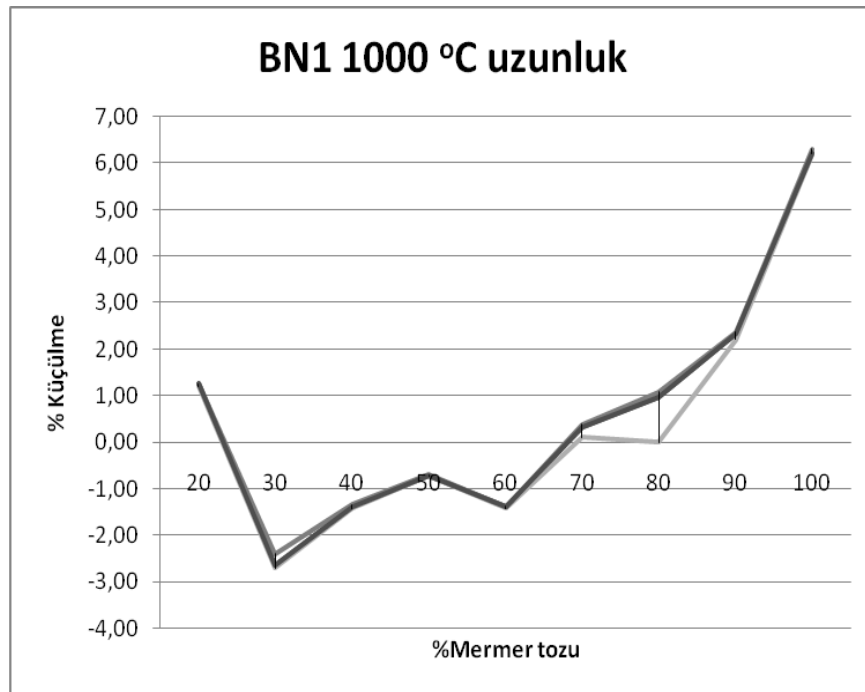
Çizelge 7.23 BN3 ve tuğla harcı karışımı 1100 °C sinterleme sonrası pişme küçülmeleri

Atık Toz-Tuğla Harcı	En %	Uzunluk %	Kalınlık %	Ağırlık %
BN3 10-90	2,29	2,10	3,63	8,99
BN3 20-80	0,45	0,40	1,16	12,15
BN3 30-70	-0,04	-0,27	0,52	17,38
BN3 40-60	-0,65	-0,84	-0,19	17,71
BN3 50-50	-2,06	-2,18	-2,45	24,76
BN3 60-40	-3,35	-3,26	-3,42	28,32
BN3 70-30	-3,49	-3,45	-1,83	32,36
BN3 80-20	0,67	0,80	0,79	36,11

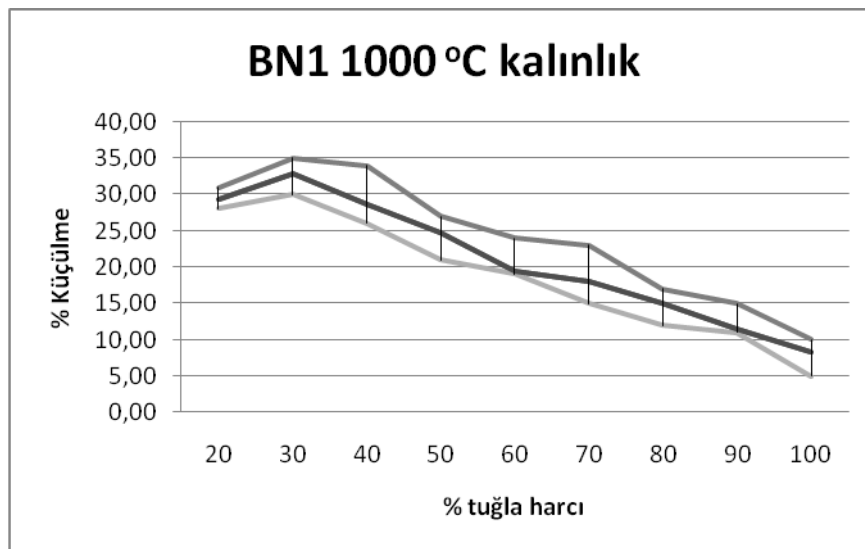
(-) Değerler büyüme olduğunu göstermektedir.



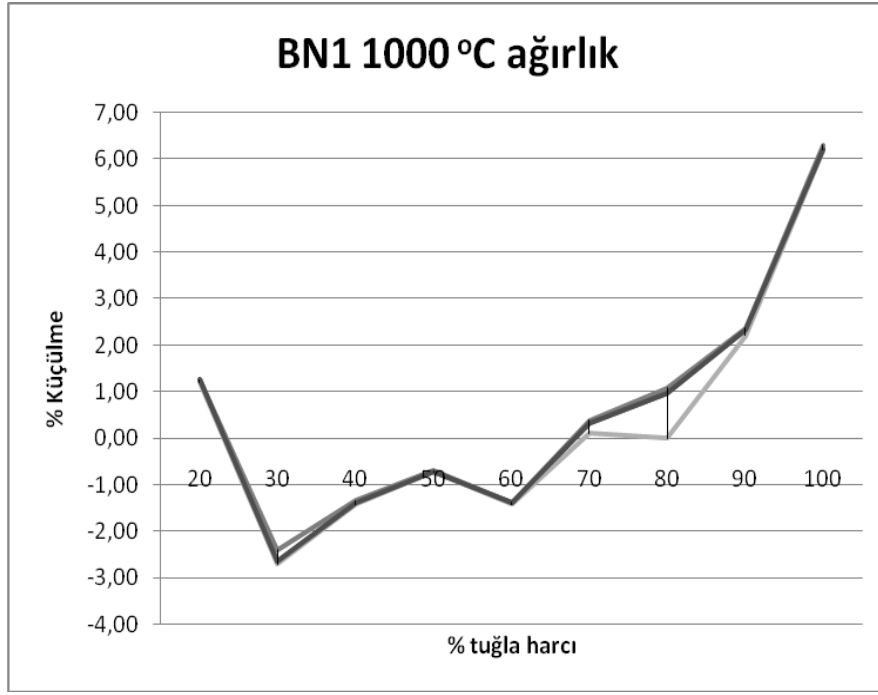
Şekil 7.18 BN1 ve tuğla harcı 1000 °C sinter sıcaklıkları sonrasında genişlik % küçülmeleri



Şekil 7.19 BN1 ve tuğla harcı 1000 °C sinter sıcaklıkları sonrasında uzunluk % küçülmeleri



Şekil 7.20 BN1 ve tuğla harcı 1000 °C sinter sıcaklıkları sonrasında kalınlık % küçülmeleri



Şekil 7.21 BN1 ve tuğla harcı 1000 °C sinter sıcaklıkları sonrasında ağırlık % küçülmeleri

Numunelerin kil ihtiva etmesinden dolayı pişme sonrasında küçülmesi gerekir. Malzeme içindeki organikler yanar ve hem ağırlıkta hem de boyutta küçülmeye sebep olur. Mermer tozu ilave edilmiş numunelerde ise özellikle yüksek orandaki ilavelerde bu durumun tersi gözlenmektedir. Yani numune ağırlıkları düşmesine rağmen boyutlarında büyüme meydana gelmiştir. Negatif değerler büyümeyi göstermektedir. Büyümenin ana sebebi iç yapıda oluşan gözeneklerdir. Mermer tozu miktarı arttıkça gözenek miktarı artmaktadır. Gözeneklerin sebebinin CaCO_3 'ın parçalanması esnasında açığa çıkan CO_2 olduğu düşünülmektedir. Çoğu numunede kabarmalar gözle görünür cinstedir. İçeride gaz kaldığı açıktır. Ayrıca yine CaO çok reaktif olduğundan dolayı her türlü elementle reaksiyon verebilir durumdadır ve bu da içeride havadaki herhangi bir bileşik veya elementle reaksiyona girip yeni bir bileşik oluşturması da büyümenin sebepleri arasında görülebilir ama ağırlıktaki kayıp büyümenin daha çok içeride kalan gazdan ve bu yüzden oluşan büyük gözeneklerden dolayı olduğu düşünülmektedir. Alçı malzemesinin kristal suyunu kaybettikten itibaren ısıtmaya devam ettiğinde patlamaya bile yol açtığı bilinir. Kireç (CaO) bu alçı malzemesinin özelliklerini taşır. Burada da aynı durum söz konusudur. CaO genleşir. Tamamen tuğla harcı ile basılmış numunelerle karşılaştırıldığında, 1100 °C itibariyle bu numunelerin de büyümeye başladığı görülmektedir. Burada büyüme sebebi hammaddenin ergimeye başlaması ve şeklini muhafaza edememesi olarak açıklanabilmektedir. Olması gereken optimum küçülmeler 900 °C'de BN1 ve BN3 için görülmektedir. Ancak 900 °C CaCO_3 'ın dönüşümü için de pek uygun bir sıcaklık değildir.

7.3.2 Arşimed Testi Sonuçları

Kuru, yaş ve su içi tartımlarından hesaplanan yoğunluk, porozite ve su emme değerleri Çizelge 7.24, 7.25, 7.26, 7.27, 7.28, 7.29, 7.30, 7.31, 7.32 ve 7.33 ‘de verilmiştir.

Çizelge 7.24 BN1 900 °C ‘de sinterlenmiş numune yoğunluk, porozite ve su emme değerleri

Atık Mermer Tozu-Tuğla Harcı	Yoğunluk (gr/cm ³)	% Porozite	% Su emme
BN1 10-90	2,04	24,10	11,77
BN1 20-80	2,00	21,97	10,98
BN1 30-70	1,91	29,07	15,15
BN1 40-60	1,77	32,55	18,30
BN1 50-50	1,62	42,37	26,26
BN1 60/40	1,60	38,02	23,65
BN1 70-30	1,51	40,06	26,28
BN1 80-20	1,38	41,17	29,78

Çizelge 7.25 BN1 1000 °C ‘de sinterlenmiş numune yoğunluk, porozite ve su emme değerleri

Atık Mermer Tozu-Tuğla Harcı	Yoğunluk (gr/cm ³)	% Porozite	% Su emme
BN1 10-90	2,04	20,51	10,06
BN1 20-80	1,91	26,88	14,04
BN1 30-70	1,81	32,55	17,95
BN1 40-60	1,66	40,42	24,35
BN1 50-50	1,55	39,55	26,12
BN1 60/40	1,42	40,25	26,75
BN1 70-30	1,32	43,63	32,87

Çizelge 7.26 BN1 1100 °C ‘de sinterlenmiş numune yoğunluk, porozite ve su emme değerleri

Atık Mermer Tozu-Tuğla Harcı	Yoğunluk (gr/cm ³)	% Porozite	% Su emme
BN1 10-90	2,20	9,58	4,35
BN1 20-80	1,89	26,25	13,91
BN1 30-70	1,84	31,39	17,09
BN1 40-60	1,72	35,29	20,41
BN1 50-50	1,50	43,75	28,99
BN1 60/40	1,48	43,12	29,14

Çizelge 7.27 BN2 900 °C ‘de sinterlenmiş numune yoğunluk, porozite ve su emme değerleri

Atık Mermer Tozu- Tuğla Harcı	Yoğunluk (gr/cm ³)	% Porozite	% Su emme
BN2 10-90	2,10	19,54	9,29
BN2 20-80	1,35	64,64	50,00
BN2 30-70	2,06	42,00	15,21
BN2 40-60	1,89	41,19	20,04
BN2 50-50	1,59	40,07	25,09
BN2 60/40	1,41	46,38	32,93

Çizelge 7.28 BN2 1000 °C ‘de sinterlenmiş numune yoğunluk, porozite ve su emme değerleri

