



T.C.
NİĞDE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

KİMYASAL VEYA ISIL İŞLEM GÖRMÜŞ KLİNOPTİLOLİT ZEOLİTİNİN
PUZOLANİK AKTİVESİNİN VE KATKILI ÇİMENTOLARDAKİ
PERFORMANSININ İNCELENMESİ

ENVER KÜÇÜKYILDIRIM

NİSAN 2013

T.C.
NİĞDE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

KİMYASAL VEYA ISIL İŞLEM GÖRMÜŞ KLİNOPTİLOLİT ZEOLİTİNİN
PUZOLANİK AKTİVESİNİN VE KATKILI ÇİMENTOLARDAKİ
PERFORMANSININ İNCELENMESİ

ENVER KÜÇÜKYILDIRIM

Yüksek Lisans Tezi

Danışman

Yrd. Doç. Dr. Burak UZAL

NİSAN 2013

Enver KÜÇÜKYILDIRIM tarafından **Yrd. Doç. Dr. Burak UZAL** danışmanlığında hazırlanan “**Kimyasal veya Isıl İşlem Görmüş Klinoptilolit Zeolitinin Puzolanik Aktivitesinin ve Katkılı Çimentolardaki Performansının İncelenmesi**” adlı bu çalışma jürimiz tarafından Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **İnşaat Mühendisliği** Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Cengiz Duran ATİŞ, Erciyes Üniversitesi

Üye : Yrd. Doç. Dr. Mustafa KORKANÇ, Niğde Üniversitesi

Üye : Yrd. Doç. Dr. Burak UZAL, Abdullah Gül Üniversitesi

ONAY:

Bu tez, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca belirlenmiş olan yukarıdaki jüri üyeleri tarafından/....../20.... tarihinde uygun görülmüş ve Enstitü Yönetim Kurulu’nun/....../20.... tarih ve sayılı kararıyla kabul edilmiştir.

...../...../20...

Doç. Dr. Osman SİVRİKAYA

MÜDÜR

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin bilimsel ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin eksiksiz atf yapıldığını bildiririm.

Enver KÜÇÜKYILDIRIM

ÖZET

KİMYASAL VEYA ISIL İŞLEM GÖRMÜŞ KLİNOPTİLOLİT ZEOLİTİNİN PUZOLANİK AKTİVESİNİN VE KATKILI ÇİMENTOLARDAKİ PERFORMANSININ İNCELENMESİ

KÜÇÜKYILDIRIM, Enver

Niğde Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman

:Yrd. Doç. Dr. Burak UZAL

NİSAN 2013, 136 sayfa

Bu çalışmada, ısı ve kimyasal ön işlem görmüş Türkiye’deki başlıca iki doğal zeolit rezervinden (Manisa/Gördes, Balıkesir/Bigadiç) temin edilen klinoptilolit zeolitlerinin fiziksel, kimyasal ve mineralojik özellikleri, puzolanik aktiviteleri ve dayanım aktiviteleri üzerindeki etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Zeolitlere 200 °C, 400 °C ve 600 °C’ lerde ısı işlem uygulanmış, ayrıca zeolitler asit (HCl) ve baz (NaOH) çözeltileri ile kimyasal işleme tabi tutulmuşlardır. Ön işlemler öncesinde ve sonrasında doğal zeolitlerin kimyasal ve mineralojik kompozisyonu, yüzey alanları, puzolanik aktiviteleri değerlendirilmiştir. Ayrıca zeolitlerin Portland çimentosu ile ağırlıkça % 20 oranında ikame edilmeleri durumunda, harç basınç dayanımları, sertleşmiş çimento hamurlarının Ca(OH)_2 içerikleri ile gözenek boyut dağılımları tespit edilmiştir. Asit çözeltisi ile yapılan ön işlemlerin zeolitlerin kireç bağlama özelliğini önemli ölçüde artırdığı, ısı işlemlerin kireç aktivitesi üzerinde fazla etkili olmadığı gözlenmiştir. Öte yandan 600 °C’ de gerçekleştirilen ısı işlem, özellikle Bigadiç zeolitinin 28 günlük dayanım aktivite indeksini önemli ölçüde arttırmıştır.

Anahtar sözcükler: klinoptilolit, puzolanik aktivite, zeolit, ön işlem

SUMMARY

INVESTIGATION ON POZZOLANIC ACTIVITY OF CHEMICALLY OR THERMALLY TREATED CLINOPTILOLITE ZEOLITE AND ITS PERFORMANCE IN BLENDED CEMENTS

KÜÇÜKYILDIRIM, Enver

Niğde University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Civil Engineering

Supervisor : Assistant Professor Dr. Burak UZAL

APRIL 2013, 136 pages

In this study, the effects of thermal and chemical pretreatments on physical, chemical and mineralogical properties of clinoptilolite zeolites, as well as their pozzolanic and strength activities, obtained from two major Turkish deposits (Manisa/Gördes, Balıkesir/Bigadiç) were experimentally investigated. The zeolites were thermally treated at 200 °C, 400 °C and 600 °C, or chemically treated with acid (HCl) and base (NaOH) solutions. Chemical and mineralogical compositions, surface area of the natural zeolites as well as their pozzolanic activities were evaluated. In addition, Ca(OH)_2 content and pore size distribution of hardened cement pastes as well as compressive strength of mortars were determined in the case of 20% weight replacement of Portland cement by the zeolites. It was observed that the chemical pretreatment made with acid solution improves the ability of the zeolites to combine with lime whereas thermal pretreatments are not efficient to enhance lime reactivity. On the other hand, thermal pretreatment at 600 °C significantly increased the 28-day strength activity index of especially Bigadic zeolite.

Keywords: clinoptilolite, pozzolanic activity, zeolite, pretreatment

ÖNSÖZ

Bu çalışmada, Türkiye’deki başlıca iki doğal zeolit rezervinden (Manisa/Gördes, Balıkesir/Bigadiç) temin edilen klinoptilolit zeolitinin kimyasal ve ısıt işlemler sonucundaki puzolanik aktivitesi ve katkılı çimentolardaki performansı incelenmiştir. Isıt işlemler, doğal zeolitlerin kireç bağlama kapasitesini önemli ölçüde etkilememiştir. Fakat 600 °C’ de ısıt işleme tabi tutulan Bigadiç zeolitinin kristal yapısındaki bozunmaya bağlı olarak 28 günlük dayanım aktivite indeksinde önemli ölçüde artış tespit edilmiştir. Asit ile yapılan kimyasal işlemlerde doğal zeolitlerin kireç bağlama kapasitesi büyük oranda artmış fakat baz ile yapılan çalışmalarda kireç bağlama kapasitesinin azaldığı tespit edilmiştir.

Yüksek lisans tez çalışmasının yürütülmesi esnasında, çalışmalarına yön veren, bilgi ve yardımlarını esirgemeyen, deneyimlerinden ve bilimsel katkılarından yararlandığım saygıdeğer tez danışmanım, Sayın Yrd. Doç. Dr. Burak UZAL’ a en içten teşekkürlerimi sunarım. Çalışmalarım sırasında önerilerinden yararlandığım saygıdeğer hocalarım, Yrd. Doç. Dr. Kubilay AKÇAGÖZOĞLU, Yrd. Doç. Dr. Mustafa SARIDEMİR, Yrd. Doç. Dr. Fatih ÖZCAN, Yrd. Doç. Dr. Mustafa KORKANÇ, Yrd. Doç. Dr. Niğmet UZAL ve İnşaat Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyelerine teşekkür ederim. Bu tezin hazırlanması esnasında sık sık yardımlarına başvurduğum kıymetli meslektaşlarım M. Fatih GÜLEÇ ve M. Emin KOÇ’ a minnet ve şükran duygularımı belirtmek isterim.

Bu çalışmam, Niğde Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından FEB 2012/01 numaralı proje ile desteklenmiştir.

Sadece bu çalışmam boyunca değil, tüm öğrenim hayatım boyunca bu günlere gelmemi sağlayan aileme sonsuz şükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
SUMMARY	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
FOTOĞRAFLAR DİZİNİ	xiii
BÖLÜM I GİRİŞ	1
BÖLÜM II LİTERATÜR ÖZETİ	4
2.1 Puzolanik Malzemeler Hakkında Genel Açıklamalar	4
2.1.1 Puzolanik malzemelerin tanımı ve genel sınıfları	4
2.1.2 Puzolanik malzemelerin tarihçesi	5
2.1.3 Puzolanik reaksiyon ve puzolanik malzemelerin aktivitesi	5
2.2 Doğal Puzolanlar	6
2.2.1 Doğal puzolan tipleri	6
2.2.1.1 Volkanik orijinli puzolanlar	6
2.2.1.2 Pişirilmiş kil ve şeyl	7
2.2.1.3 Diatomlu topraklar	7
2.2.2 Doğal puzolanların kimyasal kompozisyonu	7
2.3 Doğal Puzolanların Beton Katkı Maddesi Olarak Kullanılabilirliğine Dair Standartların Belirttiği Sınır Değerler	8
2.4 Doğal Puzolanların Sınıflandırılması Ve Oluşumu	9
2.4.1 Piroklastik kayaçlar	10
2.4.1.1 Gevşek yapılı kayaçlar	10
2.4.1.2 Sıkı yapılı kayaçlar (Tüfler)	10
2.4.2 Klastik kayaçlar (Tortul kayaçlar)	10
2.4.3 Karışık kökenli kayaçlar (Hibrit kayalar)	11
2.5 Doğal Puzolanların Puzolanik Aktivitesi	12
2.5.1 Puzolanik aktivite ölçümü için önerilen yöntemler	13
2.5.2 Doğal puzolanların puzolanik aktivitesini etkileyen etmenler	13

2.6 Puzolanik Reaksiyonun Ürünleri.....	15
2.7 Doğal Zeolitler.....	16
2.8 Doğal Zeolitlerin Oluşum Ortamları.....	17
2.9 Zeolitlerin Kristal Yapıları, Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri.....	19
2.10 Türkiye’deki Doğal Zeolit Yatakları.....	24
2.11 Doğal Zeolitlerin Puzolanik Aktivitesi	25
2.12 Doğal Zeolit Katkılı Portland Çimentolarının Özellikleri.....	27
2.12.1 Normal kıvam ve priz süreleri.....	27
2.12.2 Doğal zeolit katkılı portland çimentosu hamurlarındaki Ca(OH)_2 miktarları.....	28
2.12.3 Doğal zeolit katkılı sertleşmiş portland çimentosu hamurlarının gözenek boyut dağılımları.....	30
2.12.4 Doğal zeolit katkılı sertleşmiş portland çimentosu hamurlarının XRD desenleri.....	32
2.12.5 Doğal zeolit katkılı sertleşmiş portland çimentosu hamurlarının mikro yapısı.....	38
2.12.6 Doğal zeolit katkılı portland çimentosu harçlarının basınç dayanımları.....	42
2.13 Doğal Zeolit İçeren Beton Karışımlarının Özellikleri.....	45
2.13.1 Taze beton özellikleri.....	45
2.13.2 Sertleşmiş beton özellikleri.....	47
2.14 Asidik ve Bazik Sulu Ortamların Doğal Zeolitlerin Özellikleri Üzerindeki Etkileri.....	50
BÖLÜM III MATERYAL VE YÖNTEM.....	52
3.1 Malzemeler	52
3.1.1 Portland çimentosu.....	52
3.1.2 Doğal zeolitler.....	53
3.1.3 Kimyasallar.....	54
3.2 Yöntemler.....	54
3.2.1 Isıl işlemler.....	55
3.2.2 Kimyasal işlemler.....	55
3.2.3 İşlem görmüş doğal zeolitlerin XRD analizleri ve BET-yüzey alanı ölçümleri.....	58

3.2.4 Puzolanik aktivite deneyleri.....	58
3.2.5 Katkılı çimento harçlarının su ihtiyaçları ve basınç dayanımları	59
3.2.6 Sertleşmiş çimento hamurlarının $\text{Ca}(\text{OH})_2$ içerikleri.....	60
3.2.7 Sertleşmiş çimento hamurlarının gözenek boyut dağılımları.....	61
BÖLÜM IV BULGULAR VE TARTIŞMA.....	62
4.1 Kimyasal İşlemlerin Doğal Zeolitlerin Kimyasal Kompozisyonu Üzerindeki Etkisi.....	62
4.2 Isıl ve Kimyasal İşlemlerin Doğal Zeolitlerin Özgül Yüzey Alanları ve Kristal Yapıları Üzerindeki Etkileri.....	63
4.3 Isıl ve Kimyasal İşlemlerin Doğal Zeolitlerin Puzolanik Aktivitesi Üzerindeki Etkileri	68
4.4 Isıl ve Kimyasal İşlemlerin Doğal Zeolitli Çimento Harçlarının Su İhtiyaçları ve Basınç Dayanımı Üzerindeki Etkileri.....	71
4.5 Sertleşmiş Çimento Hamurlarının $\text{Ca}(\text{OH})_2$ İçerikleri.....	74
4.6 Sertleşmiş Çimento Hamurlarının Gözenek Boyut Dağılımları.....	75
BÖLÜM V SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	78
KAYNAKLAR.....	79
EKLER.....	86

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Bazı doğal puzolanlardaki oksitlerin miktarı.....	8
Çizelge 2.2 İnce taneli durumdaki doğal puzolan katkıların beton özelliklerine etkileri.....	8
Çizelge 2.3 Doğal puzolanların beton katkı maddesi olarak kullanılabilirmeleri için gereken fiziksel değerler.....	9
Çizelge 2.4 Doğal puzolanların beton katkı maddesi olarak kullanılabilirmeleri için gereken kimyasal değerler.....	9
Çizelge 2.5 Sıcaklığın kireç- doğal puzolan karışımlarının dayanım kazanma hızına etkisi.....	15
Çizelge 2.6 Doğal zeolit mineralleri ve özellikleri.....	23
Çizelge 2.7 Doğal zeolitlerin sınıflandırılması.....	23
Çizelge 2.8 Çimentoların normal kıvam ve su/bağlayıcı oranları.....	27
Çizelge 2.9 Çimento hamurlarının Ca(OH)_2 içerikleri.....	29
Çizelge 2.10 Taze beton özellikleri.....	45
Çizelge 2.11 Beton karışımlarının basınç ve yardama-çekme dayanımları.....	47
Çizelge 3.1 PÇ'nin kimyasal kompozisyonu ve fiziksel özellikleri	52
Çizelge 3.2 Doğal zeolitlerin kimyasal kompozisyonu.....	54
Çizelge 4.1 Doğal zeolitlerin kimyasal işlem öncesi ve sonrası kimyasal kompozisyonları.....	62
Çizelge 4.2 Doğal zeolitlerin ısı ve kimyasal işlem öncesi ve sonrası BET yüzey alanları.....	63
Çizelge 4.3 Harç karışımlarının içerikleri ve yayılma değerleri.....	72
Çizelge 4.4 Harç karışımlarının basınç dayanımları ve aktivite indeksleri.....	72
Çizelge 4.5 Sertleşmiş çimento hamurlarının TGA ile tespit edilmiş Ca(OH)_2 içerikleri	74

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 Zeolit yapısında yer alan temel dört yüzlü.....	2
Şekil 2.1 Puzolanların sınıflandırılması.....	12
Şekil 2.2 Zeolit kristal yapısını oluşturan dört yüzeylilerin zincir şeklindeki bağlanmaları.....	20
Şekil 2.3 SiO_4 veya AlO_4 dört yüzlüsünün görünümü.....	20
Şekil 2.4 SiO_4 ve AlO_4 dört yüzeylilerinden oluşan çok yüzeylilerin (a) yapay zeolitlerde, (b) foyasitte yapıyı oluşturmak için bağlanışları.....	22
Şekil 2.5 Puzolanik malzemelerin $\text{Ca}(\text{OH})_2$ tüketimleri.....	26
Şekil 2.6 Kireç-puzolan-su sistemlerinin net rölatif iletkenlik-zaman grafikleri....	26
Şekil 2.7 Çimento hamurlarının gözenek boyut dağılımları.....	31
Şekil 2.8 PÇ hamurunun XRD desenleri.....	33
Şekil 2.9 GZ15 hamurunun XRD desenleri.....	34
Şekil 2.10 GZ55 hamurunun XRD desenleri.....	35
Şekil 2.11 BZ15 hamurunun XRD desenleri.....	36
Şekil 2.12 BZ55 hamurunun XRD desenleri.....	37
Şekil 2.13 PÇ hamurunun BS-SEM fotoğrafı	38
Şekil 2.14 GZ15 çimento hamurunun BS-SEM fotoğrafı.....	39
Şekil 2.15 GZ55 hamurunun BS-SEM fotoğrafı	40
Şekil 2.16 BZ15 çimento hamurunun BS-SEM fotoğrafı	41
Şekil 2.17 BZ55 çimento hamurunun BS-SEM fotoğrafı	41
Şekil 2.18 Melamin bazlı kimyasal katkı ile hazırlanan çimento harçlarında, çimentodaki Gördes zeoliti oranının basınç dayanımlarına etkisi.....	42
Şekil 2.19 Melamin bazlı kimyasal katkı ile hazırlanan çimento harçlarında, çimentodaki Gördes zeoliti oranının basınç dayanımlarına etkisi	43
Şekil 2.20 Melamin bazlı kimyasal katkı ile hazırlanan çimento harçlarında, çimentodaki Bigadiç zeoliti oranının basınç dayanımlarına etkisi.....	43
Şekil 2.21 Melamin bazlı kimyasal katkı ile hazırlanan çimento harçlarında, çimentodaki Bigadiç zeoliti oranının basınç dayanımlarına etkisi	44
Şekil 2.22 Beton karışımlarının elastiklik modülü değerleri.....	49
Şekil 2.23 Beton karışımlarının klor iyon geçirgenlikleri.....	50

Şekil 4.1 Gördes zeolitinin ısıt işleml öncesi ve sonrasındaki XRD kırınım desenleri.....	65
Şekil 4.2 Gördes zeolitinin kimyasal işleml öncesi ve sonrasındaki XRD kırınım desenleri.....	66
Şekil 4.3 Bigadiç zeolitinin ısıt işleml öncesi ve sonrasındaki XRD kırınım desenleri.....	66
Şekil 4.4 Bigadiç zeolitinin kimyasal işleml öncesi ve sonrasındaki XRD kırınım desenleri.....	67
Şekil 4.5 Gördes zeolitinin ısıt işleml öncesi ve sonrasındaki puzolanik aktivitesi.	68
Şekil 4.6 Gördes zeolitinin kimyasal işleml öncesi ve sonrasındaki puzolanik aktivitesi.....	69
Şekil 4.7 Bigadiç zeolitinin ısıt işleml öncesi ve sonrasındaki puzolanik aktivitesi.	69
Şekil 4.8 Bigadiç zeolitinin kimyasal işleml öncesi ve sonrasındaki puzolanik aktivitesi.....	70
Şekil 4.9 Sertleşmiş çimento hamurlarının civa porozimetresi ile tespit edilmiş a) 7 günlük ve b) 28 günlük gözenek boyut dağılımları.....	77

FOTOĞRAFLAR DİZİNİ

Fotoğraf 3.1 Karıştırma işleminin yapılış aşaması.....	57
Fotoğraf 3.2 Süzme işleminden bir görünüm.....	57
Fotoğraf 3.3 Elektriksel iletkenlik ölçümü deney düzeneğinin görünümü.....	59

BÖLÜM I

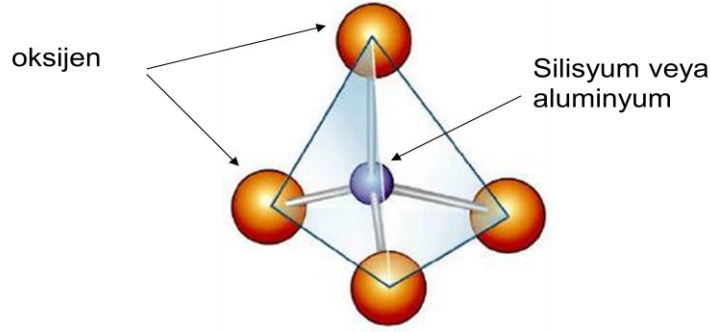
GİRİŞ

Çimento veya betonda puzolanik özelliğe sahip uygun mineral katkı malzemelerinin, uygun miktarda, bilinçli bir şekilde kullanılması birçok çevresel, teknik ve ekonomik faydalar sağlamaktadır. Bilindiği gibi ülkemiz volkanik kökenli doğal puzolanik malzeme rezervleri açısından oldukça zengindir. Bu sebeple, doğal puzolanik malzemeler çimento endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Anadolu toprakları volkanik aktivitelere maruz kalmış olmasından dolayı doğal puzolan yönünden zengindir ve bu zenginlik ülkemize çok yönlü faydalar sağlamıştır. Bunların başında da çimento üretiminde enerji tasarrufu sağlanması ve olumsuz çevresel etkilerin azaltılabilmesi gelmektedir. Ayrıca doğal puzolan kullanımı, özel beton uygulamalarında normal portland çimentosuyla elde edilemeyen teknik bazı avantajlar sağlamaktadır (düşük hidratasyon ısı, kimyasal etkilere dayanıklılık, yüksek geç dayanım vb) .

Çimento ve betonda mineral katkı malzemelerinin kullanımı son günlerde geçmişte olduğundan daha büyük bir önem kazanmıştır. Bu önem yardımcı bağlayıcı malzemelerin kullanımının sağladığı enerji tasarrufu ve çimento üretimi sırasında atmosfere salınan sera gazlarının etkisinin azaltılmasından ileri gelmektedir. 1 ton portland çimentosu üretimi sırasında, bir kısmı ham maddelerin kalsinasyonundan bir kısmı ise kullanılan fosil yakıtlarında kaynaklanan yaklaşık 1 ton CO₂ gazı atmosfere salınmaktadır. Dünyadaki toplam CO₂ gazı emisyonunun yaklaşık % 7'sinin çimento endüstrisinden kaynaklandığı bilinmektedir (Stephanopoulos 1997; Uzal vd., 2007). Dolayısıyla inşaat sektörü için gerekli çimento üretimini azaltmaksızın portland çimentosu klinkeri üretiminin azaltılabilmesi, belirli miktarlarda yardımcı bağlayıcı malzeme içeren katkılı çimentoların veya beton karışımlarının yaygın olarak kullanımıyla sağlanabilecektir. Mineral katkı malzemelerinin çimento veya betondaki kullanım oranının mümkün olduğu kadar yüksek olmasının bahsedilen yararı artıracığı açıktır. Ancak mineral katkı malzemeleri, özellikle de doğal puzolanlar, bağlayıcı sistemlerin su ihtiyacını artırdığından ve dayanım kazanma hızlarını düşürdüğünden dolayı, bu malzemelerin çimento veya betondaki kullanım miktarları sınırlı kalmaktadır.

Özellikle yüksek miktarlarda mineral katkı malzemesi içeren çimentoların veya beton karışımlarının, sadece portland çimentosu içeren sistemlere benzer mühendislik özelliklerine sahip olacak şekilde elde edilebilmeleri, kullanılan mineral katkı malzemesinin performansına bağlıdır. Örneğin; 3 boyutlu kristal yapılu doğal zeolitlerin (Şekil 1.1) amorf yapıdaki doğal puzolanlara kıyasla daha yüksek puzolanik aktivite gösterdikleri bilinmektedir (Uzal vd., 2007; Yılgin ve Akkoca, 2008).



Şekil 1.1. Zeolit yapısında yer alan temel dört yüzlü

Zeolit ismi, 1756 yılında bazı silikat minerallerinin ısıtma işlemine karşı göstermiş olduğu davranıştan yararlanılarak İsveçli mineralog A. F. Cronstedt tarafından konmuştur. Bu kristaller ısıtıldığında, yapılarında bulunan suyun köpürmesinden dolayı Yunancada kaynayan taş anlamına gelen ‘zeolit’ adını almıştır (Sakızcı, 2004; Yörükoğulları, 1997). Gottardi ve Galli tarafından 46 farklı zeolit türü tespit edilmiştir (Sakızcı, 2004; Gottardi ve Galli, 1985). Zeolitler kristal yapıya sahip alkali ve toprak alkali metallerin alümina silikatları şeklinde oluşmuştur (Sakızcı, 2004; Yörükoğulları, 1997). Doğal zeolitlerde silika/alümina oranı zeolitinin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin belirleme açısından önemlidir. Bu oranın fazla olması zeolitinin silika jel oranını etkileyerek kristal yapının daha baskın olmasını sağlamaktadır (Yılgin ve Akkoca, 2008). Zeolitler SiO_4 ve AlO_4 düzgün dörtyüzlülerinin üç boyutlu dizilimiyle meydana gelmiştir. Bu üç boyutlu boşlukların içerisi su molekülleri ve I-II A grubu katyonlarla doludur. Zeolit dört yüzlülerinin merkez atomu, Si^{+4} veya Al^{+3} iyonu, köşelerinde ise oksijen iyonları bulunmaktadır (Şekil 1.1). Merkez atom olarak Al^{+3} bulunduğu dört yüzlüyü sağlayabilmek için I A ve II A grubu metal katyonlarına ihtiyaç vardır. Bu iyonlar kafes sistemi içerisinde sabit yapıda olmayıp, kafes yapı içerisindeki kanallarda hareket edebilmektedir (Uzun, 2009). Zeolitlerin adsorplama, katyon değişimi ve susuzlaştırma gibi özellikleri vardır. Zeolitlerin kafes yapısında su molekülü

bulunmaktadır. Su molekülünün kafes yapı dışına çıkartıldığında kristal yapıda boşluklar meydana gelir. Adsorpsiyon sırasında ise bu boşluklar gaz ve sıvı molekülleriyle doldurulabilir. Bu özellikleri bakımından zeolitlerin endüstrilerde geniş kullanım alanları bulunmaktadır (Sakızcı, 2004; Yörükoğulları, 1997). Zeolitler doğada rezerv açısından oldukça zengindir. Doğal zeolitlerin Türkiye'deki rezervi yaklaşık 45 milyar ton civarındadır. Bu rezerv dünya ile kıyaslandığında (yaklaşık % 7) en geniş rezerv Türkiye'de bulunmaktadır (Sakızcı, 2004; Yörükoğulları, 1997). Doğada bulunan 46 çeşit zeolit içerisinde en bilinen zeolit türleri klinoptilolit, çabazit, eriyonit, mordenit gibi minerallerdir. Bu mineraller içerisinde doğada en çok bulunanı klinoptilolit mineralidir (Uzun, 2009). Klinoptilolit yüksek iyon değiştirme seçiciliği ve farklı ortamlara dayanıklılığı gibi üstün özellikleriyle çevre kirliliğiyle mücadelede ağır metallerin arıtılmasında iyon değiştirici olarak kullanılabilir.

Zeolitin modifikasyonu, iyon değiştirme sürecinin kullanıldığı inorganik tuzlarla muamelesi sonucu gerçekleştirilebildiği gibi, çeşitli asit ve baz çözeltileri sonucunda da gerçekleştirilebilir. Bu şekilde zeolitler, orijinal özelliklerinden bazılarını korurken, bazı yeni önemli özellikler de kazanırlar. Kimyasal modifiye zeolitlerde, fiziksel, kimyasal, termokimyasal ve mekanik özellikleri içeren bir yapısal değişim gerçekleşir. Genellikle modifiye zeolit çevresel problemlerin çözümlerinde daha çok kullanım alanı bulunmaktadır (Öter, 2002; Földesova vd., 1999; Kang ve Egashira, 1997; Kooyman vd., 1997).

Bu çalışmada, ülkemizin başlıca zeolit rezervlerinden olan Gördes ve Bigadiç zeolitlerinin ısı ve kimyasal ön işlemler sonucunda dayanım aktiviteleri, puzolanik aktiviteleri ve sertleşmiş çimento hamurlarının çeşitli özellikleri incelenmiştir. Ön işlemler öncesi ve sonrasında BET yüzey alanları, Gördes ve Bigadiç zeolitlerinin kimyasal kompozisyonları ve XRD kırınım desenleri tespit edilmiştir. Isı ve kimyasal işlem öncesi ve sonrasında elektriksel iletkenlik metoduyla puzolanik aktivitenin değişimi ve dayanım aktivite indeksi incelenmiştir. Sertleşmiş çimento hamurlarında civa porozimetresi yardımıyla gözenek boyut dağılımı ve Termo-gravimetrik analizle de 7 ve 28 günlük serbest Ca(OH)_2 içeriklerine bakılmıştır.

BÖLÜM II

LİTERATÜR ÖZETİ

2.1 Puzolanik Malzemeler Hakkında Genel Açıklamalar

Beton teknolojisinde puzolanik malzemelerin yaygın olarak kullanıldığı yöntem, bu malzemelerin beton üretiminde ince taneli mineral katkı maddesi olarak kullanımları tarzındadır.

2.1.1 Puzolanik malzemelerin tanımı ve genel sınıfları

Puzolanlar; “kendi başlarına bağlayıcılık değeri olmayan veya çok az bağlayıcılık gösterebilen, fakat ince taneli durumda olduklarında ve sulu ortamda kalsiyum hidroksit ile birleştirildiklerinde hidrolik bağlayıcılık özelliklerine sahip olan silisli veya silisli ve alüminli malzemeler” olarak tanımlanmaktadır (ASTM C 125, 1994; ASTM C 618, 1994).

Puzolanların içerisinde fazla oranda silis ve alüminin yanı sıra az miktarda da demir oksit, kalsiyum oksit, alkaliler ve karbon yer alır.

Puzolanlar genel olarak ikiye ayrılırlar:

- 1) Doğal Puzolanlar: Doğada kendiliğinden bulunabilen puzolanlara denir. Bunlar volkanik kül, volkanik tuf, volkanik cam, ısıtılmış işlem görmüş kül ve şeyler ve diatomlu topraklardır.
- 2) Yapay Puzolanlar: Yan ürün niteliği taşıyan endüstriyel atıklardır. Bunlar; uçucu kül, silis dumanı ve granüle yüksek fırın cürufu gibi endüstriyel yan ürünler bu gruba girmektedir.

2.1.2 Pozolanik malzemelerin tarihçesi

Yaklaşık 2000 yıl önce ünlü bir mimar ve mühendis olan Romalı Vitruvius, volkanik kül ve sönmüş kireci suyla karıştırarak bunların hidrolik bağlayıcılık özelliğini tespit etmiştir.

Volkanik küllerin ve kirecin su ile karıştırılmasıyla elde edilen hidrolik bağlayıcılık özelliği sayesinde eski Roma’da çeşitli yapılar inşa edilmiştir. Volkanik küllerin ve kirecin su ile karıştırılmasıyla oluşan hidrolik bağlayıcılık özelliğini kullanarak ve içerisine taş parçaları da katarak bugünkü betona benzer bir beton üretildiği bilinmektedir. Bu sayede İtalya’da, Fransa’da ve birçok ülkede çeşitli binalar ve su kanalları ayakta kalmış ve günümüze kadar gelmeyi başarmıştır (Malinowski, 1982).

Türkiye’de Çatalhöyük’teki eski yapılar üzerinde yapılan çalışmalarda harcın 8000 yıllık olduğu belirlenmiştir (Davidavitz, 1987). Bu da bize bu yapıların nasıl uzun süre ayakta kalabildikleri konusunda düşündürmektedir. Çünkü kireç veya alçıdan elde edilen bağlayıcılar sulu ortamlara dayanıklı değildir. O nedenle harcın pozolanik özellik gösteren malzemelerle yapıldığından şüphe yoktur. Bu harçlar farklı ülkelerde değişik isimlerle anılmışlardır. Örneğin; Hindistan’da “surkhi”, Mısır’da “homra” ve Osmanlı’da “horasan harcı” olarak anıldıkları bilinmektedir (Ramachandran, 1995).

2.1.3 Pozolanik reaksiyon ve pozolanik malzemelerin aktivitesi

Puzolan kompozisyonu içerisinde yüksek oranda silis ve alümin bulunmaktadır. İnce taneli durumdaki bu puzolanlar, sönmüş kireç ve su ile birleştirildiğinde, portland çimentosunun hidratasyonunda olduğu gibi, hidrolik bağlayıcılık özelliğine sahip kalsiyum-silika-hidrat (C-S-H) jelleri oluşmaktadır.

Puzolanik malzemelerin söndürülmüş kireç ve suyla ne ölçüde reaksiyona girebileceği, hangi oranda bağlayıcılık özelliği gösterebileceğine ‘puzolanik aktivite’ denmektedir.

2.2 Doğal Puzolanlar

Volkanik kökenli malzemelerin puzolanik özellik gösterebilmeleri için en az portland çimentosunun inceliğine sahip olması gerekir. Kil, şeyl veya diatomlu topraklar ise önce ısıtılma işlemine tabi tutulup daha sonra ince taneli duruma geldiklerinde ancak puzolanik özellik gösterebilmektedirler (Hewlett, 1998).

İnce taneli doğal puzolanlar bağlayıcı olarak değişik tarzlarda kullanılabilirler:

- 1) Çok eski zamanlarda kullanıldığı gibi sönmüş kireç ve suyla birleştirilip doğrudan kullanılabilir veya
- 2) Portland çimentosunun klinkeriyle birlikte öğütülerek, portland-puzolan tipi çimento üretiminde veya
- 3) Beton karışımına doğrudan eklenerek mineral katkı maddesi olarak kullanılabilir.

İlk sıradaki kullanım tarzı, günümüzde pek yaygın değildir. Doğal puzolanlar, genellikle, portland-puzolan tipi çimento üretiminde ve puzolan katkılı beton üretiminde kullanılmaktadır.

2.2.1 Doğal puzolan tipleri

2.2.1.1 Volkanik orijinli puzolanlar

Doğal puzolanların büyük bir bölümünü volkanik orijinli puzolanlar oluşturur. Volkanik püskürme sırasında silis ve alüminli malzemelerden oluşan eriyik durumdaki magma, yüzeye lav olarak çıkarak çok çabuk soğuma gösterdiği takdirde, camsı (amorf) yapıya sahip olmaktadır. Püskürtme sırasında gazların da bulunması gözenekli yapının oluşmasına ve çok büyük yüzey alanına sahip olmasını sağlar. Yüzey alanının büyük olması ve düzensiz şekilde yerleşim göstermesinden ötürü, alüminli silisler, sulu ortamda kalsiyum iyonlarıyla kolayca reaksiyona girebilmektedir. Volkanik püskürmenin çok hızlı olması, malzemenin daha amorf yapıya ve daha yüksek puzolanik aktiviteye sahip olmasını sağlamaktadır (Ramachandran, 1995).

2.2.1.2 Pişirilmiş kil ve şeyl

Yüksek oranda silis ve alüminiden oluşan kil ve şeyl mineralleri kristal yapıya sahiptirler. Doğal yapılarıyla puzolanik özellik göstermezler. Ancak bir- iki saat 700-900 °C sıcaklığa tabii tutulduklarında, bu malzemelerin kristal yapıları bozulmakta ve yarı amorf veya düzensiz alümino silisli bir yapıya sahip olmakta ve böylece puzolanik özellik kazanabilmektedirler. Bu tür malzemelerin ABD'de, Brezilya'da ve Hindistan'da birçok baraj inşaatında kullanıldığı bilinmektedir (Ramachandran, 1995).

2.2.1.3 Diatomlu topraklar

Diatomlar, silisli hücrelere sahip olan mikroskobik büyüklükteki tek hücreli su bitkileridir. Diatomlu topraklarda, bu organik kalıntılardan kaynaklanan ve amorf yapıda olan büyük miktarda silis bulunabilmektedir. Bazı diatomlu topraklar öğütülmeden veya öğütüldükten sonra puzolanik katkı malzemesi olarak kullanılmaktadır. Ancak, bu tür toprakların 760 - 1000 °C sıcaklığa kadar pişirildikten sonra ince taneli duruma getirilmeleri, puzolanik aktivitelerini artırmaktadır (Ramachandran, 1995).

2.2.2 Doğal puzolanların kimyasal kompozisyonu

Çizelge 2.1.' de bazı doğal puzolanlarda yer alan oksit miktarları verilmiştir (Ramachandran, 1995). Bu çizelgeden de anlaşılacağı gibi, doğal puzolanların yapısını oluşturan ana oksitler SiO_2 , Al_2O_3 ve Fe_2O_3 ' dür. Killerde ise bu oksitlerin haricinde % 20 oranında CaO bulunmaktadır. Çizelge 2.2' de ise beton karışımlarında puzolan kullanılması durumunda, beton özellikleri üzerindeki olumlu ve olumsuz etkileri gösterilmektedir.

Çizelge 2.1. Bazı doğal puzolanlardaki oksitlerin miktarı, (%), (Ramachandran, 1995)

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Alkali
Volkanik cam	65,1	14,5	5,5	3,0	1,1	6,5
Volkanik tüf	52,1	18,3	5,8	4,9	1,2	6,6
Diatomlu toprak	86,0	2,3	1,8	-	0,6	0,4
Pişirilmiş kil	42,2	16,1	7,0	21,8	1,9	1,3

Çizelge 2.2. İnce taneli durumdaki doğal puzolan katkıların beton özelliklerine etkileri (Erdoğan, 2007)

Olumlu Etkileri
Taze betondaki işlenebilmeyi artırmaktadır.
Taze betondaki terlemeyi azaltmaktadır.
Betonun hidrasyon ısını azaltmakta, böylece, kütle betonlardaki çatlamayı önlemektedir.
Sertleşmiş betonun su geçirimsizliğini azaltmaktadır.
Sertleşmiş betonun sülfatlara dayanıklılığını artırmaktadır.
Sertleşmiş betondaki alkali-silika reaksiyonunu azaltmaktadır.
Ekonomiklik sağlamaktadır.
Potansiyel Zararlı Etkileri
Özellikle soğuk havada betonun prizini geciktirmektedir.
Betonun ilk günlerde dayanım kazanma hızını azaltmaktadır.
Betonun daha dikkatli ve uzun süre kür edilmesini gerektirmektedir.
Hava sürüklenmiş betonların içerisine dâhil edilecek sürüklenmiş hava miktarını azaltmaktadır; belirli miktarda sürüklenmiş hava elde edebilmek için daha çok hava sürükleyici katkı maddesinin kullanılması gerekmektedir.

2.3 Doğal Puzolanların Beton Katkı Maddesi Olarak Kullanılabilirliğine Dair Standartlarda Belirtilen Sınır Değerler

Doğal puzolanların beton yapımında uygun bir katkı maddesi olarak kullanılabilmeleri için sahip olmaları gereken fiziksel ve kimyasal özelliklere dair sınır değerler TS 25 ve

ASTM C 618 no'lu standartlarında belirtilmektedir (TS EN 450, 1988, ASTM C 618, 1994) (Çizelge 2.3 ve Çizelge 2.4). Çizelge 2.3 ve 2.4'de görüldüğü gibi hem Türk hem de ASTM standartlarında, doğal puzolanların silisyum oksit, alüminyum ve demir oksitlerin toplam oranının en az %70 olması gerektiği belirtilirken, zararlı bileşikler olarak bilinen SO_3 , MgO ve alkalilere ise benzer oranlarda sınırlama getirilmektedir.

Çizelge 2.3. Doğal puzolanların beton katkı maddesi olarak kullanılabilmesi için gereken fiziksel değerler

	TS 25	ASTM C 618
incelik: 45 μ m kalan, maks. %	-	34
Dayanım Aktivite İndeksi: min. %, 7 Günlük 28 Günlük	- 70	75 75
Su İhtiyacı: kontrol numunesine kıyasla, mak. %	-	115

Çizelge 2.4. Doğal puzolanların beton katkı maddesi olarak kullanılabilmesi için gereken kimyasal değerler

	TS 25	ASTM C 618
$SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3$	70,0	70,0
SO_3 maks. %	5,0	4,0
Nemlilik, maks. %	3,0	3,0
Kızdırma kaybı, maks. %	10,0	10,0
MgO, maks. %	5,0	-
Na_2O olarak alkaliler, maks. %	1,5	1,5

2.4 Doğal Puzolanların Sınıflandırılması ve Oluşumu

Puzolanların kökenini temel alan sınıflandırma, Massazza tarafından Şekil 2.1'deki gibi yapılmıştır (Hewlett, 1998).

2.4.1 Piroklastik kayaçlar

Bu tür kayaçlar volkanik patlamalar neticesinde atmosfere atılan erimiş magma parçalarından oluşur. Patlama sırasında ani basınç düşüşü sıvı magma içerisindeki gazların atmosfere yayılmasına sebep olur. Açığa çıkan bu gazların geride boşluklar bırakması nedeniyle katılaştıran parçalıklarda mikroskobik ve makroskobik boşluklu yapı görülür. Ayrıca bu tür katılaştıran malzemeler ani soğumaya maruz kaldığında da camsı yapı oluşur. Bu tür kayaçlar Massazza (Hewlett, 1998) tarafından iki alt gruba ayrılmıştır.

2.4.1.1 Gevşek yapılı kayaçlar

Bu grup eski çağlardan beri kullanım alanı bulmuş tipik İtalyan traslarını ve ABD’de, Hindistan’da ve Türkiye’de bulunan gevşek yapılı kayaçları ve riolitleri içerir.

2.4.1.2 Sıkı yapılı kayaçlar (Tüfler)

Volkanik kökenli tras yatakları, genellikle sıkışmamış parçacıkların metamorfizma ya da diğer doğal işlemlerle, hava etkisine maruz kalma ve taşlaşmasından oluşan sıkışık katmanlarla beraber bulunur. Tras eğer hava etkisine maruz kalırsa, camsı yapısı ya zeolitleşir ya da killeşir. Zeolitleşme trastaki camsı yapının dış etkilerle zeolit grubu mineraline dönüşmesidir. Killeşmede ise, camsı yapı kil mineraline dönüşür. Zeolitleşme, malzemenin puzolanik özelliklerinde iyileşmeye yol açarken, killeşme için tam tersi söz konusudur (Sersale, 1958; Malquori, 1960). Kısaca genel olarak puzolanik tüfler, volkanik kökenli kayaçların zeolitleşmesi sonucunda oluşurlar. Zeolitleşme hızı ve oluşan zeolit mineralinin tipi esas olarak basınç ve sıcaklık gibi çevre şartlarıyla beraber diğer birçok faktöre bağlıdır. Tüflerde silika ve silika+alümina içeriği diğer volkanik kökenli malzemelerle benzerlik gösterir. Genelde kızdırma kaybı yüksektir ve minör element içeriği farklılıklar gösterir (Tavasci, 1946).

2.4.2 Klastik kayaçlar (Tortul kayaçlar)

Killer ve diatomitli topraklar, sedimantasyonla oluşan puzolanik malzemelerdir. Killer volkanik kayaların değişiminden oluşurken, diatomitli topraklar mikroorganizmaların

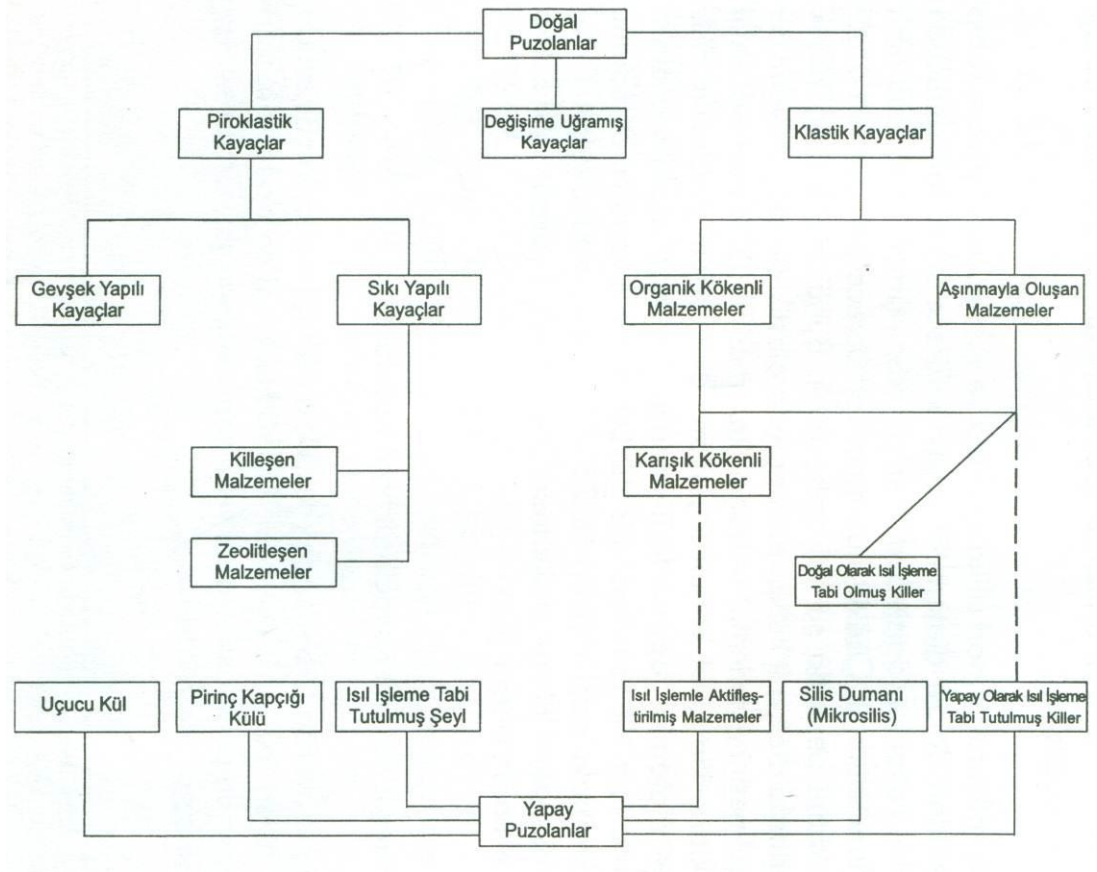
silisli iskeletlerinin tatlı su ya da deniz suyunda birikmesiyle oluşur. Her iki malzemede farklı kökenlerine rağmen suda birikir ve bu malzemeler doğada bir arada karışık halde bulunabilirler.

Genel olarak kil mineralleri (özellikle montmorillonit grubuna dâhil olanlar), kireçle tepkime vererek kalsiyum silikat ve alüminat hidratları oluştururlar (Cussino, 1958; Amicarelli vd., 1966). Fakat killerin puzolan olarak kullanımı; betonun su ihtiyacını artıracığı ve dayanımını düşüreceği için mümkün değildir.

Yüksek miktarda amorf silika içermesi ve yüksek özgül yüzeye sahip olmasından dolayı diatomitli topraklar kirece karşı çok reaktiftir. Fakat bu yapısına rağmen puzolan olarak çimentolarda kullanımı sınırlıdır. Çünkü diatomitin son derece yüksek özgül yüzey alanı betonda su ihtiyacını artırır. Bununla beraber, küçük miktarda diatomit kullanımı, betonda plastikliğin daha uygun bir hale gelmesini sağlar ve terlemeyi azaltır. Silis miktarı diatomitli topraktaki kil minerali miktarı azaldıkça artar. Alümina için ise tam tersi bir durum söz konusudur. Diatomitli topraktaki opal miktarı %25-100 arasında değişir. Opal dışındaki kısım kil minerallerinden ve kuvars, feldspat gibi başka minerallerden oluşmaktadır (Mielenz vd., 1950).

2.4.3 Karışık kökenli kayaçlar (Hibrit kayalar)

Bu grupta aynı anda birden çok şekilde oluşmuş puzolanları bir arada bulunduran malzemeler vardır. Bu kapsama giren doğal puzolan yataklarında piroklastik, tortul ve organik kökenli yapılar tabakalar halinde bir arada olabilir.



Şekil 2.1. Pozolanların sınıflandırılması (Massazza'ya göre) (Hewlett, 1998)

2.5 Doğal Pozolanların Pozolanik Aktivitesi

Pozolanik aktivite kavramı, bir pozolanın bağlayabileceği en fazla $\text{Ca}(\text{OH})_2$ miktarını ve bağlanma işleminin hızını ifade etmektedir. Bahsedilen her iki değişkenin de pozolanın özelliğine ve pozolanın içerisinde bulunan aktif fazların kalitesine ve miktarına bağlı olduğu unutulmamalıdır. Genel olarak pozolanlar heterojen bir yapıya sahip olduklarından ve hidratastonlarının karmaşık bir yapıda olması nedeniyle pozolanik aktiviteyi açıklayıcı bir model yoktur. Fakat genelde ortak kanılar mevcuttur (Hewlett, 1998).

Bunlar :

- 1) Diğer özellikleri aynı olmak şartıyla pozolanın bağladığı $\text{Ca}(\text{OH})_2$ miktarının fazla olması, bu pozolanın içerisindeki aktif madde miktarının da fazla olduğu anlamına gelir.
- 2) Bir pozolanın kısa dönemdeki aktivitesi esas olarak özgül yüzey alanına, buna karşın uzun dönemdeki aktivitesi ise kimyasal ve mineralojik kompozisyonuna bağlıdır.

3) Farklı puzolanlarda bulunan camsı fazlar farklı kireç bağlayabilme yeteneğine sahiptir.

2.5.1 Puzolanik aktivite ölçümü için önerilen yöntemler

Herhangi bir puzolanın yetkinliğinin değerlendirilmesi için puzolanın Ca(OH)_2 bağlayabilmesi ve reaksiyonun hızı ile tanımlanan aktivitesinin belirlenmesi gerekir. Fakat her çeşit puzolana uygulanabilecek hız ve hassasiyet açısından kabul edilebilir bir test yöntemi henüz yoktur. Puzolanların aktivitesinin belirlenebilmesi için farklı yöntemler vardır. Bunlar kimyasal, fiziksel ve mekanik olarak üç ana grupta toplanmaktadır (Swamy, 1986).

Kimyasal test yöntemlerinde puzolan doymuş kireç çözeltisine konduğunda ortamdaki belirli süreler içerisinde kalsiyum iyonlarında azalmalar tespit edilir. Böylelikle, herhangi bir puzolanın Ca(OH)_2 bağlayabilme kapasitesi ve hızı ölçülebilmektedir.

XRD teknikleriyle de kireç-puzolan karışımlarında bağlanmış Ca(OH)_2 miktarı tayin edilebilmektedir. Bu şekilde yapılan ölçümlere temel oluşturan bir araştırmada altı aylık ve bir yıllık numunelerde bağlanmış Ca(OH)_2 ve dayanım arasında yüksek bir bağlantı bulunmuştur (Swamy, 1986, Mortureux vd., 1980).

Kireç-puzolan karışımlarında, puzolanik tepkimelerin sonucu olarak karışım sertleşir ve dayanım kazanır. Dayanım artışı puzolanların bağlamış olduğu kireç miktarıyla orantılıdır. Yani, bağlanan kireç miktarı arttıkça dayanım artar (Massozza ve Costa, 1977; Takameto vd, 1980). Fakat bu iki parametre arasında kolayca tanımlanabilecek bir ilişki yoktur. Aynı durum portland çimentosu-puzolan karışımlarının dayanımı ile kireç bağlanma miktarı arasındaki ilişki için de geçerlidir (Costa ve Massozza, 1981). Bu nedenle bağlanan kireç miktarının ölçülmesine dayanan metotlarla, çimentoda puzolan kullanımıyla elde edilecek dayanımları tahmin etmek mümkün değildir.

2.5.2 Doğal puzolanların puzolanik aktivitesini etkileyen etmenler

Tüm puzolanların ve dolayısıyla doğal puzolanların aktivitesi açısından özgül yüzeyin, kimyasal kompozisyonun ve mineralojik yapının önemi büyüktür. Fakat bunların

birbiriyle etkileşim içerisinde olmaları sebebiyle aktivite mekanizması oldukça karmaşıktır. Genel olarak, puzolanların bağladığı kireç miktarı aşağıdaki etmenlere bağlı olduğu birçok araştırmacı tarafından doğrulanmıştır (Hewlett, 1998; Swamy 1986).

- 1) Aktif fazların yapısı
- 2) Puzolan içerisindeki aktif fazların miktarı
- 3) Aktif fazların SiO_2 içeriği
- 4) Karışımın kireç/puzolan oranı
- 5) Kütleme süresi

Kirecin bağlanma hızı ise;

- 1) Puzolanın özgül yüzey alanı
- 2) Su/katı madde oranı
- 3) Sıcaklık

Doğal puzolan içeren sistemler için dayanım uzun dönemde doğal puzolanların $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{SiO}_2$ miktarına bağlı iken kısa dönemde ise puzolanların özgül yüzey alanı dayanım açısından birinci derecede etkili olan faktördür (Costa ve Massozza, 1974). $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{SiO}_2$ içeriğinin artması, uzun süreli dayanımı da artıracak yönündeki düşünceler Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği tarafından yapılan çalışmada da doğrulanmıştır (Leckebush, 1984). Yine bu çalışmanın verilerine göre artan Fe_2O_3 konsantrasyonu, en azından yüksek konsantrasyonlarda (% 8'in üzerinde), doğal puzolanın aktivitesini azaltmaktadır.

Puzolanik malzemenin özgül yüzey alanı ile harç basınç dayanımı olarak tespit edilmiş puzolanik aktivite arasında her puzolan için belirlenmiş genel bir bağlantı yoktur. Sadece yapılan deneylerde dayanımın incelikle arttığı ve bu artışın yüksek inceliklerde nispeten daha az olduğu belirlenmiştir (Chatterjee ve Lahiri, 1967). Sonuç olarak, puzolanın özgül yüzey alanı ile dayanım arasındaki ilişki her puzolanın kendine has bir özelliğidir ve dayanım kazanımının birçok değişkenin fonksiyonu olması nedeniyle bu konuda bir genelleme yapmak mümkün görünmemektedir.

Karışım suyunun belirli bir noktaya kadar artışı, kireç-puzolan sistemlerinde bağlanan kireç miktarını artırır (Hewlett, 1998; Swamy 1986; Massozza 2009). Harçlarda ya da hamurda puzolanik tepkime, doymuş kireç çözeltisi içerisine koyulduğunda daha yavaş olur. Nitekim bu durum, puzolanın kireç bağlayabilme kapasitesinin ve hızının doymuş kireç çözeltisinde ölçülmesi neticesinde her zaman güvenilir sonuçlar vermeyebilir (Hewlett, 1998). Ayrıca puzolanik tepkimenin hızı Çizelge 2.5’ de görüldüğü gibi sıcaklık arttıkça artmaktadır (Lea, 1981).

Çizelge 2.5. Sıcaklığın kireç- doğal puzolan karışımlarının dayanım kazanma hızına etkisi (Lea, 1981)

	7 Gün				28 Gün			
	0 °C	12 °C	25 °C	35 °C	0 °C	12 °C	25 °C	35 °C
Santorin toprağı	0	55	303	710	0	595	2185	2815
Kalsine petrolü şeyl	330	595	1040	1765	635	1660	2400	3140
Kalsine kil	210	310	690	1310	345	1240	2240	3000

2.6 Puzolanik Reaksiyonun Ürünleri

Kireç-puzolan tepkimesi, puzolanın cinsinden bağımsız olarak, portland çimentosunun hidrate olmasıyla ortaya çıkan ürünlerle hemen hemen aynıdır. Olası farklılıklar küçüktür ve hidrate ürünlerin yapısından çok miktarını etkiler (Hewlett, 1998; Swamy, 1986).

Kireç- doğal puzolan tepkimesi sonucu literatürlerde aşağıdaki ürünlerin oluştuğu yönünde ortak bir görüş vardır (Takameto vd., 1980; Sersale, 1980; Massozza, 1974).

- 1) C-S-H Formunda Kalsiyum Silikat Hidrat
- 2) C_4AH_x Formunda Kalsiyum Alüminat Hidrat ($9 \leq x \leq 13$)
- 3) Hidrate Gehlenit – C_2ASH_8
- 4) Kalsiyum Karboalüminat – $C_3A.CaCO_3H_{12}$
- 5) Etrenjit - $C_3A.3CaSO_4.H_{32}$
- 6) Kalsiyum Alüminat Monosülfat - $C_3A.CaSO_4.H_{12}$

Bu ürünlerin varlığı esas olarak doğal puzolanın kimyasal içeriğine, ortamda kirecin varlığına ve çevre şartlarına bağlıdır.

Yukarıdaki sıralanmış tüm ürünlerin hepsi bir arada bulunmaz. Örneğin; 6. ürün genellikle hidrasyonun ilk safhalarında ortamda bulunur ve zamanla etrenjite dönüşür. Muhtemelen karboalüminat, kalsiyum alümina hidratın karbonatlaşmasıyla oluşur. Aşırı miktarda opal içeren doğal puzolanların kireçle tepkimesi yalnızca kalsiyum silikat hidrat oluşturur (Takameto vd., 1980).

2.7 Doğal Zeolitler

Zeolitlerle ilgili çalışmalar 18. yy ortalarına kadar uzanmaktadır. F. A. Cronstedt, 1756 yılında ısıtılan bazı minerallerin, şiddetli su buharı çıkışıyla kaynadığı ve eridiğini gözledi. Cronstedt, bu minerallere Yunanca kaynayan “Zein” ve taş anlamına gelen “Lithos” kelimelerinden oluşan “Zeolit” adını verdi (Yörükoğulları, 1985; Huxtable ve Poole, 1976).

Zeolitler, geniş anlamda alkali ve toprak alkali sulu alümina silikat olarak tanımlanırlar. Bu mineral grubu feldispatoid ve feldispatlar gibi tektosilikat gruba aittirler (Yörükoğulları, 1985; Kumbasar, 1977).

Zeolitler üzerindeki ilk araştırma A. Damour tarafından 1857 yılında yapılmıştır. A. Damour bu çalışmada bu minerallerin su atma (dehidrasyon) tersinirliğini gözlenmiştir. (Hey, 1930). Zeolitlerdeki suyun karakteri ile ilgili çalışmalar A. Damour’dan sonra da devam etmiştir. Bu konuyla ilgili araştırmalar ve tartışmalar daha da devam etmektedir (Yörükoğulları, 1985).

A. Domur’un çalışmasıyla hemen hemen aynı yıllarda H. Eichorn 1858’de zeolitlerin, tuz çözeltileriyle iyon-değişme özelliklerini incelemiştir (Hey, 1930). Bu çalışma 1905 yılında sert suların yumuşatılmasında zeolit kullanılmaya başlanmasına kadar endüstriyel bir uygulama alanı bulmamıştır. C. Doelter, 1890 yılında çözeltiden ilk olarak zeolitleri sentezlemeyi başarmıştır (Hey, 1930). Bu çalışmadan kısa bir süre sonrada G. Friedel, 1896’da susuz zeolitler üzerinde gazların, alkolün ve diğer bazı maddelerin adsorblandığını göstermiştir (Yörükoğulları, 1985).

X-ışınları tekniği kullanılarak zeolitlerin yapı analizi L. Pauling ve W.H. Taylor ve çalışma arkadaşları tarafından 1933’de yapılmıştır. Zeolitlerin yapı analizleri sonucunda, yapının 3-10 Å arasında değişen kanalları ve boşlukları olduğu ortaya çıkarılmıştır. Bu boşluklar yük dengesini sağlayan katyonlar ve su molekülleri tarafından doldurulmaktadır. Hem katyonlar hemde su molekülleri diğer bazı maddelerde de görüldüğü gibi, yer değiştirme, tersinir dehidratasyon ve iyon değiştirme gibi moleküllerin serbestçe hareket yeteneğine sahiptir (Yörükoğulları, 1985).

Yapıda bulunan bu boşlukların boyutları sabit olup bazı molekülleri tercih ederler. Bu yüzden zeolitler “ Moleküler elek” olarak kullanılırlar.

Yapay zeolitler, doğal zeolitlere göre bazı teknik avantaja sahiptirler. Bu avantajları yanında saf olmaları, belli bir tipte olmaları, ticari olarak temin edilebilmeleri, istenilen gözenek boyutunda sentezlenebilmeleri bu zeolit türünü endüstriyel amaçlar için daha kullanılır yapmaktadır. Yapay zeolitlerin belirtilen özelliklerinden dolayı araştırmalar bu malzemeye kaymıştır. Son yıllarda geniş ve saf zeolit yatakları dünyanın çeşitli yörelerinde bulunmuştur (Yörükoğulları, 1985; Sheppard 1975, Mumpton ve Sheppard, 1974). Doğal zeolitlerin geniş yataklar halinde doğada bulunması bu malzemeye ilgiyi artırmıştır. Bu ilgi, doğal zeolitlerin yapay zeolitlere göre 100 kat daha düşük fiyatta olmasından kaynaklanmaktadır (Yörükoğulları, 1985; Mumpton ve Sheppard, 1974). Bununla beraber doğal zeolitlerin işletmesi henüz gelişme safhasındadır.

2.8 Doğal Zeolitlerin Oluşum Ortamları

Doğal zeolit oluşumları hakkındaki görüşler iki ana başlık altında toplanır. İlk görüş, 1950 yılında öncelere ait olup, zeolitlerin volkanik kayaların özellikle bazaltların boşluklarında ikincil olarak oluşması, ikinci görüş ise, son yıllara ait olup, zeolitler düşük dereceli metamorfizma ve sedimenter kayaların önemli minerali olduğudur (Yörükoğulları, 1985; İleri, 1978). Sedimenter kayalardaki zeolitler çok ince kristalli olduklarından, bu kristalleri kayaların görünümünden ayırt etmek çok zordur. Son yıllarda X- Işınları difraksiyonu ile tortul kayaları oluşturan ince kristalli zeolitlerin ayırt edilmesi kolaylaşmış böylece geniş doğal zeolit yatakları bulunmuştur.

Zeolitler, diğerk silikat mineralleri gibi değişik ortamlarda, değişik kayaçları oluştururlar. Sedimenter zeolit kayaçlarını oluşturan belli başlı zeolit mineralleri; analsim, şabazit, klinoptilolit, eriyonit, höylandit, mordenit ve filipsittir. Bu minerallerden tortul kayaçlar içinde en çok bulunanlar ise analsim ve klinoptilolittir (Yörükoğulları, 1985; Sheppard, 1975).

Sedimenter kayaçlardaki zeolitlerin çoğu, çökellerin gömülmesinden sonra alminasilikatların gözenek suyu ile tepkimesi sonucu oluşurlar. Volkanik camların çoğu doğal zeolitlerin oluşmasına en uygun alümina silikatlardır. Bunun dışında kil mineralleri, feldispatlar, feldispatoidler ve Al-Si jelleri de uygun koşullarda zeolitlere dönüşebilirler (Yörükoğulları, 1985; Sheppard, 1975).

Oluşumlarına göre F.A. Mumpton zeolitleri altı grupta toplamıştır (Yörükoğulları, 1985; İleri, 1978).

Bunlar;

1-Kapalı tuzlu sulu gllerde biriken volkanik malzemenin gl suyu ile kimyasal reaksiyonu sonucu oluşan zeolit yataklarıdır. A.B.D. ve Doğu Afrika'daki Büyük Rift Vadisi'nde, eski ve yeni gl yataklarında bu tür zeolitler geniş alanlar kaplarlar.

2-Tatlı veya az tuzlu açık gllerde biriken volkanik malzemenin gl suyu ile kimyasal reaksiyonu sonucu oluşan zeolit yataklarıdır. Bu zeolit yatakları da Kuzey ve Güney Amerika'da geniş alanlar kapladığı bilinmektedir.

3-Kıyı veya derin deniz ortamlarında biriken volkanik malzemenin deniz suyu ile kimysal tepkimesi sonucu oluşan zeolit yataklarıdır. Bu gruptaki yataklar genel olarak homojen ve tıkız bir yapıya sahip olup, % 95,2'e kadar tek bir zeolit mineralinden oluşabilirler. Japonya, Bulgaristan ve Rusya'da bu tür yataklara rastlanılmıştır.

4-Düşük ısı ve gmlme metamorfizması ile volkanik malzemedenden veya kalın sedimenter dizilim içindeki diğerk Al-Si'lu malzemedenden oluşan zeolit yataklarıdır. Bu yataklar saf olmadıklarından ekonomik değerleri yoktur.

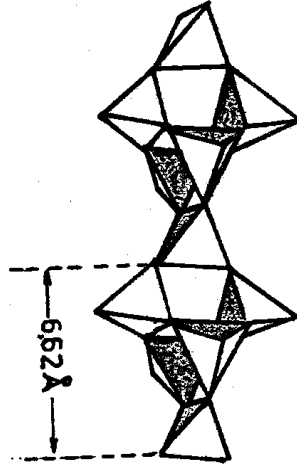
5-Hidrotermal suların veya sıcak su kaynak sularının etkisi ile Al-Si'li malzemenin bozulmasıyla oluşan zeolit yataklarıdır.

6-Göl veya denizlerde oluşan, fakat köken kayacın volkanik malzemeden olduğunu belirleyici kanıtları izlenemeyen zeolit yatakları. Bu zeolit oluşumları çoğunlukla monosoyl dönemde sedimentler içinde gözlenen analsim katmanları, Rusya'da Periyen ve Kretase yaşlı kayalar içinde gözlenen analsim ve klinoptilolitçe zengin katmanlar örnek gösterilmektedir (Yörükogulları, 1985; Sheppard, 1975).

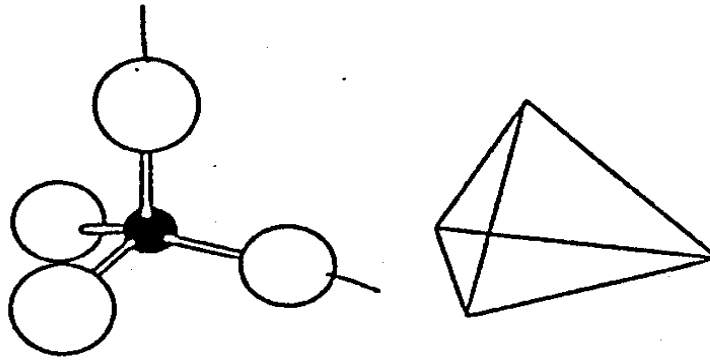
2.9 Zeolitlerin Kristal Yapıları, Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Zeolitler temelde SiO_4 ve AlO_4 dört yüzeylilerin (tetrahedronlarının) üç boyutta sonsuz bağlanmaları ile oluşan temel silikat yapısına sahiptirler. Yapıdaki her oksijen iki dörtyüzlü tarafından paylaşılır (Şekil 2.2.). Böylece $\text{O}/(\text{Al-Si})=2$ atomik oranı meydana gelir. Üç değerli alüminyum dört yüzeylilerde (Şekil 2.3.) yer alması sonucu açığa çıkan eksi yükün Ca, Na, K gibi artı yüklü alkali metal ve toprak alkali iyonları tarafından dengelenmeleri gerekir. Tam dengeli bir yapıda silisyum yerini alüminyum en fazla 1/1 oranında alabilir. Bu durum, aynı temel silikat yapısına sahip feldispat grubu minerallerde eksi yükün Ca, Na, K gibi katyonlar tarafından dengelenmesi şeklindedir. Yalnız feldispatlarda artı yüklü katyonlar yapı içindeki küçük boşluklarda yer alırlar ve oksijen atomları ile çepeçevre sarılmaları nedeniyle yapı bozulmadan yer değiştiremezler. Aynı durum zeolitlerde farklı durum göstermektedir.

Dört yüzeylilerin oluşturduğu alüminasilikat temel yapısında Na, Ca, K katyonları yer aldığı boşluklar daha büyük olup tüm boşlukları dolduramadıkları için kolaylıkla yer değiştirebilirler.



Şekil 2.2. Zeolit kristal yapısını oluşturan dört yüzeylilerin zincir şeklindeki bağlanmaları



Şekil 2.3. SiO_4 veya AlO_4 dörtyüzlüsünün görünümü

Zeolitlerin benzer yapıdaki mineral gruplarından ayrılan en önemli özelliklerinden birisi de yapı içindeki kanallarda su moleküllerinin bulunmasıdır. Yapıda bu su moleküllerinin yer alabileceği birkaç olası boşluk bulunmaktadır. Bu boşluklarda Na, Ca, K katyonları su molekülleri ile çevrilirler ve su molekülleri zayıf bağlarla hem artı yüklü katyonlara hem de silikat yapısına bağlıdır. Genel olarak yapısındaki kalsiyum iyonu bulunan zeolitler diğer zeolitlere göre daha fazla su içerir. Şabazit, höylandit ve stilbit yapısı içindeki su molekülleri potasyumdan daha çok kalsiyum katyonu ile bağlantılıdır (Yörükoğulları, 1985; Breck, 1975).

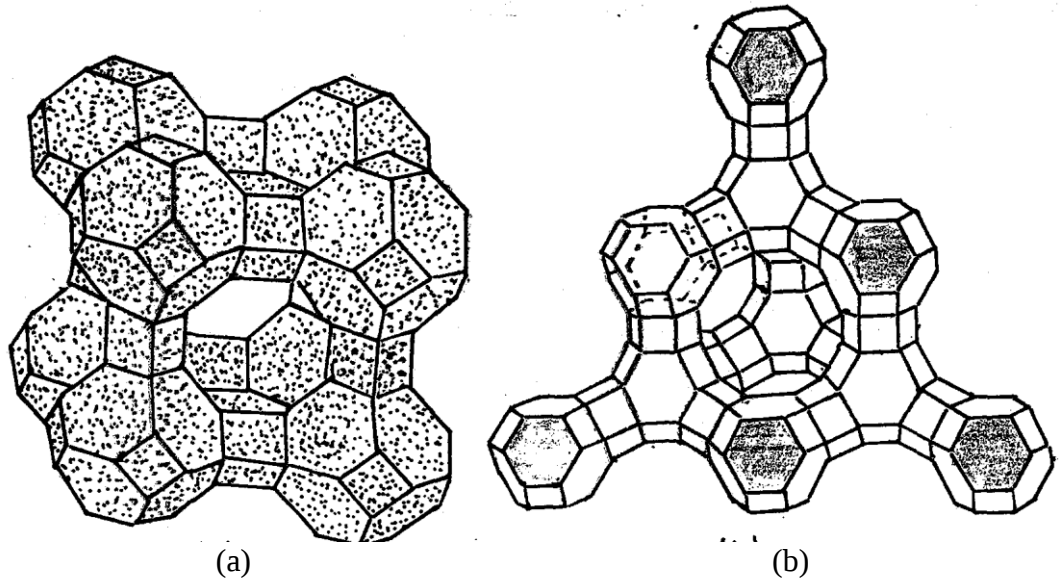
Zeolitler ısıtıldıklarında, 100-350 °C’ de su molekülleri yapıda değişiklik oluşturmada, birçok mineralde görünen tersine, belli sıcaklıklarda kesikli olarak değil de, sürekli şekilde yapıdan ayrılırlar (Yörükoğulları, 1985; Mumpton ve Sheppard, 1974).

Suyun yapıdan uzaklaşması sırasında katyonlardan bazıları da dışarı atılırlar. Yapıda elektrik dengesini korumak için bazı katyonlar kanalların çeperlerinde veya kanal yakınlarındaki boşluklar içinde yer alırlar ve diğer katyonlarla her zaman yer değiştirebilirler. Su moleküllerinin ve katyonlardan bazılarının atılması kanallardaki tıkanmaların giderilmesini sağlar. Ancak tutulan katyonların özellikleri kanal açıklığını büyük ölçüde etkiler. Örneğin elektrik yükünün dengelenmesi için Ca^{++} katyonu iki Na^{+} katyonunun yerini alabilir. Böylece kanal genişliği artar. Na^{+} katyonu yerini daha büyük K^{+} alırsa kanal genişliği azalır. Yapıda katyonlar ne kadar az bulunursa, o kadar dolaşım özgürlüğüne sahiptirler. Ayrıca tek yüklü (K^{+} , Na^{+}) daha zayıf elektrik yükleriyle bağlı olduklarından, çift yüklü (Ca^{++}) daha hareketlidir (Yörükoğulları, 1985).

Birçok zeolitlerin temel kristal yapısı, dört yüzeylilerin birleşmesinden oluşmuş basit bir yüzeylilerin (polihedronların) üç yönlü bağlanması ile şekillenir. Bu çok yüzeylilerin birbirine bağlanma şekli çok değişik olabilir ve bu bağlanma zeolitlerin kanal özelliklerini belirler. Kanallar bir, iki veya üç yönde birbirleriyle ilişkili oluşabilirler.

Dört veya altı çok yüzeylinin birleşmesinden oluşan tek veya çift sıralı halkaların birbirine bağlanması ile kübik yapı hegzagonal prizma yapısı ortaya çıkar. Şekil 2.4. (a)’da yapay zeolit yapısını oluşturan çift sıralı çok yüzeyle halkalar (veya kübik yapı) Şekil 2.4.(b)’de ise foyasiti oluşturan çok yüzeylilerin bağlantısı görülmektedir.

Birçok zeolitin kanal genişlikleri birkaç Angstrom boyutundaki moleküllerin geçmesine uygundur. Zeolitlerin kristal yapısında yabancı veya moleküllerin barınabileceği boşluk miktarı toplam hacmin % 20-50’sine ulaşabilir. Bu nedenle de zeolitlerin birçoğu ticari adsorbent olarak kullanılırlar.

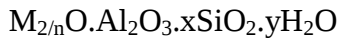


Şekil 2.4. SiO_4 ve AlO_4 dört yüzeylilerinden oluşan çok yüzeylilerin (a) yapay zeolitlerde, (b) foyasitte yapıyı oluşturmak için bağlantıları

Doğal ve yapay zeolitlerde çoğunun kristal yapısı bilinmektedir. Çizelge 2.6.'de bilinen ve endüstride kullanılan bazı zeolitlerin özellikleri görülmektedir.

Zeolitlerin sınıflandırılması çok yüzeylilerinin dizilimlerine göre yapılmaktadır. Bugün 150 değişik yapıda yapay zeolit üretilmiştir. Bunlardan bazılarının kristal yapıları bilinen doğal zeolitlere benzemektedir. Fakat birçoğunun kristal yapısı henüz çözümlenememiştir (Yörükoğulları, 1985; Şenatalar vd., 1982).

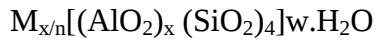
Genel olarak zeolitler



ampirik formülü ile tanımlanır. Bu oksit formülünde $x=2$ olup, n ise M katyonunun değerliliğini göstermektedir. Kristalografik birim hücre için yapı formülü ise şu şekilde verilir.

Çizelge 2.6. Doğal zeolit mineralleri ve özellikleri (Yörükoğulları, 1985; İleri, 1978)

Mineral	Kristal Sistemi	Kristal Öz. Ağ. g/cm ⁻³	Kristal Boşluğu %	Isı Dayanımı
Analsim	Kübik	1,85	18	Yüksek
Filipsit	Ortorombik	1,58	31	Düşük
Eriyonit	Hegzegonal	1,51	35	Yüksek
Foyasit	Kübik	1,27	47	Yüksek
Şabazit	Hegzegonal	1,45	47	Yüksek
Natrolit	Ortorombik	1,76	23	Düşük
Mordenit	Ortorombik	1,70	28	Yüksek
Höylandit	Monoklinal	1,69	39	Düşük
Klinoptilolit	Monoklinal	-	39	Yüksek
Stilbit	Monoklinal	1,64	39	Düşük



Burada M_x Değerliliği, n katyonu, w su moleküllerinin sayısını, $(x+y)$ ise dört yüzeylilerin toplamını göstermektedir. y/x oranının değeri ise zeolit tipine göre değişim gösterir. Zeolitlerin sınıflandırılması ile ilgili çeşitli şekilde yapılmaktadır. Bunlardan biri aşağıdaki Çizelge 2.7. de verilmiştir.

Çizelge 2.7. Doğal zeolitlerin sınıflandırılması (Barrer, 1978)

1-Analsim Grubu	5-Höylandit Grubu
Analsim	Höylandit
Lomontit	Klinoptilolit
2-Natrolit Grubu	Stilbit
Natrolit	6-Mordenit Grubu
Tomsolit	Mordenit
Edingtonit	Ferriyetit
3-Şabazit Grubu	Deshiartit
Şabazit	7-Foyasit Grubu
Eriyonit	Foyasit
Gmelibit	Linde A
4-Felipsit Grubu	8-Melanofiyagit Grubu
Felipsit	Klarat
Gismondin	Melanofiyagit Grubu SM-39

2.10 Türkiye’deki Doğal Zeolit Yatakları

Yurdumuzda çeşitli tür ve saflıkta doğal zeolit yataklarının varlığı, özellikle Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Enstitüsü tarafından yapılan çalışmalardan anlaşılmaktadır (Yörükoğulları, 1985; Ataman, 1977; Ataman ve Gündoğdu, 1980).

Bu çalışmalardan görüleceği gibi zeolit oluşum çalışmaları genel olarak İç ve Batı Anadolu’da yapılmıştır. Ankara civarında, değişen safsızlıklarda magnetik analsimli kayalarda rastlanmış, kayalarda bulunan safsızlıklarında kil minerali olduğu gözlenmiştir. Bu yörede az miktarda klinoptilolit, klinoptilolitle birlikte eriyonit, analsim ve analsimle karışık olarak az miktarda filipsite rastlanmıştır.

İç Batı Anadolu’da Bigadiç, Şaphane, Gediz ve Emet dolaylarında bol miktarda ve saf olarak klinoptilolit ve analsim bulunmuştur. Ca^{++} ve K^{+} esaslı olmaları yönünden höylandit mineralini andıran bu oluşumların, ısı kararlılıkları ve diğer özelliklerinin araştırılması sonucu bu yatakların klinoptilolit olduğu kesinlik kazanmıştır (Yörükoğulları, 1985; Ataman, 1977).

Ege Bölgesi’nde, İzmir-Urla karayolu ve Aydın yörelerinde de benzeri oluşumlara rastlanmıştır. Genel olarak, Ege Bölgesi’ndeki bu yatakların, kaba rezerv çalışmalarına göre 50 Milyon ton olduğu, gerçekte ise rezerv bu sayının çok üstündedir (Yörükoğulları, 1985; Ataman, 1977). Ayrıca, Ürgüp yakınlarında bol safsızlık içeren lifli şabazit, eriyonit ve mordenit bulunmuştur (Yörükoğulları, 1985; Berkün, 1981).

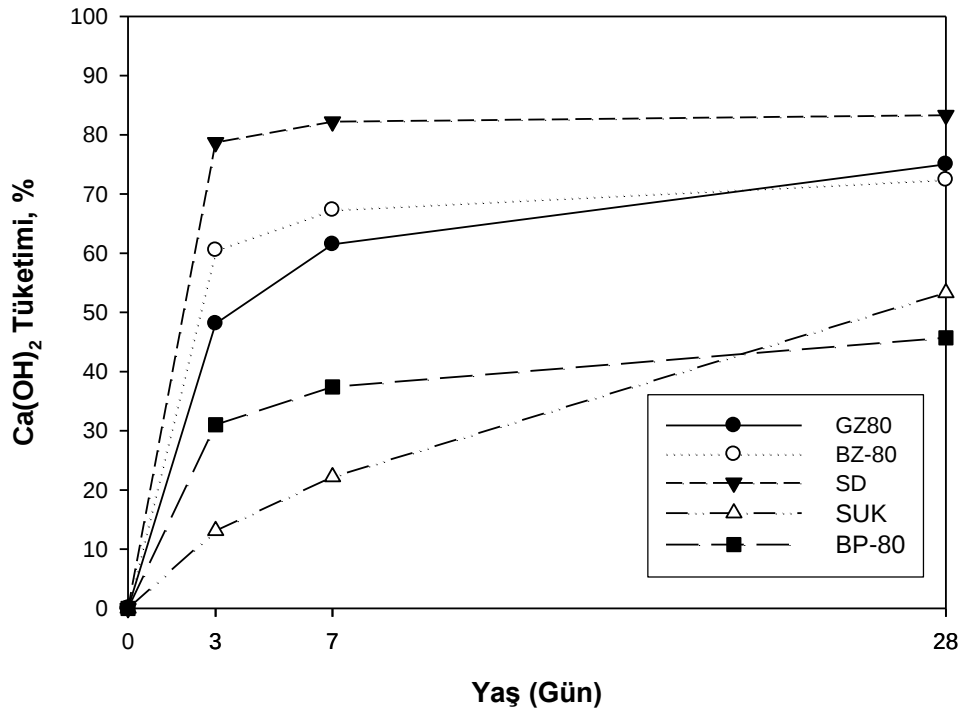
Analsim ve klinoptilolit dışındaki şabazit, eriyonit ve mordenit gibi kullanım potansiyelleri olan doğal zeolitlerin saf olmamaları ve rezervlerinin yeterli olmaması yapılan yayınlardan anlaşılmaktadır. Analsim kapalı yapılı ve kil minerallerine benzer bir zeolit türü olması kullanılma potansiyelini sınırlamaktadır. Bugün yalnızca İç Batı ve Batı Anadolu’daki klinoptilolit yataklarının ekonomik değer taşıdıkları söylenebilir (Yörükoğulları, 1985; Ataman, 1977; İleri, 1978).

2.11 Doğal Zeolitlerin Puzolanik Aktivitesi

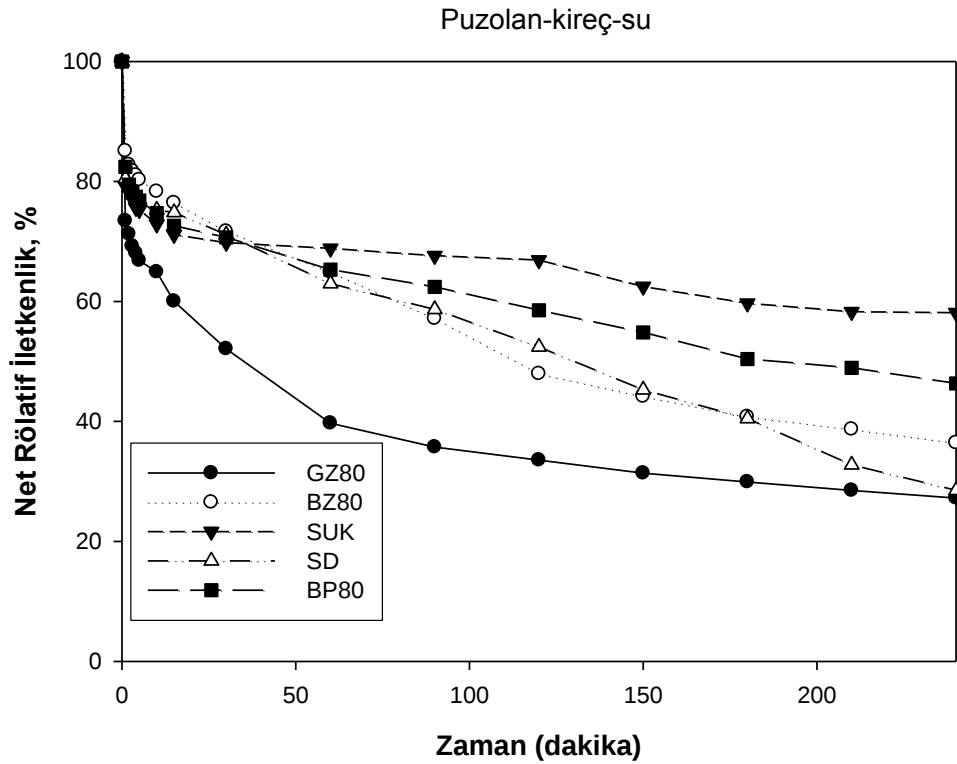
Sersale ve Frigione (1985) Portland çimentosunun farkı oranlarda zeolitik tüfle yer değiştirilmesiyle yapılan çimento harçlarının basınç dayanımlarını incelemiştir. Çalışmada % 50-% 80 oranında zeolit minerali içeren çeşitli İtalyan zeolitik tüfleri % 40 yer değiştirme oranına kadar kullanılmış ve zeolitik olmayan bir puzolanla karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda zeolitik tüflerle yapılan harçların zeolitik olmayanlara göre daha yüksek basınç dayanımına sahip olduğu gösterilmiştir. Zeolitik tüflerin zeolitik olmayan doğal puzolanlara göre daha aktif olmaları genel olarak zeolitlerin mikro-gözenekli yapısıyla ilişkilendirilmektedir.

Mikro-gözeneklilikten dolayı zeolitler muhtemelen difüzyon-kontrollü topokimyasal reaksiyon yoluyla ortamdaki kireçle etkin bir şekilde reaksiyona girerek bağlayıcı jeller oluşturduğu bilinmektedir (Drzaj vd., 1978).

Uzal vd. (2010) tarafından Türkiye'deki başlıca doğal zeolit rezervlerindeki malzemelerin puzolanik aktivitesinin değerlendirildiği çalışmalarda, Gördes ve Bigadiç zeolitik tüflerinin puzolanik aktiviteleri uçucu kül, silis dumanı ve zeolitik olmayan doğal puzolanlarla karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Kireç-puzolan hamurları üzerinde gerçekleştirilen TGA analizleri sonucunda, test edilen mineral katkı malzemeleri arasında çalışılan tüm yaşlar için, öğütülmüş Gördes ve Bigadiç zeolitlerinin silis dumanından sonra en fazla miktarda kireç tüketen mineral katkı malzemeleri olduğu tespit edilmiştir. 28 günlük değerler ele alındığında, silis dumanı ortamdaki Ca(OH)_2 'in yaklaşık %83'ünü tüketirken, bu değer Gördes ve zeolitleri için sırasıyla % 75 ve % 72, Sugözü uçucu külü ve zeolitik olmayan doğal puzolan için ise sırasıyla % 53 ve % 46 olduğu rapor edilmiştir (Şekil 2.5). Yine aynı çalışmada puzolanik aktivitenin elektriksel iletkenlik yoluyla değerlendirilmesi sonucunda Gördes zeoliti içeren puzolan-kireç-su sistemi diğer puzolanik malzemeler ile karşılaştırıldığında daha düşük net rölatif iletkenlik değeri göstermiştir (Şekil 2.6). 90 dakikadan sonraki ölçüm süreleri için Gördes zeoliti ile silis dumanı içeren sistemin net rölatif iletkenlik değerleri birbirine yaklaşmış ve 240 dakika için benzer bir değer göstermiştir. Dolayısıyla elektriksel iletkenlik yönteminin TGA analiz sonuçlarıyla uyduğu ve doğal zeolitlerin önemli ölçüde puzolanik aktiviteye sahip olduğu gösterilmiştir.



Şekil 2.5. Puzolanik malzemelerin Ca(OH)_2 tüketimleri



Şekil 2.6. Kireç-puzolan-su sistemlerinin net rölatif iletkenlik-zaman grafikleri

2.12 Doğal Zeolit Katkılı Portland Çimentolarının Özellikleri

2.12.1 Normal kıvam ve priz süreleri

Farklı oranlarda, öğütülmüş Gördes ve Bigadiç zeoliti içeren katkılı çimentoların normal kıvam için gerekli su miktarları ve priz süreleri, ilgili ASTM standardına göre tespit edilmiş ve sonuçlar Çizelge 2.8’de verilmiştir (Uzal vd., 2007).

Çizelge 2.8. Çimentoların normal kıvam ve su/bağlayıcı oranları (Uzal vd., 2007)

Çimento	Normal Kıvam için Gerekli su/bağlayıcı oranı	İlk Priz Süresi, dakika	Son Priz Süresi, dakika
PÇ	0,27	218	245
KÇ-GZ15	0,31	135	185
KÇ-GZ35	0,37	120	180
KÇ-GZ55	0,43	112	185
KÇ-BZ15	0,29	109	150
KÇ-BZ35	0,34	57	154
KÇ-BZ55	0,38	54	164

Çizelge 2.8’de sunulan verilere göre aşağıdaki değerlendirmeler yapılmıştır (Uzal vd., 2007);

- Doğal zeolit içeren katkılı çimentoların normal kıvam için gerekli su/bağlayıcı oranına bağlı olarak su ihtiyaçları, portland çimentosuna göre içeriklerindeki doğal zeolit miktarıyla lineer olarak artmaktadır.
- Bigadiç zeolitli katkılı çimentoların normal kıvam suyu ihtiyacının, eşit doğal zeolit içerikleri için, aynı oranlardaki Gördes zeolitli çimentolara kıyasla daha düşük olduğu belirlenmiştir.
- Her iki doğal zeolit için, katkılı çimentolardaki doğal zeolit miktarı arttıkça ilk priz süresinin kısaldığı gözlenmiştir. Bu durum yüksek yüzey alanına sahip doğal puzolan içeren katkılı çimentolarda, çimento pastasının hızlı kuruyarak

şekil verilebilirliğini yitirmesinden dolayı (yani portland çimentosunun hidratasyon reaksiyonlarından kaynaklanmayan) ortaya çıkan bir sonuç olarak tespit edilmiştir (Uzal ve Turanlı, 2003, Turanlı vd., 2005). Bu hızlı kuruma durumu tablodan da anlaşılacağı üzere doğal zeolit miktarı arttıkça etkisini artırmakta ve ölçülen ilk priz süresini düşürmektedir.

- Doğal zeolit katkılı çimentoların son priz süreleri ise zeolit oranına ve zeolit türüne göre değişik şekilde davranış göstermiştir. Gördes zeoliti içeren çimentolardaki son priz süresi doğal zeolit miktarındaki artışlara kıyasla çok fazla değişim göstermemişken, Bigadiç zeoliti içeren çimentolar da ise zeolit oranındaki artışla son priz süresi bir miktar uzamıştır.
- Katkılı çimentoların tümünün priz başlangıç ve bitiş sürelerinin kontrol amacıyla kullanılan portland çimentosundan daha kısa olduğu gözlenmiştir. Çalışmada değerlendirilen tüm doğal zeolit katkılı çimentolar ASTM C 595 VE ASTM C 1157’de katkılı çimentolar için verilen priz süresi limitleri dahilinde olduğu gözlenmiştir.

2.12.2 Doğal zeolit katkılı portland çimentosu hamurlarındaki Ca(OH)_2 miktarları

Çimento hamurlarının 3, 7 ve 28. günlerde tespit edilen Ca(OH)_2 içerikleri ve bunların çimentodaki portland çimentosu oranına normalize edilmiş durumdaki değerleri Çizelge 2.9’da verilmiştir.

Portland çimentosu belirli miktarda mineral katkı malzemesi ile yer değiştirildiğinde, bir yandan bağlayıcı sistemdeki portland çimentosu miktarı azaldığı için Ca(OH)_2 üretimi azalmakta, diğer yandan da puzolanik reaksiyon ile Ca(OH)_2 tüketimi oluşmakta, mineral katkı malzemesinin miktarı arttıkça bu her iki etki de artmaktadır. Dolayısıyla çimento pastalarında mineral katkı ikamesiyle oluşan puzolanik reaksiyonu, daha kolay belirleyebilmek amacıyla, Ca(OH)_2 miktarı bağlayıcı sistemdeki Portland çimentosu oranına (yani Ca(OH)_2 üreten kısma) normalize edilmiştir (çimentodaki PÇ oranı %65 ise, Ca(OH)_2 miktarı 0,65’e bölünmüştür).

Çizelge 2.9. Çimento hamurlarının Ca(OH)_2 içerikleri (kızdırılmış numune ağırlığı bazında) (Uzal vd., 2007)

Çimento	% Ca(OH)_2			% Ca(OH)_2 (Portland çimentosu miktarına göre normalize edilmiş)		
	3 gün	7 gün	28 gün	3 gün	7 gün	28 gün
PC	18,1	18,9	21,6	18,1	18,9	21,6
KÇ-GZ15	13,0	15,7	16,0	15,3	18,5	18,8
KÇ-GZ35	4,6	9,7	8,9	7,1	14,9	13,7
KÇ-GZ55	4,2	5,3	0,8	9,3	11,8	1,7
KÇ-BZ15	15,6	16,2	17,4	18,4	19,1	20,5
KÇ-BZ35	12,0	12,1	9,1	18,5	18,6	14,0
KÇ-BZ55	6,9	7,1	2,8	15,3	15,8	6,2

Çizelge 2.9’de görüldüğü gibi, zeolit katkılı çimento hamurlarının test edilen tüm yaşlarda portland çimentosundan daha düşük miktarda Ca(OH)_2 içerdikleri açıkça görülmüştür. Bu durum hem bağlayıcıdaki portland çimentosu miktarının azalmasına bağlı olarak hidrasyon sonucunda oluşan Ca(OH)_2 üretiminin azalmasından, hem de puzolanik reaksiyon tarafından belirli miktarda Ca(OH)_2 ’nin tüketilmesinden kaynaklanmaktadır. Katkılı çimentodaki doğal zeolit miktarı arttıkça çimento hamurundaki Ca(OH)_2 miktarı azalmaktadır. Gördes zeoliti içeren katkılı çimento hamurlarının, aynı miktarda Bigadiç zeoliti içeren çimento hamurlarına kıyasla, daha düşük Ca(OH)_2 içeriğine sahip oldukları görülmektedir. Yani Gördes zeolitinin daha yüksek Ca(OH)_2 tüketme kapasitesine sahip olduğu açıktır (Uzal vd., 2007).

Doğal zeolitlerin katkılı çimento içerisinde, portland çimentosu hidrasyonu sonucunda ortaya çıkan Ca(OH)_2 ’i tüketerek gösterdikleri puzolanik aktiviteyi değerlendirmek için, çimento hamurlarındaki Ca(OH)_2 miktarı yerine, bu miktarın çimentonun Ca(OH)_2 üreten kısmı olan portland çimentosuna oranını (PÇ oranına göre normalize edilmiş halini) kullanmak daha doğru olacaktır. Çizelge 2.9’da gösterilen normalize edilmiş değerler incelendiğinde, Ca(OH)_2 üretim ve tüketim durumu daha kolay değerlendirilebilmektedir. Katkılı çimentolarda, puzolanik reaksiyonun Ca(OH)_2 tüketici etkisi burada da açıkça görülmektedir. Gördes zeolitinin Ca(OH)_2 tüketici etkisi normalize edilmiş değerlerde 3. günden itibaren görülmeye başlanmıştır. Ancak Bigadiç

zeolitinin %15 oranı için 3. ve 7. güne kadar, %35 oranı için ise 3. güne kadar Ca(OH)_2 tüketimine başlamadığı, aksine Ca(OH)_2 miktarında az bir miktar artış olduğu görülmektedir. Bu küçük artış, bağlayıcı sistemdeki ince öğütülmüş malzemenin, portland çimentosu fazının hidratasyon reaksiyonlarını çekirdeklenme etkisi (Lawrence vd., 2003, Rahhal ve Talero, 2005) ile artırmasından kaynaklanabilir. Muhtemelen aynı etki belirli bir ölçüde Gördes zeoliti içinde gerçekleşiyor olabilir, ancak Gördes zeolitinin göreceli olarak yüksek puzolanik aktivitesi sonucunda erken yaşlarda meydana gelen Ca(OH)_2 tüketimi bu etkinin görülmesini engelliyor olabilir.

Çeşitli oranlarda Gördes zeoliti içeren katkılı çimento hamurlarının Ca(OH)_2 içeriklerinin, çoğunlukla camsı faz içeren doğal puzolan ile daha önce gerçekleştirilen ve eşit oranlarda puzolan içeren örneklerden oluşan bir çalışmada elde edilen sonuçlarla (Turanlı vd., 2005) karşılaştırıldığında, çok daha düşük olduğu, yani zeolitik puzolanların çok daha aktif olduğu anlaşılmaktadır (Uzal vd., 2007).

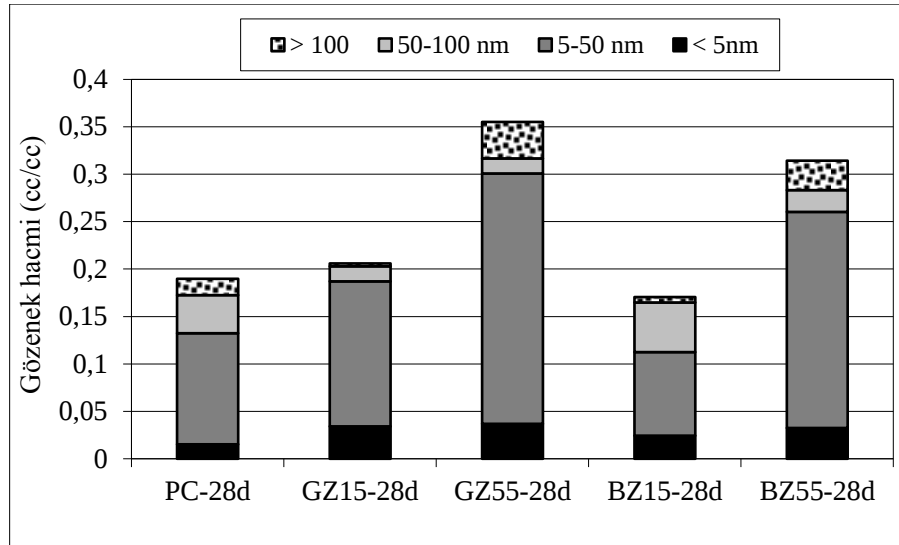
Sonuç olarak;

- Gördes zeoliti içeren katkılı çimentoların, belirli bir yaş ve zeolit içeriği için, Bigadiç zeoliti içeren çimento hamurlarına kıyasla daha düşük Ca(OH)_2 içerdikleri,
- %15 ve %35 oranları için katkılı çimentolardaki Bigadiç zeolitinin, Gördes zeolitine kıyasla daha geç yaşlarda puzolanik aktiviteye başladığı,

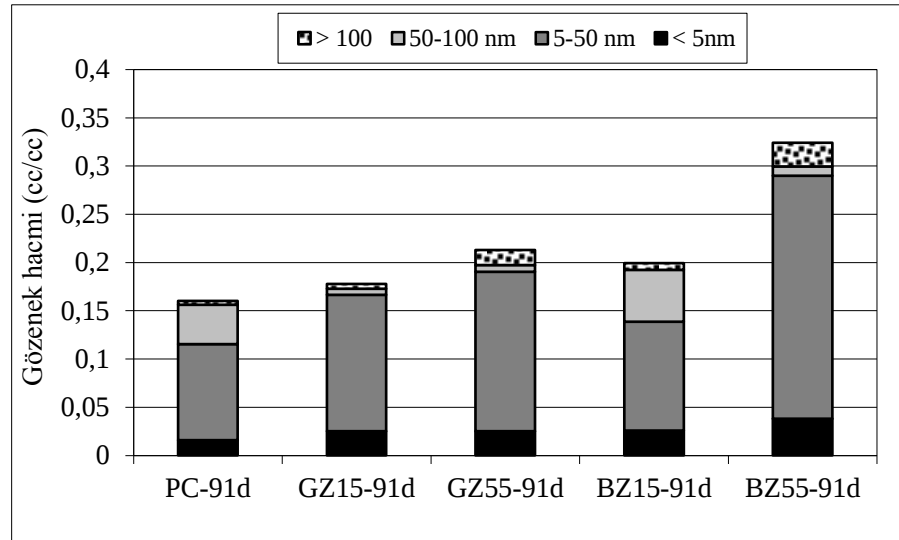
Doğal zeolitlerin bu yüksek Ca(OH)_2 tüketim kabiliyetleri (puzolanik aktiviteleri), doğal zeolit içeren çimento sistemlerinin sadece dayanım özelliklerinin iyi olmasına değil, aynı zamanda Ca(OH)_2 odaklı dayanıklılık özelliklerinin de (sülfat hücumu vb.) portland çimentosuna göre daha iyi olacağı açıktır.

2.12.3 Doğal zeolit katkılı sertleşmiş portland çimentosu hamurlarının gözenek boyut dağılımları

% 15 ve % 55 oranında doğal zeolit içeren katkılı çimento ve kontrol çimentosu hamurlarının cıva porozometresi ile 28 günlük ve 91 günlük yaşlar için tespit edilen gözenek boyut dağılımları Şekil 2.7’de gösterilmiştir.



a) 28 günlük



b) 91 günlük

Şekil 2.7. Çimento hamurlarının gözenek boyut dağılımları (Uzal vd., 2007)

Gözenek boyut dağılımı ile ilgili veriler değerlendirilmeden önce, sertleşmiş çimento hamurlarında geçirgenlik ve basınç dayanımı gibi özelliklerin çimento hamurunun toplam gözenekliliğiyle değil, gözenek boyut dağılımıyla ilgili olduğu gerçeği unutulmamalıdır.

Şekil 2.7a'da görüldüğü gibi 28 günlük yaş için % 15 zeolit ikamesi kontrol çimentosuna kıyasla 50 nm'den daha büyük kapiler gözeneklerin azalmasını ve 50 nm'de küçük jel gözeneklerinin artmasını sağlamıştır. Bu sonucun hem puzolanik aktiviteyle hem de dolgu etkisiyle ilgili olduğu düşünülmektedir ve geçirgenliğin

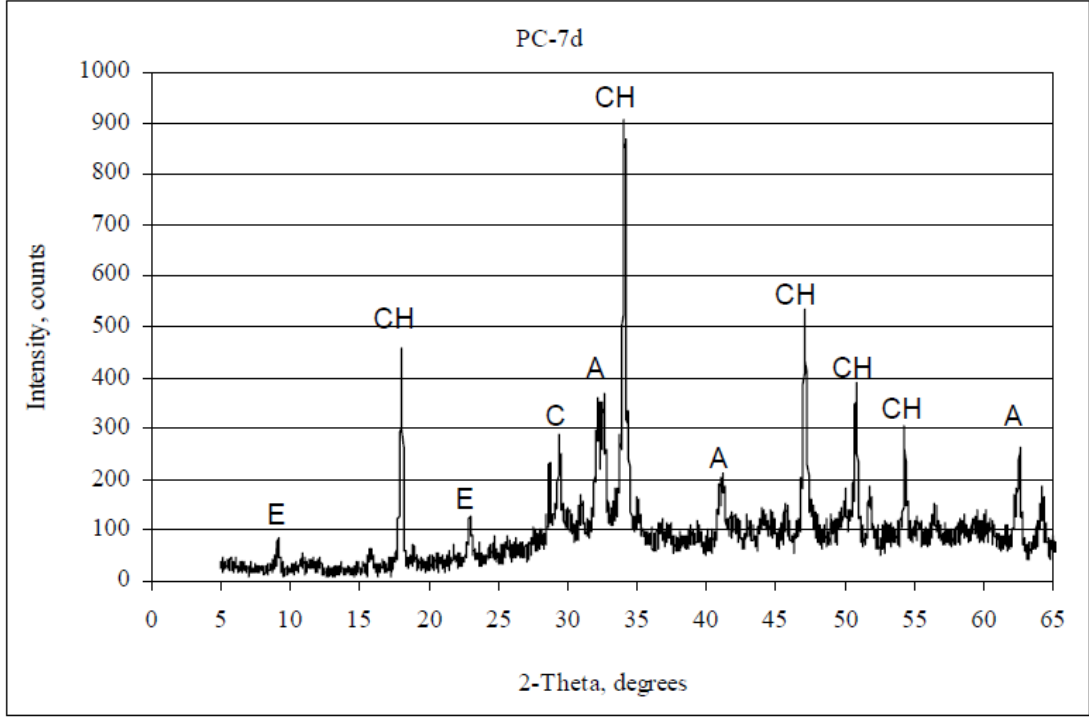
azalmasını, basınç dayanımının ise artmasını sağlayacağı açıktır. % 55 ikame oranında ise, her ne kadar toplam gözeneklilik kontrol çimento hamurundan fazla olsa da bu gözenekliliğin küçük gözeneklerden kaynaklandığı ve bu yüzden geçirgenliği ve basınç dayanımını olumsuz yönde etkilemeyeceği anlaşılmaktadır (Uzal vd., 2007).

Şekil 2.7b'de gösterilen 91 günlük verilerden, GZ15, BZ15 ve BZ55 çimento hamurlarının gözenek boyut dağılımlarında 28 günlük dağılımlara kıyasla önemli ölçüde bir değişiklik görülmezken GZ55 hamurunun toplam gözenekliliğinde, özellikle 5-50 nm gözeneklerin miktarının azalmasından kaynaklanan bir düşüş görülmektedir ve bu durumun Gördes zeolitinin pozolanik aktivitesinin uzun sürelerde de devam eden bir sonucu olabileceği düşünülmektedir (Uzal vd., 2007).

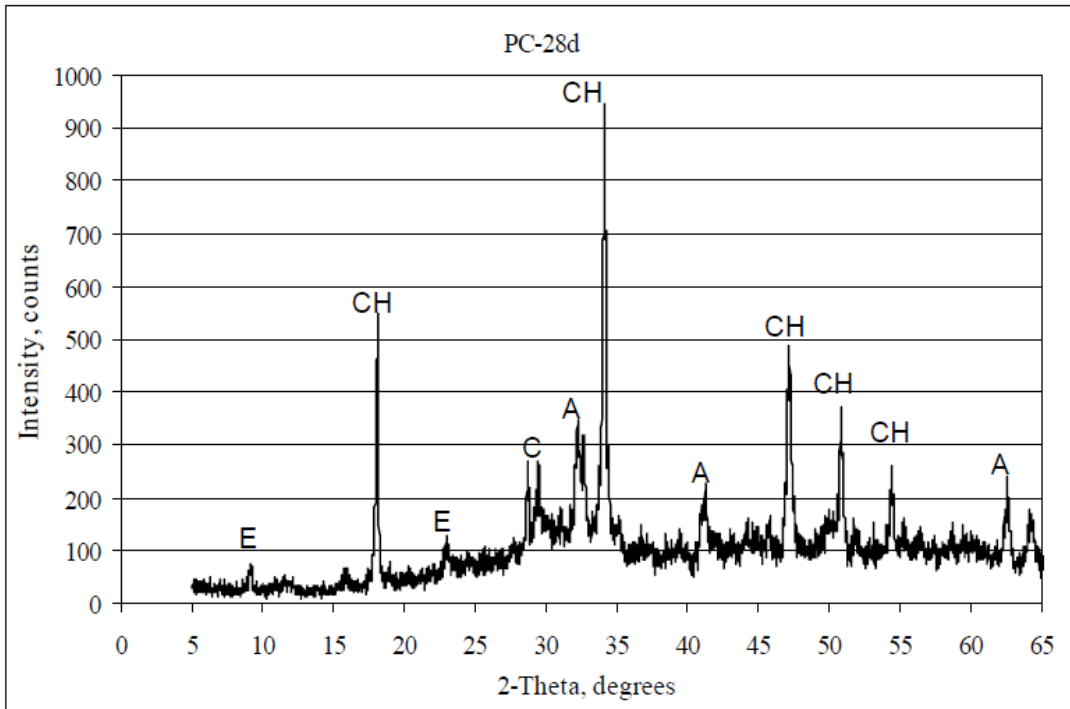
Sonuç olarak, gözenek boyut dağılımı verilerinden de anlaşılabileceği üzere, öğütülmüş Gördes ve Bigadiç zeoliti içeren katkılı çimento hamurlarının, portland çimentosuna kıyasla gözenek boyut dağılımının küçülmesini sağlayarak, çimento hamurlarının geçirimsizlik ve mekanik özelliklerini olumlu yönde etkileyeceği anlaşılmıştır (Uzal vd., 2007).

2.12.4 Doğal zeolit katkılı sertleşmiş portland çimentosu hamurlarının XRD desenleri

% 15 ve % 55 oranında doğal zeolit içeren katkılı çimento ve kontrol çimentosu hamurlarının 7. ve 28. günlerde elde edilen XRD desenleri tanımlanmış kristal fazlarla birlikte Şekil 2.8-Şekil 2.12'de gösterilmiştir. XRD incelemeleri zeolit içeren çimento hamurlarında $\text{Ca}(\text{OH})_2$ tüketimlerini doğrulamış ve zeolit (klinoptilolit) kristal yapısının çimento hamurlarında bozunduğunu (küçülen ve/veya kaybolan klinoptilolit pikleri) göstermektedir. Ayrıca tetra kalsiyum alüminat hidrat (C_4AH_{13}) doğal zeolitlerin pozolanik reaksiyonu sonucunda oluşan bir ürün olarak XRD desenlerinde gözlenmiştir (Uzal vd., 2007).