Atık Mermer Tozu- Tuğla Harcı	Yoğunluk (gr/cm ³)	% Porozite	% Su emme
BN2 10-90	2,09	18,39	8,79
BN2 20-80	1,90	26,19	13,75
BN2 30-70	1,80	34,04	18,82
BN2 40-60	1,61	40,42	25,00
BN2 50-50	1,40	44,44	31,57
BN2 60/40	1,44	43,51	30,98

Çizelge 7.29 BN2 1100 °C ‘de sinterlenmiş numune yoğunluk, porozite ve su emme değerleri

Atık Mermer Tozu- Tuğla Harcı	Yoğunluk (gr/cm ³)	% Porozite	% Su emme
BN2 10-90	2,09	15,73	7,52
BN2 20-80	2,00	26,02	13,01
BN2 30-70	1,86	28,57	15,28
BN2 40-60	1,73	35,95	20,77
BN2 50-50	1,52	44,37	29,11
BN2 60/40	1,50	45,04	30,01

Çizelge 7.30 BN3 900 °C ‘de sinterlenmiş numune yoğunluk, porozite ve su emme değerleri

Atık Mermer Tozu- Tuğla Harcı	Yoğunluk (gr/cm ³)	% Porozite	% Su emme
BN3 10-90	2,05	22,07	10,75
BN3 20-80	1,95	27,16	13,92
BN3 30-70	1,90	29,54	15,47
BN3 40-60	1,90	28,75	15,13
BN3 50-50	1,54	42,90	27,6
BN3 60/40	1,36	47,68	35,72
BN3 70-30	1,32	46,79	35,34

Çizelge 7.31 BN3 1000 °C ‘de sinterlenmiş numune yoğunluk, porozite ve su emme değerleri

Atık Mermer Tozu- Tuğla Harcı	Yoğunluk (gr/cm ³)	% Porozite	% Su emme
BN3 10-90	2,07	17,97	8,64
BN3 20-80	1,96	25,53	12,97
BN3 30-70	1,84	30,85	16,76
BN3 40-60	1,80	32,97	18,23
BN3 50-50	1,50	43,55	28,1
BN3 60/40	1,32	48,41	36,54

Çizelge 7.32 BN3 1100 °C’de sinterlenmiş numune yoğunluk, porozite ve su emme değerleri

Atık Mermer Tozu- Tuğla Harcı	Yoğunluk (gr/cm ³)	% Porozite	% Su emme
BN3 10-90	2,13	10	4,67
BN3 20-80	1,97	22,22	11,25
BN3 30-70	1,88	27,90	14,81
BN3 40-60	1,81	31,18	17,16
BN3 50-50	1,49	46,16	30,80
BN3 60/40	1,39	48,45	32,21
BN3 70-30	1,35	50,13	44,24

Çizelge 7.33 % 100 Tuğla harcı yoğunluk, porozite, su emme testi sonuçları

Sinter Sıcaklıkları (°C)	Yoğunluk (gr/cm ³)	% Su emme	% Porozite
900	2,18	18,82	8,60
1000	2,47	4,05	1,63
1100	1,83	9,89	5,38

BN1 900 C sinter sıcaklığı haricinde diğer hiçbir numunede % 80 mermer tozu ilave edilmiş

oranda ölçüm yapılamamıştır. Bunun sebebi CaCO_3 'ün sinter sırasında parçalanıp CaO 'e dönüşmesi ve bu oluşan CaO 'ün reaktivitesiyle ilgilidir. Suyu atılan numune daha kaynama olmaksızın çözünmeye başlamaktadır. Dışarıya ısı vererek su ile reaksiyona girip Ca(OH)_2 'e dönüşmektedir. Bunu yapılan XRD testleri kanıtlamaktadır. Bu sebeple CaCO_3 çözündükçe bağlayıcılık yok olur ve basılan numune dağılmaya başlar. Yine bu test mermer tozunun tuğla harcı içerisine belli bir orandan sonra girmesinin mümkün olmadığını en ufak nemli ortamda suyla reaksiyona girebileceğini göstermektedir.

7.3.3 Üç Nokta Eğme Testi Sonuçları

Üç nokta eğme testi her numuneye 5'er defa uygulanmıştır, ortalama değerler alınmıştır. Sonuçlar Çizelge 7.34, 7.35, 7.36, 7.37, 7.38, 7.39, 7.40, 7.41, 7.42, ve 7.43 'de verilmiştir.

Çizelge 7.34 BN1 ve tuğla harcı karışımı 900 °C sinterlenmiş eğilme mukavemet değerleri

Atık Toz-Tuğla Harcı	Eğilme Mukavemeti (MPa)
BN1 10-90	23,45
BN1 20-80	20,94
BN1 30-70	17,33
BN1 40-60	12,60
BN1 50-50	55,12
BN1 60-40	33,52
BN1 70-30	1,99

Çizelge 7.35 BN1 ve tuğla harcı karışımı 1000 °C sinterlenmiş eğilme mukavemeti değerleri

Atık Toz-Tuğla Harcı	Eğilme Mukavemeti (MPa)
BN1 10-90	25,98
BN1 20-80	21,30
BN1 30-70	19,97
BN1 40-60	12,69
BN1 50-50	9,07
BN1 60-40	29,40
BN1 70-30	2,11
BN1 80-20	12,18

Çizelge 7.36 BN1 ve tuğla harcı karışımı 1100 °C sinterlenmiş eğilme mukavemeti değerleri

Atık Toz-Tuğla Harcı	Eğilme Mukavemeti (MPa)
BN1 10-90	35,79
BN1 20-80	30,69
BN1 30-70	27,86
BN1 40-60	16,06
BN1 50-50	36,86
BN1 60-40	6,44
BN1 70-30	12,69
BN1 80-20	9,20

Çizelge 7.37 BN2 ve tuğla harcı karışımı 900 °C sinterlenmiş eğilme mukavemeti değerleri

Atık Toz-Tuğla Harcı	Eğilme Mukavemeti (MPa)
BN2 10-90	22,48
BN2 20-80	7,88
BN2 30-70	2,14
BN2 40-60	1,03
BN2 50-50	4,87
BN2 60-40	0,30

Çizelge 7.38 BN2 ve tuğla harcı karışımı 1000 °C sinterlenmiş eğilme mukavemeti değerleri

Atık Toz-Tuğla Harcı	Eğilme Mukavemeti (MPa)
BN2 10-90	28,51
BN2 20-80	22,59
BN2 30-70	16,27
BN2 40-60	10,97
BN2 50-50	30,28
BN2 60-40	23,29
BN2 70-30	12,79
BN2 80-20	32,56

Çizelge 7.39 BN2 ve tuğla harcı karışımı 1100 °C sinterlenmiş eğilme mukavemeti değerleri

Atık Toz-Tuğla Harcı	Eğilme Mukavemeti (MPa)
BN2 10-90	36,35
BN2 0-80	28,01
BN2 30-70	22,38
BN2 40-60	14,24
BN2 50-50	24,87
BN2 60-40	13,30
BN2 70-30	2,91
BN2 80-20	0,30

Çizelge 7.40 BN3 ve tuğla harcı karışımı 900 °C sinterlenmiş eğilme mukavemeti değerleri

Atık Toz-Tuğla Harcı	Eğilme Mukavemeti (MPa)
BN3 10-90	24,68
BN3 20-80	20,07
BN3 30-70	14,94
BN3 40-60	13,72
BN3 50-50	24,30
BN3 60-40	9,13
BN3 70-30	1,12

Çizelge 7.41 BN3 ve tuğla harcı karışımı 1000 °C sinterlenmiş eğilme mukavemeti değerleri

Atık Toz-Tuğla Harcı	Eğilme Mukavemeti (MPa)
BN3 10-90	31,45
BN3 20-80	24,25
BN3 30-70	15,98
BN3 40-60	13,02
BN3 50-50	9,34
BN3 60-40	4,51
BN3 70-30	1,18
BN3 80-20	1,02

Çizelge 7.42 BN3 ve tuğla harcı karışımı 1100 °C sinterlenmiş eğilme mukavemeti değerleri

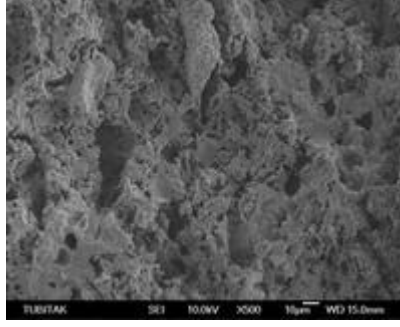
Atık Toz-Tuğla Harcı	Eğilme Mukavemeti (MPa)
BN3 10-90	24,68
BN3 20-80	20,07
BN3 30-70	15,25
BN3 40-60	13,85
BN3 50-50	29,51
BN3 60-40	10,89
BN3 70-30	3,30
BN3 80-20	2,05

Çizelge 7.43 % 100 Tuğla harcı mukavemet değerleri

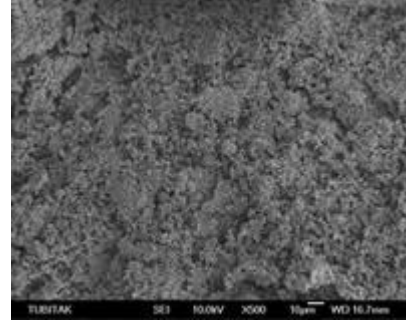
Sinter Sıcaklığı (°C)	Mukavemet Değerleri (MPa)
900	28,29
1000	53,18
1100	44,61

Numunelerin mukavemet değerleri incelendiğinde mermer tozu miktarı arttıkça mukavemetin düştüğü görülmektedir. 1100 °C civarında mukavemet değerlerinin en düşük mermer tozu ilavesinde, maksimum değerlere ulaştığı görülmüştür. Verilen değerler her bir numune için yapılan 5 testin ortalamasıdır. Sonuçların porozitenin dağılımına göre değişkenlik gösterdiği görülmüştür. Gözeneklerin homojen dağılmış olmayıp ve büyük olduğu numunelerde çok düşük mukavemet değerleri alınmıştır. Sıcaklık değeri arttıkça CaO'in ergime derecesine yaklaşılması hatta CaO'in SiO₂'in de ergime derecesini düşürmesi iyi bir bağlayıcılık sağlanmakta ve istenilen mukavemet değerlerini elde etmeye yardımcı olmaktadır. Ancak karıştırmada yapılan eksiklikler, presteki hetorejenlik veya iyi belirlenememiş sıcaklık veya basınç değerleri her numune için aynı sonuçları almayı önlemektedir.