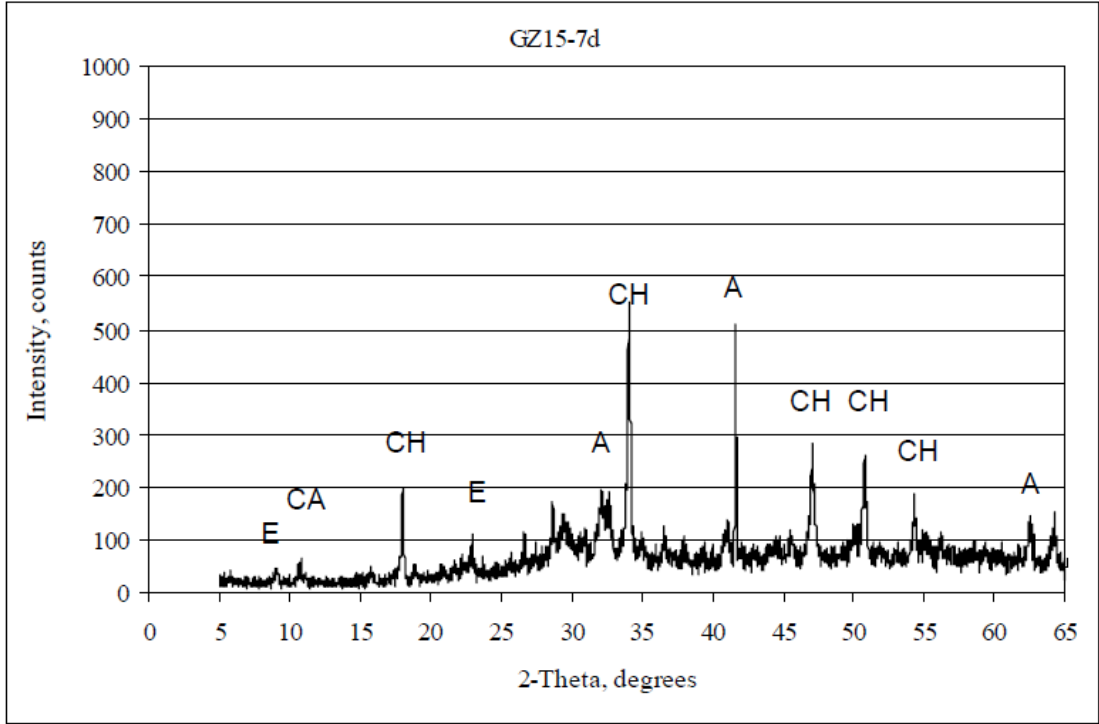


a) 7 Günlük

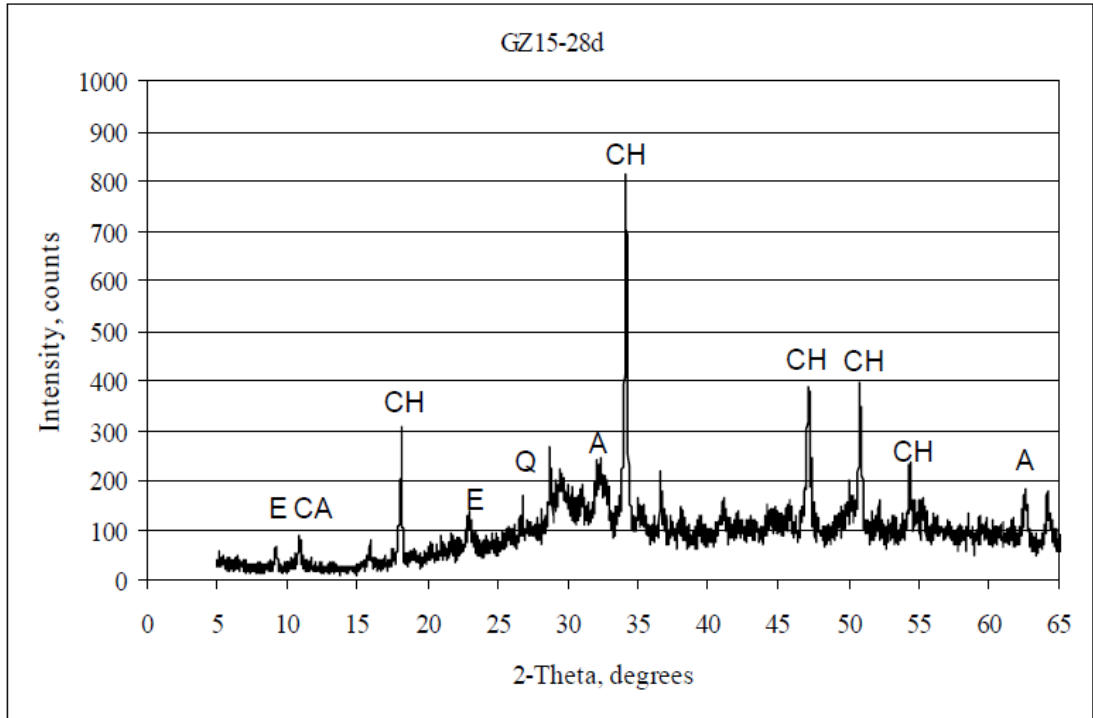


b) 28 Günlük

Şekil 2.8. PÇ hamurunun XRD desenleri (Uzal vd., 2007)
(A: alit, C: kalsit, CH: kalsium hidroksit, E: etrenjit)



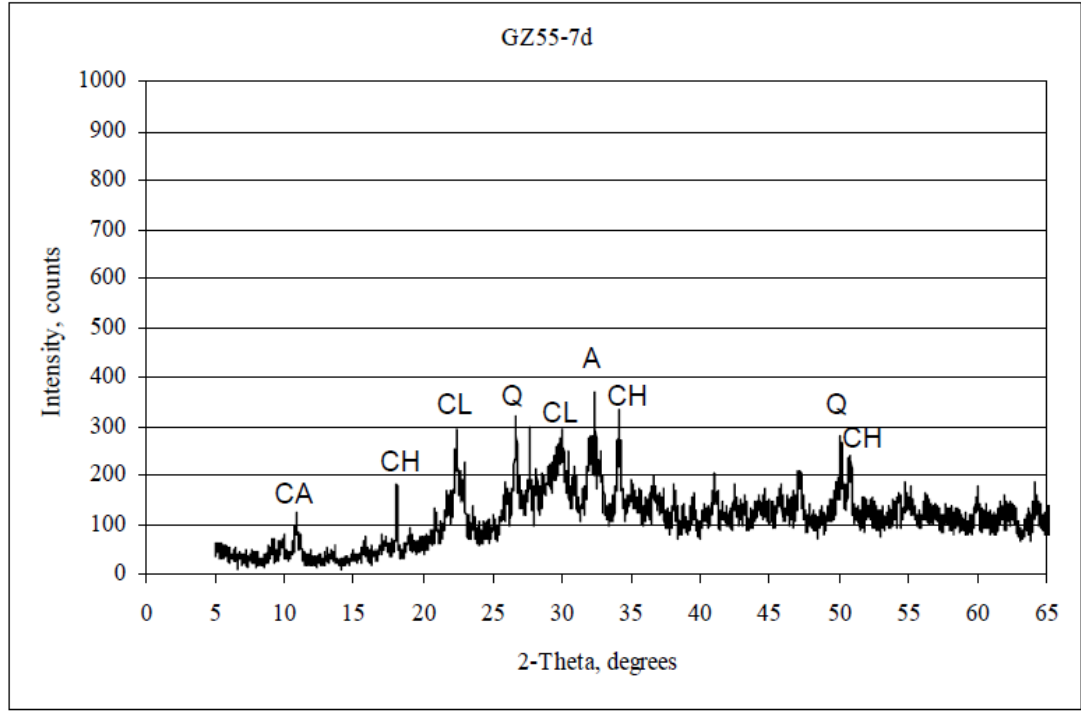
a) 7 Günlük



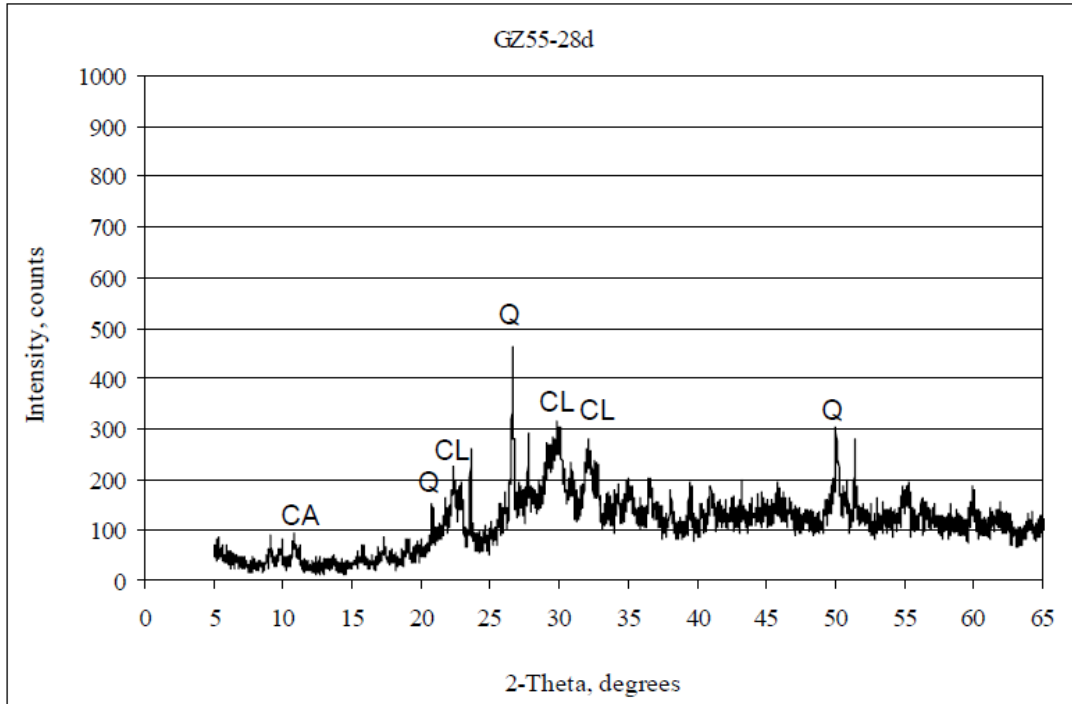
b) 28- Günlük

Şekil 2.9. GZ15 hamurunun XRD desenleri (Uzal vd., 2007)

(A: alit, C: kalsit, CA: kalsiyum aluminat hidrat (C_4AH_{13}), CH: kalsiyum hidroksit, E: etrenjit, Q: kuvars)

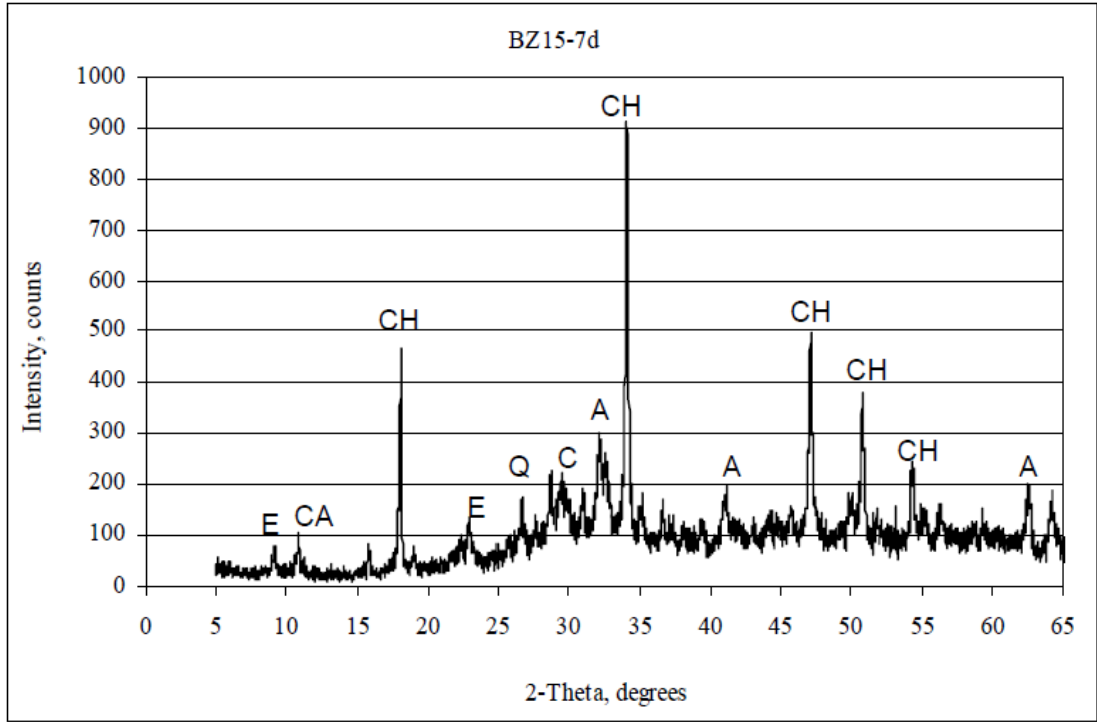


a) 7- Günlük

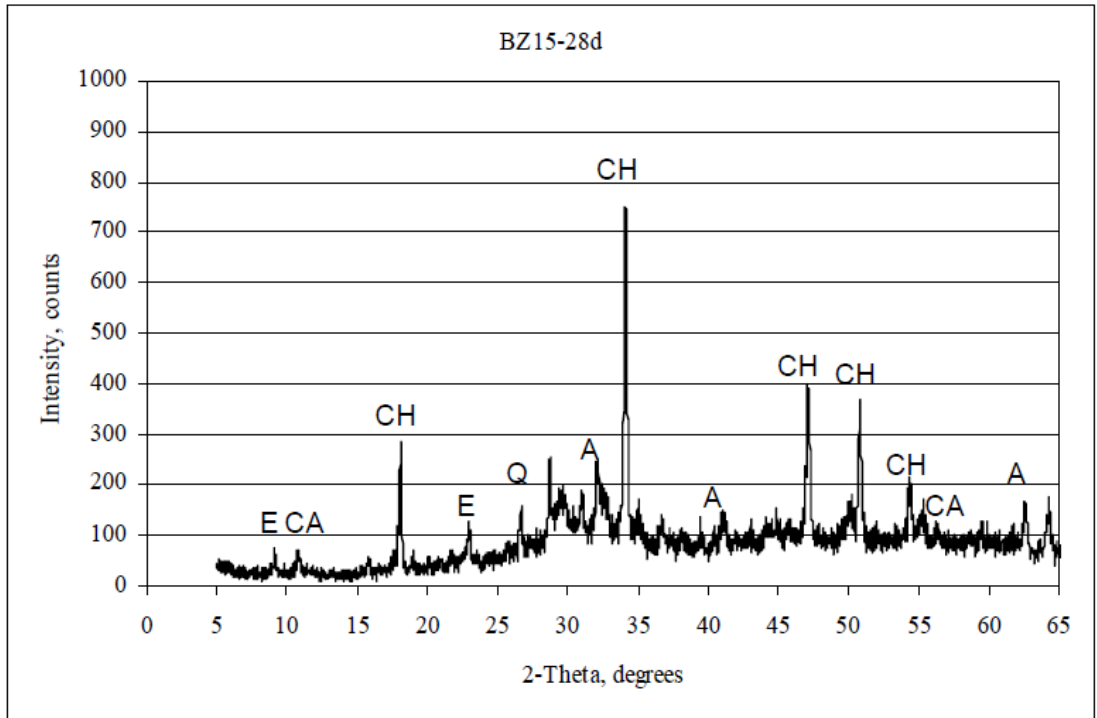


b) 28-Günlük

Şekil 2.10. GZ55 hamurunun XRD desenleri (Uzal vd., 2007)
 (A: alit, CA: kalsiyum aluminat hidrat (C_4AH_{13}), CH: kalsiyum hidroksit,
 CL: klinoptilolit, Q: kuvars)

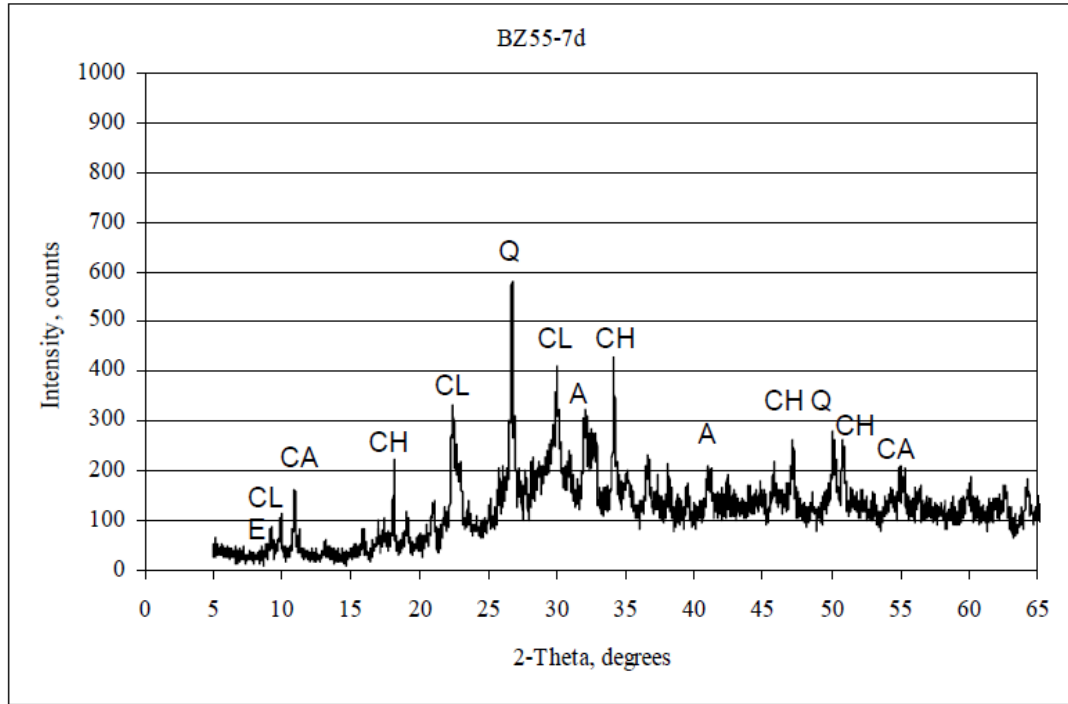


a) 7-Günlük

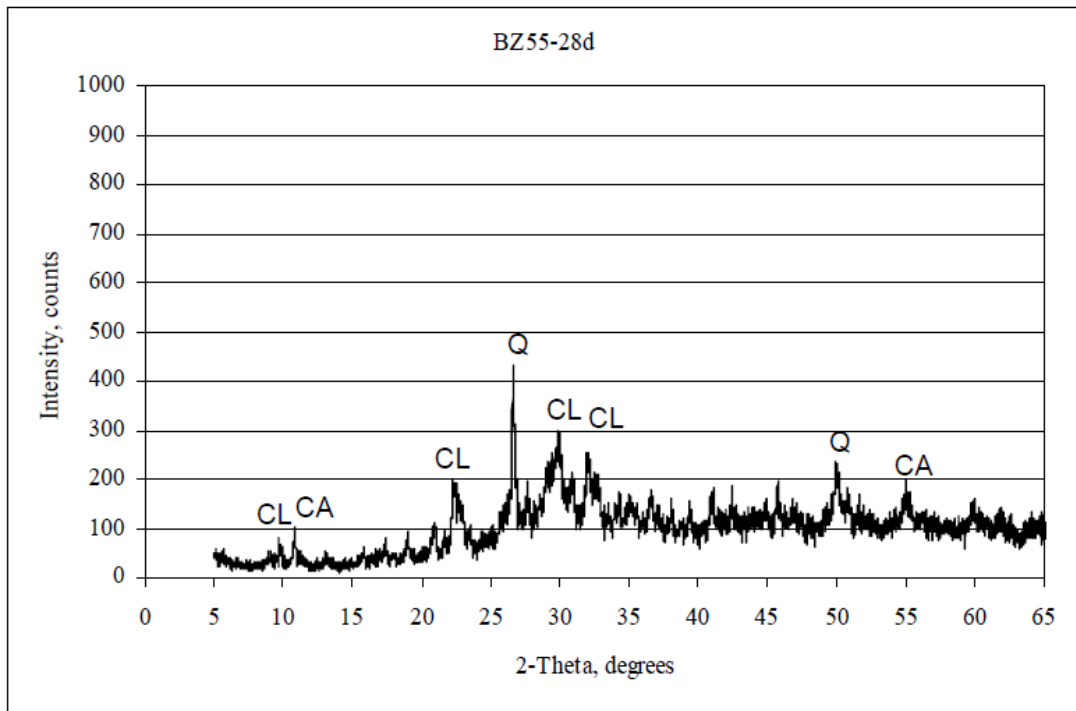


b) 28-Günlük

Şekil 2.11. BZ15 hamurunun XRD desenleri (Uzal vd., 2007)
(A: alit, CA: kalsiyum aluminat hidrat (C_4AH_{13}), CH: kalsiyum hidroksit,
E: etrenjit, Q: kuvars)



a) 7-Günlük



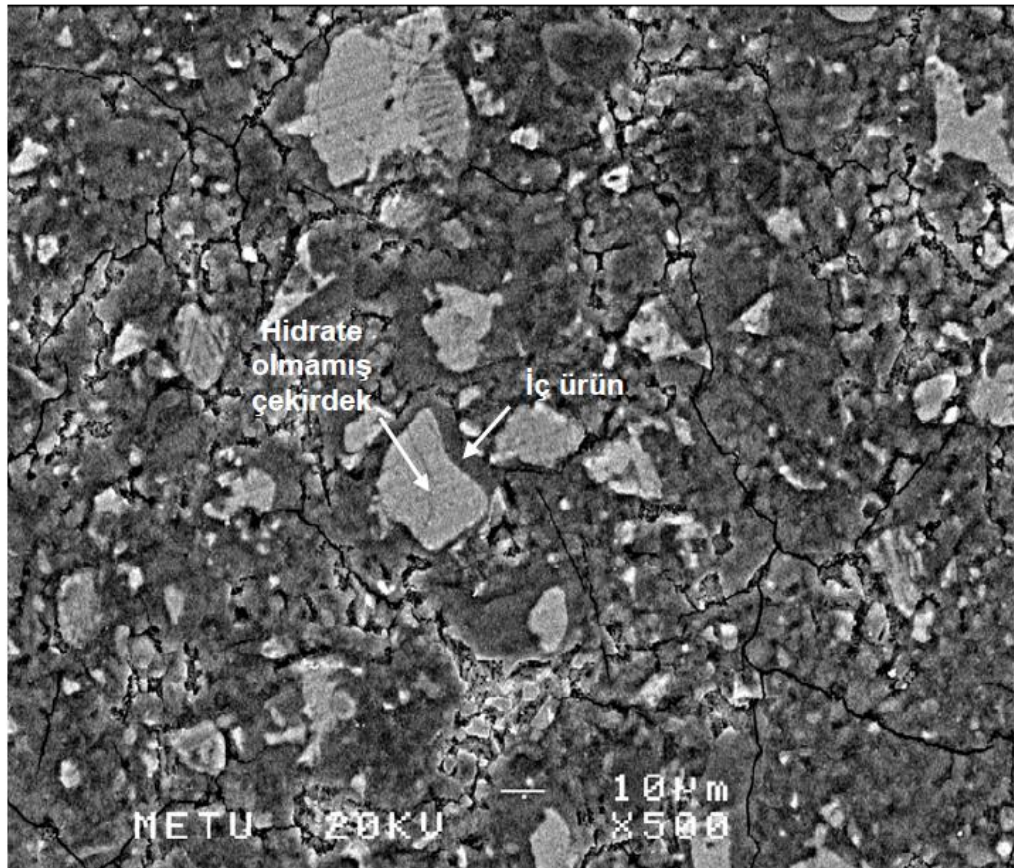
b) 28-Günlük

Şekil 2.12. BZ55 hamurunun XRD desenleri (Uzal vd., 2007)
(A: alit, CA: kalsiyum aluminat hidrat (C_4AH_{13}), CH: kalsiyum hidroksit, CL: klinoptilolit, E: etrenjit, Q: kuvars)

2.12.5 Doğal zeolit katkıli sertleşmiş portland çimentosu hamurlarının mikro yapısı

% 15 ve % 55 oranında doğal zeolit içeren katkıli çimento ve kontrol çimentosu hamurlarının mikro yapıları 28 günlük yaşları için Backscatter mode elektron mikroskobu ile incelenmiştir.

Kontrol numunesinin mikro yapısı Şekil 2.13’de görülmektedir. Literatür bilgilerine dayalı olarak, Şekil 2.13’de görülen açık renkli taneciklerin hidrate olmamış veya kısmi olarak hidrate olmuş portland çimentosu tanecikleri olduğu anlaşılmaktadır. Taneciğin etrafında ise daha koyu bir renkte görünen ve iç ürün (inner product) olarak adlandırılan, taneciğin yüzeyinde meydana gelen hidratasyon sonucu oluşmuş ürünlerin yer aldığı kısım görülmektedir (Uzal vd., 2007).

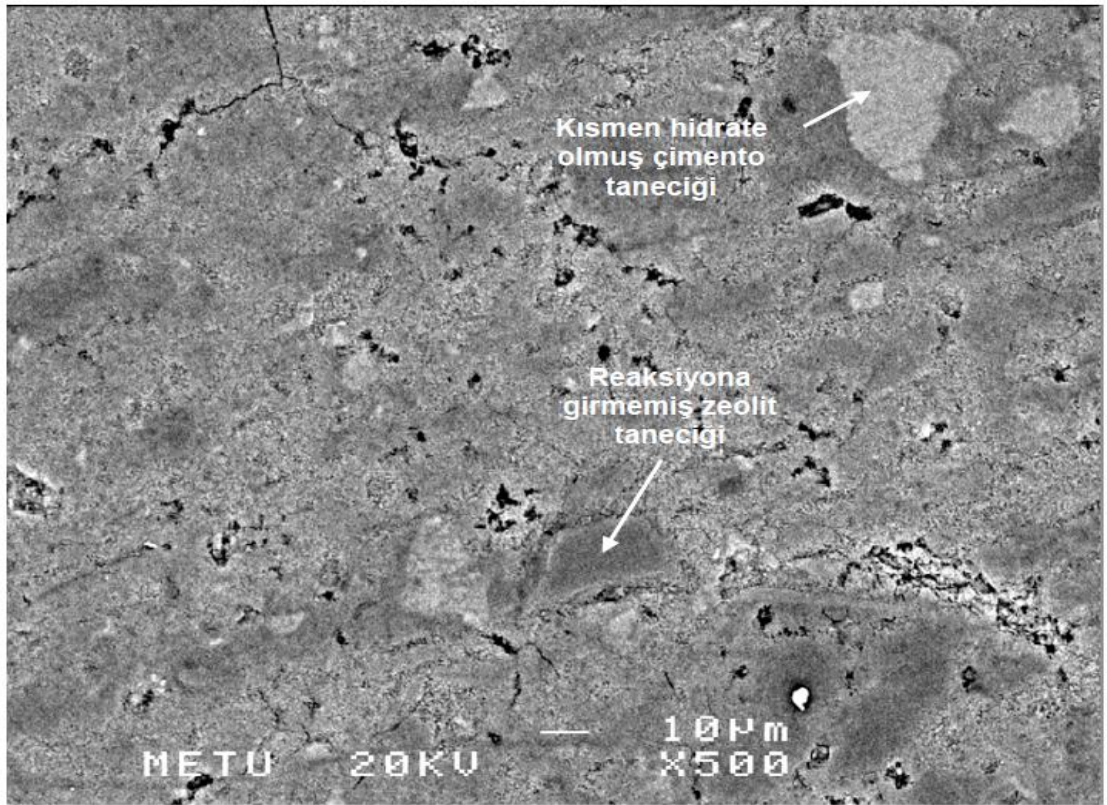


Şekil 2.13. PÇ hamurunun BS-SEM fotoğrafı (28 günlük) (Uzal vd., 2007)

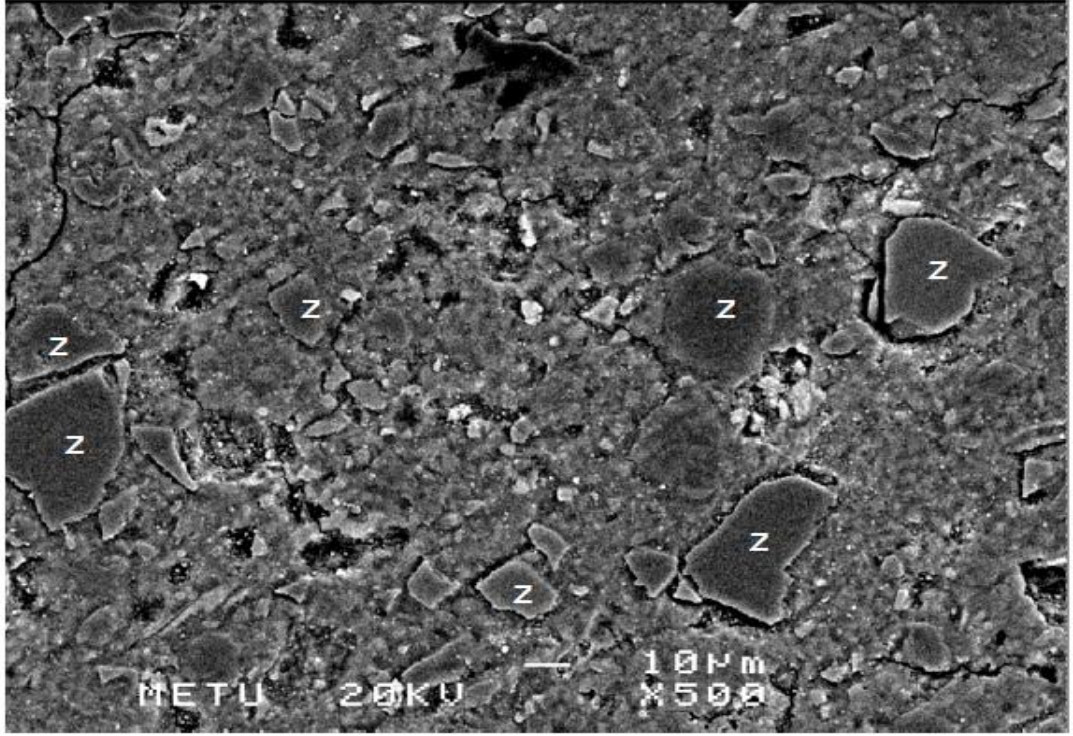
GZ15 çimento hamurundan x500 büyütmede alınan BS-SEM fotoğrafı Şekil 2.14’de gösterilmiştir. Öncelikle GZ15 hamurunun Şekil 2.13’de görülen PÇ hamuruna kıyasla

daha yoğun ve az boşluklu bir yapıya sahip olduğu açıkça görülmektedir. Yine burada hidrate olmamış PÇ taneciklerine ek olarak, koyu renkte görülen taneciklerin ise muhtemelen reaksiyona girmemiş zeolit tanecikleri olduğu düşünülmektedir.

% 55 Gördes zeoliti içeren katkılı çimento (GZ55) hamurundan x500 büyütmede alınan ve Şekil 2.15’de gösterilen BS-SEM fotoğrafında gözlenen mikro yapının, PÇ ve GZ15 hamurlarında gözlenen mikro yapıdan oldukça farklı olduğu görülmektedir. Düşünüldüğü gibi koyu renkte görülen reaksiyona girmemiş zeolit taneciklerinin sayısı daha bol ve genel mikro yapı GZ15 hamuruna kıyasla daha boşlukludur (Uzal vd., 2007).

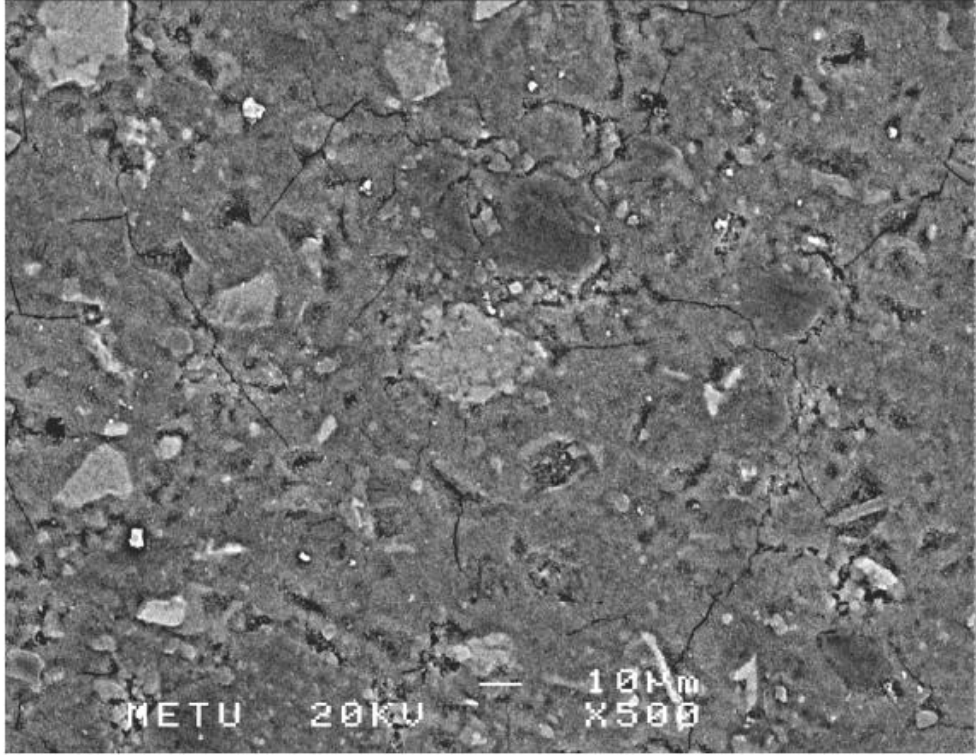


Şekil 2.14. GZ15 çimento hamurunun BS-SEM fotoğrafı (Uzal vd., 2007)

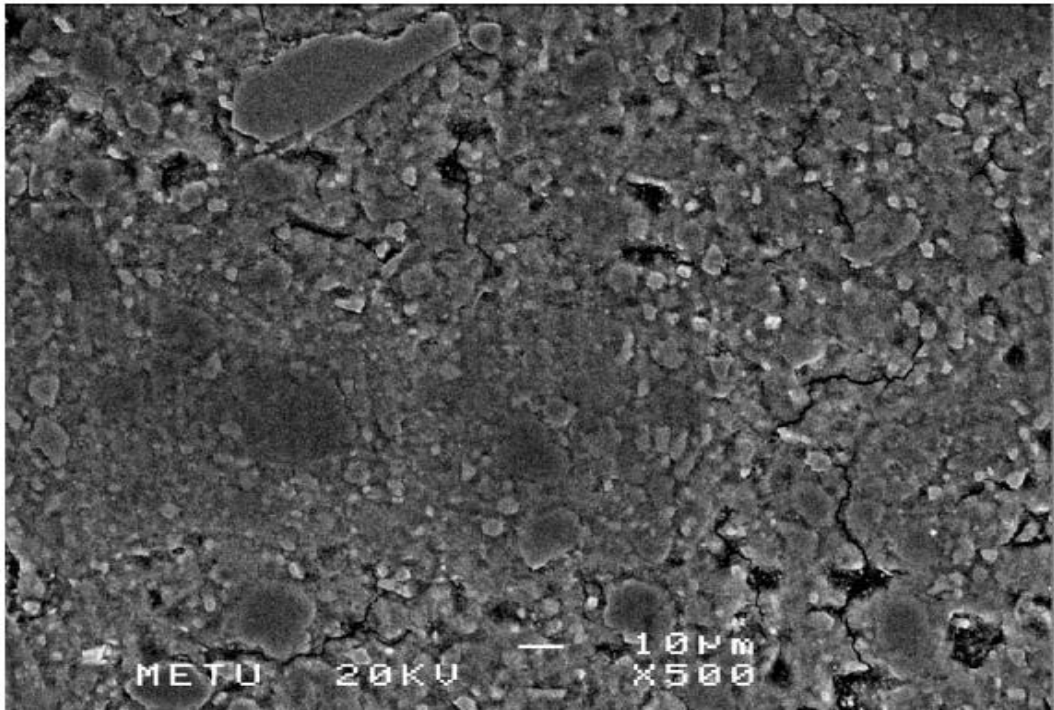


Şekil 2.15. GZ55 hamurunun BS-SEM fotoğrafı (Z: reaksiyona girmemiş zeolit tanecikleri) (Uzal vd., 2007)

% 15 ve % 55 Gördes zeoliti içeren çimento hamurlarının mikro yapılarında görülen genel özellikler, Bigadiç zeoliti içeren çimento hamurlarında da benzer şekilde gözlenmektedir (Şekil 2.8 ve Şekil 2.10).



Şekil 2.16. BZ15 çimento hamurunun BS-SEM fotoğrafı (Uzal vd., 2007)



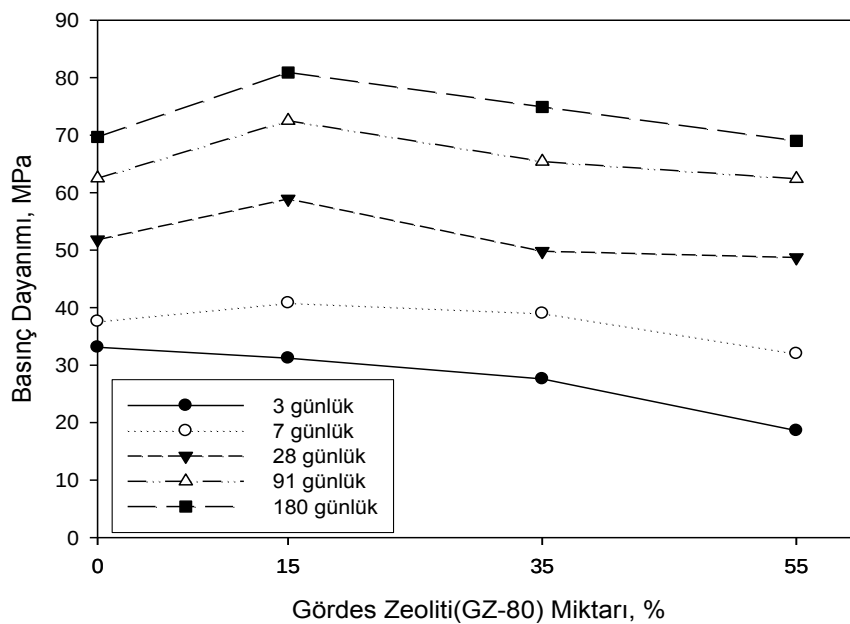
Şekil 2.17. BZ55 çimento hamurunun BS-SEM fotoğrafı (Uzal vd., 2007)

2.12.6 Doğal zeolit katkılı portland çimentosu harçlarının basınç dayanımları

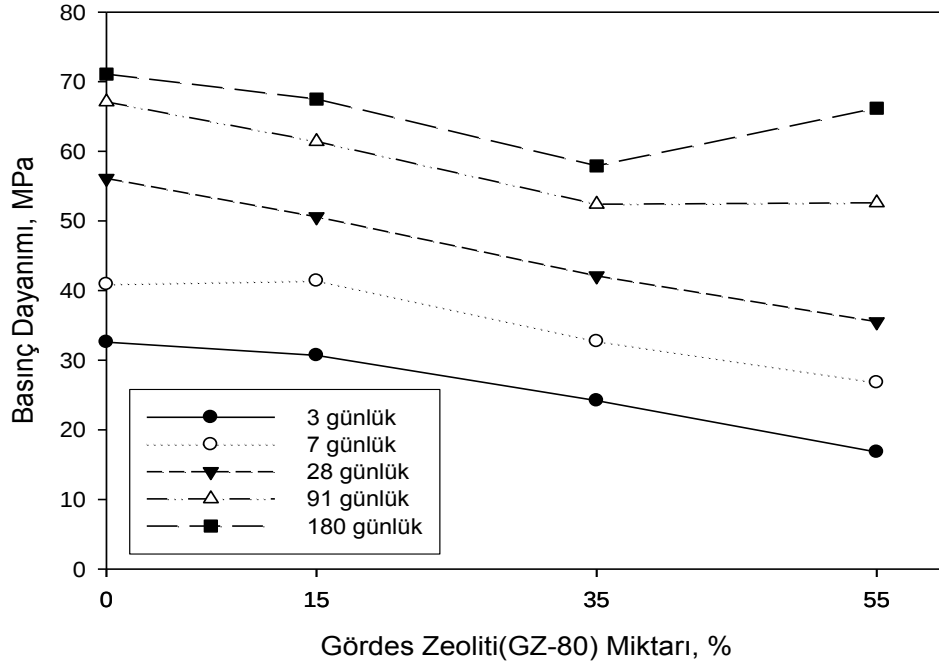
Çimento hamuru, harç veya beton numunelerinin test yaşlarına kadar kirece doymun suda saklanması, yaygın olarak kullanılan ve sertleşmiş numunelerden dışarı kalsiyum hidroksit çıkışıını engellemeyi amaçlayan bir metottur. Ancak, özellikle puzolanik reaksiyonun gerçekleştiği, mineral katkılı çimento/beton sistemlerini kirece doymun su içerisinde kür yapılması durumunda, puzolanik reaksiyonu etkiyecek ölçüde dışarıdan numune içerisine kalsiyum hidroksit difüzyonunun olup olmayacağı tartışma konusudur.

Daha az miktarda kullanım dozajı gerektiren melamin içerikli süper akışkanlaştırıcının, naftalin içerikli akışkanlaştırıcıya kıyasla basınç dayanımı değerlerinde de daha iyi sonuç verdiği bilinmektedir. Bu yüzden basınç dayanımı değerlendirmeleri melamin içerikli akışkanlaştırıcı kullanıldığında elde edilen değerler esas alınarak gerçekleştirilmiştir (Uzal vd., 2007).

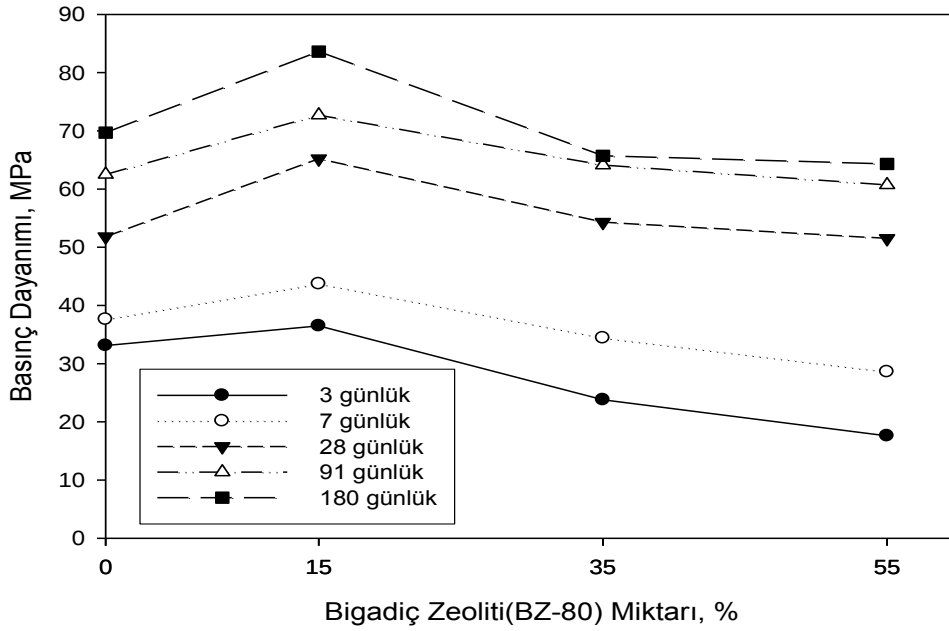
Melamin içerikli akışkanlaştırıcı ile hazırlanan iki farklı kür koşulunda saklanan portland çimentosuyla farklı oranlarda ikame edilen Gördes ve Bigadiç zeolitli harçların basınç dayanımları Şekil 2.18-2.21’de gösterilmiştir.



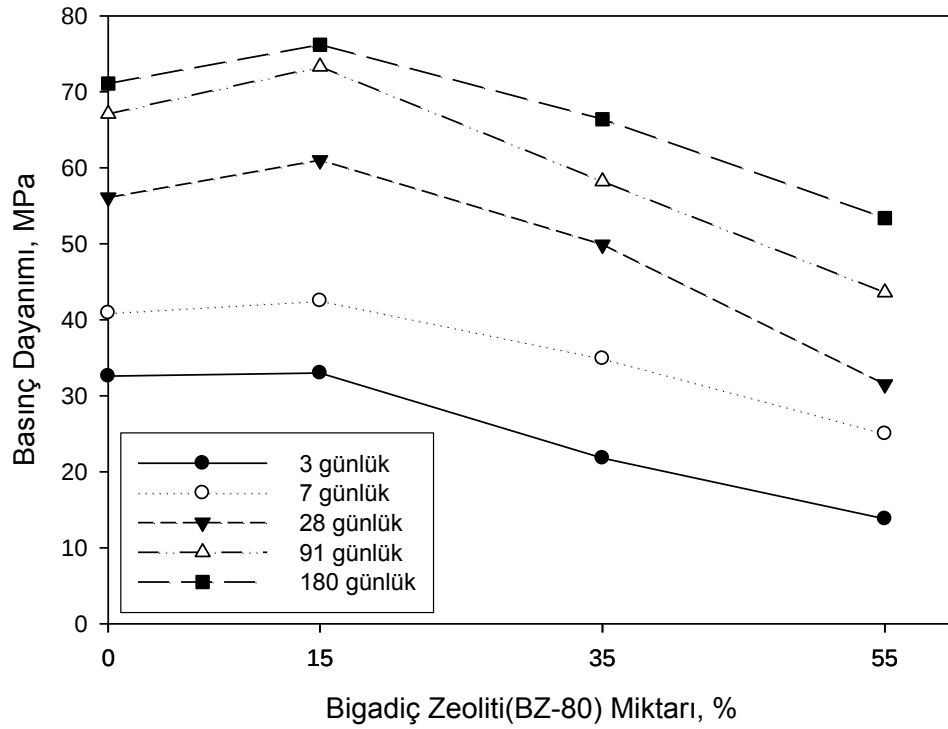
Şekil 2.18. Melamin bazlı kimyasal katkı ile hazırlanan çimento harçlarında, çimentodaki Gördes zeoliti oranının basınç dayanımlarına etkisi (**Kirece doymun suda kür**) (Uzal vd., 2007)



Şekil 2.19. Melamin bazlı kimyasal katkı ile hazırlanan çimento harçlarında, çimentodaki Gördes zeoliti oranının basınç dayanımlarına etkisi (**%99 Bağıl nem ortamında kür**) (Uzal vd., 2007)



Şekil 2.20. Melamin bazlı kimyasal katkı ile hazırlanan çimento harçlarında, çimentodaki Bigadiç zeoliti oranının basınç dayanımlarına etkisi (**Kirece doygun suda kür**) (Uzal vd., 2007)



Şekil 2.21. Melamin bazlı kimyasal katkı ile hazırlanan çimento harçlarında, çimentodaki Bigadiç zeoliti oranının basınç dayanımlarına etkisi (**%99 Bağıl nem ortamında kür**) (Uzal vd., 2007)

Kütlece % 15 oranında Bigadiç zeoliti (BZ-80) içeren çimentolar, test edilen tüm yaşlarda portland çimentosundan daha yüksek basınç dayanımı göstermiştir. % 55 oranında doğal zeolit içeren ve standart şekilde (kirece doymun su içerisinde) kür edilen harçların 28 günlük basınç dayanımları ise Bigadiç ve Gördes zeoliti için sırasıyla portland çimentosunun basınç dayanımının % 94 ve % 99'u olarak gerçekleşmiştir. Yüksek oranda doğal zeolit içeren katkılı çimentoların, portland çimentosuna neredeyse eşdeğer 28-günlük basınç dayanımı göstermiştir (Uzal vd., 2007).

Yukarıdaki şekillerden de açıkça görüldüğü gibi, % 99 bağıl nem ortamında kür etme durumunda, doğal zeolit içeren harçların basınç dayanımı performanslarının önemli derecede düştüğü gözlenmektedir. Bu durum normalde mineral katkı içeren çimento sistemlerinin, sadece portland çimentosu içeren sistemlere kıyasla daha fazla kür suyuna ihtiyaç duymalarından ve % 99 bağıl nem ortamında bu su ihtiyacının yeterince karşılanamamasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu etkinin yüksek yüzey alanına sahip doğal zeolitlerde daha baskın hale geldiği anlaşılmaktadır. Dolayısıyla doğal

zeolit içeren çimento sistemlerinde ıslak kür koşullarının, sadece portland çimentolu sistemlere ve diğer mineral katkı içeren sistemlere göre daha büyük bir önem taşıdığı, bundan dolayı daha uzun süreli ve etkin bir ıslak kür gerektireceği görülmektedir (Uzal vd., 2007).

2.13 Doğal Zeolit İçeren Beton Karışımlarının Özellikleri

2.13.1 Taze beton özellikleri

Hazırlanan karışımlar için taze beton özellikleri, ilgili ASTM standartlarına göre tespit edilmiş ve sonuçlar Çizelge 2.10'da gösterilmiştir.

Çizelge 2.10. Taze beton özellikleri (Uzal vd., 2007)

Karışım kodu	C1	C2	GZ15	GZ35	GZ55	BZ15	BZ35	BZ55
Zeolit tipi	-	-	GZ-80	GZ-80	GZ-80	BZ-80	BZ-80	BZ-80
Akışkanlaştırıcı İhtiyacı, (Bağlayıcının ağırlıkça %'si)	-	0,7	1,1	1,5	2,5	0,9	1,2	1,3
Birim ağırlık, kg/m ³	2403	2424	2401	2406	2371	2421	2391	2381
Çökme, cm	14	15	14	15	15	16	15,5	16
Hava muhtevası, %	1,9	2,2	1,6	1,3	1,6	1,8	1,7	1,2
İlk priz süresi, saat: dakika	4:13	5:20	3:55	2:45	4:25	4:45	4:40	3:25
Son priz süresi, saat: dakika	6:12	7:50	7:05	7:30	10:40	6:50	6:20	7:55

Akışkanlaştırıcı ihtiyacı: Son yıllarda beton endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaya başlanan akışkanlaştırıcı kimyasal katkı maddeleri, özellikle düşük su/bağlayıcı oranına sahip, yüksek dayanımlı ve iyi dayanıklılık özellikler göstermesi nedeniyle, mineral katkılı veya mineral katkısız beton karışımlarında vazgeçilmez bir unsur haline gelmiştir. Düşük su/çimento oranıyla (yaklaşık 0,33-0,40) hazırlanan, yüksek miktarda mineral katkı malzemesi içeren (yüksek oranda uçucu kül ve/veya yüksek fırın cürufu içeren beton karışımları gibi) beton karışımlarında ise süper akışkanlaştırıcı katkı kullanımı kaçınılmaz hale gelmektedir.

Yukarıda belirtilen sebeplerden dolayı, belirli miktarda doğal zeolit içeren beton karışımlarında, özellikle düşük su/çimento (s/ç) değerlerini sağlamak ve yeterli kıvamı getirebilecek şekilde hazırlayabilmek için süper akışkanlaştırıcı katkı maddesi kullanılmıştır.

Düşük, orta ve yüksek miktarlarda doğal zeolit içeren ve 0,45 su/çimento oranına sahip beton karışımlarını yaklaşık 15 cm çökme değerine sahip olacak işlenebilirlikte elde edebilmek için gerekli akışkanlaştırıcı katkı maddesi miktarları, toplam bağlayıcı miktarının ağırlıkça %'si olarak Çizelge 2.10'da gösterilmiştir. Çizelge 2.10'da görüldüğü gibi, mineral katkı içermeyen beton karışımının 0.45 s/ç oranında istenilen işlenebilirliğe sahip olabilmesi için % 0.7 akışkanlaştırıcı dozajı yeterli olurken, bu değer % 55 Gördes ve Bigadiç zeoliti içeren beton karışımları için sırasıyla % 2,5 ve % 1,3'e kadar artış göstermiştir (Uzal vd., 2007).

Hava muhtevası: Çizelge 2.10'da görüldüğü gibi, zeolit içeren beton karışımlarının hava muhtevelarının, kontrol karışımlarından bir miktar düşük olduğu, zeolit miktarındaki artışın hava muhtevası değerini düşürdüğü gözlenmiştir. Genellikle tüm mineral katkı malzemeleri için geçerli olan bu durumun, doğal zeolitler için de gözlenmesi beklenen bir sonuçtur. Dolayısıyla donma-çözünme etkilerine maruz kalacak, zeolit içeren beton karışımlarının normal beton karışımlarından bir miktar daha fazla hava sürükleyici katkı maddesine ihtiyaç duyacağı anlaşılmaktadır.

Priz süreleri: Doğal zeolit içeren katkılı çimentoların, normal portland çimentosundan daha kısa sürede priz aldıklarına ilişkin deneysel sonuçlar önceki bölümlerde gösterilmişti. Çizelge 2.10'dan görüldüğü gibi, benzer durumun beton karışımları için de geçerli olduğu görülmektedir. Doğal zeolit içeren beton karışımları eşit s/ç oranına sahip kontrol karışımından (C2) daha kısa ilk priz süreleri göstermişlerdir. Özellikle ilk priz süresinin, doğal zeolit miktarına bağlı olarak önemli derecede kısaldığı ancak betonun yerleştirilebilmesine olanak sağlayacak düzeyde yeterli olduğu görülmektedir.

2.13.2 Sertleşmiş beton özellikleri

Basınç ve yarmada-çekme dayanımları: Hazırlanan beton karışımlarının 3, 7 ve 28 günlük basınç ve yarmada çekme dayanımları Çizelge 2.11’de gösterilmiştir.

Çizelge 2.11. Beton karışımlarının basınç ve yarmada-çekme dayanımları (Uzal vd., 2007)

Karışım Kodu	Basınç Dayanımı, MPa				Yarmada-çekme dayanımı, MPa			
	3 gün	7 gün	28 gün	91 gün	3 gün	7 gün	28 gün	91 gün
C1	32,2	35,3	42,4	48,5	2,9	3,5	3,5	3,5
C2	38,6	43,2	50,3	54,5	3,1	3,9	4,0	4,1
GZ15	32,5	41,3	65,6	73,3	2,5	3,2	5,1	5,3
GZ35	20,4	33,5	54,3	62,1	2,6	3,6	4,4	4,7
GZ55	11,8	27,6	53,0	62,4	1,1	3,1	3,4	3,6
BZ15	34,2	44,5	67,5	73,8	1,7	3,6	4,3	4,7
BZ35	22,6	38,7	60,0	64,5	2,1	3,5	3,7	3,8
BZ55	10,5	26,3	46,3	54,9	1,3	3,3	3,4	3,5

Çizelge 2.11’deki değerlerden görüldüğü gibi, %15 Gördes ve Bigadiç zeoliti ikamesiyle hazırlanan beton karışımları (GZ15 ve BZ15) 7.günde eşit su/bağlayıcı oranıyla hazırlanan kontrol karışımına (C2) yakın basınç dayanımı göstermişlerdir. Bu karışımların 28 günlük basınç dayanımları ise kontrol karışımından sırasıyla % 30 ve % 34 daha yüksek olarak gerçekleşmiştir. Düşük miktarda doğal zeolit ikamesiyle hazırlanan karışımların bu denli yüksek dayanım performansı göstermeleri, doğal zeolitlerin çalışmanın önceki bölümlerinde tespit edilen ve tartışılan yüksek puzolanik aktiviteleriyle ve dolgu etkisiyle ilişkilendirilebilir (Uzal vd., 2007).

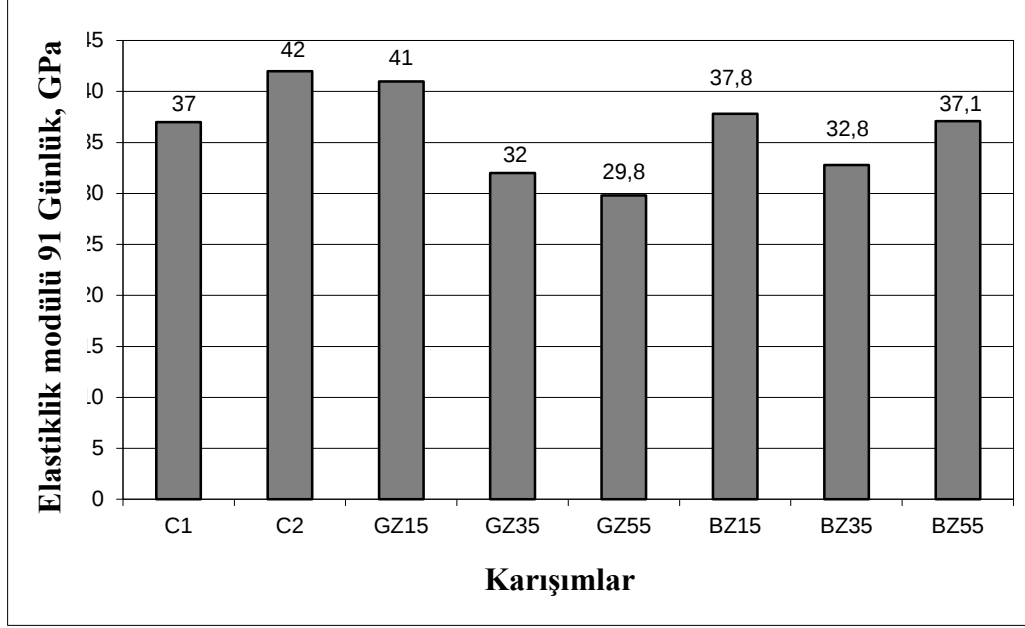
% 35 doğal zeolit ikamesi ile hazırlanan beton karışımları 7.günde eşit su/bağlayıcı oranıyla hazırlanan kontrol karışımına (C2) kıyasla % 15-20 daha düşük basınç dayanımı göstermişler, ancak 28. günde GZ35 ve BZ35 karışımları kontrol karışımından sırasıyla % 8 ve % 19 daha yüksek basınç dayanımı sergilemişlerdir. Bir başka deyişle, 1 m³ beton için sadece 260 kg/m³ portland çimentosu kullanılarak 28

günlük basınç dayanımı 55-60 MPa olan bir beton karışımının elde edilmesi başarılmıştır (Uzal vd., 2007).

Yüksek miktarda (% 55) doğal zeolit ikamesi ile hazırlanan beton karışımları ise C2 kontrol karışımına benzer C1 kontrol karışımından ise daha yüksek basınç dayanımı performansı göstermişlerdir. Bu durum % 55 daha az portland çimentosu kullanılarak (180 kg/m^3) 7. günde 25 MPa, 28. günde ise 45-50 MPa basınç dayanımı gösteren bir beton karışımı elde edilmiş olmaktadır.

C1 ve C2 kontrol karışımlarıyla karşılaştırıldığında, % 15 ve % 35 zeolit ikamesi ile hazırlanan beton karışımlarının 28. ve 91. günlerde daha yüksek yarmada-çekme dayanımı gösterdikleri gözlenmekte ve bunun puzolanik reaksiyon sonucunda mikro yapısı gelişen çimento hamuru-agrega ara yüzü ile ilgili olduğu düşünülmektedir (Uzal vd., 2007).

Elastiklik modülü: Beton karışımlarının 91 günlük yaşları için ölçülen elastiklik modülü değerleri Şekil 2.22’de gösterilmiştir. C2 kontrol karışımı ile karşılaştırıldığında, doğal zeolit ikamesi ile hazırlanan beton karışımlarının elastiklik modülü değerlerinin karşılaştırılabilir ölçüde veya bir miktar düşük olduğu görülmektedir. C2 kontrol karışımı ile Gördes zeoliti ihtiva eden beton karışımları kıyaslandığında GZ15’in C2’ye nispeten daha yakın bir değerde olduğu, fakat Gördes zeoliti içeren beton karışımlarının elastiklik modülü değerlerinin zeolit ikame oranı attıkça düştüğü görülmektedir. Ancak bu durumun Bigadiç zeoliti içeren karışımlar için farklılık göstermektedir. % 55 oranında Bigadiç zeoliti içeren karışım (BZ55) yaklaşık olarak % 15 zeolit içeren karışıma benzer bir elastiklik modülü değeri göstermiştir. Fakat % 35 oranında Bigadiç zeoliti içeren karışımda (BZ35) ise bir düşüş olmuştur. Karışımların hava muhtevası elastiklik modülü etkileyen faktörlerden birisi olduğundan, BZ55 karışımının diğerlerine kıyasla daha yüksek olan elastiklik modülü değerinin, düşük olan hava muhtevasından kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Çimento hamuru matrisi ve hamur-agrega ara yüzünün gözenekliliği elastiklik modülünü etkileyen diğer önemli faktörler olduğundan, doğal zeolit içeren beton karışımlarının elastiklik modülü değerlerinin tam olarak nasıl etkilendiğini açıklamak oldukça zordur.

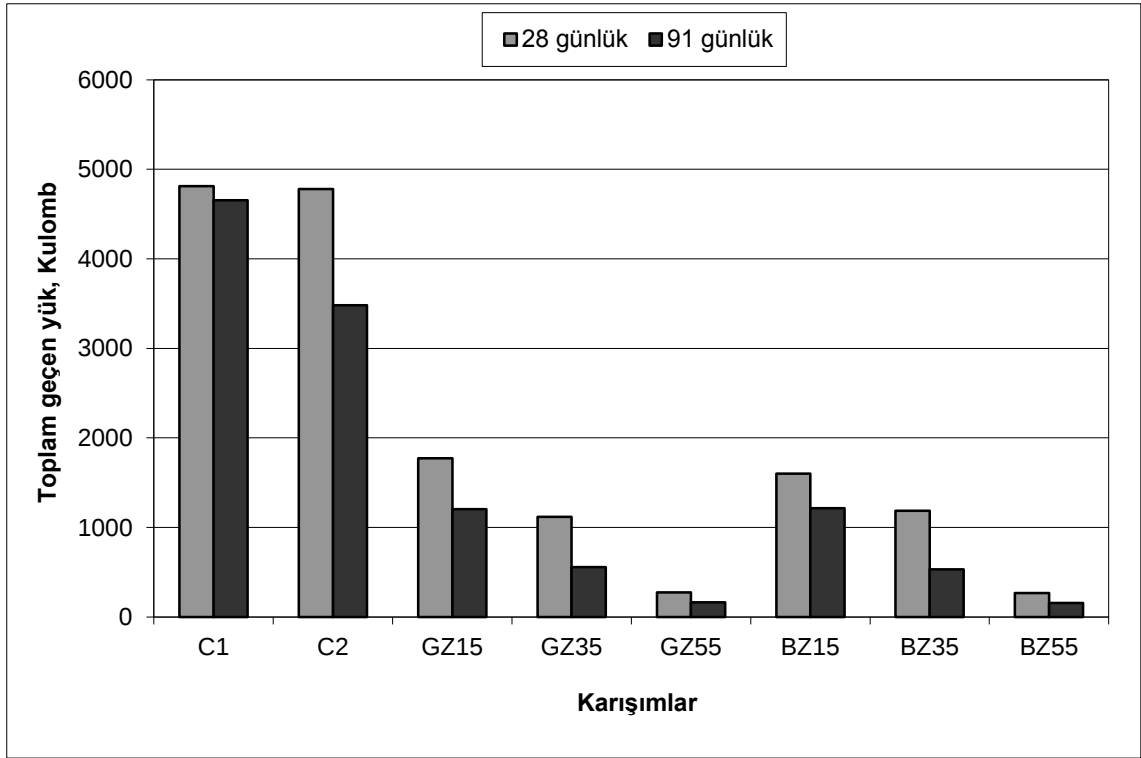


Şekil 2.22. Beton karışımlarının elastiklik modülü değerleri (Uzal vd., 2007)

Klor iyon geçirgenlikleri: ASTM C 1202 sertleşmiş beton numunelerinin elektriksel yolla, klor iyonu geçirgenliklerinin ölçülerek, deney sonucunda elde edilen toplam geçen yük değerine göre, test edilen numunenin klor iyonu geçirgenliğini, ihmal edilebilir ($yük < 100$), çok düşük ($100 < yük < 1000$), düşük ($1000 < yük < 2000$), orta ($2000 < yük < 4000$) ve yüksek ($yük > 4000$) olarak sınıflandırılması esasına dayanmaktadır. Standart hızlandırılmış klor iyon geçirgenliği testi, betonların direkt olarak geçirimsizliğine ölçmese de, genel olarak boşluk oranı ve geçirgenliği konusunda, dolayısıyla da dayanıklılığı konusunda fikir veren bir parametre olarak kabul görmektedir.

Beton karışımlarının bu yolla ölçülen klor iyon geçirgenliklerine karşılık gelen toplam yük değerleri Şekil 2.23’de gösterilmiştir. Şekil 2.23’den görüldüğü gibi, doğal zeolit ikamesiyle elde edilen beton karışımları, kontrol karışımlarına kıyasla çok daha düşük klor geçirgenliği göstererek, ASTM C 1202 sınıflandırmasına göre “düşük” geçirgenlik sınıfına girdikleri gözlenmiştir. Zeolit türüne bağlı olmaksızın, doğal zeolit ikame oranı arttıkça klor iyonu geçirgenliği azalmaktadır. Bu durumun doğal zeolitlerin pozolanik reaksiyonu sonucunda oluşan pozolanik ürünlerin, hem çimento hamuru matrisinde hem de çimento hamuru-agrega ara yüzünde meydana getirdiği boşluk azalması sonucunda oluştuğu düşünülebilir. Dolayısıyla, hazırlanan doğal zeolit içeren beton karışımlarının kontrol karışımlarına kıyasla, dış etmenlerden kaynaklanabilecek

olumsuz etkilere karşı (sülfat hücumu, tuz hücumu vb.) daha dayanıklı olacağı beklenebilir (Uzal vd., 2007).



Şekil 2.23. Beton karışımlarının klor iyon geçirgenlikleri (Uzal vd., 2007)

2.14 Asidik ve Bazik Sulu Ortamların Doğal Zeolitlerin Özellikleri Üzerindeki Etkileri

SiO_4 ve AlO_4 dörtyüzlülerinin 3 boyutlu olarak bir araya gelmeleriyle bunların arasında kalan mikro kanal ve gözeneklerden meydana gelen zeolit yapısı asidik ve bazik sulu ortamlardan çeşitli şekil ve derecelerde etkilenecek değişiklikler göstermektedir. Örneğin doğal zeolit yapısındaki kanal ve gözenekler içerisinde bulunan çeşitli safsızlıklar asit çözeltisi etkisi altında yıkanıp ortadan kaldırıldığında zeolitlerin gözeneklilik, yüzey alanı ve katyon değiştirme kapasiteleri artış gösterebilmekte yani zeolitler kimyasal olarak daha aktif bir duruma getirilebilmektedir (Yılgin ve Akkoca, 2008; Toprak ve Girgin, 2000; Cakicioglu vd., 2005; Polatoğlu, 2005). Daha farklı şekilde doğal zeolitlerin bazik çözeltilerle işleme tabi tutulması ise doğal zeolit yapısının kısmi olarak veya büyük ölçüde bozunmasına ve zeolitler için önemli bir ayırt edici özellik olan Si/Al oranının değişmesine yol açabilmektedir (Polatoğlu, 2005;

Yamamoto vd., 1996). Asidik ve bazik ortamların etkisi sonucu yapıları modifikasyona uğratılmış doğal zeolitlerden birçok uygulama alanında daha etkin şekilde yararlanılması mümkün olmaktadır.

Cakicioglu vd. (2005), HCl muamelesinin klinoptilolitçe zengin Bigadiç doğal zeolitinin gözenekliliği ve su buharı absorpsiyonu üzerindeki etkisini incelemiş ve deneysel çalışmalar sonucunda doğal zeolitin gözenekliliğinde bir miktar artışla birlikte Al içeriğinde azalma olduğunu (dealüminasyon) göstermişlerdir.

Toprak ve Girgin (2000), çeşitli asitler ile Bigadiç doğal zeolitini ön işleme tabi tutmuş ve asit konsantrasyonuna bağlı olarak doğal zeolitin krom iyonu absorpsiyonunun önemli ölçüde arttığını rapor etmişlerdir.

Yılgin ve Akkoca (2008), farklı asitlerin Bigadiç doğal zeolitinin kimyasal kompozisyonu, yüzey alanı ve gözeneklilik özellikleri üzerindeki etkisini araştırmış ve asitlerle muamelenin doğal zeolitin yapısında bozunmalara, opal-CT benzeri amorf yapıların oluşmasına yol açtığını, HCl'nin dealüminasyon konusunda en etkili asit olduğunu ve çalışılan tüm asit türlerinde muamele sonucunda doğal zeolitin gözenek hacmi ve BET yüzey alanında artış gözlemlendiğini bildirmişlerdir.

Yamamoto vd. (1996) ise atomik kuvvet mikroskobu (AFM) kullanarak doğal zeolitlerin hem asidik hem de bazik çözelti içerisinde kristal zeolitik yapılarının bozulduğunu görüntülemişlerdir.

Polatoğlu (2005), Gördes bölgesi doğal zeolitlerinin hem asidik hem de bazik ortamlardaki kimyasal davranışını detaylı şekilde incelemiş ve doğal zeolitlerin asidik ortamların pH'sını artırma, bazik ortamların ise pH'sını azaltma eğilimi gösterdiğini tespit etmiştir. Ayrıca asit ve baz çözeltileri içerisinde, doğal zeolitlerde sadece iyon değişimi değil, aynı zamanda adsorpsiyon, yapıdan katyon uzaklaşması, Si ve Al uzaklaşması, kompleks oluşumu ve yapı çökmesi olabileceği belirtilmiştir.

BÖLÜM III

MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Malzemeler

3.1.1 Portland çimentosu

Deneyisel çalışmalarda kullanılan CEM I 42.5 R tipi portland çimentosunun (PÇ), TS 197-1'e uygun olarak üreticisi tarafından beyan edilmiş kimyasal ve fiziksel özellikleri Çizelge 3.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. PÇ'nin kimyasal kompozisyonu ve fiziksel özellikleri

Kimyasal kompozisyon	
SiO ₂ , %	18,85
Al ₂ O ₃ , %	5,14
Fe ₂ O ₃ , %	2,74
CaO, %	62,74
MgO, %	2,36
SO ₃ , %	3,52
Na ₂ O, %	0,31
K ₂ O, %	0,70
Kızdırma kaybı, %	3,43
Çözünmeyen kalıntı, %	1,45
Fiziksel özellikler	
Özgül ağırlık	3,08
Blaine inceliği, m ² /kg	331
Priz başlama süresi, dak.	160
Priz sonu süresi, dak.	225
Basınç dayanımı, MPa	
2 günlük	24,7
7 günlük	39,7
28 günlük	51,6

3.1.2 Doğal zeolitler

Çalışmada Türkiye’deki başlıca iki zeolit rezervi olan Manisa-Gördes ve Balıkesir-Bigadiç bölgelerinden temin edilen klinoptilolit türü iki farklı doğal zeolit kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan doğal zeolitlerin kimyasal kompozisyonu Çizelge 3.2’de gösterilmiştir. Doğal zeolitler kaba halde temin edilmiş olup, kullanılmadan önce laboratuvar tipi kırıcı ve bilyeli öğütücü kullanılarak, 45-µm elekten ıslak elemeyle geçen miktarı %80 olacak şekilde öğütülmüştür.

Bir gün öncesinden 100+5 °C deki etüve koyulan Gördes zeoliti etüvden çıkartılarak 8 kere kırıcıdan geçirdikten sonra 2 mm lik elekten eleyerek, eleğin altında kalan malzemeyi 10 kg’lık farklı boyutlarda olan demir bilyelerle birlikte 1 kg’lık malzeme 25 devirde çalışan laboratuvar tipi bilyeli öğütücümüzün içerisine en üstte kalan bilyelerin ortasına gelecek kadar malzemeyle doldurulmuştur. Yerleştirme işlemi bittikten sonra laboratuvar tipi bilyeli öğütücü çalıştırılmıştır. Daha sonra istenilen inceliğe gelip gelmediğini belirlemek için 1 saat 21 dk çalıştırıldıktan sonra kapatılmıştır. Malzeme içerisinden 5 gr’lık bir numune alınmıştır. 63 µm’lik elekten geçirdiğimizde elek üstü malzeme miktarı 1,1 gr ölçülmüştür. Eleme işlemine yaklaşık 15 dk daha devam edilmiştir. Malzeme istenilen boyutlarda olmadığı için öğütme işlemine devam edilmiştir. 20 dk sonra tekrar kapatılmış ve tekrar 5 gr malzeme alınarak 63 µm’lik elekten geçirilmiş elek üstü malzeme miktarı 0,6 gr ölçülmüştür. Bu da yeterli görülmeyerek öğütme işlemine tekrar devam edilmiştir. 10 dk daha öğütme işlemi gerçekleştirildikten sonra malzeme öğütücüden çıkarılmıştır.

Not: Öğütme işlemi toplam 111 dk olarak gerçekleştirilmiş olup, bir standart belirlemek için tüm malzemeler 120 dk öğütme işlemine tabi tutulmuştur. Tüm bu işlemler, 10 kg malzeme temin edilene kadar yapılmıştır. Toplamda bu işlemler sonucunda öğütülmüş 10 kg Gördes zeoliti, 10 kg Bigadiç zeoliti üretilmiştir.

Çizelge 3.2. Doğal zeolitlerin kimyasal kompozisyonu

Kimyasal kompozisyon	Gördes (GZ)	Bigadiç (BZ)
SiO ₂ , %	69,08	67,65
Al ₂ O ₃ , %	11,41	10,97
Fe ₂ O ₃ , %	0,98	1,02
CaO, %	1,91	3,24
MgO, %	0,68	1,01
Na ₂ O, %	0,66	0,17
K ₂ O, %	4,05	2,40
Kızdırma kaybı, %	11,0	12,9

3.1.3 Kimyasallar

Doğal zeolitlerin kimyasal yollarla aktive edilmelerinde birisi NaOH ile hazırlanan bazik çözelti ile diğeri HCl ile hazırlanan asidik çözelti kullanılmıştır. Çözeltilerin konsantrasyonları ve hazırlanma şekilleri aşağıda belirtilmiştir.

3.2 Yöntemler

Doğal puzolanların reaktivitesinin artırmak için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemler; ısı aktivasyonu, mekanik aktivasyon ve kimyasal aktivasyon olmak üzere üç grupta toplanmaktadır. Bu yöntemler arasında mekanik dayanım-maliyet ilişkisi üzerine yapılan karşılaştırmalı çalışmalarda kimyasal ve ısı aktivasyonu metotları en etkili ve ekonomik yöntemlerden birisi olduğu olarak ortaya çıkmıştır (Shi, 2001).

Bu çerçevede iki farklı rezervden temin edilen zeolitler, NaOH ve HCl çözeltilerinde kimyasal işleminden geçirilerek, kimyasal işlem öncesi ve sonrası puzolanik aktiviteleri değerlendirilecektir. Ayrıca doğal zeolitler farklı sıcaklıklarda ısı işleme tabi tutularak, ısı işlem öncesi ve sonrasında kristal yapılarında meydana gelebilecek değişiklikler XRD analizleri ile gözlenecek ve ısı işlemin malzemelerin puzolanik aktiviteleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Puzolanik aktivitenin değerlendirilmesinde, kireç-puzolan-su süspansiyonlarının elektriksel iletkenliğinin ölçülmesi yöntemi kullanılmıştır. Ayrıca puzolanik aktivite ölçümlerinde denenen aktivasyon

yöntemlerinden en yüksek puzolanik aktivitenin sağlandığı metot ile aktive edilmiş doğal zeolit, katkılı çimento hamuru ve harçlarının fiziksel ve mekanik özellikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu kapsamda farklı oranlarda aktive edilmiş zeolit içeren katkılı çimento hamurlarının priz süreleri, hidrasyon ısıları ile harçların standart basınç dayanımları tespit edilerek, aktive edilmiş zeolit çimento esaslı bağlayıcı sistemlerdeki performansı aktive edilmemiş durumdaki zeolitler ile karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

3.2.1 Isıl işlemler

Doğal zeolitlerin ısı aktivasyonu için, ince öğütülmüş doğal zeolitler kül fırınında 200°C, 400°C ve 600°C sıcaklıkta 2 saat ısı işleme tabi tutulduktan sonra desikatörde soğuması beklenmiştir. Desikatörde soğumuş olan malzeme, ağzı kilitlenebilen saklama kaplarına koyulup deney zamanı gelene kadar muhafaza edilmiştir. Bu şekilde ısı işlem görmüş Gördes ve Bigadiç zeolitleri çalışma süresince isimlerinin arkasına eklenen 200, 400, 600 takıları ile gösterilmişlerdir (GZ-200, GZ-400, GZ-600, BZ-200, BZ-400, BZ-600).

3.2.2 Kimyasal işlemler

Kimyasal ön işlemin doğal zeolitlerin puzolanik aktivitesi üzerindeki etkisini araştırmak amacıyla çalışmada kullanılan doğal zeolitlerin hem asidik hem de bazik çözeltiler ile ön işlemi denenmiştir. Doğal zeolitlerin farklı kullanım alanları için kimyasal ön işlemleri ile ilgili literatür (Cakicioglu vd., 2005; Polatoğlu, 2005) bilgileri göz önünde bulundurularak, bazik çözelti için NaOH ve asidik çözelti için HCl kullanımı uygun görülmüştür.

Çalışmada kullanılacak NaOH çözeltisinin hangi konsantrasyonda (molarite olarak) hazırlanması gerektiğini tespit etmek amacıyla ön çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda 5 farklı molaritede (0,05 M, 0,1 M, 0,5 M, 1 M, 2 M) NaOH çözeltileri hazırlanmış ve bunlar 600 ml'lik cam beher içerisine 450 ml çözelti ve 30 gr ince öğütülmüş doğal zeolit eklenerek 3 saat boyunca manyetik karıştırıcı ile oda sıcaklığında karıştırılmasıyla gerçekleştirilen kimyasal ön işlemde kullanılmıştır. Bu yolla elde edilen bazik ön işlem görmüş doğal zeolitler filtre kağıdından süzülerek,

ardından 3 defa saf su ile durulandıktan sonra tekrar süzölüp etüvde kurutulmuştur. 5 farklı molaritedeki çözeltiyle işlem den geçirilen zeolitlerin her biri Bölüm 3.2.4’de belirtildiği şekilde elektriksel iletkenlik yöntemiyle 10 dakikalık puzolanik aktivite testine tabi tutulmuştur. Bu testler sonucunda çözelti molaritesinin artmasıyla puzolanik aktivitenin artış gösterdiği, dolayısıyla test edilen molarite değerlerinden en yüksek olan 2 M NaOH çözeltisinin kullanımının uygun olacağı değerlendirilmiştir. Kimyasal ön işlemin uygulanabilirliği açısından maliyet boyutu göz önünde bulundurulduğunda daha yüksek molarite değerlerinin çalışılmasına gerek olmadığı düşünülmüştür.

Ön çalışmalar sonucunda seçilen 2 M NaOH çözeltisi kullanılarak, 9 lt çözeltiye 600 gram doğal zeolit ilave edilmiş ve 2 saat süreyle oda sıcaklığında karıştırılmıştır (Fotoğraf 3.1). Ardında doğal zeolit filtre kağıdıyla süzölmüş ve iki defa saf su ile durulanıp tekrar süzölmüştür (Fotoğraf 3.2). Süzölerek elde edilen bazık işlem görmüş doğal zeolitler 12 saat etüvde kurutulduktan sonra kuruma sonucu oluşmuş topakların giderilmesi için çok kısa süreyle laboratuvar tipi değirmende yeniden öğütölerek 63 µm elekten geçen değerleri kontrol edilmek suretiyle önceki inceliklerine yeniden getirilmişlerdir.

HCl asit çözeltisi kullanarak doğal zeolitlerin asitli ortamda ön işlemini için ise zeolitlerin başka alanlarda uygulamalarıyla ilgili literatür verilerine (Uğurlu ve Pınar, 2004; Yılğın ve Akkoca, 2008; Toprak ve Girgin, 2000) dayanılarak 0.5 M HCl çözeltisinin kullanılması uygun görölmüştür. 369 ml HCl’yi saf su ile 9 litreye (9000 ml) tamamlamak suretiyle 0.5 M HCl çözeltisi elde edilmiş ve bu çözeltiye yine 600 gram doğal zeolit eklenerek yukarıda NaOH için anlatılmış ön işlem prosedürü aynen uygulanmıştır.

Yukarıda sözü edilen yollarla elde edilen bazık ve asidik ön işlem görmüş Gördes ve Bigadiç zeolitleri çalışma süresince isimlerinin arkasına eklenen NaOH ve HCl takıları ile gösterilmişlerdir (GZ-NaOH, GZ-HCl, BZ-NaOH, BZ-HCl).



Fotoğraf 3.1. Karıştırma işleminin yapılış aşaması



Fotoğraf 3.2. Süzme işleminden bir görünüm

3.2.3 İşlem görmüş doğal zeolitlerin XRD analizleri ve BET-yüzey alanı ölçümleri

Doğal zeolitlerin ısı ve kimyasal işlemler öncesinde ve sonrasındaki kristal yapıları XRD analizleri ile, özgül yüzey alanları ise BET analizleri ile ODTÜ Merkezi Laboratuvarında hizmet alımı yoluyla gerçekleştirilmiştir.

XRD analizi için toz halindeki örnekler pelet haline getirilerek Rigaku Ultima-IV X-ışını kırınım cihazı'nda 5-55 ° 2-theta açıları arasında analiz edilerek XRD kırınım desenleri elde edilmiştir. Elde edilen kırınım desenleri üzerindeki pikler önceki tecrübeler ve literatüre dayalı olarak tanımlanmıştır.

BET analizi için yine toz halindeki örnekler Quantachrome Autosorb-6 yüzey karakterizasyon cihazı'nda BET yüzey alanı ölçümü için analiz edilerek, numune özgül yüzey alanları m²/g olarak tespit edilmiştir.

3.2.4 Puzolanik aktivite deneyleri

Doğal zeolitlerin aktivasyon öncesi ve sonrası puzolanik aktivitelerin değerlendirilmesinde iki farklı yöntem kullanılacaktır. Bu yöntemler a) ASTM C 311 standardına göre dayanım aktivite indeksinin belirlenmesi (portland çimentosu ile) (ASTM C 311, 2005), b) kireç-puzolan-su süspansiyonlarının elektrik iletkenliğinin ölçülmesi yoluyla puzolanik aktivitenin tespiti metotlarından oluşacaktır. Elektriksel iletkenlik yönteminde İlk olarak Luxan vd., (1989), tarafından doğal puzolanlar için önerilen ve daha sonra Paya vd., (2001) tarafından uçucu küller için geliştirilen, Uzal ve diğerleri tarafından zeolitik malzemelere de uygulanan yöntemle göre; 600 ml beher içerisine 250 ml saf su konulmakta ve beherdeki su sıcaklığı 40±1 °C de tutularak içerisine 0,2 gr saf Ca(OH)₂ eklenmiştir. Elektrikli bir karıştırıcı ile sürekli olarak karıştırılan çözeltinin iletkenlik değeri ve pH değeri sürekli olarak ölçülerek çözeltinin iletkenliği sabit bir düzeye gelene kadar bekletilip bu iletkenlik değeri başlangıç değeri olarak kaydedilmektedir. Daha sonra çözelti içerisine 5 g puzolanik malzeme ilave edilerek karıştırılmaya devam edilerek, puzolanik malzemenin ilave edilmesinin ardından iletkenlik ve pH değeri belirli zaman aralıklarında kaydedilmektedir. Aynı prosedür, su içerisine Ca(OH)₂ eklenmeden sadece su-puzolan sistemi için uygulanarak puzolanik malzemenin tek başına sistemin iletkenlik ve pH değerlerine etkisi

ölçülmektedir. Her bir ölçüm anı için, kireç-puzolan-su sisteminin iletkenlik değerlerinden puzolan-su sisteminin iletkenlik değeri çıkarılarak, yani puzolanik malzemenin elektriksel iletkenliğe olan katkısı çıkarılarak, net elektriksel iletkenlik değeri elde edilir. Bu net elektriksel iletkenlik değerinde zamanla meydana gelen azalma puzolanik aktivite sonucunda tüketilen kalsiyum iyonlarının miktarı ile orantılı olduğu varsayımına dayanılarak puzolanik aktivitenin değerlendirildiği deney düzeneği Fotoğraf 3.1’de gösterilmiştir.



Fotoğraf 3.3. Elektriksel iletkenlik ölçümü deney düzeneğinin görünümü

3.2.5 Katkılı çimento harçlarının su ihtiyaçları ve basınç dayanımları

Isıl ve kimyasal yöntemlerle aktive edilmiş doğal zeolitlerin puzolanik aktivitelerindeki artışa göre seçilmiş örneklerin Portland çimentosu ile % 20 oranında ikame edilmesi yoluyla elde edilen katkılı çimento harçlarının 7 ve 28 günlük standart basınç dayanımları ASTM C 109 standardına göre tespit edilmiştir. Aktivasyon yöntemlerinin doğal zeolitlerin katkılı çimento harçlarındaki basınç dayanımı performansına etkisi incelenmiştir.

Bu amaçla kimyasal işlem görmüş doğal zeolitlerin tamamı ve ısıtılmış işlem görmüş zeolitlerden ise puzolanik aktivite testinde en yüksek sonucu veren 600°C'de işlem görmüş numuneler, standart harç karışımlarında basınç dayanımı performansı açısından test edilmiştir. Öncelikle sadece portland çimento içeren bir kontrol harcı ASTM C 109'da öngörüldüğü gibi 0,485 su/çimento oranı ile hazırlanmış ve bu harcın yayılma (flow) değeri tespit edilmiştir. Doğal zeolit içeren harçlar ise ağırlıkça % 20 oranında portland çimentosunun doğal zeolit ile ikamesiyle ve kontrol harcı ile aynı yayılma değerine sahip olacak kadar su kullanılarak hazırlanmıştır. Tüm harç karışımlarının 7 ve 28 günlük basınç dayanımları tespit edilerek karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

3.2.6 Sertleşmiş çimento hamurlarının Ca(OH)_2 içerikleri

Dayanım aktivite indeksi test sonuçlarına göre, ısıtılmanın doğal zeolitlerin dayanım aktivitesini geliştirmekte daha etkin olduğu tespit edildiğinden, bu gelişimlerin sebeplerini daha iyi değerlendirebilmek amacıyla, % 20 doğal zeolit ikamesi ile hazırlanan çimento hamurlarındaki puzolanik aktivitenin göstergesi olarak, çimento hamurlarının 7 ve 28 günlük yaşlardaki Ca(OH)_2 içerikleri ölçülmüştür. 200°C ve 600 °C'de ısıtılmış işlem görmüş Bigadiç zeoliti içeren (% 20 yer değiştirme oranında) çimento hamurları ile ısıtılmış işlem görmemiş doğal zeolit içeren hamurlar üzerinde çalışılmıştır. Bu amaçla deionize su kullanılarak 0.5 su/bağlayıcı oranıyla hazırlanan çimento hamurlarının Ca(OH)_2 içerikleri 7 ve 28 günlük yaşlar için termo-gravimetrik analiz (TGA) yöntemiyle tespit edilmiştir. Hamurlar mikserde karıştırılmış ve ardından hava ile temas sonucu oluşabilecek karbonasyonu ve nem kaybını engellemek amacıyla plastik enjektörlere doldurulmuş ve test gününe kadar 23±1 °C sıcaklıkta kür edilmiştir.

Sertleşmiş çimento hamurları belirtilen yaşlarda plastik enjektörler kesilerek çıkarılmış ve küçük parçalara ayrılmış daha sonra 800-µm elekten geçirilmiştir. Bu şekilde elde edilen örnekler Perkin Emler Pyris TGA&FTIR termal analiz sisteminde, oda sıcaklığı ve 1000 °C sıcaklık aralığında ve 10°C/dak. sıcaklık artış hızında analiz edilmişlerdir. Sertleşmiş çimento hamurlarındaki Ca(OH)_2 miktarı, yaklaşık 450 °C sıcaklıkta Ca(OH)_2 'in yapısındaki suyun buharlaşması sonucunda meydana gelen ani ağırlık kaybı miktarından hesaplanarak tespit edilmiştir.

3.2.7 Sertleşmiş çimento hamurlarının gözenek boyut dağılımları

Isıl işlemin doğal zeolitlerin çimento hamurları içerisindeki aktivasyon mekanizmaları üzerindeki etkisini gözlemlemek amacıyla, 200°C ve 600 °C’ de ısıtılma görmüş ve görmemiş Bigadiç zeoliti içeren sertleşmiş çimento hamurlarının 7 ve 28 günlük yaşlarındaki gözenek boyut dağılımları, cıva porozimetresi kullanılarak tespit edilmiştir.

Cıva porozimetresi ile sertleşmiş bağlayıcı sistemlerin gözenek boyut dağılımının tespit edilebilmesi için numunelerdeki serbest suyun tamamen kurutulmasını gerektirmektedir. Bu tür numunelerin 100-110 °C sıcaklıktaki etüvde kurutulmaları aşırı kuruma büzölmeleri sonucunda mikro yapıya zarar vereceğinden, bazı özel kurutma teknikleri uygulanmaktadır. Bu çalışmada metanol ikamesi ve ardından 55°C sıcaklıkta vakumlu ortamda kurutma uygulanmıştır.

Sertleşmiş hamurlar öncelikle 3-5 mm boyutlara kırılmış ve ardından 24 saat boyunca metanol içerisinde bekletilmiştir. Daha sonra numuneler 55°C sıcaklıktaki etüvde vakumlu ambalajlar içerisinde 24 saat süresince kurutulmuştur. Bu şekilde hazırlanan örnekler Quantachrome Corporation Poremaster 60 model maksimum 55000 psi enjeksiyon basıncı kapasiteli cıvalı porozimetre ile 3-10000 nm (0.003-10 µm) boyut aralığındaki gözenek dağılımı için analiz edilmişlerdir. Tüm numuneler için tamamen aynı numune hazırlama prosedürü uygulanmıştır.

Çimento hamurları hazırlanmasında ve test gününe kadar saklanmasında yukarıda 3.2.6 bölümünde termal analiz için açıklanan prosedürler uygulanmıştır.

BÖLÜM IV

BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1 Kimyasal İşlemin Doğal Zeolitlerin Kimyasal Kompozisyonu Üzerindeki Etkisi

NaOH ve HCl çözeltileri ile kimyasal işlemin doğal zeolitlerin kimyasal kompozisyonları üzerindeki etkisini gözlemek amacıyla, doğal zeolitlerin kimyasal işlem sonrasındaki oksit içerikleri ICP yöntemiyle belirlenmiş ve sonuçlar, Çizelge 4.1’de sunulmuştur.

Çizelge 4.1. Doğal zeolitlerin kimyasal işlem öncesi ve sonrası kimyasal bileşimleri

Kimyasal Kompozisyon, %	GZ	GZ-NaOH	GZ-HCl	BZ	BZ-NaOH	BZ-HCl
SiO ₂	69,08	59,99	71,59	67,65	62,39	63,19
Al ₂ O ₃	11,41	10,72	10,24	10,97	10,18	8,78
Fe ₂ O ₃	0,98	0,91	1,02	1,02	0,97	0,90
CaO	1,91	1,81	1,27	3,24	3,13	2,12
MgO	0,68	0,62	0,55	1,01	0,98	0,75
Na ₂ O	0,66	5,17	0,42	0,17	5,53	0,08
K ₂ O	4,05	3,02	3,24	2,40	2,23	2,06
Kızdırma kaybı	11,0	11,9	11,5	12,9	14,0	13,4

Bölüm 2.14’de bahsedildiği gibi asidik ve bazik çözeltilerle yapılan işlemler doğal zeolitlerin kimyasal kompozisyonu değiştirebilmekte ve bu durum Al uzaklaşması (dealuminasyon), kation değiştirme veya kation uzaklaşması gibi olaylarla açıklanmaktadır.

Çizelge 4.1’de görüldüğü gibi HCl ile asit muamelesi özellikle Bigadiç zeolitinde önemli ölçüde Al uzaklaşmasına sebep olmuş, ayrıca diğer bazı oksitlerde de uzaklaşma gerçekleşmiştir. HCl ile asidik muamele SiO₂ oranında önemli değişikliklere sebep olmazken, NaOH çözeltisi ile yapılan bazik muamelenin Gördes zeolitinin SiO₂ içeriğini önemli oranda düşürdüğü görülmektedir. Bu durumun Gördes ve Bigadiç

zeolitinin orijinal durumları arasındaki başlıca alkali katyon farkından kaynaklandığı düşünülebilir. Gördes zeoliti potasyumca (K) zengin bir yapıda iken Bigadiç zeoliti ise kalsiyumca (Ca) zengin bir alkali katyon yapısındadır. Doğal zeolitlerdeki başlıca alkali katyon tipinin, zeolit yapısının asit ve baz ortamlarındaki direncini etkilediği bilinmektedir (Yamamoto vd., 1996).

NaOH çözeltisi ile muamelenin doğal zeolitlerin Na₂O içeriğini büyük oranda artırdığı Çizelge 4.1’ den görülmektedir. Bu durumun hem katyon değişiminden hem de işlem sonrası yapılan duralamanın yetersiz kalması sonucunda zeolit içerisinden kalmış serbest sodyumdan kaynaklanabileceği şeklinde değerlendirilmiştir.

4.2 Isıl ve Kimyasal İşlemlerin Doğal Zeolitlerin Özgül Yüzey Alanları ve Kristal Yapıları Üzerindeki Etkileri

Çalışmada kullanılan Gördes ve Bigadiç zeolitlerinin ısı ve kimyasal aktivasyon öncesi ve sonrasındaki BET yüzey alanları tespit edilmiş ve sonuçlar Çizelge 4.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.2. Doğal zeolitlerin ısı ve kimyasal işlem öncesi ve sonrası BET yüzey alanları

Malzeme	BET Yüzey Alanı, m ² /g	Malzeme	BET Yüzey Alanı, m ² /g
GZ	41,17	BZ	14,27
GZ200	35,49	BZ200	14,79
GZ400	35,72	BZ400	13,76
GZ600	32,58	BZ600	12,85
GZ-NaOH	8,36	BZ-NaOH	23,6
GZ-HCl	73,25	BZ-HCl	62,42

Çizelge 4.2’den görüldüğü gibi ısı ve kimyasal ön işlemler doğal zeolitlerin BET yüzey alanlarını değişik şekillerde etkilemiştir. Farklı sıcaklıklarda uygulanan ısı işlemler zeolitlerin BET yüzey alanlarında büyük değişikliklere yol açmazken, kimyasal işlemlerin önemli ölçüde artış veya azalışlara neden olduğu gözlenmiştir.

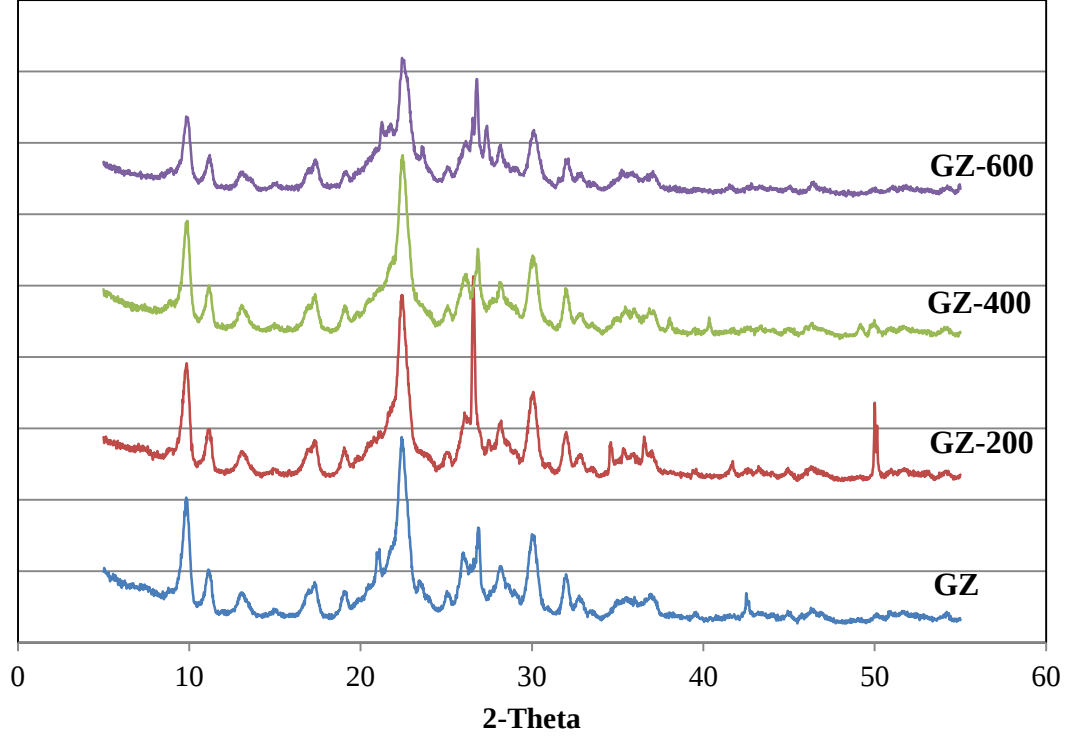
600 °C’de uygulanan ısıtma işlemi, gözeneklerde yerleşik bulunan kristal suyunun uzaklaşması sonucunda Gördes zeolitinin BET yüzey alanını 41,17 m²/g’den 32,58 m²/g’a düşürürken, NaOH çözeltisi ile yapılan kimyasal işlem 8,36 m²/g gibi çok düşük bir değere indirgemmiştir. NaOH çözeltisi ile yapılan kimyasal işlemin etkisinin tam tersine, HCl çözeltisi ile Gördes zeoliti üzerinden yapılan kimyasal işlem ise BET yüzey alanını 73,25 m²/g’a çıkararak yaklaşık % 80’lik bir artış meydana getirmiştir.

NaOH çözeltisinin Bigadiç zeoliti üzerindeki etkisi ise Gördes zeolitine göre farklılık göstermiştir. NaOH çözeltisi ile muamele sonucunda Bigadiç zeolitinin BET yüzey alanı azalmamış, aksine 14,27 m²/g’den 23,6 m²/g’a yükselmiştir. HCl çözeltisi ile muamelede ise Bigadiç zeolitinin BET yüzey alanı yaklaşık 4,5 kat artarak 62 m²/g’ın üzerine çıkmıştır.

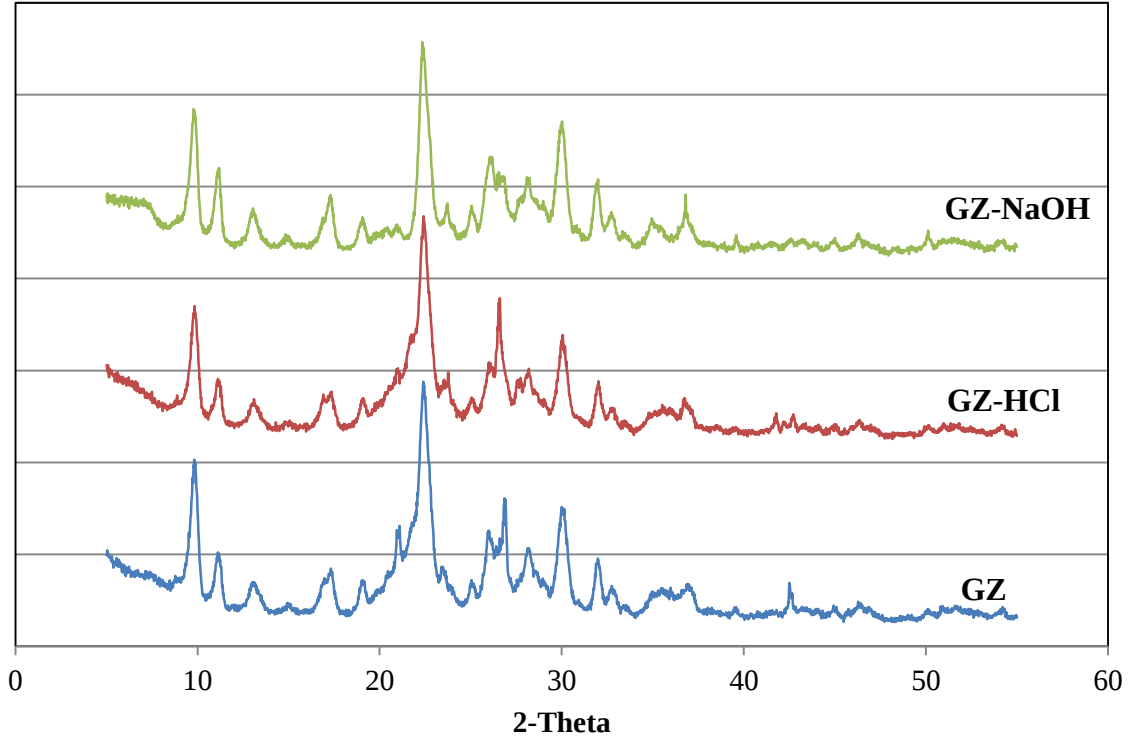
NaOH çözeltisi ile muamele sonucunda Gördes zeolitinin yüzey alanında görülen dramatik düşüş, muhtemelen bazik ortamda Gördes zeolitinin yapısından uzaklaşan Si ve Al iyonlarının çözeltide yer alan Ca, Na gibi diğer katyonlarla birlikte yeni katı fazlar oluşturması ve bu fazların zeolit yapısındaki gözenekleri tıkaması ile ilişkilendirilebilir. Klinoptilolit türü zeolitlerin asidik ve bazik ortamlardaki kimyasal davranışlarının incelendiği detaylı çalışmalarda bu durumla örtüşen çeşitli mekanizmalar rapor edilmiştir (Polatoğlu, 2005). Böyle bir durumun Bigadiç zeolitinde gözlenmemesi, muhtemelen Bigadiç zeolitinin kimyasal ortamlardaki stabilitesinin daha yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. NaOH ile muamele sonucunda Bigadiç zeolitindeki Si ve Al uzaklaşmasının Gördes zeolitine göre daha düşük olduğu yukarıda Çizelge 4.1’de görülmekte olup, bu görüşü desteklemektedir.

HCl çözeltisi ile yapılan asidik işlem sonucunda her iki zeolit örneğinin de yüzey alanlarının büyük ölçüde artması, 3-boyutlu kafes şeklinde kristal yapıya sahip zeolit yapısının gözenekleri içerisinde bulunup, gözenekleri tıkayan bazı zayıf kristalli veya amorf yapıdaki safsızlıkların asit yıkaması sonucunda çözünerek tıkalı gözeneklerin açılması durumu ile açıklanabilir. Bu durum doğal zeolitlerin çeşitli alanlarda kullanımlarıyla ilgili olarak literatürde yer alan asit-zeolit etkileşimleri üzerine yapılmış çalışmalarda da tespit edilmiş bir mekanizmadır (Yılgin ve Akkoca, 2008; Toprak ve Girgin, 2000; Cakicioglu vd. 2005; Polatoğlu, 2005).

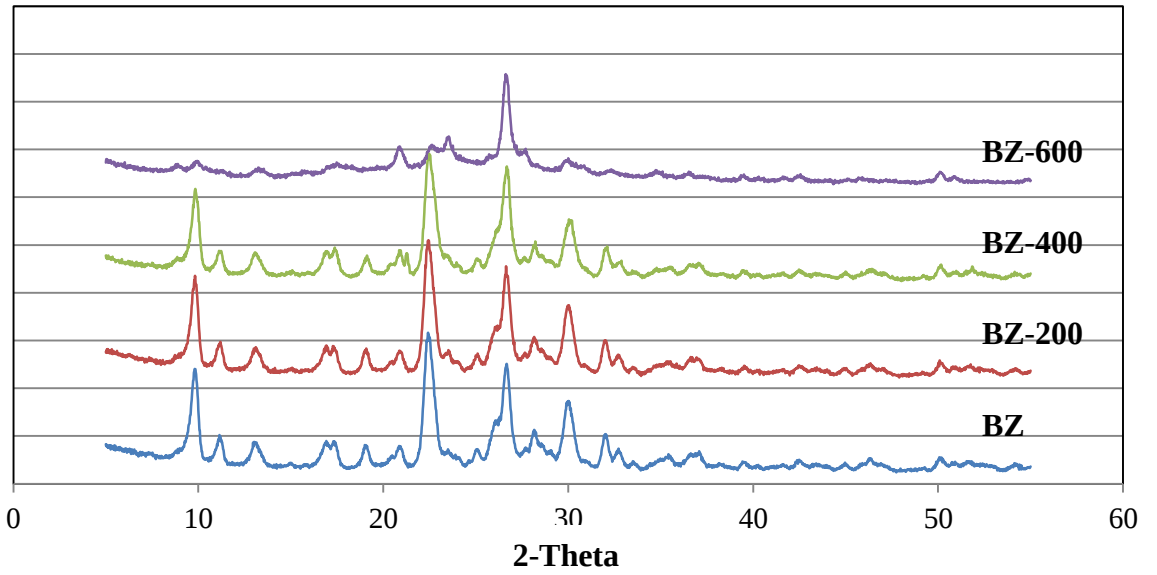
Asit ve baz etkileşimleri ile ısıtılma işlemi sonucunda yüzey alanları çeşitli şekil ve derecelerde etkilenen doğal zeolitlerin kristal yapılarında önemli ölçüde bozunmaların gerçekleşip gerçekleşmediğini gözlemek amacıyla, işlemler öncesi ve sonrasında örnekler üzerinde gerçekleştirilen XRD analizlerinden elde edilen kırınım desenleri incelenmiştir (Şekil 4.1-Şekil 4.4).



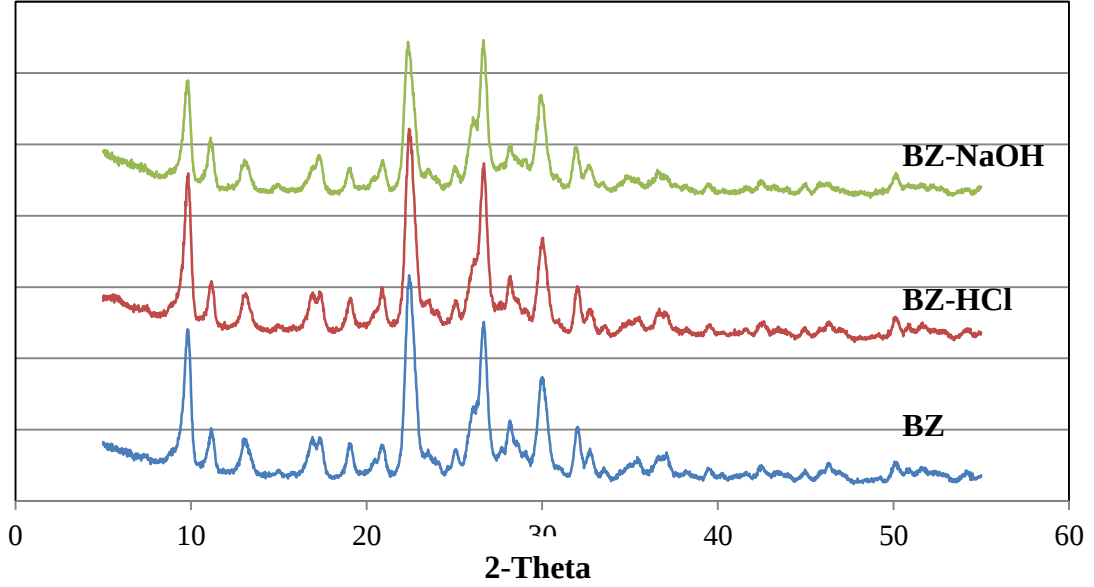
Şekil 4.1. Gördes zeolitinin ısıtılma işlemi öncesi ve sonrasındaki XRD kırınım desenleri



Şekil 4.2. Gördes zeolitinin kimyasal işlem öncesi ve sonrasındaki XRD kırınım desenleri



Şekil 4.3. Bigadiç zeolitinin ısıt işlem öncesi ve sonrasındaki XRD kırınım desenleri



Şekil 4.4. Bigadiç zeolitinin kimyasal işlem öncesi ve sonrasındaki XRD kırınım desenleri

Şekil 4.1’de görüldüğü gibi, Gördes zeolitinin XRD deseninde klinoptilolit kristaline ait piklerin uygulanan tüm sıcaklık değerlerinde korunduğu, ancak piklerin yoğunluğunun (pik uzunluğunun) ısıtma işlem sıcaklığı arttıkça azaldığı gözlenmektedir. Bu durumda 600 °C’ye kadar uygulanan ısıtma işleminin zeolitin kristal yapısının bütünlüğünü bozmamakla birlikte, kristal yapıyı az miktarda zayıflatmış şeklinde yorumlanmıştır.

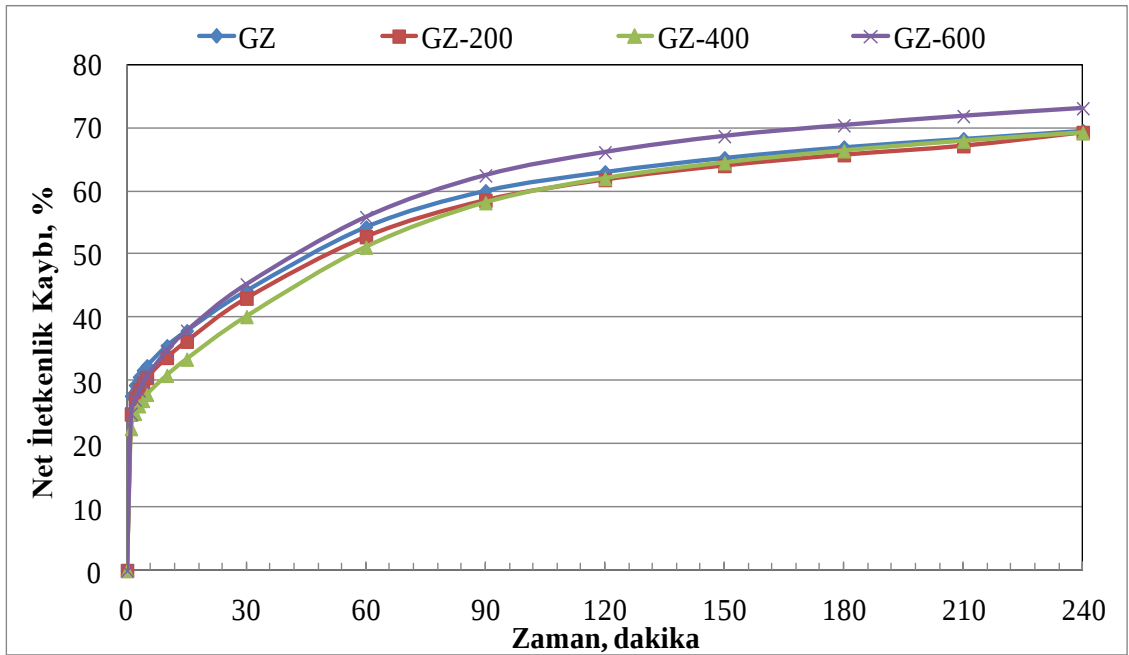
Gördes zeolitinin asit ve baz çözeltileri ile kimyasal işlem görmüş formlarının orijinal haliyle birlikte XRD desenlerinin gösterildiği Şekil 4.2’de, zeolitin orijinal halinde yer alan bazı küçük piklerin asit veya baz ile muamele sonucunda ortadan kaybolduğu, ancak genel olarak kimyasal işlemlerin de zeolitin kristal yapısında büyük değişikliklere yol açmadığı görülmektedir.

Farklı sıcaklıklarda uygulanan ısıtma işlemlerin, Bigadiç zeolitinin XRD deseninde yaptığı değişikliklerin görüldüğü Şekil 4.3’de, 400 °C’ye kadar ısıtma işleminin kristal yapıda önemli bir değişikliğe sebep olmadığı, ancak 600 °C’de uygulanan ısıtma işlem sonrasında zeolitik yapıyı gösteren klinoptilolit piklerinin neredeyse tamamen kaybolduğu, görünen başlıca pik olarak zeolitik tüf içerisinde yer alan kuvars kristalinin kaldığı gözlenmektedir. Sonuç olarak 600 °C’de ısıtma işlem sonrasında kristal yapının büyük ölçüde bozularak, malzemenin amorflaşmaya başladığı şeklinde yorumlanmıştır.

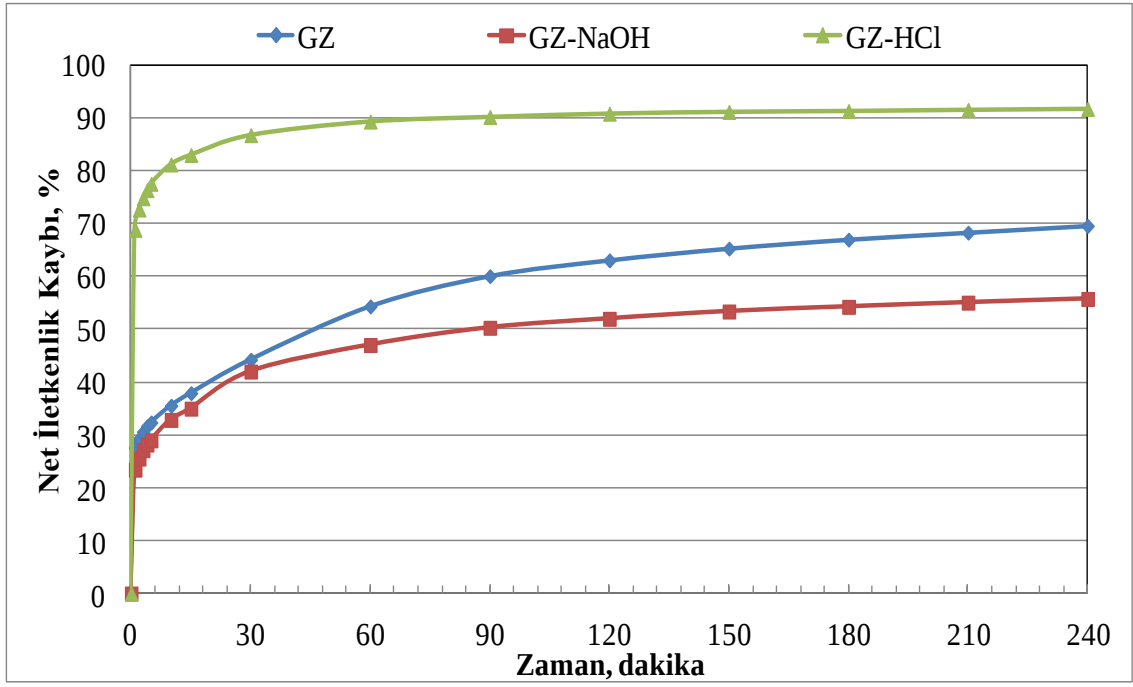
Kimyasal işlemlerin Bigadiç zeolitinin XRD desenleri üzerindeki etkisinin görüldüğü Şekil 4.4’de, Gördes zeolitine benzer şekilde kimyasal işlemin kristal yapıyı önemli ölçüde etkilemediği tespit edilmiştir.

4.3 Isıl ve Kimyasal İşlemlerin Doğal Zeolitlerin Puzolanik Aktivitesi Üzerindeki Etkileri

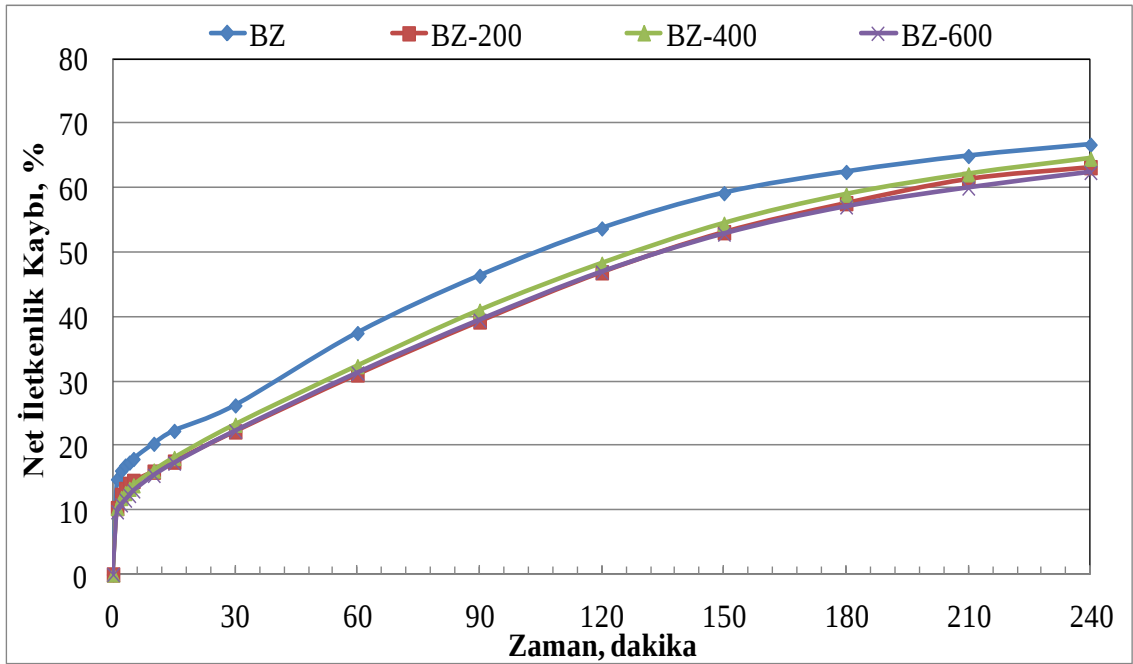
Çalışma kapsamında doğal zeolitlerin ön işlemler öncesi ve sonrasındaki puzolanik aktivitesi Bölüm 3.2.4’de açıklanan yöntem ile değerlendirilmiştir. Ön işlemler öncesi ve sonrasında zeolit örneklerinin elektriksel iletkenlik yöntemiyle ölçülmüş puzolanik aktivitelerini gösteren, net iletkenlik kaybı-zaman grafikleri Şekil 4.5- Şekil 4.8’de verilmiştir.



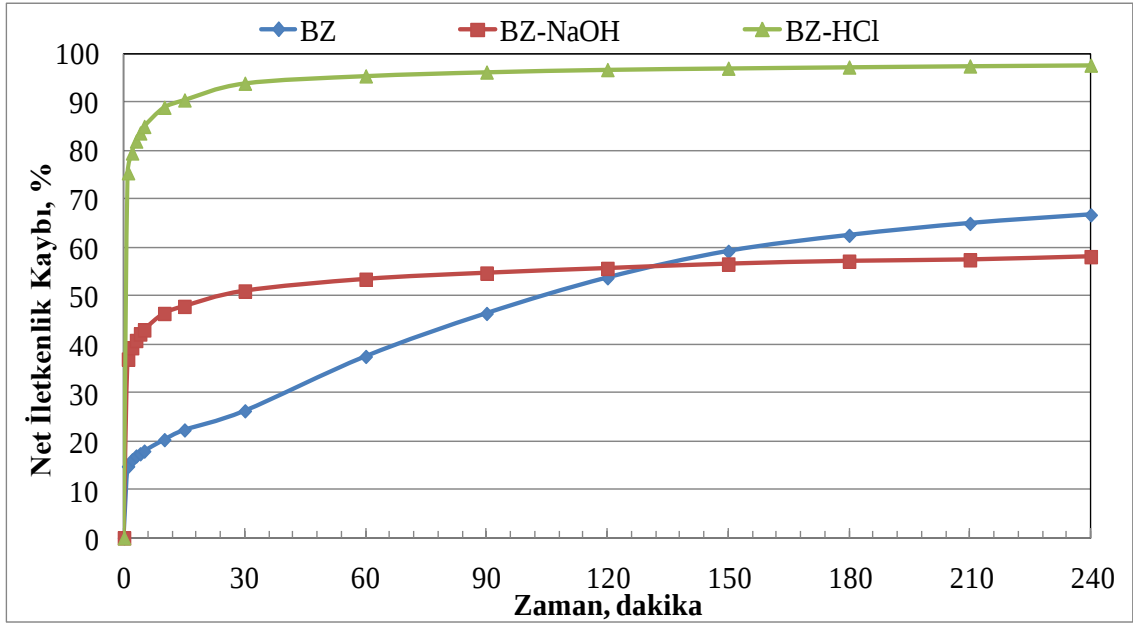
Şekil 4.5. Gördes zeolitinin ısıtılma öncesi ve sonrasındaki puzolanik aktivitesi



Şekil 4.6. Gördes zeolitinin kimyasal işlem öncesi ve sonrasındaki puzolanik aktivitesi



Şekil 4.7. Bigadiç zeolitinin ısıtılma işlem öncesi ve sonrasındaki puzolanik aktivitesi



Şekil 4.8. Bigadiç zeolitinin kimyasal işlem öncesi ve sonrasındaki puzolanik aktivitesi

Şekil 4.5 ve Şekil 4.7'den görüldüğü gibi 200 °C ve 400 °C'de gerçekleştirilen ısıt işlemler, zeolitik malzemelerin puzolanik aktivitesini (kireç bağlama kapasitesini) hissedilir ölçüde arttırmazken, 600 °C'de uygulanan ısıt işlemler her iki zeolit örneğinin de kireç bağlama kapasitesini belirgin düzeyde arttırmıştır. 600 °C'de uygulanan ısıt işlemlerin zeolitik malzemelerin yüzey alanını bir miktar düşürmüş olmasına rağmen (Çizelge 4.2) kireç bağlama kapasitesini belirgin ölçüde artırmış olması, 600 °C'de uygulanan ısıt işlemlerin zeolitlerin XRD kırınım desenlerine yansıyacak şekilde kristal yapıda meydana getirdiği kısmi (Gördes zeoliti için) veya tam (Bigadiç zeoliti için) bozunmadan kaynaklandığı düşünülmektedir.