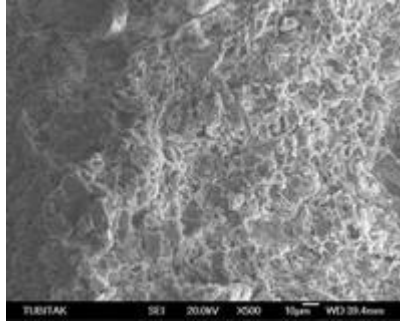
7.3.4 Taramalı Elektron Mikroskobu İncelemesi Sonuçları



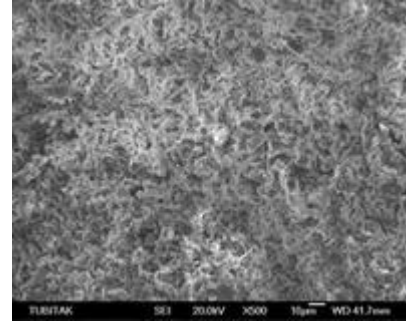
(a)



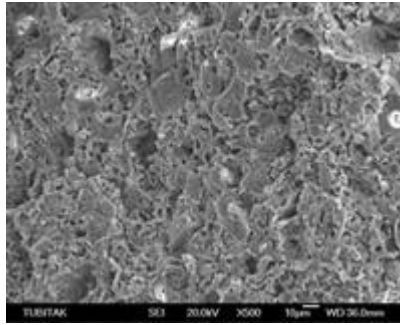
(b)



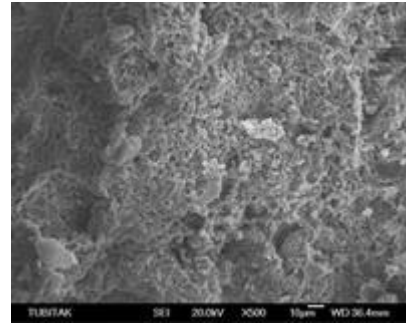
(c)



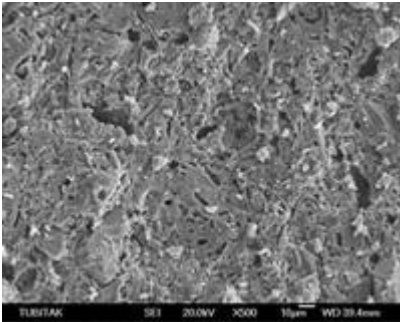
(d)



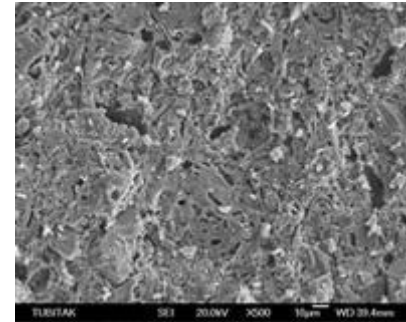
(e)



(f)



(g)



(h)

Şekil 7.22 Tuğla harcı ile karıştırılmış numunelerin SEM görüntüleri a) BN1 %50 mermer tozu %50 tuğla harcı 1100 °C b) BN1 70-30 1000 °C c) BN1 20-80 900 °C d) BN1 40-60 1000 °C e) BN1 20-80 1100 °C f) BN2 40-60 1000 °C g) BN2 10-90 1000 °C h) BN3 10-90 900 °C

Bazı numunelerin parçalandığı için SEM analizi yapılamamıştır. İncelemesi yapılabilinen numunelerin görüntüleri Şekil 7.21’de verilmiştir. Mermer tozu oranı arttıkça porozitelerin arttığı dikkati çekmektedir. Nitekim su emme, gözeneklilik testi için de benzer sonuçlar elde edilmiştir.

7.3.5 X-Işınları Difraksiyonu Analizi Sonuçları

Çizelge 7.44 BN1 mermer tozu ve tuğla harcı karışı numunelerin farklı sinter sıcaklıklarında XRD analizi ile belirlenen minerolojik bileşimleri

Kompozisyon % (Mermer tozu-Tuğla harcı)	Sinter sıcaklığı-Süresi	Bulunan fazlar
BN1 10-90	900 °C -3 saat	kireç, kuvarz, feldispat, vollastonit, hematit, augit
	1000 °C -3 saat	kireç, kuvarz, gehlenit, feldispat, hematit, vollastonit, augit
	1100 °C -3 saat	kireç, kuvarz, gehlenit, feldispat, augit, hematit
BN1 20-80	900 °C -3 saat	kireç, kuvarz, gehlenit, feldispat, vollastonit, hematit
	1000 °C -3 saat	Kireç, kuvarz, augit, feldispat, vollastonit, larnit, hematit, gehlenit
	1100 °C -3 saat	kuvarz, gehlenit, feldispat, vollastonit, larnit, hematit, augit
BN1 30-70	900 °C -3 saat	kireç, kuvarz, gehlenit, portlandit, Feldispat, vollastonit, hematit, augit
	1000 °C -3 saat	kireç, kuvarz, gehlenit, portlandit, Feldispat, vollastonit, larnit, augit
	1100 °C -3 saat	kireç, kuvarz, gehlenit, Feldispat, vollastonit, larnit, kristobalit, augit
BN1 40-60	900 °C -3 saat	kireç, kuvarz, gehlenit, portlandit, feldispat, vallastonit
	1000 °C -3 saat	kireç, kuvarz, gehlenit, feldispat, vollastonit, kristobalit
	1100 °C -3 saat	kireç, kuvarz, gehlenit, feldispat, vollastonit, kristobalit, augit

Çizelge 7.45 BN1 mermer tozu ve tuğla harcı karışı numunelerin farklı sinter sıcaklıklarında XRD analizi ile belirlenen mineralojik bileşimleri

Kompozisyon % (Mermer tozu-Tuğla harcı)	Sinter sıcaklığı-Süresi	Çıkan fazlar
BN1 50-50	900 °C -3 saat	kireç,kuvarz, gehlenit, portlandit, Feldispat, kristobalit
	1000 °C -3 saat	kireç, kuvarz, gehlenit, portlandit, feldispat,vollastonit, larnit
	1100 °C -3 saat	kireç, kuvarz, gehlenit, portlandit, feldispat, kristobalit, larnit
BN1 60-40	900 °C -3 saat	kireç, kuvarz, gehlenit, portlandit, feldispat, larnit
	1000 °C -3 saat	kireç, kuvarz, gehlenit, portlandit, vollastonit, larnit
	1100 °C -3 saat	kireç, kuvarz, gehlenit, portlandit, vollastonit, larnit
BN1 70-30	900 °C -3 saat	kireç, kuvarz, gehlenit portlandit, Feldispat, vollastonit
	1000 °C -3 saat	kireç, kuvarz, gehlenit portlandit, vollastonit, larnit
	1100 °C -3 saat	kireç, kuvarz, gehlenit portlandit, vollastonit, kristobalit
BN1 80-20	900 °C -3 saat	kireç, kuvarz, gehlenit, vollastonit
	1000 °C -3 saat	kireç, kuvarz, gehlenit portlandit, vollastonit, larnit
	1100 °C -3 saat	kireç, kuvarz, gehlenit, portlandit, vollastonit, larnit

Çizelge 7.46 BN2 mermer tozu ve tuğla harcı karışı numunelerin farklı sinter sıcaklıklarında XRD analizi ile belirlenen mineralojik bileşimleri

Kompozisyon % (Mermer tozu-Tuğla harcı)	Sinter sıcaklığı-Süresi	Çıkan fazlar
BN2 10-90	900 °C -3 saat	kireç, kuvarz, gehlenit, feldispat, vollastonit, larnit
	1000 °C -3 saat	kireç, kuvarz, feldispat, augit, gehlenit, vollastonit
	1100 °C -3 saat	kireç, kuvarz, feldispat, augit, gehlenit, vollastonit, kristobalit
BN2 20-80	900 °C -3 saat	kireç, kuvarz, feldispat, gehlenit, vollastonit, hersinit
	1000 °C -3 saat	kireç, kuvarz, feldispat, augit, gehlenit, vollastonit, kristobalit, hersinit
	1100 °C -3 saat	kireç, kuvarz, feldispat, augit, gehlenit, vollastonit, kristobalit, larnit, portlandit, hersinit
BN2 30-70	900 °C -3 saat	kireç, kuvarz, feldispat, gehlenit, vollastonit, portlandit
	1000 °C -3 saat	kireç, kuvarz, feldispat, gehlenit, vollastonit, portlandit
	1100 °C -3 saat	kireç, kuvarz, feldispat, gehlenit, vollastonit, augit, kristobalit
BN2 40-60	900 °C -3 saat	kireç, kuvarz, feldispat, gehlenit, vollastonit, portlandit
	1000 °C -3 saat	kireç, kuvarz, feldispat, gehlenit, vollastonit, portlandit, larnit
	1100 °C -3 saat	kireç, kuvarz, feldispat, gehlenit, vollastonit, kristobalit

Çizelge 7.47 BN2 mermer tozu ve tuğla harcı karışı numunelerin farklı sinter sıcaklıklarında XRD analizi ile belirlenen mineralojik bileşimleri

Kompozisyon % (Mermer tozu-Tuğla harcı)	Sinter sıcaklığı-Süresi	Bulunan fazlar
BN2 50-50	900 °C -3 saat	kireç, kuvarz, feldispat, gehlenit, vollastonit, portlandit
	1000 °C -3 saat	kireç, kuvarz, feldispat, gehlenit, vollastonit, portlandit, larnit
	1100 °C -3 saat	kireç, kuvarz, feldispat, gehlenit, vollastonit, portlandit, larnit
BN2 60-40	900 °C -3 saat	kireç, kuvarz, feldispat, gehlenit, vollastonit, portlandit
	1000 °C -3 saat	kireç, kuvarz, feldispat, gehlenit, vollastonit, portlandit, larnit
	1100 °C -3 saat	kireç, kuvarz, feldispat, gehlenit, vollastonit, portlandit, larnit
BN2 70-30	900 °C -3 saat	kireç, kuvarz, feldispat, gehlenit, vollastonit, portlandit
	1000 °C -3 saat	kireç, kuvarz, gehlenit, vollastonit, portlandit, larnit
	1100 °C -3 saat	kireç, kuvarz, feldispat, gehlenit, vollastonit, portlandit, larnit
BN2 80-20	900 °C -3 saat	kalsiyumsilikat, gehlenit, vollastonit, portlandit, augit
	1000 °C -3 saat	kireç, kuvarz, feldispat, gehlenit, vollastonit, portlandit, larnit

Çizelge 7.48 BN3 mermer tozu ve tuğla harcı karışı numunelerin farklı sinter sıcaklıklarında XRD analizi ile belirlenen mineralojik bileşimleri

Kompozisyon % (Mermer tozu- Tuğla harcı)	Sinter sıcaklığı-Süresi	Çıkan fazlar
BN3 10-90	900 °C -3 saat	kireç, kuvarz, feldispat, gehlenit, vollastonit, portlandit, larnit, hematit
	1000 °C -3 saat	kireç, kuvarz, feldispat, gehlenit, vollastonit, portlandit, hematit, larnit
	1100 °C -3 saat	kireç, kuvarz, feldispat, gehlenit, vollastonit, portlandit, augit, hematit
BN3 20-80	900 °C -3 saat	kireç, kuvarz, feldispat, gehlenit, vollastonit, portlandit, larnit, hematit
	1000 °C -3 saat	kireç, kuvarz, feldispat, gehlenit, vollastonit, portlandit, larnit, hematit
	1100 °C -3 saat	kireç, kuvarz, feldispat, gehlenit, vollastonit, portlandit, augit, hematit, kristobalit
BN3 30-70	900 °C -3 saat	kireç, kuvarz, feldispat, gehlenit, vollastonit,
	1000 °C -3 saat	kireç, kuvarz, feldispat, gehlenit, vollastonit, augit, larnit
	1100 °C -3 saat	kireç, kuvarz, feldispat, gehlenit, vollastonit, augit, kristobalit
BN3 40-60	900 °C -3 saat	kireç, kuvarz, feldispat, gehlenit, vollastonit, hematit
	1000 °C -3 saat	kireç, kuvarz, feldispat, gehlenit, vollastonit, portlandit, hematit, augit, kristobalit
	1100 °C -3 saat	kireç, kuvarz, feldispat, gehlenit, vollastonit, portlandit, larnit, kristobalit, hematit

Çizelge 7.49 BN3 mermer tozu ve tuğla harcı karışı numunelerin farklı sinter sıcaklıklarında XRD analizi ile belirlenen mineralojik bileşimleri

Kompozisyon % (Mermer tozu- Tuğla harcı)	Sinter sıcaklığı-Süresi	Çıkan fazlar
BN3 50-50	900 °C -3 saat	kireç, kuvarz, feldispat, gehlenit, vollastonit,
	1000 °C -3 saat	kireç, kuvarz, feldispat, gehlenit, vollastonit, larnit
	1100 °C -3 saat	kireç, kuvarz, feldispat, gehlenit, vollastonit, portlandit, larnit
BN3 60-40	900 °C -3 saat	kireç, kuvarz, feldispat, gehlenit, vollastonit, portlandit
	1000 °C -3 saat	kireç, kuvarz, feldispat, gehlenit, vollastonit, portlandit, larnit
	1100 °C -3 saat	kireç, kuvarz, feldispat, gehlenit, vollastonit, portlandit, larnit
BN3 70-30	900 °C -3 saat	kireç, kuvarz, feldispat, gehlenit, vollastonit, portlandit
	1000 °C -3 saat	kireç, kuvarz, feldispat, gehlenit, vollastonit, portlandit, larnit
	1100 °C -3 saat	kireç, kuvarz, feldispat, gehlenit, vollastonit, portlandit, kristobalit
BN3 80-20	900 °C -3 saat	kireç, kuvarz, gehlenit, vollastonit, portlandit, kalsiyumsilikat, augit
	1000 °C -3 saat	kireç, kuvarz, gehlenit, vollastonit, portlandit, larnit
	1100 °C -3 saat	kireç, kuvarz, gehlenit, vollastonit, portlandit, larnit

Çizelge 7.50 %100 Tuğla harcı kullanılarak elde edilen numunelerin farklı sinter sıcaklıklarında XRD analizi ile belirlenen mineralojik bileşimleri

Kompozisyon	Sinter Sıcaklığı-Süresi	Bulunan Fazlar
%100 Tuğla Harcı	900 °C -3 saat	kuvarz, vollastonit, hematit, illite
	1000 °C -3 saat	Amorf bir yapı, kuvarz, gehlenit, hematit, vollastonit
	1100 °C -3 saat	Amorf bir yapı, kuvarz, gehlenit, hematit

CaO: Kireç, PDF NO: 37-1497

Ca₂Al₂SiO₇: Gehlenit, PDF NO: 35-755

SiO₂: Kuvars, PDF NO: 46-1045

CaSiO₃: Vollastonit, PDF NO: 43-1460

Ca₂SiO₄: Larnit, PDF NO: 33-302

Ca(OH)₂: Portlandit, PDF NO: 4-733

(Ca, Fe) SiO₃: Kalsiyumdemir silikat, PDF NO:27-1056

FeAl₂O₄: Hersinit, PDF NO: 71-4915

SiO₂: Kristobalit, PDF NO: 39-1425

Fe₂O₃: Hematit, PDF NO: 33-0664

Ca (Fe, Mg) Si₂O₆: Augit, PDF NO: 24-0201

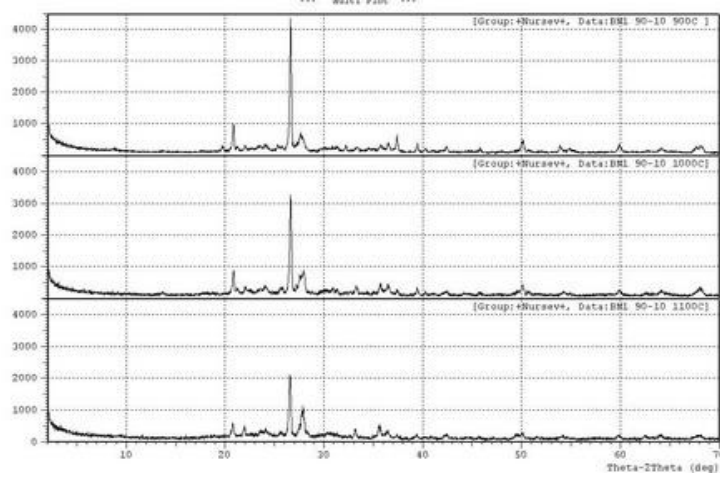
Ca(SiO₄): Kalsiyum silikat, PDF NO: 04-7-85-95

(K, H₃O) Al₂Si₃AlO₁₀(OH)₂: İllit, PDF NO: 00-26-0911

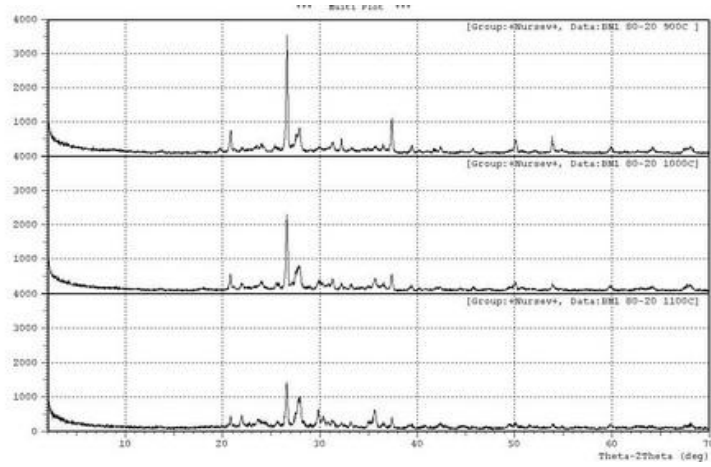
Feldspat, XRD ile cinsi belirlenemektedir.

Çıkan sonuçlar birbirini takip eder cinstedir. Ağırlıkla kalsit ve kireç çıkmıştır. Kimyasal olarak aktif olan kireç diğer elementlerle bileşikler yapmıştır. Kuvarz da yapıda bulunan diğer element ve bileşiklerle birleşmiş ve yeni bileşikler oluşturmuştur. 1000-1100 °C civarlarında kuvarz'a kristobalit eşlik etmeye başlamıştır. Ayrıca Ca(OH)₂ çoğu yapıda görülmektedir. Normalde fırından çıkar çıkmaz analiz yapılmış olsaydı bu bileşiğin olma ihtimali yoktu

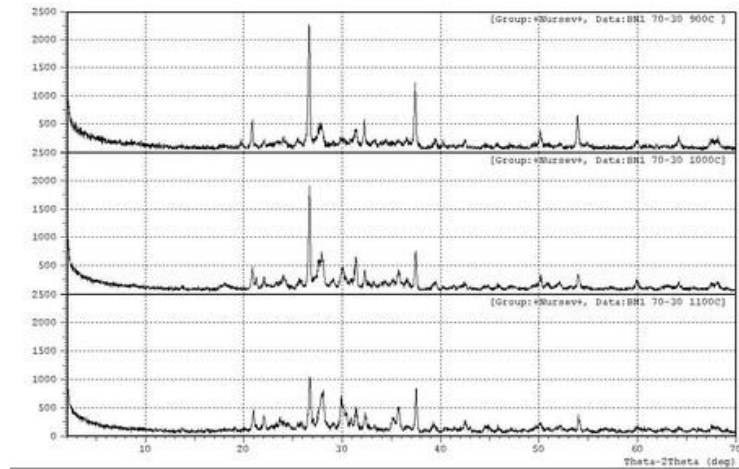
ancak bekleme esnasında havadaki nemle reaksiyona giren CaO , Ca(OH)_2 'yi oluşturmuştur. Yani bu bileşik sinter esnasında olan bir bileşik değildir.



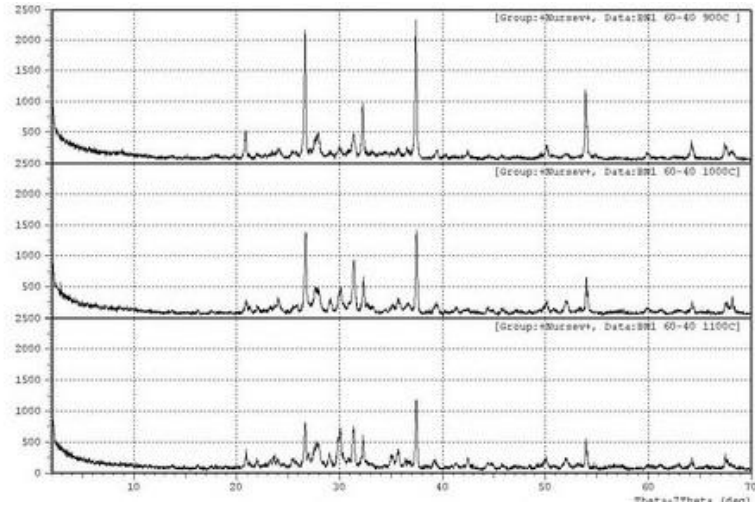
Şekil 7.23 BN1 %10 mermer tozu %90 tuğla harcı 900-1000-1100 °C X-ışını difraktogram paterni



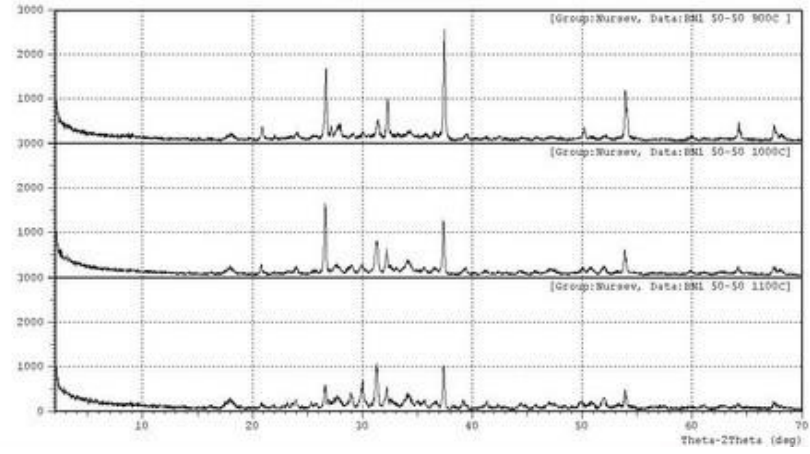
Şekil 7.24 BN1 %20 mermer tozu %80 tuğla harcı 900-1000-1100 °C X-ışını difraktogram paterni



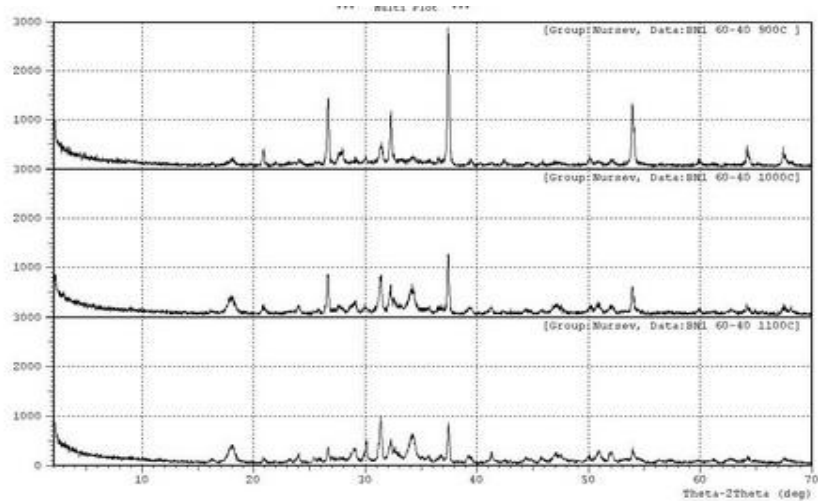
Şekil 7.25 BN1 %30 mermer tozu %70 tuğla harcı 900-1000-1100 °C X-ışını difraktogram paterni



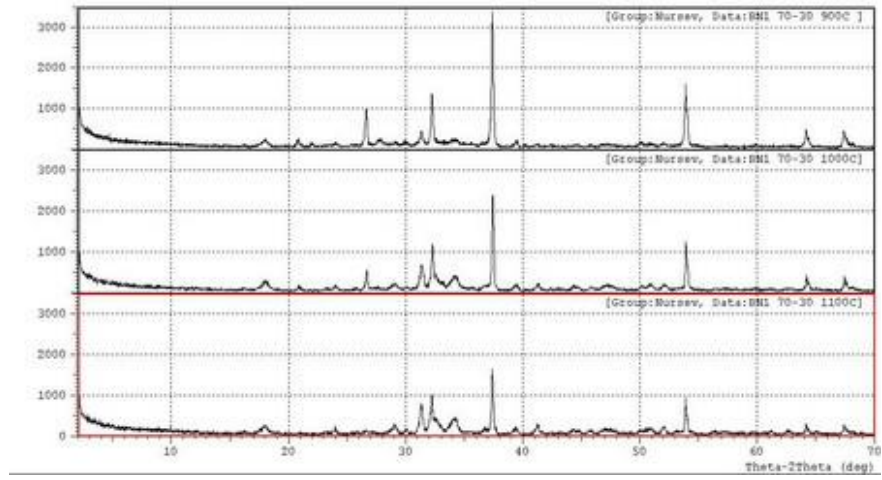
Şekil 7.26 BN1 %40 mermer tozu %60 tuğla harcı 900-1000-1100 °C X-ışını difraktogram paterni