Asit ve baz çözeltileri ile gerçekleştirilen kimyasal ön işlemlerin doğal zeolitlerin kireç bağlama kapasiteleri üzerindeki etkisine bakıldığında ise (Şekil 4.6 ve Şekil 4.8) ısıt işlemlerin etkisine kıyasla çok daha belirgin değişikliklere sebep olduğu açıkça görülmektedir. NaOH çözeltisi ile yapılan ön işlem, Gördes zeolitinin kireç bağlama kapasitesini belirgin şekilde düşürürken, HCl çözeltisi ile yapılan ön işlem büyük ölçüde artırmıştır (Şekil 4.6). Bigadiç zeolitinde ise HCl çözeltisi için durum tamamen Gördes zeolitine benzerlik göstermekle birlikte, NaOH çözeltisi için biraz farklıdır. NaOH çözeltisi ile ön işlem, Bigadiç zeolitinin deneyin ilk 120 dakikalık bölümünde

kireç bağlama kapasitesini artırsa da deneyin tamamlandığı 240. dakika itibariyle iletkenlik kaybı orijinal numuneden düşük kalmıştır.

Kimyasal işlemler sonucunda doğal zeolitlerin puzolanik aktivitelerindeki değişim ile yüzey alanlarındaki değişimler birlikte değerlendirildiğinde, bu iki özellik arasında muhtemel bir ilişki göze çarpmaktadır. HCl çözeltisi ile muamele sonucunda her iki zeolitik malzemenin de yüzey alanları büyük oranda artmış ve bu artış doğal olarak kireç bağlama kapasitelerini de önemli ölçüde artırmıştır. NaOH çözeltisi ile muamele durumu için ise Gördes zeolitinin yüzey alanında meydana gelen büyük düşüşün, bu malzemenin kireç bağlama kapasitesini de belirgin şekilde düşürdüğü görülmektedir. NaOH çözeltisi Bigadiç zeolitinin yüzey alanını artırdığından bu durumun kireç bağlama kapasitesini deneyin ilk saatlerinde belirgin ölçüde artırdığı, ancak deney sonucu esas alındığında artan yüzey alanına rağmen kireç bağlama kapasitesinin orijinal numunenin altında kaldığı görülmüştür. Artan yüzey alanına rağmen orijinal numuneye göre düşük kalan kireç bağlama kapasitesi, Bigadiç zeolitinin NaOH ile muamelesi sonucunda SiO₂ içeriğinde meydana gelen azalmanın doğurduğu puzolanik reaktivite kaybı ile ilişkilendirilmiştir.

4.4 Isıl ve Kimyasal İşlemlerin Doğal Zeolitli Çimento Harçlarının Su ihtiyaçları ve Basınç Dayanımı Üzerindeki Etkileri

Harç karışımlarının basınç dayanımı deneyleri ısıtma işlem görmemiş doğal zeolitler, kimyasal işlem görmüş doğal zeolitler ve ısıtma işlem görmüş örneklerden en yüksek kireç bağlama kapasitesini göstermiş olan 600 °C’de ısıtma işlem görmüş doğal zeolitler için gerçekleştirilmiştir. Harç karışımlarında 500 gram toplam bağlayıcı, 1375 gram standart kum ve zeolitli karışımları kontrol numunesinin yayılma değerine getirecek kadar su kullanılmıştır. Kontrol numunesi ilgili ASTM standardında öngörüldüğü gibi 0.485 su/çimento oranına sahip olacak şekilde hazırlanmıştır. Test edilen harç karışımlarının içerikleri ve yayılma değerleri Çizelge 4.3’de, basınç dayanımları ve dayanım aktivite indeksleri ise Çizelge 4.4’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.3. Harç karışımlarının içerikleri ve yayılma değerleri

No	Numune	PC, gram	Zeolit, gram	Su, ml	Yayılma, cm	su/bağlayıcı
1	Kontrol	500	-	242	16,0	0,485
2	GZ	400	100	290	16,2	0,580
3	GZ-HCl			290	15,9	0,580
4	GZ-NaOH			274	16,5	0,548
5	GZ-200			274	16,5	0,548
6	GZ-400			266	16,3	0,532
7	GZ-600			272	16,4	0,544
8	BZ			265	16,5	0,530
9	BZ-HCl			265	16,2	0,530
10	BZ-NaOH			265	16,5	0,530
11	BZ-200			255	16,4	0,510
12	BZ-400			265	16,0	0,530
13	BZ-600			258	16,3	0,516

Çizelge 4.4. Harç karışımlarının basınç dayanımları ve aktivite indeksleri

No	Numune	Basınç Dayanımı, MPa		Aktivite İndeksi, %	
		7-gün	28-gün	7-gün	28-gün
1	Kontrol	38,2	48,3	100	100
2	GZ	27,0	40,2	70,6	83,2
3	GZ-HCl	27,7	40,1	72,5	83,0
4	GZ-NaOH	27,9	38,5	73,0	79,7
5	GZ-200	27,2	37,9	71,3	78,6
6	GZ-400	28,3	45,2	74,0	93,6
7	GZ-600	30,8	42,4	80,6	87,8
8	BZ	31,3	46,7	81,9	96,7
9	BZ-HCl	32,6	46,9	85,3	97,1
10	BZ-NaOH	32,8	40,4	85,9	83,6
11	BZ-200	29,2	52,2	76,6	108,2
12	BZ-400	33,9	49,8	88,9	103,2
13	BZ-600	35,2	54,4	92,1	112,6

Çizelge 4.3'den görüldüğü gibi kimyasal ön işlemler Bigadiç zeolitinin su ihtiyacını etkilemezken, NaOH ile yapılan ön işlem Gördes zeolitinin su ihtiyacını bir miktar azaltmıştır. Gördes zeolitinde ise ısıtma işlem uygulamalarının su ihtiyacını azalttığı görülmüştür. Isıtma işlem ve kimyasal işlem görmüş Gördes zeolitleri içerisindeki en düşük su ihtiyacı 400 °C' de ısıtma işlem görmüş Gördes zeolitinde tespit edilmiştir. Aynı durum Bigadiç zeolitinde de görülmüştür. 600 °C' de yapılan ısıtma işlem ise her iki zeolit de su ihtiyacını düşürmüştür. Ön işlem görmüş doğal zeolitlerin basınç dayanımı performanslarına bakıldığında (Çizelge 4.4) genel olarak tüm ön işlemlerin her iki zeolit de dayanım aktivite indekslerini artırdığı görülmektedir. Gördes zeolitinde 200 °C' de 7 günlük basınç dayanımı ve dayanım aktivite indeksi birbirine oldukça yakinken, 28 günlük basınç dayanımı ve dayanım aktivite indeksinin düştüğü tespit edilmiştir. Gördes zeolitini 400 °C'de ısıtma işlemi tabi tuttuğumuzda ise ısıtma işlem görmemiş Gördes zeolitine oranla 7 günlük ve 28 günlük hem basınç dayanımı hem de dayanım aktivite indeksinin yüksek olduğu görülmektedir. Bigadiç zeolitini ise 200 °C'de ısıtma işlemi tabi tuttuğumuzda ısıtma işlem görmemiş Bigadiç zeolitine göre 7 günlük basınç dayanımı ve dayanım aktivite indeksindeki düşme göze çarparken, 28 günlük basınç dayanımı ve dayanım aktivite indeksi oldukça yüksektir. 600 °C' de yapılan ısıtma işlemlerin her iki zeolit de dayanım aktivitesini belirgin ölçüde artırdığı, Gördes zeolitinin 7 günlük dayanım aktivite indeksini % 70,6'dan % 80,6'ya, Bigadiç zeolitinin indeksini ise 28 günlük dayanım aktivite indeksini % 96,7'den % 112,6'ya yükselttiği tespit edilmiştir.

Isıtma işlem sonucunda özellikle Bigadiç zeolitinin dayanım aktivite indeksinde oluşan önemli artışın, XRD analizleri ile gözlenen kristal yapı bozulmasından kaynaklanması muhtemel görülmektedir. Pozolanik aktivite testlerinde oldukça yüksek kireç bağlama kapasitesi sergilemiş olan HCl ile ön işleme tabi tutulmuş zeolitlerin, ısıtma işlem görmüş olanlardan daha düşük dayanım aktivite indeksi göstermelerinin, daha fazla kireç ile reaksiyona girmelerine rağmen bu reaksiyonlar sonucunda oluşturdıkları ürünlerin özellikleri (gözeneklilik, mekanik dayanım vb.) ile ilintili olabileceği düşünülebilir. Ancak bu durumun açıklığa kavuşması için serleşmiş çimento hamurları üzerinde mikro yapı çalışmaları gerçekleştirilmesi gerekecektir.

4.5. Sertleşmiş Çimento Hamurlarının Ca(OH)_2 İçerikleri

Sertleşmiş çimento hamurlarının Ca(OH)_2 içeriklerini tespit etmek amacıyla sadece portland çimentosu içeren (PC), % 20 oranında orijinal Bigadiç zeoliti içeren (PC-BZ), % 20 oranında BZ200 içeren (PC-BZ200) ve % 20 oranında BZ600 (PC-BZ600) içeren hamurlar termo-gravimetrik analize tabi tutulmuştur. Çimento hamurlarının 7 ve 28 günlük yaşları için tespit edilen Ca(OH)_2 içerikleri Çizelge 4.5’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.5. Sertleşmiş çimento hamurlarının TGA ile tespit edilmiş Ca(OH)_2 içerikleri (kızdırılmış numune ağırlığı bazında)(Bakınız EK-A)

Çimento	% Ca(OH)_2		% Ca(OH)_2 Portland çimentosu miktarına göre normalize edilmiş	
	7-gün	28-gün	7-gün	28-gün
PC	19,8	24,8	19,8	24,8
PC-BZ	15,9	16,7	19,9	20,9
PC-BZ200	16,1	17,8	20,1	22,3
PC-BZ600	15,6	17,8	19,5	22,3

Portland çimentosu belirli miktarda puzolanik katkı malzemesi ile yer değiştirildiğinde, bir yandan bağlayıcı sistemdeki portland çimentosu miktarının azalmasından dolayı Ca(OH)_2 üretimi azalmakta, diğer yandan belirli bir süre sonra başlayan puzolanik reaksiyon ile Ca(OH)_2 tüketimi oluşmaktadır. Bundan dolayı çimento hamurlarında mineral katkı ikamesiyle oluşan puzolanik reaksiyonu, daha kolay izleyebilmek amacıyla, Ca(OH)_2 miktarı bağlayıcı sistemdeki Portland çimentosu oranına (yani Ca(OH)_2 üreten kısma) normalize edilmiş ve normalize edilen değerlerde Çizelge 4.5’de verilmişti (Zeolit içeren çimentodaki portland çimentosu oranı % 20 olduğundan, Ca(OH)_2 miktarı 0,8’e bölünmüştür).

Çizelge 4.5’de görüldüğü gibi ısı işlem görmüş veya görmemiş zeolit içeren çimento hamurlarının portland çimentosu hamurundan daha düşük miktarda Ca(OH)_2 içerdikleri gözlenmektedir. Bu durum hem bağlayıcıdaki portland çimentosu miktarının azalmasına bağlı olarak hidrasyon sonucunda oluşan Ca(OH)_2 üretiminin azalmasından, hem de

puzolanik reaksiyon tarafından belirli miktarda Ca(OH)_2 'nin tüketilmesinden kaynaklanmaktadır.

Doğal zeolitlerin katkılı çimento içerisinde, portland çimentosu hidratasyonu sonucunda ortaya çıkan Ca(OH)_2 'i tüketerek gösterdikleri puzolanik aktiviteyi değerlendirmek için, çimento hamurlarındaki Ca(OH)_2 miktarı yerine, çimento içeriğine göre normalize edilmiş Ca(OH)_2 değerlerini kullanmak daha doğru olacaktır. Çizelge 4.5'de gösterilen normalize edilmiş değerler incelendiğinde, Ca(OH)_2 üretim ve tüketim durumu daha kolay değerlendirilebilmektedir. 7 günlük değerlere bakıldığında, uygulanan ön ısıt işlemlerden bağımsız olarak bu yaşta, zeolit içeren hamurların Ca(OH)_2 içeriğinin kontrol numunesine benzer olduğu, dolayısıyla henüz Ca(OH)_2 tüketiminin başlamadığı gözlenmektedir. 28 günlük kür süresinde ise, zeolitli hamurların hepsinde normalize edilmiş Ca(OH)_2 içeriği değerleri kontrol hamurunun belirgin ölçüde altında olup, bu sürede gerçekleşen puzolanik reaksiyona işaret etmektedir. Çalışmanın asıl amacını teşkil eden, ısıt ön işlemlerin doğal zeolitin kireç tüketim yeteneğini üzerindeki etkisiyle ilgili olarak, 200°C ve 600°C 'de ısıt ön işlem uygulanmış zeolit içeren hamurların Ca(OH)_2 içeriğinin, birbirlerine benzer ancak orijinal zeolit içeren hamurdan bir miktar yüksek olduğu gözlenmektedir. Bu sonuç ısıt işlemlerin doğal zeolitin kireç reaktivitesini olumsuz yönde etkilemiş olduğunu göstermektedir ve bu durum Şekil 4.7'de gösterilen kireç reaktivitesi deney sonuçları ile uyusmaktadır.

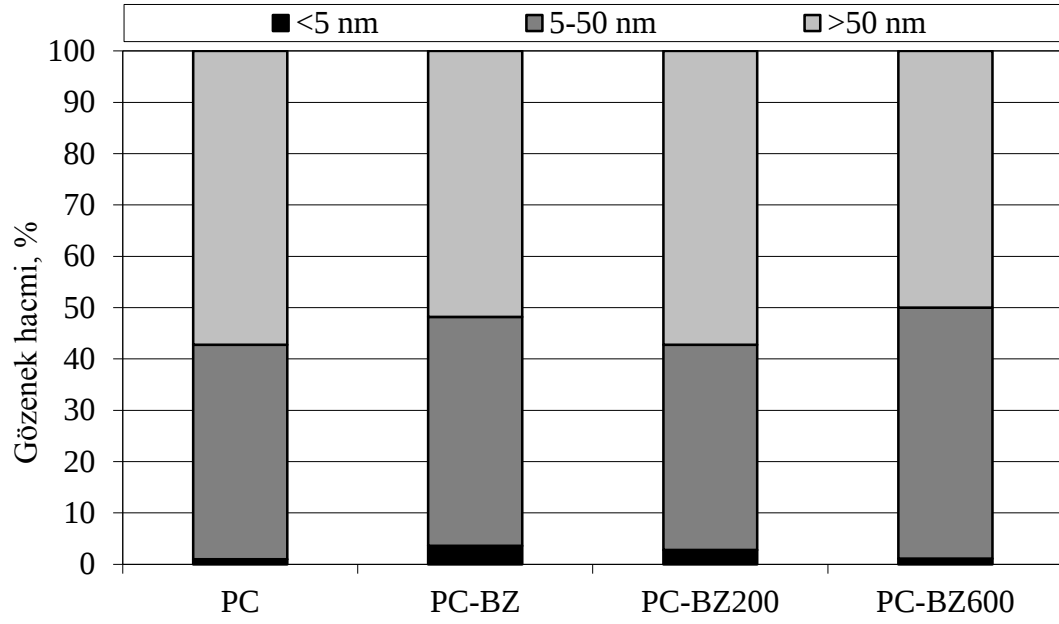
4.6. Sertleşmiş Çimento Hamurlarının Gözenek Boyut Dağılımları

% 20 oranında doğal ve ısıt işlem görmüş zeolitler içeren çimento hamurları ile kontrol çimentosu hamurunun cıva porozimetresi ile 7 günlük ve 28 günlük yaşlar için tespit edilen gözenek boyut dağılımları Şekil 4.9'da gösterilmiştir.

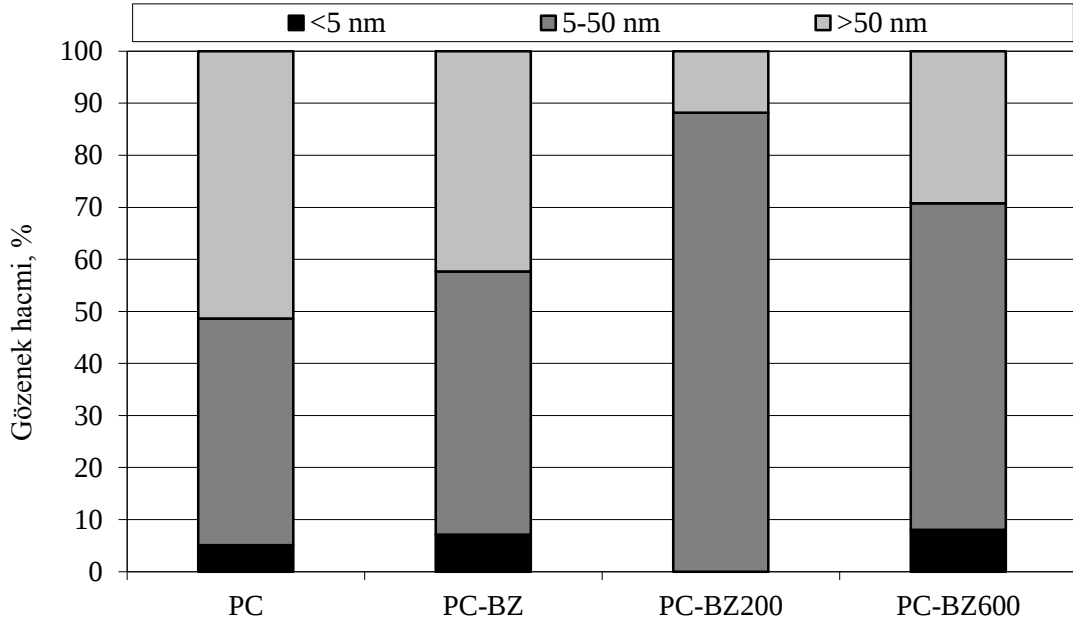
Gözenek boyut dağılımı ile ilgili veriler değerlendirilmeden önce, sertleşmiş çimento hamurlarında geçirgenlik ve basınç dayanımı gibi özelliklerin çimento hamurunun sadece toplam gözenekliliğiyle değil, daha çok gözenek boyut dağılımıyla ilgili olduğu gerçeği unutulmamalıdır. Şekil 4.9a'da görüldüğü gibi 7 günlük hidratasyon süresinde, normal portland çimentosu hamuru ile ısıt işlem görmüş ve görmemiş zeolit içeren hamurların gözenek boyut dağılımları arasında çok büyük farklılıklar gözlenmemiştir. Bu durum puzolanik aktivitenin 7. güne kadar kayda değer bir etkinlikte

gerçekleşmediği, çimento hamurlarının gözenek boyut dağılımlarında önemli bir değişikliğe sebep olmadığını ve ısı ön işlemlerin de bu durumu büyük ölçüde etkilemediğini göstermektedir. Gözenek boyut dağılımı değerleri, Çizelge 4.4’de verilen çimento harçlarının basınç dayanımı değerleri ile birlikte düşünüldüğünde, diğerlerinden daha düşük basınç dayanımı göstermiş olan BZ200 içeren harcın, diğer zeolitli harçlara göre daha fazla oranda büyük gözenekler (>50 nm) içerdiği, dolayısıyla basınç dayanımı değeriyle paralellik oluşturduğu şeklinde değerlendirilmektedir. Ancak PC-BZ ve PC-BZ600 harmanlarının birlerine oldukça benzer gözenek boyut dağılımı sergilemiş olmalarına rağmen, PC-BZ600’ün daha yüksek 7 günlük harç basınç dayanımı sergilemesinin altında yatan neden henüz açıklanamamaktadır.

Sertleşmiş çimento hamurlarının Şekil 4.9b’de görülen 28 günlük gözenek boyut dağılımlarına bakıldığında, ısı işlem görmüş zeolit içeren hamurların, özellikle de 200 °C’de ısı işlem için orijinal zeolit içeren hamurdan oldukça farklı gözenek boyut dağılımı sergilediği görülmektedir. Isı işlem görmüş zeolit içeren hamurlarda dayanımı ve geçirimsizliği olumsuz yönde etkilediği bilinen 50 nm’den büyük gözeneklerin miktarının azaldığı, buna karşın 50 nm’den küçük gözeneklerin miktarının ise arttığı gözlenmiştir. Bu durum ısı işlem görmüş zeolitlerin 28 günlük çimento harçlarında daha yüksek basınç dayanımı performansı sergilemelerini kısmen de olsa izah etmektedir.



a) 7 günlük



b) 28 günlük

Şekil 4.9. Sertleşmiş çimento hamurlarının civa porozimetresi ile tespit edilmiş a) 7 günlük ve b) 28 günlük gözenek boyut dağılımları (Bakınız EK-B)

BÖLÜM V

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çalışma kapsamında gerçekleştirilen deneysel bulgular ışığında elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır;

- 1) Asit ve baz çözeltileri ile gerçekleştirilen ön işlemler doğal zeolitlerin kimyasal kompozisyonlarında çeşitli değişikliklere yol açmış, asit muamelesi özellikle Bigadiç zeolitinde önemli ölçüde dealüminasyona sebep olmuştur.
- 2) Isıl ve kimyasal ön işlemlerin doğal zeolitlerin özgül yüzey alanı ve kristal yapılarında değişikliklere yol açabildiği ve bunların doğal zeolitlerin puzolanik aktivitesini de etkileyebildiği tespit edilmiştir. 600 °C’ de uygulanan ısıl işlem Bigadiç zeolitinin kristal yapısını önemli ölçüde bozmuş ve XRD deseninde klinoptilolit piklerinin ortadan kaybolmasına yol açmıştır.
- 3) HCl ile yapılan asidik ön işlemin doğal zeolitlerin kireç bağlama kapasitesini büyük oranda artırdığı ancak NaOH ile yapılan bazik ön işlemin ise kireç reaksiyonunu azalttığı tespit edilmiştir.
- 4) Isıl işlemler doğal zeolitlerin kireç bağlama kapasitesini önemli ölçüde etkilememiş veya az miktarda artırmıştır.
- 5) 600 °C’ de uygulanan ısıl işlemin her iki doğal zeolitinde de dayanım aktivitesini belirgin ölçüde artırdığı, özellikle kristal yapı bozunmasına bağlı olarak Bigadiç zeolitinde 28. Günlük dayanım aktivite indeksini % 112,6’ya kadar yükselttiği tespit edilmiştir.
- 6) 200 °C’ de ısıl işlem görmüş Bigadiç zeoliti içeren katkılı çimento hamurunun, portland çimentosuna kıyasla 28 günlük gözenek boyut dağılımının küçülmesini sağlayarak çimento hamurlarının geçirimsizlik ve mekanik özelliğini olumlu yönde etkileyeceği düşünülmektedir.

Yukarıda elde edilen sonuçlara göre çalışmada öngörülen hedeflere büyük ölçüde ulaşıldığı değerlendirilmektedir. Ancak ısıl ve kimyasal işlemlerin doğal zeolitlerin kireç bağlama kapasitelerinde neden olduğu değişiklikler ile dayanım aktivite indeksi arasındaki ilişki kurulabilmesi için sertleşmiş çimento hamurları üzerinde elektron mikroskopuyla mikro yapı görüntülemesi (SEM) yapılması yararlı olacaktır.

KAYNAKLAR

Amicarelli V. ve diğeri, "Pozzolanica dei Prodotti Piroclastici Argillificati" **Rediconti dell'Accademia delle Scienze Fisiche e Matematiche della Società Nazionale di Scienze**, Lettere ed Arti, Napoli, 33(4), 257-82, 1966.

ASTM C 125, Standard Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates, **Annual Book of ASTM Standards**, West Conshohocken, PA, 1994.

ASTM C 311, "Test Methods for Sampling and Testing Fly Ash or Natural Pozzolans for Use as a Mineral Admixture in Portland Cement Concrete", **American Society for Testing and Materials**, 2005.

ASTM C 618, Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in Portland cement Concrete, **Annual Book of ASTM Standards**, West Conshohocken, PA, 1994.

Ataman, G., "Batı Anadolu Zeolit Oluşumları", **Yerbilimleri Dergisi**, 3, 85-94, 1977.

Ataman, G., Gündoğdu N., "Kuzey Orta Anadolu Sedimanter Serilerinde Zeolit Oluşumlarının Araştırılması", **Doğa Bilim Dergisi**, 4, 15-20, 1980.

Barrer, R. M., Zeolites and Clay Minerals as Sorbents and Molecular Sieves, **Academic Press**, London, 1978.

Berkün, S., Nevşehir-Ürgüp-Karain Köyü Civarının Jeoloji Raporu, **MTA**, 1981

Breck, D.W., Synthetic Zeolite: Properties and Applications, Industrial Minerals and Rocks, (Ed: Leford, S.J.), **A.I.M.E. Press**, New York, 1243-1257, 1975.

Cakicioglu-Ozkan, F. and Ulku, S., "The effect of HCL treatment on water vapor adsorption characteristics of clinoptilolite rich natural zeolite", ***Microporous and Mesoporous Materials*** 77, 47-53, 2005.

Chatterjee M.K., Lahiri D., "Pozzolanic Activity in Relation to Specific Surface of Some Artificial Pozzolanas", ***Trans. Indian Ceramic Soc.***, 26, 65-74, 1967.

Costa J, Massozza F., "Natural Pozzolans and Fly Ashes: Analogies and Differences", ***Proceedings of Symposium on Effects of Fly Ash Incorporation in Cement and Concrete***, Materials Research Society, Boston, 1981.

Costa U, Massozza F., "Factors Affecting the Reaction with Lime of Italian Pozzolanas", ***II Cemento***, 71, 131-139, 1974.

Cussino L., Dallatorre R., "Ricerca su Materiali Naturali a Comportamento Pozzolatico", ***II Cemento***, 55(12), 17-21, 1958.

Davidovitz, J., "Ancient and Modern Concretes: What is the Real Difference?:" ***Concrete International***, 9(12), 23-35, 1987.

Drzaj, B., Hocevar, S. and Slokan, M., "Kinetics and Mechanism of Reaction in the Zeolitic Tuff-CaO-H₂O Systems at Increased Temperature", ***Cement and Concrete Research*** 8(6), 711-720, 1978.

Ed. Stephanopoulos, M.F., "News, CO₂ Emission from Cement Manufacture Have Been Underestimated", ***Applied Catalysis B: Environmental***, 13(2), 12-13, 1997.

Ed. Swamy R.N., "Cement Replacement Materials", ***Blackie & Son Ltd.***, Londra, 1986

Erdoğan T. Y., Beton, ***O.D.T.Ü. Yayıncılık***, Ankara, 2007.

Földesova, M vd., "Properties of NaOH-treated Slovak zeolitic tuff and its sorption ability towards some cations", ***Natural Microporous Materials in Enviromental Technology***, 303-318, 1999.

Hewlett, P.C., "Lea's Chemistry of Cement and Concrete", **John Wiley and Sons Inc.**, Fourth Edition, New York, 1998.

Hey, M. H., "Studies on the zeolites", **Mineralogical Magazine**, 22, 422-434, 1930.

Huxtable, D.D., Poole, D.R., "Thermal Energy Storage by the Sulfuric Acid-Water System", **Sharing the Sun Solar Technology in Seventies Joint Conf.** ISES, 8, 178-191, 1976.

İleri, S., "Zeolitler", **Yeryuvarı ve İnsan**, 3(1), 40-45, 1978

Kang, S. J. ve Egashira, K., "Modification of different grades of korean natural zeolites for increasing cation Exchange capacity", **Applied Clay Science**, 12, 131-144, 1997.

Kooyman, H. vd., "Acid dealumination of ZSM-5", **Zeolites**, 18, 50-53, 1997.

Kumbasar, I., Silikat Mineralleri, **İ.T.Ü. Yayını**, İstanbul, 1977.

Lawrence, P., Cyr, M., Ringor, E., "Mineral Admixtures in Mortars Effect of Inert Materials on Short Term Hydration", **Cement and Concrete Research**, 33(12), 1939-1947, 2003.

Lea F.M., "Investigations on Pozzolanas", **Building Research Technical Paper No: 27**, HMSO, Londra, 1981.

Leckebush R., "Türkiye'deki Doğal Puzolanların Çimento Katkı Maddesi Olarak Kullanımı Üzerine İncelemeler", **Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği Yayını**, Ankara, 1984.

Luxan, M.P., Madruga, F., Saavedra, J., "Rapid Evaluation of Pozzolanic Activity of Natural Products by Conductivity Measurement", **Cement and Concrete Research** 19, 63-68, 1989.

Malinowski, R., "Ancient Mortars and Concretes: Aspects of Their Durability," ***History of Technology***, 7, 89-101, 1982.

Malquori G., "Portland-Pozzolana Cement", ***Proceedings of the 4th International Symposium on the Chemistry of Cement***, National Bureau of Standards, Washington, 1960.

Massazza F., "Chemistry of Pozzolan Additions and Mixed Cements", ***Proceedings of 6th International Congress on the Chemistry of Cements***, Moskova, 1974.

Massazza F., Yayınlanmamış Veriler, ***Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği***, 99 (2), 19, 2009.

Massozza M., Costa U., "Factors Determining the Development of Mechanical Strength in Lime-Pozzolana Pastes", ***Proceedings of the 22. Conference on Silica Industry and Silicate Science***, Budapeşte, 1, 537-552, 1977.

Mielenz R.C. ve diğerleri, "Effect of Calcination on Natural Pozzolans", ***Symposium on Use of Pozzolan Materials in Mortars and Concretes ASTM Technical Publication***, 99, 43-92, 1950.

Mortureux B. ve diğerleri, "Comparison of the Reactivity of the Different Pozzolans", ***Proceeding of 7th International Congress on Chemistry of Cements***, Paris., 4, 110-115, 1980.

Mumpton, F.A., Sheppard, A.R., "Natural Zeolites Their Properties, Occurrences and Uses", ***Min. Sci. And Engineering***, 6, 19-34, 1974.

Öter, Ö., Zeolitin asit-baz modifikasyonu ve modifiye zeolitin çevre koruma uygulamaları, Yüksek Lisans Tezi, ***Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, İzmir, s. v, 2002.

Paya, J., Borrachero, M.V., Monzo, J., Peris-Mora, E., Amahjour, F., “Enhanced Conductivity Measurement Techniques for Evaluation of Fly Ash Pozzolanic Activity”, ***Cement and Concrete Research*** 31,41-49, 2001.

Polatoğlu, İ., Chemical behaviour of clinoptilolite rich natural zeolite in aqueous medium, Master of Science Thesis, ***Izmir Institute of Technology***, İzmir, 2005.

Rahhal, V., Talero, R., Early Hydration of Portland Cement with Crystalline Mineral Additions, ***Cement and Concrete Research***, 35(7), 1285-1291, 2005.

Ramachandran, V.S. , Concrete Admixtures Handbook, ***Noyes Publication***, New Jersey, 1995.

Sakızcı, M., Doğal ve modifiye zeolitlerde su buharı adsorpsiyonu, Doktora Tezi, ***Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, Eskişehir, s. 6-7, 2004.

Sersale R., "Genesi e Costituzione delle Tufo Giallo Napoletano", Rendiconti dell' ***Accademia della Scienze Fisiche e Matematiche della Societa Nazionale di Scienze Lettere ed Arti***, Napoli, 25(4), 181-207, 1958.

Sersale R., "Structure and Characterisation of Pozzolanas and of Fly Ashes", ***Proceedings of 7th International Congress on the Chemistry of Cements***, Paris, 1980.

Sheppard, A.R., Zeolites in Sedimentary Rocks, Industrial Minerals and Rock (Ed: Leford, S.J.), ***A.I.M.E. Yayını***, New York, 1975.

Shi, C.J., “An overview on the activation of reactivity of natural pozzolans”, ***Canadian Journal of Civil Engineering***, 28(5), 778-786, 2001.

Smaoui, N., ve diğerleri, “Effects of alkali addition on the mechanical properties and durability of concrete”, ***Cement and Concrete Research***,. 35(2), 203-212, 2005.

Swamy R.N., Mahmud H.B., “Mix Proportions and Strength Characteristics of Concrete Containing 50 % Low-Calcium Fly Ash”, ***Proceeding of the 2nd International***

Congress on Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete, Madrid, 91(1), 413-432, 1986.

Şenatalar, A.E., Çandar, V., ve Kadioğlu, E., “Doğal Zeolitlerin Kullanım Potansiyelleri”, **İ.T.Ü. Dergisi**, 40, 26-34, 1982.

Takameto K. ve diğerleri, "Hydration of Pozzolanic Cements", **Proceeding of 7th International Congress on Chemistry of Cements**, Paris, 1, 1980.

Tavasci B., "Struttura della Pozzolana di Segni", **II Cemento**, 42(1), 1946.

Toprak, R. ve Girgin, İ., “Aktifleştirilmiş Klinoptilolit ile Deri Sanayii Atık Sularından Kromun Giderilmesi”, **Türk J Engin Environ Sci** 24, 343-351, 2000.

TS EN 197-1, Çimento-Bölüm 1:Genel Çimentolar – Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterler, **Türk Standartları Enstitüsü**, Ankara, 2002.

TS EN 450, Betonda Kullanılan Uçucu Kül - Tarifler, Özellikler ve Kalite Kontrolü, **Türk Standartları Enstitüsü**, Ankara, 1988.

Uğurlu A. ve Pınar A., “Doğal Zeolitlerin Atık Su Arıtımında Kullanımı”, **Jeoloji Mühendisliği Dergisi** 28(2), 2004.

Uzal, B., Turanlı, L., Yücel, H., Göncüoğlu, M.C., Çulfaz, A., “Doğal Zeolitlerin İnşaat Endüstrisinde Kullanımı”, **TÜBİTAK Proje No:104M393**, 2007.

Uzal, B., Turanlı, L., Yücel, H., Göncüoğlu, M.C. and Çulfaz, A., “Pozzolanic Activity of Clinoptilolite: A Comparative Study with Silica Fume, Fly Ash and a Non-Zeolitic Natural Pozzolan”, **Cement and Concrete Research** 40, 398-404, 2010.

Uzun, P., Klinoptilolit sentezi ve iyon değişimi, Doktora Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, s. 2, 2009.

Yamamoto, S., Sugiyama, S., Matsuoka, O., Kohmura, K., Honda, T., Banno, Y. and Nozoye, H., “Dissolution of Zeolite in Acidic and Alkaline Aqueous Solutions As Revealed by AFM Imaging”, *J. of Phys. Chem.* 100, 18474-18482, 1996.

Yılın, M. ve Akkoca, D.B., “Bigadiç Klinoptilolitik Tüfün Kimyası, Yüzey Alanı ve Gözeneklilik Özelliklerine Farklı Asitlerin Etkilerinin İncelenmesi”, *Fırat Üniv. Fen ve Müh. Bil. Dergisi*, 20, 175-184, 2008.

Yörükoğulları, E. , Güneş Enerjisinin doğal zeolitte depolanması, Doktora Tezi, *Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, s. 28-37, 1985.

Yörükoğulları, E., Doğal zeolitlerde fiziksel adsorpsiyon uygulamaları, *Anadolu Üniversitesi Yayınları*, Eskişehir, 1997.

EK- A Çimento hamurlarının 7 günlük ve 28 günlük TGA eğrileri

Şekil E.A.1 Portland çimentosu 7 günlük TGA eğrisi

Şekil E.A.2 Portland çimentosu 28 günlük TGA eğrisi

Şekil E.A.3 Portland çimentosu-BZ 7 günlük TGA eğrisi

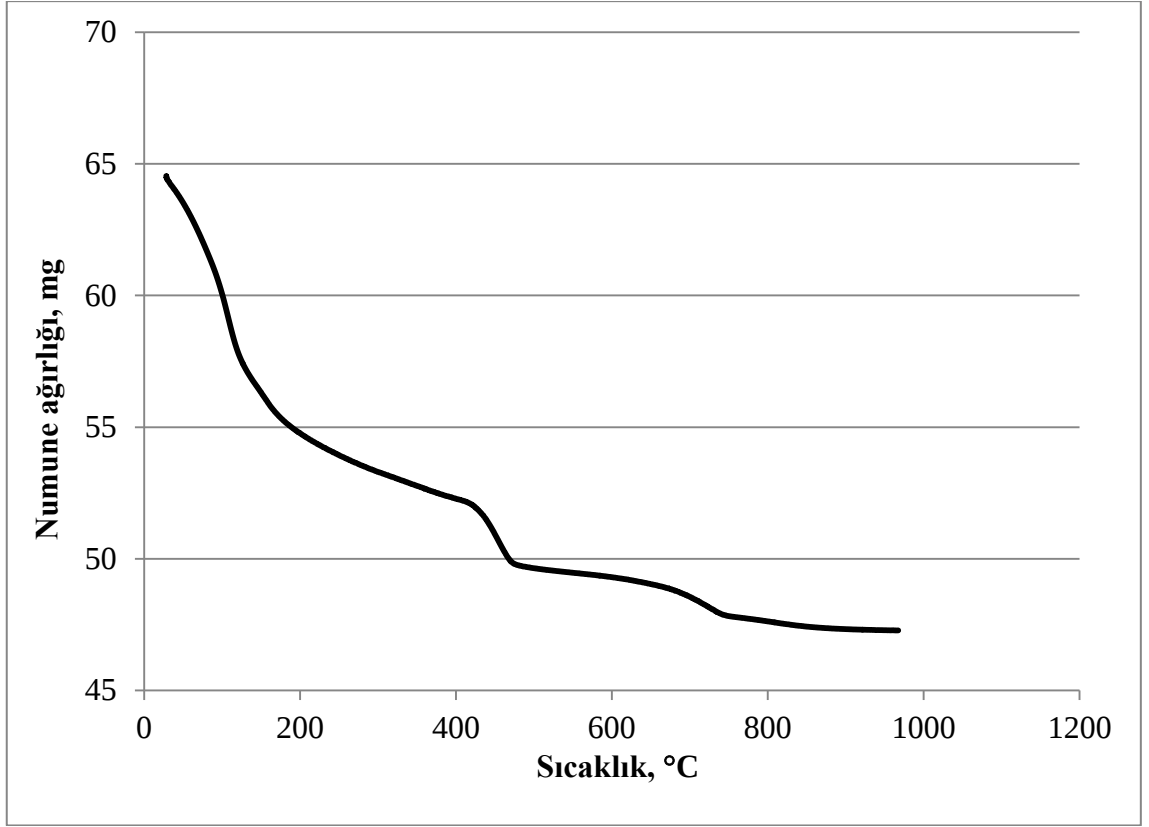
Şekil E.A.4 Portland çimentosu-BZ 28 günlük TGA eğrisi

Şekil E.A.5 Portland çimentosu-BZ200 7 günlük TGA eğrisi

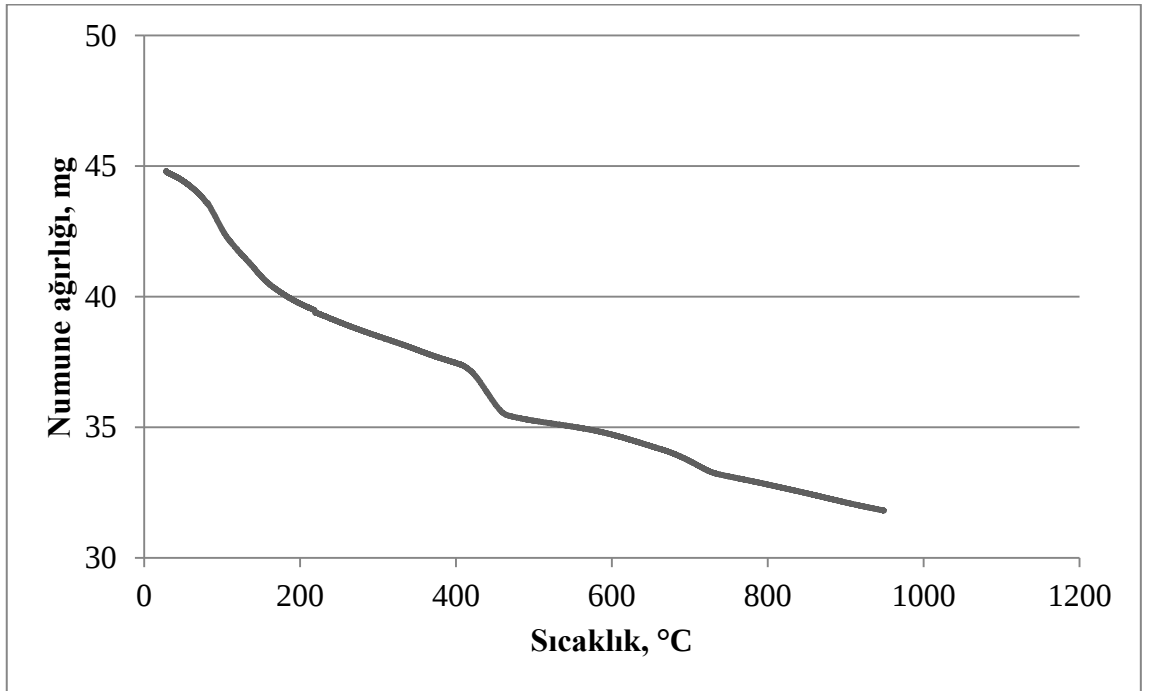
Şekil E.A.6 Portland çimentosu-BZ200 28 günlük TGA eğrisi

Şekil E.A.7 Portland çimentosu-BZ600 7 günlük TGA eğrisi

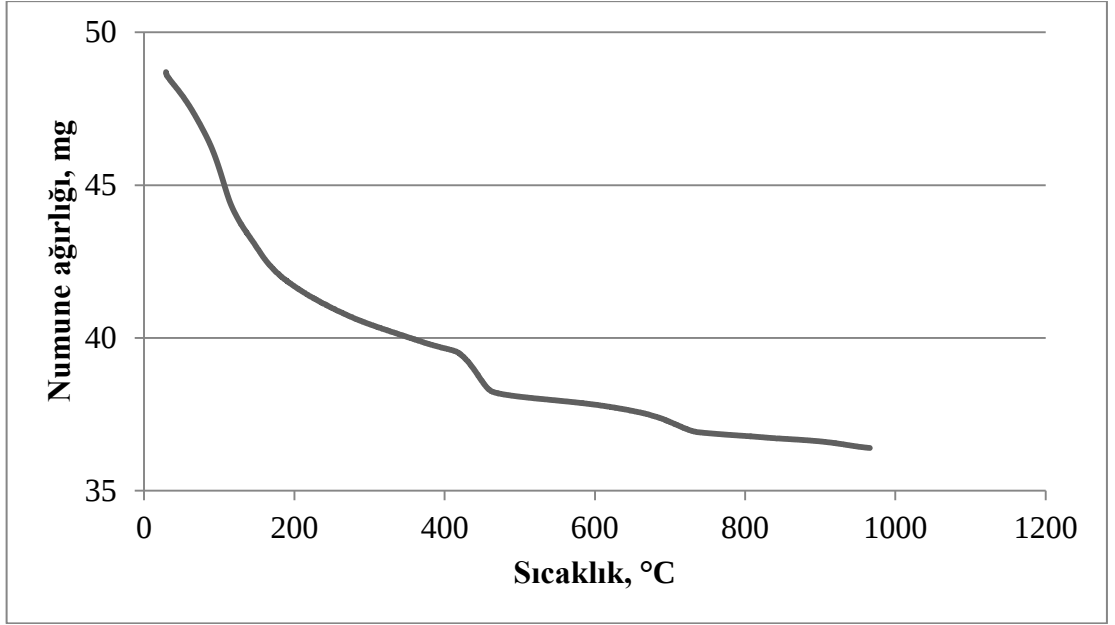
Şekil E.A.8 Portland çimentosu-BZ600 28 günlük TGA eğrisi



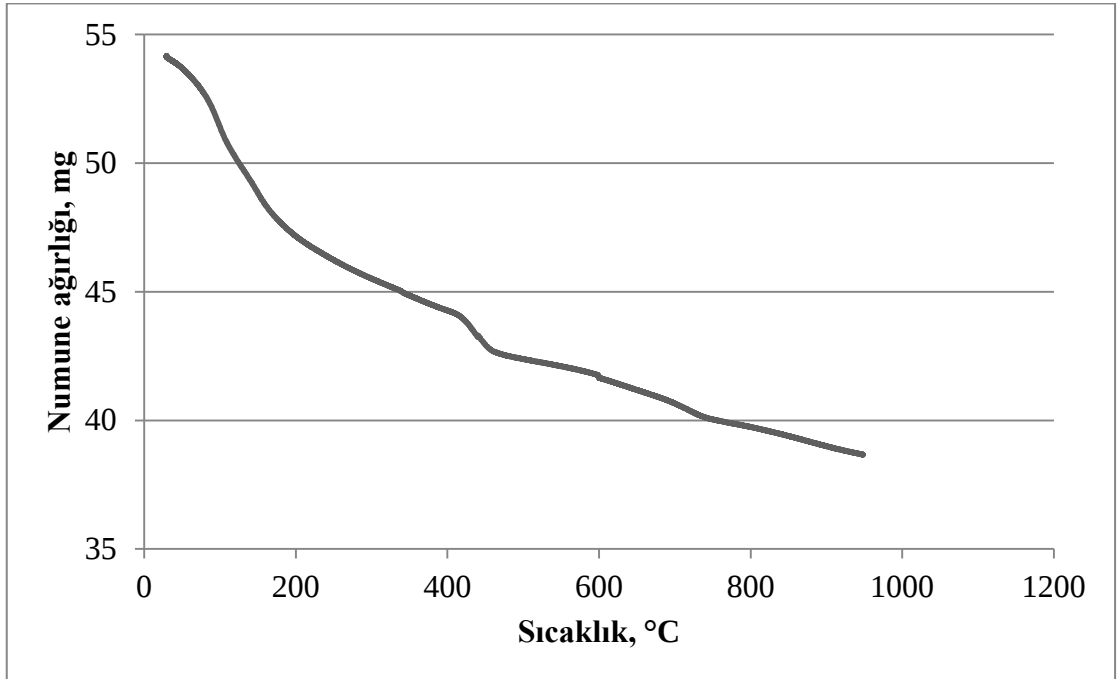
Şekil E.A.1. Portland çimentosu 7 günlük TGA eğrisi



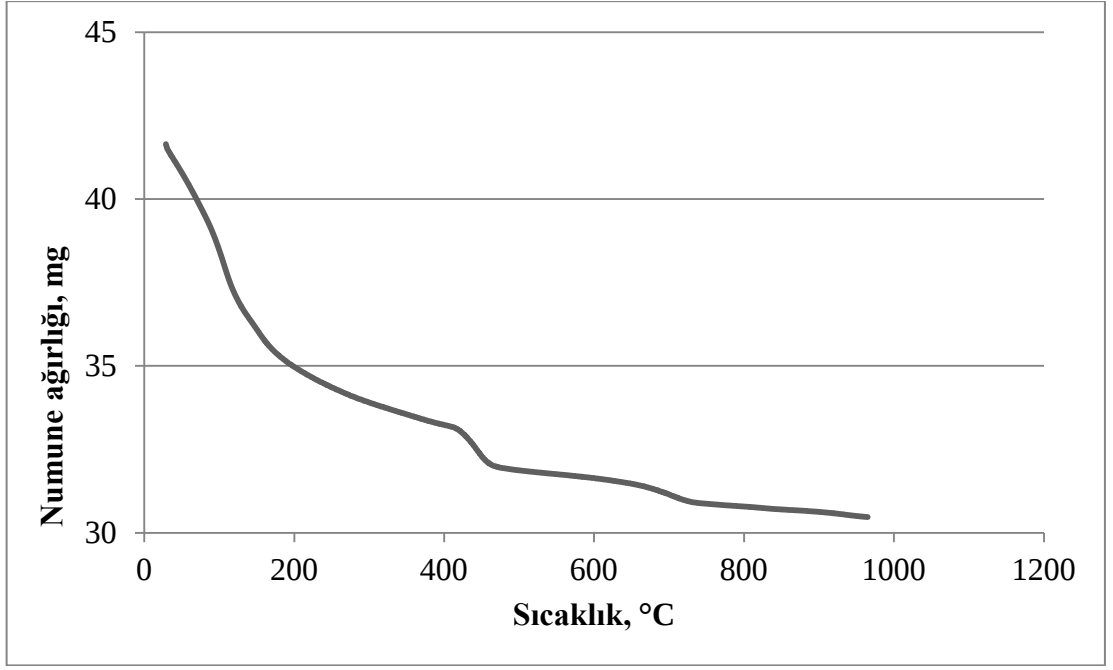
Şekil E.A.2. Portland çimentosu 28 günlük TGA eğrisi



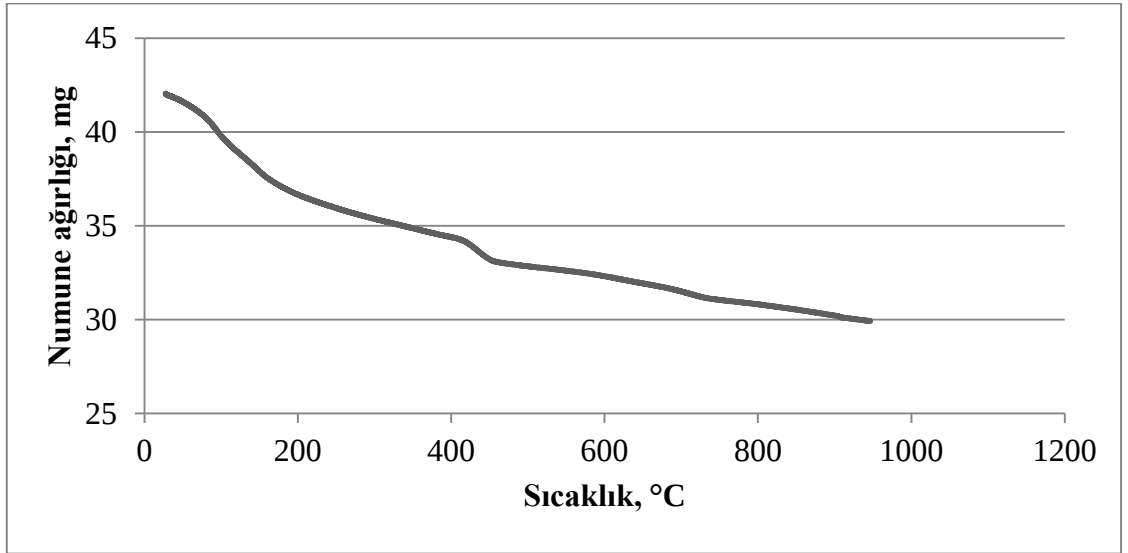
Şekil E.A.3. Portland çimentosu-BZ 7 günlük TGA eğrisi



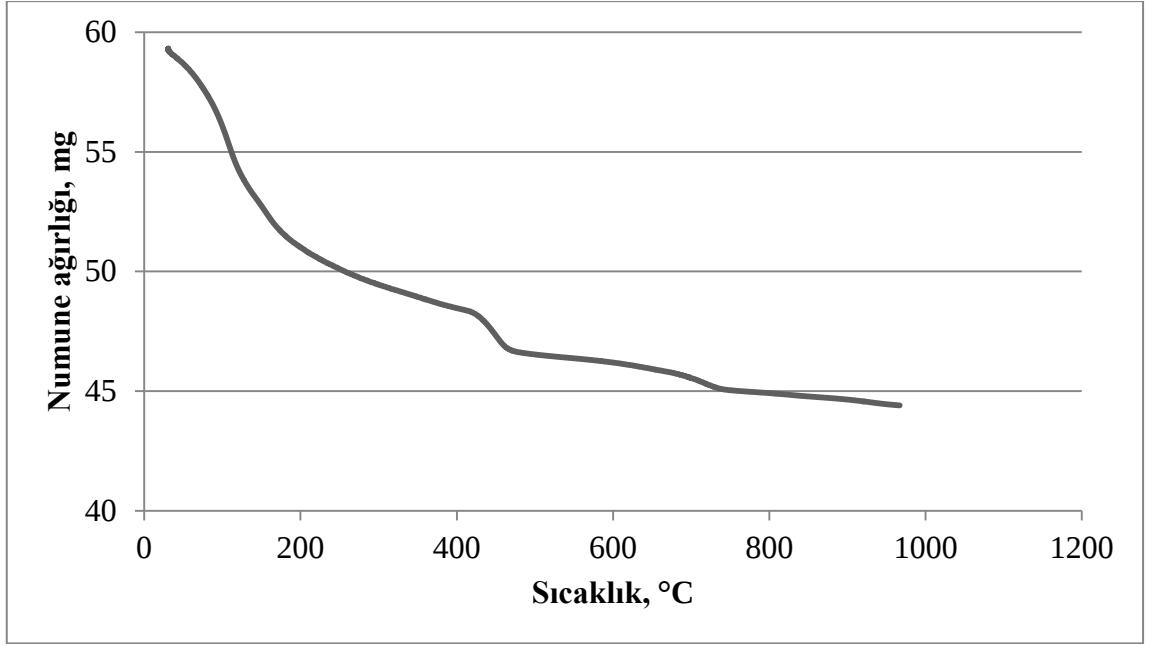
Şekil E.A.4. Portland çimentosu-BZ 28 günlük TGA eğrisi



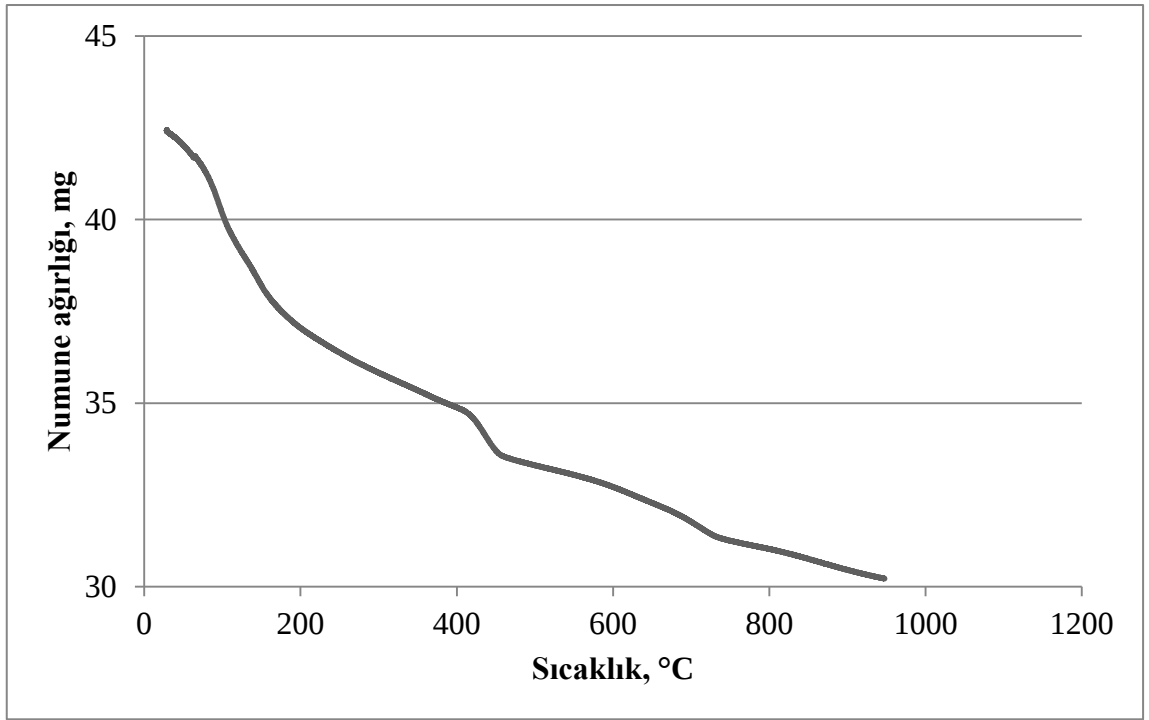
Şekil E.A.5. Portland çimentosu-BZ200 7 günlük TGA eğrisi



Şekil E.A.6. Portland çimentosu-BZ200 28 günlük TGA eğrisi



Şekil E.A.7. Portland çimentosu-BZ600 7 günlük TGA eğrisi



Şekil E.A.8. Portland çimentosu-BZ600 28 günlük TGA eğrisi

EK-B Çimento hamurlarının 7 günlük ve 28 günlük civa porozimetresi verileri

Çizelge E.B.1. Portland çimentosu 7 günlük civa porozimetresi verileri

Çizelge E.B.2. BZ 7 günlük civa porozimetresi verileri

Çizelge E.B.3. BZ200 7 günlük civa porozimetresi verileri

Çizelge E.B.4. BZ600 7 günlük civa porozimetresi verileri

Çizelge E.B.5. Portland çimentosu 28 günlük civa porozimetresi verileri

Çizelge E.B.6. BZ 28 günlük civa porozimetresi verileri

Çizelge E.B.7. BZ200 28 günlük civa porozimetresi verileri

Çizelge E.B.8. BZ600 28 günlük civa porozimetresi verileri

Çizelge E.B.1. Portland çimentosu 7 günlük cıva porozimetresi verileri

Basınç, psi	Gözenek çapı, µm	Cıva hacmi, cc/g	Cıva hacmi, %	Basınç, psi	Gözenek çapı, µm	Cıva hacmi, cc/g	Cıva hacmi, %
1,1	191,300	0	0,0	24,9	8,535	0,005	9,7
1,3	165,100	0,002	3,9	25,6	8,349	0,005	9,7
1,5	142,300	0,0026	5,1	26,1	8,173	0,005	9,7
1,9	114,800	0,003	5,9	26,6	8,006	0,005	9,7
2,3	93,240	0,0033	6,4	27,2	7,848	0,005	9,8
2,7	77,620	0,0035	6,8	27,7	7,705	0,0051	9,8
3,2	67,410	0,0039	7,6	28,2	7,575	0,0051	9,8
3,6	58,950	0,0041	7,9	28,6	7,456	0,0051	9,8
4,1	52,000	0,0042	8,1	29,1	7,343	0,0051	9,8
4,6	46,090	0,0043	8,4	29,5	7,235	0,0051	9,8
5,2	41,310	0,0044	8,5	29,9	7,132	0,0051	9,8
5,7	37,400	0,0045	8,6	30,3	7,033	0,0051	9,8
6,3	34,130	0,0045	8,8	30,7	6,939	0,0051	9,8
6,8	31,390	0,0046	8,9	31,2	6,848	0,0051	9,8
7,4	29,010	0,0046	8,9	31,6	6,761	0,0051	9,8
7,9	26,920	0,0047	9,0	31,9	6,678	0,0051	9,8
8,5	25,190	0,0047	9,1	32,4	6,593	0,0051	9,9
8,9	23,740	0,0047	9,1	32,8	6,508	0,0051	9,9
9,4	22,490	0,0047	9,1	33,2	6,422	0,0051	9,9
9,9	21,360	0,0047	9,2	33,6	6,340	0,0051	9,9
10,5	20,330	0,0048	9,2	34,1	6,262	0,0051	10,0
11,0	19,390	0,0048	9,2	34,5	6,187	0,0052	10,0
11,5	18,520	0,0048	9,2	34,9	6,115	0,0052	10,0
12,0	17,710	0,0048	9,2	35,3	6,046	0,0052	10,0
12,6	16,960	0,0048	9,2	42,1	5,070	0,0053	10,2
13,1	16,270	0,0048	9,2	50,9	4,189	0,0054	10,5
13,6	15,640	0,0048	9,3	60,5	3,523	0,0057	10,9
14,2	15,020	0,0048	9,3	70,9	3,011	0,0058	11,3
14,8	14,420	0,0048	9,3	83,3	2,561	0,0061	11,8
15,4	13,850	0,0048	9,3	98,2	2,173	0,0063	12,2
16,0	13,320	0,0048	9,4	115,3	1,851	0,0066	12,8
16,6	12,830	0,0049	9,4	134,4	1,587	0,0069	13,3
17,2	12,370	0,0049	9,4	157,6	1,353	0,0072	13,9
17,9	11,940	0,0049	9,4	184,1	1,159	0,0075	14,6
18,5	11,550	0,0049	9,5	213,2	1,001	0,0079	15,2
19,1	11,180	0,0049	9,5	238,8	0,893	0,0082	15,8
19,7	10,830	0,0049	9,5	265,2	0,804	0,0084	16,2
20,3	10,510	0,0049	9,5	294,8	0,724	0,0086	16,6
20,9	10,200	0,0049	9,5	326,6	0,653	0,0088	17,1
21,5	9,918	0,0049	9,5	357,9	0,596	0,0091	17,5
22,1	9,651	0,0049	9,5	389,9	0,547	0,0093	17,9
22,7	9,400	0,0049	9,6	424,5	0,503	0,0094	18,3
23,3	9,164	0,005	9,6	460,6	0,463	0,0097	18,7
23,9	8,942	0,005	9,6	496,4	0,430	0,0099	19,2
24,4	8,732	0,005	9,6	533,0	0,400	0,0101	19,6

Çizelge E.B.1. Devam

Basınç, psi	Gözenek çapı, µm	Cıva hacmi, cc/g	Cıva hacmi, %	Basınç, psi	Gözenek çapı, µm	Cıva hacmi, cc/g	Cıva hacmi, %
571,1	0,374	0,0103	20,0	2571,4	0,083	0,0223	43,2
611,4	0,349	0,0106	20,5	2615,7	0,082	0,0225	43,6
653,4	0,327	0,0109	21,0	2662,6	0,080	0,0228	44,2
694,1	0,307	0,0111	21,5	2709,2	0,079	0,0231	44,6
734,1	0,291	0,0114	22,0	2754,5	0,077	0,0233	45,1
775,4	0,275	0,0116	22,5	2800,4	0,076	0,0236	45,6
816,8	0,261	0,0119	22,9	2846,4	0,075	0,0239	46,2
856,6	0,249	0,0121	23,5	2892,9	0,074	0,0242	46,8
896,9	0,238	0,0124	24,0	2938,5	0,073	0,0245	47,3
938,4	0,227	0,0126	24,4	2983,3	0,072	0,0247	47,9
979,4	0,218	0,0129	24,9	3027,0	0,071	0,025	48,4
1021,5	0,209	0,0132	25,5	3071,5	0,070	0,0252	48,8
1062,3	0,201	0,0135	26,0	3115,9	0,069	0,0254	49,2
1101,9	0,194	0,0137	26,6	3163,0	0,067	0,0256	49,5
1140,9	0,187	0,014	27,0	3215,3	0,066	0,0257	49,7
1180,7	0,182	0,0142	27,5	3272,6	0,065	0,0259	50,0
1220,4	0,175	0,0145	28,1	3334,4	0,064	0,026	50,4
1260,4	0,169	0,0148	28,7	3400,9	0,063	0,0262	50,8
1301,2	0,164	0,0151	29,3	3467,0	0,062	0,0265	51,2
1341,0	0,159	0,0154	29,8	3533,6	0,060	0,0268	51,8
1380,5	0,155	0,0157	30,3	3598,9	0,059	0,0271	52,4
1421,1	0,150	0,0159	30,7	3662,3	0,058	0,0274	53,0
1461,1	0,146	0,0161	31,2	3724,1	0,057	0,0277	53,6
1503,5	0,142	0,0163	31,6	3787,8	0,056	0,028	54,1
1548,0	0,138	0,0165	31,9	3849,5	0,055	0,0283	54,7
1596,4	0,134	0,0167	32,2	3912,4	0,055	0,0286	55,3
1647,3	0,130	0,0169	32,6	3974,8	0,054	0,0288	55,8
1700,4	0,126	0,017	33,0	4035,1	0,053	0,0291	56,3
1755,1	0,122	0,0172	33,3	4096,1	0,052	0,0293	56,6
1811,8	0,118	0,0174	33,7	4163,3	0,051	0,0294	56,9
1869,7	0,114	0,0176	34,1	4235,3	0,050	0,0295	57,2
1928,3	0,111	0,0178	34,5	4311,5	0,050	0,0297	57,5
1987,8	0,107	0,0181	35,1	4391,2	0,049	0,03	58,0
2045,9	0,104	0,0184	35,6	4469,3	0,048	0,0302	58,4
2100,5	0,102	0,0188	36,3	4544,3	0,047	0,0304	58,9
2153,0	0,099	0,0192	37,1	4619,8	0,046	0,0307	59,4
2201,4	0,097	0,0196	37,8	4692,9	0,046	0,031	60,0
2246,0	0,095	0,0199	38,6	4765,5	0,045	0,0313	60,5
2288,8	0,093	0,0203	39,2	4836,7	0,044	0,0315	61,0
2330,7	0,092	0,0206	39,9	4905,5	0,044	0,0318	61,6
2370,6	0,090	0,0209	40,5	4968,8	0,043	0,0321	62,1
2410,6	0,088	0,0212	41,1	5030,5	0,042	0,0323	62,5
2450,1	0,087	0,0215	41,7	5091,9	0,042	0,0325	62,8
2488,2	0,086	0,0218	42,2	5152,0	0,041	0,0326	63,0
2528,6	0,084	0,0221	42,7	5223,0	0,041	0,0327	63,2

Çizelge E.B.1. Devam

Basınç, psi	Gözenek çapı, µm	Cıva hacmi, cc/g	Cıva hacmi, %	Basınç, psi	Gözenek çapı, µm	Cıva hacmi, cc/g	Cıva hacmi, %
5374,3	0,040	0,0329	63,4	9458,6	0,023	0,0408	78,9
5456,0	0,039	0,033	63,6	9553,9	0,022	0,0409	79,1
5538,2	0,039	0,0331	63,8	9657,8	0,022	0,0410	79,3
5622,0	0,038	0,0333	64,1	9767,5	0,022	0,0411	79,6
5709,2	0,037	0,0334	64,3	9883,2	0,022	0,0412	79,8
5801,1	0,037	0,0335	64,6	10001,4	0,021	0,0413	79,9
5894,6	0,036	0,0338	64,9	10126,4	0,021	0,0414	80,1
5989,4	0,036	0,034	65,3	10258,2	0,021	0,0415	80,3
6083,7	0,035	0,0342	65,7	10392,5	0,021	0,0416	80,5
6179,4	0,035	0,0345	66,2	10526,4	0,020	0,0417	80,7
6277,2	0,034	0,0347	66,7	10660,7	0,020	0,0418	80,9
6373,1	0,033	0,0349	67,2	10796,2	0,020	0,0419	81,0
6469,2	0,033	0,0351	67,6	10932,9	0,020	0,0420	81,2
6568,9	0,033	0,0353	67,9	11072,8	0,019	0,0420	81,3
6670,1	0,032	0,0354	68,2	11216,8	0,019	0,0421	81,4
6772,4	0,032	0,0356	68,5	11364,3	0,019	0,0422	81,5
6873,3	0,031	0,0359	68,9	11512,9	0,019	0,0422	81,7
6973,5	0,031	0,0361	69,4	11663,6	0,018	0,0423	81,9
7070,1	0,030	0,0363	69,8	11809,6	0,018	0,0424	82,1
7163,7	0,030	0,0365	70,2	11956,7	0,018	0,0426	82,3
7256,3	0,029	0,0367	70,6	12105,6	0,018	0,0427	82,6
7344,6	0,029	0,0369	71,0	12249,0	0,017	0,0428	82,9
7429,2	0,029	0,0371	71,4	12394,4	0,017	0,0430	83,2
7514,3	0,028	0,0374	71,9	12542,1	0,017	0,0432	83,6
7599,6	0,028	0,0376	72,3	12680,2	0,017	0,0434	84,0
7687,4	0,028	0,0379	72,8	12809,5	0,017	0,0436	84,4
7775,1	0,027	0,0382	73,4	12930,3	0,017	0,0439	84,9
7864,0	0,027	0,0383	73,9	13044,0	0,016	0,0441	85,3
7957,2	0,027	0,0385	74,1	13151,5	0,016	0,0443	85,6
8055,9	0,027	0,0386	74,4	13265,7	0,016	0,0445	86,0
8162,9	0,026	0,0388	74,7	13381,9	0,016	0,0446	86,3
8266,9	0,026	0,0389	75,0	13502,3	0,016	0,0447	86,5
8371,1	0,026	0,0391	75,3	13630,5	0,016	0,0449	86,8
8474,5	0,025	0,0392	75,6	13758,9	0,016	0,0450	87,1
8574,3	0,025	0,0393	75,8	13887,6	0,015	0,0451	87,2
8669,0	0,025	0,0395	76,1	14026,3	0,015	0,0452	87,4
8757,8	0,024	0,0396	76,4	14178,3	0,015	0,0453	87,6
8840,4	0,024	0,0397	76,6	14341,5	0,015	0,0454	87,8
8918,7	0,024	0,0398	76,8	14515,2	0,015	0,0454	87,9
8994,9	0,024	0,04	77,1	14698,1	0,015	0,0455	88,0
9067,8	0,024	0,0402	77,4	14885,4	0,014	0,0456	88,2
9134,1	0,023	0,0403	77,7	15072,6	0,014	0,0456	88,3
9206,4	0,023	0,0404	77,9	15264,5	0,014	0,0457	88,4
9283,9	0,023	0,0405	78,1	15458,4	0,014	0,0458	88,6
9367,9	0,023	0,0406	78,4	15655,6	0,014	0,0459	88,8

Çizelge E.B.1. Devam

Basınç, psi	Gözenek çapı, µm	Cıva hacmi, cc/g	Cıva hacmi, %	Basınç, psi	Gözenek çapı, µm	Cıva hacmi, cc/g	Cıva hacmi, %
16059,5	0,013	0,0461	89,0	22940,5	0,009	0,0489	94,7
16263,6	0,013	0,0462	89,1	23071,9	0,009	0,0489	94,7
16470,1	0,013	0,0463	89,3	23202,4	0,009	0,049	94,7
16678,2	0,013	0,0464	89,5	23333,5	0,009	0,049	94,7
16888,5	0,013	0,0465	89,7	23464,1	0,009	0,049	94,7
17102,0	0,013	0,0466	90,0	23595,6	0,009	0,049	94,8
17320,3	0,012	0,0468	90,2	23728,4	0,009	0,049	94,8
17534,9	0,012	0,0469	90,5	23861,0	0,009	0,049	94,8
17744,9	0,012	0,047	90,8	23994,7	0,009	0,049	94,8
17946,4	0,012	0,0471	91,0	24128,8	0,009	0,049	94,9
18140,1	0,012	0,0472	91,2	24264,2	0,009	0,049	94,9
18323,6	0,012	0,0473	91,3	24399,5	0,009	0,0491	94,9
18497,3	0,012	0,0474	91,5	24536,0	0,009	0,0491	94,9
18663,1	0,011	0,0475	91,7	24674,8	0,009	0,0491	94,9
18831,8	0,011	0,0476	91,9	24814,3	0,009	0,0491	94,9
18991,9	0,011	0,0476	92,0	24955,8	0,009	0,0491	94,9
19150,9	0,011	0,0477	92,2	25098,1	0,009	0,0491	94,9
19299,0	0,011	0,0478	92,3	25240,8	0,009	0,0491	94,9
19438,8	0,011	0,0478	92,4	25384,8	0,008	0,0491	94,9
19577,6	0,011	0,0478	92,5	25531,0	0,008	0,0491	94,9
19716,5	0,011	0,0479	92,6	25676,2	0,008	0,0491	94,9
19855,7	0,011	0,0479	92,6	25823,8	0,008	0,0491	94,9
19995,6	0,011	0,048	92,7	25972,1	0,008	0,0491	94,9
20134,4	0,011	0,048	92,8	26122,6	0,008	0,0491	94,9
20272,2	0,011	0,048	92,9	26274,2	0,008	0,0491	94,9
20400,2	0,011	0,048	92,9	26427,6	0,008	0,0491	94,9
20528,7	0,010	0,0481	92,9	26582,0	0,008	0,0491	94,9
20646,4	0,010	0,0481	93,0	26738,2	0,008	0,0491	94,9
20765,1	0,010	0,0482	93,1	26896,9	0,008	0,0491	94,9
20885,2	0,010	0,0482	93,2	27056,5	0,008	0,0491	95,0
21005,5	0,010	0,0483	93,3	27217,5	0,008	0,0491	95,0
21127,1	0,010	0,0483	93,4	27381,9	0,008	0,0491	95,0
21252,6	0,010	0,0484	93,5	27547,0	0,008	0,0491	95,1
21378,5	0,010	0,0484	93,6	27714,1	0,008	0,0492	95,1
21506,7	0,010	0,0485	93,7	27882,9	0,008	0,0492	95,2
21635,5	0,010	0,0486	93,9	28053,1	0,008	0,0493	95,3
21764,3	0,010	0,0487	94,0	28225,3	0,008	0,0493	95,4
21892,1	0,010	0,0487	94,2	28399,0	0,008	0,0494	95,5
22022,3	0,010	0,0488	94,3	28573,7	0,008	0,0494	95,6
22151,8	0,010	0,0488	94,3	28748,8	0,007	0,0495	95,8
22282,4	0,010	0,0488	94,4	28925,9	0,007	0,0496	95,9
22414,5	0,010	0,0489	94,5	29103,7	0,007	0,0496	96,0
22546,4	0,010	0,0489	94,6	29282,6	0,007	0,0497	96,1
22677,5	0,009	0,0489	94,7	29462,3	0,007	0,0497	96,2
22808,4	0,009	0,0489	94,7	29642,5	0,007	0,0497	96,2

Çizelge E.B.1. Devam

Basınç, psi	Gözenek çapı, µm	Cıva hacmi, cc/g	Cıva hacmi, %	Basınç, psi	Gözenek çapı, µm	Cıva hacmi, cc/g	Cıva hacmi, %
29823,7	0,007	0,0498	96,3	39022,0	0,006	0,0505	97,6
30005,5	0,007	0,0498	96,3	39244,8	0,005	0,0505	97,6
30188,3	0,007	0,0498	96,4	39469,0	0,005	0,0506	97,6
30371,5	0,007	0,0499	96,5	39693,7	0,005	0,0506	97,7
30555,4	0,007	0,0499	96,5	39919,8	0,005	0,0507	97,8
30738,3	0,007	0,0499	96,6	40146,9	0,005	0,0507	97,9
30922,6	0,007	0,0499	96,6	40376,3	0,005	0,0508	98,0
31107,2	0,007	0,05	96,7	40606,9	0,005	0,0509	98,2
31292,4	0,007	0,05	96,7	40838,5	0,005	0,0509	98,3
31479,9	0,007	0,05	96,7	41073,4	0,005	0,051	98,4
31668,2	0,007	0,05	96,8	41308,3	0,005	0,051	98,5
31858,4	0,007	0,0501	96,8	41545,1	0,005	0,0511	98,6
32051,6	0,007	0,0501	96,9	41785,4	0,005	0,0511	98,7
32243,7	0,007	0,0501	96,9	42028,7	0,005	0,0511	98,8
32434,7	0,007	0,0501	96,9	42274,2	0,005	0,0512	98,9
32627,1	0,007	0,0501	96,9	42518,5	0,005	0,0512	98,9
32820,8	0,007	0,0501	96,9	42762,0	0,005	0,0512	99,0
33012,6	0,006	0,0501	96,9	43003,7	0,005	0,0512	99,0
33203,6	0,006	0,0501	96,9	43245,9	0,005	0,0513	99,1
33395,3	0,006	0,0501	96,9	43487,9	0,005	0,0513	99,1
33584,8	0,006	0,0501	97,0	43729,8	0,005	0,0513	99,2
33774,6	0,006	0,0501	97,0	43969,9	0,005	0,0513	99,2
33964,2	0,006	0,0501	97,0	44208,3	0,005	0,0514	99,2
34150,5	0,006	0,0502	97,0	44444,4	0,005	0,0514	99,3
34339,0	0,006	0,0502	97,1	44682,3	0,005	0,0514	99,4
34528,6	0,006	0,0502	97,1	44921,9	0,005	0,0515	99,4
34718,1	0,006	0,0502	97,2	45164,1	0,005	0,0515	99,5
34909,3	0,006	0,0502	97,2	45406,6	0,005	0,0515	99,5
35103,8	0,006	0,0503	97,3	45651,2	0,005	0,0516	99,6
35299,4	0,006	0,0503	97,3	45899,5	0,005	0,0516	99,7
35496,7	0,006	0,0503	97,3	46148,6	0,005	0,0516	99,7
35697,2	0,006	0,0503	97,4	46402,0	0,005	0,0517	99,8
35898,4	0,006	0,0504	97,4	46659,9	0,005	0,0517	99,9
36099,1	0,006	0,0504	97,5	46922,8	0,005	0,0517	99,9
36301,0	0,006	0,0504	97,5	47187,5	0,005	0,0517	100,0
36503,3	0,006	0,0504	97,6	47452,7	0,005	0,0517	100,0
36707,5	0,006	0,0504	97,6	47716,7	0,005	0,0517	100,0
36911,6	0,006	0,0504	97,6	47981,7	0,005	0,0517	100,0
37114,9	0,006	0,0504	97,6	48250,2	0,004	0,0517	100,0
37318,9	0,006	0,0504	97,6	48521,9	0,004	0,0517	100,0
37525,9	0,006	0,0504	97,6	48792,1	0,004	0,0517	100,0
37734,0	0,006	0,0504	97,6	49070,0	0,004	0,0517	100,0
37943,3	0,006	0,0504	97,6	49345,7	0,004	0,0517	100,0
38154,5	0,006	0,0504	97,6	49621,4	0,004	0,0517	100,0
38368,5	0,006	0,0504	97,6	49894,7	0,004	0,0517	100,0

Çizelge E.B.1. Devam

Basınç, psi	Gözenek çapı, µm	Cıva hacmi, cc/g	Cıva hacmi, %
50171,0	0,004	0,0517	100,0
50450,3	0,004	0,0517	100,0
50731,8	0,004	0,0517	100,0
51016,9	0,004	0,0517	100,0
51303,3	0,004	0,0517	100,0
51592,3	0,004	0,0517	100,0
51884,1	0,004	0,0517	100,0
52172,5	0,004	0,0517	100,0
52465,1	0,004	0,0517	100,0
52760,9	0,004	0,0517	100,0
53063,3	0,004	0,0517	100,0
53367,6	0,004	0,0517	100,0
53669,9	0,004	0,0517	100,0
53975,7	0,004	0,0517	100,0
54281,8	0,004	0,0517	100,0
54598,7	0,004	0,0517	100,0
54914,1	0,004	0,0517	100,0

Çizelge E.B.2. Bigadiç Zeoliti 7 günlük cıva porozimetresi verileri

Basınç, psi	Gözenek çapı, µm	Cıva hacmi, cc/g	Cıva hacmi, %	Basınç, psi	Gözenek çapı, µm	Cıva hacmi, cc/g	Cıva hacmi, %
1,1	186,400	0	0,0	23,5	9,093	0,0043	7,9
1,3	159,800	0,0007	1,2	24,0	8,883	0,0044	8,0
1,4	148,500	0,0009	1,7	24,6	8,684	0,0044	8,1
1,6	132,400	0,0011	2,1	25,1	8,497	0,0044	8,1
1,9	110,300	0,0014	2,5	25,6	8,320	0,0045	8,2
2,3	91,490	0,0016	2,8	26,2	8,152	0,0045	8,2
2,7	79,840	0,0018	3,3	26,7	7,994	0,0045	8,2
3,0	70,090	0,002	3,6	27,2	7,843	0,0045	8,2
3,4	61,990	0,0021	3,9	27,7	7,700	0,0045	8,2
3,9	54,840	0,0023	4,1	28,2	7,565	0,0045	8,2
4,4	48,590	0,0024	4,4	28,7	7,436	0,0045	8,2
4,9	43,340	0,0025	4,6	29,2	7,313	0,0045	8,2
5,5	39,060	0,0026	4,8	29,6	7,195	0,0045	8,2
6,0	35,520	0,0027	4,9	30,1	7,084	0,0045	8,2
6,6	32,550	0,0028	5,1	30,6	6,981	0,0045	8,2
7,1	30,000	0,0029	5,2	31,0	6,887	0,0045	8,2
7,7	27,800	0,0029	5,4	31,4	6,802	0,0045	8,2
8,3	25,860	0,0030	5,5	31,7	6,719	0,0045	8,2
8,8	24,160	0,0030	5,6	32,1	6,640	0,0045	8,2
9,4	22,650	0,0031	5,7	32,5	6,564	0,0045	8,2
10,0	21,320	0,0032	5,8	32,9	6,490	0,0045	8,2
10,6	20,130	0,0033	6,0	33,2	6,420	0,0045	8,2
11,2	19,050	0,0033	6,1	33,6	6,352	0,0045	8,2
11,8	18,090	0,0034	6,2	33,9	6,283	0,0045	8,2
12,4	17,240	0,0035	6,3	34,3	6,217	0,0045	8,2
12,9	16,500	0,0035	6,5	34,7	6,150	0,0045	8,2
13,5	15,830	0,0036	6,6	35,1	6,082	0,0045	8,2
14,0	15,240	0,0036	6,6	35,5	6,013	0,0045	8,2
14,5	14,690	0,0036	6,7	35,9	5,947	0,0045	8,2
15,1	14,170	0,0037	6,7	36,3	5,883	0,0045	8,2
15,6	13,690	0,0037	6,8	36,6	5,822	0,0045	8,2
16,1	13,270	0,0037	6,9	37,0	5,763	0,0045	8,2
16,6	12,890	0,0038	6,9	37,4	5,705	0,0045	8,2
17,0	12,530	0,0038	7,0	37,8	5,650	0,0045	8,2
17,5	12,190	0,0038	7,0	38,1	5,599	0,0045	8,2
18,0	11,860	0,0039	7,1	38,4	5,550	0,0045	8,2
18,5	11,520	0,0039	7,1	38,8	5,503	0,0045	8,2
19,0	11,200	0,0039	7,2	39,1	5,457	0,0045	8,2
19,6	10,890	0,004	7,3	39,4	5,413	0,0045	8,2
20,1	10,600	0,004	7,4	39,7	5,369	0,0045	8,2
20,7	10,320	0,0041	7,5	40,0	5,328	0,0045	8,2
21,2	10,060	0,0042	7,6	40,4	5,287	0,0045	8,2
21,8	9,8080	0,0042	7,7	40,7	5,248	0,0045	8,2
22,3	9,555	0,0042	7,8	41,0	5,210	0,0045	8,2
22,9	9,317	0,0043	7,8	41,2	5,173	0,0045	8,2

Çizelge E.B.2. Devam

Basınç, psi	Gözenek çapı, µm	Cıva hacmi, cc/g	Cıva hacmi, %	Basınç, psi	Gözenek çapı, µm	Cıva hacmi, cc/g	Cıva hacmi, %
41,8	5,102	0,0045	8,2	1430,8	0,149	0,0161	29,5
42,1	5,070	0,0045	8,2	1463,8	0,146	0,0164	30,0
47,6	4,484	0,0045	8,2	1497,0	0,143	0,0166	30,4
56,2	3,795	0,0045	8,2	1530,6	0,139	0,0169	30,9
69,1	3,087	0,0046	8,2	1564,7	0,136	0,0171	31,3
84,8	2,517	0,0047	8,4	1599,4	0,133	0,0174	31,8
104,2	2,047	0,0048	8,5	1634,8	0,131	0,0176	32,2
128,2	1,664	0,0049	8,7	1670,9	0,128	0,0179	32,8
155,6	1,371	0,005	8,9	1705,1	0,125	0,0182	33,3
187,7	1,136	0,0051	9,1	1737,8	0,123	0,0185	33,8
225,0	0,948	0,0053	9,3	1770,4	0,121	0,0187	34,3
265,3	0,804	0,0055	9,7	1801,6	0,118	0,019	34,8
310,0	0,688	0,0057	10,0	1831,4	0,117	0,0193	35,3
352,8	0,605	0,006	10,4	1861,8	0,115	0,0195	35,7
394,3	0,541	0,0062	10,9	1894,6	0,113	0,0198	36,2
434,3	0,491	0,0065	11,4	1928,8	0,111	0,0201	36,8
474,9	0,449	0,0067	11,8	1961,9	0,109	0,0204	37,3
515,9	0,414	0,007	12,3	1994,4	0,107	0,0207	37,8
556,2	0,384	0,0072	12,7	2027,9	0,105	0,0209	38,3
597,8	0,357	0,0075	13,2	2063,1	0,103	0,0212	38,8
638,7	0,334	0,0078	13,8	2100,6	0,101	0,0215	39,3
679,0	0,314	0,0081	14,3	2137,7	0,100	0,0218	39,9
720,1	0,296	0,0084	14,8	2175,9	0,098	0,0221	40,4
759,5	0,281	0,0087	15,3	2214,4	0,096	0,0224	41,0
799,5	0,267	0,009	15,9	2253,6	0,095	0,0226	41,4
841,3	0,254	0,0093	16,4	2292,0	0,093	0,0228	41,8
884,3	0,241	0,0096	17,0	2333,5	0,091	0,0230	42,1
925,9	0,230	0,01	17,6	2380,0	0,090	0,0232	42,5
966,1	0,221	0,0103	18,2	2429,9	0,088	0,0235	42,9
1005,4	0,212	0,0107	18,9	2481,0	0,086	0,0236	43,2
1041,5	0,205	0,0111	19,6	2535,8	0,084	0,0238	43,5
1074,8	0,199	0,0116	20,4	2591,9	0,082	0,0240	43,8
1104,5	0,193	0,012	21,2	2650,7	0,080	0,0241	44,1
1131,5	0,189	0,0124	21,9	2713,9	0,079	0,0242	44,4
1158,0	0,184	0,0128	22,7	2781,2	0,077	0,0244	44,6
1184,0	0,180	0,0133	23,5	2852,2	0,075	0,0246	45,0
1209,0	0,176	0,0136	24,2	2926,6	0,073	0,0248	45,3
1232,1	0,173	0,014	24,9	3002,7	0,071	0,0250	45,7
1254,2	0,170	0,0144	25,6	3080,1	0,069	0,0252	46,0
1275,6	0,167	0,0147	26,3	3158,4	0,068	0,0254	46,4
1296,7	0,165	0,015	26,9	3240,1	0,066	0,0256	46,7
1318,6	0,162	0,0153	27,4	3322,7	0,064	0,0258	47,1
1342,8	0,159	0,0155	27,9	3407,1	0,063	0,0260	47,5
1369,3	0,156	0,0157	28,4	3492,4	0,061	0,0262	48,0
1399,3	0,153	0,0159	28,8	3579,3	0,060	0,0265	48,4

Çizelge E.B.2. Devam

Basınç, psi	Gözenek çapı, µm	Cıva hacmi, cc/g	Cıva hacmi, %	Basınç, psi	Gözenek çapı, µm	Cıva hacmi, cc/g	Cıva hacmi, %
3665,9	0,058	0,0267	48,9	8280,2	0,026	0,0351	64,2
3752,1	0,057	0,0270	49,3	8404,3	0,025	0,0352	64,4
3837,5	0,056	0,0272	49,8	8530,8	0,025	0,0354	64,7
3921,6	0,054	0,0275	50,2	8662,5	0,025	0,0355	64,9
4004,7	0,053	0,0277	50,6	8794,2	0,024	0,0356	65,2
4086,6	0,052	0,0279	51,0	8925,4	0,024	0,0358	65,5
4170,0	0,051	0,0281	51,4	9055,4	0,024	0,0359	65,7
4253,0	0,050	0,0283	51,8	9187,8	0,023	0,0361	65,9
4336,1	0,049	0,0285	52,2	9320,2	0,023	0,0362	66,2
4420,1	0,048	0,0288	52,6	9453,1	0,023	0,0364	66,5
4502,5	0,047	0,029	53,0	9584,9	0,022	0,0365	66,8
4584,5	0,047	0,0292	53,4	9716,4	0,022	0,0366	67,0
4664,6	0,046	0,0294	53,8	9848,8	0,022	0,0368	67,3
4747,4	0,045	0,0297	54,3	9980,2	0,021	0,0369	67,6
4832,8	0,044	0,0299	54,7	10110,4	0,021	0,0371	67,8
4918,3	0,043	0,0301	55,1	10242,0	0,021	0,0373	68,2
5005,5	0,043	0,0304	55,5	10373,0	0,021	0,0374	68,5
5091,7	0,042	0,0306	55,9	10504,8	0,020	0,0376	68,9
5179,8	0,041	0,0308	56,3	10638,0	0,020	0,0379	69,2
5270,1	0,041	0,0310	56,7	10768,2	0,020	0,038	69,6
5360,6	0,040	0,0312	57,0	10902,3	0,020	0,0382	69,9
5453,1	0,039	0,0313	57,3	11038,2	0,019	0,0384	70,3
5550,6	0,038	0,0314	57,5	11175,3	0,019	0,0386	70,6
5653,0	0,038	0,0316	57,7	11316,3	0,019	0,0388	70,9
5754,8	0,037	0,0317	58,0	11460,0	0,019	0,0390	71,3
5858,2	0,036	0,0319	58,3	11604,5	0,018	0,0391	71,6
5964,9	0,036	0,0320	58,6	11749,4	0,018	0,0393	71,8
6073,9	0,035	0,0321	58,8	11898,6	0,018	0,0394	72,0
6186,8	0,035	0,0323	59,0	12050,9	0,018	0,0395	72,2
6303,4	0,034	0,0324	59,2	12207,0	0,018	0,0396	72,4
6421,4	0,033	0,0325	59,5	12367,5	0,017	0,0397	72,6
6540,7	0,033	0,0327	59,7	12528,4	0,017	0,0398	72,8
6659,7	0,032	0,0328	60,0	12694,5	0,017	0,0399	73,0
6779,7	0,032	0,0330	60,4	12865,1	0,017	0,0400	73,2
6903,5	0,031	0,0332	60,7	13035,8	0,016	0,0401	73,4
7029,0	0,030	0,0333	61,0	13209,2	0,016	0,0402	73,6
7154,9	0,030	0,0335	61,3	13383,5	0,016	0,0403	73,8
7280,1	0,029	0,0337	61,6	13563,9	0,016	0,0405	74,0
7405,8	0,029	0,0339	62,0	13747,8	0,016	0,0406	74,2
7530,0	0,028	0,0341	62,3	13935,1	0,015	0,0407	74,5
7653,4	0,028	0,0343	62,7	14123,1	0,015	0,0408	74,7
7775,6	0,027	0,0345	63,0	14311,3	0,015	0,0410	74,9
7902,2	0,027	0,0346	63,3	14502,9	0,015	0,0411	75,2
8029,6	0,027	0,0347	63,5	14692,5	0,015	0,0412	75,4
8155,7	0,026	0,0349	63,9	14880,7	0,014	0,0414	75,6

Çizelge E.B.2. Devam

Basınç, psi	Gözenek çapı, µm	Cıva hacmi, cc/g	Cıva hacmi, %	Basınç, psi	Gözenek çapı, µm	Cıva hacmi, cc/g	Cıva hacmi, %
15070,4	0,014	0,0415	75,9	23115,1	0,009	0,0474	86,7
15261,7	0,014	0,0416	76,1	23251,7	0,009	0,0475	86,8
15456,2	0,014	0,0418	76,4	23387,7	0,009	0,0475	86,9
15649,3	0,014	0,0419	76,7	23523,2	0,009	0,0476	87,0
15835,0	0,014	0,0421	77,0	23659,1	0,009	0,0476	87,1
16020,5	0,013	0,0422	77,2	23796,0	0,009	0,0477	87,2
16199,1	0,013	0,0423	77,4	23932,5	0,009	0,0477	87,3
16379,4	0,013	0,0425	77,7	24068,8	0,009	0,0477	87,3
16563,9	0,013	0,0426	78,0	24206,3	0,009	0,0478	87,4
16751,5	0,013	0,0428	78,2	24344,1	0,009	0,0478	87,5
16942,7	0,013	0,0429	78,5	24483,0	0,009	0,0479	87,6
17135,5	0,013	0,0431	78,7	24622,2	0,009	0,0479	87,7
17328,0	0,012	0,0432	79,0	24764,8	0,009	0,0480	87,8
17520,9	0,012	0,0434	79,3	24911,1	0,009	0,0480	87,9
17718,2	0,012	0,0435	79,6	25059,1	0,009	0,0481	87,9
17926,7	0,012	0,0437	79,9	25207,8	0,008	0,0481	88,0
18129,6	0,012	0,0439	80,2	25356,9	0,008	0,0482	88,1
18344,2	0,012	0,0440	80,5	25505,5	0,008	0,0482	88,2
18551,6	0,012	0,0442	80,8	25655,6	0,008	0,0483	88,3
18747,7	0,011	0,0443	81,1	25806,3	0,008	0,0483	88,3
18935,9	0,011	0,0445	81,3	25957,1	0,008	0,0484	88,4
19114,9	0,011	0,0446	81,6	26108,1	0,008	0,0484	88,5
19294,9	0,011	0,0448	81,9	26259,5	0,008	0,0484	88,6
19467,6	0,011	0,0449	82,1	26409,1	0,008	0,0485	88,7
19634,2	0,011	0,0450	82,3	26556,3	0,008	0,0485	88,8
19801,5	0,011	0,0452	82,6	26703,5	0,008	0,0485	88,8
19969,0	0,011	0,0453	82,8	26849,9	0,008	0,0486	88,8
20145,9	0,011	0,0454	83,1	26997,1	0,008	0,0486	88,9
20312,9	0,011	0,0456	83,3	27145,3	0,008	0,0486	88,9
20481,7	0,010	0,0457	83,5	27293,9	0,008	0,0486	89,0
20651,0	0,010	0,0458	83,7	27442,7	0,008	0,0487	89,0
20831,6	0,010	0,0459	84,0	27592,2	0,008	0,0487	89,0
21013,6	0,010	0,0461	84,2	27741,4	0,008	0,0487	89,0
21188,9	0,010	0,0462	84,5	27891,4	0,008	0,0487	89,1
21365,6	0,010	0,0463	84,7	28044,3	0,008	0,0487	89,1
21551,7	0,010	0,0464	84,9	28197,6	0,008	0,0487	89,1
21728,5	0,010	0,0465	85,1	28350,9	0,008	0,0488	89,2
21895,8	0,010	0,0466	85,3	28505,1	0,007	0,0488	89,3
22053,5	0,010	0,0467	85,5	28659,0	0,007	0,0489	89,4
22210,7	0,010	0,0468	85,7	28813,5	0,007	0,0489	89,4
22368,5	0,010	0,0470	85,9	28970,6	0,007	0,0490	89,5
22525,9	0,010	0,0471	86,1	29127,8	0,007	0,0490	89,6
22673,3	0,009	0,0472	86,2	29288,7	0,007	0,0491	89,7
22820,9	0,009	0,0472	86,4	29453,5	0,007	0,0491	89,8
22968,0	0,009	0,0473	86,5	29618,3	0,007	0,0492	89,9

Çizelge E.B.2. Devam

Basınç, psi	Gözenek çapı, µm	Cıva hacmi, cc/g	Cıva hacmi, %	Basınç, psi	Gözenek çapı, µm	Cıva hacmi, cc/g	Cıva hacmi, %
29784,0	0,007	0,0492	90,1	38142,1	0,006	0,0521	95,2
29951,4	0,007	0,0493	90,2	38360,2	0,006	0,0521	95,3
30122,2	0,007	0,0493	90,2	38579,9	0,006	0,0521	95,3
30297,6	0,007	0,0494	90,4	38800,6	0,006	0,0522	95,4
30473,5	0,007	0,0495	90,5	39023,5	0,006	0,0522	95,5
30651,3	0,007	0,0495	90,6	39249,7	0,005	0,0522	95,5
30827,9	0,007	0,0496	90,7	39476,6	0,005	0,0523	95,6
31008,3	0,007	0,0497	90,9	39706,2	0,005	0,0523	95,7
31187,2	0,007	0,0497	91,0	39936,0	0,005	0,0523	95,7
31365,5	0,007	0,0498	91,1	40163,8	0,005	0,0524	95,8
31544,7	0,007	0,0498	91,1	40392,9	0,005	0,0524	95,9
31722,8	0,007	0,0499	91,2	40621,0	0,005	0,0525	95,9
31901,5	0,007	0,0500	91,4	40850,4	0,005	0,0525	96,0
32078,9	0,007	0,0500	91,5	41082,4	0,005	0,0525	96,0
32253,5	0,007	0,0501	91,6	41317,2	0,005	0,0526	96,1
32429,7	0,007	0,0501	91,7	41551,6	0,005	0,0526	96,2
32606,3	0,007	0,0502	91,8	41785,8	0,005	0,0526	96,2
32783,3	0,007	0,0502	91,8	42020,7	0,005	0,0527	96,3
32958,7	0,006	0,0503	91,9	42256,5	0,005	0,0527	96,4
33134,6	0,006	0,0503	92,0	42491,5	0,005	0,0527	96,4
33311,0	0,006	0,0504	92,1	42728,9	0,005	0,0527	96,5
33489,5	0,006	0,0504	92,3	42966,2	0,005	0,0528	96,5
33668,5	0,006	0,0505	92,4	43206,0	0,005	0,0528	96,5
33848,3	0,006	0,0506	92,5	43445,5	0,005	0,0528	96,5
34028,8	0,006	0,0506	92,6	43686,6	0,005	0,0528	96,6
34210,6	0,006	0,0507	92,7	43928,3	0,005	0,0529	96,7
34394,277	0,006	0,0508	92,9	44172,215	0,005	0,0529	96,8
34579,703	0,006	0,0509	93,1	44417,25	0,005	0,0529	96,8
34766,68	0,006	0,0510	93,3	44663,738	0,005	0,0530	96,9
34955,832	0,006	0,0511	93,5	44912,039	0,005	0,0530	96,9
35147,25	0,006	0,0512	93,7	45161,34	0,005	0,0530	97,0
35339,125	0,006	0,0513	93,9	45411	0,005	0,0531	97,1
35532,359	0,006	0,0514	94,1	45661,754	0,005	0,0531	97,2
35726,32	0,006	0,0515	94,2	45914,41	0,005	0,0532	97,3
35920,641	0,006	0,0516	94,4	46169,332	0,005	0,0533	97,4
36115,785	0,006	0,0517	94,5	46424,258	0,005	0,0533	97,5
36311,922	0,006	0,0517	94,6	46680,902	0,005	0,0534	97,6
36507,516	0,006	0,0518	94,7	46936,102	0,005	0,0534	97,7
36705,016	0,006	0,0518	94,7	47192,66	0,005	0,0535	97,8
36903,598	0,006	0,0518	94,8	47448,402	0,005	0,0535	97,9
37104,273	0,006	0,0519	94,9	47704,871	0,005	0,0536	97,9
37304,852	0,006	0,0519	94,9	47964,598	0,005	0,0536	98,0
37509,43	0,006	0,0519	95,0	48227,051	0,004	0,0536	98,1
37716,637	0,006	0,0520	95,0	48492,047	0,004	0,0537	98,2
37927,379	0,006	0,0520	95,1	48757,586	0,004	0,0537	98,2

Çizelge E.B.2. Devam

Basınç, psi	Gözenek çapı, µm	Cıva hacmi, cc/g	Cıva hacmi, %
49026,0	0,004	0,0537	98,2
49297,0	0,004	0,0537	98,3
49571,0	0,004	0,0537	98,3
49847,9	0,004	0,0538	98,3
50127,2	0,004	0,0538	98,4
50412,1	0,004	0,0538	98,4
50699,8	0,004	0,0539	98,5
50988,6	0,004	0,0539	98,6
51280,2	0,004	0,0540	98,7
51574,3	0,004	0,0540	98,8
51868,8	0,004	0,0541	98,9
52163,0	0,004	0,0541	99,0
52459,3	0,004	0,0542	99,1
52756,3	0,004	0,0542	99,2
53055,6	0,004	0,0543	99,3
53357,0	0,004	0,0544	99,4
53655,8	0,004	0,0544	99,5
53956,0	0,004	0,0545	99,6
54255,1	0,004	0,0546	99,8
54559,9	0,004	0,0546	99,9
54869,2	0,004	0,0547	100

Çizelge E.B.3. BZ200 7 günlük cıva porozimetresi verileri

Basınç, psi	Gözenek çapı, µm	Cıva hacmi, cc/g	Cıva hacmi, %	Basınç, psi	Gözenek çapı, µm	Cıva hacmi, cc/g	Cıva hacmi, %
1,3	170,700	0	0	11,5	18,490	0,0022	4,4
1,3	160,900	0,0004	0,8	11,8	18,050	0,0022	4,4
1,4	154,400	0,0006	1,1	12,1	17,630	0,0022	4,4
1,5	143,400	0,0007	1,3	12,4	17,230	0,0022	4,4
1,7	128,700	0,0008	1,7	12,7	16,840	0,0022	4,4
1,9	114,600	0,0010	2,0	13,0	16,470	0,0022	4,4
2,0	104,900	0,0011	2,3	13,2	16,120	0,0022	4,4
2,2	96,210	0,0012	2,5	13,5	15,780	0,0022	4,4
2,4	88,450	0,0013	2,7	13,8	15,460	0,0022	4,4
2,6	81,350	0,0014	2,9	14,1	15,150	0,0022	4,4
2,9	74,860	0,0015	3,1	14,4	14,850	0,0022	4,4
3,1	69,220	0,0016	3,3	14,7	14,560	0,0022	4,5
3,3	64,360	0,0017	3,4	15,0	14,280	0,0022	4,5
3,5	60,270	0,0017	3,5	15,2	14,010	0,0022	4,5
3,8	56,550	0,0018	3,6	15,5	13,750	0,0022	4,6
4,0	53,340	0,0018	3,6	15,8	13,500	0,0023	4,6
4,2	50,530	0,0018	3,7	16,1	13,260	0,0023	4,6
4,5	47,990	0,0018	3,8	16,4	13,030	0,0023	4,6
4,7	45,690	0,0019	3,8	16,7	12,800	0,0023	4,7
4,9	43,580	0,0019	3,9	17,0	12,580	0,0023	4,7
5,1	41,650	0,0019	4,0	17,3	12,370	0,0023	4,7
5,4	39,870	0,0019	4,0	17,5	12,170	0,0023	4,7
5,6	38,230	0,0019	4,0	17,8	11,970	0,0023	4,7
5,8	36,700	0,0020	4,0	18,1	11,780	0,0023	4,7
6,1	35,250	0,0020	4,0	18,4	11,590	0,0023	4,7
6,3	33,900	0,0020	4,0	18,7	11,420	0,0023	4,7
6,5	32,640	0,0020	4,1	19,0	11,240	0,0023	4,7
6,8	31,450	0,0020	4,1	19,3	11,070	0,0023	4,7
7,0	30,340	0,0020	4,1	19,6	10,910	0,0023	4,7
7,3	29,280	0,0020	4,1	19,8	10,750	0,0023	4,7
7,5	28,300	0,0020	4,1	20,1	10,600	0,0023	4,7
7,8	27,360	0,0020	4,1	20,4	10,450	0,0023	4,7
8,1	26,480	0,0020	4,1	20,7	10,310	0,0023	4,7
8,3	25,650	0,0020	4,1	21,0	10,170	0,0023	4,7
8,6	24,870	0,0020	4,1	21,3	10,040	0,0023	4,7
8,8	24,140	0,0020	4,1	21,5	9,906	0,0023	4,7
9,1	23,450	0,0020	4,1	21,8	9,780	0,0023	4,7
9,4	22,800	0,0020	4,2	22,1	9,657	0,0023	4,7
9,6	22,180	0,0021	4,2	22,4	9,538	0,0023	4,7
9,9	21,580	0,0021	4,2	22,6	9,424	0,0023	4,7
10,1	21,010	0,0021	4,2	22,9	9,312	0,0023	4,7
10,4	20,470	0,0021	4,3	23,2	9,203	0,0023	4,7
10,7	19,940	0,0021	4,3	23,5	9,098	0,0023	4,8
11,0	19,440	0,0021	4,3	23,7	8,995	0,0024	4,8
11,3	18,950	0,0021	4,4	24,0	8,896	0,0024	4,9

Çizelge E.B.3. Devam

Basınç, psi	Gözenek çapı, µm	Cıva hacmi, cc/g	Cıva hacmi, %	Basınç, psi	Gözenek çapı, µm	Cıva hacmi, cc/g	Cıva hacmi, %
24,2	8,799	0,0024	4,9	34,6	6,164	0,0026	5,3
24,5	8,705	0,0024	5,0	34,9	6,119	0,0026	5,3
24,8	8,612	0,0025	5,0	35,1	6,071	0,0026	5,3
25,0	8,523	0,0025	5,1	35,4	6,023	0,0026	5,3
25,3	8,435	0,0025	5,1	35,7	5,972	0,0026	5,3
25,6	8,350	0,0026	5,2	36,0	5,921	0,0026	5,3
25,8	8,267	0,0026	5,3	36,4	5,868	0,0026	5,3
26,1	8,186	0,0026	5,3	36,7	5,814	0,0026	5,3
26,3	8,107	0,0026	5,3	37,0	5,760	0,0026	5,3
26,6	8,030	0,0026	5,3	37,4	5,707	0,0026	5,3
26,8	7,955	0,0026	5,3	37,7	5,656	0,0026	5,3
27,1	7,882	0,0026	5,3	38,1	5,606	0,0026	5,3
27,3	7,810	0,0026	5,3	38,4	5,558	0,0026	5,3
27,6	7,741	0,0026	5,3	38,7	5,515	0,0026	5,3
27,8	7,673	0,0026	5,3	44,6	4,785	0,0026	5,4
28,0	7,607	0,0026	5,3	52,3	4,082	0,0027	5,5
28,3	7,542	0,0026	5,3	63,7	3,348	0,0028	5,6
28,5	7,479	0,0026	5,3	78,6	2,714	0,0029	5,9
28,8	7,418	0,0026	5,3	95,3	2,239	0,0031	6,2
29,0	7,358	0,0026	5,3	114,0	1,872	0,0033	6,7
29,2	7,299	0,0026	5,3	135,2	1,578	0,0035	7,1
29,5	7,242	0,0026	5,3	158,5	1,346	0,0037	7,5
29,7	7,186	0,0026	5,3	185,0	1,153	0,0040	8,1
29,9	7,131	0,0026	5,3	213,8	0,998	0,0043	8,7
30,1	7,078	0,0026	5,3	244,1	0,874	0,0046	9,4
30,4	7,025	0,0026	5,3	271,0	0,787	0,0050	10,1
30,6	6,974	0,0026	5,3	298,4	0,715	0,0054	11,0
30,8	6,924	0,0026	5,3	324,5	0,658	0,0057	11,6
31,0	6,875	0,0026	5,3	348,5	0,612	0,0060	12,3
31,3	6,827	0,0026	5,3	372,6	0,573	0,0064	13,0
31,5	6,780	0,0026	5,3	395,8	0,539	0,0067	13,6
31,7	6,734	0,0026	5,3	419,4	0,509	0,0070	14,3
31,9	6,689	0,0026	5,3	443,1	0,481	0,0074	15,0
32,1	6,645	0,0026	5,3	467,0	0,457	0,0077	15,6
32,3	6,602	0,0026	5,3	493,3	0,432	0,0080	16,2
32,5	6,560	0,0026	5,3	521,8	0,409	0,0083	16,8
32,7	6,519	0,0026	5,3	552,1	0,386	0,0086	17,4
32,9	6,479	0,0026	5,3	582,8	0,366	0,0089	18,0
33,1	6,439	0,0026	5,3	613,0	0,348	0,0092	18,7
33,3	6,400	0,0026	5,3	643,8	0,331	0,0096	19,5
33,5	6,362	0,0026	5,3	674,6	0,316	0,0099	20,2
33,7	6,325	0,0026	5,3	706,0	0,302	0,0103	20,8
33,9	6,288	0,0026	5,3	736,5	0,290	0,0106	21,6
34,1	6,249	0,0026	5,3	766,6	0,278	0,0110	22,3
34,4	6,208	0,0026	5,3	797,1	0,268	0,0113	23,0

Çizelge E.B.3. Devam

Basınç, psi	Gözenek çapı, µm	Cıva hacmi, cc/g	Cıva hacmi, %	Basınç, psi	Gözenek çapı, µm	Cıva hacmi, cc/g	Cıva hacmi, %
826,7	0,258	0,0117	23,7	2714,1	0,079	0,024	48,9
856,9	0,249	0,0121	24,5	2787,8	0,077	0,0242	49,3
887,0	0,241	0,0124	25,2	2867,0	0,074	0,0245	49,7
826,7	0,258	0,0117	23,7	2954,3	0,072	0,0247	50,2
856,9	0,249	0,0121	24,5	3046,9	0,070	0,0249	50,6
887,0	0,241	0,0124	25,2	3142,8	0,068	0,0252	51,2
918,0	0,232	0,0127	25,9	3238,0	0,066	0,0255	51,8
949,2	0,225	0,0131	26,6	3330,0	0,064	0,0257	52,2
980,9	0,218	0,0134	27,3	3421,9	0,062	0,0259	52,7
1013,7	0,210	0,0137	27,9	3512,6	0,061	0,0262	53,2
1048,0	0,204	0,0141	28,6	3603,7	0,060	0,0264	53,6
1082,5	0,197	0,0144	29,3	3696,8	0,058	0,0267	54,2
1118,0	0,191	0,0147	29,9	3788,3	0,056	0,0269	54,7
1155,6	0,185	0,0150	30,6	3880,1	0,055	0,0272	55,3
1192,7	0,179	0,0154	31,3	3970,2	0,054	0,0274	55,8
1230,0	0,173	0,0157	31,9	4059,2	0,053	0,0277	56,3
1268,8	0,168	0,016	32,5	4149,4	0,051	0,0279	56,8
1308,7	0,163	0,0163	33,0	4242,8	0,050	0,0281	57,2
1353,0	0,158	0,0166	33,6	4340,4	0,050	0,0283	57,6
1399,3	0,152	0,0168	34,2	4441,3	0,050	0,0286	58,1
1447,4	0,147	0,0171	34,8	4544,7	0,050	0,0288	58,5
1496,4	0,143	0,0174	35,4	4648,3	0,050	0,0290	58,9
1546,0	0,138	0,0177	35,9	4753,3	0,050	0,0292	59,3
1598,8	0,133	0,018	36,5	4863,9	0,044	0,0294	59,7
1649,7	0,129	0,0183	37,2	4976,3	0,043	0,0296	60,1
1700,6	0,125	0,0186	37,8	5086,0	0,042	0,0297	60,4
1750,2	0,122	0,0189	38,4	5194,7	0,041	0,0299	60,8
1797,7	0,119	0,0192	39,1	5299,8	0,040	0,0301	61,1
1844,0	0,116	0,0195	39,7	5404,6	0,040	0,0303	61,5
1889,5	0,113	0,0198	40,3	5512,0	0,039	0,0305	61,9
1935,1	0,110	0,0201	40,8	5621,0	0,038	0,0307	62,3
1983,2	0,108	0,0204	41,4	5731,5	0,037	0,0309	62,7
2030,6	0,105	0,0207	42,0	5845,0	0,037	0,0311	63,1
2078,8	0,103	0,0210	42,7	5956,6	0,036	0,0312	63,5
2125,2	0,100	0,0213	43,3	6065,9	0,035	0,0314	63,9
2171,4	0,098	0,0216	43,8	6174,7	0,035	0,0316	64,2
2217,5	0,096	0,0219	44,4	6285,6	0,034	0,0318	64,6
2263,9	0,094	0,0221	44,9	6399,8	0,033	0,0319	64,9
2311,4	0,092	0,0224	45,5	6516,7	0,033	0,0321	65,2
2362,0	0,090	0,0226	46,0	6634,8	0,032	0,0322	65,4
2413,2	0,088	0,0229	46,5	6751,5	0,032	0,0323	65,6
2467,8	0,086	0,0231	47,0	6866,6	0,031	0,0324	65,9
2522,0	0,085	0,0234	47,5	6983,2	0,031	0,0325	66,1
2581,3	0,083	0,0236	48,0	7101,6	0,030	0,0326	66,3
2645,6	0,081	0,0238	48,5	7219,5	0,030	0,0327	66,5

Çizelge E.B.3. Devam

Basınç, psi	Gözenek çapı, µm	Cıva hacmi, cc/g	Cıva hacmi, %	Basınç, psi	Gözenek çapı, µm	Cıva hacmi, cc/g	Cıva hacmi, %
7337,5	0,029	0,0328	66,7	13581,5	0,016	0,0385	78,3
7455,6	0,029	0,0329	66,9	13759,1	0,016	0,0387	78,7
7575,1	0,028	0,0330	67,1	13936,4	0,015	0,0389	79,0
7694,2	0,028	0,0331	67,3	14118,0	0,015	0,0390	79,4
7814,0	0,027	0,0332	67,5	14301,8	0,015	0,0392	79,7
7934,8	0,027	0,0333	67,7	14486,0	0,015	0,0394	80,0
8055,4	0,027	0,0334	68,0	14668,2	0,015	0,0395	80,3
8297,3	0,026	0,0336	68,3	14851,9	0,014	0,0397	80,6
8413,8	0,025	0,0337	68,5	15036,5	0,014	0,0398	80,9
8531,4	0,025	0,0338	68,7	15230,7	0,014	0,0399	81,2
8649,1	0,025	0,0339	68,9	15427,7	0,014	0,0401	81,4
8767,0	0,024	0,034	69,1	15624,7	0,014	0,0402	81,6
8886,3	0,024	0,0341	69,3	15822,7	0,014	0,0403	81,9
9006,1	0,024	0,0342	69,5	16021,7	0,013	0,0404	82,1
9130,0	0,023	0,0343	69,8	16220,3	0,013	0,0405	82,3
9255,7	0,023	0,0344	70,0	16419,0	0,013	0,0406	82,5
9383,0	0,023	0,0346	70,2	16620,9	0,013	0,0407	82,8
9509,2	0,022	0,0347	70,5	16825,5	0,013	0,0408	83,0
9636,6	0,022	0,0348	70,8	17029,8	0,013	0,0409	83,1
9763,9	0,022	0,035	71,1	17237,8	0,012	0,0410	83,3
9894,8	0,022	0,0351	71,4	17445,2	0,012	0,0411	83,5
10025,6	0,021	0,0353	71,7	17652,1	0,012	0,0411	83,6
10157,5	0,021	0,0354	72,0	17862,5	0,012	0,0412	83,8
10290,7	0,021	0,0356	72,3	18075,3	0,012	0,0413	83,9
10429,1	0,021	0,0357	72,6	18288,4	0,012	0,0414	84,1
10565,1	0,020	0,0359	72,9	18502,7	0,012	0,0415	84,3
10700,0	0,020	0,036	73,3	18711,1	0,011	0,0415	84,4
10835,1	0,020	0,0362	73,6	18920,2	0,011	0,0416	84,5
10973,8	0,019	0,0364	73,9	19122,5	0,011	0,0416	84,6
11108,4	0,019	0,0365	74,2	19318,8	0,011	0,0417	84,7
11244,9	0,019	0,0366	74,4	19505,8	0,011	0,0417	84,8
11381,2	0,019	0,0367	74,7	19696,8	0,011	0,0418	85,0
11520,5	0,019	0,0368	74,9	19881,8	0,011	0,0419	85,1
11660,0	0,018	0,0370	75,1	20067,2	0,011	0,0419	85,2
11802,8	0,018	0,0370	75,3	20244,4	0,011	0,0420	85,3
11944,3	0,018	0,0371	75,4	20415,1	0,011	0,0420	85,4
12090,8	0,018	0,0372	75,6	20578,9	0,010	0,0421	85,5
12239,7	0,017	0,0373	75,9	20752,5	0,010	0,0422	85,7
12392,6	0,017	0,0374	76,1	20917,0	0,010	0,0422	85,8
12548,9	0,017	0,0375	76,3	21081,2	0,010	0,0423	86,0
12716,4	0,017	0,0377	76,6	21246,6	0,010	0,0424	86,1
12887,8	0,017	0,0378	76,9	21411,4	0,010	0,0424	86,2
13062,4	0,016	0,0380	77,2	21567,4	0,010	0,0425	86,4
13232,7	0,016	0,0382	77,6	21724,2	0,010	0,0426	86,5
13406,6	0,016	0,0383	77,9	21871,9	0,010	0,0426	86,7