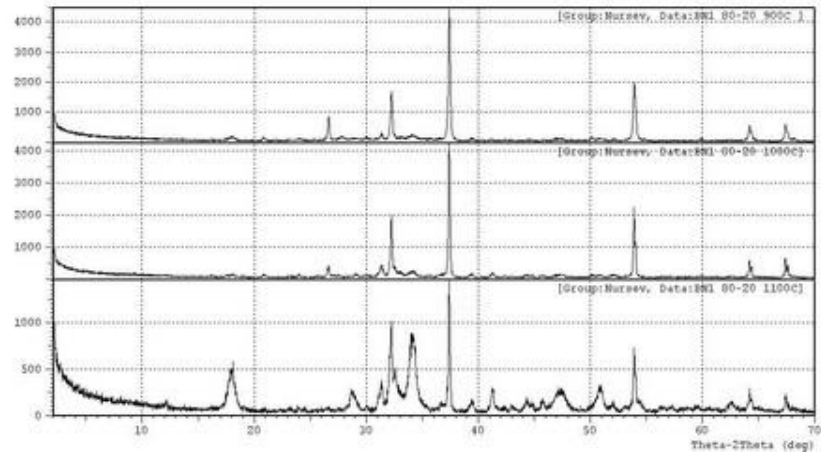
Şekil 7.27 BN1 %50 mermer tozu %50 tuğla harcı 900-1000-1100 °C X-ışını difraktogram paterni



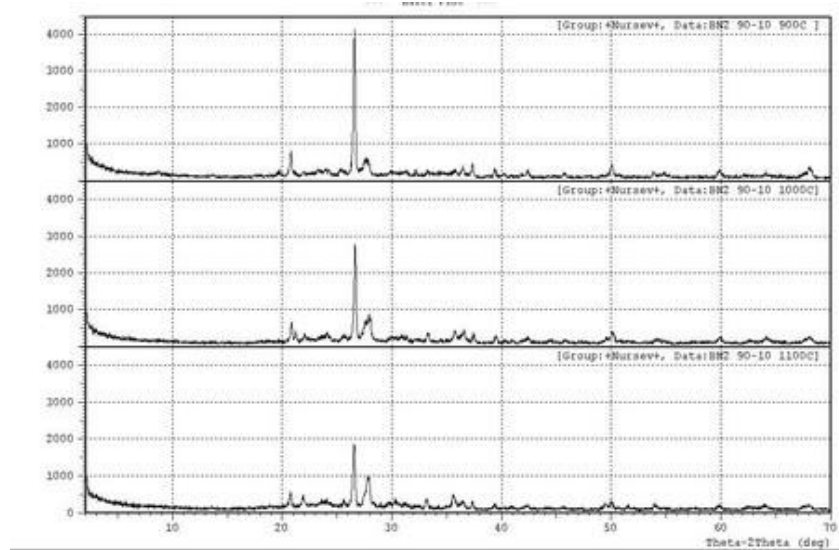
Şekil 7.28 BN1 %60 mermer tozu %40 tuğla harcı 900-1000-1100 °C X-ışını difraktogram paterni



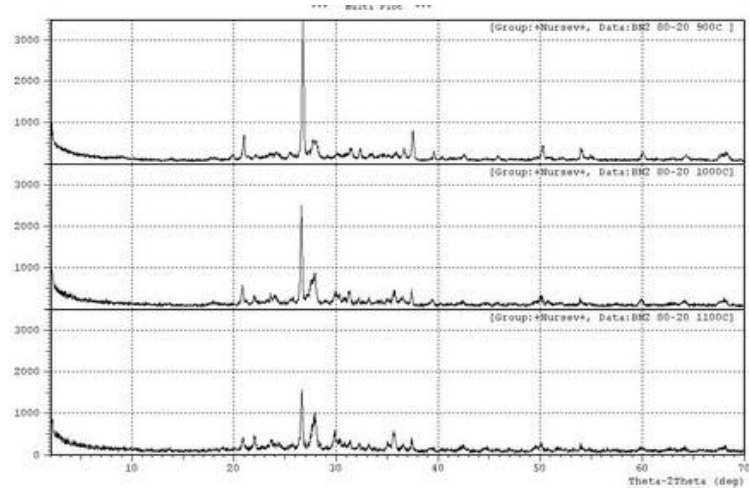
Şekil 7.29 BN1 %70 mermer tozu %30 tuğla harcı 900-1000-1100 °C X-ışını difraktogram paterni



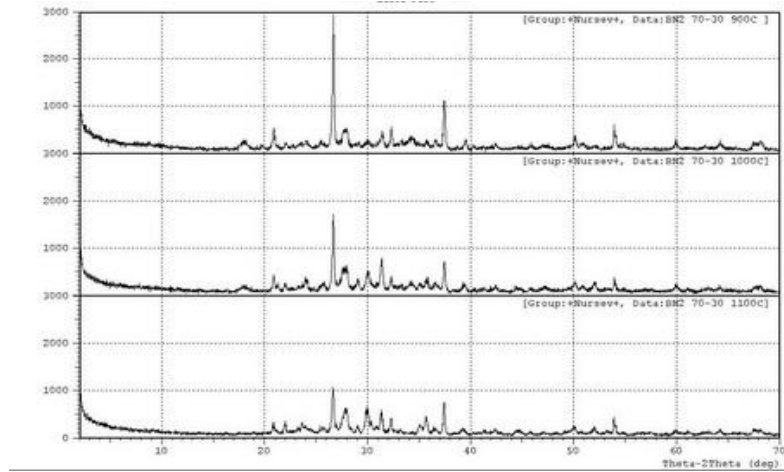
Şekil 7.30 BN1 %80 mermer tozu %20 tuğla harcı 900-1000-1100 °C X-ışını difraktogram paterni



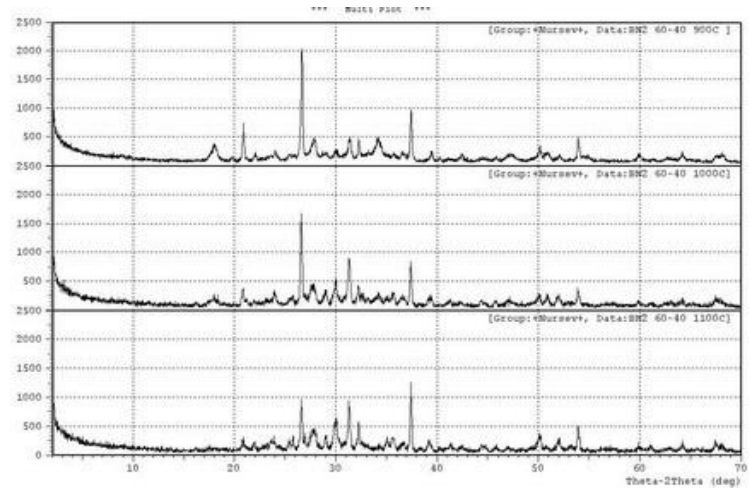
Şekil 7.31 BN2 %10 mermer tozu %90 tuğla harcı 900-1000-1100 °C X-ışını difraktogram paterni



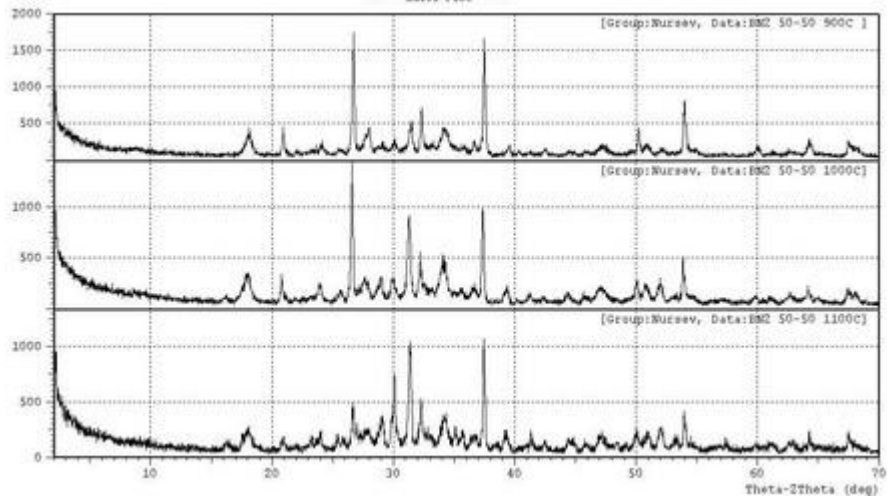
Şekil 7.32 BN2 %20 mermer tozu %80 tuğla harcı 900-1000-1100 °C X-ışını difraktogram paterni



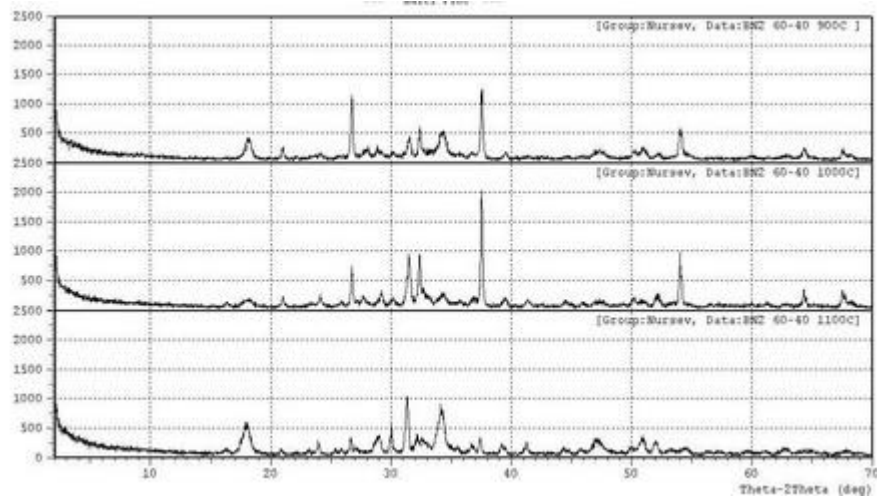
Şekil 7.33 BN2 %30 mermer tozu %70 tuğla harcı 900-1000-1100 °C X-ışını difraktogram paterni



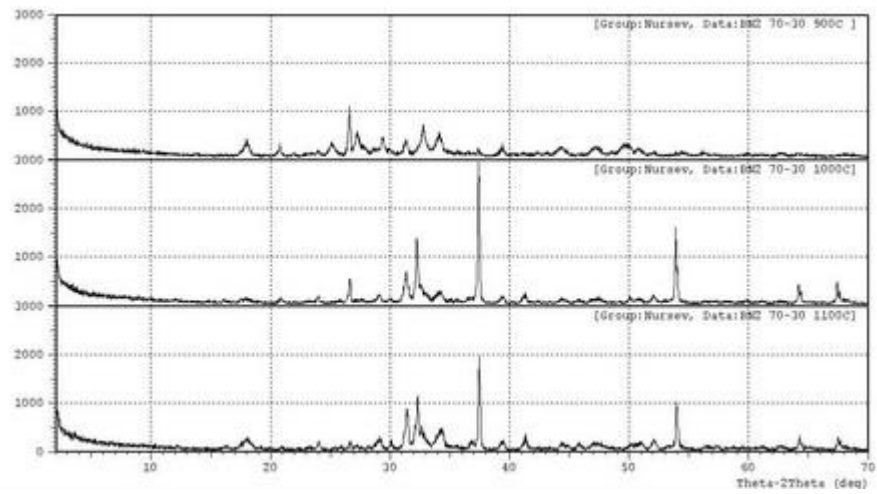
Şekil 7.34 BN2 %40 mermer tozu %60 tuğla harcı 900-1000-1100 °C X-ışını difraktogram paterni



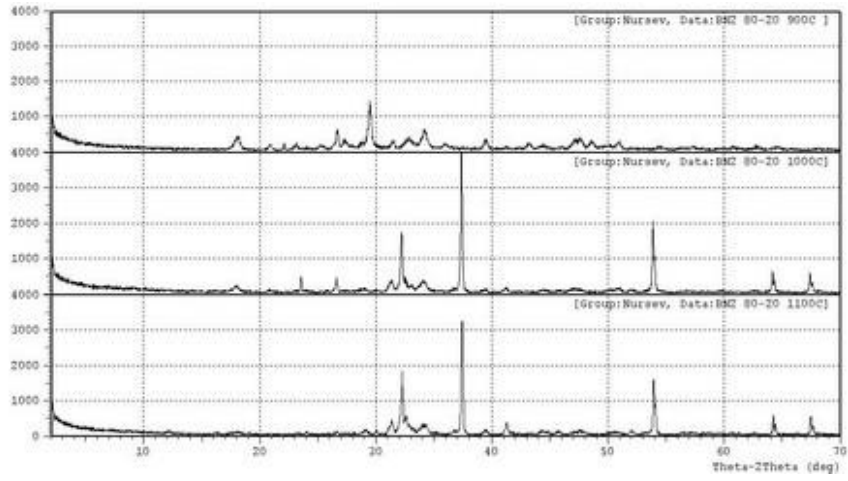
Şekil 7.35 BN2 %50 mermer tozu %50 tuğla harcı 900-1000-1100 °C X-ışını difraktogram paterni



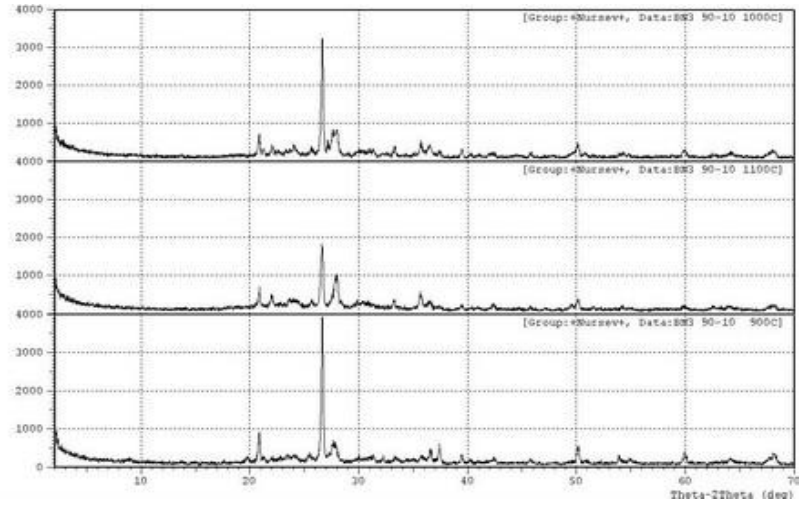
Şekil 7.36 BN2 %60 mermer tozu %40 tuğla harcı 900-1000-1100 °C X-ışını difraktogram paterni



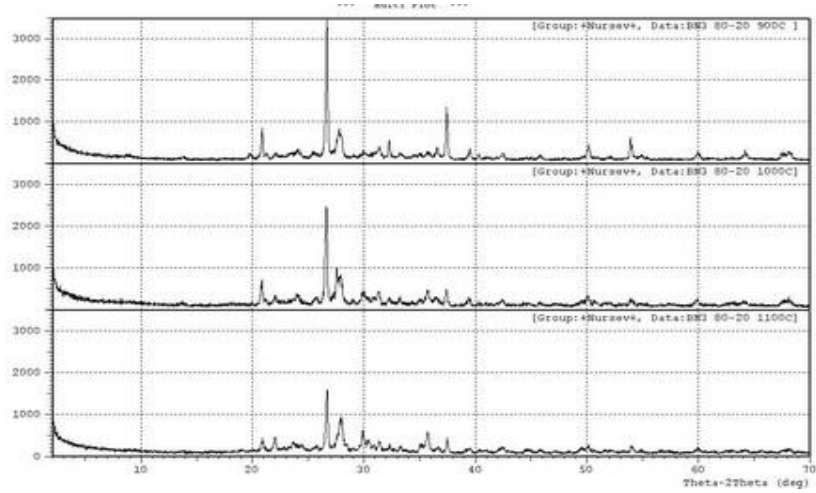
Şekil 7.37 BN2 %70 mermer tozu %30 tuğla harcı 900-1000-1100 °C X-ışını difraktogram paterni



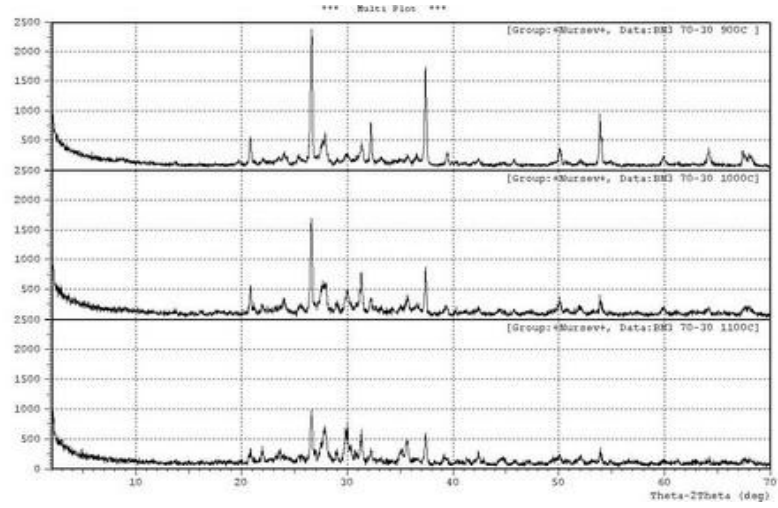
Şekil 7.38 BN2 %80 mermer tozu %20 tuğla harcı 900-1000-1100 °C X-ışını difraktogram paterni



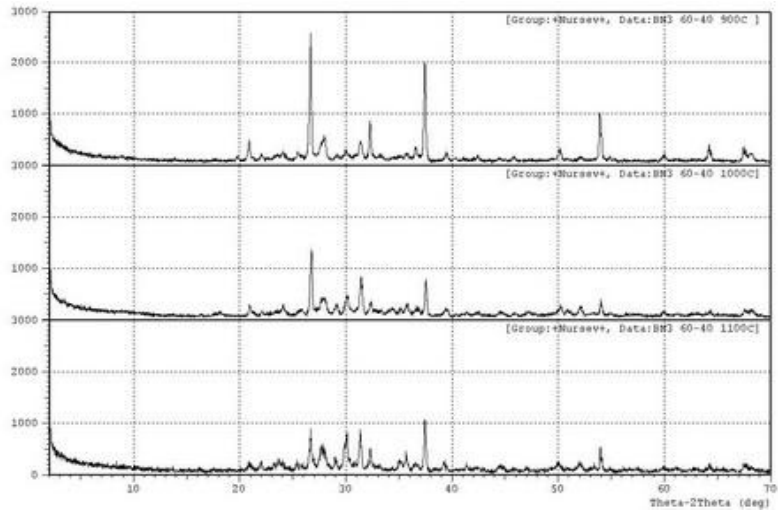
Şekil 7.39 BN3 %10 mermer tozu %90 tuğla harcı 900-1000-1100 °C X-ışını difraktogram paterni



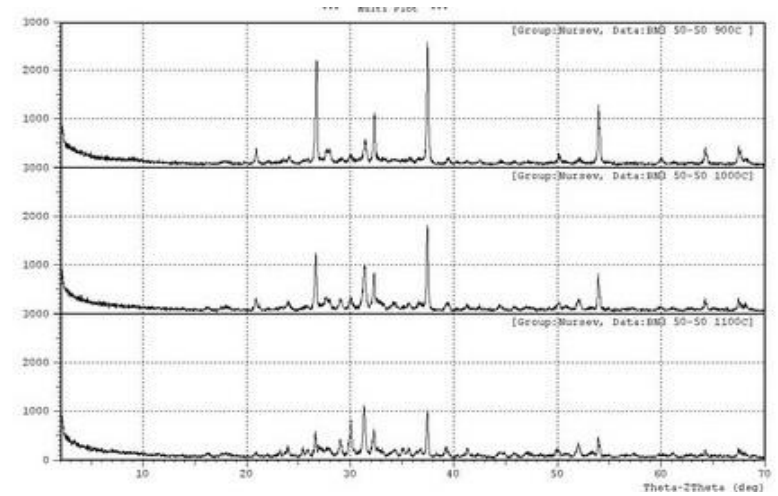
Şekil 7.40 BN3 %20 mermer tozu %80 tuğla harcı 900-1000-1100 °C X-ışını difraktogram paterni



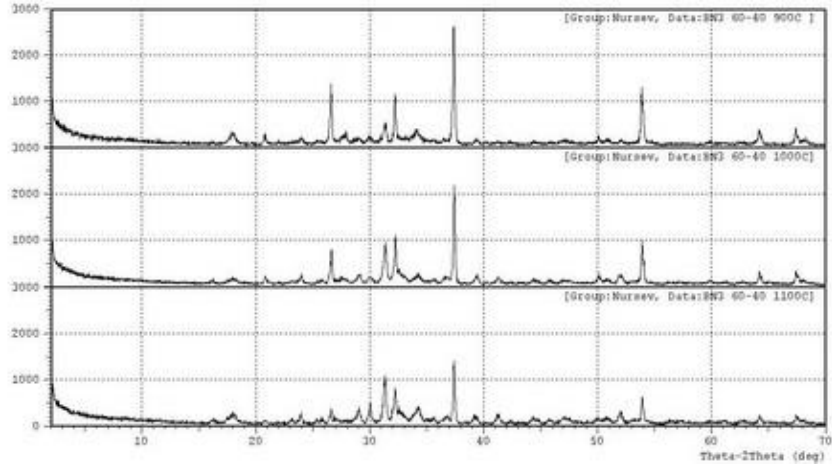
Şekil 7.41 BN3 %30 mermer tozu %70 tuğla harcı 900-1000-1100 °C X-ışını difraktogram paterni



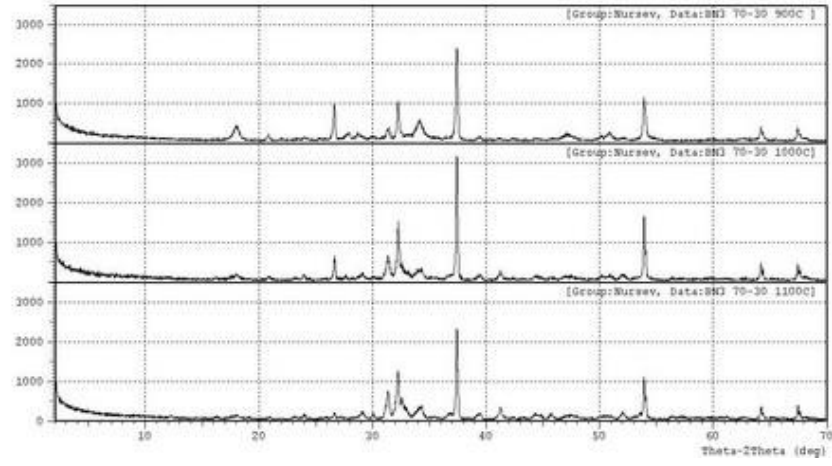
Şekil 7.42 BN3 %40 mermer tozu %60 tuğla harcı 900-1000-1100 °C X-ışını difraktogram paterni