Çizelge E.B.3. Devam

Basınç, psi	Gözenek çapı, µm	Cıva hacmi, cc/g	Cıva hacmi, %	Basınç, psi	Gözenek çapı, µm	Cıva hacmi, cc/g	Cıva hacmi, %
22018,3	0,010	0,0427	86,7	28386,4	0,008	0,0450	91,4
22164,6	0,010	0,0427	86,8	28551,0	0,007	0,0450	91,5
22310,4	0,010	0,0428	86,9	28715,5	0,007	0,0451	91,6
22446,5	0,010	0,0428	87,0	28878,6	0,007	0,0451	91,7
22581,4	0,010	0,0429	87,1	29040,4	0,007	0,0451	91,7
22715,5	0,009	0,0429	87,2	29201,5	0,007	0,0452	91,8
22849,5	0,009	0,043	87,3	29363,4	0,007	0,0452	91,9
22983,2	0,009	0,043	87,4	29525,8	0,007	0,0453	92,0
23115,1	0,009	0,043	87,5	29687,1	0,007	0,0453	92,1
23246,0	0,009	0,0431	87,6	29846,2	0,007	0,0454	92,2
23375,5	0,009	0,0431	87,6	30006,0	0,007	0,0454	92,3
23506,1	0,009	0,0432	87,8	30167,1	0,007	0,0455	92,4
23636,5	0,009	0,0432	87,9	30327,1	0,007	0,0455	92,5
23767,3	0,009	0,0433	88,0	30488,2	0,007	0,0456	92,6
23897,5	0,009	0,0434	88,2	30650,4	0,007	0,0456	92,7
24028,8	0,009	0,0434	88,3	30813,3	0,007	0,0457	92,8
24160,3	0,009	0,0435	88,4	30977,8	0,007	0,0457	92,9
24290,4	0,009	0,0435	88,5	31143,6	0,007	0,0457	92,9
24421,5	0,009	0,0436	88,6	31309,8	0,007	0,0458	93,0
24553,5	0,009	0,0436	88,6	31477,3	0,007	0,0458	93,1
24686,0	0,009	0,0437	88,8	31646,0	0,007	0,0459	93,2
24819,9	0,009	0,0437	88,9	31814,8	0,007	0,0459	93,3
24953,9	0,009	0,0438	88,9	31983,8	0,007	0,0459	93,3
25090,6	0,009	0,0438	89,0	32153,9	0,007	0,0459	93,4
25227,6	0,009	0,0438	89,0	32324,9	0,007	0,0460	93,5
25365,3	0,008	0,0438	89,1	32496,8	0,007	0,0461	93,7
25504,7	0,008	0,0439	89,2	32669,1	0,007	0,0462	93,9
25644,8	0,008	0,0439	89,3	32841,2	0,007	0,0463	94,0
25785,7	0,008	0,0440	89,4	33014,3	0,007	0,0463	94,2
25928,5	0,008	0,0440	89,5	33189,3	0,006	0,0464	94,3
26071,8	0,008	0,0441	89,7	33364,4	0,006	0,0465	94,4
26217,3	0,008	0,0442	89,8	33540,7	0,006	0,0465	94,5
26364,5	0,008	0,0443	90,0	33718,3	0,006	0,0466	94,7
26514,1	0,008	0,0443	90,1	33896,9	0,006	0,0466	94,8
26662,5	0,008	0,0444	90,3	34076,0	0,006	0,0467	94,9
26812,0	0,008	0,0445	90,4	34256,0	0,006	0,0468	95,0
26962,7	0,008	0,0446	90,6	34437,6	0,006	0,0468	95,1
27114,4	0,008	0,0446	90,7	34620,1	0,006	0,0469	95,2
27269,7	0,008	0,0447	90,8	34804,9	0,006	0,0469	95,4
27427,3	0,008	0,0448	91,0	34990,8	0,006	0,0470	95,5
27584,1	0,008	0,0448	91,1	35176,9	0,006	0,0470	95,6
27742,0	0,008	0,0449	91,2	35364,7	0,006	0,0471	95,7
27901,8	0,008	0,0449	91,3	35554,9	0,006	0,0471	95,8
28063,2	0,008	0,0449	91,3	35745,8	0,006	0,0472	95,9
28224,8	0,008	0,0449	91,4	35937,9	0,006	0,0473	96,0

Çizelge E.B.3. Devam

Basınç, psi	Gözenek çapı, µm	Cıva hacmi, cc/g	Cıva hacmi, %	Basınç, psi	Gözenek çapı, µm	Cıva hacmi, cc/g	Cıva hacmi, %
36131,4	0,006	0,0473	96,1	46249,0	0,005	0,0484	98,4
36328,1	0,006	0,0473	96,2	46495,6	0,005	0,0484	98,4
36525,4	0,006	0,0473	96,2	46744,7	0,005	0,0485	98,5
36725,0	0,006	0,0473	96,2	46994,0	0,005	0,0485	98,5
36925,4	0,006	0,0473	96,2	47243,1	0,005	0,0485	98,6
37128,7	0,006	0,0473	96,2	47493,7	0,005	0,0485	98,6
37335,5	0,006	0,0473	96,2	47745,2	0,005	0,0485	98,6
37543,7	0,006	0,0473	96,2	48001,1	0,004	0,0485	98,6
37753,1	0,006	0,0473	96,2	48258,3	0,004	0,0485	98,7
37963,1	0,006	0,0473	96,2	48518,0	0,004	0,0486	98,7
38174,8	0,006	0,0473	96,2	48778,9	0,004	0,0486	98,7
38386,8	0,006	0,0474	96,3	49044,1	0,004	0,0486	98,8
38599,7	0,006	0,0474	96,3	49312,5	0,004	0,0486	98,8
38815,1	0,006	0,0474	96,3	49582,3	0,004	0,0487	98,9
39032,1	0,006	0,0474	96,4	49855,7	0,004	0,0487	98,9
39250,7	0,005	0,0475	96,5	50133,6	0,004	0,0487	99,0
39468,7	0,005	0,0475	96,5	50414,6	0,004	0,0487	99,0
39686,9	0,005	0,0475	96,6	50700,0	0,004	0,0487	99,1
39906,5	0,005	0,0476	96,7	50987,1	0,004	0,0488	99,1
40127,8	0,005	0,0476	96,7	51274,4	0,004	0,0488	99,2
40350,1	0,005	0,0476	96,8	51563,6	0,004	0,0489	99,3
40575,6	0,005	0,0476	96,8	51856,1	0,004	0,0489	99,3
40804,7	0,005	0,0477	96,9	52147,6	0,004	0,0489	99,4
41033,1	0,005	0,0477	96,9	52440,4	0,004	0,0489	99,4
41260,8	0,005	0,0477	96,9	52733,3	0,004	0,0489	99,5
41490,1	0,005	0,0477	97,0	53026,0	0,004	0,049	99,5
41719,0	0,005	0,0477	97,0	53317,2	0,004	0,049	99,6
41951,5	0,005	0,0477	97,0	53610,8	0,004	0,049	99,7
42186,1	0,005	0,0477	97,0	53904,617	0,004	0,0491	99,7
42422,2	0,005	0,0478	97,1	54191,852	0,004	0,0491	99,8
42656,8	0,005	0,0478	97,2	54477,52	0,004	0,0492	99,9
42892,8	0,005	0,0478	97,2	54759,27	0,004	0,0492	100
43127,0	0,005	0,0479	97,3				
43360,4	0,005	0,0479	97,4				
43597,5	0,005	0,0480	97,5				
43835,8	0,005	0,0480	97,6				
44074,1	0,005	0,0481	97,7				
44314,6	0,005	0,0481	97,8				
44554,0	0,005	0,0482	97,9				
44792,5	0,005	0,0482	98,0				
45030,2	0,005	0,0483	98,1				
45269,2	0,005	0,0483	98,2				
45510,4	0,005	0,0484	98,3				
45756,4	0,005	0,0484	98,3				
46003,3	0,005	0,0484	98,4				

Çizelge E.B.4. BZ600 7 günlük cıva porozimetresi verileri

Basınç, psi	Gözenek çapı, µm	Cıva hacmi, cc/g	Cıva hacmi, %	Basınç, psi	Gözenek çapı, µm	Cıva hacmi, cc/g	Cıva hacmi, %
1,0	213,400	0	0,0	22,7	9,392	0,0062	7,5
1,2	182,900	0,0013	1,6	23,2	9,185	0,0062	7,5
1,3	166,900	0,0018	2,2	23,7	8,984	0,0062	7,5
1,6	135,200	0,0023	2,8	24,3	8,796	0,0063	7,6
2,0	107,300	0,0028	3,3	24,7	8,626	0,0063	7,6
2,4	87,650	0,0031	3,8	25,2	8,465	0,0063	7,6
2,8	75,600	0,0036	4,3	25,7	8,311	0,0063	7,7
3,2	65,720	0,0039	4,7	26,1	8,164	0,0064	7,7
3,7	57,520	0,0042	5,1	26,6	8,025	0,0064	7,7
4,2	50,490	0,0045	5,4	27,0	7,892	0,0064	7,8
4,8	44,650	0,0047	5,7	27,5	7,767	0,0064	7,8
5,3	40,020	0,0049	5,9	27,9	7,647	0,0064	7,8
5,9	36,240	0,005	6,1	28,3	7,533	0,0065	7,8
6,4	33,110	0,0051	6,2	28,7	7,423	0,0065	7,8
7,0	30,440	0,0052	6,4	29,2	7,313	0,0065	7,8
7,6	28,160	0,0053	6,5	29,6	7,202	0,0065	7,8
8,1	26,180	0,0054	6,5	30,1	7,096	0,0065	7,8
8,7	24,450	0,0054	6,6	30,5	6,995	0,0065	7,8
9,3	22,920	0,0055	6,6	30,9	6,901	0,0065	7,8
9,9	21,560	0,0055	6,7	31,3	6,815	0,0065	7,8
10,5	20,360	0,0056	6,7	31,7	6,731	0,0065	7,8
11,1	19,280	0,0056	6,8	32,1	6,654	0,0065	7,8
11,6	18,340	0,0056	6,8	32,4	6,580	0,0065	7,8
12,2	17,530	0,0057	6,9	32,8	6,512	0,0065	7,8
12,7	16,820	0,0057	6,9	33,1	6,450	0,0065	7,8
13,2	16,160	0,0057	7,0	33,4	6,393	0,0065	7,8
13,7	15,550	0,0058	7,0	33,7	6,338	0,0065	7,8
14,2	14,980	0,0058	7,1	33,9	6,284	0,0065	7,8
14,8	14,450	0,0059	7,1	34,2	6,233	0,0065	7,8
15,3	13,990	0,0059	7,1	34,5	6,180	0,0065	7,8
15,7	13,580	0,0059	7,2	34,8	6,126	0,0065	7,8
16,2	13,190	0,0059	7,2	35,1	6,073	0,0065	7,8
16,6	12,840	0,0059	7,2	35,4	6,019	0,0065	7,8
17,1	12,490	0,006	7,2	35,8	5,967	0,0065	7,8
17,5	12,160	0,006	7,3	36,1	5,914	0,0065	7,8
18,0	11,830	0,006	7,3	36,4	5,860	0,0065	7,8
18,5	11,540	0,0061	7,3	36,8	5,804	0,0065	7,8
18,9	11,270	0,0061	7,4	37,1	5,751	0,0065	7,8
19,4	11,010	0,0061	7,4	37,4	5,699	0,0065	7,9
19,8	10,760	0,0061	7,4	37,8	5,649	0,0065	7,9
20,3	10,520	0,0061	7,4	38,1	5,601	0,0065	7,9
20,8	10,270	0,0061	7,4	38,4	5,553	0,0065	7,9
21,2	10,040	0,0061	7,4	38,7	5,508	0,0065	7,9
21,7	9,821	0,0062	7,5	39,0	5,463	0,0066	7,9
22,2	9,604	0,0062	7,5	39,4	5,420	0,0066	8,0

Çizelge E.B.4. Devam

Basınç, psi	Gözenek çapı, µm	Cıva hacmi, cc/g	Cıva hacmi, %	Basınç, psi	Gözenek çapı, µm	Cıva hacmi, cc/g	Cıva hacmi, %
39,7	5,378	0,0066	8,0	206,5	1,033	0,0105	12,7
40,0	5,338	0,0066	8,0	217,7	0,980	0,0108	13,1
40,3	5,298	0,0066	8,0	230,0	0,928	0,0111	13,4
40,6	5,260	0,0066	8,0	243,9	0,875	0,0113	13,7
40,8	5,224	0,0066	8,0	259,5	0,822	0,0116	14,0
41,1	5,188	0,0066	8,0	276,3	0,772	0,0119	14,4
41,4	5,153	0,0066	8,0	293,6	0,727	0,0122	14,7
41,7	5,119	0,0066	8,0	311,4	0,685	0,0125	15,1
41,9	5,087	0,0066	8,0	329,7	0,647	0,0128	15,5
42,2	5,055	0,0066	8,0	348,2	0,613	0,0131	15,8
42,5	5,024	0,0066	8,0	366,7	0,582	0,0134	16,2
42,7	4,994	0,0066	8,0	385,0	0,554	0,0137	16,6
43,0	4,964	0,0066	8,0	402,9	0,529	0,0140	16,9
43,2	4,935	0,0066	8,0	420,4	0,508	0,0144	17,4
43,5	4,906	0,0066	8,0	436,8	0,488	0,0147	17,8
43,7	4,876	0,0066	8,0	451,6	0,472	0,0151	18,2
44,0	4,846	0,0066	8,0	465,8	0,458	0,0154	18,6
44,3	4,816	0,0066	8,0	480,3	0,444	0,0157	19,0
44,6	4,785	0,0066	8,0	494,8	0,431	0,0160	19,4
44,9	4,753	0,0066	8,0	509,3	0,419	0,0164	19,8
45,2	4,722	0,0066	8,0	523,5	0,408	0,0167	20,2
45,5	4,690	0,0066	8,0	537,8	0,397	0,0171	20,6
45,8	4,660	0,0066	8,0	552,2	0,386	0,0174	21,0
46,3	4,605	0,0066	8,0	567,3	0,376	0,0177	21,4
47,2	4,523	0,0066	8,0	583,1	0,366	0,0180	21,8
48,3	4,414	0,0066	8,0	600,2	0,355	0,0182	22,1
49,9	4,276	0,0066	8,0	619,6	0,344	0,0185	22,4
51,9	4,112	0,0066	8,0	641,4	0,333	0,0188	22,7
54,4	3,921	0,0066	8,1	665,1	0,321	0,0190	23,0
57,6	3,706	0,0067	8,1	690,4	0,309	0,0193	23,3
61,5	3,470	0,0067	8,1	717,2	0,297	0,0195	23,6
66,3	3,216	0,0068	8,2	746,1	0,286	0,0198	23,9
72,2	2,953	0,0068	8,3	777,0	0,275	0,0200	24,2
79,5	2,682	0,0069	8,3	809,8	0,263	0,0203	24,5
88,2	2,419	0,007	8,5	844,3	0,253	0,0205	24,8
98,0	2,176	0,0072	8,7	880,6	0,242	0,0207	25,1
108,6	1,964	0,0074	9,0	918,8	0,232	0,0209	25,4
119,6	1,783	0,0077	9,3	957,3	0,223	0,0212	25,6
130,8	1,631	0,008	9,7	997,3	0,214	0,0213	25,8
141,7	1,505	0,0084	10,1	1040,3	0,205	0,0215	26,0
152,5	1,399	0,0087	10,6	1087,0	0,196	0,0217	26,3
163,2	1,307	0,0091	11,0	1136,3	0,188	0,0219	26,5
173,9	1,226	0,0094	11,4	1189,9	0,179	0,0221	26,7
184,8	1,155	0,0098	11,8	1245,7	0,171	0,0223	27,0
195,6	1,091	0,0102	12,3	1304,5	0,164	0,0225	27,2

Çizelge E.B.4. Devam

Basınç, psi	Gözenek çapı, µm	Cıva hacmi, cc/g	Cıva hacmi, %	Basınç, psi	Gözenek çapı, µm	Cıva hacmi, cc/g	Cıva hacmi, %
1367,3	0,156	0,0227	27,5	3529,6	0,060	0,0378	45,7
1432,9	0,149	0,0230	27,8	3578,4	0,060	0,038	46,0
1498,3	0,142	0,0233	28,2	3628,7	0,059	0,0383	46,3
1565,0	0,136	0,0236	28,6	3683,4	0,058	0,0385	46,6
1629,5	0,131	0,0239	29,0	3743,6	0,057	0,0388	46,9
1691,1	0,126	0,0243	29,4	3807,8	0,056	0,039	47,2
1748,8	0,122	0,0247	29,9	3872,9	0,055	0,0394	47,6
1803,7	0,118	0,0250	30,3	3939,3	0,054	0,0397	48,0
1854,1	0,115	0,0254	30,7	4002,9	0,053	0,04	48,4
1903,4	0,112	0,0258	31,2	4063,5	0,053	0,0403	48,8
1951,1	0,109	0,0261	31,6	4124,2	0,052	0,0407	49,2
1995,3	0,107	0,0265	32,1	4183,5	0,051	0,041	49,6
2036,1	0,105	0,0269	32,5	4244,2	0,050	0,0413	50,0
2075,6	0,103	0,0273	33,0	4304,7	0,050	0,0417	50,4
2112,4	0,101	0,0276	33,4	4364,7	0,049	0,042	50,8
2149,9	0,099	0,0279	33,8	4422,4	0,048	0,0424	51,3
2187,4	0,098	0,0283	34,2	4479,4	0,048	0,0427	51,7
2225,4	0,096	0,0286	34,6	4533,5	0,047	0,043	52,1
2264,9	0,094	0,0289	35,0	4584,5	0,047	0,0433	52,4
2304,8	0,093	0,0293	35,5	4639,3	0,046	0,0436	52,8
2344,0	0,091	0,0296	35,8	4695,2	0,045	0,0439	53,1
2383,3	0,090	0,0300	36,3	4751,1	0,045	0,0442	53,5
2423,9	0,088	0,0303	36,6	4807,5	0,044	0,0445	53,9
2466,2	0,087	0,0305	37,0	4860,5	0,044	0,0448	54,2
2511,1	0,085	0,0308	37,3	4913,3	0,043	0,0451	54,5
2557,7	0,083	0,0312	37,7	4966,8	0,043	0,0453	54,9
2604,9	0,082	0,0315	38,1	5022,6	0,042	0,0456	55,1
2653,6	0,080	0,0318	38,5	5078,9	0,042	0,0458	55,4
2703,8	0,079	0,0321	38,9	5141,0	0,041	0,046	55,7
2753,8	0,077	0,0325	39,3	5208,9	0,041	0,0463	56,0
2805,0	0,076	0,0328	39,7	5277,6	0,040	0,0465	56,3
2856,7	0,075	0,0332	40,1	5351,6	0,040	0,0468	56,7
2908,5	0,073	0,0335	40,6	5427,6	0,039	0,0471	57,0
2959,6	0,072	0,0339	41,0	5507,1	0,039	0,0474	57,3
3010,7	0,071	0,0342	41,4	5590,7	0,038	0,0477	57,7
3060,6	0,070	0,0346	41,8	5676,4	0,038	0,048	58,1
3111,5	0,069	0,0349	42,2	5762,5	0,037	0,0483	58,4
3160,7	0,067	0,0353	42,7	5848,4	0,036	0,0486	58,9
3207,1	0,067	0,0356	43,1	5935,1	0,036	0,049	59,3
3251,8	0,066	0,036	43,5	6017,5	0,035	0,0493	59,7
3296,9	0,065	0,0363	43,9	6099,7	0,035	0,0496	60,1
3341,8	0,064	0,0366	44,3	6182,4	0,035	0,0499	60,4
3388,2	0,063	0,0369	44,6	6264,4	0,034	0,0502	60,8
3434,7	0,062	0,0372	45,0	6347,0	0,034	0,0506	61,2
3481,6	0,061	0,0375	45,3	6427,5	0,033	0,0509	61,6

Çizelge E.B.4. Devam

Basınç, psi	Gözenek çapı, µm	Cıva hacmi, cc/g	Cıva hacmi, %	Basınç, psi	Gözenek çapı, µm	Cıva hacmi, cc/g	Cıva hacmi, %
6509,4	0,033	0,0512	61,9	11747,9	0,018	0,0637	77,1
6591,5	0,032	0,0515	62,3	11896,9	0,018	0,064	77,4
6673,8	0,032	0,0518	62,7	12049,3	0,018	0,0642	77,7
6756,9	0,032	0,0521	63,1	12208,1	0,017	0,0645	78,1
6840,2	0,031	0,0524	63,5	12370,0	0,017	0,0648	78,4
6927,8	0,031	0,0527	63,8	12534,9	0,017	0,0651	78,8
7016,2	0,030	0,053	64,2	12703,3	0,017	0,0654	79,1
7107,3	0,030	0,0533	64,5	12871,1	0,017	0,0656	79,4
7199,6	0,030	0,0536	64,9	13041,3	0,016	0,0659	79,8
7295,0	0,029	0,0539	65,2	13213,0	0,016	0,0662	80,1
7393,7	0,029	0,0541	65,5	13389,0	0,016	0,0664	80,4
7493,7	0,028	0,0544	65,8	13567,9	0,016	0,0667	80,7
7595,9	0,028	0,0546	66,1	13748,2	0,016	0,067	81,0
7700,4	0,028	0,0548	66,3	13932,3	0,015	0,0672	81,4
7806,8	0,027	0,055	66,5	14116,6	0,015	0,0675	81,7
7915,9	0,027	0,0552	66,8	14304,2	0,015	0,0678	82,0
8030,3	0,027	0,0554	67,0	14493,6	0,015	0,068	82,3
8145,5	0,026	0,0557	67,4	14684,6	0,015	0,0683	82,7
8261,5	0,026	0,0559	67,6	14878,6	0,014	0,0686	83,0
8378,5	0,025	0,0562	68,0	15074,3	0,014	0,0689	83,4
8495,0	0,025	0,0564	68,3	15273,0	0,014	0,0691	83,7
8612,3	0,025	0,0567	68,6	15472,1	0,014	0,0694	84,0
8730,2	0,024	0,057	69,0	15672,9	0,014	0,0696	84,3
8848,5	0,024	0,0573	69,4	15874,7	0,013	0,0699	84,6
8966,6	0,024	0,0577	69,8	16076,6	0,013	0,0701	84,8
9084,7	0,023	0,058	70,2	16278,8	0,013	0,0702	85,0
9204,0	0,023	0,0583	70,6	16482,0	0,013	0,0704	85,2
9321,9	0,023	0,0586	71,0	16685,8	0,013	0,0706	85,5
9441,3	0,023	0,059	71,4	16891,8	0,013	0,0708	85,6
9560,6	0,022	0,0593	71,8	17101,9	0,012	0,0709	85,8
9681,4	0,022	0,0596	72,2	17311,9	0,012	0,071	86,0
9803,7	0,022	0,06	72,6	17523,5	0,012	0,0712	86,1
9928,0	0,021	0,0603	73,0	17735,8	0,012	0,0713	86,3
10057,2	0,021	0,0607	73,4	17947,6	0,012	0,0715	86,5
10189,3	0,021	0,061	73,8	18162,6	0,012	0,0716	86,7
10325,9	0,021	0,0613	74,2	18380,9	0,012	0,0718	86,9
10463,9	0,020	0,0616	74,5	18600,5	0,011	0,072	87,1
10601,8	0,020	0,0618	74,8	18811,2	0,011	0,0721	87,3
10739,4	0,020	0,0621	75,2	19015,1	0,011	0,0723	87,5
10878,8	0,020	0,0623	75,4	19212,3	0,011	0,0725	87,7
11018,8	0,019	0,0626	75,7	19397,2	0,011	0,0727	87,9
11162,8	0,019	0,0628	76,0	19575,5	0,011	0,0728	88,1
11309,3	0,019	0,063	76,3	19747,4	0,011	0,073	88,3
11456,2	0,019	0,0632	76,5	19922,5	0,011	0,0731	88,5
11601,4	0,018	0,0635	76,8	20091,2	0,011	0,0733	88,7

Çizelge E.B.4. Devam

Basınç, psi	Gözenek çapı, µm	Cıva hacmi, cc/g	Cıva hacmi, %	Basınç, psi	Gözenek çapı, µm	Cıva hacmi, cc/g	Cıva hacmi, %
20260,2	0,011	0,0734	88,8	27065,8	0,008	0,0777	94,0
20420,3	0,010	0,0736	89,0	27220,1	0,008	0,0777	94,1
20573,9	0,010	0,0737	89,1	27375,2	0,008	0,0778	94,2
20739,8	0,010	0,0738	89,3	27531,2	0,008	0,0779	94,3
20906,6	0,010	0,0739	89,4	27686,9	0,008	0,078	94,3
21073,0	0,010	0,074	89,5	27843,7	0,008	0,078	94,4
21240,9	0,010	0,0741	89,7	27999,5	0,008	0,0781	94,5
21409,8	0,010	0,0742	89,8	28155,0	0,008	0,0781	94,6
21577,1	0,010	0,0743	90,0	28312,8	0,008	0,0782	94,6
21733,1	0,010	0,0744	90,1	28471,2	0,007	0,0783	94,7
21889,1	0,010	0,0746	90,3	28631,3	0,007	0,0783	94,7
22034,2	0,010	0,0747	90,4	28791,3	0,007	0,0783	94,8
22178,8	0,010	0,0748	90,6	28952,2	0,007	0,0784	94,8
22324,2	0,010	0,075	90,7	29114,1	0,007	0,0784	94,9
22460,2	0,009	0,0751	90,9	29278,9	0,007	0,0784	94,9
22606,6	0,009	0,0752	91,0	29444,2	0,007	0,0785	95,0
22753,8	0,009	0,0753	91,1	29610,8	0,007	0,0785	95,1
22903,6	0,009	0,0754	91,2	29777,3	0,007	0,0786	95,1
23052,8	0,009	0,0755	91,3	29946,1	0,007	0,0787	95,2
23203,2	0,009	0,0755	91,4	30114,5	0,007	0,0787	95,3
23356,1	0,009	0,0756	91,5	30284,3	0,007	0,0788	95,4
23510,0	0,009	0,0757	91,6	30452,8	0,007	0,0789	95,5
23664,0	0,009	0,0758	91,7	30621,4	0,007	0,0789	95,5
23818,4	0,009	0,0759	91,8	30792,1	0,007	0,079	95,6
23972,8	0,009	0,076	91,9	30963,1	0,007	0,0791	95,7
24127,7	0,009	0,076	92,0	31132,0	0,007	0,0791	95,8
24272,5	0,009	0,0761	92,1	31302,5	0,007	0,0792	95,8
24417,7	0,009	0,0762	92,2	31473,2	0,007	0,0792	95,9
24562,1	0,009	0,0763	92,3	31644,5	0,007	0,0793	95,9
24706,5	0,009	0,0764	92,5	31815,4	0,007	0,0793	96,0
24851,1	0,009	0,0765	92,6	31986,9	0,007	0,0794	96,1
24995,1	0,009	0,0766	92,7	32159,1	0,007	0,0794	96,1
25138,5	0,008	0,0767	92,8	32332,4	0,007	0,0795	96,2
25283,9	0,008	0,0768	92,9	32506,7	0,007	0,0795	96,3
25429,5	0,008	0,0768	93,0	32681,0	0,007	0,0796	96,3
25574,7	0,008	0,0769	93,1	32855,4	0,006	0,0797	96,4
25719,3	0,008	0,077	93,1	33030,7	0,006	0,0797	96,5
25864,3	0,008	0,077	93,2	33205,8	0,006	0,0798	96,6
26009,9	0,008	0,0771	93,3	33381,6	0,006	0,0799	96,7
26155,2	0,008	0,0772	93,4	33558,2	0,006	0,0799	96,8
26303,7	0,008	0,0773	93,5	33734,6	0,006	0,08	96,9
26454,3	0,008	0,0774	93,6	33910,7	0,006	0,0801	96,9
26605,9	0,008	0,0774	93,7	34087,1	0,006	0,0802	97,0
26758,3	0,008	0,0775	93,8	34264,1	0,006	0,0802	97,1
26911,3	0,008	0,0776	93,9	34443,4	0,006	0,0802	97,1

Çizelge E.B.4. Devam

Basınç, psi	Gözenek çapı, µm	Cıva hacmi, cc/g	Cıva hacmi, %	Basınç, psi	Gözenek çapı, µm	Cıva hacmi, cc/g	Cıva hacmi, %
34624,4	0,006	0,0803	97,2	44263,0	0,005	0,0821	99,3
34807,0	0,006	0,0804	97,2	44502,3	0,005	0,0821	99,3
34991,3	0,006	0,0804	97,3	44741,6	0,005	0,0821	99,4
35177,2	0,006	0,0804	97,3	44980,3	0,005	0,0822	99,5
35364,7	0,006	0,0804	97,4	45221,2	0,005	0,0822	99,5
35554,5	0,006	0,0805	97,4	45463,0	0,005	0,0823	99,6
35746,4	0,006	0,0805	97,4	45706,5	0,005	0,0823	99,6
35939,2	0,006	0,0806	97,5	45952,3	0,005	0,0823	99,6
36133,2	0,006	0,0806	97,6	46199,5	0,005	0,0823	99,6
36328,6	0,006	0,0807	97,6	46451,3	0,005	0,0824	99,7
36523,4	0,006	0,0807	97,7	46704,1	0,005	0,0824	99,7
36722,0	0,006	0,0808	97,7	46956,7	0,005	0,0824	99,7
36923,3	0,006	0,0808	97,8	47213,9	0,005	0,0824	99,7
37125,2	0,006	0,0808	97,8	47475,9	0,004	0,0824	99,8
37330,1	0,006	0,0809	97,9	47738,2	0,004	0,0824	99,8
37536,5	0,006	0,0809	97,9	48003,1	0,004	0,0825	99,8
37742,6	0,006	0,081	98,0	48268,6	0,004	0,0825	99,8
37949,9	0,006	0,081	98,0	48537,0	0,004	0,0825	99,8
38158,9	0,006	0,081	98,1	48805,9	0,004	0,0825	99,8
38370,4	0,006	0,0811	98,1	49078,0	0,004	0,0825	99,9
38585,6	0,006	0,0811	98,2	49347,0	0,004	0,0825	99,9
38803,2	0,005	0,0811	98,2	49617,7	0,004	0,0825	99,9
39018,5	0,005	0,0812	98,2	49889,5	0,004	0,0826	99,9
39232,6	0,005	0,0812	98,3	50161,7	0,004	0,0826	99,9
39447,2	0,005	0,0812	98,3	50432,2	0,004	0,0826	99,9
39661,1	0,005	0,0813	98,4	50704,9	0,004	0,0826	99,9
39875,7	0,005	0,0813	98,4	50979,8	0,004	0,0826	100,0
40095,1	0,005	0,0813	98,4	51259,7	0,004	0,0826	100,0
40314,3	0,005	0,0813	98,4	51543,3	0,004	0,0826	100,0
40535,2	0,005	0,0814	98,5	51828,0	0,004	0,0826	100,0
40756,0	0,005	0,0814	98,5	52114,7	0,004	0,0826	100,0
40977,5	0,005	0,0814	98,5	52403,1	0,004	0,0826	100,0
41200,8	0,005	0,0815	98,6	52692,4	0,004	0,0826	100,0
41427,6	0,005	0,0815	98,6	52983,7	0,004	0,0826	100,0
41657,4	0,005	0,0815	98,6	53274,7	0,004	0,0826	100,0
41889,4	0,005	0,0816	98,7	53566,7	0,004	0,0826	100,0
42124,3	0,005	0,0816	98,8	53864,3	0,004	0,0826	100,0
42362,2	0,005	0,0816	98,8	54153,9	0,004	0,0826	100,0
42597,1	0,005	0,0817	98,9	54441,0	0,004	0,0826	100,0
42835,1	0,005	0,0817	98,9	54728,8	0,004	0,0826	100,0
43072,7	0,005	0,0818	99,0	55017,2	0,004	0,0826	100,0
43311,1	0,005	0,0818	99,0				
43548,4	0,005	0,0819	99,1				
43786,2	0,005	0,082	99,2				
44023,7	0,005	0,082	99,2				

Çizelge E.B.5. Portland çimentosu 28 günlük cıva porozimetresi verileri

Basınç, psi	Gözenek çapı, µm	Cıva hacmi, cc/g	Cıva hacmi, %	Basınç, psi	Gözenek çapı, µm	Cıva hacmi, cc/g	Cıva hacmi, %
22,2	9,611	0,0000	0,0	1682,8	0,127	0,0346	19,5
32,4	6,594	0,0038	2,1	1707,6	0,125	0,0359	20,2
69,8	3,055	0,0046	2,6	1732,5	0,123	0,0370	20,8
118,3	1,804	0,0051	2,9	1758,8	0,121	0,0381	21,4
168,1	1,269	0,0057	3,2	1784,4	0,120	0,0391	22,0
214,0	0,997	0,0061	3,5	1810,6	0,118	0,0402	22,6
256,8	0,831	0,0070	3,9	1835,1	0,116	0,0413	23,2
302,5	0,705	0,0074	4,2	1858,7	0,115	0,0425	23,9
349,0	0,611	0,0079	4,4	1881,9	0,113	0,0436	24,5
393,9	0,542	0,0083	4,7	1902,5	0,112	0,0447	25,1
438,9	0,486	0,0089	5,0	1924,5	0,111	0,0457	25,7
480,8	0,444	0,0094	5,3	1946,8	0,110	0,0466	26,2
521,0	0,410	0,0098	5,5	1970,0	0,108	0,0474	26,6
560,6	0,381	0,0103	5,8	1997,1	0,107	0,0481	27,1
598,8	0,356	0,0107	6,0	2024,6	0,105	0,0489	27,5
637,6	0,335	0,0111	6,2	2053,0	0,104	0,0497	27,9
675,6	0,316	0,0115	6,5	2080,8	0,103	0,0505	28,4
712,6	0,299	0,0119	6,7	2109,0	0,101	0,0513	28,8
748,9	0,285	0,0123	6,9	2136,1	0,100	0,0522	29,3
787,1	0,271	0,0127	7,1	2161,8	0,099	0,0532	29,9
824,9	0,259	0,0132	7,4	2187,7	0,098	0,0543	30,5
861,0	0,248	0,0136	7,6	2212,4	0,096	0,0553	31,1
900,1	0,237	0,0139	7,8	2237,0	0,095	0,0564	31,7
939,7	0,227	0,0144	8,1	2260,3	0,094	0,0576	32,4
980,2	0,218	0,0149	8,4	2280,6	0,094	0,0589	33,1
1022,3	0,209	0,0152	8,6	2299,4	0,093	0,0601	33,8
1066,8	0,200	0,0157	8,8	2317,2	0,092	0,0613	34,5
1114,5	0,191	0,0162	9,1	2334,4	0,091	0,0624	35,1
1162,2	0,184	0,0167	9,4	2351,9	0,091	0,0635	35,7
1210,3	0,176	0,0173	9,7	2371,1	0,090	0,0645	36,2
1256,3	0,170	0,0178	10,0	2392,9	0,089	0,0652	36,6
1301,6	0,164	0,0185	10,4	2417,2	0,088	0,0658	37,0
1345,4	0,159	0,0193	10,9	2446,1	0,087	0,0664	37,3
1385,3	0,154	0,0204	11,4	2478,5	0,086	0,0670	37,6
1421,8	0,150	0,0213	12,0	2510,9	0,085	0,0675	37,9
1455,1	0,147	0,0224	12,6	2544,3	0,084	0,0679	38,1
1484,7	0,144	0,0236	13,3	2579,7	0,083	0,0683	38,4
1509,3	0,141	0,0249	14,0	2616,3	0,082	0,0687	38,6
1529,8	0,139	0,0262	14,7	2655,2	0,080	0,0692	38,9
1549,1	0,138	0,0275	15,4	2693,7	0,079	0,0698	39,3
1568,1	0,136	0,0288	16,2	2730,5	0,078	0,0705	39,6
1588,7	0,134	0,0300	16,8	2764,8	0,077	0,0711	40,0
1610,2	0,133	0,0311	17,5	2798,9	0,076	0,0719	40,4
1634,5	0,131	0,0322	18,1	2829,1	0,075	0,0726	40,8
1658,6	0,129	0,0333	18,7	2857,9	0,075	0,0733	41,2

Çizelge E.B.5. Devam

Basınç, psi	Gözenek çapı, µm	Cıva hacmi, cc/g	Cıva hacmi, %	Basınç, psi	Gözenek çapı, µm	Cıva hacmi, cc/g	Cıva hacmi, %
2887,6	0,074	0,0740	41,6	5434,2	0,039	0,1024	57,5
2918,7	0,073	0,0748	42,1	5525,0	0,039	0,1029	57,8
2948,5	0,072	0,0758	42,6	5617,8	0,038	0,1033	58,1
2977,6	0,072	0,0768	43,2	5711,0	0,037	0,1038	58,4
3004,8	0,071	0,0777	43,7	5805,2	0,037	0,1044	58,7
3032,3	0,070	0,0785	44,1	5894,2	0,036	0,1050	59,0
3062,0	0,070	0,0793	44,6	5986,0	0,036	0,1056	59,3
3093,1	0,069	0,0801	45,0	6076,7	0,035	0,1061	59,7
3125,0	0,068	0,0807	45,4	6167,0	0,035	0,1067	60,0
3159,5	0,068	0,0813	45,7	6256,5	0,034	0,1072	60,3
3199,1	0,067	0,0819	46,0	6341,6	0,034	0,1078	60,6
3242,1	0,066	0,0825	46,4	6426,7	0,033	0,1083	60,9
3289,7	0,065	0,0830	46,7	6513,2	0,033	0,1087	61,1
3344,8	0,064	0,0834	46,9	6600,7	0,032	0,1092	61,4
3406,0	0,063	0,0838	47,1	6691,1	0,032	0,1096	61,6
3470,0	0,061	0,0841	47,3	6784,6	0,031	0,1100	61,8
3540,0	0,060	0,0846	47,5	6883,4	0,031	0,1104	62,1
3611,2	0,059	0,0850	47,8	6983,5	0,031	0,1108	62,3
3687,4	0,058	0,0855	48,1	7084,6	0,030	0,1111	62,4
3763,5	0,057	0,0861	48,4	7187,3	0,030	0,1114	62,6
3840,3	0,056	0,0868	48,8	7291,2	0,029	0,1117	62,8
3911,1	0,055	0,0875	49,2	7396,6	0,029	0,1121	63,0
3979,1	0,054	0,0883	49,6	7503,0	0,028	0,1124	63,2
4041,5	0,053	0,0890	50,0	7610,7	0,028	0,1128	63,4
4097,8	0,052	0,0896	50,4	7714,6	0,028	0,1133	63,7
4149,4	0,051	0,0903	50,7	7818,3	0,027	0,1136	63,9
4202,5	0,051	0,0909	51,1	7922,7	0,027	0,1140	64,1
4253,1	0,050	0,0915	51,4	8029,1	0,027	0,1145	64,3
4304,4	0,050	0,0923	51,9	8134,0	0,026	0,1150	64,6
4353,8	0,049	0,0929	52,2	8240,5	0,026	0,1154	64,9
4404,7	0,048	0,0935	52,5	8346,5	0,026	0,1160	65,2
4455,4	0,048	0,0940	52,8	8455,2	0,025	0,1165	65,5
4509,9	0,047	0,0946	53,2	8563,9	0,025	0,1170	65,7
4567,0	0,047	0,0951	53,5	8673,6	0,025	0,1174	66,0
4627,3	0,046	0,0958	53,8	8784,1	0,024	0,1177	66,2
4690,2	0,045	0,0965	54,2	8900,7	0,024	0,1181	66,4
4756,0	0,045	0,0972	54,6	9018,0	0,024	0,1184	66,5
4822,7	0,044	0,0979	55,0	9135,8	0,023	0,1186	66,7
4889,8	0,044	0,0986	55,4	9256,6	0,023	0,1188	66,8
4959,5	0,043	0,0992	55,7	9380,1	0,023	0,1190	66,9
5029,4	0,042	0,0997	56,1	9507,4	0,022	0,1192	67,0
5102,6	0,042	0,1003	56,4	9636,9	0,022	0,1194	67,1
5179,0	0,041	0,1008	56,7	9767,7	0,022	0,1197	67,3
5258,3	0,041	0,1014	57,0	9898,4	0,022	0,1199	67,4
5345,3	0,040	0,1019	57,2	10025,5	0,021	0,1202	67,5

Çizelge E.B.5. Devam

Basınç, psi	Gözenek çapı, µm	Cıva hacmi, cc/g	Cıva hacmi, %	Basınç, psi	Gözenek çapı, µm	Cıva hacmi, cc/g	Cıva hacmi, %
10152,3	0,021	0,1205	67,7	16805,0	0,013	0,1384	77,8
10279,8	0,021	0,1208	67,9	16969,6	0,013	0,1387	77,9
10408,9	0,020	0,1211	68,1	17136,0	0,012	0,1390	78,1
10538,6	0,020	0,1215	68,3	17305,1	0,012	0,1391	78,2
10668,8	0,020	0,1220	68,6	17485,3	0,012	0,1392	78,2
10801,2	0,020	0,1224	68,8	17676,9	0,012	0,1395	78,4
10933,5	0,020	0,1229	69,1	17876,7	0,012	0,1397	78,5
11067,6	0,019	0,1234	69,3	18078,9	0,012	0,1400	78,7
11202,7	0,019	0,1238	69,6	18280,5	0,012	0,1402	78,8
11343,3	0,019	0,1243	69,8	18484,2	0,012	0,1404	78,9
11491,7	0,019	0,1248	70,1	18696,5	0,011	0,1407	79,1
11644,0	0,018	0,1252	70,4	18909,6	0,011	0,1410	79,2
11800,1	0,018	0,1257	70,6	19117,6	0,011	0,1412	79,4
11957,1	0,018	0,1262	70,9	19328,6	0,011	0,1415	79,6
12118,1	0,018	0,1266	71,2	19542,4	0,011	0,1420	79,8
12278,5	0,017	0,1271	71,4	19747,3	0,011	0,1425	80,1
12431,6	0,017	0,1277	71,8	19941,3	0,011	0,1428	80,3
12579,1	0,017	0,1283	72,1	20126,8	0,011	0,1431	80,4
12719,7	0,017	0,1290	72,5	20304,6	0,011	0,1434	80,6
12852,8	0,017	0,1296	72,8	20475,3	0,010	0,1437	80,8
12977,8	0,016	0,1302	73,2	20638,2	0,010	0,1441	81,0
13094,8	0,016	0,1308	73,5	20804,9	0,010	0,1444	81,1
13210,0	0,016	0,1314	73,8	20975,2	0,010	0,1447	81,3
13317,1	0,016	0,1319	74,1	21156,4	0,010	0,1451	81,5
13420,0	0,016	0,1324	74,4	21328,2	0,010	0,1454	81,7
13523,6	0,016	0,1329	74,7	21501,2	0,010	0,1457	81,9
13631,0	0,016	0,1333	74,9	21675,7	0,010	0,1460	82,0
13750,1	0,016	0,1336	75,1	21852,3	0,010	0,1464	82,3
13878,8	0,015	0,1337	75,2	22031,0	0,010	0,1468	82,5
14017,5	0,015	0,1340	75,3	22209,4	0,010	0,1472	82,8
14166,5	0,015	0,1342	75,4	22386,8	0,010	0,1476	83,0
14325,5	0,015	0,1344	75,6	22564,7	0,009	0,1480	83,2
14496,3	0,015	0,1347	75,7	22733,5	0,009	0,1484	83,4
14671,4	0,015	0,1349	75,8	22892,0	0,009	0,1488	83,6
14856,5	0,014	0,1351	75,9	23040,7	0,009	0,1491	83,8
15050,5	0,014	0,1353	76,0	23189,9	0,009	0,1494	84,0
15246,0	0,014	0,1355	76,1	23330,1	0,009	0,1496	84,1
15440,3	0,014	0,1358	76,3	23472,6	0,009	0,1498	84,2
15624,0	0,014	0,1362	76,6	23616,8	0,009	0,1499	84,2
15799,0	0,014	0,1366	76,8	23762,4	0,009	0,1499	84,2
15967,7	0,013	0,1369	76,9	23910,5	0,009	0,1499	84,3
16136,0	0,013	0,1372	77,1	24060,0	0,009	0,1500	84,3
16307,5	0,013	0,1375	77,3	24211,3	0,009	0,1501	84,3
16477,3	0,013	0,1378	77,5	24361,8	0,009	0,1502	84,4
16640,2	0,013	0,1381	77,6	24511,4	0,009	0,1503	84,5

Çizelge E.B.5. Devam

Basınç, psi	Gözenek çapı, µm	Cıva hacmi, cc/g	Cıva hacmi, %	Basınç, psi	Gözenek çapı, µm	Cıva hacmi, cc/g	Cıva hacmi, %
24660,8	0,009	0,1504	84,5	31858,1	0,007	0,1583	89,0
24809,0	0,009	0,1506	84,6	32032,3	0,007	0,1585	89,1
24957,2	0,009	0,1507	84,7	32208,4	0,007	0,1587	89,2
25104,1	0,008	0,1508	84,7	32384,3	0,007	0,1588	89,3
25251,4	0,008	0,1509	84,8	32561,7	0,007	0,1591	89,4
25398,2	0,008	0,1510	84,9	32738,7	0,007	0,1593	89,5
25544,8	0,008	0,1512	84,9	32916,4	0,006	0,1595	89,6
25691,7	0,008	0,1513	85,0	33094,5	0,006	0,1596	89,7
25838,0	0,008	0,1514	85,1	33273,9	0,006	0,1598	89,8
25985,9	0,008	0,1515	85,1	33454,3	0,006	0,1600	89,9
26134,7	0,008	0,1516	85,2	33637,5	0,006	0,1602	90,0
26282,9	0,008	0,1517	85,2	33824,8	0,006	0,1604	90,1
26432,1	0,008	0,1518	85,3	34012,0	0,006	0,1605	90,2
26580,9	0,008	0,1519	85,4	34198,1	0,006	0,1607	90,3
26733,4	0,008	0,1520	85,5	34387,3	0,006	0,1608	90,4
26886,0	0,008	0,1522	85,5	34578,7	0,006	0,1609	90,4
27039,6	0,008	0,1523	85,6	34774,0	0,006	0,1611	90,5
27194,6	0,008	0,1524	85,7	34972,9	0,006	0,1613	90,6
27351,0	0,008	0,1526	85,7	35176,0	0,006	0,1614	90,7
27508,7	0,008	0,1527	85,8	35381,4	0,006	0,1617	90,9
27666,6	0,008	0,1528	85,9	35587,5	0,006	0,1620	91,0
27825,7	0,008	0,1529	86,0	35792,7	0,006	0,1623	91,2
27988,6	0,008	0,1531	86,1	35998,5	0,006	0,1626	91,4
28151,5	0,008	0,1533	86,1	36208,8	0,006	0,1630	91,6
28316,6	0,008	0,1534	86,2	36423,1	0,006	0,1634	91,8
28480,9	0,007	0,1536	86,3	36637,4	0,006	0,1638	92,0
28646,0	0,007	0,1538	86,4	36853,6	0,006	0,1641	92,2
28810,9	0,007	0,1540	86,5	37071,1	0,006	0,1644	92,4
28974,9	0,007	0,1542	86,7	37289,1	0,006	0,1648	92,6
29139,7	0,007	0,1545	86,8	37505,7	0,006	0,1652	92,8
29304,3	0,007	0,1548	87,0	37724,2	0,006	0,1655	93,0
29469,2	0,007	0,1551	87,2	37946,2	0,006	0,1657	93,1
29636,1	0,007	0,1553	87,3	38172,9	0,006	0,1660	93,3
29803,3	0,007	0,1556	87,4	38400,4	0,006	0,1661	93,4
29971,5	0,007	0,1558	87,6	38628,2	0,006	0,1663	93,5
30139,0	0,007	0,1561	87,7	38857,0	0,005	0,1664	93,5
30307,2	0,007	0,1564	87,9	39087,8	0,005	0,1665	93,6
30476,2	0,007	0,1567	88,0	39319,6	0,005	0,1667	93,7
30646,6	0,007	0,1569	88,2	39552,2	0,005	0,1669	93,8
30819,0	0,007	0,1572	88,3	39785,5	0,005	0,1670	93,9
30991,4	0,007	0,1573	88,4	40020,8	0,005	0,1672	94,0
31165,2	0,007	0,1575	88,5	40256,4	0,005	0,1674	94,1
31339,6	0,007	0,1577	88,6	40492,9	0,005	0,1675	94,1
31513,6	0,007	0,1579	88,7	40728,7	0,005	0,1677	94,2
31685,4	0,007	0,1581	88,9	40965,9	0,005	0,1679	94,3

Çizelge E.B.5. Devam

Basınç, psi	Gözenek çapı, µm	Cıva hacmi, cc/g	Cıva hacmi, %	Basınç, psi	Gözenek çapı, µm	Cıva hacmi, cc/g	Cıva hacmi, %
41204,0	0,005	0,1681	94,5	52710,8	0,004	0,1769	99,4
41442,5	0,005	0,1683	94,6	52988,0	0,004	0,1771	99,5
41682,3	0,005	0,1684	94,7	53266,9	0,004	0,1772	99,6
41921,9	0,005	0,1686	94,8	53548,0	0,004	0,1774	99,7
42161,6	0,005	0,1687	94,8	53829,6	0,004	0,1775	99,8
42401,9	0,005	0,1689	94,9	54113,9	0,004	0,1776	99,8
42643,8	0,005	0,1690	95,0	54398,8	0,004	0,1778	99,9
42886,0	0,005	0,1691	95,1	54680,3	0,004	0,1779	100,0
43127,9	0,005	0,1693	95,2	54968,0	0,004	0,1779	100,0
43370,9	0,005	0,1695	95,2				
43613,5	0,005	0,1696	95,3				
43856,3	0,005	0,1697	95,4				
44099,2	0,005	0,1699	95,5				
44342,2	0,005	0,1701	95,6				
44589,1	0,005	0,1703	95,7				
44836,5	0,005	0,1705	95,8				
45084,4	0,005	0,1706	95,9				
45331,6	0,005	0,1708	96,0				
45581,6	0,005	0,1710	96,1				
45831,3	0,005	0,1711	96,2				
46081,6	0,005	0,1712	96,2				
46332,9	0,005	0,1713	96,3				
46585,5	0,005	0,1715	96,4				
46840,2	0,005	0,1716	96,5				
47096,9	0,005	0,1718	96,5				
47352,8	0,005	0,1719	96,6				
47609,4	0,004	0,1721	96,7				
47868,1	0,004	0,1724	96,9				
48130,1	0,004	0,1727	97,0				
48390,8	0,004	0,1730	97,2				
48654,3	0,004	0,1733	97,4				
48919,5	0,004	0,1736	97,6				
49185,2	0,004	0,1740	97,8				
49451,8	0,004	0,1744	98,0				
49719,3	0,004	0,1747	98,2				
49988,4	0,004	0,1749	98,3				
50256,6	0,004	0,1753	98,5				
50526,0	0,004	0,1755	98,6				
50795,5	0,004	0,1757	98,8				
51064,6	0,004	0,1759	98,9				
51335,0	0,004	0,1761	99,0				
51607,1	0,004	0,1763	99,1				
51880,2	0,004	0,1765	99,2				
52155,6	0,004	0,1766	99,2				
52433,0	0,004	0,1768	99,3				

Çizelge E.B.6. BZ 28 günlük cıva porozimetresi verileri

Basınç, psi	Gözenek çapı, µm	Cıva hacmi, cc/g	Cıva hacmi, %	Basınç, psi	Gözenek çapı, µm	Cıva hacmi, cc/g	Cıva hacmi, %
28,4	7,509	0	0,0	2294,2	0,093	0,0449	24,4
47,4	4,501	0,0197	10,7	2333,5	0,091	0,0457	24,8
91,4	2,334	0,0236	12,8	2373,6	0,090	0,0464	25,2
136,8	1,560	0,0255	13,8	2412,6	0,088	0,0471	25,6
187,7	1,137	0,0265	14,4	2452,7	0,087	0,0478	26,0
244,7	0,872	0,0272	14,8	2493,0	0,086	0,0486	26,4
300,2	0,711	0,03	16,3	2531,8	0,084	0,0493	26,8
361,9	0,589	0,0302	16,4	2570,1	0,083	0,0502	27,2
425,6	0,501	0,0303	16,5	2604,3	0,082	0,0509	27,6
493,6	0,432	0,0305	16,6	2636,5	0,081	0,0515	28,0
564,5	0,378	0,0308	16,7	2668,8	0,080	0,0523	28,4
638,2	0,334	0,0312	16,9	2700,8	0,079	0,0531	28,8
713,3	0,299	0,0315	17,1	2731,2	0,078	0,0539	29,3
787,9	0,271	0,0318	17,3	2759,8	0,077	0,0547	29,7
860,2	0,248	0,0321	17,4	2786,6	0,077	0,0556	30,2
930,6	0,229	0,0324	17,6	2812,4	0,076	0,0563	30,5
999,4	0,213	0,0327	17,8	2836,3	0,075	0,057	31,0
1064,4	0,200	0,033	17,9	2859,8	0,075	0,0578	31,4
1129,0	0,189	0,0334	18,1	2882,0	0,074	0,0585	31,8
1188,7	0,180	0,0338	18,4	2903,8	0,073	0,0592	32,2
1242,8	0,172	0,0342	18,6	2926,0	0,073	0,0598	32,5
1293,2	0,165	0,0345	18,7	2948,5	0,072	0,0603	32,8
1339,4	0,159	0,0347	18,8	2971,4	0,072	0,0608	33,0
1383,8	0,154	0,0348	18,9	2995,5	0,071	0,0613	33,3
1427,2	0,150	0,035	19,0	3021,3	0,071	0,0617	33,5
1471,6	0,145	0,0352	19,1	3050,1	0,070	0,0621	33,7
1517,1	0,141	0,0354	19,2	3077,3	0,069	0,0627	34,0
1562,3	0,137	0,0357	19,4	3106,5	0,069	0,0632	34,3
1606,3	0,133	0,0361	19,6	3136,2	0,068	0,0637	34,6
1647,9	0,130	0,0364	19,7	3168,6	0,067	0,0642	34,9
1691,5	0,126	0,0366	19,9	3205,0	0,067	0,0648	35,2
1734,4	0,123	0,0368	20,0	3244,8	0,066	0,0654	35,5
1779,6	0,120	0,0372	20,2	3286,9	0,065	0,0661	35,9
1824,5	0,117	0,0376	20,4	3331,6	0,064	0,0667	36,2
1867,0	0,114	0,0381	20,7	3377,5	0,063	0,0673	36,5
1908,0	0,112	0,0386	21,0	3427,4	0,062	0,0679	36,9
1947,8	0,110	0,0391	21,2	3478,3	0,061	0,0685	37,2
1987,1	0,107	0,0398	21,6	3531,5	0,060	0,0691	37,5
2025,0	0,105	0,0404	21,9	3585,6	0,059	0,0698	37,9
2062,5	0,103	0,0409	22,2	3640,6	0,059	0,0706	38,3
2100,3	0,102	0,0414	22,5	3695,4	0,058	0,0713	38,7
2137,5	0,100	0,042	22,8	3749,1	0,057	0,0719	39,1
2178,1	0,098	0,0427	23,2	3804,7	0,056	0,0725	39,4
2217,6	0,096	0,0435	23,6	3861,8	0,055	0,0732	39,7
2255,7	0,095	0,0442	24,0	3920,5	0,054	0,0739	40,1