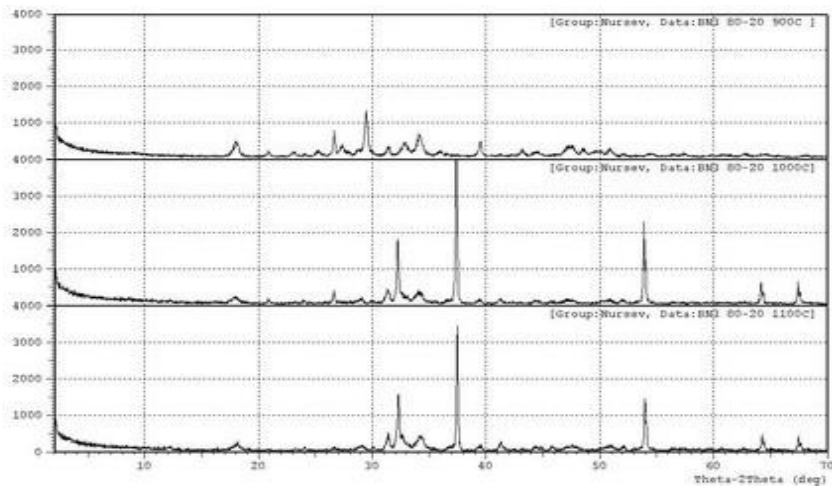
Şekil 7.43 BN3 %50 mermer tozu %50 tuğla harcı 900-1000-1100 °C X-ışını difraktogram paterni



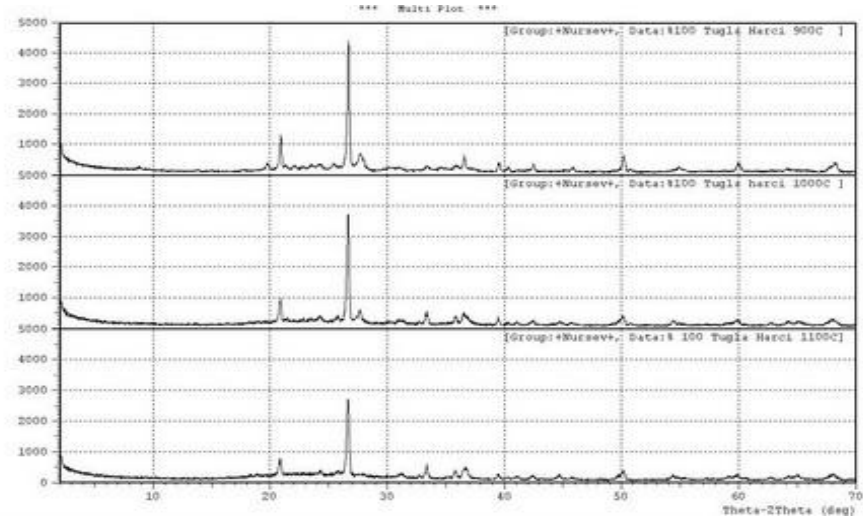
Şekil 7.44 BN3 %60 mermer tozu %40 tuğla harcı 900-1000-1100 °C X-ışını difraktogram paterni



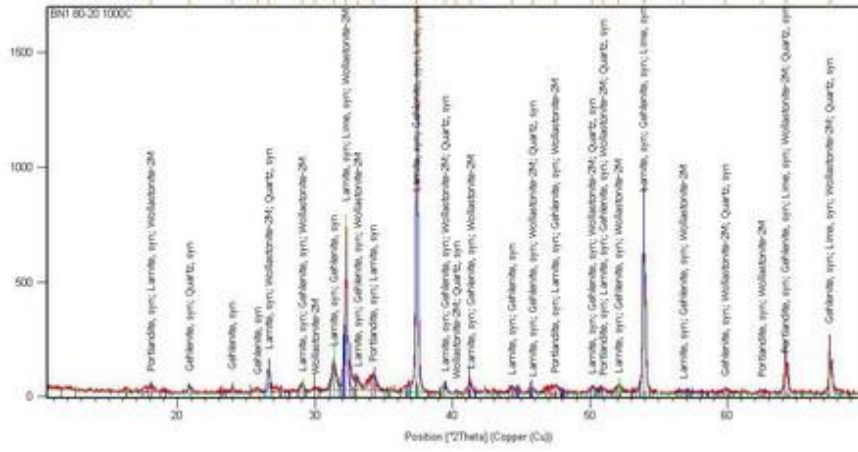
Şekil 7.45 BN3 %70 mermer tozu %30 tuğla harcı 900-1000-1100 °C X-ışını difraktogram paterni



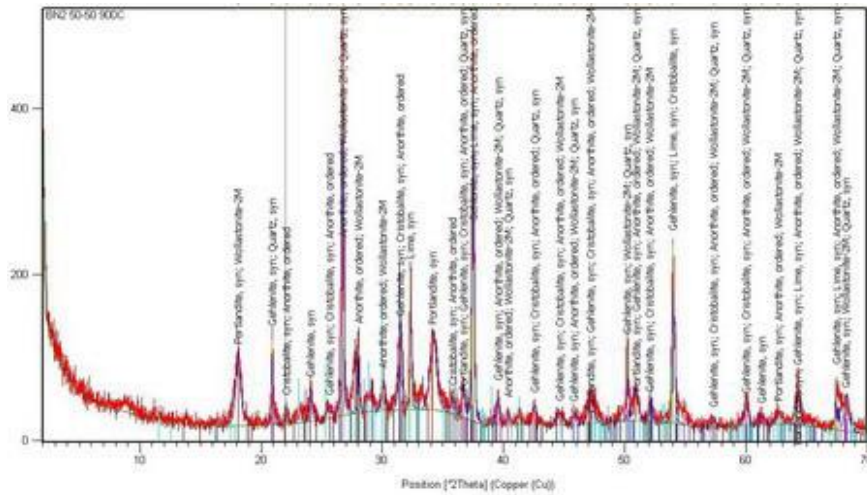
Şekil 7.46 BN3 %80 mermer tozu %20 tuğla harcı 900-1000-1100 °C X-ışını difraktogram paterni



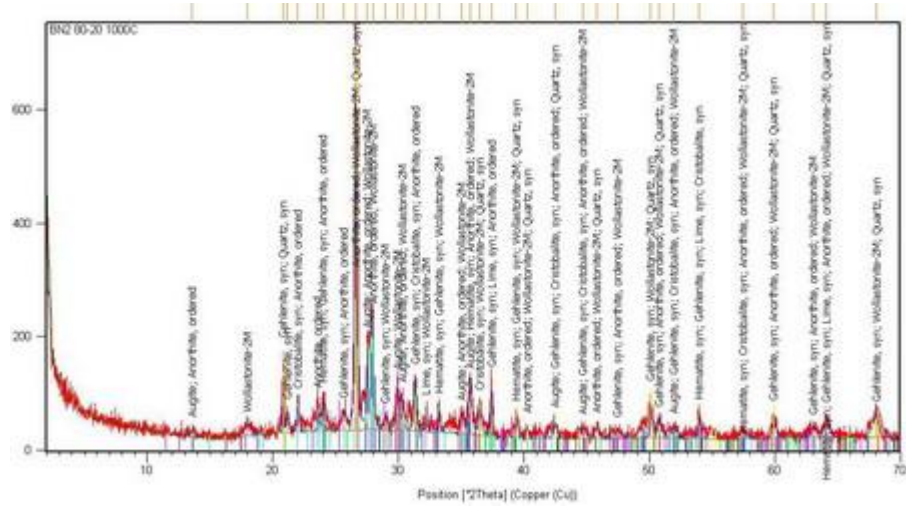
Şekil 7.47 % 100 Tuğla harcı 900-1000-1100 °C X-ışını difraktogram paterni



Şekil 7.48 BN1 %80 mermer tozu %20 tuğla harcı 1000 °C XRD analizi



Şekil 7.49 BN2 %50 mermer tozu %50 tuğla harcı 900 °C XRD analizi



Şekil 7.53 BN2 %20 mermer tozu %80 tuğla harcı 1000 °C XRD analizi

8. DEĞERLENDİRME VE ÖNERİLER

- Atık mermer tozları reçine bağlayıcı kullanılarak yapay mermer karo üretiminde ve tuğla harcı içerisine ilave edilerek tuğla üretiminde kullanılmıştır.
- Reçine bağlayıcı kullanılarak üretilen karo numunelerinin düşük poroziteleri, iyi dayanım değerleri, düşük ısı iletkenlikleri gibi özellikleri sayesinde doğal mermerden yapılan karonun yerini alabilecek özelliklere sahiptir.
- Dayanım değerlerinin ve ısı iletkenlik değerinin uygun olması evlerde, ofislerde, iş yerlerinde kullanımına olanak sağlar.
- Çalışmada pres aşamasında basınç ve sıcaklık parametreleri sabit tutulmuştur. Bu parametreler değiştirilerek farklı sıcaklık ve basınç değerlerindeki özelliklerinin de araştırılması daha farklı özelliklerde ürün elde etmeye yardımcı olabilir.
- Rastgele seçilmiş reçine oranlarından kullanılabilecek maksimum reçine miktarının % 20 olduğu görülmüştür. % 25'e çıkıldığında değerler düşmeye başlamaktadır.
- Düşük reçine oranlarında karışım içerisine sertleştirici ilave edilerek mekanik özellikler artırılabilir.
- Kütleme daha çok çimento bağlayıcı kullanıldığı durumlarda başvurulan bir yöntem olduğundan yapılmamıştır. Yapıldığı halde daha iyi özelliklerin ortaya çıkması beklenir.
- Farklı tür bağlayıcılar (Portland çimentosu, sıvı reçine, sertleştiriciler vb) denenerek farklı özelliklerde ürünler elde edilebilir.
- Değişik yöntemlerle elde edilen ürünlerin yüzeyleri üzerinde farklı değişiklikler yapmak mümkündür. Ancak bu da farklı bir çalışma gerektirmektedir.
- Elde edilen bulgulara göre atık mermer tozları, toz reçine bağlayıcı kullanılarak karo üretiminde değerlendirilebilir özelliklere sahiptir.
- Mermer tozu atıklarının tuğla içerisine % 50 miktarına kadar ilave edilebileceği yapılan deneylerde görülmüştür.
- % 50 oranından sonra artan mermer tozu oranı özelliklerin kötüye gitmesine yol açmıştır. SEM incelemelerine göre numuneler fazla mermer tozunu bünyesinden

atmaya başlamaktadır. Yoğunlukta düşme ve porozitede artış başlamaktadır. Dolayısıyla mukavemet değerleri de düşmektedir.

- % 70'den sonra numuneler üzerinde suda kaynatma yoğunluk deneyi ve üç nokta eğme testi yapmak zorlaşmıştır. Daha fırından çıktıktan itibaren parçalanmaya başlamışlardır. Bu durumun sebebi içeride bulunan büyük boşluklardır yani sinterleşememişlerdir. CaO genleşmektedir ve ayrıca içeride gazlar kaldığı düşünülmektedir.
- Yüksek sıcaklıklara çıkıldığında CaO' in ergime sıcaklığına doğru istenilen bağlama oranı elde edilebilir ancak çıkılan yüksek sıcaklık bu kez tuğla harcında olumsuz sonuçlara yol açmaktadır. Ayrıca sinter sırasında ergime istenilen bir şey değildir.
- Atık mermer tozlarının tuğla içerisinde değerlendirilmesi ancak %50 miktarına kadar olabilmektedir. Bu durum 1000 °C sıcaklık aşılmadığı hallerde olabilir.
- İçerisine % 50'den düşük atık mermer tozu ilave edilmiş tuğlalar üzerine daha fazla araştırma yapılarak endüstride kullanımları mümkündür. Hemen hemen saf tuğla harcı kadar dayanım özellikleri vardır zira inşaat tuğlası boşluklu yüksek dayanım istemeyen yapı malzemeleridir.
- Dünyada yapı sektörü hızla gelişim içerisinde buna bağlı olarak tuğla üretimi artmaktadır. Bilindiği gibi atık mermer tozları da değerlendirilmedikçe çevreye zarar vermektedir. Değerlendirilebilen mermer tozları hem çevreye hem de ekonomiye büyük katkı sağlayacaktır. Dolayısıyla üretilen tuğlaların her birine %10 mermer tozu ilave etme durumunda bile çok büyük oranda atık geri dönüşümü sağlanabilmektedir.

KAYNAKLAR

- Akbulut H. ve Gürer C., (2006), “Atık Mermerlerin Asfalt Kaplamalarda Agrega olarak Değerlendirilmesi”, İMO Teknik Dergi, 3943-3960.
- Akbulut H. ve Gürer C., (2007), “Use of Aggregates Produced from Marble Quarry Waste in Asphalt Pavements”, Science Direct, Building and Environment, 42;1921-1930.
- Akdağ, O.N. ve Kırımhan, S., (1999), "Denizli Organize Sanayi Bölgesinde Endüstriyel Katı Atık Durumu ve Geri Kazanımı", Dokuz Eylül Üniversitesi Fen ve Mühendislik Dergisi.Cilt: 1, Sayı:2, 47-58 s.
- Alyamaç K.E. ve İnce, R., (2007), “Karo Mozaik Döşeme Kaplama Plak Üretiminde Atık Mermer Çamurunun Kullanılabilirliği”, 7. Ulusal Beton Kongresi, 437-446, İstanbul.
- Beycioğlu A., Başyigit C. ve Subaşı S., (2008), “Endüstriyel Atıkların İmalat Sektöründe Kullanımı ile Geri Kazanılması ve Çevresel Etkilerin azaltılması” K.Ü Çevre Sorunları Sempozyumu, Kocaeli.
- Bionco, A., D’Elia, M., Licchelli, D., Orofino, V., Fonti, S., (2005), The infrared spectroscopy of biotic and abiotic minerals: Its relevance to Mars studies, Mem. S.A It. ,72-75.
- Bilgin, A ., Özkahraman, H. T., (2009), “Marble potential of Isparta and some related problems”, International Symposium on Engineering and Architectural Sciences of Balkan Caucasus Turkic Republics, SDU, 22-24 October, 231-237, Isparta.
- Bilgin, A., Yücetürk, G., (2009), “Isparta ve Yöresindeki Mermer Pasalarının Yapay Mermer Üretiminde Kullanılması”, Mermer Atıklarının Değerlendirilmesi ve Çevresel Etkilerinin Azaltılması, Sempozyum Bildiriler Kitabı, 130-147, 16-17 Ekim, Diyarbakır.
- Bilgin, N., Bilgin, A., Marşoğlu, M., Yeprem, H.A. ve Yücetürk G., (2010), “Isparta Burdur Yöresinde Yapay Mermer Üretiminde Kullanılan Farklı Minerallerin Fiziksel Özelliklerini Yapay Mermer Kalitesine Olan Etkileri”, Dicle Üniversitesi 1. Uluslararası Katılımlı Kamu-Üniversite-Sanayi İşbirliği Sempozyumu ve Mermercilik Şurası, 102-106, 22-24 Mayıs, Diyarbakır.
- Burdur Valiliği, 1996, Burdur İli Raporu, Burdur Valiliği, Bölgesel Gelişme ve Yapısal Uyum Genel Müdürlüğü, 104 p.
- Ceylan, H., Saraç S. ve Özkahraman H.T.,(2001), “Mermer Toz Atıklarının Derz Dolgu Malzemesi (fuga) Üretiminde Kullanılabilirliğinin Araştırılması” Türkiye 3. Mermer Sempozyumu, 297-307s.
- Çetin T.,(2003),”Türkiye Mermer Potansiyeli Üretimi ve İhracatı”, GÜ Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi, Cilt:23, sayı 3 243-256.
- Çelik, M.Y. ve Sabah, E., (2008), “Geological and Technical Characterization of İscehisar (Afyon Turkey) Marble Deposits and The Impact of Marble Waste on Environmental Pollution” Journal of Environmental management 87:106-116.
- Dhanapandian S. ve Gnanavel, B., (2009a), “Studies on Granite and Marble Sawing Powder Wastes in Industrial Brick Formulation”, Asian Journal of Applied Sciences 2 (4), 331-340 ISSN 1996-3343.

Dhanapandian S., Gnanavel, B. ve Ramkumar T., (2009b), "Utiliation of Granite and marble sawing Powder wastes as Brick Metariats", Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences, Ekim, Vol.4, No.2:47-160.

Dhanapandian S. ve Gnanavel, B., (2010), "Using Granite and Marble Sawing Powder wastes in The Production of Bricks: Spctoscopic and mechanical analysis", Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology, 2:1:73-86.

DPT, (2001) "Madencilik Endüstriyel Hammaddeler (Yapı Malzemeleri) Özel İhtisas Rapor, Sekizinci 5 Yıllık Kalkınma Planı, Ankara.

Drew, L. J., Langer, W.H., Sach ve Janet, S., (2002), "Environmentalism and Natural Aggregate Mining", Natural Resources Research, Vol.11, No.1:19-28.

Ferreira, J.M.F., Torres, P.M.C., Silvia M.S. ve Labrincha, J.A., (2003), "Recycling of Granite Sludges in Brick Type and Flor Type Ceramic Formulations", Euroceram News, waste recycling in The Ceramic Industry, No.14:1-5.

Gupta, R.C., Misra A. ve Raisinghani M., (2009), "Flexural Strength and Creep Characteristic of Tiles Containing Marble Powder", ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, Vol.4 No.2.

Gündüz, L., Uğur, İ. ve Demirdağ, S., (2001), "Mermer Türlerinin Özgül Isı Kapasite Değerleri Üzerine Teknik Bir İnceleme", Mersem Bildiriler Kitabı, 181-196, 3-5 Mayıs, Afyon

[http://www.ehow.com/about-5422608-uses-marble dust.htm](http://www.ehow.com/about-5422608-uses-marble-dust.htm)

<http://www.altonchem.com/section-metariats.htm>

<http://www.ito.org.tr/dokuman/sektor/1-64.pdf>

<http://www.seribel.com/doc/16857188/MDMWMarble01->

İMMİB, (2005), "Türkiye Endüstriyel Mineraller Envanteri", s:132.

Karşahin, M. ve Terzi, S., (2007), "Evaluation of Marble Waste Dust in The Mixture of Asphaltic Concret", Science Direct, Construction and Building Materials, 21:616-620.

Kuşçu, M., (2001), Endüstriyel Kayaçlar ve Mineraller Kitabı, Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Yayınları, No.10:381s, Isparta.

Libicki, J., (1992), "Environmental Facts of Open Quarry Mining and Social Effects", 15. World Mining Congress, Madrid 27p, Spain.

Nicholson, D. T., (1995), "The Visual Impact of Quarrying", Quarry Management, 22 (7):39-42.

Önem, Y., (1997), Sanayi Madenleri Kitabı, Ankara Kozan Ofset Matbaacılık, San. Ve Tic. Ltd. Şti., 368s, Ankara.

Pappu, A., Saxena M. ve Asolekar, S.R., (2007), "Solid Wastes Generation İn India and Their Recycling Potantial in Building Materials", Sciencedirect. Building and Environmental, 42: 2311-2320.

Sanjay Singh, (2009), “R&D Efforts İn İndia Towards Gainful Utilization of Marble Slurry”, Mermer Atıklarının Değerlendirilmesi ve Çevresel Etkilerinin Azaltılması Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 107-115, 16-17 Ekim, Diyarbakır

Sarıız, K. ve Nuhoglu, İ., (1992), “Endüstriyel Hammadde yatakları ve Madenciligi”, Anadolu Üniversitesi Mühendislik Mimarlık fakültesi Yayınları No.62:451s, Eskişehir.

Segadaes, A.M., Carvalho, M.A. ve Acehar, W., (2005), “Using Msrble and Granite Rejects to Enhance The prosessing of Clay Products”,Sciencedirect, Applied Clay science Vol. 30:1:42-52.

Şentürk, A., Gündüz, L., Tosun, Y.İ. ve Sarıışık A., (1996), Mermer Teknolojisi, S.D.Ü. Mühendislik Mimarlık Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü, Isparta.

Terzi, S. ve Karaşahin M., (2003), “Mermer Toz Atıklarının Asfalt Betonu Karışımında Filler Malzeme Olarak Kullanımı”, T.M.M.O.B. İnşaat Mühendisleri Odası Teknik Dergi, No.14[2]:2003-2903.

Uğur İ., Demirdağ, S., Şengün, N., (2003), “Mermer Türlerinin Isı İletkenliği Üzerine Teknik Bir Araştırma”,Mersem Bildiriler Kitabı,18-19 Aralık, 173-187, Afyon.

Vijayalakshmi, V., Singh, S. ve Bhatnagar, D., (2001), “Marble Slurry-A New Perspective”, Technology İnformation, Forecasting and Assesment Council, New Delhi, İndia. 2001 Golden Jubile Year, M.B.M. Engineering College National Seminar on Small Scale Mining Jodhppur, Rajasthan.

Yavuz, A.B., Türk, N., Koca M.Y.,(2002), “Muğla Yöresi Mermerlerinin Mineralojik, Kimyasal, Fiziksel ve Mekanik Özellikleri”, Jeoloji Mühendisliği Araştırma Makalesi, 18s.

Yücetürk G., (2010), “Göller Yöresindeki Kayaçların Minerolojik ve Petrografik Özelliklerinin Yapay Mermer Kalitesine Etkileri”, Doktora tezi, S.D.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Nursev BİLGİN

Doğum tarihi : 26.04.1987

Doğum yeri : Isparta

Lise : 1997-2004 Isparta Anadolu Lisesi

Lisans : 2004-2008 Yıldız Üniversitesi Kimya Metalurji Fak.
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü

Yayınları: :

1- Bilgin, A., Bilgin, N., 2006, Kilin Anadolu’da malzeme olarak kullanımı, II. Türk Bilim ve Teknoloji Tarihi Kongresi, 30-31 Ekim 2006, SDÜ Isparta.

2- Bilgin, N., Bilgin, A., 2007, Isparta ve yöresindeki tarihi yapıtlarda kullanılan yapı taşlarının mineralojik ve petrografik özellikleri, 1. Uluslararası Mimarlık ve Taş Sempozyumu, pp.97-104, Antalya.

3- Bilgin, A., Yeprem, H. A., Bilgin, N., 2008, Isparta ve yöresindeki kil minerallerinin doğal kitle hareketleri açısından önemi, 1. Ulusal Doğal Afetler ve Yerbilimleri Sempozyumu, Dayk 2008, pp.225-232, Adapazarı.

4-Bilgin, N., Bilgin, A., Yeprem, H. A., 2008, Isparta killlerinden tuğla üretimi, Afyon Kocatepe University, Journal of Science, p.203-208.

5- Bilgin, N., Yeprem, H. A., Bilgin, A., 2009, Isparta ve yöresinde üretilen tuğlaların mühendislik özellikleri, 14. Ulusal Kil Sempozyumu, 1-3 Ekim 2009 KTÜ pp. 241-247, Trabzon.

6- Bilgin, N., Bilgin, A., Yeprem,H.A., 2009, Physical and chemical properties of Isparta clays, International Symposium on Engineering and Architectural Sciences, Balkan Caucasus and Turkic Republics, 22-24 October, V. I, pp.203-209, Isparta, Turkey.

7- Bilgin, N., Bilgin, A., Marşoğlu, M., Yeprem, H.A., Yücetürk, G., 2010, Isparta Burdur yöresinde yapay mermer üretiminde kullanılan farklı minerallerin fiziksel özelliklerinin yapay mermer kalitesine olan etkileri, UDUSİS 2010, Uluslararası Katılımlı Kamu Üniversite Sanayi İşbirliği Sempozyumu ve Mermercilik Şurası, p.102-106.