Çizelge E.B.6. Devam

Basınç, psi	Gözenek çapı, µm	Cıva hacmi, cc/g	Cıva hacmi, %	Basınç, psi	Gözenek çapı, µm	Cıva hacmi, cc/g	Cıva hacmi, %
3981,5	0,054	0,0747	40,5	7825,9	0,027	0,0977	53,0
4041,5	0,053	0,0754	40,9	7935,8	0,027	0,0981	53,3
4104,0	0,052	0,0761	41,3	8039,3	0,027	0,0986	53,5
4169,9	0,051	0,0769	41,7	8138,3	0,026	0,099	53,8
4238,7	0,050	0,0774	42,0	8232,8	0,026	0,0994	54,0
4315,8	0,049	0,0779	42,3	8321,3	0,026	0,0998	54,2
4397,5	0,049	0,0784	42,6	8405,9	0,025	0,1001	54,3
4482,2	0,048	0,079	42,9	8490,4	0,025	0,1003	54,5
4568,0	0,047	0,0797	43,3	8574,8	0,025	0,1006	54,6
4653,2	0,046	0,0804	43,6	8653,7	0,025	0,1011	54,9
4735,0	0,045	0,0811	44,0	8726,7	0,024	0,1014	55,1
4813,7	0,044	0,0818	44,4	8794,7	0,024	0,1018	55,3
4891,1	0,044	0,0824	44,8	8860,1	0,024	0,1022	55,5
4963,8	0,043	0,083	45,1	8931,7	0,024	0,1024	55,6
5035,0	0,042	0,0835	45,3	9010,4	0,024	0,1027	55,8
5104,5	0,042	0,084	45,6	9098,1	0,023	0,1031	56,0
5170,0	0,041	0,0846	45,9	9192,4	0,023	0,1035	56,2
5234,3	0,041	0,0851	46,2	9291,6	0,023	0,1039	56,4
5298,9	0,040	0,0856	46,5	9394,2	0,023	0,1043	56,6
5364,2	0,040	0,086	46,7	9497,6	0,022	0,1047	56,8
5431,9	0,039	0,0864	46,9	9607,1	0,022	0,1049	57,0
5504,9	0,039	0,0867	47,1	9723,7	0,022	0,1052	57,1
5582,2	0,038	0,087	47,2	9846,8	0,022	0,1054	57,2
5661,0	0,038	0,0873	47,4	9979,1	0,021	0,1057	57,4
5745,9	0,037	0,0877	47,6	10112,3	0,021	0,106	57,5
5833,7	0,037	0,088	47,8	10249,7	0,021	0,1063	57,7
5928,8	0,036	0,0883	48,0	10387,9	0,021	0,1066	57,9
6026,4	0,035	0,0887	48,2	10526,6	0,020	0,1068	58,0
6126,6	0,035	0,0891	48,4	10666,1	0,020	0,107	58,1
6227,5	0,034	0,0895	48,6	10804,8	0,020	0,1073	58,2
6328,5	0,034	0,0898	48,8	10946,7	0,019	0,1075	58,4
6430,1	0,033	0,0901	48,9	11089,4	0,019	0,1079	58,6
6532,9	0,033	0,0905	49,1	11236,0	0,019	0,1082	58,8
6636,1	0,032	0,091	49,4	11385,4	0,019	0,1087	59,0
6736,6	0,032	0,0914	49,6	11535,0	0,018	0,1091	59,2
6835,1	0,031	0,092	49,9	11688,5	0,018	0,1095	59,4
6934,9	0,031	0,0925	50,2	11839,3	0,018	0,1099	59,7
7030,3	0,030	0,0931	50,6	11992,6	0,018	0,1103	59,9
7124,8	0,030	0,0937	50,9	12149,0	0,018	0,1107	60,1
7219,7	0,030	0,0943	51,2	12309,4	0,017	0,1112	60,4
7315,4	0,029	0,0949	51,5	12474,1	0,017	0,1116	60,6
7412,4	0,029	0,0956	51,9	12639,0	0,017	0,1121	60,9
7511,7	0,028	0,0962	52,2	12804,7	0,017	0,1125	61,1
7613,0	0,028	0,0967	52,5	12962,7	0,016	0,1129	61,3
7717,0	0,028	0,0972	52,8	13122,5	0,016	0,1133	61,5

Çizelge E.B.6. Devam

Basınç, psi	Gözenek çapı, µm	Cıva hacmi, cc/g	Cıva hacmi, %	Basınç, psi	Gözenek çapı, µm	Cıva hacmi, cc/g	Cıva hacmi, %
13275,2	0,016	0,1136	61,7	20840,8	0,010	0,1296	70,4
13426,4	0,016	0,114	61,9	20984,4	0,010	0,1299	70,6
13581,3	0,016	0,1143	62,0	21128,2	0,010	0,1304	70,8
13737,0	0,016	0,1146	62,2	21272,7	0,010	0,1308	71,0
13895,5	0,015	0,115	62,4	21408,7	0,010	0,1313	71,3
14056,9	0,015	0,1153	62,6	21535,4	0,010	0,1317	71,5
14218,5	0,015	0,1157	62,8	21662,1	0,010	0,132	71,7
14383,3	0,015	0,116	63,0	21788,5	0,010	0,1324	71,9
14551,8	0,015	0,1162	63,1	21914,6	0,010	0,1327	72,0
14720,7	0,014	0,1164	63,2	22041,4	0,010	0,133	72,2
14881,5	0,014	0,1166	63,3	22166,8	0,010	0,1334	72,4
15041,9	0,014	0,1169	63,5	22291,8	0,010	0,1337	72,6
15196,1	0,014	0,1173	63,7	22419,2	0,010	0,1341	72,8
15341,5	0,014	0,1177	63,9	22547,2	0,009	0,1344	73,0
15477,7	0,014	0,1181	64,1	22674,5	0,009	0,1346	73,1
15604,0	0,014	0,1185	64,3	22802,0	0,009	0,1348	73,2
15721,3	0,014	0,1188	64,5	22929,6	0,009	0,1351	73,3
15839,1	0,013	0,1192	64,7	23057,8	0,009	0,1354	73,5
15957,1	0,013	0,1196	64,9	23187,3	0,009	0,1357	73,7
16075,5	0,013	0,12	65,1	23318,0	0,009	0,1361	73,9
16203,8	0,013	0,1204	65,4	23449,5	0,009	0,1364	74,1
16343,1	0,013	0,1208	65,6	23582,3	0,009	0,1367	74,2
16492,1	0,013	0,1213	65,8	23717,3	0,009	0,1371	74,4
16652,1	0,013	0,1216	66,0	23851,7	0,009	0,1374	74,6
16824,5	0,013	0,1221	66,3	23988,6	0,009	0,1378	74,8
17007,7	0,013	0,1224	66,4	24127,7	0,009	0,1382	75,0
17201,7	0,012	0,1228	66,6	24267,7	0,009	0,1386	75,2
17406,7	0,012	0,1231	66,9	24410,4	0,009	0,139	75,5
17613,1	0,012	0,1235	67,1	24555,0	0,009	0,1394	75,7
17820,7	0,012	0,1239	67,3	24699,6	0,009	0,1398	75,9
18031,8	0,012	0,1244	67,5	24844,3	0,009	0,1402	76,1
18243,7	0,012	0,1248	67,8	24990,9	0,009	0,1405	76,3
18456,9	0,012	0,1252	68,0	25139,1	0,008	0,1409	76,5
18673,3	0,011	0,1256	68,2	25285,7	0,008	0,1412	76,7
18890,1	0,011	0,1258	68,3	25432,9	0,008	0,1415	76,8
19096,2	0,011	0,1262	68,5	25579,8	0,008	0,1419	77,0
19294,1	0,011	0,1265	68,7	25725,4	0,008	0,1423	77,3
19485,2	0,011	0,1268	68,8	25873,4	0,008	0,1427	77,5
19675,8	0,011	0,127	69,0	26019,5	0,008	0,1431	77,7
19868,3	0,011	0,1274	69,2	26167,4	0,008	0,1434	77,8
20052,4	0,011	0,1278	69,4	26318,5	0,008	0,1437	78,0
20226,8	0,011	0,1282	69,6	26470,5	0,008	0,144	78,2
20393,1	0,010	0,1285	69,8	26621,7	0,008	0,1444	78,4
20550,0	0,010	0,1288	69,9	26772,2	0,008	0,1447	78,6
20698,9	0,010	0,1292	70,1	26924,8	0,008	0,145	78,7

Çizelge E.B.6. Devam

Basınç, psi	Gözenek çapı, µm	Cıva hacmi, cc/g	Cıva hacmi, %	Basınç, psi	Gözenek çapı, µm	Cıva hacmi, cc/g	Cıva hacmi, %
27077,1	0,008	0,1453	78,9	34833,1	0,006	0,1603	87,1
27228,5	0,008	0,1456	79,0	35028,1	0,006	0,1608	87,3
27380,0	0,008	0,1458	79,1	35224,1	0,006	0,1612	87,5
27530,7	0,008	0,146	79,3	35419,1	0,006	0,1616	87,7
27685,6	0,008	0,1462	79,4	35614,9	0,006	0,1618	87,9
27840,9	0,008	0,1464	79,5	35812,2	0,006	0,1622	88,1
27996,6	0,008	0,1467	79,7	36008,8	0,006	0,1625	88,2
28155,6	0,008	0,147	79,8	36208,6	0,006	0,1628	88,4
28315,2	0,008	0,1473	80,0	36408,9	0,006	0,1631	88,6
28475,5	0,007	0,1476	80,1	36610,5	0,006	0,1634	88,7
28635,2	0,007	0,1478	80,3	36811,9	0,006	0,1638	88,9
28798,1	0,007	0,1481	80,4	37016,2	0,006	0,1641	89,1
28962,6	0,007	0,1484	80,6	37221,4	0,006	0,1643	89,2
29128,4	0,007	0,1487	80,7	37426,0	0,006	0,1646	89,4
29294,3	0,007	0,149	80,9	37631,9	0,006	0,1648	89,5
29457,7	0,007	0,1494	81,1	37838,9	0,006	0,1651	89,6
29622,5	0,007	0,1497	81,3	38045,4	0,006	0,1653	89,7
29786,5	0,007	0,1501	81,5	38253,8	0,006	0,1654	89,8
29948,8	0,007	0,1504	81,7	38461,5	0,006	0,1656	89,9
30112,2	0,007	0,1508	81,9	38671,0	0,006	0,1658	90,0
30276,5	0,007	0,1512	82,1	38882,9	0,005	0,1659	90,1
30444,6	0,007	0,1516	82,3	39096,3	0,005	0,1661	90,2
30613,2	0,007	0,152	82,5	39310,3	0,005	0,1663	90,3
30782,5	0,007	0,1524	82,7	39526,3	0,005	0,1665	90,4
30952,9	0,007	0,1528	83,0	39744,7	0,005	0,1668	90,5
31126,2	0,007	0,1533	83,2	39966,5	0,005	0,167	90,7
31300,5	0,007	0,1536	83,4	40189,6	0,005	0,1673	90,8
31473,6	0,007	0,154	83,6	40415,1	0,005	0,1676	91,0
31648,1	0,007	0,1543	83,8	40641,6	0,005	0,1679	91,2
31826,1	0,007	0,1547	84,0	40870,5	0,005	0,1683	91,4
32004,2	0,007	0,155	84,2	41101,1	0,005	0,1687	91,6
32184,0	0,007	0,1553	84,3	41331,6	0,005	0,169	91,8
32363,1	0,007	0,1557	84,5	41563,2	0,005	0,1693	91,9
32542,5	0,007	0,1561	84,8	41794,9	0,005	0,1697	92,1
32724,4	0,007	0,1565	84,9	42026,9	0,005	0,1701	92,4
32909,5	0,006	0,1568	85,1	42259,5	0,005	0,1706	92,6
33095,9	0,006	0,1571	85,3	42492,5	0,005	0,1712	92,9
33285,0	0,006	0,1574	85,5	42726,1	0,005	0,1717	93,2
33475,2	0,006	0,1578	85,7	42962,1	0,005	0,1722	93,5
33666,7	0,006	0,1582	85,9	43199,2	0,005	0,1726	93,7
33858,4	0,006	0,1586	86,1	43438,4	0,005	0,173	93,9
34051,0	0,006	0,159	86,3	43676,0	0,005	0,1734	94,2
34245,5	0,006	0,1594	86,6	43915,3	0,005	0,174	94,5
34440,5	0,006	0,1597	86,7	44157,8	0,005	0,1746	94,8
34637,0	0,006	0,16	86,9	44401,9	0,005	0,1751	95,1

Çizelge E.B.6. Devam

Basınç, psi	Gözenek çapı, µm	Cıva hacmi, cc/g	Cıva hacmi, %
44648,2	0,005	0,1756	95,3
44894,3	0,005	0,1759	95,5
45140,9	0,005	0,1762	95,6
45388,1	0,005	0,1764	95,8
45634,8	0,005	0,1768	96,0
45884,3	0,005	0,1771	96,2
46132,6	0,005	0,1776	96,4
46385,3	0,005	0,1779	96,6
46638,1	0,005	0,1781	96,7
46889,1	0,005	0,1784	96,8
47141,7	0,005	0,1787	97,0
47397,4	0,005	0,179	97,2
47654,4	0,004	0,1794	97,4
47915,0	0,004	0,1798	97,6
48178,9	0,004	0,1803	97,9
48443,2	0,004	0,1806	98,1
48706,3	0,004	0,1809	98,2
48973,8	0,004	0,1812	98,4
49239,8	0,004	0,1815	98,6
49506,6	0,004	0,1818	98,7
49774,7	0,004	0,1821	98,8
50043,0	0,004	0,1822	98,9
50309,8	0,004	0,1824	99,0
50578,3	0,004	0,1826	99,1
50846,6	0,004	0,1827	99,2
51115,6	0,004	0,1827	99,2
51387,1	0,004	0,1828	99,2
51662,1	0,004	0,1828	99,3
51936,6	0,004	0,1829	99,3
52212,6	0,004	0,183	99,3
52490,1	0,004	0,1831	99,4
52768,8	0,004	0,1831	99,4
53050,7	0,004	0,1833	99,5
53334,4	0,004	0,1834	99,5
53618,4	0,004	0,1834	99,6
53903,0	0,004	0,1836	99,7
54184,3	0,004	0,1838	99,8
54469,6	0,004	0,1831	100,0
54766,3	0,004	0,1833	100,0

Çizelge E.B.7.BZ200 28 günlük cıva porozimetresi verileri

Basınç, psi	Gözenek çapı, µm	Cıva hacmi, cc/g	Cıva hacmi, %	Basınç, psi	Gözenek çapı, µm	Cıva hacmi, cc/g	Cıva hacmi, %
22,4	9,515	0,0	0,0	1004,7	0,212	0,0	0,0
30,1	7,080	0,0	0,0	1023,4	0,208	0,0	0,0
58,8	3,628	0,0	0,0	1041,1	0,205	0,0	0,0
87,9	2,427	0,0	0,0	1057,9	0,202	0,0	0,0
118,2	1,805	0,0	0,0	1073,5	0,199	0,0	0,0
147,1	1,450	0,0	0,0	1088,9	0,196	0,0	0,0
172,4	1,237	0,0	0,0	1103,7	0,193	0,0	0,0
198,6	1,074	0,0	0,0	1118,8	0,191	0,0	0,0
225,4	0,946	0,0	0,0	1135,2	0,188	0,0	0,0
248,7	0,858	0,0	0,0	1152,7	0,185	0,0	0,0
270,8	0,788	0,0	0,0	1172,0	0,182	0,0	0,0
291,5	0,732	0,0	0,0	1192,0	0,179	0,0	0,0
310,6	0,687	0,0	0,0	1211,8	0,176	0,0	0,0
327,8	0,651	0,0	0,0	1232,1	0,173	0,0	0,0
343,1	0,622	0,0	0,0	1254,5	0,170	0,0	0,0
356,9	0,598	0,0	0,0	1279,5	0,167	0,0	0,0
370,0	0,577	0,0	0,0	1307,3	0,163	0,0	0,0
385,2	0,554	0,0	0,0	1338,8	0,159	0,0	0,0
400,7	0,532	0,0	0,0	1372,4	0,155	0,0	0,0
416,9	0,512	0,0	0,0	1405,2	0,152	0,0	0,0
434,5	0,491	0,0	0,0	1436,2	0,149	0,0	0,0
453,6	0,470	0,0	0,0	1465,4	0,146	0,0	0,0
474,3	0,450	0,0	0,0	1495,8	0,143	0,0	0,0
497,4	0,429	0,0	0,0	1528,5	0,140	0,0	0,0
522,5	0,408	0,0	0,0	1562,7	0,137	0,0	0,0
547,4	0,390	0,0	0,0	1597,6	0,134	0,0	0,0
573,2	0,372	0,0	0,0	1632,8	0,131	0,0	0,0
600,5	0,355	0,0	0,0	1666,9	0,128	0,0	0,0
627,1	0,340	0,0	0,0	1700,2	0,126	0,0	0,0
654,7	0,326	0,0	0,0	1730,6	0,123	0,0	0,0
682,0	0,313	0,0	0,0	1760,1	0,121	0,0	0,0
709,0	0,301	0,0	0,0	1789,7	0,119	0,0	0,0
734,8	0,290	0,0	0,0	1819,5	0,117	0,0	0,0
757,9	0,281	0,0	0,0	1847,4	0,116	0,0	0,0
780,0	0,274	0,0	0,0	1873,6	0,114	0,0	0,0
800,9	0,266	0,0	0,0	1898,1	0,112	0,0	0,0
822,8	0,259	0,0	0,0	1920,3	0,111	0,0	0,0
844,8	0,253	0,0	0,0	1940,5	0,110	0,0	0,0
866,3	0,246	0,0	0,0	1959,0	0,109	0,0	0,0
887,1	0,241	0,0	0,0	1977,1	0,108	0,0	0,0
906,7	0,235	0,0	0,0	1997,0	0,107	0,0	0,0
926,1	0,230	0,0	0,0	2019,6	0,106	0,0	0,0
945,3	0,226	0,0	0,0	2044,1	0,104	0,0	0,0
965,1	0,221	0,0	0,0	2069,9	0,103	0,0	0,0
985,2	0,217	0,0	0,0	2099,4	0,102	0,0	0,0

Çizelge E.B.7. Devam

Basınç, psi	Gözenek çapı, µm	Cıva hacmi, cc/g	Cıva hacmi, %	Basınç, psi	Gözenek çapı, µm	Cıva hacmi, cc/g	Cıva hacmi, %
2131,4	0,100	0,0	0,0	4523,2	0,047	0,0204	13,8
2165,3	0,099	0,0	0,0	4606,6	0,046	0,0211	14,3
2202,0	0,097	0,0	0,0	4691,6	0,045	0,0218	14,8
2241,7	0,095	0,0	0,0	4777,4	0,045	0,0227	15,3
2283,9	0,093	0,0	0,0	4864,3	0,044	0,0234	15,8
2328,5	0,092	0,0	0,0	4951,4	0,043	0,0241	16,3
2373,2	0,090	0,0	0,0	5037,9	0,042	0,0247	16,7
2417,3	0,088	0,0	0,0	5124,9	0,042	0,0256	17,3
2459,9	0,087	0,0	0,0	5208,8	0,041	0,0265	17,9
2501,4	0,085	0,0002	0,1	5288,2	0,040	0,0274	18,5
2539,8	0,084	0,0006	0,4	5362,1	0,040	0,0282	19,1
2575,7	0,083	0,0011	0,7	5433,2	0,039	0,029	19,6
2609,7	0,082	0,0015	1,0	5497,5	0,039	0,0297	20,1
2642,4	0,081	0,0020	1,3	5554,4	0,038	0,0303	20,5
2671,9	0,080	0,0024	1,6	5606,0	0,038	0,0307	20,8
2701,5	0,079	0,0029	1,9	5656,9	0,038	0,0312	21,1
2729,4	0,078	0,0033	2,2	5706,4	0,037	0,0316	21,4
2758,6	0,077	0,0038	2,5	5754,5	0,037	0,032	21,6
2789,3	0,076	0,0042	2,8	5803,4	0,037	0,0324	21,9
2823,9	0,076	0,0047	3,2	5856,2	0,036	0,0327	22,1
2860,8	0,075	0,0049	3,3	5910,5	0,036	0,033	22,3
2898,1	0,074	0,0051	3,5	5969,1	0,036	0,0334	22,6
2938,1	0,073	0,0053	3,6	6030,8	0,035	0,0338	22,8
2980,6	0,072	0,0056	3,8	6092,9	0,035	0,0342	23,1
3024,6	0,071	0,0059	4,0	6158,8	0,035	0,0345	23,4
3072,1	0,069	0,0063	4,3	6224,6	0,034	0,0349	23,6
3119,4	0,068	0,0067	4,6	6287,1	0,034	0,0353	23,9
3170,1	0,067	0,0072	4,8	6348,6	0,034	0,0357	24,1
3222,4	0,066	0,0077	5,2	6406,8	0,033	0,0361	24,4
3278,1	0,065	0,0082	5,5	6462,3	0,033	0,0362	24,5
3337,3	0,064	0,0088	5,9	6517,3	0,033	0,0363	24,5
3400,8	0,063	0,0095	6,4	6576,5	0,032	0,0364	24,6
3471,2	0,061	0,0101	6,8	6636,9	0,032	0,0364	24,6
3547,5	0,060	0,0109	7,4	6698,3	0,032	0,0364	24,6
3624,8	0,059	0,0117	7,9	6764,7	0,032	0,0364	24,6
3703,3	0,058	0,0124	8,4	6834,1	0,031	0,0364	24,6
3785,6	0,056	0,0132	8,9	6910,5	0,031	0,0364	24,6
3871,7	0,055	0,0140	9,4	6992,8	0,031	0,0364	24,6
3956,7	0,054	0,0149	10,1	7081,6	0,030	0,0364	24,6
4041,7	0,053	0,0157	10,6	7175,2	0,030	0,0364	24,6
4127,1	0,052	0,0166	11,2	7274,7	0,029	0,039	26,4
4209,0	0,051	0,0174	11,8	7371,8	0,029	0,0417	28,2
4289,1	0,050	0,0183	12,4	7465,3	0,029	0,0447	30,2
4367,4	0,049	0,0191	12,9	7554,0	0,028	0,0477	32,3
4444,5	0,048	0,0198	13,4	7638,5	0,028	0,0507	34,3

Çizelge E.B.7. Devam

Basınç, psi	Gözenek çapı, µm	Cıva hacmi, cc/g	Cıva hacmi, %	Basınç, psi	Gözenek çapı, µm	Cıva hacmi, cc/g	Cıva hacmi, %
7718,1	0,028	0,0538	36,3	10335,7	0,021	0,0781	52,8
7792,0	0,027	0,0568	38,4	10393,3	0,021	0,0785	53,1
7859,8	0,027	0,0598	40,4	10451,1	0,020	0,0789	53,3
7922,7	0,027	0,0628	42,5	10508,9	0,020	0,0793	53,6
7979,1	0,027	0,0658	44,5	10567,0	0,020	0,0797	53,9
8032,0	0,027	0,0689	46,5	10625,3	0,020	0,0801	54,1
8079,5	0,026	0,0692	46,8	10684,7	0,020	0,0803	54,3
8126,8	0,026	0,0696	47,0	10744,3	0,020	0,0812	54,9
8174,8	0,026	0,0696	47,0	10804,8	0,020	0,0819	55,3
8223,0	0,026	0,0696	47,0	10865,8	0,020	0,0825	55,8
8277,6	0,026	0,0696	47,0	10927,1	0,020	0,0832	56,2
8333,6	0,026	0,0696	47,0	10988,8	0,019	0,0839	56,7
8395,2	0,025	0,0696	47,0	11050,6	0,019	0,0845	57,2
8462,3	0,025	0,0699	47,2	11112,7	0,019	0,0852	57,6
8529,6	0,025	0,0705	47,7	11176,0	0,019	0,0859	58,1
8597,5	0,025	0,0711	48,1	11239,1	0,019	0,0866	58,5
8665,5	0,025	0,0717	48,5	11302,7	0,019	0,0872	59,0
8733,3	0,024	0,0723	48,9	11366,3	0,019	0,0879	59,4
8801,4	0,024	0,0729	49,3	11430,4	0,019	0,0879	59,4
8869,0	0,024	0,0735	49,7	11494,8	0,019	0,0879	59,4
8937,1	0,024	0,0741	50,1	11559,5	0,018	0,0879	59,4
8999,6	0,024	0,0748	50,5	11624,8	0,018	0,0879	59,4
9061,9	0,024	0,0754	50,9	11690,0	0,018	0,0879	59,4
9120,1	0,023	0,076	51,4	11755,8	0,018	0,0901	60,9
9174,1	0,023	0,0763	51,6	11821,7	0,018	0,0923	62,4
9228,4	0,023	0,0763	51,6	11887,3	0,018	0,0945	63,9
9282,9	0,023	0,0763	51,6	11953,8	0,018	0,0966	65,3
9337,6	0,023	0,0763	51,6	12021,1	0,018	0,0988	66,8
9392,7	0,023	0,0763	51,6	12088,1	0,018	0,101	68,3
9447,7	0,023	0,0763	51,6	12156,0	0,018	0,1032	69,8
9502,8	0,022	0,0763	51,6	12223,6	0,017	0,1054	71,2
9558,2	0,022	0,0763	51,6	12291,3	0,017	0,1076	72,7
9613,7	0,022	0,0763	51,6	12359,4	0,017	0,1097	74,2
9669,0	0,022	0,0763	51,6	12428,2	0,017	0,1119	75,7
9723,8	0,022	0,0763	51,6	12497,2	0,017	0,1119	75,7
9777,8	0,022	0,0763	51,6	12567,2	0,017	0,1119	75,7
9832,1	0,022	0,0763	51,6	12637,3	0,017	0,1119	75,7
9886,7	0,022	0,0763	51,6	12707,1	0,017	0,1119	75,7
9941,8	0,021	0,0763	51,6	12777,8	0,017	0,1119	75,7
9997,3	0,021	0,0763	51,6	12849,1	0,017	0,1119	75,7
10053,2	0,021	0,0764	51,7	12920,5	0,017	0,1119	75,7
10109,2	0,021	0,0766	51,8	12992,0	0,016	0,1119	75,7
10165,5	0,021	0,0770	52,0	13064,4	0,016	0,1119	75,7
10221,9	0,021	0,0774	52,3	13136,9	0,016	0,1119	75,7
10278,7	0,021	0,0777	52,6	13209,6	0,016	0,1119	75,7

Çizelge E.B.7. Devam

Basınç, psi	Gözenek çapı, µm	Cıva hacmi, cc/g	Cıva hacmi, %	Basınç, psi	Gözenek çapı, µm	Cıva hacmi, cc/g	Cıva hacmi, %
13282,9	0,016	0,1119	75,7	17003,3	0,013	0,1239	83,8
13355,8	0,016	0,1119	75,7	17101,0	0,012	0,1239	83,8
13429,0	0,016	0,1119	75,7	17198,4	0,012	0,1239	83,8
13503,1	0,016	0,1119	75,7	17295,4	0,012	0,1261	85,3
13576,5	0,016	0,1119	75,7	17391,7	0,012	0,1283	86,7
13650,3	0,016	0,1119	75,7	17488,6	0,012	0,1305	88,2
13724,4	0,016	0,1119	75,7	17585,4	0,012	0,1327	89,7
13798,9	0,015	0,1119	75,7	17682,3	0,012	0,1348	91,2
13873,5	0,015	0,1119	75,7	17777,6	0,012	0,137	92,6
13948,5	0,015	0,1119	75,7	17872,4	0,012	0,1392	94,1
14023,8	0,015	0,1119	75,7	17967,8	0,012	0,1414	95,6
14099,9	0,015	0,1119	75,7	18063,9	0,012	0,1436	97,1
14176,8	0,015	0,1119	75,7	18159,3	0,012	0,1458	98,5
14254,2	0,015	0,1119	75,7	18254,9	0,012	0,1479	100,0
14331,6	0,015	0,1119	75,7	18351,9	0,012	0,1479	100,0
14409,7	0,015	0,1119	75,7	18449,3	0,012	0,1479	100,0
14488,6	0,015	0,1119	75,7	18547,4	0,012	0,1479	100,0
14568,3	0,015	0,1119	75,7	18646,3	0,011	0,1479	100,0
14649,0	0,015	0,1119	75,7	18746,2	0,011	0,1479	100,0
14730,2	0,014	0,1119	75,7	18846,8	0,011	0,1479	100,0
14811,7	0,014	0,1119	75,7	18948,6	0,011	0,1479	100,0
14893,5	0,014	0,1119	75,7	19050,7	0,011	0,1479	100,0
14975,0	0,014	0,1120	75,7	19153,5	0,011	0,1479	100,0
15057,0	0,014	0,1122	75,9	19257,1	0,011	0,1479	100,0
15139,7	0,014	0,1124	76,0	19361,3	0,011	0,1479	100,0
15223,1	0,014	0,1131	76,4	19466,9	0,011	0,1479	100,0
15306,7	0,014	0,1137	76,9	19573,5	0,011	0,1479	100,0
15390,2	0,014	0,1148	77,6	19680,2	0,011	0,1479	100,0
15473,7	0,014	0,1159	78,3	19787,9	0,011	0,1479	100,0
15557,5	0,014	0,1170	79,1	19897,1	0,011	0,1479	100,0
15641,4	0,014	0,1181	79,8	20006,7	0,011	0,1479	100,0
15726,2	0,014	0,1192	80,5	20116,1	0,011	0,1479	100,0
15812,2	0,013	0,1202	81,3	20226,2	0,011	0,1479	100,0
15899,4	0,013	0,1212	82,0	20336,7	0,010	0,1479	100,0
15986,7	0,013	0,1221	82,6	20447,6	0,010	0,1479	100,0
16074,2	0,013	0,1230	83,2	20559,2	0,010	0,1479	100,0
16162,6	0,013	0,1235	83,5	20669,5	0,010	0,1479	100,0
16252,4	0,013	0,1239	83,8	20780,3	0,010	0,1479	100,0
16343,4	0,013	0,1239	83,8	20892,0	0,010	0,1479	100,0
16434,9	0,013	0,1239	83,8	21004,2	0,010	0,1479	100,0
16527,1	0,013	0,1239	83,8	21116,2	0,010	0,1479	100,0
16620,1	0,013	0,1239	83,8	21229,1	0,010	0,1479	100,0
16715,4	0,013	0,1239	83,8	21342,6	0,010	0,1479	100,0
16811,5	0,013	0,1239	83,8	21458,2	0,010	0,1479	100,0
16907,3	0,013	0,1239	83,8	21574,9	0,010	0,1479	100,0

Çizelge E.B.7. Devam

Basınç, psi	Gözenek çapı, µm	Cıva hacmi, cc/g	Cıva hacmi, %	Basınç, psi	Gözenek çapı, µm	Cıva hacmi, cc/g	Cıva hacmi, %
21693,0	0,010	0,1479	100,0	27914,7	0,008	0,1479	100,0
21811,7	0,010	0,1479	100,0	28079,8	0,008	0,1479	100,0
21931,9	0,010	0,1479	100,0	28246,0	0,008	0,1479	100,0
22052,8	0,010	0,1479	100,0	28411,2	0,008	0,1479	100,0
22173,5	0,010	0,1479	100,0	28574,9	0,007	0,1479	100,0
22294,3	0,010	0,1479	100,0	28738,8	0,007	0,1479	100,0
22415,5	0,010	0,1479	100,0	28903,9	0,007	0,1479	100,0
22536,7	0,009	0,1479	100,0	29069,2	0,007	0,1479	100,0
22658,5	0,009	0,1479	100,0	29235,4	0,007	0,1479	100,0
22779,3	0,009	0,1479	100,0	29403,8	0,007	0,1479	100,0
22900,5	0,009	0,1479	100,0	29572,9	0,007	0,1479	100,0
23021,6	0,009	0,1479	100,0	29743,5	0,007	0,1479	100,0
23143,1	0,009	0,1479	100,0	29915,1	0,007	0,1479	100,0
23264,8	0,009	0,1479	100,0	30087,1	0,007	0,1479	100,0
23387,9	0,009	0,1479	100,0	30260,2	0,007	0,1479	100,0
23512,4	0,009	0,1479	100,0	30433,4	0,007	0,1479	100,0
23637,5	0,009	0,1479	100,0	30605,2	0,007	0,1479	100,0
23764,1	0,009	0,1479	100,0	30778,3	0,007	0,1479	100,0
23892,9	0,009	0,1479	100,0	30950,4	0,007	0,1479	100,0
24023,1	0,009	0,1479	100,0	31121,9	0,007	0,1479	100,0
24155,9	0,009	0,1479	100,0	31292,9	0,007	0,1479	100,0
24290,0	0,009	0,1479	100,0	31463,7	0,007	0,1479	100,0
24426,3	0,009	0,1479	100,0	31634,2	0,007	0,1479	100,0
24565,8	0,009	0,1479	100,0	31805,2	0,007	0,1479	100,0
24708,5	0,009	0,1479	100,0	31975,1	0,007	0,1479	100,0
24853,7	0,009	0,1479	100,0	32145,4	0,007	0,1479	100,0
24999,0	0,009	0,1479	100,0	32319,7	0,007	0,1479	100,0
25144,9	0,008	0,1479	100,0	32495,0	0,007	0,1479	100,0
25290,8	0,008	0,1479	100,0	32669,1	0,007	0,1479	100,0
25436,3	0,008	0,1479	100,0	32845,1	0,006	0,1479	100,0
25582,0	0,008	0,1479	100,0	33024,3	0,006	0,1479	100,0
25726,9	0,008	0,1479	100,0	33203,8	0,006	0,1479	100,0
25873,7	0,008	0,1479	100,0	33385,5	0,006	0,1479	100,0
26020,7	0,008	0,1479	100,0	33569,2	0,006	0,1479	100,0
26169,3	0,008	0,1479	100,0	33753,8	0,006	0,1479	100,0
26316,5	0,008	0,1479	100,0	33939,4	0,006	0,1479	100,0
26464,0	0,008	0,1479	100,0	34129,5	0,006	0,1479	100,0
26614,8	0,008	0,1479	100,0	34317,4	0,006	0,1479	100,0
26769,8	0,008	0,1479	100,0	34506,3	0,006	0,1479	100,0
26927,8	0,008	0,1479	100,0	34698,6	0,006	0,1479	100,0
27088,4	0,008	0,1479	100,0	34894,1	0,006	0,1479	100,0
27252,1	0,008	0,1479	100,0	35090,4	0,006	0,1479	100,0
27418,0	0,008	0,1479	100,0	35289,2	0,006	0,1479	100,0
27583,3	0,008	0,1479	100,0	35487,8	0,006	0,1479	100,0
27750,1	0,008	0,1479	100,0	35687,9	0,006	0,1479	100,0

Çizelge E.B.7. Devam

Basınç, psi	Gözenek çapı, µm	Cıva hacmi, cc/g	Cıva hacmi, %	Basınç, psi	Gözenek çapı, µm	Cıva hacmi, cc/g	Cıva hacmi, %
35889,3	0,006	0,1479	100,0	45964,8	0,005	0,1479	100,0
36093,3	0,006	0,1479	100,0	46219,4	0,005	0,1479	100,0
36296,1	0,006	0,1479	100,0	46479,1	0,005	0,1479	100,0
36501,9	0,006	0,1479	100,0	46737,1	0,005	0,1479	100,0
36710,8	0,006	0,1479	100,0	46996,9	0,005	0,1479	100,0
36919,0	0,006	0,1479	100,0	47258,9	0,005	0,1479	100,0
37126,7	0,006	0,1479	100,0	47520,2	0,004	0,1479	100,0
37333,3	0,006	0,1479	100,0	47780,3	0,004	0,1479	100,0
37539,9	0,006	0,1479	100,0	48042,3	0,004	0,1479	100,0
37747,9	0,006	0,1479	100,0	48310,0	0,004	0,1479	100,0
37957,0	0,006	0,1479	100,0	48577,9	0,004	0,1479	100,0
38168,1	0,006	0,1479	100,0	48844,9	0,004	0,1479	100,0
38379,2	0,006	0,1479	100,0	49110,8	0,004	0,1479	100,0
38590,4	0,006	0,1479	100,0	49374,7	0,004	0,1479	100,0
38802,0	0,005	0,1479	100,0	49641,3	0,004	0,1479	100,0
39013,4	0,005	0,1479	100,0	49908,9	0,004	0,1479	100,0
39225,4	0,005	0,1479	100,0	50179,1	0,004	0,1479	100,0
39437,1	0,005	0,1479	100,0	50453,9	0,004	0,1479	100,0
39652,7	0,005	0,1479	100,0	50729,1	0,004	0,1479	100,0
39868,9	0,005	0,1479	100,0	51008,1	0,004	0,1479	100,0
40086,0	0,005	0,1479	100,0	51285,3	0,004	0,1479	100,0
40302,9	0,005	0,1479	100,0	51565,6	0,004	0,1479	100,0
40520,4	0,005	0,1479	100,0	51847,2	0,004	0,1479	100,0
40740,5	0,005	0,1479	100,0	52132,1	0,004	0,1479	100,0
40960,9	0,005	0,1479	100,0	52419,1	0,004	0,1479	100,0
41183,5	0,005	0,1479	100,0	52705,6	0,004	0,1479	100,0
41407,5	0,005	0,1479	100,0	52997,0	0,004	0,1479	100,0
41634,3	0,005	0,1479	100,0	53291,7	0,004	0,1479	100,0
41862,5	0,005	0,1479	100,0	53582,8	0,004	0,1479	100,0
42088,8	0,005	0,1479	100,0	53873,2	0,004	0,1479	100,0
42316,8	0,005	0,1479	100,0	54165,7	0,004	0,1479	100,0
42546,1	0,005	0,1479	100,0	54460,6	0,004	0,1479	100,0
42778,3	0,005	0,1479	100,0	54778,6	0,004	0,1479	100,0
43012,2	0,005	0,1479	100,0				
43248,6	0,005	0,1479	100,0				
43489,7	0,005	0,1479	100,0				
43729,4	0,005	0,1479	100,0				
43972,7	0,005	0,1479	100,0				
44214,7	0,005	0,1479	100,0				
44457,1	0,005	0,1479	100,0				
44703,6	0,005	0,1479	100,0				
44954,2	0,005	0,1479	100,0				
45206,2	0,005	0,1479	100,0				
45457,7	0,005	0,1479	100,0				
45710,8	0,005	0,1479	100,0				

Çizelge E.B.8. BZ600 28 günlük cıva porozimetresi verileri

Basınç, psi	Gözenek çapı, µm	Cıva hacmi, cc/g	Cıva hacmi, %	Basınç, psi	Gözenek çapı, µm	Cıva hacmi, cc/g	Cıva hacmi, %
20,1	10,630	0,0	0,0	398,1	0,536	0,0102	5,4
20,6	10,340	0,0	0,0	413,1	0,516	0,0112	5,9
21,2	10,070	0,0	0,0	425,6	0,501	0,0123	6,5
21,8	9,776	0,0	0,0	436,4	0,489	0,0134	7,1
22,5	9,490	0,0	0,0	445,8	0,479	0,0143	7,6
23,2	9,190	0,0	0,0	455,2	0,469	0,0152	8,1
23,9	8,911	0,0	0,0	464,9	0,459	0,0161	8,5
24,7	8,633	0,0	0,0	475,5	0,449	0,017	9,0
25,5	8,356	0,0	0,0	487,5	0,438	0,0178	9,4
26,4	8,084	0,0	0,0	501,2	0,426	0,0185	9,8
27,3	7,810	0,0	0,0	516,7	0,413	0,0193	10,2
28,3	7,532	0,0	0,0	534,1	0,399	0,02	10,6
29,4	7,256	0,0	0,0	553,5	0,385	0,0208	11,0
30,6	6,973	0,0	0,0	574,8	0,371	0,0215	11,4
31,9	6,686	0,0	0,0	598,4	0,357	0,0221	11,7
33,3	6,406	0,0	0,0	624,0	0,342	0,0228	12,1
34,8	6,128	0,0	0,0	651,0	0,328	0,0236	12,5
36,4	5,853	0,0	0,0	679,2	0,314	0,0243	12,8
38,2	5,579	0,0	0,0	709,0	0,301	0,0248	13,1
40,2	5,305	0,0	0,0	740,3	0,288	0,0254	13,4
42,4	5,029	0,0	0,0	773,5	0,276	0,0259	13,7
44,9	4,754	0,0	0,0	809,0	0,264	0,0263	13,9
47,6	4,483	0,0	0,0	846,9	0,252	0,0266	14,1
50,6	4,212	0,0	0,0	887,9	0,240	0,0269	14,2
54,1	3,943	0,0	0,0	932,5	0,229	0,0272	14,4
58,0	3,677	0,0	0,0	980,6	0,218	0,0276	14,6
62,6	3,410	0,0	0,0	1030,7	0,207	0,0277	14,6
67,8	3,146	0,0	0,0	1082,7	0,197	0,0278	14,7
74,0	2,884	0,0	0,0	1137,1	0,188	0,0279	14,7
81,2	2,628	0,0	0,0	1194,5	0,179	0,0280	14,8
89,7	2,377	0,0	0,0	1254,7	0,170	0,0281	14,8
99,9	2,135	0,0001	0,1	1318,6	0,162	0,0282	14,9
112,0	1,904	0,0002	0,1	1386,0	0,154	0,0283	15,0
126,5	1,687	0,0004	0,2	1454,6	0,147	0,0285	15,0
143,5	1,487	0,0007	0,4	1524,2	0,140	0,0286	15,1
163,4	1,306	0,0011	0,6	1594,5	0,134	0,0288	15,2
186,0	1,147	0,0015	0,8	1664,6	0,128	0,0289	15,3
210,7	1,012	0,0021	1,1	1736,1	0,123	0,0291	15,4
236,9	0,900	0,0029	1,5	1811,6	0,118	0,0292	15,5
263,3	0,810	0,0037	2,0	1890,1	0,113	0,0294	15,5
289,5	0,737	0,0047	2,5	1970,0	0,108	0,0296	15,6
314,8	0,678	0,0057	3,0	2051,8	0,104	0,0297	15,7
338,8	0,630	0,0068	3,6	2136,5	0,100	0,0299	15,8
360,8	0,591	0,0080	4,2	2221,8	0,096	0,0300	15,8
380,7	0,560	0,0091	4,8	2309,4	0,092	0,0302	16,0

Çizelge E.B.8. Devam

Basınç, psi	Gözenek çapı, µm	Cıva hacmi, cc/g	Cıva hacmi, %	Basınç, psi	Gözenek çapı, µm	Cıva hacmi, cc/g	Cıva hacmi, %
2396,6	0,089	0,0306	16,2	5296,2	0,040	0,0661	34,9
2484,0	0,086	0,0309	16,3	5386,8	0,040	0,0667	35,2
2569,6	0,083	0,0314	16,6	5483,3	0,039	0,0674	35,6
2652,9	0,080	0,0321	17,0	5580,4	0,038	0,0681	36,0
2729,8	0,078	0,0330	17,4	5679,3	0,038	0,0687	36,3
2800,4	0,076	0,0339	17,9	5780,6	0,037	0,0695	36,7
2867,3	0,074	0,0348	18,4	5883,3	0,036	0,0703	37,1
2929,6	0,073	0,0358	18,9	5983,3	0,036	0,071	37,5
2985,2	0,071	0,0367	19,4	6082,3	0,035	0,0717	37,9
3036,9	0,070	0,0377	19,9	6185,0	0,034	0,0724	38,3
3085,9	0,069	0,0385	20,4	6285,5	0,034	0,0732	38,6
3135,3	0,068	0,0394	20,8	6386,5	0,033	0,0738	39,0
3186,2	0,067	0,0402	21,2	6484,5	0,033	0,0744	39,3
3241,2	0,066	0,0410	21,7	6580,3	0,032	0,0750	39,6
3299,6	0,065	0,0415	21,9	6678,7	0,032	0,0756	40,0
3364,2	0,063	0,0421	22,3	6778,1	0,031	0,0763	40,3
3434,0	0,062	0,0428	22,6	6878,2	0,031	0,0768	40,6
3505,6	0,061	0,0435	23,0	6978,6	0,031	0,0774	40,9
3578,5	0,060	0,0444	23,5	7079,7	0,030	0,0781	41,3
3649,5	0,058	0,0453	23,9	7183,6	0,030	0,0788	41,7
3720,4	0,057	0,0463	24,5	7286,2	0,029	0,0796	42,0
3790,8	0,056	0,0474	25,0	7391,8	0,029	0,0803	42,4
3860,1	0,055	0,0484	25,6	7501,0	0,028	0,0810	42,8
3925,8	0,054	0,0493	26,1	7612,3	0,028	0,0817	43,2
3987,9	0,053	0,0503	26,6	7727,0	0,028	0,0824	43,5
4047,9	0,053	0,0514	27,1	7842,7	0,027	0,0830	43,8
4104,9	0,052	0,0525	27,7	7960,0	0,027	0,0836	44,1
4157,6	0,051	0,0535	28,3	8077,9	0,026	0,0842	44,5
4207,6	0,051	0,0544	28,8	8197,4	0,026	0,0848	44,8
4256,0	0,050	0,0553	29,2	8319,2	0,026	0,0853	45,1
4308,6	0,050	0,0561	29,7	8439,8	0,025	0,0858	45,3
4362,8	0,049	0,0569	30,1	8559,6	0,025	0,0862	45,5
4417,3	0,048	0,0577	30,5	8677,5	0,025	0,0865	45,7
4472,6	0,048	0,0585	30,9	8793,3	0,024	0,0870	45,9
4528,6	0,047	0,0593	31,3	8909,9	0,024	0,0873	46,1
4585,7	0,047	0,0602	31,8	9026,4	0,024	0,0877	46,4
4642,9	0,046	0,0609	32,2	9146,3	0,023	0,0882	46,6
4701,4	0,045	0,0614	32,4	9266,7	0,023	0,0886	46,8
4762,8	0,045	0,0620	32,8	9386,4	0,023	0,0889	47,0
4827,9	0,044	0,0626	33,1	9505,8	0,022	0,0894	47,2
4897,1	0,044	0,0632	33,4	9627,3	0,022	0,0898	47,4
4970,6	0,043	0,0638	33,7	9751,2	0,022	0,0902	47,6
5047,4	0,042	0,0643	34,0	9878,3	0,022	0,0907	47,9
5126,8	0,042	0,0649	34,3	10006,8	0,021	0,0913	48,2
5210,3	0,041	0,0655	34,6	10135,9	0,021	0,0918	48,5

Çizelge E.B.8. Devam

Basınç, psi	Gözenek çapı, µm	Cıva hacmi, cc/g	Cıva hacmi, %	Basınç, psi	Gözenek çapı, µm	Cıva hacmi, cc/g	Cıva hacmi, %
10267,8	0,021	0,0924	48,8	16403,1	0,013	0,1182	62,5
10400,3	0,021	0,0930	49,1	16555,4	0,013	0,1188	62,7
10533,2	0,020	0,0936	49,4	16710,1	0,013	0,1192	63,0
10671,5	0,020	0,0942	49,8	16866,7	0,013	0,1197	63,2
10814,0	0,020	0,0949	50,1	17024,8	0,013	0,1202	63,5
10960,6	0,019	0,0954	50,4	17182,6	0,012	0,1208	63,8
11106,2	0,019	0,0962	50,8	17349,2	0,012	0,1214	64,1
11246,7	0,019	0,0969	51,2	17515,2	0,012	0,1221	64,5
11380,1	0,019	0,0978	51,6	17673,6	0,012	0,1228	64,9
11508,7	0,019	0,0985	52,0	17823,8	0,012	0,1236	65,3
11632,0	0,018	0,0993	52,4	17975,6	0,012	0,1242	65,6
11748,5	0,018	0,1000	52,8	18128,4	0,012	0,1249	66,0
11859,4	0,018	0,1007	53,2	18280,4	0,012	0,1255	66,3
11969,5	0,018	0,1015	53,6	18436,6	0,012	0,1262	66,7
12075,8	0,018	0,1022	54,0	18603,9	0,011	0,1267	66,9
12176,8	0,018	0,1029	54,4	18773,1	0,011	0,1272	67,2
12277,4	0,017	0,1035	54,7	18945,8	0,011	0,1277	67,5
12380,6	0,017	0,104	54,9	19112,5	0,011	0,1282	67,7
12492,8	0,017	0,1045	55,2	19292,0	0,011	0,1286	67,9
12613,8	0,017	0,1048	55,4	19474,6	0,011	0,1290	68,1
12744,0	0,017	0,1051	55,5	19659,5	0,011	0,1294	68,3
12885,3	0,017	0,1055	55,7	19845,3	0,011	0,1298	68,6
13034,2	0,016	0,1059	55,9	20024,3	0,011	0,1303	68,8
13190,6	0,016	0,1063	56,1	20197,0	0,011	0,1307	69,0
13350,2	0,016	0,1066	56,3	20358,1	0,010	0,1310	69,2
13513,2	0,016	0,1070	56,5	20509,0	0,010	0,1314	69,4
13684,5	0,016	0,1075	56,8	20659,0	0,010	0,1318	69,6
13858,1	0,015	0,1081	57,1	20809,4	0,010	0,1322	69,8
14033,6	0,015	0,1087	57,4	20960,9	0,010	0,1326	70,0
14201,5	0,015	0,1094	57,8	21101,8	0,010	0,1331	70,3
14363,8	0,015	0,1100	58,1	21242,2	0,010	0,1335	70,5
14518,2	0,015	0,1107	58,5	21382,2	0,010	0,1339	70,7
14664,7	0,015	0,1113	58,8	21523,8	0,010	0,1343	71,0
14805,2	0,014	0,1119	59,1	21666,1	0,010	0,1346	71,1
14945,5	0,014	0,1124	59,4	21810,0	0,010	0,1349	71,3
15086,4	0,014	0,1130	59,7	21956,1	0,010	0,1353	71,5
15226,7	0,014	0,1137	60,1	22103,2	0,010	0,1357	71,7
15358,5	0,014	0,1144	60,4	22250,1	0,010	0,1361	71,9
15483,9	0,014	0,1150	60,7	22397,4	0,010	0,1365	72,1
15601,5	0,014	0,1155	61,0	22543,9	0,009	0,1370	72,4
15719,7	0,014	0,1160	61,3	22691,8	0,009	0,1374	72,6
15838,7	0,013	0,1164	61,5	22841,7	0,009	0,1378	72,8
15967,0	0,013	0,1168	61,7	22991,2	0,009	0,1382	73,0
16104,7	0,013	0,1171	61,9	23130,6	0,009	0,1388	73,3
16252,4	0,013	0,1177	62,2	23269,3	0,009	0,1393	73,6

Çizelge E.B.8. Devam

Basınç, psi	Gözenek çapı, µm	Cıva hacmi, cc/g	Cıva hacmi, %	Basınç, psi	Gözenek çapı, µm	Cıva hacmi, cc/g	Cıva hacmi, %
23407,9	0,009	0,1397	73,8	30245,8	0,007	0,1531	80,9
23547,3	0,009	0,1401	74,0	30420,6	0,007	0,1534	81,0
23687,5	0,009	0,1405	74,2	30598,4	0,007	0,1537	81,2
23827,7	0,009	0,1408	74,4	30777,3	0,007	0,1541	81,4
23967,4	0,009	0,1411	74,5	30956,2	0,007	0,1545	81,6
24108,4	0,009	0,1413	74,7	31135,8	0,007	0,1549	81,8
24250,1	0,009	0,1416	74,8	31315,0	0,007	0,1553	82,0
24391,9	0,009	0,1419	75,0	31494,8	0,007	0,1557	82,3
24535,5	0,009	0,1424	75,2	31672,3	0,007	0,1562	82,5
24679,7	0,009	0,1428	75,4	31849,0	0,007	0,1566	82,7
24823,4	0,009	0,1432	75,7	32027,1	0,007	0,1570	82,9
24965,9	0,009	0,1436	75,9	32204,4	0,007	0,1574	83,1
25109,0	0,008	0,1440	76,1	32380,4	0,007	0,1577	83,3
25252,8	0,008	0,1446	76,4	32555,1	0,007	0,1580	83,4
25398,8	0,008	0,1451	76,7	32731,5	0,007	0,1583	83,6
25544,5	0,008	0,1457	77,0	32907,6	0,006	0,1586	83,8
25689,8	0,008	0,1462	77,2	33084,4	0,006	0,1590	84,0
25836,2	0,008	0,1467	77,5	33260,8	0,006	0,1594	84,2
25981,3	0,008	0,1472	77,7	33438,3	0,006	0,1599	84,4
26128,5	0,008	0,1475	77,9	33616,7	0,006	0,1603	84,7
26276,4	0,008	0,1478	78,1	33798,3	0,006	0,1608	84,9
26425,8	0,008	0,1480	78,2	33979,5	0,006	0,1611	85,1
26577,4	0,008	0,1483	78,4	34162,9	0,006	0,1615	85,3
26728,2	0,008	0,1487	78,5	34346,4	0,006	0,1618	85,5
26879,5	0,008	0,1488	78,6	34531,5	0,006	0,1621	85,6
27029,5	0,008	0,149	78,7	34717,1	0,006	0,1624	85,8
27180,7	0,008	0,1492	78,8	34903,3	0,006	0,1626	85,9
27332,7	0,008	0,1494	78,9	35090,7	0,006	0,1627	86,0
27487,0	0,008	0,1495	79,0	35279,3	0,006	0,1629	86,0
27642,2	0,008	0,1497	79,1	35472,1	0,006	0,1629	86,1
27796,0	0,008	0,1499	79,2	35666,7	0,006	0,1630	86,1
27952,8	0,008	0,1502	79,3	35859,2	0,006	0,1630	86,1
28109,9	0,008	0,1504	79,5	36052,8	0,006	0,1631	86,1
28266,3	0,008	0,1507	79,6	36246,6	0,006	0,1632	86,2
28426,7	0,008	0,1509	79,7	36444,0	0,006	0,1634	86,3
28587,0	0,007	0,1512	79,9	36641,6	0,006	0,1636	86,4
28748,2	0,007	0,1514	80,0	36842,2	0,006	0,1639	86,6
28909,8	0,007	0,1516	80,1	37046,1	0,006	0,1642	86,7
29074,6	0,007	0,1518	80,2	37253,2	0,006	0,1645	86,9
29236,5	0,007	0,1521	80,3	37463,1	0,006	0,1649	87,1
29401,8	0,007	0,1523	80,4	37671,2	0,006	0,1653	87,3
29567,6	0,007	0,1524	80,5	37881,5	0,006	0,1657	87,5
29733,9	0,007	0,1525	80,6	38093,3	0,006	0,1661	87,7
29903,3	0,007	0,1526	80,6	38307,5	0,006	0,1664	87,9
30074,9	0,007	0,1529	80,7	38523,6	0,006	0,1668	88,1

Çizelge E.B.8. Devam

Basınç, psi	Gözenek çapı, µm	Cıva hacmi, cc/g	Cıva hacmi, %	Basınç, psi	Gözenek çapı, µm	Cıva hacmi, cc/g	Cıva hacmi, %
38739,3	0,006	0,1672	88,3	49522,7	0,004	0,1832	96,8
38957,6	0,005	0,1676	88,5	49790,7	0,004	0,1838	97,1
39175,9	0,005	0,1681	88,8	50057,9	0,004	0,1845	97,5
39392,3	0,005	0,1688	89,2	50327,1	0,004	0,1852	97,8
39608,3	0,005	0,1694	89,5	50597,0	0,004	0,1857	98,1
39826,0	0,005	0,1700	89,8	50868,2	0,004	0,1860	98,3
40046,1	0,005	0,1705	90,1	51141,8	0,004	0,1863	98,4
40268,2	0,005	0,1710	90,3	51417,2	0,004	0,1865	98,5
40492,5	0,005	0,1716	90,7	51696,6	0,004	0,1867	98,6
40717,6	0,005	0,1722	91,0	51979,3	0,004	0,1868	98,7
40944,5	0,005	0,1727	91,2	52262,9	0,004	0,1870	98,8
41172,2	0,005	0,1732	91,5	52546,6	0,004	0,1871	98,8
41401,5	0,005	0,1735	91,7	52830,3	0,004	0,1872	98,9
41631,5	0,005	0,1737	91,8	53114,9	0,004	0,1874	99,0
41864,4	0,005	0,1739	91,8	53400,0	0,004	0,1877	99,1
42097,6	0,005	0,1740	91,9	53687,5	0,004	0,1878	99,2
42330,5	0,005	0,1740	91,9	53979,6	0,004	0,1881	99,3
42564,0	0,005	0,1741	92,0	54262,3	0,004	0,1885	99,6
42795,7	0,005	0,1744	92,1	54541,4	0,004	0,1890	99,8
43028,2	0,005	0,1748	92,3	54828,2	0,004	0,1893	100,0
43260,3	0,005	0,1752	92,5				
43492,9	0,005	0,1755	92,7				
43726,0	0,005	0,1759	92,9				
43958,5	0,005	0,1764	93,2				
44191,7	0,005	0,1768	93,4				
44425,2	0,005	0,1772	93,6				
44662,8	0,005	0,1777	93,9				
44900,8	0,005	0,1781	94,1				
45139,0	0,005	0,1785	94,3				
45379,0	0,005	0,1788	94,4				
45619,2	0,005	0,1789	94,5				
45863,5	0,005	0,1790	94,5				
46110,7	0,005	0,1791	94,6				
46360,2	0,005	0,1792	94,7				
46613,6	0,005	0,1792	94,7				
46871,0	0,005	0,1793	94,7				
47131,3	0,005	0,1793	94,7				
47391,5	0,005	0,1793	94,7				
47654,6	0,004	0,1795	94,8				
47918,9	0,004	0,1799	95,0				
48184,2	0,004	0,1804	95,3				
48452,3	0,004	0,1808	95,5				
48719,5	0,004	0,1814	95,8				
48986,7	0,004	0,1819	96,1				
49254,7	0,004	0,1825	96,4				

ÖZ GEÇMİŞ

Enver KÜÇÜKYILDIRIM 22.09.1988 tarihinde Niğde'nin Bor ilçesinde doğdu. İlk orta öğretimini Kırşehir'de, lise öğretimini ise Niğde'de tamamladı. 2006 yılında girdiği Atatürk Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden Temmuz 2010'da mezun oldu. 2010-2011 Öğretim yılında Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans öğrenimine başladı. Ağustos 2011'de Niğde Üniversitesi Yapı İşleri ve Teknik Daire Başkanlığında İnşaat Mühendisi olarak çalışmaya başladı. Nisan 2013'te yüksek lisans öğrenimini tamamladı.

